

NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ

FEN VE MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ DERGİSİ

NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE AND ENGINEERING

Yıl/Year:2024 Cilt/Volume: 6 Sayı/Issue: 2

E-ISSN: 2667-7989



NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ FEN VE MÜHENDİSLİK BİLİMLERİ DERGİSİ
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY JOURNAL OF SCIENCE AND ENGINEERING

E-ISSN: 2667-7989

Cilt/Volume: 6, Sayı/Issue: 2, (Ağustos/August, 2024)

Uluslararası Hakemli Dergi/International Referred Journal

İmtiyaz Sahibi/Holder of Concession

Necmettin Erbakan Üniversitesi Rektörü

Rector of Necmettin Erbakan University

Prof. Dr. Cem ZORLU

Baş Editör/Editor-in-Chief

Doç. Dr. Fatih ERCİ, Necmettin Erbakan Üniversitesi

Assoc. Prof., Necmettin Erbakan University

Yardımcı Editörler/Associate Editors

Dr. Ahmet Burçin BATIBAY Makine ve Kimya Endüstrisi A.Ş.

Ph.D. Machinery and Chemical Industry Inc.

Doç. Dr. Emrah MADENCİ, Necmettin Erbakan Üniversitesi

Assoc. Prof., Necmettin Erbakan University

Doç. Dr. Nihat AKGÜNEŞ, Necmettin Erbakan Üniversitesi

Assoc. Prof., Necmettin Erbakan University

Yayına Hazırlık ve Mizanpaj Editörleri/Layout Editors

Dr. Behiç Selman ERDOĞDU, Necmettin Erbakan Üniversitesi

(Res. Asst. Ph.D.), Necmettin Erbakan University

Arş. Gör. Canan SEVİNÇ ŞAŞMAZ, Necmettin Erbakan Üniversitesi

(Res. Asst.), Necmettin Erbakan University

Arş. Gör. Dr. Merve ÖZCAN TÜRKMEN, Necmettin Erbakan Üniversitesi

(Res. Asst., Ph.D.), Necmettin Erbakan University

Arş. Gör. Halil İbrahim AYZAZ, Necmettin Erbakan Üniversitesi

(Res. Asst.), Necmettin Erbakan University

İstatistik Editörü/Statistical Editor

Doç. Dr. Ahmet PEKGÖR, Necmettin Erbakan Üniversitesi

Assoc. Prof., Necmettin Erbakan University

Dil Editörü/Language Editor

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet DEMİRTAŞ, Necmettin Erbakan Üniversitesi

Asst. Prof., Necmettin Erbakan University

Arş. Gör. Tuba ULUSOY, Necmettin Erbakan Üniversitesi

(Res. Asst.), Necmettin Erbakan University

Sekreter/Secretary

Arş. Gör. Esra TANHAŞ (Res. Asst.)

Arş. Gör. Ömer Faruk ATİZ (Res. Asst.)

Yazışma Adresi/Correspondence Address

Necmettin Erbakan Üniversitesi Rektörlüğü, 42090, Meram, Konya, Türkiye

Telefon/Phone: +90 (332) 221 05 00 **web:** www.dergipark.gov.tr/neufmbd **e-posta/e-mail:** neufmbd@erbakan.edu.tr

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, yılda üç kez yayımlanan uluslararası hakemli bir dergidir. *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering is an international referred journal published three issues per year.*

İÇİNDEKİLER/CONTENTS

Doğu Mazısı Kozalağının NaOH Aktivasyonu ile Aktif Karbon Hazırlanması ve Su Ortamından Reaktif Turuncu 12'nin Giderimi <i>Thuja orientalis Cones Prepared Activated Carbon by NaOH Activation for Removal of Reactive Orange 12 From Aqueous</i> KAZAK, Ömer.	Araştırma Makalesi Research Article	199-210
Şişen Zeminlerin Isırgan Otu ile İyileştirilmesi <i>Improvement of Expansive Soils with Stinging Nettle</i> ÖZKAN, İlyas.	Araştırma Makalesi Research Article	211-224
Kentsel Atıksularda Bazı Antibiyotik (Metronidazole, Ornidazole) ve Antifungal (Fluconazole) Farmasötiklerin Varlığı ve Risk Değerlendirmesi <i>Presence of Some Antibiotic (Metronidazole, Ornidazole) and Antifungal (Fluconazole) Pharmaceuticals in Urban Wastewater and Risk Assessment</i> AYDIN, Senar; ULVİ, Arzu; AYDIN, Mehmet Emin.	Araştırma Makalesi Research Article	225-236
Klonal Seçim Algoritması ile Kompakt Flüoresan Lambalarda Elektrik ve Manyetik Alan İncelenmesi <i>Examination of Electric & Magnetic Field in Compact Fluorescent via Clonal Selection Algorithm</i> KOŞALAY, İlhan; TANIŞ, Yeliz.	Araştırma Makalesi Research Article	237-254
Evaluation of Air Quality (PM₁₀ and SO₂) Parameters: Example of Central Anatolia Region <i>Evaluation of Air Quality (PM₁₀ and SO₂) Parameters: Example of Central Anatolia Region</i> KUNT, Fatma; ÖZKAN, Ahmet.	Araştırma Makalesi Research Article	255-271
Havacılık Sektöründe Yeşil Kompozitler: NACA 4452 Rib Uygulaması <i>Green Composites in Aviation Industry: NACA 4452 Rib Application</i> UYANER, Mesut; KARADAL, Kübra; MERDAN, Tolga; ACAR, Nagehan Nur.	Araştırma Makalesi Research Article	272-288
Güneş Enerjisi Santrallerinde Derin Öğrenme Kullanılarak Elektrik Üretimini Değerlendirilmesi <i>Assessment of Electricity Generation Using Deep Learning on Solar Power Plants</i> KIYMAZ, Yunus Emre; OGUZ, Hidayet.	Araştırma Makalesi Research Article	289-311
Jeotermal Temelli bir Organik Rankine Çevriminin Eksergo-ekonomik Analizi <i>Exergo-economic Analysis of an Geothermal Based Organic Rankine Cycle</i> ÖZEN, Dilek Nur; HANÇER GÜLERYÜZ, Esra.	Araştırma Makalesi Research Article	312-335
Yüksek Derecede Fotoakım Üreten Tilakoid Membran Bazlı Biyofotovoltaik Hücresinin Yapımı <i>Construction of Thylakoid Membrane Based Biophotovoltaics Generating High Amount of Photocurrent</i> YILDIZ, Hüseyin Bekir; BUYUKHARMAN, Mustafa.	Araştırma Makalesi Research Article	336-346

İnflamatuvar Bağırsak Hastalığında (İBH) 16s Sekans Verilerinden Oto-Kodlayıcı ile Muhtemel

Biyobelirteç Keşfi

Potential Biomarker Discovery with Auto-Encoder from 16s Sequence Data in Inflammatory Bowel Disease

(IBD)

SOYTURK PATAT, Aysenur; DAĞDEVİR, Eda.

Araştırma Makalesi

Research Article

347-357

Alan Editörleri/Editorial Board

Prof. Dr. Ahmet BEYÇİOĞLU	Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi/ <i>Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University</i>
Prof. Dr. Ceyda ÖZFİDAN KONAĞCI	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Prof. Dr. Gökhan ZENGİN	Selçuk Üniversitesi/ <i>Selçuk University</i>
Prof. Dr. Hüseyin BAYRAKÇEKEN	Afyon Kocatepe Üniversitesi/ <i>Afyon Kocatepe University</i>
Prof. Dr. Mehmet Akif ERİŞMİŞ	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Prof. Dr. Mesut UYANER	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Prof. Dr. Mustafa YÖNTEM	Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi/ <i>Karamanoğlu Mehmetbey University</i>
Prof. Dr. Sedat PAK	Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi/ <i>Karamanoğlu Mehmetbey University</i>
Prof. Dr. Semra ARSLAN SELÇUK	Gazi Üniversitesi/ <i>Gazi University</i>
Prof. Dr. Senar AYDIN	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Prof. Dr. Ummahan EGE ARSLAN	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi/ <i>Eskişehir Osmangazi University</i>
Doç. Dr. Ali SARIBIYIK	Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi/ <i>Sakarya University of Applied Sciences</i>
Doç. Dr. Alper ALVER	Aksaray Üniversitesi/ <i>Aksaray University</i>
Doç. Dr. Alper SİNAN	Akdeniz Üniversitesi/ <i>Akdeniz University</i>
Doç. Dr. Aydın KARAKOCA	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Doç. Dr. Ceyhun YILMAZ	Afyon Kocatepe Üniversitesi/ <i>Afyon Kocatepe University</i>
Doç. Dr. Derya BAL ALTUNTAŞ	Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi/ <i>Recep Tayyip Erdoğan University</i>
Doç. Dr. Emrehan YAVŞAN	Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi/ <i>Tekirdağ Namık Kemal University</i>
Doç. Dr. Esra YALDIZ	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Doç. Dr. Fatma BAYRAM SARIİPEK	Konya Teknik Üniversitesi/ <i>Konya Technical University</i>
Doç. Dr. Hüseyin Zahit SELVİ	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Doç. Dr. Mehmet HACİBEYOĞLU	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Doç. Dr. Mustafa KUNTOĞLU	Selçuk Üniversitesi/ <i>Selçuk University</i>
Doç. Dr. Mustafa Kürşat DEMİR	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Doç. Dr. Mustafa YALÇIN	Afyon Kocatepe Üniversitesi/ <i>Afyon Kocatepe University</i>
Dr. Öğr. Üyesi Çiğdem AŞÇIOĞLU	Afyon Kocatepe Üniversitesi/ <i>Afyon Kocatepe University</i>
Dr. Öğr. Üyesi Ali Serdar ECEMİŞ	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Dr. Öğr. Üyesi Bilal ERVURAL	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Dr. Öğr. Üyesi Çiğdem AŞÇIOĞLU	Afyon Kocatepe Üniversitesi/ <i>Afyon Kocatepe University</i>
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Kürşat ÖKSÜZ	Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi/ <i>Erzincan Binali Yıldırım University</i>
Dr. Öğr. Üyesi Murat KARAKOYUN	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Dr. Öğr. Üyesi Vahit TONGUR	Konya Teknik Üniversitesi/ <i>Konya Technical University</i>
Dr. Muhammad Asyraf Muhammad Rizal	Universiti Teknologi Malaysia
Dr. Rıza BÜYÜKZEREN	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Dr. Yasemin TABAK	Tübitak Marmara Araştırma Merkezi/ <i>Tübitak Marmara Research Center</i>

Yayın ve Danışma Kurulu /Editorial and Advisory Board

Prof. Dr. Ahmet CAN	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Prof. Dr. Aşır GENÇ	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Prof. Dr. Atilla EVCİN	Afyon Kocatepe Üniversitesi/ <i>Afyon Kocatepe University</i>
Prof. Dr. Didem BALKANLI	Yıldız Teknik Üniversitesi/ <i>Yıldız Technical University</i>
Prof. Dr. Erdal KOCABAŞ	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Prof. Dr. Haluk BİNGÖL	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Prof. Dr. Hasan KOTAN	Bursa Teknik Üniversitesi/ <i>Bursa Technical University</i>
Prof. Dr. Hicran AÇIKEL	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Prof. Dr. Hidayet OĞUZ	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Prof. Dr. İbrahim KALAYCI	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Prof. Dr. Mehmet AKTAN	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Prof. Dr. Mehmet KARALI	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Prof. Dr. Nilgün ERTAŞ	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Prof. Dr. Ömer İŞILDAK	Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi/ <i>Tokat Gaziosmanpaşa University</i>
Prof. Dr. Sabri ALPAYDIN	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Prof. Dr. Sabri KOÇER	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Prof. Dr. Süleyman KALELİ	Sakarya Üniversitesi/ <i>Sakarya University</i>
Prof. Dr. Ümmügülüm DAĞLIOĞLU	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>
Dr. Öğr. Üyesi Hasan Ali AKYÜREK	Necmettin Erbakan Üniversitesi/ <i>Necmettin Erbakan University</i>

Doğu Mazısı Kozalağının NaOH Aktivasyonu ile Aktif Karbon Hazırlanması ve Su Ortamından Reaktif Turuncu 12'nin Giderimi

Ömer KAZAK^{1*} 

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

Makale Bilgisi

ÖZET

Geliş Tarihi: 27.02.2024
Kabul Tarihi: 28.05.2024
Yayın Tarihi: 31.08.2024

Anahtar Kelimeler:

Kimyasal aktivasyon,
Biokütle,
Aktif karbon,
Boya giderimi.

Bu çalışmada, bitkisel bir atık olan doğu mazısı aktif karbon (AK) ürününe dönüştürülmeden önce kurutma ve öğütme işlemleri ile kimyasal aktivasyon işlemi için hazır hale getirilmiştir. 600 ve 800°C sıcaklıklarda sabit NaOH oranı ile sıcaklığın etkisi belirlenmiştir. Ardından 600 °C'de farklı oranlarda NaOH kimyasalı eklenerek hazırlanan AK'ın ürünlerinin yapısal ve morfolojik özellikleri termal gravimetrik analiz (TGA), fourier transform infrared spektroskopisi (FT-IR), alan emisyonlu yüzey elektron mikroskobu (FE-SEM) teknikleri ile Brunauer - Emmett - Teller (BET) spesifik yüzey alanı, gözenek boyut dağılımı yöntemleri ile araştırılmıştır. Piroliz sıcaklığı ve NaOH kütle oranının AK üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Karakterizasyon sonuçlarına göre hazırlanan AK'ların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin önemli ölçüde aktivasyon sıcaklığına bağlı olduğu ve NaOH miktarının etkili olduğu belirlenmiştir. En yüksek BET yüzey alanına (1415 m²/g), mikro gözenekli yapıya (0,738 cm³/g) sahip AK elde etmek için optimum koşullar 600 °C'de 1:2 oranında (başlangıç maddesi: aktivasyon kimyasalı) elde edilmiştir. En yüksek yüzey özelliklerine sahip AK'ın Langmuir, Freundlich ve D-R izoterm modellerinin R² değerleri sırasıyla 0,998, 0,997 ve 0,867'dir. Bu ürün için D-R izoterm modelinden hesaplanan adsorpsiyon enerjisi (E) 6.352 kJ/mol'dür. RT 12 'nin AK tarafından adsorpsiyonunun Langmuir izoterm modeliyle daha iyi modellendiğini, adsorbent yüzeyinde tek tabaka halinde absorplandığı ve D-R izoterm modelinden elde edilen sonuçlara göre fiziksel adsorpsiyonun rol aldığı tespit edilmiştir. En yüksek yüzey özelliklerine sahip AK'ın reaktif turuncu 12 (RT 12) için Langmuir adsorpsiyon kapasitesi 256 mg/g'dir. Bu adsorpsiyon kapasitesi diğer adsorbentlerle karşılaştırıldığında daha yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir.

Thuja orientalis Cones Prepared Activated Carbon by NaOH Activation for Removal Of Reactive Orange 12 From Aqueous

Article Info

ABSTRACT

Received: 27.02.2024
Accepted: 28.05.2024
Published: 31.08.2024

Keywords:

Chemical activation,
Biomass,
Activated carbon,
Dye removal.

In this study, *Thuja orientalis* cone, an agricultural waste, was prepared for chemical activation process by drying and grinding processes before being converted into activated carbon (AC) product. At 600 and 800°C, the effect of temperature was determined with constant NaOH ratio. Then, the structural and morphological properties of AC products prepared by adding NaOH chemical at different ratios at 600 °C were investigated by thermal gravimetric analysis (TGA), fourier transform infrared spectroscopy (FT-IR), field emission surface electron microscopy (FE-SEM) techniques and specific surface area and pore size distribution techniques. According to the characterization results, it was determined that the physical and chemical properties of the prepared ACs significantly depend on the activation temperature and the amount of NaOH is effective. To obtain AC with the highest specific surface area (1415 m²/g) and microporous structure (0.738 cm³/g), optimum conditions were obtained at 600 °C in a ratio of 1:2 (starting material: activation chemical). The R² values of the Langmuir, Freundlich and D-R isotherm models of AK, which have the highest surface properties, are 0.998, 0.997 and 0.867, respectively. The adsorption energy (E) calculated from the D-R isotherm model for this product is 6.352 kJ/mol. It was determined that the adsorption of reactive orange 12 (RO 12) by AK was better modeled with the Langmuir isotherm model, that it was absorbed as a monolayer on the adsorbent surface, and that physical adsorption played a role according to the results obtained from the D-R isotherm model. The Langmuir adsorption capacity for RO 12 of AK, which has the highest surface properties, is 256 mg/g. This adsorption capacity has a higher adsorption capacity compared to other adsorbents.

To cite this article:

Kazak, Ö. (2024). Doğu Mazısı Kozalağının NaOH Aktivasyonu ile Aktif Karbon Hazırlanması ve Su Ortamından Reaktif Turuncu 12'nin Giderimi. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 199-210. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.43>

*Sorumlu Yazar: Ömer Kazak, okazak@erbakan.edu.tr



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Boyar maddeler ve pigmentler renklendirici maddeler olarak yaygın bir şekilde tekstil endüstrisinde kullanılmaktadır. Boyar maddeler mikrobiyal popülasyonlar ve canlı organizmalar için toksik ve kanserojen olabilen kimyasallar içeren estetik kirleticilerdir. Boyama işlemi sırasında boyanın %10-15'inin atık sulara geçtiği tahmin edilmektedir [1]. Su kaynağına ulaşan birçok boyanın ayrıştırılması zordur ve kanserojen olmaları nedeniyle birçok soruna neden olurlar. Son yıllarda tekstil endüstri faaliyetleri sonucu sentetik organik maddelerden kaynaklı zararlı ve zehirli kirleticilerin su kaynaklarına deşarj edilmesi kamuoyunda önemli bir endişe yaratmaktadır [2]. Bu endişeler, çevre ve su kirliliği ilgili yayınları iletişim araçları yoluyla takip eden bireylerin çevre bilinçliliği, takip etmeyenlere göre son yıllarda önemli şekilde arttığını da göstermektedir [3]. Su kirliliğinin kontrolünde boyar maddelerin su ortamından uzaklaştırılması hem suda yaşayan organizmalar hem de sudan yararlananlar için önemini taşımaktadır. Tekstil endüstrisindeki atık sulardan renk giderme yöntemleri arasında biyolojik arıtma, koagülasyon, flotasyon, adsorpsiyon, oksidasyon ve filtrasyon yer almaktadır [4]. Bu arıtma seçenekleri arasında adsorpsiyon, tekstil atık suyunun renksizleştirilmesinde en etkili ve karşılaştırılabilir düşük maliyetli yöntemlerden biri haline gelmiştir. Aktif karbonlar (AK), su arıtımı için kullanılan en yaygın adsorbentlerden biridir. Yüksek adsorpsiyon özellikleri, geniş yüzey alanı, yüksek gözeneklilik, yüksek adsorpsiyon kapasitesi, mekanik mukavemet, termal stabilite ve bol miktarda fonksiyonel grup ile ilgilidir [5]. Bununla birlikte, ticari olarak bulunan AK genellikle kömür, petrol koku ve linyit gibi yenilenemeyen başlangıç maddelerinden hazırlanır ve bunlar sürdürülebilir olamamasının yanı sıra oldukça pahalı başlangıç maddeleridir. Bu sebepten dolayı, araştırmacılar zirai ve ligno-selülozik atıklardan hareket ile örneğin fındık kabuğu, ceviz kabuğu, yer fıstığı kabuğu, mısır koçanı, kayısı çekirdeği, fıstık kabuğu gibi zirai atıklardan [6] AK üretimine yönelik çalışmalar düşük maliyetli, yenilenebilir ve sürdürülebilir başlangıç maddelerinden hazırlanmasına konusundaki çalışmalara önem vermişleridir [7]. Genel olarak, ligno-selülozik biyokütleden AK hazırlama yöntemi fiziksel ya da kimyasal aktivasyonu içerir. Kimyasal aktivasyon, fiziksel aktivasyona göre daha geniş yüzey alanına sahip ürün ve daha düşük işlem sıcaklığı ve daha kısa işlem süresi ile daha yüksek verim gibi çeşitli avantajlar sergilemektedir[8]. Kimyasal aktivasyonda, kimyasal olarak potasyum hidroksit (KOH), sodyum hidroksit (NaOH), fosforik asit (H_3PO_4) ve çinko klorür ($ZnCl_2$) gibi bir aktivatör kimyasallar ile emdirme veya homojen karışım elde edilir ve ardından karbonizasyon işlemi gerçekleştirilir [9]. Çeşitli kimyasal aktivatörler arasında NaOH, hazırlanan AK'nun yüksek yüzey alanı, diğer kimyasallara göre daha çevre dostu olması ve oksijen içeren fonksiyonel gruplarının oluşumu gibi avantajları nedeniyle AK'nun hazırlanmasında genellikle tercih edilmektedir [10].

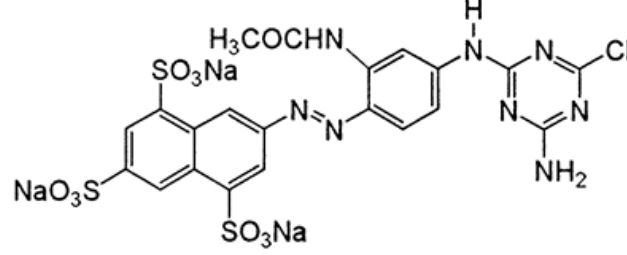
Yukarıda belirtilen bilgiler dikkate alındığında, farklı zirai atıklardan ve ligno-selülozik başlangıç maddelerinden hareket ile kimyasal aktivasyon yöntemleri kullanılarak aktif karbon elde edildiği ve bu ürünlerin sudaki kirleticilerin gideriminde kullanılabildiği gösterilmiştir. Doğu mazı kozalağı, Türkiye'de bahçe ve parklarda estetik (peyzaj) amaçlı yetiştirilmektedir. Doğu mazısı kozalakları olgunlaşma döneminden sonra ağaçtan düşerek görsel ve çöp kirletici etkisine neden olmaktadır [11]. Doğada kolaylıkla bulunabilen hücre duvarlarında selüloz, hemiselüloz, lignin, reçine ve tanenler içeren epidermal hücrelerinden oluşan kozalakları yeni bir yaklaşım olarak AK hazırlanmasında değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın amacı daha önce araştırılmamış olan ligno-selülozik içeriği yüksek olan bitkisel atık doğu mazısı kozalağının NaOH ile kimyasal aktivasyonu ile AK üretilen ve model kirletici olarak sudaki RT 12'nin giderim performansı değerlendirilmiştir. Üretilen AK'nun yüzey alanı ve gözenek boyutunu maksimize etmek için piroliz sıcaklığının ve NaOH miktarının yüzey alanlarına ve gözenek boyut dağılımlarına olan etkilerinin tespiti, FE-SEM ve FT-IR karakterizasyon çalışmaları sonucu yapısal etkilerinin belirlenmesi, en yüksek gözenek özelliği gösteren AK ile model kirletici olarak seçilen RT 12'nin giderim kapasitesi Langmuir, Freundlich ve Dubinin-Radushkevich (D-R) izoterm modelleri ile belirlenmesi ve elde edilen giderim kapasitesi literatürde farklı adsorbentler ile

karşılaştırılması amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

Materyal (Materials)

Deneysel çalışmaların tamamında analitik saflıkta kimyasallar kullanıldı ve tüm sulu çözeltiler ultra saf su kullanılarak hazırlanmıştır. NaOH, HCl, NaCl, Merck firmasından, Reaktif Turuncu 12 (RT 12) DyStar firmasından temini sağlanmıştır. Molekül kütlesi 739 g/mol olan RT 12'nin kimyasal formülü Şekil 1'de gösterilmiştir. Doğu Mazısı (*Thuja Orientalis*) Konya bölgesinde bulunan bahçeden toplanmıştır.



Şekil 1

Reaktif Turuncu 12'nin Kimyasal Yapısı

Doğu Mazısı Kozalağından Aktif Karbon Hazırlanması

Doğu mazısı kozalağı 105 °C'de 24 saat etüvde kurutulup ve agat havanda öğütülerek kimyasal aktivasyon işlemi için hazırlanmıştır. Doğu mazısı kozalağının kimyasal aktivasyonunda NaOH kullanılmıştır. Sıcaklık etkisinin belirlenmesi için doğu mazısı kozalağı NaOH ile kütlece 1:3 (w/w) oranlarında homojen olarak karıştırılmıştır ve yatay fırında (Protherm Ptf 12/75/800) argon gazı atmosferinde (200 mL/ dk.) 800 ve 600°C'de 60 dk. ısıtılmasına tabi tutularak bu iki farklı sıcaklığın aktivasyon sürecine etkisi belirlenmiştir [12]. Bu aktivasyon işlemi sonucu elde edilen ürünlerden en iyi yüzey özelliği 600°C'de 1303 m²/g yüzey alanına sahiptir. Bu sıcaklıkta farklı oranlarda aktivasyon kimyasalının 1:1, 1:2, 1:3 1:4 (w/w) etkisi belirlenmiştir. Elde edilen ürünler nötrale olana kadar yıkanmıştır ve kurutulmuştur. Elde edilen bu ürünü DM, doğu mazısı kozalağının NaOH ile 1:3 (w/w) oranında karıştırılması, 800 ve 600 °C'de hazırlanan ürünlere AK8-3ve AK6-3, 600 °C'de elde edilen ürün ise AK6-1, diğer NaOH oranları ise AK6-2 ve AK6-4 olarak isimlendirilmiştir.

Doğu Mazısı Kozalağından Hazırlanan Aktif Karbonların Karakterizasyonu

Doğu mazısı kozalağının termogravimetrik analizi (Setaram, Setsys Evolution) ile 20 mL/dakika akış ile argon gazı atmosferinde, 15 °C/dk. sıcaklık artışı ile 25-850 °C'de elde edilmiştir. Ürünlerin FT-IR spektrumları 600-4000 cm⁻¹ dalga boylarında FT-IR spektrofotometresinde (Perkin Elmer 1600) ölçümler alınmıştır. Ürünler yüzey morfolojileri FE-SEM (Zeiss) kullanılarak görüntülenmiştir. BET yüzey alanı ve gözenek boyut dağılımı (Quantachrome Quadrasorb evo) 77 K'de N₂ adsorpsiyon izoterm sonuçlarına göre hesaplanmıştır. Toplam gözenek hacmi (V_{toplam}), NLDFT metoduna göre P/P_o=0,97'de adsorbe edilen N₂ miktarından hesaplanmıştır.

Adsorpsiyon Kapasitesinin Belirlenmesi

Doğu mazısı kozalağının su ortamındaki boyar madde kirlenici giderim performansını tespit etmek için model boyar madde kirlenici olarak RT 12 kullanılmıştır. Adsorpsiyon çalışmaları kesikli sistemde gerçekleştirilmiştir. Aktivasyon işlemi sonucu en uygun özellik gösteren adsorbentten 0,02 g, farklı derişimlerde (50-750 mg/L) RT 12 olan 20 mL çözeltilere eklenmiştir. Bu çözelti 3 saat oda

sıcaklığında çalkalayıcıda 250 rpm'de karıştırılmıştır. Filtre ile adsorbent çözültiden ayrılmıştır. İstenilen derişimdeki RT 12 çözültisi 1000 mg/L stoktan hazırlanmıştır. 0,01 M HCl-NaOH çözültileri ile pH ayarlanmıştır. RT 12 başlangıç derişim ve adsorpsiyon sonrası çözültelerde kalan derişim 416 nm dalga boyunda spektrofotometrede (Hach Lange, DR 5000) belirlenmiştir.

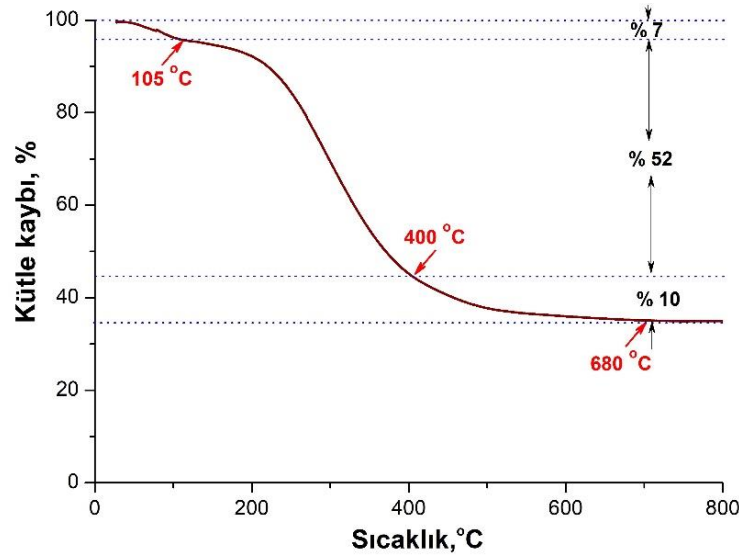
$$q = \frac{(c_o - c_e)}{m} * V \quad (1)$$

Eşitlik (1)'de verilen denkleme göre, RT 12'nin adsorbent tarafından adsorbe edilen miktarı (q, mg/g), başlangıç derişimi (C_o, mg/L) ve adsorpsiyondan sonra çözültide kalan RT 12 derişimi (C_e, mg/L) ile çözülti hacmi (V, L) ve adsorbent miktarına (m, g) göre hesaplanmıştır.

BULGULAR ve TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Doğu Mazısı Kozalağının Termal Davranışı (Thermal Behavior of Oriental Thuja Cone)

Aktivasyon prosesi başlangıç ürününün sıcaklık artışı ile kütesindeki azalmanın sabit duruma geldiği, kararlı bir karbon temelli ürüne dönüştüğü ısı işlemlerde gerçekleştirilmektedir [13]. Doğu mazısı kozalağının karbon temelli ürüne dönüştüğü ve NaOH ile kimyasal aktive olma prosesinin gerçekleşmesi için uygun sıcaklıkların belirlenmesi için ilk olarak argon atmosferinde kütle kaybı incelenmiştir. Doğu mazısının kozalağının termal davranışı Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2

Doğu Mazısı Kozalağının Termal Davranışı

Şekil 2 incelendiğinde 105 °C sıcaklığına ulaşması ile %7'lik kütle kaybı gerçekleşmiştir. Gerçekleşen bu kaybı DM'nin içeriğinde bulunan su buharının uzaklaşmasından kaynaklıdır. En önemli kütle kaybı 105 ile 400 °C arasındaki sıcaklıkta (%52) olduğu görülmektedir. DM'nin bünyesindeki -OH, -CO ve -COOH içeren yapıların ve yüksek molekül ağırlığındaki organik yapıli bileşiklerin DM'nin yapısından uzaklaşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir [14,15]. Doğu mazısı kozalağının 400 °C'nin üzerindeki ısı işlemlerde ihmal edilebilir bir kütle kaybı uzaklaştığı ve 680 °C'de doğu mazısının termal olarak kararlı bir ürüne dönüştüğü tespit edilmiştir. Dolayısıyla, Doğu mazısı kozalağına uygulanacak kimyasal aktivasyon sıcaklığının bu sıcaklık aralığında olması gerektiği düşünülmüştür. Aktivasyon sıcaklığı olarak 600 ve 800 °C belirlenmiştir.

Karakterizasyon Çalışmaları (Characterization Studies)

DM ve NaOH ile kimyasal aktivasyon prosesi sonucu hazırlanan AK'ların BET yüzey alanı, gözenek hacimleri, gözenek boyut dağılımı, FE-SEM, FT-IR ile karakterizasyonları gerçekleştirilmiştir. İki farklı aktivasyon sıcaklığının ve NaOH kimyasal oranının AK'ların yüzey alanına, gözenek hacimlerinde (V_{toplam} , V_{mikro} ve V_{mezo}) değişimler Tablo 1'de görülmektedir.

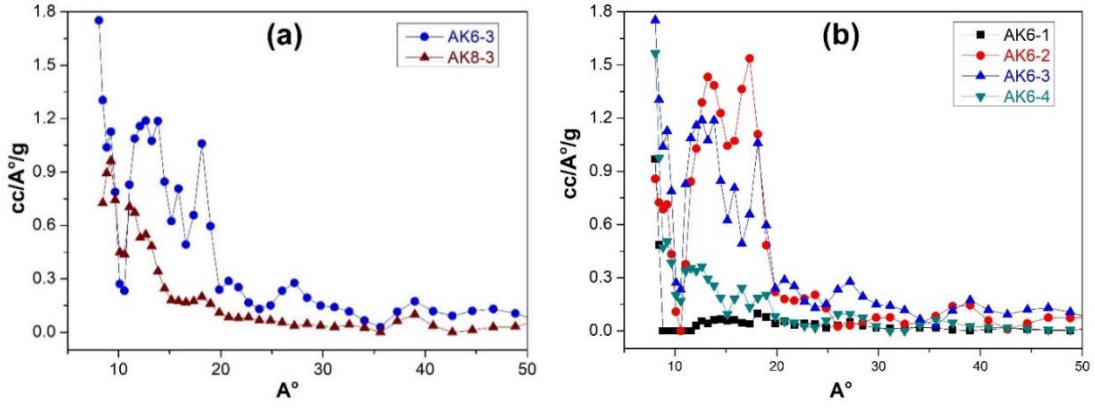
Tablo 1

DM ve Bu Ürüne Farklı Sıcaklık ve Miktarda NaOH Uygulanarak Hazırlanan Ürünlerin Yüzey Alanları ve Gözenek Hacimleri

Ürünler	BET, Yüzey alanı (m ² /g)	V_{toplam} , cm ³ /g	V_{mikro} , cm ³ /g	* V_{mezo} ^a , cm ³ /g
DM	9	0,004	-	-
AK6-1	256	0,166	0,141	0,025
AK6-2	1443	0,821	0,725	0,096
AK6-3	1303	0,762	0,644	0,118
AK6-4	741	0,433	0,371	0,062
AK8-3	809	0,623	0,521	0,102

* $V_{\text{mezo}} = V_{\text{toplam}} - V_{\text{mikro}}$, -tespit edilememiştir.

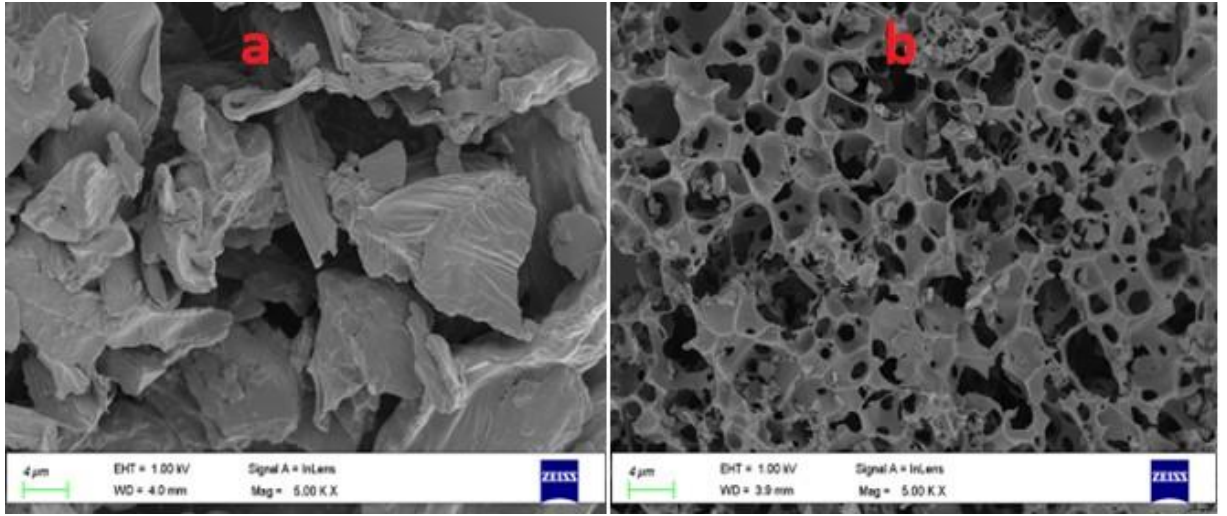
Ön işlemler sonucu aktivasyon için hazır hale getirilen DM'nin yüzey alanının (9 m²/g) ve toplam gözenek hacminin (0.004 cm³/g) oldukça düşük olduğu belirlenmiştir. AK6-3 ve AK8-3 ürünlerini yüzey alanları ve toplam gözenek hacimleri sırası ile (1303 ve 809 m²/g) ve (0,762 ve 0,623 cm³/g) olarak belirlenmiştir. Aktivasyon sıcaklığının artırılması ile hazırlanan AK'ların yüzey alanlarında ve gözenek hacimlerinde bir azalmaya neden olduğu görülmüştür [16]. Bu sonuç, aktivasyon sıcaklığının artırılması ile AK'ın yapısında oluşan mikro gözeneklerin aktivasyon kimyasalının etkisi ile kırılması veya çökmesine atfedilebilir[17]. Şekil 3 (a-b)'de DM başlangıç ürününe farklı sıcaklık ve kütle oranlarda NaOH uygulanarak elde edilen AK'lara ait gözenek boyut dağılımları gösterilmektedir. Mikro gözenek yapısının AK6-2 > AK6-3 > AK6-4 > AK6-1 şeklinde değiştiği görülmüştür. En uygun aktivasyon kimyasal oranının 1:2 olduğu tespit edilmiştir ve bu miktardaki NaOH'nın doğu mazısı yapısındaki karbon bileşenleri ile reaksiyonu sonucunda maksimum yüzey alanı elde edilmiştir. Ancak aşırı NaOH, gözenek duvarlarına zarar vererek ve şiddetli aşındırma yoluyla gözeneklerin genişlemesine neden olduğu ve mikro gözenek yapısını tahrip ettiği tespit edilmiştir [18].



Şekil 3

DM Başlangıç Ürününe (a) 600-800°C (AK6-3; AK8-3) ve (b) 600°C'de Farklı Miktarda NaOH (AK6-1; AK6-2; AK6-3; AK6-4) Uygulanarak Hazırlanan Ürünlerin Gözenek Boyut Dağılımları

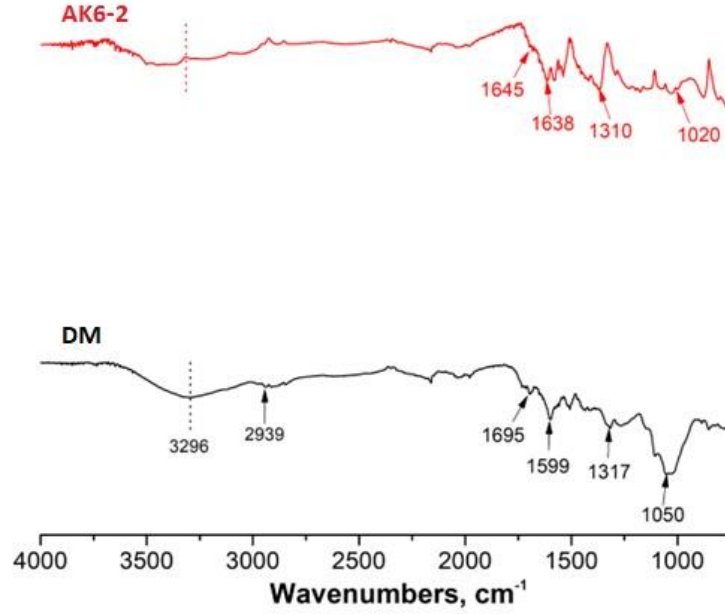
DM ve 600 °C'de en yüksek yüzey alanı elde edilen AK6-2 ürününe ait yüzey görüntüleri Şekil 4'te görülmektedir. DM'nun yüzeyinin oldukça düz olduğu FE-SEM yüzey görüntüsünde gözlemlenmiştir. Tablo 2'de ürünlere ait verilen değerlerle Şekil 4'te verilen FE-SEM görüntüleri ile uyumlu olduğu sonucuna varılabilir.



Şekil 4

(a) DM ve (b) AK6-2 Ait Yüzey Görüntüleri

DM ve AK6-2 ait FT-IR spektrumları Şekil 5'te gösterilmiştir. DM'ye ait FT-IR spektrumunda, 3296 cm^{-1} geniş bandın -OH kaynaklanmaktadır [19]. 2939 cm^{-1} 'de görülen band alifatik C-H bağlanabilir. 1695 cm^{-1} 'de ve 1599 cm^{-1} 'de görülen bandlar sırası ile C=O ve C=C titreşimlerinden oluşmaktadır [20]. 1317 ve 1050 cm^{-1} 'deki bantlar çoğunlukla O-H ve C-O titreşimlerine atfedilmiştir [21]. Şekil 5 incelendiğinde, DM'na 600 °C'de 1:2 oranında NaOH ile aktivasyon işlemi sonucunda yapıda önemli değişimler belirlenmiştir. Aktivasyon prosesi ile FT-IR spektrumunda, 3288 cm^{-1} (-OH) bandının şiddetinde bir düşüş ve 1645 cm^{-1} (C=O), 1638 cm^{-1} (C=C) [22], 1310 cm^{-1} (O-H) ve 1020 cm^{-1} (C-O)'deki bantlarındaki farklılıklar görülmektedir [23].



Şekil 5

DM ve AK6-2 Ürünlerine Ait FT-IR Spektrumları

Bu çalışmanın bir diğer amacı DM'den hazırlana AK'nun sudaki boyar maddelerin uzaklaştırılmasın da kullanımın araştırılmasıdır. Bunun için, en yüksek yüzey alanı ve gözenek hacmi özelliği gösteren AK6-2 ürünü ile model boyar kirletici seçilen RT 12'nun adsorpsiyon kapasitesi belirlenmiş ve literatürdeki diğer çalışmalar ile giderim kapasitesi karşılaştırılmıştır.

Adsorbentın Giderim Potansiyelinin Belirlenmesi (Determination of The Removal Potential of The Adsorbent)

Bu çalışmada adsorpsiyon sonucu elde edilen veriler genel olarak kabul edilen Langmuir, Freundlich ve Dubinin-Radushkevich (D-R) izoterm modelleri ile analiz edilmiştir. Belirli sıcaklıkta, denge çözeltisi içindeki kirletici derişimine karşı adsorbent birim kütlesinin uzaklaştırdığı kirletici miktarının grafiğe aktarılarak adsorpsiyon izotermi hesaplanmaktadır [24].

Langmuir izotermi, adsorbent yüzeyinin sınırlı alanlarında adsorpsiyon sonucu tek katman olarak kaplandığı ve kirletici derişiminde yüzeyin kirletici doyunluğuna eriştiğini göstermektedir. Langmuir izotermine ait lineer eşitlik Eşitlik (2)'de gösterilmektedir [25].

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{Q_o \cdot b} + \frac{C_e}{Q_o} \quad (2)$$

Bu eşitlikte:

C_e : Çözeltinin dengeye geldiğinde çözeltide kalan kirletici miktarı (mg/L)

q_e : Denge anında adsorbentın birim kütlesinde adsorbe edilen kirletici (mg/g)

Q_o : Langmuir adsorpsiyon kapasitesi (mg/g)

b : Langmuir adsorpsiyon katsayısı (L/mg)

C_e 'ye karşı C_e/q_e 'nin grafiğe aktarılması sonucunda elde edilen doğrunun y eksenini kestiği değer $1/(Q_o \cdot b)$ 'yi, doğru eğimi $1/Q_o$ 'yi verir.

Adsorbent yüzeyinin heterojen olması ve adsorplanan kirletici arasındaki adsorpsiyon durumunda ise adsorpsiyon prosesi Langmuir izoterm modelinde değişimler göstermektedir. Bu durumda, farklı

izoterm modelleri uygulanabilmektedir. En çok uygulanan modellerden biri ise Freundlich izoterm modelidir. Freundlich izoterm modelinin lineer eşitliği Eşitlik (3)'de gösterilmektedir [26].

$$\log q_e = \log k + \frac{1}{n} \log C_e \quad (3)$$

Bu eşitlikte:

C_e : Çözeltinin dengeye geldiğinde çözeltide kalan kirletici miktarı (mg/L)

q_e : Denge anında adsorbent birim kütlede adsorbe edilen kirletici (mg/g)

k : Freundlich adsorpsiyon kapasitesi [(mg/g). (mg/L)^{-1/n}]

n : Freundlich adsorpsiyon katsayısı (L/mg)

Freundlich izotermine ait k ve n değerleri, $\log C_e$ 'ye karşı $\log q_e$ 'nin grafiğinin oluşturulması sonucunda elde edilen doğrunun y eksenini kestiği noktadan ve eğiminden hesaplanabilmektedir.

(D-R) izotermi, Dubinin ve Radushkevich tarafından geliştirilmiş ve Polanyi adsorpsiyon enerjisine ile açıklanan modeldir [27]. Eşitlik (4)'den hesaplanan sonuçlara göre, adsorpsiyon sürecinin fiziksel veya kimyasal adsorpsiyon türü hakkında değerlendirme yapılabilmektedir.[27].

$$\ln q_e = \ln X'm - K' \varepsilon^2 \quad (4)$$

Bu eşitlikte:

ε : Polanyi potansiyeli, [RT ln (1 + 1/ C_e)]

$X'm$: D-R adsorpsiyon kapasitesi (mg/g),

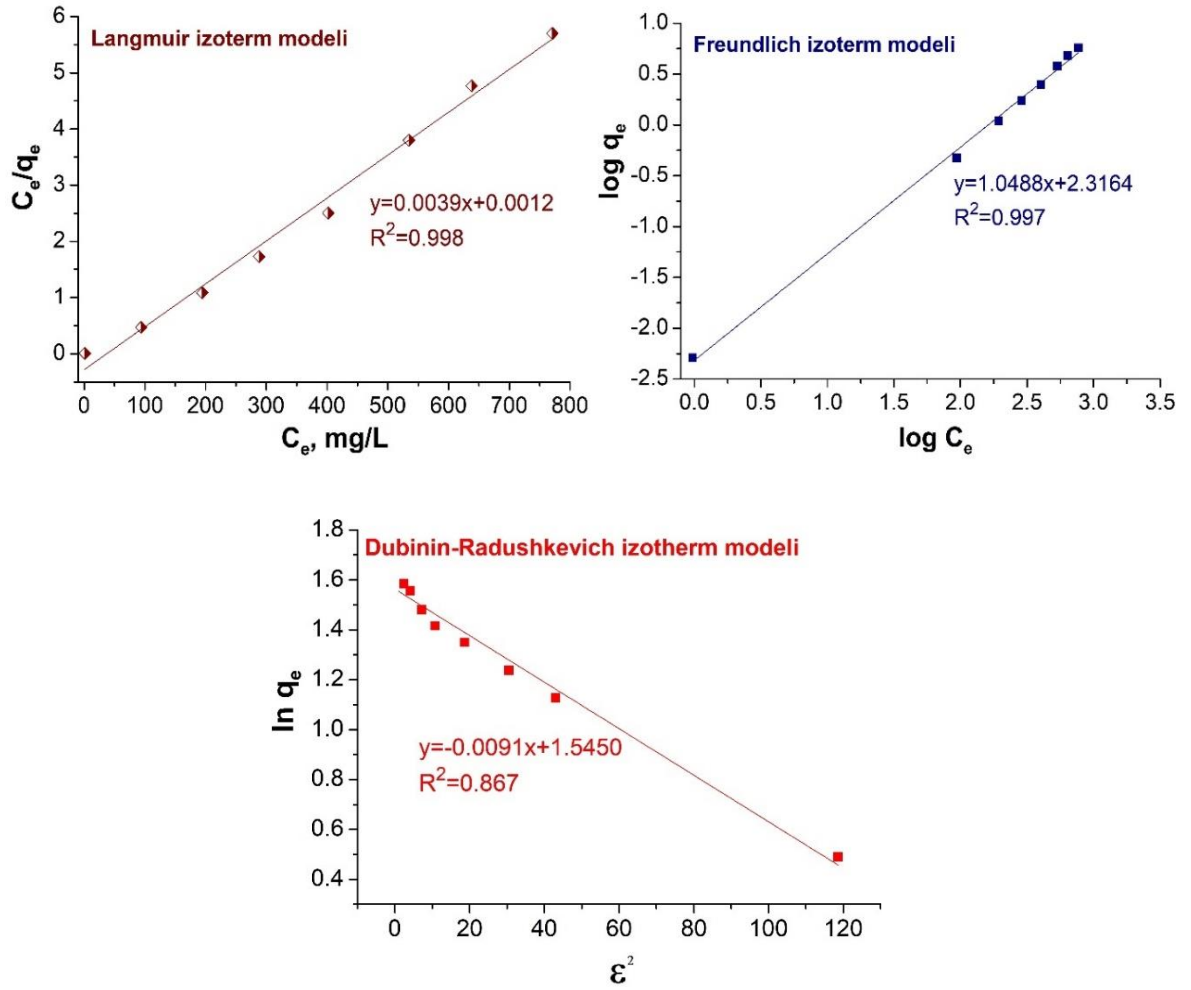
K' : Adsorpsiyon enerji sabiti (mol²/j²),

R : İdeal gaz sabiti, [8.314 J/(mol. K)],

T : Kelvin (K) sıcaklık.

Ortalama enerji değeri (E), Eşitlik 4'den hesaplanan K' değeri ile [$E = (-2 K')^{-0.5}$] eşitliğinden hesaplanmaktadır. E değerinin sonucuna göre adsorpsiyon türü yorumlanabilmektedir. E değeri 8-16 kJ/mol arasında ise adsorpsiyon sürecinin iyon değişimi olduğunu ifade etmek mümkündür. E değeri <8 kJ/mol olması halinde ise van der Waals kuvvetlerinin etkisi ile oluşan fiziksel adsorpsiyon sürecinin etkili olduğundan bahsedilebilir. E değeri 16 kJ/mol'de büyük durumu ise kimyasal adsorpsiyon sürecinden bahsedilebilir.

AK6-2 ile RT 12 adsorpsiyonundan hesaplanan adsorpsiyon sonuçları, Eşitlik (2, 3-4)'teki izoterm denklemlerinden elde edilen izoterm grafikleri Şekil 6'da verilmiştir. Tablo 2'de de hesaplanan izoterm sabitleri verilmiştir. Langmuir, Freundlich ve D-R izoterm modellerinin R^2 değerleri sırasıyla 0,998, 0,997 ve 0,867'dir.



Şekil 5

AK6-2 ile RT 12 adsorpsiyonu için Langmuir, Freundlich ve D-R izoterm modelleri

AK6-2 için Langmuir adsorpsiyon giderim kapasitesi (Q_0) 256 mg/g ve b adsorpsiyon katsayısı 3,255 L/mg, Freundlich adsorpsiyon giderim kapasitesi (k) 207 (mg/g). (mg/L) $^{-1/n}$, n adsorpsiyon katsayısı ise 0,953 olarak hesaplanmıştır. AK6-2 ürünü için D-R izoterm modeli sonucu elde edilen adsorpsiyon enerjisi (E) 6.352 kJ/mol'dür. Adsorpsiyon sürecinde, E değeri <8 kJ/mol olması halinde ise van der Waals kuvvetlerinin etkisi ile oluşan fiziksel adsorpsiyon sürecinin etkili olduğundan bahsedilebilir.[14]. Bu sonuçlara göre, RT 12'nin AK6-2 tarafından adsorpsiyonunun Langmuir izoterm modeliyle daha iyi modellendiğini, adsorbent yüzeyinde tek tabaka halinde absorplandığını ve D-R izoterm modelinden elde edilen sonuçlara göre fiziksel adsorpsiyonun rol aldığını söylemek mümkündür.

Tablo 2

RT 12 Adsorpsiyon sonucu elde edilen Langmuir, Freundlich ve D-R izoterm Sabitleri

Langmuir izoterm modeli	Q_0 , (mg/g)	b , (L/mg)	R^2	
	256	3,255	0,998	
Freundlich izoterm modeli	k , (mg/g).(mg/L) $^{-1/n}$	N	R^2	
	207	0,953	0,997	
D-R izoterm modeli	$X'm$, mg/g	K' , mol 2 /j 2	R^2	E , kJ/mol
	1,589	0,006	0,867	6,352

RT 12 için AK6-2 ürünü Langmuir giderim kapasitesi (256 mg/g) ile literatürdeki farklı adsorbentler ile giderim kapasiteleri Tablo 3'te karşılaştırılmıştır. AK6-2'nin bu adsorbentlerden daha yüksek kirletici giderim kapasitesinde olduğu belirlenmiştir.

Tablo 3

Literatürde Farklı Adsorbentlere Ait RT 12 için Giderim Kapasiteleri.

Adsorbent	Q_e , mg/g	Kaynak
AK6-2	256	Bu çalışma
Kalay sülfür nanoparçacığı katkılı aktif karbon	204	[28]
Platin nanoparçacığı katkılı aktif karbon	285	[29]
Magnetik nitrojen katkılı grafen oksit	250	[30]

SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Yapılan çalışmada, zirai bir atık olan doğu mazısı kozalağı NaOH aktivasyon kimyasalı kullanılarak kimyasal aktivasyon yöntemi ile aktif karbona dönüştürülmüştür. 600 ve 800 °C piroliz sıcaklıklarında ısı işlem gerçekleştirilerek sıcaklığın BET yüzey alanı ve gözenek yapısına etkileri belirlenmiştir ve en yüksek BET yüzey alanı 600 °C'deki ısı işlem sonucunda elde edildiği tespit edilmiştir. Bu sıcaklıkta farklı oranlarda NaOH içeren aktif karbonların yapısal ve morfolojik değişimleri BET yüzey alanı ve gözenek boyut dağılımı, FE-SEM, FT-IR analiz yöntemleri ile değerlendirilmiştir. En yüksek BET yüzey alanı ($1443 \text{ m}^2/\text{g}$), toplam gözenek hacmi ($0.821 \text{ cm}^3/\text{g}$) sahip aktif karbonun 600°C'de, doğu mazısı kozalağı NaOH ile kütlece 1:2 (w:w) oranında elde edilmiştir. Elde edilen bu ürünün sulardaki model kirletici olarak seçilen RT 12 boyar maddesinin giderimi için etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Aktif karbonun RT 12 boyar maddesi Langmuir adsorpsiyon giderim kapasitesi 256 mg/g olarak hesaplanmıştır. İlgili literatürdeki adsorbentlerle kıyaslandığında yüksek giderim kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir.

Etik Beyan (Ethical Declaration)

Bu makale, 2nd International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology (EurasianSciEnTech 2020) Sempozyumu'nda sözlü olarak sunulan ancak tam metni yayımlanmayan "Preparation of activated carbon from Thuja orientalis cones with NaOH activation and use for removal of Reactive Orange 12 from water" adlı bildirinin içeriği geliştirilerek ve kısmen değiştirilerek üretilmiştir.

Yazar Katkıları (Author Credits)

Araştırma - Veri Analizi - Doğrulama (CRediT 3-4-6-11) Yazar: Ömer KAZAK (%100)

Makalenin Yazımı (CRediT 12-13) Yazar: Ömer KAZAK (%100)

Metnin Tashihi ve Geliştirilmesi (CRediT 14) Ömer KAZAK (%100)

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] M.J. Iqbal, M.N. Ashiq, Adsorption of dyes from aqueous solutions on activated charcoal, *Journal of Hazardous Materials*. 139 (2007), 57–66. doi:10.1016/j.jhazmat.2006.06.007.
- [2] İ. Akin, E. Zor, H. Bingöl, Preparation and Characterization of GO/Fe₃O₄ Doped Polymeric Composite Membranes, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 5 (2023), 38–52. doi: 10.47112/neufmbd.2023.8.
- [3] S. Akçay, H. Şengül, A Study on Environmental Literacy of Middle School Students, *Journal of Ahmet Kelesoglu Educational Faculty*. 5 (2023), 139–169. doi:10.38151/akef.2023.48.
- [4] H. Saygılı, G.A. Saygılı, Optimized preparation for bimodal porous carbon from lentil processing waste by microwave-assisted K₂CO₃ activation: Spectroscopic characterization and dye decolorization activity, *Journal of Cleaner Production*. 226 (2019), 968–976. doi:10.1016/j.jclepro.2019.04.121.
- [5] A.F. Abbas, M.J. Ahmed, Mesoporous activated carbon from date stones (*Phoenix dactylifera* L.) by one-step microwave assisted K₂CO₃ pyrolysis, *Journal of Water Process Engineering*. 9 (2016), 201–207. doi:10.1016/j.jwpe.2016.01.004.
- [6] H. Li, L. Liu, J. Cui, J. Cui, F. Wang, F. Zhang, High-efficiency adsorption and regeneration of methylene blue and aniline onto activated carbon from waste edible fungus residue and its possible mechanism, *RSC Advances*. 10 (2020), 14262–14273. doi:10.1039/d0ra01245a.
- [7] S. Wang, B. Gao, A.R. Zimmerman, Y. Li, L. Ma, W.G. Harris, K.W. Migliaccio, Removal of arsenic by magnetic biochar prepared from pinewood and natural hematite, *Bioresource Technology*. 175 (2015), 391–395. doi:10.1016/J.BIORTECH.2014.10.104.
- [8] A. Spong, P.C. Bhomick, M. Baruah, C. Pongener, U.B. Sinha, D. Sinha, Adsorptive removal of Bisphenol A by biomass activated carbon and insights into the adsorption mechanism through density functional theory calculations, *Sustainable Chemistry and Pharmacy*. 13 (2019), 100159. doi:10.1016/j.scp.2019.100159.
- [9] N.T. Abdel-Ghani, G.A. El-Chaghaby, M.H. El-Ghammal, E.-S.A. Rawash, Optimizing the preparation conditions of activated carbons from olive cake using KOH activation, *New Carbon Materials*. 31 (2016), 492–500. doi:10.1016/S1872-5805(16)60027-6.
- [10] A. Solmaz, Z.A. Sari, M. Karta, T. Turna, A. Yücel, T. Depci, Production and Characterization of Activated Carbon from Pomegranate Peel for Pharmaceutical Waste (Paracetamol) Removal: Response Surface Methodology Application, *Water, Air, and Soil Pollution*. 234 (2023), 1–20. doi:10.1007/S11270-023-06641-W/TABLES/6.
- [11] E. Malkoc, Ni(II) removal from aqueous solutions using cone biomass of *Thuja orientalis*, *Journal of Hazardous Materials*. 137 (2006), 899–908. doi:10.1016/J.JHAZMAT.2006.03.004.
- [12] O. Kazak, Single-step pyrolysis for producing activated carbon from sucrose and its properties for methylene blue removal in aqueous solution, *Environmental Research and Technology*. 4 (2021), 165–175. doi:10.35208/ERT.910576.
- [13] W. Suliman, J.B. Harsh, N.I. Abu-Lail, A.M. Fortuna, I. Dallmeyer, M. Garcia-Perez, Modification of biochar surface by air oxidation: Role of pyrolysis temperature, *Biomass and Bioenergy*. 85 (2016) 1–11. doi:10.1016/j.biombioe.2015.11.030.
- [14] I. Sargin, G. Arslan, M. Kaya, Efficiency of chitosan-algal biomass composite microbeads at heavy metal removal, *Reactive and Functional Polymers*. 98 (2016), 38–47. doi:10.1016/j.reactfunctpolym.2015.11.007.
- [15] L. Li, M. Wu, C. Song, L. Liu, W. Gong, Y. Ding, J. Yao, Efficient removal of cationic dyes via activated carbon with ultrahigh specific surface derived from vinasse wastes, *Bioresource Technology*. 322 (2021), 124540. doi:10.1016/J.BIORTECH.2020.124540.
- [16] B. Xu, Y. Chen, G. Wei, G. Cao, H. Zhang, Y. Yang, Activated carbon with high capacitance

- prepared by NaOH activation for supercapacitors, *Materials Chemistry and Physics*. 124 (2010), 504–509. doi:10.1016/j.matchemphys.2010.07.002.
- [17] L. Muniandy, F. Adam, A.R. Mohamed, E.P. Ng, The synthesis and characterization of high purity mixed microporous/mesoporous activated carbon from rice husk using chemical activation with NaOH and KOH, *Microporous and Mesoporous Materials*. 197 (2014), 316–323. doi:10.1016/j.micromeso.2014.06.020.
- [18] A.L. Cazetta, A.M.M. Vargas, E.M. Nogami, M.H. Kunita, M.R. Guilherme, A.C. Martins, T.L. Silva, J.C.G. Moraes, V.C. Almeida, NaOH-activated carbon of high surface area produced from coconut shell: Kinetics and equilibrium studies from the methylene blue adsorption, *Chemical Engineering Journal*. 174 (2011), 117–125. doi:10.1016/j.cej.2011.08.058.
- [19] E. Unur, Functional nanoporous carbons from hydrothermally treated biomass for environmental purification, *Microporous and Mesoporous Materials*. 168 (2013), 92–101. doi:10.1016/j.micromeso.2012.09.027.
- [20] W.T. Tsai, C.Y. Chang, S.Y. Wang, C.F. Chang, S.F. Chien, H.F. Sun, Preparation of activated carbons from corn cob catalyzed by potassium salts and subsequent gasification with CO₂, *Bioresource Technology*. 78 (2001), 203–208. doi:10.1016/S0960-8524(00)00111-5.
- [21] Ö. Kazak, F. Sungur, Preparation of activated carbon from Thuja Orientalis cone and using for removal reactive blue 49 from water, *Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology B - Theoretical Sciences*. 8 (2020) 281–292. doi:10.20290/estubtdb.651485.
- [22] K. Çetin, K. Şarkaya, B. Kavakcıoğlu Yardımcı, Antifungal activities of copper (II) ion and histidine incorporated polymers on yeast *Saccharomyces cerevisiae*, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*, 5(2) (2023), 267-277. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2023.24>.
- [23] Ö. Kazak, Preparation of activated carbon from natural starch, its characterization and use as an adsorbent, *Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture*. 35 (2020) 115–126. doi:10.21605/cukurovaummfd.764639.
- [24] O. Kazak, A. Tor, In situ preparation of magnetic hydrochar by co-hydrothermal treatment of waste vinasse with red mud and its adsorption property for Pb(II) in aqueous solution, *Journal of Hazardous Materials*. 393 (2020), 122391. doi:10.1016/J.JHAZMAT.2020.122391.
- [25] I. Langmuir, The constitution and fundamental properties of solids and liquids. Part I. Solids, *Journal of the American Chemical Society*. 38 (1916), 2221–2295. doi:10.1021/ja02268a002.
- [26] H. Freundlich, Über die Adsorption in Lösungen, *Zeitschrift Für Physikalische Chemie*. 57U (1907) 385–470. doi:10.1515/ZPCH-1907-5723.
- [27] M.M. Dubinin, L.V. Radushkevich, Equation of the characteristic curve of activated charcoal, *Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR: Physical Chemistry Section*. (1947). doi:10.1017/CBO9781107415324.004.
- [28] M. Ghaedi, F. Karimi, B. Barazesh, R. Sahraei, A. Daneshfar, Removal of Reactive Orange 12 from aqueous solutions by adsorption on tin sulfide nanoparticle loaded on activated carbon, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 19 (2013), 756–763. doi:10.1016/j.jiec.2012.10.010.
- [29] M. Ghaedi, J. Tashkhourian, A.A. Pebdani, B. Sadeghian, F.N. Ana, Equilibrium, kinetic and thermodynamic study of removal of reactive orange 12 on platinum nanoparticle loaded on activated carbon as novel adsorbent, *Korean Journal of Chemical Engineering*. 28 (2011), 2255–2261. doi:10.1007/s11814-011-0142-1.
- [30] N.S. Alsaiari, A. Amari, K.M. Katubi, F.M. Alzahrani, F. Ben Rebah, M.A. Tahoon, The Synthesis of Magnetic Nitrogen-Doped Graphene Oxide Nanocomposite for the Removal of Reactive Orange 12 Dye, *Adsorption Science and Technology*. 2022 (2022). doi:10.1155/2022/9417542.

Şişen Zeminlerin İsrırgan Otu ile İyileştirilmesi

İlyas ÖZKAN^{1*} 

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

Makale Bilgisi

Geliş Tarihi: 02.12.2023
Kabul Tarihi: 03.04.2024
Yayın Tarihi: 31.08.2024

Anahtar Kelimeler:

Şişen zemin,
İsrırgan otu,
Kimyasal katkı,
Stabilizasyon.

ÖZET

Şişen zeminlerin, su içeriklerine göre hacimleri değişmektedir. Şişen zeminler, geoteknik mühendisliği açısından problemleri zeminler olarak kabul edilmektedir. Bu zeminlerde meydana gelen hacim değişiklikleri; kanal, tek katlı ev, yol kaplaması gibi hafif yapılarda hasarlara neden olmaktadır. Bahsi geçen hasarlar, ekonomik açıdan çok ciddi sorun teşkil etmektedir. Şişen zeminlerin üzerine hafif yapılar yapılmadan önce zeminin iyileştirilmesi gerekmektedir. Literatürde bu tip zeminlerin iyileştirilmesi için kimyasal katkı, ön ıslatma, kaldırma-yer değiştirme gibi birçok metot geliştirilmiştir. Kimyasal katkı, bu metotlar içerisinde en çok kullanılan ve en etkili olan metottur. Bu çalışmada, şişen zemin, ısrırgan otu ile iyileştirilmiştir. Organik bir madde olan ısrırgan otu, zemine ilave edildiğinde zamanla numune içinde çürümekte ve akabinde numunenin küflenmesine neden olmaktadır. Bu problemin önüne geçmek için ısrırgan otu, suda kaynatılarak çürümeye neden olan posası ayrıştırılmıştır. Kaynatma işlemi sonucunda ısrırgan otu su elde edilmiştir. Bu karışım, şişen zemin numunelerine ilave edilmiştir. Katkılı numuneler üzerinde elek analizi, hidrometre, kıvam limitleri, serbest şişme deneyi ve tek eksenli basınç deneyi yapılmıştır. Ayrıca katkılı numunelerin katyon değiştirme kapasitesi ve spesifik yüzey alanı gibi parametreler, metilen mavisi deneyi yapılarak araştırılmıştır. Şişen zeminler ve katkılı zeminler üzerinde SEM ve XRD analizleri yapılarak mineralojik yapıdaki değişiklikler gözlemlenmiştir. Yapılan deneysel çalışma sonucunda ısrırgan otunun şişen zeminler üzerindeki etkisi detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Sonuç olarak, ısrırgan otu su karışımı kil parçacıklarının yüzeyini kaplayarak su emme kapasitesini azalmıştır. Böylece şişen kilin serbest şişme potansiyeli, katyon değişim kapasitesi, spesifik yüzey alanı, kıvam limitleri gibi parametreleri düşürülmüştür. Ancak serbest basınç dayanımında çok ciddi bir artış olmamıştır.

Improvement of Expansive Soils with Stinging Nettle

Article Info

Received: 02.12.2023
Accepted: 03.04.2024
Published: 31.08.2024

Keywords:

Expansive soil,
Stringing nettle,
Chemical additive,
Stabilization.

ABSTRACT

The volume of expansive soils varies according to their water content. These soils are considered problematic in geotechnical engineering due to their volume changes, which can damage lightweight structures such as canals, single-story houses, and road pavements. Such damages pose a significant economic issue. Therefore, before constructing lightweight structures on these soils, improvement measures are necessary. Various methods, including chemical additives, pre-wetting, and removal-replacement, have been developed for soil improvement. Among these, chemical additives are the most preferred and effective method. In this study, expansive soil will be improved using stinging nettle. Adding stinging nettle, an organic material, to the soil initially causes it to rot and eventually become moldy within the specimen. To prevent this issue, the stinging nettle was boiled to decompose the pulp that leads to rot, resulting in a mixture of stinging nettle and water. This mixture will be added to the expansive soil specimen. Sieve analysis, hydrometer tests, consistency limits, free swelling tests, and unconfined compression tests were performed on the specimens with this additive. Additionally, soil parameters such as cation exchange capacity and specific surface area were examined through methylene blue tests. Mineralogical structure changes in the expansive soils were observed using SEM and XRD analyses. The experimental study detailed the effects of nettle on expansive soils. The stinging nettle-water mixture coated the clay particles, reducing their water absorption capacity and, consequently, decreasing parameters such as free swelling potential, cation exchange capacity, specific surface area, and consistency limits. However, there was no significant improvement in unconfined compressive strength.

Bu makaleye atıfta bulunmak için:

Özkan, İ. (2024). Şişen Zeminlerin İsrırgan Otu ile İyileştirilmesi. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 211-224. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.44>

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author): İlyas Özkan, ozkan.ilyas@hotmail.com



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Su içeriğine bağlı olarak değişen zeminler, genellikle şişen zeminler olarak adlandırılır. Bu tür zeminlerde su muhtevası arttıkça hacimleri de artar ancak su muhtevası azaldıkça büzülmeleri ve dolayısıyla hacim kayıpları meydana gelir. Bu değişen hacimler nedeniyle şişen zeminler problemlilik olarak kabul edilmektedir. Özellikle yol kaplamaları, kanallar gibi hafif yapılarda şişen zeminlerdeki hacim değişikliklerinden kaynaklı hasarlarla karşılaşılabilir [1].

Şişen zeminler, dünya genelinde yaygın bir şekilde bulunmakta olup, özellikle yarı kurak veya kurak bölgelerde sıkça görülmektedir. Bu tip zeminler, İç Anadolu, Batı Anadolu, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu'nun birçok bölgesinde yaygın bir şekilde bulunmaktadır [2-3].

Şişen zeminlerin sebep olduğu zararlar, deprem, sel, kasırga gibi diğer doğal afetlerin yol açtığı hasarlardan daha maliyetli olabilmektedir. Şişen zeminler üzerine inşa edilen yollar, boru hatları, tek katlı evler gibi hafif yapılar, genellikle çeşitli hasarlara maruz kalmaktadır. Bu hasarlar genellikle hayati tehlike oluşturmasa da, büyük ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Bu nedenle, şişen zeminler genellikle "gizli felaket" olarak adlandırılmaktadır. Ülkemizde de bu tür zeminlerden kaynaklanan hasarlar tespit edilmiş ve belgelenmiştir [4-6].

Şişen zeminlerin stabilize edilmesi için hem iyileştirilmesi hem de nem düzeninin sağlanması gerekmektedir. Bu stabilizasyon işlemleri için birçok farklı metot kullanılmaktadır [3]. Örnek olarak şişen zemini kaldırma ve sağlam zeminle yer değiştirme, ön ıslatma, su içeriği kontrolü ve kimyasal katkı ilavesi ve benzeri metotlar bulunmaktadır. Goud ve ark. (2017) [7], taşıma kapasitesi düşük ve şişme potansiyeli yüksek olan bazı zeminlerin, üst yapı yapımına geçilmeden önce düzeltilmesi gerektiğine dikkat çekmiştir. Kaldırma-değiştirme, mekanik modifikasyon, kimyasal katkılar ve geotekstil kullanımı gibi birçok farklı teknik, alanda başarıyla uygulanmaktadır. Ancak dünya genelinde en çok tercih edilen yöntem, özellikle kireç kullanımını içeren kimyasal katkılar tekniğidir.

