

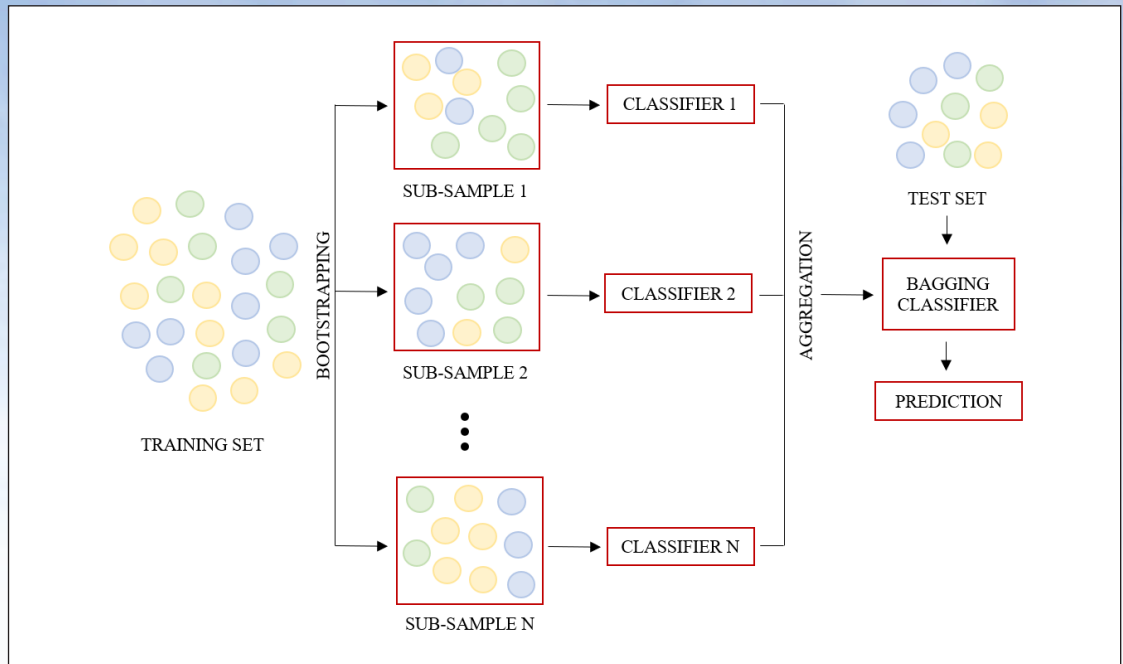


Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Tarafından Yayınlanmaktadır

Published by the Zonguldak Bülent Ecevit University

Karaelmas Science and Engineering Journal



- Armutçuk Kömür Çevre Kayaçlarının Dayanım, Delinebilirlik ve Aşındırıcılık Özellikleri ile Ögütülebilirlikleri Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi
- Geri Dönüştürülmüş Geopolimer Agregaları ile Üretilen Çimento Esaslı Harçların Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması
- The Interpretation of the Apparent Motion of the Sun Through the Spherical Spiral
- Characterization, Antioxidant and Antimicrobial Activities of Iron Nanoparticles Synthesized Using Firethorn Fruit (*Pyracantha coccinea Roemer*) Extracts
- PPF Lifi ve PET Talaşı ile Güçlendirilmiş Kaolin Kilinin Kayma Mukavemetinin İncelenmesi
- Zemin Kaplama Ürünlerinin Kalite Boyutlarının Garvin Modeli ve Aralık Değerli Fermatean Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi Entegrasyonu ile Analizi
- Trends on MCDM in Construction Management from 2019 to 2022 Based on a SWOT Analysis
- On Generalized Commutative Quaternions with Generalized Tetranacci Number Components
- Geri Dönüştürülmüş Beton Agregası Katkısının Kumlu Zeminlerin Mukavemet Parametreleri Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi
- Detection of COVID-19 Severity and Mortality from Blood Parameters by Ensemble Learning Methods

Cilt / Volume: 13
Sayı / Number: 2
Aralık/December 2023

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 iki sayı yayımlanır: Haziran, Aralık <i>Published two issues per year: June, December</i> ISSN: 2146-4987
E-posta /Email	karaelmasfm@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/pub/karaelmasfen>

