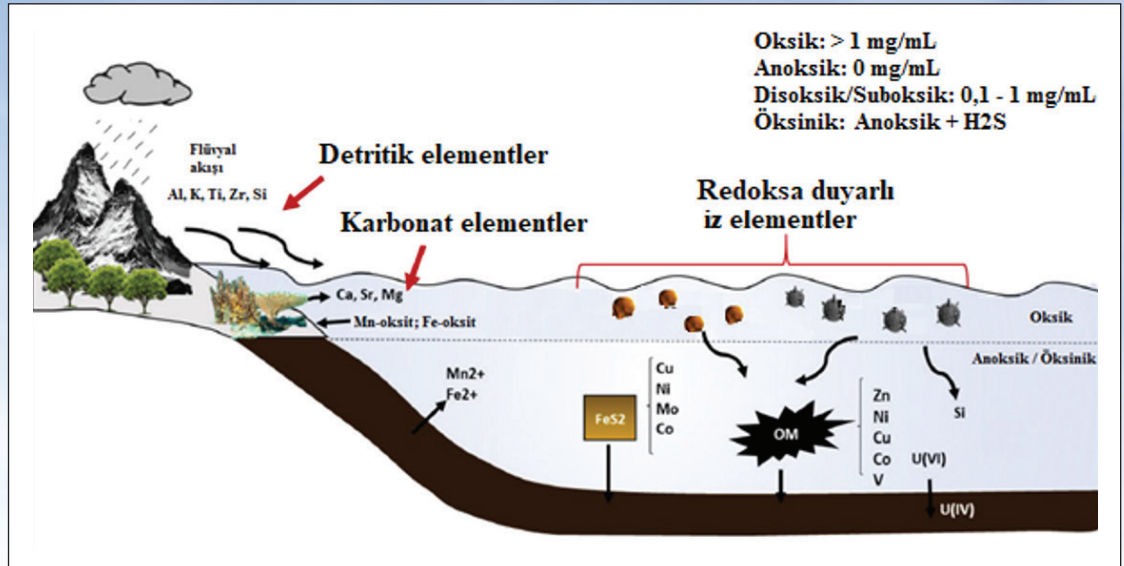


Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Tarafından Yayınlanmaktadır

Published by the Zonguldak Bülent Ecevit University

Karaelmas Science and Engineering Journal



- ❑ Küçük Menderes Havzasında Mann-Kendall ve Şen'in Eğimi Yöntemleri Kullanılarak Meteorolojik Değişkenlerin Trend Analizi
- ❑ Siamese Neural Networks Based Ensemble Model for the Prediction of Protein-Protein Interactions
- ❑ Üretim Fazlası Ürün (Ethylene-Propylene-Unconjugated Diene- EPDM) Kauçuktan Granüllerin Karakterizasyonu ve Yeniden Kullanım Alanlarının Belirlenmesine Yönelik Teknik ve Yasal Değerlendirme
- ❑ Akciğer Röntgen Görüntülerinden Covid-19 ve Zatürre Hastalığının Kuantum Evrişimli Sinir Ağları Yöntemi ile Tahmini
- ❑ Arap Zamkı ModiŞyeli Manyetik Nanopartiküller ile Sulu Çözeltilerden Kromat İyonlarının Uzaklaştırılması
- ❑ Ilgın (Konya) Havzası Miyosen Yaşlı Bitümlü Kilitaşlarındaki Redoksa Duyarlı Element Davranışları ve Redoks Koşulları Arasındaki İlişki
- ❑ Determination of the Effects of Some Water Quality Parameters on Turbidity Parameters in Filyos River with ArtiŞcial Neural Network
- ❑ Some Properties of Generalized Jacobsthal-Like Sequences
- ❑ Enerji Gereksinimlerine Dayalı Fotovoltaik Güneş Enerji Santrali Analizi ve Tasarımı
- ❑ Traktör Uygulamalarında Kullanılan Standart Yapı ve IF Lastik Yapısına Sahip Lastiklerin Taban İzlerinin ve Sehım Değerlerinin Kıyaslanması
- ❑ ClassiŞcation of Knee Osteoarthritis Severity by Transfer Learning from X-Ray Images
- ❑ Parkinson's Disease Detection Via Machine Learning Using Data Splitting and Validation Methods

Cilt / Volume: 14
Sayı / Number: 2
Temmuz / July 2024

ISSN: 2146-4987
E-ISSN: 2146-7277



<https://dergipark.org.tr/tr/pub/karaelmasfen>
<https://dergipark.org.tr/en/pub/karaelmasfen>


Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi

 Dergi web sayfası: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/karaelmasfen>

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Yayın Organı

Official Journal of Zonguldak Bülent Ecevit University


Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Adına Sahibi <i>Owner on Behalf of Zonguldak Bülent Ecevit University</i>	İsmail Hakkı ÖZÖLÇER Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Rektörü
Baş Editör/Editor in Chief	Yılmaz YILDIRIM Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
Sorumlu Müdür/Publishing Manager	Yasin HAZER Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi
Yönetim Yeri/Head Office	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dekanlığı, 67100, İncivez, Zonguldak
Redaksiyon ve Teknik Destek/ <i>Redaction and Technical Support</i>	Salih ERDEM Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Haşim DURU Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Havva KARAHAN Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Fakültesi
Yazışma Adresi/Correspondence Address	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Farabi Kampüsü, İncivez, 67100, Zonguldak Tel : +90 0372 291 11 00
İnternet Adresi/Web Address	https://dergipark.org.tr/tr/pub/karaelmasfen
Yayınevi/Publishing House	Buluş Tasarım ve Matbaacılık Hizmetleri, Bahriye Üçok Cad. 9/1 06500 Beşevler, Ankara, Tel: +90 312 222 44 06 Faks: +90 312 222 44 07 www.bulustasarim.com.tr
Yayın Türü/Publication Type	Yerel Süreli / <i>Periodical</i> Yılda üç sayı yayımlanır: Nisan, Temmuz, Kasım <i>Published three issues per year: April, July, November</i> ISSN: 2146-4987
E-posta /Email	havvaatar@beun.edu.tr

Bu dergideki yazıların dergi standartlarına uygunluğunun kontrolü, dizimi, derginin yayıma hazır hale getirilmesi BULUŞ Tasarım ve Matbaacılık Hizmetleri San.Tic. tarafından gerçekleştirilmiştir.

Review of the articles in the journal to make sure they conform to publishing standards, typesetting, getting the journal ready for publication and finally the publishing process has been the responsibility of Buluş Design and Printing Services Company.


Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi

 Dergi web sayfası: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/karaelmasfen>

Yılda üç sayı yayımlanır

Published three issues per year


Baş Editör <i>Editor in Chief</i>	Yılmaz YILDIRIM	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi <i>Zonguldak Bülent Ecevit University, Faculty of Engineering</i>
Yardımcı Editörler <i>Associate Editors</i>	Rukiye UZUN ARSLAN	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi <i>Zonguldak Bülent Ecevit University, Faculty of Engineering</i>
	Yasin HAZER	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi <i>Zonguldak Bülent Ecevit University, Faculty of Pharmacy</i>
	Salih ERDEM	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi <i>Zonguldak Bülent Ecevit University</i>
	Haşim DURU	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi <i>Zonguldak Bülent Ecevit University</i>
İngilizce Redaksiyon <i>English Redaction</i>	Özgür ZEYDAN	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi <i>Zonguldak Bülent Ecevit University, Faculty of Engineering</i>
	Can Murat DİKMEN	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Fakültesi <i>Zonguldak Bülent Ecevit University, Faculty of Science</i>
	Nizamettin ÖZDOĞAN	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi <i>Zonguldak Bülent Ecevit University, Faculty of Engineering</i>
Sorumlu Müdür <i>Publishing Manager</i>	Yasin HAZER	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi <i>Zonguldak Bülent Ecevit University, Faculty of Pharmacy</i>
Uluslararası Yayın Kurulu <i>International Editorial Board</i>	Ahmet ÖZASLAN	Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey
	Akira HIRAO	Tokyo Institute of Technology, Japan
	Baki HAZER	Kapadokya University, Nevşehir, Turkey
	Boris NATALIN	İstanbul Technical University, İstanbul, Turkey
	Claude TOUZET	University of Provence, Marseille Cedex, France
	David W. STANLEY	Agricultural Research Service-USDA, United States
	Enver DURMUŞOĞLU	Ege University, İzmir, Turkey
	Ferhan ATICI	Western Kentucky University, United States
	Figen KAYA	Yıldız Technical University, İstanbul, Turkey
	Haluk GÜVEN	Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey
	İskender YILGÖR	Koç University, İstanbul, Turkey
	İsmail Hakkı ÖZÖLÇER	Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey
	Kemal BÜYÜKGÜZEL	Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey
	Mahmut ÖZER	Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara, Turkey
	Martin BOHNER	Missouri University of Science and Technology, United States
	Mehmet KARATAŞ	Necmettin Erbakan University, Konya, Turkey
	Mehmet YAMAN	Bolu İzzet Baysal University, Bolu, Turkey
	Melih GENİŞ	Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey
	Mustafa SÖZEN	Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey
	Münever PINAR	Ankara University, Ankara, Turkey
Neil CUMBERLIDGE	Northern Michigan University, Michigan, United States	
Nursel GÜL	Ankara University, Ankara, Turkey	
Per Nicolai MARTENS	RWTH Aachen University, Germany	
Rafat SIDDIQUE	Civil Engineering Thapar University, Paitala (Punjab), India	
Remzi KARAGÜZEL	İstanbul Technical University, İstanbul, Turkey	
Suna CEBESÖY	Ankara University, Ankara, Turkey	
Şahnaz BOLKENT	İstanbul University, İstanbul, Turkey	
Ten FEIZI	Imperial College London, United Kingdom	
Türkan KOPAÇ	Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey	
Umut TOPRAK	Ankara University, Ankara, Turkey	
Yılmaz YILDIRIM	Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Turkey	



AMAÇ ve KAPSAM

Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi (<https://dergipark.org.tr/tr/pub/karaelmasfen>), Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi'nin resmi yayın organıdır.

Derginin amacı, Fen Bilimleri, Temel Sağlık Bilimleri ve Mühendislik Bilimleri alanlarında yapılan özgün araştırma makaleleri, derlemeler, kısa makaleler, teknik not, kitap eleştirileri ve bilimsel nitelikli editöre mektupları yayınlayan uluslar arası ve saygın bilimsel bir dergi olmaktır.

Bu dergide yayınlanan makaleler, bağımsız ve önyargısız çift-körleme hakemlik (peer-review) ilkeleri doğrultusunda bir danışma kurulu tarafından değerlendirilir. Makaleler başlıca altı kategoride yayımlanır: (1) "Araştırma Makaleleri", (2) "Derleme Makaleler", (3) "Kısa Makaleler", (4) "Teknik Not ve Vaka Takdimleri", (5) "Editöre Mektuplar", (6) "Kitap ve Yazılım Programı Eleştirileri". Makaleler Türkçe veya İngilizce dillerinde yazılabilir; İngilizce veya Türkçe Özetler ile anahtar sözcükler içermelidir.

Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, Nisan, Temmuz ve Kasım aylarında olmak üzere yılda üç kez yayınlanmaktadır ve <https://dergipark.org.tr/tr/pub/karaelmasfen> internet adresi üzerinden takip edilebilir.

Yayın İzni

Bireysel kullanım dışında, Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi'nde yayımlanan makaleler, şekiller ve çizelgeler yazılı izni olmaksızın çoğaltılamaz, bir sistemde arşivlenemez veya reklam ya da tanıtım amaçlı materyallerde kullanılamaz.

Bilimsel makalelerde, uygun şekilde kaynak gösterilerek alıntı yapılabilir.

Abone İşlemleri

Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, Üniversite Kütüphanelerine ve bilim insanlarına düzenli olarak ulaştırılmaktadır. Yayımlanan makalelerin tam metnine, çizelgelerine ve özetlerine çevrim-içi olarak <https://dergipark.org.tr/tr/pub/karaelmasfen> adresinden ücretsiz olarak erişilebilmektedir.

Yazıların Bilimsel ve Hukuki Sorumluluğu

Yayımlanan yazıların bilimsel ve hukuki sorumluluğu yazarlarına aittir. Yazıların içeriğinden ve kaynakların doğruluğundan yazarlar sorumludur. Editör, Yardımcı Editörler, Yayın ve Danışma Kurulu üyeleri ve Yayımcı, dergideki hatalardan veya bilgilerin kullanımından doğacak olan sonuçlardan dolayı sorumluluk kabul etmez.

Yazarlarımızın etik ihlalleri ile ilgili tüm iddia ve kesinleşmiş süreçler kendi sorumluluklarında olup, kesinleşen etik ihlalleri durumunda makale otomatik iptal edilir.

AIMS and SCOPE

Karaelmas Science and Engineering Journal (<https://dergipark.org.tr/en/pub/karaelmasfen>), is the official journal of Zonguldak Bülent Ecevit University.

The journal's aim is to be scientific journal publishing original papers, reviews, short communications, technical book reviews and scientific editorial letters of science in the following areas: basic sciences, basic medicine science and engineering fields.

Articles submitted to this journal are evaluated in a double blinded peer-reviewed fashion by an advisory committee. Articles are published mainly in six categories: (1) "Research articles", (2) "Review Articles", (3) "Short Communications", (4) "Technical Notes and Case Reports", (5) "Letters to the Editor" and (6) "Book/Software Reviews". All articles may be written in Turkish or English, and should include English and Turkish abstracts and key words.

Karaelmas Science and Engineering Journal is published three issues per year in April, July and November.

The journal has also been available on-line by a website: <https://dergipark.org.tr/en/pub/karaelmasfen>

Permission Requests

Manuscripts, figures and tables published in the Karaelmas Science and Engineering Journal cannot be reproduced, archived in a retrieval system, or used for advertising purposes, except personal use.

Citations may be used in scientific articles with proper referral.

Subscriptions

Karaelmas Science and Engineering Journal is delivered complimentary to University Library and scientists Tables of contents, abstracts and full texts of all articles published are accessible free of charge through the web site <https://dergipark.org.tr/en/pub/karaelmasfen>

Scientific and Legal Responsibilities

Scientific and legal responsibilities pertaining to the papers belong to the authors. Contents of the manuscripts and accuracy of references are also at the authors' responsibility. Editor, Associate Editors, Editorial and Advisory Board members and the Publisher decline responsibility for errors or any consequences arising from the use of information contained in this journal.

All claims and finalized processes regarding violations of ethics by our authors are under their own responsibility, and in case of ethical violations, the article is automatically canceled.



YAZARLARA BİLGİLER

Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, Fen Bilimleri, Temel Sağlık Bilimleri ve Mühendislik Bilimleri alanlarında yapılan özgün araştırma makaleleri, derlemeler, kısa makaleler, teknik not, kitap eleştirileri ve bilimsel nitelikli editöre mektupları yayınlayan uluslararası bir dergidir. Nisan, Temmuz ve Kasım aylarında olmak üzere yılda üç kez yayınlanır. Dergi, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/karaelmasfeninternet> adresi üzerinden takip edilebilir.

Dergide yayınlanacak makale türleri aşağıdaki gibidir.

Araştırma makalesi: Makale mutlaka orijinal ve daha önce hiç bir dergide basılmamış veya sunulmamış olmalı, makale yayınlamada sayfa sınırı kaynaklar dahil 30 sayfayı geçmemelidir.

Derlemeler: Herhangi bir araştırma alanındaki son yıllarda yaşanan gelişmeleri ve bu konuda son yıllarda yapılmış çalışmaların bir araya getirildiği makale türüdür. 15 sayfayı geçmemelidir.

Kısa makaleler: Küçük çapta yapılan çalışmalar, orijinal araştırma deneylerinin ön sonuçlarından, yeni buluşlar ve klinik deneylerden oluşmalı ve 5 sayfayı geçmemelidir.

Teknik notlar, Olgu sunumları: Bilimsel olarak önemli katkı sunan raporlardan oluşmalı ve 3 sayfayı geçmemelidir.

Editöre mektuplar: Herhangi bir araştırma konusuna ait fikirler, haberleri, önerileri kapsamalıdır ve 2 sayfayı geçmemelidir.

Kitap veya yazılım programlarına ait eleştiriler: Kitap veya yazılım programı hakkındaki kısa ve özet bilgileri içermelidir ve 1 sayfayı geçmemelidir.

YAYIN KURALLARI

Dergide yayınlanacak makalelerin yazım dili Türkçe veya İngilizcedir. Yazım kurallarına uymayan makaleler, hakemlere gönderilmeden düzeltilmek üzere yazara geri gönderilir. Bu nedenle derginin yazım kuralları dikkate alınmalıdır. Makaleler şekiller ve çizelgeler dahil 20 sayfayı geçmemelidir. Dergiye yayın için gönderilen makaleler iki uzman hakem tarafından değerlendirilir ve yayınlanmasına editör tarafından karar verilir. Dergiye gönderilen yazılar başka bir yerde yayınlanmamış veya yayınlamak üzere gönderilmemiş olmalıdır. Dergide yayınlanmak üzere kabul edilmiş olan yazıların yayın hakları Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisine aittir. Düzeltilmiş yazılar 3 ay içerisinde editöre gönderilecektir.

DEĞERLENDİRME SÜRECİ

Dergi yönergelerine uymayan yazılar, bilimsel değerlendirme yapılmadan yazarlara iade edilecektir. Dergi yönergelerine uygun olarak gönderilen makaleler, onları hakemlere atayacak olan Baş Editör veya Yardımcı Editör tarafından incelenir. İnceleme süreci tek kördür. Hakem önerileri, alan editörlerinin görüşleri ve yayının literatüre katkısı doğrultusunda Editör karar mektubunu yazar. İncelenmemiş tüm yazılar 10 gün içinde geri gönderilir ve yazıların karar mektupları 3-6 ay içinde gönderilir.

Makalelerdeki tüm değişiklikler yazarları tarafından yapılır. Son şekli verilen ve yayına hazırlanan makaleler üzerinde yazarlarca bir değişiklik yapılamaz. Her ne nedenle olursa olsun makalesinin yayınlanmasından vazgeçen bir yazar, makalesini dergiye sunum tarihinden itibaren en fazla iki ay içerisinde çekebilir. Hayvan deneylerinde etik kurul izin belgesi gereklidir.

MAKALE SUNUMU

Makaleler elektronik ortamda sunulacaktır.

YAZIM KURALLARI

- Makale A4 boyutlu kağıda, tek yüze, tüm kenarlardan 2.5 cm boşluk bırakılarak bir buçuk (1.5) satır aralıklı ve iki yana yaslı yazılmalıdır. Dergimizin yazım kurallarına ulaşmak için lütfen linke tıklayınız.
<https://dergipark.org.tr/tr/pub/karaelmasfen/writing-rules>
- Yazım biçimi tüm metin için **Times New Roman yazı tipi** ve **12 punto** Microsoft Word kullanılarak hazırlanmalıdır. Metnin tamamı siyah-beyaz renkte olmalıdır.
- Satır başları ilk sayfadan itibaren sürekli olarak (şekiller, çizelgeler ve kaynaklar dahil olmak üzere) numaralandırılmalıdır. Sayfa numaraları, sayfaların alt orta bölümlerine konmalıdır.
- Eserin sisteme yüklenen Tam Metin dosyasında kör hakemlikten dolayı yazara ait bilgiler verilmemelidir. Yazara ait bilgiler Kapak Sayfasında yer almalıdır.
- Makalenin ana bölümleri, Türkçe Öz, İngilizce Öz (Abstract), Giriş, Geçer ve yöntem(ler) (Saha tanımlamaları, çalışılan malzeme vd. Yöntemler kısmının altında alt başlık olarak verilmelidir), Bulgular ve tartışma, Sonuç ve Öneriler ve Kaynaklardan oluşur.
- Latince isimler italik olarak yazılmalıdır.
- Makale yayınlamada SAYFA SINIRI kaynaklar dahil 30 sayfayı geçmemelidir.

Kapak Sayfası: Kapak Sayfası ayrı Microsoft Word dosyası olmalıdır. Kapak Sayfasında başlık, tüm yazarın tam adı, kurumlar ve ORCID'ler; sorumlu yazarın iletişim adresi ve e-posta adresi verilmelidir.

Kapak Yazısı Planı:

- Makale türü
- Türkçe ve İngilizce başlık
- Yazar adları ve adresleri
- Sorumlu yazarın adı, adresi ve e-posta adresi
- Kısa başlık
- Tüm yazarların ORCID'leri
- Etik gerektiren tüm çalışmaların Etik Kurul Kararı eklenmelidir.

Tam Metin Sayfasının Planı

İlk sayfa Özet Sayfasıdır. Özet Sayfasının planı aşağıdaki gibi olmalıdır:

- Türkçe makalelerde

a) Türkçe Başlık (12 Punto)	d) Anahtar Kelimeler (12 Punto)*
b) İngilizce Başlık (İtalik, 12 Punto)	e) Abstract (12 Punto)
c) Öz (12 Punto)	f) Keywords (12 Punto)
- İngilizce makalelerde

a) English Title (12 punto)	d) Keywords (12 punto)*
b) Türkçe Başlık (İtalik 12 punto)	e) Öz (12 punto)
c) Abstract (12 punto)	f) Anahtar Kelimeler (12 punto)

*Anahtar kelimelerden sadece ilk anahtar kelimenin ilk harfi büyük diğerlerinin ilk harfleri küçük olmalıdır.



Başlık: Metin ile uyumlu, kısa ve anlaşılır olmalıdır. Ortalanmış olarak, sadece ilk harfi büyük sonrakiler küçük, 12 punto ve koyu olmalıdır.

Yazar adları ve adresleri: Başlığın altındaki yazar isimleri kısaltması (Akademik unvan kullanılmamalıdır), adı ve soyadı (varsa ikinci ismi veya soy ismi) küçük harf ile ortalanmış olarak 12 punto ve koyu yazı karakteri ile yazılmalıdır. Yazar isimlerinden sonra adres belirtmek için üst simge olarak rakam kullanılmalıdır (^{1 2 3} gibi). Sorumlu yazar isminde yıldız sembolü olmalıdır (*). Yazarların tam adresleri küçük harfle, ortali ve 12 punto olarak yazılmalı, sırasıyla Üniversite, Fakülte, Bölüm, Şehir ve Ülke belirtilmelidir. Sorumlu yazarın e-posta adresi, adresinin sonunda mutlaka verilmelidir.

Öz ve Anahtar Kelimeler: Özetler 12 punto ile yazılmalı, maksimum 250 kelime olmalıdır. Özetler makaleden elde edilen sonuçları ortaya koymalıdır. Türkçe ve İngilizce özetin altında makale başlığında geçmeyen 3-5 kelimedenden oluşan Anahtar kelimeler yazılmalıdır. Anahtar kelimeler alfabetik sıraya göre verilmelidir. Anahtar kelimelerden sadece ilk anahtar kelimenin ilk harfi büyük diğerlerinin ilk harfleri küçük olmalıdır. Anahtar kelimeler virgül ile ayrılmalı ve sonra bir karakter boşluk bırakılmalıdır.

Anahtar kelimelerden sonra arada bir satır bırakılarak Giriş bölümü başlatılmalıdır. Tam metinlerde makaledeki ana başlıklar ve varsa alt başlıklar anlaşılır olmalıdır. Anahtar kelimeler sola hizalı, sadece ilk kelimenin ilk harfi büyük ve koyu renkli olmalıdır. Alt başlıklar küçük ve italik yazılmalıdır. Ana ve alt başlıklara numara verilmelidir.

Giriş: Araştırmanın amacı, önemi ve konusunda yapılmış yayınlar arasındaki yeri belirtilmelidir.

Gereç ve Yöntem(ler): Uygulanan yöntemler ve teknikler anlaşılır bir şekilde verilmelidir. Daha önce yapılmış referanslar ile desteklenmelidir. İstatistiksel modeller ve analiz yöntemleri açıkça belirtilmelidir.

Bulgular ve Tartışma: Bu bölümde elde edilen bulgulara yer verilmeli, bulgular gerekirse şekil ve çizelgelerle de desteklenmelidir. Elde edilen bulgular ilgili literatürlerle karşılaştırılmalıdır. Bulguların benzer ve farklılıkları yorumlanarak, çalışmadan elde edilen bulgular özetlenmelidir.

Sonuç ve Öneriler: Sonuçlar özetlenmeli ve öneriler yapılmalıdır.

Teşekkür: Araştırmaya destek olan kişi ve kuruluşlara yapılan teşekkürleri içermelidir.

Her türlü çıkar çatışması, finansal destek, yazarların katkı beyanı, bağış ve diğer editorial (istatistik analiz, İngilizce/Türkçe değerlendirme) ve/veya teknik yardım var ise metnin sonunda sunulmalıdır.

Yazar Katkısı: Yazar A: çalışmayı planlamış ve tasarlamıştır, Yazar B: Çalışma hakkında verileri toplamış ve analiz etmiştir, Yazar C: Çalışmanın analizlerini yaparak makaleyi yazmıştır.

Etik Kurul Onayı: Eğer varsa etik kurul onayı eklenmelidir. Üzerinde etik kurul onayını veren kurum, onay numarası ve tarih yazılmalıdır.

Kaynaklar: Gönderilen makalelerin kaynakça kısmı hariç genel benzerlik oranı %20'yi geçmemelidir. Her türlü intihal içeren makale otomatik olarak reddedilecektir. amış bilgiler kaynak olarak verilmemelidir. Ancak, tamamlanmış ve jüriden geçmiş tezler kaynak olarak verilebilir. Kaynaklar, makale sonunda alfabetik sırada (yazar soyadlarına göre) verilmeli, yazar adı ve soyadları, makalenin basım tarihi koyu olarak yazılmalıdır.

İntihal Raporu: Gönderilen makalelerin kaynakça kısmı hariç genel benzerlik oranı %20'yi geçmemelidir. Her türlü intihal içeren makale otomatik olarak reddedilecektir.

Telif Hakkı Devir Sözleşmesi: Sayfada yer alan "Copyright Transfer Form" bağlantısına tıklayarak açılan form doldurulmalıdır, imzalı yüklenmelidir. Dergimizin telif hakkı devir sözleşmesine ulaşmak için lütfen linke tıklayınız.

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/karaelmasfen/page/10931>

Kaynakların metin içerisindeki kullanımını aşağıda verilmiştir:

1. Türkçe Makalelerde:

Tek yazarlı çalışma (Aliskan 2021). İki yazarlı çalışma (Yıldırım ve Topaloğlu 2018) şeklinde belirtilmelidir.

Üç ve daha fazla yazar söz konusu ise (Yılmaz vd. 2007, Erdem vd. 2022) şeklinde, aynı yazarın birden fazla makalesi kullanılacaksa (Erdem vd. 2022a, 2022b) şeklinde olmalıdır.

Herhangi bir kaynaktan alıntı yapılmışsa: Karahan ve Çölgeçen (2021)'e göre..... şeklinde olmuştur; Yılmaz vd. (2007)'e göre; diye yazılmalıdır.

2. İngilizce Makalelerde:

Tek yazarlı çalışma (Aliskan 2021). İki yazarlı çalışma (Yıldırım and Topaloğlu 2018). Herhangi bir kaynaktan alıntı yapılmışsa.... according to Ünlü and Gerçek (2023)... şeklindedir diye belirtilmelidir.

Üç ve daha fazla yazardan oluşan çalışmalar (Evans et al. 2023, Landen et al. 2021) şeklinde olmalıdır. Alıntı yapılacaksa.... according to Landen et al. (2021)... diye yazılmalıdır.

Kaynak gösterilecek yayında kaç isim varsa, kaynaklar bölümünde tümü belirtilmeli, kısaltma yapılmamalıdır.

Türkçe ve İngilizce makalelerde, yazılım programları metin içerisinde ismi ve yılı belirtilerek (IBM SPSS Statistics 2016) şeklinde verilmelidir.

Kaynakların metin sonunda veriliş şekilleri aşağıdaki gibidir:

Kaynaklar alfabetik sıraya göre yazılmalıdır.

Makale:

Tek yazarlı

İşınkaralar, K. 2022. Theoretical removal study of gas BTEX onto activated carbon produced from Digitalis purpurea L. biomass. Biomass Convers. Biorefin., 12(9): 4171-4181. Doi: 10.1007/s13399-022-02558-2

İki yazarlı

Eker Şanlı, G., Tasdemir, Y. 2022. Accumulations and temporal trends of polychlorinated biphenyls (PCBs) in olive tree components. Environ. Geochem. Health., 44(8): 2577-2594. Doi:10.1007/s10653-021-01046-2

Yaralı, O., Duru, H. 2016. Investigation into effect of scratch length and surface condition on Cerchar abrasivity index. Tunn. Undergr. Space Technol., 60: 111-120. Doi: 10.1016/j.tust.2016.08.005

Üç ve daha fazla yazarlı

Erdem, S., Gonca, E., Başoğlu, G., Aydemir, E. 2022. İskemi sonrası verilen kannabinoid reperfüzyon ile uyarılan aritmilere karşı koruyucu etkilidir. Med. J. West Black Sea, 6(1): 16-23. Doi: 10.29058/mjwbs.1016783

Erkaymaz, O., Yapıcı, İ.S., Uzun Arslan, R. 2021. Effects of obesity on time-frequency components of electroretinogram signal using continuous wavelet transform. Biomed. Signal Process Control, 66: 102398. Doi: 10.1016/j.bspc.2020.102398

Öztürk, Ş., Hazer Y., Kaşkatepe, B., Çölgeçen, H., Kulak, M. 2023. Kırmızı kantaron (Hypericum capitatum) bitkisi: fenolik içeriklerinin, antioksidan aktivitesinin belirlenmesi ve klinik izolatlar üzerinde antimikrobiyal etkinliğinin araştırılması. Batı Karadeniz Tıp Dergisi, 7(1): 57-65. Doi: 10.29058/mjwbs.1251370

Aynı yazarın iki veya daha fazla çalışması kullanılmışsa kaynaklar tarih sırasına göre dizilmelidir.

Berndt, T. J. (2022).



Berndt, T. J. (2023)

Yedi yazardan fazla ise ilk altı yazarın adı listelendikten sonra üç nokta koyup son yazarın adı eklenir. Yedi isimden fazlası yer almamalıdır.

Miller, FH., Choi, MJ., Angeli, LL., Harland, AA., Stamos, JA., Thomas, ST., . . . Rubin, LH. 2009. Web site usability for the blind and low-vision user. Technical Communication, 57: 323-335.

Kitap:

Reşat, U. 2001. Uygulamalı jeoteknik bilgiler. 4. Basım, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Nitelik Matbaacılık, Ankara, 385 s. Sanford, RJ. 2003.

Principles of fracture mechanics, Prentice Hall, Pearson Education, Inc. Upper Saddle River, USA, 404 pp.

Kitapta Bölüm:

Atar, H., Çölgeçen, H. 2020. Bioactive compounds of oregano seeds. Victor R. Preedy, Ronald Ross Watson [eds.], Nuts & Seeds in Health and Disease Prevention (2nd ed.). Oxford: Academic Press is an imprint of Elsevier, London, San Diego, Cambridge, pp. 73-77.

Rapor:

Makarewicz, JC., Lewis, T., Bertram, P. 1995. Epilimnetic phytoplankton and zooplankton biomass and species composition in Lake Michigan, 1983-1992. U.S. EPA Great Lakes National Program, Chicago, IL. EPA 905-R-95-009.

Kongre, Sempozyum:

Karahan, H., Çölgeçen, H. 2021. Uptake of silver nanoparticles in natural tetraploid Trifolium pratense L. calli. 10th International Molecular Biology and Biotechnology Congress, s. 56, Turkey.

İnternet:

Eğer bir bilgi herhangi bir internet sayfasından alınmış ise (internette alınmış ve dergilerde yayınlanan makaleler hariç), kaynaklar bölümüne internet sitesinin ismi ve konu başlığı tam olarak yazılmalıdır.

Web sayfası:

TUİK 2023. <https://www.tuik.gov.tr/>

Yazarlı web sayfası:

Dawson, J., Smith, L. Deubert, K. 31 Ekim 2002. <http://studytrekk.lis.curtin.edu.au/> şeklinde belirtilmelidir.

Baskıda olan makale:

Evans, MA. 2023. Makale başlığı. Dergi. (DOI).

Tezler:

Duru, H. 2020. Geliştirilen cerchar aşındırıcılık deney aletiyle kayaçların spesifik çizme enerjisinin araştırılması. Doktora Tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, 175 s.

Yazılım:

SPSS Statistics 24.0. Software, IBM, United States.

Çizelgeler ve Şekiller: Tüm şekil ve çizelgeler makale içerisinde sırayla numaralandırılmalı (Çizelge 1, Şekil 1, Çizelge 2 ve 3, Şekil 2 ve 3, Şekil 4, Çizelge 2) (şekil ve çizelgeler metin içerisinde verilmelidir.), şekillerin sıra numaraları ve başlıkları altta, çizelgelerinki ise üstlerine iki yana yazılmalıdır, metin içinde atıfları Çizelge 1, Şekil 1 şeklinde olmalıdır. Grafik ve şekiller sayfa boyutları dikkate alınarak çizilmelidir. Grafikler, çizimler ve fotoğraflar JPEG, PNG ya da TIFF formatında (en az 300 dpi çözünürlükte) siyah-beyaz veya renkli olarak sunulmalıdır. Fotoğraflarda büyütme göstermek için mutlaka bar kullanılmalıdır.

Çizelgede verilecek olan verilerde standart sapma veya standart hatalar (1.42 ± 1.36) şeklinde, istatistiksel analiz yapılmışsa (731.2ab) şeklinde, bunların başlık olarak yazılış şekilleri de ($ort \pm SE$; $ort \pm SD$, vb.) gibi olmalıdır.

Denklemler: Matematiksel ifadeler Cambria Math yazı stili ile "Equation Editor" (word ortamında) kullanılarak 12 punto ve alt ve üst indisler 12 punto yazılmalıdır. Metin içerisinde geçen eşitlikler normal parantez () içerisinde numaralandırılmalıdır. Denklem sıra numarası ile birlikte (parantez içerisinde) yazılmalıdır.

Ekler: Tüm ekler ayrı sayfaya yazılmalı ve Romen rakamları ile numaralandırılmalıdır. Matematik dalında yayın gönderecek yazarların konu sınıflandırma numarasını (AMS-Mathematical Subject Classification Number) belirtmeleri gerekir.

Semboller ve Birimler: Metrik sistem veya SI birimleri (kPa, kN/m³, g/cm², m/sn, g/m³, vb.) kullanılmalıdır. Gerek metin içinde ve çizelgelerde, gerekse şekillerde rakamların ondalık bölümlerinin belirtilmesi için nokta kullanılmalıdır (10.25 gibi). Yüzdelik birimler (%50) şeklinde belirtilmelidir.

Kısaltmalar: Zamanla ilgili olan kısaltmalar: sn (saniye), dk (dakika), sa (saat), hf (hafta), y (yıl) olarak belirtilmelidir. Tarihler verilirken gün ay ve yıl kısaltma yapmadan tam olarak yazılmalıdır (19 Mayıs 2023).

Sayılar: Sayılar cümle başlarında yazı ile verilmelidir. Birden dokuza kadar olan sayılar yazı ile, 10 ve daha büyük sayılar rakamla belirtilmelidir. Birden küçük olan sayılar (0.05, 0.56, 0.50, $p < 0.05$, vb.) olarak belirtilmelidir.

Dipnotlar: Çizelgede kullanılacak olan dipnotlar istatistiksel analiz yapıldığı durumlarda (* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$; NS, istatistiksel olarak önemsizdir, vb.) şeklinde olmalıdır. Derginin bir sayısında, ilk isim olarak bir yazarın üçten fazla eseri basılamaz. Dönemler içerisinde üçten fazla eser gönderilmişse, ilk üçü dışında kalanlar daha sonraki sayılara aktarılır.

Makale Yazım Kontrol Listesi

Makale dergiye sunulmadan önce makalenin yazım kurallarına uygun olup olmadığından emin olmak için aşağıda belirtilen kontrolleri yapınız.

- Kapak sayfası, Tam metin sayfası, Telif hakkı bildirim formu ve İntihal raporu eklendi mi?
- İmla ve dilbilgisi kontrolü yapıldı mı?
- Tüm sayfa düzeni 1.5 satır aralıklı yazıldı mı?
- Köşelerden 2.5 cm boşluk bırakıldı mı?
- Yazı tipi Times New Roman ve büyüklüğü 12 punto mu?
- Metin içerisindeki başlıklar sola hizalı, 12 punto ve koyu renkli yazıldı mı?
- Tüm yazarların adları ve soyadları kısaltma yapılmadan belirtildi mi?
- Adresler belirtildi mi?
- Başlık 12 punto koyu yazı karakteri ile ortalanarak yazıldı mı?
- Öz (Abstract) ve Anahtar kelimeler (Keywords) yazıldı mı?
- Kaynaklar yazım kurallarına göre ve alfabetik sırayla yazıldı mı?
- Ondalık dilimler nokta ile belirtildi mi? (10.25 gibi)
- Yüzdelik gösterimler (%63, %10 gibi) şeklinde yapıldı mı?
- Çizelgelerin maksimum boyutu 16x20 cm; minimum 8 cm mi?
- Çizelgelerin numaraları (Çizelge 1, Çizelge 2, Çizelge 3 vs.) makale içerisinde sırayla verildi mi?
- Orijinal şekiller eklendi mi?
- Şekiller yazım kurallarına uygun olarak düzenlendi mi?
- Şekillerin maksimum boyutu 16x20 cm; minimum 8 cm, minimum 300 dpi mi?
- Şekillerin numaraları (Şekil 1, Şekil 2, Şekil 3 vs.) makale içerisinde sırayla verildi mi?
- Tüm sayfa ve satırlara numara verildi mi?



ETİK KURALLAR

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesinin yayın organı olan Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi ulusal ve uluslararası tüm kurum ve kişilere ücretsiz olarak ulaşmayı hedefleyen hakemli bir dergidir.

Dergimize gönderilen bilimsel yazılarda, ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors) tavsiyeleri ile COPE (Committee on Publication Ethics)'un Editör ve Yazarlar için Uluslararası Standartları dikkate alınmaktadır.

Yazarlarımızın etik ihlalleri ile ilgili tüm iddia ve kesinleşmiş süreçler kendi sorumluluklarında olup, kesinleşen etik ihlalleri durumunda makale otomatik iptal edilir.

Hakemler İçin Etik Kurallar

Hakemler;

- Değerlendirdiği yazıların gizliliğine saygı gösterir ve makaleyi tartışmaz veya yazı hakkında başka herhangi bir kişiyle iletişim kurmaz.
- Olası bir çıkar çatışması olduğunda editörü konu hakkında bilgilendirir.
- Önerileri için nesnel ve yapıcı bir açıklama sağlar.
- Makaleye ilişkin kararlarının konudan veya yazarlık biçiminden etkilenmesine izin vermez.
- Güçlü bir bilimsel gerekçe olmadıkça yazarın kendi makalelerini belirtmesini istemez.
- Yazarlar tarafından yayınlanmadan önce kendi çalışmalarının hiçbirinde incelenen makalenin herhangi bir bölümünü veya bilgiyi çoğaltmaz.
- Hakem değerlendirmelerini sadece uzmanlıkları dahilinde ve makul bir süre içinde kabul eder.
- Yazının yayına çıkmasını geciktirecek ertelemeler yapmaz.
- Hakaret, düşmanca veya küçük düşürücü bir dil kullanmaz.
- Gönderilen makaleleri ve ilgili tüm materyalleri inceledikten sonra imha eder.

https://publicationethics.org/files/Ethical_guidelines_for_peer_reviewers_0.pdf

Yazarlar İçin Etik Kurallar

Yazarlar ve yardımcı yazarlar;

- International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE) tarafından belirtilen yazar kriterlerine uygunluk sağlanır;
 - Eserin tasarımına veya tasarımına önemli katkılar sağlayan verilerin elde edilmesi, analizi veya yorumlanması
 - Çalışmanın hazırlanması veya literatürün içerik için eleştirel olarak gözden geçirilmesi
 - Yayınlanacak versiyonun nihai onayı
 - Çalışmanın herhangi bir bölümünün doğruluğu veya bütünlüğü ile ilgili soruların uygun şekilde soruşturulup çözülmesini sağlamada, çalışmanın tüm yönlerinden sorumlu olacak anlaşma.
- Gönderilen makaleler yazar(lar)ın özgün çalışması olmalıdır ve eşzamanlı olarak farklı yayıncılara gönderilmemelidir

- Yazar(lar) araştırma önerisinde, icrasında ya da araştırma sonuçlarını raporlarken araştırma suistimali olarak tanımlanan uydurma, tahrifat ya da intihalden sorumludur.
- Gönderilen makalelerde çıkar çatışması varsa editöre bilgi verilmelidir
- Gönderilen makalelerde ön kontrol, değerlendirme süreci ya da yayınlanmış olan sürümünde yazar veya yardımcı yazarlar tarafından hata fark edilirse bilgi vermek, düzeltmek ya da geri çekmek için editörü bilgilendirmelidir.
- Makale gönderildikten sonra yazar sıralamaları ve yazar eklemeler, çıkartmaları önerilmemelidir
- Yazar(lar), etik kurul kararı gerektiren araştırmalar için etik kurul onayı aldığını; etik kurul adı, karar tarihi ve sayısı aday makalenin ilk-son sayfasında ve yöntem bölümünde belirtmeli, etik kurul kararını gösteren belgeyi makalenin başvurusuyla birlikte sisteme yüklemelidir.
- Yazarlar olgu sunumlarında olur/onam formunun alındığına ilişkin bilgiye makalede yer vermemelidir.
- Kullanılan fikir ve sanat eserleri için telif hakları düzenlemelerine riayet edilmesi gerekmektedir.
- Makale sonunda; Araştırmacıların Katkı Oranı beyanı, varsa Destek ve Teşekkür Beyanı, Çatışma Beyanı verilmelidir.

<http://www.icmje.org/icmje-recommendations.pdf>

https://www.ease.org.uk/wp-content/uploads/2018/11/doi.10.20316.ESE.2018.44.e1.tr_.pdf

Editörler İçin Etik Kurallar

Editörler:

- Okuyucular, araştırmayı veya diğer bilimsel çalışmaları kimin finanse ettiği ve fon verenlerin araştırmada ve yayınlanmasında herhangi bir rolü olup olmadığı ve eğer öyleyse bunun ne olduğu konusunda bilgilendirilmelidir.
- Editörlerin yayın için bir makaleyi kabul etme veya reddetme kararları, makalenin önemi, özgünlüğü ve netliği ile çalışmanın geçerliliği ve derginin görev alanına uygunluğuna dayanmalıdır.
- Editörler, gönderimle ilgili ciddi sorunlar tespit edilmedikçe, gönderimleri kabul etme kararlarını tersine çevirmemelidir.
- Ciddi sorunlar tespit edilmedikçe yeni editörler, bir önceki editör tarafından yapılan başvuruları yayınlama kararlarını bozmamalıdır.
- Hakem değerlendirmesi süreçlerinin bir açıklaması yapılmalı ve editörler açıklanan süreçlerden önemli sapmaları ortaya çıkarmalıdır.
- Yazarların editöryal kararlara itiraz edebilmeleri için beyan edilmiş bir mekanizmaya sahiptir.
- Editörler, kendilerinden beklenen her şey hakkında yazarlara rehberlik etmelidir. Bu rehberlik düzenli olarak güncellenmeli ve bu koda atıfta bulunmalı veya bu koda bağlantı vermemelidir.
- Editörler, International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE) önerdiği yazarlık kriterlerini belirtmelidir.
- Editörler, kabul etmeden önce gözden geçirenlerin rekabet edebilecek potansiyel çıkarları ifşa etmelerini istemelidir bir sunumu gözden geçirin.



- Editörler, hakemlerin kimliklerinin korunmasını sağlayacak sistemlere sahip olmalıdır. Yazarlara ve hakemlere bildirilen açık bir inceleme sistemi kullanır.
- Editörler, yeni yayın kurulu üyelerine kendilerinden beklenen her şey hakkında kılavuzlar sunmalı ve mevcut üyeleri yeni politikalar ve gelişmeler hakkında güncel tutmalıdır.
- Editörler, derginin kalitesine ve uygunluğuna göre ve dergi sahibinin / yayıncının müdahalesi olmadan hangi makalelerin yayınlanacağına karar vermelidir.
- Editörlerin derginin sahibi ve / veya yayıncı ile ilişkilerini belirleyen yazılı bir sözleşmesi olmalıdır. Bu sözleşmenin şartları Dergi Editörleri için COPE Davranış Kuralları ile uyumlu olmalıdır.
- Editörler dergilerindeki hakem değerlendirmelerinin adil, tarafsız ve zamanında yapılmasını sağlamak için çaba göstermelidir.
- Editörler, dergilerine gönderilen materyallerin incelenirken gizli kalmasını sağlayacak sistemlere sahip olmalıdır.
- Editörler, dergilerdeki bölümlerin farklı amaç ve standartlara sahip olacağını kabul ederek, yayınladıkları materyalin kalitesini sağlamak için tüm makul adımları atmalıdır.

<https://publicationethics.org/files/Code%20of%20Conduct.pdf>



YAYIN ETİĞİ

Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisinin yayın etiği beyanı, www.publicationethics.org adresinde bulunan Yayın Etiği Komitesi'nin (COPE) Davranış Kuralları kılavuzuna dayanmaktadır.

Editörlerin Görevleri

Adil ve editoryal bağımsızlık

Editörler sunulan makaleleri, yazarların ırkı, cinsiyeti, cinsel tercihi, etnik kökeni, vatandaşlığı, dini inancı, siyasi felsefesi veya kurumsal eğilimleri ne olursa olsun, sadece akademik yararları (önemi, özgünlük, çalışmanın geçerliliği, netliği) ve derginin kapsamıyla olan ilgisine göre değerlendirirler. Düzenleme ve yayınlama kararları, hükümetlerin veya derginin dışındaki diğer kurumların politikaları tarafından belirlenmez. Genel Yayın Yönetmeni, derginin tüm editoryal içeriği ve bu içeriğin yayınlama zamanlaması üzerinde tam yetkiye sahiptir.

Gizlilik

Editörler, gönderilen bir makaleyle ilgili hiçbir bilgiyi ilgili yazar, gözden geçirenler, potansiyel gözden geçirenler, diğer yayın danışmanları ve yayıncı dışında kimseye açıklamaz.

Açıklama ve çıkar çatışmaları

Editörler ve yayın kurulu üyeleri, gönderilen bir makalede açıklanan yayınlanmamış bilgileri, yazarların açık yazılı izni olmadan kendi araştırma amaçları doğrultusunda kullanmayacaktır. Yazının işlenmesi sonucunda editörler tarafından elde edilen ayrıcalıklı bilgi veya fikirler gizli tutulacak ve kişisel avantajları için kullanılmayacaktır. Editörler, makalelere bağlı herhangi bir yazar, şirket veya kurumla rekabet, işbirlikçi veya diğer ilişkilerden/bağlantılardan kaynaklanan çıkar çatışmaları olan yazılarını dikkate almaktan geri çekilecekler; bunun yerine, yayın kurulunun başka bir üyesinden yazıyı işlemesini isteyecekler.

Yayın kararları

Editörler, yayınlanmak üzere değerlendirilen tüm makalelerin, alanında uzman en az iki gözden geçiren tarafından hakem incelemesinden geçmesini sağlar. Sorumlu müdür, söz konusu çalışmanın doğrulanmasına, araştırmacılar ve okuyucular için önemine, eleştirmenlerin yorumlarına ve iftira, telif hakkı ihlali ve intihal ile ilgili şu anda yürürlükte olan yasal gerekliliklere dayanarak, dergiye gönderilen yazılardan hangisinin yayınlanacağına karar vermekten sorumludur. Sorumlu müdür bu kararı verirken diğer editörler veya yorumcularla görüşebilir.

Soruşturmalara katılım ve işbirliği

Editörler (yayıncı ve/veya kurulla birlikte) gönderilen bir makale veya yayınlanmış makaleyle ilgili etik kaygılar ortaya çıktığında duyarlı önlemler alacaktır. Etik olmayan yayıncılık davranışlarının rapor edildiği her eylem, yayımlandıktan yıllar sonra keşfedilmiş olsa bile incelenecektir. Editörler, suistimal şüphesiyle uğraşırken COPE Akış Şemalarını takip eder. Eğer, soruşturma üzerine, etik kaygı iyi kurulmuşsa, bir düzeltme, geri çekme, endişenin ifade edilmesi veya ilgili olabilecek diğer notlar dergide yayınlanacaktır.

Gözden Geçirenlerin Görevleri

Editoryal kararlara katkı

Akran incelemesi editörlerin editoryal kararlar almalarına yardımcı olur ve yazarlarla editoryal iletişim yoluyla yazarların makalelerini geliştirmelerine

yardımcı olabilir. Akran incelemesi resmi bilimsel iletişimin önemli bir bileşenidir ve bilimsel çabanın merkezinde yer alır.

İstem

Bir makalede bildirilen araştırmayı gözden geçirmek için niteliksiz hissedilen veya derhal gözden geçirilmesinin imkansız olacağını bilen davet edilen her hakem, editörleri derhal bilgilendirmeli ve alternatif hakemlerle iletişime geçilebilmesi için inceleme davetini reddetmelidir.

Gizlilik

İncelenmek için alınan tüm yazılar gizli belgelerdir ve bu şekilde ele alınmalıdır; Genel Yayın Yönetmeni tarafından izin verilmedikleri sürece (istisnai ve özel durumlarda bunu yapacak olanlar) başkalarıyla gösterilmemeli veya tartışılmamalıdır. Bu, inceleme davetini reddeden, davet edilen, gözden geçirenler için de geçerlidir.

Nesnellik standartları

İncelemeler objektif olarak yapılmalı ve gözlemler, yazarların makalenin iyileştirilmesi için kullanabilmeleri amacıyla destekleyici argümanlarla net bir şekilde formüle edilmelidir. Yazarların kişisel eleştirisi uygunsuzdur.

Kaynakların kabulü

Hakemler, yazarlar tarafından atıfta bulunulmamış ilgili yayınlanmış çalışmaları belirlemelidir. Önceki yayınlarda rapor edilmiş bir gözlem, türetme veya argüman olan herhangi bir ifadeye ilgili alıntı eşlik etmelidir. Bir hakem ayrıca, incelenmekte olan makale ile hakkında kişisel bilgi sahibi oldukları (yayınlanmış veya yayınlanmamış) herhangi bir diğer makale arasındaki herhangi bir önemli benzerlik veya örtüşmeyi editörlere bildirmelidir.

Açıklama ve çıkar çatışmaları

Makaleye bağlı yazarlar, şirketler veya kurumlarla rekabet, işbirlikçi veya diğer ilişkilerden kaynaklanan çıkar çatışmaları olan davet edilen hakemler, editörleri derhal çıkar çatışmalarını beyan etmeleri ve alternatif hakemlerle iletişime geçebilmeleri için inceleme davetini reddetmeleri konusunda bilgilendirmelidir.

Gönderilen bir yazıda açıklanan yayınlanmamış materyaller, yazarların açık yazılı izni olmadan bir eleştirmenin kendi araştırmasında kullanılmamalıdır. Akran incelemesi yoluyla elde edilen ayrıcalıklı bilgiler veya fikirler gizli tutulmalı ve gözden geçirenin kişisel avantajı için kullanılmamalıdır. Bu, inceleme davetini reddeden, davet edilen, gözden geçirenler için de geçerlidir.

Yazarların Görevleri

Raporlama standartları

Orijinal araştırmanın yazarları, yapılan eserin ve sonuçların doğru bir açıklamasını sunmalı ve ardından çalışmanın önemini objektif bir tartışmasını sunmalıdır. Yazı, başkalarının eseri çoğaltmasına izin verecek yeterli ayrıntı ve referanslar içermelidir. İnceleme makaleleri doğru, objektif ve kapsamlı olmalı, editoryal 'görüş' veya perspektif parçaları açıkça bu şekilde tanımlanmalıdır. Hileli veya bilerek yanlış ifadeler etik olmayan davranışlar teşkil eder ve kabul edilemez.

Veri erişimi ve saklama

Yazarlardan, çalışmalarının ham verilerini editoryal inceleme için yazı ile birlikte sağlamaları istenebilir ve uygulanabilirse verileri kamuya açık



hale getirmeye hazır olmalıdır. Her halükarda, yazarlar, katılımcıların gizliliğinin korunması ve özel verilerle ilgili yasal hakların serbest bırakılmasını engellememesi koşuluyla, bu verilerin yayımlandıktan sonra en az 10 yıl süreyle (tercihen kurumsal veya konu tabanlı veri deposu veya diğer veri merkezi aracılığıyla) diğer yetkili profesyonellere erişilebilirliğini sağlamalıdır.

Özgünlük ve intihal

Yazarlar sadece tamamen orijinal eserler yazdıklarından ve sunduklarından ve başkalarının çalışmalarını ve/veya sözlerini kullanmışlarsa, bunun uygun şekilde atıfta bulunulduğunu sağlamalıdır. Yazıda bildirilen eserin niteliğinin belirlenmesinde etkili olan yayınlar da belirtilmelidir. İntihal, başka bir makalenin “yazarın kendi makalesi” olarak “aktarılmasından”, başka bir makalenin önemli bölümlerini kopyalamaya veya paraphrasinge (atıf yapmadan), başkaları tarafından yapılan araştırmadan elde edilen sonuçların iddiasına kadar pek çok biçim alır. Tüm biçimlerinde intihal etik olmayan yayıncılık davranışı teşkil eder ve kabul edilemez.

Çoklu, yinelenen, gereksiz veya eşzamanlı gönderim/yayın

Temelde aynı araştırmayı açıklayan bildiriler birden fazla dergide veya birincil yayında yayınlanmamalıdır. Bu nedenle, yazarlar daha önce başka bir dergide yayınlanmış bir makaleyi değerlendirilmek üzere göndermemelidir. Bir makalenin aynı anda birden fazla dergiye gönderilmesi etik dışı bir yayın davranışıdır ve kabul edilemez.

Bazı makale türlerinin (klinik kılavuzlar, çeviriler gibi) birden fazla dergide yayınlanması, belirli şartların karşılanması koşuluyla bazen haklı görülebilir. İlgili dergilerin yazarları ve editörleri, birincil belgenin aynı verilerini ve yorumunu yansıtmaması gereken ikincil yayını kabul etmelidir. Birincil referans, ikincil yayında belirtilmelidir.

Makalenin yazarlığı

Sadece bu yazarlık kriterlerini karşılayan kişiler, içeriğin kamuya açık sorumluluğunu üstlenebilmeleri için makalede yazar olarak listelenmelidir: (i) çalışmanın anlaşılmasına, tasarımına, yürütülmesine, veri edinilmesine veya analizine/yorumlanmasına önemli katkılarda bulunmuştur; ve (ii) yazının hazırlanması veya önemli entelektüel içerik için eleştirel olarak revize edilmesi; ve (iii) gazetenin son halini görmüş ve onaylamış ve yayımlanmak üzere sunulmasını kabul etmiş ve kabul etmiş. Yazıda bildirilen eserin önemli katkıları olan (teknik yardım, yazma ve düzenleme yardımı, genel destek gibi) ancak yazarlık kriterlerini karşılamayan kişilerin yazar olarak listelenmemesi, yazılı izin alındıktan sonra “Bildirimler” bölümünde kabul edilmesi gerekmektedir. İlgili yazar, tüm uygun ortak yazarların (yukarıdaki tanıma göre) ve uygunsuz ortak yazarların yazar listesine dahil edilmemesini sağlamalı ve tüm ortak yazarların makalenin son halini görüp onayladığını ve yayına sunulmasını kabul ettiğini doğrulamalıdır.

Açıklama ve çıkar çatışmaları

Yazarlar mümkün olan en erken aşamada (genellikle gönderim sırasında bir açıklama formu göndererek ve makaleye bir ifade de dahil olmak üzere), sonuçları veya makaledeki yorumlarını etkilemek için yorumlanabilecek çıkar çatışmalarını ifşa etmelidir. Açıklanması gereken potansiyel çıkar çatışmalarına örnek olarak, fahri, eğitim hibeleri veya diğer finansman, konuşmacı bürolarına katılım, üyelik, istihdam, danışmanlık, hisse senedi sahipliği veya diğer hisse senedi çıkarları ile ücretli uzman ifadeleri veya patent lisanslama düzenlemeleri ile kişisel veya mesleki ilişkiler, ilgili kişiler, bilgi veya inançlar gibi finansal olmayan konular veya makalede tartışılan materyaller verilebilir. Çalışma için tüm finansal destek kaynakları açıklanmalıdır (hibe numarası veya varsa diğer referans numarası da dahil olmak üzere).

Kaynakların kabulü

Yazarlar, başkalarının çalışmalarını doğru bir şekilde kabul ettiklerinden emin olmalı ve bildirilen eserin niteliğini belirlemede etkili olan yayınlara da atıfta bulunulmalıdır. Özel olarak elde edilen bilgiler (üçüncü şahıslarla konuşma, yazışma veya tartışma) kaynaktan açık, yazılı izin alınmadan kullanılmamalı veya rapor edilmemelidir. Yazarlar, bu hizmetlerde yer alan eserin yazarının açık yazılı iznini almamışsa, yazılara hakemlik veya hibe başvuruları gibi gizli hizmetlerin sağlanmasında elde edilen bilgileri kullanmamalıdır.

Tehlikeler ve insan veya hayvan denekleri

Çalışma, kullanımlarında olağandışı tehlikeler etüt eden kimyasallar, prosedürler veya ekipmanlar içeriyorsa, yazarlar bunları yazıda açıkça tanımlamalıdır. Eğer çalışma hayvanların veya insan katılımcıların kullanımını içeriyorsa, yazarlar tüm prosedürlerin ilgili yasalara ve kurumsal yönergelere uygun olarak gerçekleştirildiğinden ve ilgili kurumsal komitenin bunları onayladığından emin olmalıdır; yazı bu yönde bir ifade içermelidir. Yazarlar ayrıca, insan katılımcılarla deneyler için bilgilendirilmiş onam alındığına dair bir ifadeyi de makaleye eklemelidir. İnsan katılımcıların gizlilik haklarına her zaman uyulmalıdır.

Akran incelemesi

Yazarlar, editörlerin ham veri, açıklama ve etik onayı, hasta onayları ve telif hakkı izinleri için isteklerine derhal yanıt vererek akran değerlendirme sürecine katılmak ve tam işbirliği yapmak zorundadırlar. İlk olarak “revizyon gerekli” kararı verilmesi durumunda yazarlar, hakemlerin yorumlarına sistematik olarak, her noktasına zamanında yanıt vererek, makalelerini verilen son tarihe kadar gözden geçirip dergiye yeniden göndermelidir.

Yayımlanan çalışmalardaki temel hatalar

Yazarlar kendi yayınlanmış çalışmalarında önemli hatalar veya yanlışlıklar bulduklarında, derginin editörlerini veya yayımcısını derhal bilgilendirmek ve çalışmayı bir hata biçiminde düzeltmek veya geri çekmek için onlarla işbirliği yapmak onların yükümlülüğüdür. Editörler veya yayıncı, yayınlanmış bir çalışmanın önemli bir hata veya yanlışlık içerdiğini üçüncü bir taraftan öğrenirse, makalenin doğruluğunu dergi editörlerine derhal düzeltmek veya geri çekmek veya dergi editörlerine kanıt sunmak yazarların yükümlülüğüdür.



INSTRUCTIONS to AUTHORS

Karaelmas Science and Engineering Journal is the international scientific journal publishing original papers in English or Turkish, reviews, short communications, technical notes and scientific editorial letters of science in the following areas: basic sciences, basic medicine science and engineering fields. This journal publishes three times a year (April, July and November). Manuscripts should be submitted online by a website: <https://dergipark.org.tr/en/pub/karaelmasfen>

Manuscript Categories:

Research articles: Manuscripts should report original information which have not been published or submitted previously. Full text should not exceed 30 pages including references.

Review articles: Reviews of recent developments in a research fields and ideas will be accepted. Manuscripts should not exceed 15 papers of printed text. The use of tables and figures to summarize critical points is encouraged.

Short communications: These include small-scale investigations, innovative methods, perspectives on existing laboratory techniques and new methodologies, clinical trials and epidemiological studies. It should no exceed 5 printed pages.

Technical notes or Case Reports: Scientific reports providing important contributions their area will be considered in this category. It should not be exceed 3 pages.

Letters to editor: These include opinions, news and suggestions. Letters should not exceed 2 pages.

Book/Software Reviews: Short but concise description of the book/software, not exceeding a page. These types are not peer reviewed.

CONDITIONS FOR PUBLICATION

Journal articles are published in Turkish or English. Manuscript should be suitable to the formal criteria of Instructions to Authors, otherwise, the manuscript will be sent back to the authors. Manuscripts should not exceed 20 papers of printed text, including tables, figures and references. Manuscripts that are found suitable for peer review will be assigned to two expert reviewers. The final decision to accept or reject a manuscript will be made by the Editor-in-Chief. After review process, the Editor-in-Chief will inform the authors of acceptance, rejection or necessity of revision of the manuscript. The paper has not already been published elsewhere and it is not currently being considered for publication elsewhere. If accepted, Karaelmas Science and Engineering Journal have exclusive license to publish. Review process is three months.

THE REFEREE PROCESS

Manuscripts that do not comply with the journal's guidelines will be returned to the authors without scientific evaluation. Articles submitted in accordance with the journal's guidelines are reviewed by the Editor-in-Chief or Assistant Editor, who will appoint them to referees. The review process is one-blind. The Editor writes the decision letter in line with the recommendations of the referees, the opinions of the field editors and the contribution of the publication to the literature. All unexamined manuscripts are returned within 10 days, and the decision letters of the manuscripts are sent within 3-6 months.

PRESENTATION

Papers should be submitted online.

The submitted articles should consist of four separate files: "Cover Page", "Blind Article-Full Text", "Plagiarism Report" and "Copyright Transfer

Form". Articles should be sent to Karaelmas Science and Engineering Journal via <https://dergipark.org.tr/tr/login>

WRITING RULES

Manuscripts should be written double space on A4 sized typing paper with 2.5 cm all margins, with 1.5 line spacing and justified on both sides. Please click on the link to access the writing rules of our journal.

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/karaelmasfen/writing-rules>

- Text should be prepared using Microsoft Word with Times New Roman font and 12 point size. All text should be in black and white.
- All lines should be numbered continuously (including figures, tables and references). Page numbers should be placed in the bottom middle of the pages.
- The author's information should not be given due to blind refereeing, in the Full Text. Author's information should be on the Cover Page.
- Full text should be consist of Turkish Abstract, English Abstract, Introduction, Materials and method(s) (Area descriptions, Study materials, e.g. should be cited as subheadings), Results and Discussion, Conclusion and Suggestions, and References.
- Latin expression should be typed in italics.
- Full text should not exceed 30 pages including references.

Cover Page

The Cover Page should be a separate Microsoft Word file. Title, full name of all author, institutions and ORCID's on Cover Page; Contact address and e-mail address of the responsible author should be given.

The Plan of Cover Page

- The article type should be write (Research article, review article, technical note, etc.). The article type should be centered at the top of the page.
- Turkish and English title
- Author's names and addresses: All Authors full names must be written as lower case with bold 12 font size in the middle. After authors name and surnames, authors addresses should be stated with superscript numbers (e.g. 1 2 3). Corresponding author's full name should be marked with an asteriks (*). All authors addresses must be typed with lower case 12 font in the center. The corresponding author's contact address and e-mail address should be given, and University, Faculty, Department, City and Country should be specified, respectively. Names of institutions and cities each authors also must be stated.
- Corresponding author's name, address and e-mail address
- Short title
- ORCID's of all authors (Authors' ORCID's should be added as footnotes.)
- Ethics Committee Decision should be attached to all studies that require ethics.

https://trdizin.gov.tr/wp-content/uploads/2022/04/TRDizin_etik_ilkeleri_akis_semasi.pdf

The Plan of the Full Text Page

The first page is the Summary Page. The plan of the Summary Page should be as follows (Table 1):



Table 1: The Plan of Full Text Page

The Plan of the Full Text Page	
English Title (12 punto)	<i>Turkish Title (İtalik 12 punto)</i>
Abstract (12 punto)	Öz (12 punto)
Keywords (12 punto)*	Anahtar Kelimeler (12 punto)

*Of the keywords, only the first letter of the first keyword should be capitalized and the first letters of the others should be lowercase.

The title: The title should be as short as possible, but give adequate information regarding the contents. Title must be written on the center with bold 12 font size. The first letter must be capital and the others must be written as lower case.

Abstract and Keywords: A brief, informative English and Turkish abstract, not exceeding 250 words, should be typed in 12 font size. Immediately following the abstract, authors should provide 3-5 English and Turkish keywords or phrases that reflect content of the article. Keywords should be given in alphabetical order. Only the first letter of the first keyword should be capitalized, the first letters of the others should be lowercase. Keywords must be separated by commas and followed by a space of one character.

The Introduction section should be started by leaving a line in between after the keywords. In full texts, the main headings in the article and subheadings, if any, should be understandable. Main text headings should be left aligned, only the first letter of the first word should be capitalized and bold. Subheadings should be written in 12 points and italic. Main and sub-headings should be numbered.

Introduction: This section should include the topic and importance of the article and prior works.

Material and Methods: The methods and techniques applied should be understandable. It should be supported by previous references. Statistical models and methods of analysis should be clearly stated.

Results and Discussion: The results contain only findings, no writing comment, and the results should be supported by figures and tables if necessary. The results should be compared with the relevant literature, and compare with other studies and discuss similarity and distinction.

Conclusion and Suggestions: Results should be summarized and recommendations made.

Acknowledgments: It should include thanks to the people and organizations supported the research.

Any conflict of interest, financial support, author's statement of contribution, donation and other editorial (statistical analysis, English/Turkish evaluation) and/or technical assistance should be presented at the end of the text.

Author contribution: Author A: Planned and designed the study, Author B: Gathered and analyzed data about the study, Author C: Wrote the article by analyzing the study.

Ethics committee approval: If available, ethics committee approval should be added. The institution giving the ethics committee approval, approval number and date should be written on it.

References: Unpublished information should not be given as a source. However, the theses that have been completed and passed the jury can be given as a source. References should be given at the end of the article in alphabetical order (according to the surnames of the authors), author's names and surnames, and the publication date of the article should be written in bold.

Plagiarism report: The general similarity rate of the submitted articles **should not exceed 20%**, excluding the bibliography. Any plagiarizing article will be automatically rejected.

Copyright transfer agreement: The form opened by clicking on the "Copyright Transfer Form" link on the page should be filled, signed and uploaded. Please click on the link to access the copyright transfer agreement of our journal.

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/karaelmasfen/page/10931>

The use of sources in the text is given below:

1. In Turkish Paper:

- One author (Aliskan 2021). Two authors (Yıldırım ve Topaloğlu 2018).
- In the case of multiple authors they should be cited as (Yılmaz vd. 2007, Erdem vd. 2022), multiple publications by same author(s) should be written as (Erdem vd. 2022a, 2022b).
- If any source is cited: According to Karahan and Çölgeçen (2021), it was as.....; according to Yılmaz et al. (2007); it should be written.

2. In English Paper:

- One author (Aliskan 2021). Two authors (Yıldırım and Topaloğlu 2018). If any source is cited: According to Ünlü and Gerçek (2023), it should be written.
- In the case of multiple authors they should be cited as (Evans et al. 2023, Landen et al. 2021). If any source is cited: According to Landen et al. (2021)... it should be written.
- References should be given at the end of the text according to alphabetical order of the first authors surname.
- In Turkish and English articles, software programs should be given as (IBM SPSS Statistics 2016) by specifying the name and year in the text.

The references at the end of the text are as follows:

References should be given at the end of the text according to alphabetical order.

Article:

One author

- Eker Şanlı, G., Tasdemir, Y. 2022. Accumulations and temporal trends of polychlorinated biphenyls (PCBs) in olive tree components. Environ. Geochem. Health., 44(8): 2577-2594. Doi:10.1007/s10653-021-01046-2
- Yaral, O., Duru, H. 2016. Investigation into effect of scratch length and surface condition on Cerchar abrasivity index. Tunn. Undergr. Space Technol., 60: 111-120. Doi: 10.1016/j.tust.2016.08.005

Multiple authors

- Erdem, S., Gonca, E., Başoğlu, G., Aydemir, E. 2022. İskemi sonrası verilen kannabidiol reperfüzyon ile uyarılan aritmilere karşı koruyucu etkilidir. Med. J. West Black Sea, 6(1): 16-23. Doi: 10.29058/mjwbs.1016783
- Erkaymaz, O., Yapici, İS., Uzun Arslan, R. 2021. Effects of obesity on time-frequency components of electroretinogram signal using continuous wavelet transform. Biomed. Signal Process Control, 66: 102398. Doi: 10.1016/j.bspc.2020.102398
- Öztürk, Ş., Hazer Y., Kaşkatepe, B., Çölgeçen, H., Kulak, M. 2023. Kırmızı kantaron (*Hypericum capitatum*) bitkisi: fenolik içeriklerinin, antioksidan aktivitesinin belirlenmesi ve klinik izolatlar üzerinde antimikrobiyal etkinliğinin araştırılması. Batı Karadeniz Tıp Dergisi, 7(1): 57-65. Doi: 10.29058/mjwbs.1251370

If two or more works by the same author are used, references should be listed in chronological order.

- Berndt, T. J. (2022).
- Berndt, T. J. (2023).

If there are more than seven authors, the names of the first six authors are listed, followed by three dots and the name of the last author is added. No more than seven names should be included.

- Miller, FH., Choi, MJ., Angeli, LL., Harland, AA., Stamos, JA., Thomas,



ST, . . . Rubin, LH. 2009. Web site usability for the blind and low-vision user. *Technical Communication*, 57: 323-335.

Book:

- Reşat, U. 2001. Uygulamalı jeoteknik bilgiler. 4. Basım, TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, Nitelik Matbaacılık, Ankara, 385 s. Sanford, RJ. 2003.
- Principles of fracture mechanics, Prentice Hall, Pearson Education, Inc. Upper Saddle River, USA, 404 pp.

Chapter:

- Atar, H., Çölgeçen, H. 2020. Bioactive compounds of oregano seeds. Victor R. Preedy, Ronald Ross Watson [eds.], Nuts & Seeds in Health and Disease Prevention (2nd ed.). Oxford: Academic Press is an imprint of Elsevier, London, San Diego, Cambridge, pp. 73-77.

Report:

- Makarewicz, JC., Lewis, T., Bertram, P. 1995. Epilimnetic phytoplankton and zooplankton biomass and species composition in Lake Michigan, 1983-1992. U.S. EPA Great Lakes National Program, Chicago, IL. EPA 905-R-95-009.

Conference, Symposium:

- Karahan, H., Çölgeçen, H. 2021. Uptake of silver nanoparticles in natural tetraploid *Trifolium pratense* L. calli. 10th International Molecular Biology and Biotechnology Congress, s. 56, Turkey.

Internet:

If any information is taken from any website (except for articles taken from the internet and published in journals), the name of the website and the title of the website should be written in the references section.

Web page:

- TUIK 2023. <https://www.tuik.gov.tr/>

Web document with author:

- Dawson, J., Smith, L. Deubert, K. 31 Ekim 2002. <http://studytrekk.lis.curtin.edu.au/> şeklinde belirtilmelidir.

In press:

- Evans, MA. 2023. Article Title. Journal. (DOI).

A Thesis:

- Duru, H. 2020. Geliştirilen cerchar aşındırıcılık deney aletiyle kayaçların spesifik çizme enerjisinin araştırılması. Doktora Tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, 175 s.

Software:

- SPSS Statistics 24.0. Software, IBM, United States.

Tables and Figures:

All tables and figures should be embeded in the text and must be numbered consecutively throughout the paper (Table 1, Table 2 and 3, Figure 1, Figure 2 and 3, Figure 4). The numbers and headings of figures must be written below the figure. The numbers and headings of tables should be written the top of the table. References in the text should be in Table 1, Figure 1. Graphs, Figures and photos must be given in the text as JPEG, PNG or TIFF (min. 300 dpi). Bars must be used to show magnification in photos.

Standart errors or deviations should be cited as (e.g., 1.42 ± 1.36), statistically data should data must be given as (e.g., 731.2ab) in the table. The column title of standart errors or deviations must be cited as (means ± SD, or means ± SE).

Equations:

Mathematical expressions should be written by an "Equation Editör" (Word format) in 12 point size, and Cambria Math. Indices font should be 12 point

size. Each equation in text should be numbered in parenthesis ().

Mathematical equations should be cited as below:

$$V_i = \frac{d_p^2(\rho_p - \rho_s)V_i^2}{18\mu R} \quad (1)$$

Attachments:

All appendices should be written on a separate page and numbered with Roman numerals. Authors who will submit publications in the area of mathematics should specify the subject classification number (AMS-Mathematical Subject Classification Number).

Symbols and Units:

Metric systems or SI units should be used (kPa, kN/m³, g/cm², m/sn, g/m³, e.g.). Current abbreviations can be used without explanation, others must be explained. Use " %" only with numerals and in tables and figures. Close up space to numerals (e.g. 60%). Use the dot for decimal units (e.g. 10.26).

Abbreviations:

Use the following abbreviations for time: s (second), min (minute), h (hour), wk (week), yr (year), mo (month), add "s" to create plurals (e.g. wks). The day, month and year should be written in full without any abbreviations (19 May 2023).

Numbers:

Spell out numbers at the beginning of sentence. Spell out the numbers one through nine. 10 and up are always cited as arabic numerals. All numbers <1 must be preceded by a zero (e.g. P<0.05).

Footnotes:

In case of statistical data in tables, use footnotes to define or clarify column headings or specific datum with in data field (*P<0.05; ** P<0.01; *** P<0.001; NS, not significant). For submitting first namely author's manuscripts should not exceed three folds in the same issue. Authors when submit the four folds manuscripts, they will be publish in another issues.

CHECKLIST OF THE MANUSCRIPT

Before submitting of your paper (and other writings as applicable), please make sure that the following requirements have all been made:

- "Cover Page", "Blind Article-Full Text", "Plagiarism Report" and "Copyright Transfer Form" are enclosed
- Spell check and grammar check have been performed
- Entire paper is 1.5-spaced including abstract, tables, captions, references
- Margins are 2.5 cm each margin
- Font type is Times new roman and Font size is 12 point
- The headings in the text is left aligned, 12 point and bold
- Names of all authors are written in full (not abbreviated)
- Address is given
- Title is in title case 12 point and bold
- Abstract and keywords are given
- References are typed according to the instructions, and listed alphabetically
- Decimals are shown by a full stop (e.g., 10.25)
- Percent signs appear without a space after the number (e.g., 63%, %10)
- Figures are maximum 16x20 cm; minimum 8 cm wide
- The numbers of the tables (Table 1, Table 2, Table 3 etc.) are given in order in the text.
- Original figures are enclosed
- Figures are prepared according to the instructions
- Figures are maximum 16x20 cm; minimum 8 cm wide, min 300 dpi
- The numbers of the tables (Figure 1, Figure 2, Figure 3 etc.) are given in order in the text.
- All pages and line are numbered

Please [click](#) on the link to access a sample of the article written according to the spelling rules of our journal.



ETHICAL PRINCIPLES

Official journal of Zonguldak Bülent Ecevit University, Karaelmas Science and Engineering Journal is a peer-reviewed journal which aims to reach all national and international institutions and individuals free of charge.

In the scientific articles sent to our journal, the recommendations of ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors) and the International Standards of COPE (Committee on Publication Ethics) for Editors and Authors are taken into consideration.

All claims and finalized processes regarding ethical violations of our authors are under their own responsibility, and in case of ethical violations, the article is automatically canceled.

Ethical Guidelines for Peer Reviewers

Peer Reviewers,

- respect the confidentiality of the manuscript, do not discuss it and do not reveal any details of it.
- inform the editor about any conflict of interest.
- provide objective and constructive explanations for their suggestions.
- do not allow the decisions related to the article to be influenced by the subject of the manuscript or the way of writing.
- do not contact the authors directly and request their previous articles unless there is a strong scientific reason.
- do not duplicate any part of the article or information reviewed in any of their own work before it is published by the authors.
- agree to accept the reviews only within their expertise and finish the review process within a reasonable time.
- do not intentionally prolong the review process which leads to a delay for the publication of the article.
- use a language refrained from being hostile and avoids making derogatory personal comments.
- destroy the manuscript and associated material after reviewing.

https://publicationethics.org/files/Ethical_guidelines_for_peer_reviewers_0.pdf

Ethical Guidelines for Authors

Authors and co-authors,

- meet the following criteria for authorship defined by International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE);
 - a. Substantial contributions to the conception or design of the work; or the acquisition, analysis, or interpretation of data for the work;
 - b. Drafting the work or revising it critically for important intellectual content;
 - c. Final approval of the version to be published;
 - d. Agreement to be accountable for all aspects of the work in ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.
- ensure that submitted articles are original and are not sent to different publishers.

- are responsible for any falsification, alteration or plagiarism which are defined as abusing research before or during the research or while reporting the findings of it.
- inform the editor if there is any conflict of interest in the submitted articles.
- inform the editor for correction or withdrawal if any mistake is noticed after publication or during the process of pre-control or evaluation.
- do not suggest reordering, adding or dropping author names after article submission.
- state, if the research requires the decision of the ethics committee, that they have the ethics committee approval with the name of the ethics committee and the date and number of the decision in the first and last page of the article and the methods section, also upload the ethics committee approval document to the system along with the application of the article.
- state in the article that they have the consent form for the case reports.
- comply with the copyright regulations for the ideas and works of art used in the article.
- provide statements for Author Contribution, Conflict of Interest, Disclosure and if necessary, Acknowledgements.

<http://www.icmje.org/icmje-recommendations.pdf>

https://www.ease.org.uk/wp-content/uploads/2018/11/doi.10.20316.ESE_2018.44.e1.tr_.pdf

Ethical Guidelines for Editors

Editors:

- The readers should be informed about who provides financial support to the study or other scientific studies and whether there is any role of sponsors in the study or publication, and if there is any, what the contribution is.
- Editors should base their decisions of acceptance or rejection on the importance, originality and clarity of the article, validity of study and its relevance to the remit of the journal.
- Editors should not reverse decisions to accept submissions unless serious problems are identified with the submission.
- New editors should not overturn decisions to publish submissions made by the previous editor unless serious problems are identified.
- A description of peer review processes should be published, and editors should be ready to justify any important deviation from the described processes.
- Journals should have a declared mechanism for authors to appeal against editorial decisions.
- Editors should publish guidance to authors on everything that is expected of them. This guidance should be regularly updated and should refer or link to this code.
- Editors should state the authorship criteria suggested by International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE).



- Editors should provide guidance to reviewers on everything that is expected of them including the need to handle submitted material in confidence. This guidance should be regularly updated and should refer or link to this code
- Editors should require reviewers to disclose any potential competing interests before agreeing to review a submission.
- Editors should have systems to ensure that peer reviewers' identities are protected unless they use an open review system that is declared to authors and reviewers.
- Editors should provide new editorial board members with guidelines on everything that is expected of them and should keep existing members updated on new policies and developments.
- Editors should make decisions on which articles to publish based on quality and suitability for the journal and without interference from the journal owner/publisher.
- Editors should have a written contract(s) setting out their relationship with the journal's owner and/or publisher. The terms of this contract should be in line with the COPE Code of Conduct for Journal Editors.
- Editors should strive to ensure that peer review at their journal is fair, unbiased and timely.
- Editors should have systems to ensure that material submitted to their journal remains confidential while under review.
- Editors should take all reasonable steps to ensure the quality of the material they publish, recognizing that journals and sections within journals will have different aims and standards.

<https://publicationethics.org/files/Code%20of%20Conduct.pdf>



PUBLICATION ETHICS

The ethics statement of the Karaelmas Science and Engineering Journal is based on the Code of Conduct guidelines of the Committee on Publication Ethics (COPE), available at www.publicationethics.org.

This journal follows the COPE Code of Conduct and Best Practice Guidelines for Journal Editors and the Code of Conduct for Journal Publishers.

Duties of Editors

Fair play and editorial independence

Editors evaluate submitted manuscripts exclusively on the basis of their academic merit (importance, originality, study's validity, clarity) and its relevance to the journal's scope, without regard to the authors' race, gender, sexual orientation, ethnic origin, citizenship, religious belief, political philosophy or institutional affiliation. Decisions to edit and publish are not determined by the policies of governments or any other agencies outside of the journal itself. The Editor-in-Chief has full authority over the entire editorial content of the journal and the timing of publication of that content.

Confidentiality

Editors and editorial staff will not disclose any information about a submitted manuscript to anyone other than the corresponding author, reviewers, potential reviewers, other editorial advisers, and the publisher, as appropriate.

Disclosure and conflicts of interest

Editors and editorial board members will not use unpublished information disclosed in a submitted manuscript for their own research purposes without the authors' explicit written consent. Privileged information or ideas obtained by editors as a result of handling the manuscript will be kept confidential and not used for their personal advantage. Editors will recuse themselves from considering manuscripts in which they have conflicts of interest resulting from competitive, collaborative, or other relationships/connections with any of the authors, companies or institutions connected to the papers; instead, they will ask another member of the editorial board to handle the manuscript.

Publication decisions

The editors ensure that all submitted manuscripts being considered for publication undergo peer-review by at least two reviewers who are expert in the field. The Editor-in-Chief is responsible for deciding which of the manuscripts submitted to the journal will be published, based on the validation of the work in question, its importance to researchers and readers, the reviewers' comments, and such legal requirements as are currently in force regarding libel, copyright infringement and plagiarism. The Editor-in-Chief may confer with other editors or reviewers in making this decision.

Involvement and cooperation in investigations

Editors (in conjunction with the publisher and/or society) will take responsive measures when ethical concerns are raised with regard to a submitted manuscript or published paper. Every reported act of unethical publishing behaviour will be looked into, even if it is discovered years after publication. Editors follow the COPE Flowcharts when dealing with cases of suspected misconduct. If, on investigation, the ethical concern is

well-founded, a correction, retraction, expression of concern or other note as may be relevant, will be published in the journal.

Duties of Reviewers

Contribution to editorial decisions

Peer review assists editors in making editorial decisions and, through editorial communications with authors, may assist authors in improving their manuscripts. Peer review is an essential component of formal scholarly communication and lies at the heart of scientific endeavour.

Promptness

Any invited referee who feels unqualified to review the research reported in a manuscript or knows that its prompt review will be impossible should immediately notify the editors and decline the invitation to review so that alternative reviewers can be contacted.

Confidentiality

Any manuscripts received for review are confidential documents and must be treated as such; they must not be shown to or discussed with others except if authorized by the Editor-in-Chief (who would only do so under exceptional and specific circumstances). This applies also to invited reviewers who decline the review invitation.

Standards of objectivity

Reviews should be conducted objectively and observations formulated clearly with supporting arguments so that authors can use them for improving the manuscript. Personal criticism of the authors is inappropriate.

Acknowledgement of sources

Reviewers should identify relevant published work that has not been cited by the authors. Any statement that is an observation, derivation or argument that has been reported in previous publications should be accompanied by the relevant citation. A reviewer should also notify the editors of any substantial similarity or overlap between the manuscript under consideration and any other manuscript (published or unpublished) of which they have personal knowledge.

Disclosure and conflicts of interest

Any invited referee who has conflicts of interest resulting from competitive, collaborative, or other relationships or connections with any of the authors, companies or institutions connected to the manuscript and the work described therein should immediately notify the editors to declare their conflicts of interest and decline the invitation to review so that alternative reviewers can be contacted.

Unpublished material disclosed in a submitted manuscript must not be used in a reviewer's own research without the express written consent of the authors. Privileged information or ideas obtained through peer review must be kept confidential and not used for the reviewer's personal advantage. This applies also to invited reviewers who decline the review invitation.

Duties of Authors

Reporting standards

Authors of original research should present an accurate account of the



work performed and the results, followed by an objective discussion of the significance of the work. The manuscript should contain sufficient detail and references to permit others to replicate the work. Review articles should be accurate, objective and comprehensive, while editorial 'opinion' or perspective pieces should be clearly identified as such. Fraudulent or knowingly inaccurate statements constitute unethical behaviour and are unacceptable.

Data access and retention

Authors may be asked to provide the raw data of their study together with the manuscript for editorial review and should be prepared to make the data publicly available if practicable. In any event, authors should ensure accessibility of such data to other competent professionals for at least 10 years after publication (preferably via an institutional or subject-based data repository or other data centre), provided that the confidentiality of the participants can be protected and legal rights concerning proprietary data do not preclude their release.

Originality and plagiarism

Authors should ensure that they have written and submit only entirely original works, and if they have used the work and/or words of others, that this has been appropriately cited. Publications that have been influential in determining the nature of the work reported in the manuscript should also be cited. Plagiarism takes many forms, from "passing off" another's paper as the author's own, to copying or paraphrasing substantial parts of another's paper (without attribution), to claiming results from research conducted by others. Plagiarism in all its forms constitutes unethical publishing behaviour and is unacceptable.

Multiple, duplicate, redundant or concurrent submission/publication

Papers describing essentially the same research should not be published in more than one journal or primary publication. Hence, authors should not submit for consideration a manuscript that has already been published in another journal. Submission of a manuscript concurrently to more than one journal is unethical publishing behaviour and unacceptable.

The publication of some kinds of articles (such as clinical guidelines, translations) in more than one journal is sometimes justifiable, provided that certain conditions are met. The authors and editors of the journals concerned must agree to the secondary publication, which must reflect the same data and interpretation of the primary document. The primary reference must be cited in the secondary publication.

Authorship of the manuscript

Only persons who meet these authorship criteria should be listed as authors in the manuscript as they must be able to take public responsibility for the content: (i) made significant contributions to the conception, design, execution, data acquisition, or analysis/interpretation of the study; and (ii) drafted the manuscript or revised it critically for important intellectual content; and (iii) have seen and approved the final version of the paper and agreed to its submission for publication. All persons who made substantial contributions to the work reported in the manuscript (such as technical help, writing and editing assistance, general support) but who do not meet the criteria for authorship must not be listed as an author, but should be acknowledged in the "Acknowledgements" section after their written permission to be named as been obtained. The corresponding author should ensure that all appropriate coauthors (according to the above definition) and no inappropriate coauthors are included in the author list and verify that all coauthors have seen and approved the final version of the manuscript and agreed to its submission for publication.

Disclosure and conflicts of interest

Authors should—at the earliest stage possible (generally by submitting a disclosure form at the time of submission and including a statement in the manuscript)—disclose any conflicts of interest that might be construed to influence the results or their interpretation in the manuscript. Examples of potential conflicts of interest that should be disclosed include financial ones such as honoraria, educational grants or other funding, participation in speakers' bureaus, membership, employment, consultancies, stock ownership, or other equity interest, and paid expert testimony or patent-licensing arrangements, as well as non-financial ones such as personal or professional relationships, affiliations, knowledge or beliefs in the subject matter or materials discussed in the manuscript. All sources of financial support for the work should be disclosed (including the grant number or other reference number if any).

Acknowledgement of sources

Authors should ensure that they have properly acknowledged the work of others, and should also cite publications that have been influential in determining the nature of the reported work. Information obtained privately (from conversation, correspondence or discussion with third parties) must not be used or reported without explicit, written permission from the source. Authors should not use information obtained in the course of providing confidential services, such as refereeing manuscripts or grant applications, unless they have obtained the explicit written permission of the author(s) of the work involved in these services.

Hazards and human or animal subjects

If the work involves chemicals, procedures or equipment that have any unusual hazards inherent in their use, the authors must clearly identify these in the manuscript. If the work involves the use of animals or human participants, the authors should ensure that all procedures were performed in compliance with relevant laws and institutional guidelines and that the appropriate institutional committee(s) has approved them; the manuscript should contain a statement to this effect. Authors should also include a statement in the manuscript that informed consent was obtained for experimentation with human participants. The privacy rights of human participants must always be observed.

Peer review

Authors are obliged to participate in the peer review process and cooperate fully by responding promptly to editors' requests for raw data, clarifications, and proof of ethics approval, patient consents and copyright permissions. In the case of a first decision of "revisions necessary", authors should respond to the reviewers' comments systematically, point by point, and in a timely manner, revising and re-submitting their manuscript to the journal by the deadline given.

Fundamental errors in published works

When authors discover significant errors or inaccuracies in their own published work, it is their obligation to promptly notify the journal's editors or publisher and cooperate with them to either correct the paper in the form of an erratum or to retract the paper. If the editors or publisher learns from a third party that a published work contains a significant error or inaccuracy, then it is the authors' obligation to promptly correct or retract the paper or provide evidence to the journal editors of the correctness of the paper.



İÇİNDEKİLER

Araştırma Makaleleri

- Küçük Menderes Havzasında Mann-Kendall ve Şen'in Eğimi Yöntemleri Kullanılarak Meteorolojik Değişkenlerin Trend Analizi..... 1**
Melisa Ergün, Beyza Fırat, Gamze Tuncer, Osman Sönmez
- Protein-Protein Etkileşimlerinin Tahmini İçin Siyam Sinir Ağı Tabanlı Topluluk Modeli 13**
Duygu Geçkin, Güleser Kalaycı Demir
- Üretim Fazlası Ürün (Ethylene-Propylene-Unconjugated Diene- EPDM) Kauçuktan Granüllerin Karakterizasyonu ve..... 29**
Yeniden Kullanım Alanlarının Belirlenmesine Yönelik Teknik ve Yasal Değerlendirme
Melike İşgören, İsmail Toröz
- Akciğer Röntgen Görüntülerinden Covid-19 ve Zatürre Hastalığının Kuantum Evrişimli Sinir Ağları..... 37**
Yöntemi ile Tahmini
Seçmen Şahin, Güneş Harman
- Arap Zamkı Modifiyeli Manyetik Nanopartiküller ile Sulu Çözeltilerden Kromat İyonlarının Uzaklaştırılması..... 52**
İlker Akın, Egemen Foto
- İlgın (Konya) Havzası Miyosen Yaşlı Bitümlü Kilitaşlarındaki Redoksa Duyarlı Element Davranışları ve 61**
Redoks Koşulları Arasındaki İlişki
Ali Sarı, Kamal İsmayılzada, Sinan Akıska, Fuat Erol
- Filyos Nehri'nde Bazı Su Kalitesi Parametrelerinin Bulanıklık Parametresi Üzerine Etkilerinin Yapay Sinir Ağı ile 85**
Belirlenmesi
Berna Aksoy, İsmail Hakkı Özölçer, Emrah Doğan
- Genelleştirilmiş Jacobsthal-Benzeri Dizilerin Bazı Özellikleri 92**
Can Murat Dikmen, Kübra Karataş Selam
- Enerji Gereksinimlerine Dayalı Fotovoltaik Güneş Enerji Santrali Analizi ve Tasarımı 97**
Süleyman Güneş, Rifat Hacıoğlu
- Traktör Uygulamalarında Kullanılan Standart Yapı ve IF Lastik Yapısına Sahip Lastiklerin Taban İzlerinin ve 111**
Sehim Değerlerinin Kıyaslanması
Onur Karaçay, Süleyman Kılıç
- X-Ray Görüntülerinden Transfer Öğrenme ile Diz Osteoartriti Şiddetinin Sınıflandırılması..... 119**
Fatma Zehra Solak
- Veri Ayırma ve Doğrulama Yöntemleri Kullanılarak Makine Öğrenmesi Aracılığı ile Parkinson Hastalığı Tespiti 134**
Mustafa Alptekin Engin



CONTENTS

Research Articles

- Trend Analysis of Meteorological Variables Using Mann-Kendall and Sen's Slope Methods in Küçük Menderes Basin 1**
Melisa Ergün, Beyza Fırat, Gamze Tuncer, Osman Sönmez
- Siamese Neural Networks Based Ensemble Model for the Prediction of Protein-Protein Interactions..... 13**
Duygu Geçkin, Güleser Kalaycı Demir
- Characterization of Excess Production Product (Ethylene-Propylene-Unconjugated Diene-EPDM)..... 29**
Rubber Granules and Technical and Legal Evaluation for Determining Reuse
Melike İşgören, İsmail Toröz
- Prediction of Covid-19 and Pneumonia Diseases from Lung X-ray Images Using Quantum Convolutional..... 37**
Neural Networks
Seçmen Şahin, Güneş Harman
- Removal of Chromate Ions from Aqueous Solutions with Gum Arabic Modified Magnetic Nanoparticles 52**
İlker Akın, Egemen Foto
- The Relationship Between Redox-Sensitive Element Behaviors and Redox Conditions in Miocene Aged Bituminous 61**
Claystones of the Ilgın (Konya) Basin
Ali Sarı, Kamal İsmayılzade, Sinan Akıska, Fuat Erol
- Determination of the Effects of Some Water Quality Parameters on Turbidity Parameters in Filyos River with 85**
Artificial Neural Network
Berna Aksoy, İsmail Hakkı Özölçer, Emrah Doğan
- Some Properties of Generalized Jacobsthal-Like Sequences 92**
Can Murat Dikmen, Kübra Karataş Selam
- Energy Requirements Based Photovoltaic Solar Power Plant Analysis and Design 97**
Süleyman Güneş, Rıfat Hacıoğlu
- Comparison of Footprint and Deflection Values of Tires with Standard Structure and IF Tire Structure Used in 111**
Tractor Applications
Onur Karaçay, Süleyman Kılıç
- Classification of Knee Osteoarthritis Severity by Transfer Learning from X-Ray Images 119**
Fatma Zehra Solak
- Parkinson's Disease Detection Via Machine Learning Using Data Splitting and Validation Methods 134**
Mustafa Alptekin Engin



Küçük Menderes Havzasında Mann-Kendall ve Şen'in Eğimi Yöntemleri Kullanılarak Meteorolojik Değişkenlerin Trend Analizi

Trend Analysis of Meteorological Variables Using Mann-Kendall and Sen's Slope Methods in Küçük Menderes Basin

Melisa Ergün , Beyza Fırat , Gamze Tuncer* , Osman Sönmez

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

Öz

Günümüzde ülkemiz başta olmak üzere tüm dünya için tehlike unsuru olan iklim değişikliği, ekosistemin yapısını ve işleyişini olumsuz etkilemekte ve doğal kaynaklarımız için risk oluşturmaktadır. Sıcaklıkta meydana gelen değişimlerin özellikle yağış parametresine olan etkisi, su kaynaklarının azalmasına yol açmaktadır. En önemli yaşam kaynağımız olan suyun tükenmesi, ülkemizi tarımsal ve sosyo-ekonomik açıdan tehdit etmektedir. Bu çalışmada, ülkemizin su fakiri havzalarından biri olan Küçük Menderes Havzası'nda yer alan İzmir Bölge, Kuşadası, Çeşme, Ödemiş, Seferihisar ve Selçuk istasyonlarının 1972-2023 yılları arasındaki aylık toplam yağış, ortalama nispi nem ve ortalama sıcaklık verileri kullanılarak parametrik olmayan yöntemler olan Mann-Kendall ve Şen'in eğimi trend analizleri uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, her iki yöntemle yapılan analizlerde meteorolojik verilerin trend eğilimleri tüm istasyonlarda benzer sonuçlar göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Küçük Menderes havzası, mann-kendall metodu, şen'in eğimi, trend analizi

Abstract

Today, climate change, which is a threat for the whole world, especially for our country, adversely affects the structure and functioning of the ecosystem and poses a risk to our natural resources. The effect of changes in temperature, especially on the precipitation parameter, leads to a decrease in water resources. The depletion of water, which is our most important source of life, threatens our country in agricultural and socio-economic terms. In this study, Mann-Kendall and Sen's slope trend analyses, which are nonparametric methods, were applied using monthly total precipitation, average relative humidity and average temperature data of Izmir Bolge, Kusadası, Cesme, Odemis, Seferihisar and Selcuk stations located in Kucuk Menderes Basin, which is one of the water poor basins of our country, between 1972-2023. As a result of the study, the trend trends of meteorological data showed similar results in all stations in the analyses made by both methods.

Keywords: Küçük Menderes basin, mann-kendall method, sen's slope, trend analysis

1. Giriş

Küresel ısınma ve iklim değişikliği, özellikle 20. yüzyılın yarısından itibaren farklı bölgelerde farklı şekillerde hissedilmeye başlanmış ve günden güne artarak ekosisteme

olumsuz etkilerini göstermeye devam etmiştir (Akın 2006). Şehirleşme ve nüfusun artışı, fosil yakıtların kullanımı, sera gazlarının atmosfer içindeki dağılımı gibi unsurlar küresel ısınmayı hızlandırmakta ve küresel ısınmanın beraberinde getirdiği iklim değişikliğinin kaynaklar üzerindeki tesirini arttırmaktadır. Küresel iklim değişikliği ile küresel sıcaklıkta son yıllarda ciddi artışlar meydana gelmiştir. Sıcaklıkta bu artışların, artan sera gazı emisyonunun büyük etkisi mevcuttur. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin 6. Değerlendirme Raporunda, dünya üzerindeki küresel ortalama yüzey sıcaklığının yaklaşık 4,4 °C'ye kadar artabileceği bildirilmektedir (Leg 2021). Özellikle akış, artan sıcaklık, yağış ve evapotranspirasyon verileri başta olmak üzere, bölgenin

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: gtuncer@sakarya.edu.tr

Melisa Ergün orcid.org/0009-0006-5421-7311

Beyza Fırat orcid.org/0009-0007-6989-0522

Gamze Tuncer orcid.org/0000-0001-6278-1066

Osman Sönmez orcid.org/0000-0001-5642-6391



diğer iklim parametrelerinde de farklılıkların gözlemlenmesine neden olabilecektir (Yue vd. 2003). İklim değişikliğinin özellikle su kaynaklarına olan olumsuz etkisi, ülkemizin geleceği için büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Bu durum da Türkiye'nin su stresi yaşayan bir ülke olduğunu göstermektedir. Özellikle suyun en fazla kullanıldığı tarım sektörüyle ön plana çıkan ülkemizde su kaynaklarının verimli kullanılması hayati önem taşımaktadır. Yüksek su tüketimi, yetersiz yağış, su kaynaklarının plansız kullanımı gibi su kıtlığı faktörlerinden bir veya birden fazlasının meydana gelmesinin sosyo-ekonomik, tarımsal ve çevresel koşullar üzerinde olumsuz etkileri olduğu gözlemlenmektedir. Bu tür istenmeyen durumların etkilerinin azaltımı ya da oluşmasının engellenmesi için, meteorolojik verilerde meydana gelen değişimin analiz edilmesi gerekmektedir. Bu analiz önceden gerekli tedbirlerin belirlenmesi ve alınmasına yardımcı olmaktadır (Gümüş vd. 2022).

Ülkemiz su havzaları bazında incelendiğinde İzmir, Manisa ve Aydın il sınırları içerisinde bulunan Küçük Menderes Havzası, tarımsal faaliyetin yüksek olduğu verimli topraklara ve ürün çeşitliliğine sahip olsa da yeraltı su seviyesindeki ciddi düşüşler sebebiyle su fakiri bir havza olarak adlandırılmaktadır (Şahin vd. 2018). Geçmiş yılların meteorolojik verileri kullanılarak yapılacak trend analizleri yardımı ile havzanın gelecekteki durumu hakkında tahmin yürütülebilmektedir. Çalışma havzasında iklim parametreleri ve bunların su kaynaklarına olan etkileri birçok farklı çalışmada trend analizi yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Bu çalışmalardan Bacanlı ve Tanrıku (2017) çalışmasında 25 tane gözlem istasyonuna ait buharlaşma verilerine trend analizleri yöntemlerinden Mann-Kendall ve Şen'in Eğimi metodlarını tercih ederek aylık ve mevsimlik buharlaşmanın eğilimini belirlemeyi amaçlamıştır. Haziran-Temmuz-Ağustos ayları için 0,05 anlamlılık düzeyinde buharlaşma verilerine uygulanan trend analizi sonucunda buharlaşma verilerinin %24'ünde artan eğilim, %12'sinde ise azalan eğilim görülmüştür. Sonuçlardan görüldüğü üzere yaz aylarında buharlaşmaların arttığı görülmüştür (Balcanlı ve Tanrıku 2017). Barbaros vd. (2021) çalışmasında ise Küçük Menderes Havzası'nda mevsimselliğin su kalitesine olan etkisini trend analizleriyle incelemiş ve çalışmada Mann Kendall ile Şen'in Trend Eğimi metodları kullanılmıştır ve sıcak ve soğuk döneme ait 6 farklı su kalite değişkeni verileri 6 farklı istasyon bazında incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, 2000'li yılların başından günümüze kadar gözlenen değerlerde anlamlı bir artış olduğu izlenmiştir. Genelde tüm havzada düşük akım koşullarında III. ve IV. sınıf su kalitesinin görülmesi, havzadaki evsel ve tarımsal deşarjların

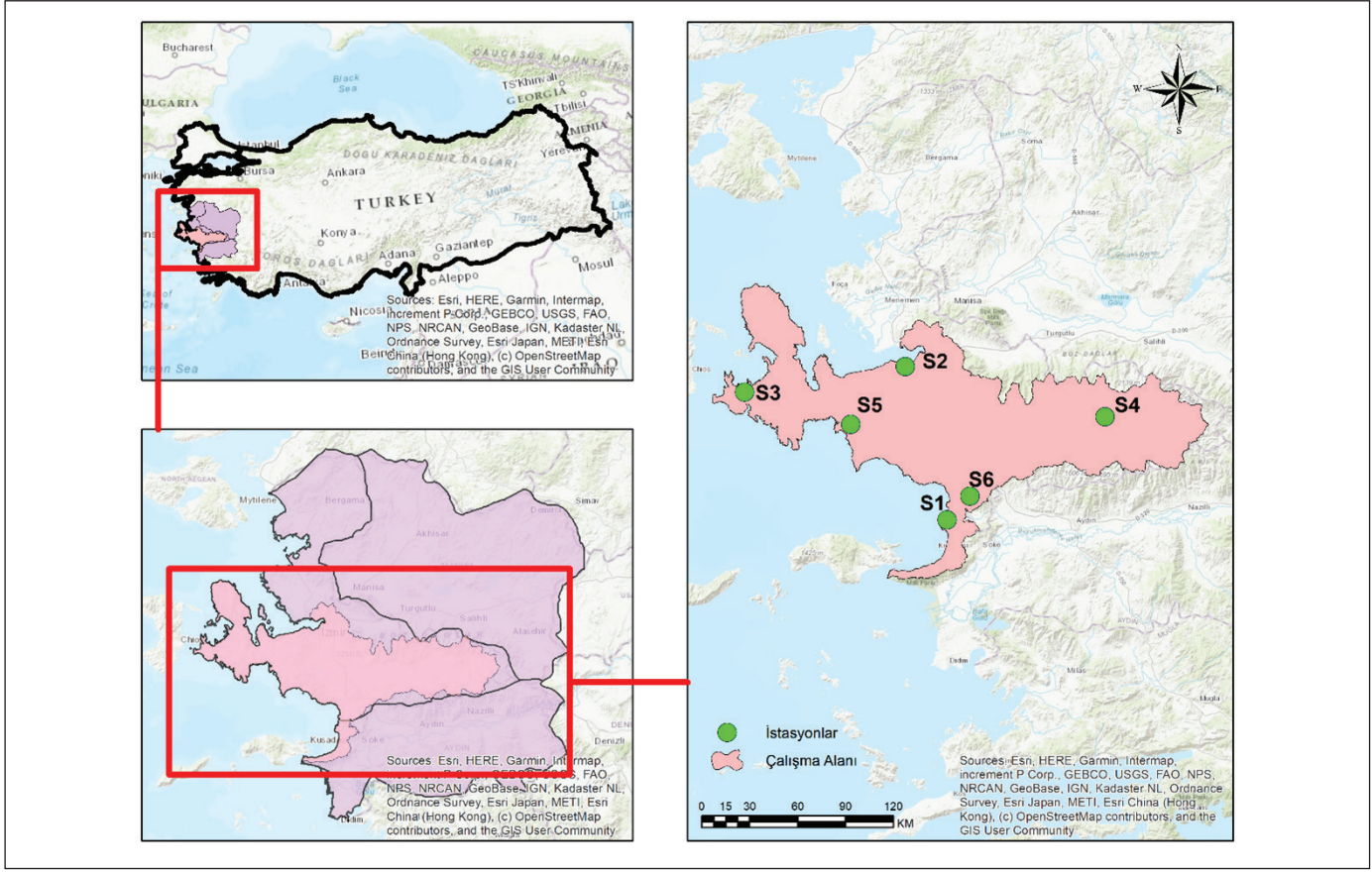
göstergesidir. Suyun çeşitli amaçlar için kullanımı mümkün olmayan kalitede olması, havzada kirlilik önleme stratejilerinin gözden geçirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır (Barbaros vd. 2021).