Isırgan otu, sapsız karışıklı yerleşmiş yaprakları olan, koyu yeşil renkte ve alt kısmında yakıcı tüyler bulunan bir bitkidir. Bu otun ülkemizde yaygın olarak bulunabilmesi ve düşük maliyeti nedeniyle birçok endüstride kullanılmaktadır. Bitkinin boyu 100 cm'yi aşarken, yaprakları genellikle 10 cm civarındadır. Isırgan otu, yapısında bir dizi kimyasal madde barındırmaktadır. Bunlar arasında yağ asitleri, lektinler, steroller, aminler, asitler ve poliholozitler bulunmaktadır. Bu kimyasal maddeler, bitkinin hem toprak altında hem de toprak üstünde bulunan kısımlarında yer almaktadır. Isırgan otu, içerdiği kimyasal maddeler sayesinde insan vücudu için çeşitli faydalar sunmaktadır. Antiseptik, bakterisid, kan dolaşımını düzenleyici, diüretik, hemostatik ve kas hareketini düzenleyici gibi özelliklere sahip olması, bitkinin sağlık alanında kullanılmasını desteklemektedir. Bu faydalı özellikleri nedeniyle, ısırgan otu kozmetik sektöründe ve fitoterapik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [8].

Isırgan otu lifleri, etkileyici bir gerilme özelliğine sahip oldukları için takviye bileşenleri olarak kompozit malzemelerde kullanılabilirler [9]. Kompozit malzemeler, havacılık, askeri, inşaat, otomotiv ve nano-kompozitler gibi birçok sektörde geniş bir uygulama yelpazesine sahiptir, bu da onları çok yönlü ve tercih edilen malzemeler haline getirmektedir [10-11-12].

Isırgan otu, kolay bulunabilir olması ve maliyet açısından uygun olması nedeniyle farklı sektörlerde kullanılabilir. Bu bitki, ilaç sanayisi, organik kimya sektörü ve tekstil gibi çeşitli alanlarda kullanılan bir malzemedir. Giyim, gıda, orman, tarım ve hayvancılık gibi sektörlerde de tarih boyunca kullanılmıştır [13-14]. Karadeniz bölgesinde ise ısırgan otu, erozyonun önlenmesi ve verimsiz arazilerin değerlendirilmesi için kullanılmaktadır. Bu şekilde ısırgan otundan hem lif hem de hayvan yemi elde edilmektedir [15].

Isırgan otu geniş bir coğrafi dağılıma sahiptir. Bu bitki dünya çapında birçok geleneksel ve tarihi ilaçlarda kullanılmıştır. Bu bitkinin çeşitli kısımları, birçok kültürde geleneksel tedavilerde veya tarihi tıbbi metinlerde, cilt hastalıklarının tedavisi, idrar yolu bozuklukları, solunum hastalıkları, kemik ve eklem ağrısı, anemi ve diğer dolaşım problemleri yanı sıra cilt ve saç bakımı için kozmetik preparatlarda yer almaktadır. Ayrıca tekstil sanayinde boya hammaddesi ve sektörün yan dallarında ilave madde olarak kullanıldığı bilinmektedir [16-17].

Ülkemizde doğal olarak yetişen ve bol miktarda bulunan ısırgan otu, birçok farklı sektörde geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu çalışmada, ısırgan otunun şişen zeminler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Isırgan otu eklenmiş şişen zemin numunelerinin özelliklerindeki değişiklikler, zemin mekaniği laboratuvar deneyleri ile SEM ve XRD gibi analiz yöntemleri kullanılarak detaylı bir şekilde araştırılmıştır.

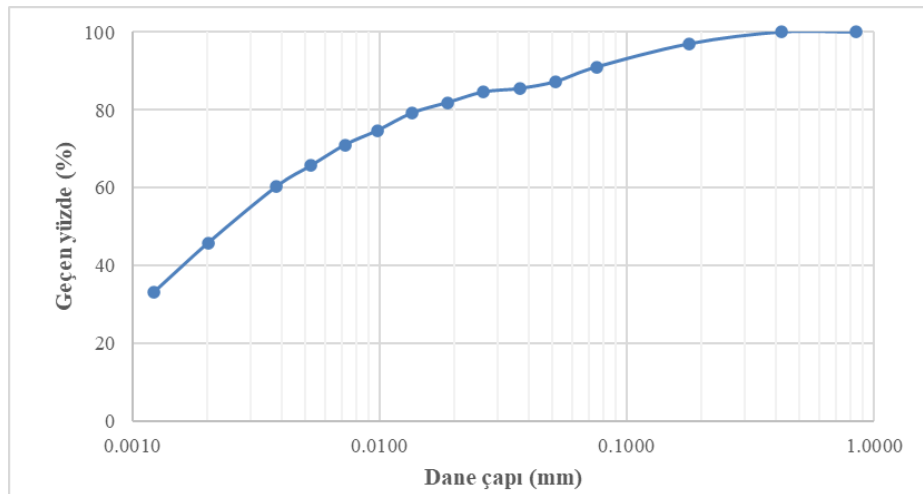
MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

Malzemeler (Materials)

Çalışma kapsamında kullanılan şişen zemin numunesi doğal bir zemin numunesi olmayıp laboratuvar ortamında hazırlanmıştır. Numunenin laboratuvar ortamında hazırlanmasının nedeni, deneyi yapılacak tüm saf şişen zemin numunelerinin aynı özelliklerde olmasını sağlamaktır. Böylece iyileştirme işleminin etkisinin daha net olarak görülmesini sağlamaktır.

Şişen zemin numunesi laboratuvar ortamında, kuru ağırlıkça %85 kaolin ve %15 bentonit oranında karıştırılarak oluşturulmuştur. Numune hazırlama süreci şu adımları içermiştir: İlk olarak kaolin ve bentonit, 40 numaralı elekten eilenmiştir. Ardından elemeden geçirilen malzemeler 105°C sıcaklığındaki etüvde bir gün boyunca kurutulmuştur. Kurutulan malzemeler, bir kap içinde spatula ile karıştırılmıştır. Karıştırma işleminden sonra homojen bir karışım elde edebilmek için numune, kap içinde 30 numaralı elekten iki kez geçirilmiştir. Bu adımlar izlenerek laboratuvar koşullarında standart bir numune elde edilmiş ve böylelikle deney sonuçlarının tutarlı olması sağlanmıştır.

Hazırlanan şişen zemin numunesi, çalışma kapsamında ŞZN kısa adı ile adlandırılmıştır. ŞZN numunesi üzerinde elek analizi ve hidrometre deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler, ASTM D6913 ve ASTM D422 [18] standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, numunenin kil yüzdesi hakkında bilgi sağlamak amacıyla önemlidir. Yapılan deneylerin sonuçlarına göre, ŞZN numunesine ait dane dağılım eğrisi Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1

ŞZN numunesine ait granulometre eğrisi

ŞZN numunesi içindeki kil yüzdesi oranı yaklaşık %46 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, ince dane oranı %91 olarak tespit edilmiştir. Numunenin plastiklik özelliğinin belirlenmesi amacıyla kıvam limitleri deneyleri gerçekleştirilmiştir. ŞZN numunesine ait diğer parametreler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1
ŞZN Numunesine Ait Parametreler

Parametre	Değer	Parametre	Değer
Rötre limit (%)	33.5	Plastisite indisi (%)	74.5
Plastik limit (%)	40.2	Maksimum kuru yoğunluk (g/cm ³)	1.50
Likit Limit (%)	114.7	Optimum su muhtevası (%)	26.3
Kil oranı (%)	46	Aktivite	1.62

ŞZN numunesini iyileştirmek amacı ile çalışmada ısırgan otu kullanılmıştır. Bu malzeme, doğal olarak yetişen ısırgan otlarından elde edilmiştir. ısırgan otları organik bir malzeme olduğundan zemin içinde zamanla çürüme eğilimindedir. Bu otun çürümesi zemin içerisinde küflenmelere neden olabilmektedir. Bu nedenle özünü elde etmek için öncelikle ısırgan otları suda kaynatılmıştır. Kaynatma işleminden sonra çürümeye neden olabilecek ısırgan otu posaları ayrılmıştır.

Çalışma kapsamında üç farklı ısırgan otu özlü su karışımı hazırlanmıştır. Hazırlanan bu ısırgan otu özlü su karışımlarının hazırlanması sırasında kullanılan ağırlıkça oranlar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2
Isırgan Otlı Su Karışım Oranları

Sulu karışımlar	Isırgan otu	Su
%10 ısırgan otlu su	1 birim	10 birim
%20 ısırgan otlu su	2 birim	10 birim
%30 ısırgan otlu su	3 birim	10 birim

Çalışma kapsamında katkılı numunelere, ısırgan otu özlü sulu karışımlar ilave edilmiştir. Katkılı numunelere verilen kısa adlandırmalar, Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo 2
Katkılı Numuneler

Saf numune	Sulu Karışımlar	Numune adı
CH	%10 ısırgan otlu su	ŞZN-%10
CH	%20 ısırgan otlu su	ŞZN-%20
CH	%30 ısırgan otlu su	ŞZN-%30

DeneySEL Çalışmalar (Experimental Works)

DeneySEL çalışma kapsamında şişen zemin numunesine ait parametrelerde meydana gelen değişimleri gözlemlmek için kıvam limitleri deneyi, standart proktor deneyi, serbest şişme deneyi ve tek eksenli basınç deneyleri yapılmıştır.

Şişen zeminlerin en büyük özelliği su muhtevasına göre hacimlerinin değişmesidir. Bu tip zeminlerde hacim değişikliği kapasitesini belirleyen en önemli zemin özelliklerinden bir tanesi plastisite indisidir. Bu yüzden şişen zeminlere ait plastisite indisi değerlerini tespit etmek gerekmektedir. Çalışma kapsamında kıvam limitleri deneyleri ASTM D4318 [19] standardına göre yapılmıştır.

Sahada yapılan iyileştirme çalışmalarında zeminler, maksimum kuru yoğunluk ve optimum su muhtevası değerlerinde yapılmaktadır. Bu iki zemin parametresini bulabilmek için standart proktor deneyi ise ASTM D698 [20] standardı dikkate alınarak yapılmıştır.

Şişen zeminlerde yapılan iyileştirme işlemlerinde öncelikle su muhtevasına göre hacim değişikliği kapasitesinin düşürülmesi gerekmektedir. Bu durumu gözlemlmek için serbest şişme deneyi ise ASTM 4546 [21] standardına göre yapılmıştır.

Zeminlerin dayanımı inşaat mühendisliği yapılarını tasarlarırken önemli bir parametredir. Bu yüzden yapılan iyileştirme işleminde zemin dayanımında meydana gelen değişimler tek eksenli basınç deneyi ile ölçülmüştür. Bu deney ASTM D 2166 [22] standardına göre yapılmıştır.

Killi zeminlerin davranışını belirlemede önemli olan iki fiziksel özellik, iyon değişim kapasitesi ve özgül yüzey alanıdır. Bu özellikleri değerlendirmek için Metilen Mavis Testi yapılmıştır. Bu test, NF P 94-068 [23] standardına göre gerçekteştirilmiştir.

Analizler (Analyses)

Taramalı elektron mikroskopları (SEM), yüksek çözünürlükleri ve büyük büyütme yetenekleri nedeniyle çok küçük ölçekteki nesnelere incelemesi için yaygın olarak kullanılmaktadır. Böylece numune yüzeyindeki topografi ve kompozisyonu hakkında bilgisayar ekranına yansıyan görüntüler üzerinden yorum yapılabilir. Bu analiz yardımı ile katkısız ve katkılı numunelerin mikroskobik ölçekteki farkları araştırılmıştır.

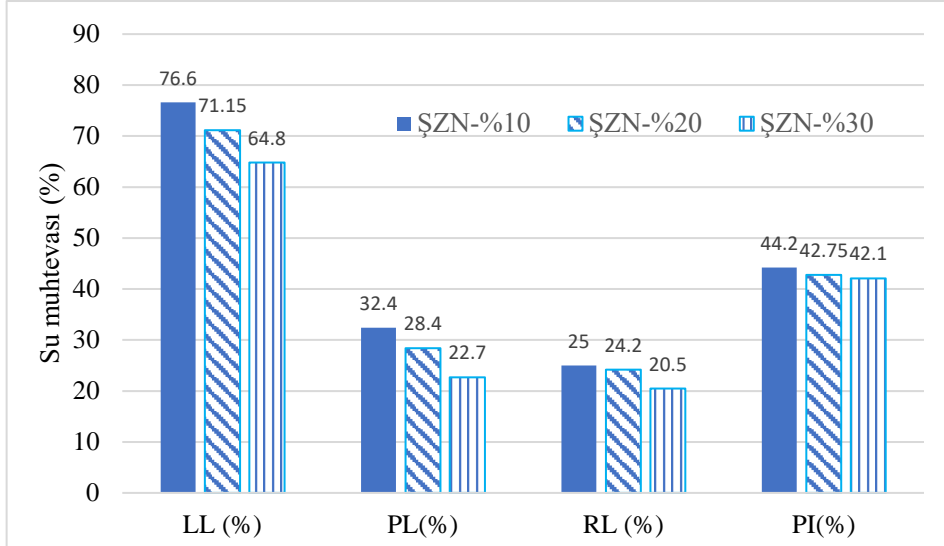
Numunelerin içindeki elementler hakkında bilgi almak için Enerji Dağılımlı X-ışını (EDX) analizleri yapılmıştır. Ayrıca numunelerin içerdeği minerallerin tespit edilmesi için X-ışını Difraktometresi (XRD) analizleri yapılmıştır.

BULGULAR (RESULTS)

Yapılan deneySEL çalışma ve analizler sonucunda elde edilen veriler ilgili başlıklar altında yorumlanarak verilmiştir.

Kıvam Limitleri Deneyleri (Consistency Limits Tests)

Çalışma kapsamında yapılan kıvam limitlerine ait deney Şekil 2’de verilmiştir.

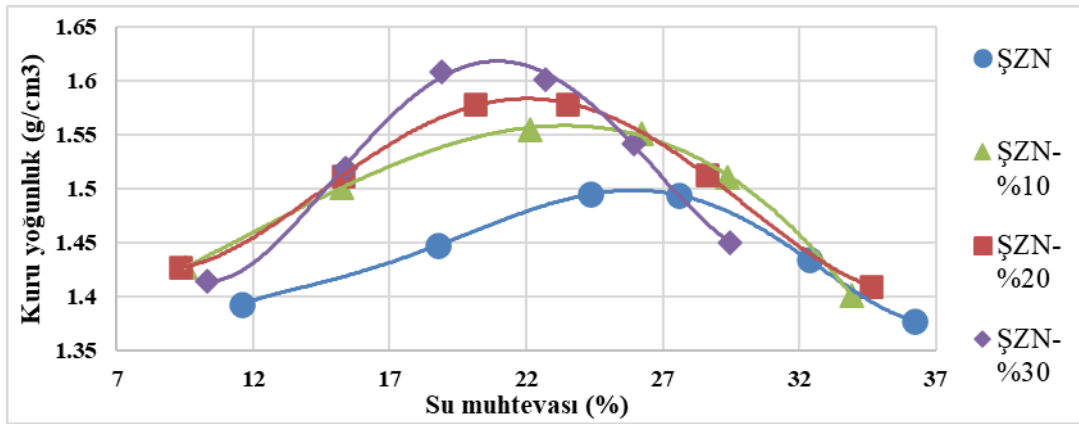


Şekil 2
Kıvam Limitleri

Isırgan otu özlü su karışımı içeren katkılı numuneler, ŞZN numunesine göre daha düşük kıvam limitleri değerlerine sahiptir. Ayrıca ısırgan otu özlü su karışımlarındaki ısırgan otu miktarı arttıkça limit değerlerindeki düşüş giderek artmaktadır. Deney sonuçlarına göre ısırgan otu özlü su karışımları ŞZN numunesinin plastisite indisini azalttığı için plastiklik özelliğini azaltmaktadır. Kıvam limitlerindeki düşüş, özellikle serbest şişme deneyinden elde edilecek olan şişme potansiyeli değerinin azalacağı yönünde ön bir kabul yapılabilir.

Standart Proktor Deneyi (Standard Proctor Test)

Standart proktor deneylerinin sonucunda elde edilen kuru yoğunluk-su muhtevası eğrileri Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3
Kompaksiyon Eğrileri

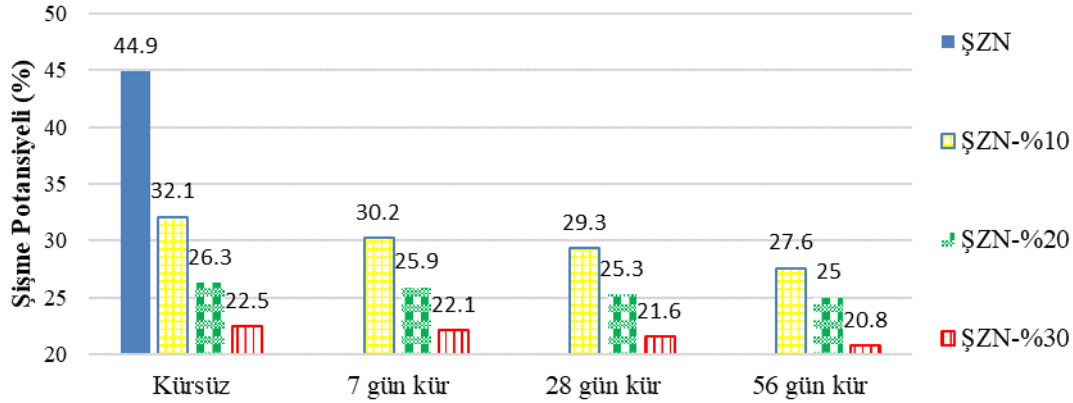
Kompaksiyon eğrilerindeki tepe noktası, ısırgan otu özlü sulu karışım miktarı arttıkça artmaktadır. Şişen zemin numunesi içerisinde bulunan kil parçacıkları, su bileşiklerini absorbe ederek optimum su muhtevası değerini artırmaktadır. Bu çalışmada, hazırlanan katkılı numunelerde kil parçacıkları tarafından absorbe edilen su, saf su yerine ısırgan otu özlü su karışımıdır. Isırgan otu özlü su karışımları, saf suya göre daha yoğun olduğundan kil mineralleri tarafından absorbe edilen su miktarını azaltmaktadır. Katkılı numunelerdeki absorbe edilen su miktarının azalması nedeniyle zemin

tanelerinin miktarı artmıştır. Genel olarak katkılı numunelerin sulu karışımlarındaki ısırgan otu miktarının artmasıyla birlikte maksimum kuru yoğunluk değeri giderek artmakta, optimum su muhtevası değeri ise giderek azalmaktadır.

Serbest basınç ve serbest şişme deneyleri için numuneler, kompaksiyon deneylerinin sonucunda elde edilen maksimum kuru yoğunluk ve optimum su muhtevası değerlerine göre hazırlanmıştır.

Serbest Şişme Deneyi (Free Swell Test)

Serbest şişme deneyi sonucunda şişme potansiyeli değerleri hesaplanmıştır. Şişme potansiyeli, kimyasal katkılı stabilizasyon işlemlerinde kür süresinden etkilenmektedir. Bu yüzden katkılı numuneler 7, 28 ve 56 gün kürde bekletilmiştir. Serbest şişme deneyinde sürşarj basınç olarak 1 kPa uygulanmıştır. Serbest şişme deneyleri sonucunda elde edilen şişme potansiyeli değerleri Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4

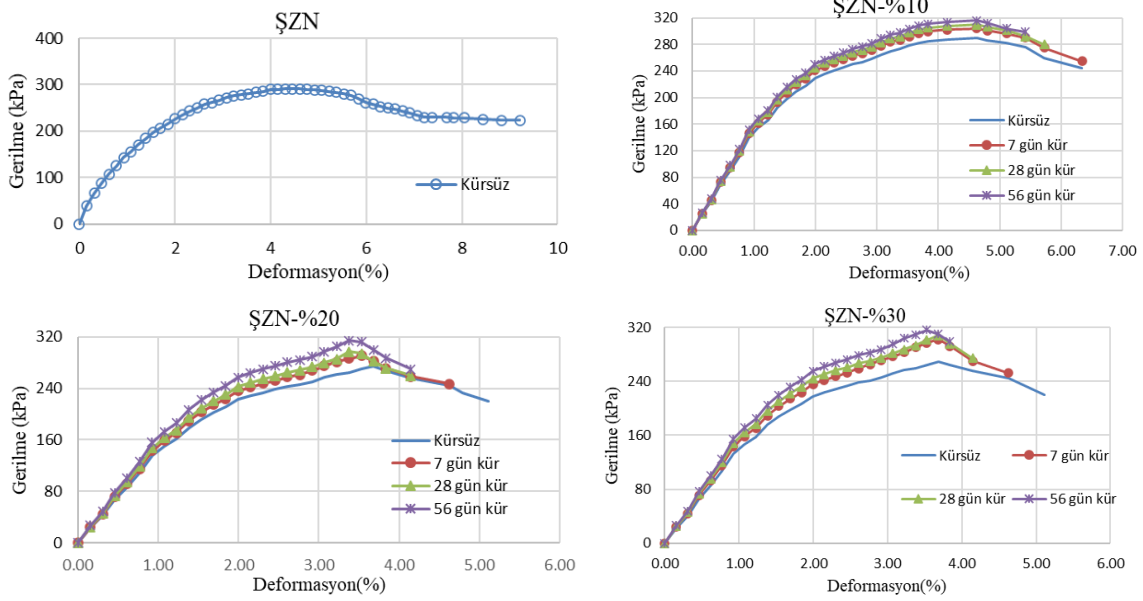
Şişme Potansiyeli Değerleri

Katkılı numunelere ait şişme potansiyeli değerleri, sulu karışımlardaki ısırgan otu oranının ve kür süresinin artmasıyla azalmaktadır. Özellikle ısırgan otu özlü su karışımındaki ısırgan otu miktarının serbest şişme potansiyelini önemli ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir, ancak kür süresinin bu azalmaya çok az katkı sağladığı belirlenmiştir.

Şişme potansiyeli ile killi zeminlerin plastisite indisleri arasında doğrusal bir ilişki tespit edilmiştir. Kıvam limitleri sonuçları incelendiğinde, katkılı numunelerin plastisite indisinde önemli bir azalma olduğu gözlemlenmiştir. Bu azalmaların sonucunda şişme potansiyellerinde düşüşler meydana gelmiştir. Örneğin, 56 gün kür süresi bekletilen ŞZN-%30 numunesine ait şişme potansiyeli %20,8 olarak ölçülmüştür. Bu, ŞZN numunesinin şişme potansiyelini %44,9'dan %20,8'e düşüren bu iyileştirme metodunun etkili olduğunu göstermektedir.

Tek Eksenli Basınç Deneyi (Unconfined Compression Test)

Çalışma kapsamında gerçekleştirilen tek eksenli basınç deneylerinin sonuçlarına göre gerilme-deformasyon grafikleri çizilmiştir (Şekil 7). ŞZN numunesinin 291 kPa serbest basınç mukavemetine sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, ŞZN numunesinin yüksek plastiklik özelliği sayesinde sünek deformasyon sergilediği gözlemlenmiştir (Şekil 5).



Şekil 5
Gerilme-Deformasyon Eğrileri

Katkılı numuneler üzerinde gerçekleştirilen tek eksenli basınç deneylerinden elde edilen gerilme-deformasyon grafikleri, farklı kür sürelerine göre ayrı ayrı sunulmuştur. Bu numuneler üzerindeki sonuçlar incelendiğinde, tek eksenli basınç mukavemetinde önemli bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir. Katkılı numunelerdeki deformasyon kapasitesi, CH numunesinin deformasyon kapasitesine göre düşüş göstermiştir. Ayrıca, kür süresi ile deformasyon özelliklerindeki değişimler belirlenmiştir.

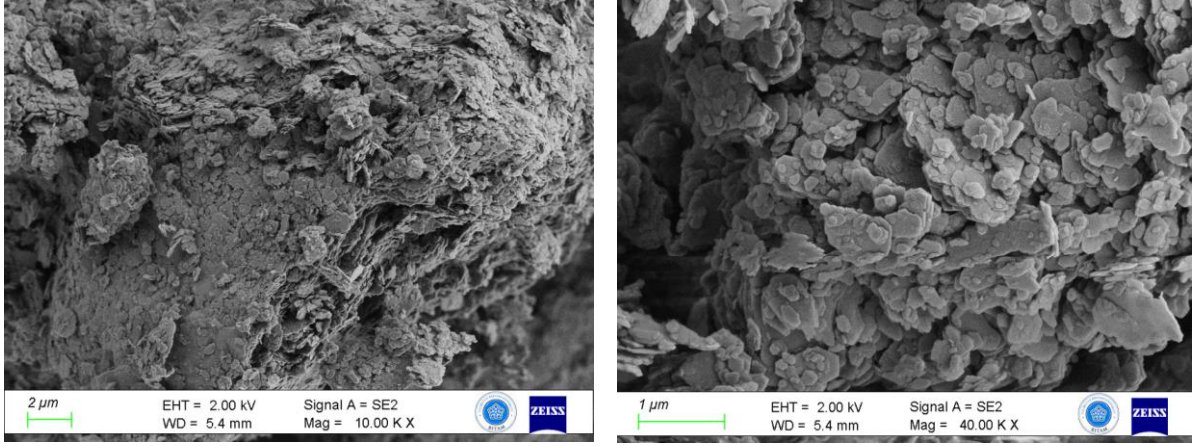
Su emme kapasitesindeki azalma, kil parçacıkları arasındaki kohezyon kuvvetini azaltmıştır. Kohezyon kuvvetindeki bu azalma, serbest basınç mukavemetinde bir düşüşe neden olmuştur. Ayrıca, katkılı numunelerdeki plastisite indisi değerindeki azalma, kıvam limitleri deneyinde doğrudan görülebilmektedir. Kil parçacıklarındaki su emme kapasitesi arttıkça, malzemenin plastisite indisi değeri de artmaktadır. Plastisite indisi yüksek olan killerde, sünek davranış özelliği ve deformasyon kapasitesi artmaktadır. Ancak, su emme kapasitesindeki düşüş, hem sünek davranış özelliğinden uzaklaşılacağı hem de deformasyon kapasitesinin düştüğünü açıkça göstermektedir.

SEM, EDX ve XRD Analizleri (Analyses of SEM, EDX and XRD)

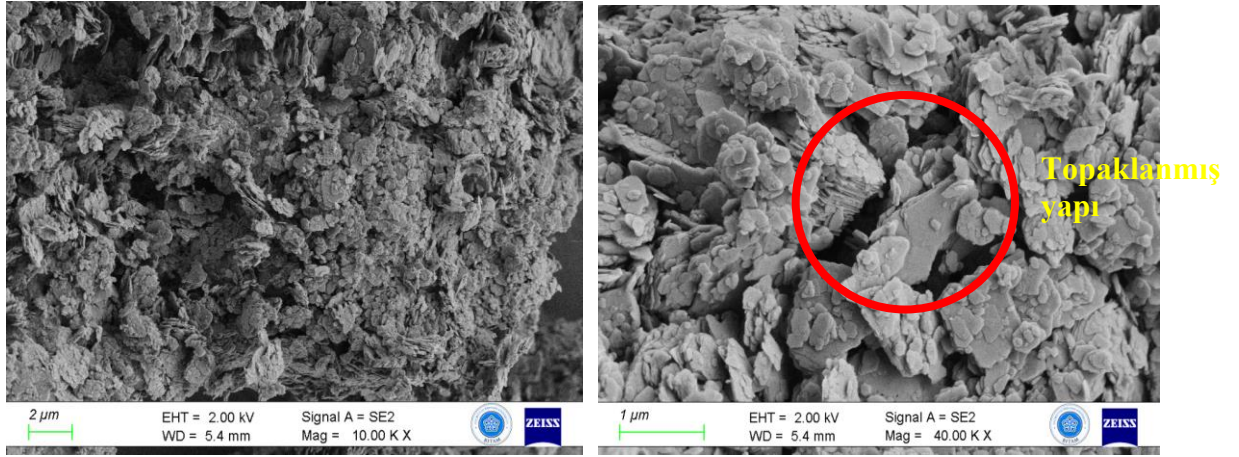
SEM, EDX ve XRD analizleri, tüm numuneler üzerinde yapılmamıştır. Bunun nedeni, serbest şişme ve serbest basınç deneyleri sonuçlarına bağlı olarak kür süresine bağlı ciddi bir artış olmamasıdır. Bu sebeple, bu analizler sadece iki numune üzerinde gerçekleştirilmiştir:

1. ŞZN numunesi
2. Hem serbest şişme hem de serbest basınç deneyleri sonuçlarına göre en iyi sonuçları gösteren, 56 gün kürde bekletilmiş ŞZN-%30 katkılı numune

SEM numuneleri, içerdikleri suyun elektron mikroskopa zarar vermemesi için analizden önce kurutulmuştur. Bu işlemin ardından numuneler altın ve paladyum ile kaplanmıştır. SEM analizlerinden elde edilen görüntüler Şekil 6'da sunulmuştur.



ŞZN numunesi

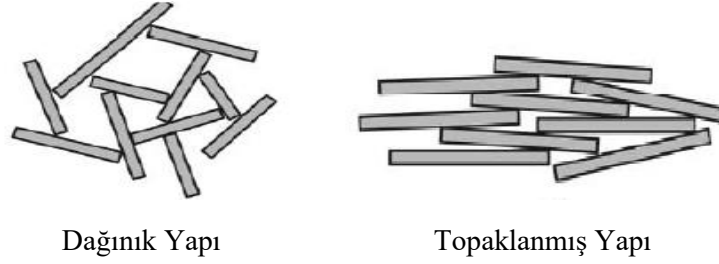


56 gün kürdeki ŞZN-%30 numunesi

Şekil 6 SEM Görüntüleri

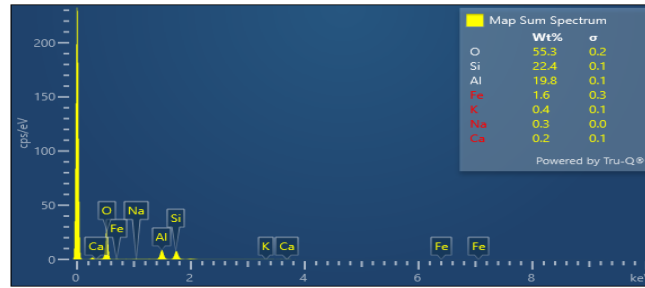
ŞZN numunesini oluşturan iki ana kil minerali kaolin ve bentonittir. Kaolin, dönüşümlü olarak silika ve alümina plakalardan meydana gelir ve bu plakalar çok güçlü bir şekilde bağlıdır. Diğer yandan, bentonit, iki silika plaka ve bir alümina plaka gibi katmanlara sahiptir. Bu katmanlar arasındaki bağlar oldukça zayıf olduğundan, büyük miktarlarda su kolaylıkla yapıya girebilir ve katmanları ayırabilir. ŞZN numunesi ağırlıkça %85 kaolin mineralinden oluştuğu için, SEM görüntülerinde bu plakalı yapı belirgin bir şekilde gözlemlenmektedir.

Kil parçacıklarının numune kütleindeki yönelimi, parçacıklar arasındaki mesafe ve parçacıkların etkileşim biçimini etkileyebilir. Kil parçacıkları, net parçacık kuvveti itici olduğunda oluşan dağınık yapı ve net parçacık kuvveti çekici olduğunda oluşan topaklanmış yapı olmak üzere iki gruba ayrılır (Şekil 7). Dağınık yapıdaki parçacıklar arasındaki boşluk, topaklanmış yapıya göre daha büyük olduğundan, dağınık yapıya sahip kil numuneleri, topaklanmış yapıya sahip kile göre daha fazla şişme kapasitesine sahiptir. Bu durum, dağınık yapıdaki kilin su emme potansiyelinin daha yüksek olduğunu gösterir.

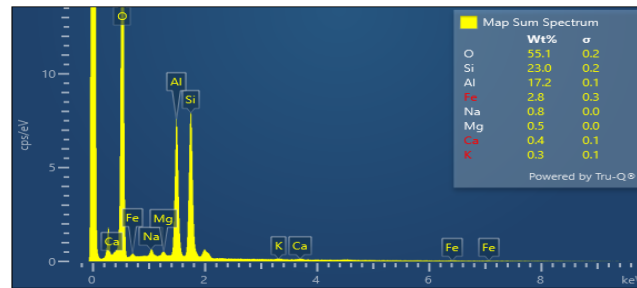


Şekil 7
Kil Parçacıklarının Yapıları

Öte yandan, 56 gün kürde bekletilen ŞZN-%30 numunesinde topaklanmış yapı gözlemlenmiştir. Bu tip yapıya sahip killerin, şişme potansiyellerinin dağınık yapıdaki kilere göre daha düşük olduğu bilinmektedir. Topaklanmış yapıdaki kil, daha sıkı bir şekilde olduğundan, suyun nüfuz etme kapasitesi azalmaktadır. Bu durum şişme potansiyelini düşürür. Bu durum, ŞZN-%30 numunesinin 56 gün boyunca bekletilmesiyle birlikte kilin topaklanmış bir yapı oluşturduğunu ve bu süreçte şişme potansiyelinin azaldığını göstermektedir.



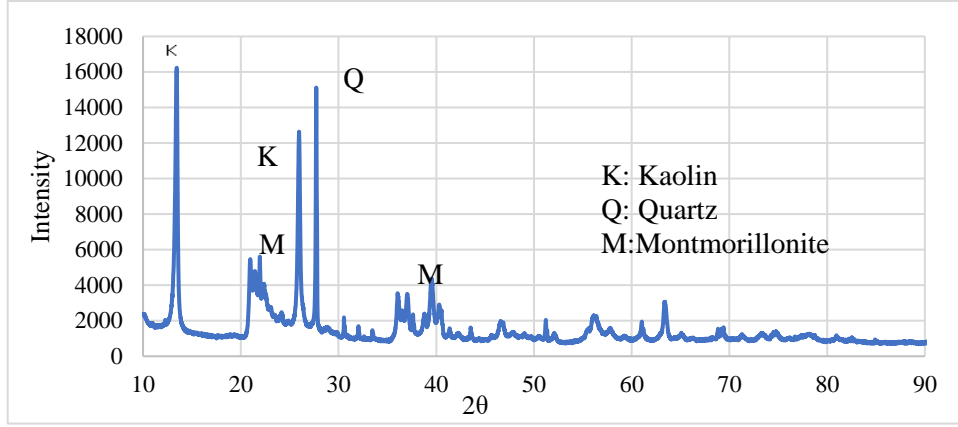
ŞZN numunesi



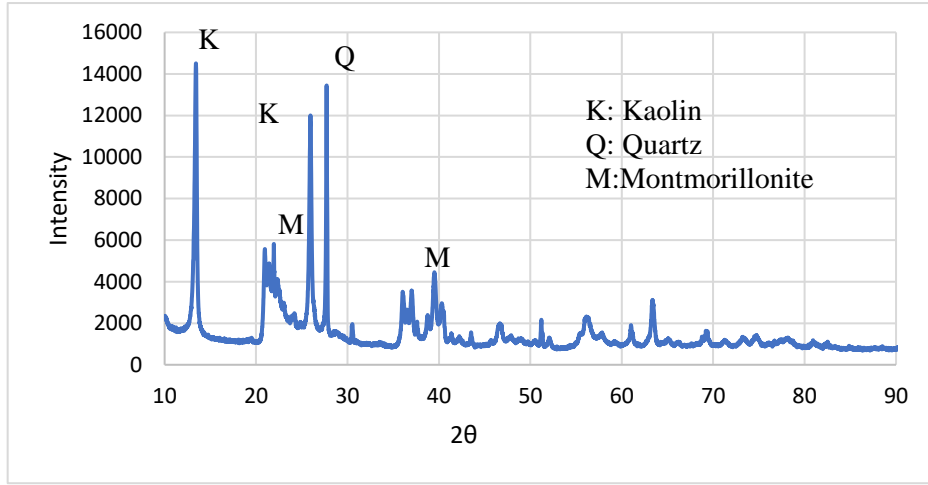
56 gün kürdeki ŞZN-%30 numunesi

Şekil 8
EDX Diyagramları

SEM analizi sırasında elde edilen EDX analizi, numunelerin kimyasal karakterizasyonunu anlamak için kullanılmıştır. Kil mineralleri genellikle tetrahedral (SiO_4) ve oktahedral (Al_2O_3) tabakalardan oluşan iki boyutlu yapılarla karakterizedir. Kaolinit gibi kil mineralleri, tetrahedral ve oktahedral tabakalardan 1:1 oranında oluşan yapılar içerebilirken simektit grubu gibi diğer kil mineralleri, tetrahedral ve oktahedral tabakalardan 2:1 oranında yapılar içerebilir. EDX diyagramları Şekil 8'de verilmiştir.



ŞZN numunesi



56 gün ŞZN-%30

Şekil 8

XRD Diyagramları

EDX diyagramları incelendiğinde;

1. Alüminyum (Al), Silisyum (Si) ve Oksijen (O) gibi temel kil elementlerinin değerlerinde düşüşler meydana gelmiştir.
2. Sodyum (Na), Demir (Fe), Magnezyum (Mg) ve Kalsiyum (Ca) gibi elementlerde artışlar meydana gelmiştir.

Bu sonuçlara göre killerin stabilizasyonu sırasında meydana gelen katyon değişimi işleminin gerçekleştiği görülmektedir. Ayrıca killerdeki katyon değişimi çok kısa sürede gerçekleşmektedir. Böylece kür süresinin etkisiz olması puzolanik reaksiyonların olmadığını da göstermiştir.

XRD, zemin ile ilgili tüm malzemelerin tanımlanmasında kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemde killerin mineralojik tanımlanması açısından kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında yapılan XRD analizleri sonucu elde edilen diyagramlar Şekil 9'de gösterilmiştir. XRD diyagramları incelendiğinde, ŞZN numunesini oluşturan iki ana kil minerali olan kaolin ve bentonit belirgin bir şekilde gözlemlenir. Katkılı numune de bu iki ana mineral görülmekle birlikte, yoğunluklarının düştüğü tespit edilmiştir. Bu durum, iyileştirme işleminin etkisini göstermektedir.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR (DISCUSSION AND CONCLUSIONS)

Şişen zeminlerin ısrırgan otu özlü su karışımları ile iyileştirilmesine dair yapılan çalışma şu sonuçlara ulaşmıştır:

- Isırgan otu özlü su karışımı ile hazırlanan numuneler, ŞZN numunesine göre daha düşük plastik özelliklere sahiptir.
- Katkılı numuneler, daha büyük maksimum kuru yoğunluğa sahip olmasına rağmen, daha düşük su içeriğine sahiptir.
- Serbest basınç mukavemeti değerleri, kürsüz katkılı numunelerde daha düşük çıkarken, kür etkisi ile bu değer giderek artmıştır. Ancak artış miktarı çok küçük boyutlarda kalmıştır, bu da dayanım açısından bu metodun yetersiz olduğunu göstermektedir.
- Serbest şişme potansiyelleri incelendiğinde, kür etkisi ve katkı miktarı arttıkça iyileşme gözlenmiştir. 56 gün sonunda ŞZN-%30 numunesinde iyileştirme oranı yaklaşık olarak %54 seviyelerindedir.
- Katkılı numuneler, kür etkisi ile dağınık yapıdan topaklanmış yapıya doğru bir geçiş gösterir. Bu süreç sonunda serbest şişme potansiyelleri düşmüştür.
- XRD analizlerinde kil minerallerinin yoğunluklarının azaldığı gözlemlenmiştir.

Finansal destek (Funding)

Bu çalışma, Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 221219022 numaralı BAP Projesi ile desteklenmiştir.

Teşekkür (Acknowledgements)

Bu çalışmanın yapılmasında katkılarından dolayı Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Koordinatörlüğüne ve Bilim ve Teknoloji Araştırma ve Uygulama Merkezine teşekkür ederim.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarın bu çalışma için beyan ettikleri herhangi bir çıkar çatışması yoktur. (The author has no conflicts of interest to disclose for this study.).

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SDG)




Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları: 15 Karasal Yaşam

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] M. J. Masia, Y. Z. Totoev, P. W. Kleeman, Modeling expansive soil movements beneath structures. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 130(6) (2004), 572–579. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2004\)130:6\(572\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2004)130:6(572))
- [2] E. Cokca, Swelling potential of expansive soils with a critical appraisal of the identification of swelling of Ankara soils by methylene blue tests, PhD Thesis, *Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara*, 1991.
- [3] J.D.Nelson, K.C. Chao, D.D. Overton, E.J. Nelson, *Foundation Engineering for Expansive Soils*, Wiley, New Jersey, 2015.
- [4] Jr, D. E. Jones., W. G. Holtz, Expansive soils-the hidden disaster. *Civil engineering*, 43(8) (1973).
- [5] Z.A. Erguler, R. Ulusay, Engineering characteristics and environmental impacts of the expansive Ankara clay, and swelling maps for central and SW parts of the Ankara (Turkey) metropolitan area, *Environmental Geology*. 44 (2003), 979-992. <https://doi.org/10.1007/s00254-003-0841>
- [6] P.S. Parhi, L. Garanayak, M. Mahamaya, S.K. Das, Stabilization of an expansive soil using alkali activated fly ash based geopolymer. *In Advances in Characterization and Analysis of Expansive Soils and Rocks*. (2017), 36–50. https://doi.org/10.1007/978-3-319-61931-6_4
- [7] G.N. Goud, A. Hyma, V.S.Chandra, R.S.Rani, Expansive soil stabilization with coir waste and lime for flexible pavement subgrade, *In Proceedings of the International Conference on Recent Advances in Materials, Mechanical and Civil Engineering*, Volume 330 (2018), 012130. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/330/1/012130>
- [8] S. Karakaş, Isırgan Otu Toprak Altı Ve Toprak Üstü Kısımlarından Isırgan Otu Ekstraktının Eldesi ve Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 2003.
- [9] E. Bodros, C. Baley, Study of the tensile properties of stinging nettle fibres (*Urtica dioica*). *Materials Letters*. 62(14) (2008), 2143-2145. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2007.11.034>
- [10] E. Madenci, Fonksiyonel derecelendirilmiş malzeme plakların statik analizinde mikro-mekanik modellerin katkısı, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 5(1) (2023), 23-37.
- [11] İ. Akın, E. Zor, H. Bingöl, GO@Fe₃O₄ katkılı polimerik kompozit membranların hazırlanması ve karakterizasyonu, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 5(2), (2023), 38-52. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2023.8>
- [12] M. Uyaner, A. Yar, Nano elyaf takviyeli nanokompozit üretimi ve karakterizasyonu, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 1(1) (2019), 10-19.
- [13] C. Çırak, K. Kevseroğlu, Kantaron bitkisinin eski çağlardan günümüze kullanım şekilleri ile modern tıptaki yeri ve önemi, *OMÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*. 19 (2004), 74-84.
- [14] A. Ayan, Ö. Çalışkan, ve C. Çırak, Isırganotu (*Urtica Spp.*)'nun ekonomik önemi ve tarımı, *ANAJAS*. 21(3), (2006), 357–363. <https://doi.org/10.7161/anajas.2006.21.3.357-363>.
- [15] M. L. Leporatti, L. Corradi, Ethnopharmacobotanical remarks on the province of Chieti town (Abruzzo, Central Italy), *Journal of Ethnopharmacology*. 74(1) (2001), 17-40. [https://doi.org/10.1016/s0378-8741\(00\)00325-1](https://doi.org/10.1016/s0378-8741(00)00325-1)
- [16] Y. Özbey, Isırgan otu lifiyle elde edilmiş tekstillerde görsellik, Doktora Tezi, *Marmara Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü*, İstanbul. 2013.
- [17] F. Harrison, J. Furner-Pardoe, E.Connelly, An assessment of the evidence for antibacterial activity of stinging nettle (*Urtica dioica*) extracts, *Access Microbiology*. 4(3) (2022), 000336. <https://doi.org/10.1099/acmi.0.000336>

- [18] ASTM Standard, D422, Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. *ASTM International*, (2007), West Conshohocken, PA.
- [19] ASTM Standard, D4318, Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of Soils. *ASTM International*, (2017), West Conshohocken, PA.
- [20] ASTM, D 698, Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort. Annual Book of ASTM Standards, *American Society for Testing and Materials*, (2006), West Conshohocken, PA.
- [21] ASTM Standard, D4546, Standard Test Methods for One- Dimensional Swell or Collapse of Soils. *ASTM International*, (2014). West Conshohocken, PA.
- [22] ASTM, D2166, Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil, *ASTM International*, (2016), West Conshohocken, PA.
- [23] NF, P. 94–068, Soils: Investigation and testing–measuring of the methylene blue adsorption capacity of a rock soil–determination of the methylene blue of a soil by means of the stain test, *Association Française de Normalisation*. (1998).

Kentsel Atıksularda Bazı Antibiyotik (Metronidazole, Ornidazole) ve Antifungal (Fluconazole) Farmasötiklerin Varlığı ve Risk Değerlendirmesi

Senar AYDIN¹  Arzu ULVİ^{1*}  Mehmet Emin AYDIN² 

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Konya Türkiye

² Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya Türkiye

Makale Bilgisi

ÖZET

Geliş Tarihi: 15.01.2024
Kabul Tarihi: 05.04.2024
Yayın Tarihi: 31.08.2024

Anahtar Kelimeler:

Antibiyotik,
Antifungal,
Farmasötik,
Atıksu.

Bu çalışmada Konya kenti kanalizasyon sisteminden ve Konya Kentsel Atıksu Arıtma Tesisinden alınan atıksu numunelerinde metronidazole ve ornidazole antibiyotikleri ve fluconazole antifungal farmasötığının varlığı araştırılmıştır. Atıksu arıtma tesisi çıkış atıksuyunda tespit edilen konsantrasyonlar ve PNEC değerleri ile risk oranı (RQ) hesaplanarak ekolojik risk ve antimikrobiyal farmasötik direnci oluşumuna karşı risk hesaplanmıştır. Kanalizasyon sisteminden alınan numunelerde metronidazole <dl-2234 ng/L, ornidazole <dl-91.84 ng/L, fluconazole <dl-13.76 ng/L konsantrasyonlarında tespit edilmiştir. Metronidazole bileşiği en sık tespit edilen farmasötik bileşiği olmuştur. Atıksu arıtma tesisinde araştırılan farmasötikler giriş atıksusunda <dl-16.63 ng/L, çıkış atıksuyunda 34.58-95.35 ng/L olarak tespit edilmiştir. Farmasötiklerin alıcı ortam için önemsiz risk oluşturduğu, antimikrobiyal farmasötik direnci oluşumuna karşı orta risk oluşturduğu tespit edilmiştir. Özellikle 2019 yılında pandemi ile birlikte dünya çapında farmasötik tüketimi artmıştır. Farmasötikler tüketildikten sonra ana formda veya metabolitleri şeklinde vücuttan atılmaktadır. Atıksulardaki başlıca farmasötik kaynakları insanlar tarafından kullanılan farmasötiklerin insan vücudundan atılması ile oluşmaktadır. Ülkemizde 2013 yılından itibaren reçetesiz antibiyotik satışı yasaklanmıştır. Antifungal ilaçlar ise reçeteli veya reçetesiz temin edilebilmektedir. Bilinçsiz farmasötik tüketiminin önüne geçilmeli, mevcut atıksu arıtma tesisleri farmasötikleri de giderecek şekilde arıtım üniteleri ile modifiye edilmelidir.

Presence of Some Antibiotic (Metronidazole, Ornidazole) and Antifungal (Fluconazole) Pharmaceuticals in Urban Wastewater and Risk Assessment

Article Info

ABSTRACT

Received: 15.01.2024
Accepted: 05.04.2024
Published: 31.08.2024

Keywords:

Antibiotic,
Antifungal,
Pharmaceuticals,
Wastewater.

In this study, metronidazole and ornidazole compounds, which are antibiotic pharmaceuticals, and fluconazole compounds, which are antifungal pharmaceuticals, were investigated in wastewater samples taken from the Konya city sewage system and Konya Urban Wastewater Treatment Plant. Ecological risk and risk against the formation of antimicrobial pharmaceutical resistance were calculated with the concentrations in the wastewater treatment plant effluent and PNEC values. In samples taken from the sewage system, metronidazole compound was detected at concentrations <dl-2234 ng/L, ornidazole compound was detected at concentrations <dl-91.84 ng/L, and fluconazole compound was detected at concentrations <dl-13.76 ng/L. The metronidazole was the most frequently detected pharmaceutical compound. Pharmaceuticals in the wastewater treatment plant were detected as <dl-16.63 ng/L in the influent wastewater and 34.58-95.35 ng/L in the effluent wastewater. It has been determined that pharmaceuticals pose insignificant risk to the receiving environment, and they pose a medium risk against the formation of antimicrobial pharmaceutical resistance. Especially in 2019, pharmaceutical consumption increased worldwide with the pandemic. After consumption, pharmaceuticals are excreted from the body in their parent form or as transformation products. The main pharmaceutical sources in wastewater are formed by excretion from the human body. The sale of antibiotics without a prescription has been banned in our country since 2013. Antifungal drugs can be obtained with or without a prescription. Unconscious consumption of pharmaceuticals should be prevented, and especially in points where pharmaceutical consumption is high, such as hospitals and health centers, wastewater should be discharged to the sewer after pre-treatment.

To cite this article:

Aydın, S., Ulvi, A. & Aydın, M.E. (2024). Kentsel Atıksularda Bazı Antibiyotik (Metronidazole, Ornidazole) ve Antifungal (Fluconazole) Farmasötiklerin Varlığı ve Risk Değerlendirmesi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 225-236. . <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.45>

*Sorumlu Yazar: Arzu Ulvi, atekinay@erbakan.edu.tr



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kişisel bakım ürünleri, farmasötikler, pestisitler, endokrin bozucu kimyasallar, plastikleştiriciler, gıda katkı maddeleri, pestisitler, dezenfeksiyon yan ürünleri gibi endişe verici kirleticiler karasal ve sucul ekosistemlerde tespit edilmektedirler [1]. İnsanlar ve hayvanlar hastalıkları kontrol etmek, yaşam kalitesini iyileştirmek için farmasötikleri sıklıkla tüketirler ve farmasötikler sağlıklı bir hayat için kritik öneme sahiptir [2]. Farmasötikler antidepresanlar, antiviral ilaçlar, hormonlar, antidiyabetik ilaçlar, anestezipler, yasa dışı ilaçlar, antibiyotikler ve bunların metabolitleri gibi farklı gruplardan oluşmaktadırlar. Korona virüs pandemisi 17 Kasım 2019 tarihinde Çin'in Wuhan şehrinde ortaya çıkmıştır. Ülkemizde de etkisini gösteren pandemide en yüksek ölüm vakaları Nisan 2021 yılında meydana gelmiştir [3]. Pandemi ile birlikte dünya genelinde farmasötik tüketimi artmıştır. Su ortamlarında tespit edilmeleri ve sulardaki organizmalar üzerine olumsuz etki oluşturmaları nedeni ile son yıllarda farmasötiklere olan ilgi artmıştır. Su ortamlarında düşük konsantrasyonlarda olmalarına rağmen farmasötiklerin hedef olmayan organizmalara ve insan sağlığına yönelik olumsuz riskleri doğrulanmıştır [4]. Farmasötikler çeşitli yollarla sucul çevrelere ulaşmaktadırlar. Hastane ve atıksu arıtma tesislerinden gelen atıksular, kentsel yüzeysel akış ve tarımsal yüzeysel akış sularındaki farmasötiklerin kaynaklarıdır [4]. Arıtılmış veya arıtılmamış atıksu deşarjları farmasötiklerin çevresel ortamlara ulaşmasının başlıca yoludur [5]. Yapılan çok sayıda çalışma da farmasötikler atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkış suyunda tespit edilmiştir [6, 7, 8].

Antibiyotikler tıpta, veterinerlikte ve su ürünleri yetiştiriciliğinde enfeksiyonların tedavisinde sıklıkla kullanılan bir ilaç grubudur. Farmasötiklerin yaklaşık %15'ini antibiyotikler oluşturmaktadır. Antibiyotikler, çevrede antibiyotik direncini tetiklediği için özel ilgi gören bir farmasötik gruptur. Dünya çapında yıllık 100 ile 200 ton arasında antibiyotik tüketimi olduğu tahmin edilmektedir. Atıksularda, yüzey sularında, içme sularında, topraklarda, su ürünleri üretim alanlarında yüksek konsantrasyonlarda antibiyotik tespit edilmiştir [9, 10]. Antibiyotik gruplarından nitroimidazoller bakteri ve protozoaların neden olduğu bulaşıcı hastalıkların tedavisinde yaygın olarak kullanılırlar. Suda yüksek çözünürlüğe ve yüksek toksisiteye sahiptirler, düşük biyobozunurluk gösterirler. Atıksu arıtma tesislerinde mg/L'ye varan konsantrasyonlarda tespit edilmişlerdir. Metronidazole, ornidazole farmasötikleri nitroimidazole grubu antibiyotiklerdendir [10, 11]. Metronidazole, parazitler, mikroaerofilik bakteriler ve anaerobik bakterilerle ilişkili hastalıkların tedavisinde kullanılmaktadır ve kümes hayvanları ve balık yemlerine de eklenmektedir [12]. Metronidazole yüksek fizikokimyasal stabiliteye ve yavaş biyokimyasal reaktiviteye sahiptir ve ekosistem sağlığı için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır [13]. Ornidazole cerrahi işlemler sonrası hastane enfeksiyonlara karşı kullanılan ayrıca kümes hayvanı endüstrisinde de enfeksiyonlara karşı kullanılan bir antibiyotiktir [14]. Dünya çapında 2022 yılında 10000 tonun üzerinde nitroimidazole üretildiği tahmin edilmektedir [15]. Azol antifungal farmasötikler insan ve hayvanlarda mantar enfeksiyonu tedavisinde yaygın olarak kullanılan bir farmasötik grubudur [1]. Tarımda fungusit pestisit olarak da kullanımları mevcuttur [16]. Çevresel ortamlarda kalıcılıkları yüksektir, hayvanlarda endokrin bozulması, bitkilerde büyüme geriliği gibi toksik etkiler gösterirler. Azol antifungallerin artan kullanımları farmasötiklere dirençli mantar türlerinin gelişmesine yol açmaktadır [1]. Antifungal farmasötiklerin çoğunlukla reçetesiz satılması dünya çapında kullanımının artmasına sebep olmuştur [16].

Bu çalışmada nitroimidazol grubu antibiyotiklerden olan metronidazole, ornidazole farmasötikleri, azol antifungal olan fluconazole farmasötüğü Konya kenti kanalizasyon sisteminden alınan atıksu numunelerinde ve Konya Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi giriş ve çıkışından alınan atıksu numunelerinde araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar literatür ile kıyaslanarak değerlendirilmiştir. Alg, *Daphnia magna* ve balık için risk oranı (risk quotient, RQ) değerleri hesaplanarak ekolojik risk değerlendirmesi yapılmıştır. Ayrıca araştırılan bileşikler antimikrobiyal farmasötik sınıfına girdiği için antimikrobiyal farmasötik direnci oluşumuna karşı risk değerlendirilmesi yapılmıştır.

MATERYAL VE METOD (MATERIALS AND METHODS)

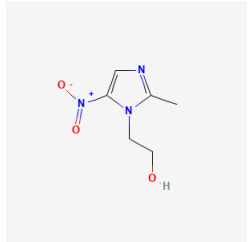
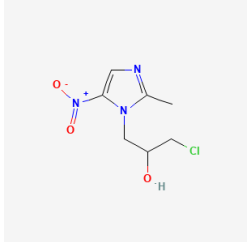
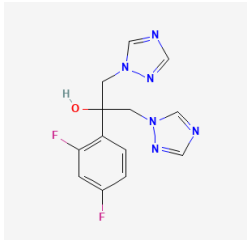
Materyal

Çalışmada incelenen farmasötik bileşiklerine ait standartlar Fluka'dan temin edilmiştir. Analizlerde kullanılan metanol, asetonitril, hidroklorik asit (%37), formik asit (%98), Na₂EDTA analitik saflıkta Merck'ten temin edilmiştir. 1.2 µm gözenek çapına sahip cam fiber filtre Whatman'dan, 0.45 µm nylon membran filtre Sartorius'dan, Oasis HLB (Hydrophilic Lypophilic) kartuşu (60 mg, 3 mL) Waters Corporation'dan temin edilmiştir.

Çalışmada incelenen atıksu numuneleri Konya kenti kanalizasyon sisteminden şehri temsil edecek şekilde 23 farklı noktadan ve Konya kentsel atıksu arıtma tesisinin giriş ve çıkışından 8 defa alınmıştır. Kanalizasyon sisteminden alınan numuneler 2 saatlik kompozit numune olarak, atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkışından alınan numuneler 24 saatlik kompozit numune olarak alınmıştır.

Atıksu numunelerde araştırılan antibiyotik bileşikleri (metronidazole, ornidazole) ve antifungal bileşiğinin (fluconazole) fizikokimyasal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1
Farmasötiklerin Fizikokimyasal Özellikleri [17,18]

Farmasötikler	Molekül ağırlığı (g/mol)	Çözünürlük (Su, 25 °C, mg/L)	log Kow	Kimyasal yapı
Metronidazole	171.15	11000	-0.02	
Ornidazole	219.62	4329	0.67	
Fluconazole	306.27	335.5	0.255	

Farmasötiklerin Tespiti

Analizler için 200 mL atıksu numunesi kullanılmıştır. Numuneler önce 1.2 µm gözenek çapına

sahip cam fiber filtreden sonra 0.45 µm gözenek çapına sahip nylon membran filtreden süzülmüştür. Atıksuda bulunan katyonlara farmasötik bileşiklerin bağlanmasını azalttığı için numunelere ağırlıkça %0.1 olacak şekilde Na₂EDTA eklenmiştir. Farmasötiklerin ekstraksiyonu katı faz ekstraksiyon yöntemi ile Oasis HLB kartuş kullanılarak gerçekleştirilmiştir. 5 mL metanol ve 5 mL deiyonize su ile şartlandırılan kartuştan 1 mL/dk akış hızında numuneler geçirilmiştir. 5 mL deiyonize su ile yıkanan kartuş 5 dakika boyunca hava geçirilerek kurutulmuştur. Farmasötik bileşiklerin elüsyonu 1 mL/dk akış hızında 4x2.5 mL metanol ile gerçekleştirilmiştir. Evaporatör ve azot gazı ile elüsyonlar 1 mL'ye azaltılarak viallere alınmıştır. Sabit faz analitik kolon olarak Agilent Poroshell 120 EC-C18 (3.0x100 mm, 2.7µm) kolon kullanılan Agilent marka sıvı kromatografi kütle spektrometre dedektör (liquid chromatography/tandem-mass spectrometry, LC/MS/MS) sistemi ile farmasötik bileşiklerin kantitatif analizleri gerçekleştirilmiştir. LC-MS/MS sistemi ile elde edilen LOD (dedeksiyon limiti) değerleri metronidazole için 0.067 ng/L, ornidazole için 0.028 ng/L, fluconazole için 0.028 ng/L, LOQ (kantifikasyon limiti) değerleri metronidazole için 0.225 ng/L, ornidazole için 0.094 ng/L, fluconazole için 0.095 ng/L, R² değerleri ise 0.993-0.999 aralığında elde edilmiştir.

Risk Değerlendirmesi

Atıksu arıtma tesisi çıkış suyunda tespit edilen farmasötik konsantrasyonları için alg, *Daphnia magna* ve balık akuatik organizmaları için ekolojik risk değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Ekolojik risk değerlendirmesi Aydın ve diğ., [6]'a göre yapılmıştır. Ekolojik risk değerlendirmesinde risk oranı (Risk quotient; RQ) yöntemi kullanılmıştır. Metronidazole ve Fluconazole antibiyotikleri için PNEC değerleri Tablo 2'de verilmiştir. RQ hesaplarında kronik veri mevcut olmadığında, PNEC değerleri EC₅₀ (Effective concentration for 50% of test organism) ve AF (Assessment factor, 1000) ile hesaplanmaktadır [19]. Ornidazole farmasötiği için PNEC değeri mevcut olmadığından, EC₅₀ değerleri ile PNEC değeri hesaplanarak risk değerlendirilmesi yapılmıştır. PNEC değerleri Eşitlik (1) kullanılarak hesaplanmıştır. Ornidazole farmasötiği için EC₅₀ değerleri Alg için 2.04 mg/L, *Daphnia magna* için 38.4 mg/L, balık için 79.1 mg/L olarak alınmıştır [20]. RQ değerleri Eşitlik (2) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$PNEC = EC_{50}/AF \quad \text{Eşitlik (1)}$$

$$RQ = MEC/PNEC \quad \text{Eşitlik (2)}$$

Burada;

PNEC: Tahmin edilen etkisiz konsantrasyon (Predicted no-effect concentration)

EC₅₀: Test organizmasının %50'sini etkileyen konsantrasyon (Effective concentration for 50% of test organism)

AF: Değerlendirme faktörü (Assessment factor, 1000)

MEC: Ölçülen çevresel konsantrasyon (Measured environmental concentration)

Çevresel ortamların antimikrobialer tarafından kirlenmesinin endişe verici yanlarından biri mikroorganizmaların antimikrobiyal farmasötiklere karşı direnç geliştirmeleridir [1]. Bu çalışmada ayrıca metronidazole ve fluconazole antibiyotiklerinin farmasötik direnci oluşumuna karşı risk değerlendirmesi de gerçekleştirilmiştir. Mikroorganizmaların antimikrobiyal farmasötik direnci oluşumuna karşı risk değerlendirmesi de RQ kullanılarak hesaplanmıştır. Ancak bu sefer kullanılan PNEC değerleri, farmasötik direnci gelişmesine yol açmayacağı tahmin edilen etkisiz konsantrasyonu ifade etmektedir.

Alıcı ortam için ekolojik risk hesaplanan RQ değerlerine göre; RQ<0.1 önemsiz risk, 0.1<RQ<1 düşük risk, 1<RQ<10 orta risk, RQ>10 yüksek risk (olumsuz etki) olarak değerlendirildi [6]. Antimikrobiyal farmasötik direnci oluşumuna karşı risk RQ≥1 yüksek risk, 0.1≤RQ<1 orta risk,

$0.01 \leq RQ < 0.1$ düşük risk olarak değerlendirildi [21].

Tablo 2
Risk Değerlendirmesinde Kullanılan PNEC Değerleri (ng/L)

Farmasötikler	Tür	PNEC	PNEC	Kaynaklar
		(ekolojik risk)	(direnc riski)	
Metronidazole	Alg	39100	125	[5, 22]
	<i>Daphnia magna</i>	>1000000		
	Balık	898000		
Fluconazole	Alg	306000	250	[22, 23, 24, 25]
	<i>Daphnia magna</i>	1560000		
	Balık	30600		
Ornidazole	Alg	4360	-	[19, 20]
	<i>Daphnia magna</i>	90900		
	Balık	245000		

BULGULAR

Atıksularda Tespit Edilen Farmasötik Konsantrasyonları

Konya kenti kanalizasyon sisteminden alınan atıksularda tespit edilen farmasötik konsantrasyonları Tablo 3'te verilmiştir. Tablo 3 incelendiğinde metronidazole <dl-2234 ng/L aralığında, ornidazole bileşiği <dl-91.84 ng/L aralığında, fluconazole bileşiği <dl-13.76 ng/L aralığında tespit edilmiştir. Numune noktalarında toplam farmasötik konsantrasyonları ise 5.76-2234 ng/L aralığında tespit edilmiştir. Metronidazole numunelerin %86.9'unda, ornidazole numunelerin %56.5'inde, fluconazole numunelerin %47.8'inde tespit edilmiştir. En yüksek konsantrasyon ve sıklıkta tespit edilen farmasötik bileşiği metronidazole olmuştur.

Hastane kanalizasyon sistemi, evsel kanalizasyon sistemi, atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkışından alınan numunelerde farmasötikler araştırılmıştır. Metronidazole bileşiği hastane kanalizasyon sistemi, evsel kanalizasyon sistemi, atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkışında sırası ile 480-16000 ng/L, <200-1100 ng/L, <200-390 ng/L, 64-220 ng/L konsantrasyonlarda tespit edilmiştir [26]. Casado ve diğ., [27] çevresel ortamlarda bazı farmasötik bileşiklerini araştırmışlardır. Fluconazole bileşiğini ham atıksuda 20-93 ng/L aralığında, arıtılmış atıksuda 16-95 ng/L aralığında tespit etmişlerdir. Arıtılmış atıksu ve nehir suyu örneklerinde tespit edilen en baskın bileşiğin fluconazole olduğu belirtilmiştir.

Tablo 3*Konya Kenti Kanalizasyon Sisteminden Alınan Atıksularda Tespit Edilen Konsantrasyonlar (ng/L)*

No	Numune	Farmasötik bileşikler			Toplam konsantrasyon
		Metronidazole	Ornidazole	Fluconazole	
1		167.7	4.07	<dl	171.7
2		47.28	<dl	3.320	50.60
3		149.1	<dl	12.14	161.2
4		59.49	<dl	<dl	59.48
5		124.8	<dl	<dl	124.8
6		24.93	91.84	<dl	116.8
7		<dl	80.79	<dl	80.79
8		12.42	<dl	<dl	12,42
9		48.64	<dl	<dl	48.64
10		2234	<dl	<dl	2234
11		<dl	10.61	<dl	10.61
12		79.85	12.56	<dl	92.41
13		43.46	5.850	0.380	49.69
14		643.2	19.58	13.76	676.5
15		179.6	16.91	7.840	204.4
16		158.9	25.79	0.950	185.6
17		81.31	12.20	<dl	93.51
18		318.6	46.54	<dl	365.2
19		10.79	<dl	9.150	19.94
20		23.71	<dl	0.350	24.06
21		<dl	<dl	5.760	5.762
22		703.3	18.10	1.290	722.6
23		17.48	18.52	9.170	45.17

<dl: dedeksiyon limitinin altında

Tablo 4’te bu çalışmada ve literatür çalışmalarında atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkış suyunda tespit edilen farmasötik konsantrasyonları verilmiştir. Çalışmada giriş atıksuyunda farmasötikler <dl-16.63 ng/L aralığında, çıkış suyunda ise 34.84-95.35 ng/L aralığında tespit edilmiştir. Bu sonuçlar literatürde tespit edilen konsantrasyonlar ile benzerlik göstermemektedir. Çevresel ortamlarda tespit edilen farmasötik konsantrasyonları ilaç tüketim alışkanlıklarına, sağlık sistemine, nüfus ve nüfus yaşına, mevsime göre değişiklik gösterebilmektedir.

Konya Kentsel Atıksu Arıtma Tesisi 1,600,000 kişilik nüfus için tasarlanmıştır. Tesis ızgaralar, kum tutucu ve ön çökeltim havuzu, azot ve fosfor giderimini de içeren aktif çamur prosesi, son çökeltim havuzu ve ultraviyole dezenfeksiyon ünitelerini içermektedir. Giriş atıksuyuna kıyasla çıkış atıksuyunda daha yüksek konsantrasyonlarda farmasötiklerin tespit edilmesi, aktif çamurdan veya askıda katı maddeden farmasötik desorpsiyonu, giriş suyunda bulunan metabolitlerin orijinal bileşiğe dönüşmesi, mevsimsel değişimler, örnekleme ve analitik belirsizlikler sebebi ile olabilmektedir [28]. Bu çalışmada araştırılan bileşikler atıksu arıtma tesisi çıkış suyunda giriş suyuna göre daha yüksek konsantrasyonda tespit edilmiştir. Atıksu arıtma tesislerinde farmasötiklerin araştırıldığı literatür incelendiğinde benzer sonuçların rapor edilmiştir [28, 30, 31]. Çin’de atıksu arıtma tesislerinde antifungal farmasötikler araştırılmıştır. Fluconazole dışındaki antifungal farmasötiklerin önemli ölçüde giderildiği, ancak fluconazole bileşiğinin büyük oranda çıkış atıksuyunda kaldığı rapor edilmiştir [29].

Tablo 4

Konvansiyonel Atıksu Artıma Tesislerinde Tespit Edilen Konsantrasyonlar (ng/L)

Farmasötik bileşik	AAT giriş	AAT çıkış	Kaynak
Metronidazole	324.0	371.9	[28]
	nd-26.0	21.0	[5]
	16.63 (<dl-38.03)	71.68 (17.51-157.85)	Bu çalışma
Ornidazole	8.0	5.6	[28]
	nd	nd	[5]
	<dl	34.58 (24.76-61.94)	Bu çalışma
Fluconazole	646.2 (yaz)	671.0 (yaz)	[1]
	969.0 (kış)	952.4 (kış)	
	119.2 (ilkbahar)	3341.8 (ilkbahar)	
	9959.0 (yaz)	309.9 (yaz)	[1]
	734.2 (kış)	926.6 (kış)	
	180.9 (ilkbahar)	408.9 (ilkbahar)	
	522.2 (yaz)	773.1 (yaz)	[1]
	3077 (kış)	1098 (kış)	
	425.9 (ilkbahar)	772.4 (ilkbahar)	
	22-170	50-139	[29]
4.21 (0.62-11.28)	95.35 (33.05-220.8)	Bu çalışma	

Risk Değerlendirmesi

Tablo 5'te çıkış atıksuyu için hesaplanan RQ değerleri verilmiştir. Metronidazole ve fluconazole bileşikleri için alıcı ortamda bulunan üç trofik seviyeyi temsil etmek üzere alg, *Daphnia magna*, balık için ekolojik risk hesaplanmıştır. Metronidazole ve fluconazole bileşikleri için antimikrobiyal farmasötik direnci oluşumuna karşı risk hesaplanmıştır.

Tablo 5

Çıkış Atıksuyu için Hesaplanan RQ Değerleri (Yeşil: Önemsiz risk; Sarı: Orta risk)

Farmasötik	Tür	RQ (ekolojik risk)	RQ (direnc riski)
Metronidazole	Alg	0.0018	0.57
	<i>Daphnia magna</i>	0.00007	
	Balık	0.00008	
Fluconazole	Alg	0.00031	0.38
	<i>Daphnia magna</i>	0.00006	
	Balık	0.00311	
Ornidazole	Alg	0.00793	
	<i>Daphnia magna</i>	0.00038	
	Balık	0.00014	

Tablo 5 incelendiğinde metronidazole, fluconazole ve ornidazole bileşiklerinin için alıcı ortamda

önemsiz risk oluşturduğu görülmektedir. Antimikrobiyal farmasötik direnci oluşumuna karşı metronidazole ve fluconazole antibiyotiklerinin orta risk oluşturduğu görülmektedir. Farmasötikler çevresel ortamlarda ng/L-µg/L konsantrasyonlarında bulunmaktadır. Düşük konsantrasyonlarda tespit edilen farmasötikler önemsiz risk göstermektedir. Ancak farmasötikler canlıları etkileyebilen aktif bileşiklerdir ve kronik etkilere sebep olabilirler.