Bu çalışmada parametrik olmayan ve klasik yöntemler olan Mann-Kendall (MK) ve Şen'in trend eğim metodu kullanılarak; iklim parametrelerinin aylık zaman serileri analiz edilmiştir. Çalışmada 6 adet meteorolojik gözlem istasyonuna ait 1972-2023 yıl aralığındaki verileri kullanılmış olup ilgili bölgede trendin varlığı ve yönü tespit edilmiştir.

2. Gereç ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı ve Veri

Türkiye hidrolojik çalışmalar için 25 ana akarsu havzasına ayrılmıştır. Bu havzalardan biri olan Küçük Menderes Havzası, Türkiye'nin batısında Gediz ve Büyük Menderes Havza'ları arasında bulunup; sularını Küçük Menderes Nehri ve diğer akarsularla Ege Denizi'ne boşaltan alanı kapsamaktadır. Küçük Menderes Havzası, 38°41'05" – 37°24'08" kuzey enlemleri ve 28°24'36" – 26°11'48" doğu boylamları arasında bulunmaktadır (Şekil 1) (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı 2018). Havza, bünyesinde üç ilden ilçeleri barındırmaktadır. Havza, İzmir ilinin büyük bir kısmını, Manisa ilinin Turgutlu ilçesine ait 4 yerleşim yerini ve Aydın ilinin Kuşadası ilçesini kapsar. 3,502 km² alana sahip Küçük Menderes Havzası, sınırları içerisinde bulunan illerin alanlarının büyüklükleri; İzmir (%95), Aydın (%4), Manisa (%1) olarak sıralanmaktadır (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı 2016). Küçük Menderes Havzası'nın en önemli akarsuyu Küçük Menderes Nehri ve yan kolları olan Fetrek Çayı, Uladı Deresi, Ilıca Deresi, Değirmen Dere, Aktaş Deresi, Rahmanlar Deresi, Pirinççi Deresi, Yuvalı Dere, Ceriközkaya Deresi, Eğridere, Birgi Çayı, Çevlik Çayı ve Keles Çayıdır. Küçük Menderes Nehri, Ege Denizi'ne ulaşınca dek yaklaşık 129 km'lik yol kat eder. Havzadaki araziler %55 orman ve yarı doğal alan, %39 tarımsal alan, %5 yapay alan ve %1 su yüzeylerinden oluşmaktadır (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı 2016). Küçük Menderes Havzası'nda, Akdeniz iklim özellikleri etkilidir. Akdeniz ikliminde; kışlar ılık ve yağışlı, yazlar ise sıcak ve kuraktır. Yıllık toplam yağışın yaklaşık yarısı kışın gerçekleşmektedir. Kıyı kuşağında, kar yağışı ve don olayları nadir olarak görünmektedir. Yüksek kesimlerde kışlar, karlı ve soğuk geçmektedir. Kuraklık gözlemlenen bir bölge değildir. Havzanın en az yağış aldığı ay ağustos ayı olarak belirlenirken; en çok yağış aldığı ay ise aralık ayı olarak tespit edilmiştir (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı 2016).



Şekil 1. Küçük Menderes Havzası'nın konum haritası (Esri 2024).

Çizelge 1. İstasyon bilgileri.

İstasyon İsmi	#İstasyon	Enlem	Boylam	Çalışma Aralığı
Kuşadası	S1	37°51'35.1"K	27°15'54.8"D	1972-2023
İBölge	S2	38°23'40.2" K	27°04'55.6"D	1972-2023
Çeşme	S3	38°18'13.1" K	26°22'20.8"D	1972-2023
Ödemiş	S4	38°12'56.6" K	27°57'51.2"D	1972-2023
Seferihisar	S5	38°11'35.0" K	26°50'27.5"D	1972-2023
Selçuk	S6	37°56'32.3" K	27°22'00.8"D	1972-2023

Çalışma alanında 36 adet meteoroloji gözlem istasyonu bulunmaktadır. Trend analizi çalışmaları uzun yıllar veri kaydına sahip istasyonlarda daha gerçekçi sonuçlar vermektedir. 36 adet meteoroloji gözlem istasyonundan yalnızca 6 adedi uzun yıllar veri kaydına sahiptir; bu sebeple Kuşadası, İzmir Bölge (İBölge), Çeşme, Ödemiş, Seferihisar ve Selçuk olmak üzere altı adet Meteoroloji Gözlem İstasyonu'nun 1972-2023 yıllarına ait verileri kullanılmıştır ve bu istasyonların bilgileri Çizelge 1'de yer almaktadır. Bölgede meteorolojik değişkenlerin etkisini incelemek amacıyla

bu istasyonların aylık ortalama nem (ON), ortalama sıcaklık (OS) ve toplam yağış (TY) parametreleri çalışmada kullanılmak üzere seçilmiştir. Bu istasyonlara ait aylık ortalama nem, ortalama sıcaklık ve toplam yağış verilerinin açıklayıcı istatistiksel parametreleri ise Çizelge 2' de gösterilmiştir. Bu istasyonların analizinde kullanılan veri ve aykırı/uç değer sayıları ise Çizelge 3'te gösterilmiştir. İstasyon verilerindeki aykırı/uç değerlerin tespiti için etiketleme yöntemi kullanılmıştır. Etiketleme kuralı, ilk yüzdelik ve üçüncü yüzdelik değerlerini kullanarak veri setlerinde aykırı değerlerin

Çizelge 2. Tanımlayıcı istatistikler.

İstasyon	Parametre	Tanımlayıcı İstatistikler					
		Ortalama	Minimum	Maksimum	Standart Sapma	Çarpıklık	Basıklık
Kuşadası	ON (%)	63,39	36,90	87,40	7,67	-0,53	0,91
	OS (°C)	17,45	5,80	29,50	0,20	0,07	-1,25
	TY (mm)	55,35	0,00	326,50	64,96	1,50	2,17
İBölge	ON (%)	61,36	38,00	80,80	8,54	-0,31	-0,54
	OS (°C)	18,10	5,60	30,60	0,20	0,08	-1,35
	TY (mm)	57,80	0,00	409,80	68,03	1,61	2,81
Çeşme	ON (%)	71,05	54,30	85,00	5,58	-0,28	-0,19
	OS (°C)	17,40	6,30	28,30	0,20	0,06	-1,35
	TY (mm)	47,17	0,00	293,60	59,33	1,58	2,26
Ödemiş	ON (%)	65,82	36,90	91,70	10,12	-0,12	-0,85
	OS (°C)	16,67	4,00	29,30	0,20	0,11	-1,35
	TY (mm)	47,06	0,00	333,70	50,11	1,42	2,50
Seferihisar	ON (%)	64,67	40,10	81,80	8,18	-0,46	-0,63
	OS (°C)	17,17	4,70	30,40	0,20	0,13	-1,29
	TY (mm)	50,33	0,00	435,40	63,42	1,77	3,83
Selçuk	ON(%)	61,73	37,30	87,20	8,83	-0,14	-0,16
	OS (°C)	17,02	4,40	29,60	0,20	0,09	-1,27
	TY (mm)	55,35	0,00	326,50	64,96	1,50	2,17

varlığını tespit eden istatistiksel bir yöntemdir (Kannan vd. 2015). Bu yöntemle göre aşağıda sırasıyla denklem 1 ve 2 ile hesaplanan alt ve üst sınır değerlerinin dışında kalan veriler aykırı/uç (outlier) değer olarak kabul edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan trend analiz yöntemleri uç değerlerin etkisine karşı dayanıklı olduklarından uç değerler veri setinden çıkarılmadan analiz yapılmıştır (Isioma vd. 2018).

$$\text{Alt sınır} = Q_1 - 2.2 * (Q_3 - Q_1) \quad (1)$$

$$\text{Üst sınır} = Q_3 + 2.2 * (Q_3 - Q_1) \quad (2)$$

Burada Q_1 ilk yüzdeler dilimi, Q_3 ise üçüncü yüzdeler dilimi ifade etmektedir. Veri setlerinin Q_1 ve Q_3 yüzdeler değerleri SPSS istatistik programı ile elde edilmiştir.

2.2. Yöntemler

Mann-Kendall testi ve Şen'in trend eğim yöntemi Küçük Menderes havzasında bulunan İBölge, Çeşme, Ödemiş, Seferihisar, Selçuk ve Kuşadası meteoroloji gözlem istasyonları

tarafından 1972-2023 periyodunda ölçülen aylık toplam yağış, ortalama sıcaklık ve ortalama nispi nem parametreleri üzerinde uygulanmıştır. Bu çalışmada daha önce Küçük Menderes havzası için meteorolojik verilerin 6 istasyon bazında incelenmemiş olması sebebiyle meteorolojik veri analizinde sıkça tercih edilen trend analizi yöntemi kullanılarak literatüre katkı hedeflenmektedir. Sadece iki trend analiz yöntemi kullanılmasındaki amaç, parametrik olmayan geleneksel iki yöntemin uygulamasının birbirine benzediği varsayımına karşı, sonuçların ne oranda benzediğini gözlemleyebilmektir.

Mann-Kendall (MK) Test

Mann-Kendall testi 1945 yılında Mann tarafından keşfedilip; 1975 yılında Kendall tarafından geliştirilmiş parametrik olmayan bir testtir (Mann 1945, Kendall 1975). Bu yöntemde H_0 hipotezi veri setinde trend olmadığını kabul ederken; H_1 hipotezi trendin varlığını kabul etmektedir. Mann-Kendall test istatistiği aşağıdaki gibi hesaplanır.

Çizelge 3. İstasyon veri bilgileri.

İstasyon	Parametre	Veri Sayısı	Aykırı Değer Sayısı	Analizde Kullanılan Veri Sayısı
Kuşadası	ON (%)	624	2	624
	OS (°C)	624	0	624
	TY (mm)	624	8	624
İBölge	ON (%)	624	0	624
	OS (°C)	624	0	624
	TY (mm)	624	5	624
Çeşme	ON (%)	624	0	624
	OS (°C)	624	0	624
	TY (mm)	624	10	624
Ödemiş	ON (%)	624	0	624
	OS (°C)	624	0	624
	TY (mm)	624	2	624
Seferihisar	ON (%)	624	0	624
	OS (°C)	624	0	624
	TY (mm)	624	9	624
Selçuk	ON(%)	624	0	624
	OS (°C)	624	0	624
	TY (mm)	624	7	624

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_j - x_i) \quad (3)$$

Denklem 3 ve 4'te görülen "sign" işaret fonksiyonu, tanımlanan değerlerin işaretine göre, -1, 0 ve +1 sonuçlarını veren bir fonksiyondur. Denklem 3'te görülen Mann-Kendall test istatistiği "S" değeri ise Denklem 4'te hesaplanan işaret fonksiyonlarının toplamını ifade etmektedir.

$$\text{sign}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1; & \text{eğer } x_j > x_i \\ 0; & \text{eğer } x_j = x_i \\ -1; & \text{eğer } x_j < x_i \end{cases} \quad (4)$$

Denklem 4'te yer alan x_i ve x_j , i ve j zamanlarında ölçülen verileri ifade etmektedir. S'nin negatif değeri azalan trend anlamına gelirken; S'nin pozitif değeri artan trend anlamına gelmektedir.

Veri sayısı 10'dan büyük olan ($n > 10$) veri setlerinde varyans hesabı;

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^p t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (5)$$

şeklinde yapılıdır. Denklem 5'te yer alan Var(S), varyans hesabı

olup ortalamadan standart sapma olarak da bilinen farkların karesinin ortalamasıdır. Burada n toplam veri sayısını ifade ederken; t_i ise tekrar eden veri sayısını temsil etmektedir. Bu durumda normal "Z" değeri hesabı;

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; & \text{eğer } S > 0 \\ 0; & \text{eğer } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; & \text{eğer } S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

şeklinde yapılıdır. Burada Z istatistiksel normal değeri, S Mann-Kendall test istatistiğini ifade etmektedir.

%95 güven düzeyine karşılık gelen kritik Z değeri ($Z_{kr} = 1,96$), standart normal dağılım tablosundan elde edilerek denklem 6 ile elde edilen Z değeri ile kıyaslanır. Z değerinin mutlak değeri, $Z_{kr} = 1,96$ değerinden küçükse H_0 hipotezi kabul edilir. Bu durum, zaman serisinde istatistiksel olarak anlamlı bir trendin olmadığı anlamını taşımaktadır. Eğer Z değerinin mutlak değeri $Z_{kr} = 1,96$ değerinden büyükse H_1 hipotezi kabul edilir. Bu durum da zaman serisinde istatistiksel olarak anlamlı bir trendin olduğu anlamını taşımaktadır.

Şen'in Trend Eğim Metodu

Şen'in trend eğim yöntemi; Şen tarafından geliştirilmiş ve Hirsch tarafından önerilmiş olan, trendlerdeki lineer değişimin yani eğimin belirlenmesi amacı ile genelde iklim değişikliği gibi hidro-meteorolojik alanlarda kullanılan parametrik olmayan bir analiz yöntemidir (Yüce vd. 2018). Bu yöntem lineer bir eğilimin mevcut olması halinde birim zamandaki değişim, eksik ve hatalı verilerden ya da ekstrem değerlerden etkilenmez. Her bir i noktasının eğimini temsil eden Q_i parametresi, denklem 7 ile hesaplanmaktadır ve bu denklemde yer alan X_j ve X_k , j ve k olarak sembolize edilen zaman periyotlarına karşılık gelen veri değerleridir.

$$Q_i = \frac{(X_j - X_k)}{(j - k)} \quad (j > k) \quad (7)$$

$$N = \frac{n(n-1)}{2} \quad (8)$$

Burada "n" parametresi analizde kullanılacak veri sayısını ifade etmektedir. Denklem 8 ile hesaplanan N değeri Q_i parametrelerinin toplam sayısını verir. Bulunan bu N adet Q_i değerlerin medyanı (Q_{medyan}) söz konusu bölgedeki ilgili iklim parametresinin birim zamandaki değişimini vermektedir. Medyanın manuel hesaplamalarında N parametresinin tek ya da çift olmasına bağlı olarak iki farklı formül kullanılmaktadır.

N çift sayı olmak üzere:

$$Q_{medyan} = \frac{1}{2} [Q_{(\frac{N}{2})} + Q_{(\frac{N+2}{2})}] \quad (9)$$

Burada, Q_i değerlerin medyanını ifade etmektedir ve küçükten büyüğe sıralanmış veri setinde baştan $(N/2)$. değer ile $((N+2)/2)$. değerlerin ortalaması alınarak hesaplanır.

N tek sayı olmak üzere;

$$Q_{medyan} = Q_{(\frac{N+1}{2})} \quad (10)$$

Burada Q_{medyan} , Q_i değerlerin medyanını ifade etmektedir ve küçükten büyüğe sıralanmış veri setinde $((N+1)/2)$. değer bulunarak hesaplanır.

Hesaplanan medyan değerinin pozitif olması halinde bölgede artan trend, negatif olması halinde ise azalan trend mevcuttur. Medyanın sıfır bulunması ise zaman serilerinde trendin olmadığı anlamı taşımaktadır. Trend analizi için hesaplanan medyan değerinin yanı sıra, sonucun güven aralığında anlamlı olup olmadığını tespit etmek için alt (Q_{alt}) ve üst ($Q_{üst}$) sınır değerler hesaplanır, $Var(S)$, denklem 5'te

gösterildiği gibi veri setleri üzerindeki varyans hesabını ifade etmektedir ve $Z_1 - \alpha/2$ değeri standart normal dağılım tablosundan elde edilmektedir. Buna göre ilgili eğimin %95 düzeyde ($\alpha=0,05$) güven aralığı denklem 11'deki gibi hesaplanır.

$$C_\alpha = Z_{1-\alpha/2} \cdot \sqrt{Var(S)} \quad (11)$$

$$M_1 = (n - C_\alpha) / 2 \quad (12)$$

$$M_2 = (n + C_\alpha) / 2 \quad (13)$$

Burada M_1 ve M_2 , Q_{alt} ve $Q_{üst}$ değerlerinin eğim değerleri arasında sırasının bulunmasına yardımcı olan parametrelerdir.

Q_{alt} ve $Q_{üst}$ değerleri; denklem 12 ve 13'te gösterilen M_1 'inci ve $(M_2 + 1)$ 'inci en büyük eğim tahminleridir (Da Silva vd. 2015). Q_{alt} ve $Q_{üst}$ değerlerin farklı işaretli olmaları sonucunda analizde anlamlı bir trend bulunamaz; aynı işaretli olmaları sonucunda ise trend anlamlı olmakla birlikte trendin yönü bulunan medyan değerine göre yorumlanır.

3. Bulgular

Bu çalışmada, İzmir, Manisa ve Aydın illerinin yer aldığı Küçük Menderes Havzası'nın sınırları içerisinde kalan Kuşadası, İBölge, Çeşme, Ödemiş, Seferihisar ve Selçuk olmak üzere 6 adet meteoroloji gözlem istasyonunun 1972-2023 yıllarına ait daha önce çalışılmamış meteorolojik verileri bölgede uzun süre kaydı bulunan ve bölgenin iklim koşullarını etkileyen parametrelerinden seçilen aylık ortalama nispi nem, ortalama sıcaklık ve toplam yağış gibi meteorolojik verilerine, 0,05 anlamlılık düzeyinde, MK testi ve Şen'in Eğim Metodu uygulanmıştır ve literatüre katkısı açıklanmıştır.

Mann-Kendall Testi Bulguları

Çalışma alanında bulunan 6 istasyonun 1972-2023 periyodu aylık toplam yağış, ortalama nispi nem ve ortalama sıcaklık verilerine uygulanan MK testi yönteminin sonuçları sırasıyla Çizelge 4, Çizelge 5 ve Çizelge 6 ile verilmiştir. MK trend testine göre İBölge, Çeşme, Ödemiş, Seferihisar, Selçuk ve Kuşadası istasyonları toplam yağış verileri için hesaplanan MK test istatistiği S değerleri sırasıyla 2670, 3833, 14, 1954, -516 ve 1551'dir. Bu parametre için her bir istasyona göre hesaplanan standart Z değerleri ise sırayla 0,513066, 0,736631, 0,002499, 0,3754228, -0,099, 0,297959'dur. Bu test ile hesaplanan standart Z değerlerinin mutlak değeri, %95 güven aralığında hesaplanan $Z_{kr} = 1,96$ değeri ile karşılaştırıldığında, her istasyon için hesaplanan mutlak standart Z değerlerinin $Z_{kr} = 1,96$ değerinden küçük olduğu görül-

mektedir. Bu durumda bütün istasyonlar için zaman serisinde trend olmadığını öne süren H_0 hipotezi kabul edilir. Çizelge 5'te verilen ortalama nispi nem sonuçlarına göre İBölge ve Kuşadası istasyonları için ($Z > Z_{kr}$) ile trendin varlığını kabul eden H_1 hipotezi kabul edilir. Aynı istasyonlar için S değeri incelendiğinde, S değerleri negatif olduğundan bu iki istasyonda azalan trendin varlığı söz konusudur. Aynı para-

metre için incelenen Çeşme, Ödemiş, Seferihisar ve Selçuk istasyonları için ise $Z > Z_{kr}$ sağlanmamış olup bu istasyonlar için "anlamli trend yoktur" yorumu yapılabilir. Çizelge 6 incelendiğinde aylık ortalama sıcaklık parametresinde bütün istasyonlar için $Z > Z_{kr}$ sağlanmış olup, S değerlerinin pozitif hesaplanması sonucu bütün istasyonlar için artan trendin varlığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4. Aylık toplam yağış verilerinin Mann-Kendall metoduna göre değerlendirilmesi.

İstasyon	Çalışma Aralığı	Mann-Kendall Testi			
		S	Z_{kr}	Z	Trend
Kuşadası	1972-2023	1551	1,96	0,297959	ATY
İBölge	1972-2023	2670	1,96	0,513066	ATY
Çeşme	1972-2023	3833	1,96	0,736631	ATY
Ödemiş	1972-2023	14	1,96	0,002499	ATY
Seferihisar	1972-2023	1954	1,96	0,375428	ATY
Selçuk	1972-2023	-516	1,96	-0,099	ATY

ATY: Anlamli trend yok.

Çizelge 5. Ortalama aylık nispi nem verilerinin Mann-Kendall metoduna göre değerlendirilmesi.

İstasyon	Çalışma Aralığı	Mann-Kendall Testi			
		S	Z_{kr}	Z	Trend
Kuşadası	1972-2023	-28372	1,96	-5,4538	↓
İBölge	1972-2023	-29493	1,96	-5,66929	↓
Çeşme	1972-2023	6709	1,96	1,289488	ATY
Ödemiş	1972-2023	2628	1,96	0,504992	ATY
Seferihisar	1972-2023	-5312	1,96	-1,02094	ATY
Selçuk	1972-2023	1384	1,96	0,265856	ATY

↓: Azalan trend, ATY: Anlamli trend yok.

Çizelge 6. Ortalama aylık sıcaklık verilerinin Mann-Kendall metoduna göre değerlendirilmesi.

İstasyon	Çalışma Aralığı	Mann-Kendall Testi			
		S	Z_{kr}	Z	Trend
Kuşadası	1972-2023	21710	1,96	4,173152	↑
İBölge	1972-2023	12989	1,96	2,496702	↑
Çeşme	1972-2023	11363	1,96	2,184134	↑
Ödemiş	1972-2023	11471	1,96	2,204895	↑
Seferihisar	1972-2023	16401	1,96	3,152596	↑
Selçuk	1972-2023	12084	1,96	2,322732	↑

↑: Artan trend.

Şen'in Trend Eğimi Analiz Bulguları

Çalışma alanında bulunan 6 istasyonun 1972-2023 periyodu aylık toplam yağış, ortalama nispi nem ve ortalama sıcaklık verilerine uygulanan Şen'in trend eğim yöntemiyle medyan değeri, trendin anlamlı olup olmadığını tespit etmek amacıyla %95 anlamlılık düzeyinde güven aralığı ve bu güven aralığına bağlı alt ve üst sınır değerler hesap-

lanmış ve sonuçları Çizelge 7, Çizelge 8 ve Çizelge 9 ile verilmiştir. Ayrıca bu yöntemden elde edilen zaman serisi analizleri aylık toplam yağış, ortalama nispi nem ve ortalama sıcaklık verileri için sırasıyla Şekil 2, Şekil 3. ve Şekil 4'te gösterilmiştir. Çizelge 7'de yer alan aylık toplam yağış verilerinde tüm istasyonların Q_{medyan} sonuçlarının 0 olduğu gözlemlenmektedir. Trendin belirlenen güven aralığında an-

Çizelge 7. Aylık toplam yağış verilerinin Şen'in eğimi metoduna göre değerlendirilmesi.

İstasyon	Çalışma Aralığı	Şen'in Eğim Testi			Trend
		Q_{medyan}	Q_{alt}	$Q_{üst}$	
Kuşadası	1972-2023	0	-0,00342	0,00241	ATY
İBölge	1972-2023	0	-0,00201	0,008633	ATY
Çeşme	1972-2023	0	0	0,003738	ATY
Ödemiş	1972-2023	0	-0,00793	0,007778	ATY
Seferihisar	1972-2023	0	0	0,002765	ATY
Selçuk	1972-2023	0	-0,00342	0,00241	ATY

ATY: Anlamlı trend yok.

Çizelge 8. Ortalama aylık nispi nem verilerinin Şen'in eğim metoduna göre değerlendirilmesi.

İstasyon	Çalışma Aralığı	Şen'in Eğim Testi			Trend
		Q_{medyan}	Q_{alt}	$Q_{üst}$	
Kuşadası	1972-2023	-0,00833	-0,01124	-0,00534	↓
İBölge	1972-2023	-0,01111	-0,01498	-0,00726	↓
Çeşme	1972-2023	0,001724	-0,00086	0,004348	ATY
Ödemiş	1972-2023	0,001176	-0,00337	0,005701	ATY
Seferihisar	1972-2023	-0,00187	-0,0055	0,001667	ATY
Selçuk	1972-2023	0,000535	-0,00358	0,004603	ATY

↓: Azalan trend, ATY: Anlamlı trend yok.

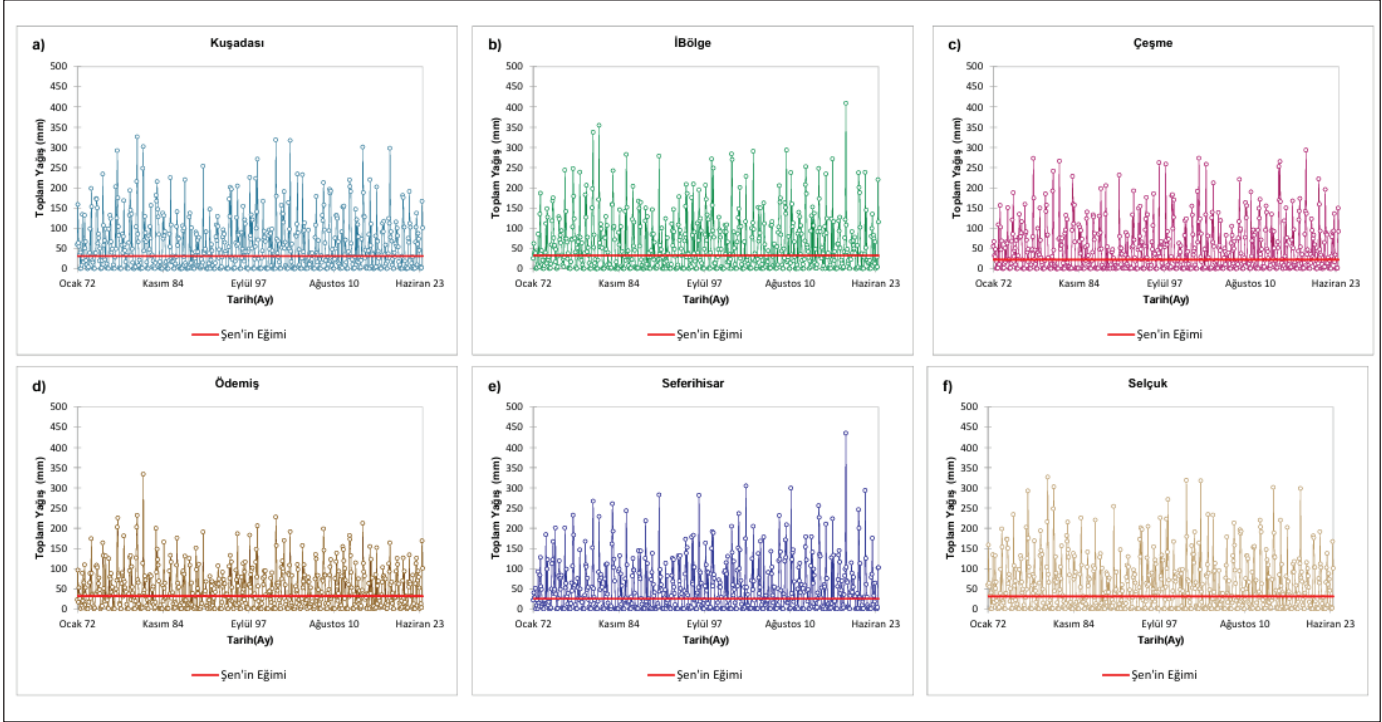
Çizelge 9. Ortalama aylık sıcaklık verilerinin Şen'in eğim metoduna göre değerlendirilmesi.

İstasyon	Çalışma Aralığı	Şen'in Eğim Testi			Trend
		Q_{medyan}	Q_{alt}	$Q_{üst}$	
Kuşadası	1972-2023	0,005556	0,003053	0,008012	↑
İBölge	1972-2023	0,003614	0,000794	0,006452	↑
Çeşme	1972-2023	0,002601	0,000216	0,004895	↑
Ödemiş	1972-2023	0,003289	0,000346	0,006084	↑
Seferihisar	1972-2023	0,004367	0,001685	0,007003	↑
Selçuk	1972-2023	0,003274	0,000379	0,006029	↑

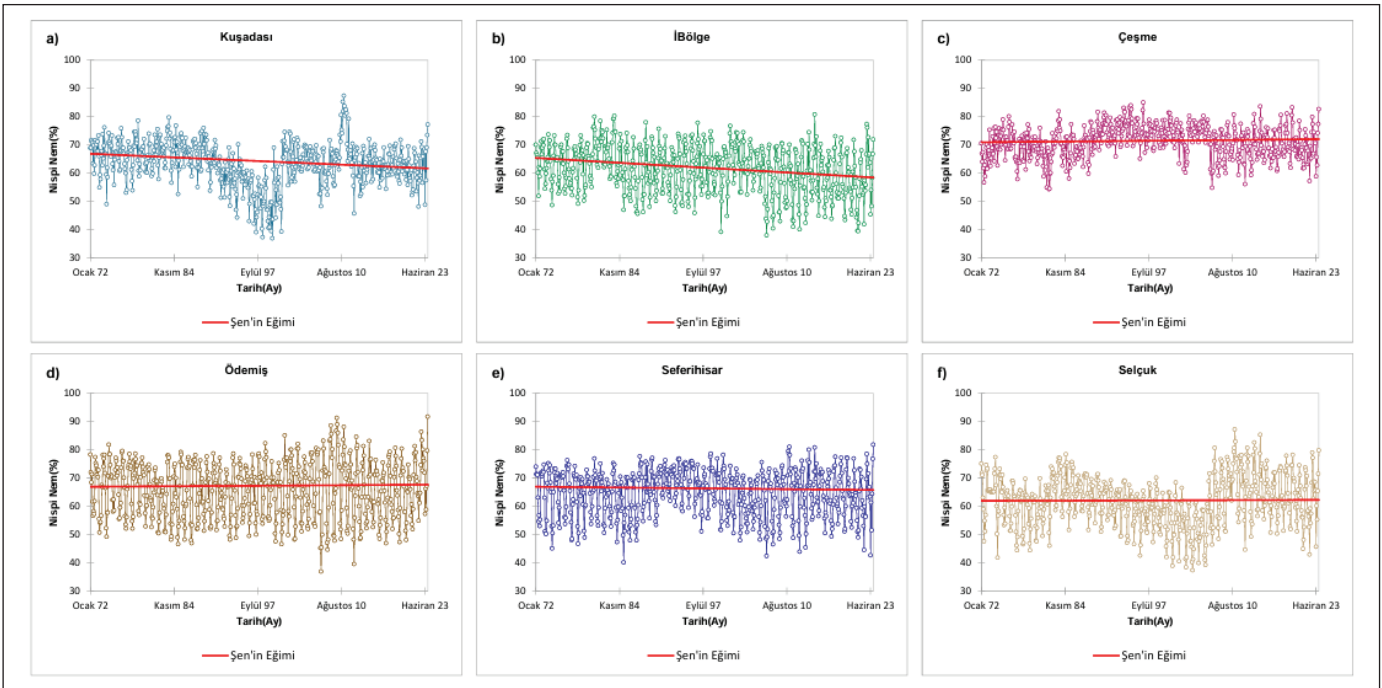
↑: Artan trend.

lamlı olup olmadığına karar vermek üzere Q_{alt} ve $Q_{üst}$ değerleri incelendiğinde, sınır değer çiftlerinin farklı işaretli olduğu ve böylece tüm istasyonlarda anlamlı bir trend bulunmadığı görülmüştür. Çizelge 8'de yer alan aylık ortalama nispi nem

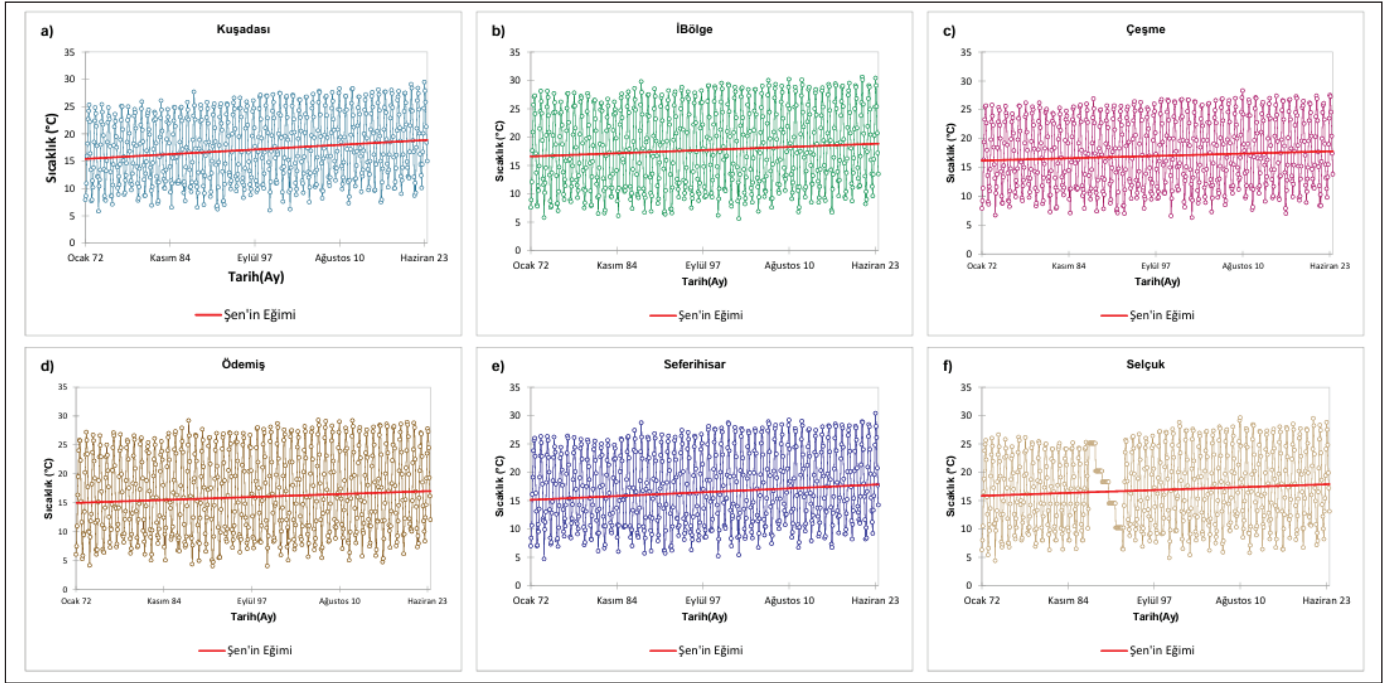
parametresine ait verilerin Q_{medyan} sonuçları incelendiğinde İBölge, Seferihisar ve Kuşadası istasyonlarında negatif; Çeşme, Ödemiş ve Selçuk istasyonlarında pozitif değerler bulunmuştur. İBölge ve Kuşadası istasyonlarının Q_{alt} ve $Q_{üst}$



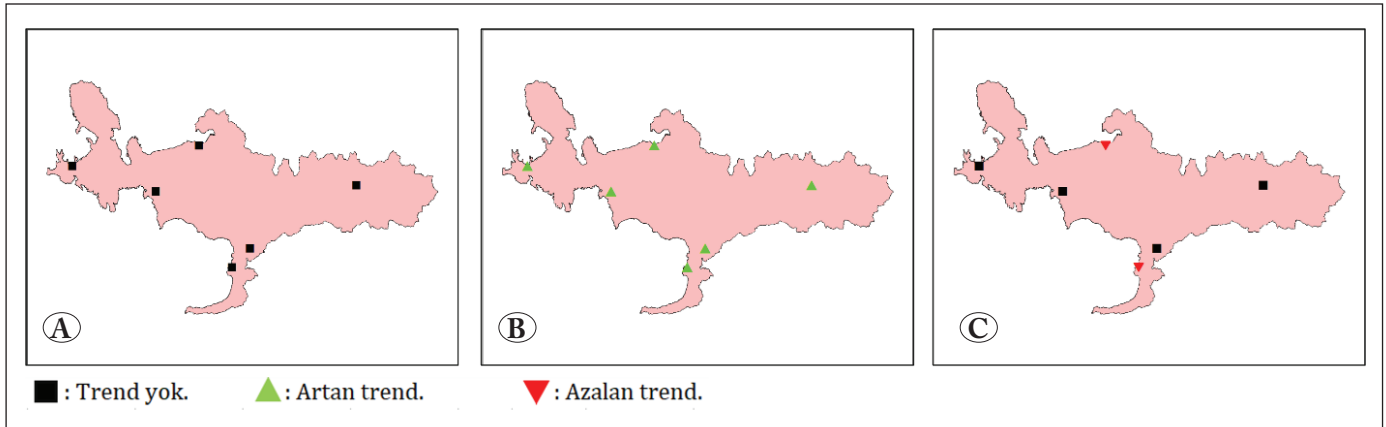
Şekil 2. Şen'in eğim metodu kullanılarak aylık toplam yağış eğilimlerinin analizi.



Şekil 3. Şen'in eğim metodu kullanılarak aylık ortalama nispi nem eğilimlerinin analizi.



Şekil 4. Şen'in eğim metodu kullanılarak aylık ortalama sıcaklık eğilimlerinin analizi.



Şekil 5. İki trend analizi yöntemine göre aylık toplam yağış (A), aylık ortalama sıcaklık (B) ve aylık ortalama nispi nem (C) sonuçları.

değerlerinin aynı işaretli olmasına karşın istasyonlarda medyan değerlerine uygun olarak azalan bir trend varlığı gözlemlenmektedir. Diğer istasyonların Q_{alt} ve $Q_{üst}$ değerlerinin farklı işaretli olması ise, medyan değerinden bağımsız olarak anlamlı bir trendin olmadığını göstermektedir. Çizelge 9 incelendiğinde, aylık ortalama sıcaklık verilerinin tüm medyan değerleri pozitif olarak hesaplanmıştır. Çizelgede görüldüğü üzere tüm sınır değer çiftlerinin pozitif olmasına karşın, tüm istasyonlarda artan trend varlığı söz konusudur.

Aylık toplam yağış, aylık ortalama sıcaklık ve aylık ortalama nispi nem parametrelerinin 6 istasyon için MK test ve

Şen'in trend eğimi sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 5'te gösterilmiştir.

4. Tartışma

Bu çalışmada, İzmir ilinin büyük bir bölümünü kapsayan, Aydın ve Manisa'nın da bir kısmının bulunduğu Küçük Menderes Havzası'nın meteorolojik verilerini Kuşadası, İBölge, Çeşme, Ödemiş, Seferihisar ve Selçuk istasyonları için aylık toplam yağış, aylık ortalama nispi nem ve aylık ortalama sıcaklık parametreleri kullanılarak trend analiz yöntemleri uygulanmıştır. Trend analiz yöntemleri içinde parametrik olmayan, geleneksel iki yöntem olan MK ve Şen'in Trend

Eğim Yöntemi 0,05 anlamlılık düzeyinde uygulanarak, bu iki yöntemin sonuçlarının hangi oranda benzerlik gösterdiği incelenmiştir. Şen'in Trend Eğim Yöntemi'nde medyan değerinden bağımsız olarak güven aralığında anlamlılık tespiti için alt ve üst sınır değerler hesaplanmış ve bu değerlere göre yorumlama yapılmıştır. İki yöntem birbiri içinde kıyaslanarak, hangi parametrelerde, hangi istasyonlarda aynı ve farklı sonuçları verdiği gözlemlenmiştir. Literatür incelendiğinde, MK ve Şen'in Trend Eğimi sonuçlarının tamamen olmasa da büyük oranda benzerlik gösterdiği saptanmıştır. Çalışma sonucunda her iki yöntemin sonucunun da literatürde incelendiği gibi benzerlik gösterdiği gözlemlenmiştir. Çalışılan bölge için geçmiş yıllara ait verilerinden faydalanılarak gelecek yıllarda oluşabilecek meteorolojik afetlerin tahmini amaçlanmıştır. Yaşanması olası meteorolojik afetin kuraklık olduğu saptanmış olup buna karşı önlem alınması gerektiği belirtilmiştir. Çalışma sonuçlarından yola çıkarak havza özelinde kuraklık riskinin daha doğru tespit edilebilmesi için farklı yöntemler kullanılarak kuraklık risk analizleri yapıp havzadaki mevcut su kaynaklarının optimizasyonu ve su kaynakları yönetim planlarının yapılması önerilmektedir.

5. Sonuç

Bu çalışmada Küçük Menderes havzasında bulunan ve uzun yıllar (1972-2023) veri kaydına sahip olan 6 adet meteoroloji gözlem istasyonunun aylık toplam yağış, ortalama sıcaklık ve ortalama nispi nem verilerine MK ve Şen'in trend eğim metodu yöntemleri uygulanmıştır. Bu analizler sonucunda,

- Havzadaki istasyonların tümünün aylık toplam yağış değerlerinde herhangi bir anlamlı trend gözlemlenmemiştir (Şekil 5A),
- Havzadaki istasyonların tümünün aylık ortalama sıcaklık değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı artan trend eğilimi gözlemlenmiştir (Şekil 5B),
- Aylık ortalama nispi nem değerlerinde ise her iki trend analiz yöntemine göre bazı istasyonlarda (Çeşme, Ödemiş, Seferihisar ve Selçuk) anlamlı bir trend gözlemlenmezken, bazı istasyonlarda (İBölge ve Kuşadası) ise anlamlı bir azalış trendi gözlemlenmiştir (Şekil 5C),
- Çalışmada uygulanan her iki trend analiz yöntemi sonuçları birbiriyle uyum göstermektedir (Şekil 5).

Çalışmada ele alınan tüm istasyonların meteorolojik verilerine Şen'in trend eğim ve MK metodu olmak üzere 2 adet parametrik olmayan test uygulanmıştır ve MK test sonuçları Çizelge 3, Çizelge 4 ve Çizelge 5'te, Şen'in trend eğimi analiz sonuçları Çizelge 6, Çizelge 7, Çizelge 8'de gösterilmiştir.

Literatür incelendiğinde MK test ve Şen'in trend eğim testi trend sonuçları farklı eğilimlerde olabilmekle beraber bazı durumlarda trendin varlığı hususunda da uyumsuzluk gösterebilmektedirler. Kır ve Güldal (2022) çalışmasında Antalya ve Isparta illerinde 1971-2018 yıllarına ait aylık ve yıllık yağışların trendlerini araştırmıştır. Kullanılan testler içinde MK ve Şen'in trend eğim metodu da bulunan çalışmanın sonucunda MK ile yapılan trend analizinde anlamlı bir trend belirlenmemişken; Şen'in trend eğim metodunda hem aylık hem de yıllık yağışlar üzerinde artan ve azalan trendler bulunmuştur (Kır ve Güldal 2022). Eroğlu (2022) çalışmasında Trakya Yarımada'sının mevsimlik, altı aylık ve yıllık ortalama sıcaklık, ortalama minimum ve maksimum sıcaklıklarının trend analizlerini araştırmıştır. Çalışmada 13 adet meteoroloji istasyonuna ait verilerden yararlanılmıştır. Bulunan sonuçlara göre; MK ile yapılan analizlerde trendler sadece anlamlı veya anlamsız olarak yorumlanırken; Şen'in trend eğim metodu ile yapılan analizlerde genelde artış yönünde bir trend belirlenmiştir (Eroğlu 2022). Terzi ve İlker (2021) çalışmasında Kızılırmak Havzası'ndaki aylık, yıllık ve mevsimlik yağış verilerine trend analizi uygulamış ve yağışın gelecekteki davranışı hakkında tahminde bulunmayı amaçlamıştır. Çalışmada, MK metodu trend analizi için, Şen'in trend eğim metodu ise sadece birim zamandaki değişimi bulmak amacıyla kullanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, Kızılırmak Havzası'nın on il merkezinin verilerinde de istatistiksel açıdan anlamlı bir trend bulunmadığı gözlemlenmiştir (Terzi ve İlker 2021). Küçük Menderes Havzası'nın geçmiş yıllara ait meteorolojik verilerinden elde edilen trend sonuçları incelendiğinde, diğer çalışmaların aksine bu çalışmada; MK ve Şen'in trend eğim metodu sonuçları anlamlılık göstermiştir ve trend eğilimi açısından uyusmaktadır.

Şekil 5 değerlendirildiğinde havza genelinde sıcaklık trendinde artış saptanmıştır ve bu durum buharlaşmanın artmasına sebep olarak yağış düzenlerini etkileyebilecektir. Ayrıca bu durum kuraklık olayının şiddet ve sıklığını etkileyebilecektir. Sıcaklık artışlarının sosyo-ekonomik etkileri de önemlidir. Tarım ve su kaynakları üzerindeki baskı artabilir, ekonomik faaliyetlerin ve insan yerleşimlerinin yer değiştirmesine neden olabilir. Kuraklığı önlemek için yapılabilecek bazı çalışmalar:

- Sulama sistemleri düzenli olarak kontrol edilmeli ve yer altı sulama teknikleri gibi daha etkili sulama yöntemleri benimsenmelidir.
- Drip sulama, mikro püskürtme veya yağmurlama gibi daha az su tüketen tarım sulama teknikleri kullanılmalıdır.

- Yağmur sularının biriktirilerek bahçe sulamasında veya diğer amaçlarda kullanılmasıyla su tüketimi azaltılabilir.
- Su havzalarının koruma altına alınması, nehir yataklarındaki yapılaşmanın kontrol altına alınması ve dere temizlik çalışmalarının düzenli yapılması gibi su kaynaklarını koruyucu önlemler alınmalıdır.
- Toplumda su tasarrufu ve kuraklıkla mücadele konularında farkındalık oluşturmak için eğitim programları düzenlenmeli, bilinçlendirme faaliyetleri yürütülmelidir.

Bu önlemler kuraklıkla mücadelede etkili olabilir ve su kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasına yardımcı olabilir.

Tarımsal açıdan önemli bölgelerimizden olan Ege bölgesi su kaynakları, tarım politikaları ve su havzalarını koruma altında bilimsel çalışmalar ışığında tekrar değerlendirilebilir.

Teşekkür: Bu çalışma TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenen 1919B012311476 numaralı projeden üretilmiştir. Yazarlar veri temini için Meteoroloji Genel Müdürlüğüne teşekkürlerini sunar.

6. Kaynaklar

- Akın, G. 2006.** Küresel Isınma, Nedenleri ve Sonuçları. Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi, 46(2): 29-43.
- Barbaros, F., Onuşlu Gül, G., Boyacıoğlu, H. 2021.** Küçük Menderes Havzası Örneğinde Su Kalitesinde Mevsimselliğin Parametrik Olmayan İstatistiksel Yöntemlerle Değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 25(2): 195-207. <https://doi.org/10.19113/sdufenbed.790331>
- Bacanlı, ÜG., Tanrıku, A. 2017.** Ege Bölgesinde buharlaşma verilerinin trend analizi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17(3): 980-987. Doi: 10.5578/fmbd.66282
- Da Silva, RM., Santos, CA., Moreira, M., Corte-Real, J., Silva, VC., Medeiros, IC. 2015.** Rainfall and river flow trends using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in the Cobres River basin. Natural Hazards, 77: 1205-1221. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1644-7>
- Eroğlu, İ. 2022.** Trakya Yarımadası'nda Ortalama Hava Sıcaklıklarının Trend Analizi. Social Sciences Studies Journal (SSSJ), 8(102): 3121-3144. Doi: 10.29228/sssj.64624

- Esri, DeLorme 2024.** HERE, TomTom, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), swisstopo, MapmyIndia, and the GIS User Community
- Gümüş, V., Şimşek, O., Açar, MK. 2022.** Artvin ve Rize İstasyonlarına ait Aylık Toplam Yağış Verilerinin Trendinin Farklı Yöntemlerle Değerlendirilmesi. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 7(3): 204-216. <https://doi.org/10.46578/humder.1207593>
- Isioma, IN., Rudolph, II., Omena, AL. 2018.** Non-parametric Mann-Kendall test statistics for rainfall trend analysis in some selected states within the coastal region of Nigeria. Journal of Civil, Construction and Environmental Engineering, 3(1): 17-28. Doi: 10.11648/j.jccee.20180301.14
- Kannan, KS., Manoj, K., Arumugam, S. 2015.** Labeling methods for identifying outliers. International Journal of Statistics and Systems, 10(2): 231-238.
- Kendall, MG. 1975.** Rank correlation methods. 4th Edition, Charles Griffin.
- Kır, EG., Güldal, V. 2022.** Antalya ve Isparta Yağış Verilerinin Trend Analizi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(3): 899-907. <https://doi.org/10.21923/jesd.1105485>
- Leg, S. 2021.** IPCC, 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Mann, HB. 1945.** Non-parametric test against trend. Econometrica 13: 245-259. <http://dx.doi.org/10.2307/1907187>
- SPSS Statistics 27.0.** Software, IBM, United States.
- Şahin, Y., Baba, A. ve Tayfur, G. 2018.** Küçük Menderes Havzası Su Kaynaklarının Sürdürülebilirliği, DÜMF Mühendislik Dergisi 9(2): 955-962.
- T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı 2016.** Küçük Menderes Havzası Kuraklık Yönetim Planı. Ankara.
- T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı 2018.** Sürdürülebilir Orman Yönetimi Kriter ve Göstergeleri Ulusal Setin Revizyonu Çalışmaları. Ormanların Sağlığı, Canlılığı ve Bütünlüğü Kriterleri Çalışma Grubu Raporu. Ankara.
- Terzi Ö., İlker A. 2021.** Yağış Verilerinin Trend Analizi: Kızılırmak Havzası Örneği. Academic Platform-Journal of Engineering and Science, 9(2): 371-377. Doi: 10.21541/apjes.735378
- Yue, S., Pilon, P., Phinney, BOB. 2003.** Canadian streamflow trend detection: impacts of serial and cross-correlation. Hydrological Sciences Journal, 48(1): 51-63. <https://doi.org/10.1623/hysj.48.1.51.43478>
- Yüce Ş., Ercan B., Eşit M., Ünsal M. 2018.** Seyhan havzası yağış verilerinin eğilim analizi. İklim Değişikliği ve Çevre, 3(2): 47-54.



Siamese Neural Networks Based Ensemble Model for the Prediction of Protein-Protein Interactions

Protein-Protein Etkileşimlerinin Tahmini İçin Siyam Sinir Ağı Tabanlı Topluluk Modeli

Duygu Geçkin¹ , Güleser Kalaycı Demir^{2*} 

¹Dokuz Eylül University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, İzmir, Türkiye

²Dokuz Eylül University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, İzmir, Türkiye

Abstract

A wide range of biological processes, including signal transmission, immunological responses, and metabolic cycles, are impacted by protein-protein interactions. These interactions have enormous implications for figuring out the origins of diseases and creating treatments. However, experimental methods for identifying PPIs are resource-intensive, time-consuming, and have limited coverage. Thus, computational techniques are essential to help and enhance activities related to protein identification. This study aims to build a deep learning network for predicting protein-protein interactions using only sequence information. Three different encoding methods are used to encode protein sequences: Binary Encoding, Autocovariance, and Position Specific Scoring Matrix. In order to predict protein-protein interactions, a convolutional Siamese neural network is employed to find complex patterns between protein sequence pairs. This network consists of two identical subnetworks with matched parameters. When applied to the human dataset, the suggested technique shows strong prediction performance with an accuracy of 84.07%, sensitivity of 92.45%, and precision of 91.45% for the model using the PSSM protein representation approach. An ensemble approach is suggested to combine the outputs from these three encoders because it is known that different encoding techniques capture various aspects of the same protein sequence. The accuracy obtained increased to 86.27% for the ensemble approach on the test set, with a sensitivity of 93.07% and a precision of 92.15%. The outcome highlights the importance of integrating several encoding methods to benefit from their complementary features and raise the accuracy of protein-protein interaction prediction.

Keywords: Deep learning, one-hot encoding, position-specific scoring matrices, autocovariance


Öz

Sinyal iletimi, immünolojik yanıtlar ve metabolik döngüler dahil olmak üzere çok çeşitli biyolojik süreçler, protein-protein etkileşimlerinden etkilenir. Bu etkileşimlerin, hastalıkların kökeninin anlaşılması ve tedavilerin oluşturulması açısından çok büyük etkileri vardır. Ancak protein-protein etkileşimlerini belirlemeye yönelik deneysel yöntemler yoğun kaynak gerektirir, zaman alıcıdır ve kapsamı sınırlıdır. Bu nedenle, protein tanımlamayla ilgili faaliyetlere yardımcı olmak ve bunları geliştirmek için hesaplamalı teknikler önemlidir. Bu çalışma, yalnızca dizi bilgisini kullanarak protein-protein etkileşimlerini tahmin etmek için derin öğrenme ağı oluşturmayı amaçlamaktadır. Protein dizilerini kodlamak için üç farklı kodlama yöntemi kullanılmıştır: İkili Kodlama, Otokovaryans ve Konuma Özel Puanlama Matrisi. Protein-protein etkileşimlerini tahmin etmek amacıyla, protein dizi çiftleri arasındaki karmaşık modelleri bulmak için evrişimli bir Siyam sinir ağı kullanılmıştır. Bu ağ, eşleşen parametrelere sahip iki özdeş alt ağdan oluşmaktadır. Önerilen teknik, insan veri kümesine uygulandığında, PSSM protein temsili yaklaşımını kullanan model için %84.07 doğruluk, %92.45 hassasiyet ve %91.45 kesinlik ile güçlü tahmin performansı göstermektedir. Farklı kodlama tekniklerinin aynı protein dizisinin farklı yönlerini yakaladığı bilindiğinden bu üç kodlayıcıdan gelen çıktıları birleştirmek için bir topluluk yaklaşımı önerilmektedir. Test setinde topluluk yaklaşımı için elde edilen doğruluk %86.27'ye hassasiyet ve %93.07'ye kesinlik ise %92.15'e artırılmıştır. Sonuç, tamamlayıcı özelliklerinden yararlanmak ve protein-protein etkileşimi tahmininin doğruluğunu artırmak için çeşitli kodlama yöntemlerinin entegre edilmesinin önemini vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Derin öğrenme, ikili kodlama, konuma özel puanlama matrisi, otokovaryans

*Corresponding author: guleser.kalayci@deu.edu.tr

Duygu Geçkin  orcid.org/0000-0002-2257-5484

Güleser Kalaycı Demir  orcid.org/0000-0003-3808-5305



This work is licensed by "Creative Commons Attribution-NonCommercial-4.0 International (CC)".

1. Introduction

The prediction of protein interactions is crucial for studying diseases, cellular systems, and forming the foundation for therapeutic strategies (Browne et al. 2010). Protein-protein interactions (PPIs) play a pivotal role in many cellular biological processes, e.g., cellular organization, transmission of signals, recognition of foreign molecules, and acceleration of chemical reactions (Sun et al. 2017). Various experimental techniques have facilitated the exploration of conserved protein interaction sites and the screening of numerous protein interaction partners. Tandem affinity purification (TAP), nuclear magnetic resonance (NMR), atomic force microscopy (AFM), X-ray crystallography, and chemical crosslinking are among the techniques used (Zhu et al. 2019). While these biological experimental approaches have greatly helped to the identification of PPIs, it is critical to recognize that due to their labor-intensive, expensive and time consuming nature, they only cover a portion of the vast areas of PPIs.

As a result, there is a rising need for computational tools to complement and improve our understanding of protein interactions (Yang et al. 2021). Many researchers have actively pursued the creation of sequence-based approaches for finding novel PPIs. According to experimental findings, it is possible to predict PPIs by only using information from amino acid sequences (You et al. 2013). Shen et al. (2007) used protein information mining to compute the frequencies of conjoint triads inside protein sequences by treating three consecutive amino acids as a unit. Their studies demonstrated that PPIs could be predicted based on sequence information (Shen et al. 2007).

Deep neural networks, a major development in machine learning in recent years, have the capacity to learn efficient representations of raw data automatically. They are excellent at identifying high-level features, improving performance beyond what can be accomplished by conventional models, and also providing increased interpretability. So, in recent times, deep learning has demonstrated significant interest in domains such as computer vision, machine translation, and bioinformatics. Deep neural networks also help us better understand the information contained in biological data by giving us valuable insights into its underlying structure (Angermueller et al. 2016). For instance, it has been utilized for tasks like calling Single Nucleotide Polymorphisms (SNPs) and detecting small insertions and deletions (indels) (Poplin et al. 2018). Additionally, deep learning techniques have been employed to assess the impact of non-coding

sequence variants on 3D chromatin structure (Trieu et al. 2020). Furthermore, deep learning plays a crucial role in predicting various aspects of proteins, including their function (Gligorijević et al. 2021), structural attributes (Jumper et al. 2021), and interactions with other proteins (Hashemifar et al. 2018).

A fundamental computational problem in predicting PPIs based on sequences is efficiently encoding the critical information inherent in PPIs. Shen et al. (2007), addressed this problem by using the conjoint triad technique, which allows for extracting characteristics from protein sequences based on the unique properties of amino acids. Scientists divided the 20 amino acids into seven groups to simplify the representation based on parameters such as dipoles and side chain volumes. This approach to categorization allows for a more efficient and informative description of the protein sequences (Shen et al. 2007).

Guo et al. (2008) generated feature vectors from protein sequences using the auto covariance (AC) approach. This approach takes into account surrounding effects, allowing it to reveal patterns that span whole sequences (Guo et al. 2008). Sun et al. (2017) developed a PPI prediction model that relies on sequence information, utilizing a stacked autoencoder. This deep learning approach is built upon the encoding-decoding process (Sun et al. 2017). Wang et al. (2019) proposed a deep neural network (DNN) model for predicting PPIs that included AC and conjoint triad (CT) descriptors (Wang et al. 2019). The feature vector space of an amino acid consists of AC and CT features. Thus, each pair of proteins is encoded with a vector. Gao et al. (2023) used an approach for feature extraction method that combined several techniques. The vectors obtained via pseudo amino acid composition (PseAAC), auto covariance descriptor (AC), pseudo position-specific scoring matrix (PsePSSM), encoding based on grouped weight (EBGW), multivariate mutual information (MMI), and conjoint triad (CT) are concatenated to create the fused feature representation. Convolution and pooling of the residual convolutional neural network can then be used to get high-level information. At last, to construct the EResCNN model, an ensemble of RCNN, XGBoost, random forest, LightGBM, and extremely randomized trees is used (Gao et al. 2023). Zhang et al. (2019) presented a deep learning-based strategy called EnsDNN inspired by Deep Neural Networks (DNNs) characteristics. Three descriptors the auto covariance descriptor (Wold et al. 1993), local descriptor (LD) (Tong and Tammi 2008), and multi-scale

continuous and discontinuous local descriptor (MCD) (You et al. 2015) are originally used in the EnsDNN algorithm (Zhang et al. 2019).

Siamese neural networks (NNs) are effective in tasks requiring them to understand the dynamic interaction between two distinct variables properly. In order to handle the input protein pair for PPI prediction, several current PPI deep learning architectures have been implemented. Madan et al. (2022) developed a deep learning model that uses a Siamese neural network and the ProtBERT19 (Elnaggar et al. 2021) deep sequence embedding technique to predict PPIs using the primary sequences of protein pairs (Madan et al. 2022). Nourani et al. (2022) created a functional protein association network by integrating protein sequences during the embedding process. They presented TripletProt, a novel method for protein representation learning based on Siamese neural networks (Nourani et al. 2022). Özger and Çakabay (2023) used a Siamese neural network and Resnet50 to predict protein-protein interactions for SARS-CoV-2 for PSSM image datasets of different sizes. Their approach is similar to ours in that they consider PSSM matrices of proteins as grayscale images. Their findings showed that protein-protein interaction network prediction could potentially be successfully achieved by utilizing pictures produced from PSSM matrices (Özger and Çakabay 2023).

In this study, we aim to utilize Siamese Convolutional Neural Network to predict PPI solely based on amino acid sequences of proteins. These proteins are encoded using three distinct methods: Binary Encoding, position-specific scoring matrix (PSSM), and autocovariance. Furthermore, we have introduced an ensemble approach that combines the prediction results of these three encoding approaches. What sets our approach apart from existing ensemble encoding methods is that we do not concatenate different encodings into a vector. Instead, the network individually processes each encoded amino acid, after which a combination matrix is constructed to include the prediction results. The combination enhances the accuracy performance of the network due to its capacity to extract various feature information from interacting protein sequences using a range of descriptors. These descriptors work together to provide complementary feature information. One-hot encoding is a simple technique for encoding protein sequences that requires no prior knowledge and represents each amino acid separately (Richoux et al. 2019). PSSM, on the other hand, dives into evolutionary links by combining information from homologous sequences. Meanwhile, AC

is concerned with capturing the physicochemical properties of amino acids, which are critical for understanding protein features. (ElAbd et al. 2020).

Also, we have integrated both a Siamese neural network and a multilayer feed-forward neural network (MLF-NN) to enhance the prediction performance of PPIs. Siamese Neural Networks are created specifically to learn a similarity score between pairs of data points. MLP is used to extract and abstract multi-level features from learned representations. When paired with Siamese networks, they help represent more sophisticated and nonlinear similarity patterns between input pairs.

The contributions of this study are as follows:

- Introduction of a convolutional Siamese neural network for predicting protein-protein interactions by employing three distinct protein sequence encoding methods.
- Development of an ensemble strategy aimed at enhancing the performance of a single predictor.

This paper is organized as follows: Section 2 presents our dataset and protein representation techniques and introduces the constructed Siamese convolutional neural network. The obtained results are given in Section 3. Finally, the conclusion and suggestions are presented in Section 4.

2. Material and Methods

This section elaborates on the proposed ensemble approach for predicting PPIs based on amino acid sequences. Our model consists of three steps: (1) Encoding the protein sequences into numeric values via binary encoding, PSSM, and AC descriptors, respectively. (2) Training these sequences individually using Convolutional Siamese Neural Networks. (3) Ensembling the prediction results and inputting them into MLF-NN. The flowchart of the proposed study is shown in Figure 1.

2.1. Dataset

We utilized the dataset offered by Richoux et al. (Richoux et al. 2019). A list of protein pairs known to interact was accessed via UniProt website. This query was conducted on June 18th, 2018, to gather all human protein sequences with evidence of interactions with other proteins. Employing Biopython, an internal Python script was developed to generate a negative dataset. This dataset consisted of randomly selected proteins, ensuring they did not exhibit any known interactions. Furthermore, sequences with more than 1,166 amino acids were not included in this set. Since

the study by Nevers et al. (Nevers et al. 2023) indicates that only a small fraction of proteins exceed 1200 amino acids, 1,166 as the length of proteins appears reasonable and sufficient. Subsequently, this dataset was randomly divided into three distinct groups, each containing an equal number of positive and negative samples, making up the hold-out test set, the hold-out validation set, and the training set. For training purposes, the network was trained using Richoux medium train dataset, encompassing 26,303 protein pairs known to interact and an equivalent number of non-interacting protein pairs (Richoux et al. 2019).

We observed that Richoux test protein pairs were absent from the training set, but their mirrored counterparts were present. To avoid potential overfitting and misleading evaluation results, we excluded the protein pairs with mirror counterparts from the test dataset. In this study, a total of 56,674 human protein interactions were utilized, with 52,606 interactions used for training our network model. The testing phase incorporated a dataset comprising

797 interactions classified as interacted and 3,271 as non-interacted, resulting in a total of 4,068 interactions used for testing the model's performance.

2.2. Protein sequence Representation

Effective computational identification of PPIs depends on a carefully thought-out strategy based on protein sequences. This usually involves two main steps.

First, a feature extraction technique needs to be developed. The key characteristics of the protein sequence's inherent important properties as well as the substance of data on protein-protein interactions must be captured by this method.

Second, choosing and creating an effective prediction classifier assumes critical significance. This decision needs to be carefully thought out because how well it fits the particulars of the work will have a big impact on predicting PPIs.

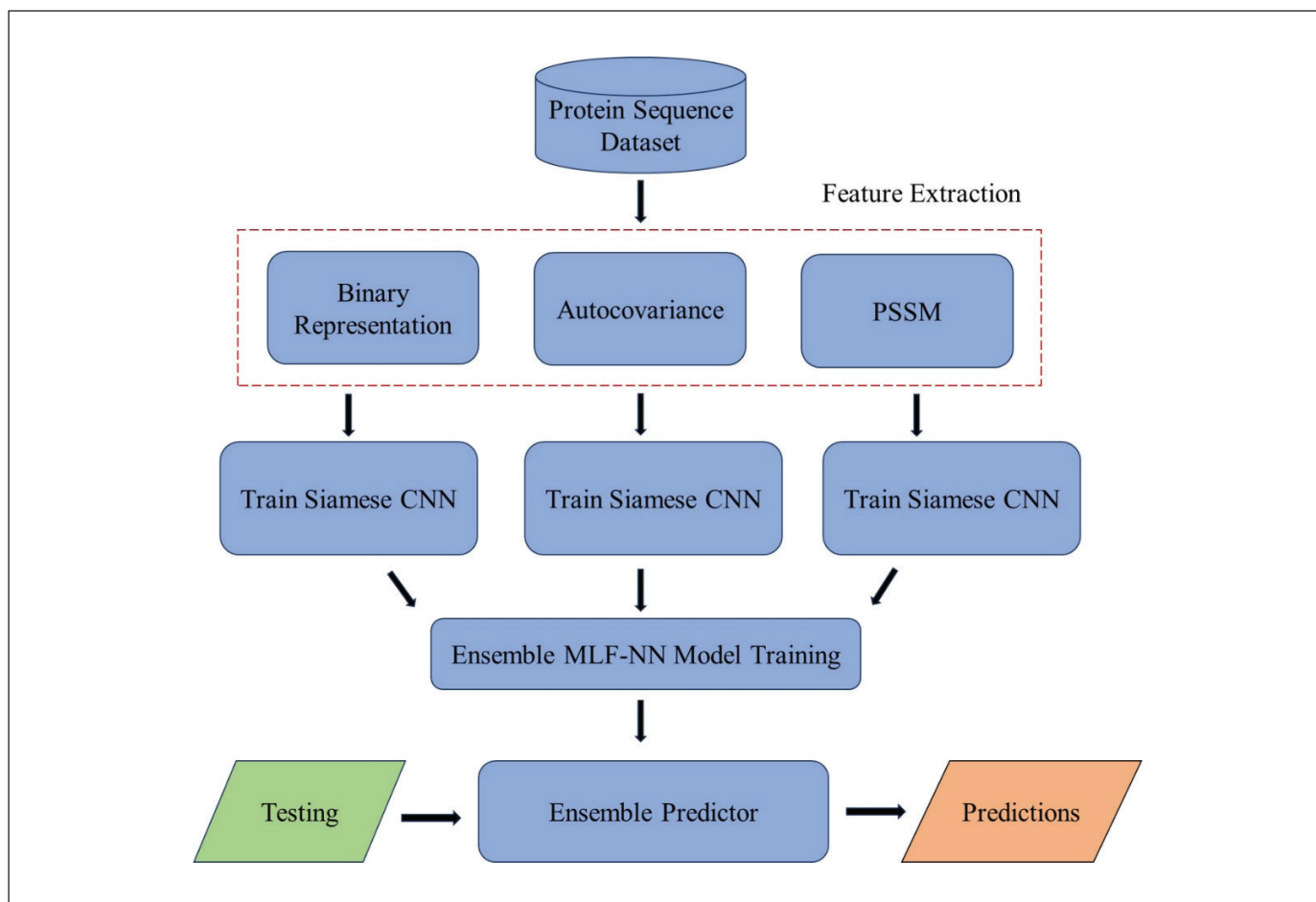


Figure 1. The flowchart of the proposed method.

2.2.1. Binary Representation

In this method, individual amino acids are represented by binary vectors. The one-hot encoding, often known as orthogonal encoding, is the most well-known type of binary encoding. Each location in the vector corresponds to a different amino acid using this encoding technique (Richoux et al. 2019). Notably, the location that corresponds to the amino acid found in the sequence is given a value of 1, while every other position is given a value of 0. So, one-hot encoding creates sparse matrices with a large percentage of zero values. When working with huge datasets, this sparsity is favorable for memory use and processing performance.

The datasets we work with encompass additional elements beyond the standard set of 20 proteinogenic amino acids. These additional elements include selenocysteine (U), a placeholder for either asparagine or aspartic acid (B), another placeholder for either glutamic acid or glutamine (Z), and a placeholder for unidentified amino acids (X). Therefore, in the context of a protein sequence, each individual amino acid is depicted using a binary vector that is 24 units in length. In order to ensure uniformity and match the required sequence matrix length, zeros are introduced to the one-hot encoded representation. As a consequence, we used a technique of padding sequences with zeros in order to deal with the problem of different length sequences. This step is crucial because the supported maximum sequence length is 1,166. The representation of amino acids in a protein sequence using the one-hot encoding technique is shown in Figure 2.

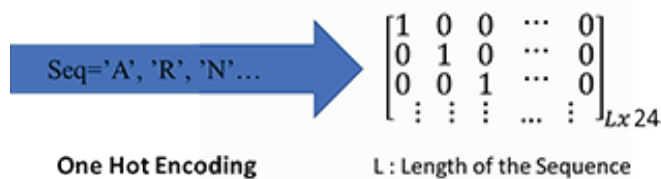


Figure 2: Example of binary representation of amino acids in a protein sequence.

2.2.2. Autocovariance (AC)

AC, a statistical tool, is used to transform amino acid sequences into uniform matrices and takes into account the interactions between amino acids at specific points in a protein sequence (Li and Chen 2013).

Firstly, amino acid sequences are captured by seven different physicochemical attributes. These characteristics include the following for amino acids: solvent-accessible surface area (SASA), polarity (P1), polarizability (P2), hydrophobicity

(H), side chain volumes (VSC), and the net charge index of side chains (NCISC) (Fauchère et al.1988).

The prediction of PPIs is based on these characteristics. This entails converting the physical qualities of amino acid residues into numerical values and then normalizing these values to have a mean of zero and a standard deviation according to Equation (1):

$$P'_{ij} = \frac{P_{i,j} - P_j}{S_j} \quad (i = 1, 2, \dots, 20; j = 1, 2, \dots, 7) \quad (1)$$

where P_{ij} is the j -th physicochemical property value for the i -th amino acid, P_j is the mean of the j -th physicochemical property over 20 amino acids, and S_j is the corresponding standard deviation of the j -th physicochemical property. Each protein sequence is transformed into seven vectors, representing each amino acid by normalized values. To represent a protein sequence X with length L , the AC variables are computed as follows:

$$AC_{lag,j} = \frac{1}{n-lag} \sum_{i=1}^{n-lag} \dots (X_{i,j} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \dots X_{i,j}) (X_{(i+lag),j} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \dots X_{i,j}) \quad (2)$$

The distance or gap between two successive amino acid residues—where one amino acid is regarded as the neighbor of the other—is indicated by the lag value. In this instance, “j” stands for a particular descriptor or characteristic, “i” stands for the location of the amino acid residue in the sequence designated as “X,” and “n” stands for the overall length or number of amino acids in sequence “X”.

2.2.3. Position Specific Scoring Matrix (PSSM)

The conservation of amino acid residues at particular places within protein chains is reflected by the PSSM (Wang et al. 2017). It is built utilizing evolutionary data and based on feature extraction methods that have proven successful in several bioinformatics applications. These fields involve predicting the secondary structure of proteins, detecting proteins that bind DNA, and forecasting PPIs (Zahiri et al. 2013).

The structure of a PSSM is an $L \times 20$ matrix, where L represents the length of the protein sequence, while natural amino acids are represented by 20. Significantly conserved locations are given higher ratings, while places with little or no conservation are given scores that are close to zero (Gao et al. 2016). PSSM elements are calculated as in Equation (3):

$$PSSM(i,j) = \sum_{k=1}^{20} w(i,k) \times Y(j,k) \quad (3)$$

$$(i = 1, \dots, L; 1, 2, \dots, 20)$$

The expression $w(i,k)$ represents the frequency of the i -th amino acid (out of a set of 20 amino acids) occurring at position i within a collection of functionally related, already aligned protein sequences. Meanwhile, $Y(j,k)$ is a substitution matrix that reflects the values found in Dayhoff's mutation matrix for transitions between the j -th and k -th amino acids. In simpler terms, $Y(j,k)$ signifies how quickly one character in a protein sequence changes to another character over time.

In this study, we calculate PSSM by running three rounds of PSI-BLAST with an E-value of 0.001 against the SwissProt database at the NCBI for a specific protein (Altschul et al. 1997). Finally, encoded sequences are fixed at 1,166 by padding with zeros to ensure uniformity in length.

2.2.4. Model Construction

Siamese CNN (Convolutional Neural Network) architecture, which comprises of two identical subnetworks that share the same structure, variables, and weights, is the architecture used by the implemented framework.

Siamese neural network, sometimes referred to as the twin neural network, is used for determining how similar or dissimilar two inputs are. Each input is processed by a separate subnetwork in a normal Siamese neural network, which is typically made up of one or more layers of neurons. The weights of these subnetworks are shared, distinguishing it from past systems and allowing for simultaneous changes of the parameters in both networks. The network can

efficiently learn and gauge the similarity between pairs of inputs because of this shared-weight structure (Chen et al. 2022). To ensure uniformity and consistency, a Siamese design was used to grasp the complex interactions between two proteins. Therefore, each pair of proteins was handled simultaneously through a single network with weight sharing as opposed to using two separate models with different parameters. Our neural network structure delivered a unified representation, enabling a more accurate analysis of the protein connection.

As shown in Figure 3, our Siamese CNN architecture is made up of three main parts: a profile module that uses encoded protein sequences, a convolutional module, and a prediction module. Each encoded sequence is fed into two shared-weight subnetworks in order to determine how similar or dissimilar the two encoded sequences are. A thorough representation of the differences between the sequences is then produced by subtracting and combining the output feature vectors from each subnetwork. The resulting information is then placed through a fully connected operation, producing a single output that captures the distinct qualities and differences of the sequences.

The differences between the sequences are then thoroughly represented by subtracting and combining the feature vectors generated by each subnetwork. A fully-connected operation is then used to handle the collected data, producing a single output that contains the distinctive qualities and variations between the sequences. The input is multiplied by a weight matrix and a bias vector in the fully-connected stage. The output is then converted into a probability that ranges from 0 to 1 by means of the application of a sigmoid function. This

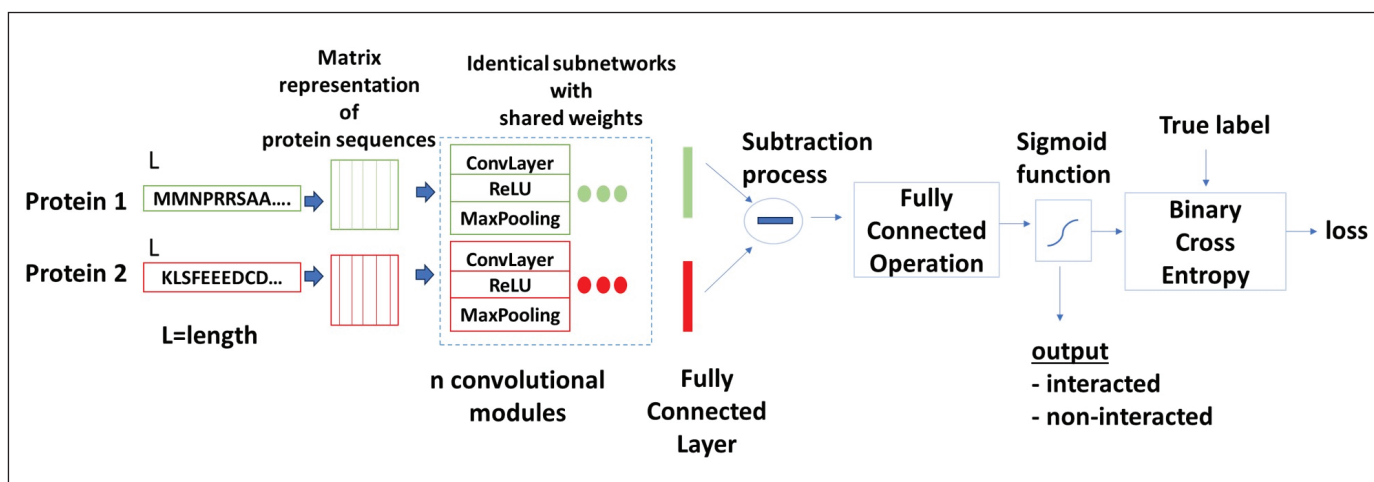


Figure 3. Convolutional Siamese neural network framework.

probability indicates the degree of similarity or dissimilarity between the two protein sequences.

The network updates itself throughout the training phase by minimizing the binary cross-entropy loss. This loss metric calculates the variance between the predicted labels and the actual labels, which helps the network perform better over time.

3. Results and Discussion

3.1. Evaluation Metrics

The network's performance and its predictive capabilities are determined by taking into account the calculation of the Matthews Correlation Coefficient (MCC), F-Score (F1), Specificity (SPE), Precision (PRE), Sensitivity (SE) or Recall, and Overall Prediction Accuracy (ACC). SPE assesses the true negative (TN) rate, whereas ACC indicates the percentage of events that were accurately predicted. While SE (or recall) evaluates a true positive rate (TP), PRE measures the accuracy of positive predictions. Additionally, although F1 indicates the harmonic mean of precision and recall, MCC offers a balanced metric that takes into account both false positives (FP) and false negatives (FN). Their definitions are outlined as follows:

$$ACC = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (4)$$

$$SPE = \frac{TN}{TN + FP} \quad (5)$$

$$PRE = \frac{TP}{TP + FP} \quad (6)$$

$$SE = \frac{TP}{TP + FN} \quad (7)$$

$$MCC = \frac{TP \times TN - FP \times FN}{\sqrt{(TP + FN) \times (TN + FP) \times (TP + FP) \times (TN + FN)}} \quad (8)$$

$$F - Score (F1) = \frac{2 \times (PRE \times SE)}{(PRE + SE)} \quad (9)$$

3.2. Performance of the Proposed Method

Three types of feature vectors extracted by binary encoding, AC or PSSM, are separately used as the inputs for Siamese CNN with different configurations. These neural networks have varying learning rates, batch sizes, number of the

convolutional filters, and filter sizes. Because the Siamese network demonstrates higher accuracy when utilizing the Adam optimization, we employ this algorithm for updating the network's parameters (Alkhalid 2022). To evaluate the performance of features generated through the application of the Binary Encoding method for protein representation, we conduct training and testing using 52,606 and 4,068 pairs of proteins, respectively. We combine different convolutional layer configurations and hyperparameters for the constructed layers to obtain maximum accuracies. Each convolutional module consists of three layers: 2D convolution, rectified linear unit (ReLU), and 2D pooling. After the input layer, we define a sequence of convolutional layers. Upon defining the final convolutional layer, we introduce a fully-connected layer and flatten it into a single vector.

In our experimental configuration, we tested various learning rates, including 1e-03, 5e-03, 1e-04, 5e-04, 1e-05, and 6e-05. Furthermore, we explored different training batch sizes, specifically 10, 16, 20, 32, 50, and 64. The number of neurons in the fully-connected layer ranged from 100 to 1500, and the iteration count varied from 10,000 to 50,000.

3.2.1. Experiments on Binary Encoding

The initial network includes four layers, combining 2D convolution and ReLU activation, along with three max-pooling layers. The first convolutional layer utilizes a 3x3 filter with 32 filters, maintaining spatial dimensions through the 'same' padding parameter. The layer's weights and biases are initialized using the 'narrow-normal' method, and a ReLU layer follows to introduce non-linear characteristics. Next, we utilize max pooling with a 2x2 pooling window and a stride of 2 to reduce the spatial dimensions of the feature maps while preserving essential features. After adding convolutional filters in a similar structure, a fully connected layer with 100 neurons is employed to capture high-level representations. We initialized the weights and biases of the fully connected layer using the 'narrow-normal' method. We also adjusted the learning rate, which ranged from 1e-03 to 6e-05.

In the first and second series of experiments, we kept the filter size constant at (3x3, 5x5) while varying the number of filters in each convolutional layer from 16 to 128. The best results achieved were 76.60% and 78.66%, respectively. The maximum values for precision (PRE), specificity (SPE), sensitivity (SE), F-Score, and MCC can be found in Table 1. In the third set of experiments, we used non-square filters (5x3, 7x3, and 9x3) for the four 2D convolutional layers,

with filter sizes of 32, 64, and 128. The results showed that non-square filter sizes outperformed square ones, achieving accuracy as high as 80.24%. In the final series of experiments, we aimed to assess accuracy by using a combination of square and non-square filters. Unfortunately, the results showed a decrease in the maximum accuracy, which reached 77.67%.

Based on the experimental results, we identified the optimal hyperparameter set, as indicated in Table 2.

3.2.2. Experiments on AC

We created the AC dataset by removing uncommon amino acids Z, U, B, and X, resulting in 26,289 interacted and 26,206 non-interacted protein pairs for training. The test set already excludes uncommon amino acids, allowing it to be used for testing. The lag value was established at 15, and we employed seven physicochemical properties. As a result, the image input size was set to 15x7. The convolutional layer included two 2D-convolutional layers with filter sizes of 3x3, featuring 128 and 64 filters, respectively. These layers were then followed by ReLU activations and 2D-max-pooling with a pooling size and stride set to 2.

We conducted a set of experiments to fine-tune the size of the fully-connected layer. During each epoch, the network was trained with 1,000 inputs, and the total number of iterations was fixed at 10,000. Initially, the number of

neurons in the fully-connected layer was adjusted, ranging from 100 to 2,000. Starting with 100 neurons, we achieved an accuracy of 62.2%. Then, increasing the number to 500 led to a substantial improvement, reaching 71.46% accuracy. Subsequently, we experimented with 1,000, 1,200, 1,400, 1,500, and 2,000 neurons to attain the highest accuracy. The obtained accuracy values, as shown in Figure 4, were 77.63%, 77.44%, 78.13%, 77.04%, and 77.41%.

It is concluded that the prediction accuracy significantly improves with the number of neurons, reaching its peak accuracy at a specific value.

With the fully-connected layer set at 1400, we aimed to investigate the impact of layers while keeping the iteration number, learning rate, and training size constant at 15,000, 6e-04, and 10,000, respectively. Initially, the convolutional layer consisted of two 2D-convolutional layers (3x3) with 128 and 64 filters, followed by ReLU and 2D-max-pooling with a size and stride of 2. The average prediction accuracy reached 76.33%. Next, we increased the number of 2D-convolutional layers by doubling the second layer to 128 filters, resulting in an accuracy increase to 77.46%.

In the third experiment, additional max-pooling and convolution layers were introduced into the network. The added max-pooling layer had a size and stride of 2, while the

Table 1. Assessing the performance of the proposed network under various hyperparameter sets for binary encoding.

Hyper-parameters Set Number	ACC (%)	PRE (%)	SPE (%)	SE (%)	FScore (%)	MCC (%)
Set 1	76.6	85.07	87.82	65.93	74.29	55
Set 2	78.67	84.47	88.27	68.37	75.57	58
Set 3	80.2	84.89	86.5	74.04	79.1	61
Set 4	77.67	87.44	90	65.97	75.2	57

Table 2. Siamese CNN model optimal hyper-parameters and activations for binary encoding.

Layer	Hyper-parameters	Activations
Input	Input Size=1,166x24	1,166x24
Convolution 2D	Filters=64, Kernel size=[7 3] Stride=1, padding=same Activation=ReLU	1,166x24x64
MaxPooling 2D	Pool size=[2 2], Stride=2, padding=[0 0 0 0]	583x12x64
Convolution 2D	Filters=64, Kernel size=[7 3] Stride=1, padding=same Activation=ReLU	583x12x64
MaxPooling 2D	Pool size=[2 2], Stride=2, padding=[0 0 0 0]	291x6x64
Convolution 2D	Filters=64, Kernel size=[7 3] Stride=1, padding=same Activation=ReLU	291x6x64
Fully Connected	Activation=sigmoid	250

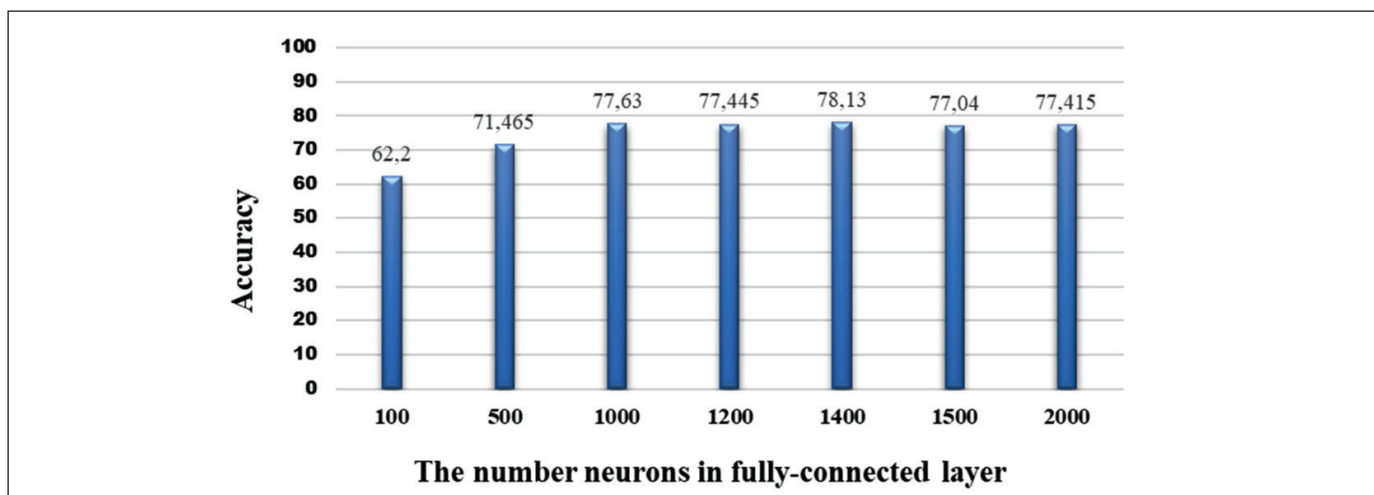


Figure 4. The effect of the neuron count in the fully-connected layer on accuracy.

Table 3. The impact of different layer configurations on the accuracy of AC.

Hyper-parameters Set Number	ACC (%)	PRE (%)	SPE (%)	SE (%)	FScore (%)	MCC (%)
Set 1	76.33	87.52	90.76	62.43	72.88	55
Set 2	77.47	85.05	88.46	66.35	74.55	56
Set 3	76.46	82.2	84.93	69.6	75.38	55
Set 4	78.6	85.47	86.94	70.9	77.51	58
Set 5	77.33	84.48	88.95	64.82	73.33	56

convolution layer consisted of 64 kernels (3x3). However, the use of the second max-pooling layer resulted in information loss, causing a decrease in prediction accuracy to 76.46%. Subsequently, the second max-pooling layer was removed, and the third convolution layer was increased to 128 kernels, leading to an accuracy increase to 78.60%.

Finally, when the number of filters in the convolutional layers was increased to 256, there was a slight decrease in accuracy, reaching 77.33%. Table 3 summarizes the network's performance across different layer configurations. The highest accuracy was achieved with a network featuring three convolution layers, each with a size of 3x3 and 128 neurons. In this architecture, the first convolution layer is followed by a max pooling layer for spatial downsampling. However, the second and third convolution layers skip max pooling to preserve detailed spatial information, enabling the capture of finer features and patterns. This configuration resulted in an accuracy of 78.60%.

3.2.3. Experiments on PSSM

Protein sequences were encoded into 1,166x20 matrices using the PSSM method with the dataset that does not contain uncommon amino acids. We tested various learning rates, including 1e-03, 5e-03, 1e-04, 5e-04, 1e-05, and 6e-05. Additionally, we explored different training batch sizes: 10, 16, 20, 32, 50, and 64. The fully-connected layer had a range of neurons from 100 to 1500, and the iteration number varied between 10,000 and 50,000.

The impact of four layer configurations on the accuracy of PSSM is shown in Table 4. In the first group, the architecture featured four convolutional layers. The first and second convolutions had a filter size of 7x3 with 128 and 64 filters, while the third and fourth convolutions used a filter size of 5x3 with 64 filters each. The design included two max-pooling layers and four ReLU layers. With a learning rate of 6e-05 and 1,400 neurons in the fully connected layer, an accuracy of 83.00% was achieved. This configuration allowed the network to capture both large-scale and small-

scale features in the input data. The use of different filter sizes in the convolutional layers enabled the extraction of various levels of visual information, contributing to the improvement of accuracy. Furthermore, by fine-tuning the number of neurons to 32 in the fully connected layer, the model's performance was further optimized, leading to an increase in accuracy.

In the second group of convolutional layers, we examined the impact of using smaller 3x3 filter sizes on accuracy. The first and second convolutions used 3x3 filters, with 128 and 64 filters, respectively. These layers were designed to capture higher-level features by building upon the low-level features learned in the previous group of convolutional layers. The larger number of filters in the first convolutional layer suggested its role in learning complex, high-level features.

The third convolution also used a 3x3 filter size, but with 64 filters, aiming to capture higher level features while mitigating overfitting risks and reducing dimensionality by reducing the number of output feature map.

In the third experimental group, we studied the influence of mixing square and non-square filters on network performance. We experimented with combinations like 3x3 and 5x3, 3x3 and 7x3, and 5x5 and 7x3 filters using optimal parameters. The highest accuracy achieved in this experiment reached 81.93%. After systematic adjustment of hyperparameters and evaluation, we identified the optimal settings that led to a significant accuracy boost, reaching 84.07%.

We train the network using three different protein representation techniques within the range of 5,000 to 50,000 iterations. With the validation set, prediction error was calculated for each different iteration number. The training and validation losses dropped synchronously. The number of iterations was set at 10,000 for binary, 15,000 for autocovariance, and 50,000 for PSSM to reduce computing costs, as there was no substantial drop in loss after a certain

number of iterations, or it remained constant. Based on the figures, the loss decreases over iterations and becomes stable, showing that the network has successfully learned the underlying patterns in the data for AC, as shown in Figure 5, Binary encoding, as shown in Figure 6, and the PSSM as shown in Figure 7 protein representation methods.

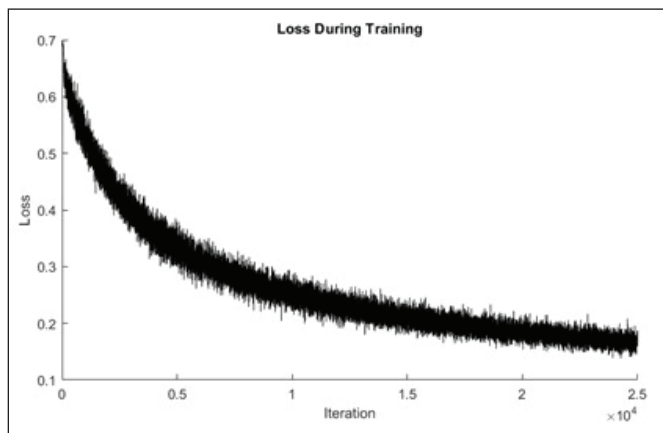


Figure 5. Network loss convergence for AC.

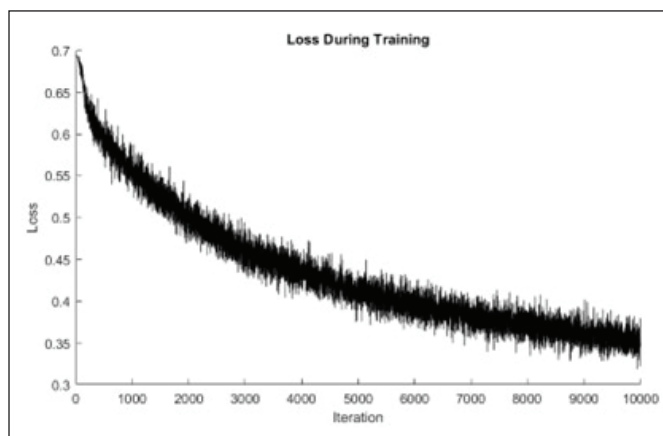


Figure 6. Network loss convergence for binary encoding.

Table 4. The impact of different layer configurations on the accuracy of PSSM.

Hyper-parameters Set Number	ACC (%)	PRE (%)	SPE (%)	SE (%)	FScore (%)	MCC (%)
Set 1	83	89.11	90.34	75.95	82	67
Set 2	83.73	90.39	92.08	73.51	81.08	67
Set 3	84.07	91.45	92.45	76.17	83.11	69
Set 4	81.93	87.05	89.21	74.46	80.26	64

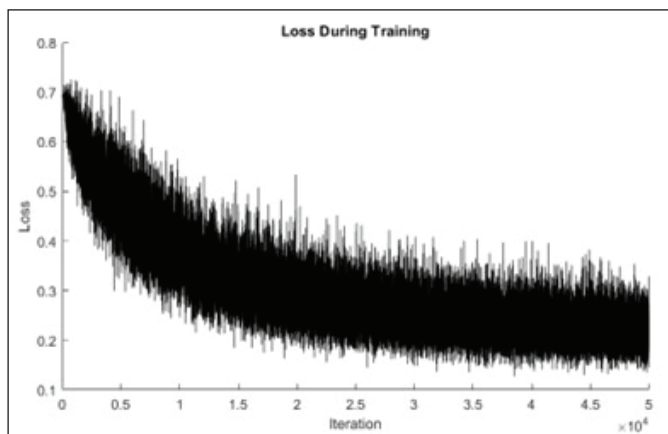


Figure 7. Network loss convergence for PSSM.

3.2.4. Performance Comparison of Three Encoding Methods

Table 5 compares the performance of three encoding methods with the mirror copies extracted from a dataset of Richoux et al. (2019). The graph shows how different encoding approaches affect the performance and efficacy of our deep learning model. Precision and sensitivity levels for the PSSM approach remain constant at 91.45% and 92.45%, respectively. As a result, protein representation approaches enhance network performance on both positive and negative datasets.

The Binary Encoding method displayed promising outcomes and yielded an average prediction accuracy (ACC) of 80.2%, precision (PRE) of 84.86%, specificity (SPE) of 86.5%, sensitivity (SE) of 74.04%, F-Score of 79.1%, and Matthews Correlation Coefficient (MCC) of 61%. This approach offers a notable advantage in terms of fast protein encoding when compared to the AC and PSSM methods. It achieves this through the use of one-hot encoding, which generates multi-dimensional and sparse vector representations. This efficient encoding allows us to process and analyze protein sequences faster, making it particularly advantageous in terms of computational speed.

Table 5. Performance comparison of three encoding methods.

Protein Encoding Method	Binary Encoding	AC	PSSM
ACC (%)	80.2	78.6	84.07
PRE (%)	84.89	85.47	91.45
SPE (%)	86.5	86.94	92.45
SE (%)	74.04	70.9	92.45
F-Score (%)	79.1	77.51	83.11
MCC (%)	61	58	69

In contrast, the AC method achieved an average ACC of 78.6%, PRE of 85.47%, SPE of 86.94%, SE of 70.09%, F-Score of 77.51%, and MCC of 58%. When encoding protein sequences, the AC approach integrates the neighboring effect. However, the results indicate that the AC approach has slightly lower accuracy than both the PSSM and Binary Encoding methods. However, when compared to the other two protein sequence encoding methods, the AC method excels in training speed because of its smaller input size. This advantage in training speed reduces the computing time required for model training, ultimately speeding up the PPI prediction process (Jia et al. 2020).

The network became enhanced outcomes while using the PSSM encoding method with an average prediction accuracy (ACC) of 84.07%, precision (PRE) of 91.45%, specificity (SPE) of 92.45%, sensitivity (SE) of 76.17%, F-Score of 83.11%, and Matthews Correlation Coefficient (MCC) of 69%.

This significant performance boost could be due to the fact that PSSMs contain information gained from the evolutionary history of proteins. This evolutionary information has been shown to have more predictive value for PPIs than the other two sequence-based protein encoding approaches.

The reason position-dependent approaches perform well is their effectiveness in gathering homologous data, providing crucial insights into protein evolution. In contrast, position-independent techniques excel at revealing the intrinsic properties of amino acids, allowing us to gain a better understanding of their fundamental characteristics. Our experimental results prove that the PSSM encoding captures the evolutionary relationships between proteins, and a Siamese Neural Network is able to detect this homology between two proteins through their PSSM matrices.

3.3. Performance of the Ensemble Encoding Siamese Model

Many sequence-based feature extraction techniques used in early studies mostly focused on a single-feature strategy. A protein sequence has a multitude of information about critical features, but this approach had drawbacks because it couldn't effectively integrate that data. The interrelationships between various elements within the sequence were also not fully taken into account. As a result, there has been a lot of interest in creating a revolutionary multi-feature fusion encoding technique. Building on this foundation, we present a deep ensemble learning strategy for protein interaction prediction. By combining the strengths of many methodologies, this method provides an appropriate means of complete learning. Protein sequences were encoded using three alternative representations in this approach, capturing the specific characteristics of each protein within the protein interaction network.

To extract significant feature data from amino acid sequences, we used three different encoding methods in our study: Binary Encoding, AC, and PSSM. Furthermore, we used convolutional Siamese neural networks to extract protein predictions from individual encoders, which were then merged as features into a multilayer feed-forward neural network. The network's top-performing weights, biases, and parameter values have been preserved. Following that, we acquired model outputs as floating-point values ranging from 0 to 1. The first model output corresponds to

binary prediction values, the second output to AC prediction values, and the third output to PSSM prediction values for 50,000 protein pairs. As a result, all our model outputs form a matrix of size $50,000 \times 3$, which serves as input to the feed-forward neural network structure. In addition, we kept the corresponding labels, which are linked to the 50,000 protein pairs and stored in a $50,000 \times 1$ matrix. We configured the transfer functions for the appropriate levels to define the desired activation functions inside the network. We used a 'hardlim' transfer function in the first layer, which represents the hidden layer. Following that, in the second layer, which includes the output layer, we used a 'purelin' transfer function, which corresponds to a linear activation function. To improve the prediction performance of PPIs based on primary sequences, we combined a Siamese neural network with a multilayer feed-forward neural network (MLF-NN). The conceptual model framework is visually represented in Figure 8.

The MLF-NN structure used consists of a single hidden layer with neurons ranging in number from 2 to 16. Various backpropagation methods were tested during the network training phase. Three specific training algorithms produced the most accurate results: Levenberg-Marquardt, Gradient Descent with Momentum, and Fletcher-Powell Conjugate Gradient. These algorithms consistently outperformed in terms of reaching the highest levels of accuracy throughout training. Figure 9 depicts the network's performance with these transfer functions and various number of hidden layers.

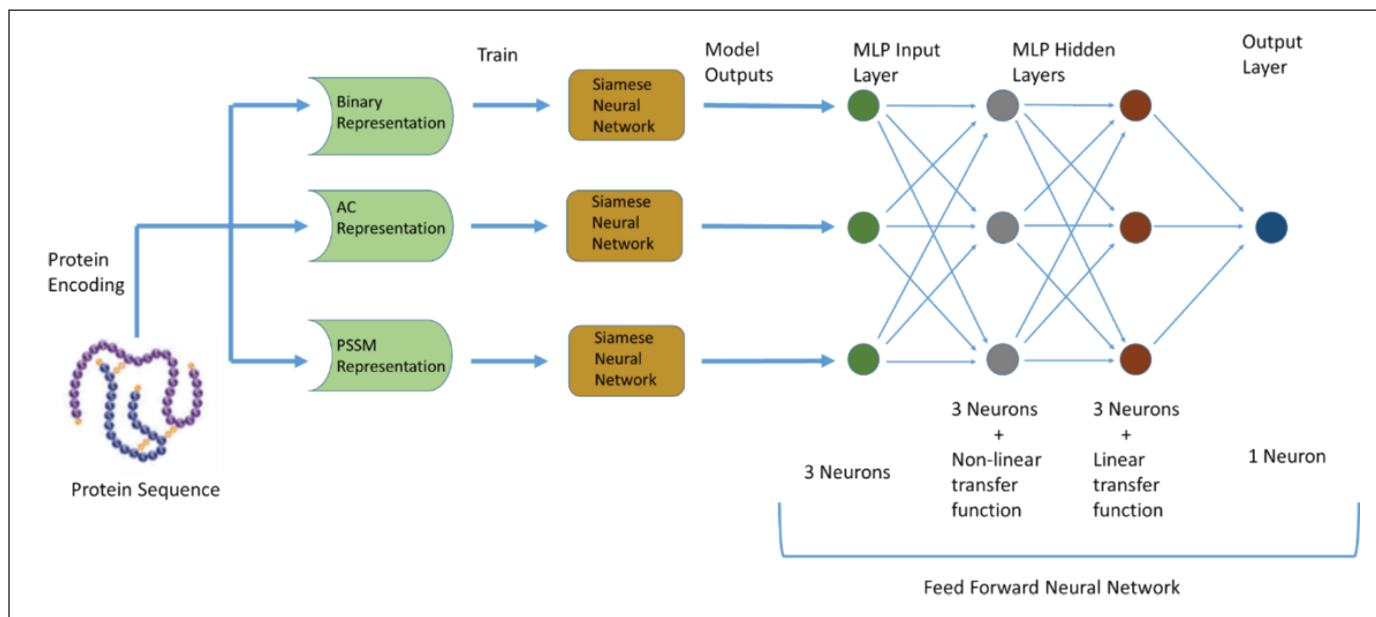


Figure 8. The framework for the proposed ensemble model.