Assress ve diğ. [1] azol antifungal ilaçların su ve atıksulardaki varlığını araştırmış ve risk değerlendirmesi yapmışlardır. Atıksu arıtma tesisleri ve içme suyu arıtma tesisinden alınan giriş ve çıkış suyu numunelerinde 8 adet azol antifungal farmasötiği araştırmışlardır. Fluconazole araştırılan numunelerin %96'sında tespit edilmiştir ve en yüksek konsantrasyonda tespit edilen azol antifungal farmasötik olmuştur. Fluconazole 3 akuatik organizma (alg, *daphnia magna*, balık) için bir numune de orta risk gösterirken diğer numunelerde düşük risk göstermiştir. Fluconazole bileşiği için antimikrobiyal direnç oluşturma riski yüksek ve orta derecede tespit edilmiştir. Biel-Maeso ve diğ. [5] atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkış suyunda tespit ettikleri metronidazole konsantrasyonları ile risk hesaplamışlar ve düşük risk tespit etmişlerdir. Wu ve diğ. [32] atıksu arıtma tesisi çıkış suyunda fluconazole bileşiği için önemsiz, hastane atıksuyunda fluconazole bileşiği için orta risk tespit etmişlerdir.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR (DISCUSSION AND CONCLUSIONS)

Bu çalışma da sıklıkla kullanılan antibiyotikler ve antifungal farmasötik bileşiği kanalizasyon sisteminden ve atıksu arıtma tesisi giriş ve çıkışından alınan atıksu numunelerinde araştırılmıştır. Metronidazole, ornidazole ve fluconazole farmasötiklerinin numuneler de tespit edilme sıklığı sırası ile %86.9, 56.5, %47.8 olarak belirlenmiştir. Toplam farmasötik konsantrasyonları ise 5.76-2234 ng/L aralığında tespit edilmiştir. Farmasötik bileşikler atıksu arıtma tesisinde negatif giderim göstermişlerdir. Tesiste arıtılmadan çıkış atıksuyu ile alıcı ortama farmasötiklerin deşarj edildiği tespit edilmiştir. Ekolojik risk ve antimikrobiyal direnç riski belirlenmiştir. Farmasötiklerin alıcı ortam için önemsiz risk oluşturduğu ve orta derecede direnç riski oluşturduğu belirlenmiştir. Farmasötikler hedef olmayan canlıları etkileyebilir, zamanla çevresel ortamlarda birikim gösterebilirler. Önemsiz risk tespit edilmesine rağmen farmasötik bileşiklerin diğer kirletici guruplar ile birlikte bulunduğu, bütün kirleticilerin sinerjik etki gösterebileceği unutulmamalıdır. Bilinçsiz ilaç tüketiminin önlenmesi için uygulamalar yapılmalıdır. Farmasötik çevresel ortamlardaki en önemli kaynağı olan atıksu deşarjları kontrol edilmeli, farmasötik bileşiklerin arıtılması için tesisler modifiye edilmelidir.

Yazar Katkıları (Authors Credit)

Araştırma Tasarımı (CRediT 1) Arzu Ulvi (%34) – Senar Aydın (%33) – Mehmet Emin Aydın (%33)

Veri Toplama (CRediT 2) Arzu Ulvi (%34) – Senar Aydın (%33) – Mehmet Emin Aydın (%33)

Araştırma - Veri Analizi - Doğrulama (CRediT 3-4-6-11) Arzu Ulvi (%34) – Senar Aydın (%33) – Mehmet Emin Aydın (%33)

Makalenin Yazımı (CRediT 12-13) Arzu Ulvi (%34) – Senar Aydın (%33) – Mehmet Emin Aydın (%33)

Metnin Tashihi ve Geliştirilmesi (CRediT 14) Arzu Ulvi (%34) – Senar Aydın (%33) – Mehmet Emin Aydın (%33)

Finansman (Funding)

Bu çalışma için herhangi bir destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması (Conflict of interest)

Yazarların bu çalışma için beyan ettikleri herhangi bir çıkar çatışması yoktur. (The authors have no conflicts of interest to disclose for this study.).

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SDG)

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları: 6 Temiz Su ve Sanitasyon

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] H.A. Assress, H. Nyoni, B. B. Mamba, T.A.M. Msagati, Occurrence and risk assessment of azole antifungal drugs in water and Wastewater, *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 187 (2020), 109868. doi: 10.1016/j.ecoenv.2019.109868.
- [2] S.K. Ram, H., Panidepu, V. Cheernam, R.D. Tyagi, Pharmaceutical metabolites and their by-products in hospital wastewater, *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering*. (2020), 43–78. doi:10.1016/b978-0-12-819722-6.00002-x.
- [3] F. Bahadır, F.S. Balık, H.S. Yalçınkaya, The impact of covid-19 on the financial structure of the construction industry in Turkey, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 5(2) (2023), 173-188. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2023.17>.
- [4] M. Chen, Y. Hong, X. Jin, C. Guo, X. Zhao, N. Liu, H. Lu, Y. Liu, J. Xu, Ranking the risks of eighty pharmaceuticals in surface water of a megacity: A multilevel optimization strategy, *Science of The Total Environment*. 878 (2023), 163184. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.163184.
- [5] M. Biel-Maeso, R. M. Baena-Nogueras, C. Corada-Fernández, P. A. Lara-Martín, Occurrence, distribution and environmental risk of pharmaceutically active compounds (PhACs) in coastal and ocean waters from the Gulf of Cadiz (SW Spain), *Science of The Total Environment*. 612 (2018), 649-659. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.279.
- [6] S. Aydin, M. E. Aydin, A. Ulvi, H. Kilic, Antibiotics in hospital effluents: occurrence, contribution to urban wastewater, removal in a wastewater treatment plant, and environmental risk assessment, *Environmental Science and Pollution Research*. (2019), 26:544–558. doi.org/10.1007/s11356-018-3563-0.
- [7] J.L. Santos, I. Aparicio, M. Callejon, E. Alonso, Occurrence of pharmaceutically active compounds during 1-year period in wastewaters from four wastewater treatment plants in Seville (Spain), *Journal of Hazardous Materials*. 164 (2009), 1509-1516. doi: 10.1016/j.jhazmat.2008.09.073.
- [8] S. Castiglioni, R. Bagnati, R. Fanelli, F. Pomati, D. Calamari, E. Zuccato, Removal of pharmaceuticals in sewage treatment plants in Italy, *Environmental Science & Technology*. 40 (2006), 357-363. doi: 10.1021/es050991m.
- [9] R. Davarnejad, Z. Rostami Hassanvand, S. Mansoori, J. F. Kennedy, Metronidazole elimination from wastewater through photo-Fenton process using green-synthesized alginate-based hydrogel coated bimetallic iron-copper nanocomposite beads as a reusable heterogeneous catalyst, *Bioresource Technology Reports*. 18 (2022), 101068. doi: 10.1016/j.biteb.2022.101068.
- [10] E. Asgari, A. Sheikhmohammadi, J. Yeganeh, Application of the Fe₃O₄-chitosan nano-adsorbent for the adsorption of metronidazole from wastewater: Optimization, kinetic, thermodynamic and equilibrium studies, *International Journal of Biological Macromolecules*. 164 (2020), 694–706. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.07.188.
- [11] M. Sánchez-Polo, J. Rivera-Utrilla, G. Prados-Joya, R. Ocampo-Pérez, Metronidazole photodegradation in aqueous solution by using photosensitizers and hydrogen peroxide, *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*. 87 (8) (2012), 1202–1208. doi: 10.1002/jctb.3750.
- [12] Y. Pan, X. Li, K. Fu, H. Deng, J. Shi, Degradation of metronidazole by UV/ chlorine treatment: efficiency, mechanism, pathways and DBPs formation, *Chemosphere*. 224, (2019), 228–236. doi: 10.1016/j.chemosphere.2019.02.081.
- [13] R. Zhou, F. Liu, X. Du, C. Zhang, C. Yang, N.-A. Offiong, Y. Bi, W. Zeng, H. Ren, Removal of metronidazole from wastewater by electrocoagulation with chloride ions electrolyte: The role of reactive chlorine species and process optimization, *Separation and Purification Technology*. 290, (2022), 100799. doi: 10.1016/j.seppur.2022.120799.
- [14] F. Tamtam, F. Mercier, B. Le Bot, J. Eurin, Q. Tuc Dinh, M. Clément, M. Chevreuil, Occurrence and fate of antibiotics in the Seine River in various hydrological conditions, *Science of The Total*

- Environment*. 393 (2008), 84-95. doi: 10.1016/j.scitotenv.2007.12.009.
- [15] J. Zeng, S. Xu, K. Lin, S. Yao, B. Yang, Z. Peng, T. Hao, X. Yu, T. Zhu, F. Jiang, J. Sun, Long-term stable and efficient degradation of ornidazole with minimized by-product formation by a biological sulfidogenic process based on elemental sulfur, *Water Research*. 249 (2024), 120940. doi: 10.1016/j.watres.2023.120940.
- [16] M. Wroński, J. Trawiński, R. Skibiński, Antifungal drugs in the aquatic environment: A review on sources, occurrence, toxicity, health effects, removal strategies and future challenges, *Journal of Hazardous Materials*. 465 (2024), 133167. doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.133167.
- [17] ChemSpider, Search and Share Chemistry, (2023). <https://www.chemspider.com/>. (erişim 10 Aralık 203).
- [18] PubChem, National Library of Medicine, (2023). <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>. (erişim 10 Aralık 203).
- [19] J. Vestel, D. J. Caldwell, L. Constantine, V. J. D'Aco, T. Davidson, D. G. Dolan, S. P. Millard, R. Murray-Smith, N. J. Parke, J. J. Ryan, J. O. Straub, P. Wilson, Use of acute and chronic ecotoxicity data in environmental risk assessment of pharmaceuticals. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 35(5) (2016), 1201-12. doi/10.1002/etc.3260.
- [20] J. Yao, Y. Tang, Y. Zhang, M. Ruan, W. Wu, J. Sun, New theoretical investigation of mechanism, kinetics, and toxicity in the degradation of dimetridazole and ornidazole by hydroxyl radicals in aqueous phase, *Journal of Hazardous Materials*. 422 (2022), 126930. doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126930.
- [21] N. Hanna, P. Sun, Q. Sun, X. Li, X. Yang, X. Ji, H. Zou, J. Ottoson, L. E Nilsson, B. Berglund, O. James Dyar, A.J Tamhankar, C. Stålsby Lundborg, Presence of antibiotic residues in various environmental compartments of Shandong province in eastern China: its potential for resistance development and ecological and human risk, *Environment International*. 114 (2018), 131–142. doi: 10.1016/j.envint.2018.02.003.
- [22] J. Bengtsson-Palme, D.G. J. Larsson, Concentrations of antibiotics predicted to select for resistant bacteria: Proposed limits for environmental regulation, *Environment International*. 86 (2016), 140-149. doi: 10.1016/j.envint.2015.10.015.
- [23] Z.F. Chen, G.-G. Ying, Y.X. Jiang, B. Yang, H.-J. Lai, Y.-S. Liu, C.-G. Pan, F.-Q. Peng, Photodegradation of the azole fungicide fluconazole in aqueous solution under UV-254: Kinetics, mechanistic investigations and toxicity evaluation, *Water research*, 2014. 52 (2014) 83-91. doi: 10.1016/j.watres.2013.12.039.
- [24] A. Coors, P. Vollmar, F. Sacher, A. Thoma, Joint effects of pharmaceuticals and chemicals regulated under REACH in wastewater treatment plant effluents—Evaluating concepts for a risk assessment by means of experimental scenarios, *Environmental Research of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety*. (2016), 126.
- [25] A.L. Gustafson, D.B. Stedman, J. Ball, J.M. Hillegass, A. Flood, C.X. Zhang, J. Panzica Kelly, J. Cao, A. Coburn, B.P. Enright, M.B. Tornesi, M. Hetheridge, K.A. Augustine-Rauch Inter-laboratory assessment of a harmonized zebrafish developmental toxicology assay—Progress report on phase I. *Reproductive Toxicology*. 33(2) (2012), 155-164. doi: 10.1016/j.reprotox.2011.12.004.
- [26] L. Äystö, N. Vieno, P. Fjäder, J. Mehtonen, T. Nysté, Hospitals and households as primary emission sources for risk-posing pharmaceuticals in municipal wastewater, *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 262 (2023), 115149. doi: 10.1016/j.ecoenv.2023.115149.
- [27] J. Casado, I. Rodríguez, M. Ramil, R. Cela, Selective determination of antimycotic drugs in environmental water samples by mixed-mode solid-phase extraction and liquid chromatography quadrupole time-of-flight mass spectrometry, *Journal of Chromatography A*1339. (2014), 42–49. doi: 10.1016/j.chroma.2014.02.087.

- [28] J.José Rueda-Márquez, J. Moreno-Andrés, A. Rey, C. Corada-Fernández, A. Mikola, M. A. Manzano, I. Levchuk, Post-treatment of real municipal wastewater effluents by means of granular activated carbon (GAC) based catalytic processes: A focus on abatement of pharmaceutically active compounds, *Water Research*. 192 (2021), 116833. doi: 10.1016/j.watres.2021.116833.
- [29] X. Peng, Q. Huang, K. Zhang, Y. Yu, Z. Wang, C. Wang, Distribution, behavior and fate of azole antifungals during mechanical, biological, and chemical treatments in sewage treatment plants in China, *Science of The Total Environment*. 426 (2012), 311-317. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.03.067.
- [30] Q. Sun, M. Lv, A. Hu, X. Yang, C.-P. Yu, Seasonal variation in the occurrence and removal of pharmaceuticals and personal care products in a wastewater treatment plant in Xiamen, China, *Journal of Hazardous Materials*. 277 (2014), 69-75, doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.11.056.
- [31] E. Villar-Navarro, R. M. Baena-Nogueras, M. Paniw, J.A. Perales, P.A. Lara-Martín, Removal of pharmaceuticals in urban wastewater: High rate algae pond (HRAP) based technologies as an alternative to activated sludge based processes, *Water Research*. 139 (2018), 19-29. doi.org/10.1016/j.watres.2018.03.072.
- [32] H. Wu, L. Bin, P. Guo, Y. Zhao, C. Chen, Z. Chen, B. Tang, Ecological risk assessment of the typical anti-epidemic drugs in the Pearl River Delta by tracing their source and residual characteristics, *Journal of Hazardous Materials*. 463 (2024), 132914. doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.132914.

Klonal Seçim Algoritması ile Kompakt Flüoresan Lambalarda Elektrik ve Manyetik Alan İncelenmesi

İlhan KOŞALAY^{1*}  Yeliz TANIŞ¹ 

¹ Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

Makale Bilgisi

ÖZET

Geliş Tarihi: 27.02.2024
Kabul Tarihi: 17.04.2024
Yayın Tarihi: 31.08.2024

Anahtar Kelimeler:

Klonal Seçim Algoritması,
Kompakt Floresan,
En Küçük Kareler Yöntemi.

Çalışmada, laboratuvar koşullarında oluşturulan bir deney ortamında dikey y eksenı boyunca 10'ar cm'lik aralıklarla belirli noktalarda kompakt floresan lambaların elektrik alan (EA) ve manyetik alan (MA) ölçümleri yapılmış ve 50-900 MHz frekans aralığında Kompakt flüoresan lambaların (KFL) davranışları incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre, KFL'lerden yayılan radyo frekanslı elektromanyetik alanın insan sağlığına olan etkisi ICNIRP standartlarına göre karşılaştırılmış ve ICNIRP'nin belirlediği maruziyet sınırlarının çok altında olduğu görülmüştür. Deneylerde elde edilen veriler, Yapay Bağışıklık Sistemi'nin bir dalı olan Klonal Seçim Algoritması'nda (KSA) kullanılmış ve ölçüm yapılmayan noktalardaki EA ve MA değerleri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Algoritma sonucu elde edilen tahmini verilerin doğruluğu, En Küçük Kareler Yöntemi'ni baz alan farklı bir hata mekanizması aracılığıyla incelenmiş ve kullanılan yöntemin doğruluğunu ispatlamak için sağlanması yapılmıştır. KSA kullanılarak yapılan hesaplamalar sonucunda memnun edici sonuçlara ulaşılmıştır.

Examination of Electric & Magnetic Field in Compact Fluorescent via Clonal Selection Algorithm

Article Info

ABSTRACT

Received: 27.02.2024
Accepted: 17.04.2024
Published: 31.08.2024

Keywords:

Clonal Selection Algorithm,
Compact Fluorescence,
Least Squares Method.

In this study, the measurements of electric field (EF) and magnetic field (MF) emitted by compact fluorescent lamps (CFLs) are performed in 11 measurement points with 10 cm intervals through y axis to examine treatment of CFLs for 50-900 MHz in an anechoic chamber. According to the results of the experiments, the effect of radio frequency (RF) electromagnetic field (EMF) emitted by CFLs on human health was compared to ICNIRP (1998) standards and it was observed that the results of experiments are below the exposure limit values determined by ICNIRP. Empirical data are used in the Clonal Selection Algorithm (CSA), a branch of the Artificial Immune System, as input data and the values of EA and MA at the points not measured are estimated. The accuracy of the estimated data obtained as a result of the CSA is verified by a new error mechanism based on the Least Squares Method (LSM) and valid of this method is also checked. The calculation of CSA shows satisfactory results.

To cite this article:

Koşalay, İ. & Tanış, Y. (2024). Klonal Seçim Algoritması ile Kompakt Flüoresan Lambalarda Elektrik ve Manyetik Alan İncelenmesi. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 237-254. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.46>

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: İlhan Koşalay, ikosalay@ankara.edu.tr



GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yapay elektromanyetik alan günlük hayatta kullandığımız elektronik cihazlarla hayatımıza girmiştir. Elektromanyetik alan çevreye ve insan sağlığına etkileri açısından incelendiğinde iyonize olan elektromanyetik alan ve iyonize olmayan elektromanyetik alan olarak ikiye ayrılır. İyonize olmayan elektromanyetik alan ICNIRP (1998) tanımına göre; elektromanyetik yelpaze aralığında maddede iyonlaşma açısından yetersiz enerjili tüm ışımaya ve alanlar olarak gösterilmiştir. İyonlaştırıcı etkisi mevcut olmayan ışımada, foton başına düşen enerji; 12 eV ' dan daha aşağıda, dalga boyu 100 nm ' den daha yüksek seviyede ve frekansı $3 \times 10^{15} \text{ Hz}$ ' den daha düşüktür.

Günlük hayatımızda kullandığımız elektronik cihazlardan biri olan kompakt flüoresan lambalar (KFL)'da iyonize olmayan radyasyon yayan cihazlardandır ve süper düşük frekans (SLF) - çok yüksek frekans (VHF) aralığında elektromanyetik alan yaymaktadır. KFL'lerden yayılan elektrik alan ve manyetik alanla ilgili pek çok deneysel çalışma yapılmış olsa da şimdiye kadar yapılan çalışmalar içerisinde çok yüksek frekans (VHF) - ultra yüksek frekans (UHF) bandı arasında KFL'lerden yayılan elektromanyetik alanla ilgili bir çalışma bulunmamaktadır. Bu kapsamda daha önce yapılan önemli deneysel çalışmalar incelenerek; 50-900 MHz aralığında KFL'lerden yayılan elektrik alan ve manyetik alanın ölçümü yapılarak sonuçlar incelenmiştir. Deneysel dışarıdan sinyal geçirmeyen, anechoic, bir ortamda, 50-300 MHz, 300-600 MHz, 601-900 MHz frekans aralığında, Aaronia firmasının, HF-6060 V4 tipi, 10 MHz- 6 Ghz frekans aralığında ölçüm yapan ölçüm cihazı ile yapılmış, deneyde 8, 15, 30, 50 ve 73 W değerinde KFL'ler kullanılmıştır. Ölçümler düşey ekseninde, lambadan itibaren 10'ar cm aralıklarla 11 noktada yapılmıştır. Makale kapsamında 73 W değerindeki KFL' de yapılan elektrik alan ve manyetik alan ölçümleri göz önünde bulundurulmuştur.

KFL'lerden elde edilen deneysel veriler sezgisel bir optimizasyon yöntemi olan Yapay Bağışıklık Sistemi (YBS) 'nin bir parçası olan Klonal Seçim Algoritması (KSA)'nda kullanılarak, deneyde ölçüm yapılmayan noktalardaki değerler tahmin edilmiştir. Tahminler en küçük kareler yöntemi kullanarak ölçüm değerleri ile karşılaştırılmış ve kayda değer hata miktarları elde edilmiştir. Simülasyonlar, MATLAB ve Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir [1].

MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

İlk Veri Toplama Aracı

Kompakt flüoresan lambaların elektrik alan ve manyetik alan ölçümleri Ankara Üniversitesi Gölbaşı Kampüsü'nde bulunan Elektrikli Ev Aletleri Ölçme ve Değerlendirme Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Ölçüm yapılan oda, dışarıdan elektromanyetik alan geçirmeyen (anechoic chamber) bir laboratuvardır bu sebeple; deneyde kullanılan kompakt flüoresan lambalardan yayılan ışınım haricinde ölçüm üzerinde söz sahibi herhangi ışımaya kaynağı bulunmamaktadır. Şekil 1'de deneylerin yapıldığı laboratuvarın girişi görülmektedir. Deneyde kullanılan kompakt flüoresan lambalar Şekil 2'de gösterilmiştir. Düzenlenen deneyin nihai düzeneği ise Şekil 3'teki gibidir.



Şekil 1
Deneyin Yapıldığı Yer



Güç Değeri	8W	15W	30W	50W	73W
Marka	Zenit	CVS	Star	Philips	Philips

Şekil 2
Deneyde Kullanılan Kompakt Flüoresan Lambalar

İncelenen çalışmalarda, deneyler 100 MHz frekans düzeyine kadar elde edilmiştir. Bu çalışma kapsamındaki deneyler ise 50 MHz' den başlatılmıştır. Deneyde farklı markaların farklı tip ve güç değerlerindeki kompakt flüoresan lambalarının, 50-300 MHz, 301-600 MHz ve 601-900 MHz frekans aralıklarında, lambanın bulunduğu yükseklikten itibaren 10 santimetre aralıklarla 11 noktada elektrik alan ve manyetik alan ölçümü yapılmıştır. Ölçümü yapılan kompakt flüoresan lambalar 8, 15, 30, 50 ve 73 W güç değerindedir ve manyetik alan düzeyini ifade etmek için mA/m, elektrik alan değişim düzeyi için ise V/m birimleri kullanılmıştır. Ölçümlerin doğruluğunun kontrolü için her ölçüm 5 kere tekrarlanmıştır.

50-900 MHz frekans aralığında yapılan deneylerde, kaynaktan uzaklaşılmasına rağmen, ölçümü yapılan değerler incelendiğinde, aralarında belirgin büyük bir fark görülmemiştir ve kaynağa olan uzaklık arttıkça, ölçülen değerlerde önem arz eden, belirli bir azalma olmamıştır. Üç farklı frekans aralığında yapılan ölçümler incelendiğinde, beklenildiği gibi frekans arttıkça elektrik alan ve manyetik alan değerleri net bir şekilde azalıp artmamakta, değişkenlik göstermektedir. Ancak, değişen değerler arasında belirgin farklar bulunmamaktadır.



Şekil 2
Deney Düzeneği

Deneyde ölçüm aleti olarak Aaronia firmasının HF 6060 V4 olarak tanınan elektromanyetik ölçüm aleti kullanılmıştır. Bu ölçüm aleti, 10 Mhz ile 6 Ghz frekans aralığında ölçüm yapmaktadır. Cihaz şekil 4’te verilmiş olup cihazların bazı özelliklerini Tablo 1’de gösterilmektedir. 73 W kompakt flüoresan lamba için 50-300, 301-600 ve 601-900 MHz frekans aralıkları için yapılan ölçümler Tablo 2 ve Tablo 3’te verilmiştir.



Şekil 4
Deneyde Kullanılan Elektriksel Ölçüm Cihazı

Tablo 1
Cihazların Bazı Önemli Teknik Özellikleri

Özellikleri	HF-6060
Frekans aralığı	10 MHz- 6 Ghz
Elektrik alan ölçüm birimleri	V/m
Manyetik alan ölçüm birimleri	A/m
Ayarlanabilir frekans aralığı	var
RBW (çözünürlük bant genişliği)	10 kHz- 50 MHz
Dedektör	RMS/ en düşük, en yüksek
Elektrik alan ölçüm birimleri	V/m

Tablo 2
73 W Kompakt Flüoresan Lambanın Elektrik Alanı

Ölçüm aralıkları (y)	50-300 MHz	301-600 MHz	601-900 MHz
	Ölçülen değer (V/m) ve ölçüm frekansları	Ölçülen değer (V/m) ve ölçüm frekansları	Ölçülen değer(V/m) ve ölçüm frekansları
0 cm	0,118 (60-100-140 MHz)	0,159 (340-380-420 MHz)	0,160 (800-860-900 MHz)
10 cm	0,115 (60-86-140 MHz)	0,152 (340-380-420MHz)	0,161 (800-860-900MHz)
20 cm	0,121 (50,8-86-200 MHz)	0,152 (340-380-420 MHz)	0,168 (800-860-900 MHz)
30 cm	0,111 (56,5-100,1-200MHz)	0,156 (340-380-420 MHz)	0,167 (800-860-900 MHz)
40 cm	0,109 (51,8-80-200 MHz)	0,158 (340-380-420 MHz)	0,168 (800-860-900 MHz)
50 cm	0,113 (56,9-100-200 MHz)	0,155 (340-380-420 MHz)	0,171 (800-860-900 MHz)
60 cm	0,118 (57,2-100-200 MHz)	0,161 (340-380-420 MHz)	0,168 (800-860-900 MHz)
70 cm	0,103 (50,4-80-200 MHz)	0,159 (340-380-420 MHz)	0,168 (800-860-900 MHz)
80 cm	0,107 (55,1100,1-300 MHz)	0,154 (340-380-420 MHz)	0,155 (800-860-900 MHz)
90 cm	0,096 (60-100,1-300 MHz)	0,151 (340-380-420 MHz)	0,150 (800-860-900 MHz)
100 cm	0,104 (60-100-300 MHz)	0,152 (340-380-420 MHz)	0,156 (800-860-900 MHz)

Tablo 3

73 W Kompakt Flüoresan Lambanın Manyetik Alanı

Ölçüm aralıkları (y)	50-300 MHz	301-600 MHz	601-900 MHz
	Ölçülen değer (mA/m) ve ölçüm frekansları	Ölçülen değer (mA/m) ve ölçüm frekansları	Ölçülen değer (mA/m) ve ölçüm frekansları
0 cm	0,470 (56,1-100-300 MHz))	0,491 (380-420-460MHz)	0,334 (800-860-900MHz)
10 cm	0,412 (58,5-100-200 MHz)	0,372 (340-380-460MHz)	0,339 (800-860-900MHz)
20 cm	0,395 (55-80- 100 MHz)	0,413 (340-380-460 MHz)	0,334 (800-860-900 MHz)
30 cm	0,379 (57,4-100-200 MHz)	0,398 (340-380-460 MHz)	0,318 (800-860-900 MHz)
40 cm	0,256 (60-100- 140 MHz)	0,396 (340-380-460 MHz)	0,313 (800-860-900 MHz)
50 cm	0,240 (60-86- 300 MHz)	0,382 (340-380-460 MHz)	0,334 (800-860-900 MHz)
60 cm	0,210 (60-100- 300 MHz)	0,419 (380-420-460 MHz)	0,332 (800-860-900 MHz)
70 cm	0,205 (54,2-80- 140 MHz)	0,409 (380-420-460 MHz)	0,330 (800-860-900 MHz)
80 cm	0,20 (60-86,7- 300 MHz)	0,352 (340-380-460 MHz)	0,323 (800-860-900 MHz)
90 cm	0,187 (57,8-100-200 MHz))	0,390 (380-420-460 MHz)	0,321 (800-860-900 MHz)
100 cm	0,183 (60-200- 280 MHz)	0,382 (380-420-460 MHz)	0,314 (800-860-900 MHz)

KFL'lerin radyo frekanslı elektromanyetik alanlarının insan sağlığına etkisi açısından değerlendirildiğinde, ICNIRP (1998) 'nin raporunda göre mesleki ve genel kamu maruziyeti sınırları ile karşılaştırıldığında 10-2000 MHz frekans aralığında verilen sınırlamalar elektrik alan maruziyeti sırasıyla, 61-137 V/m ve 28-61 V/m olarak belirlenirken, manyetik alan için 0.16-0.36 A/m ve 0.037-0.16 A/m olarak belirtilmiştir. Tablo 2 ve Tablo 3'de görüldüğü gibi elektrik alan ve manyetik alan değerleri, maruziyet sınırlarının oldukça altındadır.

Yapay Bağışıklık Sistemi

Tabiatta var olan sistemlerden ve olaylardan esinlenilerek oluşturulan optimizasyon yöntemlerine sezgisel yöntem adı verilmektedir. Yapay bağışıklık sistemi (YBS) de insan bağışıklık sisteminden esinlenilerek oluşturulmuş bir sezgisel yöntemdir ve içeriğinde birden çok algoritma barındırmaktadır [2]. Bağışıklık algoritmaları, farklı farklı algoritmalarından oluşmaktadır. Yapay bağışıklık sistemi; negatif seçim algoritması, klonal seçim algoritması, bağışık ağlar algoritmaları ve dendritik hücre algoritması gibi farklı algoritmaları içermektedir [3,4,5]. Çalışma kapsamında, optimizasyon konusunda sıklıkla kullanılan ve güncelliğini koruyan Klonal Seçim Algoritması kullanılmıştır.

Klonal Seçim Algoritması

Klon Seçim algoritması, antijenik bir uyarı olduğunda, bu uyarıya karşılık olarak gelişen bağışıklık tepkisinin temel özelliklerini tanımlamaktadır. Bağışıklık sisteminde antijeni tanımayan hücreler yok edilirken (herhangi bir yabancı molekülü veya kendi molekülünü tanıyan), antijeni tanıyan hücreler çoğalır ve bağışıklık sistemine dâhil edilir [3,4,5].

Bir antijen tespit edildiğinde, antijenle uyumu en iyi olan B-hücreleri uyarılır. B-hücreleri uyarılıp klonlanarak çoğalır ve antikor salgılayan plazma hücrelerine dönüşür. B-hücreleri mitoz bölünme ile klonlanarak çoğalır ve kopya hücreler oluşur. Antijeni çok tanıyan hücreler, az tanıyan hücrelerden daha fazla çoğalırlar. Klonlanan hücreler somatik hipermutasyonla değişime uğrar. Hipermutasyon işlemi ile oluşan yeni hücreler antijene daha çok uyum sağlar. B-hücreleri çoğalma ve/veya plazma hücrelerine dönüşmeleri dışında bağışıklık sisteminde uzun süre kalabilen hafıza hücrelerine de dönüşürler. Uyarılmamış veya antijeni az tanıyan B-hücreleri ölür ve yerlerine yeni hücreler gelir. Sonuçta bağışıklık sistemi antijeni en iyi tanıyıp, antijeni yok eden hücreleri geliştirmiş olur. Klonlama ve mutasyon işlemlerine klonal seçme prensibi adı verilir [3,4,5].

Klonal seçim algoritması, ağırlıklı olarak şekil tanıma ve optimizasyon konularında kullanılmaktadır. Çalışma klonal seçim algoritması kullanarak deneysel verilerden, ölçüm yapılmayan noktalardaki değerlerin tahminini amaçlayan bir optimizasyon probleminin çözümünü amaçlamıştır. Çalışmada, literatürde oluşturulan algoritma baz alınmış ve yeni algoritma adımları oluşturulmuştur [6,7]. Klonal seçim algoritması kullanılarak yapılan önemli birkaç çalışmadan faydalanılmıştır [8-11]. Ayrıca, algoritma sonucu elde edilen radyasyonların değerlendirilmesi amacıyla bazı rehber çalışmalar incelenmiş [12,13], devamında kompakt flüoresan ve yapay bağışıklık algoritmaları özelinde bazı yayınlardan faydalanılmıştır [14-21]. Bu çalışmanın ilerleyen zamanlarda, 2 boyutlu verilerden 3 boyutlu ölçüleri elde edebilen yöntemlerle [22], daha da ileri bir düzeye taşınması mümkün olabilir. Farklı optimizasyon algoritmaları kullanılarak, konu kümeleme problemine uygulanabilir ve bu yolla edilen sonuçlar geleneksel kümeleme yöntemleri ile karşılaştırılabilir [23]. Bu çalışmanın verileri ile, son yıllarda kullanımı artan derin öğrenme teknikleri [24] sayesinde sağlıklı tahminler yapılmasının olası olduğu değerlendirilmektedir. Son yıllarda lambaların yaydığı elektromanyetik alanlar ve bununla ilişkili konularda öne çıkan farklı bazı çalışmalar da gözlenmektedir; KFL'ler için elektromanyetik uyumluluk değerlendirmeleri [25, 26], lambaların elektromanyetik gürültü üzerindeki etkisi [27], kampuşlerde LED aydınlatma ve iç aydınlatmada lambalar [28, 29], oluşan manyetik alana bağlı aydınlatmada optimizasyon yapılması [30], KFL dahil lambaların radyasyon karakteristikleri [31] ve lambaların enerji verimliliği üzerindeki [32] gibi çalışmalar bunlara örnek olarak verilebilir.

Çalışmada kullanılan algoritma Şekil 5 'de gösterilmiştir.

“Şekil 5 üzerinde;

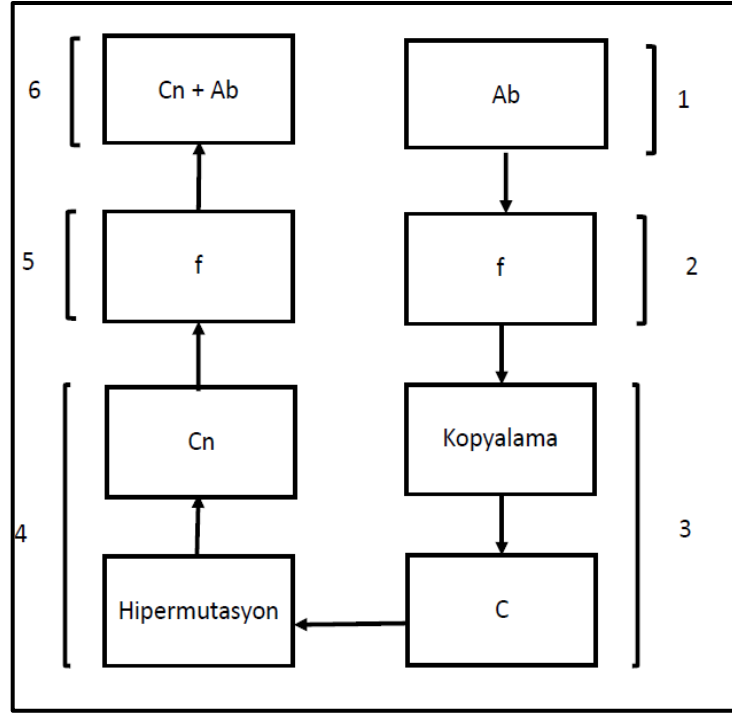
Ab: giriş verilerinden oluşan antikor kümesini

F: optimize edilecek bir amaç fonksiyonu

C: Elde edilen yavru hücrelerden (klonlardan) oluşan C klon kümesi

Cn: olgunlaşmış klonların oluşturulduğu, mutasyona uğramış klonlar kümesi

Cn + Ab: en yüksek benzerlik oranına sahip antikorun, ilk antikor kümesine eklenmesiyle oluşan yeni veri kümesini belirtmektedir.”



Şekil 5
Klonal Seçim Algoritması [9]

BULGULAR (RESULTS)

Yapılan n adet ölçümle, elde edilen sonuçların tamamını kapsayan birden çok eğri çizilebilir. Bu eğrilerin tespitinde en küçük kareler yöntemi (EKKY) uygulanmıştır. Böylece tahmini eğri ile ölçüm değerleri ile oluşturulan eğriler arasındaki fark en aza indirilir. Burada amaç, ölçüm sonuçlarına en yakın eğriyi, en az hata ile çizebilmektir.

$$OKH = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \hat{y} - y_k^2 \quad (1)$$

$$KOKH = \sqrt{OKH} \quad (2)$$

y_k : ölçüm değeri

\hat{y} : hesaplanan değer

N : antikor sayısı

OKH : ortalama karesel hata

KOKH : ortalama karesel hatanın kökü

Yukarıdaki eşitlik 1 ve 2 genel olarak verilmiş olup; probleme özgü işlem basamakları aşağıdaki gibidir:

Daha öncede tanımlandığı gibi;

$Ab(x, y)$: elektrik alan/ manyetik alan ve ölçüm noktalarından oluşan ikili antikor kümesini oluşturmaktadır.

Hata analizini detaylı anlatmak için;

$Ab(x)$: ölçülen elektrik veya manyetik alan

$Ab(y)$: ölçüm noktasının ışık kaynağından uzaklığı

$Ab_i'^j(x, y)$: algoritma sonucu elde edilen yeni ikili antikor kümesi

$Ab_i'^j(x)$: algoritma sonucu elde edilen elektrik veya manyetik alan

$Ab_i'^j(y)$: algoritma sonucu elde edilen y değeri

\hat{x} : EKKY ile hesaplanan elektrik veya manyetik alan

\hat{y} : EKKY ile hesaplanan y değerini ifade etmektedir.

Hata analizini aşağıdaki gibi adım adım anlatılmıştır:

1-Deneysel veriler, $Ab(x, y)$, kullanılarak EKKY ile katsayılar belirlenmiştir.

2-Katsayılar $Ab_i'^j(y)$ ile birlikte kullanılarak uydurulan eğride, eğri bize \hat{x} değerlerini vermektedir.

3- \hat{x} değerlerinden $Ab_i'^j(x)$ değerleri çıkartılarak, EKKY ile hesaplanan ve algoritmada tahmin edilen değerlerin farkı bulunmuştur.

4- Bu işleme hata analizi yapılan veri setlerinin bütün elemanları dâhil edilmiştir, toplam farkların ortalamasının (eğer 11 elemanlı veri seti alınmışsa 11 elemanda dahil) karekökü bize hata miktarını vermektedir.

En küçük kareler yöntemi kullanılarak tahmini değerlerin; ağırlıkları gerçek veriler ile oluşturulmuş bir eğriyle göre kıyaslaması hata miktarını vermektedir. Hata miktarının az oluşu tahmini verilerin uydurulan eğriye olan yakınlığını, hata miktarının fazla oluşu; tahmini verilerin, uydurulan eğriden farklılığını göstermektedir.

Hata mekanizmasının doğru çalıştığını ispatlamak için 11 ve 8 elemanlı veri setlerinde aynı yöntem uygulanarak sağlanması yapılmıştır. Sağlama aşağıdaki adımlarla gerçekleştirilmiştir.

1-Tahmini veriler $Ab_i'^j(x, y)$ kullanılarak EKKY ile katsayılar belirlenmiştir.

2-Katsayılar $Ab(y)$ ile birlikte kullanılarak eğri uydurulmuş, eğri ile \hat{x} değerleri elde edilmiştir.

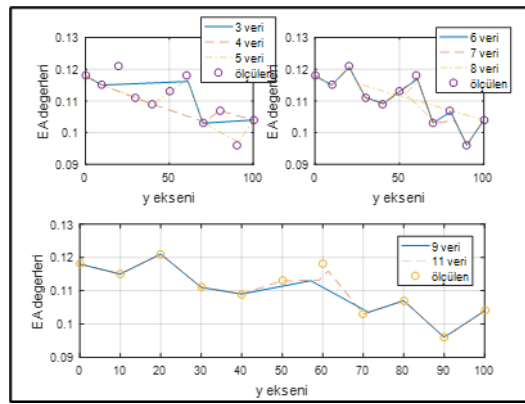
3- \hat{x} değerlerinden $Ab(x)$ değerleri çıkartılarak, EKKY ile hesaplanan ve deneyde elde edilen değerlerin farkı alınmıştır.

4- Bu işlemde 11 ve 8 elemanlı veri setlerinde hata analizi yapılmış, toplam farkların ortalamasının

(11 elemanlı veri setindeki 11 elemanda dahildir) karekökü bize hata miktarını vermiştir.

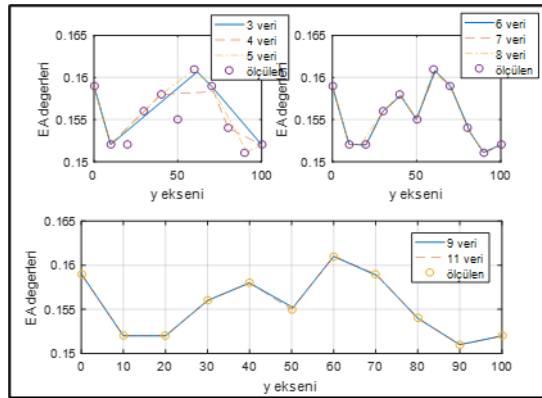
Sağlama yapılmasının nedeni algoritmada tahmin edilen değerlerden deneysel verilere ulaşmaya çalışıldığında; hata miktarının az olmasının, tahmini verilerin deneysel verilere yakınlığı hakkında bize bilgi vermesidir. Ağırlıkları tahmini sonuçlar ile oluşturulmuş bir eğrinin gerçek değerlere yakınlığı ölçülmektedir.

Hata oranının veri sayısına bağlı olduğu gözlemlenmiş ve deneysel veriler arttıkça hata miktarının azaldığını göstermek için 3,4,5,6,7,8,9 ve 11 elemanlı veri setleri oluşturulmuştur. Her veri seti için hesaplanan tahmini değerler excel dosyası olarak saklanmıştır. Tahmini değerlere ait grafikler Şekil 6-11 arasında, veri sayısının hata miktarına olan etkisini gösteren grafikler Şekil 12-17 arasında gösterilmektedir.



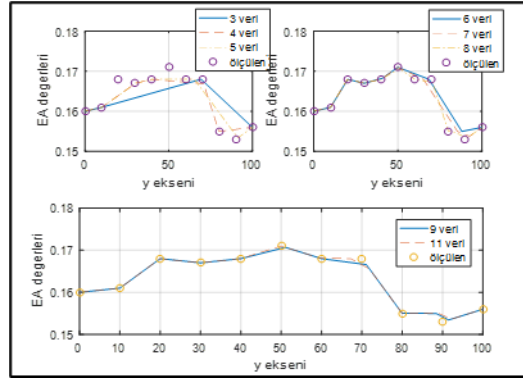
Şekil 6

73 W KFL için 50-300 MHz Frekans Aralığındaki Elektrik Alan Tahmini Sonuçları

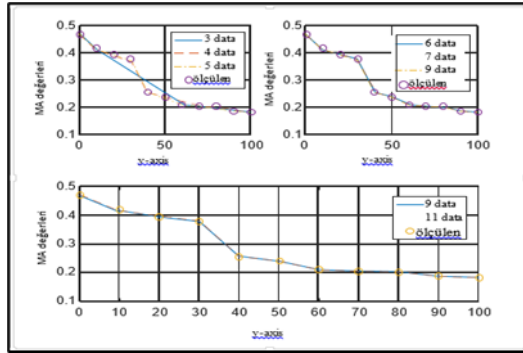


Şekil 7

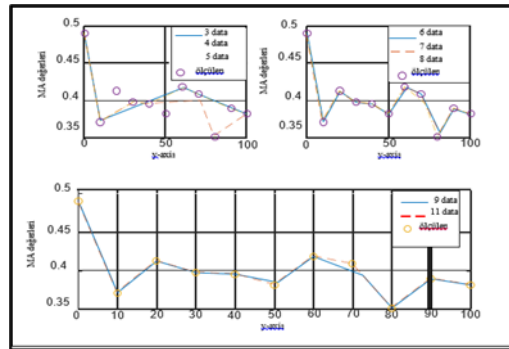
73 W KFL için 301-600 MHz Frekans Aralığındaki Elektrik Alan Tahmini Sonuçları



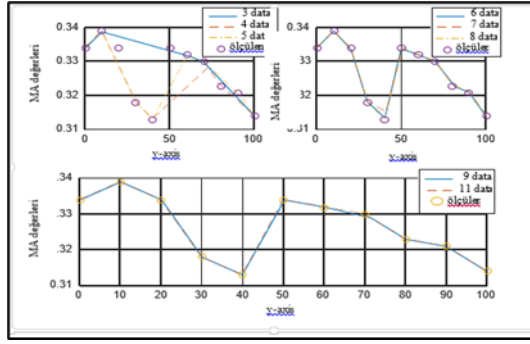
Şekil 8
73 W KFL için 601-900 MHz Frekans Aralığındaki Elektrik Alan Tahmini Sonuçları



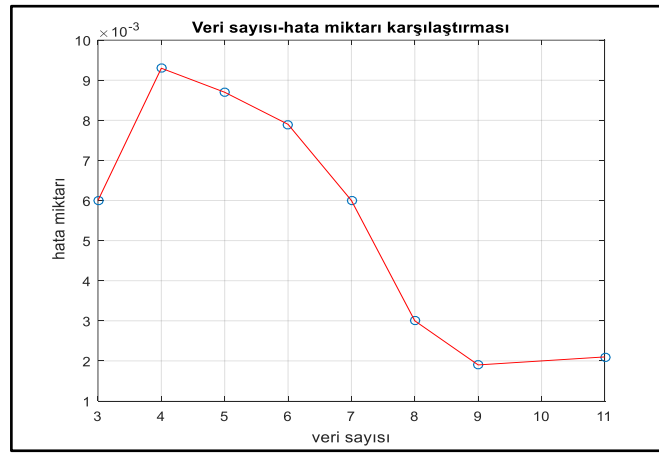
Şekil 9
73 W KFL için 50-300 MHz Frekans Aralığındaki Manyetik Alan Tahmini Sonuçları



Şekil 10
73 W KFL için 301-600 MHz Frekans Aralığındaki Manyetik Alan Tahmini Sonuçları



Şekil 11
73 W KFL için 601-900 MHz Frekans Aralığındaki Manyetik Alan Tahmini



Şekil 12
73 W KFL için 50-300 MHz Frekans Aralığındaki Elektrik Alan Veri Sayısı-Hata Miktarı Karşılaştırılması



Şekil 13
73 W KFL için 301-600 MHz Frekans Aralığındaki Elektrik Alan Veri Sayısı-Hata Miktarı Karşılaştırılması



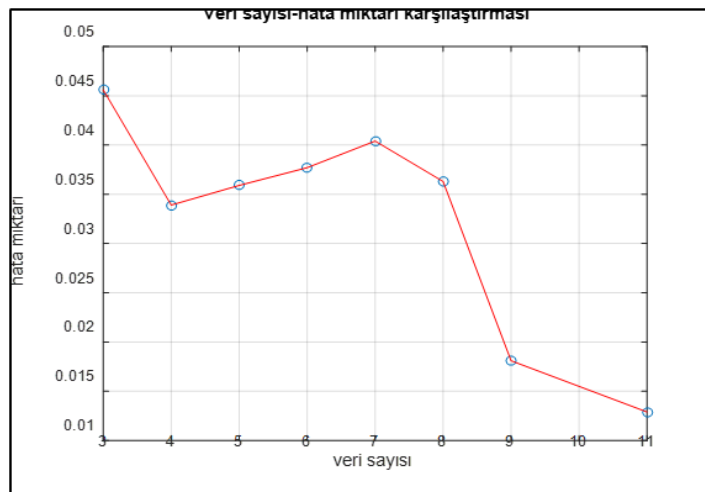
Şekil 14

73 W KFL için 601-900 MHz Frekans Aralığındaki Elektrik Alan Veri Sayısı-Hata Miktarı Karşılaştırılması



Şekil 15

73 W KFL için 50-300 MHz Frekans Aralığındaki Manyetik Alan Veri Sayısı-Hata Miktarı Karşılaştırılması



Şekil 16

73 W KFL için 301-600 MHz Frekans Aralığındaki Manyetik Alan Veri Sayısı-Hata Miktarı Karşılaştırılması

**Şekil 17**

73 W KFL için 601-900 MHz frekans aralığındaki manyetik alan veri sayısı-hata miktarı karşılaştırılması

73 W KFL'nin 50-300, 301-600 ve 601-900 MHz frekans aralıklarındaki elektrik alana ait tahmini sonuçların hata miktarları incelendiğinde; 3 veri ile yapılan hata hesaplamalarında hata miktarları frekans aralığı sırasına göre, 0.0060, 0.0040, 0.0050 çıkarken; 11 veri ile yapılan hesaplamalarda hata miktarları frekans aralığı sırasına göre, 0.0021, 0.0011, 0.0014 hesaplanmıştır. 73 W KFL'nin manyetik alana ait tahmini sonuçları incelendiğinde; 3 veri ile yapılan hata hesaplamalarında hata miktarları frekans aralığı sırasına göre; 0.1302, 0.0456, 0.0081; 11 veri ile yapılan hesaplamalarda frekans aralığı sırasına göre; 0.1160, 0.0129, 0.0055 olarak hesaplanmıştır.

Kullanılan yöntemin doğruluğunu ispatlamak için 11 ve 8 elemanlı veri setlerinin sağlaması yapılmıştır. Hata mekanizmasının doğru çalıştığını gösteren çizelgeler; Tablo 4 ve 5'de gösterilmektedir.

Tablo 4

73 W KFL lambanın 50-300 MHz Frekans Aralığında Elektrik Alanı için 8 ve 11 Elemanlı Veri Setinin Sağlaması

y değeri	Deney sonucu elde edilen veriler	8 elemanlı veri seti ile elde edilen tahmini değerler	11 elemanlı veri seti ile elde edilen tahmini değerler
0	0.1180	0.1176	0.1198
10	0.1150	0.1164	0.1168
20	0.1210		0.1179
30	0.1110	0.1129	0.1134
40	0.1090		0.1098
50	0.1130	0.1090	0.1100
60	0.1180		0.1108
70	0.1030	0.1056	0.1077
80	0.1070	0.1039	0.1015
90	0.0960	0.1020	0.0992
100	0.1040	0.0998	0.1023

Tablo 5

73 W KFL lambanın 50-300 MHz Frekans Aralığında Manyetik Alanı için 8 ve 11 Elemanlı Veri Setinin Sağlaması

y değeri	Deney sonucunda elde edilen veriler	8 elemanlı veri seti ile elde edilen tahmini değerler	11 elemanlı veri seti ile elde edilen tahmini değerler
0	0.4700	0.4457	0.4522
10	0.4200	0.4135	0.4177
20	0.3950		0.3832
30	0.3790	0.3493	0.3487
40	0.2560		0.3141
50	0.2400	0.2850	0.2796
60	0.2100		0.2451
70	0.2050	0.2208	0.2106
80	0.2030	0.1886	0.1761
90	0.1870	0.1565	0.1415
100	0.1830	0.1244	0.1070

11 elemanlı kümede, sağlamada elektrik alan değerleri 0.0037 hata miktarı ile bulunmuştur. 8 elemanlı kümede yapılan sağlamada elektrik alan değerleri 0.0039 hata miktarı ile bulunmuştur.

11 elemanlı kümede, sağlamada manyetik alan değerleri 0.0323 hata miktarı ile bulunmuştur. 8 elemanlı kümede yapılan sağlamada manyetik alan değerleri 0.0383 hata miktarı ile bulunmuştur. Grafikleri fazlalığından dolayı sadece 50-300 MHz frekans aralığındaki ölçümlerin tabloları verilmiştir.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR (DISCUSSION AND CONCLUSIONS)

Çalışmada, belirtilen deney koşulları altında elektrik alan ve manyetik alan değerlerinin VHF – UHF bandı aralığındaki davranışları incelenmiştir. SLF-VHF aralığında ışık kaynağı ile ölçüm noktası arasındaki mesafe arttıkça EA ve MA değerlerinin azalırken, VHF – UHF bandı aralığında mesafeden bağımsız olarak frekans artsa da elektrik alan ve manyetik alan değerlerinin azalmadığı, frekansın artmasına rağmen alan değerlerin de artış olduğu gözlemlenmiştir. EA ve MA değerleri, belirgin bir şekilde mesafeye bağlı kalmaksızın azalıp artar ancak, değişimi tahmin edilemeyen bu değerler arasında belirgin farklar olmamaktadır.

Deney sonucu elde edilen verilerden yola çıkarak ölçümü yapılmayan noktaların tahmini değerleri Klonal Seçim Algoritması ile hesaplanmıştır. Klonal Seçim Algoritmasında işlem yapılan üç temel operatör; seçim, klonlama ve hipermutasyon operatörü, afinite değeri yüksek olan (benzerliği fazla) antikörlerin üretilmesini, hafıza hücresi olarak seçilmesini ve yeni mutasyonlar geliştirmede başarılı olmasını sağlamaktadır. Hafıza hücreleri sayesinde, araştırma uzayı daha detaylı incelenmektedir. Algoritmada kullanılan hipermutasyon operatörü; alt ve üst sınır olarak seçilen antikörleri işleme sokarak yeni antikörlerin üretilmesini ve popülasyonun çeşitliliğini sağlamıştır.

Elde edilen tahmini veriler, hesaplama yöntemi önceki bölümde anlatılmış olan en küçük kareler yöntemi ile incelenmiş ve tahmini verilerin gerçek verilere göre değerlendirilmiştir. Buna kapsamda başlangıç popülasyonundaki veri sayısı arttıkça hata miktarlarının azaldığı görülmektedir.

73 W KFL'nin 50-300, 301-600 ve 601-900 MHz frekans aralıklarındaki elektrik alanına ait tahmini sonuçların hata miktarları incelendiğinde; 3 veri ile yapılan hata hesaplamalarında hata miktarları frekans aralığı sırasına göre, 0.0060, 0.0040, 0.0050 çıkarken; 11 veri ile yapılan hesaplamalarda hata miktarları frekans aralığı sırasına göre, 0.0021, 0.0011, 0.0014 hesaplanmıştır. 73 W KFL'nin manyetik

alana ait tahmini sonuçları incelendiğinde; 3 veri ile yapılan hata hesaplamalarında hata miktarları frekans aralığı sırasına göre; 0.1302, 0.0456, 0.0081; 11 veri ile yapılan hesaplamalarda frekans aralığı sırasına göre; 0.1160. 0.0129, 0.0055 olarak hesaplanmıştır.

Grafikler ve hata hesaplamaları incelendiğinde, Klonal Seçim Algoritması kullanılarak başarılı bir yöntem izlenmiş, her noktada ölçüm yapmak yerine sadece belirli noktalarda ölçüm yaparak daha kısa sürede, fazla miktarda tahmini veri sağlanmıştır.

Etik Beyan (Ethical Declaration)

Bu çalışma Prof. Dr. İlhan KOŞALAY danışmanlığında 13.06.2019 tarihinde tamamladığımız “Yapay Bağışıklık Sistemi Algoritması Kullanılarak Kompakt Flüoresan Lambaların Radyo Frekanslı Elektromanyetik Alanlarının İncelenmesi” başlıklı yüksek lisans tezi esas alınarak hazırlanmıştır (Yüksek Lisans, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye, 2019).

Yazar Katkıları (Authors Credits)

Araştırma - Veri Analizi - Doğrulama (CRediT 3-4-6-11) İlhan KOŞALAY (%50) - Yeliz TANIŞ (%50)

Makalenin Yazımını (CRediT 12-13) İlhan KOŞALAY (%40) - Yeliz TANIŞ (%60)

Metnin Tashihi ve Geliştirilmesi (CRediT 14) İlhan KOŞALAY (%50) - Yeliz TANIŞ (%50)

Finansman (Funding)

Çalışma herhangi bir kurum tarafından finanse edilmemiştir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SDG)

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları: 8 İnsana Yakışır İş ve Ekonomik Büyüme

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] U. Arifoğlu, Matlab 7.14 Simulink ve Mühendislik Uygulamaları, *Alfa Basım Yayın Dağıtım San. Ve Tic. Ltd. Şti.* (2012).
- [2] B. Babayiğit, K. Güney, Klonal seçme algoritması kullanarak genlik ve faz kontrolü ile doğrusal anten dizi diyagramında sıfırların üretilmesi, *Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, Türkiye. (2006).
- [3] Bakos J, Nagy N, Juhász P, Thuróczy G, Spot measurements of intermediate frequency electric fields in the vicinity of compact fluorescent lamps, *Radiation protection dosimetry*. 142 no. 2-4 (2010), 354-357.
- [4] Costea, M., Băran, I., and Leonida, T, Different methods used to assess the radiated fields of economic lamps regarding human exposure, *9th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE) IEEE*. (2015), 331-336.
- [5] Van Den Bossche, M., Verloock, L., Aerts, S., Joseph, W., and Martens, L, In situ exposure assessment of intermediate frequency fields of diverse devices, *Radiation Protection Dosimetry*. 164(3) (2015), 252-264.
- [6] Coca, E., Popa, V., and Buta, G, Compact fluorescent lamps electromagnetic compatibility measurements and performance evaluation, *IEEE EUROCON-International Conference on Computer as a Tool*. (2011), 1-4.
- [7] M. Çunkaş, *Genetik Algoritmalar ve Uygulamaları Ders Notları*. Selçuk Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Konya. (2006).
- [8] Dasgupta, D, Advances in artificial immune systems, *IEEE computational intelligence magazine*. 1(4) (2006), 40-49.
- [9] De Castro, L. N., and Von Zuben, F. J, The clonal selection algorithm with engineering applications, *In Proceedings of GECCO*. (2000), 36-39.
- [10] De Castro, L. N., and Von Zuben, F. J. Learning and optimization using the clonal selection principle, *IEEE transactions on evolutionary computation*. 6(3) (2002), 239-251.
- [11] Y. He and C. Jian, Clonal Selection Algorithm with Adaptive Mutation and Roulette Wheel Selection, *International Conference on Computational Intelligence and Security Workshops*. (2007), 93-96.
- [12] A. Iagar, G.N. Popa, and C.M. Dinis, Study of electromagnetic radiation produced by household equipment, *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. (2017).
- [13] McRobbie, D, Concerning guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (1 hz–100 khz), *Health physics*. 100(4) (2002), 442.
- [14] Greensmith, J., Whitbrook, A. and Aickelin, U, Artificial immune systems, *Handbook of Metaheuristics*. (2010), 421-448.
- [15] Karaboğa, D. Yapay Zekâ Optimizasyon Algoritmaları, *Nobelakademik Yayıncılık Eğitim Danışmanlık Tic. Ltd. Şti.* (2014), 135-136.
- [16] Z. Kvasznicza and G. Elmer, Radio Frequency Emissions of Public Lighting Devices, *12th International Power Electronics and Motion Control Conference, Portoroz, Slovenia*. (2006), 340-1344.
- [17] T. Letertre, A. Azoulay, A. Destrez, and F. Gaudaire, Characterization of compact fluorescent lights RF emissions in the perspective of human exposure, *The International Symposium on Electromagnetic Compability*. (2009).
- [18] J. Nadakuduti, M. Douglas, M. Capstick, S. Kühn, and N. Kuster, Application of an induced field sensor for assessment of electromagnetic exposure from compact fluorescent lamps, *Bioelectromagnetics*. 33(2) (2012), 166-175.

- [19] O. Engin, A. Döyen, Artificial Immune Systems And Applications In Industrial Problems, Gazi University Journal of Science. 17(1) (2010), 71–84.
- [20] W. Zhang, J. Lin, H. Jing, and Q. Zhang, A Novel Hybrid Clonal Selection Algorithm with Combinatorial Recombination and Modified Hypermutation Operators for Global Optimization. *Comput Intell Neurosci.* (2016).
- [21] Manual Spectran V4. <https://www.aaronia.com/downloads>, (erişim 21 Mart 2019).
- [22] N. G. Sengöz, F. Zeybek, Sharp Silhouettes for Obtaining 3D Body Measurements from 2D Images, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering.* 5 (2) (2022), 8–25.
- [23] A. Pektaş, O. İnan, Ağaç Tohum Algoritmasının Kümeleme Problemlerine Uygulanması, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering.* 4 (1) (2022), 1–10.
- [24] F. Özen, R. Ortaç Kabaoğlu, T. V. Mumcu, Deep Learning Based Temperature and Humidity Prediction, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering.* 5 (2) 2023, 219–229.
- [25] F. Pop, C. Munteanu, A. Răcășan and S. Pruşu, The assessment of human exposure to radiated fields from different types of lighting, *International Conference on Modern Power Systems, Romania.* (2017), 1-6.
- [26] A. Acakpovi, A. Ogunsola, S. Fakhry, N. Y. Asabere, H. Mohammed and K. Arthur, Evaluation of Electromagnetic Compatibility of Compact Fluorescent Lamp (CFL), *International Conference on Communications, Signal Processing and Networks (ICCSNP), Ghana.* (2019), 1-8.
- [27] Róbert I, Influence of Modern Lamps Number on Electromagnetic Noise Emission, *International IEEE Conference and Workshop in Óbuda on Electrical and Power Engineering.* (2019), 217-220.
- [28] E. Pajardo, A. Kinyua and D. H. Kang, A Sustainable Development Goal for a Campus: LED Vertical Illumination for a Classroom, *IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC), USA.* (2023), 26-32.
- [29] G. Iulian and G. Căralin-Daniel, Interior Lighting, a Challenge for Yesterday's and Today's Engineering, *International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN), Romania.* (2023), 1-7.
- [30] T. Koerniawan, S. Yudho, G. Alviningsih, S. Ronaa, M. N. Qosim and D. Rusjdi, Optimization of Lighting Plan Based on Light Intensity and Magnetic Field Exposure for Residential Houses, *International Seminar on Application for Technology of Information and Communication (iSemantic), Indonesia.* (2023), 281-285.
- [31] S. Kumar and M. R. Kumar, Radiated Emission Characterization of LED, CFL & Incandescent Bulbs, *Joint Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility and International Conference on ElectroMagnetic Interference & Compatibility (APEMC/INCEMIC), India.* (2023), 1-3.
- [32] S. Manoharan, B. Mahalakshmi, N. Preetha and A. K, A Study on Various Types of Lamps used in Domestic Sector and their Impact on Energy Efficiency, *Second International Conference on Electronics and Renewable Systems (ICEARS), India.* (2023), 222-226.

Hava Kalitesi Parametrelerinin (PM₁₀ ve SO₂) Değerlendirilmesi: İç Anadolu Bölgesi Örneği

Fatma KUNT^{1*}  Ahmet ÖZKAN¹ 

¹ Necmettin Erbakan University, Faculty of Engineering, Department of Environmental Engineering, Konya, Türkiye

Makale Bilgisi

ÖZET

Geliş Tarihi: 19.03.2024
Kabul Tarihi: 15.06.2024
Yayın Tarihi: 31.08.2024

Anahtar Kelimeler:

Hava kalitesi,
Hava kirliliği,
İç Anadolu Bölgesi,
Kükürt dioksit,
Partikül maddeler.

Canlı yaşamını, çevresel dengeyi önemli derecede etkileyen ve küresel iklim değişikliğinin ana nedenlerinden biri olan hava kirliliği günümüzde önemli bir çevre sorunudur. Hava kirliliği etkilerinin dünya çapında seviyelere erişmesiyle birlikte hava kirliliğine sebebiyet veren kaynaklar da daha çok araştırmaya konu edilmektedir. Hızla artan dünya nüfusuyla paralel olarak kaynakların enerji için tüketimi de çoğalmıştır. Nüfus artışı ve sanayi alanının ihtiyaçları sebebiyle hava kirliliği günden güne artmakta ve bütün doğa (canlı ve cansız) bundan olumsuz etki görmektedir. Türkiye'nin havasındaki kirlilik, yüksek seviyede ısınma, sanayi ve ulaşım kaynaklıdır. Bununla birlikte yan etkenlerin de etkisiyle kış döneminde kirliliğin daha da arttığı bilinmektedir. Bu çalışmada İç Anadolu bölgesinde bulunan Niğde, Nevşehir, Konya, Kayseri ve Karaman illeri olmak üzere 5 ilin 2017-2021 yılları arasındaki PM₁₀ ve SO₂ konsantrasyonları değerlendirilmiştir. Ölçüm periyodu boyunca elde edilen yıllık PM₁₀ konsantrasyon değerleri 23-88 µg/m³, SO₂ konsantrasyon değerleri ise 7-31 µg/m³ aralıklarında değişiklik göstermektedir. Sonuçlar değerlendirildiğinde, beş ilin SO₂ değerlerinin sınır değerlerin altında olduğu fakat PM₁₀ değerlerinin sınır değerleri aştığı görülmektedir. PM₁₀ seviyesinin özellikle kış aylarında, hava kirliliğinde ciddi payı olduğu tespit edilmiştir.

Evaluation of Air Quality (PM₁₀ and SO₂) Parameters: Example of Central Anatolia Region

Article Info

ABSTRACT

Received: 19.03.2024
Accepted: 15.06.2024
Published: 31.08.2024

Keywords:

Air quality,
Air pollution,
Central Anatolia Region,
Sulfur dioxide,
Particulate matters.

Air pollution, which significantly affects living life and environmental balance and is one of the main causes of global climate change, is an important environmental problem today. As the effects of air pollution reach worldwide levels, the sources that cause air pollution are also subject to more research. In parallel with the rapidly increasing world population, the consumption of resources for energy has also increased. Due to population growth and the needs of the industrial area, air pollution is increasing day by day and all nature (living and inanimate) is negatively affected by this. Pollution in Türkiye's air is caused by high levels of heating, industry and transportation. However, it is known that pollution increases even more during the winter period due to side factors. In this study, PM₁₀ and SO₂ concentrations of five provinces in the Central Anatolia region, namely Niğde, Nevşehir, Konya, Kayseri and Karaman, were evaluated between 2017 and 2021. Annual PM₁₀ concentration values obtained during the measurement period vary between 23-88 µg/m³, and SO₂ concentration values vary between 7-31 µg/m³. When the results are evaluated, it is seen that the SO₂ values of five provinces are below the limit values, but the PM₁₀ values exceed the limit values. It has been determined that PM₁₀ levels have a serious share in air pollution, especially in the winter months.

To cite this article:

Kunt, F. & Özkan, A. (2024). Evaluation of air quality (PM₁₀ and SO₂) parameters: Example of Central Anatolia Region. *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*, 6(2), 255- 271. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.47>

*Sorumlu Yazar: Fatma KUNT, drfatmakunt@gmail.com



INTRODUCTION

Due to the advancement of technology worldwide and the rapid increase in population, humans have become more harmful to nature by consuming more energy resources in their lifetime. Considering the impact of extreme natural events in recent years, it can be said that humans are causing direct damage not only to nature, but also to themselves [1]. It is known that air pollution is the presence of pollutants in the atmosphere to a level that is harmful to humans and animal nature. The main sources of this situation can be classified as industrial and heating-related energy use, disproportionate urbanization, the intrusion of settlements and industry, the use of poor-quality fuels and inappropriate combustion methods.

It is known that pollutants in the atmosphere, especially due to air pollution, cause serious health problems on human health [2]. For example, asthma; It has been understood that it is a disease caused by factors such as cigarette smoke [3,4] and air pollution [5]. It has also been reported that migration, seasons and air pollution during pregnancy have an increased risk of diseases such as autism [6].

It is well known to many in today's world that air pollution loads are increasing every day, reaching global levels, and the impact of emissions, indirectly or directly, is transcontinental. As the world's population grew rapidly, irregular urbanization and land abuse increased, and agricultural land decreased. Industrial settlements have reached the habitats of people. Because of the rapid increase in fossil fuel consumption, the pollution burden on cities is increasing even more.

The Ministry of Environment, Urban Affairs and Climate Change has prepared a "Air Quality Assessment and Management Regulation" [7] to minimize the environmental impact of air pollution, take measures to improve air quality and set targets. To the objectives of the regulation, measurement and monitoring tasks are carried out throughout Türkiye at Clean Air Centers, monitoring and inspection at the District Directorates and Metropolitan Municipalities.

During the first years of the online air quality monitoring process, a total of 81 stations were monitoring the parameters of Sulphur dioxide and particulate matter. The number of air quality monitoring stations currently in place across the country has reached 360. 340 of these stations measure particulate matter (PM₁₀), 305 Sulphur dioxide (SO₂), 302 nitrogen oxides (NO_x), 206 ozone (O₃), 190 carbon monoxides (CO) and 173 particulates (PM_{2.5}).

The main sources of particulate matter are factories, power plants, incinerators, construction activities, fires and wind. Particles with an aerodynamic diameter of less than 2.5 µm, PM_{2.5} and less than 10 µm are defined as PM₁₀. These particles can be stored in the respiratory system.

The main source of Sulphur dioxide (SO₂) is the combustion of high-Sulphur fats, coal and lignite. SO₂ is also produced by the melting of bronze and brass with a high Sulphur ratio [8] SO₂ is a pollutant, especially from heating, industry and traffic. Turkey's Environmental Issues and Priorities Assessment Report is based on data from 2022 by the Turkish Ministry of Environment, Urban Development and Climate Change. The report, prepared in 2023, ranked Turkey's Environmental Problems and Priorities by priority, considering the seven pollution sources identified because of a previous survey. According to priority, the environmental problems of the districts are divided into seven categories: air pollution, noise, water, erosion, soil, waste and environmental damage. In these rankings for all the villages, air pollution took the first place in 22, water contamination in 33, waste in 23, and noise in 3. According to the provincial Directorates, the priority ranking on environmental issues identified 66 districts with air pollution at number 1, 2 and 3 priorities. According to the map of air pollution priorities of the regions in Turkey, as shown in Figure 1, the level of air pollution among all regions is identified as priority problem in 22 districts, secondary priority problem in 19 districts and third priority problem in 25 districts [8].

There are many studies in the literature to identify the impact of PM₁₀ and SO₂ on air quality. For example, in 2014, Zortuk and his colleague sought to establish a relationship between the country's per capita national income by using particle density data in the air [9].

In 2022, Çıldır and Murlu [10]'s study at the Balıkesir center, the researchers analyzed the PM₁₀ and SO₂ densities along with meteorological impacts, depending on time and location, and compared their pollutant densities statistically with the meteorological conditions. İpek & Uyanık [11], in 2022, studied the contribution of industrial power generation plants in the atmospheric pollution in Kayseri, compared emission levels with data from coal-fired plants used in the industry to generate energy, along with natural gas used in industry in 2015-2019. In Uğurlu [12]'s study conducted a field-based study of the air-polluting pollutants PM₁₀, SO₂, CO, NO₂ and O₃ for the years 2019-2020, in Konya, in 2022. In Eren et al [13]'s study for Erzurum, they compared the differentiation in the city's air quality with atmospheric data based on PM₁₀ and SO₂ data starting in the winter of 1978-1979 (the first-time pollution was detected) up to winter 2018-2019, in 2022.

Zeydan 2021 [14] compared all air quality monitoring stations' PM₁₀ measurements recorded (excluding mobile and test stations) in Türkiye during 2019 according to the regulatory limit values and Koçak, 2018[15], compared these data with the measurements of PM₁₀ and SO₂ in Aksaray, which are bordered by Aksaray.

In this study, the PM₁₀ and SO₂ compounds have a serious adverse effect on air pollution. Therefore, data from the five provinces selected for the Inner Anatolia Region for the years 2017-2021 from the provinces affiliated with the Southern Anatolia Clean Air Centre were compared, evaluated and recommended that the necessary precautions be taken to reduce air pollution.

MATERIALS AND METHODS

In Türkiye, the Air Quality Index is an index determined by the United States Environmental Protection Agency (EPA) based on polluting parameters, and the main objective of coloring according to this index and index is to ensure that the data is easily understood by the public. The Air Quality Index is used daily and shows how clean or polluted the air in the city we live for that day is. The air quality index is calculated by measuring 5 main pollutant parameters. These parameters are particulate matter (PM₁₀), CO, SO₂, NO₂ and O₃ [16].

According to the air pollution priority map (Figure 1) prepared by the Department of Environment, Urbanization and Climate Change, it was determined that 71 provinces have priority air pollution problems. Among these 71 provinces, 27 provinces were determined as first air pollution priority, 24 provinces were determined as second air pollution priority, and 20 provinces were determined as third air pollution priority region [16]. This is shown in Figure 1 in the Air Pollution Priorities Map prepared for those provinces where air pollution is a priority problem.

For this study, 5 stations from the area of responsibility of Southern Inner Anatolia Clean Air Center were selected, with the most healthy and continuous data flow. The locations of 5 stations including Karaman, Kayseri, Konya, Nevşehir and Niğde are shown in Figure 2 on the map.

The stations are in central cities to reflect the impact of emissions from heating and transport. The station's measurements reflect pollution at a width of 2 kilometers. In this context, it can be said that the healthiest way to detect the level of pollution in cities is to multiply the presence of stations and focus on modeling work. Among the parameters measured at the stations, PM₁₀ - PM_{2.5} - SO₂ - NO_x - CO - O₃ values were considered, with measurement data being more regular and covering longer periods, as well as the PM₁₀ and SO₂ parameters, which are the most important factors affecting the country's air quality.

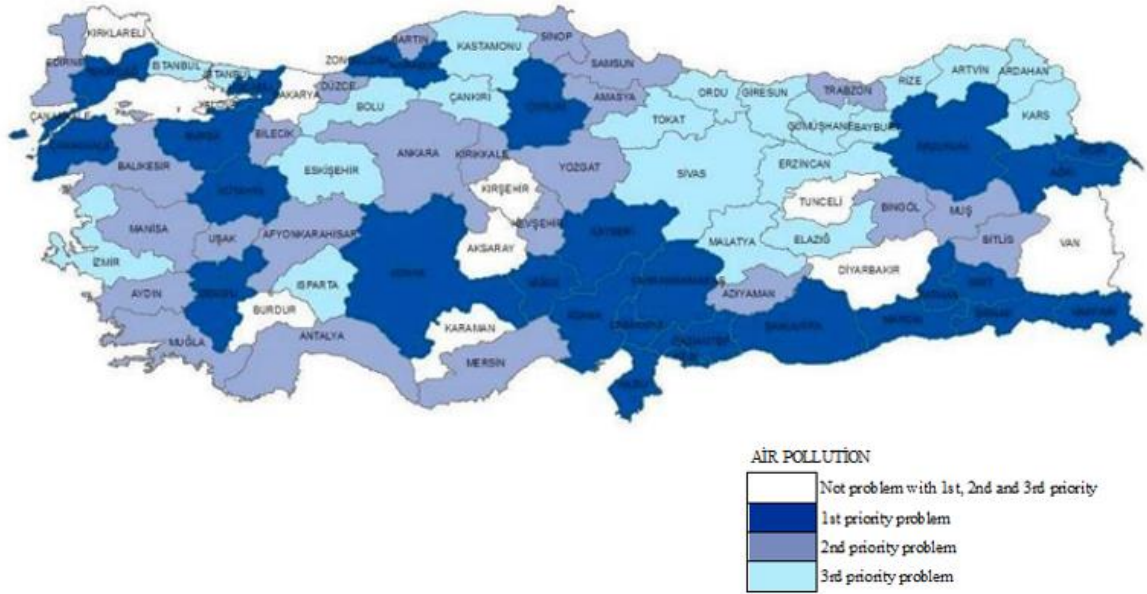


Figure 1
Map of Air Pollution Priorities [16]

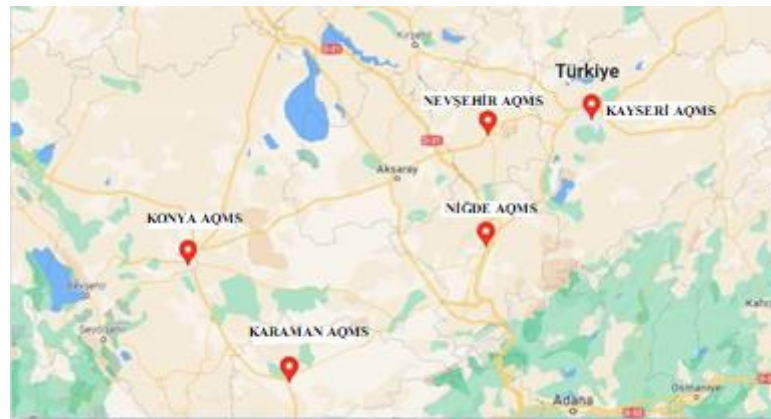


Figure 2
The Combined Display of 5 Air Quality Monitoring Stations on The Map

In the province of Karaman, there are two monitoring stations, including the Central and Ermenek air quality monitoring station, and the Karaman Central Air Quality Monitoring Station [17], which uses data for the work, is on the road. Central Anatolia Small Industry Site is 1.27 km away and Organized Industry District is 6.89 km away. MEY alcohol factory is close to 2.96 km from the station. and it is close to 5.43 km from the stone pits.

In Kayseri province, there are 6 stations including Traffic, Hürriyet, Melikgazi, Kocasinan, Talas and OSB air quality monitoring stations, and the work is done at the Hürriyet Station [18], which is closed to 110 meters from the main road.

There are nine monitoring stations in Konya province, including Traffic, Meram, Karatay-Sunaypark, Karatay-Karkent, Selçuklu-Bosna, Selçuklu-Laboratuvar, Akşehir, Ereğli and Sarayönü air quality surveillance stations. The Konya Meram air quality monitoring station [19] has been selected

for the study because it is in the city center.

There are two Air Quality Monitoring Stations in the district of Nevşehir, including Central and Avanos, which use the data for the work of the Central Air Quality monitoring station [20] in the Municipal Park, 30 m off the road, 10 km from the Islah Organized Industrial Area. It is 7.18 km from the machined stone pits. Nearest BIMS Facility is approximately 12.52 km away.

The Niğde Central Air Quality Monitoring Station [21] is in Kılıçarslan Park, 3 km from the district's stone mines and 6 km to the industrial district.

Devices used for PM_{10} and SO_2 measurements at air quality monitoring stations

Continuous Particle Monitor BAM 1020

PM_{10} and $PM_{2.5}$ can be measured with the BAM 1020 model device from Met One Instruments. BAM 1020 automatically measures and records particle concentration levels in the air (in milligrams or micrograms per cubic meter) using the industry-tested principle of beta-ray depletion [22]. The particulates in the air drawn from the external environment are placed on the filter and are measured by the device on a filtering strip wrapped on the inside of the device. The interior and exterior appearance of the device are shown in Figure 3.



Figure 3

The Combined Display of 5 Air Quality Monitoring Stations on The Map

Continuous Particle Monitor MP101M

The MP101M model device of Envea, shown in Figure 4, can be used to measure the concentration of PM_{10} , $PM_{2.5}$ and PM_1 fine dust in the range 0-10,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in accordance with ISO 10473 Standard. The MP101M uses the standard ISO 10473 beta indicator measurement method for continuous measurements of the concentration of fine dust in ambient air [23].



Figure 4

Continuous Particle Monitor MP101M Device View

Sulphur Dioxide Analyzer AF22e

The E Series Sulphur Dioxide Analyzer AF22e, shown in Figure 5 by Envea, is capable of measuring in the range of 0-10 ppm or 0-1 ppm. For monitoring SO₂ in the device, the UV Flúoresan uses the EN 14212 standard method for measuring SO₂ with a gas monitor [24].



Figure 5

E Series Sulphur Dioxide Analyzer AF22e Device View

RESULTS

Clean air is one of the most important criteria for making human life healthy and sustainable. The increased load of air pollution causes respiratory problems, but also adversely affects the growth of plants. In this context, the reduction in air pollution in our neighborhoods will be beneficial to all beings. In this study, monthly data for PM₁₀ and SO₂ parameters were evaluated on the basis of measurement data from the Air Quality Monitoring Stations from 2017 to 2021. According to the results obtained, the national threshold values for SO₂ have not been exceeded in five provinces, while for PM₁₀ there has been noticeable excesses.

The following are graphs of the five-year PM₁₀ and SO₂ monthly averages of the selected Air Quality Monitoring Stations for the study, as well as for five provinces separately, and the measurement by months of the number of PM₁₀ limits exceeded for five years.

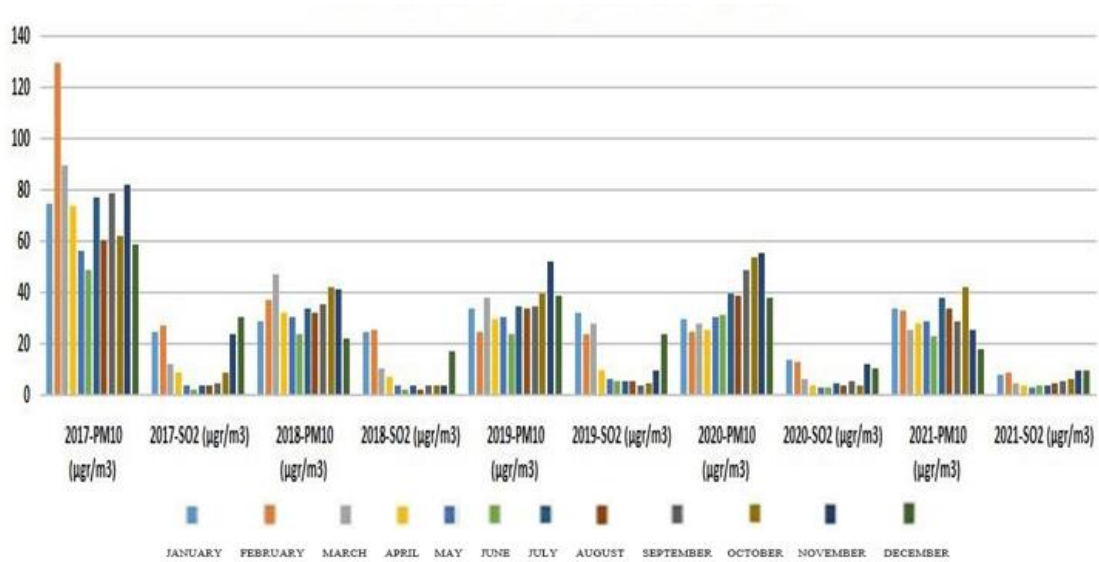


Figure 6
5-Year PM_{10} - SO_2 Monthly Averages at Karaman-Central Air Quality Monitoring Station

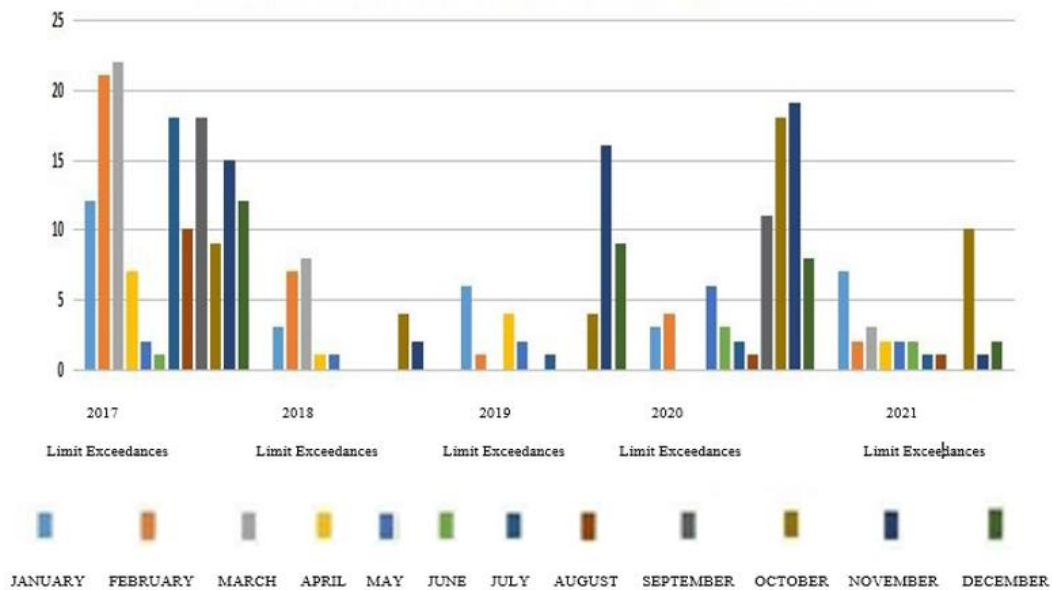


Figure 7
Assessment of 5-Year PM_{10} ($\mu g/M^3$) Limits by Months by The Karaman-Central Air Quality Monitoring Station

When Figure 6 and Figure 7 are examined, it is apparent that the PM_{10} averages in Karaman province in 2017 and the limits are too high compared to other years.

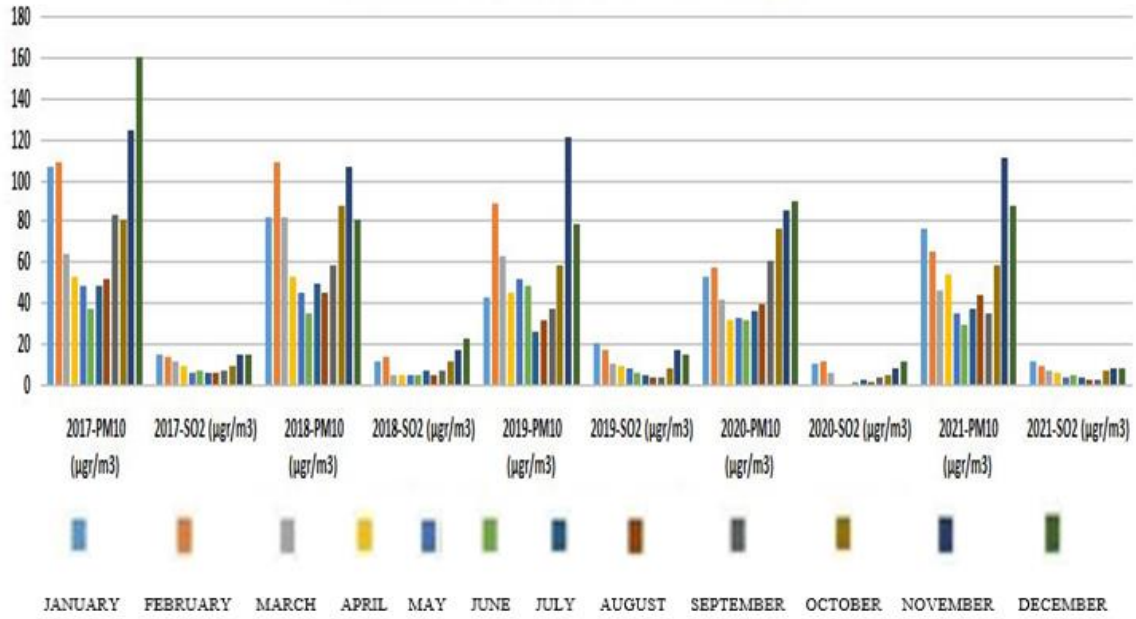


Figure 8
5-Year PM₁₀-SO₂ Monthly Averages at The Kayseri-Hürriyet Air Quality Monitoring Station

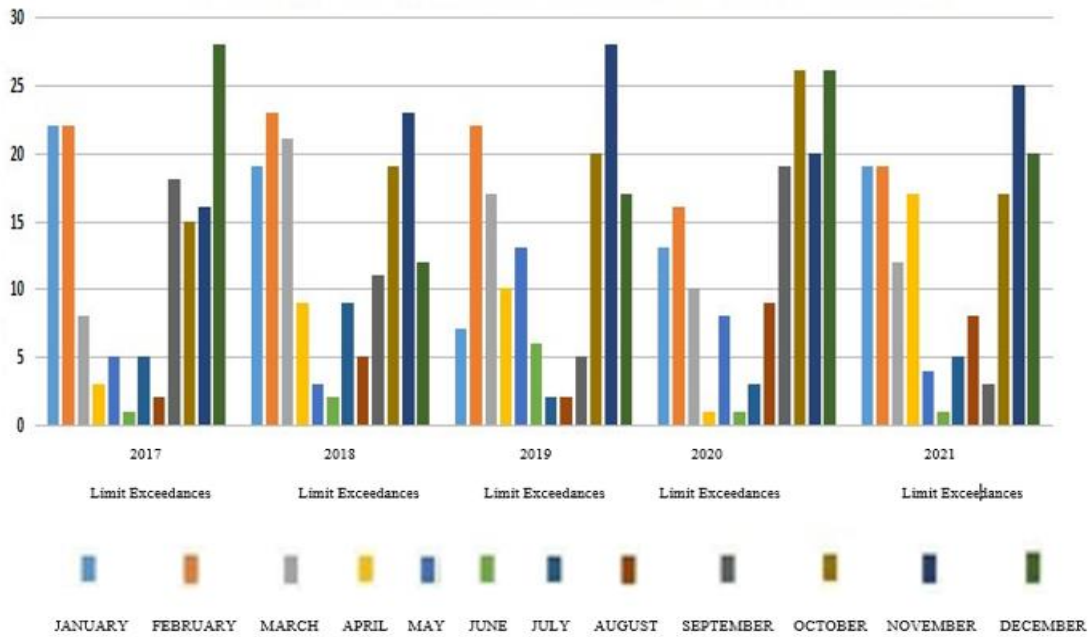


Figure 9
The Kayseri-Hürriyet Air Quality Monitoring Station Assesses 5-Year PM₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) Limits by Month

When Figure 8 and Figure 9 are examined, the PM₁₀ averages in Kayseri province and the limits of excesses are almost identical in the years 2017-2021.

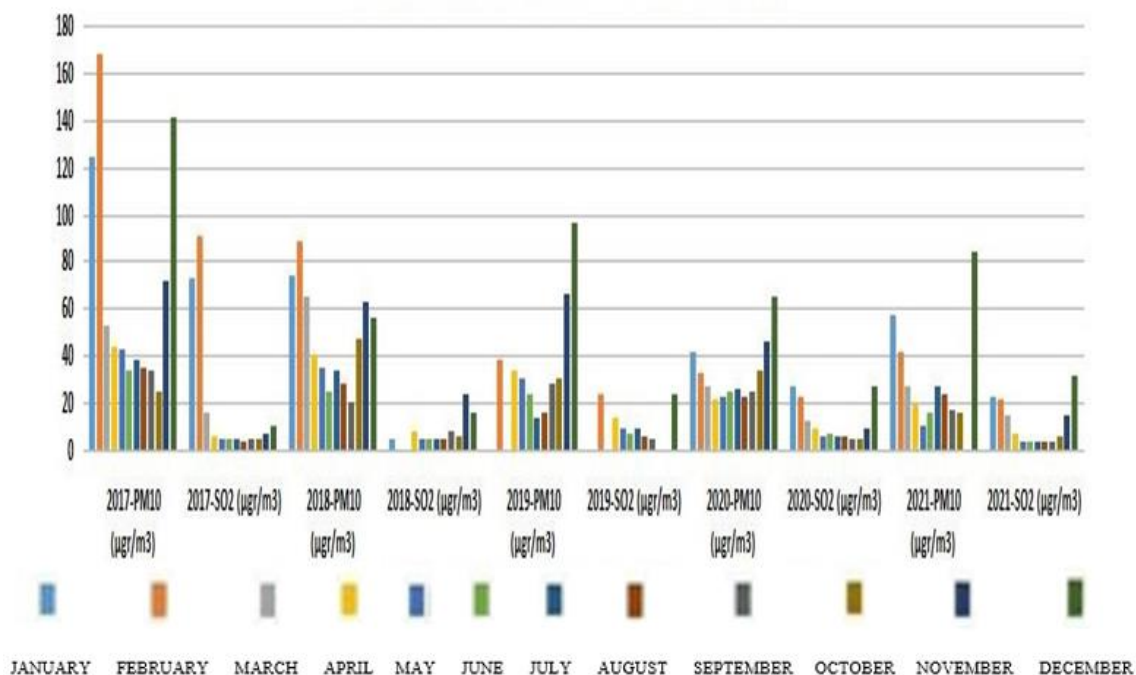


Figure 10
5-Year PM_{10} - SO_2 Monthly Averages at Konya-Merem Air Quality Monitoring Station

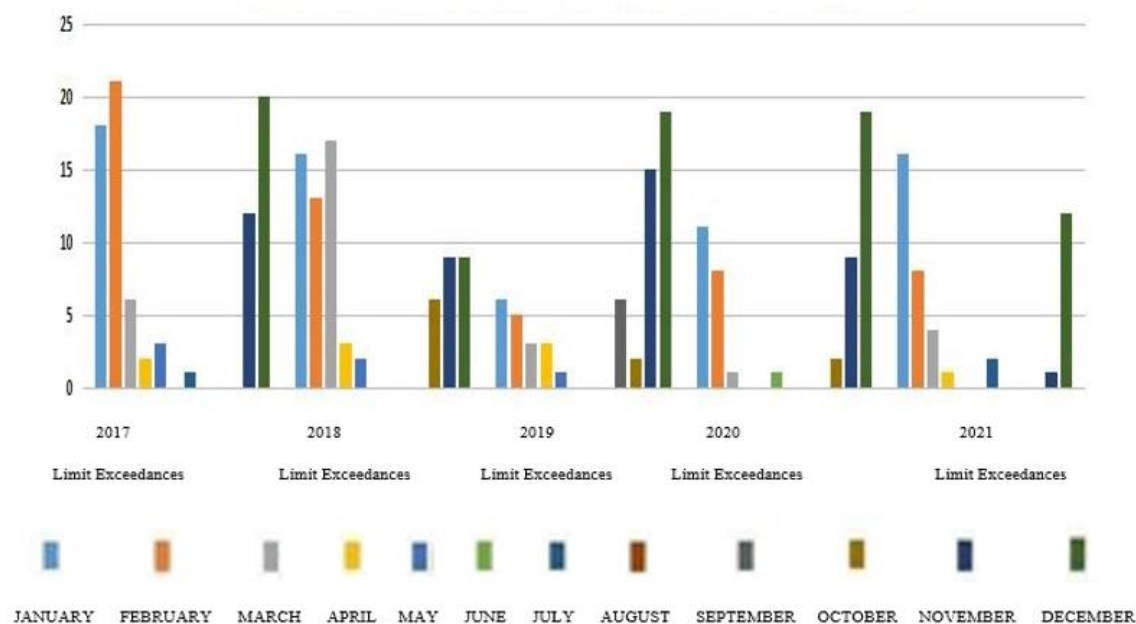


Figure 11
Konya-Merem Air Quality Monitoring Station Estimates 5-Year PM_{10} ($\mu g/m^3$) Limits by Months

When Figure 10 and Figure 11 were examined, it was found that after the years 2017 and 2018, the province of Konya has a tendency to decrease PM_{10} averages and the number of exceeding limits towards 2021. The data for January, November and December appear to be well above the other months.

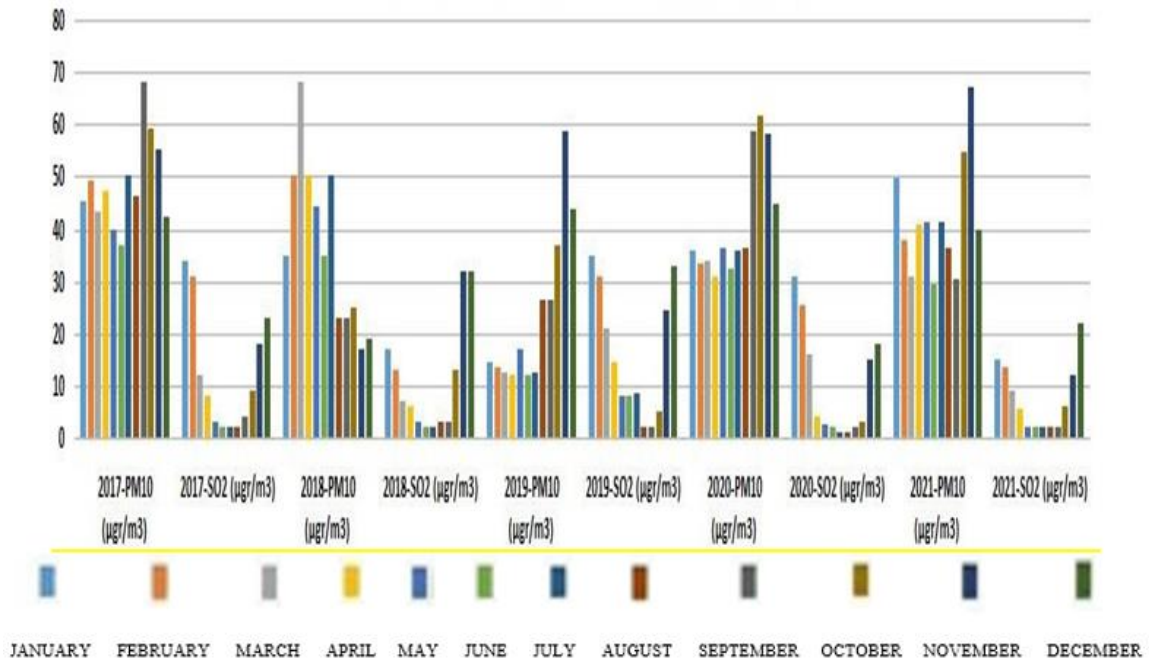


Figure 12
5-Year PM_{10} - SO_2 Monthly Averages at Nevşehir-Central Air Quality Monitoring Station

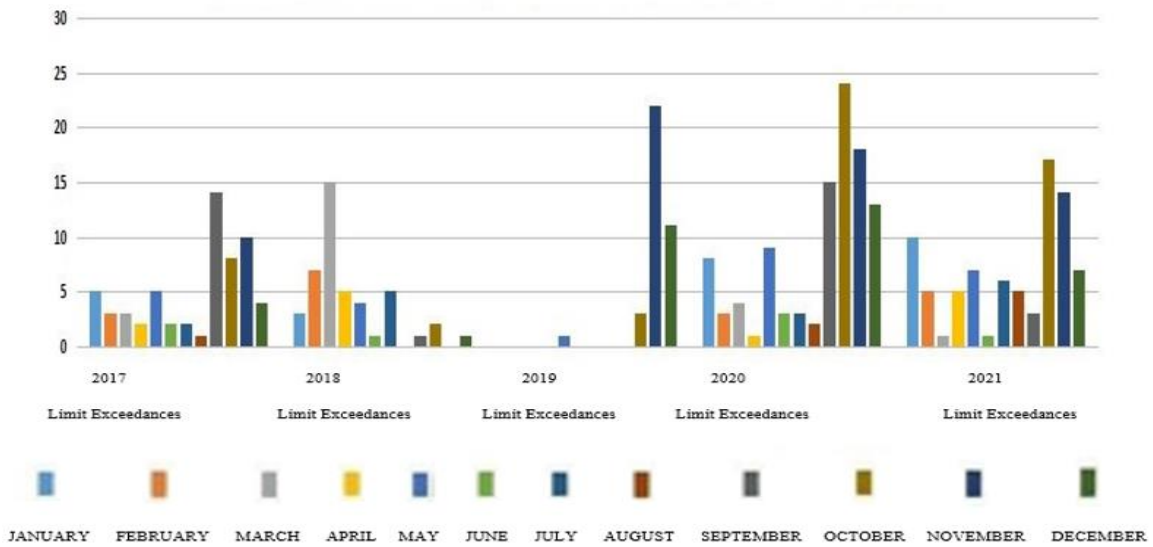


Figure 13
Nevşehir-Central Air Quality Monitoring Station 5-Year PM_{10} ($\mu g/m^3$) Exceeding Limits in Months

When Figure 12 and Figure 13 were examined, it was found that the PM_{10} averages in Nevşehir province and the limits of excesses were almost identical in the years 2017-2021. The months of January, November and December coincide with the fact that the data are much higher than the other months.

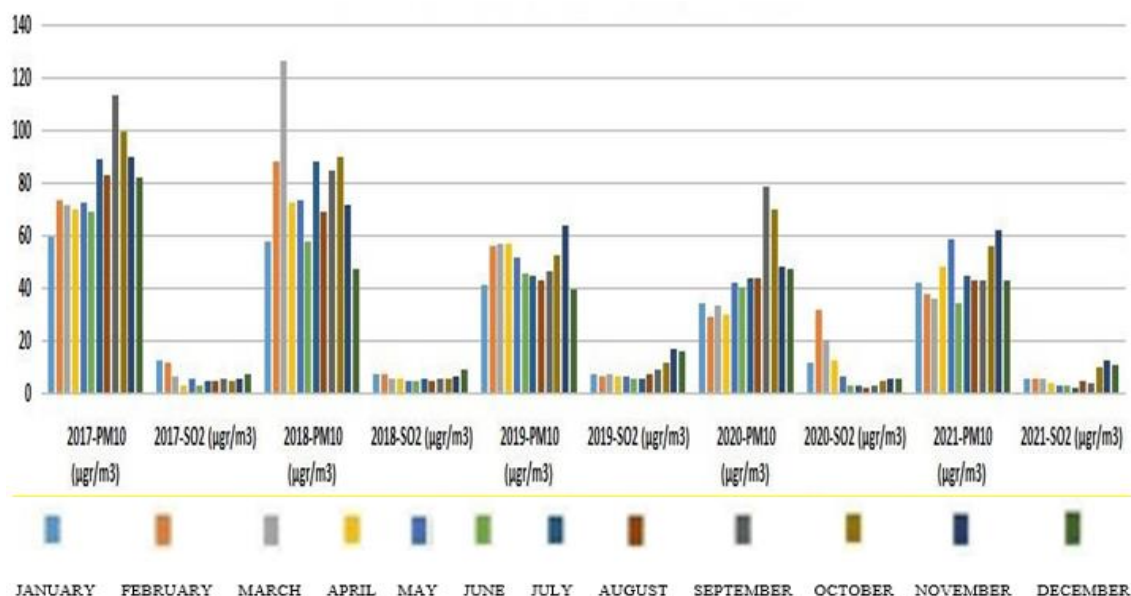


Figure 14
Niğde-Central Air Quality Monitoring Station 5-Year PM_{10} - SO_2 Monthly Averages

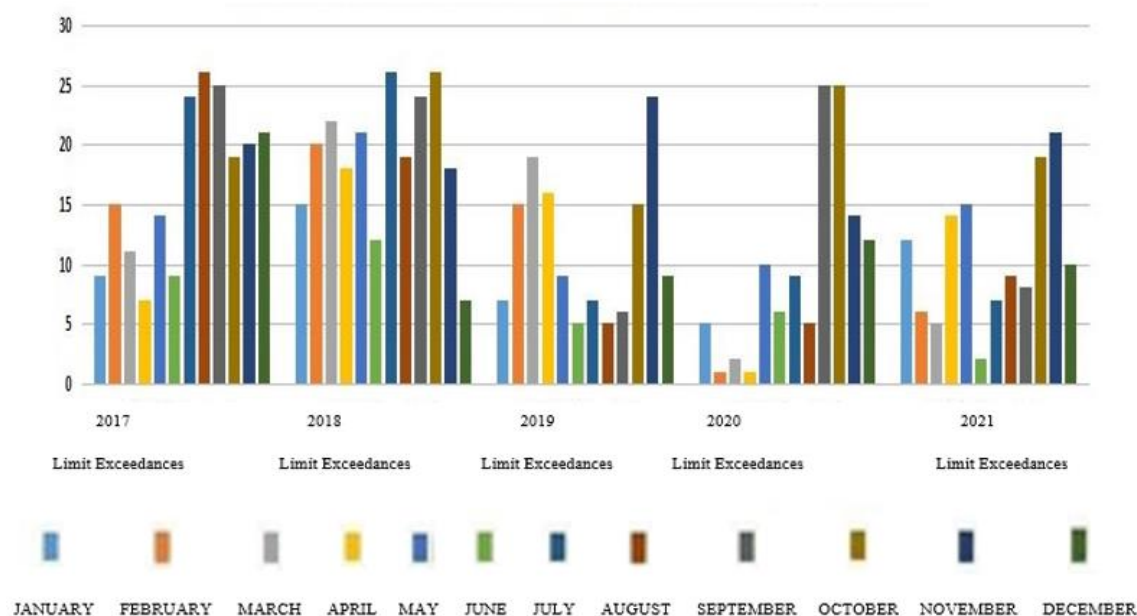


Figure 15
The Niğde- Central Air Quality Monitoring Station Assesses the Five-Year PM_{10} ($\mu g/m^3$) Limits by month

When Figure 14 and Figure 15 are examined, it is estimated that the PM_{10} averages and the limit exceeding numbers in Niğde province are much higher than in other provinces, which may be directly related to the level of advancement of the provinces.

According to the Ministry of Environment, Urban Affairs and Climate Change Directorate-General for Environmental Management No. 2013/37 “General Air Quality Assessment and Management”, the limit values for PM_{10} are given in the table of gradual reduction in limits (Table 1) [25].

Table 1
Gradual Reduction Limit Values for PM₁₀ (µg/m³) by Years

POLLUTANT	AVERAGE DURATION	LIMIT VALUE (µg/m ³)						
		2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
PM ₁₀	24 Hours -For the protection of human health	100	100	90	80	70	60	50
	Yearly-For the protection of human health	60	60	56	52	48	44	40

PM₁₀ measurement data of 5 provinces between 2017 and 2021 were compared with the limit values in Table 1 based on seasonal, annual and 5-year averages. Comparisons made separately for each province are given and the limit excess values are given as bold in Table (2-6).

Table 2
Seasonal, Annual And 5-Year Averages of PM₁₀ (µg/m³) for Karaman Province

	YEAR	SEASONAL AVERAGE PM ₁₀ (µg/m ³)				5 YEAR AVERAGE PM ₁₀ (µg/m ³)	ANNUAL AVERAGE PM ₁₀ (µg/m ³)
		WINTER	SPRING	SUMMER	AUTUMN		
KARAMAN	2021	29.55	26.66	31.06	33.29	41.70	30.14
	2020	30.58	27.41	36.12	52.57		36.67
	2019	31.91	27.34	30.73	41.70		32.92
	2018	29.56	36.02	29.25	39.39		33.56
	2017	86.89	73.02	61.70	74.01		73.91
	5-YEAR SEASONAL AVERAGE PM ₁₀ (µg/m ³)	41.70	38.09	37.77	48.19		41.44

Table 3
Seasonal, Annual and 5-Year Averages of PM₁₀ (µg/m³) for Kayseri Province

	YEAR	SEASONAL AVERAGE PM ₁₀ (µg/m ³)				5 YEAR AVERAGE PM ₁₀ (µg/m ³)	ANNUAL AVERAGE PM ₁₀ (µg/m ³)
		WINTER	SPRING	SUMMER	AUTUMN		
KAYSERİ	2021	76.45	44.58	36.49	67.86	78.54	56.34
	2020	66.56	35.38	35.53	73.67		52.79
	2019	68.67	53.61	34.84	71.59		57.18
	2018	90.37	59.98	43.09	83.95		69.35
	2017	124.93	54.33	45.33	95.60		80.05
	5-YEAR SEASONAL AVERAGE PM ₁₀ (µg/m ³)	85.40	49.58	39.06	78.54		63.14

Table 4

Seasonal, Annual and 5-Year Averages of PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) for Konya Province

	YEAR	SEASONAL AVERAGE PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				ANNUAL AVERAGE PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
		WINTER	SPRING	SUMMER	AUTUMN	
KONYA	2021	60.98	18.48	22.09	19.90	30.37
	2020	46.08	23.24	24.13	34.37	31.95
	2019	71.20	34.37	17.35	41.18	41.03
	2018	72.92	46.65	28.64	43.11	47.83
	2017	144.56	46.39	35.71	43.82	67.62
	5-YEAR SEASONAL AVERAGE PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	79.15	33.83	25.58	36.47	5 YEAR AVERAGE PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Table 5

Seasonal, Annual and 5-Year Averages of PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) for Nevşehir Province

	YEAR	SEASONAL AVERAGE PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				ANNUAL AVERAGE PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
		WINTER	SPRING	SUMMER	AUTUMN	
NEVŞEHİR	2021	40.41	38.45	35.33	50.88	41.27
	2020	37.88	33.84	34.83	58.54	41.27
	2019	23.84	14.06	17.17	40.81	23.97
	2018	34.44	54.09	35.93	21.90	36.59
	2017	45.23	43.67	44.07	60.49	48.36
	5-YEAR SEASONAL AVERAGE PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	36.36	36.82	33.47	46.53	5 YEAR AVERAGE PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Table 6

Seasonal, Annual and 5-Year Averages of PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) for Niğde Province

	YEAR	SEASONAL AVERAGE PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				ANNUAL AVERAGE PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
		WINTER	SPRING	SUMMER	AUTUMN	
NİĞDE	2021	40.73	48.17	40.47	52.81	45.55
	2020	37.11	34.36	42.18	63.34	44.25
	2019	45.81	55.14	43.98	53.59	49.63
	2018	63.55	90.54	70.48	82.05	76.65
	2017	70.97	71.49	80.71	100.04	80.80
	5-YEAR SEASONAL AVERAGE PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	51.63	59.94	55.56	70.37	5 YEAR AVERAGE PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The main reason why PM_{10} and SO_2 parameters are preferred for the study is that long-term and complete data for these parameters can be obtained from air quality monitoring stations. According to the measurements of the air quality monitoring stations involved in the study, especially in winter, the air has been exposed to intense pollution due to high PM_{10} values, which is due to domestic heating fuel consumption. Air pollution has increased significantly due to meteorological factors such as wind, inversion, and criteria arising from the land structure of the areas.

Annual and seasonal changes in SO_2 and PM_{10} average concentrations should be reported for each province and these values evaluated by comparing them with limit values. When the results are evaluated, it is seen that the SO_2 values of five provinces are below the limit values, but the PM_{10} values exceed the limit values.

Topographic structure features and meteorological conditions have a significant impact on the distribution of air pollutants. Air movements in the atmosphere, temperature, temperature reversal, humidity, wind speed and direction are some of these factors.

In terms of topographic structure features, settlement locations are located on areas such as plains, valleys, and in areas where surrounding elevations such as high plateaus, mountains and hills are increasingly surrounded, where air pollution is high. The landforms influence the retention of polluted air in the residential area. On the other hand, although it is not a direct impact, it is significant in terms of affecting the duration of the current pollution.

Air pollution caused by a lot of different factors is a problem in many cities today. Air pollution from urban and industrial activities can be prevented by appropriate location selection. In settlements that are geographically situated at the bottom of the valley, and which have evolved to the advancing land structure, it can be said that urban air pollution activity has concentrated on the settlement and has resulted in a health-threatening atmosphere. In addition, the presence of industrialized areas in the region, regardless of the predominant wind direction, adds to the current pollution.

To the extent that exposure to air pollution can be reduced, climate characteristics, together with the geographical characteristics of the region, should be decisive in the choice of location. Factors such as temperature, humidity, pressure and wind should be considered by the natural structure of the land, and urban and industrial areas should be planned accordingly. Otherwise, our cities, both under the influence of intense polluting activities and the natural phenomena caused by the geographical and climatic characteristics of the natural structure, will create high air pollution and, at the same time, unhealthy habitats.

In this context, it can be said that the PM_{10} value has a significant negative impact on the air quality. It is clear from the air quality monitoring station's data that domestic heating fuel consumption has exceeded the high concentrations especially during the winter season. The highest number of overruns among 5 provinces occurred in 2018 in Niğde.

The way to prevent existing and potential pollution in nature is through the raising of conscious and educated generations. The Provincial Directorates, the Directorates of the Clean Air Centre, and the Ministry of National Education, together, set targets and coordinated awareness-raising training, starting at the primary level, could be an important step towards this goal. To prevent pollution, it is important that local authorities (State and local governments) develop and implement action plans that involve all stakeholders.

Delivering natural gas to every household and every workplace, thus minimizing the use of fossil fuels, widespread central heating in buildings, simultaneous monitoring of high-heat-power

facility gas emissions, increased use of natural-friendly energy sources, and making public transportation easy and economical will contribute to reducing pollution.

The increase in the number of air quality monitoring stations has been determined to be beneficial to more accurately detect and model existing pollution in the provinces.

It is essential for people to have clean air to breathe to live healthy and comfortable lives. Increased pollution causes respiratory disorders, especially in humans, and prevents plants from growing. In addition, air pollution has a devastating effect on architectural structures. In this context, improved air quality in our cities will have a positive impact on living creatures and human beings.

According to the data from our research team, pollution is intense due to the PM₁₀ parameter, especially in winter, and national limit values have been exceeded because of the use of fuel for heating purposes. Meteorological (wind, inversion, etc.) and topographic conditions contribute to a significant increase in the air pollution load. Air pollution caused by industry and transport also increases the burden of urban contamination. According to the data, SO₂ is not a problem.

In collaboration with the Directorates of Environment, Urbanism and Climate Change, the Directions of the Clean Air Centre and the Provincial National Education Directorates, awareness-raising training from the early age of primary education would be a good starting point. In order to prevent pollution, the decision-makers of the provinces (State and local governments) attach importance to the preparation and implementation of Clean Air Action Plans in a sustainable format with stakeholders. Reducing the use of fossil fuels, increasing central heating and natural gas use, providing natural gas support to needy families, online monitoring of heat-powered industrial facilities, using clean energy such as solar and geothermal, self-sufficiency of bicycle use and public transportation will contribute to reducing pollution. It would be useful to increase the number of stations, to carry out field sampling, and to pay attention to modeling work to fully understand the level of pollution in the provinces.

Ethical Declaration

This study was prepared from the master's thesis titled "Evaluation of PM₁₀ and SO₂ Parameters in Five Provinces in the Central Anatolia Region", presented on 28.12.2022, under the supervision of Associate Professor Fatma KUNT.

Author Credits

Research Design, Conceptualization (CRediT 1) Fatma Kunt (%60) – Ahmet Özkan (%40)

Data Collecting (CRediT 2) Fatma Kunt (%50) – Ahmet Özkan (%50)

Research - Data Analysis - Validation (CRediT 3-4-6-11) Fatma Kunt (%40) – Ahmet Özkan (%60)

Writing (CRediT 12-13) Fatma Kunt (%60) – Ahmet Özkan (%40)

Review & Editing (CRediT 14) Fatma Kunt (%60) – Ahmet Özkan (%40)

Conflict of Interest

The authors have no conflicts of interest to disclose for this study.

REFERENCES

- [1] T. Singh, A. Biswal, S. Mor, K. Ravindra, V. Singh, S. Mor, A high-resolution emission inventory of air pollutants from primary crop residue burning over Northern India based on VIIRS thermal anomalies, *Environmental Pollution*. 266 (2020), 115132.
- [2] T.Y. Oral, F.B. Bekman, İnsan sağlığı hizmetleri çalışanlarının maruz kaldığı meslek hastalığı etkenlerinin iş sağlığı ve güvenliği kapsamında incelenmesi, *Genel Sağlık Bilimleri Dergisi*. 3 (2021), 160-178.
- [3] Göğüs hastalıkları polikliniğine başvuran olguların sigara içme özellikleri | GCRIS Database | Pamukkale University, (t.y.). <https://gcris.pau.edu.tr/handle/11499/41336> (erişim 24 Mayıs 2024).
- [4] G. Göney, C. Gazeloğlu, M. Nal, Association between smoking exposure and obesity in turkey, *Genel Sağlık Bilimleri Dergisi*. 2 (2020), 19-27.
- [5] I. Reisli, Y. Köksal, Astım patogenezi, *Selçuk Tıp Dergisi*. 18(4) (2002), 267-273.
- [6] K. Nalbant, S. Erden, Autism Spectrum Disorder and Prenatal Risk Factors, *Selçuk Tıp Dergisi*. 4 (2019), 282-290. doi:10.30733/std.2019.00942.
- [7] Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü, Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği (t.y.). <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2008/06/20080606-6.htm> (access 22 March 2024).
- [8] G. Reis Manap, S. Aydın, Çevresel Etki Değerlendirilmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, Türkiye Çevre Sorunları ve Öncelikleri Değerlendirme Raporu (t.y.) https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/turk-ye-cevre-sorunlari-ve-oncel-kler-_2022_3_ver3.logoduzenlendi-20230901135641.pdf (access 22 March 2024).
- [9] M. Zortuk, Y. Bozkurt, Kentlerin çevre kirliliği ve gelişmişlik düzeylerine göre sınıflandırılması: amprik bir yaklaşım, *Journal of Management and Economics Research*. 12 (2014), 72-81.
- [10] İ. Çildir, A. Mutlu, Balıkesir şehir merkezinde hava kirliliği seviyelerinin zamansal ve mekansal analizleri, *Journal of Advanced Research in Natural and Applied Sciences*. 8 (2022), 246-266. doi:10.28979/jarnas.950206.
- [11] İ. Zeynep, İ. Uyanık, Sanayi kaynaklı noktasal emisyonların hava kalitesine katkısı: Kayseri ili örneği, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*. 8 (2022), 341-350.
- [12] O. Uğurlu, Konya İlinde Hava Kirliliğine Etki Eden Faktörlerin Mekânsal Analizi, Master's Thesis, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2021.
- [13] Z. Eren, F. Yerdelen Tatoğlu, T. Akarsu, A statistical evaluation of the effect of natural gas usage for urban heating on the air quality of Erzurum City via SO₂ ve PM₁₀, *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*. 28 (2022), 869-880.
- [14] Ö. Zeydan, 2019 Yılında Türkiye'deki Partikül Madde (PM10) Kirliliğinin değerlendirilmesi, *Journal of the Institute of Science and Technology*. 11 (2021), 106-118.
- [15] E. Koçak, Aksaray Kentinin PM10 ve SO₂ Konsantrasyonlarının Zamansal Değişimi: Koşullu İki Değişkenli Olasılık Fonksiyonu ve K-means Kümeleme, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*. 6 (2018), 471-478. doi:10.21923/jesd.426741.
- [16] A. Nuray, G. Reis Manap, K. Sarioğlu, A.T. Sanalan, S. Aydın, Çevresel Etki Değerlendirilmesi, İzin ve Denetim Genel Müdürlüğü, Türkiye Çevre Sorunları ve Öncelikleri Değerlendirme Raporu (t.y.) https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/tu-rk-yecevresorunlariveoncel-kler-_2020-20210401124420.pdf (access 22 March 2024).
- [17] Güney İç Anadolu Temiz Hava Merkezi Müdürlüğü (t.y.) https://webdosya.csb.gov.tr/db/giathm/menu/karaman-brosur_20200313044240.pdf (access 22 March 2024).

- [18] Güney İç Anadolu Temiz Hava Merkezi Müdürlüğü (t.y.)
https://webdosya.csb.gov.tr/db/giathm/menu/kayseri-brosur_20200313044225.pdf (access 22 March 2024).
- [19] Güney İç Anadolu Temiz Hava Merkezi Müdürlüğü (t.y.)
https://webdosya.csb.gov.tr/db/giathm/menu/konya-brosur_20200313044114.pdf (access 22 March 2024).
- [20] Güney İç Anadolu Temiz Hava Merkezi Müdürlüğü (t.y.)
https://webdosya.csb.gov.tr/db/giathm/menu/nevsehir-brosur_20200313044032.pdf (access 22 March 2024).
- [21] Güney İç Anadolu Temiz Hava Merkezi Müdürlüğü (t.y.)
https://webdosya.csb.gov.tr/db/giathm/menu/nigde-brosur_20200313043816.pdf (access 22 March 2024).
- [22] <https://metone.com/products/bam-1020/> (access 22 March 2024).
- [23] <https://www.envea.global/s/ambient/particulate-monitors/mp101m-pm10-pm2-5/> (access 22 March 2024).
- [24] <https://www.envea.global/s/ambient/gas-monitors-ambient/af22e/> (access 22 March 2024).
- [25] Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü (t.y.)
<https://webdosya.csb.gov.tr/db/cygm/editordosya/GNG2013-37HavaKalitesiDegerl.pdf> (Access 14 June 2024).

Havacılık Sektöründe Yeşil Kompozitler: NACA 4452 Rib Uygulaması

Mesut UYANER^{1*}  Kübra KARADAL²  Tolga MERDAN³ 
Nagehan Nur ACAR¹ 

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

² Fergani Uzay Teknolojileri Bilişim Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul, Türkiye

³ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Uçak Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

⁴ TUSAŞ Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş., Ankara, Türkiye

Makale Bilgisi

ÖZET

Geliş Tarihi: 09.12.2023
Kabul Tarihi: 15.04.2024
Yayın Tarihi: 31.08.2024

Anahtar Kelimeler:

Analiz,
Havacılık,
Yenilenebilirlik,
Yeşil Kompozit,
AL 7075-T6,
Cam elyaf/Elium.

Günümüzde kompozit malzemelerin kullanımı gelişen teknolojiyle birlikte doğru orantılı bir şekilde artmaktadır. Kompozit malzemeler hayatımızın birçok farklı alanında özellikle makina, otomotiv ve havacılık ve uzay sanayide ve bunun gibi birçok alanda karşımıza çıkmaktadır. Kompozit malzemeler kullanacağımız alan ve istediğimiz yapısal özellikler için maksimum verime ulaşmamızda yardımcı olacak en az iki malzemenin makro düzeyde birleşmesiyle oluşan malzemelerdir. İstenilen yapısal özellikleri özellikle havacılık ve uzay sanayide bir numaralı öncelik olan hafiflik ve yüksek mukavemet dayanımı özelliklerini bize daha başarılı bir şekilde sunmakta ve bunun neticesinde de şirketlerin ekonomik olarak daha iyi seviyelere gelmesine ve dolaylı yoldan hizmetlerin fiyat performans oranında daha üst seviyelere çıkmasına sebep olmuştur. Kompozit malzemelerin hayatımıza doğrudan etki etmesi ve gelişen teknoloji ile birlikte bu alana daha çok ilgi ve beklentinin artması kaçınılmaz hale gelmiştir. Doğal liflerden ve biyopolimerlerden yapılan polimer kompozitler yeşil kompozitler olarak adlandırılır ve kompozitlere kıyasla bazı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Çalışmamız yeşil kompozitlerin özellikleri, kullanım alanları, günümüzde ve havacılık sektöründeki yerini ortaya koymakta ve yeşil kompozit olarak değerlendirilen termoplastik kompozit sistemlerinde cam elyaf/Elium'un NACA 4452 uçak kanadı ribinin gerilme analizini sunmaktadır. Bu çalışmamız, bertarafı zor ve maliyetli olan termoset kompozit sistemlerinin yerine termoplastik kompozit sistemi olan cam elyaf/Elium sisteminin metal rib yerine rahatlıkla kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Green Composites in Aviation Industry: NACA 4452 Rib Application

Article Info

ABSTRACT

Received: 09.12.2023
Accepted: 15.04.2024
Published: 31.08.2024

Keywords:

Analysis,
Aviation,
Green Composite,
Renewability,
AL 7075-T6,
Glass fiber/Elium.

Today, the use of composite materials is increasing in direct proportion with the developing technology. Composite materials appear in many different areas of our lives, especially in the machinery, automotive and aerospace industries, and in many other areas. Composite materials are materials that are formed by combining at least two materials at a macro level that will help us achieve maximum efficiency for the area we will use and the structural features we want. The desired structural features, especially the number one priority in the aerospace industry, provide us with the lightness and high strength features more successfully, and as a result, the companies have come to better levels economically and indirectly the price-performance ratio of the services has increased to higher levels. With the direct impact of composite materials on our lives and the developing technology, it has become inevitable to increase more interest and expectations in this field. Polymer composites made from natural fibers and biopolymers are called green composites and have some advantages and disadvantages compared to composites. Our study reveals the properties of green composites, their usage areas, their place in today's and aerospace industry and presents the stress analysis of glass fiber/Elium in thermoplastic composite systems considered as green composites in NACA 4452 aircraft wing rib. This study has shown that the glass fiber/Elium thermoplastic composite system can be easily used in replace of metal ribs, as thermoset composite systems, which are hard and costly to recycle.

To cite this article:

Uyaner, M.; Karadal, K.; Merdan, T. & Acar, N.N. (2024). Havacılık sektöründe yeşil kompozitler: NACA 4452 Rib uygulaması. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 272-288. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.48>

*Sorumlu Yazar: Mesut Uyaner, muyaner@erbakan.edu.tr



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde, teknolojinin gelişmesiyle birlikte kompozit malzemelerin kullanımı artmaktadır. Bu malzemeler, minimum iki farklı malzemenin birleştirilmesiyle oluşan ve istenilen yapısal özellikleri elde etmek için tasarlanmış malzemelerdir. Kompozit malzemeler, makine, otomotiv, havacılık ve uzay sanayi gibi çok çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Özellikle havacılık ve uzay sanayisi sektöründe, hafiflik ve yüksek mukavemet dayanımı gibi önemli yapısal özelliklerin elde edilmesinde kompozit malzemeler çok işlevsel hale gelmiştir. Bu özellikleri sayesinde, şirketler ekonomik açıdan daha verimli hale gelmiş ve hizmetlerinin fiyat performans oranı yükselmiştir.

Kompozit malzemelere kıyasla hafiflik, yenilenebilirlik gibi konularda nispeten daha avantajlı olduğu, doğal liflerden ve biyo-polimerlerden yapılan polimer kompozitlere yeşil kompozitler denir. Yeşil kompozitlerin kullanımı her geçen gün artması beklenmekte olup bu konu üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

2021’de Habib Awais ve arkadaşları çalışmalarında [1] doğal liflerle güçlendirilmiş termoplastik kompozitlerin çevre dostu bir seçenek olabileceği konusunu incelemişlerdir. Bu malzemeler biyolojik olarak parçalanabilir, düşük maliyetli ve yenilenebilir özellikleri nedeniyle havacılık endüstrisinde giderek daha popüler hale gelmektedir. Makalede ayrıca, farklı doğal lif türlerinin avantajları ve dezavantajları ele alınarak, bu liflerin termoplastik kompozitler ile birleştirilerek nasıl kullanılabileceği incelenmiştir. Bu doğal lifler arasında, kenevir, keten, jüt, bambu, kuzu yünü ve pamuk gibi lifler yer almaktadır.

2012’de Anahi Pereira da Costa ve arkadaşları yaptıkları çalışmaya [2] göre; termoplastik kompozitler için en yaygın kullanılan kaynak teknolojilerinden biri ultrasonik kaynaktır. Bu teknik, yüksek frekanslı titreşimleri kullanarak ısının üretilmesini ve kaynaklanacak iki parça arasında moleküler bağ oluşmasını sağlar. Diğer sık kullanılan bir teknik ise lazer kaynağıdır. Bu teknik, ısı girdisinin hassas kontrolünü ve karmaşık şekillerin kaynağı yapabilme yeteneğini sağlamaktadır. Termoplastik kompozitler için keşfedilen diğer kaynak teknolojileri arasında sıcak plaka kaynağı, titreşimli kaynak ve indüksiyon kaynağı yer almaktadır. Her bir teknik kendi avantajları ve sınırlamalarına sahiptir ve kaynak teknolojisi seçimi, kaynaklanacak parçaların geometrisi, kaynaklı birleşik özellikleri ve üretim hacmi gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu çalışma havacılık endüstrisinde termoplastik kompozitlerin kaynak teknolojileri konusunda detaylı bir inceleme sunmaktadır.

2016’da yaptığı çalışmada [3] Django Mathijsen, termoplastik kompozit malzemelerin havacılık endüstrisindeki kullanımının önemini vurgulamaktadır, termoplastik kompozit malzemelerin hafif, sağlam ve çevre dostu olduğu belirtilmektedir. Yazar, termoplastik kompozit malzemelerin avantajlarına odaklanarak, uçak parçalarının üretim sürecinin daha hızlı ve verimli hale getirilebileceğini ve aynı zamanda daha sürdürülebilir bir seçenek sunabileceğini ifade etmektedir.

2014’te T.Subash, S.Nadaraja Pillai tarafından yapılan çalışmada [4] uçak iç yapılarında kullanılan yeşil kompozitlerin üretiminde bast liflerinin önemini incelemişlerdir. Bu lifler, düşük maliyetli ve çevre dostu oldukları için tercih edilmektedir. Aynı zamanda, bu liflerin yüksek mukavemet özellikleri de bulunmaktadır. Yapılan çalışmada ayrıca, bast liflerinin farklı matris malzemeleri ile birleştirilerek yeşil kompozitlerin üretilebileceği belirtilmiştir. Bu yeşil kompozitler, geleneksel kompozitlere göre daha çevre dostu olmaları nedeniyle havacılık endüstrisinde giderek popüler hale gelmektedir. Yeşil kompozitlerin uçak iç yapılarında kullanımı konusunda kapsamlı bir inceleme sunan çalışma. Ayrıca, çalışmada bast liflerinin diğer geleneksel liflerle karşılaştırıldığında avantajlarına da yer verilmiştir.

2017’de Claudio Scarponi ve arkadaşları yapmış olduğu çalışmada [5], havacılık endüstrisi için yeşil kompozit malzemelerin, biyobazlı polimerlerin ve doğal fiber takviyeli polimer matrislerinin iç mekân panellerinde kullanımının avantajlarını vurgulamaktadır. Yazar bu malzemelerin havacılık endüstrisinde yaygınlaştırılması konusunda farkındalık oluşturmuştur.

2017’de S. Gopi ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada [6] havacılık endüstrisinde yeşil malzemelerin kullanımının önemi vurgulanmıştır. Makale, biyolojik kaynaklardan elde edilen malzemelerin ve geri dönüştürülmüş malzemelerin havacılıkta kullanımının artmasıyla birlikte çevresel sürdürülebilirliğin artacağına dair bir argüman sunmaktadır. Çalışma, biyoplastikler ve geri dönüştürülmüş malzemelerin havacılık endüstrisi için potansiyel olarak kullanılabilir olduğunu göstermektedir.

2018’de Sharath Shekar ve M. Ramachandra yaptıkları çalışmada [7], yeşil kompozit malzemelerin kullanımının çevresel sürdürülebilirlik açısından önemini vurgulamıştır. Makale, biyolojik kaynaklardan elde edilen malzemelerin ve geri dönüştürülmüş malzemelerin bileşiminden oluşan yeşil kompozit malzemelerin avantajlarına odaklanmaktadır.

2019’da C. Soutis ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada [8], havacılık endüstrisinde yeşil kompozit malzemelerin kullanımının önemini vurgulanmaktadır. Makale, güçlendirici lifler için biyolojik kaynakların kullanılması, geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanımı ve biyo-temelli polimerler gibi yenilenebilir kaynakların kullanımına odaklanmaktadır. Yazarlar, bu yeşil kompozit malzemelerin geleneksel malzemelere göre çevresel etkilerinin daha düşük olduğunu ve aynı zamanda daha hafif olduğunu belirtmektedirler. Bu sayede, uçakların yakıt tüketiminde azalma sağlayarak çevreye daha az zarar verilebileceği söylenmektedir. Ayrıca havacılık endüstrisinde kullanılan geleneksel malzemelerin neden çevreye zararlı olduğuna da değinmektedir.

Bayraktar ve arkadaşları, Poliamid – Naylon 6/6 %50 uzun cam elyaf takviyeli kompozitten yapılmış ve kapı boşluğu içeren uçak gövde parçasının sanal testi gerçekleştirmişlerdir [9]. Bu çalışma ile uçak ana bileşeninde termoplastik kompozit sistemi kullanılabilirliği araştırılmıştır. Analiz neticesinde önerilen kompozit sisteminin standart iç basınç uygulamalarında erkenden akmaya uğradığı belirtilmiştir.

AL 7075-T6 alüminyum ve grafit epoksi malzemedan NACA-4412 ribleri boşluklu ve boşluksuz olarak tasarlanmış ve gerilme analizi gerçekleştirilmiştir [10].

Bu çalışmamızda ise NACA-4452 ribleri cam elyaf/Elum termoplastik kompozit sistemi kurgulanmıştır. Karşılaştırma için de AL 7075-T6 alüminyumundan mamul ribler seçilmiştir.

Yeşil Kompozitlerin Güncel Durumu

Kompozit malzemeler, farklı özelliklere sahip malzemelerin kombinasyonu ile oluşur ve bir arada kullanıldığında, benzersiz özellikler sunarlar. Kompozitler, dayanıklılık, hafiflik ve yüksek mukavemet gibi özellikleri nedeniyle pek çok farklı uygulamada kullanılır. Örneğin, karbon fiberle güçlendirilmiş polimer matrisli kompozitlerin, yüksek mukavemet ve hafiflik özellikleri vardır [11,12].

Kompozit malzemeler, dayanım özelliklerinden dolayı geniş bir uygulama alanına sahiptir. Bu malzemeler havacılık, otomobil, uzay teknolojisi, rüzgâr santralleri, spor malzemeleri ve daha birçok alanda kullanılmaktadır. Bununla birlikte, kompozit malzemelerin sınıflandırılması, uygulama alanlarına göre değişebilir.

İlk sınıflandırma kriteri, matris malzemesinin türüdür. Polimer matrisli kompozitler, seramik matrisli kompozitler, metal matrisli kompozitler ve karbon matrisli kompozitler olarak sınıflandırılabilirler. Her kategorinin kendine özgü özellikleri ve farklı uygulama alanları bulunmaktadır.

İkinci sınıflandırma kriteri, takviye elemanının tipidir. Takviye elemanları, lifler veya parçacıklar biçiminde olabilir. Fiber kompozitler, cam, karbon, aramid veya doğal fiberler gibi yüklem elemanlarından oluşur ve genellikle polimer matrisli kompozitlerde kullanılır. Parçacık takviyeli kompozit malzemeler, alümina, silisyum karbür ve bor gibi yüksek mukavemetli tozlardan oluşan malzemelerdir.

Kompozitlerin başka bir sınıflandırması, takviyelerin yönüne dayanmaktadır. Bu yönelim, tek yönlü, çift yönlü ve çok işlevli kompozitler olarak adlandırılabilir [11,12].

Kompozitlerin özellikleri, bileşen malzemelerin özelliklerine, yani kullanılan liflere ve reçinelere bağlıdır. Kompozitlerin mukavemeti ve sertliği, yükün çoğunu ve hacim içeriğini taşıyan takviye edici elyaf özelliklerine bağlıdır. Reçine ise kompozit içindeki liflerin göreceli konumunu korumaya yardımcı olur ve daha da önemlisi, yükü alt liflerden bozulmamış liflere aktarır. Yüksek mukavemetli kompozitler üretmek için, fiber özellikleri, reçine özellikleri ve ayrıca fiber/reçine arayüz özellikleri gibi üç faktörün tümü hesaba katılmaktadır. Elyafta yapılan modifikasyon ayrıca arayüzün ve kompozit özelliklerinin nemden etkilenecek bozulmasına karşı direnci geliştirir.

Ek olarak, işleme koşulları/teknikleri gibi faktörler, elyaf takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri üzerinde önemli etkiye sahiptir. Mekanik özellikleri üretim kalitesine, elde edildikleri bitkinin yaşına ve gövdesine, ekstraksiyon tekniklerine ve sahanın çevre koşullarına bağlı olarak değişir [7].

Yeşil Kompozitler

Doğal liflerden ve biyo-polimerlerden yapılan polimer kompozitlere yeşil kompozitler denir [13]. Doğal liflerden bazıları ise Hindistan cevizi, keten, sisal, kenevir vb.dir. Biyopolimerlere örnek olarak ise nişasta, Poli laktik asit (PLA), CNSL, furan vb. verilebilir.

Selüloz bazlı lifler, kökenlerine göre ayrıca sınıflandırılabilir: yaprak, sak, tohum, sap ve çimen. Sak, gövde ve yapraktan elde edilen lifler doğal olarak demetler halinde düzenlenir ve bu nedenle lif demetleri olarak adlandırılırken, tohumdan elde edilen lifler tek hücrelidir. Doğal lifler esas olarak üç ana bileşenden yapılır; selüloz, lignin ve hemiselüloz. Selüloz, doğal elyafın doğal mukavemetinden ve stabilitesinden sorumlu olan ana bileşendir. Genellikle kırsal alanlarda doğal lifler, halat, çanta, süpürge ve mobilya gibi yapısal olmayan uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Lifler ayrıca çatı kaplama ve yalıtım için kullanılabilir.

Selüloz bazlı elyaf/termoplastik kompozit sistemleri son zamanlarda araştırma ilgi konusu olmuştur. Yeniden üretilmiş selüloz kumaş/Elüim reçine termoplastik sisteminin üretimi, mekanik testleri ve simülasyonu bunlardan birisidir [14].

Yeşil kompozitlerin avantajları şu şekilde verilebilir:

- Kompozit ürünler, birim ağırlık başına iyi mekanik özelliklere sahiptir, dayanıklıdır. Yapıları karmaşık ve büyük şekillerin imalatına izin verir. Üretim esnasında karmaşık şekiller halinde oluşturulabilir ve ayrıca kolayca boyuna kesilebilirler.
- Bu lifler yenilenebilir, işlemek için kullanılan ekipmana aşındırıcı etkisi azdır. İyi bir kalorifik değere sahip olduklarından enerji geri kazanımı için yaşam döngülerinin sonunda yakılabilirler. Bitki lifleri, düşük yoğunluk ve yüksek özgül sertlik, düşük maliyet ve yeniden kullanım nedeniyle fosil bazlı liflere göre avantaja sahiptir.
- Bitki lifleri, üretim ve proses süreçleri göz önüne alınmadığında karbon nötr olarak değerlendirilebilir. Bu yüzden bunlar çevre dostu olarak bilinmektedir. Selüloz bazlı liflerin daha düşük özgül yoğunluğu, taşımada doğrudan avantajlarla birlikte kompozit üretiminde ağırlık tasarrufuna imkân verir.

- Bitki liflerinin fosil yakıt bazlı takviyelere kıyasla daha yüksek lif hacim fraksiyonları, bitki lifleri matrislerden daha ucuz olduğu için önemli malzeme maliyet tasarrufları da sağlamaktadır.

Bu avantajların yanı sıra bazı dezavantajlar da mevcuttur. Bunlar şu şekilde sıralanabilir:

- NFRP kompozitlerin kullanımı, doğal liflerin nem emme eğiliminde oluşu, sentetik muadillerine göre zayıf yapışma ve işleme sırasında düşük termal kararlılık gibi belirli özelliklerinden dolayı kısıtlanmıştır.
- Doğal elyaf takviyeli kompozitlerin mekanik özellikleri, elyaf, elyaf-matris arayüz bölgesi ve matris yapısı tipik olarak nemden etkilendiği için belirli bir süre içinde bozulur.
- Doğal elyaf kompozitlerinin özelliklerinin bozulma derecesi ve tersine çevrilebilirliği, büyük ölçüde nem emme derecesine paraleldir.
- Düşük termal kararlılığa sahiptir diğer bir deyişle orta sıcaklıkta (230-250 °C) kolayca bozulabilir [15,16].

Görüldüğü üzere yeşil kompozitlerin avantajları olduğu gibi bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Ancak bunlar kıyaslandığında, dezavantajların göz ardı edilebileceği görülmektedir.

Havacılık Uzay Sektörü İçin Yeşil Kompozitler

İlk uçak yapıları, uçuş merakıyla birlikte üretildi ve büyük ölçüde ahşap, tel ve kumaştan imal edildi. Daha sonra 1930'larda alüminyum alaşımları tercih edilmeye başlandı ve günümüzde sektörde çok kullanılan bir malzeme oldu. Ancak, ahşap yapılar 2.Dünya Savaşı'na kadar devam etti. Bu süreçte kullanılan teknolojiler ise geliştikçe, Havilland Mosquito uçağı (DH98) gibi mühendislik tasarımının zirvesini temsil eden kontrplak-balsa-kontrplak sandviç laminat gibi yapılar ortaya çıktı.

Günümüzde ise elyaf takviyeli plastikler ile uçak yapımında ise genellikle karbon, cam, Kevlar veya bunların hibritleri kullanılır. Bu materyallerin bir araya getirilmesiyle lifli kompozitler oluşur. Matris malzemesi olarak ise ısıyla sertleşen epoksi sistemleri kullanılır. Uçak endüstrisinde epoksi reçineler yaygın olarak kullanılmaktadır ancak ateşe maruz kaldıklarında kolayca yanarlar ve aşırı ısı ve duman yayabilirler. Bu nedenle, FAA gibi otoritelerin belirlediği yangına dayanıklılık standartlarına ulaşmak için polimerlere alev geciktirici katkı maddeleri eklenir. Alev geciktirici katkı maddeleri, ya polimer içinde ayrı parçacıklar şeklinde ya da polimer zincir yapısına kimyasal olarak dahil edilerek kullanılır. Yolcu uçaklarındaki iç donanım ve mobilyaların çoğu fenolik reçine (cam elyafı) kullanılarak yapılmıştır. Fenolik reçineler, federal havacılık yönetmeliklerine uygun olduğundan yangın durumunda daha güvenlidir. Bu reçineler alternatif olarak termoplastik esaslı reçineler üzerinde çalışılmaktadır. Termoset reçineler gibi sıvı formda üretilen ve ticarileşmiş Elium® reçinesi mevcuttur. Üreticisi Arkema, Fransa, olan bu reçine kullanılarak üretilen kompozit parçalarından elyaf ve reçinelerin %100 oranında geri dönüşüm yapıldığı bilgisi üretici firma web sitesinde mevcuttur.

Elastomerler, dayanım ve mukavemet açısından iyi bir performans göstermezler, ancak yüksek elastikliğe sahiptirler ve sıkı bir sızdırmazlık gerektiren uçak bileşenlerinde kullanılabilirler. Elastomerler, çapraz bağlanma adı verilen bir üretim süreci ile elastik gerilmeye karşı az miktarda direnç sağlayacak şekilde üretilirler. Vulkanizasyon adı verilen bir işlemle çapraz bağlanma oluşturulur ve bu işlem elastomerin özelliklerini belirleyen önemli faktördür. Çapraz bağların elastikliği ve aşınma direnci arttırması için doğru oranda yapılması gerekir. Ancak, fazla çapraz bağlanma elastomeri kırılğan hale getirebilir. Uçak lastikleri gibi düşük sertlik ve yüksek esneklik gerektiren yapılar elastomerlerden yapılabilir.

Hava taşımacılığı endüstrisinde, yapısal bileşenlerin geleneksel malzemeler yerine, elyaf takviyeli polimer bazlı doğal malzemelerle üretilmesi üzerine araştırmalar yapılmaktadır. Geleneksel

cam ve karbon fiberler çevre sorunlarına neden olduğu için doğal elyaf takviyeli kompozit malzemeler son dönemde popüler hale gelmiştir. Doğal elyaf malzemelerinin avantajı düşük maliyetli, yüksek dayanıklılık, düşük yoğunluklu ve geri dönüştürülebilir olmasıdır. Tarımsal atıklardan da kolayca sağlanabilir. Bu doğal malzemeler, uçak iç panelleri gibi yapılarda kullanılabilir. Kenaf, bambu, Hindistan cevizi, sisal gibi doğal lifler havacılık ve otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem, gelecekte daha sürdürülebilir bir hava taşımacılığı sistemine geçişte önemli bir adım olabilir [16].