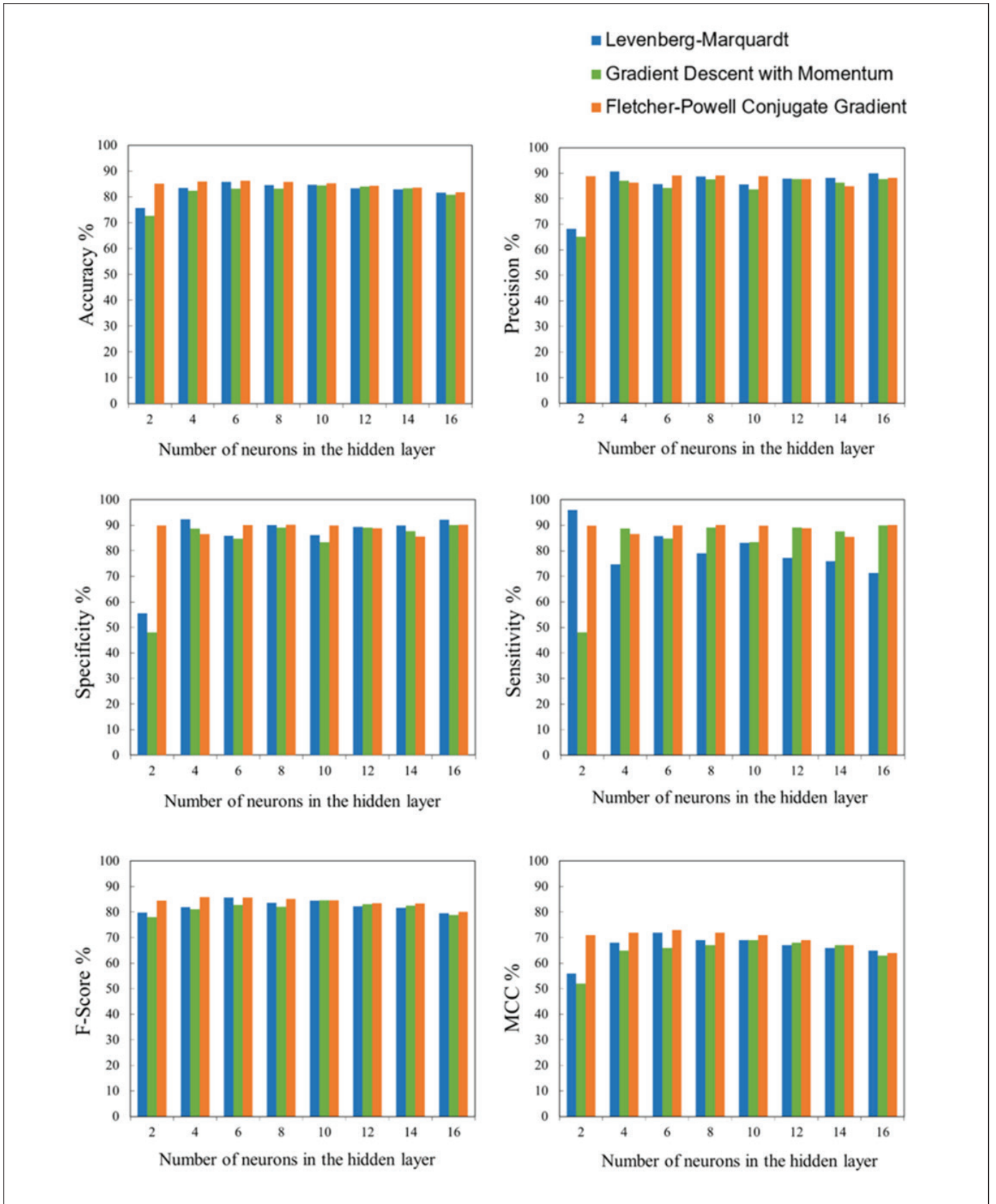


Figure 9. Ensemble network results with varying numbers of hidden neurons.

When the hidden layer was set to 6 neurons, the Fletcher-Powell Conjugate Gradient backpropagation algorithm attained its highest accuracy. This result emphasizes the significance of selecting the proper network configuration for improving performance. Furthermore, the algorithm's efficiency in terms of faster convergence contributes to its attraction for training neural networks. The algorithm's capacity to explore conjugate directions contributes to its efficiency, which greatly cut training time.

Among the individual encoding strategies, PSSM achieved the highest accuracy at 84.07%, which was further improved to 86.27% with an increase of 2.62% using the ensemble strategy.

3.3.1. Comparative Analysis with Richoux's Dataset

We conducted a thorough evaluation of our proposed method through a comparative study. This involved contrasting our results with those of Richoux and colleagues, who employed the same encoding methodology and made their data accessible. Richoux et al. employed a fully connected deep learning model that used binary encoding for protein pairs to PPIs and these results confirmed the model's efficacy.

Notably, we utilized the same feature extraction method, namely Binary Encoding, to assess our network's performance on the identical dataset.

We conducted a comparative analysis between our convolutional Siamese neural network model and Richoux's fully connected model on the strict dataset, and we observed significant increases in prediction performance metrics. The strict dataset was designed to include protein pairs in which each protein appeared at most twice in the entire dataset. By imposing this constraint, the strict dataset ensures a more balanced representation of proteins, reducing the risk of the model becoming overly reliant on specific individual proteins.

Table 6 provides a comparison between our convolutional Siamese neural network model and Richoux's model on the strict dataset. Richoux's model achieved an accuracy (ACC) of 78.33%, precision (PRE) of 55.76%, recall (SE) of 77.95%, and an F-score of 65.02%. In contrast, our convolutional Siamese neural network model exhibited enhanced performance, achieving an ACC of 83.6%, PRE of 98.26%, SE of 67.87%, and an F-score of 80.28%. We also calculated the specificity value as 98.77%. It is important to highlight that Richoux's strict dataset includes mirror copies of proteins, mostly from the positive dataset. The inclusion of mirror copies has a considerable effect on the precision value, which was evaluated at 98.26% utilizing Siamese neural network structure. Various metrics highlight the importance of removing these mirror copies from the test set. Here, we would like to note that the recall (SE) value significantly increases to 74.04% when we remove mirror copies from the dataset, as we already indicated in Table 5.

These findings highlight that our Siamese-CNN model surpassed Richoux's model in terms of accuracy (ACC), precision (PRE), and the F-score. While Richoux's model exhibited higher sensitivity, our model displayed superior overall performance across various metrics.

The strict dataset effectively addressed the issue of overfitting, and our network demonstrated strong performance when evaluated with this dataset. Our model's improved accuracy (ACC), precision (PRE), sensitivity (SE), and F-score demonstrate its usefulness in predicting PPIs as well as its capacity to generalize effectively to information that was previously unknown.

4. Conclusion and Suggestions

In the present study, we developed and applied a convolutional Siamese neural network model for predicting PPIs using only protein sequencing data. We developed

Table 6. Comparison between our network and Richoux et al.'s fully connected model on strict dataset.

Study	Richoux et. al.	Our Method
Feature	Binary Encoding	Binary Encoding
Classifier	recurrent neural model	Convolutional Siamese NN
ACC (%)	78.33	83.36
PRE (%)	55.76	98.26
SE (%)	77.95	67.87
F-Score (%)	83.36	80.28

an ensemble encoding strategy to construct an optimum feature representation capable of encapsulating the critical information about protein interactions. This method was developed by combining three unique encoding strategies, each of which was aimed to capture distinctive characteristics inherent in individual protein sequences. The combination of Siamese networks and PSSMs can enable the model to discriminate between interacting and non-interacting protein pairs more effectively. This integration ultimately enhances the prediction accuracy and overall performance of the model. The inclusion of PSSMs, which allows the network to leverage the informative evolutionary patterns inherent within the protein sequences, is responsible for the improvement. Furthermore, we used the collaborative power of a Siamese neural network and a multilayer feed-forward neural network (MLF-NN). When compared to using various encoding approaches in isolation, the ensemble model demonstrated significant performance improvements. Our model signifies a substantial advancement in the field of PPI prediction, with the potential to greatly enhance the accuracy and reliability of these predictions.

Author contribution: All authors contributed equally to the study.

Ethics committee approval: The author declares that this study complies with Research and Publication Ethics.

5. References

- Alkhalid, FF. 2022.** The effect of optimizers on siamese neural network performance. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. Doi:10.46254/an12.20221019
- Altschul, SF., Madden, TL., Schäffer, AA., Zhang, J., Zhang, Z., Miller, W., Lipman, DJ. 1997.** Gapped BLAST and PSI-BLAST: a new generation of protein database search programs. *Nucleic Acids Research*, 25(17):3389–3402. Doi:10.1093/nar/25.17.3389
- Angermueller, C., Pärnamaa, T., Parts, L., Stegle, O. 2016.** Deep learning for computational biology: *Molecular Systems Biology*, 12:878. Doi:10.15252/msb.20156651
- Browne, F., Zheng, H., Wang, H., Azuaje, F. 2010.** From Experimental Approaches to Computational Techniques: A Review on the Prediction of Protein-Protein Interactions. *Advances in Artificial Intelligence*, 2010:924529. Doi:10.1155/2010/924529
- Chen, W., Wang, S., Song, T., Li, X., Han, P., Gao, C. 2022.** DCSE: Double-Channel-Siamese-Ensemble model for protein protein interaction prediction. *BMC Genomics*, 23(1):555. Doi:10.1186/s12864-022-08772-6
- ElAbd, H., Bromberg, Y., Hoarfrost, A., Lenz, T., Franke, A., Wendorff, M. 2020.** Amino acid encoding for deep learning applications. *BMC Bioinformatics*, 21(1):235. Doi:10.1186/s12859-020-03546-x
- Elnaggar, A., Heinzinger, M., Dallago, C., Rihawi, G., Wang, Y., Jones, L., ... Rost, B. 2021.** ProtTrans: Towards Cracking the Language of Life's Code Through Self-Supervised Learning. Doi:10.48550/arXiv.2007.06225
- Fauchère, J., Charton, M., Kier, L., Verloop, A., Pliska, V. 1988.** Amino acid side chain parameters for correlation studies in biology and pharmacology. *International journal of peptide and protein research*, 32:269–278. Doi:10.1111/j.1399-3011.1988.tb01261.x
- Gao, H., Chen, C., Li, S., Wang, C., Zhou, W., Yu, B. 2023.** Prediction of protein-protein interactions based on ensemble residual convolutional neural network. *Computers in Biology and Medicine*. 152:106471. Doi:10.1016/j.combiomed.2022.106471
- Gao, ZG., Wang, L., Xia, SX., You, ZH., Yan, X., Zhou, Y. 2016.** Ens-PPI: A Novel Ensemble Classifier for Predicting the Interactions of Proteins Using Autocovariance Transformation from PSSM. *BioMed Research International*, 2016:4563524. Doi:10.1155/2016/4563524
- Gligorijević, V., Renfrew, PD., Kosciolk, T., Leman, JK., Berenberg, D., Vatanen, T., ... Bonneau, R. 2021.** Structure-based protein function prediction using graph convolutional networks. *Nature Communications*. 12(1):3168. Doi:10.1038/s41467-021-23303-9
- Guo, Y., Yu, L., Wen, Z., Li, M. 2008.** Using support vector machine combined with auto covariance to predict protein-protein interactions from protein sequences. *Nucleic acids research*, 36:3025–3030. Doi:10.1093/nar/gkn159
- Hashemifar, S., Neyshabur, B., Khan, A.A., Xu, J. 2018.** Predicting protein-protein interactions through sequence-based deep learning. *Bioinformatics*, 34(17):i802–i810. Doi:10.1093/bioinformatics/bty573
- Jia, LN., Yan, X., You, ZH., Zhou, X., Li, LP., Wang, L., Song, KJ. 2020.** NLPEI: A Novel Self-Interacting Protein Prediction Model Based on Natural Language Processing and Evolutionary Information. *Evolutionary Bioinformatics*, 16:1176934320984171. Doi:10.1177/1176934320984171
- Jumper, J., Evans, R., Pritzel, A., Green, T., Figurnov, M., Ronneberger, O., ... Hassabis, D. 2021.** Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold. *Nature*. 596(7873):583–589. Doi:10.1038/s41586-021-03819-2
- Li, J., Chen, Y. 2013.** Auto Covariance Combined with Artificial Neural Network for Predicting Protein-Protein Interactions, V. 765–767. Doi:10.2991/icsem.2013.153

- Madan, S., Demina, V., Stapf, M., Ernst, O., Fröhlich, H. 2022.** Accurate prediction of virus-host protein-protein interactions via a Siamese neural network using deep protein sequence embeddings, *Patterns*, 3(9):100551. Doi:10.1016/j.patter.2022.100551
- Nevers, Y., Glover, NM., Dessimoz, C., Lecompte, O. 2023.** Protein length distribution is remarkably uniform across the tree of life. *Genome Biology*, 24(1). Doi:10.1186/s13059-023-02973-2
- Nourani, E., Asgari, E., McHardy, AC., Mofrad, MRK. 2022.** TripletProt: Deep Representation Learning of Proteins Based On Siamese Networks. *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics*, 19(6):3744–3753. Doi:10.1109/TCBB.2021.3108718
- Özger, ZB., Çakabay, Z. 2023.** Computational Prediction of Interactions Between SARS-CoV-2 and Human Protein Pairs by PSSM-Based Images. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(1):166–179. Doi:10.17798/bitlisfen.1220301
- Poplin, R., Chang, PC., Alexander, D., Schwartz, S., Colthurst, T., Ku, A., ... DePristo, MA. 2018.** A universal SNP and small-indel variant caller using deep neural networks. *Nature Biotechnology*, 36(10):983–987. Doi:10.1038/nbt.4235
- Richoux, F., Servantie, C., Borès, C., Téletchéa, S. 2019.** Comparing two deep learning sequence-based models for protein-protein interaction prediction. Doi:10.48550/arXiv.1901.06268
- Shen, J., Zhang, J., Luo, X., Zhu, W., Yu, K., Chen, K., Li, Y., Jiang, H. 2007.** Predicting protein-protein interactions based only on sequences information. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(11):4337–4341. Doi:10.1073/pnas.0607879104
- Sun, T., Zhou, B., Lai, L., Pei, J. 2017.** Sequence-based prediction of protein protein interaction using a deep-learning algorithm. *BMC Bioinformatics*, 18(1):277. Doi:10.1186/s12859-017-1700-2
- Tong, J., Tammi, M. 2008.** Prediction of protein allergenicity using local description of amino acid sequence. *Frontiers in bioscience : a journal and virtual library*, 13:6072–6078. Doi:10.2741/3138
- Trieu, T., Martinez-Fundichely, A., Khurana, E. 2020.** DeepMILO: a deep learning approach to predict the impact of non-coding sequence variants on 3D chromatin structure. *Genome Biology*, 21(1):79. Doi:10.1186/s13059-020-01987-4
- Wang, L., Yo, ZH., Xia, SX., Liu, F., Chen, X., Yan, X., Zhou, Y. 2017.** Advancing the prediction accuracy of protein-protein interactions by utilizing evolutionary information from position-specific scoring matrix and ensemble classifier. *Journal of Theoretical Biology*, 418:105–110. Doi:10.1016/j.jtbi.2017.01.003
- Wang, X., Wang, R., Wei, Y., Gui, Y. 2019.** A novel conjoint triad auto covariance (CTAC) coding method for predicting protein-protein interaction based on amino acid sequence. *Mathematical Biosciences*, 313:41–47. Doi:10.1016/j.mbs.2019.04.002
- Wold, S., Jonsson, J., Sjöström, M., Sandberg, M., Rännar, S. 1993.** DNA and peptide sequences and chemical processes multivariately modelled by principal component analysis and partial least-squares projections to latent structures. *Analytica Chimica Acta*, 277:239–253. Doi:10.1016/0003-2670(93)80437-P
- Yang, X., Zhang, Z., Wuchty, S. 2021.** Multi-scale convolutional neural networks for the prediction of human-virus protein interactions. In: *ICAART 2021 - Proceedings of the 13th International Conference on Agents and Artificial Intelligence*, V. 2. SciTePress, 41–48. Doi:10.5220/0010185300410048
- You, ZH., Lei, YK., Zhu, L., Xia, J., Wang, B. 2013.** Prediction of protein-protein interactions from amino acid sequences with ensemble extreme learning machines and principal component analysis. *BMC Bioinformatics*, 14(8):S10. Doi:10.1186/1471-2105-14-S8-S10
- You, ZH., Chan, K., Hu, P. 2015.** Predicting Protein-Protein Interactions from Primary Protein Sequences Using a Novel Multi-Scale Local Feature Representation Scheme and the Random Forest. *PloS one*, 10:e0125811. Doi:10.1371/journal.pone.0125811
- Zahiri, J., Yaghoubi, O., Mohammad-Noori, M., Ebrahimpour, R., Masoudi-Nejad, A. 2013.** PPIevo: Protein-protein interaction prediction from PSSM based evolutionary information. *Genomics*, 102(4):237–242. Doi:10.1016/j.ygeno.2013.05.006
- Zhang, L., Yu, G., Xia, D., Wang, J. 2019.** Protein-protein interactions prediction based on ensemble deep neural networks. *Neurocomputing*, 324:10–19. Doi:10.1016/j.neucom.2018.02.097
- Zhu, HJ., You, Z-H., Shi, WL., Xu, SK., Jiang, TH., Zhuang, LH. 2019.** Improved Prediction of Protein-Protein Interactions Using Descriptors Derived From PSSM via Gray Level Co-Occurrence Matrix. *IEEE Access*, 7:49456–49465. Doi:10.1109/ACCESS.2019.2907132



Üretim Fazlası Ürün (Ethylene-Propylene-Unconjugated Diene- EPDM) Kauçuktan Granüllerin Karakterizasyonu ve Yeniden Kullanım Alanlarının Belirlenmesine Yönelik Teknik ve Yasal Değerlendirme

Characterization of Excess Production Product (Ethylene-Propylene-Unconjugated Diene-EPDM) Rubber Granules and Technical and Legal Evaluation for Determining Reuse

Melike İşgören^{1*} , İsmail Toröz² 

¹Kocaeli Üniversitesi, İzmit Meslek Yüksekokulu, Çevre Koruma ve Kontrol Programı, Kocaeli, Türkiye

²İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Öz

Kauçuk, insan hayatının kolaylaştırılması için her gün bir başka gelişim ve üretim alanı yaratılan endüstriyel sahalarda kendine geniş kullanım ve uygulama alanı bulan teknolojik bir malzemedir. Bu kadar çok kullanılması yine aynı oranda atık üretilmesine de sebep olmaktadır. Bu atıkların yönetiminde asıl olan üretilen atık miktarlarının azaltılmasının yanı sıra oluşan atıkların geri kazanım ve yeniden kullanımının artırılmasıdır. Dolayısı ile atıkların iyi tanınması doğru tanımlanması, yönetiminin doğru şekilde yapılmasının temel gereğidir. Bu çalışmada bir kauçuk türü olan Etilen Propilen Dien Kopolimer (EPDM)'lerin otomotiv sektöründen kaynaklanan üretim artıklarının yeniden kullanım alanlarının doğru belirlenebilmesi için fiziksel kimyasal ve teknik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmış ve analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Atık malzemeden üretilen granül malzemenin ihracatı ve saha kullanım alternatifleri mer'i mevzuat kapsamında değerlendirilmiştir. Sonuç olarak otomotiv sektöründe sızdırmazlık sağlanması amacıyla cam ve kapılarda fitil formunda kullanılan malzemelerin (EPDM Kauçuk), üretimleri esnasında ortaya çıkan üretim fazlası ürünlerin değerlendirilebilir atık niteliğinde olduğu, Gümrük Tarife İstatistik Pozisyonu (GTİP) kodları içerisinde '40027000000: Etilen-Propilen-Konjuge Olmamış Dien Kauçuk (EPDM)' kodlu madde kapsamında değerlendirilmesi gerektiği, ayrıca da insani kullanım amaçlı çocuk parkı ve spor sahası gibi alanlarda dolgu malzemesi vb. amaçlarla kullanılmaya uygun bir malzeme olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Etilen Propilen Dien Monomer (EPDM), mevzuat, otomotiv, yeniden kullanım.


Abstract

Rubber is a versatile material with many applications in various industrial fields. However, its extensive use also leads to the generation of significant amounts of waste. Therefore, waste reduction and the promotion of waste recovery and reuse are crucial in waste management. Therefore, accurate recognition and identification of waste is essential for proper management. This study aims to determine the physical, chemical, and technical properties of Ethylene Propylene Diene Copolymer (EPDM), a type of rubber, to identify the reuse areas of production residues from the automotive industry. The analysis results will be evaluated. The evaluation of alternatives for field use and the export of granule material produced from scrap material has been conducted under current legislation. The materials used for sealing windows and doors in the automotive industry, specifically EPDM rubber wicks, are recyclable scrap. The excess products produced during their production should also be evaluated as recyclable waste within the GTIP codes '40027000000: Ethylene-Propylene-Unconjugated Diene Rubber (EPDM)'. It was concluded that along with other filling materials, it is suitable for use in areas such as children's playgrounds and sports fields for humanitarian purposes.

Keywords: Automotive, etilen propilen dien monomer (EPDM), legislation, reuse.

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: melike.isgoren@kocaeli.edu.tr

Melike İşgören  orcid.org/0000-0003-0952-1403

İsmail Toröz  orcid.org/0000-0002-0340-6925

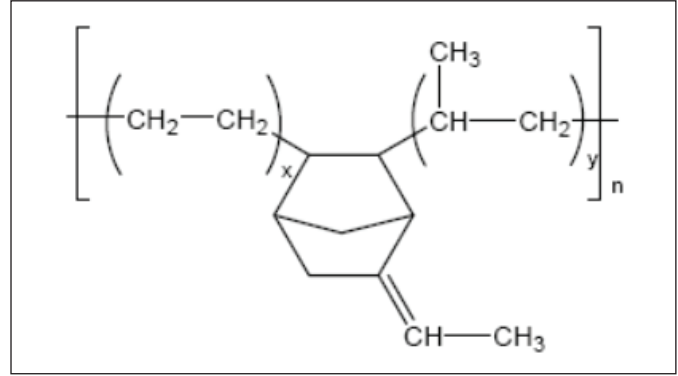


1. Giriş

Kauçuk; süte benzeyen özsuya sahip bazı bitkilerden doğal yolla ve yahut da alkol-petrol bileşimlerinden suni yolla elde edilebilen bir materyaldir (Vahapoğlu 2013). Tarihte ilk kez, Hevea Brasiliensis ağacının (Güney Amerika) lateksinden ayakkabı imal etmek amacıyla kullanılmıştır. Daha sonra Kristof Kolomb tarafından Amerika'nın keşfedilmesi neticesinde Avrupa'ya getirilmesi söz konusu olmuş ve burada da kullanımı yaygınlaşmıştır. Başlarda yapışkanlık ve sıcaklık değişiminden etkilenmesi dolayısı ile kullanımı sınırlı kalsa da Charles Goodyear vulkanizasyon adı verilen bir işlem uygulanması sonucunda malzemenin elastikiyet özelliklerini geniş sıcaklık aralıklarında koruyabildiğini keşfetmiştir. Bu gelişme ile beraber kauçuğun kullanımı daha da artmıştır (Cömez ve Öztürk 2022). Esneklik, düşük bozunma ve yayılma, kolay işlenebilirlik, yüksek dinamik performans, iyi aşınma dayanımı ve korozif sıvılara dayanıklılık gibi özelliklere sahip olması kauçuğu günümüzde önemli ve yaygın kullanıma sahip bir mühendislik malzemesi haline getirmiştir. Otomotiv sektöründe insan hayatının korunmasına hizmet eden parçaların bir kısmı kauçuktan üretilmektedir. Bu kauçuğun %60'ından fazlası, araç lastiği üretiminde kullanılmaktadır. Kauçuğun kullanıldığı diğer otomotiv parçalarından bazıları ise transmisyon kayışları, aks körükleri, yakıt ve fren hortumları, cam silecekleri, contalar, kapı ve cam fitilleri, radyatör, hava hortumları, izolasyon elemanları, salınım ve titreşim takozları vb. dir.

Kauçuklar çapraz bağlı olmayan ancak çapraz bağlanabilme özelliğine sahip yani vulkanize olma kabiliyetine sahip polimerlerdir. Elastomer ve kauçuk kavramları ASTM standartlarında tanımlanmıştır (ASTM-D 1566, 1993). ASTM 1566 standardına göre elastomerler, uygulanan kuvvetin serbest bırakılmasıyla hemen orijinal boylarına dönebilen makromoleküler yapı olarak tanımlanmaktadır. Kauçuk ise, uygulanan kuvvet kaldırıldığında belirli bir süre sonunda tekrar eski haline dönebilen makromoleküler yapı olarak tanımlanmaktadır. Buradan hareketle tüm kauçuk malzemelerin elastomer olduğu ancak tüm elastomerlerin kauçuk malzeme olmadığı söylenebilmektedir (Güler 2021, Vahapoğlu 2013).

Kauçuk tiplerinin arasında Etilen Propilen Dien Monomer (EPDM) kauçuğu en çok kullanılan tiplerindedir (Öteleş 2023). E; etilen, P; propilen, D; dien anlamındadır, M ise ASTM standardı içindeki D-1418 sınıflandırmayı gösterir. Bu elastik polimer madde etilen, propilen ve doymamış dienin kopolimerizasyonu ile elde edilir. EPDM kauçuğun moleküler yapısı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Etilen propilen dien kauçuğun yapısı (Öztürk 2008).

EPDM terpolimeri etilen ve propilen monomerleri ve ayrıca dien içeren üçüncü bir monomere sahiptir ve peroksitle ve kükürtle vulkanize olabilir. Camısı geçiş sıcaklığı propilen oranına bağlı olarak değişir ve -54°C ile -64°C arasındadır. Bu nedenle düşük sıcaklıkta çalışma performansı yüksektir. EPM ve EPDM kauçukları ısı, ışık ve oksidasyona karşı dayanıklıdır. Elektrik özellikleri gelişmiştir. Mekanik özellikleri doğal kauçuk ile bütül kauçuk arasındadır Yüksek dolgu ve yağ alabilme kapasitesine sahip olduğundan düşük maliyette karışımlar oluştururlar. Seyreltik veya konsantre asit ve alkalilere dayanıklılık gösterirler. Düşük yoğunluklu olduklarından hafif malzemeler üretilebilir (Vahapoğlu 2007).

Bu denli yaygın kullanımı olan EPDM atıkları, biyolojik olarak parçalanamayan atıkların büyük bir parçasını oluşturmaktadır. Bu atıkları uzaklaştırmada kullanılan eski yakma, piroliz ve düzenli depolama gibi yöntemlerin sebep olduğu ekolojik ve çevre sorunları kauçuk atıklarının geri dönüştürülmesine yönelik çabaları arttırmakta ve etkili bir geri dönüşüm teknolojisinin geliştirilmesi arayışını arttırmaktadır (Jacob vd. 2001). Son dönemde devulkanizasyon teknikleri, çevreye duyarlı olmalarının yanında hammadde tüketiminin azaltılmasına imkan verdikleri için dikkat çekmektedirler (Çataklı vd. 2019). EPDMler stabil bileşimleri sayesinde, daha küçük kauçuk bileşiklere öğütülebilirler ve spor parkurları, yollar veya çocuk oyun alanları için kauçuk paspaslar gibi uzun bir katma değerli çözüm listesi için kullanılabilirler (Demirer vd. 2018). Karbon siyahı gibi bileşenler de EPDM'den ekstrakte edilebilir ve yeni EPDM'ler dolgu maddesi olarak veya farklı malzemeler için bileşikler olarak yeniden kullanılabilirler. Bu malzemenin işlenmesi ve kullanılması önemli miktarda atık bırakmaktadır. Ancak bu malzeme termoset yapısından dolayı doğrudan geri dönüştürülmemekte ve genellikle çimento sektöründe yakıt olarak kullanılmaktadır. EPDM'lerin yeniden kullanılması, doğal

kaynakların daha sorumlu bir şekilde kullanılmasına izin vererek, ham hammadde ihtiyacını azaltmaya yardımcı olur.

2018 yılında EPDM (Etilen Propilen Dien Monomer) pazarı yaklaşık 6,48 milyar ABD doları olarak raporlanmıştır. Bu pazarın 2026 yılına kadar yaklaşık 9,87 milyar ABD doları gelir elde etmesi beklenmektedir. Bu pazarın yıllık büyüme oranı kabaca %5,4'tür. Küresel EPDM pazarı, otomotiv, inşaat, lastikler ve tüpler, teller ve kablolar, yağlayıcı katkı maddeleri ve diğer sektörlere yönelik uygulamaya dayalı olarak bölünmüştür. Otomotiv endüstrisinde EPDM, radyatör, fren parçaları, silecekler, cam geçiş kanalı, gövde contası, motor takozları ve çatı kaplama membranının imalatının yanı sıra araç cam sistemleri, nem bariyerleri, O-ringler, valfler ve pompaların yapımında kullanılır. Otomotiv sektöründe EPDM kullanımının yaygınlaşması nedeniyle otomotive ait pazar payının en yüksek oranda büyümesi beklenmektedir (<https://www.globenewswire.com/news-release/2019/08/01/1895449/0/en/>). Bu sebeple otomotiv sektöründen kaynaklanan üretim fazlası ve atık haldeki EPDM malzemenin kendine uygulama alanı ve atık yönetim stratejisi bulması doğal kaynakların korunması ve çevresel kirliliğinin önlenmesi açısından büyük önem arz etmektedir.

EPDM atık kauçuğun geri dönüşümü, polimer zincirleri arasındaki çapraz bağların kırılması (devulkanizasyon) yoluyla işlenmemiş formuna döndürülmesini veya atık kauçuğun yeni bir formda yeniden kullanılmasını içerebilir. Ancak EPDM kauçuğun geri dönüşümüyle ilgili çeşitli zorluklar vardır. Bunlardan bazıları devulkanize edici maddelerin birçoğunun kauçuktaki çözünürlüğünün düşük olması ve ağda daha yüksek oranda stabil monosülfidik çapraz bağların var olmasıdır. Literatürde EPDM yapısındaki monosülfidik C-S, polisülfidik S-S ve peroksit C-C bağlarını kırmak için gereken enerjiler sırasıyla 270, 240 ve 345 kJ/mol olarak raporlanmıştır. Atık EPDM'lerin yeniden kullanımına ait literatürde yer alan bazı çalışmalardan örnekler verilecek olursa; Mohaved ve ark. atık EPDM otomotiv parçalarından elde edilen atık toz, hem ısıtma hem de yüksek basınçlı buhar sağlayan endüstriyel bir otoklav kullanılarak devulkanize etmişler ve mekanik özelliklerin aşırı derecede bozulmaması için geri kazanılan kauçuğun çok düşük oranda işlenmemiş kauçuğa katılarak yeni ürün üretiminde ürün özelliklerini bozmadan kullanılabileceği sonucuna varmışlardır (Mohaved 2015). Ayrıca bu alanda gerçekleştirilen bir çok çalışma kesme eylemi sırasında devulkanize edici maddeler olan disülfür, merkaptanlar ve alifatik aminlerin eklenmesiyle devulkanizasyon verimliliği arttığını göstermiştir (Sutanto 2006, Mohaved 2015). EPDM'nin yeniden kulla-

nımına ait bir çalışmada Singh ve ark. (Singh 2017) modifiye edilmiş EPDM kauçuk içeren epoksicam elyaf takviyeli nanokompozitler geliştirilmişler ve darbe dayanımına etkisini incelemişlerdir. Nanokompozitlerde ağırlıkça %1 nano kil ve ağırlıkça %2.5-10 EPDM (hem işlenmemiş, hem de modifiye edilmiş) kullanılmışlar ve en çok darbe dayanımını %5 EPDM ilavesi ile elde etmişlerdir. Merve Türkben çalışmasında lastik ve EPDM kauçuğu atıklarının kompozit malzemede kullanımını araştırmış ve epoksi-EPDM malzemesinin malzeme özellikleri nedeniyle yüksek dayanım ve güvenilirlik gerektiren bağlar ve uygulamalar için kullanımının mümkün olmadığını ortaya koymuştur (Türkben 2019).

Bu çalışmanın amacı, otomotiv sektöründe sızdırmazlık sağlanması amacıyla cam ve kapılarda fitil formunda kullanılan malzemelerin (EPDM kauçuk), üretimleri esnasında ortaya çıkan üretim fazlası ürünlerin yeniden kullanım alanlarının doğru belirlenebilmesi için fiziksel kimyasal ve teknik özelliklerinin araştırılmasıdır. Ayrıca atık malzemeden üretilen granül malzemenin ihracatının mümkün olup olmadığı ve insani kullanım amaçlı sahalarda değerlendirilmeye uygun bir malzeme olup olmadığı teknik ve yasal açıdan değerlendirilmiştir.

2. Gereç ve Yöntemler

2.1. Üretim Fazlası Ürünlerden (EPDM) Granül Üretimi

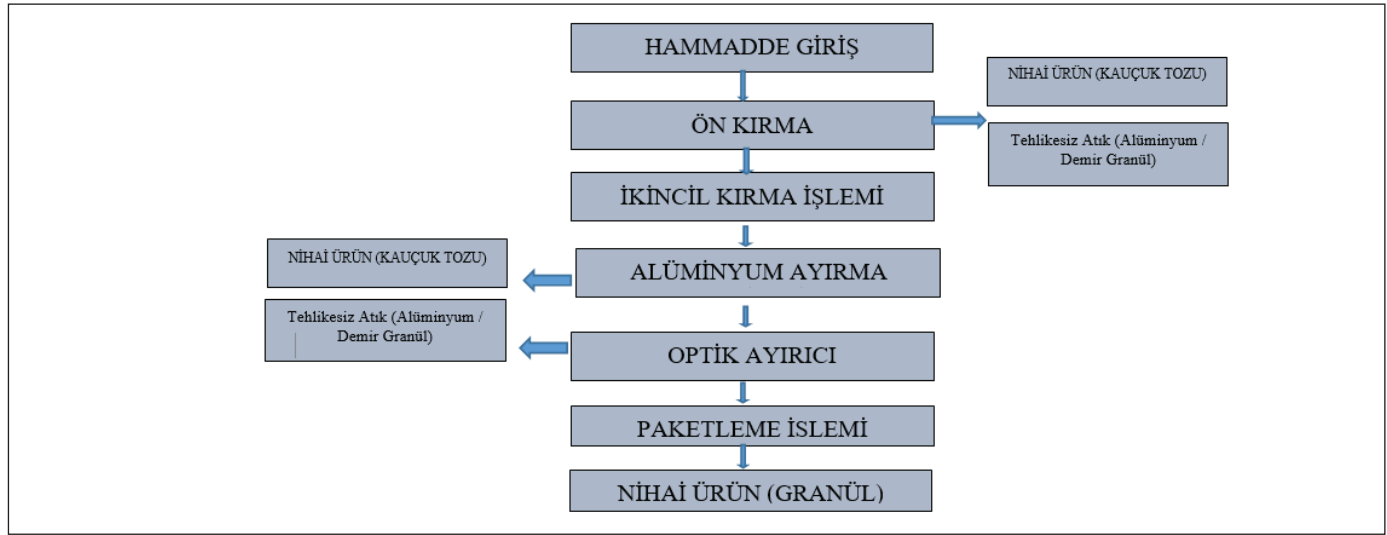
Örnek geri dönüşüm tesisinde EPDM kauçuk granül üretimine proses özeti ve üretim fazlası ürünlerden (EPDM) granül üretimi iş akış şeması Şekil 2'de verilmiştir.

Ön Kırma İşlemi:

Malzeme tedariki yapılan firmalardan malzeme kırılmış olarak gelmektedir. Malzemeler kepçe yardımıyla 80'lik kırıcı makinesine beslenerek 0-6 mm aralığında kırılmaktadır. Bu işlemde çıkan malzemeler elekten geçirilerek bir kısmı ürün vasfında olduğundan dolayı sarsak eleklerle gönderilmektedir. Sarsak eleklerle gönderilmeyen malzeme manyetik tambur ve alüminyum alma ayrıştırıcısından geçirilerek ikincil kırıcılara gönderilmektedir. Ön kırma işlemi esnasında kauçuk içerisinde bulunan demirin tamamı ve alüminyumun bir kısmı ayrıştırılmaktadır. Kırma esnasında oluşan toz kauçuk filtre yardımıyla çuvallanmaktadır.

İkincil Kırma İşlemi:

Ön kırma işlemlerinden geçen malzeme ikincil kırıcılarda 0-4 mm aralığında kırılarak sarsak eleğe gönderilir. Sarsak elekte ön kırma işleminden gelen ve ikincil kırma işlemin-



Şekil 2. Üretim fazlası ürünlerden (EPDM) granül üretimi iş akış şeması.

den gelen ürünler ebadına göre granül ve toz şeklinde elenir. Sonrasında Siloya basılır. Silodan taş makinelerine gönderilen ürün içerisinden alüminyum elenir. Taş makinelerinden çıkan kauçuk ürün optik ayırıcı silosuna basılır. Optik ayırıcıda içinde kalmış olabilen metal ve metal olmayan parçalar ayrılarak ürün temiz şekilde ürün paketleme silosuna gönderilir. EPDM Kauçuk Granül ürünü çuvallara konur, paketleme işlemi yapılarak ürün stok sahasına taşınır. Bu ürün, fitil üreten firmalarda, vulkanize edilip üretim fazlası olarak çıkmadan önce ön parçalamadan geçirilmekte (10-50 mm), geri dönüşüm tesisinde tekrardan kırılıp elenmesi ile 1-3.35 mm ebatlarında elde edilen ürün paketlenip yeniden kullanıma hazır hale gelmektedir.

2.2. EPDM Üretim Fazlası Ürünlerinin Karakterizasyonu

Bu çalışma kapsamında otomotiv sektöründe, sızdırmazlık sağlanması amacıyla cam ve kapılarda fitil formunda kullanılan malzemelerin (EPDM Kauçuk), üretimleri esnasında ortaya çıkan üretim fazlası ürünlerden elde edilmiş granüllerin (bu noktadan sonra bu malzeme 'UF-EPDM' olarak anılacaktır) özelliklerinin belirlenmesi ve malzemenin tanımlanması amacı ile yapılan analizler, analiz metotları ve testi yapan kurum, kuruluş bilgileri Çizelge 1'de verilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. UF-EPDM Teknik Özelliklerinin Değerlendirilmesi

UF-EPDM için hazırlanmış test/analiz raporlarına ait sonuçlar ve sonuçlara ait yorumlar aşağıda verilmiştir.

A. PAH analizi 'Evsel (yerleşim), ticari ve hafif endüstriyel, endüstriyel veya medikal ortamlarda kullanımı amaçlanan

malzemelerin bu gibi amaçlarla kullanıma uygunluğunun tespiti; 'AfPS (Alman Ürün Güvenliği Komisyonu) GS 2019:01 GS İşaretlerinin Verilmesinde Polisiklik Aromatik Hidrokarbonların (PAH'lar) Test Edilmesi ve Değerlendirilmesi Yöntemi' ne uygun olarak yapılmıştır. AfPS tarafından geliştirilen AfPS GS 2019:01 standardında, polisiklik aromatik hidrokarbonlar (PAH'lar) için genel spesifikasyon (GS) tanımlanmaktadır. Bu güvenlik ve sağlık (GS) standardı, teste konu olan malzemenin risk değerlendirmesi sırasında sağlığa yönelik bilinen riskleri belirlemek ve değerlendirmekle yükümlüdür. GS standardı, hem yeni bir GS işaretinin verilmesi sürecinde hem de mevcut GS işareti sertifikalarının izlenmesi çerçevesinde risk değerlendirmesi, kategorizasyon ve test sonuçlarının değerlendirilmesi adımlarını kullanarak nihai bir sonuç sunmaktadır. Bu çalışma kapsamında UF-EPDM örneğine ait AfPS GS 2019:01 GS işaretinin verilmesi ile ilgili olarak hazırlanan raporda Poliaromatik Hidrokarbon (PAH) analizi sonucunu içeren raporda sonuç 'geçti' şeklinde belirtilmiştir. Toplam PAH değerini oluşturan maddelerin analiz sonuçları incelendiğinde bu maddelerin bir kısmının numunede bulunmadığı (benzo[a]pyrene, benzo[a]anthracene, benzo[b]fluoranthene, benzo[j]fluoranthene, benzo[k]fluoranthene, Dibenzeno[a,h]anthracene, benzo[ghi]perylene, Indeno[1,2,3-cd]pyrene, phenanthrene, pyrene, anthracene, fluoranthene) diğerlerinin de (benzo[e]pyrene, indeno[1,2,3-cd]pyrene, Naphthalene) 0,1 mg/kg değerinin altına olduğu görülmektedir. Toplam 15 adet PAH türü için ölçülen toplam değer <5 mg/kg limitinin altında olduğu raporlanmıştır. Buradan hareketle, PAH parametresi açısından numunenin, izin verilebilir sınırların altında olduğu ispatlanmıştır.

B. Yangına tepki sınıfı raporu: Bu raporda, malzemenin yangına tepki sınıfının belirlenmesi için yapılan analize ait bilgiler ve sonuçlar, rapordan alındığı şekliyle aşağıda verilmiştir.

Çizelge 2'de belirtilen ilgili EN ISO standartları, evsel (yerleşim), ticari ve hafif endüstriyel veya endüstriyel ortamlarda kullanımı amaçlanan malzemelerin yangın dayanımının tespiti amacı ile uygulanmaktadır. Rapora göre UF-EPDM bu standartların gereğini karşılama konusunda yeterli bulunmuş ve malzemenin dış ortamlarda kullanılabilirliğinin yangın güvenliği açısından bir sorun teşkil etmeyeceği raporlanmıştır.

Çizelge 2'den elde edilen sonuçlara dayanılarak malzemenin çevresel ortamlarda kullanılacak materyallerin sağlaması gereken gereklilikler açısından UF-EPDM malzeme insani, ticari, hafif endüstriyel ve endüstriyel alanlarda uygulanabilir bir malzeme olarak sınıflandırılmıştır. Malzemenin yalnızca sağlık sahalarında (sağlık iyileştirme hizmeti verilen kapalı alanlar; hastane, sağlık ocağı vb.) kullanıma uygun olmadığı bildirilmiştir (Çizelge 3).

C. Belirli elementlerin göçü test raporu: Belirli elementlerin göçü TS EN 71-3:2013-FA I:2014-12 Oyuncak güvenliği-Bölüm 3 kapsamında değerlendirilmiştir. Belirli elementlerin taşınımının (göçü) test raporunun incelenmesinden, ağır metal sonuçlarının (Alüminyum, Antimon, Arsenik, Bakır,

Çizelge 1. UF-EPDM'den üretilmiş granüllerin özelliklerinin belirlenmesi amacı ile yapılan analizler ve hazırlanan raporlar.

Analiz/Rapor adı	Yapan Kurum/Kuruluş	Metot
Poliaromatik hidrokarbon (PAH) analizi	Eurolab Laboratory Services	AfPS GS 2019;01 PAK
Belirli elementlerin göçü test	TSE DENEY ve KALİBRASYON MERKEZİ BAŞKANLIĞI Kimya Laboratuvarı Ankara Müdürlüğü rapor no: 202082 (386554),	TS EN 71-3'e göre Ağır metal analizleri ICP-OES ve/veya ICP MS ile yapılmıştır.
Ftalat analizi	TSE DENEY ve KALİBRASYON MERKEZİ BASKANLIĞI Kimya Laboratuvarı Ankara Müdürlüğü, rapor no:386564	GC-MS
Kimyahane analizi	T.C. Ticaret Bakanlığı Doğu Marmara Gümrük ve Dış Ticaret Bölge Müdürlüğü, Kocaeli Laboratuvar Müdürlüğü, rapor no:4122BYN7122	
Granül karakterizasyon analizi	Bursa Teknoloji Koordinasyon ve Ar-Ge Merkezi, rapor no:2021-0073	Termal analizler: DSC ve TGA
Yangına tepki sınıfı raporu	Eurolab Laboratory Services 2018210901 nolu	EN-ISO-11925-2 EN-ISO-9239-1
EPDM Granül Ürün Performans test raporu	SportsLabs Testing Technology for Sport, Laboratory Performance Report, rapor no:18146/5368	FIFA Test Metodu-11 FIFA Test Metodu-10-EN 20105-A02:1995 EN 14836:2005 ve EN 20105-A02:1995 DIN 18035-7

Çizelge 2. UF-EPDM'nin yangına tepki sınıfı raporu sonucu.

Yangın testine reaksiyonu-alevin doğrudan çarpmasına maruz kalan yapı ürünlerinin tutuşabilirliği (Bölüm 2)	EN-ISO-11925-2	Geçti SINIF B TS-EN 13501-1
Döşemeler için yangına tepki testleri (Bölüm 1) Bir radyan ısı kaynağı kullanarak yanma davranışının belirlenmesi	EN-ISO-9239-1	Geçti

Çizelge 3. UF-EPDM'den üretilmiş granüllerin kullanılacağı alan gereksinimleri açısından değerlendirme.

Uygunluk	İnsani kullanım amaçlı alan
Uygun	Ticari ve hafif endüstriyel alan
Uygun	Endüstriyel alan
Uygun değil	Sağlık sahası

Baryum, Bor, Cıva, Çinko, Kadmiyum, Kalay, Kobalt, Kurşun, Mangan, Nikel, Selenyum, Stronsiyum) standartta belirtilen limit değerlerin altında kaldığı ve sonuçta testi "Geçti" şeklinde belirtildiği görülmektedir. Toplam krom için verilmiş "Not 1"deki açıklamada ise "Toplam Krom (Krom (III) + Krom (VI)) taşınımı, eğer Krom (VI)'nın maksimum sınır değerinin altında ise, hem Krom (III) hem de Krom (VI) için gereklilikler sağlandığı için, malzemenin uygun olduğu sonucuna varılır." ifadesi yer almaktadır. Analiz edilen numunedeki toplam Krom miktarı, Krom (VI)'nın maksimum limit değerinden yüksek olduğundan dolayı, Krom (VI) ve Krom (III) değerlendirilmez." ifadesine yer verildiği görülmüştür. Sonuç olarak 'Toplam Krom' miktarı net olarak değerlendirilememiş olmakla birlikte içerdiği diğer elementlerin hepsinin sınır değerlerin altında kalması sebebi ile malzeme belirli elementlerin taşınımının testinden geçmiş ve test raporunda malzeme ile ilgili risk arz eden bir durum belirtilmemiştir.

D. Ftalat analizi: TSE Deney ve Kalibrasyon Merkezi Başkanlığı tarafından hazırlanmış olan raporda (No 386564), ürünün içerdiği ftalat oranı 1000ppm'den küçük olarak ölçülmüş, ürün uygun olarak değerlendirilmiştir (Çizelge 4). UF-EPDM Ftalat içermemektedir.

E. UF-EPDM Granül Ürün Performans Testi: Bu raporda tip olarak EPDM şeklinde belirtilmiş malzeme ile ilgili olarak partikül boyutu, şekli, yoğunluğu, rengi, yapay iklimlendirme şartları altında renk ve kompozisyonundaki görsel değişiminin ve renk değişiminin insani kullanım amaçlı alanlarda dolgu malzemesi olarak kullanılabilir olduğunu gösterdiği ifade edilmiştir.

F. Kimyahanane Analizi: Raporun 'Değerlendirme ve Açıklamalar' kısmında, malzemenin kullanım amacına dair her-

hangi bir sonuca varılmadığı ifade edilmiş, malzemenin bütünü üzerinden değerlendirme yapılarak GTİP numarasına karar verilebileceği vurgulanmıştır.

G. UF-EPDM Karakterizasyon Analizi: Bursa Teknoloji Koordinasyon ve Ar-Ge Merkezi tarafından hazırlanan raporda, UF-EPDM malzemenin camsı geçiş sıcaklığı -60°C olarak bulunmuştur. Ayrıca %23 inorganik madde, %19 organik katı, %29 polimer madde, %29 karbon siyahı içeriğine sahip olduğu belirtilmiştir. UF-EPDM malzemenin EPDM olup olmadığının tespiti" hususunda sonuç kısmında "söz konusu kauçuk numunelerinin EPDM (Etilen Propilen) kauçuk olduğu görüşüne varılmıştır" beyanı yer almıştır. Bu sonuç atık malzemeden elde edilen granüllerin EPDM özelliklerini korumaya devam ettiğini göstermektedir. Ancak bu malzemenin üretimde yeniden kullanılabilmesi için ürün standartları veya ilgili ürün mühendislik şartnamelerinde tanımlanmış mekanik, kimyasal, iklimatik, sızdırmazlık, NVH (Noise-Vibration-Harshness), ömür vb. statik ve dinamik testlerden geçmiş olması gerekmektedir.

3.2. UF-EPDM'lerin Kullanımının Yasal Değerlendirmesi

Atık EPDM'den üretilmiş granüllerin yeniden kullanım, ithalat ve ihracat süreçlerinde hangi şekilde değerlendirilmesi gerektiği ülkemizin imzası bulunan uluslararası sözleşmeler ve ulusal mevzuat sistemindeki yeri incelenerek ortaya konmalıdır.

Bu kapsamda malzemenin "İhracı Yasak ve Ön İzne Bağlı Mallara İlişkin Tebliğ" (İhracat 96/31) Ek-2 sayılı liste kapsamında olup olmadığına dair inceleme ve değerlendirme yapılmıştır. Bu tebliğde 'Ek 2/İhracı Ön İzne Bağlı Mallar Listesi' maddesinde belirtilen ifadeye göre, ihracı istenen malzemenin, öncelikle "Tehlikeli Atık" sınıfında olup olmadığına, sonrasında ise Basel sözleşmesi kapsamında olup olmadığına bakılması gerektiği anlaşılmaktadır.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 02.04.2015 tarih ve 29314 Sayılı Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren Atık Yönetimi Yönetmeliğinde (AYY) yer alan d bendinde 'Atık' ve 'Tehlikeli Atık' tanımları birlikte değerlendirildiğinde

Çizelge 4. UF-EPDM Ftalat analizi sonuçları

Numune	Sonuçlar (ppm)							
1	DBP	BBP	DEHP	DNOP	DINP	DIDP	TOPLAM	SONUÇ
	TE	TE	TE	TE	TE	TE	<1000	Geçti

*TE: Tespit Edilemedi.

atık; üreticisi veya fiilen elinde bulunduran gerçek veya tüzel kişi tarafından çevreye atılan veya bırakılan ya da atılması zorunlu olan herhangi bir madde veya materyali, tehlikeli atık ise; Ek-3/A'da yer alan tehlikeli özelliklerden birini ya da birden fazlasını taşıyan, ek-4'te altı haneli atık kodunun yanında yıldız (*) işareti bulunan atıkları kapsamaktadır. Atık tanımına göre bu ürünler atık veya artık değildir. UF-EPDM'ler üretim fazlası olduğundan, çevreye atılan veya bırakılan ya da atılması zorunlu olan herhangi bir madde veya materyal olmadığı görülmektedir. Ürünler bütün halde kullanılabilir. UF-EPDM'ler, EPDM Kauçuk granülü üretimi için özel tesislere gönderilmektedir. Tehlikeli atık tanımına göre değerlendirilirse Ek-3/A'da belirtilen özellikler, EPDM için hazırlanmış Malzeme Güvenlik Bilgi Formundaki (MGBF) bilgilerle karşılaştırıldığında, tehlike tanımlaması kısmında 'Tehlike etiketi uygulanamaz' ve 'Uygun şekilde kullanıldığında sağlığa veya çevreye zararlı değildir' ibareleri yer almaktadır.

AYY'de 'Tanımlar' kısmında verilen (jj) maddesine göre, E-4'e bakıldığında, kauçuk kelimesinin geçtiği tek maddenin 07 02 kodlu "Plastiklerin, Sentetik Kauçuk ve Yapay Elyafın İmalat, Formülasyon, Tedarik ve Kullanımından (İFTK) Kaynaklanan Atıklar" başlıklı madde olduğu görülmüştür. Bu madde altında verilmiş 6 haneli atık kodlarına bakıldığında ise hiçbirinin, UF-EPDM'lerden üretilmiş granüller ile ilişkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

"Tehlikesiz atık" tanımı içine giren Ek-4'deki maddeler içinde de, "EPDM kauçuk" veya sadece "kauçuk" kelimesinin geçtiği bir "atık kodu" bulunmamaktadır. Buna göre, AYY'e göre, gerek "tehlikeli atık" gerekse "tehlikesiz atık" tanımları içine girmeyen üründen (cam veya kapı fitilleri), fiziksel/mekanik kırma işlemleri ile elde edilen granül malzemenin atık şeklinde değerlendirmesinin uygun olmayacağı sonucuna varılmaktadır.

Basel sözleşmesi incelendiğinde, "Ek 1 Kontrol Edilecek Atık Kategorileri" başlıklı bölümde, atık türleri listesinde Y1'den Y18'e kadar farklı atık kategorilerinin içinde atık EPDM'den üretilmiş granüllerin ihracının yasak olmasını gerektirecek bir madde bulunamamıştır. Aynı Ek 1 in devamında, 'Atıkların İçinde Bulunan Maddelere Göre Verilmiş Liste' ve Ek 2 'Özel Değerlendirmeye Tabi Tutulacak Atık Kategorileri' incelendiğinde; UF-EPDM'lerden üretilmiş granüllerin içinde, belirtilen maddelerin bulunup bulunmadığı hakkında, malzeme üzerinde daha önce yaptırılmış analiz sonuçlarına bakılması yeterli olacaktır. Bu anlamda daha önce verilen analiz sonuçlarının tümünde, malzeme için gerekli standartların sağlandığı görülmektedir. Dolayısıyla,

yönetmelikte belirtilen maddeler açısından, malzemenin kullanımını kısıtlayacak bir durumun söz konusu olmadığı anlaşılmakta olup, buna göre, UF-EPDM'lerin Basel sözleşmesi kapsamında incelenmesi gereken bir malzeme olmadığı sonucu çıkarılabilir.

3.3. UF-EPDM'lerin GTİP Tanımlamalarının Değerlendirilmesi

<https://www.tim.org.tr/tr/gtip-arama> sayfasında yapılan aramada, konu ile ilgili tanımlamanın;

"400400000013:KAUÇUKTANTOZ VE GRANÜLLER; Kauçuğun döküntü, kırpıntı ve artıkları (sertleştirilmiş kauçuk hariç) ve bunlardan elde edilen tozlar ve granüller" şeklinde olduğu görülmüş olup, UF-EPDM'den üretilmiş granüllerin, sertleştirilmiş kauçuk (vulkanizasyon işleminden geçmiş) özelliği taşıdığından, bu madde kapsamında değerlendirilmesi doğru değildir.

Konu hakkında gerek üretim bilgileri gerekse literatürden elde edilen bilgilerden, GTİP kodları içerisinde, söz konusu malzemenin gireceği en uygun kod numarasının "400270000000: Etilen-propilen-konjuge olmamış dien kauçuk (EPDM)" olması gerektiği kanaatine varılmaktadır. Buna göre, malzemenin atık olarak değil, bitmiş bir üründen ortaya çıkan hatalı parçaların, granül haline getirilerek, farklı bir sahada yan ürün olarak değerlendirilen malzeme şeklinde değerlendirilmesi daha uygun olacaktır.

4. Sonuç ve Öneriler

Otomotiv sektöründe sızdırmazlık sağlanması amacıyla cam ve kapılarda fitil formunda kullanılan malzemelerin (EPDM Kauçuk), üretimleri esnasında ortaya çıkan üretim fazlası ürünler, geri kazanılabilir malzeme niteliğindedir. Bu malzemelerin geri kazanım tesisinde mekanik işlemler ile kırılarak granül hale getirilmesi ile elde edilen malzemenin analiz raporları ve literatür bilgileri detaylı olarak değerlendirildiğinde, GTİP kodları içerisinde '400270000000: Etilen-Propilen-Konjuge Olmamış Dien Kauçuk (EPDM)' kodlu madde kapsamında değerlendirilmesi gerektiği, dolayısıyla, İhracı Yasak ve Ön İzne Bağlı Mallara İlişkin Tebliğin (İhracat 96/31) Ek-2 sayılı liste kapsamında olmadığı görülmüştür. Ayrıca UF-EPDM'den elde edilen granüllerin, insani kullanım amaçlı, spor sahası, çocuk parkı gibi alanlarda taban dolgu malzemesi vb. amaçlarla sağlık riski oluşturmaksızın kullanılması da uygun görülmektedir. Sonuç olarak, UF-EPDM'den elde edilen granüllerin, "tehlikeli atık" niteliğinde olmamakla beraber, Basel sözleşmesi kapsamında değerlendirilmesinin gerekli olmadığı sonucuna varı-

labilir. Gelecekte bu alanda yapılacak çalışmaların ise, UF-EPDM'nin kullanıldığı insani kullanım amaçlı uygulama alanlarından alınan ortam numunelerinin sağlık, güvenlik ve çevresel etkilerinin araştırılarak ortaya konması üzerinde yoğunlaşması beklenmektedir.

Yazar katkısı: Melike İşgören: Çalışma hakkında verileri toplamıştır, çalışmayı planlamış ve tasarlamıştır, İsmail Toröz: Çalışmayı tasarlamış ve çalışmayı koordine etmiştir.

Teşekkür: Makalenin oluşturulmasında verdikleri destek ve katkıdan dolayı Benli Geri Dönüşüm Makine San. Ve Tic. A.Ş. tesisi yetkililerine teşekkür ederiz.

5. Kaynaklar

- Çataklı, T., Ergüder, TH., 2019.** Biyo-devulkanizasyon: Atık Lastik Yönetiminde Çevre Dostu Bir Yaklaşım. 2(1): 20–34.
- Cömez, EE., Öztürk, S., 2022.** Farklı Vulkanizasyon Parametrelerinin Karbon ve Kaolen-Silika Esaslı Karışımların Çapraz Bağ Yoğunluğuna ve Mekanik Özelliklerine Etkileri, ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi, 4(2): 53–62.
- Demir, H., Kartal, I., Ünlü, K., Büyükkaya, K., 2018.** Investigation of mechanical and thermal properties of waste EPDM and polypropylene mixtures. Acta Phys. Pol. A, 134(1): 257–259. <https://doi.org/10.12693/APhysPolA.134.257>.
- Güler, E. 2021.** Yüksek Lisans Tezi. Otomotivde kullanılan aem (etilen akrilik monomer) kauçuk hava hortumlarının ekstrüzyon ve otoklav parametrelerinin optimizasyonu, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Jacob, C., De P, P., Bhowmick, AK., and De K, S., 2001.** Recycling of EPDM waste. I. Effect of ground EPDM vulcanizate on properties of EPDM rubber. J. Appl. Polym. Sci., 82(13): 3293–3303. <https://doi.org/10.1002/app.2188>.
- Mohaved, SO., Ansarifar, A., Nezhad, SK., and Atharyfar, S., 2015.** A novel industrial technique for recycling ethylene-propylene-diene waste rubber. Polym. Degrad. Stab., 111: 114–123. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2014.11.003>.
- Öteleş, A., Köprü, İ., Hakan, S., 2023.** Etilen Propilen Dien Monomer (EPDM) ve Stiren Bütadien (SBR) Kauçukların Kükürt ve Peroksit Vulkanizasyon ile Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Türk Mühendislik Araştırma ve Eğitimi Dergisi, 2(2): 131–137.
- Singh, K., Nanda, T., Mehta, R., 2017.** Addition of nanoclay and compatibilized EPDM rubber for improved impact strength of epoxy glass fiber composites. Compos. Part A Appl. Sci. Manuf., 103: 263–271. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2017.10.009>.
- Sutanto, P., Picchioni, F., Janssen, LPBM., Dijkhuis, KAJ., Dierkes, WK., Noordermeer, JWM. 2006.** EPDM rubber reclaim from devulcanized EPDM. J. Appl. Polym. Sci., 102(6): 5948–5957. <https://doi.org/10.1002/app.25153>.
- Türkben, M., 2019.** Yüksek Lisans Tezi. Lastik ve epdm kauçuğu atıklarının kompozit malzemede kullanımı. Konya Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Vahapoğlu, V. 2007.** Kauçuk Türü Malzemeler I. Do al Kauçuk Türü Malzemeler I. Doğal Kauçuk. C. B. Ü Fen Bilim. Derg., 3(1): 70.
- Vahapoğlu, V. 2013.** Kauçuk Türü Malzemeler: Sınıflandırma. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilim. Enstitüsü Derg., 4(1): 25–34. <http://edergi.mehmetakif.edu.tr/index.php/febed>
https://www.globenewswire.com/news-release/2019/08/01/1895449/0/en/Global-EPDM-Ethylene-Propylene-Diene-Monomer-Market-Will-Reach-USD-9-87-Billion-By-2026-Zion-Market-Research.html?trk=article-ssr-frontend-pulse_little-text-block



Akciğer Röntgen Görüntülerinden Covid-19 ve Zatürre Hastalığının Kuantum Evrişimli Sinir Ağları Yöntemi ile Tahmini

Prediction of Covid-19 and Pneumonia Diseases from Lung X-ray Images Using Quantum Convolutional Neural Networks

Seçmen Şahin¹ , Güneş Harman^{2*}

¹Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Lisansüstü Eğitim Fakültesi, Yalova, Türkiye

²Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Yalova, Türkiye

Öz

Kuantum Evrişimli Sinir Ağları (QCNN'ler) kuantum hesaplamanın güçlü yönlerinden faydalanarak evrişimli sinir ağlarının yeteneklerini artırmayı amaçlar. Girdi verilerini yerel olarak dönüştürerek ve kuantum devreleri kullanarak çalışırlar. Bu çalışmada, kuantum kodlu bir COVID-19 veri kümesi üzerinde iki model oluşturulmuştur. Model-1, 'Normal Kişi' ile 'Covid19/Viral Pnömoni' arasında sınıflandırma yaparken, Model-2 'Covid-19' ile 'Viral Pnömoni' arasında sınıflandırma yapmaktadır. Oluşturulan bu modeller için kübit sayısına göre (öznitelik sayısı) 3 farklı sınıflandırma yapılmıştır. Kuantum Sınıflandırıcı 1 için, temel veri analizi ile elde edilen 256 özellikli giriş verisinden 11 özellik çıkarılarak yaklaşık %70 doğruluk elde edilmiştir. Kuantum Sınıflandırıcı 2'de, TruncatedSVD yöntemi kullanılarak her bir görüntünün 256 özelliği 4'e indirilmiş ve %72 doğruluk elde edilmiştir. Son olarak Kuantum Sınıflandırıcı 3'te sadece 2 özellik kullanarak beklenmedik bir şekilde %76 doğruluk elde ettiği belirtilmiştir. Bu modeller, akciğer röntgen görüntülerinden hastalık teşhisi konusunda önemli bilgiler sağlamak ve kuantum bilgisayarlarının sağlık alanında nasıl etkili bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Ayrıca, Pennylane'in "varsayılan qubit" cihazındaki farklı parametrelerin model performansına etkisi incelenmiştir. Çalışmada, Kuantum Sınıflandırıcı 3'ün veri boyutunu önemli ölçüde azaltarak yüksek doğruluk oranına nasıl ulaştığı, QCNN'lerin gelecekte daha az kaynak kullanımıyla yüksek performans sağlama potansiyelini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Covid'19, kuantum devresi, kuantum makine öğrenmesi, kuantum evrişimli sinir ağları

Abstract

Quantum Convolutional Neural Networks (QCNNs) aim to enhance the capabilities of convolutional neural networks by leveraging the strengths of quantum computing. They operate by locally transforming input data using quantum circuits. In this study, two models have been built on a quantum-encoded COVID-19 dataset. Model-1 classifies between 'Normal Person' and 'Covid19/Viral Pneumonia', while Model-2 classifies between 'Covid-19' and 'Viral Pneumonia'. Three different classifications have been made based on the number of qubits (feature count) for these models. For Quantum Classifier 1, approximately 70% accuracy was achieved by extracting 11 features from the 256-feature input data obtained through basic data analysis. In Quantum Classifier 2, using the TruncatedSVD method, each image's 256 features were reduced to 4, resulting in 72% accuracy. Finally, Quantum Classifier 3 achieved an unexpected 76% accuracy using only 2 features. These models provide significant insights into diagnosing diseases from lung X-ray images and demonstrate how quantum computers can be effectively utilized in the healthcare domain. Additionally, the impact of different parameters in the "default qubit" device of Pennylane on model performance has been investigated. The study highlights how Quantum Classifier 3 achieves high accuracy by significantly reducing the data dimension, indicating the potential of QCNNs to provide high performance with less resource usage in the future.

Keywords: Covid'19, quantum circuit, quantum machine learning, quantum convolutional neural networks

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: gunes.guclu@yalova.edu.tr

Seçmen Şahin orcid.org/0009-0006-1085-2831

Güneş Harman orcid.org/0000-0001-5413-124X



1. Giriş

Makine öğrenimi (ML), birçok alanda (hesaplamalı biyoloji, bilgisayarla görme, bilgisayar güvenliği vb.) hızla gelişen bir disiplindir. ML, verileri genellikle matrisler olarak temsil eder ve matris işlemlerini çözmek için doğrusal cebir kullanır. Ancak, ML uygulamaları ve tekniklerinin özellikle büyük veri işleme ve depolama sürelerinde bazı eksiklikleri vardır. Gelecek nesil araştırmacılar, bu sorunları çözmek için kuantum bilgisayarların gücünden yararlanarak daha akıllı bir çözüm geliştirmişlerdir (Rebentrost vd. 2014). Kuantum hesaplama (QC), klasik ML görevlerini daha hızlı hale getirebilen çeşitli doğrusal cebir hesaplamalarını iyileştirebilir. Örneğin, Kuantum Gradyan İnişi (QGD) (Kerenidis ve Prakash 2017) ve Kuantum Yaklaşık Optimizasyon Algoritması (QAOA) gibi kuantum optimizasyon teknikleri bu alanda öne çıkar. Bu teknikler, Kuantum Boltzman Makineleri (QBM) (Amin vd. 2018) gibi kuantum sinir ağları (QNN) içeren yeni nesil ML modellerinde etkin bir şekilde kullanılır.

Kriptografi ve sağlık alanında sunduğu hizmetlerin üstünlüğü ve kuantum hesaplamasının ilerlemesi nedeniyle klasik makine öğrenimi ve kuantum bilgi işleme kombinasyonu kuantum makine öğrenimi olarak adlandırılan yeni bir alan haline gelmiştir. Kuantum bilgi işleme, parazit, süperpozisyon ve dolaşma gibi kuantum mekanik özelliklerini kullanarak bilgileri işler. Bu nedenle, kuantum bilgi işleme klasik algoritmaları geliştirmek için makine öğrenimi (ML) gibi çeşitli alanlarla entegre edilmiştir. Kuantum makine öğrenimi (QML), kuantum özellikleri kullanarak makine öğrenimi algoritmalarını geliştirmeyi amaçlar. QML, yüksek etkinlikle farklı problemleri çözmek için kuantum **süperpozisyonu** ve kuantum *dolanıklığı* gibi kuantum özelliklerini kullanır (Schuld vd. 2015). Bu, ML'lerin esnekliği ve öğrenme kabiliyetinin yanı sıra kuantum bilgisayarların etkisine sahip çeşitli algoritmaların geliştirilmesini hedefler. QML, kuantum algoritmalarını sinir ağları (NN), grafik modeller ve destek vektör makineleri (SVM) gibi çeşitli ML modellerine entegre eder. Ayrıca, QML, klasik ML algoritmalarının kuantum versiyonlarını da içerir (Rahman ve Geiger 2016). Örneğin, Kuantum Destek Vektör Makineleri (QSVM) ve Kuantum Temel Bileşen Analizi (QPCA) (Lloyd vd. 2013).

Klasik ve Kuantum Makine Öğrenmesi (Quantum Machine Learning - QML) şeklinde yapılmış olan bu hibrit çalışmanın literatüre sağlayacağı katkı;

- **Hız ve İşlem Kapasitesi:** Klasik bilgisayarlar, belirli problemleri çözmek için sınırlı işlem kapasitesine sahip-

tir. Kuantum bilgisayarlar ise belirli tipteki problemleri daha hızlı çözebilir. Hibrit bir sistem, klasik bilgisayarların genel hesaplama yeteneklerini kullanırken, özellikle kuantum avantajlarına sahip problemleri çözmek için kuantum bilgisayarları kullanabilir.

- **Veri İşleme ve Analizi:** Hibrit bir yaklaşım, büyük veri setlerinde daha hızlı ve etkili bir şekilde işlem yapabilir. Kuantum bilgisayarlar, belirli veri analizi problemlerinde paralel hesaplamaları kullanarak klasik bilgisayarlardan daha etkili olabilir.
- **Belirli Algoritmaların İyileştirilmesi:** Klasik algoritmaların belirli zorlu problemlerde yetersiz olduğu durumlar vardır. Kuantum algoritmaları, bu tür problemleri çözmek için özel olarak tasarlanabilir. Hibrit bir yaklaşım, belirli algoritmaların klasik versiyonlarına kuantum iyileştirmeleri ekleyerek performansı artırabilir.
- **Yeni Algoritmaların Geliştirilmesi:** Hibrit sistemler, kuantum ve klasik bilgisayarlar arasında etkileşim sağlayarak yeni ve daha etkili algoritmaların geliştirilmesine olanak tanır. Bu, belirli problemleri çözmek için özel olarak tasarlanmış algoritmaların oluşturulmasına imkan tanır.
- **Çeşitli Uygulama Alanları:** Hibrit bir yaklaşım, finans, sağlık, yapay zeka, optimizasyon problemleri gibi çeşitli uygulama alanlarında kullanılabilir. Bu, klasik ve kuantum bilgisayarların güçlü yanlarını birleştirerek daha geniş bir problem yelpazesine hitap edebilir.

2. Literatür Taraması

Son yıllarda ML tabanlı QC ilgili çok önemli çalışmalar yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Bu bölüm, kuantum makine öğrenimi (QML) paradigmaları (örn., Tamamen QML, hibrid klasik-quantum ML, kuantumdan ilham alan ML) ve kuantum derin öğrenmesinde yapılmış olan son çalışmalar hakkında kapsamlı bir literatür çalışması yapmak için düzenlenmiştir. Kuantum otomatik kodlayıcılar (Khoshaman vd. 2018, Pepper vd. 2019), Kuantum Biyomimetisi (Alvarez vd. 2018, Lamata 2020), Kuantum İletişimi (Nawaz vd. 2019, Sheng ve Zhou 2017, Wallnöfer vd. 2020), Kuantum Tavlama (Rieffel vd. 2015), Hesaplama Kimyası (McArdle vd. 2020, Von Lilienfeld 2018) ve Boltzmann makinesi (Amin vd. 2018).

Huang vd. (2021), ML görevlerinde yeni bir yaklaşım önermek için potansiyel kuantum avantajını kullandılar. Bu yaklaşım, giriş veri alanı aracılığıyla geometrik çekirdek işlevine dayanmaktadır. Ayrıca, klasik alanda "öngörülen kuantum

çekirdekleri” (POK) adı verilen kuantum ve klasik ML modellerini kullanarak bir kuantum çekirdeği sağladılar. Bu kuantum çekirdeği, veriler arasındaki benzerliği ölçer ve öğrenme görevlerinde kuantum hızlandırma sağlar. Burada kullanılan geometrik sabit, çeşitli çekirdek fonksiyonlarına sahip klasik ve kuantum ML algoritmalarındaki geometrik farkı ölçer ve potansiyel kuantum avantajının veri miktarına dayandığını bildirdiler. Yapılmış olan bir diğer çalışmada Schuld vd. (2016), denetimli öğrenmeye dayanan örüntü tanıma için yeni bir kuantum algoritması önermişlerdir. Bu algoritma, kuantum doğrusal regresyon adı verilen doğrusal regresyonun bir versiyonudur. Kuantum lineer regresyon, logaritmik zaman içinde özelliklerin n-boyutları ile kuantum verileri üzerinde çalışır. Bir diğer çalışmada Ezhov ve Ventura (2000), klasik NN'lere göre QNNS avantajları, kuantum paralellik, daha yüksek stabilite, daha yüksek bilgi işleme hızı ve bellek kapasitesi tartışılmaktadır. Bu çalışmada Da Silva vd. (2016), bir alan Kuantum Potansiyel Frekansları (QPF) üzerinde kuantum algılama adı verilen yeni bir Kuantum Network Solution (QNS) ve öğrenme algoritması, süperpozisyon tabanlı mimari öğrenme (SAL) olarak adlandırdı. SAL algoritması üst üste binme özelliğine ve kuantum operatörüne dayanmaktadır. Ayrıca, NN mimarisini polinom zamanıyla işler. QPF, kuantum algılama modellerinin sınırlamalarının üstesinden gelir. Başka bir çalışmada, yazarlar (Schuld vd. 2015), kuantum donanımı üzerinde kuantum faz tahmini kullanarak klasik algılama kuantum bir versiyonunu tanıttılar. Kuantum algılama algoritması, NNS'deki aktivasyon fonksiyonunu (adım işlevi) simüle eder.

Rekabetçi NN'lerde, Zhou (2010) iki ana parça sundu: birincisi, QC ile QC adı verilen Rekabetçi Öğrenme NN'lerine dayanan yeni bir model. QCNN modeli, kuantum paterni rekabetini kullanarak giriş modellerini sınıflandırır. İkinci bölümde Zhou, önerilen QCNN için bellek kapasitesi sağladı. QCNN, ağ ağırlığı olmadan bir kuantum kaydı kullanarak rekabetçi öğrenme elde eder. Kuantum dolaşımını ve Grover'in algoritmasını kullanan bir başka QCNN modeli Zhong ve Yuan (2012) tarafından önerilmektedir. Bu model, sahte desenler nedeniyle kuantum ilişkilendirici bellek kullandı. Ayrıca, bu model rekabet sürecinde sahte durumları eksik kalıplarda hatırlar. Zidan vd. (2019) yapmış oldukları çalışmada QCPNN adı verilen ikili sınıflandırma için dolaşma önlemine dayanan başka bir QCNN önermişlerdir. QCPNN, giriş verilerini bir kuantum bilgisayardaki eksik desenlerde sınıflandırır.

Son zamanlarda, Abbas vd. (2021) QNN'nin gücünü mevcut yakın vadeli kuantum donanımı ile tartışmıştır. Yazarlar,

adlandırdıkları modelin kapasitesi, etkili boyut için yeni bir önlem önermişlerdir. Bu etkili boyut, modelin yeni/görünmeyen veriler üzerinde genelleme yeteneğini sınırlamak için kullanılır. Buna ek olarak, önlemlerinin bir Fisher bilgi matrisi ile veriye bağlı bir genelleme yöntemi olduğunu bildirdiler. Son olarak, yazarlar QNN'nin mevcut gürlülüğü kuantum cihazı ile klasik NN'ye kıyasla daha hızlı eğitim aldığı bildirmişlerdir. Ayrıca QNN'nin klasik NN'den daha yetenekli olduğunu gösterdiler. Chen ve Yoo (2021) yapmış oldukları çalışmada hibrit kuantum-klasik ML'ye dayanan yeni bir eğitim modeli önerdi. Mevcut problemi sınırlı mevcut kuantum donanımı ile çözmek için kuantum cihazların özelliğini kullandılar. Kuantum donanımını (yani, cihaz veya simülatör okuma) yerel istemciler olarak kullandılar. Ayrıca, çalışmada özellik çıkarma için VGG16 ile klasik -Kuantum Transfer Öğrenimi kullanmışlardır. Önerilen çerçevenin avantajı klasik ve kuantum verileri üzerinde çalışır.

Dang vd. (2018) görüntü sınıflandırması için kuantum KNN algoritması olarak adlandırılan yeni bir kuantum modeli önerdi. Kuantum KNN modeli iki bölümden oluşur: klasik ve kuantum bölümü. Yazarlar klasik bilgisayarı görüntülerin özelliklerini çıkarmak için kullandılar. Çıkarılan özellikler bir kuantum cihaz tarafından bir kuantum duruma dönüştürülür. Ardından, kuantum devresi, görüntüler arasındaki benzerliği hesaplamak için kullanılır. Son olarak, sınıflandırma işlemi bir ölçüm devresi tarafından gerçekleştirilir. Kuantum KNN modeli, verimlilik ve sınıflandırma performansı açısından klasik modellerden daha iyi performans gösterir. Yapılmış olan çalışmada Adhikary vd. (2020) tek bir kuantum sistemi ile yeni bir varyasyonlu kuantum sınıflandırıcısı sunmak ve tek-atış eğitimi adı verilen bir eğitim algoritması ile n-boyutlu verileri kodlamak için bir kuantum devresi kullanmıştır. Ayrıca, yazarlar tüm veri kümesini tek bir kuantum durumuna kodladılar. Tek atış eğitim, eğitim için daha az parametre kullanır ve daha yüksek hassasiyet elde eder. Mitarai vd. (2018) sınıflandırma, regresyon ve kümeleme, kuantum devre öğrenimi (QCL) gibi farklı görevleri yerine getirmek için hibrit bir Klasik -Kuantum tekniği sundu. QCL, küçük ölçekli kuantum cihazlarda hareket eder. Çalışmada, QCL'nin yüksek boyutlu sınıflandırma/regresyon görevleri ile performans gösterme ve kuantum çok vücut dinamiklerini de gerçekleştirme yeteneğini bildirmişlerdir.

Başka bir hibrit çalışmada, Henderson vd. (2020) görüntü sınıflandırması için standart evrimsel sinir ağlarına sahip kuantum devreleri kullandılar. Yazarlar, mevcut küçük ölçekli ve NISQ kuantum donanımında uygulamak için küçük

derinlikli bir kuantum devresi kullandılar. Kuantum devresi, bilgilendirici özellikleri çıkarmak için bir evrişim katmanı olarak uygulanır. Kuantum evrişim tabakasında üç aşama vardır: kodlama, kuantum devresi ve ölçüm. Başka bir mimaride Bausch (2020) QRNN adı verilen tekrarlayan sinir ağının (RNN) kuantum bir versiyonunu önerdi. QRNN'nin temel bileşeni kuantum bir nörondur. QRNN, rakam verilerini sınıflandırmak için kullanılır. Ayrıca, QRNN üretken bir model olarak kullanılır.

QML yeni bir araştırma alanı haline geldi ve birçok uygulamada yer aldı. QML'in hem yalnızca kuantumun özelliklerinden yararlanıldığı uygulamalar hem de yapılan hibrit çalışmalarda (QML+ML) elde edilen sonuçlar itibarıyla başarısı yaygınlığı artmaktadır. Bu nedenle QML'nin şuan için mekanik dezavantajlarından kaynaklanan (mutlak sıfır sıcaklığında çalıştırılması zorunlu ve kuantum gürültü (quantum noise) gibi) sorunların gelişen teknoloji ile birlikte çözülmesi ve bunun birlikte geliştirilecek olan yeni algoritmalarla, kuantum bilgisayarın ilerleyen yıllarda daha çok hayatımızda yer alacağı görülmektedir. Burada itici gücün şuan için QML'nin avantajlarının ML'ye uygulanması şeklinde olduğu görülmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalara baktığımızda, Chrisley (1995) bu konuda geliştirilen uygulamalarda ilk QML kavramını ortaya atmıştır. Sonraki çalışmalardan olan Aimeur vd. (2006) ve Lloyd vd. (2013) denetimli ve denetimsiz öğrenme ile QC'de birlikte kullanılmıştır. Yakın zamanda yaptıkları çalışmada Aimeur vd. (2006), Dunjko vd. (2016) ve Schuld (2018) QML algoritmalarını kuantum veya klasik algoritmanın entegrasyonuna bağlı olarak Çizelge 1'de olduğu gibi dört kategoriye ayırmıştır.

- ✓ Kuantum-Quantum (QQ) kategorisi, bu kategori tamamen QML olarak da bilinir. QQ kategorisi kuantum algoritmaları ve verileri kullanır.
- ✓ Kuantum -Klasik (QC) kategorisi olan bu kategori, klasik ajanlardan öğrenmek için bir kuantum algoritması kullanır (Kuo vd. 2021).
- ✓ Klasik-Quantum (CQ) kategorisi, CQ algoritmaları standart ML'nin kuantum sürümleridir ve bu algoritmalar gerçek bir kuantum cihazda yürütülebilir.
- ✓ Kuantumdan ilham alan ML kategorisi tarafından yaygın olarak kullanılan klasik-klasik (CC) kategorisi. İlham ile CC kategorisinde kuantum bilgi işlem özellikleri (yani kuantum bitleri, süperpozisyon ve dolaşma) kullanılır.

Çizelge 1. Kuantum/klasik verilere ve kuantum/klasik algoritmaya dayalı kuantum makinesi öğrenme algoritmaları.

		Algoritma Tipi	
		Klasik	Kuantum
Veri Tipi	Klasik	CC	CQ
	Quantum	QC	QQ

Literatürde yapılmış olan çalışmaların kısa özeti Çizelge 2'de verilmiştir.

3. Metodoloji

Bu çalışma Kuantumsal Sinir Ağı kullanılarak Covid'19 veri setlerinin analizi, tahmini ve değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışmanın uygulama kısmı ilerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak verilmiştir.

3.1. Veri seti ve Ön İşleme

Uygulamada kullanılan veri seti <https://www.kaggle.com/datasets/pranavraikokte/covid19-image-dataset> adresinden elde edilmiştir. Veri seti Covid-19, Viral Pnömoni ve Normal göğüs röntgenlerini içermektedir. Veri dağılımı; test verisi için 26 adet Covid-19, 20 adet Normal ve 20 adet Viral Pnömoni görüntüsü olmak üzere toplama 66 adet görüntüden oluşmaktadır. Eğitim veri setinin dağılımı ise, 111 adet Covid-19, 70 adet Normal ve 70 adet de Viral Pnömani olmak üzere toplamda 251 görüntüden oluşmaktadır. Veri kümesi, her biri 3 sınıfın görüntülerinden oluşan 3 klasör içeren eğitim ve test dizinlerine bölünmüştür.

Çalışma kapsamında, giriş verileri olarak akciğer röntgen görüntülerinin kuantum evrişimli sinir ağları (QCNN) ile işlenmesi ve sınıflandırılması sürecinde özellik seçme yöntemleri önemli bir rol oynamıştır. İşlenen görüntülerden elde edilen yüksek boyutlu özellikler, hesaplama kaynaklarının sınırlılığı göz önüne alınarak ve kuantum bit (kübit) sayısının kısıtları nedeniyle azaltılmak zorunda kalmıştır. Bu süreçte özellik seçme ve boyut indirgeme teknikleri kullanılmıştır.

Özellikle, her bir görüntü için elde edilen 256 özelliği, daha yönetilebilir ve kuantum hesaplama için uygun hale getirebilmek adına özellik seçme yöntemleriyle sırasıyla 11, 4 ve 2 özelliğe indirgenmiştir. Bu indirgeme işlemi, kuantum sınıflandırıcı modellerin performansını doğrudan etkileyen bir faktördür. Bu indirgeme işlemlerinde kullanılan özellik seçme yöntemlerinin başında, basitçe kübit sayısına göre manuel seçim veya matematiksel bir indirgeme tekniği olan

Çizelge 2. Literatür çalışması özeti.

Çalışma	Yöntem	Görev	Sonuçlar
Khoshaman vd.2018	Kuantum varyasyonel kendi kendini kodlama	Veri sıkıştırma	Kuantum kendi kendini kodlama algoritması deneysel olarak gerçekleştirildi.
Pepper vd. 2019	Kuantum kendi kendini kodlama	Veri sıkıştırma	Kuantum kendi kendini kodlama algoritması deneysel olarak gerçekleştirildi.
Alvarez vd. 2018	Kuantum yapay yaşam	Yapay yaşam simülasyonu	Kuantum yapay yaşam IBM kuantum bilgisayarında araştırıldı.
Nawaz vd. 2019	Kuantum makine öğrenmesi	6G iletişim ağları	6G iletişim ağları için kuantum makine öğrenmesi incelendi.
Wallnöfer vd. 2020	Makine öğrenimi	Uzak mesafe kuantum iletişimi	Uzak mesafe kuantum iletişimi için makine öğrenimi araştırıldı.
Von Lilienfeld 2018	Kuantum makine öğrenimi	Kimyasal bileşik uzayı	Kuantum makine öğrenimi kimyasal bileşik uzayında uygulandı.
Rieffel vd. 2015	Kuantum tavlama	Operasyonel planlama problemleri	Kuantum tavlama algoritması zorlu operasyonel planlama problemleri için programlandı.
Amin vd. 2018	Kuantum Boltzmann makinesi	Makine öğrenmesi	Kuantum Boltzmann makinesi önerildi.
McArdle vd. 2020	Kuantum hesaplamalı kimya	Kimyasal hesaplamalar	Kuantum hesaplamalı kimya incelendi.
Beer vd. 2020	Derin kuantum sinir ağları	Makine öğrenmesi	Derin kuantum sinir ağları eğitimi araştırıldı.
Dunjko ve Briegel 2018	Kuantum makine öğrenimi ve yapay zeka	Makine öğrenmesi ve yapay zeka	Kuantum alanındaki makine öğrenimi ve yapay zeka üzerine bir inceleme yapıldı.
Levine vd . 2019	Kuantum dolaşıklık	Derin öğrenme mimarileri	Derin öğrenme mimarilerinde kuantum dolaşıklık araştırıldı.
Mari vd. 2020	Transfer öğrenimi	Hibrit klasik-kuantum sinir ağları	Hibrit klasik-kuantum sinir ağlarında transfer öğrenimi araştırıldı.
Gao vd. 2017	Kuantumdan esinlenen derin sinir ağı	Uçak yakıt sistemi arıza teşhisi	Uçak yakıt sistemi arıza teşhisi için kuantumdan esinlenen derin sinir ağı önerildi.
Pomarico vd. 2021	Kuantumdan esinlenmiş makine öğrenimi	Tıbbi teşhis	Tıp amaçlı kuantumdan esinlenmiş makine öğrenimi önerildi.
Huang vd.2021	Kuantum makine öğrenmesi	Makine öğrenmesi	Kuantum makine öğrenmesinde verilerin gücü araştırıldı.
Schuld vd. 2016	Kuantum doğrusal regresyon	Örüntü tanıma	Denetimli öğrenmeye dayanan örüntü tanıma için kuantum doğrusal regresyon algoritması önerildi.
Ezhov ve Ventura 2000	Kuantum sinir ağları	Makine öğrenmesi	Kuantum sinir ağlarının klasik sinir ağlarına göre avantajları tartışıldı.

Çizelge 2. Devamı

Çalışma	Yöntem	Görev	Sonuçlar
da Silva vd.2016	Kuantum algılama	Makine öğrenmesi	Bir alan üzerinde kuantum algılama ve süperpozisyon tabanlı mimari öğrenme algoritması önerildi.
Schuld vd. (2015)	Kuantum algılama	Makine öğrenmesi	Kuantum donanımı üzerinde kuantum faz tahmini kullanarak klasik algılama kuantum bir versiyonu tanıtıldı.
Zhou 2010	Kuantum rekabetçi sinir ağı	Makine öğrenmesi	Rekabetçi öğrenme sinir ağlarına dayanan kuantum bir model önerildi.
Zhong ve Yuan 2012	Kuantum rekabetçi sinir ağı	Makine öğrenmesi	Kuantum dolaşıklık ve Grover'ın algoritmasını kullanan bir kuantum rekabetçi sinir ağı modeli önerildi.
Zidan vd 2019	Kuantum rekabetçi sinir ağı	İkili sınıflandırma	Dolaşma önlemine dayanan ikili sınıflandırma için kuantum rekabetçi sinir ağı önerildi.
Abbas vd. 2021	Kuantum sinir ağları	Makine öğrenmesi	Kuantum sinir ağlarının gücü ve klasik sinir ağlarına göre avantajları tartışıldı.
Chen ve Yoo 2021	Birleşik kuantum-klasik makine öğrenmesi	Makine öğrenmesi	Hibrit kuantum-klasik makine öğrenmesi modeli önerildi.
Dang vd. 2018	Kuantum KNN algoritması	Görüntü sınıflandırması	Görüntü sınıflandırması için kuantum KNN algoritması önerildi.
Adhikary vd 2020	Varyasyonlu kuantum sınıflandırıcısı	Veri sınıflandırması	Tek bir kuantum sistemi ile varyasyonlu kuantum sınıflandırıcısı ve tek-atış eğitim algoritması sunuldu.
Mitarai vd. 2018	Kuantum devre öğrenimi	Sınıflandırma, regresyon, kümeleme	Sınıflandırma, regresyon ve kümeleme gibi farklı görevleri yerine getirmek için hibrit bir klasik-kuantum tekniği sunuldu.
Henderson vd. 2020	Kuantum evrişimli sinir ağları	Görüntü sınıflandırması	Görüntü sınıflandırması için standart evrişimsel sinir ağlarına sahip kuantum devreleri kullanıldı.
Bausch 2020	Tekrarlayan kuantum sinir ağları	Makine öğrenmesi	Tekrarlayan sinir ağının kuantum bir versiyonu önerildi.

Truncated Singular Value Decomposition (TruncatedSVD) yöntemi gelmektedir. Bu yöntemler, yüksek boyutlu verileri daha az sayıda özelliğe indirirken bilgi kaybını minimize etmeye çalışır. Geliştirilen sınıflandırıcı modellerin başarısını değerlendirmek için kullanılan bu özellik seçme yöntemleri, QCNN'nin giriş veri alanını, işlem için gereken kübit sayısını karşılayacak şekilde uygun boyuta getirmekte önemli bir işleve sahiptir. Bu süreç, hesaplama kaynaklarının kısıtlı olduğu durumlarda dahi, kuantum makine öğrenmesi alanında etkili modellerin geliştirilmesine olanak tanımıştır.

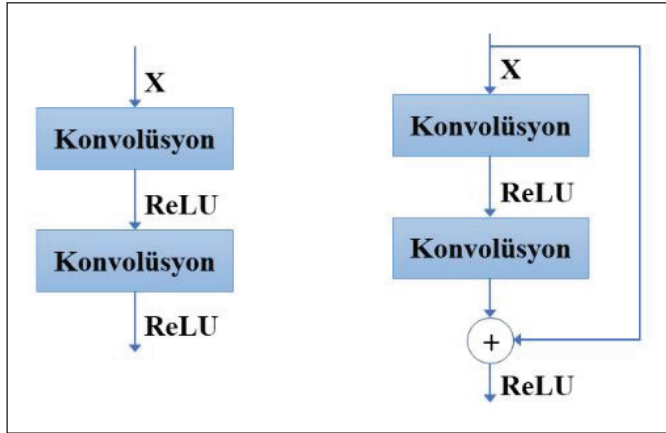
Kullanılan veri seti modeli için 251 eğitim ve 66 test görüntüsü içermektedir. Veri setine ait görüntüler gerçek hayattaki göğüs röntgenidir ve önceden değiştirilmemiştir. Yani hepsinin farklı boyutları vardır. Bundan dolayı görsellerin ölçüsü belirli bir boyuta indirilmiştir. Bir görüntüyü yeniden boyutlandırmak, yalnızca genişlik, yalnızca yükseklik veya her ikisini birden değiştirmek olsun, boyutlarının değiştirilmesi anlamına gelir. Başlangıçta veri seti, her sınıfın tüm görüntülerinin farklı klasörlere yerleştirildiği bir klasör formatında kullanılmaktadır. Bu görselleri openCV kütüphanesini

kullanarak 28x28'e dönüştürmek için bir Python betiği kullanılmıştır. Son olarak csv formatında kaydedilmiştir.

3.2. Resnet-50 Modeli

ResNet-50, "Residual Network" (ResNet) adı verilen bir derin öğrenme modeli ailesinin bir üyesidir ve 2015 yılında Kaiming He ve arkadaşları tarafından Microsoft Research'te geliştirilmiştir. ResNet, bilgisayar görüşü (computer vision) görevlerinde büyük başarı elde etmiş ve ImageNet gibi büyük veri setlerindeki görüntü sınıflandırma görevlerinde özellikle etkili olmuştur. ResNet, diğer derin sinir ağlarına kıyasla daha derin ağların eğitilmesini kolaylaştırmak için geliştirilmiş bir mimariye sahiptir. Ana yenilik, "residual bloklar" olarak adlandırılan özel bir yapıdır. Bu bloklar, daha önceki katmanların çıktılarını (giriş) son katmana ekler. Bu, ağın daha derin hale getirilmesine olanak tanırken, aynı zamanda aşırı uçlarını (vanishing gradients) çözer ve eğitimi daha verimli hale getirir.

ResNet-50 modeli özellikle 50 katmanlı bir derin ağıdır ve ortalama olarak 3.9×10^9 parametreye sahiptir. Model aşağıdaki ana bileşenleri içerir:



Şekil 1. Standart ESA (sol); ResNet mimarilerinde kullanılan kısayol bağlantıları (sağ).

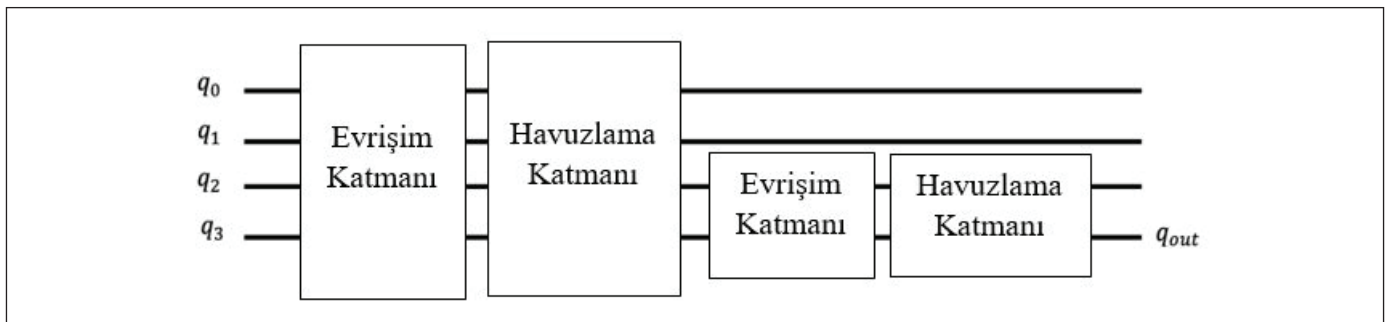
- **Giriş Katmanı:** Resimlerin RGB renk kanallarını (genellikle 224x224 piksel) kabul eder.
- **Beş İçerikli (Convolutional) Grup:** Bu gruplar, birbirini takip eden beş residual blok içerir. Her biri farklı filtre sayılarına ve evrişim çekirdek boyutlarına sahip olabilir.
- **Global Ortalama Havuzlama (Global Average Pooling):** Son residual blok çıktılarını alır ve bunları global ortalama havuzlama katmanına ileterek her bir özellik haritasını tek bir değere dönüştürür.
- **Tam Bağlantı Katmanı (Fully Connected Layer):** Global ortalama havuzlama sonucunu, sınıflandırma yapmak için kullanılır. Genellikle 1000 farklı sınıfı tanıyabilen bir sınıflandırma katmanına sahiptir.
- **Softmax Katmanı:** Sınıflandırma sonuçlarını olasılık dağılımlarına dönüştürür.

ResNet-50 modeli, çeşitli görsel görevlerde önceden eğitilmiş bir ağırlık modeli olarak kullanılabilir veya özelleştirilerek belirli görevler için eğitilebilir. Bu model, özellikle nesne tespiti, görüntü sınıflandırma ve transfer öğrenme görevlerinde popüler bir seçenektir. Şekil 1'de standart bir Evrişimli Sinir Ağı(ESA) ile ResNet mimarilerinde kullanılan kısayol bağlantıları görülmektedir.

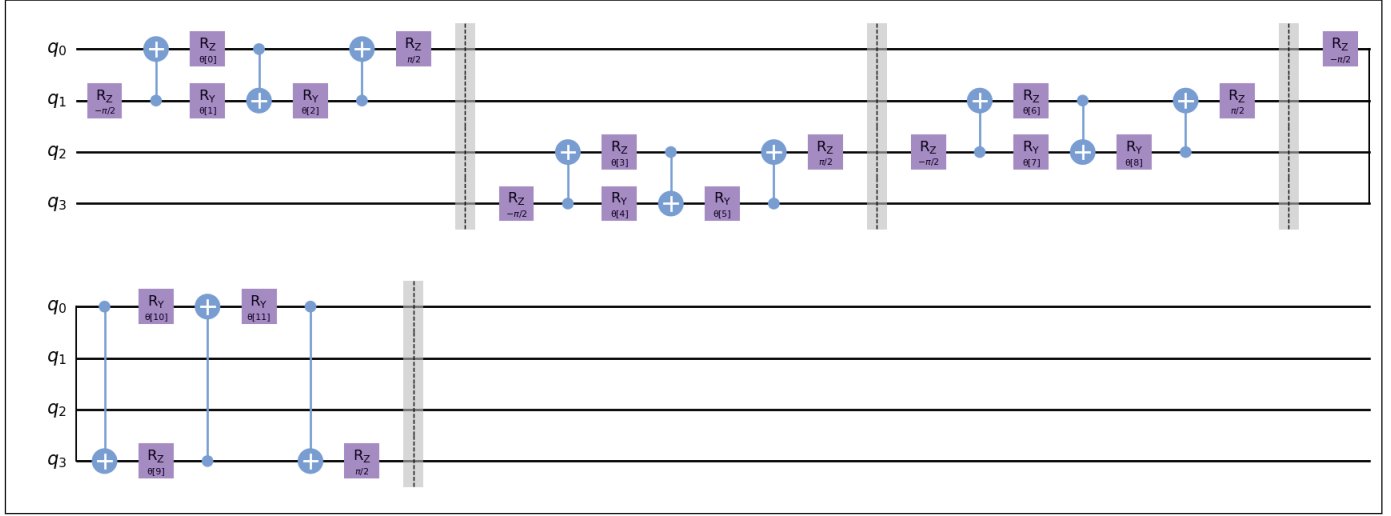
3.3. Kuantum Devresi ve Modeli

QCNN'de her katman parametrelendirilmiş devreler içerir; bu, her katmanın parametrelerini ayarlayarak çıktı sonucumuzu değiştirdiğimiz anlamına gelir. QCNN'yi eğitirken, kayıp fonksiyonunu azaltmak için ayarlananlar bu parametrelerdir. Dört kübitlik QCNN örneği aşağıda Şekil 2'de gösterilmiştir.

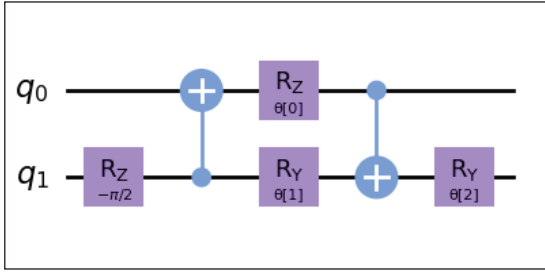
Yapılmış olan bu çalışma kapsamında kullanılan kuantum devresinin evrişim katmanı Şekil 3 ve havuzlama katmanı Şekil 4'te verilmiştir.



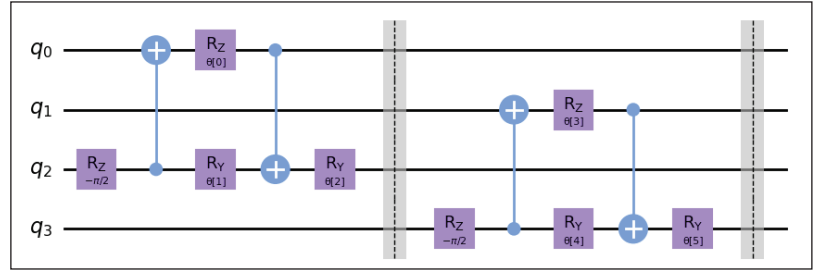
Şekil 2. Dört kübitlik QCNN örneği.



Şekil 3. Kuantum devresi evrişim katmanı.



Şekil 4. Kuantum devresi havuzlama katmanı..



Şekil 5. Kuantum devresi.

Bu yaklaşımda, her havuzlama katmanındaki kubitleri göz ardı edilmiştir. N kubit Kuantum Devre boyutlarını $N/2$ 'ye dönüştüren bir QCNN Havuzlama Katmanı oluşturulmuştur. Dört kubit devrenin boyutsallığı son iki kubitte, yani bu özel örnekteki son iki kubitte indirgenmiştir. Bu kubitler daha sonra bir sonraki katmanda kullanılırken, ilk ikisi QCNN'nin geri kalanında ihmal edilir. Bu iki kubitlik üniter devreyi uyguladıktan sonra sonraki katmanlarda ilk kubit (q_0) ihmal edilmiş ve sadece ikinci kubit (q_1) kullanılmıştır. N kubit için havuzlama katmanımızı oluşturmak amacıyla bu iki kubit havuzlama katmanı farklı kubit çiftlerine uygulanmıştır. Bu çalışmada kuantum sınıflandırmada kullanılan devre Şekil 5'te gösterilmiştir.

Kuantum evrişimli sinir ağları (QCNN), klasik sinir ağlarının yeteneklerini kuantum hesaplamaların benzersiz avantajlarıyla genişleten gelişmiş bir modeldir. Her katmanı, belirli parametrelerle donatılmış kuantum devrelerinden oluşur, böylece bu parametrelerin ayarlanmasıyla modelin çıktısını doğrudan etkileyebiliriz. Öğrenme süreci, kayıp fonksiyonunu en aza indirecek şekilde bu parametrelerin ayarlanması üzerine kuruludur.

Bir QCNN örneği olarak, dört kubitlik bir yapı göz önüne alınabilir. Bu yapı, kuantum evrişim ve havuzlama katmanlarını içerir. Örneğin, bir dört kubit devresinde, devrenin boyutsallığı son iki kubitte indirgenebilir. Bu süreçte, ilk iki kubit ihmal edilirken, son iki kubit sonraki işlemler için kullanılır. Bu yaklaşım, kuantum devresinin boyutunu yarıya indirgeyerek verimliliği artırır.

Kuantum devresindeki evrişim katmanı, verilerin kuantum mekanik özelliklerini kullanarak işlenmesini sağlar. Benzer şekilde, havuzlama katmanı, veri boyutunun azaltılmasını ve önemli özelliklerin korunmasını hedefler. Bu katmanlar, kuantum bilgisayarlarının paralel işleme kabiliyetlerinden faydalanarak veri setlerindeki karmaşık örüntüleri etkili bir şekilde tespit edebilir.

Bu çerçevede, QCNN'ler, kuantum mekaniğinin temel prensiplerini kullanarak, klasik evrişimli sinir ağlarının ulaşamayacağı bir veri işleme ve öğrenme kapasitesine ulaşır. Bu özellikleriyle QCNN'ler, özellikle büyük ve karmaşık veri setlerinde, yeni ve daha güçlü makine öğrenme modellerinin geliştirilmesine olanak tanır.

3.4. Evrişim Katmanının Uygulanması

Tek bir evrişim filtresinin, veri kümesindeki görüntülerin uzamsal olarak yerel alt bölümlerini girdi olarak alan rastgele bir kuantum devresi q kullandığı düşünülmüştür. Her giriş (u_i), $n \times n$ boyutunda 2 boyutlu bir matristir; burada $n > 1$ 'dir. 4 kübitlik bir sistemi simüle eden bir PennyLane default.qubit cihazı başlatılmıştır. Kuantum devresi aşağıdaki-lerden oluşmaktadır:

- Yerel Ry rotasyonlarının gömülü katmanı;
- n katmanlı, rastgele parametrelendirilmiş bir kuantum devresi;
- Hesaplamalı temelde 4 beklenti değerini tahmin eden son bir ölçüm.

Görüntü 2×2 piksellik karelere bölünür ve her kare kuantum devresi tarafından işlenir ve son olarak 4 beklenti değeri, tek bir çıkış pikselinin 4 farklı kanalına eşlenir.

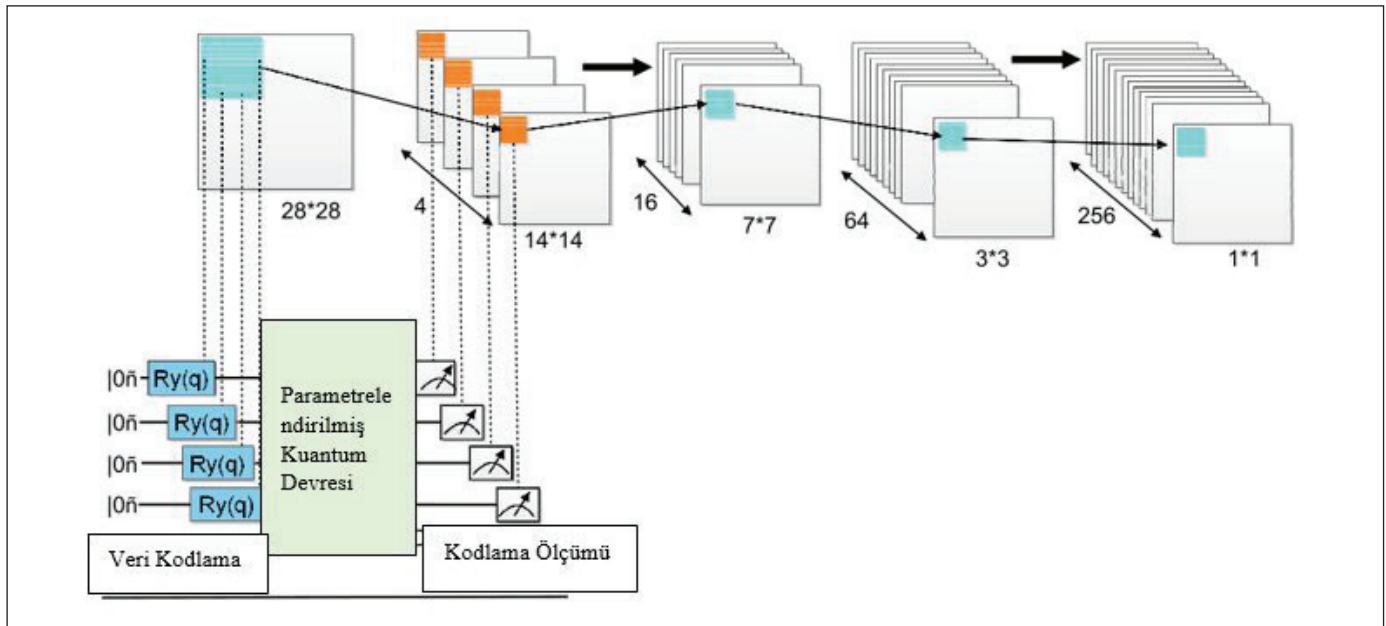
Evrişimli Sinir Ağının tek katmanlı yaklaşımı bu modelde tam 4 katman olacak şekilde çoklu katmanlara Şekil 6'da gösterildiği gibi genişletilmiştir. Başlangıçta her görüntü ($28 \times 28 \times 1$) boyutuna sahiptir ve bu boyut ilk Evrişim katmanıyla beslenerek ($14 \times 14 \times 4$) biçimine dönüştürülür. 2. Katman ($7 \times 7 \times 16$), 3. Katman ($3 \times 3 \times 64$) ve son olarak 4. ve son katman her birini ($1 \times 1 \times 256$) boyutlu bir veri matrisine dönüştürür. Kuantumsal Katman kapılarının parametreleri eşit şekilde rastgele olmasına rağmen, bu parametreleri eğitime yaklaşımı da göz önünde bulundurulmuştur ve bu uygulama

çalışmasının genişletilmiş versiyonunda daha sonra sonuçta herhangi bir gelişme olup olmadığı değerlendirilmiştir.

4. Sınıflandırma Modeli ve Bulgular

Yapmış olduğumuz çalışmada kullanılan kuantum sınıflandırıcı model parametrelerinin, model başarımı üzerinde önemli bir etkisi vardır. Kuantum Sınıflandırıcı-1, -2 ve -3'te kullanılan öznelik sayılarının optimizasyonu, doğruluk oranlarının artırılmasına yardımcı olabilir. Örneğin, Kuantum Sınıflandırıcı-2'de görüldüğü gibi, 256 öznelikten 4 özneliğe indirgeme, %72'lik bir doğruluk sağlamıştır. Bu, daha fazla öznelikle denemeler yaparak, ideal öznelik sayısını belirlemek için bir fırsat sunar. Ek olarak Araştırmamızda, "Kuantum Sınıflandırıcı-1" modelinde temel veri analizi ile elde edilen 256 özellikli giriş verisinden 11 öznelik kullanılmıştır ve bu model yaklaşık %70 doğruluk elde etmiştir. "Kuantum Sınıflandırıcı-2" modelinde, TruncatedSVD yöntemi ile 256 öznelik 4'e indirgenmiş ve model yaklaşık %72 doğruluk sağlamıştır. "Kuantum Sınıflandırıcı-3" modelinde ise, veri seti yalnızca 2 özneliğe indirgenmiş ve bu modelle %76 doğruluk elde edilmiştir.

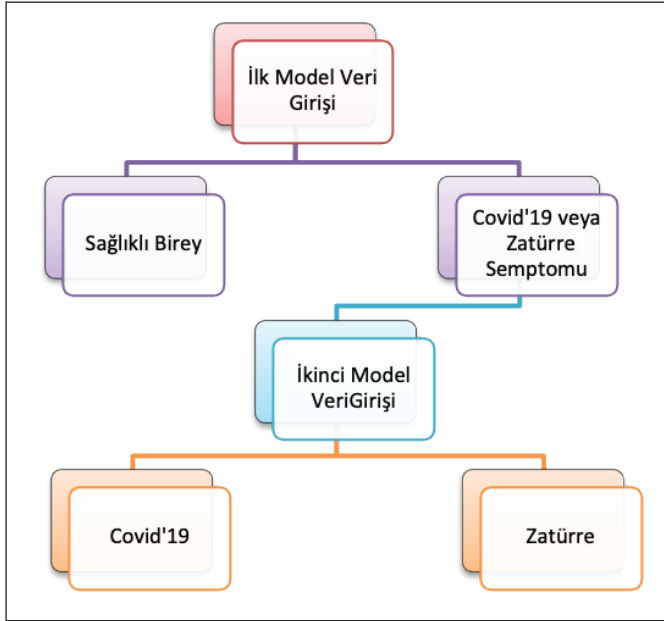
Bu çalışmada, PennyLane'in "varsayılan qubit" cihazında kullanılan farklı parametrelerin model performansına etkileri incelenmiştir. Bu parametreler arasında yerel Ry rotasyonlarının gömülü katmanı, rastgele parametrelendirilmiş bir kuantum devresinin katmanları ve hesaplamalı temelde beklenti değerlerini tahmin eden son ölçümler bulunmaktadır. Kullanılan parametreler, bir kuantum devresindeki veri-



Şekil 6. Evrişimli sinir ağının uygulanması.

lerin işleniş şeklini etkileyerek modelin sonuçlarını doğrudan etkiler. Örneğin, yerel Ry rotasyonlarının gömülü katmanı, verilerin kuantum devresine nasıl gömüldüğünü belirlerken, kuantum devresinin katman sayısı ve türü, devrenin verileri nasıl işleyeceğini ve hangi özellikleri çıkaracağını belirler.

Evrişim katmanlardan sonra sırada sınıflandırıcı modeli vardır. Sınıflandırıcı modeli, her biri ikili sınıflandırıcı olan iki alt sınıflandırıcıdan oluşmaktadır. Bu ikisi 'Model-1' ve 'Model-2' olarak adlandırılmıştır. Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7. Sınıflandırıcı model.

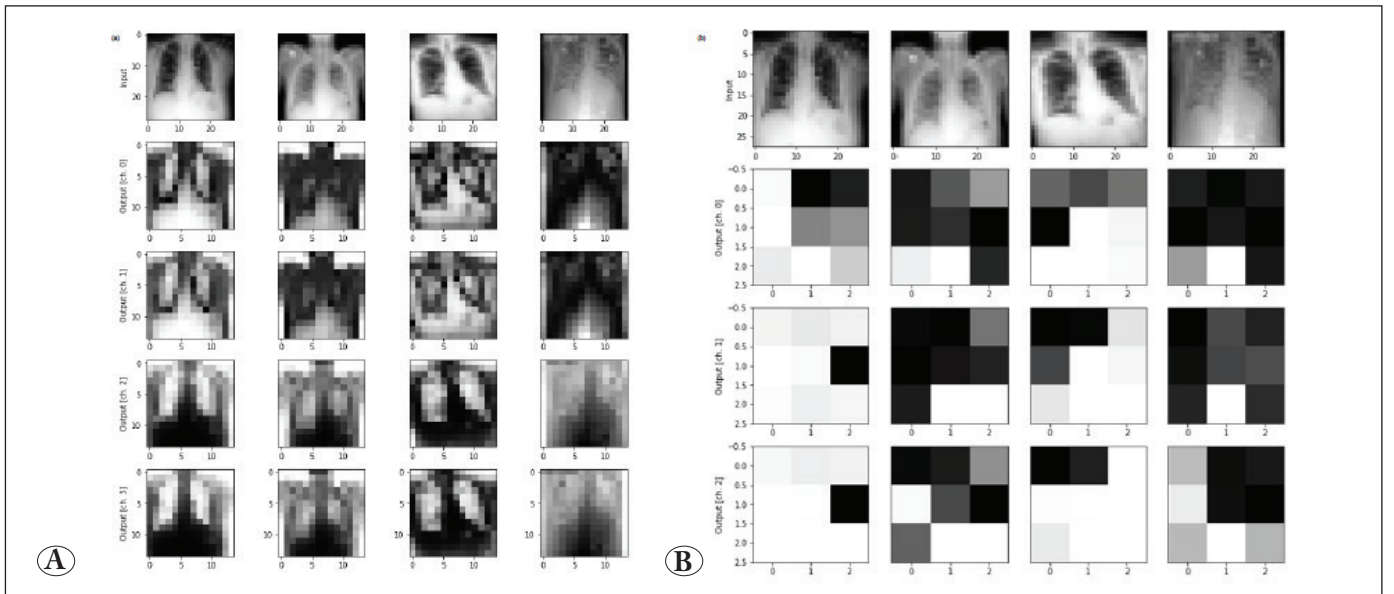
Model-1, 'Normal Kişi' ve 'Covid19/Viral Pnömoni' olmak üzere iki sınıf arasında sınıflandırma yapar. Model-2, 'Covid-19' ve 'Viral Pnömoni' olmak üzere iki sınıf arasında sınıflandırma yapar.

Tahmin yaparken öncelikle Model-1'e girdi verilmiştir. Normal kişi olarak tahmin yapıyorsa bu, girişe atanan son tahmindir. Değilse, aynı girdi Model-2'ye verilir ve sonunda göğüs röntgeninin hastalarda Covid'19 veya Viral Pnömoni olup olmadığını ortaya çıkaracağını tahmin edilir.

Her giriş görüntüsünün altında kuantum evrişimi tarafından oluşturulan 4 çıkış kanalı gri tonlamayla görselleştirilir. Kuantum çekirdeği ve çözünürlüğün aşağı örnekleme (down sampling) tarafından bazı yerel bozulmaların ortaya çıktığı açıkça gözlemlenebilir. Bununla birlikte, bir evrişim katmanından beklendiği gibi görüntünün global şekli korunur. Bu durum Şekil 8'de gösterilmiştir.

Performans metriklerinin gösterildiği Çizelge 3'te en sol sütunda yer alan 0,1 ve 2 değerleri sınıflandırmada kullanılan sınıfları ifade etmektedir. Bunlar sırasıyla Covid'19, Normal, Viral Pnömonidir. Doğrulama setinde elde edilen accuracy puanı %96,97'dir. Ayrıca karmaşıklık matrisine baktığımızda temel tanı unsurlarının çok yüksek, diğerlerinin ise sıfır olduğunu görüyoruz. Anlaşılacağı üzere test setindeki tüm veri noktaları doğru şekilde sınıflandırılmaktadır.

Sonuç olarak; Transfer öğrenimi yoluyla Imagenet üzerinde ResNet-50 ağırlıklarıyla evrişimli bir sinir ağı eğitildi. Ayrıca karmaşıklık matrisine baktığımızda temel tanı unsurlarının çok yüksek, diğerlerinin ise sıfır olduğunu görüyoruz.



Şekil 8. A) Sıkıştırılmış görüntüler 14*14, B) Covid'19 veri kümesindeki kuantumsal sinir ağı.

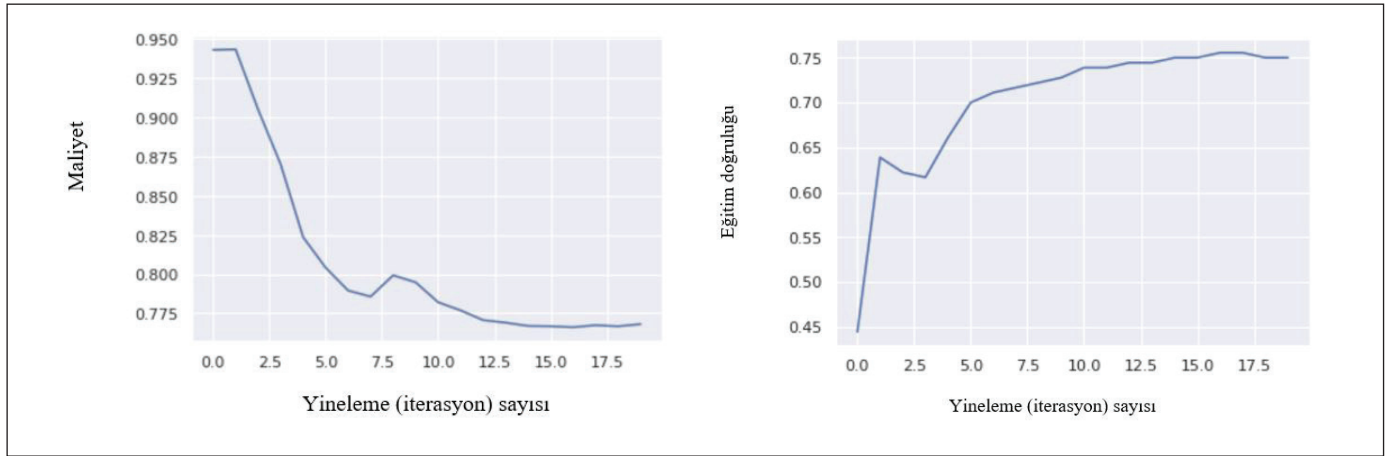
Çizelge 3. Performans metrikleri.

	Kesinlik	Duyarlılık	f1-skoru	Destek*
0	1	1	1	94
1	1	0.90	0.95	71
2	0.91	1.00	0.95	73
Doğruluk	0.97	0.97	0.97	238

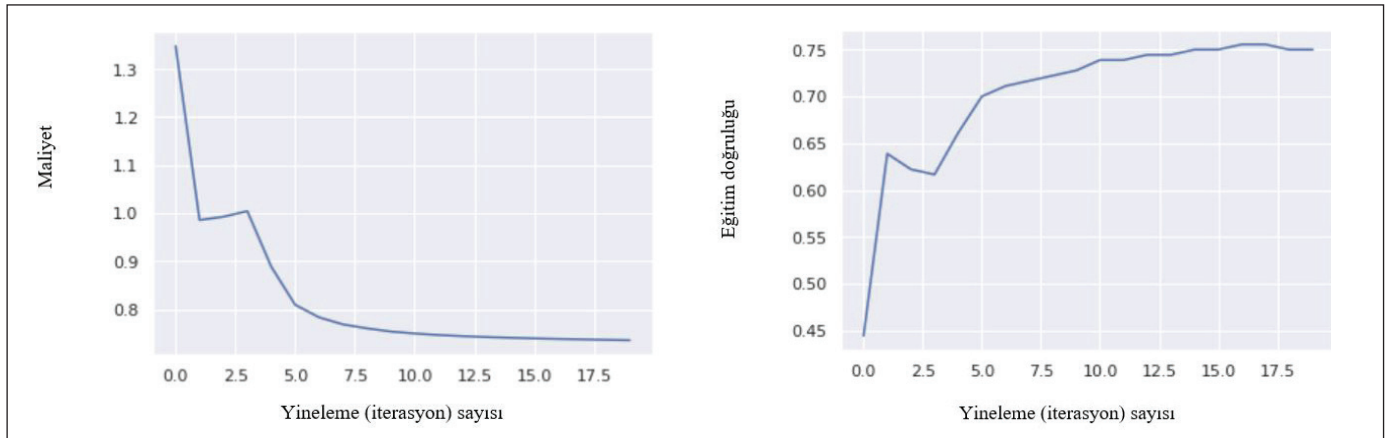
*: Destek, o sınıfta yer alan gerçek yanıtın örneklerinin sayısıdır.

Çizelge 4. Kuantum sınıflandırıcı model parametreleri.

Kuantum Sınıflandırıcı	Kubit Sayısı	Öğrenme Oranı	İterasyon Başına İşlenen Örnek Sayısı	Eğitim Döner Sayısı	Kuantum Devre Derinliği	Maksimum Katman Sayısı
Sınıflandırıcı-1	11	1e-3	4	20	4	15
Sınıflandırıcı-2	4	1e-3	4	20	4	15
Sınıflandırıcı-3	2	1e-3	4	20	4	15



Şekil 9. Kuantum Sınıflandırıcı-1 model 1 için maliyet ve eğitim doğruluk grafiği.

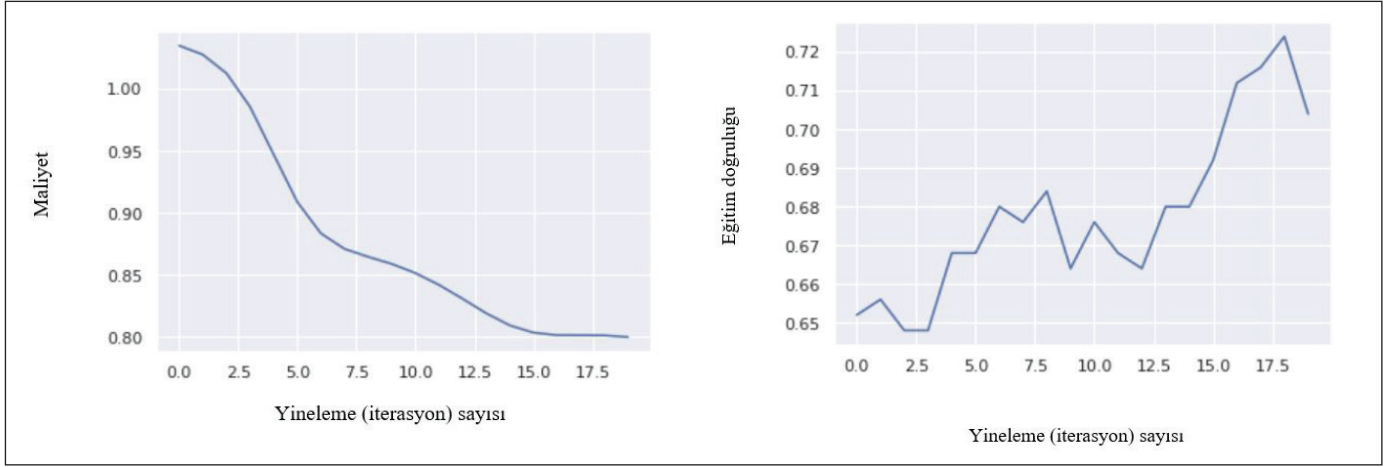


Şekil 10. Kuantum Sınıflandırıcı-1 model 2 için maliyet ve eğitim doğruluk grafiği.

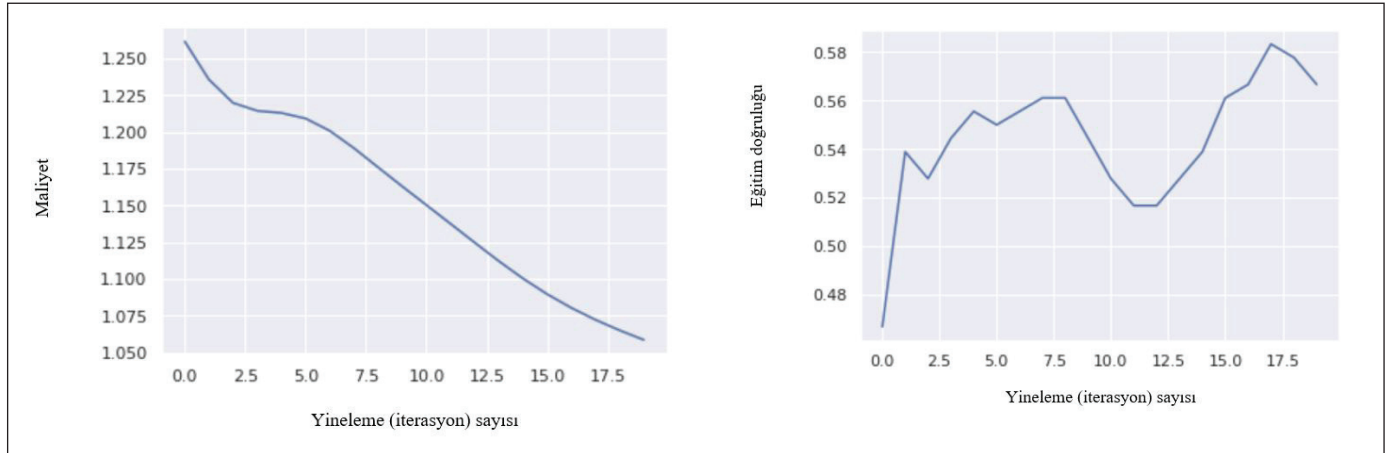
Bu nedenle test setindeki tüm veri noktaları doğru şekilde sınıflandırılmaktadır

Çalışma kapsamında kullanılan kuantum sınıflandırıcı model parametreleri Çizelge 4'te verilmiştir.

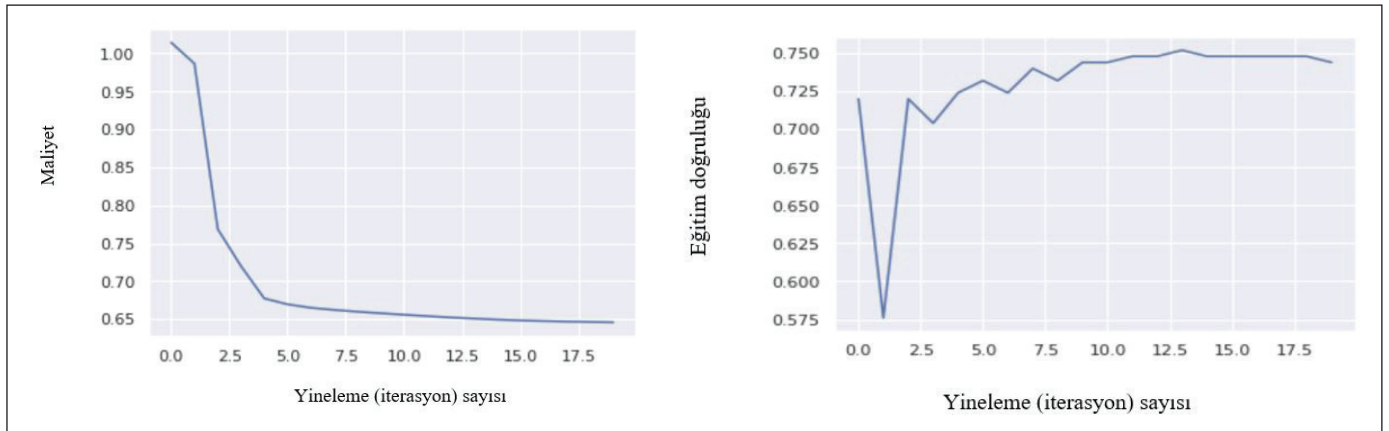
Oluşturulan modelin performansını ölçmek (maliyet fonksiyonu) ve oluşturulan modelin eğitim sırasında ne kadar iyi performans gösterdiğinin ölçüsü olan (eğitim doğruluğu) analizler kullanılarak farklı kuantum sınıflandırıcının ve modellerin sonuçları Şekil 9-14'te verilmiştir.



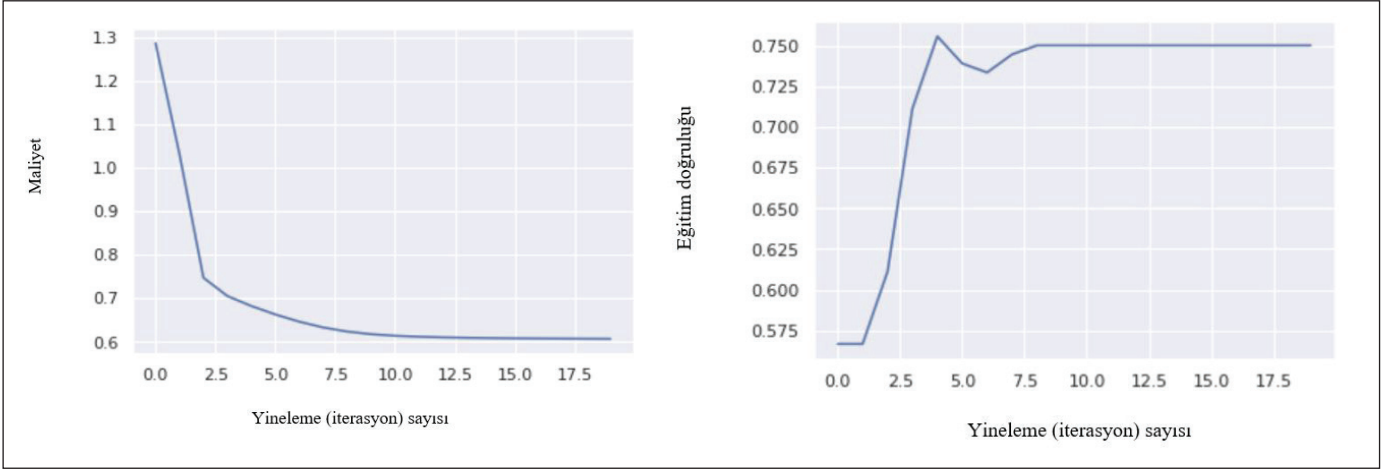
Şekil 11. Kuantum Sınıflandırıcı-2 model 1 için maliyet ve eğitim doğruluk grafiği.



Şekil 12. Kuantum Sınıflandırıcı-2 model 2 için maliyet ve eğitim doğruluk grafiği.



Şekil 13. Kuantum Sınıflandırıcı-3 model 1 için maliyet ve eğitim doğruluk grafiği.



Şekil 14. Kuantum Sınıflandırıcı-3 model 2 için maliyet ve eğitim doğruluk grafiği.

- Kuantum Sınıflandırıcısı 1'de, Temel Veri Analizi ile çıkarılan 256 öznitelik boyutlu girdi verisinden 11 öznitelik kullanılmıştır. Burada yaklaşık %70 doğruluk elde edilmiştir.
- Kuantum Sınıflandırıcısı 2'de TruncatedSVD yöntemini kullanarak her görüntünün 256 özniteliği 4'e indirilmiştir. Yaklaşık %72 doğruluk (accuracy) elde edilmiştir.
- Kuantum Sınıflandırıcısı 3'de verileri yalnızca 2 öznitelige indirgenmiştir. Beklenmedik bir şekilde bu bize daha önce yaklaşılanların en yükseği olan %76 doğruluğu vermiştir.

5. Sonuç ve Öneriler

Kuantum evrişimli sinir ağları (QCNN'ler), kuantum hesaplamanın potansiyel olarak güçlü bazı yönlerinden yararlanarak CNN'lerin yeteneklerini genişletir. Bir dizi rastgele kuantum devresi kullanarak verileri yerel olarak dönüştürerek giriş verileri üzerinde çalışır. Klasik evrişimli sinir ağlarının verimliliğinden yola çıkarak, Evrişimli sinir ağını (QNN'ler) kullanarak veriler analiz edilmiş, tahminler yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Kuantum halinde kodlanmış covid-19 veri setinin ikili sınıflandırması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Pennylane'in "varsayılan qubit" cihazındaki farklı parametreleri de dikkate alarak performansı araştırılmıştır.

Bu bağlamda, kuantum devrelerinin, polinom boyutlu klasik hesaplama kaynakları kullanılarak gerçekleştirilmesi mümkün olmayan karmaşık fonksiyonel ilişkileri modelleyebildiği gösterilmiştir. Kuantum devresinin sağlamış olduğu fayda klasik olarak anlaşılması zor olan oldukça karmaşık çekirdekler üretebilmesidir.

Veri kümesindeki gerçek röntgen görüntüleri birçok bilgiyi barındıracak kadar büyüktür. Ancak hesaplama kaynaklarının eksikliği nedeniyle, openCV kütüphanesi kullanılarak boyut 28x28'e düşürülmüştür, bu da birçok önemli bilgiyi bastırılmış olabilir. Daha sonra, daha fazla hesaplama kaynağının bulunmasıyla birlikte, modelin doğruluğunu artıracak 256x256 boyutlu görüntüyü kullanmak mümkün olabilir.

Evrişim uygulanıp veriler düzleştirildikten sonra her görüntünün 256 özelliği elde edildi ve 11 özellik, kübit eksikliğinden dolayı özellik seçme yöntemiyle kullanıldı. Bu çalışma, kuantum sistemi hakkında fikir edinmek için daha fazla sayıda mevcut kübit ve kuantum devresinin gerçek zamanlı simülasyonu ile gerçek zamanlı bir kuantum bilgisayarında uygulanabilir. Dahası, daha fazla kübitin varlığıyla rastgele oluşturulmuş görüntü verileri üzerinde dört evrişim katmanının eğitimi test edilebilir. Sonuç olarak, geleceğe dönük çalışmalar ve öneriler aşağıda verilmiştir:

- Veri kümesindeki gerçek röntgen görüntüleri birçok bilgiyi barındıracak kadar büyüktür. Ancak önceden de açıklandığı üzere hesaplama kaynaklarının eksikliği nedeniyle, openCV kütüphanesini kullanarak boyutu 28x28'e düşürülmüştür, bu da birçok önemli bilgiyi bastırılmış olabilir. Daha sonra modelin doğruluğunu artıracak 256x256 boyutlu görüntü ile denemeler yapılabilir.
- Şu anda evrişimi uyguladıktan ve verileri düzleştirdikten sonra her görüntünün 256 özelliğine sahip olmamıza rağmen, çeşitli öznitelik boyutu küçültme yöntemleriyle sırasıyla Kuantum Sınıflandırıcı-1, Kuantum Sınıflandırıcı-2 ve Kuantum Sınıflandırıcı-3'te yalnızca 11 öznitelik, 4 öznitelik ve 2 öznitelik kullanılmıştır. Daha yüksek

boyutlu verilerle doğruluğun artıp artmadığını veya kuantum bilgisayarların yalnızca daha az sayıda özellik ile daha iyi çalışıp çalışmadığını denemek için daha fazla öznitelik denenebilir.

- Görüntü verilerine uygulanan dört evrişim katmanının tümü, daha fazla eğitilmeyen, tek biçimli oluşturulmuş rastgele parametreler kullanmaktadır. Daha sonra, değiştirilmiş veri kümesinin gerçek görüntüler hakkında çok daha fazla veri içerebilmesi için bu evrişim katmanların da eğitilmesi söz konusu olabilir.
- Son olarak, daha doğru simülasyonlar üzerinde eğitilen modellerin eğitim sonucunu ve nihai doğruluğu elde edilmesi ve daha gerçekçi deneysel veriler elde etmek için bunları yavaş yavaş gerçek kuantum bilgisayarlarında çalıştırmayı denemek doğruluk (accuracy) değerlerinin artmasını şüphesiz ki sağlayacaktır.

Yazar katkısı: Güneş Harman: çalışmayı planlamış ve tasarlamıştır, Seçmen Şahin: Çalışma hakkında verileri toplamıştır. Güneş Harman ve Seçmen Şahin: Çalışmanın analizlerini yapmıştır. Güneş Harman ve Seçmen Şahin: makaleyi yazmıştır.

Etik kurul onayı: Etik kurul onayı gerekmemektedir.

6. Kaynaklar

- Abbas, A., Sutter, D., Zoufal, C., Lucchi, A., Figalli, A., Woerner, S. 2021. The power of quantum neural networks. *Nature Computational Science*, 1, 403–409.
- Adhikary, S., Dangwal, S., Bhowmik, D. 2020. Supervised learning with a quantum classifier using multi-level systems. *Quantum Information Processing*, 19, 89.
- Aïmeur, E., Brassard, G., Gambs, S. 2006. Machine learning in a quantum world. In *Conference of the Canadian society for computational studies of intelligence* (pp. 431–442). Springer.
- Alvarez-Rodriguez, U., Sanz, M., Lamata, L., Solano, E. 2018. Quantum artificial life in an ibm quantum computer. *Scientific Reports*, 8, 1–9.
- Amin, MH., Andriyash, E., Rolfe, J., Kulchytskyy, B., Melko, R. 2018. Quantum boltzmann machine. *Physical Review X*, 8, Article 021050.
- Bausch, J. 2020. Recurrent quantum neural networks. In *Advances in neural information processing systems*, 33.
- Beer, K., Bondarenko, D., Farrelly, T., Osborne, T.J., Salzmann, R., Scheiermann, D., et al. 2020. Training deep quantum neural networks. *Nature Communications*, 11, 1–6.
- Chen, SYC., Yoo, S. 2021. Federated quantum machine learning. *Entropy*, 23, 460.
- Dang, Y., Jiang, N., Hu, H., Ji, Z., Zhang, W. 2018. Image classification based on Quantum KNN Algorithm
- Chrisley, R. 1995. Quantum learning. In *New directions in cognitive science: Proceedings of the international symposium*, Vol. 4. Saariseika: Citeseer.
- Dang, Y., Jiang, N., Hu, H., Ji, Z., Zhang, W. (2018). Image classification based on quantum K-Nearest-Neighbor algorithm. *Quantum Information Processing*, 17, 1-18.
- da Silva, AJ., Ludermir, TB., de Oliveira, WR. 2016. Quantum perceptron over a field and neural network architecture selection in a quantum computer. *Neural Networks*, 76, 55–64.
- Dunjko, V., Briegel, HJ. 2018. Machine learning & artificial intelligence in the quantum domain: a review of recent progress. *Reports on Progress in Physics*, 81, Article 074001
- Dunjko, V., Taylor, JM., Briegel, HJ. 2016. Quantum-enhanced machine learning. *Physical Review Letters*, 117, Article 130501.
- Ezhov, AA., Ventura, D. 2000. Quantum neural networks. In *Future directions for intelligent systems and information sciences*, 213–235. Springer
- Gao, Z., Ma, C., Song, D., Liu, Y. 2017. Deep quantum inspired neural network with application to aircraft fuel system fault diagnosis. *Neurocomputing*, 238, 13–23.
- Henderson, M., Shakya, S., Pradhan, S., Cook, T. 2020. Quantum neural networks: powering image recognition with quantum circuits. *Quantum Machine Intelligence*, 2, 1–9.
- Huang, HY., Broughton, M., Mohseni, M., Babbush, R., Boixo, S., Neven, H., et al. 2021. Power of data in quantum machine learning. *Nature Communications*, 12, 1–9.
- Kerenidis, I., Prakash, A. 2017. Quantum gradient descent for linear systems and least squares. arXiv:1704.04992 (quant-ph).
- Khoshaman, A., Vinci, W., Denis, B., Andriyash, E., Amin, MH. 2018. Quantum variational autoencoder. *Quantum Science and Technology*, 4, Article 014001. arXiv:1802.05779v1 (quant-ph).
- Lamata, L. 2020. Quantum machine learning and quantum biomimetics: A perspective. *Machine Learning: Science and Technology*, 1, Article 033002.
- Levine, Y., Sharir, O., Cohen, N., Shashua, A. 2019. Quantum entanglement in deep learning architectures. *Physical Review Letters*, 122, Article 065301.
- Lloyd, S., Mohseni, M., Rebentrost, P. 2013. Quantum algorithms for supervised and unsupervised machine learning. arXiv preprint arXiv:1307.0411.
- Mari, A., Bromley, TR., Izaac, J., Schuld, M., Killoran, N. 2020. Transfer learning in hybrid classical-quantum neural networks. *Quantum*, 4, 340.

- Mitarai, K., Negoro, M., Kitagawa, M., Fujii, K. 2018.** Quantum circuit learning. *Physical Review A*, 98, Article 032309.
- McArdle, S., Endo, S., Aspuru-Guzik, A., Benjamin, S.C., Yuan, X. 2020.** Quantum computational chemistry. *Reviews of Modern Physics*, 92, Article 015003.
- Nawaz, S.J., Sharma, S.K., Wyne, S., Patwary, M.N., Asaduzzaman, M. 2019.** Quantum machine learning for 6 g communication networks: State-of-the-art and vision for the future. *IEEE Access*, 7, 46317–46350.
- Pepper, A., Tischler, N., Pryde, G.J. 2019.** Experimental realization of a quantum autoencoder: The compression of qutrits via machine learning. *Physical Review Letters*, 122, Article 060501.
- Pomarico, D., Fanizzi, A., Amoroso, N., Bellotti, R., Biafora, A., Bove, S., et al. 2021.** A proposal of quantum-inspired machine learning for medical purposes: An application case. *Mathematics*, 9, 410.
- Rahman M., Geiger, D. 2016.** Quantum clustering and gaussian mixtures. arXiv:1612.09199v1 (stat.ML).
- Rebentrost, P., Mohseni, M., Lloyd, S. 2014.** Quantum support vector machine for big data classification. *Physical Review Letters*, 113, Article 130503.
- Rieffel, E.G., Venturelli, D., O’Gorman, B., Do, M.B., Prystay, E.M., Smelyanskiy, V.N. 2015.** A case study in programming a quantum annealer for hard operational planning problems. *Quantum Information Processing*, 14, 1–36.
- Schuld, M., Sinayskiy, I. ve Petruccione, F. 2015.** An introduction to quantum machine learning. *Contemporary Physics*, 56(2), 172-185.
- Schuld, M., Sinayskiy, I., Petruccione, F. 2015.** Simulating a perceptron on a quantum computer. *Physics Letters. A*, 379, 660–663.
- Schuld, M., Sinayskiy, I., Petruccione, F. 2016.** Prediction by linear regression on a quantum computer. *Physical Review A*, 94, Article 022342.
- Schuld, M. 2018.** Supervised learning with quantum computers. Springer.
- Sheng, Y.B., Zhou, L. 2017.** Distributed secure quantum machine learning. *Science Bulletin*, 62, 1025–1029.
- Von Lilienfeld, O.A. 2018.** Quantum machine learning in chemical compound space. *Angewandte Chemie International Edition*, 57, 4164–4169.
- Wallnöfer, J., Melnikov, A.A., Dür, W., Briegel, H.J. 2020.** Machine learning for long-distance quantum communication. *PRX Quantum*, 1, Article 010301.
- Zhou, R. 2010.** Quantum competitive neural network. *International Journal of Theoretical Physics*, 49, 110–119.
- Zhong, Y., Yuan, C. 2012.** Quantum competition network model based on quantum entanglement. *Journal of Computers*, 7, 2312–2317.
- Zidan, M., Abdel-Aty, A.H., El-shafei, M., Feraig, M., Al-Sbou, Y., Eleuch, H., et al. 2019.** Quantum classification algorithm based on competitive learning neural network and entanglement measure. *Applied Sciences*, 9, 1277.



Arap Zamkı Modifiyeli Manyetik Nanopartiküller ile Sulu Çözeltilerden Kromat İyonlarının Uzaklaştırılması

Removal of Chromate Ions from Aqueous Solutions with Gum Arabic Modified Magnetic Nanoparticles

İlker Akın* , Egemen Foto

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Fakültesi, Biyoteknoloji Bölümü, Konya, Türkiye

Öz

Günümüzde metalurji, galvaniz kaplama, deri tabaklama vb. endüstrilerde kromun yaygın kullanımı, sulu kromun çevreye salınmasına neden olmaktadır. Sulu çözeltilerde, krom genellikle Cr(VI) veya Cr(III) olarak bulunmaktadır. Kromun bu iki formu farklı kimyasal, biyolojik ve çevresel etki özelliklerine sahiptir. Cr(VI), toprakta ve su sistemlerinde oldukça hareketli olan HCrO_4^- , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ve CrO_4^{2-} gibi anyonik türler olarak bulunur. Bu çalışmada, arap zamkı ile modifiye edilmiş manyetik nanopartiküller (AZ-MNP) kullanılarak kesikli adsorpsiyon yöntemi ile sulu çözeltiden Cr(VI)'nın uzaklaştırılması incelenmiştir. Arap zamkının karboksilik grupları ile Fe_3O_4 'ün yüzeyindeki hidroksil grupları arasındaki etkileşim yoluyla modifiyesi sağlanarak AZ-MNP elde edilmiştir. Yüzey modifikasyonu, Fe_3O_4 'ün faz değişikliğine neden olmazken, çapı 9-13 nm aralığında olan ikincil partiküllerin oluşumuna yol açmıştır. Adsorpsiyon hızı, iç difüzyon direncinin olmaması nedeniyle 45 dakika içinde dengeye ulaşacak kadar hızlı ve hem MNP hem de AZ-MNP için adsorpsiyon kapasiteleri, çözelti pH'ının düşmesiyle artmıştır. AZ-MNP'de maksimum adsorpsiyon kapasitesi, Langmuir adsorpsiyon sabiti ve entalpi değişimleri sırasıyla 0.194 mg/g, 11.06 mg/L ve 9.4 kJ/mol olarak belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Adsorpsiyon, adsorpsiyon izotermi, kromat iyonu, arap zamkı, manyetik nanopartikül

Abstract

Today, metallurgy, galvanizing, leather tanning, etc. the widespread use of chromium in industries causes the release of aqueous chromium to the environment. In aqueous solutions, chromium is usually present as Cr(VI) or Cr(III). These two forms of chromium have different chemical, biological and environmental effects. Cr(VI) exists as anionic species such as HCrO_4^- , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ and CrO_4^{2-} , which are highly mobile in soil and water systems. In this study, the removal of Cr(VI) from aqueous solution by batch adsorption method using gum arabic modified magnetic nanoparticles (GA-MNP) was investigated. AZ-MNP was obtained by modifying the carboxylic groups of gum arabic through the interaction between the hydroxyl groups on the surface of Fe_3O_4 . Surface modification with gum arabic led to the formation of secondary particles with diameters in the range of 9-13 nm. The adsorption rate was fast enough to reach equilibrium within 45 minutes due to the lack of internal diffusion resistance. The adsorption capacities for MNP and AZ-MNP increased with decreasing solution pH. Maximum adsorption capacity, Langmuir adsorption constant and enthalpy changes in GA-MNP were determined as 0.194 mg/g, 11.06 mg/L and 9.4 kJ/mol, respectively.

Keywords: Adsorption, adsorption isotherms, chromate ions, gum arabic, magnetic nanoparticle

1. Giriş

Günümüzde metalurji, galvaniz kaplama, deri tabaklama vb. endüstrilerde kromun yaygın kullanımı, sulu kromun çevreye salınmasına neden olmaktadır. Sulu çözeltilerde, krom

genellikle Cr(VI) veya Cr(III) olarak bulunmaktadır. Bu iki oksidasyon durumu farklı kimyasal, biyolojik ve çevresel etki özelliklerine sahiptir. Cr(VI), toprakta ve su sistemlerinde oldukça hareketli olan HCrO_4^- , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ve CrO_4^{2-} gibi anyonik türler olarak bulunur. Bu Cr(VI) türlerinin yükseltgenme potansiyelleri onları biyolojik sistemler için oldukça toksik hale getirmektedir (Mao vd. 2023). Toksik Cr(VI)'nın daha az zararlı Cr(III)'e biyolojik olarak indirgenmesi, prokaryotik ve ökaryotik hücrelerin bu toksisite seviyesini engellemek için kullandıkları mekanizmalar olarak gösterilmektedir (Vijayaraj vd., 2018). Direkt biyolojik

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: ilker0997@gmail.com

İlker Akın orcid.org/0000-0002-8683-0210

Egemen Foto orcid.org/0000-0002-0305-5467



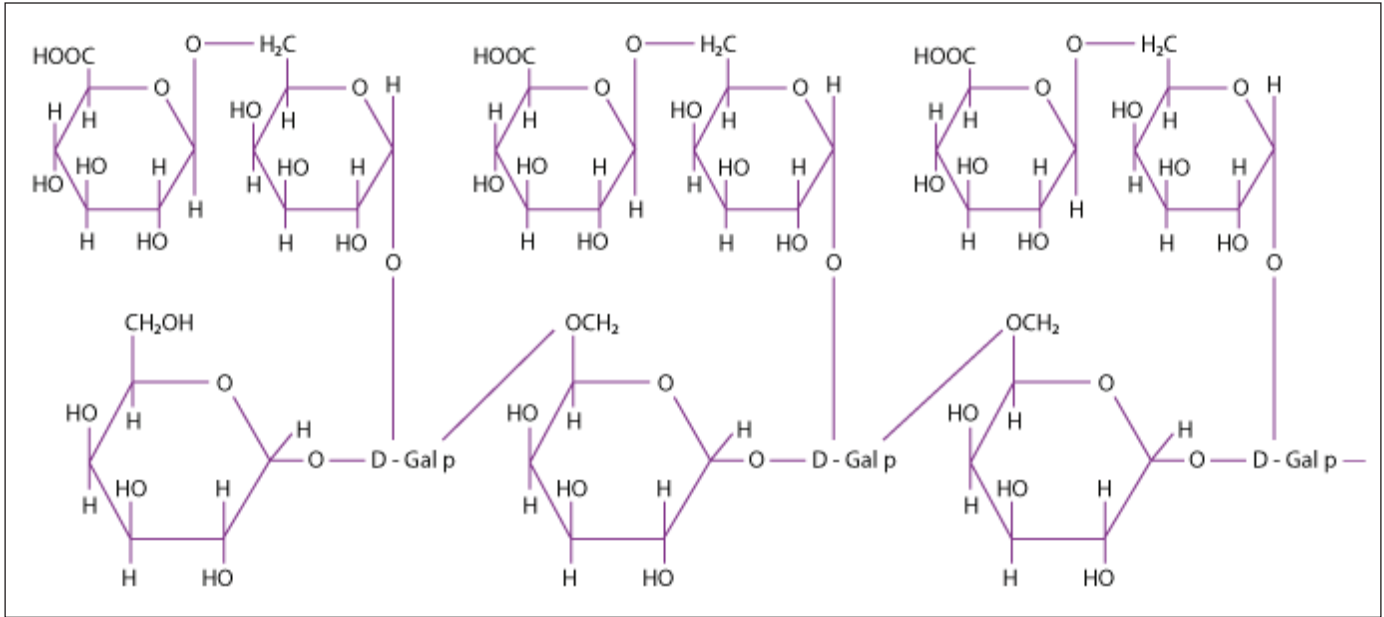
Cr(VI) indirgemesi, aerobik veya anaerobik koşullar altında üretilebilmekte ve genellikle NADH veya NAPH'ye bağlı hücre içi/dışı kromat redüktaz enzimleri tarafından gerçekleştirilebilmektedir (Çınar ve Yüksekdağ 2023). Bununla birlikte, Cr(III) alkali veya hafif asidik koşullar altında kolayca Cr(OH)₃ olarak çökeler (ATSDR 2000). Cr(VI)'nın iç yüzey sularına deşarj limiti 0,10 mg/L'dir. Ayrıca 0,05 mg/L'den fazla Cr(VI) içeren içme sularının canlılar için zehirli olduğu kabul edilmektedir (EPA 1990). Son zamanlarda giderek artan tarımsal ve endüstriyel faaliyetler nedeniyle sentetik organik/inorganik maddeler ve metaller gibi zararlı ve zehirli kirleticilerin su kaynaklarına salınması kamuoyunda giderek artan bir endişe yaratmaktadır. Bu zehirli ve zararlı maddelerden krom, bazı bölgelerde su kaynakları için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Cr(VI) içeren endüstriyel atıkların çevreye bırakılmadan önce içerisindeki Cr(VI)'nın uzaklaştırılması çok önemlidir (Xanthopoulou ve Katsoyiannis 2023). Ağır metal kirliliğini azaltmak için kimyasal çöktürme, elektrot biriktirme, solvent ekstraksiyonu, iyon değişimi, aktif karbon adsorpsiyonu ve biyolojik yöntemler dahil olmak üzere birçok yöntem geliştirilmiştir (Seid ve Gonfa 2022, Banerjee vd. 2004, Murlidhara vd. 1986). Bu yöntemler arasında adsorpsiyon; basit, nispeten düşük maliyetli ve ağır metal iyonlarının atık sulardan uzaklaştırılmasında etkili olması nedeniyle son yıllarda giderek daha fazla ilgi görmektedir (Weltrowski vd. 1996, Akin 2023). Nanoteknoloji, bilim ve teknolojiadaki en önemli gelişmelerden biri olarak kabul edilmektedir. Nanopartiküller, malzemele-

rin üretiminde önemli yapı taşlarından biridir. Temel özellikleri, son derece küçük boyutları ve yüksek yüzey alanı/hacim oranı, sulu çözeltilerden metal iyonlarının adsorpsiyonu için daha iyi kinetik sağlar. Ancak böyle bir uygulama için ikincil atık oluşturmaya, geri dönüştürülebilir ve endüstriyel ölçekte kolaylıkla kullanılabilen malzemeleri içeren bir arıtma yönteminin kullanılması gerekmektedir (Keihanfar vd. 2023, Banerjee ve Chen 2007).

Bu çalışmada, amin ve karboksilat gibi aktif fonksiyonel gruplar içeren doğal, zararsız ve çevre dostu bir polimer olan arap zamkı (Şekil 1) kullanarak Fe₃O₄ nanopartiküllerinin yüzey modifikasyonu ile metal iyonlarının adsorpsiyonu için yeni bir manyetik nano-adsorban sentezlenmiştir (Groman vd. 1996; Leong vd. 2001). Arap zamkı modifiye manyetik nanopartiküllerin (AZ-MNP) adsorpsiyon davranışı ve mekanizması, boyutu, yapısı ve yüzey özellikleri, transmisyon elektron mikroskobu (TEM), Fourier dönüşümü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi ile karakterize edilerek araştırılmıştır.

2. Gereç ve Yöntemler

Çalışmada kullanılan demir klorür heksahidrat (FeCl₃·6H₂O, >%99), demir klorür tetrahidrat (FeCl₂·4H₂O, >%99), amonyum hidroksit (NH₄OH, %25 w/w) ve potasyum dikromat (K₂Cr₂O₇) Merck'ten (Almanya) temin edildi. Akasya ağacından elde edilmiş arap zamkı Sigma Aldrich'ten satın alınmıştır. Tüm sulu çözeltiler, bir Millipore Milli-Q Plus



Şekil 1. Arap zamkının yapısı (<https://byjus.com/chemistry/gum-arabic/>).

su arıtma sisteminden geçirilmiş ultra saf su ile hazırlandı. Tüm kimyasallar analitik derecedeydi ve alındığı gibi kullanıldı. Ayrıca çalışmalar esnasında DLAB marka çalkalayıcı, Brandel marka homojinezatör, IKA marka ısıtıcılı manyetik karıştırıcı, Orion marka pH metre, Nüve marka vakumlu etüv kullanılmıştır. Cr(VI) iyonlarının konsantrasyonu, ksenon lamba ile 357,9 nm'de hava-asetilen alevinde Atomik Absorpsiyon Spektrometresi (ContrAA 300, Analytik Jena) kullanılarak belirlendi.

2.1. Manyetik Nanopartikül Sentezi

Manyetik nanopartiküller, geliştirilmiş kimyasal birlikte çöktürme yöntemiyle hazırlandı. Bu yöntemle göre 0,016 mol $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ve 0,028 mol $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 320 mL ultra saf suda $\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}^{3+}$ oranı 1,75 olacak şekilde çözüldü. Çözelti N_2 altında 80°C 'de 1 saat karıştırıldı. Daha sonra karışıma 40 mL NH_4OH hızla enjekte edilerek N_2 altında 1 saat daha karıştırıldıktan sonra oda sıcaklığına soğutuldu. Çöken parçacıklar beş defa sıcak su ile yıkandı ve manyetik nanopartiküller dekantasyon ile ayrıldı. Son olarak, manyetik nanopartiküller 70°C 'de vakum altında kurutuldu (Akin vd. 2023; Maity ve Agrawal 2007; Akin vd. 2012; Can vd. 2009).

2.2. Arap Zamkı Modifiye Edilmiş Manyetik Nanopartiküllerin Eldesi

Arap zamkı (AZ) ile yüzey modifikasyonu için 1,0 g Fe_3O_4 nanopartikülleri, kapaklı bir şişede 100 mL arap zamkı çözeltisine (5,0 mg/mL) ilave edilerek (Banerjee ve Chen 2007), 45 dakika 200 watt'da prop yardımıyla homojenize edildi. Daha sonra reaksiyon karışımı topraklanmayı önlemek için 10 dakika süreyle ultra sonic banyoda bekletildi. Elde edilen arap zamkı modifiye manyetik nanopartiküller, mıknatıs yardımıyla reaksiyon karışımından ayrıldı. Çöken AZ-MNP'ler üç defa 100 mL ılık saf su ile yıkandı ve son olarak 60°C 'de vakum altında kurutuldu.

2.3. Karakterizasyon

Nanopartiküllerin boyutu ve şekli transmisyon elektron mikroskobu (TEM, FEI Company-TecnaïTM G2 Spirit/Biotwin, ABD) ile belirlendi, numune dimetil sülfoksit içinde dağıtıldı ve 400 gözenekli bir bakır ızgara üzerine küçük bir damla yayıldı. IR spektrumları, bir Fourier dönüşümlü kızılötesi spektrofotometre (FT-IR, Perkin Elmer Spectrum 100, ABD) ile kaydedildi.

2.4. Adsorpsiyon Çalışmaları

Cr(VI) iyonlarının AZ-MNP tarafından adsorpsiyonunda ortam pH'sının, konsantrasyonun, temas süresinin, adsor-

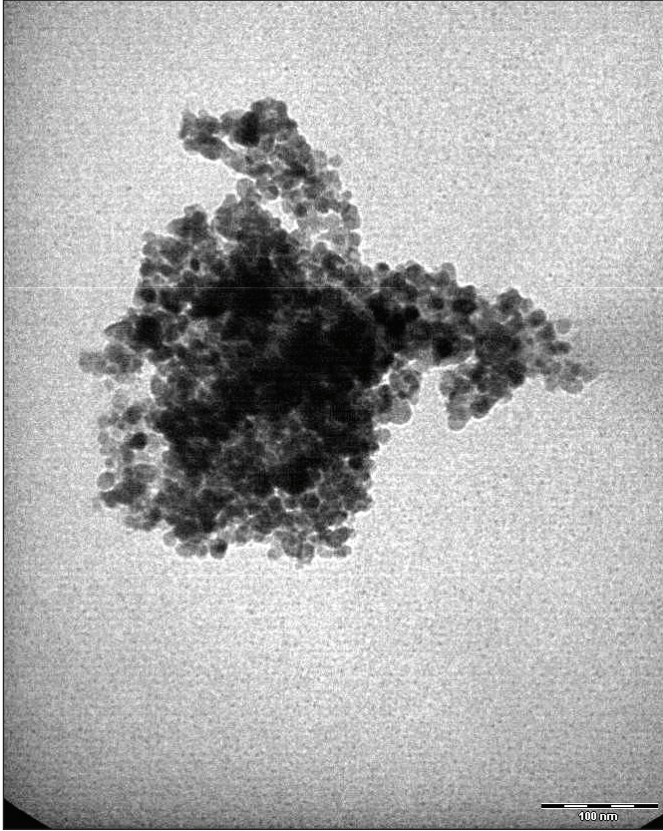
ban madde miktarı ve sıcaklığın etkisi incelenmiştir. Tüm adsorpsiyon çalışmaları 25°C 'de gerçekleştirilmiştir. Çözelti pH'ları, 0,10 M NaOH veya HCl çözeltileri kullanılarak ayarlanmıştır. Sulu çözeltilerde kromatın bulunduğu formlar dikkate alınarak kullanılan çözeltilerin pH 1,40–6,20 aralığında ayarlanarak adsorpsiyon çalışması gerçekleştirilmiştir. Temas süresinin etkisini gözlemlemek ve adsorpsiyonun ne kadar sürede dengeye geldiğini görmek için 5-120 dk aralığında denemeler yapılmıştır. Adsorban miktarı etkisi incelemek için 0,10-0,80 g aralığında farklı adsorban madde miktarı tartımları alınarak Cr(VI) adsorpsiyonu değerlendirilmiştir. Ayrıca farklı başlangıç konsantrasyonları ile denemeler yapılarak konsantrasyon etkisi Langmuir ve Freundlich izotermelerini içeren iyi bilinen adsorpsiyon izoterm modelleri ile analiz edilmiştir. Sıcaklığın etkisini incelemek için elde edilen optimum koşullarda $25-65^\circ\text{C}$ 'de arası adsorpsiyon denemeleri gerçekleştirilmiştir. Tüm adsorpsiyon çalışmalarında AZ-MNP'ler çözeltilerden mıknatıs yardımıyla çözeltilerden uzaklaştırıldı ve süzüntüler mavi bant süzgeç kağıdından süzülerek süzüntüdeki Cr(VI) iyonlarının konsantrasyonları, Atomik Absorpsiyon Spektrometresi kullanılarak ölçüldü.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Arap Zamkı Modifiye Edilmiş Manyetik Nanopartiküllerin Karakterizasyonu

Çalışmada daha önceki başka bir çalışmada kullanılan manyetik nanopartiküller kullanılmıştır. MNP'nin ortalama çapı yaklaşık 9-13 nm idi (Can vd. 2009). Bununla birlikte, Şekil 2'de gösterilen TEM görüntüsü, AZ-MNP'nin MNP'den önemli ölçüde daha büyük parçacık boyutuna sahip olduğunu gösterdi ve arap zamkı ile modifikasyonun MNP'nin topaklaşmasıyla sonuçlandığını görüldü. Bunun nedeninin arap zamkının yüksek molekül ağırlığına sahip olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Groman vd. 1996).

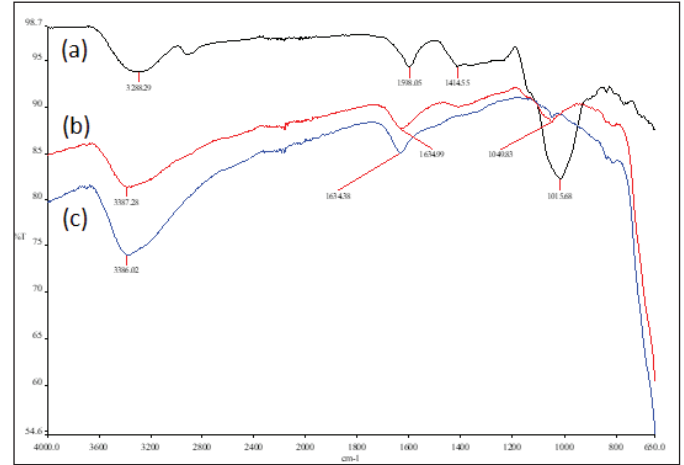
MNP, AZ-MNP ve arap zamkının FTIR spektrumları Şekil 3'te gösterilmiştir. MNP durumunda, 1600 cm^{-1} 'deki küçük absorpsiyon bandı C-O gerilmesi ve N-H bükülmesinden kaynaklanabilir, bu amin varlığına kesin delil olarak kabul edilebilir. Fe_3O_4 nanopartikül sentezi bazik ortamda gerçekleştirildiği için nanopartikül yüzeyinde serbest hidroksil grupları mevcut olmasından dolayı 3386 cm^{-1} 'deki geniş absorpsiyon bandı, yüzey hidroksil gruplarının (O-H gerilmesi) varlığının kanıtıdır. Arap zamkının ana karakteristik pikleri 1414 cm^{-1} (C-O esnemesi ve N-H esnemesi), 1600 cm^{-1} (C-O esneme), $3300-3500\text{ cm}^{-1}$ (birincil/ikincil N-H esnemesi) ve $3000-3600\text{ cm}^{-1}$ (O-H esneme)'de olma-



Şekil 2. AZ-MNP'lerin TEM görüntüleri.

şı beklenir (Banerjee ve Chen 2007). Dikkate değer bir şekilde, arap zamkında amin gruplarının varlığı kabul edilmiş olsa da (Groman vd. 1996), amin grupları için anlamlı ve kesin absorpsiyon bantları gözlenmemiştir ve benzer sonuçlar Reis vd. (2006) yapmış olduğu çalışmada da görülmektedir. Ayrıca, birincil amin (genellikle $3400-3500\text{ cm}^{-1}$ 'de) ve ikincil amin (genellikle $3300-3350\text{ cm}^{-1}$ 'de) için N-H gerilmesinden kaynaklanan absorpsiyon bantları da belirsizdir. Arap zamkının yüksek moleküler ağırlıklı bir glikoprotein ile daha düşük moleküler ağırlıklı bir polisakkaritten oluştuğu ve glikoprotein miktarının polisakkaritten daha az olduğu bilinmektedir (Groman vd. 1996). Bu nedenle, N-H gerilmesinden kaynaklanan soğurma bantları, polisakkaritin O-H gerilmesinden dolayı $3000-3600\text{ cm}^{-1}$ 'deki geniş soğurma bandı tarafından kapsanabilir. Bu, FTIR spektrumlarında neden N-H gerilmesinden kaynaklanan önemli soğurma bantlarının gözlenmediğini açıklayabilir. AZ-MNP spektrumu için, 1049 cm^{-1} 'deki küçük absorpsiyon bandı, MNP yüzeyinde arap zamkı bağlanmasını ortaya çıkaran C-O gerilmesinden kaynaklanmıştır. Ayrıca AZ-MNP için 3386 cm^{-1} 'deki O-H gerilme yoğunluğunun MNP'den daha düşük olduğu görülmüştür. Ayrıca, arap zamkı için $1413, 1634\text{ cm}^{-1}$ 'deki diğer karakteristik pikler, açıkça gözlemlenemeye-

cek kadar zayıftır. Her iki olgu da arap zamkı karboksilik grupları ile Fe_3O_4 nanopartiküllerin yüzey hidroksil grupları arasında bir etkileşim olduğunu göstermiştir (Leong vd. 2001). Bu etkileşim aynı zamanda MNP'nin arap zamkı ile yüzey modifikasyon mekanizmasını da açıklamıştır.



Şekil 3. FTIR spektrumları (a) MNP'ler, (b) AZ-MNP'ler ve (c) AZ.

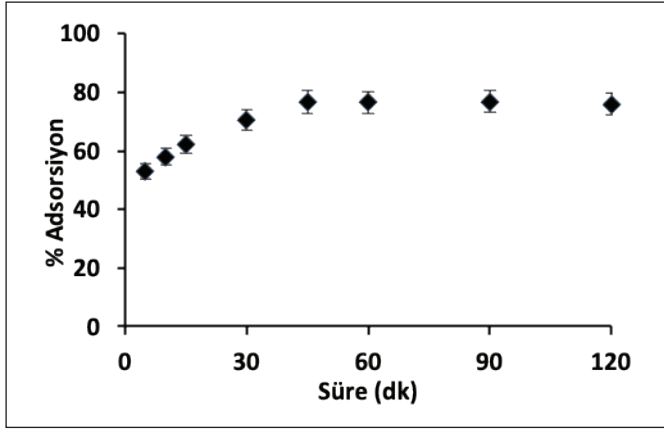
3.2. Temas Süresi ve Kinetik Değerlendirmenin Etkisi

Sulu çözeltilerden kromat iyonlarının uzaklaştırılması için AZ-MNP adsorban madde olarak kullanılmıştır. İlk olarak, adsorpsiyon dengesine ulaşmak için gereken süre belirlenmiştir. Temas süresinin bir fonksiyonu olarak Cr(VI)'nın AZ-MNP tarafından adsorpsiyonu Şekil 4'te gösterilmektedir. Tipik deneyler oda sıcaklığında, pH 1,40 ve 52 mg/L 'lik bir başlangıç kromat iyonu konsantrasyonu koşullarında gerçekleştirildi. Adsorban yapısında bozulmalarında meydana geldiği için daha önceki çalışmalar baz alınarak kullanılan sabit bir çalkalama hızında adsorpsiyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Can vd. 2009; Akın 2023). AZ-MNP için adsorpsiyon dengesine 45 dakikada ulaşıldığı görülmüştür.

Barassi vd. (2009) göre adsorbanın yüzeyindeki fonksiyonel grubun konsantrasyonu, yalancı ikinci dereceden kinetik model aracılığıyla kimyasal soğurma hızının değerlendirilmesine izin verir. Bu nedenle, deneysel veriler Denklem (1) (Ho ve McKay 1999) göre değerlendirilmiştir.

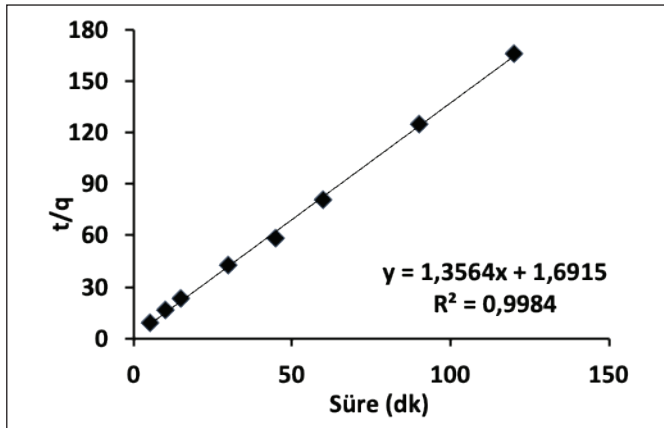
$$t/q_t = 1/(k_2 \cdot q_e^2) + t/q_e \quad (1)$$

Burada q_e ve q_t sırasıyla dengede ve t zamanında (dk) tutulan Cr(VI) miktarları (mg/g) olduğunda, k_2 yalancı ikinci dereceden kemisorpsiyon hız sabitidir ($g/(mg \cdot dk)$). İncelenen konsantrasyonlar için hız sabiti (k_2) ve teorik denge adsorpsiyon kapasiteleri, q_e (hesaplanan), yalancı ikinci



Şekil 4. Temas süresinin AZ-MNP tarafından Cr(VI) tutumuna etkisi (Cr(VI)'nin başlangıç konsantrasyonu): 52 mg/L; AZ-MNP miktarı: 2 g/L; çözelti pH: 1,40, sıcaklık : 25±1 °C, çalkalama hızı: 200 rpm, Tekrarlanan ölçüm sayısı(n): 3).

dereceden kinetik modelin lineer çizimlerinin eğiminden ve kesişme noktasından hesaplandı ve Çizelge 1'de verilmiştir. Belirlenen (R^2) ve teorik ve deneysel q_e değerleri, Cr(VI)'nin AZ-MNP tarafından adsorpsiyonunun ikinci dereceden tipte reaksiyon kinetiğini takip ettiğini gösterdi (Çizelge 1). Cr(VI)'nin AZ-MNP üzerindeki ikinci dereceden adsorpsiyon kinetiği Şekil 5'de verilmiştir.



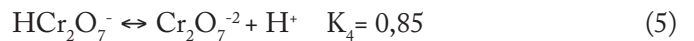
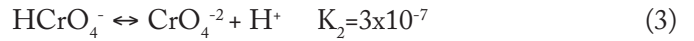
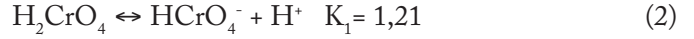
Şekil 5. AZ-MNP'de Cr(VI)'nin yalancı ikinci dereceden kinetiği.

3.3. pH'nın Etkisi

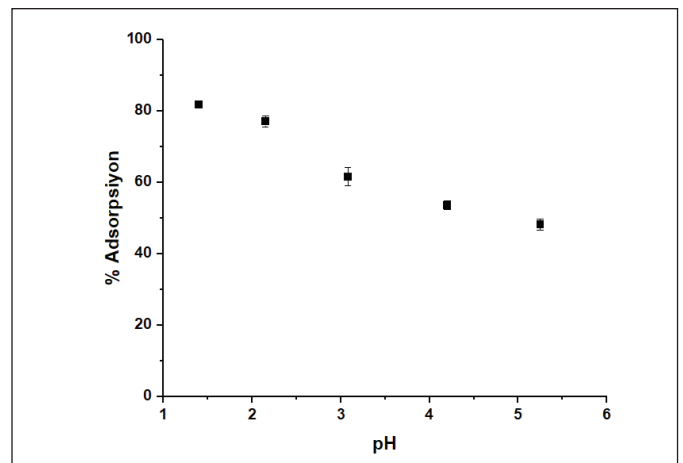
Denklem 2-5'de görüldüğü gibi Cr(VI) iyonlarının sulu çözeltilerde pH ve konsantrasyona bağlı olarak çeşitli anyonik formlarda ($Cr_2O_7^{2-}$, $HCrO_4^-$, CrO_4^{2-} ve $HCr_2O_7^-$) bulunduğu bilinmektedir. CrO_4^{2-} anyonu bazik veya hafif asidik çözeltilerde hakimdir. Ayrıca, Cr(VI) konsantrasyonu yaklaşık 1000 mg/L'yi aştığında, $Cr_2O_7^{2-}$ asidik sulu çözeltide $HCrO_4^-$ anyonuna dönüşür (Pehlivan ve Çetin 2009).

Çizelge 1. Yalancı ikinci dereceden kinetik model için sorpsiyon hızı sabiti değerleri.

Yalancı ikinci dereceden	q_e (mg g ⁻¹)	6,510
	R^2	0,9984
	k_2	0,463



Her iki denkleme göre (2 ve 5) ve K değerleri, pH 6'da Cr(VI) konsantrasyonu 1×10^{-3} M'ye eşit veya daha az olduğunda, Cr(VI)'nin yaklaşık %75'i $HCrO_4^-$ ve %25'i CrO_4^{2-} olarak bulunur (Saha vd. 2004). Asidik bir çözeltide, Cr(VI) konsantrasyonu 0,02 M'den küçük olduğunda, $HCrO_4^-$ ve Cr(VI) konsantrasyonu 0,02 M'den büyük olduğunda, $Cr_2O_7^{2-}$ baskın türdür (Agrawal vd. 2008). Ayrıca $Cr_2O_7^{2-}$, asidik sulu çözeltide $(1,26-1,74) \times 10^{-2}$ M'dan daha düşük bir toplam Cr(VI) konsantrasyonunda $HCrO_4^-$ 'ye dönüşmektedir (Bhowal ve Datta 2001). Besleme fazının başlangıç pH'ının AZ-MNP tarafından Cr(VI) adsorpsiyonuna etkisini araştırmak için, deneyler 1,40; 2,20; 3,10; 4,20; 5,20 ve 6,20 başlangıç pH'larında gerçekleştirildi. Her pH ölçümü için $\pm 0,1$ 'lik bir pH sapması gözlemlendi. Şekil 6'da verilen sonuçlarda, $HCrO_4^-$ ve AZ-MNP arasındaki etkileşimin dolayısıyla Cr(VI) adsorpsiyonunun 1,40'lık bir başlangıç pH'ında en yüksek adsorpsiyon verimliliğinde olduğu görülmüştür.



Şekil 6. Cr(VI) adsorpsiyonuna pH'in etkisi (Cr(VI)'nin başlangıç konsantrasyonu): 52 mg/L; AZ-MNP miktarı: 2 g/L; temas süresi: 45 dk.; sıcaklık : 25±1 °C, çalkalama hızı: 200 rpm; n:3).

3.4. Cr(VI) Başlangıç Konsantrasyonunun Etkisi

Başlangıç Cr(VI) konsantrasyonunun krom uzaklaştırılması üzerindeki etkisi, başlangıç Cr(VI) konsantrasyonu pH 1,40 ($\pm 0,1$) ve 45 dakikada denge süresinde değiştirilerek incelendi. Adsorpsiyon izotermelerinin analizi tasarım amaçları için önemlidir. Bu nedenle deneysel veriler, Langmuir ve Freundlich izotermelerini içeren iyi bilinen adsorpsiyon izoterm modelleri ile analiz edilmiştir.

Langmuir izotermi, adsorpsiyon yüzeylerinin tek tabakalı kaplamasını modeller ve adsorpsiyonun adsorbanın yapısal olarak homojen bir yüzeyinde gerçekleştiğini varsayar. Bu izoterm Denklem olarak verilir. (6) (Langmuir 1916; Selimoğlu 2023).

$$q_e = Q_o \cdot b \cdot C_e / (1 + b \cdot C_e) \quad (6)$$

Langmuir izoterm modelinin lineer formu Denklem.(7);

$$C_e/q_e = (1/Q_o \cdot b) + (C_e/q_e) \quad (7)$$

Burada C_e , Cr(VI) iyonunun dengedeki konsantrasyonu (mg/L), Q_o adsorbanın tek tabaka kapasitesi (mg/g) ve b , Langmuir sorpsiyon sabitidir (L/mg). C_e/q_e 'ye karşı C_e grafiği düz bir çizgi verir (Şekil 7A) ve Q_o ve b değerleri sırasıyla grafiğin eğiminden ve kesim noktasından hesaplanabilir.

Freundlich denklemi, çok katmanlı sorpsiyonu modellemek ve heterojen yüzeyler üzerindeki adsorpsiyon için türetilmiştir. Freundlich modeli Denklem olarak formüle edilir. (8) (Freundlich 1906).

$$q_e = k \cdot C_e^{1/n} \quad (8)$$

Freundlich denkleminin lineerleştirilmiş formu aşağıdaki denklemlerle verilir:

$$\log q_e = \log k + (1/n) \log C_e \quad (9)$$

Burada; C_e denge konsantrasyonu (mg/L) olduğunda, k kabaca adsorpsiyon kapasitesinin $[(\text{mg/g})(\text{mg/L})^{-1/n}]$ bir göstergesidir ve n ampirik bir parametredir. Denklem(9)'a göre $\log q_e$ 'nin $\log C_e$ 'ye karşı grafiği bir doğru verir (Şekil 7B) ve sırasıyla k ve n değerleri bu düz çizginin kesişme noktasından ve eğiminden hesaplanır.

Her bir model için izoterm sabitleri ve R^2 değerleri Çizelge 2'de verilmiştir. R^2 değerleri karşılaştırıldığında, AZ-MNP tarafından Cr(VI) adsorpsiyonunun Freundlich izoterm modeli ile daha iyi tanımlanabileceği sonucuna varılabilir.

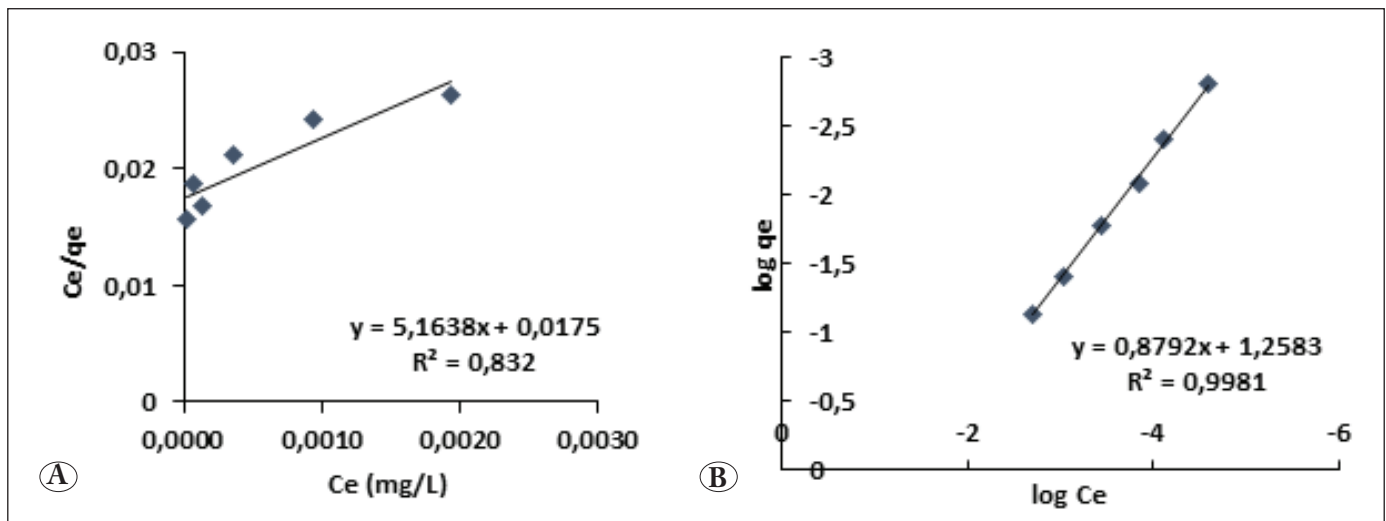
3.5. Adsorban Miktarının Etkisi

AZ-MNP miktarındaki bir artış, Cr(VI)'nın adsorpsiyon miktarını arttırmıştır (Şekil 9). Bu, daha yüksek adsorban miktarının daha düşük q değerleri ile sonuçlanacağı beklentisiyle tutarlıdır. Arap zamkı konsantrasyonu, yüzey bölgesi yoğunluğu aracılığıyla AZ-MNP konsantrasyonu ile ilişkilidir (Sujana vd. 1998). Bu nedenle, adsorban miktarı arttıkça giderim artarken, q azalmıştır.

3.6. Sıcaklığın Etkisi

Serbest enerji değişimi (ΔG°), entalpi değişimi (ΔH°) ve entropi değişimi (ΔS°) gibi termodinamik parametreler Denklemler kullanılarak hesaplanabilir. (10-12) burada K_c , sırasıyla AZ-MNP ve çözeltideki metal iyonunun denge konsantrasyonlarının oranından kaynaklanan denge sabitidir (Göde ve Pehlivan 2005). Karışımın sıcaklığı 25 ila 65 °C arasında değişmiştir.

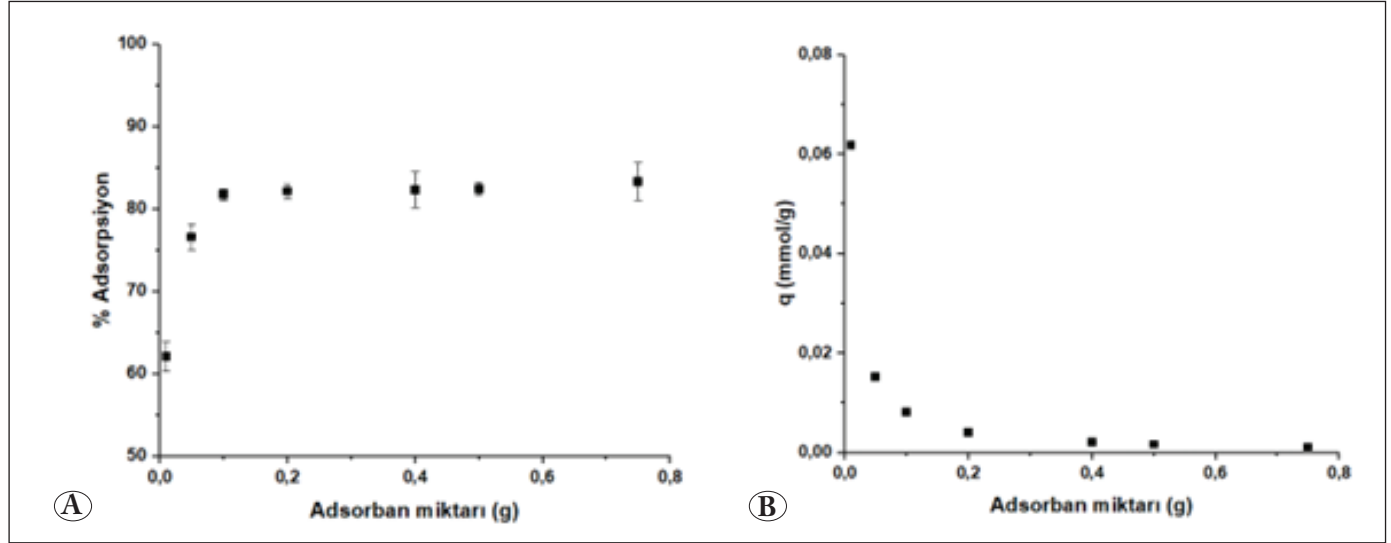
$$K_c = C_{Ae} / C_e \quad (10)$$



Şekil 7. AZ-MNP için A) Langmuir izoterm grafiği ve B) Freundlich izoterm grafiği sırasıyla.

Çizelge 2. AZ-MNP tarafından sulu çözeltiden Cr(VI)'nın tutumu için Langmuir ve Freundlich izoterm parametreleri.

	Langmuir modeli		R ²	Freundlich modeli		R ²
	Q ₀	b		k	n	
AZ-MNP	0,194	11,06	0,83	18,12	1,14	0,99

**Şekil 8.** A) AZ-MNP miktarı ile Cr(VI) tutumu değişimi (%), B) AZ-MNP miktarı ile tutulan Cr(VI) mol miktarı değişimi (Cr(VI) konsantrasyonu: 52 mg/L, çözeltinin başlangıç pH'ı: 1,4(±0,1), temas süresi: 45 dk.; sıcaklık: 25±1 °C; çalkalama hızı: 200 rpm).**Çizelge 3.** AZ-MNP'de Cr(VI) adsorpsiyonu için termodinamik parametreler.

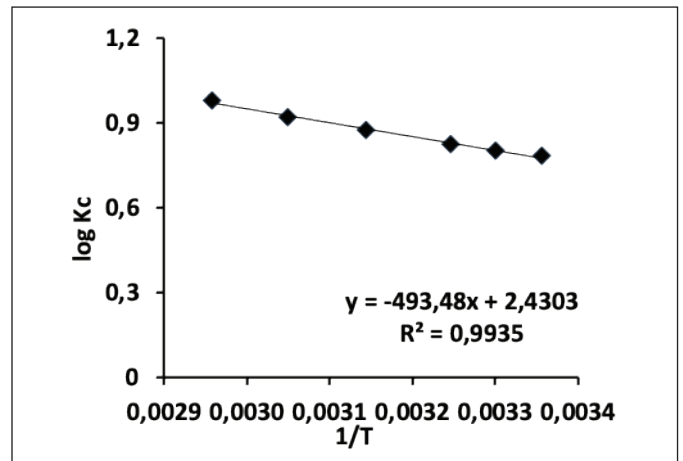
	ΔG° (J/mol)	ΔH° (J/mol)	ΔS° (J/K.mol)
T=298,5 K	-4056,540		
T=303,5 K	-4198,882		
T=308,5 K	-4465,246	8846,5646	0,0245
T=318,5 K	-4834,664		
T=328,5 K	-5263,488		
T=338,5 K	-5873,486		

$$\Delta G^\circ = -R.T.In K_c \quad (11)$$

$$\log K_c = [\Delta S^\circ / 2.303.R] - [\Delta H^\circ / (2.303.R.T)] \quad (12)$$

Burada C_e çözeltideki denge konsantrasyonu (mg/L) ve C_{Ac} dengedeki katı faz konsantrasyonudur (mg/L). ΔG° , ΔH° ve ΔS° sırasıyla serbest enerji, entalpi ve entropi değişimleridir. ΔG° Denklem ile hesaplanabilir (10). ΔH° ve ΔS° , $\log K_c$ 'ye karşı 1/T grafiğinden hesaplanabilir (Şekil 9 ve Denk.(11)) ve Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3'te gösterildiği gibi; AZ-MNP için pozitif ΔH° değerleri endotermik reaksiyonun meydana geldiğini gösterir.

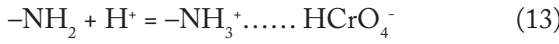
**Şekil 9.** Cr(VI)'nın sıcaklığın bir fonksiyonu olarak AZ-MNP üzerindeki denge sabitleri.

ΔS° 'nin pozitif değeri, AZ-MNP'de Cr (VI) iyonunun adsorpsiyonu sırasında katı-çözelti arayüzünde artan rastgeleliği gösterdi. Adsorbat türleri tarafından yer değiştiren adsorplanmış su molekülleri, adsorban iyonlarının kaybettiğinden daha fazla translasyonel enerji kazanır ve böylece sistemde rastgeleliğin yaygınlaşmasına izin verir. ΔG° 'nin negatif değerleri, AZ-MNP tarafından sorpsiyon işlemleri-

nin kendiliğinden gerçekleştiğini gösterdi. Ayrıca, sıcaklığın artmasıyla birlikte ΔG° değerlerindeki azalma, AZ-MNP tarafından adsorpsiyonun daha yüksek sıcaklıklarda daha spontane olduğunu gösterdi (Çizelge 3). Cr(VI) adsorpsiyonu artan sıcaklıkla artar.

3.7. AZ-MNP'de Cr(VI) İyon Adsorpsiyonunun Mekanizması

Çözelti pH'ı (Şekil 6) ile adsorpsiyon özelliklerindeki değişiklik, AZ-MNP'nin katı-çözelti arayüzünde gerçekleşebilen ana karakteristik reaksiyonları gösteren aşağıdaki denklemlerle daha açık bir şekilde açıklanabilir:



AZ-MNP'nin yapısında bulunan amin gruplarının ilgili çözeltilerindeki protonasyon ve deprotonasyon reaksiyonları Denk. (13 ve 14) verilmiştir. Denk. (14) kromat iyonlarının amin grupları ile yüzey komplekslerinin oluşumunu göstermektedir. Denklemdaki reaksiyon (13), amin gruplarının daha düşük pH değerlerinde $-\text{NH}_3^+$ oluşturmak üzere protonlanmasını desteklemiştir. Ayrıca, HCrO_4^- ile AZ-MNP'nin yüzeyleri arasındaki elektrostatik itme, yüzeyde daha fazla $-\text{NH}_3^+$ bölgesi oluşmasıyla arttı. Tüm bu etkiler, azalan çözelti pH değerleri ile AZ-MNP üzerindeki HCrO_4^- adsorpsiyonunun azalmasına neden olacaktır. Öte yandan, çözelti pH'ının artmasıyla Denk. (13) sola doğru ilerleyerek AZ-MNP'nin yüzeyindeki kromat iyonu adsorpsiyonu Denk. (14) görüldüğü gibi gerçekleşirken adsorpsiyon kapasitesi azalır.

4. Sonuç ve Öneriler

Sentezlenen Fe_3O_4 nanopartiküllerinin yüzeyinin arap zamkı ile değiştirilmesiyle elde edilen adsorban ile sulu çözeltilerden Cr(VI) uzaklaştırılması araştırılmıştır. AZ-MNP eldesinde arap zamkının karboksilik grupları ile Fe_3O_4 'ün yüzeyindeki hidroksil grupları arasındaki etkileşim yoluyla modifikasyonu sağlanmıştır. Elde edilen adsorban maddenin TEM ve FTIR yöntemleri ile karakterizasyon işlemleri başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon hızı, iç difüzyon direncinin olmaması nedeniyle 45 dakika içinde dengeye ulaşacak kadar hızlı ve hem MNP hem de AZ-MNP için adsorpsiyon kapasiteleri, çözelti pH'ının düşmesiyle arttığı ve en yüksek adsorpsiyon oranının pH 1,4'de olduğu görülmüştür. Literatüre kazandırılan çalışmalar incelendiğinde MNP ile metal adsorpsiyon çalışması çok fazla iken AZ-MNP ile sadece bakır adsorpsiyonu incelenmiş ve

adsorpsiyon kapasitesinin, Langmuir adsorpsiyon sabiti ve entalpi değişimleri sırasıyla 38,5 mg/g, 11,5 mg/L ve 9,4 kJ/mol 9,1 mg/g olarak bulmuşlardır (Banerjee ve Chen 2007). Cr(VI)'nın sulu çözeltilerden AZ-MNP ile adsorpsiyon çalışması sonucunda maksimum adsorpsiyon kapasitesi, Langmuir adsorpsiyon sabiti ve entalpi değişimleri sırasıyla 0,194 mg/g, 11,06 mg/L ve 9,4 kJ/mol olarak belirlenmiştir.

Yazar katkısı:

İlker Akin: Çalışmayı planlamış, tasarlamış ve deneysel verileri elde etmiştir.

Egemen Foto: Çalışmada karakterizasyon işlemlerini gerçekleştirmiş ve hakkında verileri analiz etmiştir.

5. Kaynaklar

- Akin, İ., Zor, E., Bingöl, H. 2023. GO@ Fe_3O_4 katkılı polimerik kompozit membranların hazırlanması ve karakterizasyonu, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 5(2), 38-52. <https://doi.org/10.47112/neufmbd.2023.8>
- Akin, İ., 2023. Preparation of chitosan microcapsules containing modified graphene oxide and investigation of water treatment performance. Chemical Papers, İn press. <https://doi.org/10.1007/s11696-023-03222-3>
- Akin, I., Arslan, G., Tor, A., Ersoz, M., Cengelöglu, Y. 2012. Arsenic(V) removal from underground water by magnetic nanoparticles synthesized from waste red mud. Journal of Hazardous Materials, 235-236, 62-68. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.06.024>
- Agrawal, A., Pal, C., Sahu, KK. 2008. Extractive removal of chromium (VI) from industrial waste solution, Journal of Hazardous Materials, 159, 458-464. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.02.121>
- ATSDR, 2000. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Division of Toxicology/Toxicology Information Branch (ATSDR), Toxicological profile for chromium, ATSDR, Atlanta, USA, 1-157.
- Banerjee, SS., Jayaram, RV., Joshi, MV. 2004. Removal of Cr(VI) and Hg(II) from aqueous solutions using fly ash and impregnated fly ash, Separation Science and Technology, 39, 1611-1629. <https://doi.org/10.1081/ss-120030778>
- Banerjee, SS., Chen, DH. 2007. Fast removal of copper ions by gum arabic modified magnetic nano adsorbent, Journal of Hazardous Materials, 147, 792-799. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.01.079>
- Barassi, G., Valdés A., Araneda C., Basualto C., Sapag J., Tapia C., Valenzuela F. 2009. Cr(VI) sorption behavior from aqueous solutions onto polymeric microcapsules containing a long-chain quaternary ammonium salt: Kinetics and thermodynamics analysis, Journal of Hazardous Materials, 172, 262-268. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.06.167>

- Bhowal, A., Datta, S. 2001.** Studies on transport mechanism of Cr(VI) extraction from an acidic solution using liquid surfactant membranes, *Journal of Membrane Science*, 188, 1–8. [https://doi.org/10.1016/s0376-7388\(00\)00586-x](https://doi.org/10.1016/s0376-7388(00)00586-x)
- Can, K., Ozmen, M., Ersoz, M. 2009.** Immobilization of albumin on aminosilane modified superparamagnetic magnetite nanoparticles and its characterization, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 71, 154–159. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2009.01.02>
- Çınar Acar, B., Yüksekdağ, Z. 2023.** Deri Endüstrisinde Krom Kullanımı ve Biyolojik Yöntemlerle Krom Giderimi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 6(1): 1006–1029. <https://doi.org/10.47495/okufbed.1089874>
- EPA, 1990.** Environmental Protection Agency, Environmental Pollution Control Alternatives, EPA/625/5-90/025, EPA/625/4-89/023, Cincinnati, USA.
- Freundlich, HMF. 1906.** Über die adsorption in losungen, *Journal of Physical Chemistry*, 57A, 385–470. <https://doi.org/10.1515/zpch-1907-5723>
- Gode, F., Pehlivan, E. 2005.** Removal of Cr(VI) from aqueous solution by two Lewatit anion exchange resins, *Journal of Hazardous Materials*, B119, 175–182. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.12.004>
- Groman, EV., Menz, ET., Enriquez, PM., Jung, C., Lewis, JM., Josephson, L. 1996.** Delivery of therapeutic agents to receptors using polysaccharides, United States Patent, 5554386.
- Ho, YS., McKay, G. 1999.** Pseudo-second order model for sorption processes, *Process Biochemistry*, 34 (1999) 451–465. [https://doi.org/10.1016/s0032-9592\(98\)00112-5](https://doi.org/10.1016/s0032-9592(98)00112-5)
- Keihanfar, M., Mirjalili, BBF., Bamoniri, A. 2023.** Sb(III)/Gum Arabic composite as a new natural-based environmentally green catalyst for the one-pot pseudo-four-component synthesis of 2H-indazolo[2,1-b] phthalazinetriones. *RSC Advanced*, 13, 17869–17873. <https://doi.org/10.1039/d3ra02556j>
- Langmuir, I. 1916.** The constitution and fundamental properties of solids and liquids, *Journal of American Chemical Society* 38, 2221–2295. [https://doi.org/10.1016/s0016-0032\(17\)90938-x](https://doi.org/10.1016/s0016-0032(17)90938-x)
- Leong, YK., Seah, U., Chu, SY., Ong, BC. 2001.** Effect of gum arabic macro- molecules on surface forces in oxide dispersion, *Colloid and Surface Science*, 182, 263–268. [https://doi.org/10.1016/S0927-7757\(00\)00826-8](https://doi.org/10.1016/S0927-7757(00)00826-8)
- Mao, T., Lin, L., Shi, X., Cheng, Y., Luo, X., Fang, C. 2023.** Research Progress of Treatment Technology and Adsorption Materials for Removing Chromate in the Environment. *Materials*, 16, 2979. <https://doi.org/10.3390/ma16082979>
- Maity, D., Agrawal, DC. 2007.** Synthesis of iron oxide nanoparticles under oxidizing environment and their stabilization in aqueous and non-aqueous media. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 308, 46. <https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2006.05.00>
- Murlidhara, HS. 1986.** *Advances in Solid-Liquid Separation*, Batelle Press, Columbus Richland, Ohio, ISBN 10: 0851863639 / ISBN 13: 9780851863634
- Pehlivan, E., Cetin, S. 2009.** Sorption of Cr(VI) ions on two Lewatit-anion exchange resins and their quantitative determination using UV-visible spectrophotometer, *Journal of Hazardous Materials* 163, 448–453. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.06.115>
- Reis, AV., Guilherme, MR., Cavalcanti, OA., Rubira, AF., Muniz, EC. 2006.** Synthesis and characterization of pH responsive hydrogels based on chemically modified arabic gum polysaccharide, *Polymer* 47, 2023–2029. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2006.01.058>
- Saha, B., Gill, RJ., Bailey, DG., Kabay, N., Arda, M. 2004.** Sorption of Cr(VI) from aqueous solution by Amberlite XAD-7 resin impregnated with Aliquat 336, *Reactive Functional Polymer*, 60, 223–244. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2004.03.003>
- Seid, SM., Gonfa, G. 2022.** Adsorption of Cr(V) from aqueous solution using eggshell-based cobalt oxide- zinc oxide nanocomposite. *Environmental Challenges*, 8, 100574. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100574>
- Selimoğlu, F. 2023.** Cr(VI) Adsorption Performance of Commercial Anion Exchange Resin. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23 (2023) 021102 (306–315). <https://doi.org/10.35414/akufemubid.1224249>
- Sujana, MG., Thakur, RS., Rao, SB. 1998.** Removal of Fluoride from Aqueous Solution by Using Alum Sludge, *Journal of Colloid Interface Science*, 206, 94–101. <https://doi.org/10.1006/jcis.1998.5611>
- Vijayaraj, AS., Mohandass, C., Joshi, D., Rajput, N. 2018.** Effective bioremediation and toxicity assessment of tannery wastewaters treated with indigenous bacteria, *3 Biotech*, 8(10), 428. <https://doi.org/10.1007/s13205-018-1444-3>
- Weltrowski, M., Martel, B., Morcellet, M. 1996.** Chitosan N-benzyl sulfonate derivatives as sorbents for removal of metal ions in an acidic medium, *Journal of Applied Polymer Science*, 59, 647–654. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4628\(19960124\)59:4<647](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4628(19960124)59:4<647)
- Xanthopoulou, M., Katsoyiannis, IA. 2023.** Enhanced Adsorption of Chromate and Arsenate Ions from Contaminated Water with Emphasis on Polyethylenimine Modified Materials: A Review. *Separations*, 10, 441. <https://doi.org/10.3390/sep-arations10080441>; <https://byjus.com/chemistry/gum-arabic/>



İlgın (Konya) Havzası Miyosen Yaşlı Bitümlü Kilitaşlarındaki Redoksa Duyarlı Element Davranışları ve Redoks Koşulları Arasındaki İlişki

The Relationship Between Redox-Sensitive Element Behaviors and Redox Conditions in Miocene Aged Bituminous Claystones of the Ilgın (Konya) Basin

Ali Sarı¹ , Kamal İsmayılzada² , Sinan Akıska^{1*} , Fuat Erol³ 

¹Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 06830, Gölbaşı, Ankara

²Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 06100, Tandoğan, Ankara

³Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Genel Müdürlüğü, Yenimahalle, Ankara

Öz

Bu çalışmada, İlgın (Konya) havzasında yüzlek veren organik maddece çok zengin (%TOC:14.52-44.44; ort:31.24) Miyosen yaşlı bitümlü kilitaşlarındaki redoksa duyarlı iz elementlerin: Vanadyum (V), Uranyum (U) ve Molibden (Mo), Çinko (Zn), Nikel (Ni), Bakır (Cu) ve Kobalt (Co) jeokimyasal davranışlarının incelenmesi ve havzanın redoks koşulunun organik madde birikimindeki etkisinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Bu amaçla, tabandaki linyitli seviyesinden başlayarak tavana kadar sistematik olarak bitümlü kilitaşlarından 14 adet örnekleme yapılmıştır. İlgın sahasındaki Miyosen yaşlı bitümlü kilitaşlarında redoksa duyarlı element davranışlarının incelenmesinde ana ve iz elementler ile bunların toplam organik madde (%TOC) ile olan ilişkileri incelenmiştir. Örneklerde ana ve iz element analizleri ICP-OES cihazında ve %TOC analizleri de Rock Eval VI cihazında yapılmıştır. İncelenen bitümlü kayalarda %TOC ile %Mo'nin ($r=0.529$) orta derecede; Cu ($r=-0.230$), Ni ($r=-0.030$), Zn ($r=0.216$), U ($r=0.083$), V ($r=0.124$) ve Co'nin ($r=0.076$) çok zayıf ve zayıf korelasyonları bulunmaktadır. Bu durum, Mo dışındaki diğer elementlerin su kütlesinden sapropele difüzyonunda ve tortullarda zenginleşmelerinde hümitik asitlerdeki organometalik ligandların etkisinin olmadığını gösterir. Fe'nin U ($r=0.204$), Ni ($r=0.029$) ve Zn ile ($r=-0.142$) olan çok zayıf korelasyon ilişkileri, U ve Zn'nun sapropelde zenginleşmelerinde piritin etkisinin olmadığını gösterir. Ancak, Fe'nin Co ile ($r=0.535$) orta ve Mo ile de ($r=0.722$) güçlü korelasyon ilişkisi Co ve Mo'nin sapropelde zenginleşmesinde piritin etkili olduğunu gösterir. Örneklerde, Mn ile Cu ($r=-0.562$), Zn ($r=-0.163$), Ni ($r=-0.318$), V ($r=-0.243$), U ($r=-0.142$) ve Mo ($r=-0.600$) arasındaki çok zayıf korelasyon ilişkisi bu elementlerin su kütlesinden Mn oksit-hidroksitler ile sapropele difüzyonunda ve zenginleşmelerinde Mn oksit-hidroksitlerin hiçbir rol oynamadığını göstermektedir. Kükürt'ün Ni ($r=-0.121$), V ($r=-0.177$) ve Zn ($r=-0.354$) ile çok zayıf; Cu ($r=0.290$) ve U ($r=0.302$) ile zayıf; Co ($r=0.476$) ile orta ve Mo ile de ($r=0.729$) kuvvetli korelasyon ilişkisi vardır. Bu durum, Co'nin CoS şeklinde, Mo'nin ise MoS₂ şeklinde çökeldiğini; Cu, Zn, Ni, U ve V elementlerinin ise sülfid şeklinde bir zenginleşmelerinin olmadığını göstermektedir. Örneklerde, Fe ve S arasındaki çok güçlü ($r=0.929$) korelasyon ilişkisi Fe'nin pirit (FeS₂) fazında çökeldiğini ve redoks koşulunun da anoksik olduğunu gösterir. Havzadaki redoks şartları; Th/U oranlarına göre tüm örneklerde; U/Th oranlarına göre RE-1 ve RE-7 numaralı örnekler dışında; V/V+Ni oranlarına göre RE-1,2,3,6 ve 12 numaralı örnekler dışında disoksik/suboksik ve anaoksiktir.

Anahtar Kelimeler: Anoksik ortam, bitümlü kilitaşı, element zenginleşmesi, redoks koşulu, organik madde


Abstract


In this study, the redox-sensitive trace elements in the Miocene-aged bituminous claystones rich in shallow organic matter (%TOC: 14.52-44.44; avg: 31.24) in the Ilgın basin (Konya) were investigated. The elements studied include Vanadium (V), Uranium (U),

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: akıska@eng.ankara.edu.tr

Ali Sarı  orcid.org/0000-0001-6289-3332

Kamal İsmayılzada  orcid.org/0000-0002-0960-0286

Sinan Akıska  orcid.org/0000-0001-8262-7349

Fuat Erol  orcid.org/0009-0008-5830-3860



and Molybdenum (Mo), as well as Zinc (Zn), Nickel (Ni), Copper (Cu), and Cobalt (Co), aiming to analyze their geochemical behaviors. Additionally, the influence of the basin's redox conditions on organic matter accumulation was examined. For this purpose, 14 samples were systematically collected from the bituminous claystones, starting from the lignite level at the base up to the top. In the investigation of the behavior of redox-sensitive elements in the Miocene-aged bituminous claystones in the Ilgın area, the relationships between major and trace elements and their total organic carbon (%TOC) content were examined. Major and trace element analyses were conducted on samples using an ICP-OES device, and %TOC analyses were performed using a Rock Eval VI device. In the examined bituminous rocks, there are moderate correlations between %TOC and %Mo ($r=0.529$); weak and very weak correlations are observed for Cu ($r=-0.230$), Ni ($r=-0.030$), Zn ($r=0.216$), U ($r=0.083$), V ($r=0.124$), and Co ($r=0.076$). This indicates that the enrichment of these elements in sediments and sapropels from water masses does not involve organometallic ligands in humic acids except for Mo. Very weak correlation relationships of Fe with U ($r=0.204$), Ni ($r=0.029$), and Zn ($r=-0.142$) indicate that the enrichment of U and Zn in sapropel is not influenced by pyrite. However, the moderate correlation of Fe with Co ($r=0.535$) and strong correlation with Mo ($r=0.722$) suggest that the enrichment of Co and Mo in sapropel is influenced by pyrite. Very weak correlations between Mn and Cu ($r=-0.562$), Zn ($r=-0.163$), Ni ($r=-0.318$), V ($r=-0.243$), U ($r=-0.142$), and Mo ($r=-0.600$) indicate that manganese oxyhydroxides play no role in the diffusion and enrichment of these elements from water masses to sapropel. Sulfur shows very weak correlations with Ni ($r=-0.121$), V ($r=-0.177$), and Zn ($r=-0.354$); weak correlations with Cu ($r=0.290$) and U ($r=0.302$); moderate correlation with Co ($r=0.476$); and strong correlation with Mo ($r=0.729$). This suggests that Co precipitates as CoS and Mo as MoS₂, while Cu, Zn, Ni, U, and V do not enrich as sulfides. A very strong correlation ($r=0.929$) between Fe and S indicates that Fe precipitates as pyrite (FeS₂), suggesting an anoxic redox condition. The redox conditions in the basin are oxic/suboxic and anoxic based on Th/U ratios in all samples, except for samples RE-1 and RE-7; based on U/Th ratios, except for samples RE-1 and RE-7; and based on V/V+Ni ratios, except for samples RE-1, 2, 3, 6, and 12.