Elyaf takviyeli polimer matris (FRP) kompozitler hafif ve güçlüdür. Ancak, FRP kompozitleri, liflerin polimer matrisinde ayrılmasına neden olan delaminasyon adı verilen hasarlara eğilimlidir. Bu sorunu engellemek için, polimerler yapıştırıcı özellikteki malzemelerdir ve elyafları bir arada tutmak için kullanılır. Polimerler, plastik, elastomer ve yapıştırıcı gibi farklı malzemelerden oluşan geniş bir malzeme sınıfıdır. Üç ana polimer grubu ise termoplastikler, termosetler ve elastomerlerdir. Polimerler, elyaf-polimer kompozitlerde yüksek dayanım ve yüksek mukavemetli elyafları bir arada tutmak için kullanılan yapıştırıcı özelliğindeki malzemelerdir.

Polimerler, uçak yapı bölümlerinin birleştirilmesinde de önemli bir rol oynar ve ayrıca, hasar gören kompozit ve metal bileşenlerin onarımında da kullanılabilir. Geleneksel bağlantı elemanları yerine polimer yapıştırıcılar kullanılarak yüksek mukavemetli ve dayanıklı bağlantılar sağlanabilir. Bu sayede, uçak gövde parçalarını birleştirmede perçin veya vida gibi olumsuz etkilere sahip olan geleneksel yöntemlere ihtiyaç duyulmaz.

Airbus A380 gövdesinde kullanılan Glare [17] adlı fiber-metal laminat, alüminyum ve fiber-polimer kompozit levhaları birbirine yapıştırmak için ince yapışkan katmanları şeklinde kullanır. Elastomerler ise genellikle conta gibi yapısal olmayan uçak parçalarında kullanılır ve yüksek esneklik gerektirir. Bu nedenle, polimer yapıştırıcıların kullanımı, uçak endüstrisinde bağlantı elemanlarından kaçınmak ve daha hafif, daha verimli ve daha dayanıklı uçak yapıları oluşturmak için önemlidir.

Nanokompozitler, havacılık ve uzay endüstrisinde geleneksel malzemelerin yerini alma potansiyeline sahip umut verici bir malzeme sınıfıdır [18]. Nanokompozitler, karbon nanotüpler (CNT'ler), karbon nano lifler (CNF'ler) ve SiO₂ gibi malzemelerle üretilirler. Nanomalzemelerin günümüzdeki gelişmiş üretim teknolojileri sayesinde artık üretimi mümkündür. Bu nanomalzemelerin mekanik, termal ve elektriksel özellikleri değiştirilerek daha yüksek performans sağlanabilir.

CNT'ler ve CNF'ler gibi nano dolgu malzemeleri, düşük ağırlıklı kompozitler için iyi derecede mekanik, elektriksel ve termal özelliklere sahip olan yeni fırsatlar sunmaktadır. Bu dolgu malzemeleri, fiber takviyeli polimer kompozitlerin polimer matrisleri için modifiye ediciler olarak kullanılabilir. CNT teknolojisi, uzay ve uçak uygulamalarında manyetik cihazlar, özellikle mıknatıslar için etkileyici bir ileriye doğru adım atılmasını sağlayabilir.

Kompozit sandviçlerin sönümlenme davranışı ve darbe tokluğu sonuçlarından yola çıkarak yapılan araştırmalar, karbon nano lif takviyeli numunelerin geniş bir sıcaklık aralığında daha iyi darbe dayanımına ve titreşim sönümlenme özelliklerine sahip olduğunu göstermiştir.

Uçak yapısında kullanılan malzemeler arasında fiber-polimer kompozitler ve alüminyum alaşımları en popüler olanlardır. Fiber-polimer kompozitler, düşük yoğunluğu, yüksek mukavemeti, dirençli yapısı ve kolay şekillendirilebilirliği nedeniyle tercih edilirler. Bu malzemelerin, sivil havacılık, askeri hava taşıtları ve helikopterler gibi çeşitli uygulamalarda kullanımı yaygındır.

Özellikle uzay taşıtlarında, polimer matrisli kompozitler giriş elemanları, antenler ve parabolik reflektörler dahil olmak üzere birçok yapıda kullanılmaktadır. Örneğin, Hubble uzay teleskobunun ana kirişi, hafiflik, yüksek sağlamlık ve düşük termal genleşme katsayısı amaçlandığı için karbon fiber-

epoksi kompozitten yapılmıştır. Uzay mekiği yörünge aracının ana kargo kapıları da sandviç kompozit malzemeden imal edilmiştir.

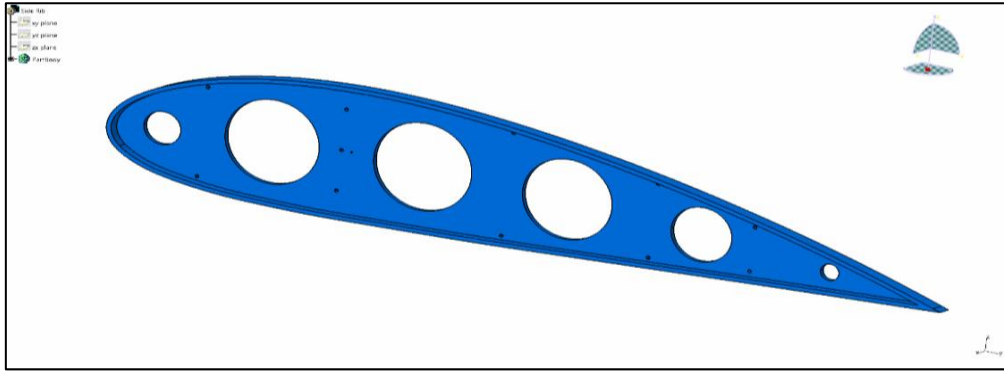
Ahşap plastik kompozitler (WPC'ler), otomotiv, inşaat, denizcilik, elektronik ve havacılık gibi pek çok uygulamada kullanılırlar. Fiberglas ve çeliklerin yerini alan yeşil WPC'lerin kullanımının olduğu ana pazara ise otomotiv bileşenleridir. Gösterge panellerinde, kapı panellerinde, sportif araçların koltuk minderlerinde, sırtlıklarda ve araç göğüs kaplamalarında trim parçası olarak kullanılırlar. Bitki lifleri ise hem termo hem de akustik yalıtım amaçları için giderek daha fazla kullanılmaktadır. Asbest liflerinin yerine araba disk frenlerinde keten liflerinin kullanılması da başka bir örnektir.

Havacılık endüstrisi, yeşil kompozitlerin kullanımı ile ilgili araştırmalarına devam ederek, daha güvenli, daha sürdürülebilir ve daha hafif uçak yapı bölümleri geliştirmek için çalışmaktadır.

MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

Geometrik Özellikler

Çalışma kapsamında NACA 4412 profiline ait rib (kiriş) CATIA çizim ortamında modellenmiştir. Geometri modeli Şekil 1' de verilmiştir.



Şekil 1

NACA 4412 Rib Geometri Modeli

Sınır Koşulları ve Basınç Uygulanması

Sınır koşulları, sonlu elemanlar analizinde çok önemli kriterlerdir. Modele uygulanacak yüklemenin yeri, yükleme miktarı ve yükleme türü bu kriterler sonucunda belirlenir. Temel olarak modelin ekli kenarlarının, köşelerinin veya yüzeylerinin dönme ve yer değiştirme serbestlik dereceleri ve bunlara ek olarak sonlu elemanlar analizinde bilinen özel sınır koşulu tipleri varsa bu kriterlere göre sınıflandırılırlar. Çalışmada uygulanan sınır koşulları, kanat kirişinin altı serbestlik derecesinin tümü kısıtlanmış olarak sabit öteleme ve dönme hareketleridir.

Uygulama kapsamında 0.1MPa'lık hava basıncı veya aerodinamik yük diyebileceğimiz kuvvet hem AL 7075-T6 alüminyumdan hem de Elium reçinesi kullanılarak yapılmış cam elyaf takviyeli kompozitten ribe, ribin üst flanşı denk gelecek şekilde uygulanmıştır. Bu yolla elde edilen analiz sonuçlarından AL 7075-T6 alüminyumunun yerinin tasarlanan kompozit malzemenin alabilme potansiyeli irdelenecektir. Bu irdelenecek ise yükleme altında her iki malzemenin ortaya koymuş olduğu performans değerlendirilerek yürütülecektir.

Mekanik Özellikler

Analiz kapsamında Rib üretiminde sıkça tercih edilen AL 7075-T6 alüminyumu ve Elium reçinesi kullanılarak üretilen cam elyaf takviyeli kompozit kullanılarak iki ayrı malzemeden iki ayrı rib

tasarlanmıştır. AL 7075 T6 yüksek mukavemet özelliklerine ve iyi korozyon direncine sahip alüminyum alaşımıdır. Hafifliği ile de ön plana çıkmaktadır. Özellikle havacılık, uzay endüstrisi ve yüksek performanslı mühendislik uygulamalarında sıkça tercih edilir. Elium reçinesi kullanılarak üretilen cam elyaf takviyeli kompozit malzeme ise geri dönüştürülebilirlik vadeden yeşil kompozit olarak nitelendirilebilecek bir malzemedir. Mekanik özellikler bakımından AL 7075-T6 alüminyumuna yakın performansa sahip bu malzeme geri dönüştürülebilir ve daha hafif olması gibi özellikleri ile ön plana çıkmaktadır. AL 7075-T6 alüminyumunu ve Elium/E-Camı kompozitin mekanik özellikleri Çizelge 1 de verilmiştir. Kompozit sistemin özellikleri, kompozit malzemenin makro-mekanikğine göre E camı ve Elium özellikleri kullanılarak hesap edilmiştir.

Tablo 1

DM ve Bu Ürüne Farklı Sıcaklık ve Miktarda NaOH Uygulanarak Hazırlanan Ürünlerin Yüzey Alanları ve Gözenek Hacimleri

Mekanik Özellikler	AL 7075 T6	Elium/E-Camı ($V_f=0,5$)
Yoğunluk (kg/m^3)	2804	1895
Nihai Çekme Dayanımı (MPa)	572	557
Akma Çekme Dayanımı (MPa)	503	520
Elastiklik Modülü (GPa)	71.7	30
Poisson Oranı	0,33	0,30

Mesh Kalitesinin Önemi

Mesh kalitesi modelin yapılan analize veya model boyutuna (2D, 3D) göre yüzeyin veya hacmin ne kadar iyi kalitede sanal ortamda gösterildiğinin bir metriğidir. Mesh kalitesi iyi seviyede olduğunda modelin görünümü, yapılacak olan analizin model üzerinde uygulanabilirliği artar. Bu artışın etkisi ile yapılan analizde daha doğru ve gerçekçi sonuçlar elde edilir. HyperMesh, gelişmiş özellikleri ile birlikte modelleri hızlı ve son derece yüksek kalitede meshleme imkânı sunar. Modele mesh üretirken, yakınsamanın yüksek olabilmesi ve analizin doğru sonuç verebilmesi için meshlemenin düzgün dağılımı, eğrisel yüzeylerde eleman seçimine dikkat edilmesi, yapının durumuna göre simetriden yararlanılması daha doğru olacaktır. Bu özellikler mesh işleminde elde edilen elemanların kalite değerleri ve element sayıları olup Şekil 2’de görülmektedir.

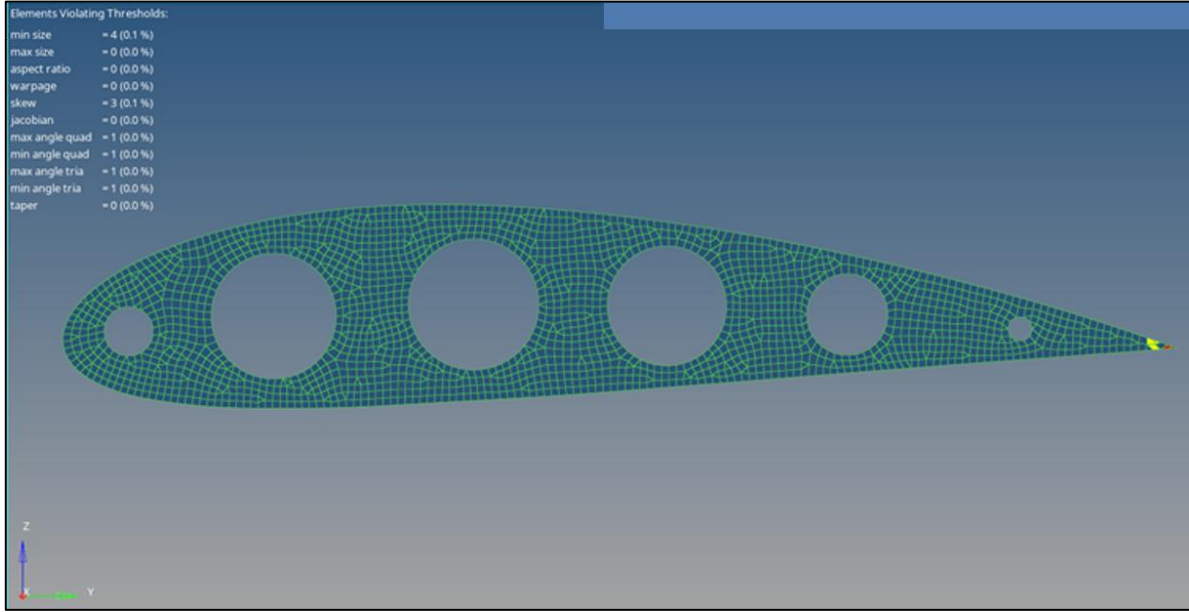
On	Checks	Color	Calculation Method	Fail
1	<input checked="" type="checkbox"/> Minimum size		Minimal normalized height	2.000
2	<input checked="" type="checkbox"/> Maximum size			20.000
3	<input checked="" type="checkbox"/> Aspect ratio		HyperMesh	5.000
4	<input checked="" type="checkbox"/> Warpage		HyperMesh	15.000
5	<input checked="" type="checkbox"/> Maximum interior angle quad			140.000
6	<input checked="" type="checkbox"/> Minimum interior angle quad			40.000
7	<input checked="" type="checkbox"/> Maximum interior angle tria			120.000
8	<input checked="" type="checkbox"/> Minimum interior angle tria			30.000
9	<input checked="" type="checkbox"/> Skew		HyperMesh	40.000
10	<input checked="" type="checkbox"/> Jacobian		At integration points	0.600
11	<input type="checkbox"/> Chordal deviation			1.000
12	<input checked="" type="checkbox"/> Taper		HyperMesh	0.600
13	<input checked="" type="checkbox"/> Time step			0.010
14	<input checked="" type="checkbox"/> % of trias			15.000

Legend colors: ■ QI view ■ Ideal ■ Good ■ Warn ■ Fail ■ Worst

Şekil 2

Eleman Kalitesi

Şekil 3'te ise HyperMesh paket programı üzerinde elde edilen iyi derece mesh kalitesine sahip rib modeli gösterilmektedir.



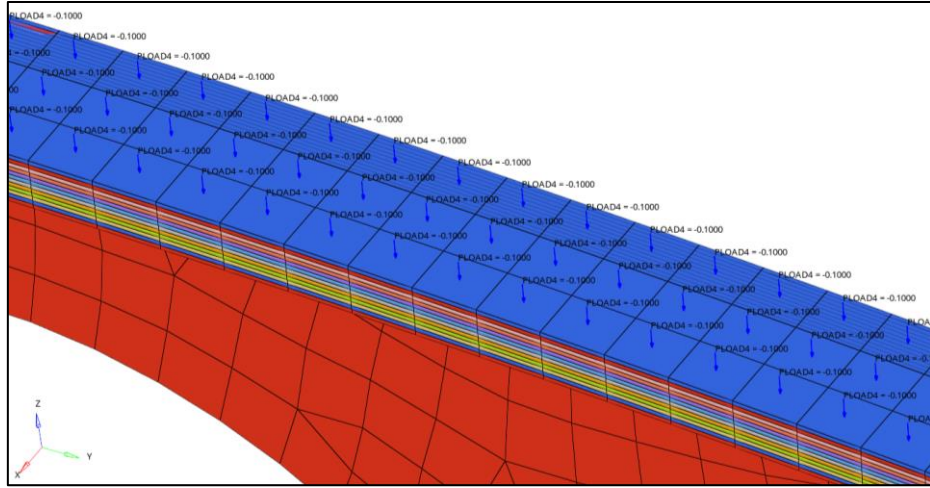
Şekil 3
Mesh Kalitesi

Elium/Cam Elyaf Kompozit Malzeme Serimi

Tablo 2, kompozit rib malzemesi için serim bilgilerini içermektedir.

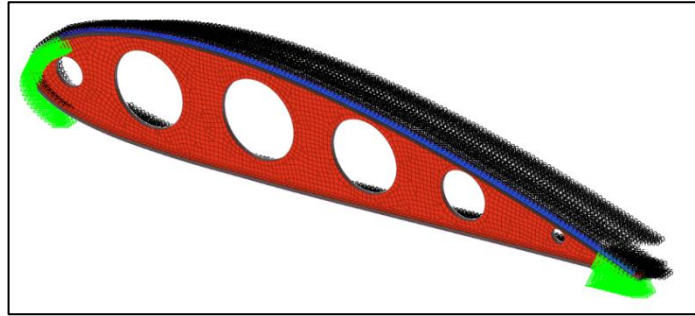
Tablo 2
Kompozit Rib Serimi

Serim Numarası	Malzeme	Kalınlık [mm]	Yönlenme [°]
Serim 1	Elium/Cam Elyaf	0,21	45
Serim 2	Elium/Cam Elyaf	0,21	-45
Serim 3	Elium/Cam Elyaf	0,21	45
Serim 4	Elium/Cam Elyaf	0,21	-45
Serim 5	Elium/Cam Elyaf	0,21	45
Serim 6	Elium/Cam Elyaf	0,21	-45
Serim 7	Elium/Cam Elyaf	0,21	-45
Serim 8	Elium/Cam Elyaf	0,21	45
Serim 9	Elium/Cam Elyaf	0,21	-45
Serim 10	Elium/Cam Elyaf	0,21	45
Serim 11	Elium/Cam Elyaf	0,21	-45
Serim 12	Elium/Cam Elyaf	0,21	45



Şekil 4
Üst Flanş Görüntüsü

Şekil 4, kompozit ribin malzeme serimini ayrıntılı olarak göstermektedir.

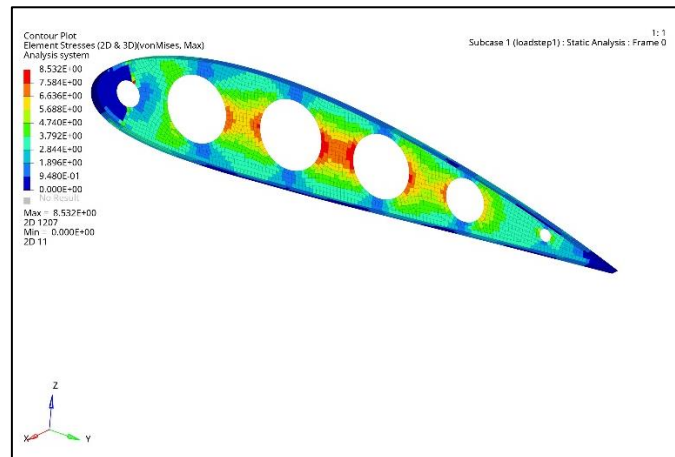


Şekil 5
Çözüm Öncesi Rib Görüntüsü

Şekil 5, ağ yapısına dönüştürülmüş (mesh yapılandırılmış) ve yük uygulanmış ribe aittir.

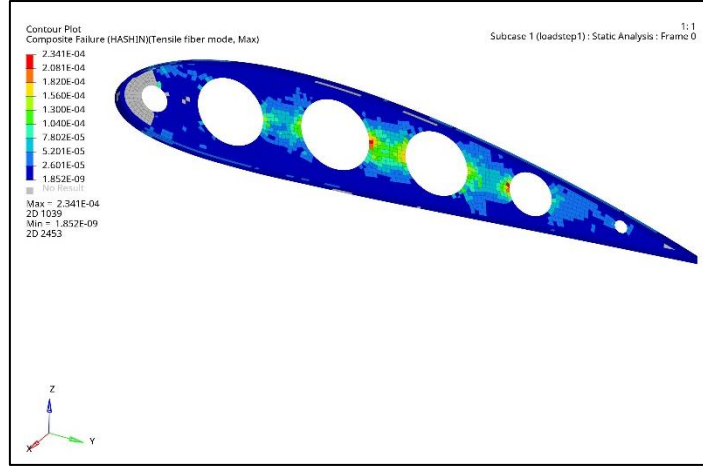
BULGULAR ve ANALİZ (RESULTS AND ANALYSIS)

Eş Değer Gerilme



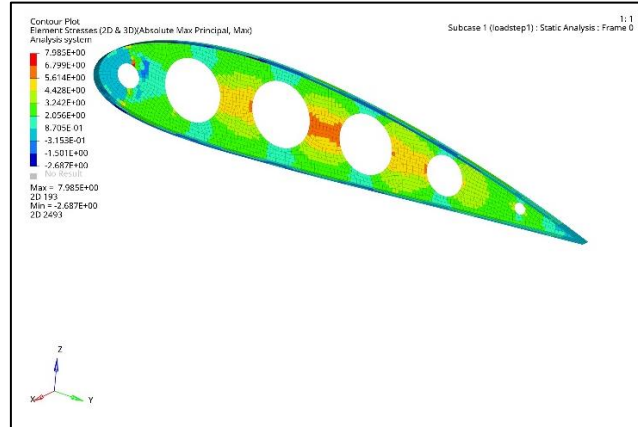
Şekil 6
AL 7075-T6 Eş Değer Gerilme

Eş değer gerilme değerlerine bakıldığında AL 7075-T6 alüminyumunu 8.53 MPa (Şekil 6), Elyum/cam elyaf kompozit ise 23,4E-03 MPa (Şekil 7) değerlerine sahiptir. Eş değer gerilme yapının belirli yüklerle maruz kaldığında gerilme seviyelerinin güvenli sınırlar içinde kalıp kalmadığının değerlendirilmesin de yardımcı olmaktadır. Eş değer gerilme malzeme kullanımını optimize ederek ağırlığın azalmasını ve maliyetlerin düşürülmesini sağlamaktadır.



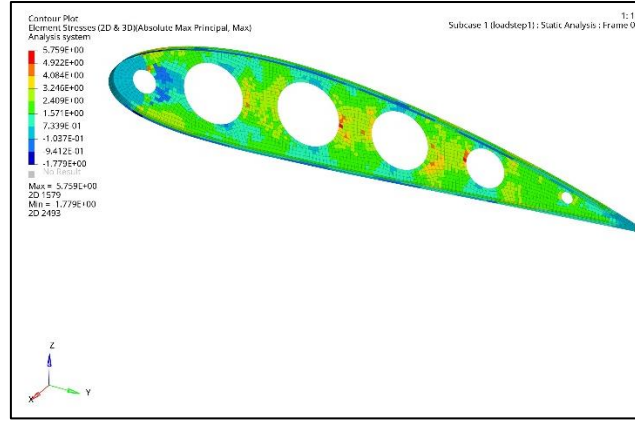
Şekil 7
Cam Elyaf Elyum/ Eş Değer Gerilme

Maksimum Asal Gerilme



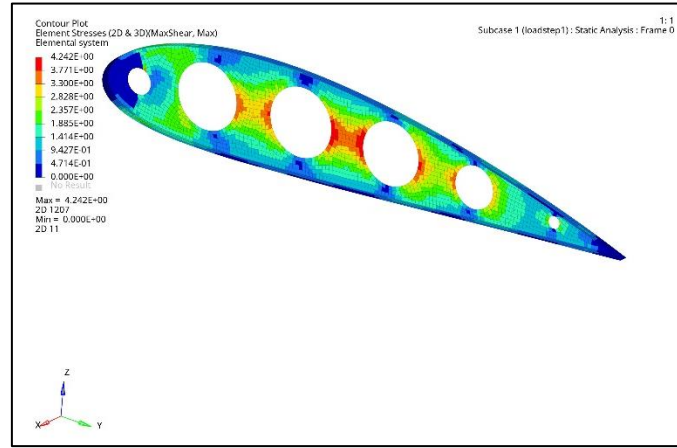
Şekil 8
AL 7075-T6 Maksimum Asal Gerilme Dağılımı

Maksimum asal gerilme değerlerine bakıldığında AL 7075-T6 alüminyumunu 7,985 MPa (Şekil 8), Elyum/cam elyaf kompozit ise 5,759 MPa (Şekil 9) değerlerine sahiptir. Maksimum asal gerilme değeri de malzeme dayanımı ve kullanımındaki optimizasyon açısından önemlidir.



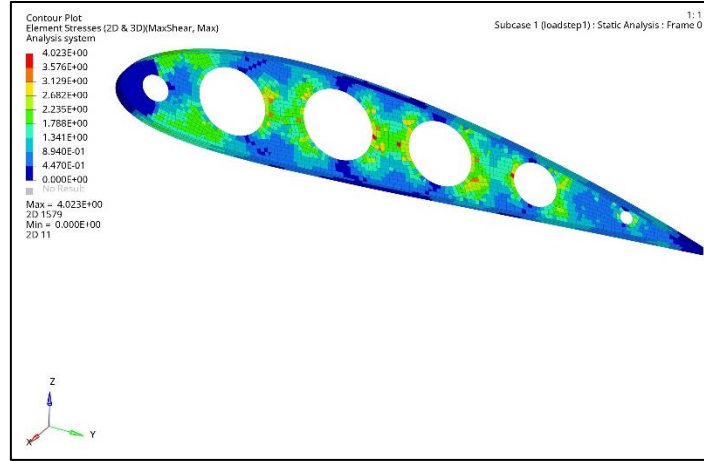
Şekil 9
Cam Elyaf/Elium Maksimum Asal Gerilme Dağılımı

Maksimum Kayma Gerilmesi



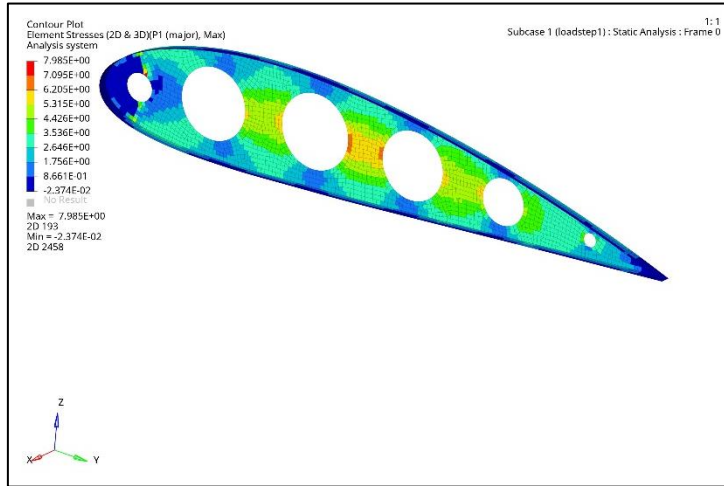
Şekil 10
AL 7075-T6 Maksimum Kayma Gerilmesi

Maksimum kayma gerilmesi değerlerine bakıldığında AL 7075-T6 alüminyumu 4,24 MPa (Şekil 10), Elium/cam elyaf kompozit ise 4,02 MPa (Şekil 11) değerlerine sahiptir. Maksimum kayma gerilmesi, bir malzemenin içindeki kesme kuvvetlerinin en yüksek olduğu noktada meydana gelen gerilmedir. Diğer stres parametrelerinde olduğu gibi maksimum kayma gerilmesi de dayanım ve yorulmanın değerlendirilmesi, kesme deformasyonun belirlenmesini sağlamaktadır. Bu belirleme ışığında istenilen özelliklere sahip malzeme seçimi yapılmaktadır.



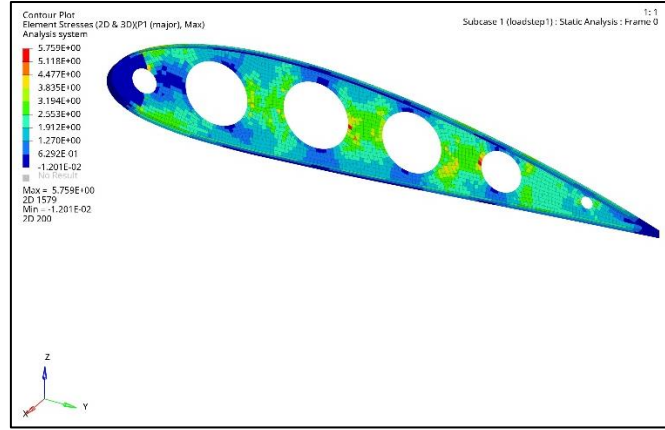
Şekil 11
Elium/cam Elyaf Maksimum Kayma Gerilmesi

Eksenel Gerilme



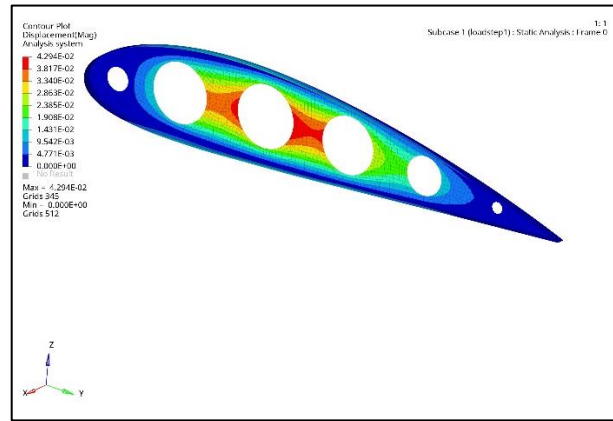
Şekil 12
AL 7075-T6 Maksimum Eksenel Gerilme

Şekil 12 ve Şekil 13'ten en büyük eksenel gerilme değerlerinin sırasıyla AL 7075-T6 rib için 7,99 MPa, Elium/cam elyaf kompozit için ise 5,76 MPa değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Eksenel gerilme, bir malzemenin eksenel yüklemelere maruz kaldığında ortaya çıkan gerilmedir. Taşıma kapasitesinin değerlendirilmesi, şekil değiştirme, malzeme mukavemetinin belirlenmesinde eksenel gerilme değerleri dikkate alınmaktadır.



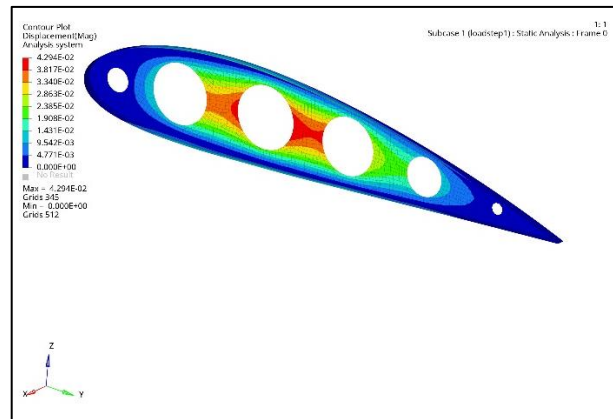
Şekil 13
Elium/cam Elyaf Maksimum Eksenel Gerilme

Toplam Deformasyon



Şekil 14
AL 7075-T6 Rib Toplam Deformasyon

Şekil 14 ve Şekil 15 sırasıyla AL 7075-T6 rib ve Elium/cam elyaf riblerin toplam deformasyonunu göstermektedir.



Şekil 15
Elium/cam Elyaf Toplam Deformasyon

Toplam deformasyon değerlerine bakıldığında AL 7075-T6 ribin 0,043 mm, Elium/cam elyaf

kompozit ise 0,096 mm değerlerine sahiptir. Toplam deformasyon, dış yüklerin veya kuvvetlerin etkisi altında bir yapının veya malzemenin şeklindeki veya konumundaki genel değişikliği ifade eder. Toplam deformasyon yapısal bütünlük, tasarım optimizasyonu, hasar tahmini ve önleme açısından önemlidir. Toplam deformasyon malzemenin yük altında yapısal bütünlüğünü koruması ve herhangi bir hatanın oluşacağı seviyenin belirlenmesinde önemli bir unsurdur. Uygun malzeme seçilmemesi sonucu oluşan aşırı deformasyon, yapıların bir arada bulunduğu durumlarda yetersiz boşluklara yol açabilir ve işletme sorunlarına, sürtünmeye hatta arızalara varan sonuçlara sebep olabilir.

Metal riblerin yerine havacılık sektöründe yaygın olarak kullanılan grafit/epoksi riblerinin gerilme analizi açısından kullanılabilmesi literatürde verilmiştir [10]. Bu çalışmamız, bertarafı zor ve maliyetli olan termoset kompozit sistemlerinin yerine termoplastik kompozit sistemi olan E-camı/Elium sisteminin metal rib yerine rahatlıkla kullanılabilmesini ortaya koymuştur.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR (DISCUSSION AND CONCLUSIONS)

Genel olarak kompozit malzemeler sahip oldukları düşük ağırlıklara rağmen yüksek mukavemete sahip olmaları, kimyasal ve mekanik etkilere karşı göstermiş oldukları direnç, tasarım aşamasında kullanıcıya sağlamış olduğu esneklik, gelenekselleşmiş malzemeler ile aynı mukavemete daha az malzeme kullanılarak ulaşılması gibi özellikler bakımından gelenekselleşmiş malzemeler ile karşılaştırıldığında geride kalmamaktadır. Bu çalışmada ele alınan Al 7075 yerine E-camı/Elium sisteminin kullanılması halinde %32 oranında ağırlıktan kazanç sağlanacağı gösterilmiştir.

Analiz sonuçları karşılaştırıldığında ise Elium reçinesi ile yapılmış cam elyaf takviyeli kompozit malzeme genel olarak Al 7075-T6 alüminyumuna yakın performans göstermiştir. Bununla birlikte, kompozit malzemelerin bazı dezavantajları da vardır. Üretim maliyetleri daha yüksek olabilir ve bazı uygulamalar için ise daha karmaşık üretim yöntemleri gerektirebilirler. Özellikle kompozit malzemenin üretilen yeni nesil uçak gövdelerinin yer operasyonlarında “no touch policy” denilen sıfır temas gerekliliğinin getirdiği zorluklar, bazı uçak modellerinde oluşan boya dökülmesi sorunları gibi etmenler ise bu malzemelere karşı üreticileri daha temkinli olmaya sevk etmektedir. Fakat geleneksel malzemelerden geride kalmayan mekanik özellikleri ve sağlamış oldukları hafiflik sebebiyle gelecekte daha da geliştirilip birçok alanda kullanımı öngörülmektedir.

Etik Beyan (Ethical Statement)

Bu çalışma, Prof. Dr. Mesut UYANER 'in lisans öğrencileriyle beraber Necmettin Erbakan Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi Uçak Mühendisliği bölümünde 2022-2023 Bahar yarıyılında başlayıp Ekim 2023'e kadar devam eden süre zarfında gerçekleştirilmiştir.

Etik Kurul Onayı (Ethics Committee Approval)

Bu çalışmada etik kurul onayı gerektiren insan veya hayvan denekleri kullanılmamıştır. Araştırma, kamuya açık veri setleri, literatür taramaları veya teorik analizler üzerinden yürütülmüştür. Etik kurallar gereği, araştırma sürecinin her aşamasında akademik dürüstlük ve bilimsel etik kurallara tam uyum sağlanmıştır. Bu nedenle, etik kurul onayı gerekmemiştir.

Finansal destek (Funding)

Çalışma herhangi bir kurum/kuruluş tarafından finanse edilmemiştir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarların bu çalışma için beyan ettikleri herhangi bir çıkar çatışması yoktur. (The author has

no conflicts of interest to disclose for this study.)

Yazar Katkıları (Author Credits)

Araştırma Tasarımı (CRediT 1) Mesut Uyaner (%100)

Veri Toplama (CRediT 2) Mesut Uyaner (%30) – Kübra Karadal (%30) – Tolga Merdan (%30) – Nagehan Nur Acar (%10)

Araştırma - Veri Analizi - Doğrulama (CRediT 3-4-6-11) Kübra Karadal (%35) – Tolga Merdan (%35) – Nagehan Nur Acar (%30)

Makalenin Yazımı (CRediT 12-13) Mesut Uyaner (%30) – Kübra Karadal (%35) – Tolga Merdan (%35)

Metnin Tashihi ve Geliştirilmesi (CRediT 14) Mesut Uyaner (%100)

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SDG)

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları: 9 Sanayi, Yenilikçi ve Altyapı



Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları: 12 Sorumlu Üretim ve Tüketim

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları: 13 İklim Eylemi

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] H. Awais, Y. Nawab, A. Amjad, A. Anjang, H. Md Akil, M.S. Zainol Abidin, Environmental benign natural fibre reinforced thermoplastic composites: A review, *Composites Part C: Open Access*. 4 (2021) 100082. doi:10.1016/J.JCOMC.2020.100082.
- [2] A.P. da Costa, E.C. Botelho, M.L. Costa, N.E. Narita, J.R. Tarpani, A review of welding technologies for thermoplastic composites in aerospace applications, *Journal of Aerospace Technology and Management*. 4 (2012) 255-266. doi:10.5028/jatm.2012.040303912.
- [3] D. Mathijsen, Leading the way in thermoplastic composites, *Reinforced Plastics*. 60 (2016) 405-407. doi:10.1016/j.repl.2015.08.067.
- [4] T.Subash, S.N. Pillai, Bast fibers reinforced green composites for aircraft indoor structures applications: Review, *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*. 7 (2015) 305-307.
- [5] C. Scarponi, C. Santulli, F. Sarasini, J. Tirillò, Green composites for aircraft interior panels, *International Journal of Sustainable Aviation*. 3 (2017) 252. doi:10.1504/IJSA.2017.086848.
- [6] S. Gopi, P. Balakrishnan, M.S. Sreekala, A. Pius, S. Thomas, Green materials for aerospace industries, içinde: *Biocomposites for High-Performance Applications*, Elsevier, 2017: ss. 307-318. doi:10.1016/B978-0-08-100793-8.00011-9.
- [7] H.S.S. Shekar, M. Ramachandra, Green composites: A review, *Materials Today: Proceedings*. 5 (2018) 2518-2526. doi:10.1016/j.matpr.2017.11.034.
- [8] C. Soutis, X. Yi, J. Bachmann, How green composite materials could benefit aircraft construction, *Science China Technological Sciences*. 62 (2019) 1478-1480. doi:10.1007/s11431-018-9489-1.
- [9] B. Ateş, S. Bayraktar, M. Arıcı, Z. Akçay, B. Durak, M. Uyaner, Termoplastik kompozitten yapılmış ve kapı boşluğu içeren uçak gövde parçasının sanal testi, *Aerospace Research Letters (ASREL) Dergisi*. 2 (2023) 52-62. doi:10.56753/ASREL.2023.2.1.
- [10] P. Dharmendra, K.J. Chaithanya, A. Sameera, K. Kavathiya, K.M. Monika, Design and analysis of an aircraft wing rib for different configurations, *International Research Journal of Engineering and Technology*. 7 (2020). www.irjet.net.
- [11] W.D.C. Jr, D.G. Rethwisch, *Materials Science and Engineering: An Introduction*, 2018.
- [12] R.F. Gibson, *Principles of Composite Material Mechanics*, CRC Press. 2016. doi:10.1201/b19626.
- [13] O. Faruk, M. Sain, *Biofiber Reinforcements in Composite Materials*, Woodhead Pub Ltd, Elsevier Ltd, Cambridge, 2015.
- [14] P. Khalili, M. Skrifvars, A. Ertürk, Fabrication, mechanical testing and structural simulation of regenerated cellulose fabric Elium® thermoplastic composite system, *Polymers*. 13 (2021) 2969. doi:10.3390/polym13172969.
- [15] A. Baysal, P. Yayla, H.S. Türkmen, A review on engineering biocomposites and natural fiber-reinforced materials, *Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies*. 7 (2022) 231-249. doi:10.47481/jscmt.1136018.
- [16] B.C. Kandpal, R. Chaurasia, V. Khurana, Recent advances in green composites – a review, *International Journal For Technological Research In Engineering (IJTRE)*. 2 (2015) 742-747.
- [17] T. Dağ, N. Yıldırım, G. Şentürk, M. Durmazoğlu, S. Yıldırım, M. Uyaner, Virtual investigation on the response of Glare to low velocity impact, içinde: *2023 10th International Conference on Recent Advances in Air and Space Technologies (RAST), IEEE, İstanbul, 2023, 1-5*. doi:10.1109/RAST57548.2023.10198016.
- [18] M. Uyaner, A. Yar, Nano elyaf takviyeli nanokompozit üretimi ve karakterizasyonu, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 1 (2019) 10-19.

Güneş Enerjisi Santrallerinde Derin Öğrenme Kullanılarak Elektrik Üretiminin Değerlendirilmesi

Yunus Emre KIYMAZ^{1*}  Hidayet OĞUZ² 

¹ Necmettin Erbakan University, Institute of Science, Department of Energy Systems Engineering, Konya, Türkiye

² Necmettin Erbakan University, Faculty of Engineering, Department of Energy Systems Engineering, Konya, Türkiye

Makale Bilgisi

ÖZET

Geliş Tarihi: 27.02.2024
Kabul Tarihi: 04.05.2024
Yayın Tarihi: 31.08.2024

Anahtar Kelimeler:

Derin Öğrenme,
Güneş Enerjisi Santrali,
Mevsimsel Otoregresif
Bütünleşik Hareketli
Ortalama,
Uzun Kısa Süreli Hafıza,
Tek Değişkenli Zaman
Serileri.

Güneş paneli teknolojisi ortalama 25 yıl ömrü olan bu tür sistemlerin kurulumu pahalıdır. Bu sistemlerden en iyi şekilde yararlanmak için geleceğe yönelik üretim tahminleri yapmak çoğu zaman önemlidir. Bu çalışmada, Konya merkezli yıllık 1MW kapasiteye sahip güneş enerjisi santrallerine (tek değişkenli zaman serisi) ait iki yıllık üç günlük frekans veri seti ve bir yıllık saatlik frekans veri seti değerlendirilmektedir. Elektrik üretim analizi, derin öğrenme kullanılarak güneş enerjisi santrallerinden elde edilen verilere dayanarak yapılmaktadır. Tercih edilen yöntem uzun kısa süreli hafıza (LSTM) olup, zaman serisi analizinde kullanılan diğer bir istatistiksel yöntem olan mevsimsel otoregresif bütünleşik hareketli ortalama (SARIMA) ile kıyaslanmıştır. Her bir veri seti ile elde edilmiş sonuçlar beş farklı performans ölçüm mekanizmasına (MSE, RMSE, NMSE, MAE, MAPE ve R²) tabi tutulmuş ve LSTM modelinin genellikle SARIMA modeline göre daha gerçek verilere yakın sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. RMSE skoruna göre dört santralin ortalama değeri LSTM'de 973, SARIMA'da 1361 olup, bu durumda LSTM, SARIMA'ya göre başarılı bir sonuç vermiştir. Güneş enerjisi santrali kurmadan önce fizibilite çalışmasının yapılması karlılığı artırıcı bir role sahiptir.

Assessment of Electricity Generation Using Deep Learning on Solar Power Plants

Article Info

ABSTRACT

Received: 27.02.2024
Accepted: 04.05.2024
Published: 31.08.2024

Keywords:

Deep Learning,
Long Short-Term Memory,
Seasonal Autoregressive
Integrated Moving Average,
Solar Power Plant,
Univariate Time Series.

Solar panel technology is expensive to install such systems, which have a lifespan of about 25 years on average. It is often important to make production estimates for the future to make optimal use of these systems. This study assesses three two-year daily frequency data sets and a one-year hourly frequency data set from the solar power plants (univariate time series) based in Konya, which have a 1MW capacity per annum. Electricity production analysis is conducted based on the data from the solar power plants using deep learning. The preferred method is determined to be Long Short-Term Memory (LSTM), and it has been compared with another statistical method used in time series analysis, Seasonal Autoregressive Integrated Moving Average (SARIMA). The results obtained with each dataset have been subjected to five different performance measurement mechanisms (MSE, RMSE, NMSE, MAE, MAPE and R²). It has been observed that the LSTM model generally provides results closer to real data compared to the SARIMA model. According to the RMSE score, the average value of four power plants is 973 in LSTM and 1361 in SARIMA, in this case LSTM gave a successful result compared to SARIMA. Before establishing a solar power plant, carrying out a feasibility study has a profitability-enhancing role.

To cite this article:

Kıymaz, Y. E. and Oğuz, H. (2024). Assessment of electricity generation using deep learning on solar power plants. *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*, 6(2), 289-311. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.49>

*Sorumlu Yazar: Yunus Emre Kıymaz, yunusemrekiymaz89@hotmail.com



INTRODUCTION

Renewable energy is a term used for power sources with a constant energy flow such as solar, wind, biomass, geothermal, hydroelectric, and wave power. It is arguable that renewable energy systems (RES) are the set of systems using renewable energy sources to meet the need for electricity due to the decreasing availability of energy sources commonly used around the world such as oil, natural gas, and coal. Fossil fuels and their derivatives, which are most frequently used in electricity production around the world, not only pollute the natural environment but at the same deliver negative effects on human, animal, and plant health. These and similar reasons render renewable energy use crucial. The demand for the existing types of renewable energy sources is increasing by each day; nevertheless, not an adequate body of work is available in practice for energy efficiency. This constitutes a significant obstacle vis-a-vis fossil fuel. For instance, if we consider that solar power plants (SPP), which require high installation and maintenance costs, have a lifespan of 25 years on average, the issue of efficiency appears critical for SPPs.

In this study, we first review renewable energy sources, artificial intelligence and deep learning, time series definition, and analysis methods and then use the LSTM model (Long Short-Term Memory), a deep learning method, to make electricity production estimation for the future. For illustration, three SPPs selected from three different areas, which each have a 1 MW production capacity annually, are analyzed. This method evaluates the results by comparing with SARIMA (Seasonal ARIMA), a variation of ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average), which is another statistical method used in time series analysis.

Alan Turing, who proposed the question “Can machines think?” in the 1950s, to be a subbranch of artificial intelligence. Computer scientist Arthur Samuel is believed to have coined the term “machine learning” in 1959 [1].

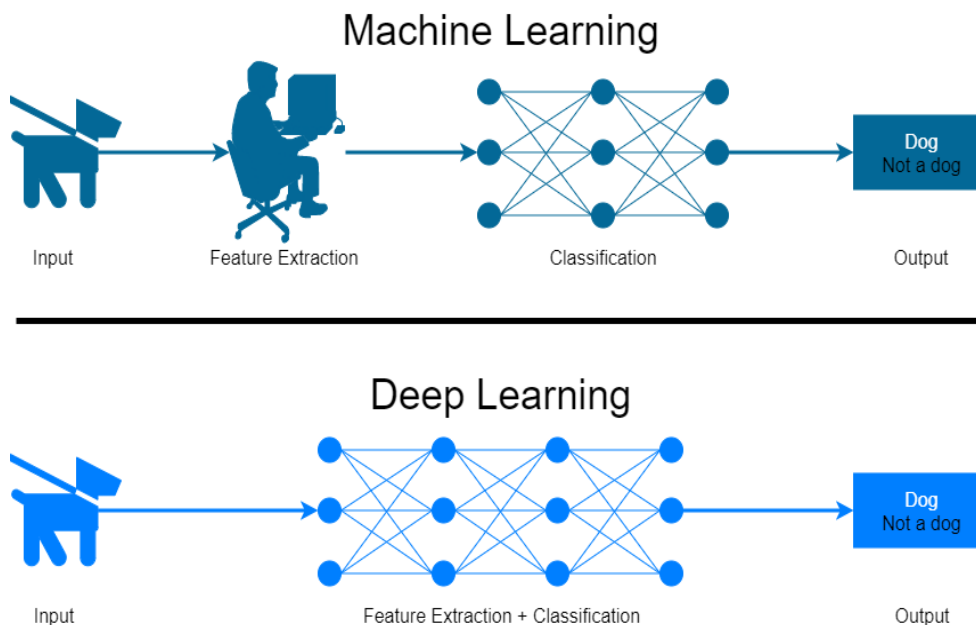


Figure 1

Structural Differences in Machine Learning and Deep Learning

Deep learning is an approach which essentially makes part of the family of machine learning and relies on artificial neural networks. Learning may be controlled, semi-controlled or uncontrolled [2]. Its fundamental difference from machine learning is that it can carry out the task of feature (or attribute)

extraction (formation of new derived values through measured values introduced as input) within its own neural network without any support as Figure 1 demonstrates.

Artificial intelligence can be defined to include machine learning and deep learning respectively (Figure 2).

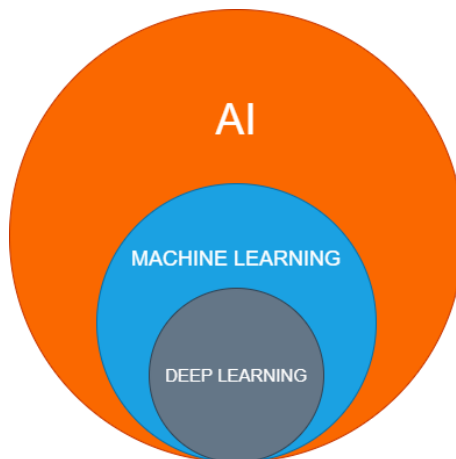


Figure 2

The Relationship of the Deep Learning Approach with Machine Learning and Artificial Intelligence
 $DL \subset ML \subset AI$ [3]

Time series refers to the frequency of data points in areas such as statistics, econometrics, signal processing, seismology, meteorology, and mathematical finance and is measured in terms of regular time periods and consecutive time slots. The daily closing value of the BIST (Borsa Istanbul) Index or the daily passenger capacity of Turkish Airlines can be offered as an example. Time series are divided into two types: univariate and multivariate. While univariate series include a single feature (for instance, only radiation data in meteorology), multivariate series may allow for several features (for instance, temperature, pressure, radiation, wind speed, or radiation time in meteorology).

Time series estimation is a conceptual model for predicting future events based on certain pre-given events. An example of time series estimation in econometrics is prediction of the opening price of a stock share based on its previous performance [4].

A few academic studies that have been conducted concerning solar power, wind power, weather forecasts, electricity demands, and other topics using deep learning and artificial intelligence techniques are briefly touched upon.

Cano et al. [5] utilized the HELIOSAT Method, which is one of the pioneering studies in solar radiation forecasting using prediction pixels derived from meteorological satellite images (cloud index (n)). Ruşen [6] aimed to understand the components of daily solar radiation on a horizontal surface in the selected region (Konya-Karaman) in the Central Anatolia Region using the HELIOSAT Method. Seven years of solar data were employed, and it was determined that the accuracy of daily global and diffuse solar radiation predictions was found to be acceptable. As a result, it was indicated that these predictions are important for calculating the performance and energy costs of solar power plants. Ruşen and Konuralp [7] conducted a study aiming to compare and evaluate the validity of global and diffuse radiation estimation methods for nine locations in Turkey to accurately determine solar radiation components for solar system analysis. They employed the HELIOSAT, Meteonom, and PVGIS satellite-

based methods. It was noted that the HELIOSAT Method (with measurement metrics of relative mean bias error and relative root mean square error) is considered a reliable method in situations where global and diffuse radiation data are not available compared to the others.

Abdel-Nasser and Mahmoud [8] used the (LSTM-RNN) method to accurately estimate the output power of PV systems in their study. In their proposed method (LSTM with time steps), they used annual data sets obtained from different sites. When they compared with three different PV estimation methods (multiple linear regression (MLR), bagged regression trees (BRT) and neural networks), they stated that the prediction error in LSTM was lower.

Agrawal et al. [9] proposed a new method for long-term load estimation at hourly resolution. They focused the model on a recurrent neural network of LSTM-RNN cells. They have considered the long-term relationships in the time series data of the electrical load demand by using LSTM-RNN and have obtained results with correct predictions. They adapted this model to real-time data of the ISO New England electricity market. They collected twelve years of publicly available data from 2004 to 2015 to train and validate this model and made forecasts of electricity demand on a rounding basis over a five-year period from 2011 to 2015. They stated that they predicted correctly with a 6.54 Mean Absolute Percent Error (MAPE) in the 2.25% confidence interval.

Balluff et al. [10] using a RNN to estimate the wind speed and pressure in northern Europe (Great Britain, Ireland, France, Germany, Denmark) between 2001 and 2015 installed wind power plants, wind speed, wind direction, temperature and surface pressure data were used.

Gensler et al. [11] used combinations of the relevant algorithm to demonstrate their prediction power compared to a standard MLP and a physical prediction model in estimating the energy output of 21 GES. It has been stated that the results using Deep Learning algorithms show superior prediction performance compared to other reference models such as Artificial Neural Networks and physical models.

Sharadga et al. [12] introduced several time series estimation methods, including those based on statistical methods and artificial intelligence, and rigorously compared PV power output estimation. In addition, they investigated the effect of prediction time horizon variation for all algorithms. The data used in the current study includes 3640 hours of operation from a 20 MW grid-connected PV station in China.

Şencan [13] made a short-term electricity price estimation using LSTM in the study. In the model created, historical electricity price values are used as input. The data used are hourly electricity prices in Turkey for the years 2015, 2016 and 2017. The data used in the study are divided into two as training and testing for winter and summer seasons. The method used; Compared with the performance of RNN and Exponential Correction methods. MAPE values obtained using the LSTM method; 5.91% for winter and 5.77% for summer.

LSTM model was created by Özen et al. [14] using temperature and humidity data received from Tekirdağ Provincial Directorate of Meteorology for temperature and humidity prediction with deep learning, and the success criteria were calculated as RMSE 1.895, MSE 3.547, R-square score value 0.952 and MAE 1.614.

In their study, Hacibeyoğlu et al. [15] used the K Nearest Neighbor (KNN) algorithm to estimate energy efficiency in buildings. In their experimental results, KNN was more successful than linear

regression and produced predictions at the level of 96%.

Alparslan et al. [16] conducted a study on solar radiation prediction using Artificial Neural Network (ANN) and Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) methods. In this study, which considered the climatic conditions of the Karaman region, it was observed that the ANFIS model provided more accurate results in the prediction of monthly data compared to the ANN model.

MATERIALS AND METHODS

The study was conducted using several software tools on a computer. The general features of the computer used are indicated in Table 1.

Table 1
General Characteristics of the Computer Used

Hardware	Hardware Features
CPU	AMD Ryzen 1500X 3.5 GHz
GPU	NVIDIA GeForce GTX 1050Ti 4GB GDDR5
Memory (RAM)	16 GB (8+8) 3000 MHz

Software Tools

This section includes the applications used in this study and the materials needed for deep learning and statistical analysis in the software libraries. These materials were preferred since they are frequently used in statistical studies, a good number of sample works involving them are available, and they are easy to access.

Python is an object-oriented, modular, and interactive high-level programming language. Its modular structure supports any kind of data area entry. It can operate on almost any platform [17]. It is most often used in scientific studies and statistical science (along with the statistical language R).

Anaconda is a Python-supported integrated Python distribution for applications in data science and other fields. In addition to the libraries typically used in the fields of artificial intelligence and data science, it also involves devices such as Jupyter Notebook and Spyder in its system [18].

Anaconda Navigator is a desktop graphical user interface included in the Anaconda distribution that allows developers to launch applications and manage conda (package manager used in Python) packages, environments, and channels without using command-lines [19].

Numpy (Numerical Python) is an open-source library frequently used by researchers and scientists that supports Python-based scientific calculations and the formation of multidimensional arrays and matrices through code writing on fewer lines to help form high-level mathematical functions [20].

Matplotlib is an open-source Python library used for data visualization. It is useful for two- or three-dimensional graph drawing [21]. It works compatibly with Numpy. It supports many types of graphs (lines, columns, circles, image processing etc.).

Tensorflow is a free and open-source library developed by the firm Google that is used for neural networks and machine learning [22]. It operates compatibly with libraries such as Keras, used in neural networks, and scikit-learn, used for machine learning. Google integrated Keras into the system in the second version of Tensorflow. It has also recently presented the Tensorflow 3D library, which facilitates

deep learning in three-dimensional environments, for use by scientific researchers [23].

Pandas is an open-source library written using the Python language that is used for data analysis and manipulation. It is especially useful for importing data into a project and supports formats such as csv, txt, and xls. It operates in the types “Dataframe” and “Series.” It usually uses “dataframes” for machine learning. We can consider “dataframes” to be like tables in relational database systems. Pandas uses operations such as adding or removing columns or lines and merging or separating tables for “dataframes” like data tasks in a table [24].

Keras is an open-source neural network library written using Python and is used for deep learning. It can operate with Tensorflow. It was developed by Google engineer François Chollet. It is used in designing deep neural networks such as CNN and RNN [25].

Statsmodels is a Python library offering classes and functions for the computation of many different statistical models, statistical tests, and statistical data discovery. It provides a comprehensive list of statistical conclusions for each estimate. It is checked against available statistical packages to verify the accuracy of its conclusions [26].

Datasets

The study analyzes four data sets from SPPs based in different locations in the province of Konya, each of which has a 1MW installed power. These power plants are in the districts of Çumra, Tuzlukçu, and Yunak in Konya. While three of these four data sets are daily frequency and span two years of electricity production data (kWh), the other is hourly frequency and spans about one year. These data consist of univariate time series. Figure 3 shows the locations of the SPPs.

In the rest of the study, the Çumra power plant will be referred to as Plant_A (daily frequency), the Tuzlukçu power plant as Plant_B (daily frequency), the Yunak power plant as Plant_C (daily frequency), and the same Çumra power plant as Plant_D for hourly frequency.

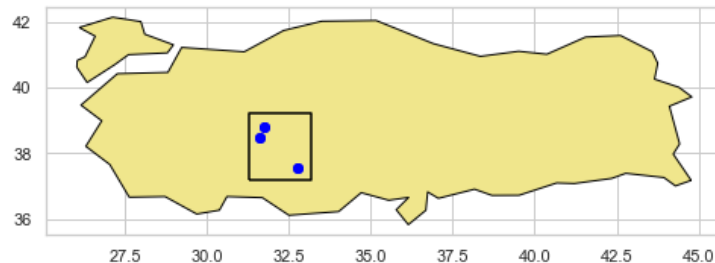


Figure 3

The Locations of SPPs Used in the Study

Figure 4 indicates the electricity production data graph for Plant_A. It includes 800 days of data. Figure 5 indicates the electricity production data graph for Plant_B. It includes 730 days of data. Figure 6 indicates the electricity production data graph for Plant_C. It includes 730 days of data. Finally, Figure 7 indicates the electricity production data graph for Plant_D. It includes 8777 hours of data.

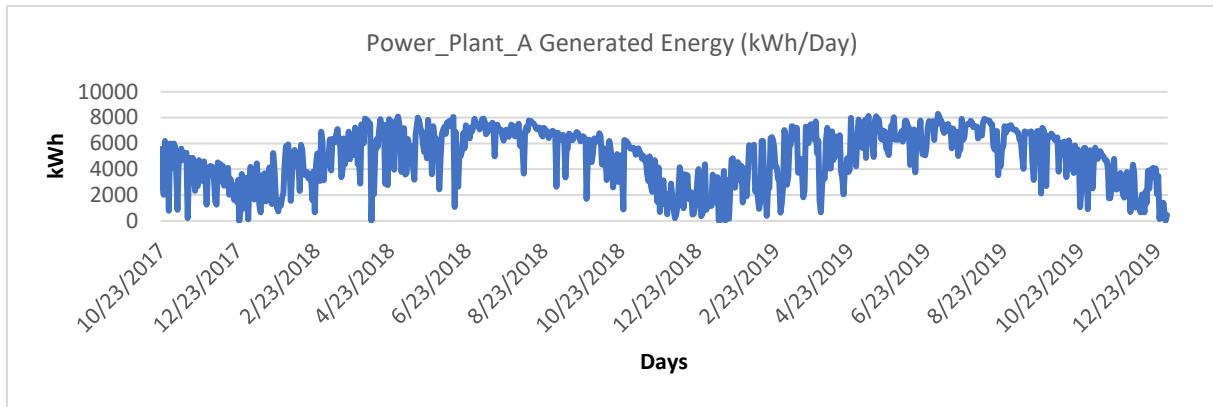


Figure 4
Electricity Production Chart of Plant_A (with daily frequency).

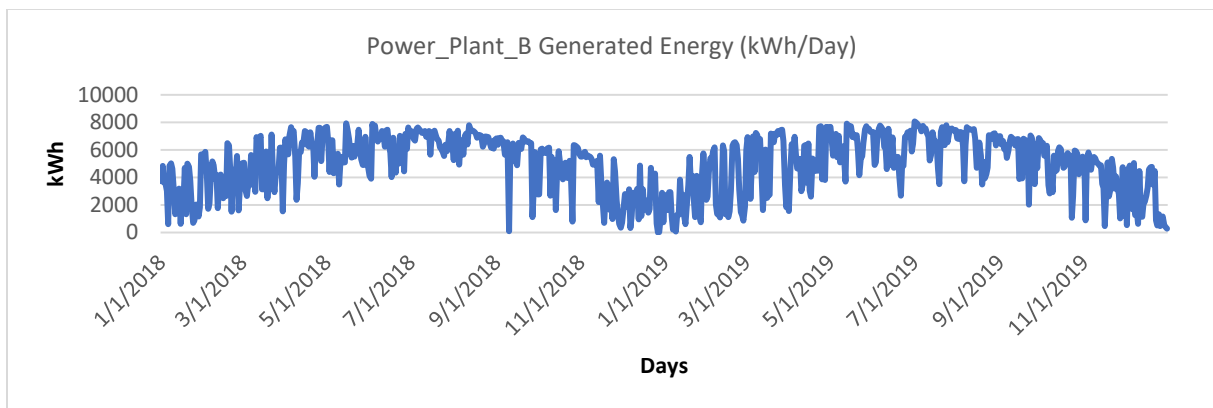


Figure 5
Electricity Production Chart of Plant_B (with daily frequency).

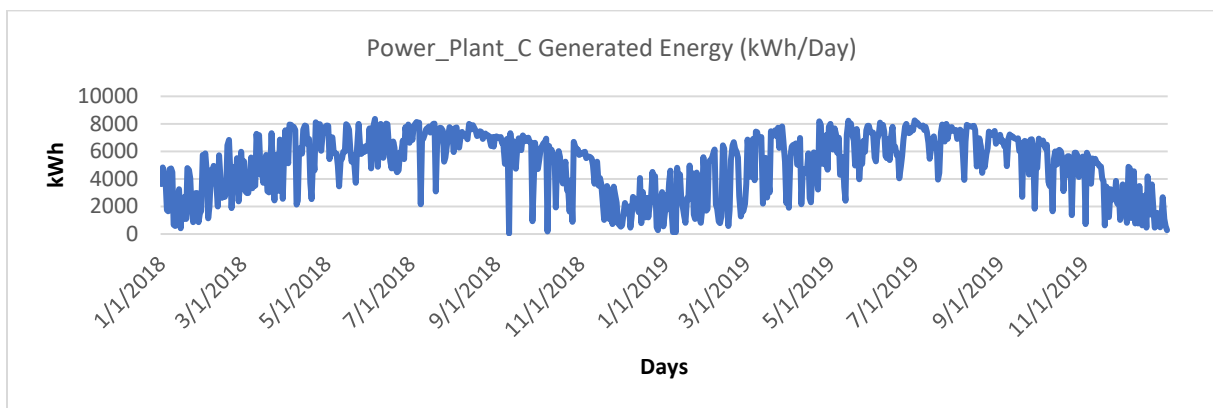


Figure 6
Electricity Production Chart of Plant_C (with daily frequency).

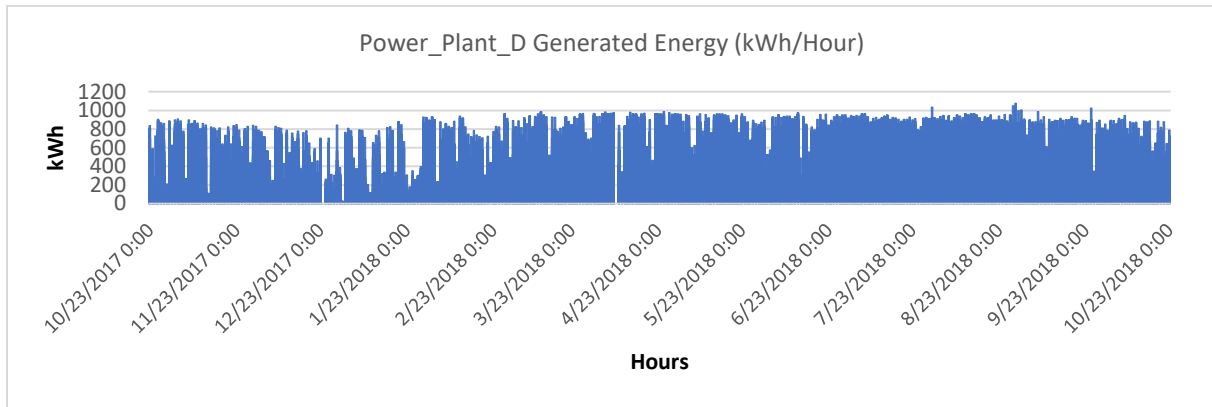


Figure 7

Electricity Production Chart of Plant_D (with hourly frequency).

Plant_D is in fact the data set derived from the Çumra power plant based on hourly frequency. It is labelled Plant_D to prevent confusion. While three data sets are offered in daily frequency, the fourth data set is offered in hourly frequency since the latter involves higher data density and we would like to be able to analyze how the system, especially the LSTM, will respond. That data density is high in deep learning is an important consideration in system training and in the forecasting mechanism. Data from Konya is used because this province is large in surface area and the region exhibits significant levels of solar heat and radiation annually [27].

The LSTM Method in Neural Networks and its Structural Properties

LSTM networks are referred to as gate cells where information can be stored. A cell determines which information to store, how to use it or whether to forget any information during the task of forecasting. Input and output gates allow for the passage or blocking of information based on trained weights. This architecture can merge flow entry, previous status and the cell memory and inform long-term dependencies. It was derived and formed out of the RNN (Recurrent Neural Network) structure [28].

All RNNs are in the form of recurrent neural module chains. In classic RNNs, these modules have a basic structure such as a single *tanh* layer. Figure 8 demonstrates the scheme of this chain.

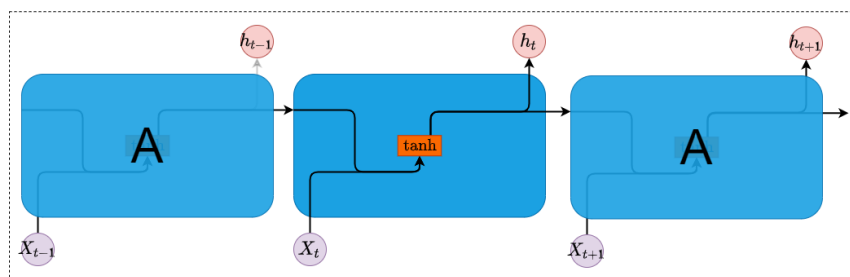


Figure 8

Repeating Module in Standard RNN Contains a Single Layer [29]

LSTMs, like RNNs, have a consecutive structure where they follow one another. The crucial difference here is that parts following each other do not have a single neural layer but a four-layered special-interaction structure. Figure 9 shows the LSTM chain.

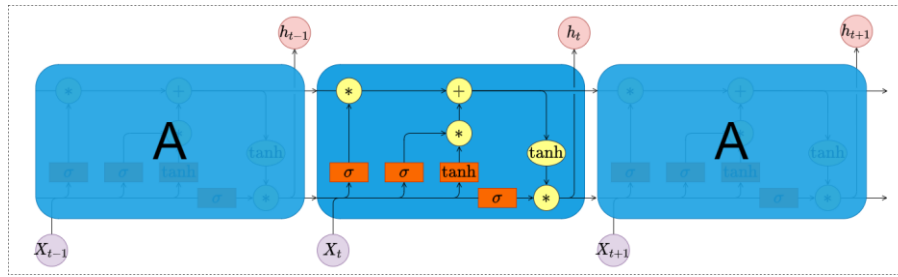


Figure 9
The Repeating Module in LSTM Includes Four Interactive Layers [29]

In the diagram in Figure 9, the entire vector is transmitted from the output of the node for each line to the input of the other modules. While neural network layers are learned in the orange boxes, the yellow circles perform pointwise operations such as vector addition. Merged lines stand for the merging line and the line forking operation suggests that the copied content will move to different locations [29].

The LSTM architecture could add or remove information organized by structures called "gates". Gates are a way to allow the passage of information on demand. They consist of a sigmoid neural network layer and a point multiplication process (Figure 10).

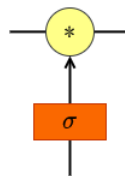


Figure 10
Sigmoid Layer with Pointwise Multiplication [29]

The sigmoid layer returns values between 0 and 1 that describe how much of each component it should allow to pass through. The value "0" means "closed to data transfers", while the value "1" means "available for data transfers". The standard LSTM has three of these gates for maintaining and controlling the cell state [29].

Steps of an LSTM Cell

The first step in the model is to determine which information to throw away from the cell state. This task is carried out by a sigmoid layer called “the forget gate layer.” It looks at the points X_t and h_{t-1} and outputs a number between 0 and 1 for each number in the cell state C_{t-1} (Figure 11). An exit value of 1 represents “keep this information” while a value of 0 represents “get rid of this information”. The equation as follows:

$$f_t = \sigma(W_f \cdot [h_{t-1}, X_t] + b_f) \tag{1}$$

The next phase is the decision phase, determining what new information to keep based on the cell state. This takes place in two parts. First, the “gateway layer”, which is the sigmoid layer, determines which values will be updated. Next, a \tanh layer creates a vector of new candidate values, \tilde{C}_t , that is added to the new state (Figure 12). In the next step, these two layers are combined to update the state.

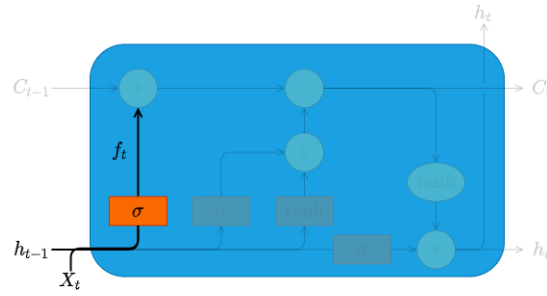


Figure 11
Sigmoid Layer with Pointwise Multiplication [29]

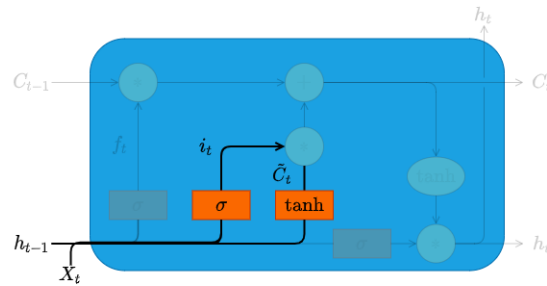


Figure 12
“Input gate” Layer in LSTM Cell [29]

The formula of the input layer is given as follows:

$$i_t = \sigma(W_i \cdot [h_{t-1}, X_t] + b_i) \tag{2}$$

$$\tilde{C}_t = \tanh(W_C \cdot [h_{t-1}, X_t] + b_C) \tag{3}$$

This makes it possible to update the old C_{t-1} cell state to the new C_t cell state. It had already been decided in the previous steps what to do. In this step, implementation begins.

In this step, the old situation is multiplied by f_t , forgetting the information previously decided to forget. Then add $i_t * \tilde{C}_t$ (as shown in the equation below). These values are new candidate values at scale where it is decided how much of each state value to update (Figure 13).

$$C_t = f_t * C_{t-1} + i_t * \tilde{C}_t \tag{4}$$

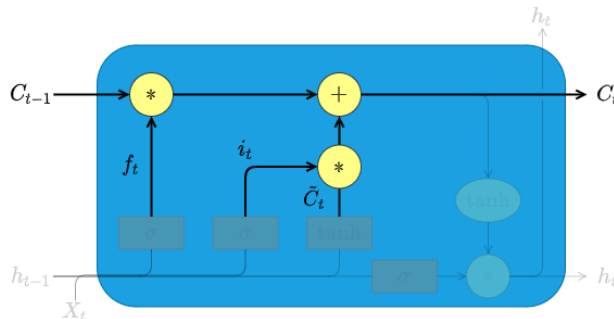


Figure 13
Merge Layers After Previous Operations in LSTM Cell [29]

In the last step, it is decided what to send as output. This output depends on the cell state but can also be a filtered version. In the first step, a sigmoid layer is run where it is decided which parts of the

cell state want to be output (Figure 14). The cell state is then passed through a \tanh function (to keep the values between -1 and +1) and multiplied by the output of the sigmoid gate to output only the parts it was decided to include.

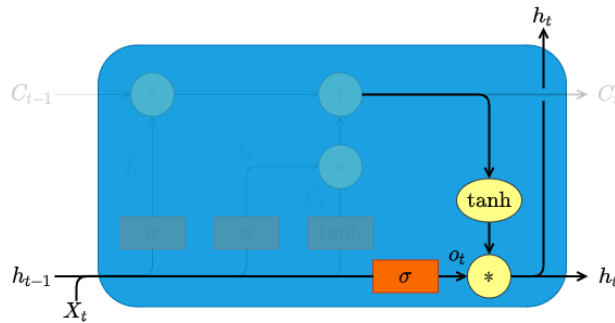


Figure 14
The h_t Gate is Created in the Last Step in the LSTM Cell [29].

The equations of the last step are shown as follows:

$$o_t = \sigma(W_o \cdot [h_{t-1}, X_t] + b_o) \quad (5)$$

$$h_t = o_t * \tanh(c_t) \quad (6)$$

ARIMA and SARIMA Methods in Statistics

The autoregressive integrated moving average model (ARIMA) is used in non-stationary time series. It uses the Box-Jenkins method [30]. While it represents local trends or differences in level, different parts of non-stationary processes display a certain level of similarity. A stable $ARIMA(m, d, n)$ model that is the difference d of the time series is shown as follows:

$$\tilde{x}_t = \sum_{i=1}^m \Phi_i S^d x_{t-i} + \sum_{j=0}^n \theta_j \omega_{t-j} \quad (7)$$

Here, $S = 1 - q^{(-1)}$ and $\Phi_m(q)$ are fixed and reversible $AR(m)$ operators. x_t, ω_t, Φ_t and θ_j are respectively the observed time series values, the error, the AR , and the MA values. ‘ d ’ is the number of differences (non-seasonal), ‘ m ’ is the number of autoregressive terms, and ‘ n ’ is the number of delayed forecast errors [31].

In the ARIMA process, stationarity in time series is identified and fixed and then the operation is made more forecastable using the $ARIMA$ model.

If time series involve a seasonal impact, the Seasonal ARIMA (SARIMA) method is used. This method goes through operations like those in $ARIMA$ and incorporates the parameter s , which stands for seasonality and is expressed as $SARIMA(m, d, n)x(M, D, N, s)$ statistically. The capitalized letters (M, D , and N) are the parameters used for the model involving seasonality.

For time series to be forecasted in the ideal fashion and in statistical terms, they are expected to be static. It is possible to use methods such as a correlogram and the Dickey-Fuller test to determine whether a time series is static. Considering such a test, it is possible to make a time series static and engage in forecasting.

Performance Measurements

The performance of forecasting methods is measured using various metrics related to forecast error. Higher error values indicate lower prediction accuracy. This section will discuss various performance metrics frequently used to calculate prediction error. The point that needs attention here is

that x represents the observed value, \tilde{x} stands for the estimated value, and n corresponds to the total number of cases [31]. This section will cover the performance metrics evaluated in the study.

MSE (Mean Squared Error)

The mean squared error refers to the distance between a regression curve and a series of points. The MSE measures the performance of the forecasting mechanism of a machine learning model. It always has a positive value, and it is possible to put forward that the closer the MSE result is to zero, the better performance the forecasting mechanism exhibits. The equation is shown as follows:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\tilde{x}_i - x_i)^2 \quad (8)$$

NMSE (Normalized Mean Squared Error)

This measurement is the normalized version of the MSE as follows:

$$NMSE = \frac{n \sum_{i=1}^n (\tilde{x}_i - x_i)^2}{\sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n \tilde{x}_i} \quad (9)$$

It is accepted that the model is successful in cases in which the NMSE value measured for the best model is closest to zero. The NMSE, normalized by the multiplication term of the means found in the denominator, does not show bias due to under-forecasting or over-forecasting by the model [32].

RMSE (Root Mean Squared Error)

The root mean squared error is obtained by extracting the square root of the MSE. It is a quadratic measurement used to find the distance between the value predicted by the forecasting mechanism of a machine learning model and the actual value. The RMSE accounts for the standard deviation in forecast errors. In other words, residuals are a measure of how far the regression line is from the actual data points. The RMSE does not allow for the use of absolute values, which are not desired in many mathematical computations [33]. It is considered that, by definition, the closer the RMSE is to zero, the better alignment it shows with data. However, it never takes the value of 0 in practice. In general, a lower RMSE is better than a higher one. Since the RMSE depends on the scale of numbers used for measurement, comparisons among different types of data will not have any validity. The model is frequently used in comparisons. The equation is shown below:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\tilde{x}_i - x_i)^2} \quad (10)$$

MAE (Mean Absolute Error)

The mean absolute error is the measure of the difference between two constant variables (the following equation). The MAE is both the mean vertical and the mean horizontal distance between each actual value and the line best aligning with the data. The MAE result is easy to interpret and is frequently used in regression and time series problems [33].

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\tilde{x}_i - x_i| \quad (11)$$

MAPE (Mean Absolute Percentage Error)

The mean absolute percentage error is shown below:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{\tilde{x}_i - x_i}{x_i} \right| * 100\% \quad (12)$$

The MAPE is frequently used in regression and time series models to determine the accuracy of forecasts. If the actual values include zero, the MAPE cannot be calculated since it needs to be divided

by zero (it will yield a false result). For very low forecast values, the percentage error cannot go above 100%. Nevertheless, when very high forecast values are generated, there is no upper limit for the percentage error. When the MAPE is used to compare the accuracy of models used for forecasting, it is biased since it systematically selects a model with low forecasts [33].

R² (Coefficient of determination)

Coefficient of determination is shown below:

$$R^2 = 1 - \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\hat{x}_i - x_i)^2}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2} \tag{13}$$

The coefficient of determination (R-squared) [34] is expressed as the ratio of the variance in the dependent variable that can be predicted by the independent variables. For example, an R-squared of 80% means that the independent variables can explain 80% of the variance in the dependent variable. R-squared generally corresponds to a value between 0 and 1.

Hyperparameter Tuning

Since the use of graphical cards allows for speed in parallel operations, researchers are now able to model complex structures with multiple layers and solving problems through deep learning has become equivalent to optimizing a multiple-layered neural structure. At this point, hyper-parameters often present themselves as tools used by researchers along with their insight [35].

In designing an ML model learning from data, designers need to use certain parameters to decide what algorithms or techniques to feature in the model. To illustrate, it is the designer who determines what value the value k will receive in the KNN classification algorithm. Similarly, it is the designer who decides which kernel function to use in the SVM algorithm. In deep neural models, the designer sets the dropout value and the number of neurons. It is initially not clear which criteria to use in the selection of such parameters. It depends on factors such as the data set and the type of problem. Thus, it is up to the designer what they will be. These parameters that vary by the characteristics of the data set are called hyperparameters. Figure 15 shows hyper-parameters and the state of model parameters [35]. In statistical science, the parameters referred to as “orders” in ARIMA models used for time series estimation are also called hyperparameters since they are adjusted according to the makeup of the series.

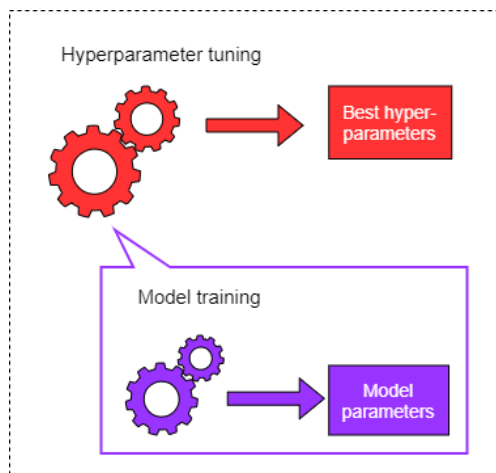


Figure 15
Hyperparameters and Relationship of Model Parameters [36].

RESULTS AND DISCUSSIONS

In the study, LSTM and Seasonal ARIMA (SARIMA) models were used for each data set (these data are univariate time series). The forecast graphs for each model used for each data set are given along with the actual values. To compare the forecast accuracy of these models, MSE, RMSE, NMSE, MAE, and MAPE error measurements were used.

The LSTM Model

The basic sequential model available in the Keras library was preferred, and among the layers of this model, primarily the LSTM model was used. The general structure of the model is shown in Table 2.

Table 2
General Structure of The LSTM Model Used

MODEL TYPE: SEQUENTIAL		
LAYER	OUTPUT SIZE*	NUMBER OF PARAMETERS
Lstm	32	4864
Dropout	32	0
Lstm_1	25	5800
Dense	1	26

Total number of parameters: 10.690, Number of trainable parameters: 10.690

* Dimensions and other values are hyperparameters.

The model has a structure consisting of four layers. The input number for the LSTM in the first layer was set as 32 (since it is a hyperparameter, it is possible to change it if necessary). As the forgetting of weak information returns a positive result for the forecasting mechanism, a dropout layer was added and was set at the value 0.5. (In general, you start out with this value, but it is subject to change and is up to the designer.) Following the thinning operation, a new LSTM layer was formed at the third layer and the intermediate input number was set at 25. Finally, the Dense (conventional YSA model) layer was added, and its output dimension was given as 1 and ReLU (hyperparameter) was used as the activation function. For optimization, the RMSProp algorithm was added. The Batch dimension (hyperparameter) was given as 16. Every step is 200 epochs (hyperparameter). The standard LSTM model was used. In model comparison, the LSTM will be expressed parametrically as (32, 25). The parameters were respectively set as the first and second LSTM layer (output dimension).

The SARIMA Model

The Python-supported Statsmodels library was used in the making of this model. In addition, for the SARIMA parameters to be available in the best possible way in the SPPs involving daily data, the 'auto_arima' method in the pmdarima [37] library was used for control purposes only. The most appropriate model (the one with the lowest AIC value) was selected among different models, using the AIC method [38]. It is a process that requires attention statistically to determine the parameters in the operation process of SARIMA (in determining the parameters following the analysis of autocorrelation and partial autocorrelation functions etc.). For this end, in addition to AIC, the Dickey-Fuller unit root test, which we mentioned in the third section, was applied to confirm the stationary of the time series. This test is a method developed to identify whether a time series is stationary or non-stationary. It can determine whether a time series includes a unit root [39]. It is recommended that the forecasting mechanism be run in stationary time series in SARIMA. In non-stationary time series, on the other hand,

it is necessary to first make them static for to determine the parameters (extracting a difference, logarithmic calculations etc.).

Since the data sets involve a seasonal impact, assessment was made using the Seasonal ARIMA (SARIMA) model. Differently from the Standard ARIMA ($ARIMA(m, d, n)$), the SARIMA is expressed as $(m, d, n) \times (M, D, N, s)$. The value ‘s’ here corresponds to an integer that stands for seasonality. M, D, and N are the parameters used for seasonal ARIMA. This value is a hyperparameter, like other ARIMA expressions.

The basic flow diagram for the LSTM and SARIMA models is indicated in Figure 16.

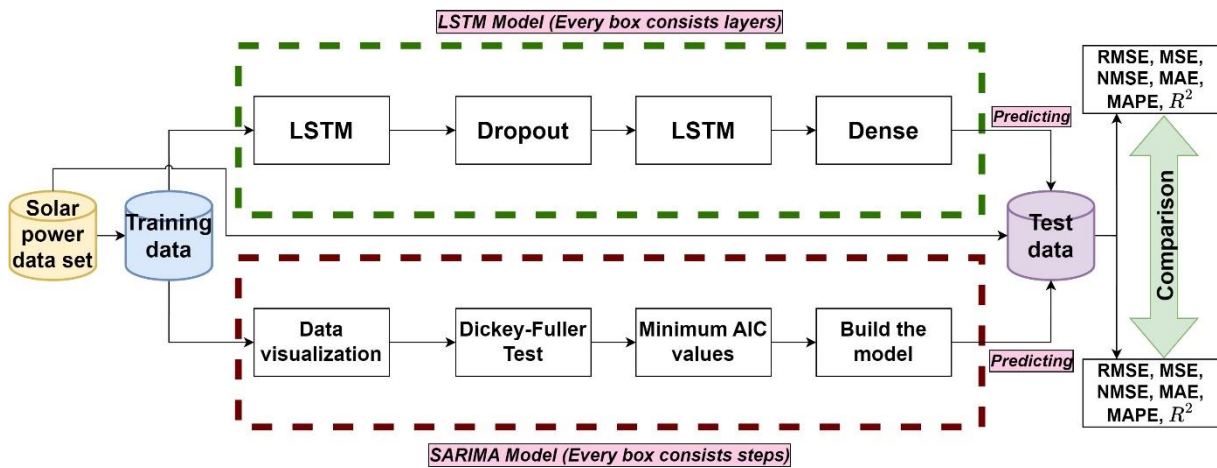


Figure 16
LSTM and SARIMA Basic Flow Chart of the Study.

The LSTM model was evaluated using the same parameters for each data set. This is because the LSTM model is a trainable one and can generate results that are based on relevant data. Training for the SARIMA is informed by the characteristics of the data set (trends, stationarity criteria), it is required to run pre-operations for data, and the parameters are unique for each data set. They apply separately for each data.

Result for the Datasets

In this section, the SARIMA and LSTM models were applied in each data set and the results of the models were applied individually for each data set. The LSTM model was formed for once only (Table 2) and the same model was applied for each data set. 70% of each data set was reserved for training, and 30% for testing. As indicated in Figure 16, for each data set, the ‘auto arima’ method, the Dickey-Fuller test, and then the AIC test were run, and the parameters were set accordingly.

Plant_A (Figure 4) includes 800 days of data. The model obtained for Plant_A is SARIMA (1, 1, 1)x (0, 1, 1, 365). Since it involves yearly data, the final parameter (seasonal) was set at 365. The forecasting results for the dates between 12.5.2019 and 31.12.2019 following these operations are shown in Figure 17.

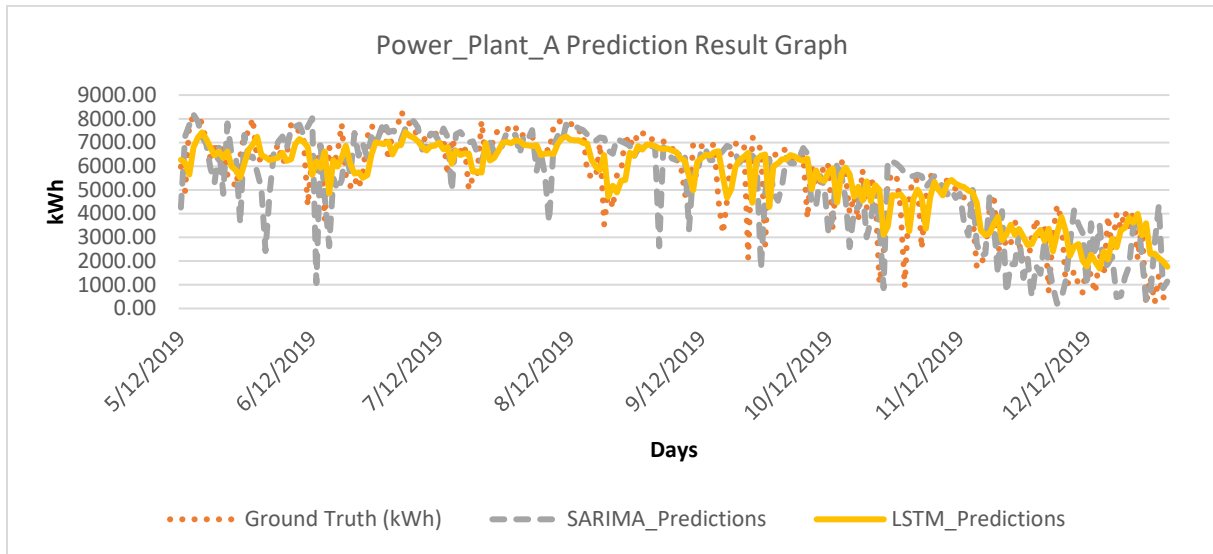


Figure 17
Estimation Results for Plant_A

The LSTM model which we formed after reviewing the performance results (error measurements) for Plant_A, which is in Çumra and has a 1MW installed power, exhibited a successful performance in comparison to the SARIMA (except for the MAPE) (Table 3).

Table 3
Performance Results of Plant_A

MODEL	RMSE	MSE	NMSE	MAE	MAPE	R ²
SARIMA (1,1,1) x (0,1,1,365)	1525.37 kWh	2326754	0.08	1104.16	61%	0,44
LSTM (32,25)	1163.62 kWh	1354012	0.05	870.46	78%	0,67

Plant_B (Figure 5) includes 730 days of data. The operations run for Plant_A were also run for Plant_B. The model thus obtained is SARIMA (1, 1, 1) x (0, 1, 1, 365). After the parameters for this model were set, the SARIMA and LSTM models were applied to the data set and the results in Figure 18 emerged for the dates between 1.6.2019 and 31.12.2019.

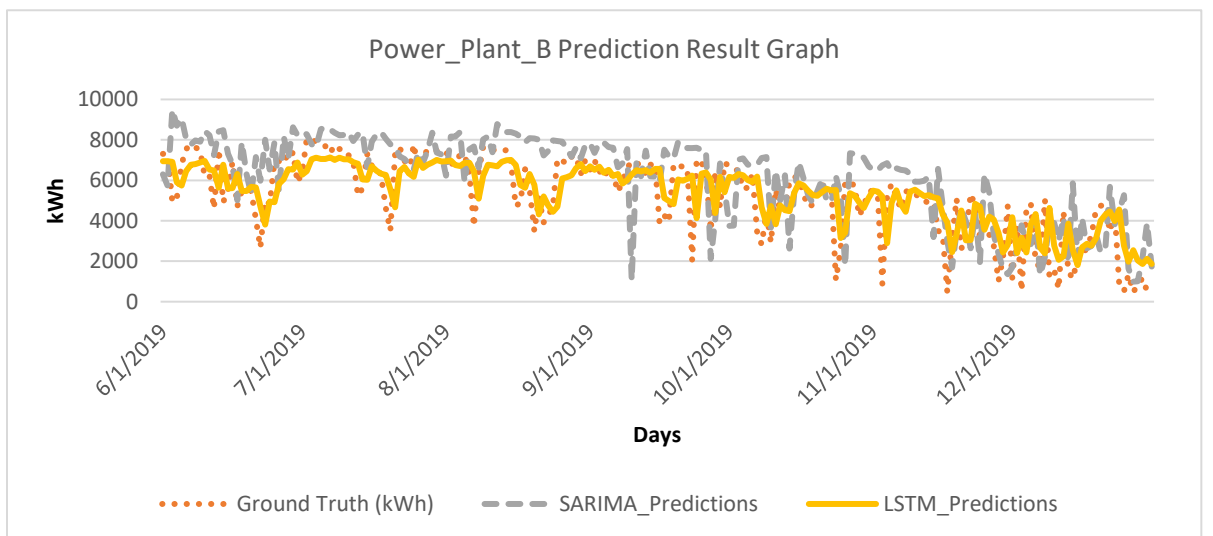


Figure 18
Estimation Results for Plant_B

The performance results for Plant_B, located in Tuzlukçu and with a 1 MW installed power, were examined. The LSTM model we developed exhibited results relatively close to actual data compared to the SARIMA model, as was the case with Plant_A (Table 4).

Table 4
Performance Results of Plant_B

MODEL	RMSE	MSE	NMSE	MAE	MAPE	R ²
SARIMA (1,1,1) x (0,1,1,365)	1994.28 kWh	3977153	0.12	1556.63	58%	-0,004
LSTM (32,25)	1341.93 kWh	1800776	0.06	1005.14	44%	0,55

Plant_C (Figure 6), like Plant_B, includes 730 days of data. The model derived is SARIMA (1, 1, 1)x (0, 1, 1, 365). After the parameters for the model were set, the SARIMA and LSTM models were applied to the data set and the results shown in Figure 19 were obtained for the dates between 1.6.2019 and 31.12.2019.

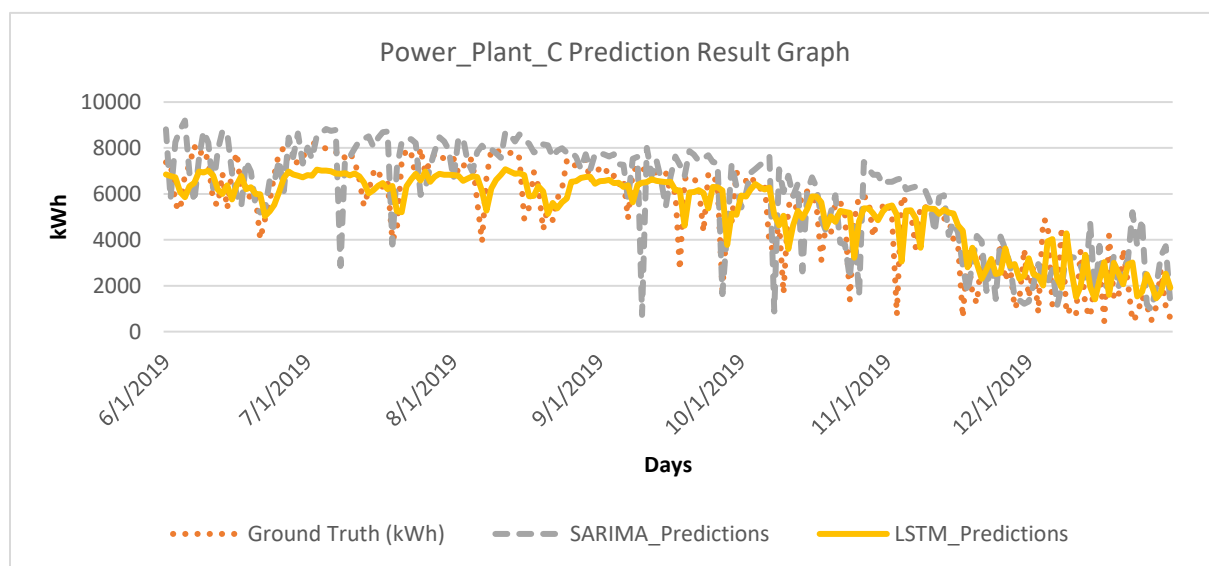


Figure 19
Estimation Results for Plant_C

If we analyze the performance results for the SPP located in Yunak, which has a 1MW installed power, the LSTM model yielded more satisfactory results than the SARIMA model (Table 5).

Table 5
Performance Results of Plant_C

MODEL	RMSE	MSE	NMSE	MAE	MAPE	R ²
SARIMA (1,1,1) x (0,1,1,365)	1756.39 kWh	3084906	0.1	1324.56	52%	0,37
LSTM (32,25)	1301.53 kWh	1693980	0.06	1004.43	44%	0,65

Plant_D (Figure 7) includes 8777 hours of data differently from the other data sets. It was formed through the conversion of the original data for Plant_A into hourly frequency (under normal circumstances, data is recorded in the system automatically in fifteen-minute periods).

The data pattern for Plant_D displays a strikingly different behavior from the data for the other three SPPs. Thus, different factors played a role in determining the parameters. Only the AIC test was

applied in Plant_D for the task of selecting parameters.

The model obtained because of the test is *SARIMA* (1, 0, 1) \times (1, 1, 1, 24). The value ‘s’ was set at 24 since the SPP is operational 24 hours a day (a hyper-parameter). The forecasting results of the LSTM and SARIMA models derived for the dates between 6.7.2018 and 23.10.2018 following this procedure can be viewed in Figure 20.

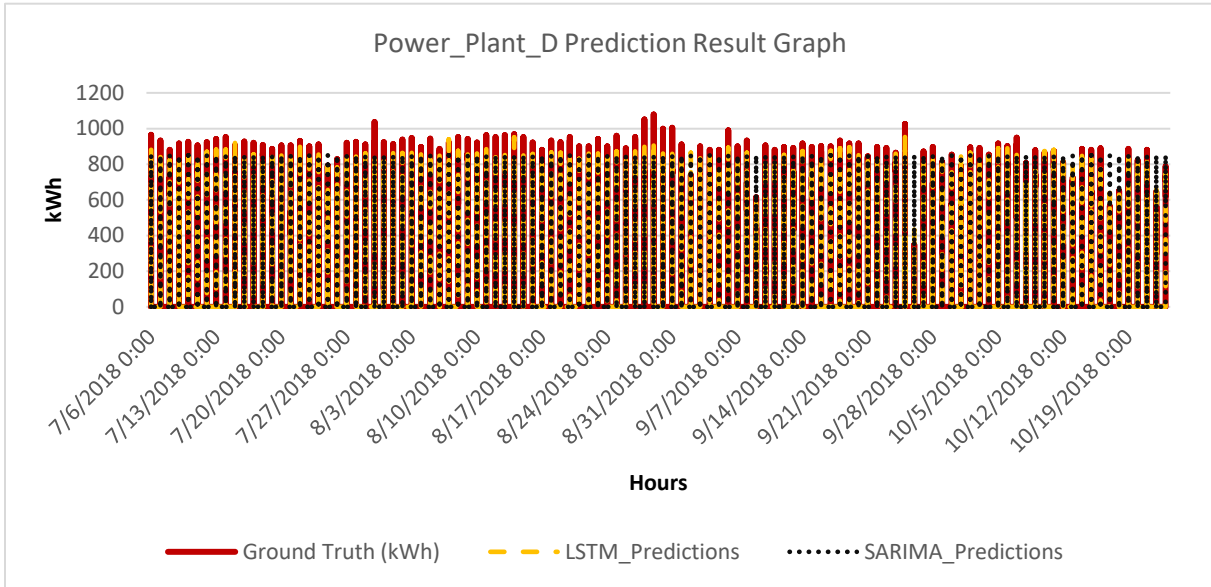


Figure 20
Estimation Results for Plant_D

If we take a glance at the performance errors for Plant_D (Table 6), the error data is lower in the LSTM model than in the SARIMA model and the former model yields more successful results. The MAPE value was not added because the actual data included zero (0).

Table 6
Performance Results of Plant_D

MODEL	RMSE	MSE	NMSE	MAE	R ²
SARIMA (1,0,1) x (1,1,1,24)	167.93 kWh	28200.48	0.38	102.86	0,75
LSTM (32,25)	86.26 kWh	7440.79	0.11	38.58	0,94

While machine learning and deep learning are not new technologies, they continue to develop and receive interest constantly. This study made use of these topics and aimed to make contributions to research focused on improving the efficiency of such systems since renewable energy systems are in high demand due to the limited availability of underground sources in the 21st century.

This study can be a precursor for work on forecasting future production values and engaging in plant maintenance in due time and with low cost to slow down the decrease in the efficiency of solar power plants over time, given that it is constantly expanded and updated, with its models improving each time. Its forecasting infrastructure can be reduced to monthly periods, and it can be used in identifying the problems encountered over a given month or time of the year in the past as soon as they recur in the future.

Thanks to its monthly production estimates, this system has the potential to offer individuals (real

or legal) the chance to take measures so that they can minimize any penalties they may be required to pay due to electricity production that is above or below the level specified in agreements by electricity distribution companies which are based on monthly production in SPPs. Similarly, this study can not only be turned into a set of package applications and provide data for the SCADA systems used by electricity distribution companies but at the same time include different data from the SCADA systems and help make further inferences.

In addition, it is important to constantly improve and optimize the deep learning model. This study can be trained constantly using instant data obtained through the systems at the basic (elementary) level. The learning ability of the model can be advanced through training. If we consider that the standard lifespan of an SPP is 25 years and three years of past data are sufficient for conducting a study at the optimal level, we can argue that such work is crucial for SPPs.

CONCLUSIONS

In this study, which engages in electricity production estimation based on solar power plants, methods (LSTM and SARIMA) available in the fields of deep learning, statistics, and econometrics were used to make time series analysis. These methods were implemented on four different SPP data sets and the results were compared using the RMSE, MSE, NMSE, MAE, MAPE and R^2 , which are frequently used in performance measurements.

The tests for Plant_A, Plant_B, Plant_C, and Plant_D, which are elaborated on in the following chapters, were assessed, and while results close to actual data were obtained in both methods (based on the NMSE measure, all models returned results close to zero), the LSTM results still yielded more successful values than the SARIMA. Here, it should be noted that the hyper-parameters have an impact because hyper-parameters play a crucial role in determining the direction of forecasting. Second, the computational power of the GPU used in this study (CPUs work with less speed than GPUs in terms of computational power today) made positive contributions to obtaining the desired values both in such a short time and in a consistent way. And at last, LSTM architecture provides more parameter learning makes powerful to do forecast. Particularly when a data has long-term trend.

In terms of the coefficient of determination (R^2), when examining Power Plants A, B, and C transmitting data at daily frequency, it was found that the R^2 values of LSTM models explain over 55% of their variances. Although they do not approach a value of 1, LSTM models outperform SARIMA models in all tested power plants. For instance, when examining the SARIMA forecast for Power Plant B, the R^2 value was -0.004, indicating insufficient predictive capability of the model for Power Plant B. To rectify this, it is important for the model to undergo appropriate preprocessing steps on the dataset (such as reconfiguring the Dickey-Fuller test, redefining the minimum AIC value, or re-determining SARIMA parameters using autocorrelation and partial autocorrelation functions). Surprisingly, when examining Power Plant D transmitting data at hourly frequency, both models' R^2 values are high, and the LSTM model even approaches a value of 1.

While the LSTM library used in the study made use of GPU support, the SARIMA library made use of CPU only (the Statsmodels library does not support GPU). The obstacle encountered in deep learning design makes it necessary to have expensive equipment (GPU or TPU requiring high computational power) to run fast and efficient operations.

Another issue is correction of data pollution (removal of insignificant data and value assignment based on the series trend etc.). Optimization and rearrangement of data pollution is a factor facilitating the forecasting function. Such procedures are frequently run-in analyzing data.

Ethical Declaration

This study was prepared from the master's thesis titled "Estimation electricity generation using deep learning on solar power plants", presented on 17.12.2020, under the supervision of Professor Hidayet OĞUZ.

Acknowledgements

We would like to thank engineers Kenan Kahya and Ercenk Yavuz, who provided the solar power plant data required for our study.

Funding

This research was not supported by any public, commercial, or non-profit organization.

Authorship Contribution

Research Design, Conceptualization (CRediT 1) Yunus Emre Kıymaz (%60) – Hidayet Oğuz (%40)

Data Collecting (CRediT 2) Yunus Emre Kıymaz (%70) – Hidayet Oğuz (%30)

Research- Data Analysis - Validation (CRediT 3-4-6-11) Yunus Emre Kıymaz (%60) – Hidayet Oğuz (%40)

Writing (CRediT 12-13) Yunus Emre Kıymaz (%60) – Hidayet Oğuz (%40)

Review & Editing (CRediT 14) Yunus Emre Kıymaz (%50) – Hidayet Oğuz (%50)

Conflict of Interest

The authors have no conflict of interest to disclose for this study.

Sustainable Development Goals (SDG)

Sustainable Development Goals: 7 Affordable and Clean Energy

REFERENCES

- [1] A.L. Samuel, Some studies in machine learning using the game of checkers, *IBM Journal of Research and Development*. 3 (1959), 210-229. doi:10.1147/rd.33.0210.
- [2] Y. LeCun, Y. Bengio, G. Hinton, Deep learning, *Nature*. 521 (2015), 436-444. doi:10.1038/nature14539.
- [3] R. Roy, AI, ML, and DL: How not to get them mixed!, (2019). <https://towardsdatascience.com/understanding-the-difference-between-ai-ml-and-dl-cceb63252a6c> (access date 07 January 2021).
- [4] H. Lütkepohl, M. Krätzig, P.C.B. Phillips, Applied time series econometrics, *Cambridge University Press*, 2004.
- [5] D. Cano, J.M. Monget, M. Albuissou, H. Guillard, N. Regas, L. Wald, A method for the determination of the global solar radiation from meteorological satellite data, *Solar Energy*. 37 (1986), 31-39. doi:10.1016/0038-092X(86)90104-0.
- [6] S.E. Rusen, Modeling and analysis of global and diffuse solar irradiation components using the satellite estimation method of HELIOSAT, *Computer Modeling in Engineering & Sciences*. 115 (2018), 327-343.
- [7] S. Ener Rusen, A. Konuralp, Quality control of diffuse solar radiation component with satellite-based estimation methods, *Renewable Energy*. 145 (2020), 1772-1779. doi:10.1016/j.renene.2019.07.085.
- [8] M. Abdel-Nasser, K. Mahmoud, Accurate photovoltaic power forecasting models using deep LSTM-RNN, *Neural Computing and Applications*. 31 (2019), 2727-2740. doi:10.1007/s00521-017-3225-z.
- [9] R.K. Agrawal, F. Muchahary, M.M. Tripathi, Long term load forecasting with hourly predictions based on long-short-term-memory networks. In *2018 IEEE Texas Power and Energy Conference (TPEC)*, *IEEE*, 2018: ss. 1-6. doi:10.1109/TPEC.2018.8312088.
- [10] S. Balluff, J. Bendfeld, S. Krauter, Short term wind and energy prediction for offshore wind farms using neural networks. In *2015 International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, *IEEE*, 2015: ss. 379-382. doi:10.1109/ICRERA.2015.7418440.
- [11] A. Gensler, J. Henze, B. Sick, N. Raabe, Deep Learning for solar power forecasting — An approach using AutoEncoder and LSTM Neural Networks. In *2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, *IEEE*, 2016: ss. 002858-002865. doi:10.1109/SMC.2016.7844673.
- [12] H. Sharadga, S. Hajimirza, R.S. Balog, Time series forecasting of solar power generation for large-scale photovoltaic plants, *Renewable Energy*. 150 (2020), 797-807. doi:10.1016/j.renene.2019.12.131.
- [13] U. Şencan, Short term electricity price forecasting using Long Short-Term Memory, Thesis, *Bahçeşehir University*, 2018.
- [14] F. Özen, R. Ortaç Kabaoğlu, T.V. Mumcu, Deep learning based temperature and humidity prediction, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. (2023). doi:10.47112/neufmbd.2023.20.
- [15] M. Hacibeyoglu, M. Çelik, Ö. Erdaş Çiçek, Energy efficiency estimation in buildings with K nearest neighbor algorithm, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 5 (2) (2023), 65-74. doi:10.47112/neufmbd.2023.10.
- [16] N.C. Alparslan, A. Kayabasi, S.E. Rusen, Estimation of global solar radiation by using ANN and ANFIS. In *2019 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU)*, *IEEE*, 2019: ss. 1-6. doi:10.1109/ASYU48272.2019.8946448.

- [17] W. Donat, What is Python: An Intro to a Cross-Platform Programming Language, (2015). <https://www.atlantic.net/vps-hosting/what-is-python-intro-cross-platform-programming-language/> (access date 01 June 2021).
- [18] Anaconda Software Distribution, *Anaconda Documentation*. (2020). <https://docs.anaconda.com/> (access date 01 October 2021).
- [19] Anaconda Navigator, (2020). <https://docs.anaconda.com/anaconda/navigator/> (access date 07 January 2021).
- [20] C.R. Harris, K.J. Millman, S.J. van der Walt, R. Gommers, P. Virtanen, D. Cournapeau, E. Wieser, J. Taylor, S. Berg, N.J. Smith, R. Kern, M. Picus, S. Hoyer, M.H. van Kerkwijk, M. Brett, A. Haldane, J.F. del Río, M. Wiebe, P. Peterson, P. Gérard-Marchant, K. Sheppard, T. Reddy, W. Weckesser, H. Abbasi, C. Gohlke, T.E. Oliphant, Array programming with NumPy, *Nature*. 585 (2020), 357-362. doi:10.1038/s41586-020-2649-2.
- [21] J.D. Hunter, Matplotlib: A 2D Graphics Environment, *Computing in Science & Engineering*. 9 (2007), 90-95. doi:10.1109/MCSE.2007.55.
- [22] M. Abadi, A. Agarwal, P. Barham, E. Brevdo, Z. Chen, C. Citro, G.S. Corrado, A. Davis, J. Dean, M. Devin, S. Ghemawat, I. Goodfellow, A. Harp, G. Irving, M. Isard, Y. Jia, R. Jozefowicz, L. Kaiser, M. Kudlur, J. Levenberg, D. Mane, R. Monga, S. Moore, D. Murray, C. Olah, M. Schuster, J. Shlens, B. Steiner, I. Sutskever, K. Talwar, P. Tucker, V. Vanhoucke, V. Vasudevan, F. Viegas, O. Vinyals, P. Warden, M. Wattenberg, M. Wicke, Y. Yu, X. Zheng, TensorFlow: Large-Scale Machine Learning on Heterogeneous Distributed Systems, (2016). <https://arxiv.org/abs/1603.04467>.
- [23] M. Najibi, G. Lai, A. Kundu, Z. Lu, V. Rathod, T. Funkhouser, C. Pantofaru, D. Ross, L.S. Davis, A. Fathi, DOPS: Learning to Detect 3D Objects and Predict their 3D Shapes, *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition*. (2020), 11913-11922. <http://arxiv.org/abs/2004.01170>.
- [24] W. McKinney, Data Structures for Statistical Computing in Python. In 2010: ss. 56-61. doi:10.25080/Majora-92bf1922-00a.
- [25] F. Chollet, Keras: Deep learning for humans, (2015).
- [26] S. Seabold, J. Perktold, Statsmodels: Econometric and Statistical Modeling with Python. In 2010: ss. 92-96. doi:10.25080/Majora-92bf1922-011.
- [27] Turkish State Meteorological Service, Türkiye Global Güneş Radyasyonu Uzun Yıllar Ortalaması (2004-2018), (2018). https://www.mgm.gov.tr/kurumici/radyasyon_iller.aspx (access date 07 January 2021).
- [28] S. Hochreiter, J. Schmidhuber, Long Short-Term Memory, *Neural Computation*. 9 (1997), 1735-1780. doi:10.1162/neco.1997.9.8.1735.
- [29] C. Olah, Understanding LSTM Networks, (2015). <http://colah.github.io/posts/2015-08-Understanding-LSTMs/> (access date 07 January 2021).
- [30] G.E.P. Box, G.M. Jenkins, Time series analysis: forecasting and control, *Holden-Day*, 1970. <https://books.google.com.tr/books?id=5BVfnXaq03oC>.
- [31] M. Ghofrani, M. Alolayan, Time Series and Renewable Energy Forecasting. In *Time Series Analysis and Applications, InTech*, 2018: ss. 77-92. doi:10.5772/intechopen.70845.
- [32] Ö. Zeydan, Zonguldak bölgesi pm10 konsantrasyonu dağılımının modellenmesi, Thesis, *Kocaeli Üniversitesi*, 2014. <http://dspace.kocaeli.edu.tr:8080/xmlui/handle/11493/856>.
- [33] Anonymous, MSE, RMSE, MAE, MAPE ve Diğer Metrikler, (2017). <https://veribilimcisi.com/2017/07/14/mse-rmse-mae-mape-metrikleri-nedir/> (access date 07 January 2021).

- [34] S. Wright, Correlation and causation, *Journal of agricultural research*. 20 (1921), 557.
- [35] N. Çarkacı, Derin Öğrenme Uygulamalarında En Sık kullanılan Hiper-parametreler, (2018). <https://medium.com/deep-learning-turkiye/derin-ogrenme-uygulamalarinda-en-sik-kullanilan-hiper-parametreler-ece8e9125c4> (access date 07 January 2021).
- [36] T. Okonkwo, Hyperparameter Optimization-Building an Optimal Model, (2019). https://medium.com/@THOR_mas/hyperparameter-optimization-building-an-optimal-model-b11677bf3dfc (access date 07 January 2021).
- [37] T.G. Smith, others, pmdarima: ARIMA estimators for Python, (n.d.). <http://www.alkaline-ml.com/pmdarima> (access date 07 January 2021).
- [38] H. Akaike, A new look at the statistical model identification, *IEEE Transactions on Automatic Control*. 19 (1974), 716-723. doi:10.1109/TAC.1974.1100705.
- [39] D.A. Dickey, W.A. Fuller, Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root, *Journal of the American Statistical Association*. 74 (1979), 427-431. doi:10.1080/01621459.1979.10482531.

Jeotermal Temelli bir Organik Rankine Çevriminin Eksergo-ekonomik Analizi

Esra HANÇER GÜLERYÜZ¹  Dilek Nur ÖZEN² * 

¹ KTO Karatay Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

² Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

Makale Bilgisi

ÖZET

Geliş Tarihi: 23.02.2024
Kabul Tarihi: 07.05.2024
Yayın Tarihi: 31.08.2024

Anahtar Kelimeler:

Eksergo-ekonomik analiz,
MOPSA,
Organik Rankine çevrimi,
Jeotermal.

Elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının uygun sistemlerle entegre edilerek kullanım alanlarının genişletilmesi önemli bir husustur. Bu doğrultuda, ORÇ kullanımı düşük ve orta sıcaklıkta kaynaklardan elektrik üretiminde ön plana çıkmaktadır. Bu çalışma, jeotermal tabanlı geleneksel Organik Rankine çevriminin (ORÇ) enerji, ekserji ve eksergo-ekonomik analizlerini (3E) içermektedir. Eksergo-ekonomik analiz yöntemi olarak Modifiye Edilmiş Üretim Yapısı Analizi (MOPSA) yöntemi kullanılmıştır. MOPSA yöntemi, sistem bileşenlerinin önemli ekserji oranlarının maliyetlendirilmesine olanak tanıyan bir yöntemdir ve bu yönüyle diğer ekserji-ekonomik yöntemlerden ayrılmaktadır. Analizler sonucunda, önerilen sistemin toplam ekserji verimliliği (η_{ex}) %50.23 olarak bulunurken, en yüksek ekserji yıkımına sahip sistem bileşeni 43.97 kW değeri ile evaporatör olmuştur. Sistemin toplam ekserji yıkım değeri 70.67 kW olarak bulunmuş ve ekserji yıkımının birim maliyeti (c_s) 1.872 \$/GJ olarak hesaplanmıştır. Önerilen sistemin toplam ürün birim maliyeti ($c_{p,total}^{MOPSA}$) 3.662 \$/GJ'dür.

Exergo-economic Analysis of an Geothermal Based Organic Rankine Cycle

Article Info

ABSTRACT

Received: 23.02.2024
Accepted: 07.05.2024
Published: 31.08.2024

Keywords:

Exergoeconomic analysis,
MOPSA, Organic Rankine
cycle,
Geothermal.

It is important to improve the utilization of renewable energy sources in electricity generation by integrating them with appropriate plants. In this regard, the use of organic Rankine cycle (ORÇ) comes to the forefront in electricity generation from low and medium temperature sources. This study presents energy, exergy and exergoeconomic analyzes (3E) of a geothermal-based conventional ORÇ. Modified Productive Structure Analysis (MOPSA) method was used as the exergo-economic analysis method. The MOPSA method is a method that allows costing the major exergy rate of plant elements, and in this respect it stands out from other exergoeconomic methods. As a result of the analyses, the overall exergy efficiency (η_{ex}) of the proposed plant was found to be 50.23%, while the plant element with the highest exergy destruction rate ($E\dot{x}_{D,k}$) was the evaporator with a value of 43.97 kW. The total exergy destruction rate of the plant was found to be 70.67 kW and the unit cost of the exergy destruction (c_s) was calculated as 1.872 \$/GJ. The total product unit cost ($c_{p,total}^{MOPSA}$) of the proposed plant is \$3.662/GJ.

To cite this article:

Hançer Gülerüz, E. & Özen, D.N. (2024). Jeotermal temelli bir Organik Rankine çevriminin eksergo-ekonomik analizi. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 312-335. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.50>

*Sorumlu Yazar: Dilek Nur Özen, dnozen@erbakan.edu.tr



GİRİŞ (INTRODUCTION)

Artan enerji ihtiyacı nedeniyle elektrik üretim ve enerji dönüşüm sistemleri üzerinde yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Fosil yakıtların olumsuz etkilerinden kurtulmak için izlenen yöntemler olarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ve daha fazla enerji üretebilmek için mevcut santrallerin potansiyelinin geliştirilmesine ağırlık verilmektedir. Bu kapsamda, enerji ve iklim krizini çözmek için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ve mevcut sistemlerin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar dikkat çekmektedir [1]. Dünya üzerinde farklı yenilenebilir enerji kaynakları mevcuttur [2]. Yenilenebilir enerji kaynakları ile elektrik üretimi Organik Rankine Çevrimi (ORÇ) gibi çevrimlerle mümkündür. Organik Rankine Çevrimi (ORÇ), termal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştüren, yüksek oranda erişilebilir, yaygın olarak kullanılan bir enerji üretim şeklidir [3]. ORÇ'nin temeli Rankine çevriminin çalışma prensibine dayanmaktadır. İkisi arasındaki temel fark ısı kaynağının sıcaklığıdır. Kullandığı organik akışkanın düşük kaynama sıcaklığı, ORÇ'yi düşük sıcaklıktaki ısı kaynaklarından elektrik üretimi için umut verici/güvenilir bir teknoloji haline getirmektedir. Bu durumda ORÇ güneş, jeotermal ve termik santrallerden atık ısı geri kazanımında kullanılan en temel çevrimlerden biri olarak tercih edilmektedir [4]. Türkiye’de birçok termik santral bulunmaktadır. Buralardan elde edilen atıkların geri dönüştürülmesi ve ekonomiye kazandırılması büyük önem arz etmektedir [5]. Bu bağlamda termik santrallerin atık ısı potansiyeli dikkate alındığında, atık ısının geri kazandırılması için düşük sıcaklıklarda çalışabilen ORC çevrimi etkin bir şekilde rol almaktadır.

Bir güç sistemi tasarlarken, maliyeti mümkün olduğunca düşük tutup sistem bileşenlerini geliştirerek elektrik üretim düzeyini artırmak önemli bir husustur. Bu tür sistemlerin tasarımda kullanılan en temel yöntem enerji analizidir. Bununla birlikte sistem ve sistem bileşenlerinin sahip olduğu enerjinin doğasını anlayabilmek için ekserji analizinin de yapılması önem taşımaktadır. Ancak bu iki temel yöntem de bize sistem hakkında temel bilgileri sağlamasına rağmen tasarım için gerekli olan maliyet hususunu belirlemede fikir vermez. Bu aşamada hem ekserji hem de maliyet analizini birleştiren termo-ekonomik analiz yöntemleri ön plana çıkmaktadır. Literatürde çeşitli termo-ekonomik analiz yöntemleri bulunmaktadır. Tablo 1'de son 4 yılda literatürde yer alan bazı jeotermal temelli ORÇ santrallerinin termo-ekonomik analiz çalışmaları sunulmuştur. Termo-ekonomik yöntemler içerisinde ekserji temelli yöntemler, ekserjiyi maliyet hesaplamasına dahil ederek santralin ekserjisini maliyetlendirmektedir. Böylece bir sistemin iki temel analiz yöntemine ek olarak eksergo-ekonomik açıdan incelenmesi, sistem için önemli olan ekserji kayıplarını maliyetlendirerek sistem hakkında bütüncül bir bakış açısı kazanılmasına olanak sağlamaktadır.

Modifiye Edilmiş Üretim Yapısı Analizi (MOPSA) literatürde ilk olarak Kim [6] tarafından önerilmiştir. Kim [6] yaptığı çalışmada önerdiği yöntemin karmaşık enerji santrallerine diğer yöntemlere kıyasla daha sistematik bir yaklaşım getirdiğini göstermiştir. MOPSA yöntemi temel olarak literatürde yaygın olarak kullanılan Spesifik Ekserji Maliyetlendirme (SPECO) yöntemine benzerdir. Ancak yöntemin uygulanma şeklinde farklılıklar bulunmaktadır. Bu farklılıklar, ekserjinin termal, mekanik, kimyasal, kinetik ve potansiyel ekserji olarak ayrılmasına ve ayrıntılı olarak maliyetlendirilmesine olanak sağlamaktadır. Kwak ve diğerleri [7] yapmış oldukları çalışmada iki yöntem arasındaki farkları açıkça ortaya koyarak, MOPSA yönteminin ekserji yıkımının maliyetlendirilmesinde daha üstün olduğunu ifade etmişlerdir.

Tablo 1*Literatürde Thermo-ekonomik Yöntem Kullanan Jeotermal Temelli ORÇ Kombinasyonları (son 4 yıl)*

Yazarlar	Yıl	Sistem Tanımları	Bulgular
Lu vd. [8]	2021	Jeotermal ile çalışan LSC temelli bileşimi ayarlanabilir zeotropik ORÇ (LCAZ-ORÇ)	Önerdikleri sistemi, BZORÇ sistemi ile karşılaştırarak üstünlüklerini araştırmışlardır. Sistem thermo-ekonomik performans kriterlerine göre optimize edilmiştir.
Zhao vd. [9]	2021	Jeotermal temelli ORÇ/ Jeotermal temelli BFC	ORÇ ve BFC sistemlerinin jeotermal enerji ile uyumluluğunu araştırmışlardır. BFC ile entegrasyonun ORÇ'ye kıyasla daha verimli olduğu bulunmuştur.
Wang vd. [10]	2021	ORÇ ve CHP ile entegre Geliştirilmiş Jeotermal Santrali	EGS-ORÇ sistemini CHP ile entegre ederek sistemin verimliliğini ve ekonomik yönlerini araştırmışlardır. Sonuç olarak, EGS-ORÇ'nin LCOE değeri 24.72 iken EGS-CHP için 16.1 sent/KWh olduğu bulunmuştur.
Chen vd. [11]	2021	ORÇ ve absorpsiyonlu ısı pompalı güneş enerjili CCHP	Önerilen sistem için 4 farklı çalışma şartı belirlenmiştir. Bu koşullar için sistemin ayrı ayrı eksergo-ekonomik (SPECO) analizi ve duyarlılık analizi yapılarak karşılaştırma yapılmıştır. Bunun sonucunda alan ısıtma, sıcak kullanım suyu, soğutulmuş su ve elektriğin özgül ekserji maliyeti sırasıyla 0.31 \$/kWh, 0.27 \$/kWh, 0.22 \$/kWh ve 0.12 \$/kWh olarak bulunmuştur.
Aliahmadi vd. [12]	2021	Jeotermal temelli ORÇ sistemleri	Üç yeni jeotermal temelli ORÇ sistemi önerilmiştir. Ekserji verimlilikleri birinci, ikinci ve üçüncü model için sırasıyla %59.39, %57.92 ve %60.27 olarak bulunurken toplam ürün maliyetleri ise 25.8 \$/GJ, 28.79 \$/GJ ve 31.27 \$/GJ olarak bulunmuştur. Bu çalışma sonucunda, belirtilen koşullar altında sistemler karşılaştırıldığında TEG entegre sisteminin en verimli sistem olduğu görülmüştür.
Hu vd. [13]	2021	ORÇ temelli hibrit jeotermal-güneş enerjisi santrali	Modellenen sistemler yapay sinir ağları kullanılarak analiz edilmiştir. Ekonomik parametreler ayrıntılı olarak hesaplanmıştır.
Bett vd. [14]	2021	Jeotermal temelli ORÇ/OFÇ ile termal olarak entegre PTES	Olkaria jeotermal sahası için farklı çalışma akışkanlarına sahip ıslak ve kuru soğutmalı ikili enerji santralleri karşılaştırılarak eksergo-ekonomik (SPECO) parametreler karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda, enerji santrallerinin eksergo-ekonomik yapısının anlaşılmasının daha iyi bir yatırım kararı sunduğu sonucuna varılmıştır.

Wang vd. [15]	2022	Jeotermal temelli ORÇ/OFÇ ile termal olarak entegre PTES	5 farklı akışkan ile ORÇ ve OFÇ temelli iki sistem analiz edilerek optimize edilmiş ve karşılaştırılmıştır.
Chen vd. [16]	2022	İki fazlı jeotermal kaynaklar için ORÇ enerji santrali	Altı farklı çalışma akışkanının performansları karşılaştırılmıştır. Toplam güç çıkışı ve net güç çıkışı değerleri termodinamik olarak optimize edilmiştir.
Li vd. [17]	2022	Jeotermal temelli ORÇ	Farklı iklim koşullarına sahip 6 farklı şehir için 4 sistem analizi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın amacı, iklimsel özelliklerin sistem performansı üzerindeki etkilerini ortaya koymaktır. Önerilen sistem için eksergo-ekonomik analiz (SPEOC) yöntemini uygulamışlardır. Toplam enerji, ekserji verimlilikleri ve toplam maliyet oranı sırasıyla %24.33 ve %5.6 ve 12.04 \$/h olarak hesaplanmıştır.
Khanmohammadi vd. [18]	2023	ORÇ, Kalina ve LNG yeniden gazlaştırma çevrimlerini içeren jeotermal destekli hibrit sistem	Jeotermal ve güneş ile entegre ORÇ ünitelerinin ekserji verimlilikleri sırasıyla %8.7 ve %12.4 bulunmuştur. Ayrıca jeotermal, güneş ile entegre ORÇ ve yakıt pili ünitelerinde LCOE değerlerinin sırasıyla 0.021, 0.093 ve 0.149 USD/kWh olduğu belirlenmiştir.
Ruhani vd. [19]	2024	Jeotermal ve güneş enerjisiyle çalışan ORÇ temelli hibrit proses	Farklı konfigürasyonlar oluşturularak elde edilen sonuçları karşılaştırmışlardır. Tek kademeli geri kazanımlı çevrime sahip iki kademeli geliştirilmiş jeotermal sistem, karşılaştırılan sistemler arasında en iyi performansa ve en düşük LCOE değerine (0.1895 \$ kW/h) sahiptir. Ekserji analizi, doğrudan sistemlerle karşılaştırıldığında dolaylı sistemlerde RBC için %1.3'lük ekserji verimliliği artışını gösterirken, ORC, ikili sistemlerde %35.66'lık olağanüstü bir ekserji verimliliği artışı göstermektedir. Bu çalışma, ekonomik açıdan jeotermal elektrik üretimi-maksimum güç çıkışı senaryosu ve kapasite üretiminin ön teknik fizibilitesini ve potansiyelini ortaya koymaktadır.
Yuan vd. [20]	2024	ORÇ ile entegre edilmiş geliştirilmiş jeotermal sistem	
Abdelghafar vd. [21]	2024	SCO ₂ -ORC bazlı yoğunlaştırılmış güneş enerjisinin yönlendirdiği birleşik güç çevrimlerinin kapsamlı analizi	
Semmari vd. [22]	2024	Dolaylı ısı ORC jeotermal enerji santralinin jeolojik bağlamı ve termo-ekonomik çalışması	

BFC : Binary Flash Cycle
BZORÇ : Basic zeotropic ORÇ
CHP : Combined heating Power Plant
EGS : Enhanced geothermal plant
LCOE : Levelized cost of electricity
LCOS : Levelized cost of storage

LSC : Liquid separation condenser
OFÇ : Organik Flaş çevrimi
PTES : Pumped thermal energy storage
SCO₂ : Süperkritik karbondioksit
RBC : Yeniden sıkıştırma Brayton çevrimi

Literatür incelendiğinde ORÇ ve jeotermal santrallerin birbirleriyle uyumlu bir şekilde çalıştıkları görülmektedir. Literatürde ORÇ ve jeotermale dayalı farklı konfigürasyonlar ve bu santrallerin ekonomik analizleri üzerine Tablo 1'de görüldüğü gibi örnek çalışmalar mevcuttur. Ancak, MOPSA yönteminin eksergo-ekonomik bir yöntem olarak bu alanda uygulanması sınırlıdır. Bu açıdan, MOPSA

yönteminin jeotermal kaynak ile entegre bir ORÇ sistemine uygulanması, bu sistemlerin farklı konfigürasyonları için bir referans noktası sağlayacaktır.

Bu çalışmanın ana fikri ve literatüre katkıları aşağıda özetlenmiştir:

- Jeotermal kaynaklı bir ORÇ sisteminin enerji, ekserji ve eksergo-ekonomik (3E) analizleri yapılmıştır.

- Literatürde çok sık rastlanmayan MOPSA yöntemi ile eksergo-ekonomik analizler yapılarak literatürde MOPSA yöntemi ile ilgili çalışmaların eksikliğinin giderilmesi amaçlanmıştır.

3E analiz sonuçlarının değerlendirilmesi için sistemin performansını etkileyen karar değişkenleri ve performans kriterleri belirlenmiştir. Böylece sistem tasarımında bir yol haritası belirlenmiştir.

MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

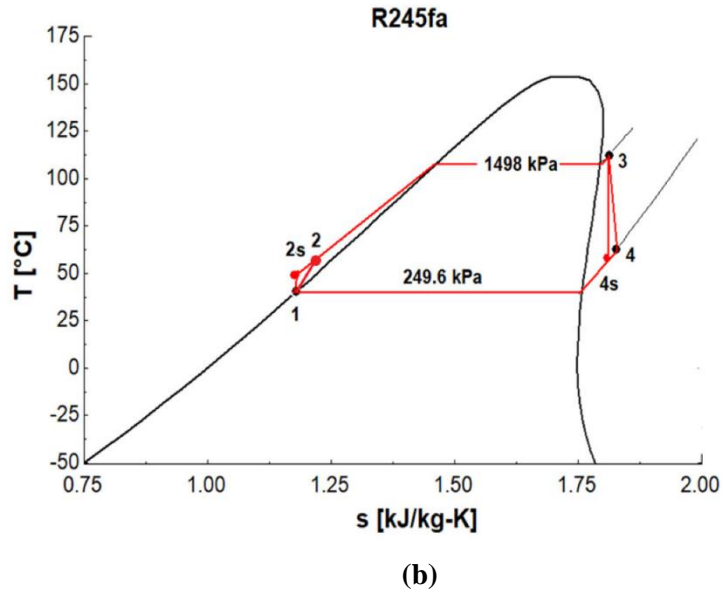
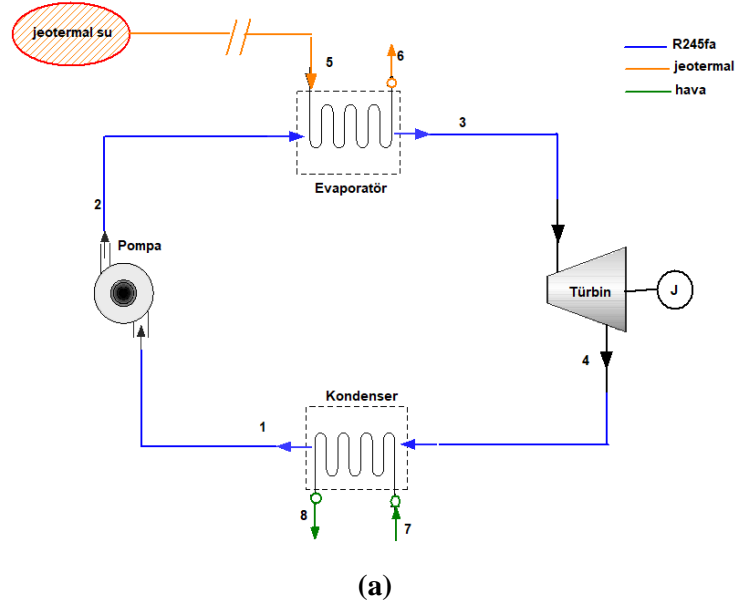
Bu çalışmada, önerilen sistemin enerji, ekserji ve eksergo-ekonomik analizleri sunulmuştur. Bu amaç için gerekli matematiksel model Engineering Equation Solver (EES) programı kullanılarak formüle edilmiştir. Matematiksel model oluşturulurken her bir sistem bileşeni bir kontrol hacmi olarak ele alınmıştır. Termodinamiğin ikinci yasası, enerji ve kütle korunumu dikkate alınarak bu kontrol hacimlerine uygulanmıştır.

Sistem Tanımı ve Matematik Model

Önerilen sistemin şematik görüntüsü ve T-s diyagramı Şekil 1'de verilmiştir. Sistem bir ORÇ'nin bileşenleri olan pompa, evaporatör, türbin ve kondenserden oluşmaktadır. Sistemin çalışması için gerekli olan ısı jeotermal kaynaktan sağlanmaktadır. Sistemin amacı jeotermal kaynağın ısısını kullanarak elektrik üretmektir. Önerilen sistem aşağıdaki şekilde çalışmaktadır. Kondenserden doymuş olarak çıkan çalışma akışkanı, pompada evaporatörün çalışma basıncına yükseltilir. Jeotermal kaynağın ısısından yararlanılarak çalışma akışkanı buharlaştırıcıda ısıtılır. Basıncı ve sıcaklığı artan çalışma akışkanı türbinde genişler ve jeneratör tarafından elektrik üretilir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının başında güneş, rüzgâr, dalga, biyokütle ve jeotermal gibi enerji kaynakları gelmektedir. Jeotermal kaynaklar sıcaklıklarına göre farklı kullanım alanlarına sahiptir. Düşük sıcaklıktaki jeotermal kaynaklar daha çok ısıtma ve turizm amaçlı kullanılırken, orta ve yüksek sıcaklıktaki jeotermal kaynaklardan elektrik üretilerek yararlanılabilmektedir. 100-200 °C sıcaklık aralığındaki jeotermal kaynaklar elektrik üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır [23]. Bunlar arasında düşük sıcaklıklı jeotermal kaynaklardan elektrik üretmek amacıyla ORÇ santralleri ile entegre edilerek literatürde sıklıkla kullanılmaktadır.

ORÇ'nin performansını etkileyen önemli faktörlerden biri de çalışma akışkanının türüdür. R245fa, çevresel ve termofiziksel özellikleri (yüksek kritik sıcaklık ve kritik basınç, düşük kaynama sıcaklığı) nedeniyle ORÇ tabanlı sistemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır [24,25]. Bahsedilen bu avantajlardan dolayı, bu çalışmada ORÇ akışkanı olarak R245fa akışkanı tercih edilmiştir.



Şekil 1

(a) Sistemin Şematik Diyagramı (b) T-s Diyagramı

Yukarıda bahsedilen detaylar dikkate alınarak oluşturulan matematiksel model için yapılan varsayımlar aşağıdaki gibidir.

- Sistem bileşenleri kararlı hal şartlarında çalışmaktadır.
- Sistem bileşenlerindeki kinetik ve potansiyel enerji kayıpları ihmal edilmiştir.
- Borulardaki basınç kaybı dikkate alınmamıştır.

Önerilen sistem için tasarım parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2
Önerilen sistem için simülasyon koşulları.

Parametre	Sembol	Değer
Çevre sıcaklığı	T_0	25 [°C]
Çevre basıncı	P_0	100 [kPa]
Kondenser sıcaklığı	T_K	40 [°C]
Pompanın izentropik verimi [26]	η_P	0.80
Türbinin izentropik verimi [26]	η_T	0.85
Sistemin çıkış gücü	\dot{W}_{net}	100[kW]
Jeotermal suyun sıcaklığı	T_{jeo}	120[°C]
Jeotermal suyun basıncı [27]	P_{jeo}	2000 [kPa]
Jeotermal suyun kütleli debisi	\dot{m}_{jeo}	50 [kg/s]
Havanın kütleli debisi	\dot{m}_{hava}	30 [kg/s]
Basınç oranı	P_R	6 [-]
Aşırı kızdırma sıcaklığı	ΔT_{ak}	5 [°C]

Enerji Analizi

Enerji analizi, bir sistemi termodinamik açıdan anlamak için önemli ve yaygın olarak kullanılan bir araçtır. Ayrıca sistemdeki temel parametreleri belirlememize de yardımcı olur. Önerilen sistemin enerji analizi için geçerli enerji ve kütle korunum denklemleri aşağıdaki gibidir [28]:

$$\sum \dot{m}_{giren} - \sum \dot{m}_{çıkan} = 0 \quad (1)$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum (\dot{m}h)_{çıkan} - \sum (\dot{m}h)_{giren} \quad (2)$$

Önerilen sistemin tüm bileşenleri için enerji denge denklemleri Tablo 3'te verilmiştir. Sistem bileşenlerindeki potansiyel ve kinetik enerji kayıpları ihmal edilmiştir.

Tablo 3

Sistem Bileşenleri için Enerji Dengeleri

Bileşen	Enerji Denge Denklemleri	
Pompa	$\dot{W}_P = \dot{m}_{orç} \cdot (h_2 - h_1)$	$\eta_P = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1}$
Evaporatör	$\dot{Q}_E = \dot{m}_{orç} \cdot (h_3 - h_2) = \dot{m}_{jeo} \cdot (h_5 - h_6)$	
Türbin	$\dot{W}_T = \dot{m}_{orç} \cdot (h_3 - h_4)$	$\eta_T = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4s}}$
Kondenser	$\dot{W}_K = \dot{m}_{orç} \cdot (h_4 - h_1) = \dot{m}_{hava} \cdot (h_8 - h_7)$	

Ekserji Analizi

Enerji analizi termodinamik analizin temelini oluşturur. Ancak, sistemdeki tersinmezlikleri ve sistemin iyileştirilmesi gereken yönlerini belirlemek için ekserji analizine ihtiyaç vardır. Bu nedenle,

ekserji analizi sistemi daha detaylı analiz etmek için önemli bir araçtır.

Sistemde kimyasal reaksiyon olmadığı için ekserji analizinde kimyasal ekserji dikkate alınmamış, fiziksel ekserji dikkate alınmıştır. Fiziksel ekserji aşağıdaki denklem ile hesaplanır [29].

$$ex = h - h_0 - T_0(s - s_0) \quad (3)$$

Toplam ekserji oranı aşağıdaki gibi hesaplanır [30,31].

$$\dot{E}x = \dot{E}x^{TM} + \dot{E}x^{CHE} + \dot{E}x^{KN} + \dot{E}x^{PT} \quad (4)$$

Burada $\dot{E}x^{TM}, \dot{E}x^{CHE}, \dot{E}x^{KN}, \dot{E}x^{PT}$ sırasıyla termo-mekanik, kimyasal, kinetik ve potansiyel ekserji değerlerini temsil etmektedir. Sistem bileşenlerindeki kinetik ve potansiyel ekserji değişimleri ihmal edilmiştir. Ayrıca, sistemin herhangi bir bileşeninde kimyasal reaksiyon gerçekleşmediği için kimyasal ekserji bu çalışmada dikkate alınmamıştır.

Termo-mekanik ekserji, termal ve mekanik ekserji olarak ikiye ayrılır ve aşağıdaki gibi hesaplanır [30,31]:

$$\dot{E}x^{TM} = \dot{m} \cdot \{h(T, P) - h(T_0, P_0) - T_0[s(T, P) - s(T_0, P_0)]\} \quad (5)$$

$$\dot{E}x^T = \dot{m} \cdot \{h(T, P) - h(T_0, P) - T_0[s(T, P) - s(T_0, P)]\} \quad (6)$$

$$\dot{E}x^M = \dot{m} \cdot \{h(T_0, P) - h(T_0, P_0) - T_0[s(T_0, P) - s(T_0, P_0)]\} \quad (7)$$

Ekserji analizinde, Besleme-Ürün kuralı yaygın olarak kullanılır. $\dot{E}x_{f,k}$ ve $\dot{E}x_{p,k}$ sırasıyla k bileşeninin besleme ve ürün ekserjisini temsil eder. Besleme-ürün kuralına göre, $\dot{E}x_{D,k}$ aşağıdaki denklemle bulunur.

$$\dot{E}x_{D,k} = \dot{E}x_{f,k} - \dot{E}x_{p,k} \quad (8)$$

Bu yaklaşım kullanılarak her bir sistem bileşeni için elde edilen besleme-ürün ekserjileri Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4
Sistem Bileşenlerinin $\dot{E}x_{f,k}$ ve $\dot{E}x_{p,k}$ değerleri

Bileşen	$\dot{E}x_{f,k}$	$\dot{E}x_{p,k}$
Pompa	\dot{W}_P	$(\dot{E}x_2^T - \dot{E}x_1^T) + (\dot{E}x_2^M - \dot{E}x_1^M)$
Evaporatör	$(\dot{E}x_5^T - \dot{E}x_6^T) + (\dot{E}x_5^M - \dot{E}x_6^M) + (\dot{E}x_2^M - \dot{E}x_3^M)$	$(\dot{E}x_3^T - \dot{E}x_2^T)$
Türbin	$(\dot{E}x_3^T - \dot{E}x_4^T) + (\dot{E}x_3^M - \dot{E}x_4^M)$	\dot{W}_T
Kondenser	$(\dot{E}x_4^T - \dot{E}x_1^T) + (\dot{E}x_4^M - \dot{E}x_1^M) + (\dot{E}x_7^M - \dot{E}x_8^M)$	$(\dot{E}x_8^T - \dot{E}x_7^T)$

$Y_{D,k}^*$ değeri, her bir sistem bileşeninin ekserji yıkım oranının ($\dot{E}x_{D,k}$) sistemin toplam ekserji yıkım oranı ($\dot{E}x_{D,total}$) içerisindeki payını gösteren bir ifadedir [32].

$$Y_{D,k}^* = \frac{\dot{E}x_{D,k}}{\dot{E}x_{D,total}} \quad (9)$$

ε_k her bir bileşen için besleme ekserjisine bağlı olarak ürün ekserjisinin değerlendirilmesini sağlayan bir parametredir ve aşağıdaki formül ile bulunur [30].

$$\varepsilon_k = \frac{\dot{E}x_{p,k}}{\dot{E}x_{f,k}} \quad (10)$$

Sistemin ekserji verimi aşağıdaki denklem ile bulunmuştur [33].

$$\eta_{ex} = 1 - \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{E}x_{giren}} \quad (11)$$

Burada $\dot{E}x_{giren}$ jeotermal kaynaktan sağlanan ekserji girdisini ifade eder.