Keywords: Anoxic environment, bituminous claystone, element enrichment, redox condition, organic matter

1. Giriş

Redoksa duyarlı iz element konsantrasyonları veya oranları güncel ve yaşlı tortul kayalarda redoks koşullarını belirlemek için en yaygın kullanılan göstergeler arasında yer almaktadır (Calvert ve Pedersen 1993, Jones ve Manning 1994, Wignall 1994, Crusius vd. 1996, Dean vd. 1999, Yarincik vd. 2000, Morford vd. 2001, Pailler vd. 2002). İz elementler genellikle laminal ve organik maddece zengin, oksijence minimum koşullarda çökelmiş olan bitümlü kayalarda önemli oranda bir zenginleşme sergilerken bunun tersine, biyotürbasyonlu ve organik açıdan fakir fasiyelerde ise çok az veya hiç zenginleşmezler. Bu nedenle bitümlü kayaların depolandıkları ortamlardaki O₂ seviyelerinin belirlenmesi ve hatta O₂ seviyelerindeki çok küçük dalgalanmaları bile değerlendirmek önemli olabilir, çünkü küçük miktarlardaki O₂ bile korunmuş tortul organik maddenin miktarını etkileyebilir (Canfield 1994, Van Cappellen ve Ingall 1994, Tyson 1995). Çökme ortamlarının paleo-redoks koşullarını belirlemek, çökme ortamı şartlarının indirgeyici (H₂S'li) veya O₂'li olup olmadığının bilinmesi anlamını taşır. O₂'siz veya O₂'li su koşulları, o ortamdaki O₂ konsantrasyonunun derecesini ifade eder. O₂ seviyelerine göre redoks koşulları dört ana bölümde değerlendirilir. Bunlar; oksik (bol O₂'li), suboksik/disoksik (kısmi O₂'li), anoksik (çok sınırlı O₂'li) ve öksinik (O₂'siz) olarak sınıflandırmıştır (Tyson ve Pearson 1991, Tribovillard vd. 2006). Redoks belirteci iz elementler çoğunlukla sınırlı O₂'nin olduğu anoksik ortam koşullarında zenginleşirler. Bu iz elementler sırasıyla;

Vanadyum (V), Uranyum (U) ve Molibden (Mo), Çinko (Zn), Nikel (Ni), Bakır (Cu) ve Kobalt (Co)'dır (Cruse ve Lyons 2004, Algeo ve Maynard 2004, Tribovillard vd. 2006). Sucul ortamlarda elementlerin dip sedimanlarına difüzyonu birtakım süreçlerle ilişkilidir. Bu süreçlerden biyolojik olanlarda iz elementlerden bazıları algler tarafından biyobesin olarak kullanılırlar (Algeo ve Maynard 2004, Tribovillard vd. 2006). Bu elementlerden örneğin Zn, Ni, Cd veya Cu planktonik alglerce oldukça fazla kullanılırlar (Brumsack 2006). Sucul ortamlarda birincil üretkenliğin artması iz elementlerin organik madde ile birlikte tortullara difüzyonunu hızlandırır (Algeo ve Maynard 2004). Biyojenik etkiye sahip olmayan süreçler genellikle H₂S'li sülfidik anoksik koşullarda etkilidir. H₂S'li sülfidik anoksik koşullarda iz elementler mineral maddeler veya organik maddeye absorbe/adsorbe olurken pirit veya markazit gibi demir sülfidlerle veya Fe ve Mn oksidantlara adsorbe olarak çökebilir (Algeo ve Maynard 2004, Tribovillard vd. 2006).

Redoks koşulu yukarıda da belirtildiği üzere kayacın organik maddece zenginliğini kontrol eden çok önemli bir göstergedir. Organik maddece zengin bitümlü kayalar çok önemli hidrokarbon kaynağı olmaları yanında aynı zamanda da çok önemli ana, iz ve nadir toprak elementi (NTE) deposudurlar. Ülkemizde bitümlü çamurtaşlarının (bitümlü kilitaşı, bitümlü şeyl ve bitümlü marn) redoks koşullarının belirlenmesine yönelik çalışmalar son derece sınırlıdır. Bu çalışmalardan bazıları şunlardır: Engin (2013), Koralay ve Sarı (2013), Sarı ve Arslan (2019), Sarı ve Koca (2012),

(Sarı vd. 2010, Sarı vd. 2016), Vosoughi Moradi vd. (2016). Bu çalışmada da ilk kez İlgin (Konya) havzasındaki organik maddece çok zengin Miyosen yaşlı bitümlü kilitaşlarındaki redoksa duyarlı iz elementler; V, U, Mo, Zn, Ni, Cu, Co'ın jeokimyasal davranışları araştırılmış ve havzanın redoks koşulları ortaya konulmuştur.

2. Stratigrafi

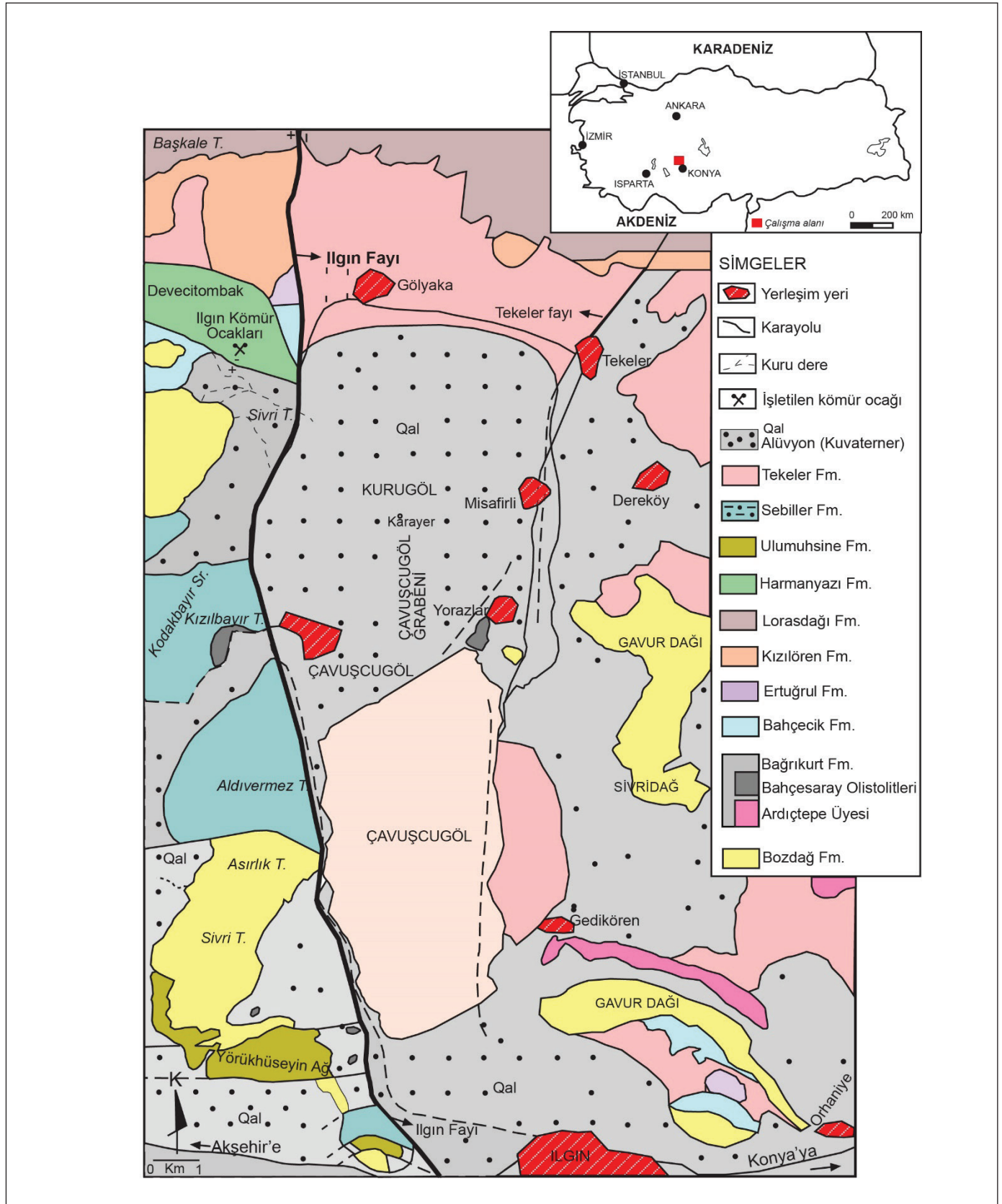
Bu çalışmaya konu olan organik maddece çok zengin Miyosen yaşlı bitümlü kilitaşları Konya ilinin kuzeybatısında yer alan İlgin kömür sahasında bulunmaktadır. Havzada ekonomik olarak işletilen ve kalınlıkları 0.60-21.55 m arasında değişen, alt kömür ve üst kömür olmak üzere iki adet kömür damarı vardır. Miyosen döneminde havzada ilk önce bataklık koşullarının gelişimi ile kömürleşme dönemi başlamış, devamında ortamın kısmen derinleşmesi ile birlikte suda artan oksijen, fosfat ve nitrat gibi besinler alglerin yaşaması için uygun koşulları oluşturmuştur. Ancak, daha sonra ortamda tekrar sığlaşma ve bataklık koşullarına dönmeye birlikte, ikinci bir kömür çökelişi gerçekleşmiştir. İkinci kömür çökelişiminin devamında ise ortam hızlı bir şekilde derinleşmiş ve yine göl ortamında artan oksijen ve besin tekrar algal yaşam için uygun koşulları oluşturmuştur. Bu dönem içerisinde üst su kolonundaki uygun şartlar bol miktarda fitoplankton alglerin çoğalmasına yol açmıştır. Ancak aşırı alg çoğalmasıyla birlikte sudaki oksijen ve besin miktarının canlıların ihtiyaçlarını karşılayamaz hale gelmesi sonucu alglerin ölümü gerçekleşmiş ve tabanda indirgen, H₂S'li sülfidik anoksik koşulların oluşmasına yol açmıştır. Bu anoksik koşullarla birlikte İlgin havzasında OM zengin bitümlü kilitaşlarının çökelişi gerçekleşmiştir. İlgin havzasının da içerisinde yer aldığı bölgede Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı birimler yer almaktadır. Bu birimler bölgede çok etkili olan Alpin tektonik hareketlerinden şiddetli bir şekilde etkilenmişler ve bunun sonucu olarak da yoğun bir deformasyona maruz kalmışlardır. Çalışma alanında kuzey güney yönünde uzanan İlgin fayı tüm sahayı ikiye ayırmış durumdadır (Şekil 1). İlgin havzasında en altta Paleozoyik yaşlı Formasyonlar bulunmakta olup onun üzerinde Mesozoyik yaşlı formasyonlar açılı uyumsuzlukla yer alırlar. Bu makalede kullanılan stratigrafik istif "General Topics in Geology and Earth Sciences 1 (Chapter II)" (Sarı vd. 2023) kitap bölümünden alınarak yararlanılmıştır.

Çalışma alanında Mesozoyik yaşlı formasyonlar sırasıyla alttan üste doğru açılı uyumsuz olarak şu şekilde sıralanırlar (Şekil 2); İstif, tabanda Alt Triyas yaşlı Bahçecik formasyonu ile başlar. Birim, metakırıntılılar ve fillitlerden oluşur. Üzerine yine Alt Triyas yaşlı Ertuğrul formasyonu gelir ve

bu birim metakarbonat-metakırıntılı ardalanmasından oluşur. Onunda üzerinde ise Üst Triyas-Alt Jura yaşlı Kızılören formasyonu bulunur ve bitüm kokulu dolomitlerden meydana gelir. Bu birim üzerine ise Alt Jura-Alt Kretase yaşlı Lorasdağı formasyonu gelir. Lorasdağı formasyonu dolomit ve kalsitik dolomit çökelişiminden oluşmaktadır. Havzada Mesozoyik yaşlı bu birimlerin üzerine yine açılı uyumsuzlukla Neojen yaşlı formasyonlar gelmektedir. Neojen yaşlı birimlerde stratigrafik olarak alttan üste doğru şu şekilde sıralanırlar; Orta Miyosen (Orta Serravaliyen) yaşlı (Karayığit vd. 1999) Harmanyazı formasyonu; bitümlü kilitaşı, marn ve kömürlerden meydana gelir. Bu birim üzerine Üst Miyosen-Alt Pliyosen yaşlı Ulumuhsine formasyonu gelmekte olup, birim tabanında konglomera ve kumtaşları ile başlar ve en üst seviyelerinde ise kireçtaşları son bulur. Ulumuhsine formasyonu üzerine genellikle kilitaşı, konglomera ve değişik boyutlu kırıntılılardan oluşan Pliyosen yaşlı Sebiller formasyonu ile onunda üzerinde karbonat ve demir çimentolu, kireçtaşı ve dolomitik kayaç parçalarının oluşturduğu Üst Pliyosen-Kuvaterner yaşlı Tekeler formasyonu yer alır (Hüseyinca ve Eren 2007). Neojen yaşlı bu birimler üzerinde ise en genç tutturulmamış çökeller olan güncel alüvyonlar yer alır.

3. Gereç ve Yöntemler

Bu makaleye konu olan kayaç materyallerini; 14 adet bitümlü kilitaşı ve 2 adette kömür örnekleri oluşturur. İlgin (Konya) sahasındaki linyit türü taban kömürlerinin üzerinde çökelemeye başlayan (RE-1 no'lu örnek) ancak daha sonra gölün sığlaşması ile çökelişi son bulan ve daha sonra tavan kömürlerinin çökelişiminden itibaren de sürekli şekilde derinleşen göl ortamında çökelen, organik madde içerikleri çok yüksek bitümlü kilitaşı seviyelerinden sistematik şekilde alınan (RE-2 - RE-14) bitümlü kilitaşı örnekleri bu makalenin asıl incelenen materyalleridir. Ayrıca, havzanın tabanında yer alan Alt kömür ve daha sonra çökelmiş olan Ara kömür tabakasından alınan 2 adet örnekte diğer materyalleri oluşturmaktadır. Bu çalışmada, Miyosen yaşlı Harmanyazı formasyonuna ait bitümlü kilitaşı örnekleri üzerinde organik jeokimyasal amaçlı Piroliz (%TOC) analizleri yapılmıştır. Piroliz analizleri TPAO Ar-Ge Merkezi Müdürlüğü laboratuvarlarında Rock Eval-VI cihazı ile Institut Français du Pétrole (IFP) 160000 standardı kullanılarak yaptırılmıştır. Bitümlü kilitaşı ve kömür örneklerinde ana ve iz element analizleri de Ankara Üniversitesi Yerbilimleri Araştırma ve Uygulama Merkezi laboratuvarında ICP-OES (Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry) model cihaz kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 1. İnceleme alanına ait jeoloji haritası (Hüseyinca ve Eren 2007).

ÜST SİSTEM		SİSTEM		SERİ		FORMASYON		KALINLIK (m)		SİMGELER		LİTOLOJİ		AÇIKLAMALAR																					
SENOZOYİK												MESOZOYİK												PALEOZOYİK											
NEOJEN												ALT JURA-ALT KRETASE												DEVONİYEN - ALT PERMYEN											
ÜST PLYOSEN				MIYOSEN				ALT MIYOSEN				ORTA TRIYAS-ALT JURA				ALT TRIYAS				BAĞRIKURT				ÜST SİLÜRİYEN-ALT KARBONİFER											
TEKELER				HARMAN-YAZI				ULUMUH-SINE				KIZIL-ÖREN				ERTUĞRUL				BAĞRIKURT				BOZDAĞ											
ALÇUYON				HARMAN-YAZI				LORASDAĞI				KIZIL-ÖREN				ERTUĞRUL				BAĞRIKURT				BOZDAĞ											
60				120				400				250				100				800				1000											
Tt				Th				TR-KI				TR-JK				TR-e				D-Pba/ D-Pb/ D-Pbbj				S-Cb											
												Kahve-gri renkli çok çeşitli boyutlu tutturulmamış malzeme												Merceksi geometrili, beyaz renkli, masif, dış kökenli rekrystalize kireçtaşı											
												Açısal uyumsuzluk												Gri, yeşil, kahve renkli orta-kalın tabakalı metakonglomera, metakumtaşı ve fillit											
												Karbonat ve kil çimento, iri blok, blok, kum boyutlu malzeme içeren tabakalı konglomera												Kalın tabakalı, siyah renkli, dolomitik mermer üyesi											
												Sarı, kırmızı, beyaz renkli kil, kilitaşı ve tutturulmuş konglomera												Beyaz, mavimsi gri ve siyah renkli, orta-kalın tabakalı, masif görünümlü bitüm kokulu mermer											
												Tabanda çakıl, blok ve fillit parçalı konglomera içeren sarı, krem renkli kireçtaşı																							
												Beyaz, gri, sarı, turuncu, kahve renkli kilitaşı, marn, kireçtaşı ve kömür																							
												Açısal uyumsuzluk																							
												Açık mavi-gri renkli, orta-kalın tabakalı dolomit mermer																							
												Koyu mavi-lacivert renkli orta-kalın tabakalı, bitüm kokulu, dolomit mermer																							
												Sarı, pembe renkli, orta-kalın tabakalı mermer ve fillit																							
												Mor renkli konglomera, metakumtaşı ve fillit																							
												Açısal uyumsuzluk																							

Şekil 2. İnceleme alanının stratigrafik kolon kesiti (Hüseyinca ve Eren 2007).

4. Jeokimyasal İncelemeler

Bu çalışmada Ilgın (Konya) yöresinde Miyosen yaşlı Harmanyazı Formasyonuna ait bitümlü kilitaşlarının tabandan tavana kadar en iyi görüldüğü yer olan Ilgın açık kömür ocağında bitümlü kilitaşlarına ait bir ölçümlü stratigrafik kesit alınmıştır. Bu amaçla da tabandaki linyit kömürü seviyesinden başlayarak tavana kadar sistematik olarak bitümlü kilitaşlarından 14 adet örnekleme yapılmıştır (Şekil 3).

ÖRNEK ADI	KALINLIK (m)	LİTOLOJİK BİRİM
RE-14	40 cm	Bitümlü Kilitaş
RE-13	30 cm	Bitümlü Kilitaş
RE-12	40 cm	Bitümlü Kilitaş
RE-11	20 cm	Bitümlü Kilitaş
RE-10	25 cm	Bitümlü Kilitaş
-	4 cm	Kilitaş
RE-9	10 cm	Bitümlü Kilitaş
RE-8	40 cm	Bitümlü Kilitaş
RE-7	100 cm	Bitümlü Kilitaş
RE-6	20 cm	Bitümlü Kilitaş
RE-5	20 cm	Bitümlü Kilitaş
RE-4	200 cm	Bitümlü Kilitaş
RE-3	100 cm	Bitümlü Kilitaş
RE-3/2	20 cm	Bitümlü Kilitaş
RE-2	40 cm	Bitümlü Kilitaş
RE-1 Ara Linyit	50 cm	Linyit
RE-1	50 cm	Bitümlü Kilitaş
RE-1 Alt Linyit	1000 cm	Linyit

Şekil 3. Harmanyazı Formasyonuna ait ölçümlü stratigrafik kesit.

Harmanyazı Formasyonuna ait ölçümlü stratigrafik kesitten derlenen kömürler ile bitümlü kilitaş örneklerine ait ana ve iz element analiz sonuçları da Çizelge 1'de verilmiştir.

Sucul sistemlerde iki kaynaktan su kütesine iz elementlerin girişi sağlanır. Bunlardan birincisi kıtasal kabuğun aşınması ve erozyonu sonrası metallerin denizlere ve göllere flüviyal veya eolien olarak taşınması, ikincisi de hidrotermal aktivitelere (Neumeister vd. 2016). Su kütesi içerisinde çözümlü halde bulunan iz elementlerin su kütesinden dip sedimanlarına difüzyonuyla da tortullarda iz element zenginleşmeleri meydana gelmektedir. Hidrotermal aktivite özellikle Ba, Sr, Pb, Zn ve Mn gibi iz elementlerin önemli bir kaynak potansiyelini oluşturur ve uygun mineral fazlarda bu elementler zenginleşebilir (Tribovillard vd. 2006). İz elementlerin su kolonu boyunca hareketi, elementlerin su kütesinden organik madde ile sapropel difüzyonu ve tortullarda kalması çökeltme veya diyajenik ortamlarda gerçekteşen çeşitli biyojenik ve kimyasal süreçlerle meydana gelmektedir (Neumeister vd. 2016). Ana ve iz elementlerin tortullara taşınmasını gösteren farklı mekanizmalar Şekil 4'de gösterilmiştir.

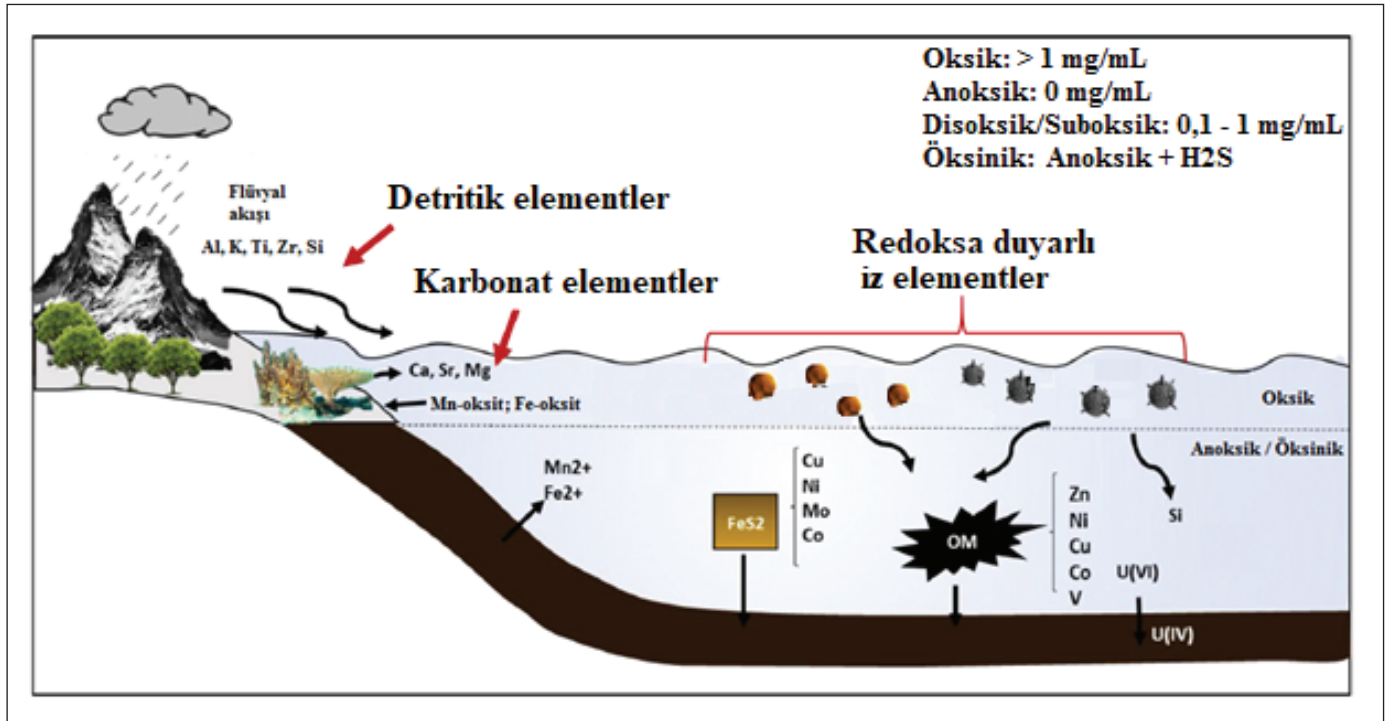
İz elementlerin su kütesinden sapropelik tortullara difüzyonu dört grupta incelenebilir: (1) Elementlerin su kütesinden sapropel'e organik madde ile difüzyonu (2) Elementlerin su kütesinden sapropel'e Pirit (FeS_2) ile difüzyonu (3) Elementlerin su kütesinden sapropel'e Mangan oksidhidroksitler ile difüzyonu, (4) Elementlerin su kütesinden sapropel'e Metal sülfidler (FeS_2 , CuS , ZnS , MoS_2 ... vb) şeklinde difüzyonu.

4.1. İz Elementlerin Su Kütesinden Sapropel'e Organik Madde ile Difüzyonu

Tortullar içerisindeki iz elementlerin zenginleşmelerinde su kolonu içerisinde çözümlü halde bulunan iz elementlerin türü ve bolluğu ile OM arasındaki etkileşim çok önemlidir (Marolf 2014). Çünkü, suda çözümlü haldeki bulunan iz elementlerin özellikle fito ve zooplanktonlar tarafından bir biyobesin maddesi olarak kullanıldıkları bilinmektedir. Bu ise iz elementlerin su kolonundan OM tarafından absorblanarak organometalik ligandlar şeklinde dip tortullarına difüzyonunu sağlamaktadır. Bu süreçle birlikte üst su kolonundaki organik üretkenliğin artmasıyla tortullara iz elementlerin taşınmasında artacaktır (Algeo ve Maynard 2004). Örneğin, OM tarafından sudan süpürülerek dip sedimanlarına nakledilen Ni ve Cu hem tortuya OM akışının göstergesi olarak kabul edilebilir hemde organik maddenin oksidasyonla alterasyonu/parçalanması sonucu OM'den ser-

Çizelge 1. Harmanyazi Formasyonu bitümlü kilitaşı örneklerine ait TOC, ana ve iz element sonuçları (TOC %, ana ve iz elementler ppm).

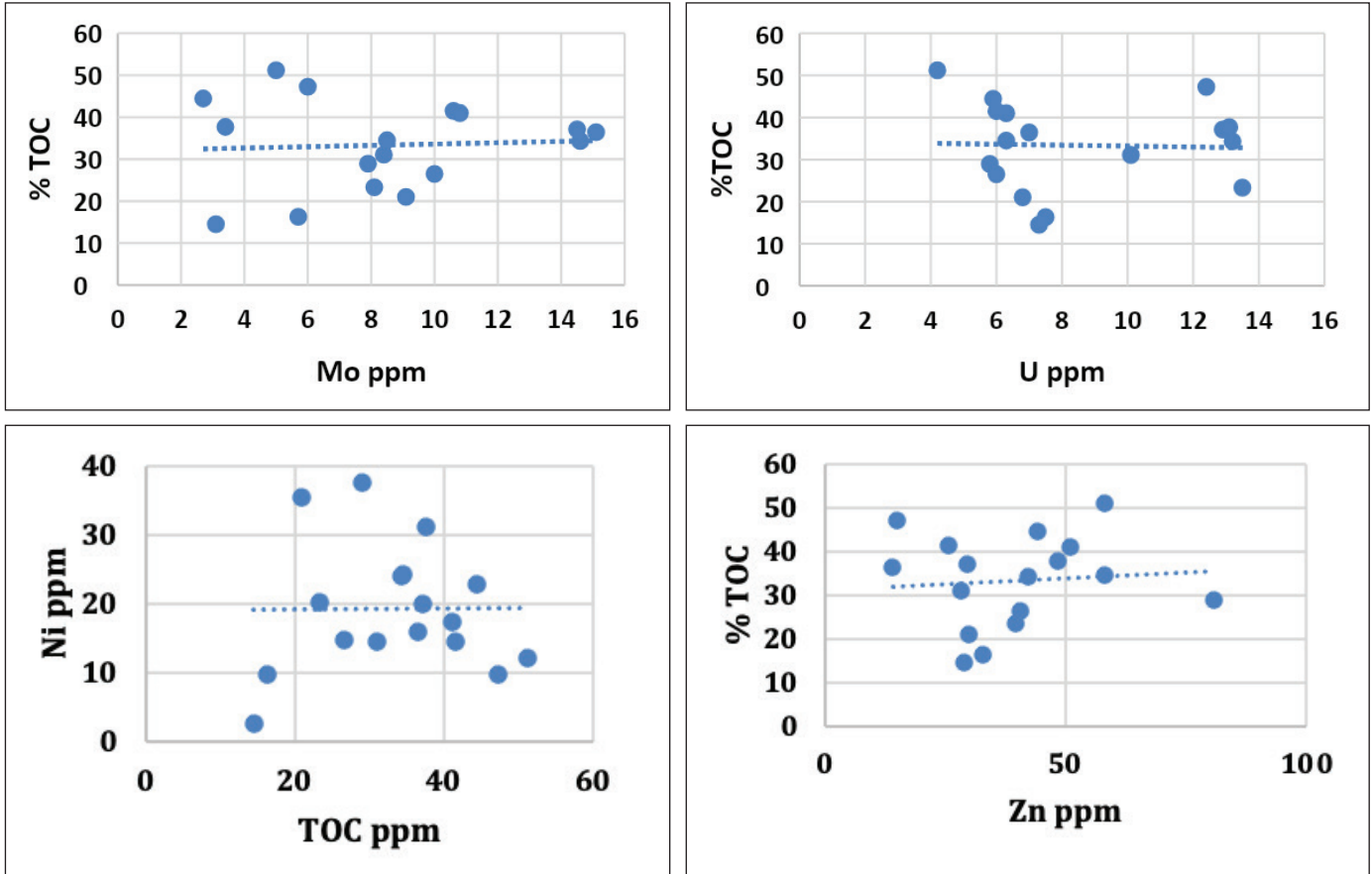
	TOC	S	Cu	Ni	U	Zn	V	Co	Fe	Al	Cr	Mo	Mn	Th
RE -14	14.52	17698.1	1.5	2.6	7.3	28.9	7.28	14.7	23219.9	4928	19.8	3.1	1107.5	3.0
RE -13	34.32	91794.6	16.2	24	13.2	42.2	50.4	58.6	109633.5	16355	32.2	14.6	100.9	5.6
RE -12	21.00	36797.9	9.8	35.5	6.8	30.0	7.28	42.9	43162.3	13804	88.2	9.1	556.0	5.1
RE -11	41.52	82943.5	7.5	14.4	6.0	25.8	14.1	44.1	87269.05	4473	5.0	10.6	81.9	1.1
RE -10	26.50	43614.4	11.0	14.8	6.0	40.7	30.4	35.4	64715.7	9247	9.3	10.0	196.0	2.9
RE -9	23.33	59754.6	6.9	20.2	13.5	39.6	20.3	41.2	93068.4	14058	16.2	8.1	271,	5.0
RE -8	37.69	37050.2	14.0	31.1	13.1	48.5	53.7	15	72048.3	33642	23.5	3.4	335.3	6.8
RE -7	44.44	52345.3	14.0	22.7	5.9	44.2	29.6	36.5	61260.5	24475	36.2	2.7	220.8	4.9
RE -6	16.29	35207.9	5.9	9.8	7.5	32.7	7.8	39.7	53927.9	8839	8.6	5.7	546.0	3.6
RE -5	40.99	93156.3	14.9	17.4	6.3	50.9	18.6	52.9	110266.8	9093	26.6	10.8	137.1	3.8
RE -4	28.93	28603.7	28.0	37.6	5.8	80.7	52.6	42.5	41795.8	31054	29.4	7.9	322.1	11.1
RE -3	37.12	116665.7	21.0	20.0	12.9	29.5	8.7	30.1	150207.2	4885	6.1	14.5	59.2	1.1
KI-3/2	34.51	59314	16.1	24.2	6.3	58.0	6.1	53.4	97812.4	1401	13.9	8.5	126.7	2.1
RE -2	31.07	77897.2	8.0	14.5	10.1	28.4	8.9	20	129542.6	12354	6.0	8.4	363.2	3.5
Ara Kömür	51.19	84225.1	9.5	12.2	4.2	58.1	4.2	38.4	75614.6	4885.4	4.1	5.0	85.1	3.1
RE-1	36.41	100165.1	16.1	15.9	7.0	14.0	12.9	96.3	153762.4	18504	56.5	15.1	184.3	6.4
Alt Kömür	47.26	26577.1	15.1	9.6	12.4	14.9	25.9	13.7	14776.3	18504.3	15.5	6.0	197.7	1.2

**Şekil 4.** Ana ve iz elementlerin sapropelik tortullara taşınma/difüzyon mekanizmaları (Berryman 2008, Ekwunife 2017).

bestlenen Ni ve Cu'nun sonrasında H_2S 'li sülfidik koşullarda tortullarda Ni ve Cu'nun sülfid mineralleri formunda çökelmeleri gerçekleşir (Tribovillard vd. 2006). Hem Zn, Cd biyobesin olmasından dolayı (Morford ve Emerson 1999) sucul ortamlarda kalış süreleri nispeten kısa sürelidir (~ 50 k.y). Hem Zn hem de Cd'un her ikisi de OM ile ilişkilidir ve sülfidik şartlarda tıpkı Cu ve Ni'e benzer şekilde OM'den serbestlenerek gözenek suyuna bırakılırlar ve sülfürlü bileşikler oluşturlar (Tribovillard vd. 2006). Algeo ve Maynard (2004) ve Tribovillard vd. (2006)'e göre O_2 'li ve yarı O_2 'li su koşullarında iz elementler çoğunlukla OM ile ilişki kurmazlar. Bu araştırmacılar göre; indirgeyici anoksik koşullar da ise OM ile iz elementler güçlü korelasyon ilişkisi kurarlar. O_2 'li ve yarı O_2 'li su koşullarında tortullardaki Mo zenginleşmesi U ve V'a göre daha düşüktür. O_2 'nin olmadığı ve bol kükürtlü indirgen öksinik koşullarda da iz elementler en düşük değerlik durumuna indirgenirler, bu koşullarda ya su sütunundan doğrudan veya tortul su arayüzeyinde oksidasyon ve çözünmeyen metal sülfidler şeklinde bileşikler çökebilir. Bu şartlarda OM ile zayıf korelasyon gösteren güçlü U ve V zenginleşmesine neden olur. Çünkü O_2 'nin olmadığı bol

kükürtlü indirgen öksinik koşullarda U ve V OM'den ziyade çoğunlukla otojenik mineral fazında çökelmeyi tercih etmektedir. Bu koşullarda organik fazda bulunan Ni ve Cu elementleri piritte de (FeS_2) katılabilirler. Mo elementi ise hem FeS_2 ve hemde OM ile olan güçlü bağı sayesinde tortullarda oldukça güçlü bir zenginleşme gösterir. Öte yandan, O_2 'li ve yarı O_2 'li su koşullarında Ni, Cu, Mo, U ve V'un OM ile yakın bir ilişkisi bulunmamaktadır. Ortam koşulları indirgen sülfidik şartlara doğru dönmeye başladığında Ni, Cu, Mo, U ve V OM ile yakın ilişki kurmaya başlarlar.

İlgın sahasına ait bitümlü kilitaşı örneklerinde Mo, U, Ni ve Zn'nun Toplam Organik Karbon (%TOC) ile korelasyon ilişkisi incelendiğinde Mo'nin %TOC ile ($r=0.529$) olan orta derecedeki korelasyonu ile Mo'nin sedimana difüzyonunda OM'nin kısmen etkili olduğu anlaşılmaktadır. %TOC'nun U ($r=0.083$), Ni ($r= -0.030$) ve Zn ile ($r= 0.216$) çok zayıf ve zayıf korelasyonları ise U, Ni ve Zn'nun sedimana difüzyonunda OM'nin etkili olmadığı ve hümik asitlerdeki organometalik ligandlar şeklinde bir çökeliminin olmadığı görülmektedir (Şekil 5).



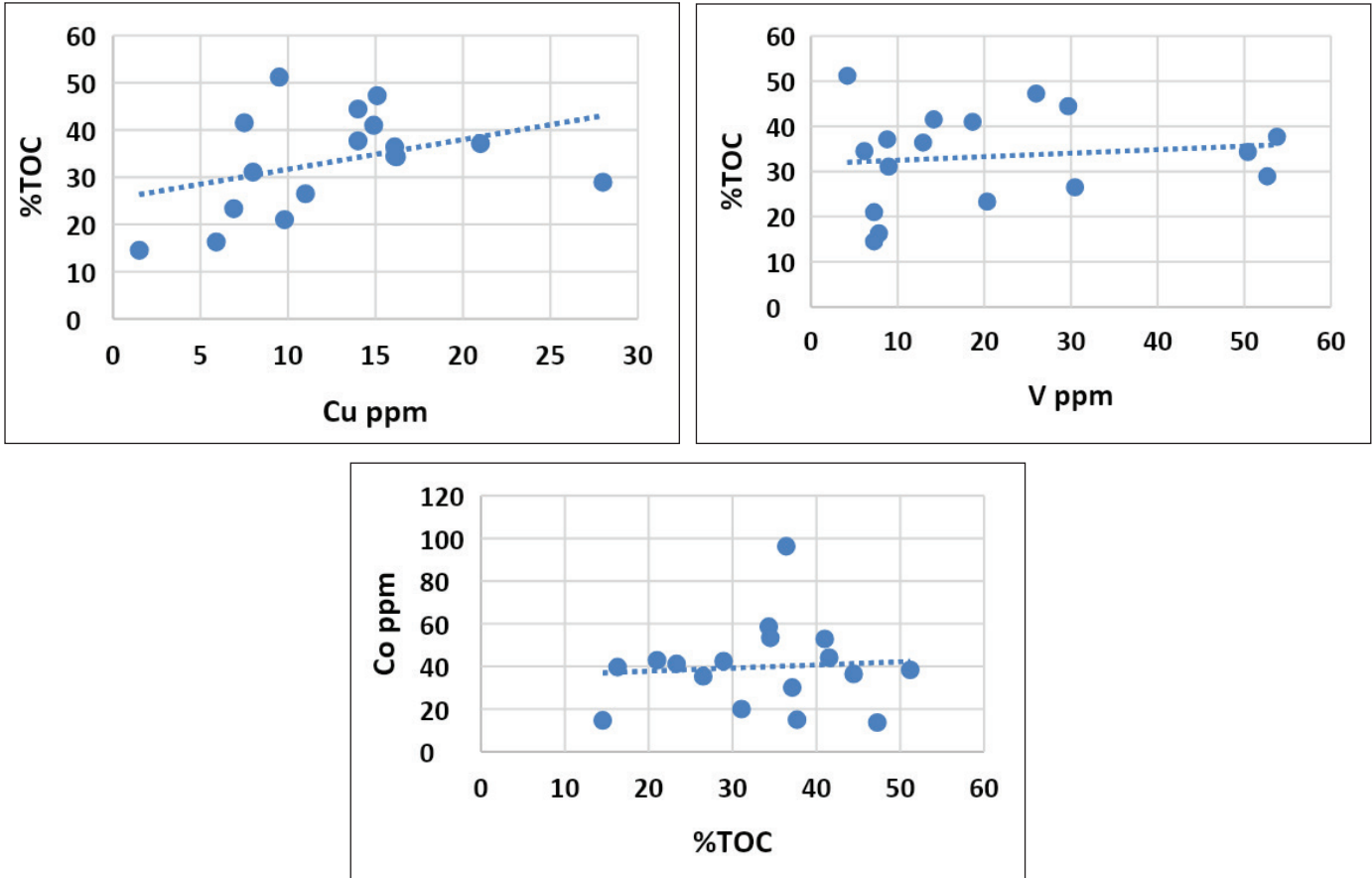
Şekil 5. %TOC'un Mo, U, Ni ve Zn ile korelasyon ilişkisi.

Depolanma ortamının redoks şartlarına göre V, Cu ve Co elementleri genellikle OM ile birliktelik gösterebilirler ve bu şartlarda çoğunlukla da V, Cu ve Co redoks göstergesi olarak kullanılırlar. Ancak, incelenen örneklerde %TOC'un V ($r=0.124936$), Cu ($r= -0.230$) ve Co ile ($r=0.0768$) olan çok zayıf ve zayıf korelasyonları bu elementlerin göl suyundan sediman içerisine difüzyonunda organik maddenin hiç bir rolünün olmadığına işaret etmektedir (Şekil 6).

4.2. İz Elementlerin Sapropel Çökel İçerisine Pirit ile Difüzyonu

Tortullar içerisindeki OM birikimi sıklıkla mikrobiyal sülfat indirgemesine bağlı olup, aynı zamanda da tortul içerisindeki sülfür ve demir zenginleştirilmesi ile de ilişkilidir. Çözülme sülfat indirgemesi, sülfürlerin (esas olarak pirit (FeS_2)) çökeltmesi için reaktif demir ile ve organik sülfür bileşiklerini oluşturmak için OM ile reaksiyona girebilen hidrojen sülfid (H_2S) oluşumuna neden olur. Sucul ortamlarda bakterilerin sülfat indirgemesi, organik açıdan zengin tortullarla ilişkili ortak bir özelliktir ve OM'nin oksidasyonu ile ilgili kompleks redoks sisteminin bir parçasıdır (Passier ve

Lange 1998). Pirit (FeS_2) OM açısından zengin tortullarda yaygın bulunan bir mineraldir. Redoksa duyarlı veya demir sülfidlere ilgi duyan elementler indirgeyici anoksik ortam koşullarında pirit'e adsorbe olarak çökebilir (Huerta-Diaz ve Morse 1992). Bu nedenle pirit sülfidik çökel koşullarında paleoredoks göstergesi olarak değerlendirilebilir. Tribovillard vd. (2006)'ne göre diyajenez sırasında sülfidler kararlı ve hareketsiz durumdadırlar. Mo, V, Cd, Ni, Co, Cu, Zn ve Pb gibi elementler de diyajenez sırasında kararlı ve hareketsiz durumdaki Fe sülfidlere bağlanarak piritte katılmaktadırlar. Fe, oksijenli su şartlarında Fe^{+3} durumundadır ve hematit (Fe_2O_3) minerali olarak çökeler. İndirgen anoksik koşullarda ise Fe^{+3} , Fe^{+2} 'ye indirgenmektedir. Bu sebeple sedimanda veya su içerisinde bulunan Fe-oksit minerali çözünür ve serbestlenen Fe'de tekrar su kolonuna bırakılır. Bu şartlarda, ortamda şayet kükürt (S) varsa Fe^{+2} hızlı bir şekilde kükürt'ü yakalayarak piriti (FeS_2) oluşturur (Berryman 2008). Riquier vd. (2006)'ne göre de depolanma ortamlarında çökelen çoğu pirit minerali oksitlenmeye bağlı olarak serbestlenen Fe ve anoksik veya öksinik koşullardaki kükürt varlığıyla oluşmuştur. Fe elementi detritik kaynaklı bir element olma-



Şekil 6. %TOC'un V, Cu ve Co ile korelasyon ilişkisi.

makla birlikte çoğunlukla detritik elementler ile çok güçlü korelasyonlar yapar ve buda Fe'in kil yapısına girdiğine işaret eder. Alüminyum (Al) kil mineralleri için bir gösterge olduğundan Al ve Fe arasında pozitif bir korelasyonun olması da çoğunlukla Fe'nin kil mineralleri ile ilişkili olduğunu gösterir. Demir içeren kil mineralleri: illit veya şamozittir. Siderit (FeCO_3) dışındaki Fe, killere güçlü bir ilişkisi olan şamozit ile ilişkili olabilir (Rivas-Sanchez vd. 2006). Bununla birlikte, Şamozit ($(\text{Mg, Fe})_4\text{Al}_4\text{Si}_2\text{O}_{12}\cdot 10\text{H}_2\text{O}$) minerali doğada nadiren bulunur (Rivas-Sanchez vd. 2006). Bu nedenle büyük olasılıkla indirgen ve H_2S 'ce zengin anoksik ortamlarda Fe elementinin tercihi kil yapısına girmek yerine FeS_2 şeklinde pirit minerali oluşturmak olur.

Ilgın sahası bitümlü kilitaşı örneklerinde Fe'nin Al ile çok zayıf ($r = -0.19025$) bir ilişki kurması Fe'nin kil mineral fazında olmadığını göstermektedir (Şekil 7).

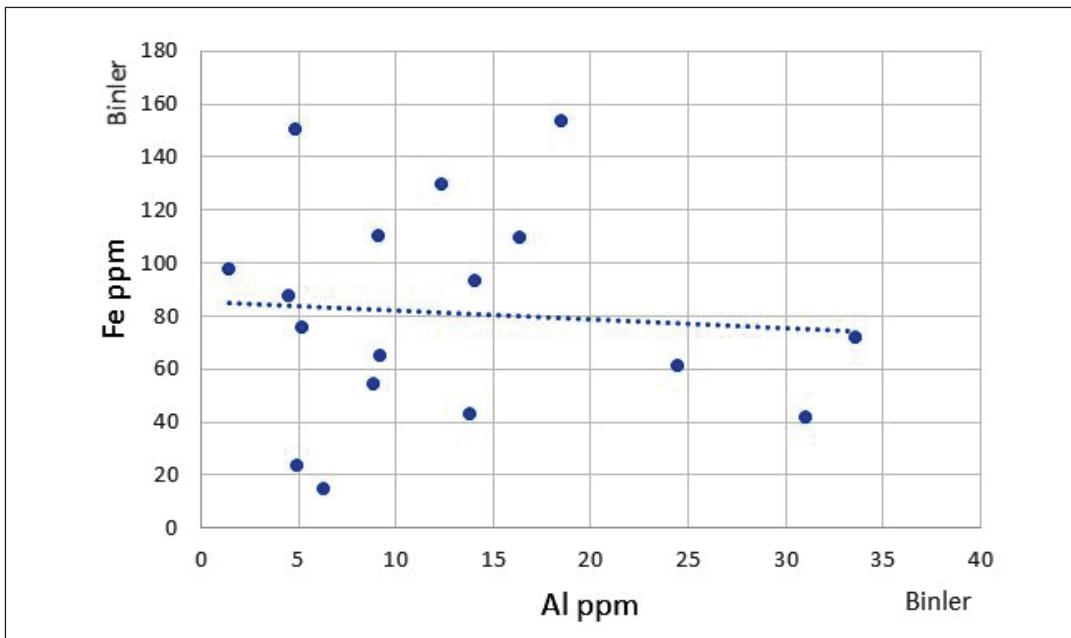
Miyosen yaşlı Harmanyazı Formasyonu'na ait ÖSK'dan derlenen bitümlü kilitaşı örneklerinde genel olarak S/Al ve Fe/Al'un tüm örneklerde birlikte hareket ettiği, sadece RE-1,4 ve 8 numaralı örneklerde S ve Fe elementlerinin birlikte hareket etmedikleri görülmektedir. Örneklerde, S değerlerinin yüksek olduğu yerlerde Fe değerlerinin de yüksek olduğu, tersine S değerlerinin düşük olduğu örneklerde de Fe değerlerinin düşük olduğu görülmektedir (Şekil 8).

İncelenen bitümlü kilitaşı örneklerinde S ve Fe elementleri arasındaki çok güçlü ($r = 0.929789$) korelasyon ilişkisi ise Fe'nin sülfür fazında olduğunu ve pirit (FeS_2) şeklinde çökelmesine işaret eder (Şekil 9).

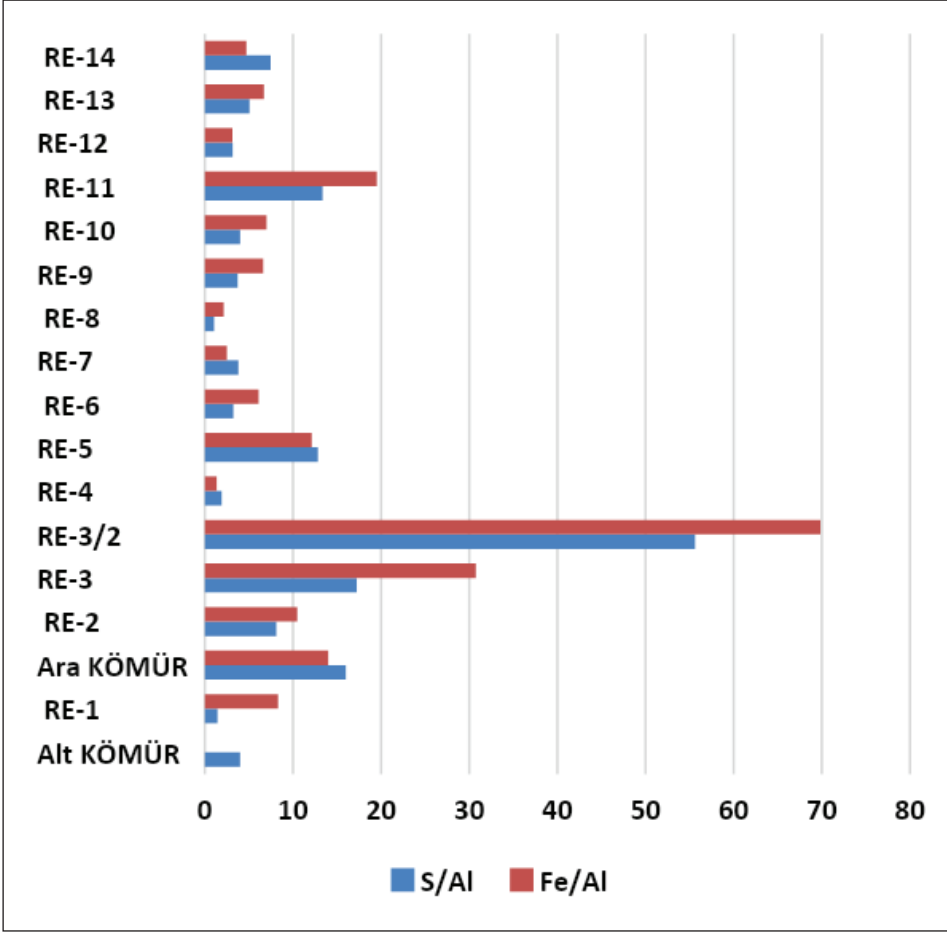
RE-1 numaralı örneğin tüm kayaç XRD grafiği paterninde Fersmite: $(\text{Ca,Ce,Na})(\text{Nb,Ta,Ti})_2(\text{O,OH,F})_6$, Jips: $\text{Ca}(\text{SO}_4)\cdot 2(\text{H}_2\text{O})$ ve Kalsit: (CaCO_3) ve Pirit: (FeS_2) mineralleri hakimdir (Şekil 10A). Bu mineraller çoğunlukla depolanma ortamının yarı indirgen olduğu disoksik/suboksik şartlarında çökelirler. Örneğin; tortul evaporit yataklarında oluşan Jips: $\text{Ca}(\text{SO}_4)\cdot 2(\text{H}_2\text{O})$ minerali en yaygın sülfat mineralidir. Genellikle halit ve indirgeyici koşullar altında kükürt mineralleri ile ilişkilidir. Kalsit: (CaCO_3) ise bir karbonat mineralidir ve genellikle plankton (kokolitler ve planktik foraminiferler gibi), kırmızı alglerin sert kısımları, bazı süngerler, brakriyopodlar, ekinodermiler, bazı serpulidler, çoğu bryozoa ve kabuk parçaları gibi deniz organizmalarının kabuklarının ve bazı çift kabukluların (istiridye ve rudistler gibi) birincil bileşenidir. Bitümlü kilitaşlarının çökeltiminde canlı organizmaların organik kısımları kayacın %TOC kısmına katılırken kabuk/kavkaları ise kalsit mineralinin bileşimine katılır.

RE-3/2 numaralı bitümlü kilitaşı örneğinin tüm kayaç XRD grafiği paterninde de piritin hakim mineral olduğu görülmektedir (Şekil 10B). Bu da, RE-3/2 numaralı örneğin çökeltimi esnasında depolanma ortamının indirgen sülfidik ve anoksik şartlarda olduğuna işaret eder.

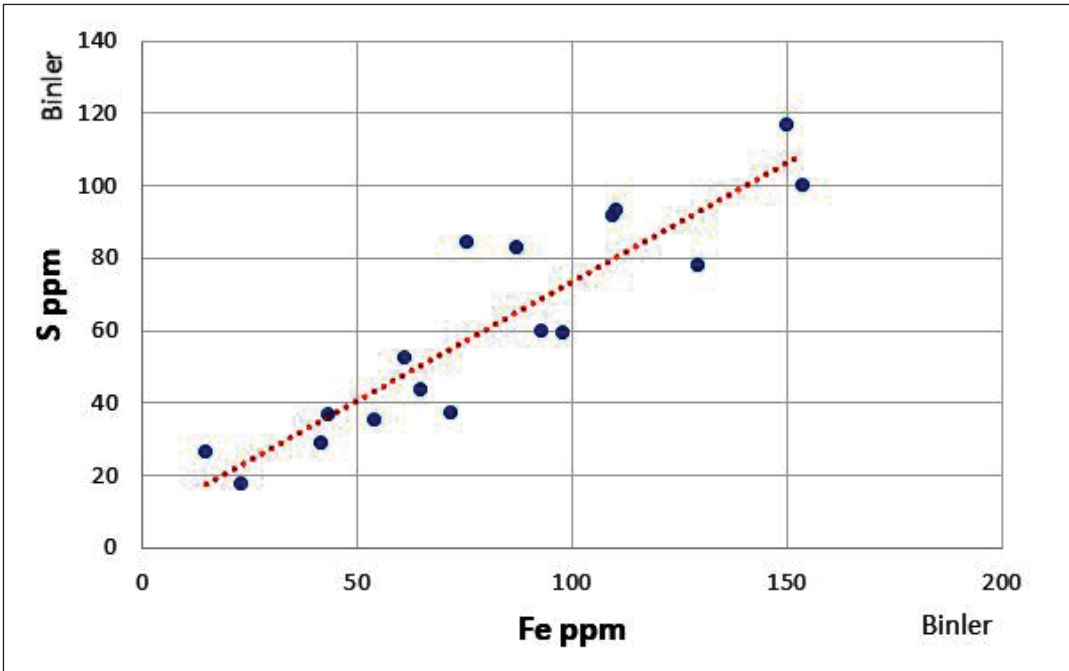
İncelenen örneklerde Fe'in Cu ($r = 0.284197$), V ($r = -0.18663$), Cr ($r = -0.15157$), U ($r = 0.204503$), Ni ($r = 0.029961$) ve Zn ile ($r = -0.14246$) olan çok zayıf ve zayıf korelasyonu, bu elementlerin sedimana difüzyonunda piritin



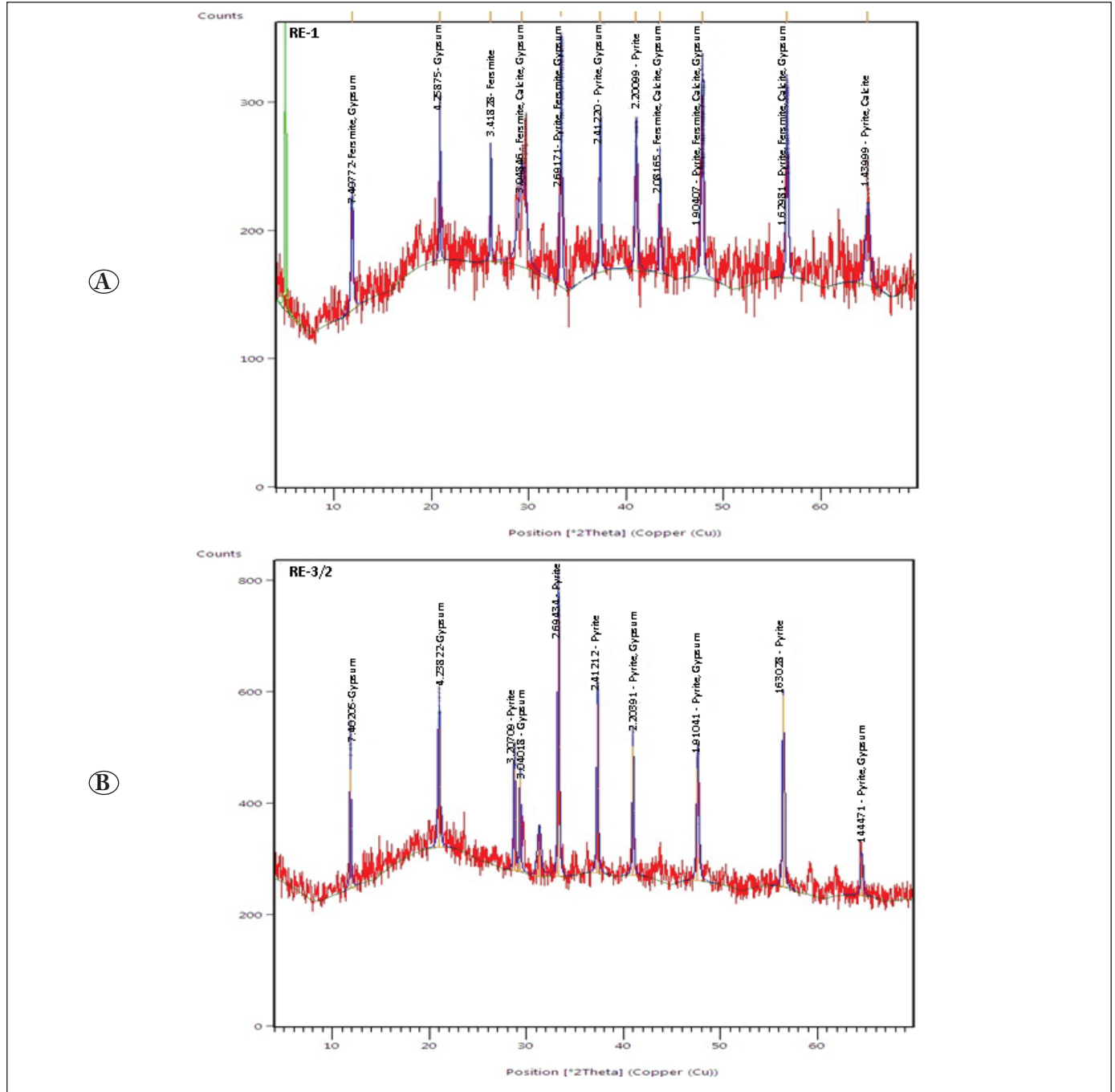
Şekil 7. Fe'in Al ile korelasyon ilişkisi.



Şekil 8. Miyosen yaşlı Harmanyazı Formasyonu bitümlü kilitaşı örneklerinde S/Al ve Fe/Al ilişkileri.



Şekil 9. S ile Fe'in korelasyon ilişkisi.



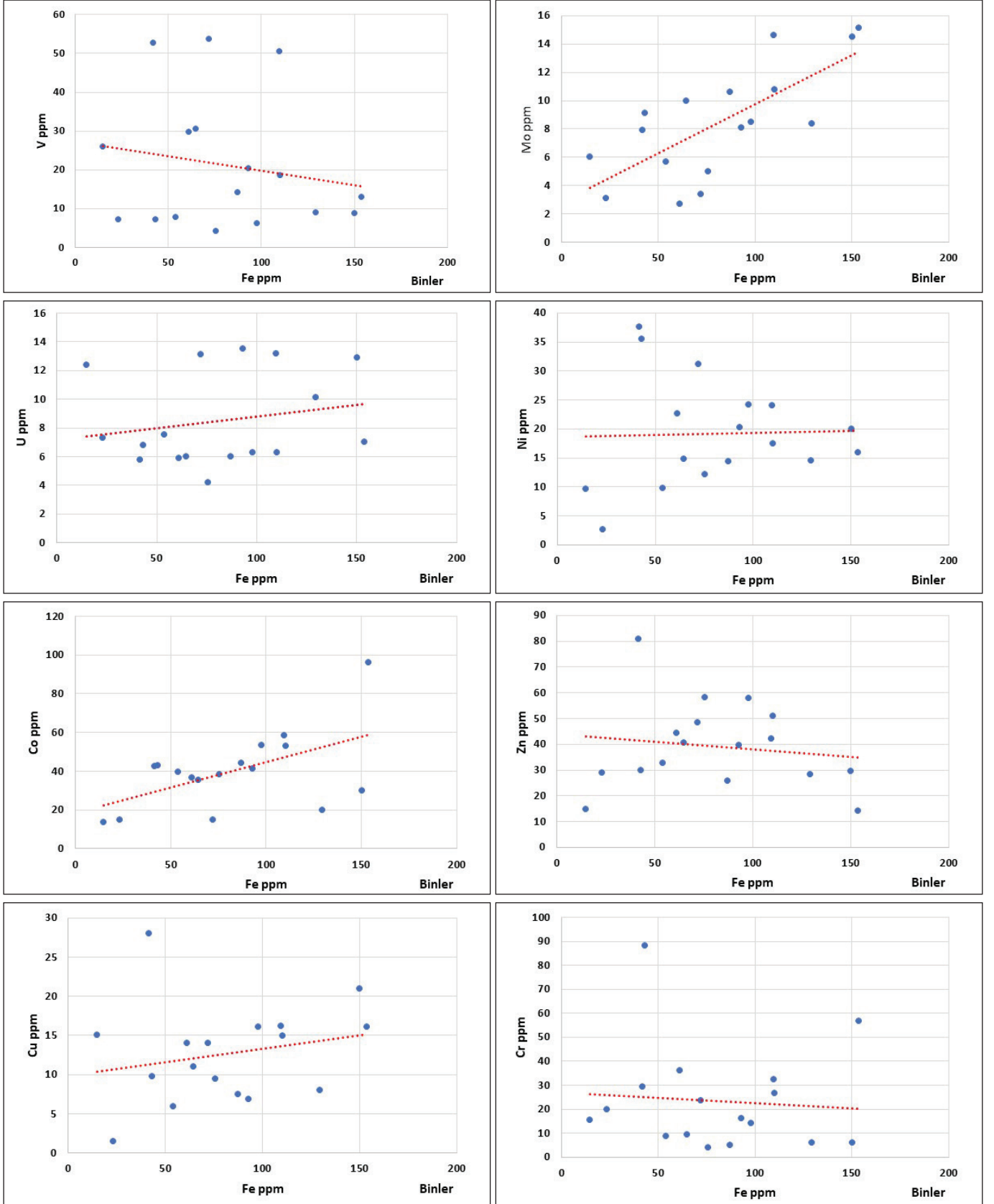
şekil 10A, B. RE-1 ve RE-3/2 nolu örnekler için tüm kayaç XRD grafiği paterni.

etkisinin olmadığını gösterirken, Fe'in Co ile ($r = 0.535261$) orta ve Mo ile de ($r = 0.722782$) güçlü korelasyon ilişkisi ise Co ve Mo'nun sedimana difüzyonunda piritin etkisinin olduğunu göstermektedir (şekil 11).

4.3. İz Elementlerin Sapropel Çökel İçerisine Metal Sülfidler (FeS₂, CuS, Zn vb) şeklinde Difüzyonu

İlgin sahası bitümlü kilitaşı örneklerinde Fe ile S arasında

görülen çok güçlü korelasyon ($r = 0.9297$) ilişkisi çökel ortamının güçlü indirgen, sülfidik, H₂S'ce zengin ve anoksik redoks koşullarında olduğuna işaret etmektedir. Bu nedenle redoksa duyarlı elementlerden Cu, Zn, Ni, Co, U ve V'un İlgin havzası paleo-göl ortamında etkili olan bol kükürtlü sülfidik ortam koşullarında sapropel çamurları içerisine metal sülfidler şeklinde (CuS, ZnS, CoS vb) taşınıp taşın-



Şekil 11. Fe'in Cu, Cr, V, U, Mo, Co, Zn ve Ni ile korelasyon ilişkisi.

madıklarını anlamak için, bu elementlerin S ile korelasyon ilişkileri incelenmiştir. Korelasyon ilişkileri incelendiğinde S ile Co arasında orta derecede ($r=0.476241$) ve Mo ile de ($r=0.72955$) kuvvetli bir korelasyon ilişkisi görülürken; S'ün Ni ($r=-0.1217$), V ($r=-0.17716$), Zn ($r=-0.35454$), Cu ($r=0.29045$) ve U ($r=0.302831$) ile de çok zayıf ve zayıf derecede bir korelasyon ilişkisinin olduğu görülmektedir (Şekil 12). Bu durum sadece Co ve Mo'nin sapropel çamurları içerisinde CoS ve MoS₂ şeklinde difüzyonlarının ve zenginleşmelerinin olduğunu; Cu, Zn, Ni, U ve V elementlerinin ise sülfid şeklinde bir difüzyonlarının ve zenginleşmelerinin söz konusu olmadığını göstermektedir (Şekil 12).

4.4. İz Elementlerin Sapropel Çökel İçerisine Mangan Oksi-hidroksitler ile Difüzyonu

Sucul ortamlarda ve özellikle denizel ortamlarda hakim Mangan (Mn) çeşidi Mn(II) olan Mn²⁺ ve MnCl²'dir. Mn(II) oksijen zengin olan su koşullarında termodinamik olarak kararsız olup, çözünmeyen Mn(III) ve Mn(IV) olarak oksidize olur. Mn-oksihidroksit olarak bilinen katı fazlı Mn(IV) ise genellikle bu ortamlarda MnO₂ ve MnOOH şeklinde bulunur. Mn-oksihidroksitlerin su kolonunda çözülmüş halde bulunan iz elementleri adsorbe şekilde sudan alarak dip tortullarına taşımada ve sonrasında da onların tortullar içerisinde otojenik olarak zenginleşmelerindeki rolleri çok önemlidir (Algeo ve Maynard 2004; Tribovillard vd. 2006).

İncelenen örneklerde Mn'in Cu ($r=-0.56285$), Zn ($r=-0.16391$), Ni ($r=-0.31868$) V ($r=-0.24324$), U ($r=-0.14227$), Co ($r=-0.37859$) ve Mo ile ($r=-0.6006$) çok zayıf korelasyon ilişkileri vardır (Şekil 13). Bu durum Cu, Zn, Ni, V, U ve Mo elementlerinin su kütlesinden Mn oksi-hidroksitler ile dip sedimanlarına difüzyonlarının olmadığını ifade eder.

4.5. Ilgın Paleo-Göl havzasının Redoks Koşullarının Belirlenmesi

Redoksa duyarlı olan Cu, Zn, Ni, V, U, Co ve Mo gibi iz elementler O₂'li su koşullarında çok fazla çözünebilir durumda iken, O₂'nin bulunmadığı öksinik ortamlarda veya O₂'nin sınırlı olarak bulunduğu suboksik/disoksik ortamlarda ise çok daha az çözünebilir haldedirler. Bu nedenle O₂'nin olmadığı veya sınırlı olarak bulunduğu öksinik veya anoksik su koşullarında çökelen tortullarda otojenik iz element zenginleşmeleri gerçekleşir (Tribovillard vd. 2006). O₂'li ve düşük O₂'li disoksik koşullarda iz elementlerin dip çamurları içerisindeki konsantrasyon seviyeleri oldukça zayıftır (Neumeister vd. 2016). Bu sebeple redoksa duyarlı olan iz element-

ler sadece O₂'nin olmadığı veya çok sınırlı olduğu indirgen ortam koşullarında çökelen tortullarda zenginleştikleri için önemlidirler. V, U ve Mo çökeltme ortamının redoks göstergesi olarak en yaygın kullanılanlardır, bunlara ilave olarak Zn, Ni, Cu ve Co da redoksa duyarlı iz elementler olarak kullanılırlar (Cruse ve Lyons 2004, Algeo ve Maynard 2004, Tribovillard vd. 2006). Birçok araştırmacı çökeltme ortamlarının redoks koşullarını anlayabilmek için, çeşitli iz elementleri kullanarak bazı temsilci yaklaşımlar ortaya koymuşlardır (McManus vd. 2005, Tribovillard vd. 2006, Scott ve Lyons 2012). Farklı iz elementleri kullanmalarının sebebi, iz element değerlerinin bölgesel ve coğrafik olarak aynı zamanda jeolojik zamanlar içerisinde çok değişkenlik göstermesi yanında, bazı elementlerinde redoks davranışlarının ortamdaki çözülmüş O₂ seviyelerine göre değişkenlik göstermesi ve bu nedenle de paleoredoks koşullarının kesin sınır değeri kanıtlarının belirlenememesi nedeniyledir (Sageman vd. 2003, Scott vd. 2008, Tribovillard vd. 2006, Algeo ve Rowe 2012, Ekwunife 2017).

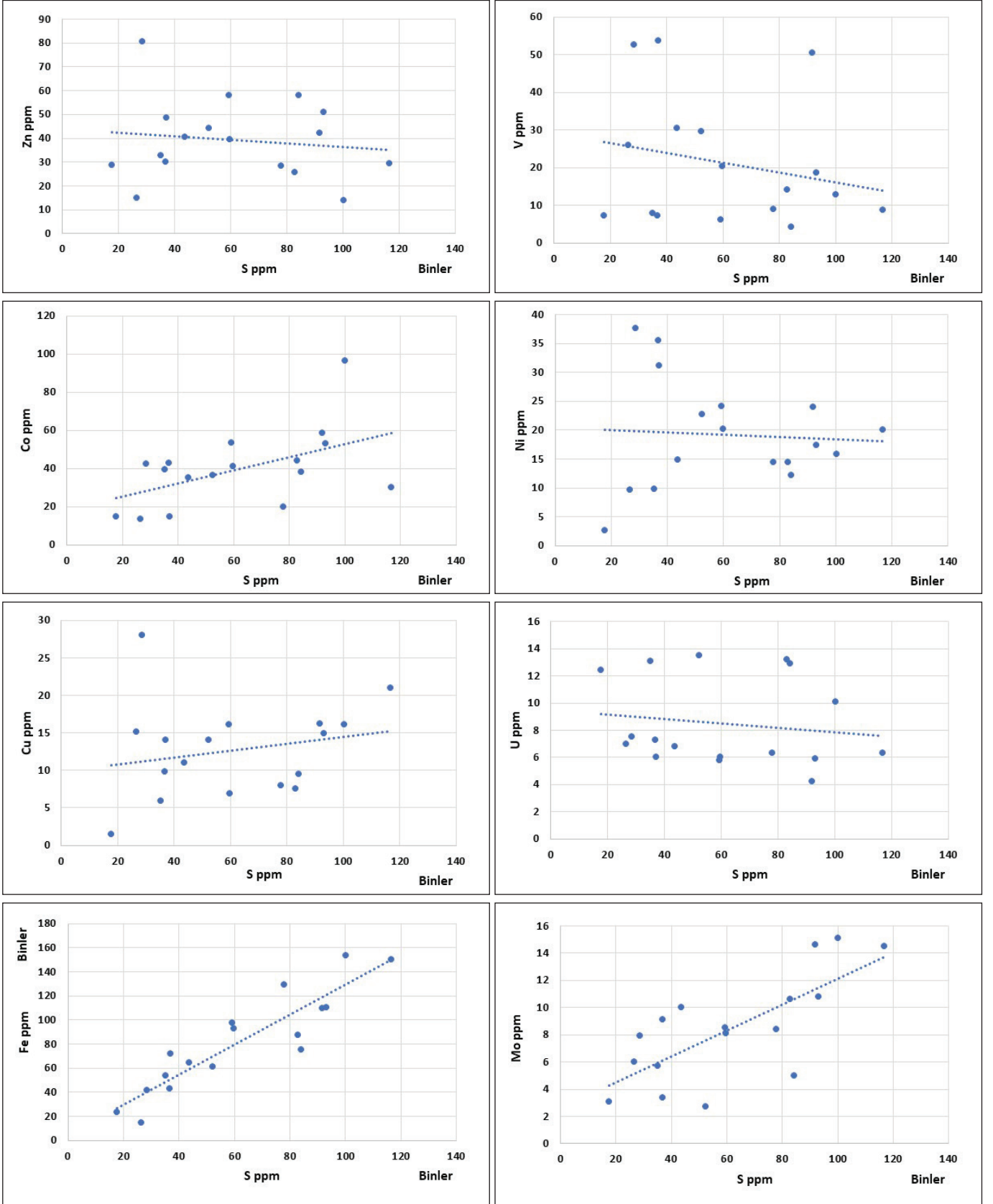
Jones ve Manning (1994) ile Hatch ve Leventhal (1992) paleoredoks koşullarını V/(V + Ni) ve U/Th oranlarına göre oksik (bol O₂'li), disoksik/suboksik (kısmen O₂'li) ve anoksik (çok sınırlı O₂'li) olarak belirlemişlerdir (Çizelge 2).

Çizelge 2. İz element oranlarına göre paleoredoks eşik değerleri. (^aJones ve Manning 1994, ^bHatch ve Leventhal 1992)

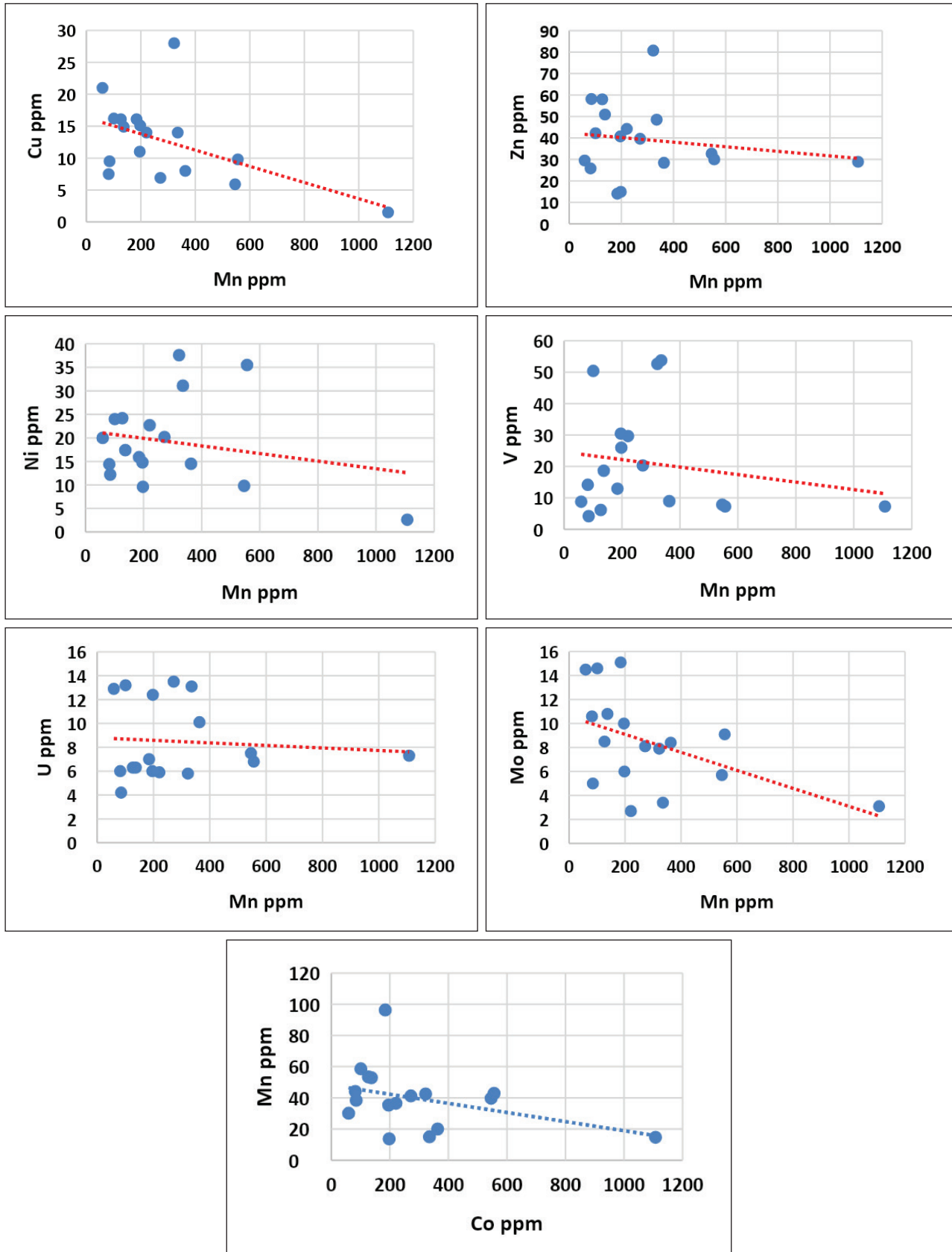
	Oksik	Disoksik/Suboksik	Anoksik
V/(V+Ni) ^b	<0.46	0.46-0.60	0.54-0.82
U/Th ^a	<0.75	0.75-1.25	>1.25

Çalışma alanından derlenen bitümlü kilitaşı örneklerinin çökeltme ortamı paleoredoks koşulları örnek bazında Çizelge 3'de gösterilmiştir.

U/Th oranlarına göre RE-4 nolu örneğin redoks koşulu oksik, RE-1 ve RE-7 numaralı örneklerin ise suboksik/disoksik çıkarken diğer tüm örneklerin redoks koşulunun anaoksik olduğu görülmektedir. Yine, V/V+Ni oranlarına göre ise RE-1,2,3,6 ve 12 numaralı örneklerin redoks koşulu oksik, diğer örneklerin redoks koşulunun ise disoksik/suboksik ve anaoksik olduğu belirlenmiştir (Çizelge 3). Oksijenli su koşullarında U elementi çözülmüş U⁺⁶ şeklindeki uranil karbonatlara dönüşebilir. Oysaki, çok sınırlı O₂'nin olduğu anoksik su şartlarında ise U çözünmeyen U⁺⁴ florid komplekslerine indirgenir ve tortullarda kararlı ve çözünmez halde bulunur. Bu nedenle O₂'siz öksinik veya çok sınırlı O₂'nin



Şekil 12. S'ün Cu, Zn, Ni, Co, U, V, Mo ve Fe ile korelasyon ilişkisi.



Şekil 13. Mn'nin Cu, Zn, Ni, V, U, Mo ve Co ile korelasyon ilişkisi.

Çizelge 3. Harmanyazı Formasyonu bitümlü kilitaşı örneklerinin iz element oranlarına göre çökeltme ortamı paleoredoks koşulları.

Örnek No	V/(V+Ni)	Yorum	U/Th	Yorum
RE-14	0.7368	Anoksik	2.4333	Anoksik
RE-13	0.6774	Anoksik	2.3571	Anoksik
RE-12	0.1701	Oksik	1.3333	Anoksik
RE-11	0.4959	Suboksik	5.4545	Anoksik
RE-10	0.6730	Anoksik	2.0689	Anoksik
RE-9	0.5016	Suboksik	2.7000	Anoksik
RE-8	0.6335	Anoksik	1.9264	Anoksik
RE-7	0.5666	Suboksik	1.2040	Suboksik
RE-6	0.4444	Oksik	2.0833	Anoksik
RE-5	0.5173	Suboksik	1.6578	Anoksik
RE-4	0.5833	Suboksik	0.5225	Oksik
RE-3	0.3054	Oksik	11.7272	Anoksik
RE-3/2	0.2029	Oksik	3.0000	Anoksik
RE-2	0.3819	Oksik	2.8857	Anoksik
Ara Kömür	0.2561	Oksik	1.3548	Anoksik
RE-1	0.4486	Oksik	1.0937	Suboksik
Alt Kömür	0.7302	Anoksik	10.3333	Anoksik

olduğu anoksik ortamlar O_2 'li ortamlara göre çok daha fazla U zenginleşmelerine sahiptir. Jeokimyasal yönden Th elementi U'a benzemekle birlikte ortamın redoks şartlarından nispeten etkilenmemektedir. Th elementi sucul ortamlarda genellikle çözünmeden kalır ve çoğunlukla da detritik taşınma yoluyla tortullara gönderilir. Bu nedenle Th redoks koşullarından etkilenmeden kararlı bir şekilde Th^{+4} olarak sistemde kalmaktadır (Wignall ve Twitchett 1996). Bu nedenle bazı araştırmacılar Th/U oranını paleoredoks koşullarını belirlemek için kullanmışlardır. Adams ve Weaver (1958)'e göre anoksik koşullarda çökelmiş olan tortullar için Th/U oranı 2'nin altında, düşük O_2 'li disoksik/suboksik koşullarda çökelmiş olan tortullarda 2-7 arasında değiştiğini ve O_2 'li ortam koşullarında çökelmiş olan tortullar içinde 7'den büyük olduğunu ifade etmişlerdir.

Th/U oranlarına göre İlgın sahası bitümlü kilitaşı örneklerinin tamamının H_2S 'ce zengin ve sülfidik olan anoksik redoks ortam koşullarında depolandığı görülmektedir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Harmanyazı Formasyonu bitümlü kilitaşı örneklerinin Th/U oranlarına göre çökeltme ortamı paleoredoks koşulları.

Örnek No	Th/U	Yorum
RE-14	0.91	Anoksik
RE-13	0.35	Anoksik
RE-12	0.09	Anoksik
RE-11	0.33	Anoksik
RE-10	1.91	Anoksik
RE-9	0.60	Anoksik
RE-8	0.48	Anoksik
RE-7	0.83	Anoksik
RE-6	0.52	Anoksik
RE-5	0.37	Anoksik
RE-4	0.48	Anoksik
RE-3	0.18	Anoksik
RE-3/2	0.75	Anoksik
RE-2	0.42	Anoksik
Ara Kömür	0.41	Anoksik
RE-1	0.91	Anoksik
Alt Kömür	0.35	Anoksik

Ernst (1970) ve Jones ve Manning (1994) ise güçlü indirgeme koşulu olan anoksik tortullardaki U/Th oranının 1.25'den büyük olduğunu, düşük O_2 'li olan disoksik/suboksik koşullarda çökelmiş tortullardaki U/Th oranının 0.75-1.25 arasında ve O_2 'ce zengin su koşullarında çökelmiş tortullarda ise U/Th oranının 0.75'den küçük olduğunu ifade etmişlerdir.

Yine İlgın sahası bitümlü kayaç örneklerinin U/Th oranlarına göre redoks koşulları değerlendirildiğinde sadece RE-10 numaralı örneğin redoks koşulunun "Oksik" diğer tüm örneklerin redoks koşulunun ise "Anoksik" olduğu belirlenmiştir (Çizelge 5).

Teng vd. (2005) ve Deng ve Qian (1993) ise $AU = U - Th/3$ eşitliğine göre tortulların redoks koşullarını belirlemişlerdir. Bu araştırmacılara göre; $AU = U - Th/3$ eşitliği güçlü indirgeme koşulu olan anoksik tortullarda 12'den büyük, yarı O_2 'li suboksik/disoksik tortullarda 5-12 arasında değişirken, O_2 'ce zengin su koşullarında ise 5'den küçüktür.

Çizelge 5. Harmanyazı Formasyonu bitümlü kilitaşı örneklerinin U/Th oranlarına göre çökeltme ortamı paleoredoks koşulları.

Örnek No	U/Th	Yorum
RE-14	1.09	Anoksik
RE-13	2.89	Anoksik
RE-12	11.73	Anoksik
RE-11	3.00	Anoksik
RE-10	0.52	Oksik
RE-9	1.66	Anoksik
RE-8	2.08	Anoksik
RE-7	1.20	Anoksik
RE-6	1.93	Anoksik
RE-5	2.70	Anoksik
RE-4	2.07	Anoksik
RE-3	5.45	Anoksik
RE-3/2	1.33	Anoksik
RE-2	2.36	Anoksik
Ara Kömür	1.35	Anoksik
RE-1	2.43	Anoksik
Alt Kömür	10.33	Anoksik

İlgın sahası bitümlü kilitaşı örneklerinin $AU = U - Th/3$ eşitliğine göre O_2 'li ve yarı O_2 'li suboksik/disoksik ortam koşullarında depolandığı görülmektedir (Çizelge 6). Ancak incelenen örnekler için $AU = (U - Th/3)$ ortalaması (5,24) olup, bu sonuca göre İlgın sahası bitümlü kilitaşlarının genel olarak suboksik/disoksik bir ortamda depolandığını söyleyebiliriz (Çizelge 6).

Bir elementin otojenik değerleri, o elementin toplam değerinden detritik kısmının çıkarılmasıyla belirlenir. Myers ve Wignall (1987) otojenik uranyum miktarını Th'la ilişkili olarak aşağıdaki formüle göre hesaplanmışlardır.

$$U_{\text{otojenik}} = U_{\text{toplam}} - Th_{\text{toplam}}/3 \quad (1)$$

Myers ve Wignall (1987) bu hesaplamalarında Th'u tümüyle detritik içerikli bir element olarak düşünmüşler ve Th/3 değerini de detritik U ile eşleştirmişlerdir.

Çalışma alanına ait bitümlü kayalık örneklerinde U_{toplam} , Th_{toplam} ve $Th_{\text{toplam}}/3$ 'e göre hesaplanan U_{otojenik} değerleri Çizelge 7'de, U_{otojenik} ve U_{toplam} dağılımı Şekil 14'de, U_{toplam} ve Th_{toplam} dağılımları da Şekil 15'de verilmiştir.

Çizelge 6. Harmanyazı Formasyonu bitümlü kilitaşı örneklerinin $AU = U - Th/3$ 'a göre çökeltme ortamı paleoredoks koşulları.

Örnek No	$AU = U - Th/3$	Redoks Ortamı
RE-14	4.87	Oksik
RE-13	8.80	Suboksik/Disoksik
RE-12	4.53	Oksik
RE-11	4.0	Oksik
RE-10	4.0	Oksik
RE-9	9.0	Suboksik/Disoksik
RE-8	8.73	Suboksik/Disoksik
RE-7	3.93	Oksik
RE-6	5.0	Suboksik/Disoksik
RE-5	4.20	Oksik
RE-4	3.87	Oksik
RE-3	8.60	Suboksik/Disoksik
RE-3/2	4.20	Oksik
RE-2	6.73	Suboksik/Disoksik
Ara Kömür	0.36	Oksik
RE-1	4.67	Oksik
Alt Kömür	3.73	Oksik

Çizelge 7 ve Şekil 14, 15 incelendiğinde Harmanyazı Formasyonuna ait bitümlü kilitaşı örneklerinin tamamında U_{otojenik} değerleri oldukça yüksek olup, 2.10 - 12.5 arasında değişmektedir. Detritik kaynaklı bir element olan Th OM ile hiçbir ilişki kurmaz ve çoğunlukla da O_2 'li su koşullarında çökelmiş tortullarda zenginleşir. İncelenen örneklerde U_{otojenik} 'deki yüksek değerler göl ortamına Th girişinin U'a göre daha az olduğunu göstermekte olup, yüksek U_{otojenik} değerleri de İlgın paleo-göl ortamında "Güçlü İndirgeme Koşulunun" hâkim olduğu anoksik şartların bulunduğu işaret etmektedir.

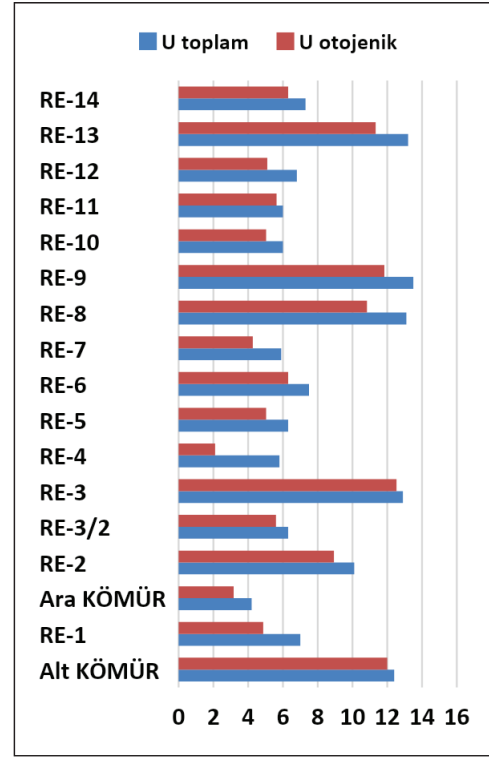
5. Tartışma

Sülfidik olan anoksik ortamlar OM'nin depolanması ve korunması açısından mükemmel şartlara sahiptir. Çünkü, H_2S 'ce zengin bu ortamlarda O_2 'nin yokluğu veya sifıra yakın değerlerde olması OM'nin mükemmel şekilde korunmasını ve tortullarda zenginleşmesini sağlar. İlgın sahasında yapılan ÖSK'dan derlenen örneklerdeki %TOC değerleri 14.52-51.19 arasında değişmekte olup, ortalaması 33.35'dir. Buda bize İlgın sahasında bitümlü kilitaşlarının depolandığı

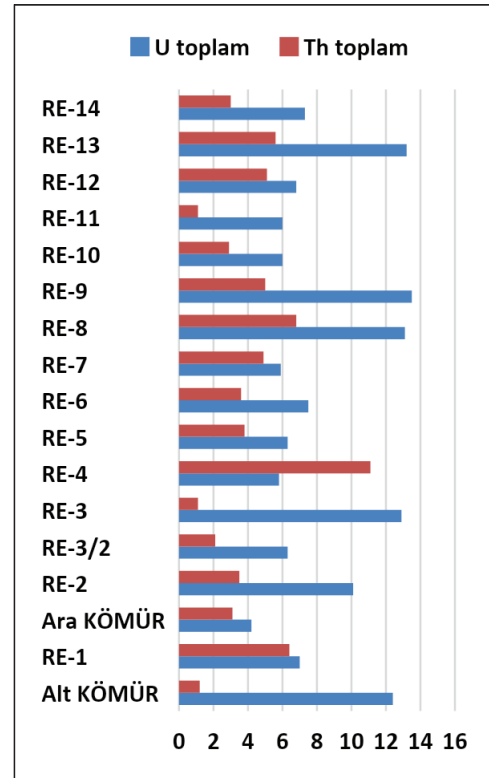
Çizelge 7. Harmanyazı Formasyonu bitümlü kilitaşı örneklerine ait $U_{otojenik}$ değerleri (değerler ppm dir).

Örnek No	U_{toplam}	Th_{toplam}	$Th_{toplam}/3$	$U_{otojenik} = \frac{U_{toplam} - Th_{toplam}/3}{3}$
RE-14	7.3	3	1	6.3
RE-13	13.2	5.6	1.866	11.333
RE-12	6.8	5.1	1.7	5.1
RE-11	6	1.1	0.366	5.633
RE-10	6	2.9	0.966	5.033
RE-9	13.5	5	1.666	11.833
RE-8	13.1	6.8	2.266	10.833
RE-7	5.9	4.9	1.633	4.266
RE-6	7.5	3.6	1.2	6.3
RE-5	6.3	3.8	1.266	5.033
RE-4	5.8	11.1	3.7	2.1
RE-3	12.9	1.1	0.366	12.533
RE-3/2	6.3	2.1	0.7	5.6
RE-2	10.1	3.5	1.166	8.933
Ara Kömür	4.2	3.1	1.033	3.166
RE-1	7	6.4	2.133	4.866
Alt Kömür	12.4	1.2	0.4	12

paleo-göl Şartlarının oldukça sülfidik/indirgen ve anoksik olduğuna işaret eder. Yine, İlgın sahasında yapılan ÖSK'dan derlenen örneklere ait XRD grafiği paternlerinde de görüleceği üzere her iki örnekte de anoksik ortamların en önemli işaretçisi olan pirit (FeS_2) mineralinin görülmesi (Şekil 10A,B) yine İlgın sahasında bitümlü kilitaşlarının depolandığı paleo-göl Şartlarının sülfidik anoksik koşullar olduğunu göstermektedir. Ayrıca, sahadan derlenen tüm örneklere S element değerleri 17698-116666 ppm arasında değişmekte olup, ortalama 61400,7 ppm olması da depolanma ortamının aşırı sülfidik ve indirgen olduğunun bir başka göstergesidir. Yine, incelenen örneklere ait Fe ve S elementleri arasındaki çok güçlü ($r= 0.9297$) korelasyon ilişkisi de Fe'nin ortamda Pirit (FeS_2) minerali Şeklinde çökeliş olduğuna işaret eder. Öte yandan, anoksik ortamların bir başka temsilcisi olan Mo elementinin de S ile olan kuvvetli korelasyon ($r=0.7295$) ilişkisinde, yine Mo'nin ortamda Molibdenit (MoS_2) minerali Şeklinde çökeliş olduğunu ve İlgın paleo-göl ortamının redoks Şartlarının H_2S bakımından oldukça



Şekil 14. Harmanyazı Formasyonu bitümlü kilitaşı örneklerine ait $U_{otojenik}$ ve U_{toplam} dağılımı.



Şekil 15. Harmanyazı Formasyonu bitümlü kilitaşı örneklerine ait U_{toplam} ve Th_{toplam} dağılımı.

zengin, sülfidik anoksik koşullar olduğuna işaret eder. Aşağıdaki bölümde de bu çalışmaya konu olan redoksa duyarlı elementlerin davranışları ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

Kobalt (Co)

Çalışma sahası bitümlü kilitaşlarında Co'nun TOC ile olan çok zayıf ($r=0.0768$) korelasyon ilişkisi Co'nun su kütlesinden organik madde ile sapropele difüzyonunda ve tortulda zenginleşmesinde OM'nin ve hümik asitlerdeki organometalik ligandların etkili olmadığına işaret etmektedir (Şekil 6). Yine, Co'nun S ile olan orta derecedeki korelasyon ($r=0.5140$) ilişkisi de Co'nun çökeliminde ortamın sülfidik ve H_2S 'li olduğuna ve CO'nun kobalt sülfür (CoS) ve kobalt sülfat ($CoSO_4$) şeklinde çökelmiş olduğuna işaret etmektedir (Şekil 12).

Nikel (Ni)

İncelenen örneklerde Ni'nin %TOC ile ($r=0.0022$) olan çok zayıf korelasyonu Ni'nin bitümlü kilitaşı örneklerinde zenginleşmesi sırasında %TOC'la herhangi bir ilişkisinin olmadığını belirtir (Şekil 5). Öte yandan incelenen örneklerde Ni'nin S ile olan çok zayıf ($r= -0.1217$) korelasyon ilişkisi de Ni'nin sapropelik çamurlarda zenginleşmesi sırasında NiS formunu oluşturmadığı gibi, piritte de katılmadığını göstermektedir (Şekil 12).

Bakır (Cu)

Harmanyazı Formasyonu'na ait bitümlü örneklerde Cu'nun %TOC ile olan zayıf korelasyon ($r=0.37433111$) ilişkisi Cu'nun su kütlesinden organik madde ile sapropele difüzyonunda ve tortulda zenginleşmesinde hümik asitlerde organometalik ligandlar şeklinde çökeliminin çok önemsiz olduğuna işaret eder (Şekil 6). Yine, Cu'nun Fe ($r=0.2201$) ve Mn'la ($r= -0.5628$) olan çok zayıf korelasyonları Cu'nun su kütlesinden Mn-Fe oksihidroksitler ile sapropele difüzyonunda ve zenginleşmesinde Mn-Fe oksihidroksitlerin hiçbir öneminin olmadığını göstermektedir (Şekil 11,13). Ayrıca, Cu'nun S'le ($r= 0.2904$) olan zayıf korelasyonu da Cu'nun tortulda CuS ya da Cu_2S şeklinde bileşikler yapmadığını ve ayrıca piritte de katılmadığını göstermektedir (Şekil 12).

Çinko (Zn)

İncelenen bitümlü kilitaşı örneklerinde Zn'nun %TOC ile olan çok zayıf korelasyon ($r= 0.0814$) ilişkisi, Zn'nun çökeliminde OM'nin etkili olmadığına ve hümik asitlerdeki organometalik ligandlar şeklinde çökeliminin bulunmadığına işaret eder (Şekil 5). Yine, incelenen örneklerde Zn'nun Fe ile ($r= -0.1424$) çok zayıf bir korelasyonunun olması Zn'nun sapropelde zenginleşmesinde Fe oksihidroksitlerin yanında

piritin de etkisinin olmadığını gösterir (Şekil 11). Öte yandan Zn'nun Mn ile ($r= -0.1638$) olan çok zayıf bir korelasyonu da Zn'nun su kütlesinden Mn-Fe oksihidroksitler ile sapropele difüzyonunda ve sapropelde zenginleşmesinde yine hiçbir etkisinin olmadığını göstermektedir (Şekil 13). Ayrıca, incelenen örneklerde Zn'nun S ($r= -0.1358$) ve Fe ile ($r= -0.1424$) olan çok zayıf korelasyon ilişkisi de Zn'nun piritle birlikte çökelmediği gibi bağımsız otejenik sfalerit (ZnS) minerali olarak da çökelmediğini gösterir (Şekil 11,12).

Vanadyum (V)

Ilgın sahasına ait örneklerde V'un %TOC ile çok zayıf korelasyon ($r=0.1249$) ilişkisi V'un çökeliminde OM'nin etkili olmadığına ve hümik asitlerdeki organometalik ligandlar şeklinde çökeliminin bulunmadığını gösterir (Şekil 6). Öte yandan, bu çalışmadaki pekçok veriye göre ispatlanmış olan Ilgın paleo-göl ortamındaki güçlü sülfidik indirgenme koşulları ve ortamdaki yüksek H_2S varlığı, V elementinin sapropelik çökellerde muhtemelen katı oksit (V_2O_3) veya hidroksit ($V(OH)_3$) olarak zenginleşmiş olduğunu düşündürmektedir.

Molibden (Mo)

Harmanyazı Formasyonu'na ait bitümlü kilitaşı örneklerinde Mo elementi ve %TOC arasındaki ($r = 0.0583$) çok zayıf korelasyon ilişkisi, Mo'nin su kolonundaki Molibdat (MoO_4^{2-}) şeklindeki formunun tortul-su ara katmanına taşınmasının hümik asitlerdeki organometalik ligandlar şeklinde olmadığını gösterir (Şekil 5). Öte yandan, incelenen örneklerde Mo'nin Fe ($r=0.722782$) ve S ($r=0.72955$) ile olan çok güçlü korelasyon ilişkileri ise depolanma ortamının sülfidik ve H_2S bakımından zengin olduğuna işaret ederken, Mo'nin de sapropelik çamurlar içerisinde Ferrimolibdit ($Fe_2O_3 \cdot 3MoO_3 \cdot 8H_2O$) ve Molibdenit (MoS_2) mineralleri şeklinde bileşiklerinin olduğuna ve aynı zamanda da Mo çökeliminde pirit etkisinin yanında Fe oksihidroksit partiküllere olan adsorpsiyonunun da etkili olduğuna işaret eder (Şekil 11). Diğer yandan, incelenen örneklerde Mo'nin Mn'la ($r= -0.4967$) olan çok zayıf korelasyonu, Mo'nin

su kütlesinden sapropele difüzyonunda Mn oksihidroksit partiküllere adsorpsiyonunun etkili olmadığını göstermektedir (Şekil 13).

Uranyum (U)

Ilgın sahası bitümlü kilitaşı örneklerinde U elementinin %TOC ile olan çok zayıf ($r = -0.0340$) korelasyonu, U'nun su kütlesinden sapropele difüzyonunda ve sapropelde zen-

ginleşmesinde hümik asitlerdeki organometalik ligantların etkisinin olmadığını göstermektedir (Şekil 5).

6. Sonuçlar

Bitümlü kilitaşı örneklerinde Mo, U, Ni ve Zn'nun %TOC ile korelasyon ilişkisi incelendiğinde Mo'nin %TOC ile ($r=0.529$) orta derecedeki korelasyonu Mo'nin su kütlesinden sapropele difüzyonunda ve zenginleşmesinde OM'nin kısmen hümik asitlerdeki organometalik ligantlar şeklinde etkili olduğunu göstermektedir. %TOC'nun U ($r=0.083$), Ni ($r= -0.030$) ve Zn ile ($r= 0.216$) çok zayıf ve zayıf korelasyonları ise U, Ni ve Zn'nun su kütlesinden sapropele difüzyonunun hümik asitlerdeki organometalik ligantlar şeklinde olmadığını gösterir (Şekil 4).

İncelenen örneklerde %TOC'un V ($r=0.124936$), Cu ($r= -0.230$) ve Co ile ($r=0.0768$) olan çok zayıf ve zayıf korelasyonları bu elementlerin göl suyundan sapropele difüzyonunda organik maddenin hiç bir rolünün olmadığına işaret etmektedir (Şekil 5).

Ilgın sahası bitümlü kilitaşı örneklerinde Fe'nin Al ile çok zayıf ($r= -0.19025$) bir korelasyon ilişkisi kurması Fe'nin incelenen örneklerde kil mineral fazında olmadığını, öte yandan Fe ve S elementleri arasındaki çok güçlü ($r= 0.929789$) korelasyon ilişkisi ise Fe'nin örneklerde sülfür fazında olduğunu ve pirit (FeS_2) şeklinde çökelmiş olduğunu göstermektedir.

Harmanyazı Formasyonu'na ait bitümlü kilitaşı örneklerinde Fe'in Cu ($r= 0.284197$), V ($r= -0.18663$), Cr ($r= -0.15157$), U ($r= 0.204503$), Ni ($r= 0.029961$) ve Zn ile ($r= -0.14246$) olan çok zayıf ve zayıf korelasyon ilişkileri bu elementlerin su kütlesinden sapropele difüzyonunda piritin etkisinin olmadığını gösterirken, Fe'in Co ile ($r= 0.535261$) orta ve Mo ile de ($r= 0.722782$) güçlü korelasyon ilişkisi ise Co ve Mo'nin su kütlesinden sapropele difüzyonunda ve zenginleşmesinde piritin etkisinin olduğunu göstermektedir.

İncelenen bitümlü kilitaşı örneklerinde S ile Co arasında orta ($r= 0.476241$), Mo ile de ($r=0.72955$) kuvvetli bir korelasyon ilişkisi varken; S'ün Ni ($r= -0.1217$), V ($r= -0.17716$), Zn ($r= -0.35454$), Cu ($r= 0.29045$) ve U ($r=0.302831$) ile çok zayıf ve zayıf bir korelasyon ilişkisinin olduğu görülmektedir. Bu durum sadece Co ve Mo'nin sapropel çamurlarına CoS ve MoS_2 şeklinde difüzyonlarının olduğunu; öte yandan, Cu, Zn, Ni, U ve V elementlerinin ise su kütlesinden sapropele sülfid şeklinde difüzyonlarının ve zenginleşmelerinin olmadığını göstermektedir.

Bitümlü kilitaşı örneklerinde Mn'in Cu ($r= -0.56285$), Zn ($r= -0.16391$), Ni ($r= -0.31868$) V ($r= -0.24324$), U ($r=$

-0.14227), Co ($r=-0.37859$) ve Mo ile ($r= -0.6006$) çok zayıf korelasyon ilişkileri vardır. Bu durum mangan oksit-hidroksitlerin Cu, Zn, Ni, V, U ve Mo elementlerinin göl suyundan tortul içerisine difüzyonlarında ve elementlerin sapropelde zenginleşmelerinde hiçbir rolünün olmadığını ifade eder.

RE-1 ve RE-3/2 numaralı bitümlü kilitaşı örneklerinin tüm kayaç XRD grafiği paternlerinde Fersmite:(Ca,Ce,Na) $(Nb,Ta,Ti)_2(O,OH,F)_6$, Jips: $Ca(SO_4) \cdot 2(H_2O)$ ve Kalsit: $(CaCO_3)$ ve Pirit: (FeS_2) mineralleri hakimdir. Bu mineraller, bitümlü kilitaşı örneklerinin depolanması esnasında ortamının redoks şartlarının kısmen O_2 'li disoksik/suboksik ve çoğunlukla sülfidik anoksik koşullarda olduğuna işaret eder.

Örneklerinin Th/U oranlarına göre redoks koşulları değerlendirildiğinde Harmanyazı Formasyonu'na ait bitümlü kilitaşı örneklerinin tamamının H_2S 'ce zengin ve sülfidik olan anoksik redoks ortam koşullarında depolandığı anlaşılmaktadır.

Harmanyazı Formasyonu'na ait bitümlü kilitaşı örneklerinin U/Th oranlarına göre redoks koşulları değerlendirildiğinde ise sadece RE-10 numaralı örneğin redoks koşulu "Oksik" çıkarken diğer tüm örneklerin redoks koşulu ise Anoksik'tir.

Harmanyazı Formasyonu'na ait bitümlü kilitaşı örneklerinin $AU = U - Th/3$ eşitliğine göre oksijenli ve yarı oksijenli/suboksik/disoksik ortam koşullarında depolandığı görülmektedir. Ancak incelenen örnekler için $AU = (U - Th/3)$ ort ortalaması (5,24) olup, bu sonuca göre genel olarak Ilgın sahası bitümlü kilitaşılarının yarı oksijenli/suboksik/disoksik ortam koşullarında depolandığını söyleyebiliriz.

Teşekkür: Yazarlar, bu makaleyi eğitim-öğretimindeki 90. yıl münasebetiyle (1934-2024) Ankara Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü'ne (Ankara Jeoloji) ithaf ederler. Bu çalışmada incelenen örneklerde ana ve iz element analizleri A.Ü. YEBİM Araştırma Merkezinde ICP-OES (Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry) model cihaz kullanılarak yapılmış olup kendilerine teşekkür ederiz.

Yazar katkıları: A. Sarı: çalışmayı planlamış, tasarlamış, veri toplanmasına yardımcı olmuş, verileri yorumlamış ve makalenin yazılmasına katkıda bulunmuştur. K. Ismayılzada: Çalışma hakkında verileri toplamış, analiz etmiş, yorumlamış ve makalenin yazımına katkıda bulunmuştur. S. Akıska: Sonuçları yorumlamış ve makalenin yazımına katkıda bulunmuştur. F. Erol: Sonuçları yorumlamış ve makalenin yazımına katkıda bulunmuştur.

7. Kaynaklar

- Adams, JAS., Weaver, CE. 1958.** Thorium to uranium ratios as indications of sedimentary processes: Example of concept of geochemical facies. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 42: 387-430. Doi: 10.1306/0BDA5A89-16BD-11D7-8645000102C1865D
- Algeo, T.J., Maynard, J.B. 2004.** Trace-element behavior and redox facies in core shales of Upper Pennsylvanian Kansas-type cyclothems. *Chemical Geology*, 206: 289-318. Doi: 0.1016/j.chemgeo.2003.12.009
- Algeo, T.J., Rowe H. 2012.** Paleooceanographic applications of trace-metal concentration data. *Chemical Geology*, 324-325: 6-18. Doi: 10.1016/j.chemgeo.2011.09.002
- Berryman, R.R. 2008.** Constraints on development of anoxia through geochemical facies mapping of Devonian black shales in the Midcontinent: Master of Science Thesis, Oklahoma State University.
- Brumsack, H.J. 2006.** The trace metal content of recent organic carbon-rich sediments: Implications for Cretaceous black shale formation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 232: 344-361. Doi: 10.1016/j.palaeo.2005.05.011
- Calvert, SE., Pedersen, T.F. 1993.** Geochemistry of Recent oxic and anoxic marine sediments: implications for the geological record. *Mar. Geol.*, 113: 67 - 88. Doi: 10.1016/0025-3227(93)90150-T
- Canfield, DE. 1994.** Factors influencing organic carbon preservation in marine sediments. *Chem. Geol.*, 114: 315 - 329. Doi: 10.1016/0009-2541(94)90061-2
- Cruse, A., Lyons, T. 2004.** Trace metal record of regional paleoenvironmental variability in Pennsylvanian (Upper Carboniferous) black shales. *Chem. Geol.*, 206: 319-345. Doi: 10.1016/j.chemgeo.2003.12.010
- Crusius, J., Calvert, S., Pedersen, T., Sage, D. 1996.** Rhenium and molybdenum enrichments in sediments as indicators of oxic, suboxic and sulfidic conditions of deposition. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 145: 65-78. Doi: 10.1016/S0012-821X(96)00204-X
- Dean, WE., Gardner, J.V., Piper, DZ. 1997.** Inorganic geochemical indicators of glacial -interglacial changes in productivity and anoxia of the California continental margin. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 61: 4507 - 4518. Doi: 10.1016/S0016-7037(97)00237-8
- Dean, WE., Piper, DZ., Peterson, LC. 1999.** Molybdenum accumulation in Cariaco basin sediment over the past 24 k.y.: a record of water-column anoxia and climate. *Geology*, 27: 507-510. Doi: 10.1130/0091-7613(1999)027<0507:MAICBS>2.3.CO;2
- Deng, HW., Qian, K. 1993.** Analysis on sedimentary geochemistry and environment, Science Technology Press, Gansu: 15-85 (in Chinese).
- Ekwunife, IC. 2017.** Assessing MudroK characteristics, high-resolution chemostratigraphy, and sequence stratigraphy of the Woodford Shale in the Mcalister Cemetery Quarry, Ardmore Basin, Oklahoma. Master of Science Thesis, University of Oklahoma.
- Engin, H. 2013.** Kürnüç (Göynük/Bolu) bitümlü şeyllerinin redoksa duyarlı iz element incelemeleri, Ankara Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi. 147 s. Yayımlanmamış.
- Ernst, TW. 1970.** Geochemical facies analysis, Elsevier, Amsterdam, 152 p.
- Hatch, JR., Leventhal, JS. 1992.** Relationship between inferred redox potential of the depositional environment and geochemistry of the Upper Pennsylvanian (Missourian) Stark Shale Member of the Dennis Limestone, Wabaunsee County, Kansas, U.S.A. *Chem. Geol.*, 99: 65-82. Doi: 10.1016/0009-2541(92)90031-Y
- Huerta-Diaz, MA., Morse, JW. 1992.** Pyritization of trace metals in anoxic marine sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56: 2681-2702. Doi: 10.1016/0016-7037(92)90353-K
- Hüseyinca, MY., Eren, Y. 2007.** İlgin (Konya) kuzeyinin stratigrafisi ve tektonik evrimi. *S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Derg.*, 23: 1-2.
- Jones, B., Manning, DAC. 1994.** Comparison of geochemical indices used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mudstones. *Chem. Geol.*, 111: 111-129. Doi: 10.1016/0009-2541(94)90085-X
- Karayiğit, AI., Akgün, F., Gayer, RA., Temel, A. 1999.** Quality, Palynology, And Paleoenvironmental Interpretation of The İlgin Lignite, Turkey. *International Journal of Coal Geology*, 38: 219-236. Doi: 10.1016/S0166-5162(98)00015-9
- Koralay, DB., Sarı, A. 2013.** Redox Conditions and Metal-Organic Carbon Relations of Eocene Bituminous Shales (Veliler/Mengen-Bolu/Turkey). *Energy Sources, Part A*, 35(17), 1597-1607. Doi: 10.1080/15567036.2011.551917
- Marolf, NJ. 2014.** Redox sensitive trace elements document chemical depositional environment and post-depositional oxidation of the Ediacaran Biri Formation, southern Norway. Master of Science Thesis, Colorado State University, Department of Geosciences, Colorado.
- McManus, J., Berelson, WM., Klinkhammer, GP., Hammond, DE., Holm, C. 2005.** Authigenic uranium: relationship to oxygen penetration depth and organic carbon rain. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 69: 95-108. Doi: 10.1016/j.gca.2004.06.023
- Morford, JL., Emerson, S. 1999.** The geochemistry of redox sensitive trace metals in sediments. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 63(11-12): 1735-1750. Doi: 10.1016/S0016-7037(99)00126-X

- Morford, J.L., Russell, A.D., Emerson, S., 2001.** Trace metal evidence for changes in the redox environment associated with the transition from terrigenous clay to diatomaceous sediment, Saanich Inlet, BC. *Mar. Geol.*, 174: 355-369. Doi: 10.1016/S0025-3227(00)00160-2
- Myers, K.J., Wignall, P.B. 1987.** Understanding Jurassic Organic-rich Mudrocks—New Concepts using Gamma-ray Spectrometry and Palaeoecology: Examples from the Kimmeridge Clay of Dorset and the Jet Rock of Yorkshire. *Marine Clastic Sedimentology*, 172-189.
- Neumeister, S., Algeo T.J., Bechtel, A., Gawlick H.J., Gratzner, R., Sachsenhofer, R.F. 2016.** Redox conditions and depositional environment of the Lower Jurassic Bächental bituminous marls (Tyrol, Austria). *Austrian Journal of Earth Sciences*, 109(2): 142-156. Doi: 10.17738/ajes.2016.0010
- Pailler, D., Bard, E., Rostek, F., Zheng, Y., Mortlock, R., van Geen, A. 2002.** Burial of redox-sensitive metals and organic matter in the equatorial Indian Ocean linked to precession. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 66: 849 – 865. Doi: 10.1016/S0016-7037(01)00817-1
- Passier, H.F., De Lange, G.J. 1998.** Sedimentary sulfur and iron chemistry in relation to the formation of Eastern Mediterranean sapropels. A.H.F Robertson, K.C. Emeis, C. Richter, A. Camerlenghi [eds.], *Proc. ODP, Sci. Results*, 160: College Station, TX (Ocean Drilling Program), pp. 249–259.
- Riquier, L., Tribouillard, N., Averbuch, O., Devleeschouwer, X., Riboulleau, A. 2006.** The Late Frasnian Kellwasser horizons of the Harz Mountains (Germany): Two oxygen-deficient periods resulting from different mechanisms. *Chemical Geology*, 233: 137–155. Doi: 10.1016/j.chemgeo.2006.02.021
- Rivas-Sanchez, M.L., Alva-Valdivia, L.M. Arenas-Alatorre, J., Urrutia-Fucugauchi, M., Ruiz-Sandoval, M., Ramos-Molina, M.A. 2006.** Berthierine and chamosite hydrothermal: genetic guides in the Pena Colorada magnetite-bearing ore deposit, Mexico. *Earth Planets Space*, 58: 1389–1400. Doi: 10.1186/BF03352635
- Sageman, B.B., Murphy, A.E., Werne, J.P., Ver Straeten, C.A., Hollander, D.J., Lyons, T.W. 2003.** A tale of shales: The relative roles of production, decomposition, and dilution in the accumulation of organic-rich strata, Middle-Upper Devonian, Appalachian basin. *Chemical Geology*, 195(1-4), 229-273. Doi: 10.1016/S0009-2541(02)00397-2
- Sarı, A., Arslan, Ö. 2019.** Redoks Duyarlı Elementlerin İndirgen Ortamlardaki Jeokimyasal Davranışlarına Türkiye'den Bir Örnek: Bozcakhöyük (Seyitömer/Kütahya) Sahası Bitümlü Kayaçlar. *Mühendislik ve Yer Bilimleri Dergisi*, 4(2): 14-39.
- Sarı, A., Döner, Z., Koca, D., Aliyev, S.A. 2016.** Source rock characteristics of Eocene bituminous shales and the effect of redox conditions on source rock potential, Nallıhan (Ankara) Central Anatolian Basin. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. 38(2): 227–235. Doi: 10.1080/15567036.2012.669811
- Sarı, A., İsmayılzada, K., Pehlivanlı, B.Y., Erol, F. 2023.** The Relationship between Depositional Processes and Biological Productivity of Bituminous Claystones: İlgin (Konya) Field. *General Topics in Geology and Earth Sciences 1. Chapter II*. pp. 23-40.
- Sarı, A., Koca, D. 2012.** Jura - Kretase yaşlı Akkuyu Formasyonunun (Orta Toroslar/ Türkiye) provenans, tektonik ve redoks koşullarına bir yaklaşım. *MTA Dergisi*, 144: 51-73.
- Sarı, A., Pehlivanlı B.Y., Koca, D., Koç, Ş. 2010.** During Triassic Paleoredoks and Provenance Investigation of Rich Organic Matter Tarasçı Formation (Middle Taurus / Turkey). *Electronic Letters on Science & Engineering*, 6(1), 9-24.
- Scott C., Lyons T.W., Bekker A., Shen Y., Poulton S.W., Chu X., Anbar, A.D. 2008.** Tracing the stepwise oxygenation of the Proterozoic ocean. *Nature*, 452: 456–459. Doi: 10.1038/nature06811
- Scott, C., Lyons, T.W. 2012.** Contrasting Molybdenum Cycling and Isotopic Properties in Euxinic versus Non-Euxinic Sediments and Sedimentary Rocks: Refining the Paleoproxies. *Chemical Geology*, 324-325: 19-27. Doi: 10.1016/j.chemgeo.2012.05.012
- Teng, G.E., Hui, L.W., Xu, Y.C., Chen, J.F. 2005.** Correlative study on parameters of inorganic geochemistry and hydrocarbon source rocks formative environment. *Adv Earth Sci.*, 20(2): 193-200. Doi: 10.11867/j.issn.1001-8166.2005.02.0193
- Tribouillard N., Algeo T.J., Lyons T., Riboulleau A. 2006.** Trace metals as paleoredox and paleoproductivity proxies: An update. *Chemical Geology*, 232: 12-32. Doi: 10.1016/j.chemgeo.2006.02.012
- Tyson, R.V. 1995.** *Sedimentary Organic Matter*. Chapman & Hall, London. 615 pp.
- Tyson, R.V., Pearson, T.H. 1991.** Modern and Ancient Continental Shelf Anoxia: An Overview. *Geological Society of London Special Publication*, 58: 1-24. Doi: 10.1144/GSL.SP.1991.058.01.01
- Van Cappellen, P., Ingall, E.D. 1994.** Benthic phosphorus regeneration, net primary production, and ocean anoxia: a model of the coupled marine biogeochemical cycles of carbon and phosphorus. *Paleoceanography and Paleoclimatology*, 9(5): 677-692. Doi: 10.1029/94PA01455

- Vosoughi Moradi, A., Sarı, A. Akkaya, A. 2016.** Paleoredox reconstruction of bituminous shales from the Miocene Hañçili Formation, Çankırı-Çorum Basin, Turkey: Evaluating the role of anoxia in accumulation of organic-rich shales. *Marine and Petroleum Geology*, 78: 136-150. Doi: 10.1016/j.marpetgeo.2016.09.012
- Wignall, PB. 1994.** Black Shales. Clarendon Press, Oxford. 127 pp.
- Wignall, PB., Twitchett, RJ. 1996.** Oceanic Anoxia and the End Permian Mass Extinction. *Science, New Series*, 272(5265): 1155-1158. Doi: 10.1126/science.272.5265.1155
- Yarincik, KM., Murray, RW., Lyons, TW., Peterson, LC., Haug, GH. 2000.** Oxygenation history of bottom waters in the Cariaco Basin, Venezuela, over the past 578,000 years: results from redox-sensitive metals (Mo, V, Mn, and Fe). *Paleoceanography and Paleoclimatology*, 15: 593-604. Doi: 10.1029/1999PA000401



Determination of the Effects of Some Water Quality Parameters on Turbidity Parameters in Filyos River with Artificial Neural Network

Filyos Nehri'nde Bazı Su Kalitesi Parametrelerinin Bulanıklık Parametresi Üzerine Etkilerinin Yapay Sinir Ağı ile Belirlenmesi

Berna Aksoy^{1*} , İsmail Hakkı Özölçer¹ , Emrah Doğan²

¹Zonguldak Bulent Ecevit University, Faculty of Engineering, Civil Engineering Department, Zonguldak, Türkiye

²Sakarya University, Faculty of Engineering, Civil Engineering Department, Sakarya, Türkiye

Abstract

During the water cycle, substances that are contaminated in water cause physical, chemical or biological alterations of the water's natural features, therefore environmental balance deteriorate over time. Observations and measurements on a river give the necessary information about how to benefit from the river. For this reason, it is important to investigate the water quality in rivers and water reservoirs which are close to settlement areas. In this study, surface water quality measurements were carried out at five observation stations along the main line of the Filyos River, which forms the largest sub-basin in the Western Black Sea Basin, at intervals of thirty days in 2015 year. The turbidity parameter was estimated by artificial neural networks (ANNs) based on water quality parameters such as chromium (Cr^{+3}), chemical oxygen demand (COD), iron (Fe^{+3}), aluminium (Al^{+3}), suspended solids, manganese (Mn^{+2}), zinc (Zn^{+2}), lead (Pb^{+2}) and calcium (Ca^{+2}). The study was conducted with creating two scenarios. In the first scenario, the determined parameters were analyzed by ANN for each station one by one. The obtained data showed that Cr (coefficient of determination [R^2] =0.9999) parameter gave the best performance in the estimation of turbidity parameter in the study area. In the second scenario, eight models were created by adding the other best performing parameters one by one to the best performing Cr parameter. The third model formed by Cr, COD, Fe and Al parameters gave the closest result with $R^2=0.9992$.

Keywords: Artificial neural network, Filyos river, turbidity, water quality

Öz

Su döngüsü sırasında suya bulaşan maddeler, suyun fiziksel, kimyasal veya biyolojik özelliklerini değiştirerek su kirliliğine yol açar ve zamanla çevresel dengenin bozulmasına neden olur. Bir nehir üzerinde yapılan gözlemler ve ölçümler, nehirden nasıl yararlanılacağı konusunda gerekli bilgileri verir. Bu nedenle yerleşim yerlerine yakın olan akarsularda ve su depolarında su kalitesinin araştırılması önemlidir. Bu çalışmada, Batı Karadeniz Havzası'nın en büyük alt havzasını oluşturan Filyos Nehri'nin ana hattı boyunca uzanan beş gözlem istasyonunda bir yıllık periyotta otuz gün aralıklarla yüzeysel su kalitesi ölçümleri yapılmıştır. Su kalitesi parametrelerinden, krom (Cr^{+3}), kimyasal oksijen ihtiyacı (COD), demir (Fe^{+3}), alüminyum (Al^{+3}), askıda katı madde, mangan (Mn^{+2}), çinko (Zn^{+2}), kurşun (Pb^{+2}) ve kalsiyum (Ca^{+2}) parametrelerine dayalı olarak bulanıklık parametresinin yapay sinir ağı (YSA) ile tahmini yapılmıştır. Çalışma iki senaryo üzerinden yürütülmüştür. Birinci senaryoda belirlenen parametreler, her istasyon için tek tek YSA ile analiz edilmiştir. Elde edilen veriler, çalışma alanında, bulanıklık parametresi tahmininde en iyi performansı Cr ($R^2=0.9999$) parametresinin verdiğini göstermiştir. İkinci senaryo da ise en iyi performansı veren Cr parametresine diğer en iyi performansı veren parametreler tek tek eklenerek sekiz model oluşturulmuştur. Cr, KOİ, Fe ve Al parametrelerinin oluşturduğu üçüncü model $R^2=0.9992$ gerçeğe en yakın sonucu veren model olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Bulanıklık, Filyos nehri, su kalitesi, yapay sinir ağı

*Corresponding author: berna.oaksoy@beun.edu.tr

Berna Aksoy orcid.org/0000-0001-6925-1594

İsmail Hakkı Özölçer orcid.org/0000-0002-8404-0522

Emrah Doğan orcid.org/0000-0001-5077-6518



This work is licensed by "Creative Commons Attribution-NonCommercial-4.0 International (CC)".

1. Introduction

The Earth is predominantly covered by water, with approximately 71% of its surface covered by this vital resource. Of this, 97.5% is found in oceans and seas as saltwater, while the remaining 2.5% is freshwater found in rivers and lakes. Approximately 90% of the world's freshwater resources are trapped in the polar zones and underground. Accessible freshwater, which is essential for all living creatures, is limited to only 0.3% of the world's water resources (Aksoy, 2018). Water pollution can be caused by a variety of sources, including domestic and industrial waste, chemical fertilizers (especially nitrogen fertilizers) used in agriculture, air pollution (such as acid rain), and undesirable hazardous substances transported by erosion, such as soil and foreign matter.

Numerous international and national scientific studies have been conducted on rivers, which are considered to be particularly scarce water resources in the world's usable fresh water. These studies aim to determine current and potential levels of pollution, evaluate water quality based on physical and chemical parameters in the study areas, and provide information on the current quality level to ensure human sustainability.

Metals that are denser than 5.00 g/mL are called heavy metals. More than 60 metals are included in this group e.g., zinc (Zn), lead (Pb), cadmium (Cd), iron (Fe), copper (Cu), nickel (Ni), and carbon monoxide (CO) (Bakar & Baba 2009). Sometimes, wastewaters may contain high concentrations of heavy metals and these metals rate important problems in aquatic environments and for creatures living in these environments via the usage of natural resources and human activities (Kaçar et al. 2022).

Water quality modeling studies for rivers and water reservoirs were started in the 1970s. Besides, water quality and multi-dimensional hydrodynamic models on rivers and water resources have been done and confirmed by various computing methods (Aksoy 2018).

In those studies, surface water quality parameters are measured in situ and in laboratories [dissolved oxygen (DO), temperature ($^{\circ}\text{C}$), pH, electrical conductivity (EI), suspended solids (SS), chemical oxygen demand (COD), turbidity, total organic carbon (TOC), ammonium (NH_4^+), calcium (Ca^{+2}), magnesium (Mg^{+2}), hardness, sodium (Na), copper (Cu), chloride ion (Cl), potassium (K), phosphate (PO_4^{-3}), nitrite (NO_2^-), nitrate (NO_3^-), aluminum (Al^{+3}), manganese (Mn^{+2}), iron (Fe^{+3}), chromium (Cr^{+3}), lead (Pb^{+2})

and zinc (Zn^{+2})] and the quality of water is classified. In addition, these measured parameters are statistically analyzed; modern methods, such as artificial neural network (ANN) and Fuzzy Logic are used for accurate prediction of various parameters (Gürsoy et al. 2018, Sonmez et al. 2018, Leventeli and Yalçın 2019, Atıcı 2020, Demirel 2021, Çıtakoğlu and Özeren 2021, Oskay et al. 2022, Kaya 2022, Aslan 2023).

In this study, surface water quality parameters (COD, Ca^{+2} , Al^{+3} , Mn^{+2} , Fe^{+3} , Cr^{+3} , Pb^{+2} and Zn^{+2} , turbidity and SS) are measured seasonally at five observation stations located along the main line of the Filyos River (228 km) at intervals of thirty days in 2015 (i.e. one-year period) and analyzed in the laboratory. In water quality studies, turbidity parameter based on Al^{+3} , Fe^{+3} , Mn^{+2} , Zn^{+2} , Pb^{+2} , Cr^{+3} , Ca^{+2} and SS parameters is predicted by ANN method using matrix laboratory (MATLAB). Then, the highly efficient model is determined by adding more efficient parameters one by one to this parameter. The results of the proposed model show that the results obtained from ANN are not different from the measured values in the laboratory and in situ. So that, ANN can be successfully applied and produces reliable estimations.

2. Material and Methods

2.1. Study Area

The length of the Filyos River is 228 km, the annual flow regime of river is quite regular, and its water level increases in winter and spring seasons whereas it decreases towards to the end of summer. The Filyos basin with drainage area of 13.300 km², covers surface area of about 46% of the Western Black Sea Basin. Filyos River carries in average 2.9 km³/year water and 4.2 million ton/year sediment. With this feature, Filyos River is ranked as 5th river with a fresh water capacity of 7% in Türkiye (Küçükali 2019). Karabük Iron-Steel Factory and Seka Çaycuma Paper Factory, located in this region, cause pollution of the river considerably. Besides, the main factor, polluted the river, is that the regional administrations dump domestic sewage and garbage into the river for years (Demirci 2008).

General Directorate of State Hydraulic Works (DSİ) determined the locations of five stations on the Filyos River by considering the factors such as proximity to agricultural lands, industrial facilities and population density (Figure1, Table 1).

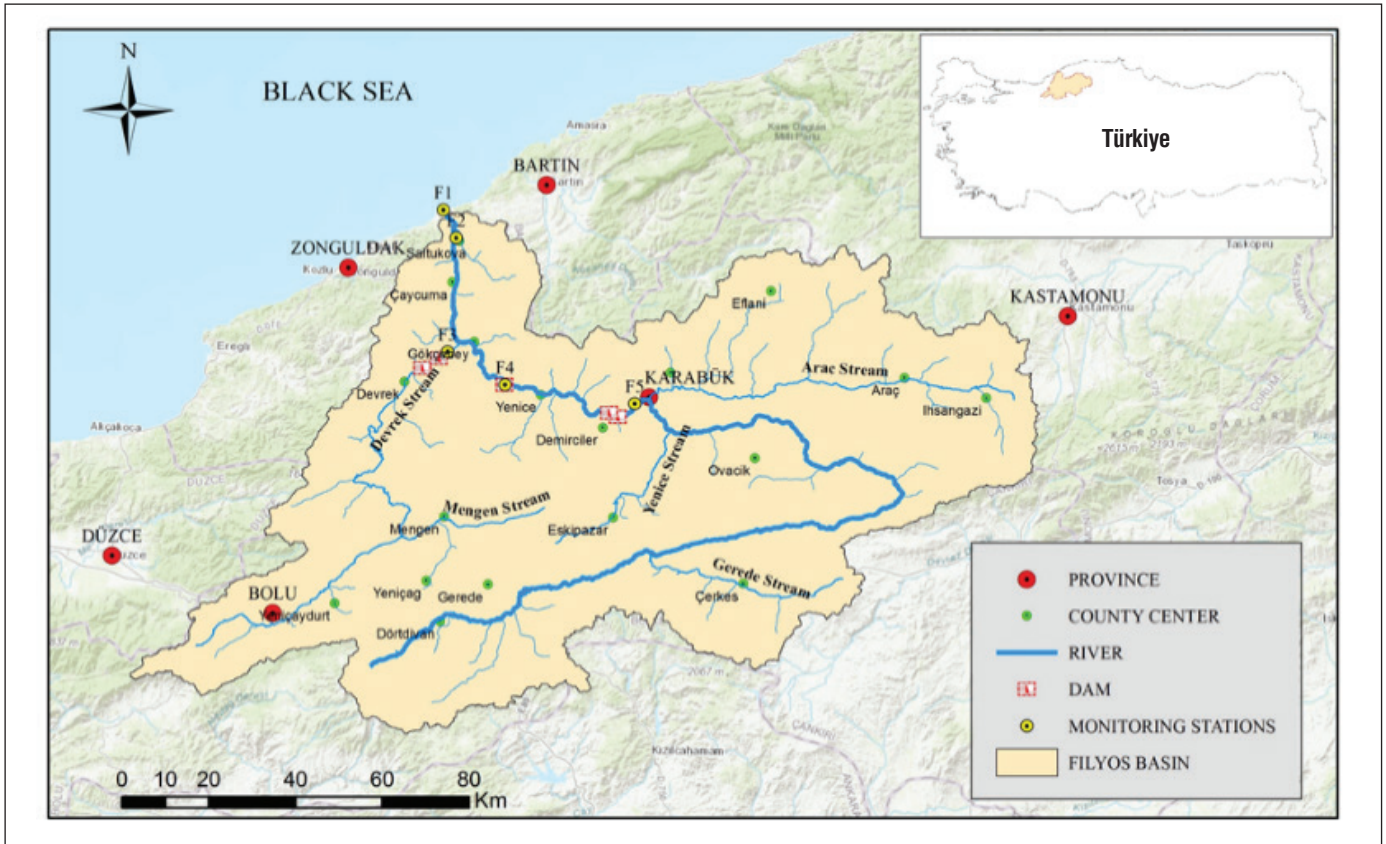


Figure 1. Locations of five water quality measurement stations on the Filyos River (Aksoy 2018).

Table 1. Coordinates of five water quality measurement stations along the Filyos River.

Stations	Coordinates	Height (m)
F1 (Filyos)	41°34'45.91"N - 32° 2'55.88"E	11
F2 (Saltukova Bridge)	41°31'20.68"N - 32° 5'11.09"E	56
F3 (Çaydeğirmeni)	41°17'2.83"N - 32° 4'9.88"E	59
F4 (Tefen HEC)	41°13'14.00"N - 32°13'31.00"E	98
F5 (Karabük)	41°11'9.21"N - 32°35'25.83"E	301

2.2. Model and Methods

In 2015, water samples were collected monthly from five different water quality monitoring sites and physicochemical parameters were analyzed both in the field using portable equipment and in the laboratory using standard methods. (Eaton et al. 2005, Clesceri et al. 1998). The results obtained at the laboratory are given in Table 2.

The turbidity monthly values were predicted by using ANN model. ANN toolbox in MATLAB was utilized for analyzing the model. In creating the model, the data set were divided into two parts: Training set and validation set.

In this context, 420 of the 480 data collected in the study were used to train the artificial neural network, while the remaining data (60 data) were used to test the accuracy of the model. The surface water quality parameters were evaluated seasonally for each station one by one. The proposed model was trained separately for each station.

ANN is the distributed and parallel data processing structures that are inspired by human brain, connected by means of the weighted connections and consisted of processors having their own memory. In other words, it is a general expression of computer programs that mimic biological neural networks

(Elmas 2003). The most important property of initial models of ANN is that they can solve linear events. They have been encountered difficulties on learning the non-linear relations. Therefore, multilayer perceptron (MLP) was developed.

MLP is a forward connection networks and composed of three layers: Input layer, hidden layer, and output layer (Figure 2) (Öztemel 2016).

Table 2. Results of water quality measurements.

Station	Season	Al ³⁺	Mn ²⁺	Fe ³⁺	Cr ³⁺	Pb ⁴⁺	Zn ²⁺	Ca ²⁺	SS	COD	Turbidity
F1	Autumn	10.23	0.28	20.46	0.26	0.02	0.31	51.98	46.00	111.50	97.10
	Winter	16.37	0.41	17.29	0.31	0.02	0.190	53.74	50.50	92.50	73.75
	Spring	3.24	0.48	53.94	0.21	0.04	0.49	55.19	84.00	83.23	54.98
	Summer	7.07	0.09	11.32	0.09	0.02	0.34	53.49	135.50	65.42	49.92
F2	Autumn	13.20	0.49	30.49	0.23	0.51	0.36	55.47	44.00	116.50	17.80
	Winter	19.67	0.14	40.08	0.24	0.07	0.18	58.20	40.50	82.50	20.85
	Spring	12.15	0.16	48.86	0.15	0.10	0.64	59.83	60.50	80.03	14.40
	Summer	4.42	0.06	46.54	0.09	0.01	0.54	90.65	90.00	79.60	47.65
F3	Autumn	2.62	0.43	23.10	0.10	0.03	0.45	56.74	24.00	55.00	10.21
	Winter	4.56	0.49	26.35	0.15	0.03	0.62	49.73	52.00	52.00	10.77
	Spring	7.63	0.35	34.87	0.16	0.0	0.58	58.98	79.00	57.36	12.20
	Summer	2.96	0.05	48.02	0.08	0.01	0.56	62.37	95.50	100.97	13.04
F4	Autumn	2.80	0.25	41.09	0.09	0.03	0.34	56.89	27.00	74.50	15.58
	Winter	4.54	0.29	36.36	0.10	0.02	0.49	53.59	54.50	86.50	23.42
	Spring	6.11	0.23	46.75	0.11	0.02	0.49	62.56	103.00	70.00	30.01
	Summer	4.41	0.08	39.71	0.07	0.01	0.58	59.54	108.50	80.50	13.61
F5	Autumn	3.55	0.07	76.08	0.06	0.04	0.23	57.03	57.50	108.00	21.60
	Winter	4.50	0.11	57.37	0.05	0.01	0.36	55.45	77.50	137.00	36.70
	Spring	3.89	0.11	58.64	0.05	0.01	0.40	62.13	156.00	89.56	51.48
	Summer	6.19	0.10	24.39	0.07	0.01	0.59	54.71	148.50	74.17	16.62

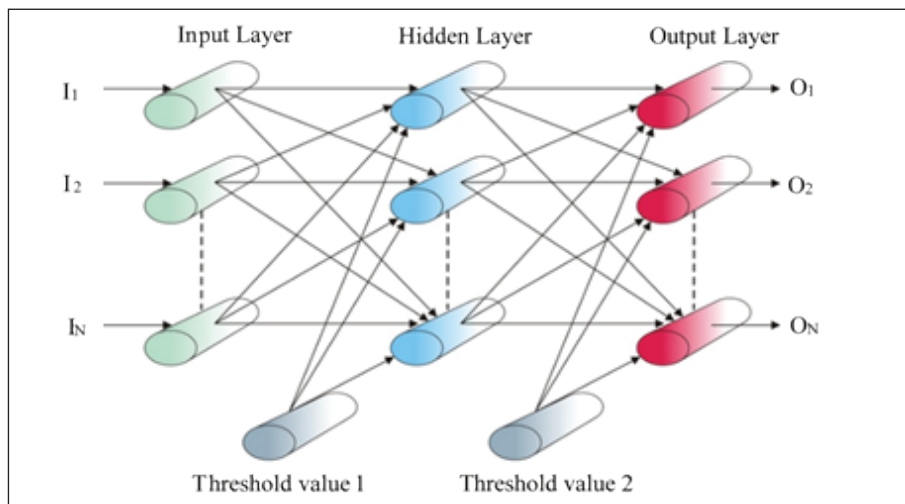


Figure 2. Multi-layer perceptron.

Multilayer perceptron neural networks operate in comparison with supervised learning model. It means that both inputs and expected outputs are generated in response to these inputs introduced to the networks during the training of the networks. The learning rule of multilayer perceptron is the generalized condition of the Delta Rule based on least squares method. Generalized Delta Rule involves two phases. First phase is the calculating phase of the network output named forward calculation. The second phase is the phase of change the weights known as backward calculation (Öztemel 2016). The operations performed in these two phases can be briefly described as follows.

In the preparation phase, ANN topology analysis was performed to determine the number of ANN hidden layer neurons. For different hidden layer neuron numbers, ANN performances, coefficient of determination (R^2) and mean squared error (MSE) statistical performance analysis criteria were used. ANN topologies were trained and tested by taking the number of hidden layer neurons as 3, 4, 6, 8 and 10 respectively. Then, selected parameters for analyses were put to the system as input individually, and it was determined which parameter estimates accurately turbidity (Table 3).

Table 3. Models created for different input layers.

Model No	Input Variables	Output
1	Cr	Turbidity
2	COD	Turbidity
3	Fe	Turbidity
4	Al	Turbidity
5	SS	Turbidity
6	Mn	Turbidity
7	Zn	Turbidity
8	Pb	Turbidity
9	Ca	Turbidity

Afterwards, at each time, it has been added the other most accurate parameter to the most accurate one for estimation of turbidity. The most effective model for turbidity parameter was determined as regarding to the proposed model based on basin. (Table 4).

Table 4. Models created for different input layers.

Model No	Input Variables	Output
1	Cr, COD	Turbidity
2	Cr, COD, Fe	Turbidity
3	Cr, COD, Fe, Al	Turbidity
4	Cr, COD, Fe, Al, SS	Turbidity
5	Cr, COD, Fe, Al, SS, Mn	Turbidity
6	Cr, COD, Fe, Al, SS, Mn, Zn	Turbidity
7	Cr, COD, Fe, Al, SS, Mn, Zn, Pb	Turbidity
8	Cr, COD, Fe, Al, SS, Mn, Zn, Pb, Ca	Turbidity

3. Results and Discussion

In the study, firstly, the water samples were collected at thirty-day intervals between September 2015 and August 2016 at five water quality measurement stations on the Filyos River. Secondly, some of them were analyzed in situ with portable devices and the others at the laboratory and then ANN was applied to the results obtained from the analyses. The study showed that the Cr parameter was the best for predicting turbidity in water with accuracy of 99%. Figure 3 shows the topology plot of the Cr parameter with the best performance in test. Cr parameter is respectively followed by COD, Fe, Al, ECM, Mn, Zn, Pb and Ca parameters (Table 5).

Table 5. Model results for different input layers.

No	Parameter	The Number of Hidden Layer	R^2	MSE
1	Cr	8	0.9999	$6,6612.10^{-6}$
2	COD	10	0.9987	0.000584
3	Fe	8	0.9980	0.00093
4	Al	6	0.9963	0.0001
5	SS	10	0.9944	0.00026
6	Mn	3	0.9938	0.0002
7	Zn	6	0.9900	0.0006
8	Pb	6	0.9878	0,00059
9	Ca	8	0.9764	0.0011

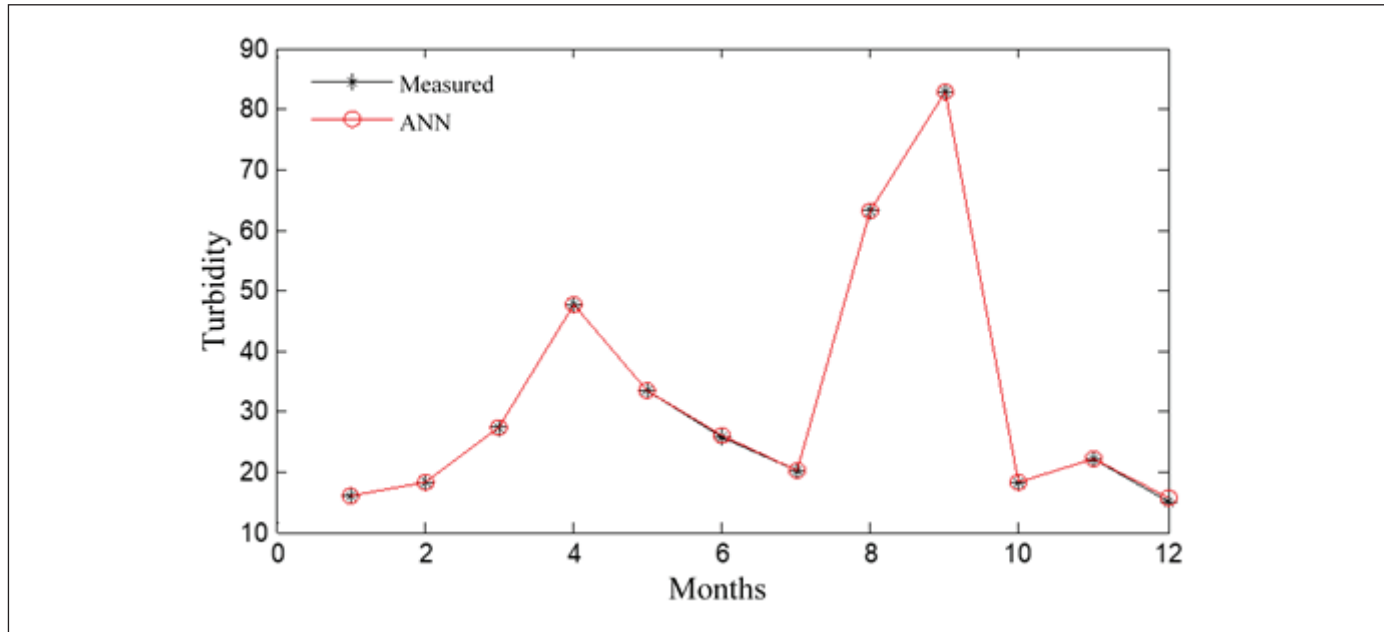


Figure 3. ANN performance for Cr in Filyos River.

Table 6. Results for different input layers.

No	Supplemented Parameters	The Number of Hidden Layer	R ²	MSE
1	Cr, COD	8	0.9624	0.00220
2	Cr, COD, Fe	4	0.9795	0.00120
3	Cr, COD, Fe, Al	10	0.9992	0.000046
4	Cr, COD, Fe, Al, SS	6	0.9884	0.000067
5	Cr, COD, Fe, Al, SS, Mn	10	0.9941	0.00034
6	Cr, COD, Fe, Al, SS, Mn, Zn	10	0.9983	0.000099
7	Cr, COD, Fe, Al, SS, Mn, Zn, Pb	6	0.9978	0.00013
8	Cr, COD, Fe, Al, SS, Mn, Zn, Pb, Ca	10	0.9972	0.00016

Besides, the results of the models formed by adding the subsequent best parameter to Cr parameter at each step are given in Table 6. The topology graph that illustrates the best performance of parameters in test is given in Figure 4.

4. Conclusion and Suggestions

Water management in Turkey, where water resources are limited, should be continued by developing more appropriate policies. Protecting and improving water quality are very important in this process. Artificial neural networks (ANNs), which have significant achievements in the modelling studies, for forecasting water quality parameters are used. In this study, ANN models were created to predict

the turbidity parameter, which is one of the water quality parameters of the Filyos River between 2015-2016 years. The models, developed for this study, were considered together and water quality parameters that have been selected for forecasting turbidity in the Filyos River are used one by one as input to the system.

Then, the best estimated parameter for turbidity has been determined. The model resulted that Cr parameter was the most importance parameter for predicting turbidity parameter. The parameters of COD, Fe, Al, SS, Mn, Zn, Pb and Ca followed Cr, respectively. New models were formed by adding the subsequent best parameter to Cr parameter

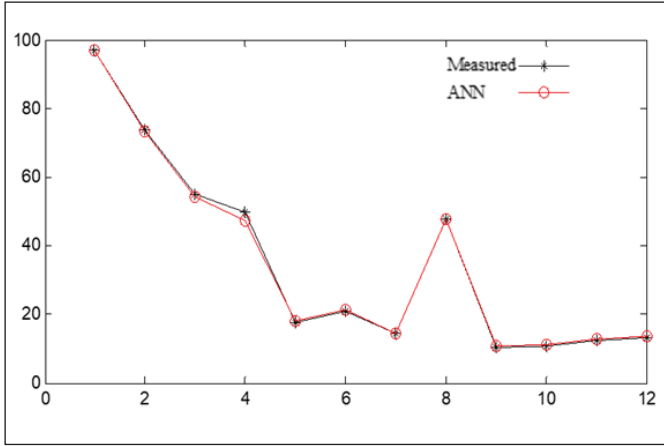


Figure 4. AAN performance for Cr, COD, Fe and Al parameters.

at each step. The results of the third model showed that Cr, COD, Fe and Al were more accurate estimation parameters for the turbidity. It was found that the results of ANN models were very close to the measured values at laboratory and in situ with portable devices. The study demonstrated that ANN is an available tool for predicting turbidity in water resources successfully and accurately.

Author contribution: İsmail Hakkı Özölçer and Emrah Doğan guided the study and Berna Aksoy contributed to data collection, analysis and modeling.

5. References

- Aksoy, B. 2018.** Determination the effect of seasonal change on water quality of Filyos Stream by artificial neural network. Doctoral Thesis, Zonguldak Bulent Ecevit University, 267 s.
- Aslan, V. 2023.** Bozova groundwater quality modeling and evaluation using fuzzy Ahp method based on GIS technique. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 8(1):16-27. <http://doi.org/10.35229/jaes.1201454>
- Atıcı, AA. 2020.** Determination of water quality characteristics of Dönerdere, Yumruklu, Değirmigöl and Dolutaş Ponds (Van, Turkey), *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 3(5):348-355. <https://doi.org/10.35229/jaes.756835>
- Bakar, C., Baba, A. 2009.** Metals and human health: An environmental health problem inherited from the twentieth century to the present and the future. 1st Medical Geology Workshop, s. 162, Nevşehir, Turkey.
- Clesceri, LS., Greenberg, AE., Eaton, AD. 1998.** Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th Edition, American Public Health Association, Washington DC.
- Çıtakoğlu, H., Özeren, Y. (2021).** Modeling of Sakarya basin water quality parameters with artificial neural networks. *European Journal of Science and Technology*, 24:10-17. <https://doi.org/10.31590/ejosat.898046>
- Demirci, F. 2008.** Analysis of sediment accumulation areas in Filyos basin with satellite image data and digital terrain model, Master's Thesis, Istanbul Technical University, 85 s.
- Demirel, H. 2021.** Accumulation effect of heavy metals in Sapanca Lake Basin and mass balance model, PhD Thesis, Sakarya University, 285 s.
- Eaton, AD., Franson, MAH., Clesceri, LS., Rice, EW., Greenberg, AE. 2005.** Standard methods for the examination of water & wastewater. In *Standard methods for the examination of water & wastewater*, American Public Health Association, Washington DC, pp. 1-v.
- Elmas, Ç. 2003.** Artificial Neural Networks (Çetin Elmas, Ed.). Ankara: Seçkin Publishing.
- Gürsoy Haksevenler, BH., Atasoy Aytış, E., Dilaver, M., Küçük, E., Pilevneli, T., Yetiş, Ü., ... Şiltu, E. 2018.** Natural background concentrations determination for metals in surface waters, Gediz River Basin. *Turkish Journal of Water Science & Management*, 3(1):2-21. <https://doi.org/10.31807/tjwsm.355287>.
- Kaçar, H., Yılmaz, S., Türkoğlu, M., Sadıkoğlu, M. 2022.** Seasonal variations in tap water quality parameters in Çanakkale, Turkey. *Turkish Journal of Analytical Chemistry*, 4(1):6-18. <https://doi.org/10.51435/turkjac.1111456>
- Kaya, E. 2022.** Evaluation of water quality parameters of Lake Iznik with artificial neural networks method. Master Thesis, Sakarya University, 110 s.
- Küçükali, S. 2019.** Statistical investigation of physical water quality parameters of Filyos River. *Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences*, 4(3):519-524. <https://doi.org/10.35229/jaes.636576>.
- Leventeli, Y., Yalçın, F. 2019.** Heavy Metal Pollution Index (H_{pi}) in surface water between Alakır Dam and Alakır Bridge, Antalya-Turkey. *Kahramanmaraş Sütçü İmam University Journal of Engineering Sciences*, 22:125-131.
- Oskay, V., Karagöz, Ö., Kuşlu, S. 2022.** Investigation of water quality of the Şenkale stream feeding the Bahçecik dam meeting the drinking water needs of Gümüşhane province, *Gumushane University Journal of Science and Technology*, 61-75. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.1035164>.
- Öztemel, E. 2016.** Artificial neural networks. 3rd Edition, Papatya publishing, İstanbul, 232 s.
- Sonmez, AY., Kale, S., Ozdemir, RC., Kadak, AE. 2018.** An adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) to predict of cadmium (Cd) concentrations in the Filyos River, Turkey. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 18(12):1333-1343. http://doi.org/10.4194/1303-2712-v18_12_01



Some Properties of Generalized Jacobsthal-Like Sequences

Genelleştirilmiş Jacobsthal-Benzeri Dizilerin Bazı Özellikleri

Can Murat Dikmen , Kübra Karataş Selam*

Zonguldak Bülent Ecevit University, Faculty of Science, Department of Mathematics, Zonguldak, Türkiye

Abstract

In this article, using Jacobsthal and Jacobsthal-Lucas sequences, we define generalized Jacobsthal-Like sequences and investigate their algebraic properties like Binet's formula, generating functions, Simson formula and summation formula. We also prove some other summation formulas like sum of even and odd indices and alternating sum of generalized Jacobsthal-Like sequences.

Keywords: Generalized Jacobsthal-Like sequences, Jacobsthal sequence, Jacobsthal-Lucas sequences.

Öz

Bu makalede Jacobsthal ve Jacobsthal-Lucas dizilerini kullanarak genelleştirilmiş Jacobsthal-Benzeri dizilerini tanımlayıp Binet formülü, üreten fonksiyonlar, Simson formülü ve toplam formülü gibi cebirsel özelliklerini araştırıyoruz. Ayrıca çift ve tek indekslerin toplamı ve genelleştirilmiş Jacobsthal-Benzeri dizilerinin alterne toplamı gibi diğer toplama formüllerini de kanıtıyoruz.

Anahtar Kelimeler: Genelleştirilmiş Jacobsthal-benzeri diziler, Jacobsthal dizisi, Jacobsthal-Lucas dizileri.

1. Introduction

For many years, extensive studies have been conducted on generalized Fibonacci-Like sequences, exploring both their characteristics and preliminary results. (Harne et al. 2014, Gupta et al. 2014, Singh et al. 2014). Using these studies on generalized Fibonacci-Like sequences, we can extend these studies to the generalized Jacobsthal-Like and other interesting sequences in a similar fashion.

Every term in the Jacobsthal sequence can be determined recursively with the initial values $J_0=0, J_1=1$. Similar is the case with Jacobsthal-Lucas sequence. See (Horadam 1996). The definitions of Jacobsthal-Like sequences associated with Jacobsthal and Jacobsthal-Lucas sequences can be found in the papers (Natividad 2016, Pakapongpun 2020).

The sequence of Jacobsthal numbers $\{J_n\}$ is defined by

$$J_n = J_{n-1} + 2J_{n-2}, \quad n \geq 2, \quad J_0 = 0, J_1 = 1. \quad (1)$$

The sequence of Jacobsthal-Lucas numbers $\{j_n\}$ is defined by

$$j_n = j_{n-1} + 2j_{n-2}, \quad n \geq 2, \quad j_0 = 2, j_1 = 1. \quad (2)$$

The Binet's formula for Jacobsthal sequence is given by

$$J_n = \frac{\alpha^n - \beta^n}{\alpha - \beta} = \frac{1}{3}[(2^n - (-1)^n)] \quad (3)$$

where $\alpha = 2$ and $\beta = -1$.

Similarly, the Binet's formula for Jacobsthal-Lucas sequence is given by

$$j_n = \alpha^n + \beta^n = 2^n + (-1)^n. \quad (4)$$

In this paper, we present various properties of the generalized Jacobsthal-Like sequence defined by

$$V_n = V_{n-1} + 2V_{n-2}, \quad n \geq 2 \quad (5)$$

with $V_0 = 2$ and $V_1 = 1 + m$, m being a fixed positive integer.

Here the initial conditions V_0 and V_1 are the sum of m times the initial conditions of Jacobsthal sequence and the initial conditions of Jacobsthal-Lucas sequence respectively.

*Corresponding author: kubra.kratas@gmail.com

Can Murat Dikmen orcid.org/0000-0002-1837-1139

Kübra Karataş Selam orcid.org/0000-0002-6490-440X



The relation between Jacobsthal sequence and generalized Jacobsthal-Like sequence can be written as

$$V_n = mJ_n + j_n, \quad n \geq 0. \tag{6}$$

Then, the terms of the sequence $\{V_n\}$ are given by $\{V_n\} = \{2, 1 + m, 5 + m, 7 + 3m, 17 + 5m, 31 + 11m, \dots\}$.

2. Preliminary results of Generalized Jacobsthal-Like sequence

The first, we introduce some basic results of generalized Jacobsthal-Like sequence and Jacobsthal sequence.

The corresponding characteristic equation of relation (1) is $x^2 - x - 2 = 0$ and its roots are $\alpha = 2$ and $\beta = -1$. (7)

Using these two roots, we obtain Binet’s formula of recurrence relation (5)

$$V_n = \frac{m}{3}(\alpha^n - \beta^n) + (\alpha^n + \beta^n) = \frac{m}{3}(2^n - (-1)^n) + (2^n + (-1)^n).$$

Generating function of $\{V_n\}$ is defined as

$$\sum_{k=0}^{\infty} V_k x^k = \frac{2 + (m-1)x}{1 - x - 2x^2}. \tag{8}$$

3. Properties of Generalized Jacobsthal-Like sequence

Of the generalized Jacobsthal-Like sequence $\{V_n\}$, like generalized Fibonacci-Like sequences have many interesting properties (Benjamin and Quinn 1999, Lee and Z. Lee 1987, Badshah et al. 2012, Harne et al. 2014, Singh et al. 2010, Soykan et al. 2018, Soykan and Göcen 2022).

Sums of generalized Jacobsthal-Like terms can be given in the following theorems.

Theorem 1. Sum of the first terms of the generalized Jacobsthal-Like sequence $\{V_n\}$ is

$$V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n = \sum_{k=1}^n V_k = \frac{V_{n+2} - V_2}{2}. \tag{9}$$

This identity becomes

$$V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_{2n} = \sum_{k=1}^{2n} V_k = \frac{V_{2n+2} - V_2}{2}. \tag{10}$$

Proof. We know that the following relations hold:

$$\begin{aligned} 2V_1 &= V_3 - V_2, \\ 2V_2 &= V_4 - V_3, \\ 2V_3 &= V_5 - V_4, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\vdots \\ 2V_{n-1} &= V_{n+1} - V_n, \\ 2V_n &= V_{n+2} - V_{n+1}. \end{aligned}$$

Term wise addition of all above equations, we obtain

$$\begin{aligned} 2(V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n) &= V_{n+2} - V_2, \\ V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n &= \frac{V_{n+2} - V_2}{2}. \end{aligned}$$

Theorem 2. Sum of the first terms of the generalized Jacobsthal-Like sequence $\{V_n\}$ is

$$V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_{2n} = V_{2n+1} - V_1.$$

Proof.

$$\begin{aligned} V_2 &= V_3 - 2V_1, \\ V_4 &= V_5 - 2V_3, \\ V_6 &= V_7 - 2V_5, \\ &\vdots \\ V_{2n-2} &= V_{2n-1} - 2V_{2n-3}, \\ V_{2n} &= V_{2n+1} - 2V_{2n-1}. \end{aligned}$$

Term wise addition of all above equations, we obtain

$$\begin{aligned} V_2 + V_4 + V_6 + \dots + V_{2n} &= \\ -(V_1 + V_3 + \dots + V_{2n-1}) + V_{2n+1} - V_1. \end{aligned} \tag{12}$$

Adding odd indices to the both sides of the equation, we have

$$V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_{2n} = V_{2n+1} - V_1.$$

Theorem 3. Sum of the first $2n - 1$ terms of the generalized Jacobsthal-Like sequence $\{V_n\}$ is

$$V_0 + V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_{2n-1} = V_{2n} - V_0. \tag{13}$$

Proof.

$$\begin{aligned} V_1 &= V_2 - 2V_0, \\ V_3 &= V_4 - 2V_2, \\ V_5 &= V_6 - 2V_4, \\ &\vdots \\ V_{2n-3} &= V_{2n-2} - 2V_{2n-4}, \\ V_{2n-1} &= V_{2n} - 2V_{2n-2}. \end{aligned}$$

Term wise addition of all above equations, we obtain

$$\begin{aligned} V_1 + V_3 + V_5 + \dots + V_{2n-1} &= -(V_0 + V_2 + \dots + V_{2n-2}) + V_{2n} - V_0, \\ V_0 + V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_{2n-1} &= V_{2n} - V_0. \end{aligned}$$

We state and prove the following identity for the generalized Jacobsthal-Like sequence $\{V_n\}$

Lemma 4. For every positive integer , we have

$$2V_{2n} - V_{2n+1} = 3 - m. \tag{14}$$

Proof. Combining (10) and (11) and putting $V_1 = 1 + m, V_2 = 5 + m$, we obtain

$$\begin{aligned} V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_{2n} &= \sum_{k=1}^{2n} V_k = \frac{V_{2n+2} - (5 + m)}{2} \\ &= V_{2n+1} - (1 + m), \\ V_{2n+2} - (5 + m) &= 2V_{2n+1} - 2(1 + m), \\ V_{2n+2} - 2V_{2n+1} &= 3 - m, \\ V_{2n+1} + 2V_{2n} - 2V_{2n+1} &= 3 - m, \\ 2V_{2n} - V_{2n+1} &= 3 - m. \end{aligned}$$

Theorem 5. Sum of the first $(n + 1)$ terms of the generalized Jacobsthal-Like sequence $\{V_n\}$ with odd and even indices are

$$V_1 + V_3 + V_5 + \dots + V_{2n+1} = \frac{2V_{2n+2} - (n + 1)(3 - m) - 4}{3}, \tag{15}$$

and

$$V_0 + V_2 + V_4 + \dots + V_{2n} = \frac{V_{2n+2} + (n + 1)(3 - m) - 2}{3} \tag{16}$$

respectively.

Proof.

Using (13),

$$V_0 + V_1 + V_2 + \dots + V_{2n} + V_{2n+1} = V_{2n+2} - 2.$$

$$\text{For } V_0 + V_2 + V_4 + \dots + V_{2n-2} + V_{2n} = X,$$

$$V_1 + V_3 + V_5 + \dots + V_{2n-1} + V_{2n+1} = Y$$

$$X + Y = V_{2n+2} - 2. \tag{17}$$

Using (14),

$$\begin{aligned} \sum_{k=0}^n (2V_{2k} - V_{2k+1}) &= \sum_{k=0}^n (3 - m), \\ 2\sum_{k=0}^n V_{2k} - \sum_{k=0}^n V_{2k+1} &= (n + 1)(3 - m), \\ 2X - Y &= (n + 1)(3 - m). \end{aligned} \tag{18}$$

Using (17) and (18) we get

$$\begin{aligned} V_0 + V_2 + V_4 + \dots + V_{2n} &= \frac{V_{2n+2} + (n + 1)(3 - m) - 2}{3}, \\ V_1 + V_3 + V_5 + \dots + V_{2n+1} &= \frac{2V_{2n+2} - (n + 1)(3 - m) - 4}{3}. \end{aligned}$$

From the above theorem we can calculate the alternating sum of the first n numbers.

Corollary 6. The alternating sum of the first n numbers of the of the generalized Jacobsthal-Like sequence $\{V_n\}$ yazılabilir.

$$\begin{aligned} V_0 - V_1 + V_2 - V_3 + V_4 - V_5 + \dots + (-1)^n V_n \\ = \frac{(-1)^n V_{n+1} + (n + 1)(3 - m) + 2}{3}. \end{aligned} \tag{19}$$

Proof. If we subtract equation (15) term wise from equation (16), we get alternating sum of the first $2n+1$ numbers:

$$\begin{aligned} V_0 + V_1 + V_2 - V_3 + V_4 - V_5 + \dots + V_{2n} - V_{2n+1} \\ = \frac{V_{2n+2} + 5n + 1)(3 - m) - 2}{3} - \frac{2V_{2n+2} - (n + 1)(3 - m) - 4}{3} \\ = \frac{-V_{2n+2} + 2(n + 1)(3 - m) + 2}{3}. \end{aligned}$$

If we want to calculate the alternating sum of the first n numbers from the above equation, substituting $2n+1$ by n we get the following result

$$\begin{aligned} V_0 - V_1 + V_2 - V_3 + V_4 - V_5 + \dots + (-1)^n V_n \\ = \frac{(-1)^n V_{n+1} + (n + 1)(3 - m) + 2}{3}. \end{aligned}$$

Now, some identities for the generalized Jacobsthal-Like sequence $\{V_n\}$ are stated and proven below.

Theorem 7. For every integer $n \geq 0$, for each real coefficient m ,

$$mV_{n+2} - mV_{n+1} = 2mV_n. \tag{20}$$

Proof.

$$m(V_{n+2} - V_{n+1}) = m(2V_n) = 2mV_n.$$

Theorem 8. For every integer $n \geq 1$, we have

$$V_n^2 = V_n V_{n+1} - 2V_{n-1} V_n. \tag{21}$$

Proof.

$$V_n V_{n+1} - 2V_{n-1} V_n = V_n(V_{n+1} - 2V_{n-1}) = V_n^2.$$

Theorem 9. (Simson formula) For every integer $n \geq 1$ we have

$$V_{n+1} V_{n-1} - V_n^2 = (-1)^{n+1} 2^{n-1} (9 - m^2). \tag{22}$$

Proof.

We shall use mathematical induction over n .

It is easy to see that for $n = 1$,

$$V_2 V_0 - V_1^2 = (-1)^2 2^0 (9 - m^2)$$

$$2(5 + m) - (1 + m)^2 = (9 - m^2), \text{ which is true.}$$

Assume that the result is true for $n = k$. Then

$$V_{k+1} V_{k-1} - V_k^2 = (-1)^{k+1} 2^{k-1} (9 - m^2). \tag{23}$$

Multiplying by 2 and adding $V_k V_{k+1}$ to each side of equation (23), we get

$$\begin{aligned} 2V_{k+1}V_{k-1} - 2V_k^2 + V_k V_{k+1} &= (-1)^{k+1} 2^k (9 - m^2) + V_k V_{k+1}, \\ V_{k+1}(2V_{k-1} + V_k) - V_k(2V_k + V_{k+1}) &= (-1)^{k+1} 2^k (9 - m^2), \\ V_{k+1}^2 - V_k V_{k+2} &= (-1)^{k+1} 2^k (9 - m^2), \\ -(V_k V_{k+2} - V_{k+1}^2) &= (-1)^{k+1} 2^k (9 - m^2), \\ V_{k+2}V_k - V_{k+1}^2 &= (-1)^{k+2} 2^k (9 - m^2). \end{aligned}$$

Therefore, the result is also true for $n = k + 1$.

Hence, $V_{n+1}V_{n-1} - V_n^2 = (-1)^{n+1} 2^{n-1} (9 - m^2)$, for every $n \geq 1$

Theorem 10 For every positive integer n ,

$$V_3 + V_6 + V_9 + \dots + V_{3n} = \begin{cases} \frac{1}{7}(V_{3n+3} - 16), & \text{if } n \text{ is odd} \\ \frac{1}{7}(V_{3n+3} - V_3), & \text{if } n \text{ is even.} \end{cases} \quad (24)$$

Proof. We use the Binet’s formula of generalized Jacobsthal-Like,

$$\begin{aligned} &V_3 + V_6 + V_9 + \dots + V_{3n} \\ &= \frac{m}{3}(\alpha^3 - \beta^3) + (\alpha^3 + \beta^3) + \frac{m}{3}(\alpha^6 - \beta^6) + (\alpha^6 + \beta^6) \\ &+ \frac{m}{3}(\alpha^9 - \beta^9) + (\alpha^9 + \beta^9) + \dots + \frac{m}{3}(\alpha^{3n} - \beta^{3n}) + (\alpha^{3n} + \beta^{3n}) \\ &= \frac{m}{3}[(\alpha^3 + \alpha^6 + \alpha^9 + \dots + \alpha^{3n}) - (\beta^3 + \beta^6 + \beta^9 + \dots + \beta^{3n})] + \\ &[(\alpha^3 + \alpha^6 + \dots + \alpha^{3n}) - (\beta^3 + \beta^6 + \beta^9 + \dots + \beta^{3n})], \\ &= \frac{m}{3} \left[\left(\frac{\alpha^{3n+3} - \alpha^3}{\alpha^3 - 1} \right) - \left(\frac{\beta^{3n+3} - \beta^3}{\beta^3 - 1} \right) \right] + \left[\left(\frac{\alpha^{3n+3} - \alpha^3}{\alpha^3 - 1} \right) + \left(\frac{\beta^{3n+3} - \beta^3}{\beta^3 - 1} \right) \right] \\ &= \frac{m}{3} \left[\left(\frac{2^{3n+3} - 8}{7} \right) - \left(\frac{(-1)^{3n+3} + 1}{-2} \right) \right] + \left[\left(\frac{2^{3n+3} - 8}{7} \right) + \left(\frac{(-1)^{3n+3} + 1}{-2} \right) \right] \\ &= \begin{cases} \frac{m}{3} \left[\left(\frac{2^{3n+3} - 8}{7} \right) + 1 \right] + \left[\left(\frac{2^{3n+3} - 8}{7} \right) - 1 \right], & \text{if } n \text{ is odd} \\ \frac{m}{3} \left(\frac{2^{3n+3} - 8}{7} \right) + \frac{2^{3n+3} - 8}{7}, & \text{if } n \text{ is even} \end{cases} \\ &= \begin{cases} \frac{m}{3} \left(\frac{2^{3n+3} - 1}{7} \right) + \frac{2^{3n+3} - 15}{7}, & \text{if } n \text{ is odd} \\ \frac{1}{7} \left[\frac{m}{3} (2^{3n+3} - (-1)^{3n+3} - 9) + (2^{3n+3} + (-1)^{3n+3} - 7) \right], & \text{if } n \text{ is even} \end{cases} \\ &= \begin{cases} \frac{m}{3} \left(\frac{2^{3n+3} - (-1)^{3n+3}}{7} \right) + \frac{2^{3n+3} + (-1)^{3n+3} - 16}{7}, & \text{if } n \text{ is odd} \\ \frac{1}{7} [V_{3n+3} - (3m + 7)] & \text{if } n \text{ is even} \end{cases} \\ &= \begin{cases} \frac{1}{7}(V_{3n+3} - 16), & \text{if } n \text{ is odd} \\ \frac{1}{7}(V_{3n+3} - V_3), & \text{if } n \text{ is even.} \end{cases} \end{aligned}$$

4. Conclusion

In this article, generalized Jacobsthal-Like sequences are defined and their algebraic properties like Binet’s formula, generating functions, Simson formula and the summation formula are investigated. Some other summation formulas like sum of even and odd indices and alternating sum of generalized Jacobsthal-Like sequences are presented.

We believe that the generalized Jacobsthal-Like sequences considered in this article can be extended to generalize other sequences like Pell and Narayana and the results given in this article could be useful for further research on this topic.

Acknowledgment: The authors declare that there is no conflict of interest. This research received no external funding.

5. References

Benjamin, AT., Quinn, JJ. 1999. Recounting Fibonacci and Lucas identities. The College Mathematics Journal, 30(5), 359-366. <https://doi.org/10.1080/07468342.1999.11974086>

Badshah, VH., Teeth, MS., Dar, MM. 2012. Generalized Fibonacci-like sequence and its properties. International Journal of Contemporary Mathematical Sciences, 7(24), 1155-1164.

Gupta, Y., Singh, M., Sikhwal, O. 2014. Generalized Fibonacci-like sequence associated with Fibonacci and Lucas sequences. Turkish Journal of Analysis and Number Theory, 2(6), 233-238. <https://doi.org/10.12691/tjant-2-6-9>

Horadam, AF. 1996. Jacobsthal representation numbers. Fibonacci Quarterly, 34(1), 40-54.

Harne, S., Singh, Pal, S. 2014. Generalized Fibonacci-Like sequence and Fibonacci Sequence. International Journal of Contemporary Mathematical Sciences, 9(5), 235-241. <http://dx.doi.org/10.12988/ijcms.2014.4218>

Lee, JZ., Lee, JS. 1987. Some Properties of Generalization of the Fibonacci Sequences. The Fibonacci Quarterly, (No. 2), 110-117.

Natividad, LR. 2016. Notes on Jacobsthal and Jacobsthal-Like Sequences. International Journal of Mathematics Trends and Technology (IJMTT), 34(2), 115-117. <https://doi.org/10.14445/22315373/IJMTT-V34P519>

Pakpongpun, A. 2020. Identities on the product of Jacobsthal-Like and Jacobsthal-Lucas numbers. Notes on Number Theory and Discrete Mathematics, 26(1), 209-215. DOI: 10.7546/nntdm.2020.26.1.209-215

Singh, B., Sikhwal, O., Bhatnagar, S. 2010. Fibonacci-Like Sequence and its properties. International Journal of Contemporary Mathematical Sciences, 5(18), 857-868. DOI: 10.12691/tjant-2-4-1.

- Singh, M., Sikhwal, O., Gupta, Y. 2014.** Identities of generalized Fibonacci-Like Sequence. Turkish Journal of Analysis and Number Theory, 2(5), 170-175. DOI: 10.12691/tjant-2-5-3.
- Soykan, Y., Göcen, M. 2022.** Binomial transform of the generalized third order Jacobsthal sequence. Asian-European Journal of Mathematics, 15(12). <https://doi.org/10.1142/S1793557122502242>
- Soykan, Y., Taşdemir, E., Okumuş, İ., Göcen, M. 2018.** Gaussian generalized Tribonacci numbers. Journal of Progressive Research in Mathematics, 14(2), 2373-2387.



Enerji Gereksinimlerine Dayalı Fotovoltaik Güneş Enerji Santrali Analizi ve Tasarımı

Energy Requirements Based Photovoltaic Solar Power Plant Analysis and Design

Süleyman Güneş , Rifat Hacıoğlu*

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye

Öz

Fosil yakıtların sürdürülebilirlik sorunları ve çevresel etkileri göz önünde bulundurulduğunda, Türkiye’de olduğu gibi dünyada da yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji yaygınlaşmaktadır. Artan enerji talebi dikkate alındığında üniversite gibi eğitim kurumlarının kendi enerjilerini üretmeleri ülke ekonomisi ve enerji verimliliği açısından önemli bir araştırma konusudur. Bu çalışmada, kurumların kendi enerji ihtiyaçlarını karşılayabilmek amacıyla kurulması muhtemel güneş enerji santrali (GES) analizi ve tasarımı için bir öngörü oluşturma hedeflenmektedir. Üniversitelerin kampüs alanları bu amacı gerçekleştirmek için seçilmiş olup güneşlenme, konum, sıcaklık değişimi kıyaslamaları ile beş farklı üniversite yerleşkesinde kurulum senaryoları gerçekleştirilmektedir. Mevcut yönetmelikler çerçevesinde enerji dönüşümünde sadece radyasyon ve güneşlenme süresi değil aynı zamanda panel sıcaklığı, panel açısı sonuçları da analiz edilerek tasarım yaklaşımları önerilmektedir. Üniversite yerleşkelerine arazi, eğimli çatı ve düz çatı sistemi olmak üzere üç farklı güneş enerjisi santrali kurulumu değerlendirilmektedir. Ek olarak sabit açı, tek ekseninde aylık değişken açı ve yılda iki açı değiştirme durumları incelenerek enerji üretim verimliliği de incelenmektedir. Farklı illerde kurulan güneş enerji santrali sistemlerinin analizleri için PVGIS çevrim içi veri tabanı ve hesaplama sistemi kullanılmaktadır. PVGIS, konum bilgisine dayalı güneş radyasyonu, güneşlenme süresi, ortam koşulları ile fotovoltaik (PV) sistem performansıyla ilgili bilgiler sağlayan bir çevrim içi Avrupa Birliği projesi hesaplama sistemidir. PVGIS kullanılarak dünya genelindeki herhangi bir koordinat için meteorolojik verilere erişilebilir ve farklı PV sistemlerinden ne kadar enerji üretilebileceği hesaplanabilir. Toplanan gerçek veriler ile kıyaslama yapılan bu tasarımda karşılaşılabilecek hata seviyeleri ortaya koyulmakta olup maliyet hesaplaması değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi sistemleri, arazi ve çatı sistemleri ihtiyaç analizi, PVGIS

Abstract

Considering the sustainability problems and environmental impacts of fossil fuels, renewable and sustainable energy is becoming widespread in the world as well as in Turkey. Considering the increasing energy demand, the ability of educational institutions such as universities to produce their own energy is an important research topic in terms of the country’s economy and energy efficiency. In this study, it is aimed to create a prediction for the analysis and design of solar power plants (SPP) that may be established in order to meet the energy needs of institutions. Campus areas of universities have been selected for this purpose, and installation scenarios are carried out in five different university campuses with comparisons of insolation, location and temperature change. Within the framework of current regulations, design approaches are suggested by analyzing not only radiation and sunshine duration but also panel temperature and panel angle results in energy conversion. Three different solar power plant installations are being evaluated on university campuses, including land, sloping roof and flat roof systems. In addition, energy production efficiency is also examined by examining fixed angle, monthly variable angle on a single axis and bi-annual angle changing situations. PVGIS online database and calculation system is used for analysis of solar power plant systems installed in different provinces. PVGIS is an online European Union project calculation system that provides information on solar radiation, sunshine duration, ambient conditions and photovoltaic (PV) system performance based on location information. Using PVGIS, meteorological data can be accessed for any coordinate around the world and how much energy can be produced from different PV systems can be calculated. In this design, which is compared with the real data collected, the error levels that may be encountered are revealed and the cost calculation is evaluated.

Keywords: Solar energy systems, land and roof systems needs analysis, PVGIS

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: hacirif@beun.edu.tr

Süleyman Güneş orcid.org/0000-0002-9825-4185

Rifat Hacıoğlu orcid.org/0000-0002-2480-0729

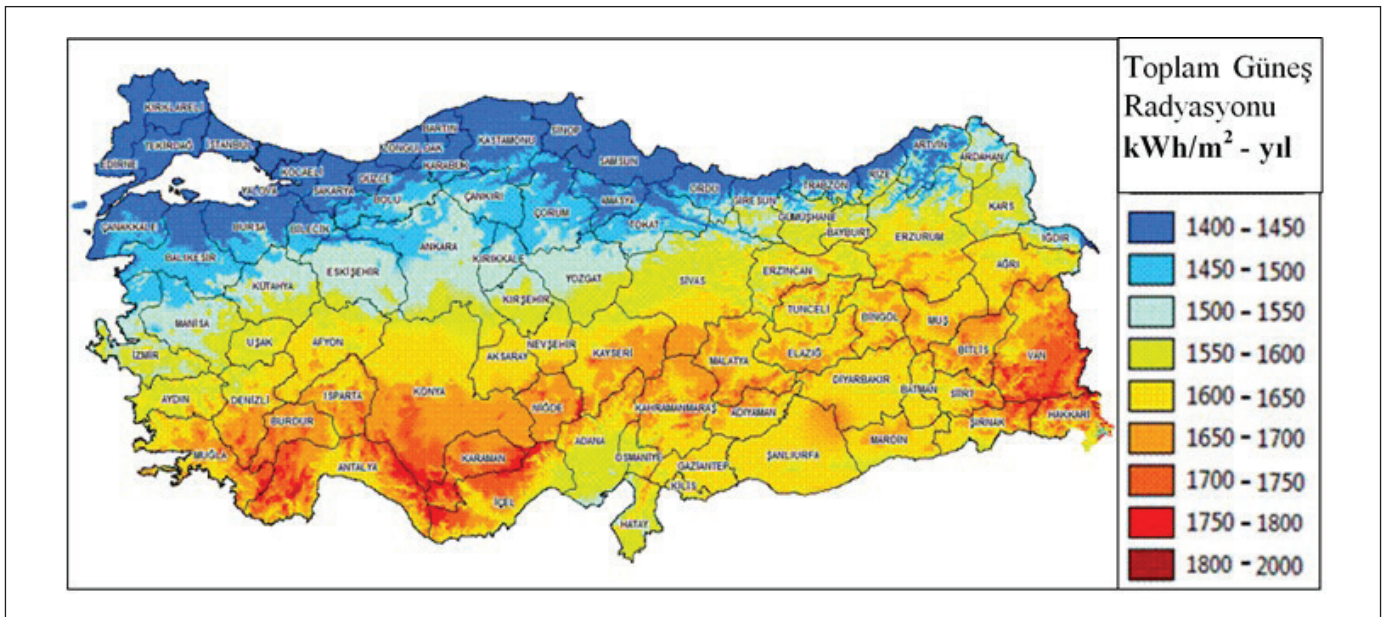


1. Giriş

Nüfus artışı ve sanayileşme nedeniyle enerji talebi sınırlı enerji kaynakları ile karşılanamadığı için enerji üretimi ve tüketimi arasındaki fark hızla büyümektedir. Ek olarak günümüzde geleneksel enerji üretimi karbondioksit (CO₂), metan (CH₄) ve diğer sera gazlarındaki artışa neden olmaktadır ki bu durum çevre kirliliğinin ve küresel ısınmanın başlıca nedenleri olarak görülmektedir. Ayrıca fosil yakıtların zamanla tükeneceği de kaçınılmaz bir gerçektir (Üney ve Çetinkaya 2014). Bu durum ülkelerin ve bilim insanlarının alternatif enerji kaynaklarına yönelmelerini teşvik etmektedir. Yenilenebilir, yaygın ve erişilebilir olmasıyla güneş enerjisi ön plana çıkmaktadır. Güneş enerjisi nükleer füzyon reaksiyonları sayesinde ortaya çıkar. Bu etkileyici enerji, dünya ya sonsuz bir güç ve ışık sağlar. Güneş'ten yıllık olarak 1.5x10¹⁸ kWh elde edilen enerji, Dünya'nın mevcut enerji tüketiminden yaklaşık olarak 10000 kat daha fazladır (Messenger ve Ventre 2017). Dünyada olduğu gibi Türkiye'de de güneş enerjisi uygulamaları hızla artmaktadır. Türkiye güneş radyasyon değeri yılda 1314 ile 1753 kWh/kWp (güneş panelin maksimum üretebileceği değer) arasında yer alır (Eroglu 2022, Güneş 2024) ki fotovoltaik (PV) paneller yardımıyla doğrudan elektrik enerji üretimi sağlanabilmektedir. Ek olarak bölgesel enerji ihtiyaçlarının karşılanabilmesi için güneş enerji santrallerinin (GES) kurulumunda uygun yerin belirlenmesi ve planlanması önemli bir araştırma konusudur (Di Bari 2020). Bu çalışmada bölgesel enerji ihtiyacının karşılanabilmesi için enerji verimliliğine dayalı karşılaştırmalı analiz ve tasarım önerileri üzerinde durulmaktadır.

Türkiye'nin bölgesel olarak güneş enerji potansiyeli haritası Şekil 1 ile verilmekte olup ortalama güneşlenme süresi 7.2 saat/gün (illere göre en düşük 5.8 saat/gün, en yüksek 9.2 saat/gün) olarak hesaplanmaktadır (Eroglu 2022, Güneş 2024). Fotovoltaik güneş enerji santrali kurulumunda en iyi üretimi sağlamak sadece güneş radyasyon miktarı ve güneşlenme sürelerinin iyi olması ile değil aynı zamanda uygun sıcaklık, rüzgar hızı, nem, yağış, hava basıncı koşullarının da uygun olması ile mümkündür (Huld ve Amillo 2015). Ek olarak üretimi etkileyen önemli bir faktör güneş ışığının geliş açısıdır ve PV modüllere dik gelmesi beklenir. İşletme maliyetleri açısından sabit açılı kurulan güneş enerji santrallerine alternatif olarak tek veya çift eksen hareketli güneş enerji santralleri de önerilmektedir (Bouabdallah vd. 2013, Handoyo ve Ichsani 2013). Yüksek kapasiteli arazi tipi güneş enerji santralleri ile birlikte çatı tipi güneş enerji santrallerinin yaygınlaştığı bu durumda kurulum/işletme maliyetleri değerlendirildiğine yatırım maliyetlerinin kısa sürede karşılanması önemlidir (Akkaya ve Akkaya Oy 2021).

Güneş enerjisi teknolojisinin en mütevazı tahminleri çerçevesinde bile, 2050 yılında ülkenin tüm elektrik ihtiyacını karşılamak için Türkiye'nin toplam yüzölçümünün binde 25'inden az bir alanı güneş modülleriyle kaplamak yeterli olacaktır (Güneş 2024). Genel anlamda güneş ışınımının yüksek olduğu ülkenin coğrafi konumu nedeniyle bölgelere göre güneş ışınımı dağılımı eşit değildir. Şekil 1'de güneş radyasyonu haritasına bakıldığında özellikle ülkenin kuzey bölgelerinin düşük değerlere sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 1. Türkiye güneş enerji potansiyeli haritası.

Öte yandan, enerji tüketiminde artışa neden olan ve sanayinin geliştiği iller genellikle ülkenin batısında yer almaktadır. Bu durum enerji taşımacılığında mesafelerin uzun olması nedeniyle hatlarda iletim kayıplarına neden olmaktadır.

Bu değerlendirmeler kapsamında Diyarbakır, İstanbul, İzmir, Osmaniye ve Zonguldak olmak üzere beş ilimizde bulunan üniversite kampüslerinde güneş enerji santrallerinin verimlilik analizleri bu çalışmada ortaya koyulmaktadır. Arazi ve çatı tipi enerji santralleri kıyaslanmakta olup sabit ve hareketli sistem tasarımı önerilerinde bulunmaktadır. Kurumların enerji ihtiyacını karşılayabilmeleri için güneş enerji santralleri konusunda bir öngörü oluşturulması hedeflenmektedir. Yapılan çalışmalarda, güneş enerji santrallerinin ihtiyacı yoğun olan beş bölgeyi temsilen beş ilde bulunan Üniversitelerin kampüs alanları bu amacı gerçekleştirmek için seçilmiş olup güneşlenme, konum, sıcaklık değişimi kıyaslamaları ile üniversite yerleşkelerinde kurulum senaryoları değerlendirilmektedir. Ek olarak maliyet hesaplamaları ile birlikte uzun vadeli yatırım planlarına katkı sunulmaktadır.

2. Gereç ve Yöntemler

Bu bölümde GES analizi için kullanılan hesaplama sistemi ile etkileyen faktörler değerlendirilmektedir. Örnek bir GES tasarımı için gerçekçi kısıtlar bu hesaplama sisteminde değerlendirilmektedir. PVGIS, PVsyst, PVSOL, Polysun, Helioscope gibi programlar PV sistem analizlerinin, benzetimlerinin ve maliyet hesaplamalarının yapılmasında kullanılmaktadır. Bu gelişmiş programlar, gerçeğe yakın analizlerin kolayca yapılabilmesine olanak tanır. Özellikle

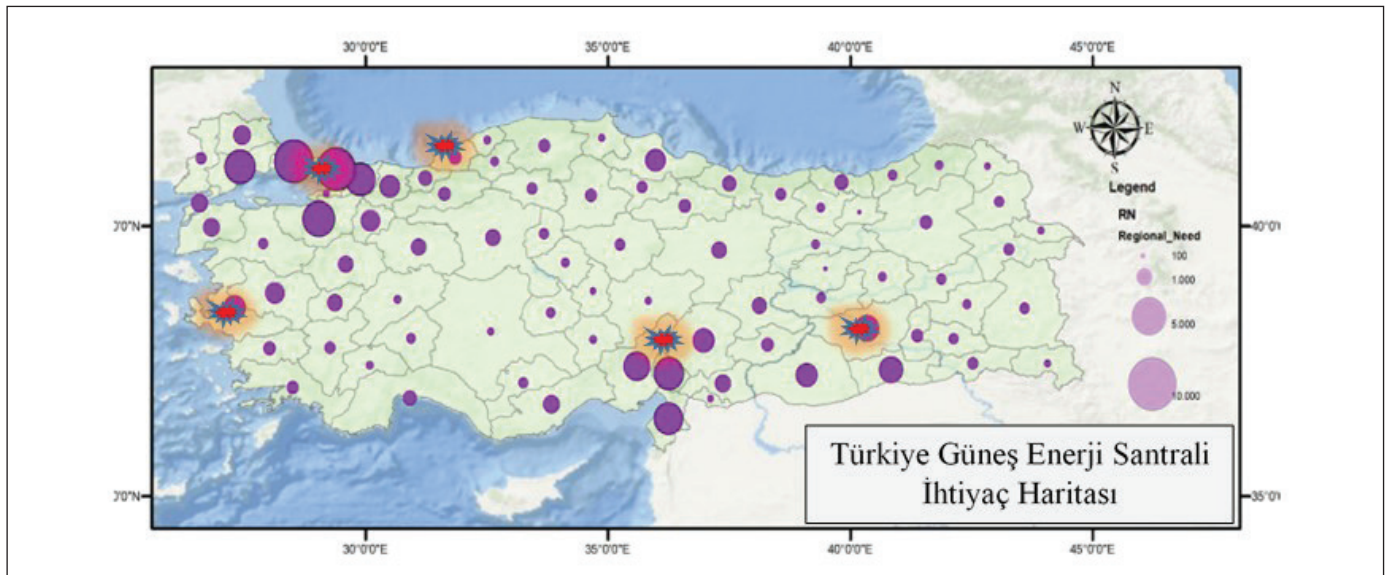
PVGIS, Avrupa Birliği tarafından geliştirilmiş ücretsiz ve hata payı düşük bir benzetim programıdır ve meteorolojik verileri kullanarak güneş ışınımından elde edilebilecek elektrik enerjisi potansiyelini hesaplamaktadır. Bu program, uygulama alanının koordinatlarına göre günlük, aylık ve yıllık en iyi radyasyon (ışınım) değerlerini ve üretilecek elektrik enerji miktarını hesaplayabilir (PVGIS 2022). Bu çalışmada 2022 yılı PVGIS çevrim içi veri tabanı kullanılarak, tasarlanan güneş enerjisi santrallerinin günlük, aylık, yıllık enerji üretimi hesaplanmaktadır. Her kampüs için kurulum (arazi, eğimli çatı, düz çatı) ve PV panel açısı durumuna göre 45 farkı hesaplama elde edilmektedir.

2.1. Güneş Enerji Santrali İhtiyaç Belirleme

Yapılan araştırmalarda (Eroğlu 2022), coğrafi veriler ve denklem (1)'den alınan değerler neticesinde Türkiye'nin güneş enerji santral ihtiyaç haritası Şekil 2'de görülmektedir. Burada bölgesel ihtiyaç endeksi RN_i ,

$$RN_i = \frac{S_i C_i}{L_i I P_i k} \quad (1)$$

ile tanımlanırken C_i ; şehrin MWh cinsinden enerji tüketimi S_i ; şehrin 100 m²'lik (kWh/m²-Yıl) alanında monokristal silikon tipi PV modül ile üretilebilecek enerji miktarı, L_i ; şehrin arsa maliyeti katsayısı, $I P_i$; MW cinsinden şehrin kurulu güneş enerjisi miktarı, k ; normalizasyon katsayısını vermektedir. İhtiyaç endeksi değerleri neticesinde Şekil 2'deki haritada görüleceği üzere üretim ve tükemin dengesiz olduğu değerlendirilmektedir. Hem ihtiyaç endeksi hem de bölgesel katkı birlikle değerlendirilerek kıyaslamalı ihtiyaç analizi



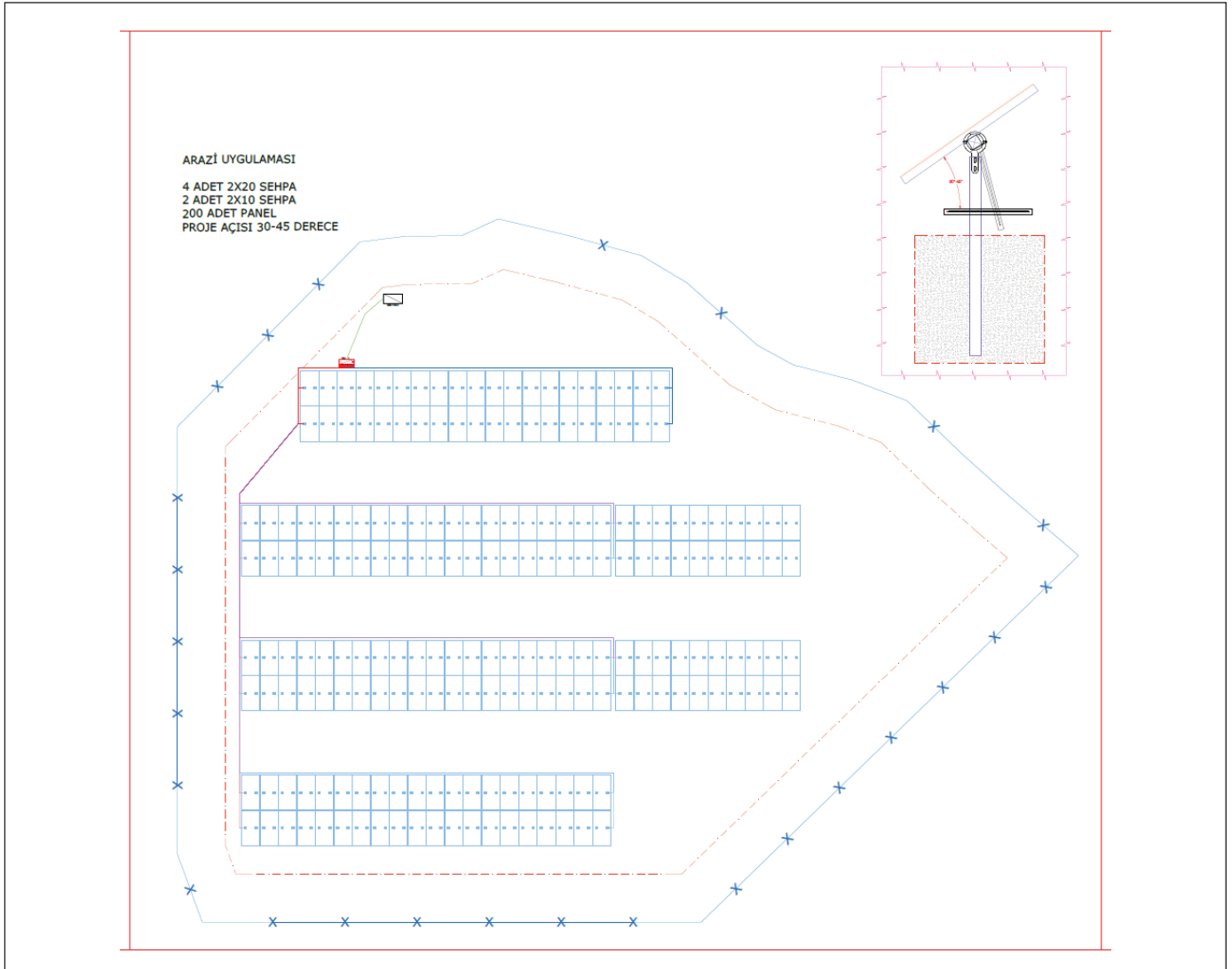
Şekil 2. Türkiye güneş enerjisi santrali ihtiyacı haritası (Eroğlu 2022).

neticesinde beş il seçilmiştir. İhtiyaç endeksi İstanbul 6730, Osmaniye 3874, Diyarbakır 2561, İzmir 2160 ve Zonguldak yaklaşık 1100 olup seçilen bu iller ayrı beş bölgeyi temsil etmektedir. Buna göre Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi (ZBEÜ), Dicle Üniversitesi (DÜ), Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi (OKAÜ), Dokuz Eylül Üniversitesi (DEÜ) ve Marmara Üniversitesi (MÜ) kampüs alanlarında (Şekil 2) 100 kWh'lık gücünde GES kurulumları incelenmektedir.

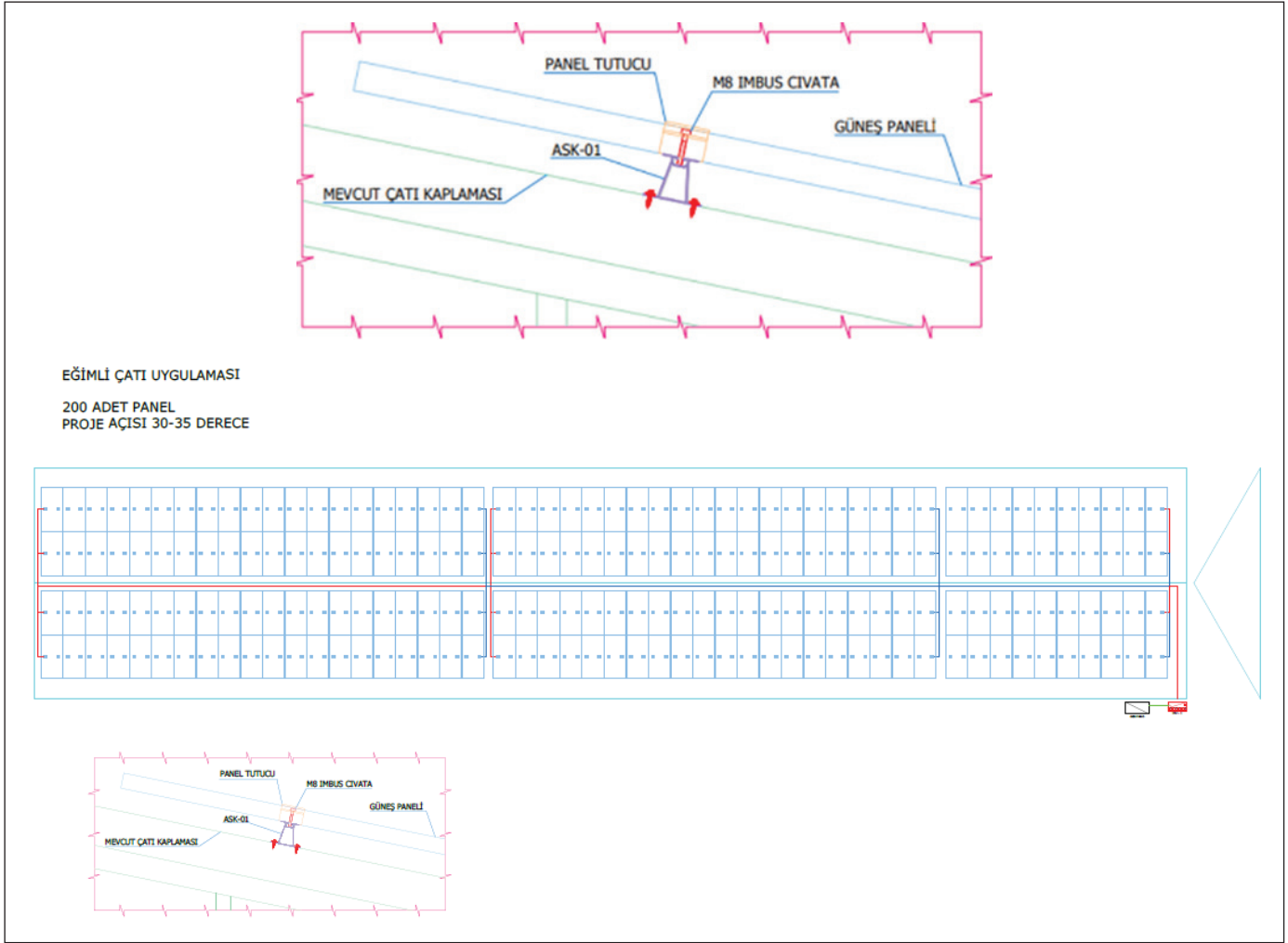
Kurulum hedeflerine göre arazi, eğimli çatı ve düz çatı sistemleri olmak üzere üç farklı yerleşim planı değerlendirilmekte olup enerji verimliliği çerçevesinde sabit açı sistemleri tek eksenle aylık değişken açı ve tek eksenle yılda iki değişken açı sistemleri ile kıyaslanmaktadır. Değişken eğimli çatı sisteminde kullanılan açı değerleri; İstanbul Büyükşehir Belediyesinin imar yönetmeliği 7.02.1. nolu "Çatı yüzeyleri-

nin meyili %45'i geçemez" maddesi ve İzmir Büyükşehir Belediyesi imar yönetmeliğindeki madde 41'de geçen "Genel olarak çatıların %33 meyilli gabari dahilinde kalması şarttır" ibarelerine göre açı değerleri hesaplanmıştır. Değişken açılı arazi sisteminin ve değişken eğimli çatı sisteminin başlangıç değeri 30 derecedir. Buna karşın değişken açılı düz çatı sisteminin başlangıç değeri ise 10 derecedir. Bu durumda değişken açılı arazi sisteminin açı aralığı 30-45 derece, değişken açılı eğimli çatı sisteminin açı aralığı 30-35 derece ve değişken açılı düz çatı sisteminin açı aralığı 10-15 derece aralığında olmaktadır.

Değişken açı değerleri Şekil 3'de arazi, Şekil 4'de eğimli çatı ve Şekil 5'de düz çatı için tasarlanan tek eksenli krikolu güneş paneli standı yardımıyla sağlanmaktadır. Bu düzenekler arazi ve çatı sistemleri için iki farklı şekilde tasarlanmak-



Şekil 3. Arazi uygulama örneği ve tasarlanan tek eksenli (30-45°) krikolu güneş paneli standı.



Şekil 4. Eğimli çatı uygulama örneği ve tasarlanan tek eksenli (çatı eğimine ek 0-5°) krikolu güneş paneli standı.

tadır. Değişken açılı arazi sistemi için 15 derece değişim sağlayan düzenek yer alırken, çatı sistemleri için 5 derece değişim sağlayan krikolu düzenek sistemi kullanılmaktadır. Düzenegin her bir kademesi 1 (bir) derecelik açı değişimleri sağlayacak şekilde tasarım yapılmaktadır (Güneş 2024). Burada yönetmeliklere ve rüzgar etkisi gibi hava koşulları kısıtlamaları sınır değerleri belirlemede dikkate alınmaktadır (Messenger ve Ventre 2017, Obi ve Bass 2016).

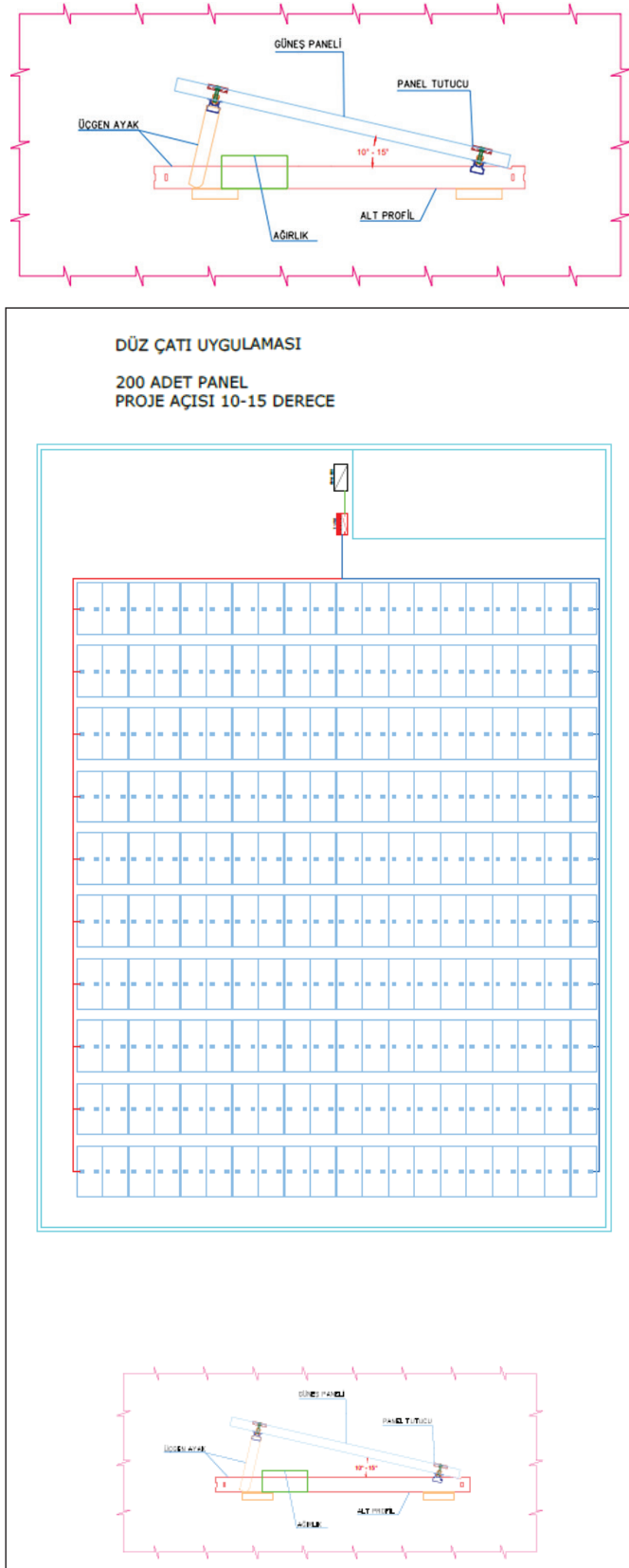
2.2. PVGIS Veri Analiz

PVGIS, sadece Avrupa ve Afrika'yı değil, aynı zamanda Asya ve Amerika'nın geniş bir bölgesini kapsayan güneş radyasyonu ve fotovoltaiik (PV) sistem performansı hakkında bilgi sunar (PVGIS 2022). PVGIS arayüzü, Şekil 6'da görüldüğü gibidir. PVGIS, bir dizi seçenek sunar ve çoğu seçenek için yardım almak mümkündür. Örneğin, haritanın altındaki "Enlem/Boylam" seçeneğine üzerine geldiğinizde bu konuda yardım alınabilir. Enlem/Boylam bilgisi kullanıla-

rak, dünya üzerinde herhangi bir yerde sistem kurmak için gerekli meteorolojik ve güneş radyasyon verilerine ulaşılabilir.

PVGIS programında GES tasarımı için,

- kurulum yeri harita üzerinde yaklaşılıp uzaklaşarak manuel olarak, haritanın altındaki "Adres" alanına bir yerin (ilçe, cadde) adını girerek, haritanın altındaki uygun alanlara enlem ve boylam koordinatlarını yazarak belirlenebilmekte olup
- kullanılan panellerin azimut açısı güney yönünde (0°) açısını belirleyerek,
- panel olarak kristal silikon seçimiyle,
- santrallerin kaybı %14 belirleyerek,
- santraller şebekeye (on grid) bağlı olmasıyla,



Şekil 5. Düz çatı uygulama örneği ve tasarlanan tek eksenli (10-15°) krikolu güneş paneli standı.

- santrallerin kurulacağı alanlar üniversitelerin yerleşkesinde (tasarrufunda) üretilen enerji yerleşkelerin Alçak Gerilim (AG) panolarına bağlanacağı

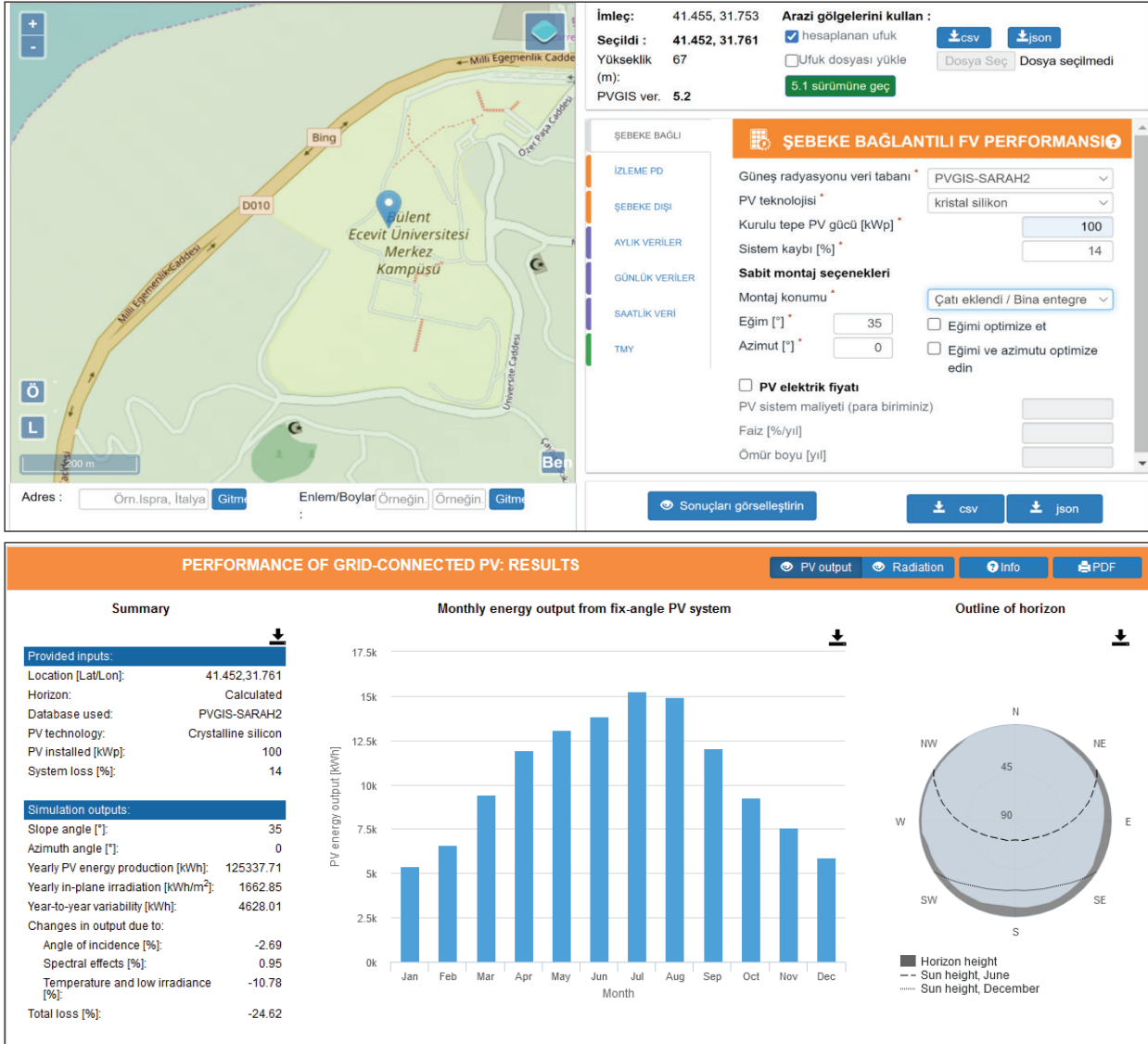
kabul edilmektedir. Programda elektrik enerjisi çıktısı kWh olarak kullanılmaktadır.