Eksergo-ekonomik Analiz

Ekserji analizi, enerjinin doğasını anlamamızı ve sistemde meydana gelen tersinmezlikleri belirlememizi sağlar. Eksergo-ekonomik analiz, ekserji maliyetini ortaya çıkararak sistemin hem ekserji hem de ekonomik yönlerini birleştiren bir yaklaşımdır. Böylece ekserji akışının maliyetinin yanı sıra yatırım maliyetini de dikkate alır. Ekserji yıkımının maliyeti \dot{C} aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$\dot{C} = c \cdot \dot{E}x \quad (12)$$

Zamana bağlı yatırım maliyet oranı (\dot{Z}_k) denklem (13) ile hesaplanır [34,35].

$$\dot{Z}_k = \frac{Z_k \cdot CRF \cdot \varphi}{3600 \cdot N} \quad (13)$$

Denklem (13) içerisinde bulunan CRF terimi anapara geri kazanım faktörüdür ve denklem (14) ile hesaplanır. Ayrıca φ bakım faktörünü sembolize eder ve bu çalışma için bu değer 1.06 kabul edilmiştir. Yıllık faiz oranı (λ) %10 olup sistemin 7000 saat çalıştığı dikkate alınmıştır [36,37].

$$CRF = \frac{\lambda(1 + \lambda)^N}{((1 + \lambda)^N - 1)} \quad (14)$$

Bu çalışmada, eksergo-ekonomik analiz yöntemlerinden biri olan Modifiye Edilmiş Üretim Yapısı Analizi (MOPSA) yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde göre ekserji termal, mekanik ve kimyasal olarak farklı kısımlara ayrılır. Bu ayrım yapılırken her bir bileşenin çalışma amacına göre ekserji maliyetlendirilir. Örneğin türbinlerde ana amaç elektrik üretimi iken pompalarda ana ürün/çıktı mekanik ekserjidir. MOPSA yönteminde sistem bileşenlerinin birim ürün maliyetleri koyu renkle gösterilmiştir. Önerilen sistemin birim ürün maliyetleri Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5
Sistem Bileşenlerinin MOPSA Metoduna Göre Maliyet Dengeleri

Bileşen	Maliyet Dengeleri
Pompa	$(E\dot{x}_1^T - E\dot{x}_2^T)c_T + (E\dot{x}_1^M - E\dot{x}_2^M)c_{1M} + (-E\dot{x}_{D,P})c_s + \dot{Z}_P = (-E\dot{x}_P^W)c_{W,T}$ Yukarıdaki denklem şu şekilde yazılabilir: $(E\dot{x}_1^T - E\dot{x}_2^T)c_T + (E\dot{x}_1^M - E\dot{x}_2^M)c_{1M} + T_0(\dot{S}_1 - \dot{S}_2)c_s + \dot{Z}_P = (-E\dot{x}_P^W)c_{W,T}$
Evaporatör	$(E\dot{x}_2^T + E\dot{x}_5^T - E\dot{x}_3^T - E\dot{x}_6^T)c_{2T} + (E\dot{x}_2^M + E\dot{x}_5^M - E\dot{x}_3^M - E\dot{x}_6^M)c_M + (-E\dot{x}_{D,E})c_s + \dot{Z}_E = 0$
Türbin	$(E\dot{x}_3^T - E\dot{x}_4^T)c_T + (E\dot{x}_3^M - E\dot{x}_4^M)c_M + (-E\dot{x}_{D,T})c_s + \dot{Z}_T = (-E\dot{x}_T^W)c_{W,T}$
Kondenser	$(E\dot{x}_7^{BQ} - E\dot{x}_8^{BQ})c_{BQ} + (E\dot{x}_4^T - E\dot{x}_1^T)c_T + (E\dot{x}_4^M - E\dot{x}_1^M)c_M + (-E\dot{x}_{D,C})c_s + \dot{Z}_K = 0$
Birleşim T	$(E\dot{x}_2^T + E\dot{x}_5^T - E\dot{x}_3^T - E\dot{x}_6^T)c_T - (E\dot{x}_2^T + E\dot{x}_5^T - E\dot{x}_3^T - E\dot{x}_6^T)c_{2T} = 0$
Birleşim M	$(E\dot{x}_1^M - E\dot{x}_2^M)c_M - (E\dot{x}_1^M - E\dot{x}_2^M)c_{1M} = 0$
Sınır	$(E\dot{x}_8^{BQ} - E\dot{x}_7^{BQ})c_{BQ} + (E\dot{x}_6^T - E\dot{x}_5^T)c_T + (E\dot{x}_6^M - E\dot{x}_5^M)c_M + (-E\dot{x}_{D,BQ})c_s + \dot{Z}_{BQ} = 0$

* Kalın olarak belirtilen birim maliyetler, sistem bileşenlerinin üretim maliyetleridir.

MOPSA metodunda kullanılan maliyet denklemi aşağıdaki gibidir [31,38].

$$E\dot{x}^{CHE}c_0 + E\dot{x}^{BQ}c_{BQ} + \left(\sum E\dot{x}_{giren}^T - \sum E\dot{x}_{çıkan}^T \right) c_T + \left(\sum E\dot{x}_{giren}^M - \sum E\dot{x}_{çıkan}^M \right) c_M + T_0 \left(\sum \dot{S}_{giren} - \sum \dot{S}_{çıkan} \right) c_s + \dot{Z}_k = E\dot{x}^W c_W \quad (15)$$

Burada c_0 ve c_{BQ} değerleri sırasıyla yakıtın ve sistemdeki işlevini yerine getirdikten sonra çevreye verilen ikinci akışın birim maliyetlerini göstermektedir. c_s entropi üretim maliyetidir [31,39].

Ortalama birim ürün-ekserji yıkım maliyeti aşağıdaki tanımlanmaktadır [40].

$$c_{ps,toplam} = c_{p,toplam}^{MOPSA} + c_s \quad (16)$$

Burada, $c_{p,toplam}^{MOPSA}$ ürünün ortalama birim maliyetidir ve aşağıdaki denklemle bulunur[40].

$$c_{p,toplam}^{MOPSA} = \frac{\sum_{i=1}^{n_k} \dot{Z}_k + \sum_{i=1}^{n_k} \dot{C}_{f,k} - \sum_{i=1}^{n_k} \dot{C}_{D,k}}{\sum_{i=1}^{n_k} E\dot{x}_{D,k}} \quad (17)$$

Ayrıca, ekserji yıkım maliyetinin $\dot{C}_{D,k}$ yatırım maliyeti oranına (\dot{Z}_k) göre değişimini analiz etmemizi sağlayan eksergo-ekonomik faktör f_k aşağıdaki gibi hesaplanır [36].

$$f_k = \frac{\dot{Z}_k}{\dot{Z}_k + \dot{C}_{D,k}} \quad (18)$$

Sistem bileşenlerine ait Z_k değerleri Tablo 6'da sunulmuştur.

Her bileşen için $\dot{C}_{D,k}$ değeri aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır [31]:

$$\dot{C}_{D,k} = c_s \cdot E\dot{x}_{D,k} \quad (19)$$

Her bileşen için göreceli maliyet farkı (r_k) şu şekilde hesaplanır [29].

$$r_k = \frac{c_{p,k} - c_{f,k}}{c_{f,k}} \quad (20)$$

$c_{f,k}$ ve $c_{p,k}$ değerleri sırasıyla ortalama besleme ve ürün ekserji maliyetlerini ifade etmektedir.

Tablo 6

Her bir Sistem Bileşeni için Z_k Değerleri

Bileşen	Z_k
Pompa [41]	$Z_P = 1120. \dot{W}_P^{0.8}$
Evaporatör [42]	$Z_E = 2681. A_E^{0.59}$
Türbin [43]	$Z_T = 6000. \dot{W}_T^{0.7}$
Kondenser [44]	$Z_K = 2143. A_K^{0.514}$

Model Doğrulama

Önerilen sistemin matematiksel modeli Engineering Equation Solver (EES) kullanılarak simüle edilmiştir. Bu çalışmanın simülasyon sonuçları Ref. [45] ile kıyaslanmıştır. Tablo 7'de görüldüğü gibi, net iş çıktı değerleri arasındaki fark %1'den azdır.

Tablo 7

Mevcut Model ile Ref. [45]'ün Kıyaslanması

Girdi Parametreleri	Çıktı Parametreleri				
		Model	Ref [45]	Fark (%)	
Pompanın izentropik verimi	0.9	Net güç	734.00 kW	734.1 kW	0.014
Türbinin izentropik verimi	0.85				
Evaporatör basıncı	3000 kPa				
Kondenserin basıncı	100 kPa				
Türbinin giriş sıcaklığı	183.5 °C				
Akışkanın kütleli debisi	5 kg/s				

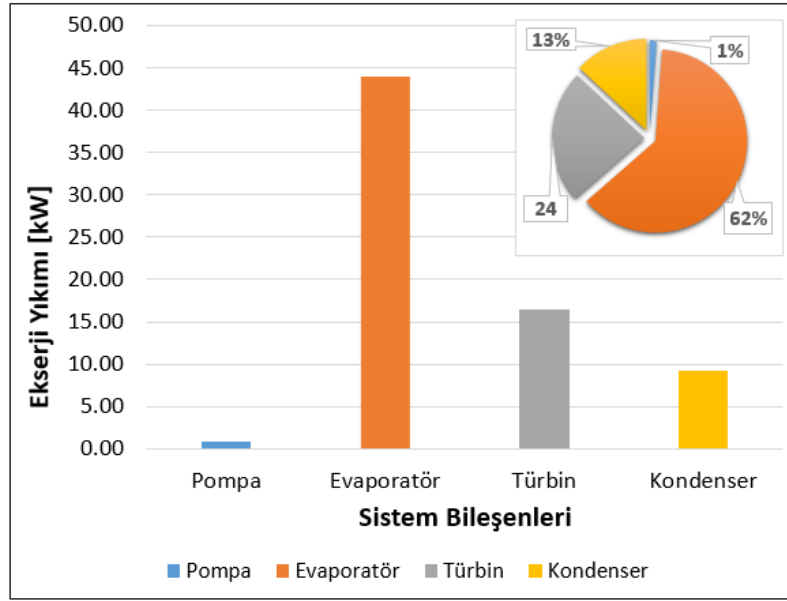
BULGULAR (RESULTS)

Bu bölümde, önerilen sistemin ekserji analizi ve eksergo-ekonomik analiz sonuçları detaylı olarak incelenmiştir. Analiz için oluşturulan matematiksel model Engineering Equation Solver (EES) kullanılarak hazırlanmıştır. Sistem bileşenlerinin $\dot{E}x_{D,k}$ değerleri ve $\dot{C}_{D,k}$ değerleri hesaplanmıştır. Bir eksergo-ekonomik analiz yöntemi olan MOPSA yöntemine göre ısı ve mekanik ekserji ayrımı dikkate alınarak $\dot{E}x_{D,k}$ ve $\dot{C}_{D,k}$ değerleri de belirlenmiştir. Önerilen sistemdeki noktaların termodinamik verileri Tablo 8'de sunulmuştur.

Tablo 8

Simülasyon Koşullarına Göre Sistemdeki Her Nokta İçin Termodinamik Özellikler

Nokta	Çalışma akışkanı	\dot{m} (kg/s)	T (°C)	P (kPa)	$\dot{E}x^M$ (kW)	$\dot{E}x^T$ (kW)	$\dot{E}x$ (kW)
1	R245fa	3.61	40.00	249.60	25.24	1.77	27.02
2	R245fa	3.61	40.67	1498.00	28.61	1.93	30.53
3	R245fa	3.61	112.60	1498.00	28.61	157.00	185.60
4	R245fa	3.61	62.76	249.60	25.24	39.59	64.84
5	Su	30	120.00	2000.00	95.24	2634.00	2729.00
6	Su	30	116.10	2000.00	95.24	2435.00	2530.00
7	Hava	50	25.00	100.00	0	0	0
8	Hava	50	49.40	100.00	0	28.62	28.62



Şekil 2

Sistem Bileşenlerinin $\dot{E}x_{D,k}$ Değerleri ve $\dot{E}x_{D,toplam}$ İçerisindeki Yüzdeleri

Şekil 2, sistem bileşenlerinin ekserji yıkım oranlarını ve tüm sistemdeki ekserji yıkımındaki yüzde paylarını göstermektedir. Ayrıca, sistem bileşenlerinin ekserji analizi sonuçları Tablo 9'da sunulmuştur. Şekil 2 ve Tablo 9 birlikte değerlendirildiğinde, en yüksek ekserji yıkımı sırasıyla evaporatör (%62), türbin (%24), kondenser (%13) ve pompada (%1) gerçekleşmektedir.

Sistem bileşenlerinin kendi içlerindeki çalışma performanslarını değerlendirmek amacıyla ε_k ve $Y_{D,k}^*$ değerleri bileşen bazında hesaplanmış ve Tablo 9'da sunulmuştur. Buna göre en yüksek ε_k değerlerine sahip sistem bileşenleri sırasıyla türbin (%86), pompa (%80.99), evaporatör (%77.91) ve kondenserdir (%77.91). Sistem bileşenleri $Y_{D,k}^*$ açısından incelendiğinde en yüksek $Y_{D,k}^*$ değerinin sırasıyla evaporatör (%62.41), türbin (%23.37), kondenser (%13.05) ve pompada (%1.17) olduğu görülmektedir.

Tablo 9

Sistem Bileşenlerinin Ekserji Analiz Sonuçları

Bileşen	$\dot{E}x_{f,k}$ (kW)	$\dot{E}x_{p,k}$ (kW)	$\dot{E}x_{D,k}$ (kW)	ε_k (%)	$Y_{D,k}^*$ (%)
Pompa	4.342	3.517	0.8253	80.99	1.17
Evaporatör	199.1	155.1	43.98	77.91	62.41
Türbin	120.8	104.3	16.47	86.37	23.37
Kondenser	37.82	28.62	9.197	75.68	13.05
Toplam	362.1	291.6	70.47	80.54	100.00

Sistem bileşenlerinin eksergo-ekonomik analiz sonuçları Tablo 10'da sunulmuştur. Tabloda yer alan eksergo-ekonomik faktör (f_k), toplam maliyette $\dot{C}_{D,k}$ değerinin mi yoksa yatırım maliyeti oranının mı baskın olduğunu gösteren bir parametredir. Eksergo-ekonomik faktör en yüksek değeri türbinde (%96.14) alırken, bunu sırasıyla pompa (%92.06), kondenser (%81.71) ve evaporatör (%55.34) takip etmektedir. f_k değerleri bu sistem bileşenleri için %50'nin üzerindedir. Bu da yatırım maliyeti oranının $\dot{C}_{D,k}$ değerinden daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu sistem bileşenleri için yatırım maliyet

oranları düşürülmelidir. Türbin, pompa ve evaporatörde $\dot{E}x_{D,k}$ azaltacak bir iyileştirme çalışması için sistem bileşenleri arasındaki ilişki incelenebilir. Maliyet ve ekserji açısından dengeli bir sistemde göreceli maliyet farkının r_k düşük olması istenir. Tablo 10'da görüldüğü gibi en yüksek r_k değeri sırasıyla türbinde (%873.20), kondenserde (%497.60), pompada (%89.94) ve evaporatördedir (%56.51). Bu sıralama bize iyileştirme potansiyeli olan unsurların sıralamasını göstermektedir. Tablo 10'daki toplam maliyet sıralamasına bakıldığında en yüksek paya sahip sistem bileşeninin türbin olduğu görülmektedir. Yüksek f_k değerine sahip türbinin yatırım maliyeti oranı üzerinde bir iyileştirme çalışması yapılmalıdır.

Tablo 10

Sistem Bileşenlerinin Eksergo-ekonomik Analiz Sonuçları

Bileşen	$(\dot{Z}_k + \dot{C}_{D,k})$ (\$/h)	f_k (%)	r_k (%)
Pompa	0.0705	92.06	89.94
Evaporatör	0.6635	55.34	56.51
Türbin	2.873	96.14	873.20
Kondenser	0.3387	81.71	497.60
Toplam	3.945	87.97	352.70

Maliyet-denge denklemlerinin MOPSA yöntemine göre çözülmesi sonucunda elde edilen birim maliyet değerleri Tablo 11'de sunulmuştur. Buna göre;

- Termal ve mekanik birim ekserji maliyetleri sırasıyla 0.45 \$/GJ ve 13.92 \$/GJ olarak hesaplanmıştır.
- Entropi üretiminin birim maliyeti 1.87 \$/GJ olarak hesaplanmıştır.
- Türbinde üretilen elektriğin birim maliyeti 7.00 \$/GJ olarak hesaplanmıştır.

Tablo 11

MOPSA Yöntemi için Tanımlanan Birim Maliyet Değerleri

c_{1M} (\$/GJ)	c_{2T} (\$/GJ)	c_{BQ} (\$/GJ)	c_M (\$/GJ)
13.92	-0.45	1.49	13.92
c_S (\$/GJ)	c_T (\$/GJ)	c_{WT} (\$/GJ)	
1.87	-0.45	7.00	

Tablo 12'de görüldüğü gibi;

- Önerilen sistemin ilk yatırım maliyeti 963.88 \$/h olarak hesaplanmıştır.
- Türbinde üretilen elektriğin maliyeti 730.6 \$/h olarak hesaplanmıştır.
- Pompa tarafından tüketilen toplam elektrik maliyeti 30.4 \$/h olarak hesaplanmıştır.
- Sistemde üretilen net elektriğin maliyeti 700.2 \$/h olarak hesaplanmıştır.
- Entropi üretiminin birim maliyeti evaporatör için 82.3 \$/h, türbin için 30.82 \$/h ve kondenser için 17.21 \$/h olarak hesaplanmıştır.

Tablo 12

Önerilen Sistemin Bileşenleri İçin Ekserji Türlerinin Maliyet Oranları

Bileşen	\dot{C}_T [\$/h]	\dot{C}_M [\$/h]	\dot{C}_{BQ} [\$/h]	\dot{C}_W [\$/h]	\dot{C}_D [\$/h]	\dot{Z}_k [\$/h]
Pompa	0.06854	-46.84	0	-30.4	-1.544	17.91
Evaporatör	-19.69	0	0	0	-82.3	102
Türbin	-52.59	46.84	0	730.6	-30.82	767.1
Kondenser	-16.94	0	-42.72	0	-17.21	76.87
Sınır	89.15146	0	42.72	0	131.874	0
Toplam	0	0	0	700.2	0	963.88

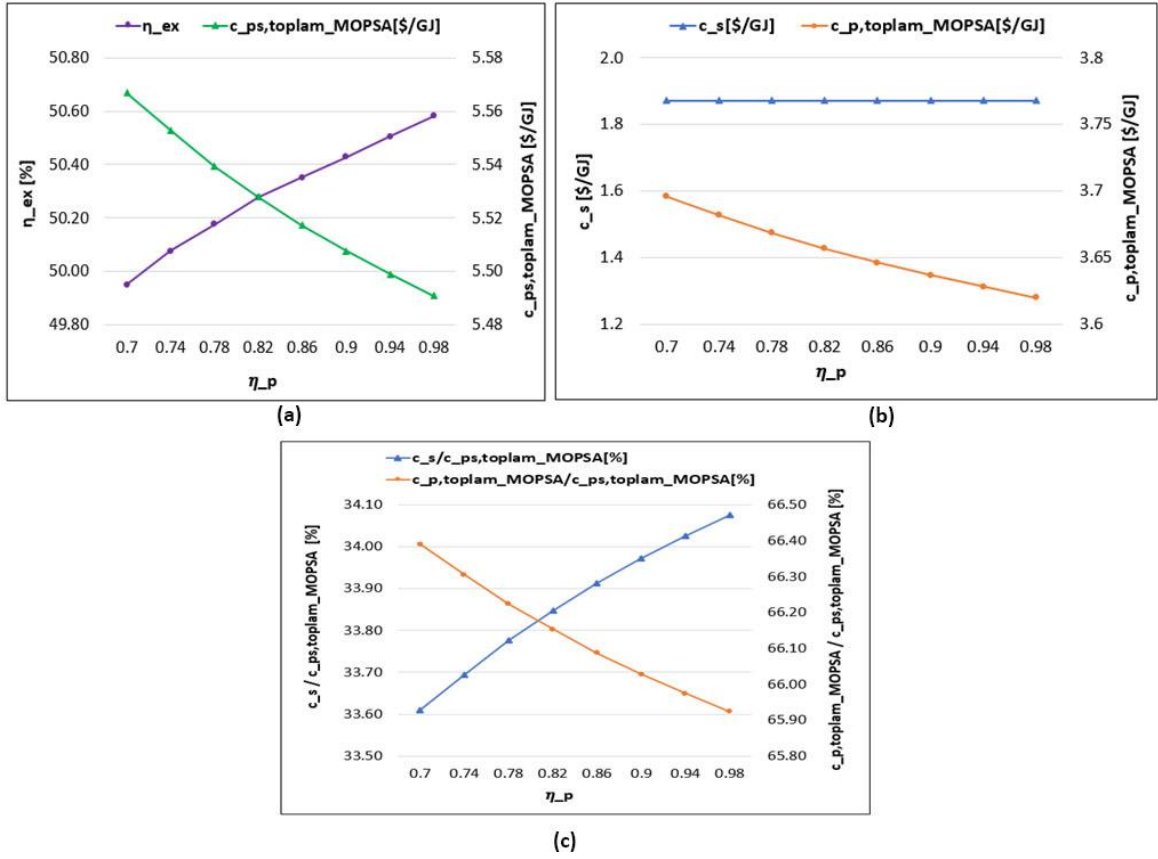
Önerilen sistemin enerji, ekserji ve eksergo-ekonomik performansı Tablo 13'te verilen kararlı değişken aralıklarına göre incelenmiştir.

Tablo 13

Anahtar Parametreler İçin Aralıklar

Kararlı Değişkenler	Aralık
Pompanın izentropik verimi	0.7-0.98
Türbinin izentropik verimi	0.7-0.96
Aşırı kızdırma sıcaklığı	2-12
Basınç oranı	2-4

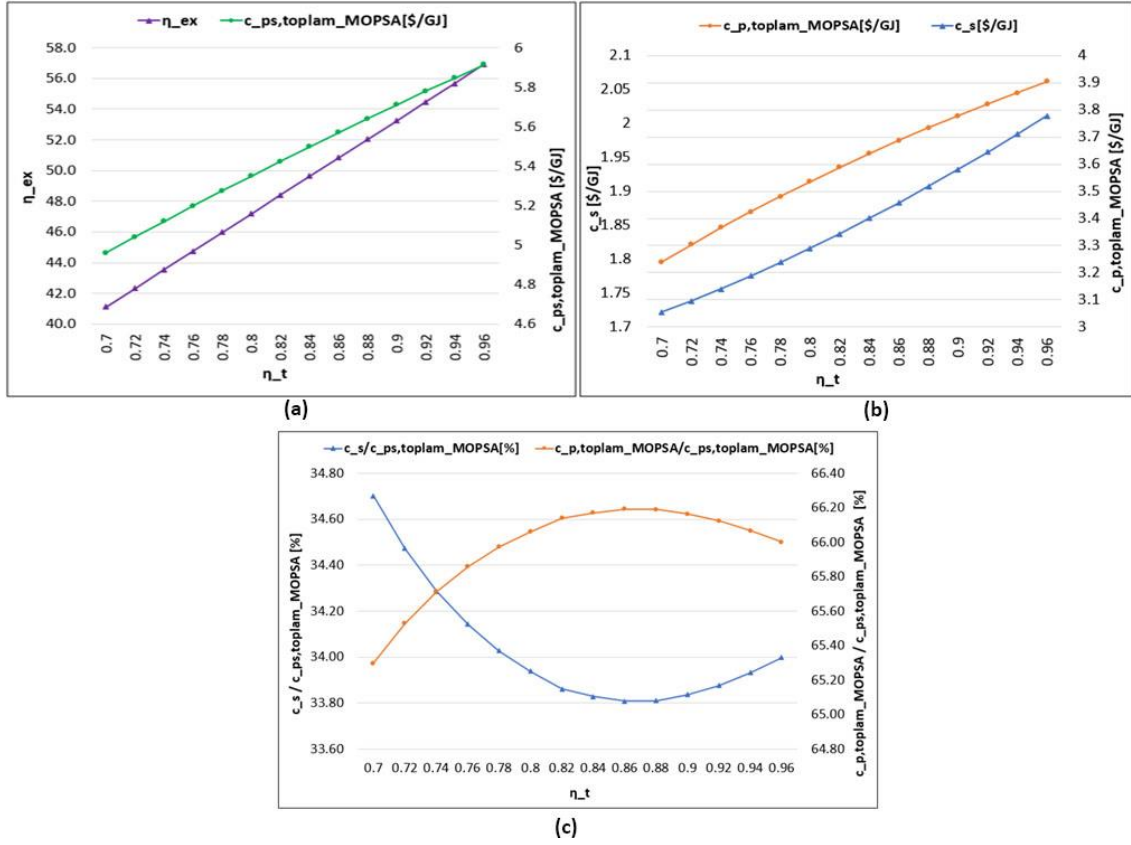
Şekil 3, pompanın izentropik verimindeki değişimin $\eta_{ex}, c_{ps,toplam}^{MOPSA}, c_s, c_{p,toplam}^{MOPSA}$ 'yı ne ölçüde etkilediğini göstermektedir. Şekil 3(a) incelendiğinde pompanın izentropik verimi 0.7-0.98 aralığında arttıkça η_{ex} değerinde %1.26'lık bir artış, $c_{ps,toplam}^{MOPSA}$ değerinde ise %1.37'lik bir düşüş görülmektedir. η_{ex} 'teki artış, Denklem (11)'de görüldüğü gibi jeotermal kaynaktan (\dot{E}_{xgiren}) evaporatöre geçen termal enerjideki azalmadan kaynaklanmaktadır. $c_{ps,toplam}^{MOPSA}$ 'daki azalmayı daha iyi anlamak için Şekil 3(b)'ye bakılması gerekmektedir. Bu durum Denklem (16)'da görülebilir, c_s neredeyse sabit kalırken, $c_{p,toplam}^{MOPSA}$ 'daki %2.06'lık düşüşten kaynaklanmaktadır. Şekil 3 (c)'ye bakıldığında, $c_{p,toplam}^{MOPSA}$ 'nın $c_{ps,toplam}^{MOPSA}$ içindeki payının c_s 'den daha yüksek olduğu görülmektedir. Dolayısıyla bu durum $c_{p,toplam}^{MOPSA}$ değerindeki düşüşün $c_{ps,total}^{MOPSA}$ değerindeki düşüşe paralel bir etki yapacağını göstermektedir.



Şekil 3

Pompanın İzentropik Verimine Bağlı Olarak (a) Sistemin η_{ex} ve $c_{ps,total}^{MOPSA}$ 'nin Değişimi (b) Sistemin c_s ve $c_{p,total}^{MOPSA}$ 'deki Değişimi (c) $c_{ps,total}^{MOPSA}$ 'ya Bağlı Olarak $c_{p,total}^{MOPSA}$ Ve c_s 'nin Oransal Değişimi

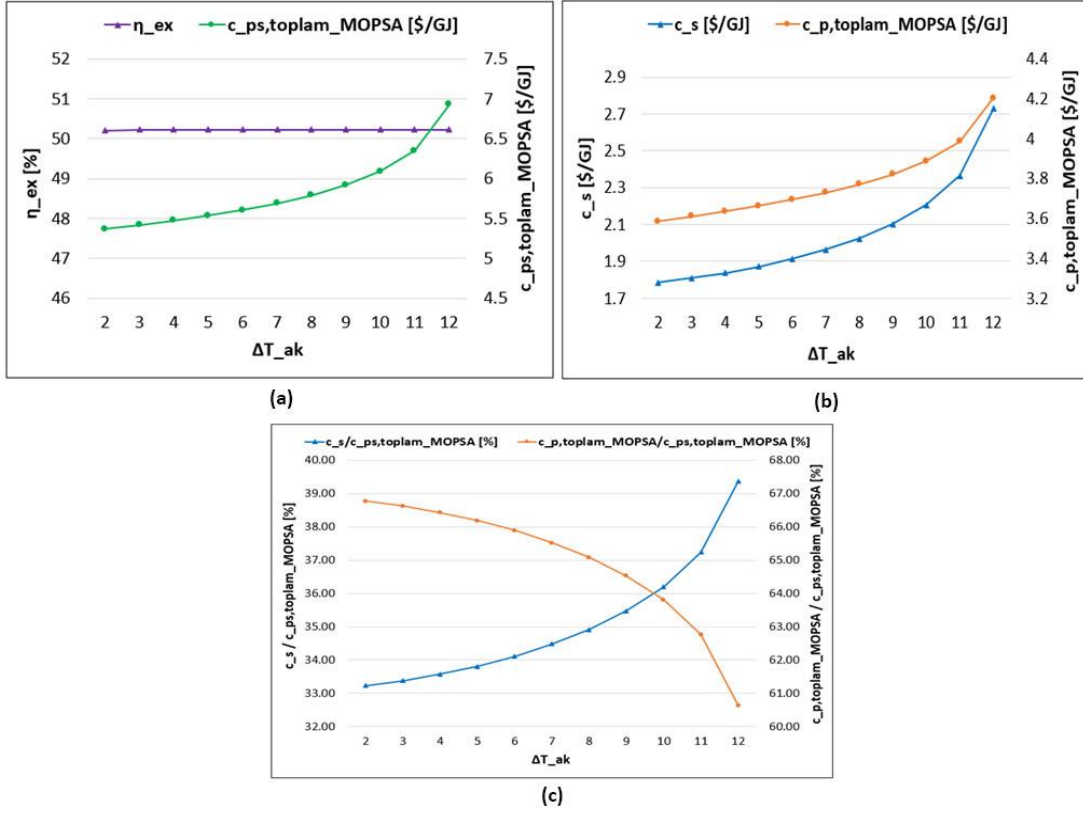
Şekil 4, türbinin izentropik verimindeki değişimin η_{ex} , $c_{ps,toplam}^{MOPSA}$, c_s , $c_{p,toplam}^{MOPSA}$ 'yi ne ölçüde etkilediğini göstermektedir. Şekil 4(a) incelendiğinde, pompanın izentropik verimi 0.7-0.96 aralığında arttıkça, η_{ex} 'te %38.36'lık bir artış görülmektedir. Aynı zamanda $c_{ps,toplam}^{MOPSA}$ değerinde de %19.2'lik bir artış görülmektedir. Denklem 11'de görüldüğü gibi, bu düşüş net işin (Tablo 2) sabit olduğu kabul edildiğinden $\dot{E}X_{giren}$ 'deki düşüşten kaynaklanmaktadır. $c_{ps,toplam}^{MOPSA}$ değerindeki artış, Şekil 4(b)'de görüldüğü gibi, hem $c_{p,toplam}^{MOPSA}$ değerindeki %20.49'luk artıştan hem de c_s değerindeki %19.78'lik artıştan kaynaklanmaktadır. Şekil 4(c), $c_{ps,toplam}^{MOPSA}$ 'nin kısımları olan $c_{p,toplam}^{MOPSA}$ ve $c_{ps,toplam}^{MOPSA}$ ve c_s 'nin oransal etkisini daha iyi incelememizi sağlar. Dolayısıyla, Şekil 4(c)'ye bakıldığında, $c_{p,toplam}^{MOPSA}/c_{ps,toplam}^{MOPSA}$ değerinin türbinin izentropik verimliliği 0.7-0.86 aralığında iken arttığı, 0.86-0.88 aralığında sabit kaldığı ve 0.88'den sonra bu değer azaldığı görülmektedir. $c_s/c_{ps,toplam}^{MOPSA}$ oranı için ise tam tersi geçerlidir.



Şekil 4

Türbinin İzentropik Verimine Bağlı Olarak (a) Sistemin η_{ex} ve $c_{ps,total}^{MOPSA}$ 'nin Değişimi (b) Sistemin c_s ve $c_{p,total}^{MOPSA}$ 'deki Değişimi (c) $c_{ps,total}^{MOPSA}$ 'ya Bağlı Olarak $c_{p,total}^{MOPSA}$ Ve c_s 'nin Oransal Değişimi

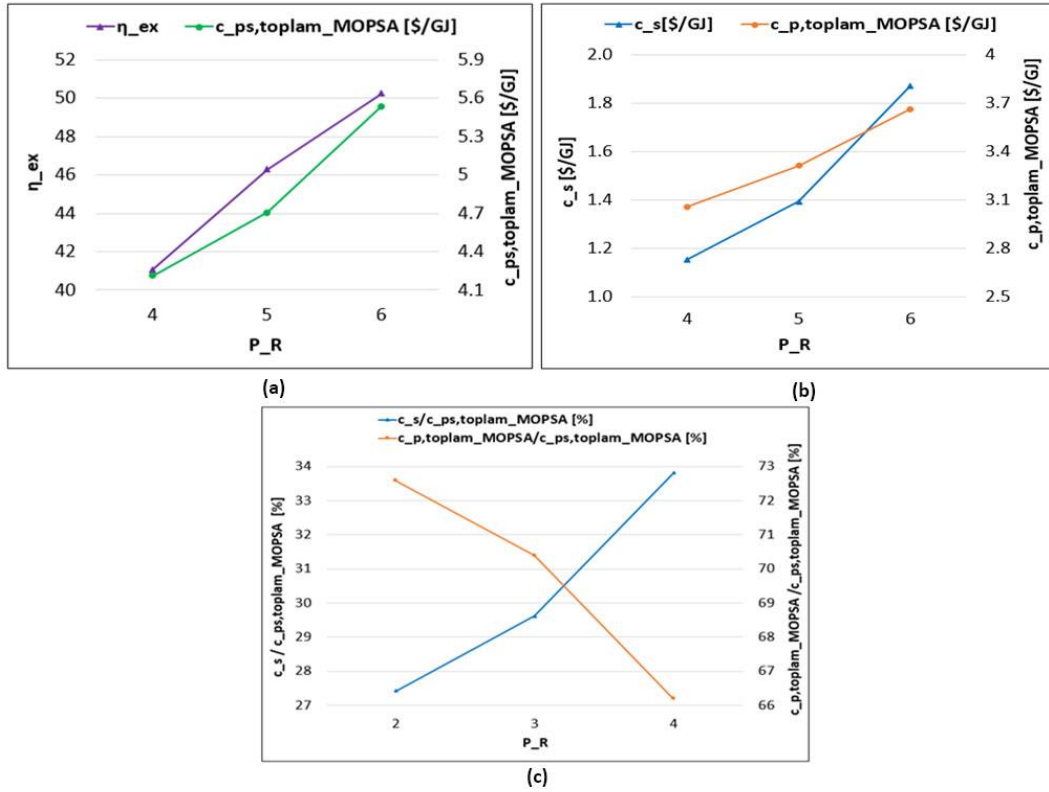
Şekil 5, aşırı kızdırma sıcaklığındaki değişimin η_{ex} , $c_{ps,total}^{MOPSA}$, c_s , $c_{p,total}^{MOPSA}$ 'yı ne ölçüde etkilediğini göstermektedir. Şekil 5 (a) incelendiğinde, aşırı kızdırma sıcaklığı 2-12°C aralığında arttıkça sistemin η_{ex} 'i fazla etkilemediği, $c_{ps,total}^{MOPSA}$ 'nın ise %29.08 oranında arttığı görülmektedir. Şekil 5 (b)'de görüldüğü gibi, hem $c_{p,total}^{MOPSA}$ hem de c_s değerlerinde sırasıyla %17.21 ve %52.91'lik bir artış vardır. Şekil 5 (c)'de görüldüğü gibi, c_s 'deki artış $c_{ps,total}^{MOPSA}$ 'daki oranı daha da baskın hale getirmektedir. Dolayısıyla, birim ekserji yıkım maliyetinin ortalama toplam birim maliyet üzerinde daha büyük bir etkiye sahip olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5

Aşırı Kızdırma Sıcaklığına Bağlı Olarak (a) Sistemin η_{ex} ve $c_{ps,total}^{MOPSA}$ 'nin Değişimi (b) Sistemin c_s ve $c_{p,total}^{MOPSA}$ 'deki Değişimi (c) $c_{ps,total}^{MOPSA}$ 'ya Bağlı Olarak $c_{p,total}^{MOPSA}$ Ve c_s 'nin Oransal Değişimi

Şekil 6, basınç oranındaki değişimin η_{ex} , $c_{ps,total}^{MOPSA}$, c_s , $c_{p,total}^{MOPSA}$ 'yi ne ölçüde etkilediğini göstermektedir. Şekil 6 (a)'da, P_R 4-6 aralığında arttıkça, η_{ex} değerinde %22.25 ve $c_{ps,total}^{MOPSA}$ değerinde %31.39'luk bir artış görülmektedir. Şekil 6 (b) incelendiğinde, $c_{ps,total}^{MOPSA}$ değerindeki $c_{p,total}^{MOPSA}$ değerindeki %19.83'lük ve c_s değerindeki %61.99'luk artıştan kaynaklanmaktadır. P_R 4-6 arasında değiştikçe, Şekil 6 (c)'de görüldüğü gibi c_s 'nin $c_{ps,total}^{MOPSA}$ içindeki payı artmakta ve $c_{p,total}^{MOPSA}$ içindeki payı azalmaktadır.



Şekil 6

Sıkıştırma Oranına Olarak (a) Sistemin η_{ex} ve $c_{ps,total}^{MOPSA}$ 'nin Değişimi (b) Sistemin c_s ve $c_{p,total}^{MOPSA}$ 'deki Değişimi (c) $c_{ps,total}^{MOPSA}$ 'ya Bağlı Olarak $c_{p,total}^{MOPSA}$ Ve c_s 'nin Oransal Değişimi

TARTIŞMA VE SONUÇLAR (DISCUSSION AND CONCLUSIONS)

Termal enerji kaynağı olarak jeotermal enerjiden yararlanan bir ORÇ çevriminin enerji, ekserji ve eksergo-ekonomik analizleri yapılmıştır. Eksergo-ekonomik analiz yöntemi olarak MOPSA yöntemi kullanılmıştır. Önerilen sistemin matematiksel modelini çözümlmek için EES programı kullanılmıştır. Belirlenen kararlı değişkenlerin sistemin performans kriterleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çalışmanın ana sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- En yüksek ε_k değerlerine sahip sistem bileşenleri sırasıyla türbin (%86), pompa (%80.99), evaporatör (%77.91) ve kondenserdir (%77.91). En yüksek $Y_{D,k}^*$ değerlerinin sırasıyla evaporatör (%62.41), türbin (%23.37), kondenser (%13.05) ve pompada (%1.17) olduğu görülmektedir. f_k en yüksek değeri türbinde (%96.14) alırken, bunu sırasıyla pompa (%92.06), kondenser (%81.71) ve evaporatör (%55.34) takip etmektedir. Bu değerler tüm sistem bileşenlerinde %50'nin üzerindedir. Bu da yatırım maliyeti oranının $\dot{C}_{D,k}$ 'den daha yüksek olduğunu göstermektedir. En yüksek r_k değeri sırasıyla türbin (%873.20), kondenser (%497.60), pompa (%89.94) ve evaporatördedir (%56.51). r_k açısından en yüksek iyileştirme potansiyeline sahip bileşen türbindir.
- Türbinde üretilen elektriğin maliyeti 730.6 \$/h, pompa tarafından tüketilen elektriğin maliyeti 30.4 \$/h ve sistemde üretilen net elektriğin maliyeti 700.2 \$/h olarak hesaplanmıştır. Entropi üretim maliyeti evaporatör için 82.3 \$/h, türbin için 30.82 \$/h ve kondenser için 17.21 \$/h olarak hesaplanmıştır.
- Pompanın izentropik verimi 0.7-0.98 aralığında arttıkça, $c_{ps,total}^{MOPSA}$ değeri azalır ve η_{ex}

artar. Türbinin izentropik verimi 0.7-0.96 aralığında arttıkça $c_{ps,total}^{MOPSA}$ ve η_{ex} değerleri artmaktadır. Aşırı kızdırma sıcaklığı 2-12 °C aralığında arttıkça, η_{ex} neredeyse sabit kalırken $c_{ps,total}^{MOPSA}$ değeri artmaktadır. Sıkıştırma oranı 4-6 aralığında arttıkça, $c_{ps,total}^{MOPSA}$ ve η_{ex} değerleri artar.

Bu çalışma, MOPSA yönteminin jeotermal temelli bir ORÇ sistemine uygulanması açısından bir rehber niteliğindedir. Elde edilen analiz sonuçları enerji verimliliğinin artırılabilmesi için geliştirilecek politikalarda kullanılabilecektir [46].

Kısaltmalar

BFC	binary flash cycle
BZORÇ	basic zeotropic ORÇ
CHP	combined heating power plant
EES	engineering equation solver
EGS	enhanced geothermal plant
J	jeneratör
K	kondenser
LCOE	levelized cost of electricity
LCOS	levelized cost of storage
LSC	liquid separation condenser
MOPSA	modified productive structure analysis
OFÇ	organik flaş çevrim
ORÇ	organik Rankine çevrim
P	pompa
PTES	pumped thermal energy storage
SPECO	specific exergy costing
T	türbin

Semboller

A	alan (m^2)
c	ekserji birim maliyeti ($\$/GJ$)
\dot{C}	maliyet oranı ($\$/h$)
CRF	Capital Recovery Factor
$\dot{E}x$	ekserji yıkım oranı (kW)
f	eksergo-ekonomik faktör
h	entalpi (kJ/kg)
\dot{m}	kütleli debi (kg/s)
N	sistemin ömrü (yıl)

P	basınç (kPa)
r	göreceli maliyet farkı
s	entropi (kJ/kgK)
T	sıcaklık (K)
\dot{Z}	yatırım maliyet oranı (\$/h)

Yunan harfleri

η	izentropik verim (%)
λ	yıllık faiz oranı (%)
φ	bakım faktörü

Alt indisler

0	referans noktası
1-8	noktalar
ak	aşırı kızdırma
BQ	sınır şartları
D	yıkım
E	evaporatör
f	besleme
jeo	jeotermal
K	kondenser
p	ürün
P	pompa
T	türbin

Üst indis

BQ	sınır
CHE	kimyasal
KN	kinetik
M	mekanik
PT	potansiyel
T	termal
TM	termo-mekanik
W	iş

Finansal Destek (Funding)

Bu araştırma herhangi bir kamu, ticari veya kâr amacı gütmeyen kuruluş tarafından desteklenmemiştir.

Yazar Katkıları (Authors Credits)

Araştırma Tasarımı (CRediT 1) E.H.G. (%60) – D.N.Ö. (%40)

Veri Toplama (CRediT 2) E.H.G. (%60) – D.N.Ö. (%40)

Araştırma - Veri Analizi - Doğrulama (CRediT 3-4-6-11) E.H.G. (%60) – D.N.Ö. (%40)

Makalenin Yazımı (CRediT 12-13) E.H.G. (%60) – D.N.Ö. (%40)

Metnin Tashihi ve Geliştirilmesi (CRediT 14) E.H.G. (%60) – D.N.Ö. (%40)

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Çıkar çatışması söz konusu değildir.

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SDG)

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları: 7 Erişilebilir ve Temiz Enerji

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] A. Mahmoudi, M. Fazli, M.R. Morad, A recent review of waste heat recovery by Organic Rankine Cycle, *Applied Thermal Engineering*. 143 (2018) 660–675. doi:10.1016/j.applthermaleng.2018.07.136.
- [2] A.O. Özkan, H.B. Demir, Fotovoltaik panellerde sıcaklık ve zenit açısının panel güç üretimine etkisi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 1(1) (2019) 1–9.
- [3] M.E. Boyacıoğlu, R. Şahin, A. Kahraman, S. Ata, ORÇ ile düşük sıcaklıklı ısı kaynaklarından elektrik üretilmesinde ıslak ve yeni nesil akışkanların çevresel ve termodinamik performanslarının karşılaştırılması, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 1 (2021) 13–23. doi:10.47112/neufmbd.2021.6.
- [4] R. Loni, O. Mahian, G. Najafi, A.Z. Sahin, F. Rajaei, A. Kasaeian, M. Mehrpooya, E. Bellos, W.G. le Roux, A critical review of power generation using geothermal-driven organic Rankine cycle, *Thermal Science and Engineering Progress*. 25 (2021). doi:10.1016/j.tsep.2021.101028.
- [5] Ş. Bülbül, E. Ayhan, H. Gökmeşe, Termik santral atığı olan kömür külünün sbr matrisli bileşiklere ilave edilmesinin mekanik özelliklere etkisi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 5 (2023) 135–146. doi:10.47112/neufmbd.2023.14
- [6] H.Y. Kwak, D.J. Kim, J.S. Jeon, Exergetic and thermoeconomic analyses of power plants, *Energy*. 28 (2003) 343–360. doi:10.1016/S0360-5442(02)00138-X.
- [7] C. Uysal, D.N. Ozen, H. Kurt, H.Y. Kwak, A comparative assessment of SPECO and MOPSA on costing of exergy destruction, *International Journal of Exergy*. 32 (2020) 62. doi:10.1504/IJEX.2020.107744
- [8] P. Lu, X. Luo, J. Wang, J. Chen, Y. Liang, Z. Yang, C. Wang, Y. Chen, Thermo-economic design, optimization, and evaluation of a novel zeotropic ORC with mixture composition adjustment during operation, *Energy Conversion and Management*. 230 (2021) 113771. doi:10.1016/j.enconman.2020.113771.
- [9] Y. Zhao, B. Du, S. Chen, J. Zhao, Y. Gong, X. Bu, H. Li, L. Wang, Thermo-Economic comparison between organic Rankine cycle and binary-flashing cycle for geothermal energy, *Frontiers in Earth Science*. 9 (2021) 1–10. doi:10.3389/feart.2021.759872.
- [10] L. Wang, B.U. Xianbiao, L.I. Huashan, Thermo-economic investigation of an enhanced geothermal system organic Rankine cycle and combined heating and power system, *Acta Geologica Sinica (English Edition)*. 95 (2021) 1958–1966. doi:10.1111/1755-6724.14871.
- [11] Y. Chen, J. Xu, D. Zhao, J. Wang, P.D. Lund, Exergo-economic assessment and sensitivity analysis of a solar-driven combined cooling, heating and power system with organic Rankine cycle and absorption heat pump, *Energy*. 230 (2021) 120717. doi:10.1016/j.energy.2021.120717.
- [12] M. Aliahmadi, A. Moosavi, H. Sadrhosseini, Multi-objective optimization of regenerative ORC system integrated with thermoelectric generators for low-temperature waste heat recovery, *Energy Reports*. 7 (2021) 300–313. doi:10.1016/j.egyr.2020.12.035.
- [13] S. Hu, Z. Yang, J. Li, Y. Duan, Thermo-economic optimization of the hybrid geothermal-solar power system: A data-driven method based on lifetime off-design operation, *Energy Conversion and Management*. 229 (2021) 113738. doi:10.1016/j.enconman.2020.113738.
- [14] A.K. Bett, S. Jalilinasraby, Exergoeconomic Analysis for Optimized Combined Wet and Dry Cooling Binary Power Plant at Olkaria I, Kenya, *Geothermics*. 95 (2021) 102160. doi:10.1016/j.geothermics.2021.102160.
- [15] P. Wang, Q. Li, C. Liu, R. Wang, Z. Luo, P. Zou, S. Wang, Comparative analysis of system performance of thermally integrated pumped thermal energy storage systems based on organic flash cycle and organic Rankine cycle, *Energy Conversion and Management*. 273 (2022) 116416. doi:10.1016/j.enconman.2022.116416.

- [16] C. Chen, F. Witte, I. Tuschy, O. Kolditz, H. Shao, Parametric optimization and comparative study of an organic Rankine cycle power plant for two-phase geothermal sources, *Energy*. 252 (2022). doi:10.1016/j.energy.2022.123910.
- [17] J. Li, Z. Yang, Z. Yu, J. Shen, Y. Duan, Influences of climatic environment on the geothermal power generation potential, *Energy Conversion and Management*. 268 (2022) 115980. doi:10.1016/j.enconman.2022.115980.
- [18] S. Khanmohammadi, M. Rahmani, F. Musharavati, S. Khanmohammadi, Q.V. Bach, Thermal modeling and triple objective optimization of a new compressed air energy storage system integrated with Rankine cycle, PEM fuel cell, and thermoelectric unit, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 43 (2021) 100810. doi:10.1016/J.SETA.2020.100810.
- [19] B. Ruhani, S.A. Moghaddas, A. Kheradmand, Hydrogen production via renewable-based energy system: Thermoeconomic assessment and Long Short-Term Memory (LSTM) optimization approach, *International Journal of Hydrogen Energy*. 52 (2023) 505–519. doi:10.1016/j.ijhydene.2023.03.456.
- [20] Z. Yuan, G. Jun, Z. Yingxia, Z. Bo, L. Guanqun, T. Yuanjun, Y. Chao, Thermo-economic analysis of an enhanced geothermal system for power generation based on organic Rankine cycle, 19 (2024), 24-32. doi: 10.1093/ijlct/ctad097
- [21] M.M. Abdelghafar, M.A. Hassan, H. Kayed, Comprehensive analysis of combined power cycles driven by sCO₂-based concentrated solar power: Energy, exergy, and exergoeconomic perspectives, *Energy Conversion and Management*. 301 (2024) 118046. doi:10.1016/J.ENCONMAN.2023.118046.
- [22] H. Semmari, F. Bouaicha, S. Aberkane, A. Filali, D. Blessent, M. Badache, Geological context and thermo-economic study of an indirect heat ORC geothermal power plant for the northeast region of Algeria, *Energy*. 290 (2024) 130323. doi:10.1016/j.energy.2024.130323.
- [23] A. Ahmadi, M. El Haj Assad, D.H. Jamali, R. Kumar, Z.X. Li, T. Salameh, M. Al-Shabi, M.A. Ehyaei, Applications of geothermal organic Rankine Cycle for electricity production, *Journal of Cleaner Production*. 274 (2020). doi:10.1016/j.jclepro.2020.122950.
- [24] E. Wang, H. Zhang, B. Fan, Y. Wu, Optimized performances comparison of organic Rankine cycles for low grade waste heat recovery, *Journal of Mechanical Science and Technology*. 26 (2012) 2301–2312. doi:10.1007/s12206-012-0603-4.
- [25] N.K. Choudhary, A.P. Deep, S. Karmakar, Thermodynamic analysis of integrated gasification combined cycle integrated with organic Rankine cycle for waste heat utilization, *Waste and Biomass Valorization*. (2024). doi:10.1007/s12649-023-02391-2.
- [26] M. Ranjbar Hasani, N. Nedaei, E. Assareh, S.M. Alirahmi, Thermo-economic appraisal and operating fluid selection of geothermal-driven ORC configurations integrated with PEM electrolyzer, *Energy*. 262 (2023) 125550. doi:10.1016/j.energy.2022.125550.
- [27] P. Wan, L. Gong, Z. Bai, Thermodynamic analysis of a geothermal-solar flash-binary hybrid power generation system, *Energy Procedia*. 158 (2019) 3–8. doi:10.1016/j.egypro.2019.01.023.
- [28] F. Mohammadkhani, N. Shokati, S.M.S. Mahmoudi, M. Yari, M.A. Rosen, Exergoeconomic assessment and parametric study of a Gas Turbine-Modular Helium Reactor combined with two Organic Rankine Cycles, *Energy*. 65 (2014) 533–543. doi:10.1016/j.energy.2013.11.002.
- [29] Y. Zhang, E. Yao, T. Wang, Comparative analysis of compressed carbon dioxide energy storage system and compressed air energy storage system under low-temperature conditions based on conventional and advanced exergy methods, *Journal of Energy Storage*. 35 (2021) 102274. doi:10.1016/J.EST.2021.102274.
- [30] D.N. Ozen, C. Uysal, O. Balli, Thermoeconomic analysis of t56 turboprop engine under different load conditions, *Isi Bilimi ve Teknigi Dergisi/ Journal of Thermal Science and Technology*. 40 (2020) 251–265. doi:10.47480/isibtcd.817013.

- [31] D.N. Özen, B. Koçak, Advanced exergy and exergo-economic analyses of a novel combined power system using the cold energy of liquefied natural gas, *Energy*. 248 (2022). doi:10.1016/j.energy.2022.123531.
- [32] Y. Zhang, T. Liang, C. Yang, X. Zhang, K. Yang, Advanced exergy analysis of an integrated energy storage system based on transcritical CO₂ energy storage and Organic Rankine Cycle, *Energy Conversion and Management*. 216 (2020). doi:10.1016/j.enconman.2020.112938.
- [33] D. Marmolejo-Correa, T. Gundersen, A comparison of exergy efficiency definitions with focus on low temperature processes, *Energy*. 44 (2012) 477–489. doi:10.1016/J.ENERGY.2012.06.001.
- [34] E. Hançer Güleriyüz, D.N. Özen, Advanced exergy and exergo-economic analyses of an advanced adiabatic compressed air energy storage system, *Journal of Energy Storage*. 55 (2022). doi:10.1016/j.est.2022.105845.
- [35] Y. Mazloum, H. Sayah, M. Nemer, Exergy analysis and exergoeconomic optimization of a constant-pressure adiabatic compressed air energy storage system, *Journal of Energy Storage*. 14 (2017) 192–202. doi:10.1016/j.est.2017.10.006.
- [36] D.N. Ozen, İ. Uçar, Energy, exergy, and exergo-economic analysis of a novel combined power system using the cold energy of liquified natural gas (LNG), *Environmental Progress and Sustainable Energy*. 39 (2020) 1–16. doi:10.1002/ep.13377.
- [37] S. Hou, Y. Zhou, L. Yu, F. Zhang, S. Cao, Y. Wu, Optimization of a novel cogeneration system including a gas turbine, a supercritical CO₂ recompression cycle, a steam power cycle and an organic Rankine cycle, *Energy Conversion and Management*. 172 (2018) 457–471. doi:10.1016/j.enconman.2018.07.042.
- [38] C. Uysal, A new approach to advanced exergoeconomic analysis: The unit cost of entropy generation, *Environmental Progress and Sustainable Energy*. 39 (2020). doi:10.1002/ep.13297.
- [39] C. Uysal, H. Kurt, H.Y. Kwak, Exergetic and thermoeconomic analyses of a coal-fired power plant, *International Journal of Thermal Sciences*. 117 (2017) 106–120. doi:10.1016/j.ijthermalsci.2017.03.010.
- [40] D.N. Özen, E. Hançer Güleriyüz, A.M. Acılar, Advanced exergo-economic analysis of an advanced adiabatic compressed air energy storage system with the modified productive structure analysis method and multi-objective optimization study, *Journal of Energy Storage*. 81 (2024). doi:10.1016/j.est.2023.110380.
- [41] Y. Aryanfar, M.E.H. Assad, A. Khosravi, R.S.M. Atiqure, S. Sharma, J.L.G. Alcaraz, R. Alayi, Energy, exergy and economic analysis of combined solar ORC-VCC power plant, *International Journal of Low-Carbon Technologies*. 17 (2022) 196–205. doi:10.1093/IJLCT/CTAB099.
- [42] A.D. Akbari, S.M.S. Mahmoudi, Thermoeconomic analysis & optimization of the combined supercritical CO₂ (carbon dioxide) recompression Brayton/organic Rankine cycle, *Energy*. 78 (2014) 501–512. doi:10.1016/J.ENERGY.2014.10.037.
- [43] M. Khaljani, R. Khoshbakhti Saray, K. Bahlouli, Comprehensive analysis of energy, exergy and exergo-economic of cogeneration of heat and power in a combined gas turbine and organic Rankine cycle, *Energy Conversion and Management*. 97 (2015) 154–165. doi:10.1016/J.ENCONMAN.2015.02.067.
- [44] J. Bao, Y. Lin, R. Zhang, N. Zhang, G. He, Effects of stage number of condensing process on the power generation systems for LNG cold energy recovery, 126 (2017), 566-582.
- [45] M. Almahdı, I. Dincer, M.A. Rosen, A new solar based multigeneration system with hot and cold thermal storages and hydrogen production, *Renewable Energy*. 91 (2016) 302–314.
- [46] M. Hacıbeyoglu, M. Çelik, Ö. Erdaş Çiçek, K en yakın komşu algoritması ile binalarda enerji verimliliği tahmini, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 5 (2023) 28–37. doi:10.47112/neufmbd.2023.10

Yüksek Derecede Fotoakım Üreten Tilakoid Membran Bazlı Biyofotovoltaik Hücresinin Yapımı

Hüseyin Bekir YILDIZ¹ *  Mustafa BÜYÜKHARMAN^{2,3} 

¹ Bartın Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bartın, Türkiye

² İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, İstanbul, Türkiye

³ Nero Endüstri Savunma Sanayi A.Ş., Ankara, Türkiye

Makale Bilgisi

ÖZET

Geliş Tarihi: 29.03.2024
Kabul Tarihi: 12.05.2024
Yayın Tarihi: 31.08.2024

Anahtar Kelimeler:

Biyofotovoltaik Hücre,
Tilakoid Membran,
Fotosentez,
Fotoakım.

Bu çalışmada, sulu bir çözelti içindeki elektrotları aydınlatarak fotoakım üretimi için bir biyofotovoltaik hücresi (BPV) inşa edilmiştir. Bu amaçla, altın elektrot, elektrokimyasal polimerizasyon kullanılarak 4-(2,5-di(tiyofen-2-il)-1H-pirol-1-il)benzenamin polimeri, (P(SNS-Fenil-Amin)), iletken polimer film ile kaplanmıştır. Daha sonra, P(SNS-Fenil-Amin) iletken polimer film kaplı yüzey üzerine altın nanopartiküller, AuNP, glüter aldehit aracılığıyla yüzeye kovalent bağlarla bağlanmıştır. Tilakoid membran, TM, bu elektrodun yüzeyine selüloz membran kullanılarak immobilize edilmiştir. P(SNS-Fenil-Amin)/AuNP/TM modifiye altın elektrot anot, platin elektrot ise katot olarak BPVde kullanılmıştır. Sabit potansiyel altında, BPV sistemi görünür bölgedeki ışıkla aydınlatılarak çalıştırıldığı zaman, tilakoid membranda gerçekleşen fotosentezin suyun yükseltgemesiyle açığa çıkan elektronların elektroda transferiyle fotoakım meydana gelmiştir. Altın nanopartiküller, tilakoid membranının elektrot yüzeyine bağlanması ve fotosentez sonucu açığa çıkan elektronların hızlı bir şekilde transferi için önemli bir rol oynamıştır.

Construction of Thylakoid Membrane Based Biophotovoltaics Generating High Amount of Photocurrent

Article Info

ABSTRACT

Received: 29.03.2024
Accepted: 12.05.2024
Published: 31.08.2024

Keywords:

Biophotovoltaics,
Thylakoid Membrane,
Photosynthesis,
Photocurrent.

This study aimed to construct a biophotovoltaics (BPV) capable of generating photocurrent by illuminating electrodes within an aqueous solution. The process involved coating a gold electrode with a conductive polymer film, specifically 4-(2,5-di(thiophen-2-yl)-1H-pyrrol-1-yl)benzenamine polymer (P(SNS-Phenyl-Amine)), through electrochemical polymerization. Subsequently, the surface coated with the P(SNS-Phenyl-Amine) conductive polymer film was electrochemically modified with gold nanoparticles (AuNPs), which were covalently linked onto the surface using glutaraldehyde. Thylakoid membrane (TM) was immobilized onto this electrode surface and stabilized using a cellulose membrane. The modified gold electrode with P(SNS-Phenyl-Amine)/AuNP/TM and a Pt electrode were employed as the anode and cathode of the BPV, respectively. During the photosynthesis process occurring in the thylakoid membrane under light, water was oxidized and separated. While oxygen was released at the anode side, the cathode side reduced oxygen gas back into water. The AuNPs played a crucial role in binding the thylakoid membrane to the electrode surface and facilitating the transfer of electrons released as a result of photosynthesis.

To cite this article:

Yıldız, H.B. & Büyükharmar, M. (2024). Yüksek derecede fotoakım üreten tilakoid membran bazlı biyofotovoltaik hücresinin yapımı. *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 336-346. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.51>

*Sorumlu Yazar: Hüseyin Bekir Yıldız, hbyildiz@bartin.edu.tr



GİRİŞ (INTRODUCTION)

Fotosentez, bitkilerin ve bakterilerin ışık enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürmek için kullandığı bir süreçtir [1]. Ana süreç, fotosentezde güneş ışığının etkisiyle suyun oksijen ve hidrojene ayrılmasıdır. Güneş ışığı tilakoid membranında bulunan reaksiyon merkezi olarak adlandırılan karmaşık proteinler olan fotosistem I ve II (PSI ve PSII) tarafından emilir. Işıktan yayılan fotonlar, PSII reaksiyon merkezi (P680 protein kompleksi) tarafından emilir ve daha yüksek bir enerji seviyesine uyarılır. Yüksek enerji seviyesindeki elektronlar plastoquinon kompleksleri (QA ve QB; elektron alıcıları) tarafından yakalanır ve başka bir protein kompleksi olan sitokrom b6f (Cyt b6f)'e aktarılır ve ardından PSI kompleksine aktarılır. P700 olarak bilinen reaksiyon merkezi, daha yüksek bir enerji seviyesi elektronu oluşturmak için başka bir fotonu emer ve bu elektronlar, elektron alıcıları filokinon ve ferrodoksin (FD) tarafından NADP⁺'yi NADPH'ye indirgemek için taşınır. Bu sonuçta ATP oluşur [2].

Son yıllarda, fotosentezi taklit eden veya doğal fotosistemleri elektrokimyasal hücreleri çalıştırmak için uygulayan foto-elektro-kimyasal veya güneş hücreleri geliştirmeye yönelik birçok çalışma yapılmaktadır [3, 4]. Bitkilerden, makroalglerden veya siyanobakterilerden izole edilen tilakoid membranları ve fotosistemler [5, 6], ışığı elektrik enerjisine dönüştürmek için kaynak olarak sıkça kullanılmaktadır. Işık dönüşümünün yanı sıra, reaksiyon merkezlerinden elektroda elektron taşıma, fotoakımı üretimi için önemli bir noktadır. Araştırmacılar, sistem mimarisi için iletken polimerler [7], sitokrom c [8], grafen katkılı membranlar [9], altın nanotancikler [10], Os kompleks içeren malzemeler [11] gibi biyolojik ve sentetik malzemeler kullanarak geliştirilmiş fotoakımları üretmek için çabalarını artırmışlardır.

Fotomikrobiyal yakıt hücreleri veya mikrobiyal güneş hücreleri olarak da bilinen biyolojik fotovoltaik güneş hücreleri ya da biyofotovoltaikler, (BPV), fotosentetik mikroorganizmalar kullanarak güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren yeni bir teknolojidir [12] (Şekil 1). BPV'ler, su fotolizi için güneş ışığı kullanan ve sisteme elektron sağlayan mikroorganizmalar kullanan mikrobiyal yakıt hücrelerine benzer [13]. Mikrobiyal yakıt hücresi sistemleri için elektron vericisi genellikle organik bir maddedir, oysa BPV'de güneş ışığı suyu hidrolize etmek için kullanılır ve sistemin tek elektron vericisi sudur. Fotovoltaik, PV teknolojisi ile karşılaştırıldığında BPV, fotosentetik malzemelerin toksik olmaması ve yenilenebilir olması nedeniyle daha çevre dostudur. BPV'lerde kullanılan fotosentetik mikroorganizmalar kendilerini sürdürebilir kılabilirler ve ucuz yöntemlerle yetiştirilebilirler (kültürlenebilirler). Gündüz elektrik üretmek için ışığı kullanmanın yanı sıra, BPV sistemlerinin hücre içi metabolitleri oksitleyerek karanlıkta elektrik akımı üretebilirler [14]. Buna karşın PV sistemleri geceleri güç üretmez. Dahası, BPV sistemleri, şarj ve deşarj sürecinin ayrılabilirdiği şarj edilebilir bir pil olan enerji depolama rezervuarı olarak tasarlanabilir ve bu özelliğiyle, elektrik depolayamayan PV'den daha üstündür [15]. BPV teknolojisi bu avantajları nedeniyle son zamanlarda çok fazla ilgi görmektedir.

Bu çalışmada yüksek derecede fotoakım üreten tilakoid membran bazlı bir biyolojik fotovoltaik güneş hücresi meydana getirildi. Elektropolimerizasyonla 4-(2,5-di(tiyofen-2-il)-1H-pirol-1-il) benzenamin polimeri, (P(SNS-Fenil-Amin)), iletken polimer film ile kaplı altın elektroda altın nanotanciklerin (AuNP) glutar aldehit yardımıyla kovalent bağlarla bağlanması sonucu oluşan yapının üzerine tilakoid membranın (TM) kaplandı. P(SNS-Fenil-Amin)/AuNP/TM yapısıyla modifiye edilmiş altın elektrot fotoanot, platin levha elektrot ise katot görevi görmüştür. Sabit bir potansiyel altında sistem görünür bölge ışık ile aydınlatılarak çalıştırıldığında su tilakoid membranda yaptığı fotosentez yoluyla yükseltgenerek ayrılmış ve suyun yükseltgenmesiyle açığa çıkan elektronların anoda taşınmasıyla fotoakım üretimi meydana geldi. P(SNS-Fenil-Amin) ve AuNP'lerin iletkenlik özellikleri nedeniyle tilakoid membranda meydana gelen suyu yükseltgenmesiyle açığa çıkan elektronların elektroda doğru transferi çok hızlı oldu. Gerçekleşen bu çok hızlı elektron transferi sonucu yüksek derecede fotoakım elde edildi.

MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHODS)

Materyal

4-(2,5-di(tiyofen-2-il)-1H-pirol-1-il)benzamin, SNS-Fenil-Amin, monomerinin kimyasal sentezi ve karakterizasyonu ve onun elektrokimyasal polimerizasyonu ile ilgili bilgiler daha önceki çalışmalarda bahsedildi [16]. Selülozik diyaliz zarı (6.000–8.000 Da), Spectra/Por Membrane Dialysis Products, Houston'dan satın alınmıştır. Diklorometan (DCM), asetonitril (ACN), HAuCl_4 , 2-merkaptotan sülfonik asit (MSA), etanol, p-aminothiophenol (pAT) Merck (Darmstadt, Almanya) firmasından satın alındı. Bu çalışmada kullanılan diğer tüm kimyasallar Sigma-Aldrich (Münih, Almanya) ve Merck'ten temin edilmiş olup, herhangi bir ekstra arıtma işlemine tabi tutulmadan satın alındı. Bu çalışma sırasında ultra saf su, Darmstadt, Almanya kaynaklı Millipore Sigma (Milli-Q) tarafından sağlandı.

Metot

Tilakoid Membranların İzolasyonu ve Karakterizasyonu

Tilakoid membranı (TM) izolasyonu daha önce tanımlanan yönteme göre [17] lokal market ya da pazarlardan alınmış taze ıspanak yaprakları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yönteme göre taze ıspanak yaprakları Tampon A (50 mM Tricine-KOH pH 7.5, 0.4 M sorbitol, 5 mM MgCl_2 , 5 mM KCl) içerisinde homojenize edildikten sonra dört kat sargı bezi kullanılarak süzülmüştür ve 300g hızda 2dk sentrifüj edilmiştir. Süpernatant ayrıldıktan sonra 5000xg hızda 10 dk sentrifüjlenme ile oluşmuş pellet, içerisinde bulunan kloroplast zarfını ayırmak için hiptonik Tampon B (50 mM Tricine-KOH pH 7.5, 5 mM MgCl_2 , 5 mM KCl) çözeltisi içerisine alınmıştır. 5500xg hızda 10 dk sentrifüjlenerek oluşmuş son pellet bütünlükleri bozulmamış tilakoid zarları içermiştir. TM'deki klorofil içeriklerinin belirlenmesinden İzole edilen TM üzerinde bulunan toplam klorofil miktarı (klorofil a ve klorofil b) Porra ve arkadaşlarının yöntemi ile belirlenmiştir [18]. Yönteme göre 10 μL TM süspansiyonu 990 μL %80 aseton ile karıştırıldıktan sonra 14.000 rpm de 10sn sentrifüj edilmiş ve süpernatantın 645 nm'de ve 663 nm'de absorbansları okunmuştur. Klorofil miktarları aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\text{Klorofil a (mg/mL)} = 12,7A663 - 2,69A645$$

$$\text{Klorofil b (mg/mL)} = 22,9A645 - 4,68A663 \text{ Toplam Klorofil (mg/mL)} = \text{Klorofil a} + \text{Klorofil b}$$

Yapılan spektrofotometrik ölçümlerde 663 nmdeki absorbans 0.729 ve 645 nmdeki absorbans 1.252 olarak ölçülmüştür. Bu durumda toplam klorofil miktarı

$$\text{Klorofil a (mg/mL)} = (12,7 \times 0,729) - (2,69 \times 1,252) = 5,89$$

$$\text{Klorofil b (mg/mL)} = (22,9 \times 1,252) - (4,68 \times 0,729) = 25,26$$

$$\text{Toplam Klorofil (mg/mL)} = 5,89 + 25,26 = 31,15 \text{ şeklinde bulunmuştur.}$$

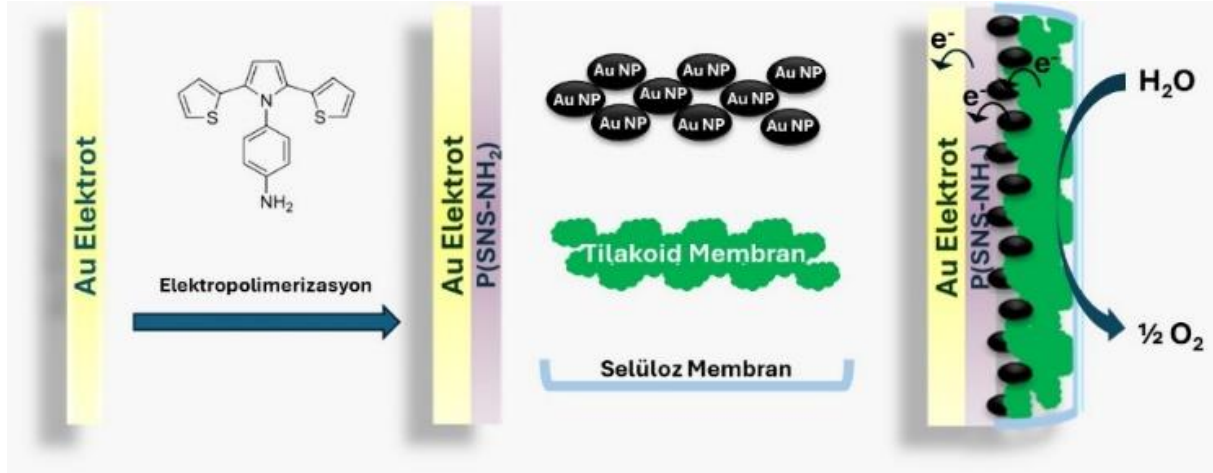
Altın Nanotaneceklerin Sentezi

AuNP'lerin için 190 mg HAuCl_4 , 42 mg merkaptotan sülfonatın 10 ml etanol çözeltisi ile ve ardından 8 mg p-aminothiophenolün 5 ml metanol çözeltisi ile karıştırılmıştır. Daha sonra, 2.5 ml glacial asetik asit eklenirken bu çözüm buz banyosunda 1 saat boyunca karıştırılmıştır. Bu işlem sonrasında, bu karışım 7.5 ml 0.1 M NaBH_4 çözeltisi ile koyu bir çözelti elde edilene kadar yavaşça karıştırılmıştır. Elde edilen karışım oda sıcaklığında bir gece boyunca karıştırıldı, ardından metanol ve dietil eter ile yıkanmıştır. Merkaptotan sülfonik asit ve p-amino tiyofenol modifiye AuNP'nin (8 nm çapında) karakterizasyonu daha önceki bir çalışmamızda rapor edilmiştir [7, 19]

Anot Elektrotun Fabrikasyonu

Modifikasyon öncesinde, altın elektrotlar, alümina karışımı (0.5 μ) ile mekanik olarak temizlendi

ve distile su ile yıkandı. SNS-Fenil-Amin monomeri temiz altın yüzeylerle etkileşime sokuldu ve literatüre göre asetonitril içinde NaClO_4 ve LiClO_4 karışımının bulunduğu potansiyel aralığı -0.5 ile 1.2 V arasında döngüsel voltametre kullanılarak elektrokimyasal olarak polimerizasyonu yapılmıştır. Altın nanoparçacıkların immobilizasyonu için, farklı miktarda AuNP içeren çözeltiler: %2, %1.5, %1, %0.5, %0.25 (50 mM, pH 7.4 sodyum fosfat tamponunda) ve glutaraldehit çözeltisi (%1.0 50 mM, pH 7.4 PBS) modifiye edilmiş GE üzerine yayılmıştır. Daha sonra, elektrotlar steril koşullarda oda sıcaklığında 60 dakika boyunca inkübe edilmiştir. Belirli bir konsantrasyona (mg/ml) sahip olan TM, P(SNS-Fenil-Amin)/AuNP modifiye altın elektrotun yüzeyine damla damla eklenmiş ve TM'nin elektrot üzerinde sağlam bir şekilde durması için bir diyaliz membranı kullanılmıştır (Şekil 1).