PVGIS ile farklı kurulum planlamaları için de hesaplamalar yapılabilmektedir.

- Şebekeye bağlı PV sistemlerinin performansı: Burada, üretilen enerjinin yerel olarak kullanılabilmesi veya şebekeye iletilmesi için elektrik şebekesine bağlı PV sistemlerinin uzun vadeli ortalama enerji çıkışı hesaplanabilir. PV modüllerinin bağımsız bir araziye veya bir binaya sabit konumda monte edildiği sistemleri için geçerlidir.
- Şebekeden bağımsız PV sistemlerinin performansı: Burada, elektrik şebekesine bağlı olmayan fakat enerji depolama bataryalarının kullanıldığı PV sistemlerinde hesaplamalar yapılabilir.
- **Tracking PV sistemlerinin performansı:** Burada, modüllerin daha fazla güneş ışığı alması için güneşi izleme montajının gerçekleştirildiği, şebekeye bağlı PV sistemlerinden elde edilen uzun vadeli ortalama enerji çıkış değerleri hesaplanabilir.
- **Aylık radyasyon:** Bir yıl aralığında her ay için aylık ortalama radyasyon ve sıcaklık verileri alınmaktadır.
- **Günlük radyasyon:** Her ayın ortalama bir günü için gün içindeki ortalama güneş ışıması ve sıcaklığı hesaplanmaktadır.
- **Saatlik radyasyon:** Saatlik güneş radyasyon değerleri hesaplanmaktadır.
- **Yıllık meteorolojik veriler:** Binaların enerji performansının hesaplanması gibi birçok alanda kullanılan güneş radyasyonu, sıcaklık ve diğer meteorolojik veriler sistemden çekilmektedir.

Her hesaplama türü için belirli bilgilerin girilmesi gerekmektedir; örneğin, kurmayı planladığınız sistemin gücü, kullanacağınız güneş hücrelerinin türü, panellerinizin açısı gibi. Program, hesaplama sonuçlarını iki farklı seçenek olarak sunar. PVGIS, hesaplama sonuçları hem grafik hem de sayısal olarak görüntülenebilir veya elektronik tablolar ve diğer yazılımlarda kullanılmak üzere elde edilebilir.

PVGIS, uydu görüntülerinden elde edilen yüksek kaliteli güneş radyasyonu, ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızı verilerini kullanır. Enerji verim modelinin doğruluğu, JRC'nin Euro-



Şekil 6. Fotovoltaik coğrafi bilgi sistemi (PVGIS) arayüzü.

pean Solar Test Installation (ESTI) tarafından ticari modüller üzerinde gerçekleştirilen ölçümlerle teyit edilmiştir. ESTI, ISO 17025 onaylı bir fotovoltaik kalibrasyon laboratuvarı olup, tüm fotovoltaik malzemeler için hizmet vermektedir (PVGIS 2022). Bu programda uygulanan model ile Güç (P) değeri, güneş ışınım ve sıcaklığa bağlı olarak

$$P(G_T', T') = G_T' (P_{STC,m} + k_1 \ln(G_T') + k_2 \ln(G_T')^2 + k_3 T' + k_4 T' \ln(G_T') + k_5 T' \ln(G_T')^2 + k_6 T'^2) \quad (2)$$

$$G_T' = G_T / G_{STC} \quad (3)$$

$$T' = T_{mod} - T_{STC} \quad (4)$$

$$\eta_{rel}(G_T', T') = P(G_T', T') / (P_{STC,m}, G_T') \quad (5)$$

hesaplanır ki burada, G_T' , toplam güneş ışınımını (1000 W/m²) temsil ederken, T' panel sıcaklığını (°C), $k_1 \dots k_6$ JRC'nin ESTI tarafından modülün güç katsayıları olarak tanımlanmaktadır (Huld vd. 2011, PVGIS 2022). $P_{STC,m}$ Standart Test Koşullarında (25 °C) maksimum gücü ifade ederken, η_{rel} modül verimini temsil eder.

2.3. Güneş Enerji Santrali Üretimi Etkileyen Faktörler

Burada PVGIS verileri kullanılarak araştırmaya konu olan Zonguldak, Diyarbakır, Osmaniye, İzmir ve İstanbul illerindeki beş farklı üniversite kampüsünde (Şekil 2) kurulumu önerilen güneş enerji santralini etkileyen faktörler

incelenmektedir. PV sistemler üzerinde belirgin bir etkisi bulunan temel faktörlerden biri sıcaklıktır. Güneş ışınlarının PV hücrelere düşmesi, hücrelerde önemli bir ısınmaya neden olur. Bu ısınma, PV hücrelerin verimliliğini olumsuz yönde etkiler. Ek olarak aşırı soğumalar da PV sistemlerde enerji üretimini olumsuz etkilemektedir. Güneşlenme süresi ve radyasyon miktarıyla ise olumlu bir şekilde etkileşir (Messenger ve Ventre 2017, Wang vd. 2017). Şekil 7 ile veri analizlerine göre yapılan elektrik üretim miktarı değerlendirmelerinde, mevsimsel değişimlerin etkileri, sırasıyla güneşlenme miktarı (radyasyon), güneşlenme süresi ve sıcaklık değişimleri aylara göre sunulmaktadır. Ek olarak tüm faktörlerin beş farklı kampüsteki genel kıyaslaması Şekil 8'de verilmektedir. Güneşlenme miktarı ve süresi yüksek görünen DÜ değerlendirildiğinde sıcaklık farkının aşırı olduğu da not edilmelidir. ZBEÜ'de sıcaklık farkı az olmasına karşılık radyasyon ve güneşlenme süresinin de az olması üretim açısından önemli bir faktördür. DEÜ yerleşkesinin enerji üretim potansiyeli diğer yerleşkelere göre daha üstün olduğu değerlendirilmektedir.

2.4. Güneş Enerji Santrali Kurulum Maliyet Analizi ve Projelendirme

Burada araştırmaya konu olan güneş enerji santralleri; arazi, eğimli çatı ve düz çatı sistemlerinin maliyetini etkileyen faktörler incelenmektedir. Enerji potansiyeli 100 kWp değerine sahip güneş enerji santrali için maliyet sabit arazi sistemine göre yüzdesel değerler ile Çizelge 1'de verilmektedir.

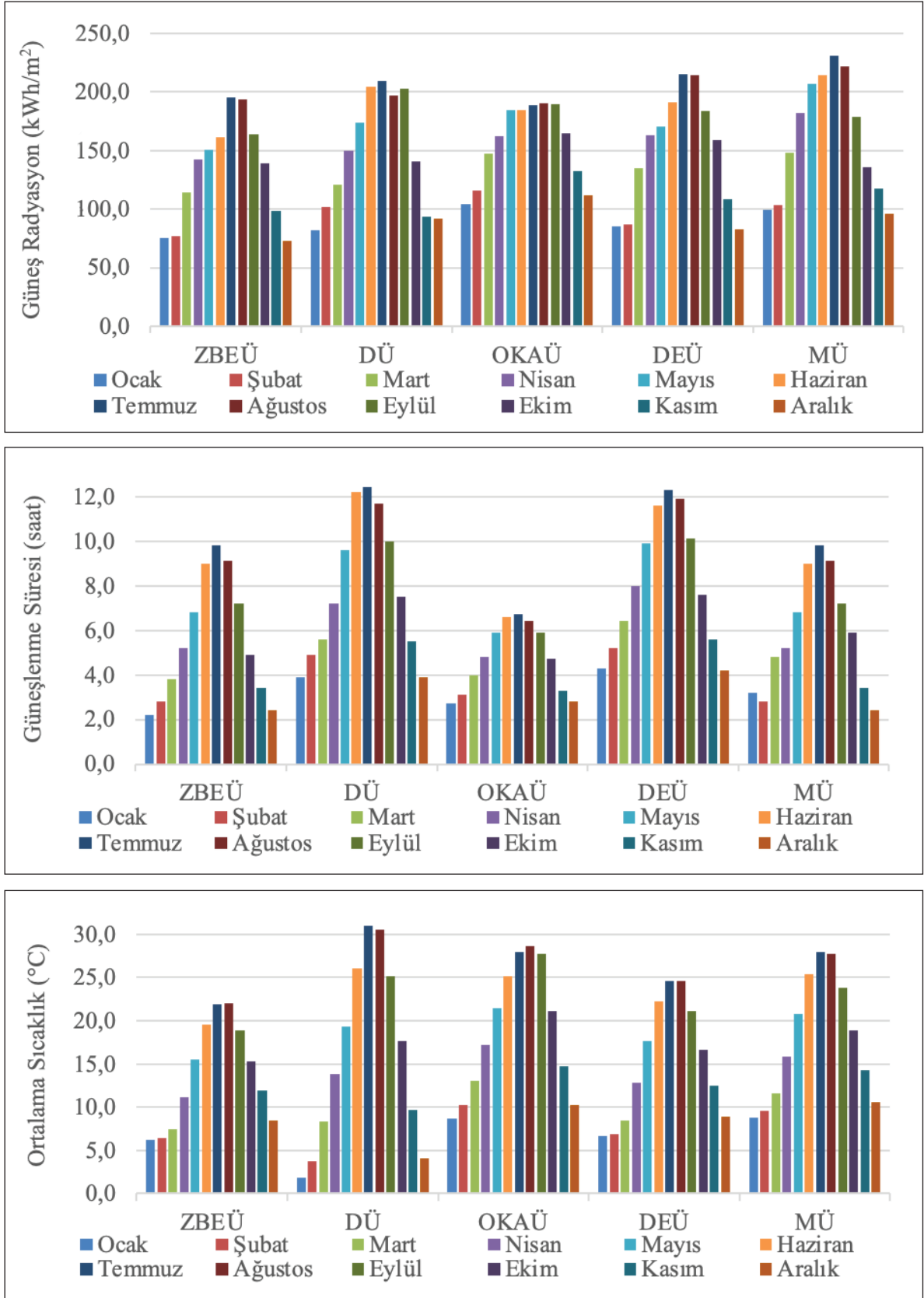
Çatı sistemlerine göre arazi sistemlerinde konstrüksiyon ve kablolama ek maliyet olarak görülmektedir. Önerilen mekanik güneş takip sistemi (Şekil 3-5) ise toplam maliyetler incelendiğinde oldukça düşük oranda yer almaktadır. Temel alınan sabit açılı arazi sistemine tek eksen güneş takip sistemi ve hat bağlantı sistemi yüzde 15.19 ek maliyet getirirken çatı sistemlerinde bu oran sadece yüzde 0.71 oranındadır. Ek olarak not etmek gerekir ki şebekeye aktarılan enerji kWh değeri yüzdesel olarak 1/425000 olarak ve Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nun (EPDK) belirlediği fiyat tarifesine (EPDK 2023) göre değerlendirilmektedir.

Seçtiğimiz üniversitelerin enerji ihtiyacının bir kısmının karşılanması için 100 kWh lık santraller tasarlanmaktadır. Tasarlanan 100 kWh santral için toplam 183 adet 545 Wp gücünde panel ve 1 adet 100 kW gücünde invertör kullanılmıştır. Arazinin etrafında gölgelemeye sebebiyet verebilecek herhangi bir unsurun olmadığı varsayılmıştır. Santraller; Üniversitenin mülkiyetinde olan bir bölge üzerinde kurulacak şekilde tasarlandığından arazi gideri olmayacaktır. Ayrıca kurulum için gerekli olan sermaye, kurumun öz sermayesinden karşılanacağı kabul edilmiş olup kredi, sigorta vb. giderler için de ayrıca bir maliyet analizi yapılmamıştır.

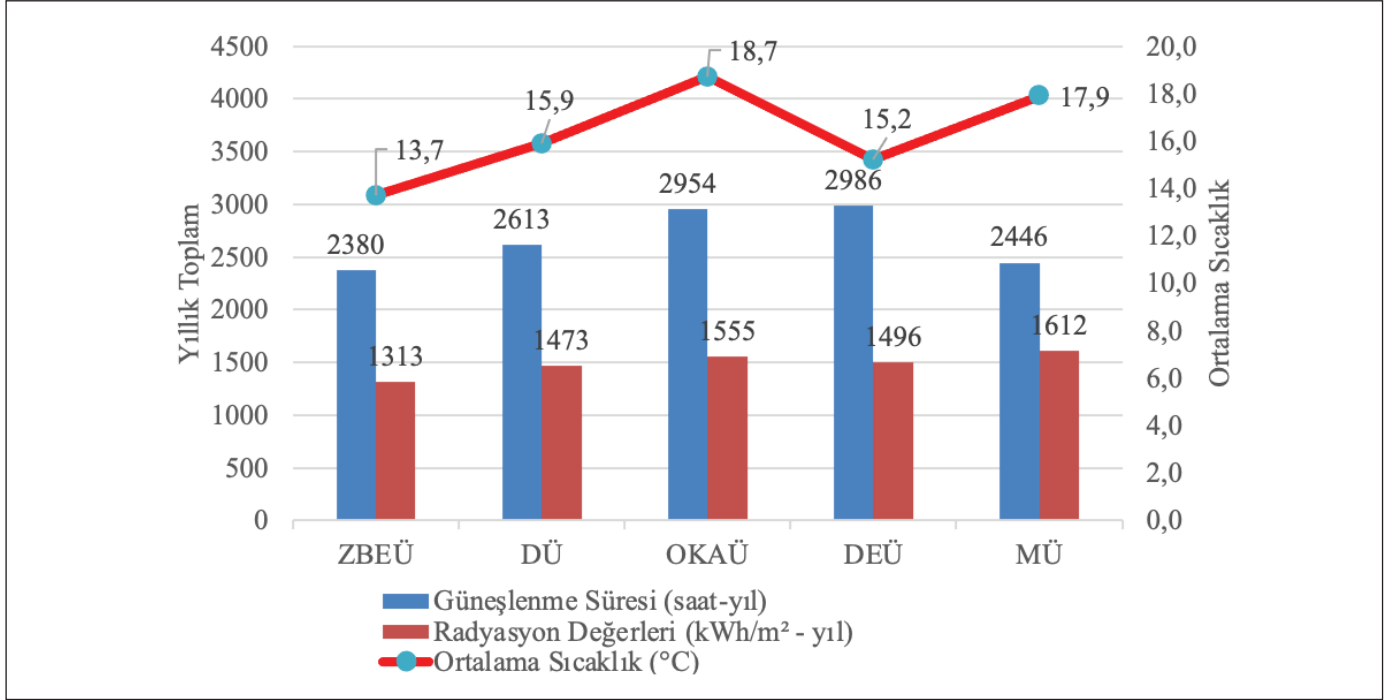
Arazi, eğimli ve düz çatı yerleşim planları ile birlikte örnek GES proje tasarımı Şekil 3-5'de verilmektedir (Güneş 2024). Şekil 3-5'de panellerde kullanılacak tek eksenli kriko standın temsili çizimleri bulunmaktadır. Standlar; panel tutucu, üçgen ayak, alt profil, dengeleyici ağırlık, tutucu

Çizelge 1. GES sistem elemanları ve yüzdesel maliyet değerleri.

	Arazi	Eğimli Çatı	Düz Çatı
Güneş Paneli 100 kWp	47.22	47.22	47.22
Invertör 100 kW (Ekipmanları ile birlikte)	4.83	4.83	4.83
100 kW GES Pano (Ekipmanları ile birlikte)	3.53	3.53	3.53
Solar Sistem Çelik Konstrüksiyon	15.99	6.92	12.69
1X240 mm ² N2XH Kablo	1.41	1.41	1.41
1X6 mm ² SOLAR Kablo	4.41	3.00	3.00
Topraklama Malzemesi Set	5.65	5.65	5.65
SCADA Sistemi	6.48	6.48	6.48
Uzaktan İzleme Sistemi ve Sensörler (Ekipmanları ile birlikte)	1.06	1.06	1.06
İşçilik	9.42	9.42	9.42
Hat Bağlantı Sistemi	14.13	0.00	0.00
Güneş Takip Sistemi (Ayarlanabilir Kol)	1.06	0.71	0.71
TOPLAM	115.19	90.23	96.00



Şekil 7. Aylık ortalama radyasyon değerleri (kWh/m²), güneşlenme süreleri (saat) ve sıcaklık değerleri (°C).



Şekil 8. Yıllık toplam radyasyon değerleri (kWh/m²), güneşlenme süreleri (saat) ve sıcaklık değerleri (°C).

direk, panel yerleştirme sehpa ve kriko sisteminden oluşmaktadır. Kriko sistemi sayesinde istenen açı değeri manuel olarak ayarlanabilmektedir.

Projelendirme, Lisansız Elektrik Üretim yönetmeliği (EP-LÜY 2019) gereği Çağrı mektubu başvurusu ile başlamakta olup yönetmelik gereği, öztüketim dışındaki tüm başvurularda, kurulması planlanan üretim tesisinin kurulu gücü, bağlı olduğu tüketim tesisi veya tesislerinin bağlantı sözleşme gücü toplamını aşamaz. Çağrı mektubu ile birlikte Elektrik Tesisleri Proje Yönetmeliği'nde belirtilen şekilde proje dosyası hazırlanarak 90 gün içerisinde ilgili kurum ve kuruluşlara sunulmalıdır (ETPY 2014). Eğer proje, ilgili kurum tarafından 90 gün içinde onaylanmazsa, talep sahibi ilgili dağıtım şirketine süre uzatımı için başvurabilir. Projenin incelenme aşamasında olması durumunda, ilave 180 gün süre verilir. Onaylanan proje 30 gün içerisinde ilgili Dağıtım Şirketi ile bağlantı anlaşması yapması gerekmektedir. Bağlantı anlaşması yapılan tesislerin özellik ve boyutlarına göre 1-3 yıl içerisinde tesislerin geçici kabulün tamamlanması gerekmektedir. Onaylanan projenin yönetmelikte tanımlanan kriterlere ve bağlantı anlaşmasında yer alan şartlara uygun olduktan sonra talep sahibi tarafından geçici kabul başvurusunda bulunabilir.

Ek olarak kampüslerde kurulacak santraller Şebeke bağlantılı sistemler (on grid) olarak değerlendirilmektedir. Bu tür

tesislerde güneş enerjisinden elde edilen elektrik tüketim için kullanılmakta, üretilen enerjinin fazlası genel elektrik şebekesine basılmaktadır. Üretilen elektrik enerjisi santral kısmında tek yönlü sayaç önerilmektedir (Güneş 2024). Çift yönlü sayaç kullanım ile de kampüslerde enerji fazlasından kazanç sağlanmak mümkün olacaktır ki bu durumda mahsuplaşma ile ilgili yasal süreçlerin işletilmesi gerekmektedir (Sümerbaş 2023). Bununla birlikte bu çalışma GES potansiyelini ortaya koymayı, kıyaslamalı olarak etkileyen faktörler değerlendirmeyi, projelendirme aşamasına destek bir öngörü oluşturmayı hedeflemektedir. Beş üniversite kampüsü GES enerji üretimini etkileyen faktörlerin kıyaslanabilir olması için seçilmekte olup 100 kW kurulu güç kampüs ihtiyaçlarının belirli bir miktarını karşılayacağı bilinci ile kıyaslama amacıyla tercih edilmektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

Temiz enerji ihtiyacının, değişmeye başlayan doğamız ve küresel iklim için, mutlak bir gereklilik halini aldığını görmekteyiz. Bu çerçevede neredeyse tüm dünya ülkeleri ciddi çalışmalar yapmış ve yapıyor olmakla beraber bu konudaki önlemlerin günden güne arttırıldığını söylemek mümkündür. Bu çalışma, hem ülke politikasını hem de sera gazı salınımını azaltmaya yönelik çalışmaları desteklemektedir. Bu amaçla Türkiye'de ki bazı üniversitelere 100 kWh'lık güneş

santralleri kurulumu değerlendirilmektedir. Santrallerin kurulduğu üniversiteler olarak ZBEÜ, DÜ, OKAÜ, DEÜ ve MÜ seçilmiştir. Seçilen bu üniversiteler ihtiyaç endeksine göre ülkenin dört bir tarafını temsil etmektedir. Üniversitelerin yerleşkelerine arazi, eğimli çatı ve düz çatı olmak üzere üç farklı GES kurulumu değerlendirilmektedir. Sabit açılı GES ile kıyaslama yapılmakta olup değişken açılı değerleri Şekil 3-5'de gösterilen krikolu düzenek aracılığıyla sağlanmaktadır.

Değişken açılı arazi sisteminin ve değişken eğimli çatı sisteminin başlangıç değeri 30°'dir. Buna karşın değişken açılı düz çatı sisteminin başlangıç değeri ise 10°'dir. Bu sınırlamalar yönetmelikler ve rüzgar etkisi gibi hava koşulları değerlendirilerek belirlenmektedir. Bu durumda değişken açılı arazi sisteminin açılı aralığı 30-45°, değişken açılı eğimli çatı sisteminin açılı aralığı 30-35° ve değişken açılı düz çatı sisteminin açılı aralığı 10-15° aralığında olmaktadır.

Beş üniversite kampüsünde aylık açılı değişimli GES enerji üretimi aylara göre Şekil 9'da görülmektedir. Burada arazi, eğimli çatı ve düz çatı sistemleri sırasıyla değerlendirilmektedir. Not etmek gerekir ki arazi sistemleri çatı sistemlerine göre sıcaklık kayıpları yüzde 4 kadar daha azdır. Tüm aylar değerlendirildiğinde DEÜ en iyi üretimi sağladığı görülmektedir ki güneş radyasyon değişimi MÜ'den az olsa da güneşlenme süresi ve sıcaklık etkisi ile üretim daha fazladır. ZBEÜ yaz aylarında DÜ ve OKAÜ kampüslerinden daha fazla üretim sağladığı görülmektedir ki bu durum sıcaklık değişiminin az olması ile değerlendirilmektedir.

Yıllık üretim değerleri arazi sistemleri için Çizelge 2'de, eğimli çatı sistemleri için Çizelge 3'de ve düz çatı sistemleri için Çizelge 4'de verilmektedir. Burada sabit açılı değerleri 32-33°'dir. PVGIS veri analiz programı hesaplamalarda hem arazi hem de çatı sistemlerinde sıcaklık değişimlerine göre oluşacak kayıpları da vermektedir. Bu kayıplar tüm kampüslerde arazi sistemlerinde %5.8-%10.9 aralığında yer alırken eğimli çatı %9.3-%14.9 ve düz çatı sistemlerinde %9.1-%14.7 aralığındadır. Çatı sistemleri %4 kadar sıcaklık kayıplarına neden olmaktadır.

Yapılan analizlere göre elektrik üretim miktarları değerlendirildiğinde, mevsimsel değişiklikler, kış aylarının etkisi (sıcaklık, radyasyon, güneşlenme süresi) bir araya gelmesi, DEÜ yerleşkesinin enerji üretimi açısından diğer yerleşkelere göre daha üstün olduğunu ortaya koymaktadır. ZBEÜ'de ise enerji üretimi, yıllık güneş ışınım miktarına bağlı olarak en düşük seviyede kalmaktadır. Genel olarak, tüm üniversite yerleşkeleri için en yüksek enerji üretiminin değişken açılı arazi sisteminden elde edildiği görülmektedir. Ayrıca,

Çizelge 2. Arazi GES yıllık toplam üretim.

Yıllık Toplam Üretim (kWh)	Sabit Açılı	Aylık Açılı Değişimli	Yılda iki (30-45°) Açılı Değişimli
ZBEÜ	131 057.03	133 829.05	133 728.07
DÜ	149 758.93	153 461.11	153 349.93
OKAÜ	144 332.28	147 821.84	147 725.49
DEÜ	152 401.35	156 080.70	155 970.04
MÜ	138 574.62	141 633.63	141 538.38

Çizelge 3. Eğimli çatı GES yıllık toplam üretim.

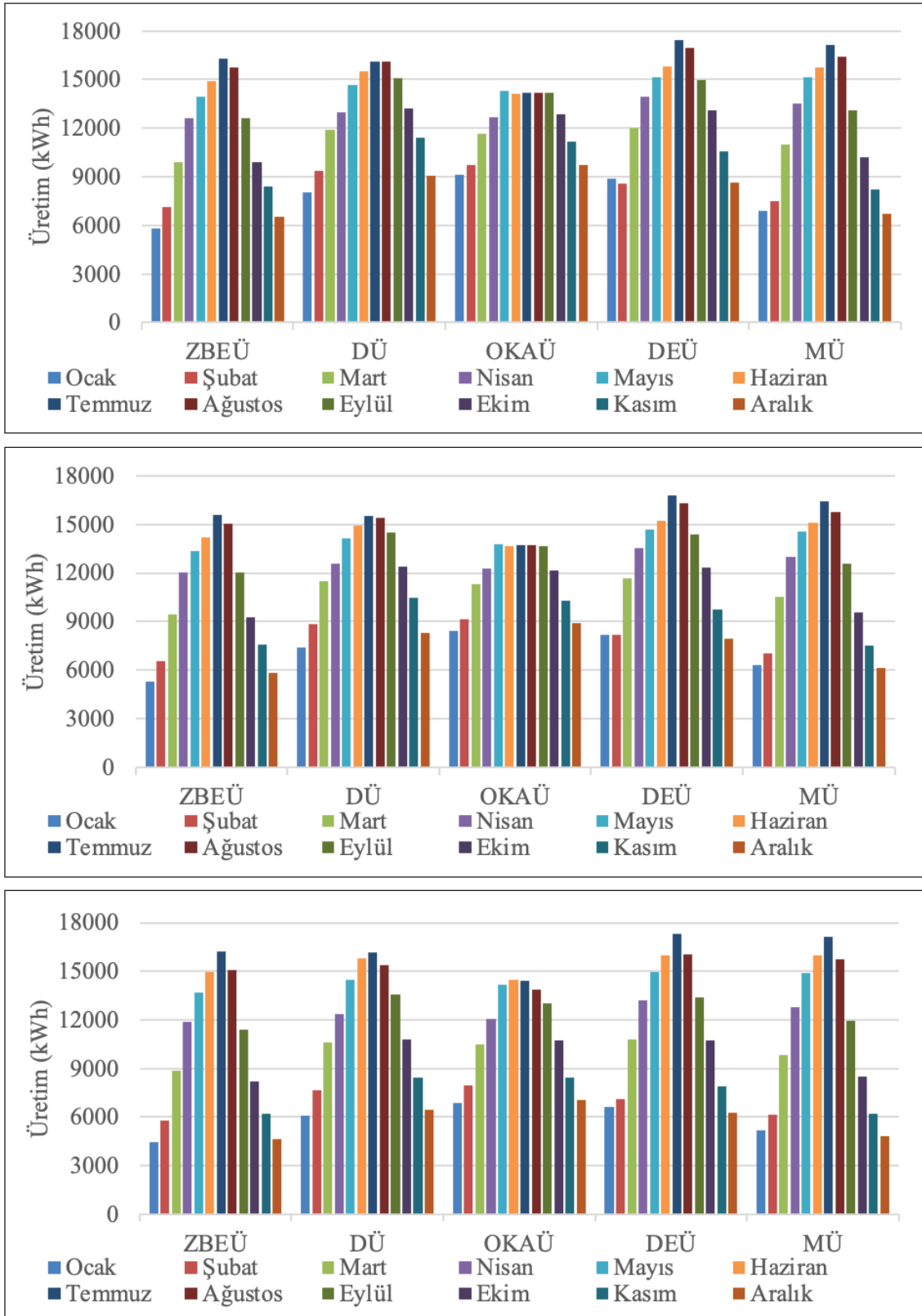
Yıllık Toplam Üretim (kWh)	Sabit Açılı	Aylık Açılı Değişimli	Yılda iki (30-35°) Açılı Değişimli
ZBEÜ	125 203.74	126 272.35	126 272.35
DÜ	144 481.25	145 923.01	145 923.01
OKAÜ	139 687.01	141 006.02	141 005.46
DEÜ	147 481.18	148 947.74	148 947.74
MÜ	133 341.40	134 546.39	134 546.39

Çizelge 4. Düz çatı GES yıllık toplam üretim.

Yıllık Toplam Üretim (kWh)	Sabit Açılı	Aylık Açılı Değişimli	Yılda iki (10-15°) Açılı Değişimli
ZBEÜ	121 206.77	121 339.91	121 325.91
DÜ	137 373.07	137 688.88	137 688.88
OKAÜ	133 188.45	133 433.86	133 433.86
DEÜ	140 039.08	140 373.73	140 373.73
MÜ	128 959.25	129 108.59	129 105.05

tüm yerleşkelerdeki üretim verilerine göre aylık açılı değişiminin yapılması durumunda en yüksek verimin elde edildiği gözlemlenecektir. Buna göre DEÜ arazisine aylık değişken açılı olarak kurulan sistemden, tüm senaryolar arasında 156 080.70 kWh'lik enerji üretim miktarı ile en yüksek değer elde edilmektedir.

Üretim değerlerine bağlı olarak maliyet hesaplamalarına göre ve Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nun (EPDK) belirlediği fiyat tarifesine (EPDK 2023) göre yapılan hesaplamalarda tüm kampüslerdeki yatırım maliyetlerini karşılama süreleri yıl bazlı Çizelge 5'de verilmektedir. Beklentiler üzerine DEÜ en kısa sürede yatırım maliyetini karşılayabil-



Şekil 9. Aylık ortalama enerji üretimi (kWh); aylık açı değişimli arazi, eğimli çatı, düz çatı sistemleri.

mektedir. Arazi sistemleri için 6.27-7.40 yıl süre gerekirken çatı sistemlerinde 5.15-6.12 ve 5.89-6.72 yıl gerekmektedir.

Çizelge 5. GES yatırım maliyet geri kazanım süreleri(yıl).

Arazi	Sabit Aç	Aylık Aç Değişimli	Yılda iki (30-45°) Aç Değişimli
ZBEÜ	7.40	7.31	7.32
DÜ	6.47	6.38	6.38
OKAÜ	6.72	6.62	6.62
DEÜ	6.36	6.27	6.27
MÜ	7.00	6.91	6.91
Eğimli Çatı	Sabit Aç	Aylık Aç Değişimli	Yılda iki (30-35°) Aç Değişimli
ZBEÜ	6.12	6.07	6.07
DÜ	5.30	5.25	5.25
OKAÜ	5.49	5.44	5.44
DEÜ	5.20	5.15	5.15
MÜ	5.75	5.70	5.70
Düz Çatı	Sabit Aç	Aylık Aç Değişimli	Yılda iki (10-15°) Aç Değişimli
ZBEÜ	6.68	6.72	6.72
DÜ	5.89	5.92	5.92
OKAÜ	6.08	6.11	6.11
DEÜ	5.78	5.81	5.81
MÜ	6.28	6.32	6.32

Not etmek gerekir ki arazi ve eğimli çatı sistemlerinde güneş takip sistem kullanımı yatırım maliyet süresini azaltırken düz çatı için aynı sonuca varmak mümkün olmamaktadır. Ek olarak tek eksen aç değişimi ile sabit aç arazi sistemlerine göre %2.04-2.47, sabit açılı eğimli çatı sistemlerine göre %0.85-1.01 ve sabit açılı düz çat sistemlerine göre %0.11-0.24 oranında karşılaşılan üretimdeki artışı da uzun vadede iyi değerlendirmek gerekmektedir. Yaklaşık 25 yıl kullanım ömrü tavsiye edilen GES'ler için tek eksen değişimli sistemler ile yatırım maliyetleri baz alınarak sabit aç arazi sistemlerine göre %2.51-3.01, sabit aç eğimli çatı sistemlerine göre %1.13-1.27 ek kar elde edileceği hesaplanmaktadır. Düz çatı sistemlerinde pozitif yönde ek kar hesaplanamamaktadır.

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, beş farklı üniversite yerleşkesinde arazi, eğimli çatı ve düz çatı olmak üzere üç farklı 100 kW'lık güneş

enerjisi santralinin kurulum senaryosu değerlendirilmektedir. Her bir GES'de PV sistem aç değişimlerine bağlı olarak sabit aç, aylık aç değişimi, yılda iki aç değişimi durumları bağlı olarak üç farklı şekilde kıyaslanmaktadır. Üniversitelerin seçimi, belirtilen, güneş enerjisi ihtiyaç haritasına dayalı olarak belirlenmektedir. İlk olarak üniversite arazisine panel açılarının sabit ve değiştirilebilir olduğu senaryolarda kurulumlar gerçekleştirilmiştir. Daha sonra üniversite yerleşkelerinde bulunan binaların çatılarına güneş panelleri yerleştirilerek senaryolar tamamlanmıştır. Binaların çatılarına iki farklı şekilde kurulum yapılmıştır. Eğimli çatı ve düz çatı olarak sistem tasarımı planlanmıştır. Arazi ve eğimli çatı için oluşturulan senaryolarda panel açıları 30-45 derece aralığında olacak şekilde sonuçlar alınırken, düz çatı için aç değerleri 10-15 derece aralığında tutulmuştur. Sonuçlara göre panel açıların; yıl boyunca sabit tutulması, verimin en yüksek olduğu üretim değerlerine göre aylık değiştirilmesi ve işçilik maliyetlerini düşürmek için yılda iki sefer değiştirilmesi gibi senaryolar oluşturularak değerlendirmeler yapılmıştır.

Elde edilen bulgulara göre Dokuz Eylül Üniversitesi yerleşkesinin, enerji üretimi konusunda karşılaştırılan diğer yerleşkelere göre, daha önde olduğu görülmektedir. Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesinin enerji üretim değerleri, sıcaklık koşulları olumlu olsa dahi yıllık güneşlenme süresine bağlı olarak, en düşük seviyede kalmıştır. Kurulum maliyetlerinden bağımsız bir değerlendirme yapacak olursak, tüm üniversite yerleşkeleri için en yüksek enerji üretim değerlerinin değişken açılı arazi sisteminden elde edildiği görülmektedir.

Yapılan çalışmalar ve karşılaştırmalar, üniversitelere kendi enerjilerini çevre dostu kaynaklar aracılığıyla üretmede yeni bir bakış açısı kazandırmaktadır. Ayrıca bu çalışmanın Üniversitelerin imkanlarına ve beklentilerine bağlı olarak en uygun sistemin kurulumunda rehber olacağı değerlendirilmektedir. Çalışmanın devamında yapılan maliyet analizi ile bu çalışmanın kapsamı genişletilmiş olup arazi sistemleri ve eğimli çatı sistemleri sınırlar çerçevesinde ek kazanç sağlarken aynı durum düz çatı sistemlerinde yeterli seviyede olmadığı tespit edilmektedir. Örnek olarak kurulan 100 kW'lık sistemin kurulu gücü, ihtiyaca bağlı olarak arttırılabilir veya azaltılabilir. Ek olarak bu çalışmada elde edilen sonuçlar, kampüs alanlarına kurulacak GES projelerinden elde edilecek gerçek zaman verilerine dayalı olarak enerji üretim analizlerinde kıyaslanma yapılması yönünde değerlendirilebilecektir. Bu çalışmanın, enerji dağıtımıyla ilgili mahsuplaşma süreçlerine yönelik detaylı proje çalışmalarına olanak tanıyabileceği değerlendirilmektedir.

Çıkar çatışması beyanı: Yazarlar bu çalışmada araştırma, yazarlık ve yayın için herhangi bir destek almamışlardır. Beyan edilen hiçbir çıkar çatışması veya ortak çıkar bulunmamaktadır.

Yazar katkısı: Yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuşlardır.

Etik kurul onayı: Bu çalışma etik kurul izni veya herhangi bir özel izin gerektirmemektedir.

5. Kaynaklar

- Akkaya, S., Akkaya Oy, S. 2021.** Samsun, Bayburt ve Mersin İllerine Kurulabilecek Güneş Enerjisi Santrallerinin Model-lenmesi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 9(2), 759-773. Doi: 10.29130/dubited.785908
- Bouabdallah, A., Bourguet, S., Olivier, J.C., Machmoum, M. 2013.** Photovoltaic energy for the fixed and tracking system based on the modeling of solar radiation. In IECON 2013-39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, 1821-1826. Doi: 10.1109/IECON.2013.6699408
- Di Bari, A. 2020.** A real options approach to valuate solar energy investment with public authority incentives: the Italian case. Energies, 13(16): 4181. Doi: 10.3390/en13164181
- EPDK 2024.** Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, Elektrik Faturalarına Esas Tarife Tabloları. <https://www.epdk.org.tr/>
- EPLEÜY 2019.** Elektrik Piyasasında Lisansız Elektrik Üretim Yönetmeliği <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2019/05/20190512-1.htm>
- Eroğlu, H. 2022.** Development of a novel solar energy need index for identifying priority investment regions: a case study and current status in Turkey. Environment, Development and Sustainability, 24: 8840-8855. Doi: 10.1007/s10668-021-01812-3
- ETPY 2014.** Elektrik Tesisleri Proje Yönetmeliği <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2014/12/20141230M1-2.htm>
- Güneş, S. 2024.** Enerji verimliliğine dayalı fotovoltaik güneş enerji santrali analizi ve tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, 99 s.
- Handoyo, EA., Ichsani, D. 2013.** The optimal tilt angle of a solar collector. Energy Procedia, 32, 166-175. Doi: 10.1016/j.egypro.2013.05.022
- Huld, T., Friesen, G., Skoczek, A., Kenny, RP., Sample, T., Field, M., Dunlop, ED. 2011.** A power-rating model for crystalline silicon PV modules. Solar Energy Materials and Solar Cells, 95(12), 3359-3369. Doi: 10.1016/j.solmat.2011.07.026
- Huld, T., Amillo, AMG. 2015.** Estimating PV Module Performance over Large Geographical Regions: The Role of Irradiance, Air Temperature, Wind Speed and Solar Spectrum. Energies, 8, 5159-5181. Doi: 10.3390/en8065159
- Messenger, RA., Ventre, J. 2017.** Photovoltaic systems engineering, 4th ed., CRC Press, Boca Raton, USA, 504 pp.
- Obi, M., Bass, R. 2016.** Trends and challenges of grid-connected photovoltaic systems—A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 58, 1082-1094. Doi: 10.1016/j.rser.2015.12.289
- PVGIS 2022.** Photovoltaic geographical information system (PVGIS) European Commission <https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS>
- Sümerbaş, B., 2023.** Lisansız Üretim-Mahsuplaşma İşlemleri. VII. Elektrik Tesisleri Ulusal Kongre Ve Sergisi, İzmir, Türkiye. https://www.emo.org.tr/ekler/b237575f5446b6f_ek.pdf
- Üney, MŞ., Çetinkaya, N. 2014.** Comparison of CO2 emissions fossil fuel based energy generation plants and plants with Renewable Energy Source. In Proceedings of the 2014 6th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), Bucharest, Romania, 29-34. Doi: 10.1109/ECAI.2014.7090175.
- Wang, Z., Li, Y., Wang, K., Huang, Z. 2017.** Environment-adjusted operational performance evaluation of solar photovoltaic power plants: A three stage efficiency analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 76, 1153-1162. Doi: 10.1016/j.rser.2017.03.119



Traktör Uygulamalarında Kullanılan Standart Yapı ve IF Lastik Yapısına Sahip Lastiklerin Taban İzlerinin ve Sehım Değerlerinin Kıyaslanması

Comparison of Footprint and Deflection Values of Tires with Standard Structure and IF Tire Structure Used in Tractor Applications

Onur Karaçay^{1*}, Süleyman Kılıç²

¹Petlas Lastik Sanayi A.Ş., Gölhisar, Kayseri Yolu 7. Km., 40200, Kırşehir, Türkiye

²Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kırşehir, Türkiye

Öz

Traktör lastikleri, geniş yüzey alanları sayesinde toprağa uygulanan basıncı azaltarak toprağın daha az sıkışmasını sağlamakta ve bu sayede verimliliği artırmaktadırlar. Teknolojik gelişmelerle birlikte artan motor gücü, traktör boyutlarının ve ağırlıklarının artması toprak üzerinde sıkıştırma riskini daha da artırarak etkenlerdir. Bu gelişmelerle birlikte toprak üzerinde oluşan yüzey basıncını azaltmak için düşük şişirme basıncına sahip olan yeni lastikler geliştirilmektedir. Bu yeni lastiklere artırılmış esnek ve çok yüksek esnek lastikler denilmektedir. Bu çalışmada, traktör uygulamalarında kullanılan normal yapıya sahip 600/70 R30 lastiği ile IF (Increased flexion) yapısına sahip olan IF 600/70 R30 lastiklerinin sabit yük altında, üç farklı jant yapısında basınç değişimleriyle taban izi ve sehım değişimleri incelenmiştir. Sonuç olarak, lastik taban izlerinin her iki lastik için de minimum şişirme basıncı olan 12psi'da maksimum taban izi alanına sahip olduğu, minimum taban izi alanı her iki lastikte maksimum şişirme basıncı olan 35psi ve DW21 jant ile elde edildiği görülmüştür. Lastiklerde maksimum sehım değeri 12psi ve W18 jant ile tespit edilmiştir. Lastik kullanımında tercih edilen jant ve şişirme basıncının taban izi alanına etkisi olduğu, toprak üzerinde oluşan yüzey basıncını azaltmak için lastik kullanım basıncının düşürülerek taban izinin artırılması gerekliliği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Sehım, şişirme basıncı, temas alanı, toprak sıkışması, traktör lastikleri

Abstract

Tractor tires, thanks to their large surface areas, reduce the pressure applied to the soil, thus minimizing soil compaction and thereby increasing efficiency. Technological advancements, including increased engine power, have led to larger and heavier tractors, further increasing the risk of soil compaction. With these developments, new tires with low inflation pressures have been developed to reduce the surface pressure on the soil. These new tires are referred to as increased flexion (IF) and very high flexion tires. In this study, a comparison was made between a normal structure 600/70 R30 tire and an IF structure IF 600/70 R30 tire under a fixed load with three different rim structures, examining changes in pressure as well as changes in the footprint and deflection. The results show that at the minimum inflation pressure of 12psi, both tires exhibited the maximum ground contact area, whereas the minimum contact area was achieved at the maximum inflation pressure of 35psi with a DW21 rim for both tires. The maximum deflection value was recorded at 12psi with a W18 rim. It has been determined that the choice of rim and inflation pressure affects the contact area of the tire, and to reduce the surface pressure on the soil, it is necessary to reduce the tire inflation pressure to increase the contact area.

Keywords: Contact area, deflection, inflation pressure, soil compaction, tractor tires

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: karacay.onur@ogr.ahievran.edu.tr

Onur Karaçay orcid.org/0000-0002-3650-816X

Süleyman Kılıç orcid.org/0000-0002-1681-9403



1. Giriş

Zirai alanda kullanılan lastiklerde, mahsule zarar vermeyen, düşük kayma oranlarına sahip, zemin üzerinde oluşan yüzey basıncını azaltan özellikler beklenmektedir. Son yıllarda traktör boyutlarının ve kapasitelerinin artışıyla birlikte lastiklerin yük ve hız indekslerinde artış olmuştur. Bu durumun toprak üzerinde sıkışma riskini meydana getirdiği yapılan çalışmalarda belirtilmiştir (Arvidsson vd. 2011). Lastiklerin fiziksel özellikleri (lastik boyutları OD-SW) zemin üzerinde oluşan basınca etki etmektedir. Lastik şişirme basıncı da lastik-toprak temas alanında oluşan yüzey basıncı için önemlidir. Ayrıca küresel ısınma, karbon emisyonu oranı ve yakıt kaynaklarını kısıtlı olması, ekolojik olarak meydana gelebilecek olumsuz etkilerden dolayı düşük yakıt tüketimine sahip lastiklerin kullanılması tavsiye edilmektedir (Damanauskas vd. 2015). Zirai alan uygulamalarında lastikle zemin arasında oluşan basıncın makul seviyede olması, düşük basınca sahip lastiklerin kullanılması operasyonel verimlilik açısından önemlidir (Akay ve Erdaş 2007). Traktör lastiklerinde verimliliğe etki eden bir değer parametre kayma oranıdır. Mevcut traktör uygulamalarında traktör aks gücünün yaklaşık %20-%55'inin lastik-toprak ara yüzünde (yuvarlanma direnci) ve kayma nedeniyle boşa harcandığı, kayma oranının %15-%17'yi geçmemesi gerekliliği ifade edilmektedir (Janulevičius ve Damanauskas 2022). Bu durum, motor gücünün verimsiz kullanımına sebep olmakta ve toprakta daha fazla hasar oluşturmaktadır. Bununla birlikte belirli bir lastik ve lastik yükü için daha düşük seviyede lastik şişirme basıncı genellikle zemindeki temas alanını arttırdığı ve ortalama zemin basıncını azalttığı yapılan çalışmalarda ispatlanmıştır (Schjønning vd. 2008). Toprak sıkışıklığı, bitki gelişimi ve toprakta bulunan tohumun çimlenmesini engelleyen en önemli faktörlerden biridir. Okursoy (1992), yaptıkları çalışmada 80 kPa'nın üzerinde toprak sıkışıklığı değerinin bitki köklerinin gelişmesinde olumsuz etkiye sahip olduğunu vurgulamışlardır. Bu çalışmada, toprak sıkışıklığında traktör geçiş sayısı ve toprak özellikleri dikkate alınarak değerlendirme yapılmış olup, ilerleyen dönemde yapılacak çalışmalarda traktörlerde kullanılan lastiklerin boyutsal özellikleri, kullanım jantları ve lastik şişirme basınç değeri gibi kritik özelliklerin çalışmaya dahil edilmesiyle kapsamlı sonuçlar elde edilebileceği bildirilmiştir (Okursoy 1992). Bitkisel üretim çalışmalarında toprak sıkışıklığı, traktör lastiği ile toprak arasındaki etkileşime bağlı olarak değişkenlik gösterir. Toprak sıkışıklığı, genel olarak lastik iç basıncı, aks yükü, lastiğin geometrik özellikleri, toprak cinsi, nem oranı vb. değişkenlere bağlıdır (Özgöz ve Okursoy 2002).

Günümüzde hızla artan dünya nüfusu, tarımsal faaliyetler ve sürdürülebilir bitkisel üretim için önem arz etmektedir. Zirai alanda oluşan toprak sıkışmasının toprakta oluşan kütle yoğunluğunu etkilediği, bitkilerin kök yapısını değiştirdiği ve toprağın gözenekli yapısını azalttığı bilinmektedir (Shaheb vd. 2021). Lastik basıncının toprak kalitesi ve şeker pancarı büyümesi üzerinde etkileri incelenen bir çalışmada düşük lastik basıncının kullanılması, toprak sıkışmasını ve şeker pancarı verim kaybını sınırladığı söylenmiştir (Vanderhasselt, vd. 2022). Bu sonuçlar, tarımsal uygulamalarda doğru lastik basıncı kullanımının önemini vurgulamaktadır.

Lastiklerde sehim veya teknik terimiyle defleksiyon/ezilme ölçümü, lastiğin hava basıncı ve yük altında ne kadar sıkıştığını veya esnediğini belirlemek için yapılmaktadır (Abeels 1976). Yani lastik sehimi, bir lastiğin yüklü ve yüksüz durumları arasındaki yükseklik farkı olarak tanımlanmaktadır. Bu ölçüm, özellikle tarım ve ağır hizmet araçlarında lastiklerin doğru bir şekilde kullanılmasını sağlamak için önemlidir. Lastik aşınması, yol tutuşu, konfor, yük kapasitesi, verimlilik gibi birçok önemli faktörü etkileyen bir parametredir. Ar-Ge çalışmalarında sıklıkla incelenmektedir. Köylü (Köylü 2017), lastik basıncı ile dikey sehim arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Farklı hızlarda lastik sehimindeki değişikliklerin lastik basınç izleme sistemlerinde nasıl kullanılabileceğini araştırmıştır.

Standart lastiklere göre daha fazla yük taşıyabilen, geniş taban izine sahip, toprak sıkışması, yakıt tüketimi gibi etkenlerden dolayı artırılmış esnek (IF) ve çok yüksek esnek (VF) lastikleri geliştirilmiştir. Bu lastikler, standart radyal lastiklere kıyasla aynı eksen yükünü taşıırken daha büyük temas alanı sunarlar. Araştırmalar, IF ve VF lastiklerin kullanımının, tarım araçlarının toprak üzerinde yarattığı kompaksiyonu (lastik ile zemin arasında oluşan sıkışma miktarı veya basıncı) azalttığını göstermiştir (Tekeste vd. 2023). Bu lastiklerin kullanımı, toprak sıkışıklığını ve dolayısıyla mahsul verimliliğini olumlu yönde etkilemektedir. Tekeste vd. (Tekeste vd. 2016), IF ve VF gibi gelişmiş tarım lastiklerinin toprak sıkışması, çekiş, yakıt ekonomisi ve mahsul verimi üzerindeki etkilerini incelemiştir. Düşük şişirme basınçlı lastik teknolojileri, özellikle tarım traktörleri ve ekim makineleri için, toprak sıkışmasını azaltmada ve tarım verimliliğini artırırma da etkili bulunmuştur. Bu, lastiklerin şişirme basınçlarının doğru ayarlanması hem toprak sağlığını korumada hem de tarım makinelerinin operasyonel verimliliğini artırmada kritik bir rol oynayabileceğini göstermektedir.

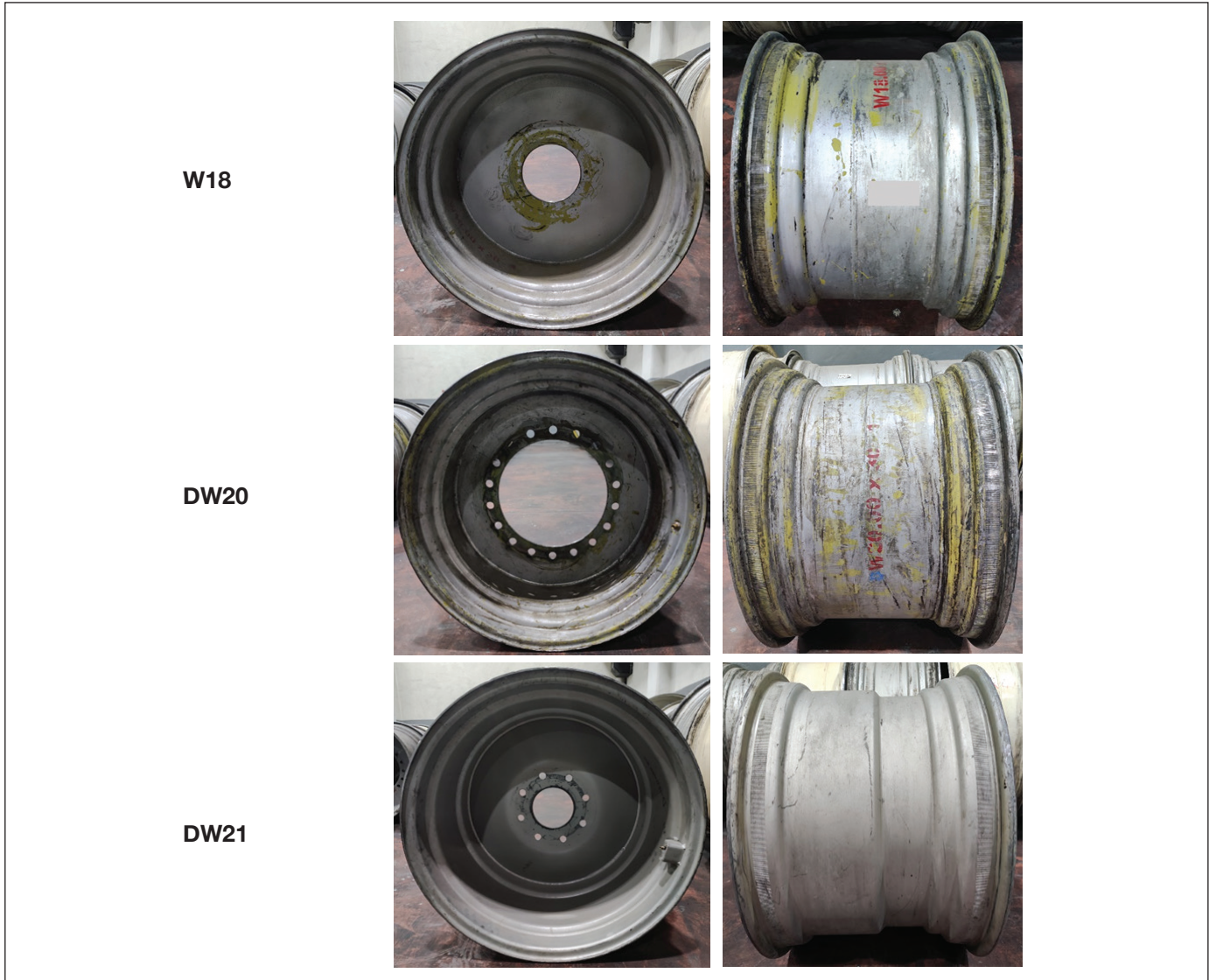
Literatürde yer alan bir diğer çalışmada, Jjagwe vd. (2023), lastik teknolojisinde şişirme basıncı azaltılmış, çekiş verimli-

liği ve toprak sıkışmasına etkilerini inceleyen sınırlı düzeyde çalışma olduğunu vurgulamışlardır (Jjagwe vd. 2023). Literatürde yer alan çalışmalar değerlendirildiğinde, lastik taban izi ölçümlerinin lastiklerin kullanım basıncı ve kullanım jantı etkisi altında değişimi konusundaki araştırmaların kısıtlı düzeyde kaldığı anlaşılmaktadır. Yapılan bu çalışmada, IF/VF lastiklerin belirlenmiş yükler altında jant ve basınç parametrelerinin standart lastik yapısı ile kıyaslanarak, lastik kullanımı sırasında yakıt ve zamandan tasarruf sağlayarak taban izlerinin belirlenmesi noktasında literatüre katkı sağlayacaktır.

Bu yeni geliştirilen lastiklerle ilgili Ar-Ge çalışmaları devam etmektedir. Bu çalışmada, geleneksel radyal ve IF teknolojiyle üretilmiş iki farklı tip lastik yapısının farklı parametrelerdeki taban izleri ve sehim değerleri incelenmiştir.

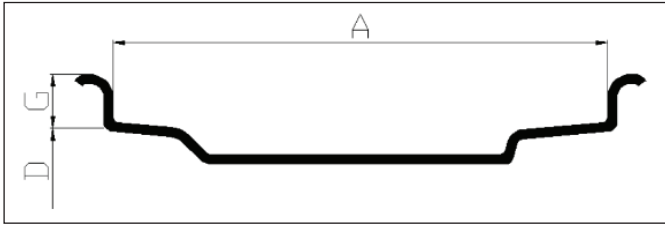
2. Gereç ve Yöntemler

Çalışma kapsamında, geleneksel radyal 600/70 R30 ve yeni nesil IF 600/70 R30 lastiklerinin farklı parametrelerde taban izi ve sehim değerleri karşılaştırılmıştır. Ölçümler, Kırşehir Petlas lastik fabrikasında gerçekleştirilmiştir. Lastikler benzer ebatlı (600/70 R30, IF 600/70 R30) olmasına karşın iç yapıları farklıdır. Parametre olarak; yük, kullanım basıncı, kullanım jantı olarak belirlenmiştir. Her bir jant için en yüksek ve en düşük basınç değerleri (35 ve 12 Psi) seçilmiştir. Yükün etkisinin daha belirgin olması için IF lastiklerine daha fazla yük değeri uygulanmıştır. IF lastikleri, aynı hava basıncında standart radyal lastiklere göre daha fazla yük taşıyabilme kapasitesine sahiptir (Tekeste vd. 2023). Kullanılan Jant modelleri Şekil 1.'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Kullanılan jant modelleri.

Bu jantların ölçüleri farklıdır. Şekil 2.'de verilen resimdeki A, G, D ölçüleri Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 2. Jant boyut özellikleri.

Çizelge 1. Jant boyutları.

Kullanım jantı	A	G	D
W18	457 mm	25,5 mm	766,8 mm
DW20	508 mm	29 mm	766,8 mm
DW21	533,5mm	29 mm	766,8 mm

Çalışmada kullanılan parametreler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. İşlem parametreleri.

Ebat	Basınç (Psi)	Jant	Yük (Kg)
600/70 R30	35	W18	4250
	12	W18	4250
	35	DW20	4250
	12	DW20	4250
	35	DW21	4250
	12	DW21	4250
IF 600/70 R30	35	W18	5150
	12	W18	5150
	35	DW20	5150
	12	DW20	5150
	35	DW21	5150
	12	DW21	5150

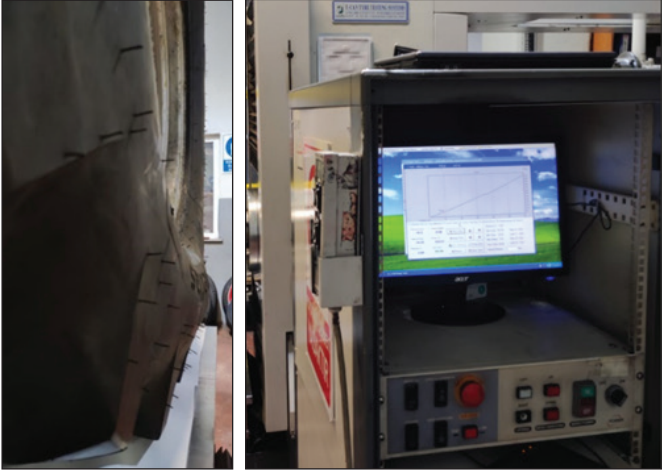
Şekil 3 ve Şekil 4'de gösterildiği gibi her bir parametrede ölçümler yapılmıştır. Taban izi ölçümleri beyaz bir kâğıt üzerinde kırmızı boyalı lastik yüzey izinin ölçülmesi ile yapılmaktadır. Sehim ölçümü ise bilgisayar ve sensörlü sistemler aracılığıyla lastiğin yüklü ve yüksüz durumlarındaki yüksekliklerinin ölçümü ile yapılmaktadır (Şekil 5).



Şekil 3. Lastik taban izi alımı.



Şekil 4: A) 600/70 R30, W20 jant, 12psi, 4250k; B) IF600/70 R30, W18 jant, 12psi, 5150kg.



Şekil 5. Lastik sehim ölçümü.

3. Bulgular ve Tartışma

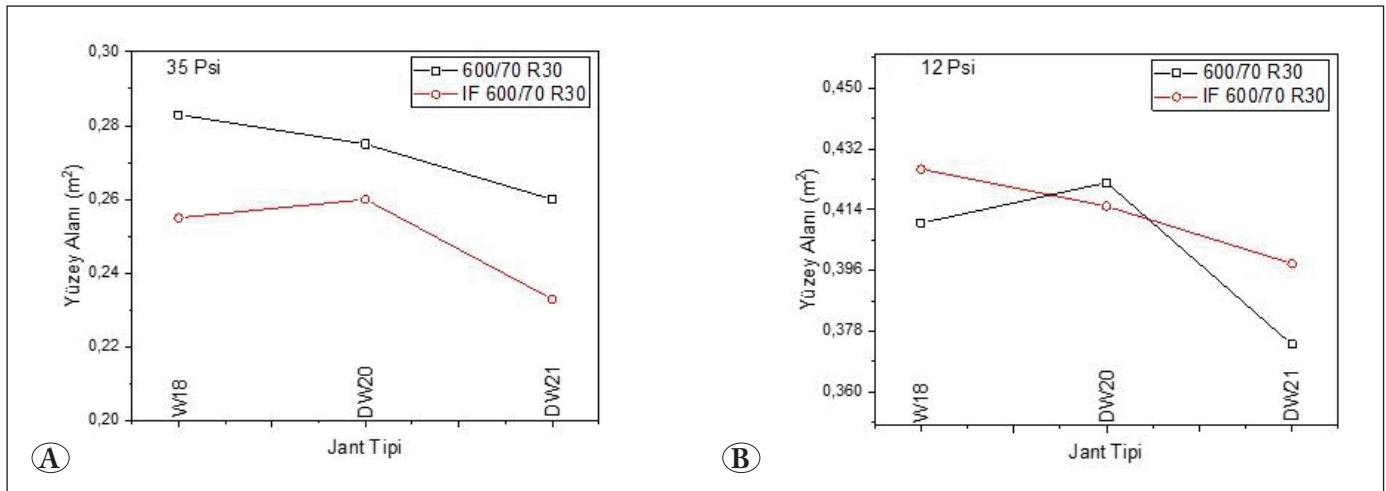
IF ve VF lastikler standart lastiklere göre daha fazla yük taşıyabilen, daha esnek yapıya sahip olan ve daha geniş taban izine olanak sağlayan lastiklerdir. Geleneksel taban izi ölçümünde, öncelikle lastiğin jant ile montajı yapılarak lastik şişirme basıncı ve lastiğe uygulanan yük miktarı parametre değerleri kontrol edilmektedir. Lastiğin zeminle temas edebilecek bölgeleri kırmızıya boyanarak, lastik test cihazı üzerine yerleştirilen beyaz kâğıda temas ettirilmekte ve lastiğin taban izi alınmaktadır. Taban izinin alındığı beyaz kâğıt, ölçüm amacıyla düz bir masa üzerine sabitlenmekte ve sınır çizgileri çizilmektedir. Çizilen bölgenin alanı dikdörtgen şekil olarak kabul edilmektedir. Dikdörtgen şekilde b_o (en) ve l_o (boy) değerleri metre yardımıyla ölçülmektedir. Taban izi alan değeri, Eşitlik 1 formülasyonu ile hesaplanmaktadır (Greçenko 1995).

$$A_o = k \frac{l_o b_o}{2} \quad (1)$$

Eşitlikte A_o : lastik taban izi alanı (cm^2), l_o : taban izi boy (cm), b_o : taban izi en (cm), k : taban izi alanı katsayısı (dikdörtgen $k=4$) ifade etmektedir.

Test lastiklerinde şişirme basıncının azalması ile taban izinin arttığı ve dolayısıyla zeminde oluşan basınç üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Normal yapı 600/70 R30 lastiğinde en geniş taban izi 4250kg yükte, DW20 jant, 12psi basınç değerinde $0,422\text{m}^2$ ölçülmüştür. IF lastik yapısı IF 600/70 R30 lastiğinde ise en geniş taban izi 5150kg yük altında, W18 jant, 12psi basınçta $0,426\text{m}^2$ ölçülmüştür. Her iki lastikte en geniş taban izi minimum şişirme basınçlarında elde edilmiştir. Lastiklerde minimum taban izleri ise DW21 jant ile 35psi şişirme basınç değerlerinde elde edilmiştir (Şekil 6A). Lastik taban izinin belirlenmesinde lastik yapısının sınırlı etkisi olduğu, lastik kullanım jantı ve lastik şişirme basıncının önemli etken parametreler olduğu değerlendirilmiştir. Prazan vd. (2016), aynı ebat açılımı fakat farklı yapıya sahip olan lastiklerin taban izlerini kıyasladıklarında IF/VF lastik yapısının normal lastik yapısına göre %28 daha geniş taban izine sahip olduğunu belirtmişlerdir (Prazan vd. 2016).

Lastik yapısının değişmesine karşın aynı basınç değerlerinde taban izi alanı değerlerinde sınırlı etkisi olduğu görülmüştür. Damme vd. (2019), yaptıkları çalışmada, lastik-toprak basıncında esas olarak lastiğin boyutsal özelliklerinin ve lastik şişirme basıncının etkili parametreler olduğunu belirtmişlerdir (ten Damme vd. 2019). Lastiklerin farklı yapıya sahip olmalarına karşın (radyal, çapraz, çelik kuşak vb.) benzer boyut ve benzer şişirme basınçlarında kullanılmaları



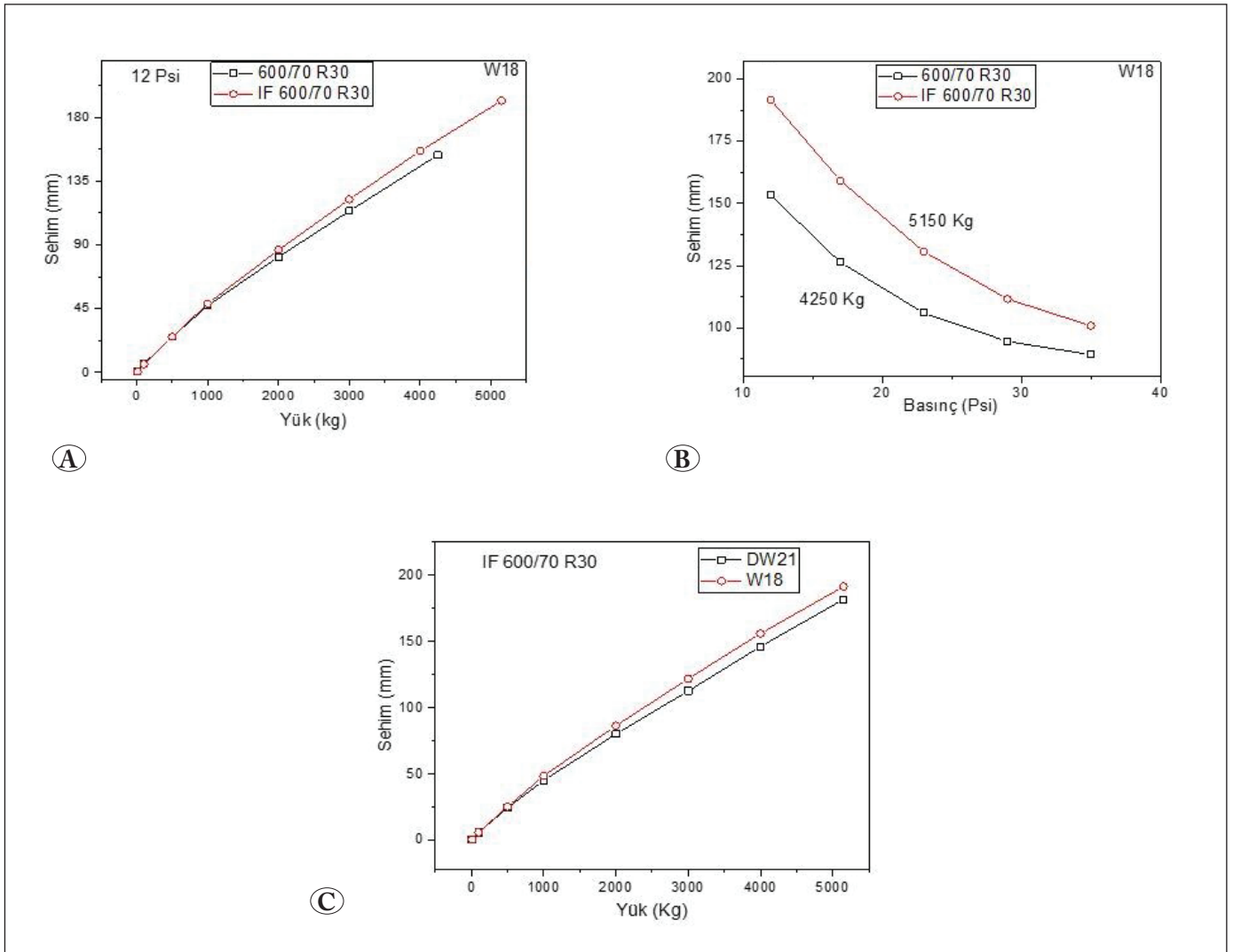
Şekil 6. Farklı parametrelere göre yüzey alanı değişimi, A) 35 Psi, B) 12 Psi.

halinde zeminde hemen hemen aynı yüzey basıncı değerlerine sahip olduğunu vurgulamışlardır. Bunun yanında Rivero vd. (2022), lastiklerin aşırı şişirilerek kullanılması halinde taban izinin azalmasına, kayma oranının artacağına, toprak sıkışması ve yakıt tüketimine olumsuz etkisi olacağını belirtmişlerdir (Rivero vd. 2022). Şekil 6A'da görüleceği üzere 35 Psi'lık aşırı şişirmeyle radyal lastiklerin yüzey alanı daha fazla olmuştur.

Greçenko vd. (1995), lastik taban izinin; lastik kesit genişliği, lastik çapı, jant çapı parametrelerine bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini ifade etmişlerdir (Greçenko 1995). Lastik taban izinin toprak üzerinde oluşan gerilmeyle doğrudan ilişkisi olduğu, toprak gerilmesini azaltmak için ise çok düşük şişirme basıncına sahip lastiklerin geliştirilmesi gerekliliği yapılan çalışmalarda bildirilmiştir (ten Damme vd. 2019).

Lastik taban izinin genişletilmesi, lastiklerin kullanım sırasında daha büyük bir alana temasının sağlanmasının lastik basıncının düşürülmesi ile sağlandığı, lastik kullanım jantı, lastiğin boyutsal özelliklerinin de taban izine etkisi olduğu yapılan çalışmalarda ispatlanmıştır.

Test lastiklerinin 600/70 R30 ve IF 600/70 R30 W18, DW21 jantları kullanılarak farklı yük değerlerinde (Çizelge 2) basınç değişimleri ile sehım değerleri ölçülmüştür. Ölçümlerde lastikler statik test cihazına bağlanarak kademeli olarak yük ve basınç parametre değerlerinin kontrolü sağlanmış ölçüm değerleri test makinesi yardımıyla kayıt altına alınmıştır. Normal yapıya sahip olan lastikte yük değeri 4250kg'dan kademeli olarak 10kg'a indirilerek ölçümler yapılmıştır. IF lastik yapısında ise yük değeri 5150kg'dan kademeli olarak 10kg'a yüke kadar indirilerek ölçümler ya-



Şekil 7. Farklı parametrelerin lastik sehımına etkisi.

pıldı. Her iki lastikte 12psi, 17psi, 23psi, 29psi, 35psi şişirme basıncı değerlerinde sehim ölçümleri tamamlanmıştır. Normal yapıya sahip olan 600/70 R30 lastiğinde en yüksek sehim değeri 4250kg yük altında, W18 jant, 12psi basınç değerinde 153,32mm, minimum sehim değeri ise 10kg yükte, DW21 jant, 23psi şişirme basınç değerinde 0,322mm olarak ölçülmüştür. Misiewicz vd. (2016) lastiğin şişirme basıncının sıfır psi olması durumunda karkas mukavemetinin sıfır olacağını, lastik şişirme basıncındaki artışla birlikte lastik-zemin temas basıncında önemli bir artış olacağını ifade etmişlerdir (Misiewicz vd. 2016). Bunun yanında, lastiğe uygulanan yük miktarının artması ile sehim değerinin artacağını belirtmişlerdir. Test lastiklerimizden IF yapısına sahip olan IF 600/70 R30 lastiğinde ise en yüksek sehim değeri 5150kg yük altında, W18 jant 12psi basınç değerinde 191,61mm ölçülmüştür. IF yapısında minimum sehim değeri ise 10kg yük altında, W18 jant, 29psi'da 0,456mm olarak tespit edilmiştir (Şekil 7).

Lastik sehim testlerinde lastiklere uygulanan yük değerleri arttıkça sehim değerinin arttığı görülmüştür. Normal yapıya sahip lastikte W18 jant, 12psi şişirme basıncı, 4250kg yükte maksimum sehim değeri 153,32mm ölçülmüştür. IF yapısına sahip lastikte ise W18 jant, 12psi şişirme basıncı, 5150kg yük altında 191,61mm maksimum sehim değeri ölçülmüştür. Her iki lastikte W18 jant ve minimum şişirme basıncı 12psi'da maksimum sehim değerlerinin elde edilmesi sehim ölçümlerinde jant ve basınç parametrelerinin etkisini göstermektedir. Lastiklerin yüksek sehim değerlerinde özürsüz çalışabilmesi, sehim oluşumuna maruz kalan bölgelerde yüksek esneklik özelliği olan malzeme ve materyaller tercih edilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmanın verileri değerlendirilirken, çalışmada kullanılan lastik taban izlerinin laboratuvar ortamında beyaz bir kâğıda alındığı akılda tutulmalıdır. Dış ortam testlerinin yapılması halinde, iklim şartları, toprak sertliği, nem vb. koşullar dikkate alındığında taban izlerinde farklılıklar gözlemlenebileceği dikkate alınmalıdır. Lastiğin toprak sıkışmasına etkisinden dolayı bitkinin kök yapısını değiştirdiği, toprakta oluşan kütle yoğunluğunu artırdığı ve toprağın gözenekli yapısını azalttığı yapılan çalışmalarda görülmüştür (Shaheb, vd. 2021). Bu çalışmada taban izlerinin toprakta alınmamış olması, çalışmanın bir kısıtlılığı olarak değerlendirilebilir. Gelecek çalışmalarda, dış ortamlarda lastik taban izleri değerlendirilerek karşılaştırılmalıdır.

4. Sonuç ve Öneriler

Yapılan çalışma sonucunda IF ve normal yapıya sahip lastiklerle ilgili olarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 1) Lastiklerde şişirme basıncının azalması ile taban izi alanlarının arttığı gözlenmiştir.
- 2) Her iki lastikte maksimum taban izi alanının minimum şişirme basıncı değeri olan 12 psi'da ölçülmüştür.
- 3) IF ve normal yapıya sahip lastikte minimum taban izi alanı DW21 jant ile 35 psi şişirme basıncı değerlerinde ölçülmüştür.
- 4) Lastiklerde en yüksek sehim değeri ise W18 jant ve 12 psi şişirme basıncı değerlerinde elde edilmiştir.
- 5) Mevcut durumda, üretici firmalar lastikleri piyasaya sürerken teknik bilgi paketi yayınlamaktadırlar. Bilgi paketi içeriğinde lastik kullanım basıncı, yükü, jant bilgileri vb. teknik özellikler belirtilmektedir. Buna karşın, teknik bilgi paketlerinde lastik taban izi değerleri dikkate alınarak kullanım jantı ve kullanım basıncına göre bilgiler yer almamaktadır. Bu durumda, kullanıcılar lastiği hangi jant ve şişirme basıncında kullanmaları halinde maksimum taban izi genişliğine ulaşacaklarını tespit edememektedir. Yapılan çalışma ile kullanıcılar, lastiklerde doğru jant ve basınç seçimi ile taban izi anlamında zaman ve yakıt tasarrufu sağlayarak lastikten maksimum fayda elde etme imkânı bulacaktır. Bunun yanında, IF/VF yapısına sahip olan lastiklerin yük altında jant ve basınç parametreleri standart lastikler ile kıyaslanarak, lastik kullanımı sırasında yakıt ve zamandan tasarruf sağlanmasına olanak tanıyacaktır.
- 6) Benzer çalışmaların, farklı jant tipi ve lastik ölçülerinde, lastiklerde tekstil kuşak yapısı yerine çelik kuşaklı yapıda olması halinde taban izine ne gibi etkileri olacağını inceleyen araştırmalar yapılması literatüre katkı sağlayacaktır.
- 7) Lastik kalıbı referans alınarak, lastik ölçüleri, kullanım basıncı ve jant parametrelerinin tanımlanmasıyla taban izi ölçümlerinin sonlu elemanlar metodu kullanılarak incelendiği veya taban izi ölçümünün otomatik yöntemler ile araştırıldığı çalışmaların yapılmasını öneririz.

Yazar katkısı: Onur Karaçay: Çalışma hakkında verileri toplamış ve analiz etmiştir, makaleyi yazmıştır. Süleyman Kılıç: Çalışmayı planlamış ve tasarlamıştır, yazılan makalemin eleştirel okuma ve düzeltmelerini yapmıştır.

Kaynaklar

- Abeels, P. 1976.** Tire deflection and contact studies. *Journal of Terramechanics*, 13(3): 183-196. Doi: 10.1016/0022-4898(76)90005-7
- Akay, EA., Erdaş, O. 2007.** Orman traktörü ile sürütme sırasında oluşan tekerlek izi derinliğinin hesaplanması. *Süleyman Demirel Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi Seri: A(1)*: 49-57. Doi:10.18182/tjf.95509
- Arvidsson, J., Westlin, H., Keller, T., Gilbertsson, M. 2011.** Rubber track systems for conventional tractors – Effects on soil compaction and traction. *Soil and Tillage Research*, 117: 103-109. Doi: 10.1016/j.still.2011.09.004
- Damanauskas, V., Janulevičius, A., Pupinis, G. 2015.** Influence of extra weight and tire pressure on fuel consumption at normal tractor slippage. *Journal of Agricultural Science*, 7(2): 55-67. Doi:10.5539/jas.v7n2p55
- Grečenko, A. 1995.** Tyre footprint area on hard ground computed from catalogue values. *Journal of Terramechanics*, 32(6): 325-333. Doi: 10.1016/0022-4898(96)00003-1
- Janulevičius, A., Damanauskas, V. 2022.** Prediction of tractor drive tire slippage under different inflation pressures. *Journal of Terramechanics*, 101: 23-31. Doi: 10.1016/j.jterra.2022.03.001
- Jjagwe, P., Tekeste, MZ., Alkhalifa, N., Way, TR. 2023.** Modeling tire-soil compression resistance on artificial soil using the scaling law of pressure-soil sinkage relationship. *Journal of Terramechanics*, 108: 7-19. Doi: 10.1016/j.jterra.2023.02.002
- Köylü, H. 2017.** Experimental study on development of smart algorithm based on tire deflection to detect the drops in tire pressure. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 6(2): 104-115. Doi: 10.18245/ijaet.438134
- Misiewicz, PA., Richards, TE., Blackburn, K., Godwin, RJ. 2016.** Comparison of methods for estimating the carcass stiffness of agricultural tyres on hard surfaces. *Biosystems Engineering*, 147: 183-192. Doi: 10.1016/j.biosystemseng.2016.03.001
- Okursoy, R. 1992.** Toprağın kompaksiyon modeli. *Tarımsal Mekanizasyon 14. Ulusal Kongresi*, 14-16 Ekim, s 564-573, Samsun.
- Özgöz, E., Okursoy, R. 2002.** Lastik Tekerlekli Traktörlerde Lastik Basıncının Toprak Sıkışıklığına Olan Etkilerinin Belirlenmesi. *Journal of Agricultural Sciences*, 8(01): 92-100.
- Pražan, R., Čedík, J., Gerndtová, I., Neřold J., Pexa, M. 2016.** Comparison of three sets of drive tractor tyres with respect to traction properties. *Proceedings of 6th International Conference on Trends in Agricultural Engineering*, Prague, Czech Republic
- Rivero, D., Botta, GF., Antille, DL., Ezquerro-Canalejo, A., Bienvenido, F., Ucgul, M. 2022.** Tyre Configuration and Axle Load of Front-Wheel Assist and Four-Wheel Drive Tractors Effects on Soil Compaction and Rolling Resistance under No-Tillage. *Agriculture*, 12(11): 1961. Doi 10.3390/agriculture12111961
- Schjønning, P., Lamandé, M., Tøgersen, FA., Arvidsson, J., Keller T., 2008.** Modelling effects of tyre inflation pressure on the stress distribution near the soil-tyre interface. *Biosystems Engineering*, 99(1): 119-133. Doi: 10.1016/j.biosystemseng.2007.08.005
- Shaheb, MR., Venkatesh, R., Shearer, SA. 2021.** A review on the effect of soil compaction and its management for sustainable crop production. *Journal of Biosystems Engineering*, 46: 417-439. Doi: 10.1007/s42853-021-00117-7
- Tekeste, M., Way, T., Birkenholz, W., Brodbeck, S. 2016.** Evaluation of Low Inflation Tire Technologies on Soil Compaction. 2016 ASABE Annual International Meeting, American Society of Agricultural and Biological Engineers, p.1. Doi: 10.13031/AIM.20162461902
- Tekeste, MZ., Way, TR., Birkenholz, W., Brodbeck, S. 2023.** Effect of Increased Deflection Tire Technology on Soil Compaction. *Journal of the ASABE*, 66(1): 75-84. Doi:10.13031/ja.14794
- ten Damme, L., Stettler, M., Pinet, F., Vervaeet, P., Keller, T., Munkholm, LJ., Lamandé, M. 2019.** The contribution of tyre evolution to the reduction of soil compaction risks. *Soil and Tillage Research*, 194: 104283. Doi: 10.1016/j.still.2019.05.029
- Vanderhasselt, A., Euben, R., Hose, TD, Cornelis, W. 2022.** Slurry spreading on a silt loam soil: influence of tyre inflation pressure, number of passages, machinery choice and tillage method on physical soil quality and sugar beet growth. *Land*, 11(6): 913. Doi:10.3390/land11060913.



Classification of Knee Osteoarthritis Severity by Transfer Learning from X-Ray Images

X-Ray Görüntülerinden Transfer Öğrenme ile Diz Osteoartriti Şiddetinin Sınıflandırılması

Fatma Zehra Solak*

Konya Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Software Engineering Department, Konya, Türkiye

Abstract

Knee Osteoarthritis (KOA) is the most common type of arthritis and its severity is assessed with the Kellgren-Lawrence (KL) grading system based on evidence from both knee bones. Recent advancements point to an era where computer-assisted methods enhance KOA diagnostic efficiency. This study implemented binary and multiple classification processes based on X-ray images and deep learning algorithms for computer-aided KOA severity diagnosis. Pre-processing involved extracting the region of interest and contrast enhancement with CLAHE on the X-ray images from the included dataset. Using this dataset, 2, 3, 4, and 5 class classification processes were conducted with ResNet-50, Xception, VGG16, EfficientNetb0, and DenseNet201 transfer learning models. Each model was assessed with “rmsprop,” “sgdm,” and “adam” optimization algorithms. Study findings reveal that, the DenseNet201-rmsprop model achieved 87.7% accuracy, 87.2% F1-Score, and a 0.75 Cohen’s kappa value for 2-class classification. For 3-class classification, it achieved 85.6% accuracy, 82.4% F1-Score, and a 0.71 Cohen’s kappa value. For 4-class classification, the DenseNet201-rmsprop model provided 81.5% accuracy, 77.1% F1-Score, and a Cohen’s kappa value of 0.67. In the 5-class classification, the highest success was with the Xception-rmsprop model, with 67.8% accuracy, 68.8% F1-Score, and a 0.55 Cohen’s kappa value. The evaluation with varying class numbers and different transfer learning models highlights the proposed approach’s effectiveness. Results of the study underscore the study’s uniqueness and success in demonstrating how varying the number of classes, employing different transfer learning models and optimizers can provide clearer insights into KOA severity evaluation.

Keywords: Clahe, multiple classification, osteoarthritis, transfer learning, X-ray.

Öz

Knee Osteoartrit (KOA), her iki diz kemiğinden elde edilen kanıtlara dayanarak Kellgren-Lawrence (KL) derecelendirme sistemi ile değerlendirilen en yaygın artrit türüdür. Son gelişmeler, KOA tanı verimliliğini artırmak için bilgisayar destekli yöntemlerin kullanıldığı bir döneme işaret etmektedir. Bu çalışma, X-ışını görüntüleri ve derin öğrenme algoritmaları temelinde ikili ve çoklu sınıflandırma süreçleri uygulayarak KOA şiddeti tanısında bilgisayar destekli yöntemler geliştirmiştir. Ön işleme işlemi, dahil edilen veri setindeki X-ışını görüntülerinden ilgi alanının çıkarılması ve kontrastın CLAHE ile artırılmasını içermiştir. Bu veri seti kullanılarak, ResNet-50, Xception, VGG16, EfficientNetb0 ve DenseNet201 transfer öğrenme modelleri ile 2, 3, 4 ve 5 sınıf sınıflandırma süreçleri gerçekleştirilmiştir. Her model, “rmsprop,” “sgdm,” ve “adam” optimizasyon algoritmaları ile değerlendirilmiştir. Çalışmanın bulguları, DenseNet201-rmsprop modelinin 2-sınıf sınıflandırma için %87.7 doğruluk, %87.2 F1-Skoru ve 0.75 Cohen’s kappa değeri elde ettiğini ortaya koymaktadır. 3-sınıf sınıflandırma için %85.6 doğruluk, %82.4 F1-Skoru ve 0.71 Cohen’s kappa değeri elde edilmiştir. 4-sınıf sınıflandırmada, DenseNet201-rmsprop modeli %81.5 doğruluk, %77.1 F1-Skoru ve 0.67 Cohen’s kappa değeri sağlamıştır. 5-sınıf sınıflandırmada, en yüksek başarı, %67.8 doğruluk, %68.8 F1-Skoru ve 0.55 Cohen’s kappa değeri ile Xception-rmsprop modeli ile elde edilmiştir. Farklı sınıf sayıları ve farklı aktarım öğrenme modelleri ile yapılan değerlendirme, önerilen yaklaşımın etkinliğini vurgulamaktadır. Çalışmanın sonuçları, sınıf sayısının değiştirilmesinin, farklı transfer öğrenme modellerinin ve optimize edicilerin kullanılmasının KOA şiddeti değerlendirmesinde nasıl daha net bilgiler sağlayabileceğini gösterme konusunda çalışmanın benzersizliğini ve başarısını vurgulamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Clahe, çoklu sınıflandırma, osteoartrit, transfer öğrenme, X-ray

*Corresponding author: fzgogus@ktun.edu.tr

Fatma Zehra Solak orcid.org/0000-0001-5035-7575



This work is licensed by “Creative Commons Attribution-NonCommercial-4.0 International (CC)”.
BY NC

1. Introduction

Osteoarthritis (OA) is the most common form of musculoskeletal disorders worldwide and is a degenerative condition that is increasing with the ageing population (Martel-Pelletier 1999, Anderson and Loeser 2010). This disease, which is frequently seen in overweight and elderly individuals, usually causes friction of the bones, excessive joint pain and stiffness as a result of cartilage tear (Martel-Pelletier 1999). OA, which starts by affecting the knees, can also affect the hip and hand joints over time.

Knee Osteoarthritis (KOA) is a common condition affecting a wide age group from young to old. In the USA alone, there are 14 million people with symptomatic knees (Deshpande et al. 2016), affecting tens of millions of people worldwide (Vina and Kwoh 2018). KOA is usually diagnosed and assessed by methods such as X-ray imaging, ultrasound, computed tomography and magnetic resonance imaging (Wenham et al. 2014). Among these, radiographs (X-rays) have remained the gold standard for screening for KOA because of their cost-effectiveness, safety, wide accessibility and speed. According to radiologists, the most prominent pathological features of KOA that can be easily observed are joint space narrowing (JSN) and osteophyte formation, which can also be used in the Kellgren-Lawrence (KL) grading approach to determine KOA severity. With this approach, KOA severity is classified on the basis of a consensus, which is divided into five classes (class 0 to 4) (Kellgren and Bier 1956, Kohn et al. 2016). According to the Kellgren-Lawrence (KL) grading system, 0 indicates that there is no evidence of KOA, that is, healthy. 1 defines suspicious narrowing of the joint space, so, uncertainty regarding the presence of KOA (suspected KOA). 2 signify mild KOA as a result of possible joint space narrowing. 3 shows moderate KOA with definite evidence of narrowing of the joint space. And, 4 point the presence of severe KOA as a result of severe narrowing of the joint space.

In advanced degrees of KOA, available treatment options are limited, so early diagnosis and assessment of the disease is vital. The complex nature of KOA, the diversity of risk factors and the limitations of treatment options increase the importance of artificial intelligence-based diagnosis and evaluation methods in this field. Machine Learning (ML) and Deep Learning (DL) methods focusing on early diagnosis of KOA have the potential to improve the quality of life of patients (Wang et al. 2021). Therefore, studies on the early diagnosis and treatment of KOA patients using deep learning (DL) methods are currently making significant progress.

Tiulpin et al. (2018) developed knee osteoarthritis (KOA) diagnosis system using a deep Siamese convolutional neural network based on the Kellgren-Lawrence (KL) rating scale, achieving 66.71% accuracy and a squared Kappa value of 0.83 on the Osteoarthritis Initiative (OAI) dataset. Brahim et al. (2019) used Random Forest and Naïve Bayes algorithms, achieving 82.98% accuracy, 80.65% specificity, and 87.15% sensitivity on 1024 knee X-ray images from OAI for KOA detection. Nasser et al. (2020) proposed a discriminative regularized autoencoder, achieving 82.53% accuracy on 3900 knee radiographs from OAI. Jakaite et al. (2021) used a small dataset of 31 images and ML (ANN, SVM, and RF) techniques to achieve 85.0% accuracy in early KOA detection. Yong et al. (2022) created an ordinal regression module for neural networks, achieving 88.09% accuracy and a Quadratic Weighted Kappa score of 0.8609 on 8260 radiographs from OAI. It was reported that although the approaches gave good results, they produced misclassifications when classifying KOA images with KL degrees of 0 and 1. Wang et al. (2022) used Deep Neural Networks (DNNs) with preprocessing and a midpoint extraction technique, achieving 81.41% accuracy. Guan et al. (2022) combined traditional and deep learning models to improve the performance of early KOA detection. They achieved AUC of 0.807, 72.3% sensitivity, and 80.9% specificity on a dataset consisting of 1389 subjects with KOA and 3285 subjects without KOA obtained from the OAI. Kondal et al. (2022) presented a CNN-based approach to automatically grade knee radiographs on the Kellgren-Lawrence (KL) scale. It used an object detection model to isolate individual knees and a regression model to assign the KL scale to each knee. After fine-tuning, they achieved a mean absolute error reduction (from 1.09 to 0.28). Alshamrani et al. (2023) benefited from transfer learning models for the early detection of osteoarthritis from 3836 X-ray images labeled as KOA and non-KOA. Therefore, they performed the classification process to separate those with KOA diagnoses from those without KOA diagnoses with accuracy of 92%. Pi et al. (2023), proposed an ensemble network to detect severity of KOA using a dataset of 8260 images from the OAI open dataset. The best performance was obtained by them as accuracy of 76.93% and an F1-score of 0.7665. However, they specified that the proposed ensemble network frequently misclassifies KL grade 1 as KL grade 0 or KL grade 2. Sharma et al. (2023) proposed a model with Adam and Adamax optimizers for detection of osteoarthritis in the early stage. They trained the model with Knee Osteoarthritis Severity Grading dataset which contains various

X-Ray images of joints for healthy, moderate and severe categories. In their study, the best accuracy was achieved as 93.84% with Adam optimizer. Saini et al. (2023) studied on a dataset consisting of 3696 radiograph images to determine the severity of KOA. Three-stage pre-processing method has been proposed using a combination of different techniques. For the severity classification, 89.95% accuracy was obtained by the VGG16 model. Raza et al. (2024), presented a multi-faceted approach using feature extraction and machine learning (ML) to diagnose KOA stages from 3154 knee X-ray images and improve classification accuracy. Feature extraction methods such as Histogram of Oriented Gradients (HOG) with Linear Discriminant Analysis (LDA) and Min–Max scaling to prepare the data for classification were implemented. Using 6 ML classifiers, they achieved a best accuracy of 98.90%, distinguishing between healthy and unhealthy knees. Rehman and Gruhn (2024) introduced a novel hybrid model combining Convolutional Neural Networks (CNN) and VGG16 architectures. They created their own dataset consisting of 1650 digital X-ray images of knee joints. Their hybrid method (CNN-ResNet50) achieved an accuracy of more than 93% on the test dataset. Ahmed and Imran (2024) utilized VGG-16, VGG-19, ResNet-50, ResNet-101, and EfficientNetb7 models for the automation of the diagnosis of knee OA. Researchers performed both multi-class and binary-class classification approaches. They stated that they were particularly effective in distinguishing normal and severe cases with a classification accuracy of 99.13%, but in other cases, the effectiveness of the model decreased to 67%.

The literature review revealed that the difficulty of multiple classification of KOA severity reduces the success of studies. As a result, some researchers continue their work by considering only a few severities of KOA (Guan et al. 2022, Alshamrani et al. 2023, Sharma et al. 2023, Ahmed and Imran 2024, Raza et al. 2024).

In this study, to address the challenge of multi-class classification, multiple classification processes with different numbers of classes created based on various combinations of Kellgren-Lawrence (KL) grades were performed to determine the severity of KOA. While creating combinations, the treatment methods applied to the severity grades were taken as the basis. To implement this approach, firstly, X-ray images related to KOA were preprocessed and then subjected to 2-class, 3-class, 4-class and 5-class classification processes. For the classifications, ResNet-50, Xception, VGG16, EfficientNetb0 and DenseNet201 transfer learn-

ing models were utilized. Each of the models was run separately with each of the “rmsprop”, “sgdm” and “adam” optimization algorithms.

As a result of the study, it can be concluded that utilizing multiple classifications with varying numbers of classes has proven effective in evaluating the behavior and performance of the models in classifying complex KOA cases. This study underscores the importance of utilizing diverse class combinations, different transfer learning models, and optimization strategies to improve classification accuracy and reliability.

2. Material and Methods

This section summarizes the recommended process for determining KOA severity. X-Ray Images related to KOA was first pre-processed. Then, they were subjected to multiple classification processes involving different numbers of classes using transfer learning models. Finally, the performances of the models were evaluated. Figure 1 shows the flow diagram of the study.

2.1. Dataset

In order to perform the experiments specified in the proposed flow diagram in Figure 1, a publicly available dataset consisting of 8,260 X-ray images of size 224x224x1 related to knee osteoarthritis was utilized. The dataset is accessible via “Hugging Face” (kneeosteoarthritis 2018). A larger version of the dataset is also available on “Kaggle”.

The dataset provided by Chen (2018) contains x-ray images of the left and right knees from a total of 4796 participants, including both male and female patients aged 45 to 79 years. The dataset’s X-ray images are categorized into five distinct groups, referred to as KL-grades (0 to 4), which represent the severity of knee osteoarthritis. In the grade 0 (healthy) category, there are 3,253 images, while there are 1,495 images classified as grade 1 (suspicious), 2,175 images as grade 2 (mild), 1,086 images as grade 3 (moderate), and 251 images as grade 4 (severe). Figure 2 indicates examples of knee joints from all degrees of CL.

2.2. Pre-Processing

Region of interest extraction and image enhancement with CLAHE were performed on the images in the dataset. Region of Interest Extraction is often used to remove unnecessary information and focus on prominent features before analyzing an image. This resulted in an image containing only the region to be analyzed. In this way, it helps to remove unnecessary information outside the area where the

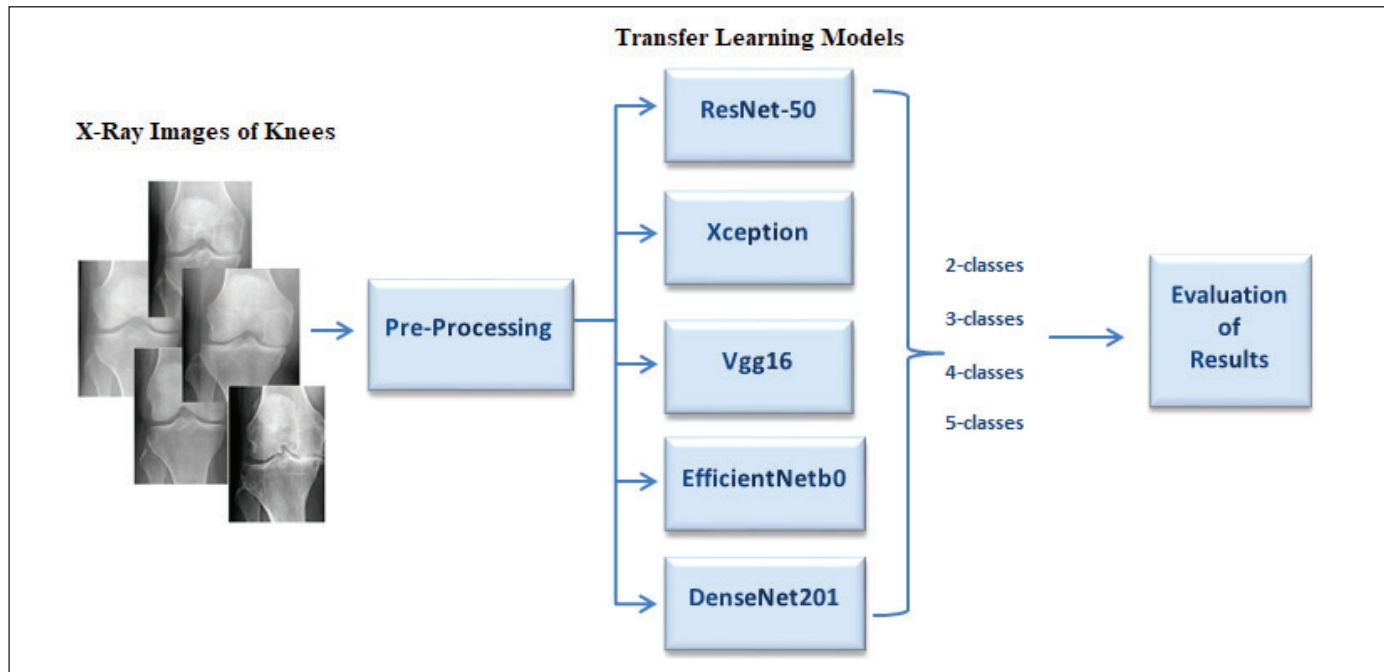


Figure 1: Flow diagram of the study.

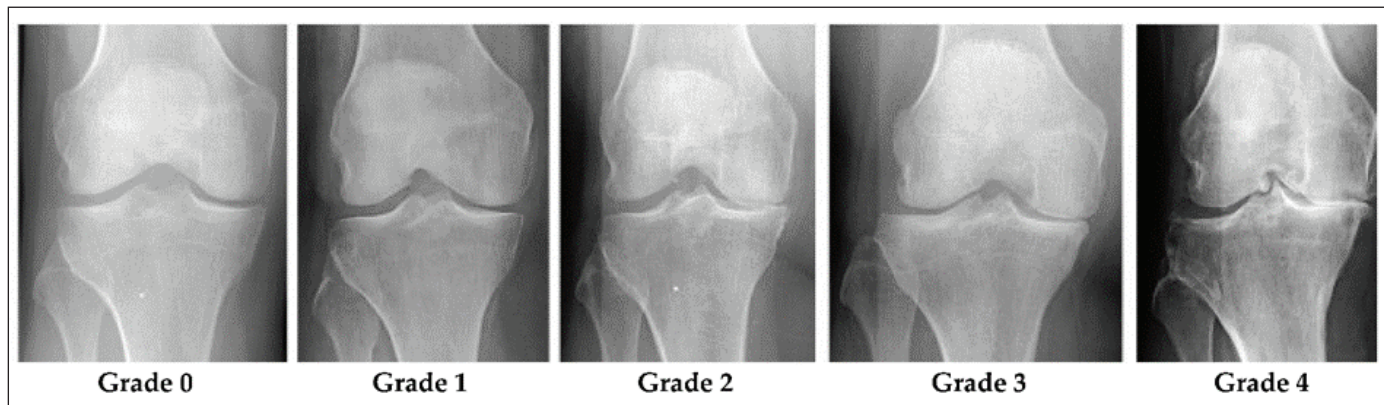


Figure 2: Knee joint specimens of all KL grades (Kim et al. 2020).

analysis focuses, making the process more effective. In this study, this process was accomplished by cropping to highlight the knee joint. Each of images was cropped by 20 pixels from all directions (top, bottom, right and left). Following the extraction the relevant area, Contrast Limited Adaptive Histogram Equazation (CLAHE) technique was benefited to enhance the contrast of the images in the dataset. Parameters of this technique, namely, 'NumTiles' and 'Clip-Limit' were chosen as (8 8) and 0.005, respectively. Figure 3 demonstrates the results of pre-processing on KOA images.

After all these processes, images in the dataset were randomly separated into training, validation and testing to be used in classification processes with transfer learning mod-

els. During the classification process, a randomly selected 15% of the data sets were used for testing, another randomly selected 15% of the remaining data were used for validation and the remaining data were used for training.

2.3. Classification

In this study, to determine the severity level of extremely complex KOA cases from X-Ray images, we performed several classification processes with different numbers of classes in addition to the 5-class classification according to the KL grading system. This approach aimed to better understand the models' behavior and address the challenges of multi-class classification. For the classifications, the num-

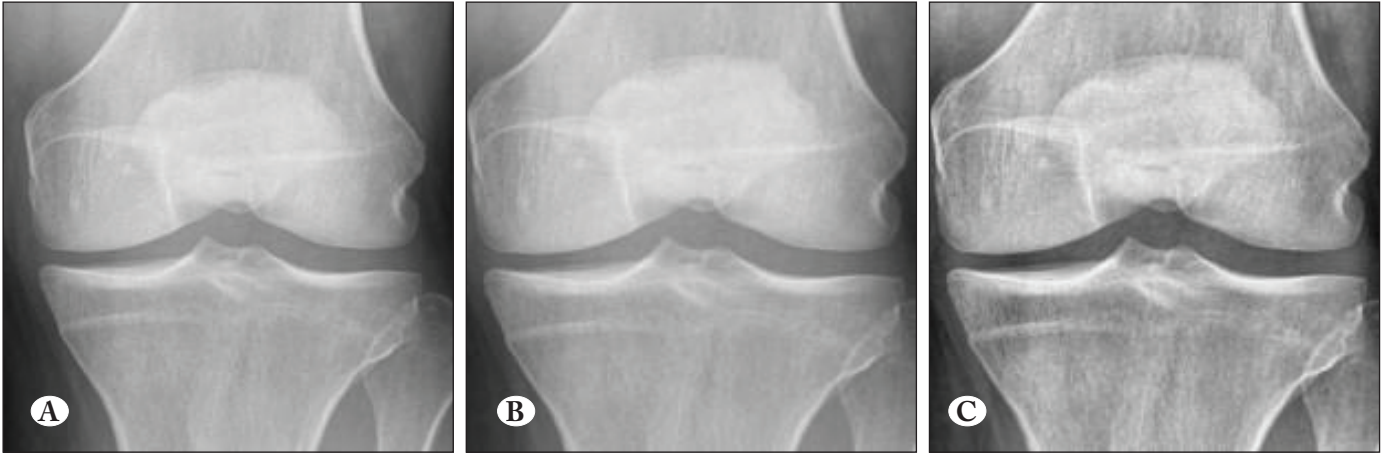


Figure 3: Applying pre-process on KOA images. (A) shows the original image, (B) illustrated the result region of interest extraction process from original image, and (C) CLAHE applied version of the image with region of interest extraction.

ber of classes was determined using various combinations of Kellgren-Lawrence (KL) grades. These combinations were formulated based on the treatment methods corresponding to different severity levels.

First of all, a 2-class classification approach was adopted in the study. According to KL grading system, cases that were considered healthy and suspicious were evaluated as healthy, that is, no KOA, and the others were considered as KOA cases. Then, a 3-class classification was carried out. In the 3-class classification, healthy and suspicious cases were merged into one category. Mild and moderate KOA cases were combined into another category. For these degrees of KOA cases, exercise, physical therapy, and medication are sufficient. And, severe KOAs are considered as a separate category since treatment of this degree usually requires surgery. Later on, 4-class classification was performed. In this classification, healthy and suspected cases were grouped together and regarded as a single category. Mild, moderate and severe KOAs were evaluated as separate categories due to differences in their treatment. Finally, as in other literature studies, a 5-class classification was made based on the severities in the KL grading system. Table 1 summarizes the class structures in classifications carried out in this study.

For the 2, 3, 4, and 5 class classification tasks aimed at determining the severity of KOA, as shown in Table 1, we utilized several transfer learning models including ResNet-50, Xception, VGG16, EfficientNetB0, and DenseNet201.