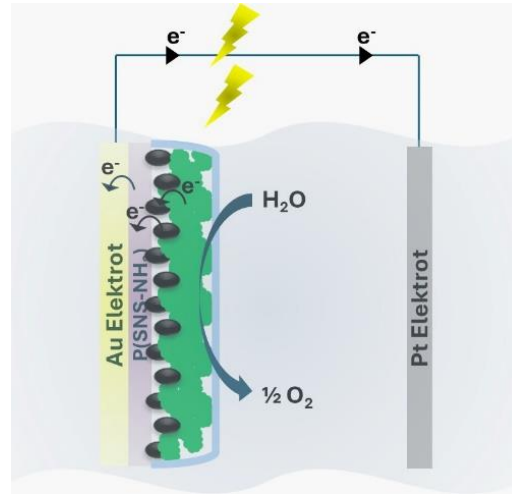
Şekil 1
Anot Elektrot Yapımının Şekilsel Gösterimi

BPV'nin Yapımı ve Fotoakım Elde Edilmesi

Fotoakım elde etme deneyleri, özel bir fotoelektrokimyasal sistem içeren bir güneş simülatörü aracılığıyla gerçekleştirildi. Fotoelektrokimyasal deneyler sırasında kullanılan enstrümantal sistem, bir Oriol 300 W Xe lambası (Oriol Model 6258), 2 nm çözünürlüğe sahip bir monokromatör (Model 74000) ve bir kesici (Model 76994) içermektedir. Hücreden gelen elektriksel verilerin dijital verilere çevrilmesi, bir faz duyarlı dedektör (Stanford Araştırma Modeli SR 830 DSP) tarafından gerçekleştirildi. Akım kesme-serbest bırakma frekansı, Stanford Araştırma tarafından üretilen bir darbe gecikme üretici tarafından kontrol edildi. Bu çalışma kapsamında sabit potansiyel deneyleri için, fotoanot, karşı elektrot olarak platin tel ve doymuş Ag/AgCl elektrotu içeren bir 3-elektrot hücre düzeni ve bir potansiyostat/galvanostat (EG&G Modeli) de yukarıda belirtilen elektrotlara ek olarak kullanıldı.

Fotoakım deneylerinde H-tipi hücreler kullanıldı. Elektrotlar (anot ve katot), birbirlerine 50 mm mesafede bulunan tüplere yerleştirildi. Tüm deneylerde, 10 mM fosfat tamponu, pH 7,4 (PBS), elektrolit olarak kullanıldı. Hem fotoanot hem de biyokatot elektrotları farklı dirençlere (100 Ω ile 10 k Ω arası) sahip potansiyostat cihazına seri olarak bağlandı. Dirençlerin üzerine yerleştirilen bir multimetre, sistemin potansiyelini ölçmek için kullanıldı. Tüm fotoakım deneyleri, elektrot yüzeyinde ölçülen 1400 W/m² (1 güneş birimi) ışık yoğunluğunda döngülü olarak açma-kapama aydınlatması ile bir potansiyostat aracılığıyla yapıldı. Ölçüm yapılmadan önce, elektrolit çözeltileri 15 dakika boyunca Ar gazı ile gazdan arındırıldı. Sistem, görünür bölgeyi aydınlatarak sabit bir potansiyel altında çalıştırıldığında, su, siyanobakteriler tarafından yapılan fotosentez yoluyla oksidasyon yoluyla parçalanır ve suyun oksidasyonu ile serbest bırakılan elektronların anoda taşınmasıyla fotoakım oluşur. Ara araçlar olarak işlev gören P(SNS-Fenil-Amin) ve AuNP'lerin iletkenlikleri, sistemde TM'den elektroda elektron transferini hızlandırdı; bu nedenle, dışarıdan gelen görünür ışık altında yüksek

düzye fotoakım elde edilebildi. Kronoamperometri ölçümlerinde Ag/AgCl'ye karşı 0.1 M PBS, pH 7.4'te sabit bir uygulanan potansiyel (0 V) kullanıldı. Tüm ölçümler, 20 ± 2 °C sıcaklıkta gerçekleştirildi. Burada rapor edilen tüm veriler, üç bağımsız deneysel tekrarlı verilere dayalı ortalamalardır (Şekil 2).



Şekil 2

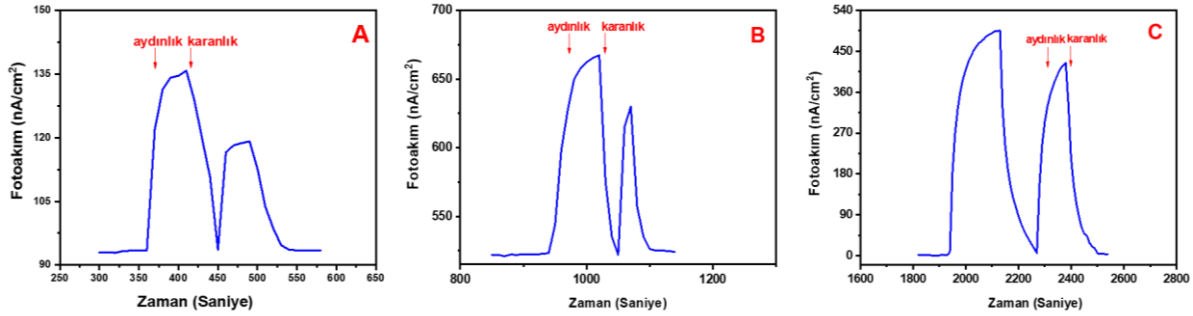
BPV'nin Entegrasyonunun Şekilsel Gösterimi

BULGULAR (RESULTS)

P(SNS-Fenil-Amin)/AuNP/TM yapısıyla modifiye edilmiş altın elektrot tarafından fotoakımın nasıl oluşturulduğunu anlamak için kontrol deneyleri yapılmıştır. İlk olarak bu yapıyla modifiye edilmiş altın elektrot suyun yerine saf etanolün içine batırılıp üzerine 1400 W/M^2 (1 güneş birimi) gücünde görünür bölge ışık gönderildiği zaman hiçbir şekilde fotoakım oluşması gözlemlenmemiştir. Ortamda etanolün yükseltgenmesini gerektirecek KMNO_4 gibi yükseltgen maddeler veya sıcak asidik bir ortamda deney yapılmadığından bu deney bize sistemin sadece suya duyarlı olduğu ve fotosentez sonucu suyun yükseltgenmesiyle oluşan elektron transferiyle fotoakımı meydana getirdiğini göstermiştir. Ayrıca altın elektrot üzerinde oluşturulan yapı yerine sadece TM immobilize edilip TM kaplı altın elektrotun fosfat tamponu (pH=7,4) çözeltiye (suya) batırılıp 1400 W/M^2 gücünde görünür bölge ışık gönderildiği zamanda da sistem fotoakım oluşturmamıştır. Üçüncü fotoakım kontrol deneyinde ise TM kaplı altın elektrotun $0.410 \mu\text{mol}$ fenil-p-benzokinon içeren fosfat tamponu (pH=7,4) çözeltiye (suya) batırılıp sisteme 1400 W/M^2 gücünde görünür bölge ışık gönderildiği 42 nA'lık bir fotoakım oluşmuştur (Şekil 3-A). Bu durumdan fotosentez sonucu suyun yükseltgenmesiyle oluşan elektronların elektroda transferi için bir medyatöre veya elektron transferini hızlandırıcı bir yapıya ihtiyaç duyulduğu anlaşılmıştır. Yapılan bütün kontrol deneylerinde 0 V sabit potansiyel altında yapılmıştır ve bu deneylerde her bir tür için 750 mg/mL TM kullanılmıştır.

Diğer bir kontrol deneyinde ise altın elektrot elektropolimerizasyon tekniğini kullanılarak 50 döngü sonucunda P(SNS-Fenil-Amin) ile kaplandıktan sonra 750 mg/mL TM, polimerik filmle kaplı altın elektrotta immobilize edilmiştir. P(SNS-Fenil-Amin)/TM yapısıyla modifiye edilmiş altın elektrot tampon çözeltiye batırılıp sisteme 1400 W/M^2 gücünde görünür bölge ışık gönderildiği zaman 0 V sabit potansiyel altında elde edilen fotoakım miktarı 144 nA 'e yükselmiştir (Şekil 3-B). Bu olay P(SNS-Fenil-Amin) polimerinin iletkenlik özelliğinin fotosentez sonucu ortaya çıkan elektronların elektroda transferinde ne kadar etkili olduğunu göstermiştir. Son kontrol deneyinde ise 40 elektropolimerizasyon döngüsü kullanılarak P(SNS-Fenil-Amin) polimeri altın elektrotun üzerinde kaplandıktan sonra % 0,50 (ağırlık/hacim)'lik AuNP çözeltisi kullanılarak polimer filmin üzerine bağlanmıştır. Bu yapının üzerine de 750 mg/mL TM bağlandıktan sonra P(SNS-Fenil-Amin)/AuNP/TM yapısıyla modifiye edilmiş altın elektrot tampon çözeltiye batırılıp sisteme 1400 W/M^2 gücünde görünür bölge ışık gönderildiği zaman

0 V sabit potansiyel altında elde edilen fotoakım miktarı 493 nA'e kadar yükseldiği görülmüştür (Şekil 3-C).



Şekil 3

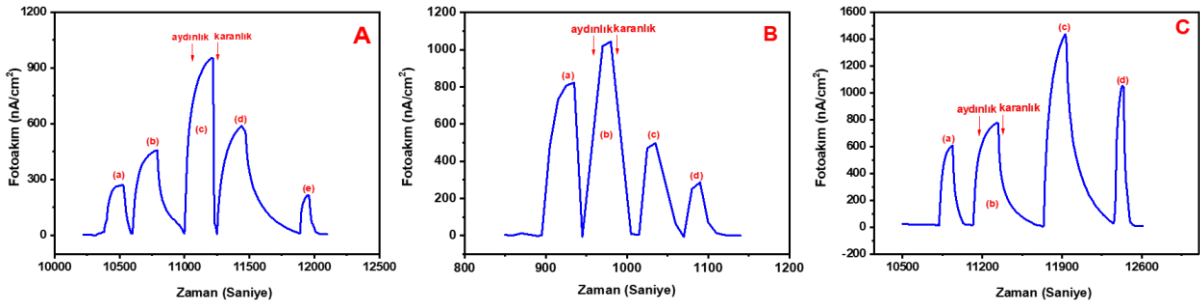
Fotoakımın Nasıl Oluştüğünü Anlamak ,çin Anot Kullanılarak Yapılan Kontrol Deneyleri. (a) 0.410 µmol fenil-p-benzokininonun mevcut olduğu 750 mg/mL TM ile kaplanmış altın elektrotun kronoamperometri çalışmaları. (b) P(SNS-Fenil-Amin) (40 döngü)/TM (750 mg/mL) yapısı ile modifiye edilmiş altın elektrotun kronoamperometri çalışmaları. (c) P(SNS-Fenil-Amin) (40 döngü)/AuNP (% 0.5)/tilakoid membran (750 mg/mL) yapısı ile modifiye edilmiş altın elektrotun kronoamperometri çalışmaları

Altın elektrot üzerine P(SNS-Fenil-Amin) tabakası kaplandıktan sonra, optimum miktarı belirlenmek üzere AuNP'nin immobilizasyonu gerçekleştirilmiştir. AuNP immobilizasyonu için, altın elektrotu 50 elektropolimerizasyon döngüsü kullanılarak P(SNS-Fenil-Amin) ile kaplandıktan sonra, sırasıyla: 2, 1.5, 1, 0.5, 0.25% (ağırlık/hacim) oranında AuNP, 5.0 ml, 50 mM, pH 7.4 PBS içinde ve glutaraldehit çözeltisi %1, 50 mM, pH 7.4 PBS içinde polimer kaplı altın elektrot üzerine serpilmiştir. AuNP'nin modifikasyonundan sonra, P(SNS-Fenil-Amin)/AuNP yapıları elde edildi ve yüzeye 750 mg/ml TM immobilize edilmiştir. Şekil 4a, Altın Elektrot/ P(SNS-Fenil-Amin)/AuNPx/TM (X: %2, %1,5, %1,% 0,5, %0,25 [ağırlık/hacim] AuNP) sisteminin 50 mM, pH 7.4 PBS içinde 1400 W/m² yoğunlukta aydınlatma altında, uygulanan potansiyel; 0 V (Ag/AgCl'ye karşı) koşullarında kronoamperometrik ölçümü göstermektedir. Polimer filmine bağlı AuNP konsantrasyonu arttıkça, her iki sistemde de fotoakım miktarının arttığı gözlemlenmiştir. Bu artan trend, %1'lik AuNP konsantrasyonuna kadar devam etti ve %1'den sonra fotoakım artışının azaldığı gözlenmiştir. %1'e kadar olan akım artışı, AuNP'nin elektrot ve TM arasında bir elektron taşıyıcısı olarak işlev görmesi olarak açıklanmıştır. Ancak, AuNP konsantrasyonu %1,5 veya daha fazla (%1,5 ve %2) arttığında, fotoakım miktarının doyum seviyesine ulaştığı veya hatta azalmaya başladığı görülmüştür (Şekil 4-A). Bu durum, AuNP konsantrasyonunun artmasının, polimerle birlikte daha rijit bir kompozit yapı oluşturarak TM ile etkileşimi azaltmasıyla açıklanabilir. Bu nedenle, elektrotla daha az TM'nin elektrokimyasal iletişim halinde olması ve bu durumun fotoakımı azaltması şeklinde yorumlanmıştır.

P(SNS--Fenil-Amin)/AuNP/TM yapısıyla modifiye edilmiş altın elektrotun karakterize çalışmalarından diğeri de fotosentezi meydana getiren mikroalglerin kullanım miktarı optimizasyonu çalışmasıdır. Şimdiye kadar yapılan bütün fotoakım karakterizasyon çalışmalarında 750 mg/mL'lik TM P(SNS-Fenil-Amin)/AuNP ile modifiye edilmiş altın elektroda immobilize edilerek kullanılmış ve fotoakım ölçümleri alınmıştır. Bu optimizasyon çalışmasında 50 elektropolimerizasyon döngüsü kullanılarak hazırlanmıştır P(SNS--Fenil-Amin) polimeri filmin üzerine %1 (ağırlık/hacim) AuNP çözeltisi kullanılarak kovalent bağlarla iletken polimer filmin üzerine bağlanmıştır. Daha sonra 250, 500, 750 ve 1000 mg/ml'lik TM kullanılarak P(SNS-Fenil-Amin)/AuNP elektrot üzerine immobilize edilmiştir. 0 V sabit potansiyel altında sisteme 1400 W/M² gücünde görünür bölge ışık altında Fosfat tamponu fotoakım ölçümleri yapılmıştır. Fotoakımın TM için 500mg/mL'lik konsantrasyonuna kadar

arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 4-B). Ulaşılan bu değerlerden fazla konsantrasyonda (750 ve 1000 mg/mL) TM kullanılarak hazırlanan elektrotlardan alınan fotoakım değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Bunun sebebi artan TM konsantrasyonu biyokomponent yüzeyin kalınlaşmasına ve fotosentez sonucu suyun yükseltgenmesiyle oluşan elektronların elektroda doğru transferini engellemesi olarak açıklanmıştır. Bundan dolayı bulunan 500 mg/mL'lik değer TM için optimum konsantrasyon miktarı seçilmiştir.

P(SNS-Fenil-Amin)/AuNP/TM yapısıyla modifiye edilmiş altın elektrotunun karakterizasyonu için yapılan diğer bir optimizasyon çalışması da, altın elektrotta kaplanan polimer filminin optimum kalınlığını yani SNS-Fenil-Amin monomerinin elektropolimerizasyonu için optimum döngü sayısını bulma çalışmasıdır. Bundan önceki optimizasyon çalışmasının tüm deneylerinde 50 döngü sayısı kullanılarak SNS-Fenil-Amin monomeri polimerleştirilmiştir. Bu optimizasyon çalışmasında altın elektrot üzerine 25, 50, 75 ve 100 döngü sayısında SNS-Fenil-Amin monomeri elektropolimerizasyon yoluyla polimerleştirilmiştir. Bu çeşitli döngü sayıları yoluyla elde edilen polimer filmlerin üzerine %1'lik (ağırlık/hacim) AuNP çözeltisi gluteraldehit kullanılarak kovalent bağlarla iletken polimer filmin üzerine bağlanmıştır. Daha sonra 500 mg/mL TM, P(SNS-Fenil-Amin)/AuNP elektrot üzerine immobilize edilmiştir ve projede fotoanot olarak kullanılacak P(SNS-Fenil-Amin)/AuNP/TM yapısıyla modifiye edilmiş altın elektrot elde edilmiştir. Bu elektrotun fosfat tamponu (pH=7,4) içerisine batırılmasıyla ve 1400 W/M² gücünde görünür bölge ışık altında fotosentez sonucu suyun yükseltgenmesiyle üretilmiştir. Üretilen fotoakımlarda en yüksek değer 75 döngülü P(SNS-Fenil-Amin)'li olduğu görülmüştür. 100 döngülü polimerli elektrotlar kullanıldığında fotoakım değeri düşmüştür. Bunun sebebi 75 döngüye kadar polimer film elektron transferi için optimum kalınlıkta ve iletkenliktedir. 75 döngüden fazla olan döngüde ise polimer film fotosentez sonucu suyun yükseltgenmesiyle oluşan elektronların transferi için çok kalın olmuştur ve yeteri kadar elektron elektroda ulaşmamaktadır şeklinde açıklanmıştır (Şekil 4-C).



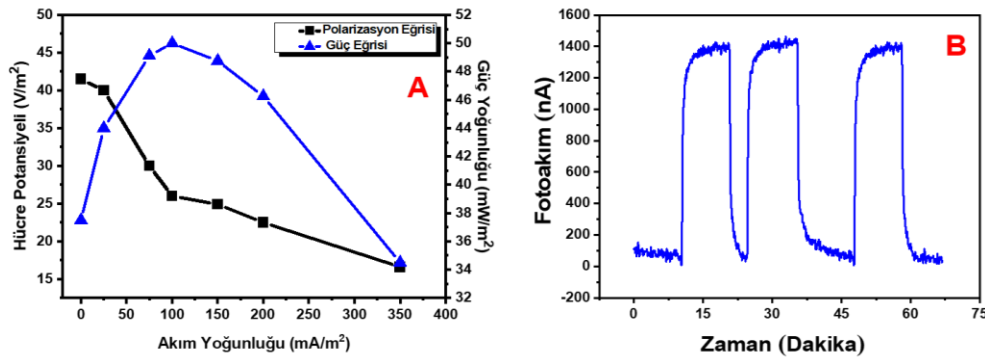
Şekil 4

(a) Kovalent Bağlarla AuNP'yi Polimer Film Üzerine Bağlamak için YAPILAN a) % 0,25, b) % 0,50 c) %1,0 d) %1,5, e) % 2,0'lik (ağırlık/hacim) AuNP sonucunda elde edilen P(SNS-Fenil-Amin)/AuNP/TM yapısıyla modifiye edilmiş altın elektrotunun optimizasyonu; (b) P(SNS-Fenil-Amin)/AuNP/TM yapısıyla modifiye edilmiş altın elektrotunun oluşturmak için kullanılan TM konsantrasyonu optimizasyonu ((a)250 mg/mL, (b)500 mg/mL, (c) 750 mg/mL, (d) 1000 mg/mL). (c) Altın elektrotu P(SNS-Fenil-Amin) polimer filmle kaplamak için uygulanması gereken a)25, b) 50, c)75, d)100 döngü sayıları sonucunda elde edilen fotoakım değerleri; ; Bütün deneyler fosfat tamponu (pH=7,4) içerisinde ve 1400 w/M² gücünde görünür bölge ışık altında fotosentez sonucu suyun yükseltgenmesiyle ürettiği fotoakımların kronoamperometrik aydınlık-karanlık çalışması şeklinde yapılmıştır

Meydana getirilen biyolojik fotovoltajik güneş hücresi (BPV) için optimum koşullar belirlendikten sonra yapılan başka bir kronoamperometrik aydınlık-karanlık (on-off) çalışması P(SNS-Fenil-Amin)/AuNP/TM yapısıyla modifiye altın elektrotların bir başka karakterizasyon çalışmasıdır. BPV 1400 W/m² gücünde bir sabit ışık kaynağıyla belli 0 V sabit potansiyelde bir süre aydınlatılıp daha sonra

aydınlatma sonlandırılmıştır. Bu işlem birkaç defa tekrarlanmıştır. İşlem her defasında tekrarlandıktan sonra elde edilen TM bazlı elektrotun ürettiği fotoakım miktarında düşme gözlemlenmiştir. Bu fotoakım düşmesinin sebebi olarak suyun yükseltgenmesiyle oluşan oksijen gazının fotoakımı oluşturan ileri elektron transfer hızını penetre etmesi şeklinde açıklanmıştır. Clark tipi elektrot sistemi yardımıyla, oluşturulan P(SNS-Fenil-Amin)/AuNP/TM bazlı BPV hücresinin belirli bir süre aydınlatılmasıyla suda ne kadar oksijen oluştuğu belirlenmiştir. BPV hücresi 1400 W/m² güç altında görünür 25 dakika aydınlatıldıktan sonra P(SNS-Fenil-Amin)/AuNP/TM yapısı ile modifiye edilmiş altın elektrot tarafından fotosentez sonucu su oksidasyonu ile üretilen oksijen miktarı 7.8 x10⁻⁹ mol/cm² olarak hesaplanmıştır. Bu çalışmaya ek olarak substratlarından biri oksijen gazı olan ve oksijeni biyokatalitik olarak suya çevirebilen bilirubin oksidaz enziminden [20, 21] 1,5 mg/mL elektrolite yani tampon çözeltinin içerisine ilave edilip ve sonra BPV'nin aydınlatılarak 0 V sabit potansiyelde çalıştırılması sonucu fotosentez yoluyla suyun yükseltgenmesiyle oluşturulan oksijen gazının ortamdan uzaklaştırılması amaçlanmıştır. Bilirubin oksidaz enzimi ortama katılıp elektrot 1400 W/M²'lik ışık kaynağıyla belli bir süre aydınlatılıp ışık kaynağı kapatıldığı zaman (on-off) elde edilen fotoakım miktarında azalma görülmemiştir. Bu olay da fotoakım düşmesindeki açıklanan sebebi desteklemektedir.

P(SNS-Fenil-Amin)/AuNP/TM bazlı BPV'nin güç üretimi, 1400 W/m² görünür ışık aydınlatması altında yapılan ölçümler sırasında BPV'ye seri olarak bağlanan 100 Ω ila 10 kΩ arasında değişen harici dirençler ile polarizasyon eğrisi ile elde edilmiştir. Güç çıkışlarındaki artış, ışık ortamında 34,5'ten ve 50 mW/m²'ye doğru olarak hesaplandı. Pseudo kararlı durumda BPV'lerin maksimum güç üretimi 100 mA/m² akım yoğunluğuna karşılık gelen 50 mW/m² olarak ulaşılmıştır. (Şekil 4-A). P(SNS-Fenil-Amin)/AuNP/TM bazlı BPV'nin ürettiği maksimum fotoakım 1,41 µA olarak gözlemlendi. Oluşturulan BPV'lerin sahip olduğu maksimum kuantum verim %5,6 olarak hesaplanmıştır. Son olarak P(SNS-Fenil-Amin)/AuNP/TM bazlı BPV'nin çalışma kararlılığı, uzun bir süre boyunca kronoamperometrik fotoakım ölçümlerinin alınması yoluyla belirlenmiştir. Sonuçlar, BPV'nin yüksek fotoakım aktivitesinin 180 dakikaya kadar herhangi bir azalma olmaksızın gerçekleştiğini göstermiştir. Şekil 4-B, 60 dakikalık kronoamperometrik fotoakım ölçümlerini göstermektedir. Bu sonuç BPV'nin çok iyi bir operasyonel kararlılığına ve yüksek intra-elektrot tekrarlanabilirliğine sahip olduğunu kanıtlamıştır.



Şekil 5

P(SNS--Fenil-Amin)/AuNP/TM Bazlı BPV'nin a) polarizasyon ve güç eğrileri; b) çalışma kararlılığı

TARTIŞMA VE SONUÇLAR (DISCUSSION AND CONCLUSIONS)

Bu yapılan araştırmada ıspanaktan saflaştırılmış tilakoid membranı (TM) kullanarak fotosentez yoluyla güneş ışığından elektrik üreten Biyolojik Fotovoltaik Güneş Hücreleri (BPV) inşa edilmiştir. Anilin fonksiyonlu SNS iletken polimeriyle (P(SNS-Fenil-Amin)), kaplı altın elektrota altın nanotaneçiklerin (AuNP) gluter aldehit yardımıyla kovalent bağlanmasıyla sonucu oluşacak yapının

üzerine TM'nin kaplanmasıyla fotoanot, platin levha elektrot ise katot görevi görmüştür. Sabit bir potansiyel altında sistem görünür bölge ışık ile aydınlatılarak çalıştırıldığında su siyanobakterilerin yaptığı fotosentez yoluyla yükseltgenerek ayrılmış ve suyun yükseltgenmesiyle açığa çıkan elektronların anoda taşınmasıyla fotoakım üretimi meydana gelmiştir. SNS-Fenil-Amin polimeri ile AuNP'lerin yüksek iletkenlik özellikleri sayesinde suyun fotosentez yoluyla yükseltgenmesi sonucu açığa çıkan elektronların elektroda transferi hızlı bir şekilde olmuştur. Böylece çok hızlı elektron transferi sonucunda yüksek miktarda fotoakım elde edilmiştir.

En fazla fotoakımı elde etmek için iletken SNS-Fenil-Amin polimeri filminin kalınlığını belirleyen optimum elektropolimerizasyon döngü sayısını ile BPV'de kullanılan AuNP ve TM'lerin optimum konsantrasyonlarını belirleme çalışmaları başarıyla gerçekleştirilmiştir. Bütün bu optimizasyonların sonucunda P(SNS-Fenil-Amin)/AuNP/TM bazlı BPV tarafından üretilen fotoakım 1,41 μA gibi yüksek miktarda olmuştur. P(SNS-Fenil-Amin)/AuNP/TM bazlı BPV'nin güç üretimi, 1400 W/m² görünür ışık aydınlatması altında yapılan ölçümler sırasında BPV'ye seri olarak bağlanan 100 Ω ila 10 k Ω arasında değişen harici dirençler ile polarizasyon eğrisi ile elde edilmiştir. Güç çıkışlarındaki artış, ışık ortamında 34,5'dan ve 50 mW/m²'ye doğru olarak hesaplanmıştır. Pseudo kararlı durumda BPV'lerin maksimum güç üretimi 100 mA/m² akım yoğunluğuna karşılık gelen 50 mW/m² olarak gözlemlenmiştir. BPV'nin çalışma kararlılığı deneylerinde, BPV'nin yüksek fotoakım aktivitesi 180 dakikaya kadar herhangi bir azalma olmaksızın gerçekleşmiştir ve daha sonra BPV'nin çok iyi bir operasyonel kararlılığına ve yüksek intrainelektrot tekrarlanabilirliğine sahip olduğu gözlemlenmiştir.

Son olarak bu çalışmayla iyi elektriksel iletişim ve doğal bileşenleri kullanarak BPV'den yüksek verimlilik elde etmenin nasıl sağlanacağını görmüştür. Aynı zamanda, bu tür biyohibrit sistemlerde ışığa bağlı yüksek fotoakım elde etmenin, elektron taşınmasına izin veren iyi düzenlenmiş elektrot platformlarına bağlı olduğu anlaşılmıştır.

Yazar Katkıları (Authors Credits)

Araştırma Tasarımı (CRedit 1) H.B.Y. (%80) – M.B.(%20)

Veri Toplama (CRedit 2) H.B.Y. (%60) – M.B.(%40)

Araştırma - Veri Analizi - Doğrulama (CRedit 3-4-6-11) H.B.Y.(%60) – M.B.(%40)

Makalenin Yazımı (CRedit 12-13) H.B.Y. (%70) – M.B.(%30)

Metnin Tashihi ve Geliştirilmesi (CRedit 14) H.B.Y. (%70) – M.B.(%30)

Finansman (Funding)

Bu çalışma herhangi bir kurum tarafından destek alınmadan yazarların kendi imkânlarıyla geliştirilip yapılmıştır.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (SDG)

Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları: 7 Erişilebilir ve Temiz Enerji

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] E. Çevik, M. Büyükharman, H.B. Yıldız, Construction of efficient bioelectrochemical devices: improved electricity production from cyanobacteria (*Leptolyngbia* sp.) based on π -conjugated conducting polymer/gold nanoparticle composite interfaces, *Biotechnology and Bioengineering*. 116 (2019), 757-768. doi: 10.1002/bit.26885
- [2] K. Hasan, Çevik, E. Sperling, M.A. Packer, D. Leech, L. Gorton, Photoelectrochemical wiring of *Paulschulzia pseudovolvox* (algae) to osmium polymer modified electrodes for harnessing solar energy, *Advanced Energy Materials*. 5(22) (2015), 1501100. doi: 10.1002/aenm.201501100
- [3] B. Akgayev, S. Akbayrak, M. Yılmaz, M.S. Büker, V. Unsur, Assessing the feasibility of photovoltaic systems in Türkiye: Technical and economic analysis of On-Grid, Off-Grid, and utility scale PV installations, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*, 6(1) (2024), 69-92. doi: 10.47112/neufmbd.2024.33.
- [4] K. Kalyanasundaram, M. Graetzel, Artificial Photosynthesis: Biomimetic Approaches to Solar Energy Conversion And Storage, *Current Opinion Biotechnology*. 21(3) (2010), 298-310. doi: 10.1016/j.copbio.2010.03.021
- [5] M. Rosenbaum, Z. He, L.T. Argenet, Light energy to bioelectricity: photosynthetic microbial fuel cells, *Current Opinion Biotechnology*. 21(3) (2010), 259-264. doi: 10.1016/j.copbio.2010.03.010
- [6] N.E. Gümüş, H.B. Keskinaya, E.Ş. Okudan, C. Akköz, Akdeniz Bölgesi'nden (Antalya/Türkiye) alınan makroalg türlerinin makro ve iz element seviyelerinin belirlenmesi, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 6(1) (2024), 1-9. doi: 10.47112/neufmbd.2024.28.
- [7] B.B. Çarbaş, M. Güler, K. Yücel, H.B. Yıldız, construction of novel cyanobacteria-based biological photovoltaic solar cells: hydrogen and photocurrent generated via both photosynthesis and respiratory system, *Journal of Photochemistry and Photobiology A-Chemistry*. 442 (2023), 114764. doi: 10.1016/j.jphotochem.2023.114764
- [8] M. Büyükharman, T. Göver, A. Gümüş, S. Gümüş, H.B. Yıldız, Design of a novel green algae-based biological photovoltaic cell with high photocurrent and a photoelectrochemical biosensing approach utilizing the BPV for pesticide analysis in water, *ChemistrySelect*. 9(11) (2024), e202304943. doi: 10.1002/slct.202304943
- [9] İ. Akın, E. Zor, H. Bingöl, GO@Fe₃O₄ Katkılı polimerik kompozit membranların hazırlanması ve karakterizasyonu, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 5(2) (2023), 38-52. doi: 10.47112/neufmbd.2023.8
- [10] O. Yehezkeli, R. Tel-Vered, S. Raichlin, I. Willner, Nano-engineered flavin-dependent glucose dehydrogenase/gold nanoparticle-modified electrodes for glucose sensing and biofuel cell applications, *ACS Nano*. 5(3) (2011), 2385-2391. doi: 10.1021/nn200313t
- [11] K. Hasan, H.B. Yıldız, E. Sperling, P.O. Conghaile, M.A. Packer, D. Leech, C. Hagerhall, L. Gorton, Photo-electrochemical communication between cyanobacteria (*Leptolyngbia* sp.) and osmium redox polymer modified electrodes, *Physical Chemistry Chemical Physics*. 16(45) (2014), 24676-24680. doi: 10.1039/c4cp04307c
- [12] L.T. Wey, P. Bombelli, X.L. Chen, J.M. Lawrence, C.M. Rabideau, S.J.L. Rowden, J.Z. Zhang, C.J. Howe, the development of biophotovoltaic systems for power generation and biological analysis, *ChemElectroChem*. 6 (2019), 5375-5386. doi: 10.1002/celec.201900997
- [13] M. Sawa, A. Fantuzzi, P. Bombelli, C.J. Howe, K. Hellgardt, P.J. Nixon, Electricity generation from digitally printed cyanobacteria, *Nature Communications*. 8 (2017), 1327. doi: 10.1038/s41467-017-01084-4
- [14] K. Tanaka, R. Tamamushi, T. Ogawa, Bioelectrochemical Fuel-cells operated by the

- cyanobacterium, *Anabaena variabilis*, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*. 358 (1985), 191-197. doi: 10.1002/jctb.280350304
- [15] G. Pankratova, P. Bollella, D. Pankratov, L. Gorton, Supercapacitive biofuel cells, *Current Opinion in Biotechnology*. 73 (2022), 179-187. doi: 10.1016/j.copbio.2021.08.008
- [16] E. Yildiz, P. Camurlu, C. Tanyeli, I. L. Akhmedov, L. Toppare, A soluble conducting polymer of 4-(2,5-di(thiophen-2-yl)-1H-pyrrol-1-yl)benzenamine and its multichromic copolymer with EDOT, *Journal of Electroanalytical Chemistry*. 612 (2008), 247-256. doi: 10.1016/j.jelechem.2007.10.004
- [17] A. Jajoo, M. Szabó, O. Zsiros, G. Garab, Low pH induced structural reorganization in thylakoid membranes, *Biochimica Biophysica Acta*. 1817 (2012), 1388-1391. doi: 10.1016/j.bbabi.2012.01.002
- [18] R.J. Porra, W.A. Thompson, P.E. Kriedemann, Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy, *Biochimica Biophysica Acta – Bioenergetic*. 975 (1989), 384-394. doi: 10.1016/S0005-2728(89)80347-0
- [19] H.B. Yildiz, R. Tel-Vered, I. Willner, Solar cells with enhanced photocurrent efficiencies using oligoaniline-crosslinked 933 Au/CdS nanoparticles arrays on electrodes, *Advanced Functional Materials*. 934(18) (2008), 3497-3505. doi: 10.1002/adfm.200800810
- [20] H.B. Yildiz, B. Bezgin Carbas, S. Sonmezoglu, M. Karaman, L. Toppare, A photoelectrochemical device for water splitting using oligoaniline-crosslinked [Ru(bpy)2(bpyCONHArNH2)]²⁺ Dye/IrO₂ nanoparticle array on TiO₂ photonic crystal modified electrode, *International Journal of Hydrogen Energy*. 41 (2016), 14615-14629. doi: 10.1016/j.ijhydene.2016.04.249
- [21] M. Tekin, E. Cevik, S. Sayin, H.B. Yildiz, Photocurrent and hydrogen production by overall water splitting based on polymeric composite Calix[n]arene/Cyanin Dye/IrO₂ nanoparticle, *International Journal of Hydrogen Energy*. 45 (2020), 19869-19879. doi: 10.1016/j.ijhydene.2016.04.249

İnflamatuvar Bağırsak Hastalığında (İBH) 16s Sekans Verilerinden Oto-Kodlayıcı ile Muhtemel Biyobelirteç Keşfi

Ayşenur SOYTÜRK PATAT^{1,2*} Eda DAĞDEVİR²

¹ Necmettin Erbakan University, Faculty of Science, Department of Molecular Biology and Genetics, Konya, Türkiye

² Kayseri University, Technical Sciences Vocational School, Department of Electronics and Automation, Program of Biomedical Device Technologies, Kayseri, Türkiye

Makale Bilgisi

ÖZET

Geliş Tarihi: 09.01.2024
Kabul Tarihi: 21.04.2024
Yayın Tarihi: 31.08.2024

Anahtar Kelimeler:

İnflamatuvar Bağırsak Hastalığı (İBH),
Oto-kodlayıcı,
16S sekanslama.

Bir habitattaki fonksiyonel ve ekolojik dengeye (homeostasis) sahip mikrobiyal komünitelere mikrobiyotaya denir. Mikrobiyotam ise bu komüniteyi oluşturan toplam genetik materyal ve bu genetik materyallerin çevre ile etkileşimine verilen isimdir. Mikrobiyotamız ile simbiyotik bir ilişki içinde olduğumuz yapılan çalışmalarla gösterilmiştir. Yeni nesil DNA dizileme teknolojilerinin yaygınlaşması ve hesaplama kabiliyeti yüksek bilgisayarların gelişmesi ile insan mikrobiyomunu ve sağlığa etkilerini keşfetmeye yönelik çalışmalar artmıştır. Yakın zamandaki araştırmalar birçok hastalıkla, kişinin mikrobiyom profilinin ilişkili olduğunu göstermiştir. Hastalık durumunda tedavinin yöntemini değiştirebilecek nitelikteki mikrobiyom çalışmaları, yüksek potansiyelli transkripsiyonel çıktuları öncelikli alan haline gelmiştir. Ancak oldukça karmaşık olan bu verinin içerisinde hastalığın tanı ya da tedavisinde kullanılabilecek yüksek doğrulukta özniteliklerin bulunması oldukça zordur. Derin öğrenme teknikleri ise çeşitli çalışmalarda özellikle sınıflandırma alanında karmaşık verilerde ilham verici başarılar elde etmektedir. Oto-kodlama (AE) tekniklerinin ortaya çıkışı ise özellik seçme görevi için tasarlanmış bir sinir ağı mimarisidir. Bizim çalışmamızda veriyi yeniden temsil etmede önemli olarak görülen öznitelikler bir oto-kodlayıcı tarafından belirlenmiş ve sadece belirlenen bu özniteliklerin gruplarda görülme sıklığına bakılarak İBH hastaları ve sağlıklı kontroller XGBoost algoritmasıyla %88.89 doğruluk değeri ile başarılı bir şekilde sınıflandırılmıştır. Önerilen yöntemle İBH hastalığını temsil eden mikrobiyot türler hastalığın tanısı için muhtemel biyobelirteçleri oluşturduğu düşünülmektedir.

Potential Biomarker Discovery with Auto-Encoder from 16s Sequence Data in Inflammatory Bowel Disease (IBD)

Article Info

ABSTRACT

Received: 09.01.2024
Accepted: 21.04.2024
Published: 31.08.2024

Keywords:

Inflammatory Bowel Disease (IBD),
Auto-encoder,
16S sequencing.

Microbial communities with functional and ecological balance (homeostasis) in a habitat are called microbiota. Microbiome is the name given to the total genetic material that makes up this community and the interaction of these genetic materials with the environment. Studies have shown that we have a symbiotic relationship with our microbiota. With the widespread use of new generation DNA sequencing technologies and the development of computers with high computational capabilities, studies to explore the human microbiome and its effects on health have increased. Recent studies have shown that a person's microbiome profile is associated with many diseases. Microbiome studies, which can change the method of treatment in case of disease, and high-potential translational outputs have become a priority area. However, it is very difficult to find high accuracy features that can be used in the diagnosis or treatment of the disease in this very complex data. Deep learning techniques, on the other hand, achieve inspiring success in various studies on complex data, especially in the field of classification. The emergence of auto-coding (AE) techniques is a neural network architecture designed for the feature selection task. In our study, the attributes that were considered important in representing the data were determined by an auto-encoder, and IBD patients and healthy controls were successfully classified with the XGBoost algorithm with an accuracy value of 88.89%, just by looking at the frequency of occurrence of these determined attributes in the groups. With the proposed method, microbial species representing IBD disease are thought to constitute possible biomarkers for the diagnosis of the disease.

To cite this article:

Soytürk Patat, A. & Dağdevir, E. (2024). Potential biomarker discovery with auto-encoder from 16s sequence data in inflammatory bowel disease (IBD). *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*, 6(2), 347-357. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2024.52>

*Sorumlu Yazar: Ayşenur SOYTÜRK PATAT, asoyturk@erbakan.edu.tr



This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)

INTRODUCTION

Microbiome refers to the microbial communities living in an environment [1]. While this habitat sometimes creates an environmental example, sometimes it represents humans [2]. This community living in the human intestine is called the human intestinal microbiome and is considered our second brain [3]. We can be called a superorganism in this sense, as we host many different microbial species [4]. While there are approximately 20,000 genes in the human genome, there are approximately 2,000,000 protein-coding genes in the human intestinal microbiome [5]. This shows that it is very important to identify and understand these microbial communities that have much more gene coding capacity than ours. Various studies have shown that our intestinal microbiome, which has a high protein-coding capacity, changes in disease, reduces its taxonomic diversity, or changes in the frequency of microbial communities, that is, their relative abundance. So far, one of the most important limitations in microbiome studies is that the information about the genetic material that makes up this community has not been obtained completely and accurately [6,7,8]. Developing DNA sequencing technologies allow the genetic material of this community to be obtained, and the increase in microbiome studies is parallel with new generation DNA sequencing technologies. Figure 1 shows the numbers of the studies conducted. High-throughput new generation DNA sequencing technologies are used as basic tools for microbiome studies. Two approaches to sequencing are adopted here, metagenome sequencing is the uncovering of the entire DNA sequence of the microbial community. 16S sequencing is the determination of the 16S rRNA sequence, which contains variable and conserved regions for species assignment in bacteria. 16S rRNA sequencing is a standard approach used for species assignment. Sequencing tools can basically be classified as Sanger sequencing method (Primary Generation), Second Generation DNA Sequencing and Third Generation DNA Sequencing. Although the Sanger sequencing method is still used, second generation DNA (NGS) [9] sequencing tools are used more frequently due to the cost of sequencing and the long laboratory processes involved. Second Generation DNA sequencing tools adopt the reading approach while synthesizing DNA and read the DNA in short pieces. Reading multiple samples simultaneously, relatively large output data, short reading time and high accuracy are advantages for Second Generation DNA Sequencing platforms. Combining these short fragments and determining their functions requires a series of complex bioinformatics processes [10]. Third Generation DNA sequencing approaches aim to create longer reads in order to reduce the computational cost of Second Generation Sequencing approaches. Some of the approaches here pass the DNA strand through an electrical circuit and determine the graph of the changing mains current in the circuit and provide reading in this way [11]. Thanks to these technologies, large volumes of DNA data (typically several GB per sample) of microbial species that are not characterized in terms of phylogenetic or genetic function are produced for each microbiome sample. This microbiome data can be obtained for a large study group. In this way, species that differ for the disease state of interest can be identified, but an effective algorithm for classification and characterization has not yet been developed to make sense of this high-dimensional data. Developing computer technologies have provided us with computational capacity and the success of deep learning approaches, especially artificial intelligence applications, in image processing and text processing shows that these complex data are applicable and necessary to be used to make sense of them. Algorithms such as Naïve Bayes Classifiers [12], one of the basic machine learning approaches for the discovery of microbiological diversity from sequencing data, that is, for creating the taxonomic profile, and Random Forest [13] and Support Vector Machine [14] for the detection of disease dysbiosis and disease classification are now widely used. These algorithms are frequently used in other data and provide successful results [15,16]. However, machine learning-based approaches cannot identify important species with high enough accuracy through the complex microbiome profile. Deep learning methods are artificial intelligence applications and are known to perform much better than machine learning approaches when trained on enough data [17].

Auto-encoders (AE) are deep learning-based artificial neural networks, especially for dimensionality reduction and selection of important features. AE assigns the input data to a lower dimensional set of features (auto-encoding phase) to identify important features, and the generated set of features is assigned back to the input data (decoding phase) and the data is restructured. Artificial neural networks consist of neurons grouped into different layers. AE has a special hidden layer, called the hidden layer, which has fewer nodes than the input layer, forcing the network to develop a good representation of the input data [18]. The working architecture of AE is shown in Figure 2. Especially considering the success of deep learning in biological data, autoencoders are commonly used for feature determination. Our aim in this study is to identify important attributes with the auto-encoder method, one of the new deep learning algorithms that will model the microbiome data by taking into account the biological characteristics of the microbiome data, and to classify IBD, an intestinal disease, based on the determined attributes.

MATERIALS AND METHODS

Deep learning algorithms are making great progress these days, and one of these areas is the auto-encoder and decoder learning areas. An autoencoder algorithm will be used to determine specific microbial species for use in the diagnosis and treatment of the disease. This algorithm first converted microbiome data into small codes to represent it and thus found hidden attributes (microbial species) in the data. Then, the groups were classified using machine learning approaches based on the determined attributes. Python language and libraries written there were used to classify the applied approaches, necessary calculations and working group. The working order of the proposed method is given in Figure 3.

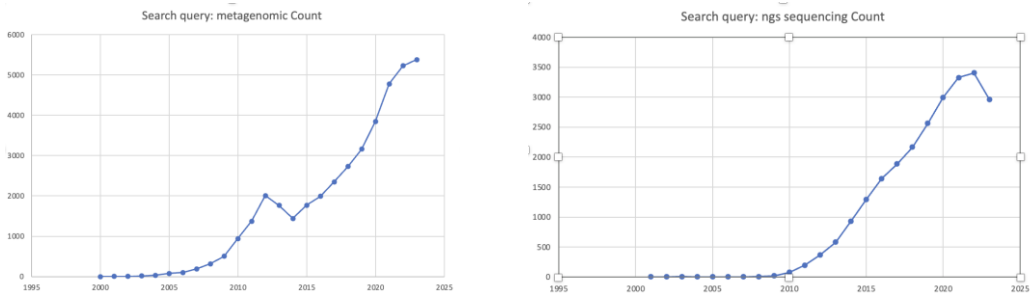


Figure 1
Number of Microbiome and NGS Based Studies in NCBI

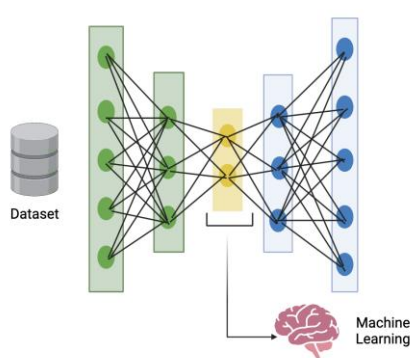


Figure 2
Auto-Encoder Working Architecture

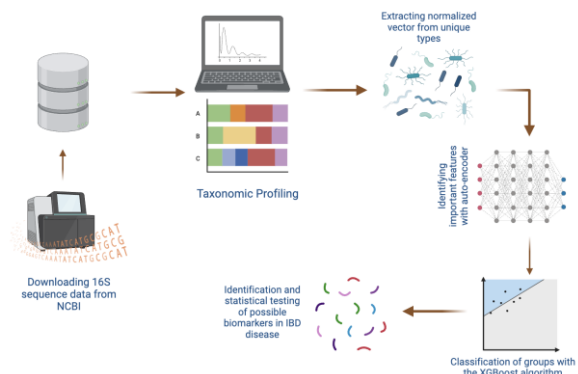


Figure 3
Working Pipeline of the Proposed Method

Creating the Data Set

First, a data set consisting of IBD patients, an intestinal disease, and healthy controls was used to apply the developed method. For the discovery of biomarkers, a 16S rRNA sequencing dataset of 45 healthy controls and 131 IBD patients was created. The data set was generated using the Illumina MiSeq platform from the V3-V4 variable region. This dataset used is open access data and can be accessed at <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/bioproject/PRJNA398089/>.

Creating a Taxonomic Profile

The created data set consists of raw data and the taxonomy needs to be determined for each example. For this purpose, the Qiime2 tool, which is the most used bioinformatics tool in the 16S sequencing approach, was used. Qiime2 is an extensible, free, open source, and next-generation microbiome bioinformatics platform [19]. Taxonomic profiles for 176 specimens were created with this tool. 4144 different taxonomic species were uniquely found in 176 patients. To identify important attributes and classify them based on these attributes, a vector was created from the relative abundances of 4144 different taxa in each sample. Then, this created vector was normalized to avoid creating false positives.

Identifying Important Attributes

It is very difficult to identify specific species for disease within the complex gut microbiome data. The process of identifying important attributes from microbiome studies is based on classical machine learning approaches, but this is not sufficient to identify hidden attributes in complex data. For this purpose, the autoencoder block, which has recently yielded very successful results, was used to determine important features [20]. The operation of the autoencoder is shown in Figure 4. This algorithm will first convert the microbiome data into small codes that will represent it, and thus will be able to find hidden attributes (microbial species) in the data. Then, the decoding block in the algorithm will try to reconstruct the data from the attributes. 79 taxonomic species were identified as important for re-representing the data by the autoencoder.

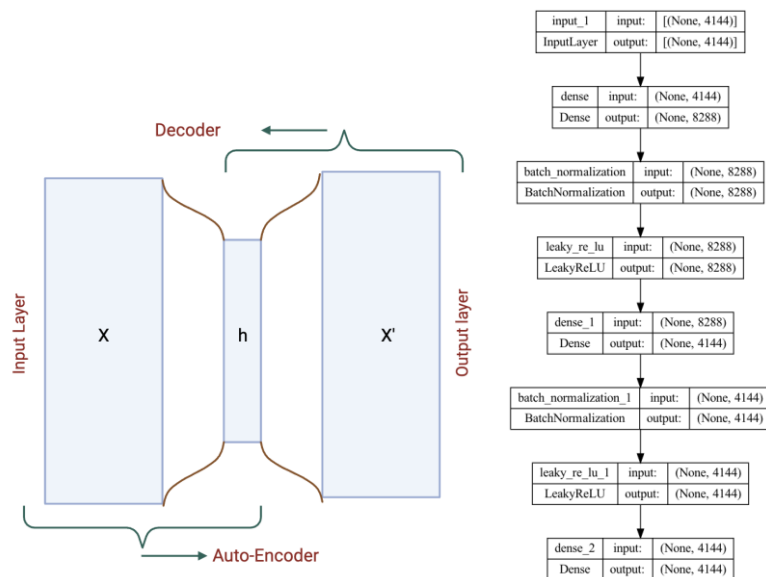


Figure 4
Auto-Encoder Layers.

Classification of IBD Patients and Healthy Controls

First, the success of frequently used classification algorithms was measured to see how successfully the groups were classified over the entire vector created from IBD and healthy controls. The usability of a model depends on its performance values, and the calculation of the accuracy value, which is the performance criterion we used for our study, is as follows:

$$accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN}$$

True Positives (TP): Positive values that are predicted to be true. It refers to the number of cases where the actual class value is positive and the predicted class value is also positive.

True Negatives (TN): These are negative values that are predicted to be true. It refers to the number of cases where the actual class value is negative and the predicted class value is also negative.

False Positives (FP): The number of cases where the actual class is negative and the predicted class is positive.

False Negatives (FN): The number of cases where the actual class is positive and the predicted class is negative.

Then, the success of the XGBoost algorithm [21] in classifying IBD patients and healthy controls was compared with its previous success, using only the species represented as important in reconstructing the data by the autoencoder blog. Then, t-test was applied for two independent groups, IBD patients and healthy controls, and the accepted p value was taken as 0.05 as stated in the literature. 79 taxonomic species determined to be important are below the literature value.

RESULTS

The first thing to do in microbiome studies is to determine which taxa the DNA sequencing data in the environment, which consists of a very complex structure, consists of. The taxonomic profiling resulting from the Qiime2 tool run to determine taxonomic species can be seen in Figure 5. The given graph is a classic output of Qiime 2, with each different color representing a different taxonomic class. Samples are displayed on the x-axis (CD, UC, nonIBD), and the relative abundances of taxa indicated by different colors are shown on the y-axis. The fact that the bar plot is highly colored indicates the diversity of taxa in the sample and the scarcity of unclassified data can be observed.

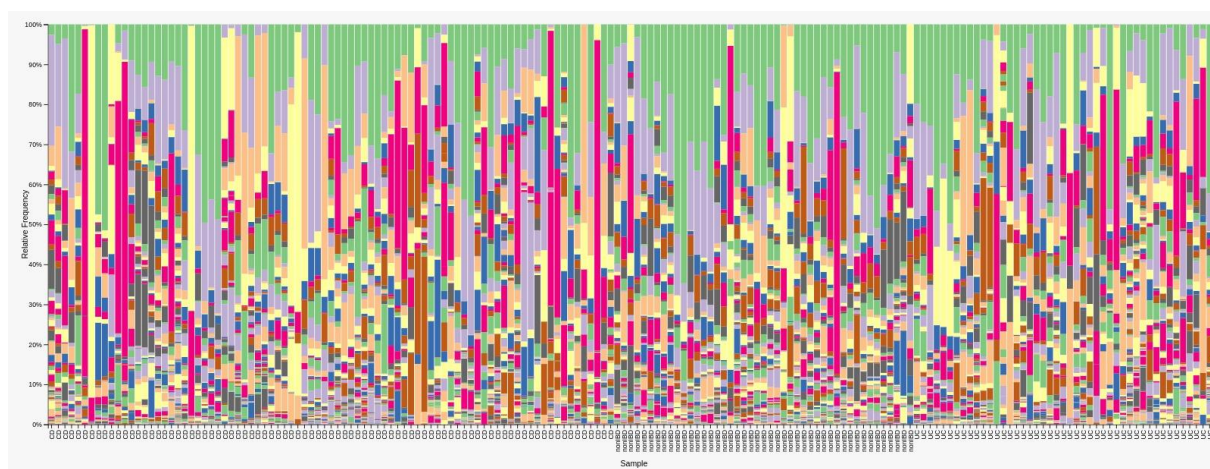




Figure 5
Taxonomic Profile of the Study Group
Samples are displayed on the x-axis (CD, UC, nonIBD), and the relative abundances of taxa indicated by different colors are shown on the y-axis.

Then, the success of the classification algorithms was tested on all data without feature selection. The accuracy values of machine learning models over all data are given in Table 1. The highest accuracy value is seen in the XGBoost algorithm. XGBoost is one of the implementations of gradient boosting algorithms [21]. The algorithm adds a new model to minimize the errors of the existing model and aims to increase classification accuracy. In this way, it can provide more successful results than other machine learning approaches.

The graph showing the operating performance of the auto-encoder in the transfer learning method used to determine important features and drawn according to loss functions is given in Figure 6. The taxonomic vector of the working group was separated into 80% training and 20% testing with the train-test separation function of scikit learn, a Python library.

Table 1
Classification Results

CLASSIFICATION ALGORITHMS	ACCURACY VALUE
Random Forest (RF)	80.56%
XGBoost (XGB)	83.33%
Logistic Regression (LR)	75.00%
Support Vector Machines (SVM)	71.88%
Decision Trees (DT)	68.75%
Gaussian Naive Bayes (GNB)	63.75%
K-Nearest Neighbors (KNN)	62.50%

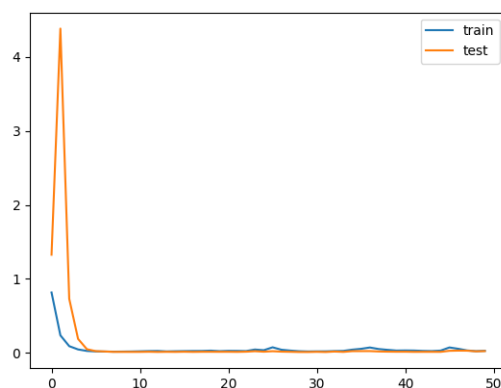


Figure 6
Training-Test Loss Function Graph

Some taxonomic classes selected by the auto-encoder created with the proposed method and considered important in re-representing the data are shown in table 2. With the autoencoder, 79 taxonomic species were selected as important features for data reconstruction. Data were reclassified only based on these selected species. The XGBoost algorithm increased the accuracy by 83.33% and 88.89%. Among the species listed in the table, *Clostridium ramosum* is an anaerobic, nonmotile, slender, spore-forming, gram-positive bacterium found in the human intestinal flora. *Clostridium ramosum* is rarely associated with disease in humans and has a low GC content. Therefore, its relationship with IBD is quite surprising. However, what really matters is the potential of these species as biomarkers. Furthermore, the key observation here is that some species identified in the data were not determined using classical statistical methods, as stated in the publication where the data were obtained [25].

Table 2*Some of The Important Taxonomic Classes Identified by The Autoencoder***TAXONOMIC CLASSES**

k__Bacteria; p__Firmicutes; c__Erysipelotrichi; o__Erysipelotrichales; f__Erysipelotrichaceae; g__Clostridium; s__ramosum

k__Bacteria; p__Firmicutes; c__Clostridia; o__Clostridiales; f__Lachnospiraceae; g__[Ruminococcus]; s__

k__Bacteria; p__Firmicutes; c__Clostridia; o__Clostridiales; f__Lachnospiraceae; g__Dorea; s__

k__Bacteria; p__Bacteroidetes; c__Bacteroidia; o__Bacteroidales; f__Bacteroidaceae; g__Bacteroides; s__

k__Bacteria; p__Bacteroidetes; c__Bacteroidia; o__Bacteroidales; f__[Odoribacteraceae]; g__Odoribacter; s__

k__Bacteria; p__Firmicutes; c__Clostridia; o__Clostridiales; f__Ruminococcaceae; g__Faecalibacterium; s__prausnitzii

k__Bacteria; p__Verrucomicrobia; c__Verrucomicrobiae; o__Verrucomicrobiales; f__Verrucomicrobiaceae; g__Akkermansia; s__muciniphila

k__Bacteria; p__Bacteroidetes; c__Bacteroidia; o__Bacteroidales; f__Bacteroidaceae; g__Bacteroides; s__

k__Bacteria; p__Firmicutes; c__Clostridia; o__Clostridiales; f__Lachnospiraceae; g__Roseburia; s__inulinivorans

k__Bacteria; p__Firmicutes; c__Clostridia; o__Clostridiales; f__Lachnospiraceae; g__Coprococcus; s__

k__Bacteria; p__Bacteroidetes; c__Bacteroidia; o__Bacteroidales; f__Bacteroidaceae; g__Bacteroides; s__ovatus

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Inflammatory Bowel Disease (IBD) is a group of diseases in which there is chronic inflammation in the digestive system. People with IBD may experience intermittent or persistent symptoms that make it difficult to perform daily activities [22]. The prevalence of IBD is increasing, and IBD is one of the most common diseases in the United States and Europe. The causes, diagnosis and treatment methods of this disease, which is observed at a very high rate, are still being investigated [23]. The development of new generation DNA sequencing methods and the obtaining of DNA sequences of non-culturable microorganisms are of great importance in finding microbial flora elements that can be used in the diagnosis and treatment of this disease, which has been determined to be in close relationship with the intestinal flora in previous studies. The beginning of microbiome-based studies is to understand and define the complex microbiome profile from the total DNA sequence and try to find its relationship with the host by determining its functions. However, finding the taxa that make up the complex microbiome data, determining the importance of the obtained taxa, or understanding the functions of the taxa in the host remains challenging. Developments are continuing in many areas such as microbiome-based diagnosis, treatment, nutrition, and drug use, but determining the taxa that truly contribute to the dysbiosis of the disease from this complex data set remains a problem. The developing computers with high computational capabilities and the increasing amount of data allow the development of this field. The auto-encoding method, which is quite popular among these technologies, shows higher performance than classical dimension reduction or feature determination algorithms [24]. It is observed that the decoding blog we used in our study increases the accuracy of the classifiers through the features determined. In addition, many previously unidentified subspecies were found with this method as an important feature when classifying groups in the 16S sequencing data, which comprised the training and test data of the study. Some of these species are *Roseburia inulinivorans*, *Akkermansia muciniphila*, *Collinsella aerofaciens*. These identified species are thought to constitute possible biomarkers to be used in the diagnosis of this disease [25]. The obtained species are thought to constitute potential biomarkers, but it is considered necessary to expand the study group to determine whether these species are truly biomarkers of the disease. Additionally, adding samples from different regions with the same disease to the study group is crucial for the reliability of the results [26]. In this context, it is believed that adding more layers to the encoder structure will increase the success of the proposed method. In future studies, diagnosis of the disease can be made using kits developed based solely on these species, and the course of the disease can be altered by diets prepared to change the abundance of these identified species. Furthermore, it sheds light on the development of probiotics, which have made significant progress in this field. The proposed method can be applied not only for IBD but also for many other diseases.

Ethics Committee Approval

The data in the study is open source and does not require ethics committee approval.

Authors Credit

Research Design (CRediT 1) Author 1 (%90) - Author 2 (%10)

Data Collection (CRediT 2) Author 1 (%90) - Author 2 (%10)

Research - Data Analysis - Validation (CRediT 3-4-6-11) Author 1 (%90) - Author 2 (%10)

Writing the Article (CRediT 12-13) Author 1 (%100) - Author 2 (%00)

Revision and Improvement of the Text (CRediT 14) Author 1 (%50) - Author 2 (%50)

Financing

This study was supported by TÜBİTAK with program 2209 and project number 1919B01221710.

REFERENCES

- [1] L.-H. Lee, S. H. Wong, S.-F. Chin, V. Singh, and N.-S. Ab Mutalib, Editorial: Human Microbiome: symbiosis to pathogenesis, *Frontiers in Microbiology*. 12 (2021), doi: 10.3389/fmicb.2021.605783.
- [2] P. J. Turnbaugh, R. E. Ley, M. Hamady, C. M. Fraser-Liggett, R. Knight, and J. I. Gordon, The human microbiome project, *Nature*, 449(7164) (2007), 804–810, doi: 10.1038/nature06244.
- [3] C. G. Buffie, M. Equinda, L. Lipuma, A. Gobourne, A. Viale, C. Ubeda, J. Xavier, E. G. Pamer, Profound alterations of intestinal microbiota following a single dose of clindamycin results in sustained susceptibility to *Clostridium difficile*-induced colitis, *Infection and Immunity*. 80(1) (2012), 62–73, doi: 10.1128/IAI.05496-11.
- [4] A. Gundogdu, Bir ‘Süper Organizma’ olarak insan; mikrobiyomun genetik kontrolü, *Türk Mikrobiyoloji Cemiyeti Dergisi*. 46(4) (2016), doi: 10.5222/TMCD.2016.147.
- [5] X. Yang, L. Xie, Y. Li, C. Wei, More than 9,000,000 unique genes in human gut bacterial community: estimating gene numbers inside a human body, *PLoS ONE*. 4(6) (2009), doi: 10.1371/journal.pone.0006074.
- [6] G. Berg, D. Rybakova, D. Fischer, T. Cernava, M. C. Vergès, T. Charles, X. Chen, L. Cocolin, K. Eversole, G. H. Corral, M. Kazou, L. Kinkel, L. Lange, N. Lima, A. Loy, J. A. Macklin, E. Maguin, T. Mauchline, R. McClure, B. Mitter, M. Ryan, I. Sarand, H. Smidt, B. Schelkle, H. Roume, G. S. Kiran, J. Selvin, R. S. C. Souza, L. van Overbeek, B. K. Singh BK, M. Wagner, A. Walsh, A. Sessitsch, M. Schloter, Microbiome definition re-visited: old concepts and new challenges, *Microbiome*. 8(1) (2020) 119. doi: 10.1186/s40168-020-00875-0
- [7] F & H Löchel, D. Heider, Comparative analyses of error handling strategies for next-generation sequencing in precision medicine, *Scientific Reports*. 10(1) (2020), 5750. doi: 10.1038/s41598-020-62675-8
- [8] A. L. Lapidus, A. I. Korobeynikov, Metagenomic Data Assembly - The Way of Decoding Unknown Microorganisms, *Frontiers in Microbiology*. 12 (2021), 613791. doi:10.3389/fmicb.2021.613791
- [9] S. Jünemann, N. Kleinbölting, S. Jaenicke, C. Henke, J. Hassa, J. Nelkner, Y. Stolze, S.-P. Albaum, A. Schlüter, A. Goesmann, A. Sczyrba, J. Stoye, Bioinformatics for NGS-based metagenomics and the application to biogas research, *Journal of Biotechnology*. 261 (2017), 10–23. doi: 10.1016/j.jbiotec.2017.08.012.
- [10] J. Reinartz, E. Bruyns, J. Z. Lin, T. Burcham, S. Brenner, B. Bowen, M. Kramer, R. Woychik, Massively parallel signature sequencing (MPSS) as a tool for in-depth quantitative gene expression profiling in all organisms, *Briefings in Functional Genomics & Proteomics*, 1(1), (2002), 95–104. doi:10.1093/bfgp/1.1.95
- [11] E. L. van Dijk, Y. Jaszczyszyn, D. Naquin, C. Thermes, The Third Revolution in Sequencing Technology, *Trends in Genetics*. 34(9) (2018), 666–681. doi:10.1016/j.tig.2018.05.008
- [12] Q. Wang, G. M. Garrity, J. M. Tiedje, and J. R. Cole, Naive Bayesian classifier for rapid assignment of rRNA sequences into the new bacterial taxonomy, *Applied and Environmental Microbiology*, 73(16), (2007), 5261–5267. doi: 10.1128/AEM.00062-07.
- [13] F.-H. Karlsson, V. Tremaroli, I. Nookaew, G., Bergström, C.-J. Behre, B. Fagerberg, J. Nielsen, F. Bäckhed, Gut metagenome in European women with normal, impaired and diabetic glucose control, *Nature*. 498(7452) (2013), 99–103. doi: 10.1038/nature12198.
- [14] K. Forslund, F. Hildebrand, T. Nielsen, G. Falony, E. Le Chatelier, S. Sunagawa, E. Prifti, S. Vieira-Silva, V. Gudmundsdottir, H.-K. Pedersen, M. Arumugam, K. Kristiansen, A. Y. Voigt, Vestergaard, H., Hercog, R., P. I. Costea, J. R. Kultima, J. Li, T. Jørgensen, F. Levenez, O. Pedersen, Corrigendum: Disentangling type 2 diabetes and metformin treatment signatures in the human gut microbiota, *Nature*. 545(7652), (2017), 116. doi: 10.1038/nature22318.

- [15] H. İ. Ayaz ve Z. Kamyşlı Öztürk, Shilling attack detection with one class support vector machines, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 5(2) (2023), 246–256. doi: 10.47112/neufmbd.2023.22.
- [16] M. Hacıbeyoğlu, M. Çelik, Ö. Erdaş Çiçek, Energy efficiency estimation in buildings with K nearest neighbor algorithm, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 5(2) (2023), 65–74. doi: 10.47112/neufmbd.2023.10.
- [17] A. Mathieu, M. Leclercq, M. Sanabria, O. Perin, A. Droit, Machine learning and deep learning applications in metagenomic taxonomy and functional annotation, *Frontiers in Microbiology*. 13 (2022). doi:10.3389/fmicb.2022.811495
- [18] P. Li, Y. Pei, and J. Li, A comprehensive survey on design and application of autoencoder in deep learning, *Applied Soft Computing*. 138 (2023). doi:10.1016/j.asoc.2023.110176
- [19] E. Bolyen, J. R. Rideout, M. R. Dillon, N. A. Bokulich, C. C. Abnet, G. A. Al-Ghalith, H. Alexander, E. J. Alm, M. Arumugam, F. Asnicar, Y. Bai, J. E. Bisanz, K. Bittinger, A. Brejnrod, C. J. Brislawn, C. T. Brown, B. J. Callahan, A. M. Caraballo-Rodríguez, J. Chase, E. K. Cope, J. G. Caporaso, Reproducible, interactive, scalable and extensible microbiome data science using QIIME 2, *Nature Biotechnology*. 37(8) (2019), 852–857. doi: 10.1038/s41587-019-0209-9.
- [20] P.P. Lіндеz, J. Johansen, S. Kutuzova, Adversarial and variational autoencoders improve metagenomic binning, *Communications Biology*. 1073 (2023). doi:10.1038/s42003-023-05452-3
- [21] T. Chen and C. Guestrin, XGBoost: A Scalable Tree Boosting System, in: *Volume 16: Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, New York, NY, USA, 2016, 785–794. doi: 10.1145/2939672.2939785.
- [22] J. Carriere, A. Darfeuille-Michaud, H.T. Nguyen, Infectious etiopathogenesis of Crohn's disease, *World Journal of Gastroenterology*, (2014). doi: 10.3748/wjg.v20.i34.12102
- [23] S.C. Ng, C.N. Bernstein, M.H. Vatn, P.L. Kakatos, E.V. Loftus, C. Tysk, Geographic variability and environmental risk factors in inflammatory bowel disease, *Gut*, 62, (2013),630–49. doi: 10.1136/gutjnl-2012-303661
- [24] M. Leon, T. Markovic, and S. Punnekkat, Feature Encoding with Autoencoder and Differential Evolution for Network Intrusion Detection Using Machine Learning, in: *GECCO '22: Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion*, New York, NY, USA, 2022, 2152–2159. doi: 10.1145/3520304.3534009.
- [25] J. Lloyd-Price, C. Arze, A.N. Ananthkrishnan, M. Schirmer, J. Avila-Pacheco, T. W. Poon, E. Andrews, N.J. Ajami, K. S. Bonham, C. J. Brislawn, D. Casero, H. Courtney, A. Gonzalez, T. G. Graeber, A. B. Hall, A. K. Lake, C. J. Landers, H. Mallick, D. R. Plichta, M. Prasad, C. Huttenhower, Multi-omics of the gut microbial ecosystem in inflammatory bowel diseases, *Nature*. 569(7758) (2019) 655–662. doi:10.1038/s41586-019-1237-9
- [26] G. S. Navgire, N. Goel, G. Sawhney, M. Sharma, P. Kaushik, Y.K. Mohanta, T. K. Mohanta, A. Al-Harrasi, Analysis and interpretation of metagenomics data: an approach, *Biological Procedures Online*. 24(1) (2022) 18. doi:10.1186/s12575-022-00179-7