ResNet-50 introduced by He et al. (2016) represents a deep convolutional neural network (CNN) architecture notable for its utilization of residual connections. The incorporation

of residual connections in deep neural networks alleviates the problem of vanishing gradients by enabling the learning of residual mappings (Sharma et al. 2022). It comprises 50 layers, consisting of convolutional, pooling, fully connected, and shortcut layers (He et al. 2016). As a consequence of the residual connections, gradients propagate more effectively through the network, facilitating accelerated learning and convergence (Shivadekar et al. 2023).

The Xception model, proposed by Chollet (2017), extends the inception architecture through the exclusive utilization of depth-wise separable convolutions (Chollet 2017). Xception, an extreme version of its predecessor model Inception (Szegedy et al. 2016), is a Convolutional Neural Network (CNN) architecture that consists of 71 layers in depth. The Xception model utilizes depth-wise separable convolutional neural networks with residual connections instead of standard convolution techniques. Depth-wise separable convolution, commonly known as ‘Separable Convolution,’ represents an alternative to traditional convolutional layers, aiming to improve computational efficiency (Shaheed et al. 2022). In addition, these layers are lighter and more computationally efficient compared to traditional convolutional layers.

VGG16 proposed by Simonyan and Zisserman (2014) has a 16-layer network comprising 13 convolutional layers and 3 fully connected layers. It is a CNN architecture that creates a deep network using repeated convolutional layers, followed by max-pooling layers for spatial downsampling (Li et al. 2023). Increasing depth gradually while keeping the filter size modest at 3×3 , the network aims to learn hierarchical image representations (Yang et al. 2023). The

Table 1. Structure of classifications.

Classification	Classes	Structure
1	2	Class 0: healthy and suspected cases (do not require treatment)
		Class 1: mild, moderate and severe cases (a treatment is needed)
2	3	Class 0: healthy and suspected cases (<i>do not require treatment</i>)
		Class 1: mild and moderate KOA cases (<i>exercise, physical therapy and medication are sufficient for treatment</i>)
		Class 2: severe KOA cases (<i>treatment goes up to surgery</i>)
3	4	Class 0: healthy and suspected cases (do not require treatment)
		Class 1: mild KOA cases (<i>exercises can be performed at home for treatment</i>)
		Class 2: moderate KOA cases (for the treatment, medication and physiotherapy are sufficient)
		Class 3: severe KOA cases (<i>treatment is either heavy injections of medication directly into the affected area or surgery</i>)
4	5	Class 0: <i>Healthy KOA cases</i>
		Class 1: <i>Suspected KOA cases</i>
		Class 2: <i>Mild KOA cases</i>
		Class 3: <i>Moderate KOA cases</i>
		Class 4: <i>Severe KOA cases</i>

utilization of smaller filters, rather than larger ones, enables a deeper network with fewer parameters.

EfficientNetB0, containing a total of 237 layers, was introduced in 2019, utilizing inverted residual blocks along with Squeeze and Excitation (SE) blocks, and employing swish activation (Tan and Le 2019). The model architecture comprises multiple convolutional layers employing a 3x3 receptive field and mobile inverted bottleneck convolutional layers (Mou and Razzak 2023). EfficientNetB0 was crafted through the AutoML Mnas neural architecture search, resulting in a network structured with mobile inverted bottleneck blocks, enhanced by squeeze-and-excitation optimization for superior performance and efficiency (Mou and Razzak 2023).

The DenseNet201 framework, initially proposed by Huang et al. (2017), is a recent advancement in dense-network architecture, known for its effectiveness in image recognition tasks. The architecture of DenseNet201 adopts a distinctive strategy wherein each layer is interconnected in a feed-forward manner with every other layer. Moreover, the model integrates both pooling layers and a compact structure. As a result of these design decisions, there is a notable reduction in parameter count and overall model complexity, leading to enhanced efficiency (Turkoglu 2021).

These models are pre-trained on the ImageNet database with 1000 classes. Since 2, 3, 4 and 5-class classification was made in this study, all models were fine-tuned according to these classifications. The ResNet-50 structure used is shown in Figure 4. Other used models were similarly fine-tuned according to the number of classes.

The Transfer Learning Models were configured with specific parameters as follows: 15 epochs were set for training, with a batch size of 8 samples per iteration. The cross entropy loss function was employed to evaluate model performance. Additionally, three different optimization algorithms were utilized for each network: Root Mean Square Propagation (rmsprop), Stochastic Gradient Descent with Momentum (sgdm), and Adaptive Moment Estimation (adam).

Classification Accuracy (CA), F1-Score (F1) and Cohen's Kappa Value (K) were used to evaluate the performance of the models. Classification Accuracy (CA) and F1-score values are given as a percentage (%).

3. Results and Discussion

Before loading the training set of X-ray images into the transfer learning models for determining the severity of KOA, data augmentation was performed to address class imbalance, enhance prediction accuracy, and reduce overfit-

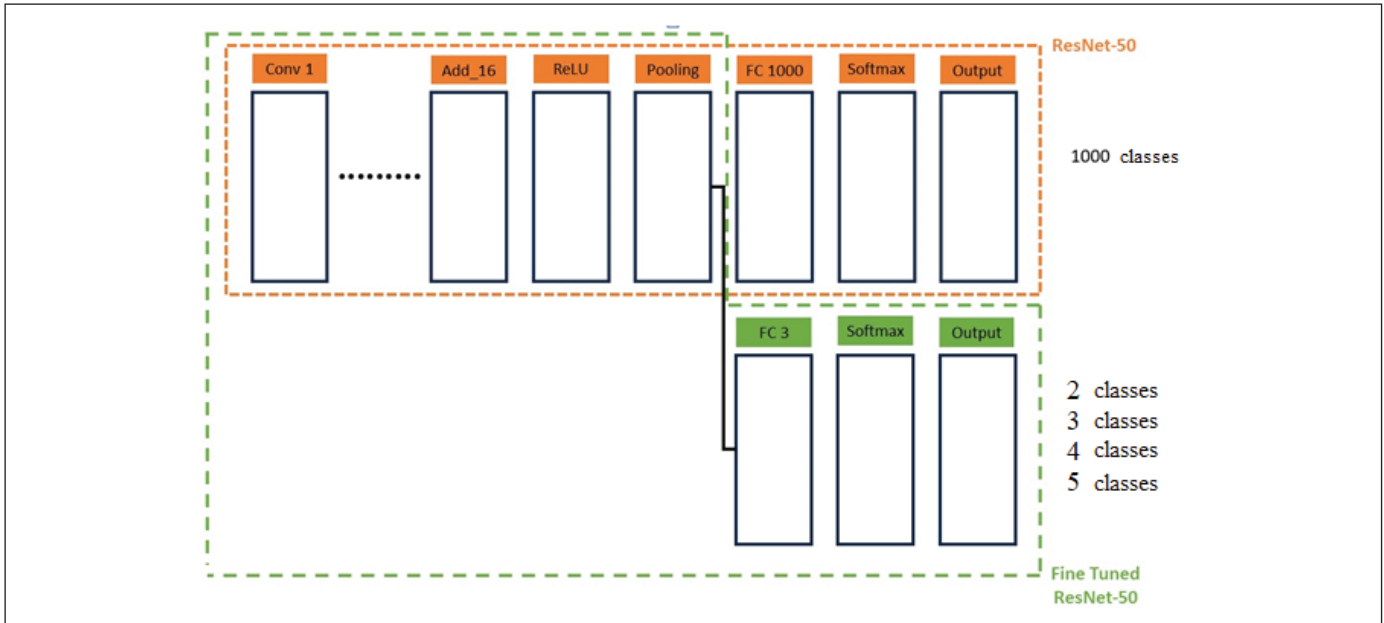


Figure 4: Used ResNet-50 structure.

Table 2. Classification results of ResNet-50 models for test set using different optimizers.

ResNet-50	2-class			3-class			4-class			5-class		
	CA	F1	K	CA	F1	K	CA	F1	K	CA	F1	K
rmsprop	85.2	84.4	0.69	84.0	82.0	0.68	79.9	77.7	0.64	67.0	64.2	0.52
sgdm	85.1	84.7	0.69	82.6	80.7	0.66	77.5	76.8	0.62	64.7	63.6	0.50
adam	86.4	85.6	0.72	84.3	82.0	0.68	77.4	75.5	0.63	67.0	66.4	0.54

ting. For the augmentation, random rotation, random reflection in the left-right direction, random reflection in the top-bottom direction, range of horizontal shear and range of vertical shear were preferred. After this process, augmented X-ray images were given to fine-tuned transfer learning models and the models were trained with the determined parameters. Subsequently, the trained models were applied to the test set, consisting of 1239 X-ray images.

Table 2 evaluates the performances of ResNet-50 for the test set using rmsprop, sgdm and adam optimizers on 2-class, 3-class, 4-class and 5-class classification tasks.

According Table 2, across various classification tasks, different optimizers demonstrate varying performances. Notably, for 2-class classification, adam exhibits superior performance with an accuracy of 86.4%, leading in F1-Score (85.6%) and Kappa (0.72), indicating strong precision, recall, and reliability as the F1-score reflects a balance between precision and recall. Also high Kappa indicates agreement beyond chance. However, as the number of classes

increases, the overall performance of all optimizers tends to decrease. Specifically, while adam and rmsprop perform relatively well in 3-class classification, achieving similar accuracy and reliability, sgdm lags slightly behind. In 4-class classification, rmsprop maintains a lead in accuracy (79.9%) and reliability, closely followed by adam. However, as the complexity increases to 5-class classification, the performance gap between adam and rmsprop narrows, yet adam demonstrates better overall performance and reliability, particularly reflected in its higher F1-score (66.4%) and Kappa (0.54). Nevertheless, across all scenarios, sgdm consistently trails behind in all metrics.

Test performances of Xception models using different optimizers are shown in Table 3.

Table 3 shows that, in 2-class classification, adam emerges as the top performer, boasting an accuracy of 87.1%, F1-Score of 86.8%, and Kappa of 0.74, demonstrating its robust precision and recall balance. rmsprop closely follows suit, showcasing comparable performance metrics with an

Table 3. Classification results of Xception models for test set using different optimizers.

Xception	2-class			3-class			4-class			5-class		
	CA	F1	K	CA	F1	K	CA	F1	K	CA	F1	K
rmsprop	86.7	86.2	0.72	83.4	79.6	0.68	80.3	77.8	0.66	67.8	68.8	0.55
sgdm	81.4	80.7	0.62	78.4	73.6	0.58	72.7	69.0	0.53	59.8	53.6	0.42
adam	87.1	86.8	0.74	84.3	83.2	0.69	77.4	76.7	0.62	65.5	65.6	0.52

Table 4. Classification results of VGG16 models for test set using different optimizers.

VGG16	2-class			3-class			4-class			5-class		
	CA	F1	K	CA	F1	K	CA	F1	K	CA	F1	K
rmsprop	76.0	76.0	0.53	79.7	53.5	0.60	63.4	32.6	0.24	51.7	42.8	0.36
sgdm	86.7	86.3	0.73	83.5	82.5	0.68	78.8	78.7	0.64	67.3	67.0	0.55
adam	84.6	83.6	0.68	82.6	77.6	0.66	78.8	74.6	0.63	65.9	62.0	0.52

accuracy of 86.7%, F1-Score of 86.2%, and Kappa of 0.72. These results highlight the importance of Kappa in assessing the model's agreement beyond what would be expected by random chance, emphasizing adam's superiority in reliability. However, as the classification complexity increases to 3 classes, adam maintains its lead with an accuracy of 84.3%, F1-Score of 83.2%, and Kappa of 0.69, albeit with slightly reduced metrics, while rmsprop remains a strong contender with an accuracy of 83.4%, F1-Score of 79.6%, and Kappa of 0.68. Conversely, sgdm exhibits behind significantly across all aspects, exhibiting lower performance metrics. As the task complexity escalates further to 4 classes, rmsprop takes the lead with an accuracy of 80.3%, F1-Score of 77.8%, and Kappa of 0.66, emphasizing a good balance between precision and recall, followed closely by Adam, indicating a consistent performance trend. However, sgdm once again falls short in performance metrics. Finally, in the 5-class classification, rmsprop exhibits notable performance in terms of F1-Score (68.8%) and Kappa (0.55), while adam demonstrates slightly lower accuracy (65.5%) and F1-Score (65.6%). However, both optimizers outshine sgdm, which consistently performs the lowest across all classification tasks.

Table 4 presents the test performances of VGG16 models using rmsprop, sgdm and adam optimizers.

In the 2-class classification scenario, sgdm emerges as the top performer for the VGG16 model, boasting the highest accuracy of 86.7% and an impressive F1-Score of 86.3%, indicating its ability to balance precision and recall effec-

tively. Moreover, sgdm achieves a Cohen's Kappa coefficient of 0.73, signifying substantial agreement beyond random chance, which is crucial for binary classification tasks. Following closely, adam demonstrates strong performance with an accuracy of 84.6% and an F1-Score of 83.6%, although its Kappa coefficient of 0.68 suggests slightly lower reliability compared to sgdm. rmsprop trails behind both sgdm and adam in accuracy and F1-Score, indicating less robust performance in distinguishing between the two classes. As the classification tasks become progressively more complex (3-class, 4-class, and 5-class), sgdm consistently maintains its superiority, showcasing its versatility and effectiveness across various classification challenges. However, it's noteworthy that as the number of classes increases, the performance metrics for all optimizers, including sgdm, witness a decline. This decline is particularly evident in the diminishing F1-Score and Kappa values of adam and rmsprop, highlighting sgdm's resilience and reliability using with VGG16 in tackling increasingly intricate classification scenarios.

For the test set, performances of EfficientNetb0 models using rmsprop, sgdm and adam optimizers are seen in Table 5.

In the 2-class classification task, both rmsprop and adam achieve an accuracy of 85.3%, with sgdm slightly behind at 82.1%. adam exhibits the highest F1-Score (84.9%) and Kappa coefficient (0.70), indicating its effectiveness in achieving a balance between precision and recall and showing strong agreement beyond random chance. As the classification tasks become more complex, rmsprop and adam consistently perform similarly, maintaining competitive ac-

Table 5. Classification results of EfficientNetb0 models for test set using different optimizers.

EfficientNetb0	2-class			3-class			4-class			5-class		
	CA	F1	K	CA	F1	K	CA	F1	K	CA	F1	K
rmsprop	85.3	84.7	0.70	83.4	82.5	0.67	78.3	76.6	0.62	64.1	63.3	0.49
sgdm	82.1	81.3	0.63	77.8	70.0	0.56	70.7	64.3	0.47	58.2	52.8	0.39
adam	85.3	84.9	0.70	82.6	83.6	0.67	77.1	76.3	0.61	64.6	66.2	0.51

Table 6. Classification results of DenseNet201 models for test set using different optimizers.

DenseNet201	2-class			3-class			4-class			5-class		
	CA	F1	K	CA	F1	K	CA	F1	K	CA	F1	K
rmsprop	87.7	87.2	0.75	85.6	82.4	0.71	81.5	77.1	0.67	67.8	67.2	0.55
sgdm	84.7	84.2	0.69	83.5	81.1	0.67	78.0	75.2	0.62	64.9	63.0	0.49
adam	86.9	86.7	0.73	84.0	81.6	0.68	78.9	76.8	0.63	67.9	65.2	0.54

curacy and F1-Score values across all tasks. However, sgdm trails behind in performance metrics in all classification scenarios, suggesting lower effectiveness in handling diverse classification challenges.

The Table 6 displays the classification results of DenseNet201 models for test set utilizing different optimizers across various classification tasks (2-class, 3-class, 4-class, and 5-class)

Across all classification tasks, including 2-class, 3-class, 4-class, and 5-class scenarios, the DenseNet201 models exhibit varying performances contingent on the optimizer utilized. In the 2-class classification, rmsprop notably achieves the highest accuracy at 87.7%, closely followed by adam (86.9%) and sgdm (84.7%). However, rmsprop maintains a significant lead in both F1-Score (87.2%) and Cohen's Kappa coefficient (0.75), underscoring its robustness in balancing precision and recall and achieving substantial agreement beyond random chance. As the complexity of classification tasks increases, there is a slight decline in performance metrics across all optimizers. In the 3-class scenario, rmsprop leads with an accuracy of 85.6%, adam follows closely with 84.0%, and sgdm trails with 83.5%. Again, rmsprop excels in F1-Score (82.4%) and Kappa (0.71), demonstrating its effectiveness in accurately classifying instances across multiple categories. In the 4-class classification, rmsprop maintains its lead with an accuracy of 81.5%, followed by sgdm (78.0%) and adam (78.9%). Despite the decrease in performance compared to the 2-class scenario, rmsprop demonstrates the highest F1-Score (77.1%) and Kappa (0.67),

showcasing its capability to handle classification challenges involving multiple categories. In the 5-class classification, rmsprop continues to dominate with an accuracy of 67.8%, followed by adam (67.9%) and sgdm (64.9%). Although there is a further decrease in performance metrics as the number of classes increases, rmsprop maintains its superiority in F1-Score (67.2%) and Kappa (0.55), indicating its reliability and effectiveness even in more complex classification scenarios with increased class diversity.

The tables (Table 2-6) show that as the number of classes increases, Classification Accuracy (CA), F1 Score, and Cohen's Kappa (K) metrics generally decrease for all models and optimizers. This decrease can be attributed to the inherent difficulties associated with distinguishing between a larger number of classes, resulting in decreased model accuracy and predictive power. Additionally, as the number of classes increases, the F1 Score decreases due to the increasing difficulty of striking a balance between precision and recall, while Cohen's Kappa coefficient also decreases as the agreement between predicted and actual labels becomes more difficult to achieve beyond random chance. DenseNet201 consistently achieves the highest performance across different class configurations, particularly with the rmsprop optimizer. Xception and ResNet-50 also perform well, especially with the adam optimizer, but their performance drops more significantly with increasing class complexity. VGG16 shows a substantial decline in performance with more classes, indicating it is less effective for complex tasks. EfficientNetb0 has moderate performance but does not surpass DenseNet201 or Xception. Overall, it is said that rmsprop

consistently maintains relatively higher performance across various class settings compared to sgd and adam. This suggests that rmsprop may offer more stable and reliable performance, making it a preferable choice for optimizing classification models, particularly in scenarios with higher class diversity. In addition, DenseNet201 with rmsprop stands out as the most robust combination for multi-class classification, but all models face challenges as the classification task becomes more complex.

When comparing the models based on classification results with the same number of classes, several conclusions can be drawn from examining all the tables.

For the 2-class classification, the DenseNet201 model achieved the highest performance in terms of all metrics among all models when using “rmsprop” optimizer. Figure 5 shows the confusion matrix of this classification with DenseNet201-rmsprop. From this figure, it can be seen that Class 0, which contains images of healthy and suspicious cases, is better classified.

Output Class	0	657	98	87.0% 13.0%	precision
	1	55	429	88.6% 11.4%	
		92.3% 7.7%	81.4% 18.6%	Accuracy 87.7% 12.3%	
	recall 0	recall 1			Target Class

Figure 5: Confusion matrix of 2-class classification with DenseNet201-rmsprop.

For the 3-class classification, the highest results across all metrics were achieved when using DenseNet201 with the rmsprop optimizer. The confusion matrix for this classification is depicted in Figure 6. As observed from the matrix, images categorized as Class 0, representing healthy and suspicious cases, were classified with the highest accuracy. Conversely, Class 2, consisting of X-Ray images indicating severe KOA, exhibited the lowest classification success. This

discrepancy can be primarily attributed to the significant imbalance in data distribution among the classes.

Output Class	0	663	114	0	85.3% 14.7%	precision
	1	49	372	12	85.9% 14.1%	
	2	0	3	26	89.7% 10.3%	precision
		93.1% 6.9%	76.1% 23.9%	68.4% 31.6%	85.6% 14.4%	
	recall 0	recall 1	recall 2		Target Class	

Figure 6: Confusion matrix of 3-class classification with DenseNet201-rmsprop.

In the 4-class classification, the DenseNet201 model with the rmsprop optimizer demonstrated the highest success across all metrics. Figure 7 presents the confusion matrix for this classification. It is evident from the matrix that the highest accuracy was achieved in Class 0, which comprises images of healthy and suspicious cases. Conversely, the

Output Class	0	664	110	7	0	85.0% 15.0%	precision
	1	46	205	38	1	70.7% 29.3%	
	2	2	11	116	12	82.3% 17.7%	precision
	3	0	0	2	25	92.6% 7.4%	
	93.3% 6.7%	62.9% 37.1%	71.2% 28.8%	65.8% 34.2%	81.5% 18.5%		
	recall 0	recall 1	recall 2	recall 3		Target Class	

Figure 7: Confusion matrix of 4-class classification with DenseNet201-rmsprop.

lowest accuracy was observed in Class 1, representing mild KOA images.

Finally, in the 5-class classification process, although the Xception-rmsprop model achieved the same accuracy and K value as DenseNet201-rmsprop, it achieved a higher success in terms of F1-score. For this reason, the Xception-rmsprop model provided the best performance in this classification. In this classification, classes represent the degrees of KL grading system. Figure 8 shows the confusion matrix of this classification.

According to Figure 8, the highest success with the Xception-rmsprop model was achieved in the classification of Class 4 i.e. images of severe KOA cases. The next highest success was in the classification of healthy images (Class 0). The lowest classification success was in the Class 1 classification of images in which the presence of KOA was suspected. These images could not be differentiated very well from images of healthy and mild KOA cases.

Since the DenseNet201-rmsprop model achieved the same accuracy and kappa value in this classification, if we examine the confusion matrix in Figure 9, the highest rate was achieved in the classification of images of severe KOA cases, while the second successful result was obtained in the classification of those of moderate KOA. Similar to the Xception model, with DenseNet201-rmsprop, images of suspected KOA cases were classified at the lowest rate.

Training times in hours (hr) and minutes (min) when using the optimizers where all models give the highest performance for 2, 3, 4 and 5-class classifications are given in Table 7.

As can be seen from Table 7, the longest training took while training the Densenet201 model. The shortest training took place while training the VGG16 model. While there are big differences between them in terms of duration, we cannot talk about big differences in terms of performance. The Xception model also provided the highest performance for 5 classes and completed its training in a not too long time. In VGG16, it performed very closely with it for 5-class classification, even its kappa values were equal, and it completed the training period in a very short time.

A brief comparison with other studies for KOA severity detection using deep learning models is summarized in Table 8.

Output Class	0	1	2	3	4	precision
0	404	101	38	2	0	74.1% 25.9%
1	59	83	69	5	0	38.4% 61.6%
2	25	38	207	37	0	67.4% 32.6%
3	0	2	12	110	2	87.3% 12.7%
4	0	0	0	9	36	80.0% 20.0%
	82.8% 17.2%	37.1% 62.9%	63.5% 36.5%	67.5% 32.5%	94.7% 5.3%	67.8% 32.2%
	recall	recall	recall	recall	recall	
	Target Class					

Figure 8: Confusion matrix of 5-class classification with Xception-rmsprop.

Output Class	0	1	2	3	4	precision
0	425	113	44	0	0	73.0% 27.0%
1	38	60	42	3	0	42.0% 58.0%
2	21	43	172	6	0	71.1% 28.9%
3	4	8	68	148	3	64.1% 35.9%
4	0	0	0	6	35	85.4% 14.6%
	87.1% 12.9%	26.8% 73.2%	52.8% 47.2%	90.8% 9.2%	92.1% 7.9%	67.8% 32.2%
	recall	recall	recall	recall	recall	
	Target Class					

Figure 9: Confusion matrix of 5-class classification with DenseNet201-rmsprop.

This study explored multiple classifications providing a more comprehensive analysis of KOA severity compared to most other studies in Table 8 which focused only on 5-class or a single classification scheme. The study achieved high classification accuracy in the 2-class (87.7% CA) and 3-class (85.6% CA) classifications, showing strong performance in less complex classification tasks. The accuracy for the 5-class

Table 7. Training times of models.

Models	Optimizer	Classification	Training Times
DenseNet201	rmsprop	2-class	8hr 13min
	rmsprop	3-class	8hr 9min
	rmsprop	4-class	8hr 5min
	rmsprop	5-class	8hr 9min
Xception	adam	2-class	1hr 27min
	adam	3-class	1hr 28min
	rmsprop	4-class	1hr 21min
	rmsprop	5-class	1hr 21min
VGG16	sgdm	2-class	38min
	sgdm	3-class	38min
	sgdm	4-class	39min
	sgdm	5-class	39min
ResNet-50	adam	2-class	1hr 16min
	adam	3-class	1hr 16min
	rmsprop	4-class	1hr 7min
	adam	5-class	1hr 16min
EfficientNet	adam	2-class	3hr 12min
	adam	3-class	3hr 12min
	rmsprop	4-class	2hr 56min
	adam	5-class	3hr 10min

classification (67.8% CA) was higher than studies carried out by (Tiulpin et al. 2018) and (Ahmed and Imran 2024). However, it lower compared to several other studies such as Rehman and Gruhn (2024) with 93.27% CA, Saini et al. (2023) with 89.95% CA, Pi et al. (2023) and Yong et al. (2022) with 88.09% CA. This indicates room for improvement in handling the complexity of KOA severity levels. Nevertheless, there is a point to consider here that Rehman and Gruhn (2024) and Saini et al. (2023) used a different number of data in their study than our study. The number of data, especially the distribution of data into classes, significantly affects the performance of the models. Therefore, it would not be appropriate to directly compare our study with these two studies.

As shown in Table 8, Alshamrani et al. (2023) performed a 2-class classification on a dataset of 3,836 samples labeled KOA and Non-KOA. In contrast, our study performed a 2-class classification that included all KL grades, which

were evaluated into 2 classes according to treatment status. Additionally, the number of data points analyzed in our study was different from theirs. A similar situation exists in the 3-class classification carried out by Sharma et al. (2023). Therefore direct performance comparison is not possible.

This study's primary advantages include its comprehensive evaluation of KOA severity through multiple classification levels (2, 3, 4, and 5 classes), flexibility in analysis, and high accuracy in less complex classifications. It also offers a detailed comparison of different models (ResNet-50, Xception, VGG16, EfficientNetb0, DenseNet201) and optimization algorithms (rmsprop, sgdm, adam). Moreover, through multiple classifications, the study reveals the behavior and impact of models and optimizers across classifications with varying numbers of classes. However, the study faces limitations due to data imbalance, which affects classification success, especially in more complex classifications. This situation highlights the need for strategies to address this

Table 8. Comparison of the literature.

Reference	Number of Data	Classification	Performance
Tiulpin et al. (2018)	27293	5-class (0, 1, 2, 3, 4 of KL grades)	CA: 66.71%
Yong et al. (2022)	8260	5-class (0, 1, 2, 3, 4 of KL grades)	CA _{macro} : 88.09%
Wang et al. (2022)	6380	5-class (0, 1, 2, 3, 4 of KL grades)	CA: 81.41%
Guan et al. (2022)	6567	5-class (0, 1, 2, 3, 4 of KL grades)	0.807 AUC (area under ROC curve)
Alshamrani et al. (2023)	3836	2-class (KOA and Non-KOA)	CA: 92%
Pi et al. (2023)	8260	5-class (0, 1, 2, 3, 4 of KL grades)	CA: 76.93%
Sharma et al. (2023)	4590	3-class (0, 3, 4 of KL grades)	CA: 93.84%
Saini et al. (2023)	3696	5-class (0, 1, 2, 3, 4 of KL grades)	CA: 89.95%
Rehman and Gruhn (2024)	1650	5-class (0, 1, 2, 3, 4 of KL grades)	CA: 93.27%
Ahmed and Imran (2024)	8260	5-class (0, 1, 2, 3, 4 of KL grades)	CA: 67%
<i>This Study</i>	8260	5-class (0, 1, 2, 3, 4 of KL grades) 4-class 3-class 2-class	CA: 67.8% CA: 81.5% CA: 85.6% CA: 87.7%

imbalance. Additionally, while the study uses a significant dataset (8260 images), it is still smaller, potentially limiting generalizability and robustness.

4. Conclusion and Suggestions

This study exhaustively evaluated the severity of knee osteoarthritis (KOA) using various deep learning models (ResNet-50, Xception, VGG16, EfficientNetb0, DenseNet201) and optimization algorithms (rmsprop, sgd, adam) across multiple classification levels (2, 3, 4, and 5 classes). The DenseNet201 model with the rmsprop optimizer consistently achieved the highest performance, particularly excelling in less complex classification tasks (2-class and 3-class). However, as the number of classes increased, all models experienced a decrease in performance metrics, highlighting the challenges associated with more complex classifications. Compared to existing literature, this study achieved competitive results, though there is room for improvement in handling the complexity of KOA severity levels. Notably, data imbalance significantly impacted classification success, particularly in higher class classifications.

To enhance future research, addressing data imbalance through advanced augmentation techniques or acquiring more balanced datasets is crucial. Additionally, exploring other optimization algorithms and hybrid models may im-

prove classification accuracy. Expanding the dataset size and diversity could further enhance the generalizability and robustness of the models. Overall, this study's multi-level classification approach offers valuable insights into the performance dynamics of various models and optimizers, providing a foundation for further advancements in KOA severity detection.

Acknowledgment: This article is an original work and all results have not published previously. Also, this study did not receive any funding or research grants during the study, research or assembly of the manuscript.

Author contribution: Authors contributed to the all stages of the work, namely, collection of data, preprocessing, classification using ensemble deep learning models, the analysis of the results and also the writing of the manuscript, equally.

5. References

- Ahmed, R., Imran, AS. 2024. Knee osteoarthritis analysis using deep learning and XAI on X-rays. *IEEE Access*, 12: 68870-68879. Doi: 10.1109/ACCESS.2024.3400987
- Alshamrani, HA., Rashid, M., Alshamrani SS., Alshehri AH. 2023. Osteo-net: An automated system for predicting knee osteoarthritis from x-ray images using transfer-learning-based neural networks approach. *Healthcare*, 11(9): 1206. Doi: 10.3390/healthcare11091206

- Anderson, AS., Loeser, RF. 2010.** Why is osteoarthritis an age-related disease?. *Best Pract Res Clin Rheumatol.*, 24(1): 15-26. Doi: 10.1016/j.berh.2009.08.006
- Brahim, A., Jennane, R., Riad, R., Janvier, T., Khedher, L., Toumi H., Lespessailles, E. 2019.** A decision support tool for early detection of knee OsteoArthritis using X-ray imaging and machine learning: Data from the OsteoArthritis Initiative. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 73: 11-18. Doi: 10.1016/j.compmedimag.2019.01.007
- Chen, P. 2018.** Knee osteoarthritis severity grading dataset. *Mendeley Data*, 1. Doi: 10.17632/56rmx5bjcr.1
- Chollet, F. 2017.** Xception: Deep learning with depthwise separable convolutions. 2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), p. 1800-1807, USA
- Deshpande, BR., Katz, JN., Solomon DH., Yelin, EH., Hunter, DJ., Messier, SP., Suter, LG., Losina, E. 2016.** Number of persons with symptomatic knee osteoarthritis in the US: impact of race and ethnicity, age, sex, and obesity. *Arthritis care & research*, 68(12): 1743-1750. Doi: 10.1002/acr.22897
- Guan, B., Liu, F., Mizaian, AH., Demehri, S., Samsonov, A., Guermazi, A., Kijowski, R. 2022.** Deep learning approach to predict pain progression in knee osteoarthritis. *Skeletal Radiol.*, 51(2):363-373. Doi: 10.1007/s00256-021-03773-0
- He, K., Zhang, X., Ren, S., Sun, J. 2016.** Deep residual learning for image recognition. *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, p. 770-778. Doi: 10.48550/arXiv.1512.03385
- Huang, G., Liu, Z., Van Der Maaten, L., Weinberger, KQ. 2017.** Densely connected convolutional networks. *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. p. 4700-4708. Doi: 10.48550/arXiv.1608.06993
- Jakaite, L., Schetinina, V., Hladůvka, J., Minaev, S., Ambia, A., Krzanowski, W. 2021.** Deep learning for early detection of pathological changes in x-ray bone microstructures: case of osteoarthritis. *Sci. Rep.*, 11(1): 2294. Doi: 10.1038/s41598-021-81786-4
- Kellgren, J., Bier, F. 1956.** Radiological signs of rheumatoid arthritis: a study of observer differences in the reading of hand films. *Ann. Rheum. Dis.*, 15(1): 55-60. Doi: 10.1136/ard.15.1.55.
- Kim, DH., Kim, SC., Yoon JS., Lee YS. 2020.** Are there harmful effects of preoperative mild lateral or patellofemoral degeneration on the outcomes of open wedge high tibial osteotomy for medial compartmental osteoarthritis? *Orthop. J. Sports. Med.*, 8(6). Doi: 10.1177/2325967120927481
- kneeoosteoarthritis (2018).** Knee Osteoarthritis Dataset with severity grading, <https://huggingface.co/datasets/SilpaCS/kneeoosteoarthritis/blob/main/data.zip>, Access Data: 02.02.2024
- Kohn, MD., Sassoon, AA., Fernando, ND. 2016.** Classifications in brief: Kellgren-Lawrence classification of osteoarthritis. *Clin. Orthop. Relat. Res.*, 474(8): 1886-1893. Doi: 10.1007/s11999-016-4732-4
- Kondal, S., Kulkarni, V., Gaikwad, A., Kharat, A., Pant, A. 2022.** Automatic grading of knee osteoarthritis on the Kellgren-Lawrence scale from radiographs using convolutional neural networks. *Advances in Deep Learning, Artificial Intelligence and Robotics: Proceedings of the 2nd International Conference on Deep Learning, Artificial Intelligence and Robotics, (ICDLAIR)*, p. 163-173, Springer.
- Li, W., Yu, S., Yang, R., Tian, Y., Zhu, T., Liu, H., Jiao, D., Zhang, F., Liu, X., Tao, L. 2023.** Machine learning model of resnet50-ensemble voting for malignant-benign small pulmonary nodule classification on computed tomography images. *Cancers*, 15(22): 5417. Doi: 10.3390/cancers15225417
- Martel-Pelletier, J. (1999).** Pathophysiology of osteoarthritis. *Osteoarthritis and Cartilage.*, 7(4): 371-373. Doi: 10.1053/joca.1998.0214
- Mou, SF., Razzak, SA. 2023.** Brain disease classification from MRI scans using EfficientNetB0 feature extraction. 2023 International Conference on Information and Communication Technology for Sustainable Development (ICICT4SD), IEEE. p. 336-340.
- Nasser, Y., Jennane, R., Chetouani, A., Lespessailles, E., El Hassouni, M. 2020.** Discriminative Regularized Auto-Encoder for early detection of knee osteoarthritis: data from the osteoarthritis initiative. *IEEE transactions on medical imaging*, 39(9): 2976-2984. Doi: 10.1109/TMI.2020.2985861
- Pi, SW., Lee, BD., Lee, MS., Lee, HJ. 2023.** Ensemble deep-learning networks for automated osteoarthritis grading in knee X-ray images. *Scientific Reports*, 13(1): 22887. Doi: 10.1038/s41598-023-50210-4
- Raza, A., Phan, TL., Li, HC., Hieu, NV., Nghia, TT., Ching, CTS. 2024.** A Comparative study of machine learning classifiers for enhancing knee Osteoarthritis Diagnosis. *Information*, 15(4): 183. Doi: 10.3390/info15040183
- Rehman, SU., Gruhn, V. 2024.** A Sequential VGG16+ CNN based Automated Approach with adaptive input for efficient detection of knee Osteoarthritis stages. *IEEE Access*, 12: 62407 - 62415. Doi: 10.1109/ACCESS.2024.3395062
- Saini, D., Khosla, A., Chand, T., Chouhan, DK., Prakash, M. 2023.** Automated knee osteoarthritis severity classification using three-stage preprocessing method and VGG16 architecture. *International Journal of Imaging Systems and Technology*, 33(3): 1028-1047. Doi: 10.1002/ima.22845

- Shaheed, K., Mao, A., Qureshi, I., Kumar, M., Hussain, S., Ullah, I., Zhang, X. 2022.** DS-CNN: A pre-trained Xception model based on depth-wise separable convolutional neural network for finger vein recognition. *Expert Systems with Applications*, 191: 116288. Doi: 10.1016/j.eswa.2021.116288
- Sharma, AK., Nandal, A., Dhaka, A., Koundal, D., Bogatinoska, DC., Alyami, H. 2022.** Enhanced watershed segmentation algorithm-based modified ResNet50 model for brain tumor detection. *BioMed Research International*, 2022. Doi: 10.1155/2022/7348344
- Sharma, G., Anand, V., Kumar, V. 2023.** Classification of Osteo-Arthritis with the help of deep learning and transfer learning. 2023 5th International Conference on Inventive Research in Computing Applications (ICIRCA), India. Doi: 10.1109/ICIRCA57980.2023.10220816
- Shivadekar, S., Kataria, B., Hundekari, S., Wanjale, K., Balpande VP., Suryawanshi, R. 2023.** Deep learning based image classification of lungs radiography for detecting COVID-19 using a Deep CNN and ResNet 50. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, 11(1s): 241-250.
- Simonyan, K., Zisserman A. 2014.** Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. arXiv preprint arXiv:1409.1556. Doi: 10.48550/arXiv.1409.1556
- Szegedy, C., Vanhoucke, V., Ioffe, S., Shlens, J., Wojna, Z. 2016.** Rethinking the inception architecture for computer vision. *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, p. 2818-2826. Doi:10.1109/CVPR.2016.308
- Tan, M., Le, Q. 2019.** Efficientnet: Rethinking model scaling for convolutional neural networks. *International conference on machine learning*, p. 6105-6114, California.
- Tiulpin, A., Thevenot, J., Rahtu, E., Lehenkari, P., Saarakkala, S. 2018.** Automatic knee osteoarthritis diagnosis from plain radiographs: a deep learning-based approach. *Sci. Rep.*, 8(1): 1727. Doi: 10.1038/s41598-018-20132-7
- Turkoglu, M. 2021.** COVID-19 detection system using chest CT images and multiple kernels-extreme learning machine based on deep neural network. *Irbm*, 42(4): 207-214. Doi: 10.1016/j.irbm.2021.01.004
- Vina, ER., Kwoh, CK. 2018.** Epidemiology of osteoarthritis: literature update. *Current opinion in rheumatology*, 30(2):160-167. Doi: 10.1097/BOR.0000000000000479
- Wang, Y., Wang, X., Gao, T., Du, L., Liu, W. 2021.** An automatic knee osteoarthritis diagnosis method based on deep learning: data from the osteoarthritis initiative. *J. Healthc. Eng.*, 2021: 1-10. Doi: 10.1155/2021/5586529
- Wang, Y., Li, S., Zhao, B., Zhang, J., Yang, Y., Li, B. 2022.** A ResNet-based approach for accurate radiographic diagnosis of knee osteoarthritis. *CAAI Transactions on Intelligence Technology*, 7(3): 512-521. Doi: 10.1049/cit2.12079
- Wenham, C., Grainger, A., Conaghan, P. 2014.** The role of imaging modalities in the diagnosis, differential diagnosis and clinical assessment of peripheral joint osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage.*, 22(10): 1692-1702. Doi: 10.1016/j.joca.2014.06.005
- Yang, L., Xu, S., Yu, X., Long, H., Zhang, H., Zhu, Y. 2023.** A new model based on improved VGG16 for corn weed identification. *Front. Plant Sci.*, 14. Doi: 10.3389/fpls.2023.1205151
- Yong, CW., Teo, K., Murphy, BP., Hum, YC., Tee, YK., Xia, K., Lai, KW. 2022.** Knee osteoarthritis severity classification with ordinal regression module. *Multimedia Tools and Applications*, 81 (2): 1-13. Doi: 10.1007/s11042-021-10557-0



Parkinson's Disease Detection Via Machine Learning Using Data Splitting and Validation Methods

Veri Ayırma ve Doğrulama Yöntemleri Kullanılarak Makine Öğrenmesi Aracılığı ile Parkinson Hastalığı Tespiti

Mustafa Alptekin Engin*

Bayburt University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronics Engineering, Bayburt, Türkiye

Abstract

Parkinson's disease (PD), a neurological disorder, negatively affects the lives of patients and their caregivers. PD, which is very difficult to diagnose early by examining the clinical characteristics of the person, can be diagnosed using voice recordings. However, the inconsistent performance results of the models obtained from the evaluation of voice recordings through machine learning techniques limit the usability of these models to aid in diagnosing physicians. This study used a database of 195 voice data obtained from 31 individuals, 23 of whom have PD. The classification of the voices as healthy or patient was based on the 22 features in the database. The split ratios 90/10, 80/20, 70/30, 50/50 and 30/70 were used to select the training and test phase data, respectively. In addition, each split ratio was evaluated using 10-fold cross-validation, 5-fold cross-validation, holdout validation and resubstitution validation methods in the training phase, which is the initial process that will directly affect the other classification procedures. In addition, the classification process was performed using quadratic discriminant analysis, support vector machine, ensemble bagged tree, k-nearest neighbours and neural network classifiers. All procedures were repeated 10 times to ensure consistency of results and randomisation of split ratios. As a result, the k-nearest neighbours classifier with 80/20 splitting ratio and 10-fold cross-validation was determined to be the most successful among the compared methods with 95.64±3.21% accuracy. Therefore, it can be seen that much more successful results can be obtained by analysing only the effects of the existing parameters of the classifiers.

Keywords: Classification, cross-validation, machine learning, repeated train/test splitting

Öz

Nörolojik bir bozukluk olan Parkinson hastalığı (PH), hastaların ve bakımlarından sorumlu kişilerin hayatlarını olumsuz olarak etkilemektedir. Kişinin klinik özelliklerinin incelenmesi ile erken tanısı oldukça zor olan PH, konuşma ses kayıtları kullanılarak teşhis edilebilmektedir. Fakat ses kayıtlarının makine öğrenmesi teknikleri aracılığı ile değerlendirilmesinden elde edilen modellerin tutarsız performans sonuçları, bu modellerin hekimlerin teşhis koymasında yardımcı olarak kullanılabilirliğini sınırlandırmaktadır. Yapılan çalışmada 23'ü Parkinson hastası olan toplam 31 kişiden elde edilen ve 195 ses verisinden oluşan bir veri tabanı kullanılmıştır. Veri tabanındaki her bir konuşma sesinden elde edilen 22 adet öznelik ile bu seslerin makine öğrenmesi aracılığıyla hasta ve sağlıklı olarak sınıflandırılması gerçekleştirilmiştir. Bu sınıflandırma işleminde eğitim ve test aşamasında kullanılacak verilerin rastgele olarak sırası ile 90/10, 80/20, 70/30, 50/50 ve 30/70 olmak üzere farklı oranlarda bölünmesi sağlanmıştır. Ayrıca her bir ayırma oranı, eğitim aşamasında 10 katmanlı çapraz doğrulama, 5 katmanlı çapraz doğrulama, ayırarak doğrulama ve yeniden ikame doğrulama yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Bununla beraber kuadratik diskriminant, destek vektör makineleri, toplu torbalı ağaç, k-en yakın komşuluk ve sinir ağları sınıflandırıcıları kullanılarak sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Veri ayırmadaki rastgeleliğin ve tutarlı sonuçların elde edilmesi için tüm işlemler 10 defa tekrar edilmiştir. Yöntemlerin başarımlarının karşılaştırılmasında doğruluk, duyarlılık, özgüllük, kesinlik ve F1 skoru metrikleri aracılığı ile sonuçların ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak 80/20 ayırma oranı ve 10 katmanlı çapraz doğrulama kullanan k-en yakın komşuluk sınıflandırıcısına ait %95.64±3.21 test doğruluğu değeri, karşılaştırılan yöntemler içerisinde en başarılı yöntem olarak tespit edilmiştir. Dolayısıyla sadece sınıflandırıcılara ait mevcut parametrelerin etkileri analiz edilerek çok daha başarılı sonuçların elde edilebileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Çapraz doğrulama, makine öğrenmesi, sınıflandırma, tekrarlı eğitim/test ayırma

*Corresponding author: maengin@bayburt.edu.tr

Mustafa Alptekin Engin orcid.org/0000-0003-3399-9343



1. Introduction

Parkinson's disease (PD), a neurological disease named after James Parkinson, who first described its typical symptoms in the 1800s, is increasingly diagnosed, especially in individuals over a certain age (Huang et al. 2024). Although experts with 91% accuracy detect this disease in the first five years with the full application of detailed and challenging clinical diagnostic criteria, this correct detection rate decreases to 76% when examined by non-experts (Virameteekul et al. 2023). The fact that the disease occurs at an advanced age causes patients to face certain difficulties in the application of clinical diagnostic criteria and analyses. Therefore, there is a significant demand for low-cost methods that will help the patient overcome the difficulties in PD detection more easily (Esmer et al. 2020). It has been observed in the literature that a loss of control in motor activity is a common cause of a variety of voice and speech disorders in patients diagnosed with PD (Orozco-Arroyave et al. 2016). Speech disorders, which is one of the cognitive-motor skills, is a common diagnostic criterion seen in varying degrees in 90% of people with Parkinson's disease (Smith and Caplan 2018). Acoustic sound analyses and measurement methods may be useful biomarkers for diagnosing PD at an early stage of the disease, potentially enabling remote monitoring of patients. Furthermore, they may provide valuable feedback in sound therapy for clinicians or patients (Rusz et al. 2011). Especially in the last two decades, thanks to the development of software and hardware technologies, the idea of improving patients' quality of life by detecting PD based on machine learning at an early stage using speech sounds has come to the forefront of studies. There are many studies in the literature on the evaluation of dysphonic symptoms of PD with machine learning (Bang et al. 2023, Islam et al. 2024). In one of the pioneering studies, a kernel support vector machine and 50 replicates of bootstrap resampling methods were used to classify 195 speech data from 31 people, 23 of whom had Parkinson's disease, with 91.4% success (Little et al. 2009). In another classification study in which Parkinson's disease was evaluated with speech sounds using the probabilistic neural network method and the database was divided into 70% training and 30% testing phases, training accuracy was 81.74%, and testing accuracy was 81.28% (Ene 2008). In a study on the Neural Network Classification method, 65% of the database was used for training, and the remaining 35% was used for testing; 100% training and 92.9% testing accuracy values were achieved (Das 2010). In another study on the Adaptive Neuro-Fuzzy Classifier with the linguistic

hedges method, the database was divided into training and testing by 50%, and the classification accuracy values of the model were calculated as 95.38% in the training phase and 94.72% in the testing phase (Çağlar et al. 2010). In another study, 85.03% classification accuracy was achieved using a similarity classifier and feature selection using fuzzy entropy criteria after splitting the data into training and testing by 50% (Luukka 2011). The Classification and Regression (C&R) Tree, Bayes Net and C5.0 are used to generate an ensemble method in a classification study on detecting Parkinson's patients and healthy subjects. An accuracy of 95.31% was achieved in this study, where training and test data were split by 70% and 30%, respectively (Inzamam-Ul-Hossain et al. 2015). Classification accuracy of 92.19% was achieved in a study using The Optimised Cuttlefish algorithm for early diagnosis of Parkinson's disease, where the dataset was divided into 70% training and 30% test data (Gupta et al. 2018). In the study using the Modified Grey Wolf Optimization method and Random Forest classifier, the data set was divided by 70% and 30% to be used in the training and testing phases, respectively, and a classification accuracy of 93.87% was calculated (Sharma et al. 2019). In a study, the classification accuracy of 93.84% was calculated with the support vector machine classifier, and the features were evaluated using the recursive feature elimination method" (Senturk 2020). Another classification process was performed using entropy-based feature selection using the k-nearest neighbour algorithm, feed-forward Extreme Learning Machine, and Fast Learning Machine methods for Parkinson's detection. The study obtained 80% classification accuracy using half of the features via the Fast Learning Machine method (Abdulateef et al. 2023). In a recent study, the % classification accuracy of 88.5% was obtained with the cascade forest (casForest) algorithm using deep ensemble transformers, a fast, scalable approach for dimensionality reduction problems (Nareklishvili and Geitle 2024). All these studies, which focus on different feature selection techniques or classification methods, have in common the use of the Oxford Parkinson's Disease Detection Dataset for PD detection (Little 2007). In these studies, a single and different ratio was utilised to divide the database into distinct segments designated for use in both the training and testing phases. The impact of this ratio on performance was not explicitly elucidated. Moreover, as the first step in a classification process, this separation can directly affect the following steps. In addition, many of the studies discussed above do not mention the validation technique used during the training phase. Conventionally, when developing a

machine learning classification model, a large amount of training data is used in the training phase. The training validation with this large amount of data ensures that the quality and quantity of the data are adjusted, i.e. that the classification model performs well and, in particular, achieves reliable and consistent results. In addition to these deficiencies, conflicting performance results obtained using different classification models limit the clinical applicability of machine learning-based methods developed for PD detection (Iyer et al. 2023). The availability of a low-cost method with reliable results will both alleviate the clinical workload and help patients over a certain age group overcome the many physical challenges they will face during the diagnostic phase. Generally, there is no established method for finding the most appropriate model for the database to be used in a classification problem. In this respect, different classification algorithms should be evaluated with data separation and validation methods to find the optimal model. In the proposed study, the Oxford Parkinson's Disease Detection Dataset was used to classify patients and healthy subjects. In this classification process, training and test data were separated by dividing the entire database into 90/10, 80/20, 70/30, 50/50 and 30/70 ratios, respectively. In addition, in the training phase, the performance of 10-fold cross-validation, 5-fold cross-validation, holdout validation and resubstitution validation methods were analysed at each split ratio. The classification model was then built using Quadratic Discriminant Analysis (QDA), Support Vector Machine (SVM), Ensemble Bagged Tree (EBT), k-nearest neighbours (KNN) and Neural Network (NN) classifiers. The whole process was repeated 10 times for each data split ratio to ensure randomness and reliable results. The mean

and standard deviation values of the results were calculated using the metrics of accuracy, sensitivity, specificity, precision, and F1 score to compare the performance of the methods in all processes.

2. Material and Methods

The block diagram of the study is shown in Figure 1.

2.1. Dataset

The database used in this study is the Oxford Parkinson's Disease Detection Dataset (Little 2007), which consists of biomedical voice measurements from 31 individuals. Of the 31 people from whom the voice recordings in the database were taken, 23 had PD. The database consists of a total of 195 voice data, 48 of which are healthy and 147 of which are PD labelled. The ages of all subjects ranged between 46 and 85; 19 of them were male, and 12 of them were female. For individuals with PD, the disease duration ranges from 0 to 28 years since diagnosis. The voice recordings were captured utilising a microphone positioned at a distance of 8 cm from the lips, with a sampling frequency of 44100 Hz. After the voice recordings were digitized, a total of 22 features (Average vocal fundamental frequency (F0), Maximum vocal fundamental frequency (Fhi), Minimum vocal fundamental frequency (Flo), jitter as a percentage (Jitter(%)), absolute jitter in microseconds (Jitter(Abs)), Relative Amplitude Perturbation (RAP), five-point Period Perturbation Quotient (PPQ), Average absolute difference of differences between cycles, divided by the average period (DDP), local shimmer (Shimmer), local shimmer in decibels (Shimmer(dB)), Three-point Amplitude Perturbation Quotient (APQ3), Five-point Amplitude Perturbation

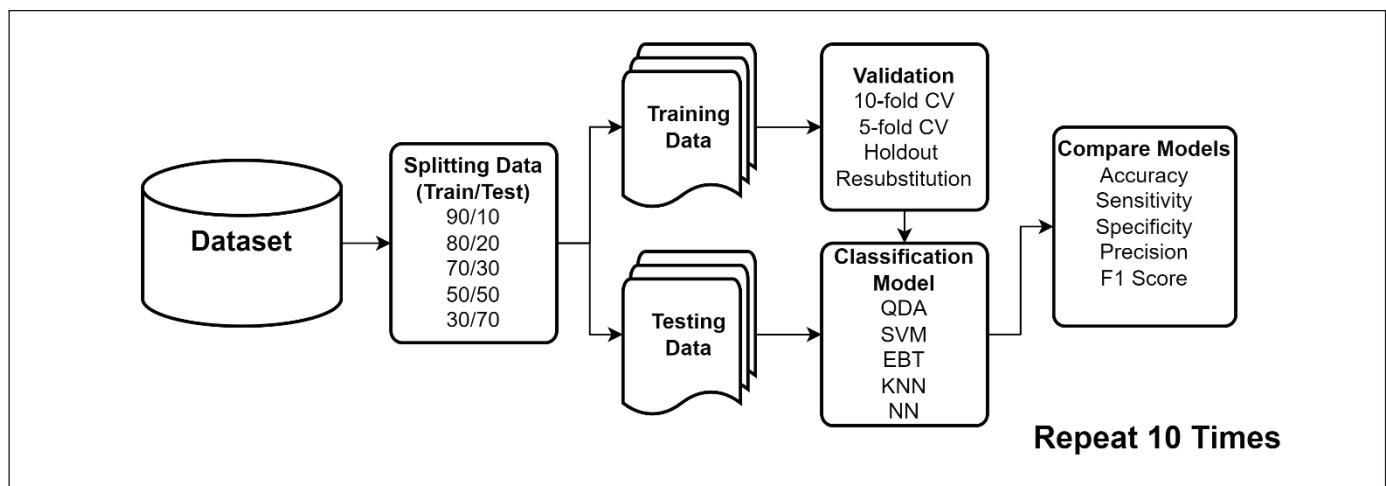


Figure 1. Block diagram of the study.

Quotient (APQ5), 11-point Amplitude Perturbation Quotient (APQ), Average absolute difference between consecutive differences between the amplitudes of consecutive periods (Shimmer: DDA), Noise-to-Harmonics Ratio (NHR), Harmonics-to-Noise Ratio (HNR), Recurrence Period Density Entropy (RPDE), Detrended Fluctuation Analysis (DFA), Correlation dimension (D2), Three nonlinear measures of fundamental frequency variation spread1, spread2 and Pitch period entropy (PPE)) were calculated using Kay Pentax Multi-Dimensional Voice Program (MDVP) (Little et al. 2009).

2.2. Data Splitting

The first step for a machine learning-based classification process is to split the data to be used in the training and testing phases. For a blind and fair classification process, the data used in the training phase should not be used in the testing phase. There is no optimum split ratio in the classification process. The most crucial point here is that parameter estimates have high variance with less training data, while less test data leads to high variance in performance measurements. Hence, random and repeated database examination with different split ratios is vital in classification. Therefore, in this study, the data collected from patient and non-patient samples in the whole database were split into 90/10, 80/20, 70/30, 50/50 and 30/70 ratios to be used in the training and testing phases, respectively, and the performance of different ratios was examined. In addition, the results were computed by repeatedly re-dividing all classification operations randomly with the same split ratio.

2.3. Validation

Machine learning-based classification research focuses on building more accurate models that can automatically learn from the real world. However, the issue of validating the accuracy of machine learning methods is less popular than implementing new methods (Xie et al. 2011). Regardless of which model is used, it is necessary to prevent overfitting in the training phase, which causes the model to underperform against new data not seen when well-trained on the training data. Therefore, there is a need for a control in the training phase, i.e. validation algorithms. During the training phase, validation will show whether the features represent the classes well enough and measures can be taken to improve the performance of the classification model. In this respect, the k -fold cross-validation method, one of the most preferred validation techniques in the literature, was also used in this study. The steps of this method involve randomly dividing the training set into k equal number of groups, considering the first fold as a validation set and applying the same method to the remaining $k - 1$ folds respectively (James et al. 2013). The validation result of the model is calculated as the average of the results obtained in all iterations. Figure 2 shows a schematic representation of 5-fold cross-validation.

Cross-validation allows the model to be tested more frequently in the training phase, except for test data. This reduces overfitting and improves the generalizability of the model. Another method used in the study is 10-fold cross-validation. In this method, the training set is divided into 10 equal parts and the same process is repeated. As illustrated in

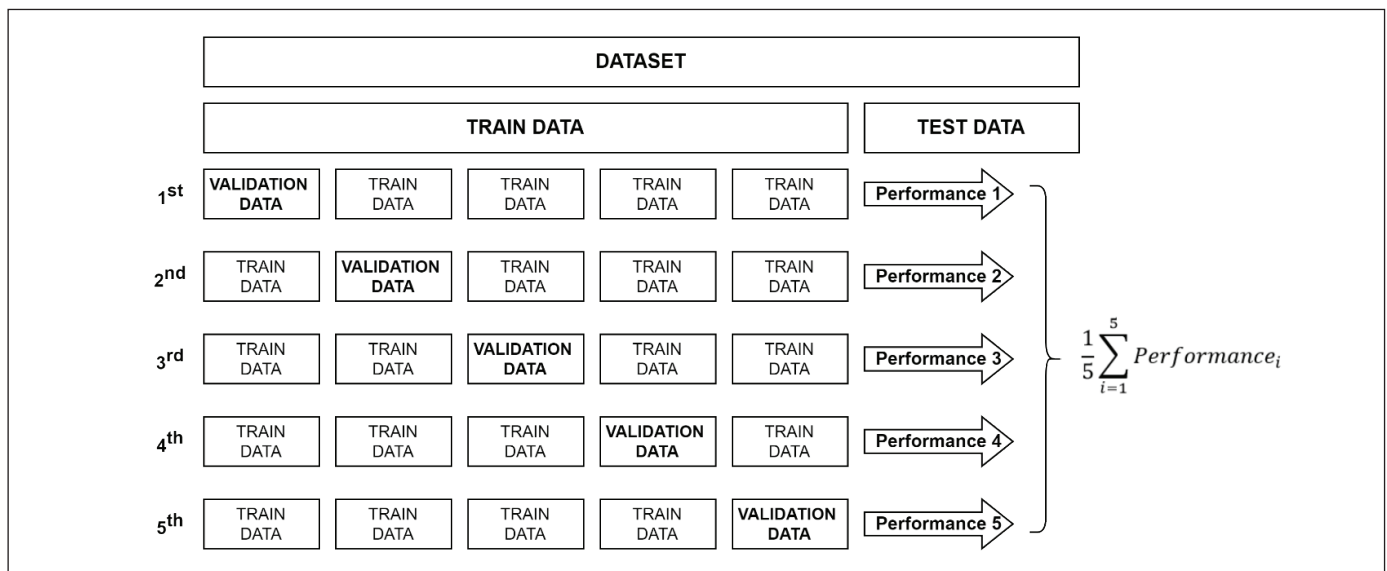


Figure 2: 5-fold cross-validation.

Figure 3, the holdout validation method involves randomly dividing the training set into two subsets for training and validation at a specific ratio. In this method, the model is constructed and validated only once.



Figure 3. Holdout validation.

The entire training set is used to build the model without splitting it in the resubstitution validation method. Despite generating overly optimistic predictions of performance during the training phase, the actual classification performance of the model is evaluated by comparing it with test data. As a result, the test dataset is used to test the accuracy of a particular model; the training dataset trains different algorithms to build the classification model. In contrast, the validation dataset compares the performance of different algorithms (with different hyperparameters) and decides which is suitable (Molera 2024). This study divided the training and test datasets into the same specific ratios, and the four validation methods mentioned above were applied sequentially in the training phase. Thus, it is determined which method's training validation performance is closest to the test accuracy performance for the database.

2.4. Classification Models

This study used Quadratic Discriminant Analysis, Support Vector Machine, Ensemble Bagged Tree, k-nearest neighbours and Neural Network classifiers, which are widely preferred in classification studies (Ekpezu et al. 2022). Among these popular methods, discriminant analysis, which is fast, accurate and easy to interpret, assumes that different classes generate data based on different Gaussian distributions. It is more suitable for large datasets as it tends to have a lower bias. In training, the fitting function estimates the parameters of the Gaussian distribution for each class. The trained classifier finds the class with the smallest misclassification cost to predict the classes of new data. Quadratic discriminant analysis is more flexible because it can learn quadratic boundaries (Duda et al. 2022). The full covariance matrix structure is utilised in this study for the quadratic discriminant analysis classifier. In the SVM method, to separate the points belonging to the classes on a plane, a line is drawn at the maximum distance to both classes, and the closest points to be drawn to the decision points are called supports (Cortes and Vapnik 1995). However, since it is mostly not

enough to separate the classes by drawing a line, different kernel functions are used to multiply the axes and the classes are separated by a non-linear line. In this study, the cubic kernel function is employed via the parameters of standardised data, the automatic kernel scale and box constraint level one. Among the ensemble classification methods created to provide a more reliable and higher performance than a single decision tree classifier, the bagged tree process is preferred because it reduces overfitting and minimises the variance in the decision tree classifier (Bhavsar et al. 2022). The method firstly divides the training set into sub-sets of the same size so as not to overlap, providing a unique data sample and creating a separate decision tree for each sub-set, combining the results from multiple decision trees. In the study, the number of learners was set at 30. In contrast to most classifiers, the KNN algorithm can achieve high performance in difficult situations where data are intertwined. While predicting the class, it looks at the data to be tested and the class of the k closest points in the training set. If the k closest training set data has the most data belonging to which class, it is decided that the test data belongs to that class (Fix and Hodges 1951). For this reason, the coefficient k is often chosen as one in order to make a precise decision. In the present study, the Euclidean distance metric is employed in conjunction with a value of k , equalling one. A neural network, a collection of algorithms that simulate the workings of the human brain, is used in classification to determine the connectivity between features in a dataset. Although neural network models, which usually have predictive solid accuracy, can be complex to understand compared to other classification methods, the size and amount of fully connected layers in the neural network increases model flexibility (Jana et al. 2023). In this study, the Trilayered Neural Network (TNN) classifier was used in combination with rectified linear unit activation.

2.5. Comparison Metrics

When evaluating a classification model's performance, the model's prediction results should be compared with the actual values. In this comparison, the number of positive predictions for positively labelled data (TP), negative predictions for positively labelled data (FN), negative predictions for negatively labelled data (TN) and positive predictions for negatively labelled data (FN) are calculated. Accuracy, Sensitivity, Specificity, Precision and F1 Score metrics obtained through these values were used in the study. Among these metrics, accuracy is the percentage at which positive and negative data can be detected in total, and it is calculated as shown in Equation 1.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN} \times 100 \quad (1)$$

Sensitivity is the percentage of samples with a positive value that can be positively detected and is calculated as shown in Equation 2.

$$Sensitivity = \frac{TP}{TP + FN} \times 100\% \quad (2)$$

Specificity refers to the percentage of a sample with a negative value that can be detected as negative and is calculated as shown in Equation 3.

$$Specificity = \frac{TN}{TN + FP} \times 100\% \quad (3)$$

Precision indicates how much of the data predicted as positive is actually positive and is calculated as shown in Equation 4.

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \times 100\% \quad (4)$$

The F1 Score corresponds to the harmonic mean of the Sensitivity and Precision values and is calculated as shown in Equation 5.

$$F1\ Score = 2 \times \frac{Precision \times Sensitivity}{Precision + Sensitivity} \times 100\% \quad (5)$$

3. Results and Discussion

In order to ensure randomness in data selection and to obtain valid and stable results, the procedures of all methods used for classification were repeated 10 times. The mean and standard deviation values of the results obtained through Accuracy, Sensitivity, Specificity, Precision and F1 Score metrics were calculated to compare the performance of the

methods. Table 1 shows the calculated results of different validation and classification methods based on using 90% of all data in the training phase and 10% in the testing phase. Tables 1-5 show the comparison metric values calculated after separating the training and test data in the 80/20, 70/30, 50/50, and 30/70 ratios, respectively. The KNN model exhibited notable performance with the highest test accuracy of 95.64% using an 80/20 split and 10-fold Cross-Validation, showcasing balanced sensitivity (92.00%) and specificity (96.90%). The QDA model achieved the highest test accuracy of 94.5±6.43% with a 90/10 data-splitting ratio and 10-fold Cross-Validation, demonstrating superior performance across multiple metrics, including sensitivity (82.0%), specificity (98.66%), precision (95.50%), and F1 score (86.77%). The SVM model maintained consistent performance with test accuracies mean around 90%, demonstrating robustness across different splits. The EBT and TNN models displayed varied results, with the EBT model achieving a test accuracy of around 91.76% with both 80/20 and 70/30 splits and the TNN model achieving a test accuracy of 91.55% under the 90/10 split. These results highlight the effectiveness of KNN and QDA in classification tasks, particularly with smaller test sets, while SVM, EBT, and TNN offer reliable alternatives depending on specific metric priorities, showcasing the adaptability and performance of each model under different validation conditions. Generally, the test performance results obtained by applying the 10-fold Cross-Validation method among the validation methods used in the training phase are higher. Notably, the performance results for the 50/50 and 30/70 ratios, where the amount of data allocated for training is lower, are lower than the other cases.

Table 1. Results for the data-splitting ratio taken as 90/10.

Validation	QDA	Accuracy	Sensitivity	Specificity	Precision	F1 Score
10-fold CV	Train	88.86±1.38	61.40±3.50	97.80±1.04	90.20±4.72	73.01±3.44
	Test	94.50±6.43	82.00±20.41	98.66±2.81	95.50±9.56	86.77±16.14
5-fold CV	Train	87.94±0.87	55.35±3.43	98.56±0.90	92.84±4.13	69.24±2.75
	Test	92.10±5.36	80.00±22.37	96.45±2.71	93.36±10.48	84.52±16.18
Holdout 25%	Train	88.60±2.99	54.00±14.30	99.09±1.46	95.83±6.80	67.75±11.74
	Test	93.40±5.42	78.00±15.01	94.12±2.54	94.67±12.25	84.32±15.20
Resubstitution	Train	98.51±0.30	100.00±0.00	98.03±0.39	94.31±1.07	97.07±0.57
	Test	92.30±6.64	81.0±18.43	95.26±2.38	93.48±11.26	83.13±16.42

Table 1. Cont.

Validation	SVM	Accuracy	Sensitivity	Specificity	Precision	F1 Score
10-fold CV	Train	91.09±2.52	82.56±6.32	93.86±1.62	81.42±4.85	81.94±5.25
	Test	93.62±3.50	94.00±7.66	92.67±2.11	81.20±5.22	86.91±6.74
5-fold CV	Train	89.66±2.34	76.98±7.79	93.79±1.12	80.07±3.64	78.39±5.42
	Test	93.00±3.42	96.00±8.43	92.24±2.81	80.14±5.38	87.24±6.43
Holdout 25%	Train	91.63±3.14	86.00±10.75	93.33±1.92	79.64±5.88	82.49±7.10
	Test	93.12±3.57	94.00±8.86	92.67±2.57	81.10±5.24	84.91±6.92
Resubstitution	Train	99.89±0.24	100.00±0.00	99.85±0.32	99.55±0.96	99.77±0.48
	Test	93.50±3.33	96.00±8.34	92.66±2.24	81.33±5.16	88.00±6.37
Validation	EBT	Accuracy	Sensitivity	Specificity	Precision	F1 Score
10-fold CV	Train	90.11±1.55	73.02±4.93	95.68±1.47	84.81±4.47	78.37±3.59
	Test	91.00±6.58	88.00±6.87	92.00±6.89	81.10±6.09	83.03±2.16
5-fold CV	Train	89.77±0.74	73.26±1.98	95.15±0.73	83.15±2.11	77.87±1.59
	Test	87.50±5.89	78.00±4.76	90.66±7.83	77.21±7.45	75.94±10.40
Holdout 25%	Train	93.26±4.02	84.00±6.99	96.06±3.51	87.23±11.01	85.45±8.41
	Test	91.50±5.30	80.00±6.33	95.33±6.32	88.29±15.85	82.33±10.83
Resubstitution	Train	99.94±0.18	100.00±0.00	99.92±0.24	99.77±0.72	99.89±0.36
	Test	92.00±5.87	84.00±18.38	94.66±6.13	86.62±15.35	83.65±12.19
Validation	KNN	Accuracy	Sensitivity	Specificity	Precision	F1 Score
10-fold CV	Train	94.85±0.97	93.26±2.31	95.39±0.97	86.85±2.49	89.92±1.90
	Test	91.00±5.68	98.00±6.32	88.67±7.73	76.33±13.06	85.13±8.50
5-fold CV	Train	93.94±1.33	91.16±3.25	94.85±1.12	85.27±2.90	88.09±2.60
	Test	90.86±6.08	97.20±6.51	86.13±7.45	77.42±14.56	84.12±7.35
Holdout 25%	Train	93.24±3.37	89.00±9.94	94.53±4.24	84.64±10.85	86.08±6.44
	Test	90.08±5.34	94.01±7.73	87.43±7.42	76.15±13.64	82.15±11.87
Resubstitution	Train	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00
	Test	89.12±6.49	91.00±8.31	86.27±7.93	76.26±14.86	85.16±12.92
Validation	TNN	Accuracy	Sensitivity	Specificity	Precision	F1 Score
10-fold CV	Train	91.54±2.05	83.02±5.15	94.32±1.68	82.75±4.59	82.82±4.18
	Test	91.55±4.10	84.33±15.72	94.00±4.92	84.45±11.53	83.15±9.04
5-fold CV	Train	90.06±1.35	82.56±3.51	92.50±1.49	78.31±3.37	80.32±2.56
	Test	90.00±6.24	88.00±10.33	90.66±9.53	79.44±14.92	82.27±8.78
Holdout 25%	Train	91.58±4.82	80.50±16.06	94.85±4.75	83.65±12.39	80.86±12.32
	Test	89.00±5.68	86.00±21.19	90.00±4.71	74.20±8.99	78.63±13.62
Resubstitution	Train	99.83±0.28	99.77±0.74	99.85±0.32	99.55±0.96	99.65±0.56
	Test	90.5±4.38	92.00±10.33	90.00±6.48	77.49±12.98	83.19±7.34

Table 2. Results for the data-splitting ratio taken as 80/20.

Validation	QDA	Accuracy	Sensitivity	Specificity	Precision	F1 Score
10-fold CV	Train	88.27±1.00	57.11±4.31	98.31±0.89	91.79±4.03	70.27±3.11
	Test	90.00±3.91	66.00±14.30	98.28±1.82	93.25±7.29	76.44±11.07
5-fold CV	Train	85.71±1.48	43.68±5.14	99.24±0.84	95.03±5.34	59.69±5.07
	Test	89.40±4.02	65.00±14.78	97.28±2.23	92.31±7.92	74.12±11.52
Holdout 25%	Train	83.08±4.22	35.00±13.79	99.31±1.45	95.00±10.54	49.73±16.26
	Test	85.35±4.27	63.00±12.20	95.28±3.18	91.27±7.14	71.44±12.14
Resubstitution	Train	98.65±0.82	100.00±0.00	98.22±1.09	94.85±3.06	97.34±1.61
	Test	88.03±4.92	64.00±15.27	96.28±1.49	92.40±8.49	73.44±13.21
Validation	SVM	Accuracy	Sensitivity	Specificity	Precision	F1 Score
10-fold CV	Train	89.55±1.96	78.42±5.92	93.14±1.01	78.58±3.26	78.45±4.39
	Test	90.51±4.37	78.50±14.83	94.83±4.38	85.24±11.12	80.38±9.89
5-fold CV	Train	89.29±1.96	78.68±5.33	92.71±1.34	77.67±3.89	78.13±4.25
	Test	90.00±4.75	78.00±16.19	94.14±4.61	83.55±12.35	79.52±10.62
Holdout 25%	Train	87.44±5.73	68.78±19.43	93.89±6.12	81.68±15.90	72.45±13.89
	Test	89.74±4.68	77.00±16.36	94.09±4.32	83.16±11.88	78.85±10.60
Resubstitution	Train	99.36±0.43	98.16±2.17	99.75±0.41	99.23±1.24	98.67±0.90
	Test	90.26±4.80	79.00±15.24	93.14±4.98	83.55±12.35	80.26±10.53
Validation	EBT	Accuracy	Sensitivity	Specificity	Precision	F1 Score
10-fold CV	Train	90.26±1.76	74.47±3.93	95.34±1.56	83.87±4.76	78.84±3.69
	Test	91.79±5.10	76.00±15.78	97.24±2.72	90.56±9.73	81.95±12.21
5-fold CV	Train	89.10±1.57	70.79±4.72	95.00±1.52	82.19±4.37	75.96±3.56
	Test	91.79±3.59	74.00±15.06	97.93±2.41	93.29±7.49	81.51±9.79
Holdout 25%	Train	89.74±5.27	72.67±16.15	95.56±4.27	85.43±13.13	77.52±12.80
	Test	91.79±3.97	77.00±13.37	96.90±2.54	89.73±7.72	82.33±9.84
Resubstitution	Train	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00
	Test	91.79±3.97	75.00±13.54	97.59±3.27	92.40±10.66	82.01±9.60
Validation	KNN	Accuracy	Sensitivity	Specificity	Precision	F1 Score
10-fold CV	Train	93.46±1.12	90.00±2.99	94.58±1.34	84.35±3.17	87.03±2.14
	Test	95.64±3.21	92.00±9.19	96.90±3.43	91.83±8.22	91.52±6.24
5-fold CV	Train	92.44±1.20	87.63±4.12	93.98±1.16	82.50±2.87	84.93±2.53
	Test	94.44±4.53	91.12±9.32	95.85±3.21	90.63±7.48	91.38±6.03
Holdout 25%	Train	93.33±3.46	87.78±8.17	95.22±3.30	86.42±8.71	86.85±6.87
	Test	93.56±4.71	91.17±9.94	95.64±3.67	90.43±8.11	90.04±7.22
Resubstitution	Train	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00
	Test	94.34±4.27	91.24±9.08	96.90±4.02	89.88±9.52	90.72±7.54
Validation	TNN	Accuracy	Sensitivity	Specificity	Precision	F1 Score
10-fold CV	Train	88.97±2.63	79.73±4.48	91.95±2.41	76.35±6.06	77.95±4.93
	Test	88.97±4.53	76.00±17.13	93.45±5.74	82.87±13.73	77.35±10.32
5-fold CV	Train	88.78±1.26	79.21±5.75	91.86±1.70	76.00±3.44	77.42±3.00
	Test	90.29±4.93	80.27±16.17	93.79±4.24	82.60±10.25	80.54±10.96
Holdout 25%	Train	90.00±5.60	80.89±13.63	93.18±5.78	81.44±14.67	80.28±11.01
	Test	87.95±4.69	78.00±15.49	91.38±5.69	77.32±11.36	76.48±10.04
Resubstitution	Train	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00
	Test	91.79±3.97	83.00±13.37	94.83±3.35	85.21±7.64	83.47±8.90

Table 3. Results for the data-splitting ratio taken as 70/30.

Validation	QDA	Accuracy	Sensitivity	Specificity	Precision	F1 Score
10-fold CV	Train	86.06±1.70	47.06±5.37	98.93±0.85	93.56±5.03	62.50±5.41
	Test	88.45±2.82	58.57±11.07	97.95±1.68	90.68±8.08	70.49±9.09
5-fold CV	Train	82.77±0.99	32.35±3.92	99.42±0.50	95.02±4.35	48.13±4.35
	Test	86.36±3.81	56.30±10.94	95.58±2.23	89.57±8.10	70.26±8.99
Holdout 25%	Train	80.59±3.45	20.56±13.22	100.00±0.00	100.00±0.00	36.38±13.49
	Test	82.42±2.97	53.57±11.07	94.22±2.72	86.46±9.58	69.23±9.17
Resubstitution	Train	99.27±0.91	100.00±0.00	99.03±1.21	97.25±3.31	98.58±1.74
	Test	84.28±4.26	54.57±11.07	95.35±2.41	88.81±11.03	68.41±9.22
Validation	SVM	Accuracy	Sensitivity	Specificity	Precision	F1 Score
10-fold CV	Train	90.37±1.68	80.59±2.48	93.59±1.95	80.82±4.86	80.64±2.99
	Test	91.72±1.09	82.14±13.57	94.77±4.42	85.53±9.22	82.47±3.27
5-fold CV	Train	89.85±1.59	77.94±3.18	93.79±1.90	80.77±4.46	79.25±2.92
	Test	91.52±1.78	81.53±14.63	94.57±4.68	85.70±10.41	82.52±4.29
Holdout 25%	Train	87.65±4.76	71.25±12.80	92.98±2.47	76.35±9.20	73.58±10.74
	Test	89.25±7.13	80.14±14.59	85.00±13.21	83.70±11.31	81.43±4.07
Resubstitution	Train	99.34±0.64	97.65±2.70	99.90±0.31	99.71±0.90	98.65±1.33
	Test	90.37±1.99	81.14±14.95	94.32±5.38	84.96±11.42	82.02±4.12
Validation	EBT	Accuracy	Sensitivity	Specificity	Precision	F1 Score
10-fold CV	Train	88.83±1.09	72.35±5.41	94.27±0.72	80.68±1.56	76.19±3.10
	Test	90.52±2.33	72.14±7.86	96.36±1.59	86.46±5.75	78.46±5.81
5-fold CV	Train	88.10±2.26	70.59±5.55	93.88±1.65	79.28±5.19	74.62±4.91
	Test	91.72±2.54	75.00±9.07	97.05±2.16	89.42±6.43	81.22±6.11
Holdout 25%	Train	87.94±3.52	71.53±11.42	93.46±5.75	81.03±16.78	74.30±6.97
	Test	92.41±1.67	77.86±7.86	97.05±2.64	90.39±7.93	83.13±3.65
Resubstitution	Train	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00
	Test	91.55±2.87	77.14±8.11	96.14±2.84	87.10±9.21	81.47±6.68
Validation	KNN	Accuracy	Sensitivity	Specificity	Precision	F1 Score
10-fold CV	Train	93.87±1.69	92.06±5.20	94.47±1.38	84.66±3.21	88.14±3.33
	Test	93.28±3.09	90.00±10.75	94.32±4.58	84.98±10.58	86.63±6.50
5-fold CV	Train	92.70±2.64	88.82±5.51	93.98±2.09	83.07±5.44	85.81±5.10
	Test	92.12±3.29	89.50±11.45	93.45±4.64	83.65±11.75	86.52±6.11
Holdout 25%	Train	92.65±2.50	86.81±12.22	94.55±2.00	83.96±4.25	84.87±6.23
	Test	92.22±3.58	89.15±10.87	92.82±4.49	82.90±10.63	85.03±6.63
Resubstitution	Train	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00
	Test	91.67±4.01	88.90±11.98	92.95±5.57	83.18±11.78	85.83±7.50
Validation	TNN	Accuracy	Sensitivity	Specificity	Precision	F1 Score
10-fold CV	Train	89.49±2.34	80.29±3.12	92.52±2.63	78.36±6.21	79.22±4.09
	Test	89.14±5.08	74.29±21.87	93.86±3.72	79.18±9.88	74.76±18.86
5-fold CV	Train	89.27±2.53	78.53±3.93	92.82±2.34	78.51±5.93	78.48±4.68
	Test	89.31±3.02	80.71±10.67	92.05±3.59	77.12±7.58	78.32±6.60
Holdout 25%	Train	87.94±3.52	67.64±13.72	94.52±4.19	82.70±12.69	72.94±7.80
	Test	89.14±3.36	85.00±11.88	90.45±5.12	75.55±10.30	79.01±6.63
Resubstitution	Train	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00
	Test	88.52±5.20	82.14±10.24	90.53±5.92	75.21±14.33	77.77±9.60

Table 4. Results for the data-splitting ratio taken as 50/50.

Validation	QDA	Accuracy	Sensitivity	Specificity	Precision	F1 Score
10-fold CV	Train	70.31±3.92	87.92±3.07	64.59±4.93	44.83±3.64	59.32±3.58
	Test	67.84±5.41	93.75±8.39	59.32±8.04	43.50±4.49	59.21±4.52
5-fold CV	Train	71.12±3.73	87.92±3.07	65.68±4.78	45.61±3.67	59.98±3.44
	Test	66.32±5.22	91.43±10.12	57.32±8.31	42.67±6.96	57.13±4.81
Holdout 25%	Train	66.67±10.21	80.00±13.15	62.22±12.51	42.68±9.99	55.18±10.16
	Test	68.27±4.41	92.61±12.27	58.32±8.82	43.21±9.67	58.61±5.98
Resubstitution	Train	71.84±2.97	92.08±1.32	65.27±3.82	46.38±2.80	61.65±2.60
	Test	69.54±6.43	92.45±11.43	59.27±9.64	43.42±12.16	58.91±6.42
Validation	SVM	Accuracy	Sensitivity	Specificity	Precision	F1 Score
10-fold CV	Train	89.18±237	76.25±8.11	93.38±1.34	78.85±4.16	77.39±5.65
	Test	85.46±3.81	67.92±11.63	91.23±4.20	72.84±9.42	69.62±7.70
5-fold CV	Train	86.94±3.78	72.50±9.04	91.62±2.97	73.99±8.85	73.06±8.08
	Test	83.69±5.21	66.63±12.11	90.18±5.20	72.67±11.12	69.23±7.13
Holdout 25%	Train	85.85±8.40	63.33±24.60	93.33±5.74	76.15±21.35	67.74±20.77
	Test	84.31±4.67	65.82±12.72	90.26±3.12	72.84±10.14	66.62±9.20
Resubstitution	Train	99.18±0.94	97.08±3.95	99.86±0.43	99.60±1.26	98.28±2.03
	Test	85.20±5.47	67.54±12.97	91.11±6.23	72.84±12.57	67.72±8.71
Validation	EBT	Accuracy	Sensitivity	Specificity	Precision	F1 Score
10-fold CV	Train	88.88±1.12	75.00±6.51	93.38±1.85	78.95±4.23	76.67±2.92
	Test	90.01±1.88	76.25±7.87	94.52±2.51	82.72±6.68	78.94±4.34
5-fold CV	Train	88.06±1.74	68.33±3.51	94.46±1.74	80.19±5.04	73.73±3.59
	Test	85.88±4.98	74.17±9.58	89.73±7.65	73.55±14.02	72.60±7.27
Holdout 25%	Train	84.58±6.53	68.33±12.30	90.00±5.11	70.05±13.83	69.03±12.62
	Test	87.63±3.67	75.83±12.55	91.51±6.55	77.26±11.43	75.19±6.30
Resubstitution	Train	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00
	Test	88.66±2.57	75.42±9.71	93.01±3.32	78.79±7.38	76.54±6.01
Validation	KNN	Accuracy	Sensitivity	Specificity	Precision	F1 Score
10-fold CV	Train	92.35±2.77	86.25±6.23	94.32±2.53	83.40±6.46	84.68±5.59
	Test	90.72±2.00	86.67±5.83	92.35±3.58	79.00±7.03	82.30±3.25
5-fold CV	Train	91.12±2.55	83.33±5.20	93.65±2.18	81.11±5.81	82.16±5.10
	Test	88.64±3.05	83.67±5.27	90.07±3.64	77.00±7.29	79.94±5.20
Holdout 25%	Train	90.83±6.46	81.67±14.59	93.89±6.11	83.14±16.17	81.75±13.27
	Test	86.17±3.57	82.67±5.68	91.68±5.15	79.00±7.53	81.37±4.12
Resubstitution	Train	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00
	Test	87.22±4.01	84.67±7.84	92.05±5.52	79.00±8.13	82.12±6.15
Validation	TNN	Accuracy	Sensitivity	Specificity	Precision	F1 Score
10-fold CV	Train	89.29±2.90	76.25±7.87	93.51±1.89	79.34±6.22	77.61±6.53
	Test	87.01±4.01	82.08±10.77	88.63±6.87	72.58±11.09	75.96±5.70
5-fold CV	Train	83.88±5.54	70.00±12.39	88.38±3.67	66.12±10.68	67.93±11.21
	Test	83.81±6.07	70.83±9.42	88.08±7.45	68.80±14.20	68.88±8.83
Holdout 25%	Train	89.58±7.92	86.67±20.49	90.56±5.89	75.73±17.35	80.18±17.15
	Test	86.80±3.07	82.21±16.02	88.77±5.66	72.90±8.89	75.63±6.19
Resubstitution	Train	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00
	Test	85.67±6.49	77.08±11.99	88.49±7.42	71.14±15.95	73.08±11.25

Table 5. Results for the data-splitting ratio taken as 30/70.

Validation	QDA	Accuracy	Sensitivity	Specificity	Precision	F1 Score
10-fold CV	Train	68.45±6.35	82.14±6.94	64.09±6.67	42.56±6.47	55.97±6.96
	Test	71.02±4.73	87.65±5.85	65.53±5.48	45.89±4.50	60.16±4.83
5-fold CV	Train	69.66±6.15	82.86±6.02	65.45±6.84	43.79±6.39	57.17±6.44
	Test	70.56±4.57	85.37±5.85	63.13±5.37	44.27±4.69	58.96±4.63
Holdout 25%	Train	68.57±15.13	83.33±6.57	64.55±6.72	42.56±6.51	54.94±6.99
	Test	71.27±4.51	87.82±5.85	65.21±5.87	45.98±4.55	60.56±4.23
Resubstitution	Train	70.34±5.68	88.57±3.69	64.55±6.79	44.78±5.94	59.35±5.64
	Test	70.42±4.82	86.25±5.85	65.57±6.63	45.96±5.80	59.18±7.83
Validation	SVM	Accuracy	Sensitivity	Specificity	Precision	F1 Score
10-fold CV	Train	83.45±5.02	62.86±14.98	90.00±4.44	66.91±12.17	64.21±12.66
	Test	85.77±3.77	60.88±13.23	93.98±2.81	77.03±9.42	67.40±10.93
5-fold CV	Train	81.90±8.10	60.00±20.54	88.86±4.96	62.51±19.16	60.93±19.28
	Test	86.92±3.85	61.58±10.12	94.16±3.57	80.23±10.21	68.67±10.23
Holdout 25%	Train	83.57±8.28	63.33±33.15	89.09±7.17	61.30±19.07	64.63±20.95
	Test	86.79±3.86	61.62±12.13	94.07±2.67	78.61±9.12	68.42±10.15
Resubstitution	Train	98.97±1.45	95.71±6.02	100.00±0.00	100.00±0.00	97.72±3.23
	Test	85.56±2.34	60.18±9.21	92.99±3.82	77.08±12.54	67.29±9.91
Validation	EBT	Accuracy	Sensitivity	Specificity	Precision	F1 Score
10-fold CV	Train	83.28±6.61	55.71±14.98	92.05±5.05	69.89±19.04	61.54±15.47
	Test	85.62±3.95	63.24±10.76	93.01±4.60	77.01±13.26	68.41±5.64
5-fold CV	Train	83.62±4.16	58.57±14.60	91.59±3.40	69.04±11.53	62.69±11.85
	Test	86.64±3.89	63.24±8.69	94.37±4.41	80.52±13.26	70.20±8.06
Holdout 25%	Train	82.86±11.76	53.33±39.13	90.91±6.87	66.67±26.35	65.60±26.56
	Test	86.79±2.74	65.88±7.87	93.69±2.97	78.22±8.49	71.15±6.03
Resubstitution	Train	99.66±0.73	98.57±3.01	100.00±0.00	100.00±0.00	99.26±1.56
	Test	85.91±2.62	61.76±6.65	93.88±3.86	78.48±10.54	68.55±4.92
Validation	KNN	Accuracy	Sensitivity	Specificity	Precision	F1 Score
10-fold CV	Train	85.34±3.92	75.71±7.68	88.41±3.93	68.04±8.46	71.47±7.17
	Test	88.61±3.27	78.24±10.30	92.04±3.13	76.88±7.80	77.18±7.10
5-fold CV	Train	85.52±5.09	67.86±12.26	91.14±4.60	71.93±13.87	69.30±10.89
	Test	88.57±4.13	78.11±11.12	91.98±4.12	75.96±7.56	77.09±8.23
Holdout 25%	Train	85.00±10.88	66.67±27.22	90.00±10.00	70.17±27.76	65.45±23.75
	Test	88.43±2.21	77.97±10.56	91.94±3.53	76.58±6.97	77.11±7.52
Resubstitution	Train	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00	100.00±0.00
	Test	87.61±6.21	77.61±12.37	91.08±3.57	75.68±10.81	76.03±7.12
Validation	TNN	Accuracy	Sensitivity	Specificity	Precision	F1 Score
10-fold CV	Train	81.90±5.41	65.00±12.35	87.27±3.89	61.98±11.26	63.33±11.39
	Test	84.67±4.09	67.06±15.43	90.49±4.41	70.50±8.25	67.75±11.14
5-fold CV	Train	80.69±6.84	60.71±17.25	87.05±4.16	59.38±14.41	59.87±15.56
	Test	84.96±5.04	66.47±19.32	91.07±3.39	70.46±10.15	67.46±14.86
Holdout 25%	Train	80.00±12.51	56.67±35.31	86.36±11.54	52.67±36.69	60.88±14.74
	Test	84.89±2.71	70.88±15.09	89.51±3.57	69.40±5.09	69.28±8.38
Resubstitution	Train	99.66±0.73	98.57±3.01	100.00±0.00	100.00±0.00	99.26±1.56
	Test	84.59±6.75	64.71±18.91	91.17±4.79	70.52±14.87	66.86±16.05

4. Conclusion and Suggestions

Early diagnosis of PD, a neurodegenerative disorder characterised by a range of motor and non-motor symptoms, especially speech abnormalities, is crucial for timely intervention and disease management. In this study, we investigate the effectiveness of machine learning methods applied to speech data for Parkinson's disease detection, focusing on different data separation and validation methods. As a result of the detailed investigations, the KNN classifier model, which separates the data into training and test sets using an 80/20 ratio and uses 10-fold cross-validation in the training phase, was the most successful method. In the training phase, the accuracy of our model was $93.46 \pm 1.12\%$, demonstrating its ability to classify individuals as PD or healthy with high precision accurately. Sensitivity, specificity, precision and F1 score were also computed and obtained $90.00 \pm 2.99\%$, $94.58 \pm 1.34\%$, $84.35 \pm 3.17\%$ and $87.03 \pm 2.14\%$, respectively. In evaluating the test set, our model maintained its strong performance, achieving an accuracy of $95.64 \pm 3.21\%$. More importantly, the sensitivity, specificity, precision and F1 score remained consistently high, with $92.00 \pm 9.19\%$,

$96.90\% \pm 3.43\%$, $91.83 \pm 8.22\%$ and $91.52 \pm 6.24\%$, respectively. These findings emphasise the generalizability of our model to unseen data and its potential as a diagnostic tool for Parkinson's disease. A comparison of our model with other studies in the literature is presented in Table 6.

The results of the proposed method, which is the most successful among the compared studies, emphasise the robustness and generalizability of the KNN classifier in accurately identifying individuals with Parkinson's disease based on speech data. The success of the KNN classifier can be attributed to its ability to classify data points based on their proximity to neighbouring examples in the feature space. Utilising the natural structure of the data, the K-NN algorithm effectively captured the subtle differences in speech features between individuals with and without PD, thus facilitating accurate classification. In addition, although the 70/30 ratio is commonly used in the literature, the experimental studies found that the 80/20 ratio is more appropriate for data separation when using the KNN classifier. In contrast to most of the compared studies, high mean and low standard deviation values of $95.64 \pm 3.21\%$

Table 6. Comparative analysis of studies on PD.

Study	Split Rate Train/Test	Classification Method	Accuracy %
Ene 2008	70/30	Probabilistic Neural Network	81.28
Little et al. 2009	Bootstrap resampling 50 replicates	Gaussian Radial Basis Kernel Support Vector Machine	91.4
Das 2010	65/35	Artificial Neural Network	92.9
Çağlar et al. 2010	50/50	Adaptive Neuro-Fuzzy Classifier with Linguistic Hedges	94.72
Luukka 2011	50/50	Fuzzy Entropy Measures + Similarity	85.03
Inzamam et al. 2015	70/30	Ensemble Method Generated with C&R Tree, Bayesian Network and C5.0	95.31
Gupta et al. 2018	70/30	The Optimized Cuttlefish algorithm	92.19
Sharma et al. 2019	70/30	Modified Grey Wolf Optimization and Random Forest	93.87
Senturk 2020	N/A	Recursive Feature Elimination Support Vector Machines	93.84
Abdulateef et al. 2023	N/A	Fast Learning Machine	80.00
Vu et al. 2023	70/30	Random Forest	95.42
Nareklishvili and Geitle 2024	N/A	Deep Ensemble Transformers (casForest) algorithm	88.5
Proposed	80/20	K-Nearest Neighbours	95.64

were achieved by performing all operations repetitively in order to minimise the effect of randomness in data separation on the generalised results and thus achieve more consistent results. In conclusion, the promising results on progressive PD pave the way for the development of robust and reliable diagnostic tools for the early detection and management of this debilitating condition.

5. References

- Abdulateef, SK., Ismael, AN., Salman, MD. 2023.** Feature weighting for Parkinson's identification using single hidden layer neural network. *Computing*, 225–230. <https://doi.org/10.47839/ijc.22.2.3092>
- Bang, C., Bogdanovic, N., Deutsch, G., Marques, O. 2023.** Machine learning for the diagnosis of Parkinson's disease using speech analysis: a systematic review. *International Journal of Speech Technology*, 26(4), 991–998. <https://doi.org/10.1007/s10772-023-10070-9>
- Bhavsar, K., Vakharia, V., Chaudhari, R., Vora, J., Pimenov, DY., Giasin, K. 2022.** A comparative study to predict bearing degradation using discrete wavelet transform (DWT), tabular generative adversarial networks (TGAN) and machine learning models. *Machines*, 10(3), 176. <https://doi.org/10.3390/machines10030176>
- Çağlar, MF., Çetişli, B., Toprak, İB. 2010.** Automatic Recognition of Parkinson's Disease from Sustained Phonation Tests Using ANN and Adaptive Neuro-Fuzzy Classifier. *Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi*, 1(2), 59–64.
- Cortes, C., Vapnik, V. 1995.** Support-vector networks. *Machine Learning*, 20(3), 273–297. <https://doi.org/10.1007/bf00994018>
- Das, R. 2010.** A comparison of multiple classification methods for diagnosis of Parkinson disease. *Expert Systems with Applications*, 37(2), 1568–1572. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.06.040>
- Duda, RO., Hart, PE., Stork, DG. 2022.** *Pattern Classification* (3rd ed.). Standards Information Network.
- Ekpezu, AO., Katsriku, F., Yaokumah, W., Wiafe, I. 2022.** The use of machine learning algorithms in the classification of sound: A systematic review. *International Journal of Service Science Management Engineering and Technology*, 13(1), 1–28. <https://doi.org/10.4018/ijssmet.298667>
- Ene, M. 2008.** Neural network-based approach to discriminate healthy people from those with Parkinson's disease. *Annals of the University of Craiova-Mathematics and Computer Science Series*, 35, 112–116.
- Esmer, S., Uçar, MK., Çil, İ., Bozkurt, MR. 2020.** Parkinson Hastalığı Teşhisi İçin Makine Öğrenmesi Tabanlı Yeni Bir Yöntem. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(3), 1877–1893. <https://doi.org/10.29130/dubited.688223>
- Fix, E., Hodges, JL. 1951.** *Discriminatory Analysis, Nonparametric Discrimination: Consistency Properties* USAF School of Aviation Medicine.
- Gupta, D., Julka, A., Jain, S., Aggarwal, T., Khanna, A., Arunkumar, N., de Albuquerque, VHC. 2018.** Optimized cuttlefish algorithm for diagnosis of Parkinson's disease. *Cognitive Systems Research*, 52, 36–48. <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2018.06.006>
- Huang, Y., Chen, Q., Wang, Z., Wang, Y., Lian, A., Zhou, Q., Zhao, G., Xia, K., Tang, B., Li, B., Li, J. 2024.** Risk factors associated with age at onset of Parkinson's disease in the UK Biobank. *NPJ Parkinson's Disease*, 10(1), 3. <https://doi.org/10.1038/s41531-023-00623-9>
- Inzamam-Ul-Hossain, M., MacKinnon, L., Islam, MR. 2015.** Parkinson disease detection using ensemble method in PASW benchmark. 2015 IEEE International Advance Computing Conference (IACC).
- Islam, MA., Hasan Majumder, MZ., Hussein, MA., Hossain, KM., Miah, MS. 2024.** A review of machine learning and deep learning algorithms for Parkinson's disease detection using handwriting and voice datasets. *Heliyon*, 10(3), e25469. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25469>
- Iyer, A., Kemp, A., Rahmatallah, Y., Pillai, L., Glover, A., Prior, F., Larson-Prior, L., Virmani, T. 2023.** A machine learning method to process voice samples for identification of Parkinson's disease. *Scientific Reports*, 13(1), 20615. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-47568-w>
- James, G., Witten, D., Hastie, T., Tibshirani, R. 2013.** *An introduction to statistical learning: With applications in R* (1st ed.). Springer.
- Jana, DK., Bhunia, P., Adhikary, SD., Mishra, A. 2023.** Analyzing of salient features and classification of wine type based on quality through various neural network and support vector machine classifiers. *Results in Control and Optimization*, 11(100219), 100219. <https://doi.org/10.1016/j.rico.2023.100219>
- Little, M. 2007.** Parkinsons [Data set]. UCI Machine Learning Repository. <https://doi.org/10.24432/C59C74>
- Little, MA., McSharry, PE., Hunter, EJ., Spielman, J., Ramig, LO. 2009.** Suitability of dysphonia measurements for telemonitoring of Parkinson's disease. *IEEE Transactions on Bio-Medical Engineering*, 56(4), 1015–1022. <https://doi.org/10.1109/tbme.2008.2005954>

- Luukka, P. 2011.** Feature selection using fuzzy entropy measures with similarity classifier. *Expert Systems with Applications*, 38(4), 4600–4607. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2010.09.133>
- Molera, LM. 2024.** Machine learning Q&A: All about model validation. Mathworks.com. <https://ch.mathworks.com/campaigns/offers/next/all-about-model-validation.html>
- Nareklshvili, M., Geitle, M. 2024.** Deep ensemble transformers for dimensionality reduction. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 1–12. <https://doi.org/10.1109/tnnls.2024.3357621>
- Orozco-Arroyave, JR., Vdsquez-Correa, JC., Honig, F., Arias-Londono, JD., Vargas-Bonilla, JF., Skodda, S., Rusz, J., Noth, E. 2016.** Towards an automatic monitoring of the neurological state of Parkinson's patients from speech. 2016 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP).
- Rusz, J., Cmejla, R., Ruzickova, H., Ruzicka, E. 2011.** Quantitative acoustic measurements for characterization of speech and voice disorders in early untreated Parkinson's disease. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 129(1), 350–367. <https://doi.org/10.1121/1.3514381>
- Senturk, ZK. 2020.** Early diagnosis of Parkinson's disease using machine learning algorithms. *Medical Hypotheses*, 138(109603), 109603. <https://doi.org/10.1016/j.mehy.2020.109603>
- Sharma, P., Sundaram, S., Sharma, M., Sharma, A., Gupta, D. 2019.** Diagnosis of Parkinson's disease using modified grey wolf optimization. *Cognitive Systems Research*, 54, 100–115. <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2018.12.002>
- Smith, KM., Caplan, DN. 2018.** Communication impairment in Parkinson's disease: Impact of motor and cognitive symptoms on speech and language. *Brain and Language*, 185, 38–46. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2018.08.002>
- Virameteekul, S., Revesz, T., Jaunmuktane, Z., Warner, TT., De Pablo-Fernández, E. 2023.** Clinical diagnostic accuracy of Parkinson's disease: Where do we stand? *Movement Disorders: Official Journal of the Movement Disorder Society*, 38(4), 558–566. <https://doi.org/10.1002/mds.29317>
- Vu, TA., Ha, NTT., Duc, LM., Huy, H. Q., Dung, NV., Huong, PTV., Thanh, NT. 2023.** A comparison of machine learning algorithms for Parkinson's disease detection. 2023 12th International Conference on Control, Automation and Information Sciences (ICCAIS).
- Xie, X., Ho, JWK., Murphy, C., Kaiser, G., Xu, B., Chen, TY. 2011.** Testing and validating machine learning classifiers by metamorphic testing. *The Journal of Systems and Software*, 84(4), 544–558. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2010.11.920>

Makalenin Adı:

Yazarların adı (makaledeki sırayla):

Biz aşağıda imzaları bulunan yazarlar, sunduğumuz makalenin orijinal olduğunu; başka bir dergiye yayınlanmak üzere verilmediğini, daha önce yayınlanmadığını, eğer, tümüyle ya da bir bölümü yayınlandı ise yukarıda adı geçen dergide yayınlanabilmesi için gerekli her türlü iznin alındığını ve orijinal telif hakkı devri formu ile birlikte *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi Editörlüğü*'ne gönderildiğini garanti ederiz.

Makalenin telif hakkından feragat etmeyi kabul ederek sorumluluğu üstlenir ve imza ederiz.

Bu vesileyle makalenin telif hakkı Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi'ne devredilmiştir.

Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi Editörlüğü makalenin yayınlanabilmesi konusunda yetkili kılınmıştır. Bununla birlikte yazarların aşağıdaki hakları saklıdır:

1. Telif Hakkı dışında kalan patent vb. bütün tescil edilmiş haklar.
2. Yazarın gelecekteki kitaplar ve dersler gibi çalışmalarında; makalenin tümü ya da bir bölümünü ücret ödemeksizin kullanma hakkı.
3. Makaleyi satmamak koşulu ile kendi amaçları için çoğaltma hakkı.

Bütün yazarlar tarafından imzalanmak üzere:

Yazar Adı : (Yazarlar sırayla yazılacaktır)	Tarih : .../.../.....	İmza :
Yazar Adı :	Tarih : .../.../.....	İmza:
Yazar Adı :	Tarih : .../.../.....	İmza:
Yazar Adı :	Tarih : .../.../.....	İmza:
Yazar Adı :	Tarih : .../.../.....	İmza:
Yazar Adı :	Tarih : .../.../.....	İmza:

Makaleyi gönderen sorumlu yazarın;

Adı-Soyadı:

Yazışma Adresi : **(Sorumlu yazara ait posta gönderim adresi)**

Telefonu : **(Sorumlu yazara ulaşılacak telefon numarası)**

Belge Geçer : **(Sorumlu yazara ulaşılacak faks numarası)**

E-posta : **(Sorumlu yazarın e-mail adresi)**

Manuscript Title:**Full names of all authors (in order to appear on manuscript)**

The undersigned authors, we guarantee that our submitted manuscript is original work; it has not been published and is not being submitted or considered for publication elsewhere, if, in whole or part of the publication of the magazine was published for the above-mentioned receipt of all necessary permits and was sent to *Editorial Office of Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi* with copyright transfer form.

We agree to waive the right to assume the responsibility of the copyright of the article and thank signature.

This article is hereby transferred to the copyright of Zonguldak Bülent Ecevit University.
Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi Editor of the publication of the article is authorized.
However, the authors reserve the following rights:

1. All proprietary rights Copyright outside, such as patent.
2. to use, free of charge, all parts of this article for the author's future works in books, lectures.
3. the right to reproduce the article for their own purposes provided the copies are not offered for sale.

To be signed by all authors:

Author Name : (The authors will be written in the order)	Date : .../.../.....	Signature :
Author Name :	Date : .../.../.....	Signature :
Author Name :	Date : .../.../.....	Signature :
Author Name :	Date : .../.../.....	Signature :
Author Name :	Date : .../.../.....	Signature :
Author Name :	Date : .../.../.....	Signature :

Corresponding author's

Name-Surname:

Address : **(Corresponding author's mail address)**

Phone : **(Corresponding author's contact phone number)**

Fax : **(Corresponding author's contact fax number)**

E-mail : **(Corresponding author's e-mail address)**

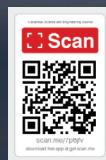


Yazışma Adresi:

Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 67100, Zonguldak

Tel: (372) 291 26 26 **Faks:** (372) 257 40 23

Web: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/karaelmasfen>



ISSN: 2146-4987 / E-ISSN: 2146-7277