Yılda iki sayı yayımlanır

Published two 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 Yasin HAZER Salih ERDEM	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi <i>Zonguldak Bülent Ecevit University, Faculty of Engineering</i> Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi <i>Zonguldak Bülent Ecevit University, Faculty of Pharmacy</i> Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi <i>Zonguldak Bülent Ecevit University</i>
İngilizce Redaksiyon <i>English Redaction</i>	Özgür ZEYDAN Can Murat DİKMEN Nizamettin ÖZDOĞAN	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi <i>Zonguldak Bülent Ecevit University, Faculty of Engineering</i> Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Fakültesi <i>Zonguldak Bülent Ecevit University, Faculty of Science</i> 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 Akira HIRAO Baki HAZER Boris NATALIN Claude TOUZET David W. STANLEY Enver DURMUŞOĞLU Ferhan ATICI Figen KAYA Haluk GÜVEN İskender YILGÖR İsmail Hakkı ÖZÖLÇER Kemal BÜYÜKGÜZEL Mahmut ÖZER Martin BOHNER Mehmet KARATAŞ Mehmet YAMAN Melih GENİŞ Mustafa SÖZEN Münevver PINAR Neil CUMBERLIDGE Nursel GÜL Per Nicolai MARTENS Rafat SIDDIQUE Remzi KARAGÜZEL Suna CEBESOY Şahnaz BOLKENT Ten FEIZI Türkan KOPAÇ Umut TOPRAK Yılmaz YILDIRIM	Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Türkiye Tokyo Institute of Technology, Japan Kapadokya University, Nevşehir, Türkiye Istanbul Technical University, Istanbul, Türkiye University of Provence, Marseille Cedex, France Agricultural Research Service-USDA, United States Ege University, İzmir, Türkiye Western Kentucky University, United States Yıldız Technical University, Istanbul, Türkiye Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Türkiye Koç University, Istanbul, Türkiye Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Türkiye Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Türkiye Republic of Türkiye Ministry of National Education, Ankara, Türkiye Missouri University of Science and Technology, United States Necmettin Erbakan University, Konya, Türkiye Bolu İzzet Baysal University, Bolu, Türkiye Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Türkiye Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Türkiye Ankara University, Ankara, Türkiye Northern Michigan University, Michigan, United States Ankara University, Ankara, Türkiye RWTH Aachen University, Aachen, Germany Civil Engineering Thapar University, Paitala (Punjab), India Istanbul Technical University, Istanbul, Türkiye Ankara University, Ankara, Türkiye Istanbul University, Istanbul, Türkiye Imperial College London, United Kingdom Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Türkiye Ankara University, Ankara, Türkiye Zonguldak Bülent Ecevit University, Zonguldak, Türkiye



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, Haziran ve Aralık aylarında olmak üzere yılda iki 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/tr/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 notes 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 two issues per year in June and December.

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

Quotations 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/tr/pub/karaelmasfen>

Material Disclaimer

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. Aralık ve Haziran aylarında olmak üzere yılda iki 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, tablo ve şekiller dahil 20 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.
https://trdizin.gov.tr/wp-content/uploads/2022/04/TRDizin_etik_ilkeleri_akis_semasi.pdf

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 kısaltmasız (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 kannabidiol 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 izolatlarda 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). Yüzdeler 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)
- Yüzdeler 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;
 - a. Eserin tasarımına veya tasarımına önemli katkılar sağlayan verilerin elde edilmesi, analizi veya yorumlanması
 - b. Çalışmanın hazırlanması veya literatürün içerik için eleştirel olarak gözden geçirilmesi
 - c. Yayınlanacak versiyonun nihai onayı
 - d. Çalışmanın herhangi bir bölümünün doğruluğu veya bütünlüğü ile ilgili soruların uygun şekilde soruşturulup çözülmesini sağlama, 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 eklemecikartmaları 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 verilmelidir.
- 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 verilmelidir.
- 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 editöryal 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 editöryal 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 yazarlarını dikkate almaktan geri çekilecekler; bunun yerine, yayın kurulunun başka bir üyesinden yazıyı işlenmesini 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

Editöryal kararlara katkı

Akran incelemesi editörlerin editöryal kararlar almalarına yardımcı olur ve yazarlarla editöryal 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 öneminin objektif bir tartışmasını sunmalıdır. Yazı, başkalarının eseri çoğaltmasına izin verecek yeterli ayrıntı ve referanslar içermelidir. İnceleme makaleleri doğru, objektif ve kapsamlı olmalı, editöryal '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 editöryal 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 two times a year (June and December). Manuscripts should be submitted online by a website: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/karaelmasfen>

Manuscript Categories:

Research articles: Manuscripts should report original information which have not been published or submitted previously. Articles should not exceed 20 printed papers including tables and figures.

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 not 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.

PREPARING MANUSCRIPTS

- Manuscripts should be written double space on A4 sized typing paper with 2.5 cm all margins.
- Text should be prepared using Microsoft Word Processor with Times New Roman font and 12 point size. All lines must be numbered.
- The Full paper should be divided in to following parts in order to Abstract and Keywords in English and Turkish, Introduction, Materials and Method/Methods (Area descriptions, Study materials, e.g. should be cited as subheadings), Results, Discussion/Conclusions or Recommendations, Acknowledgements and References. All sections must be numbered except for the Abstract.
- All pages must be numbered.

Cover letter: Please indicate title of manuscript and authors. You may briefly explain your work.

Title Page: The first page of your manuscript should be a title page containing the type of paper; the title; all author's full name, and affiliations; and the corresponding author's contact address and e-mail address.

Latin expression should be typed in italics.

The title: The title should be as short as possible, but give adequate information regarding the contents and Turkish title also should be given. Title must be written on the center with bold 14 font size. The first letter must be capital and the others must be written as lower case.

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 10 font in the center. The corresponding author's contact address and e-mail address should be given. Names of institutions and cities each authors also must be stated.

Abstract and Keywords: A brief, informative English and Turkish abstract, not exceeding 250 words, should be typed in 10 font size. Immediately following the abstract, authors should provide 4-6 English and Turkish keywords or phrases that reflect content of the article.

The Abstract Paper:

1. Turkish Paper

a) Turkish and English Title	e) Turkish Keywords (Anahtar Kelimeler)
b) Author's names in Turkish	f) English Abstract
c) Addresses in Turkish	g) English Keywords
d) Turkish Abstract (Öz)	
2. English Paper

a) English and Turkish Title	e) English Keywords
b) Author's names	f) Turkish Abstract (Öz)
c) Addresses in English	g) Turkish Keywords (Anahtar Kelimeler)
d) English Abstract	

Main Text: Main Headings and subheadings should be informative, must be typed in capital, bold 12 font size. Subheadings should be written in lower case, 10 font size. Main headings should not be numbered in the manuscript.



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

Material and Methods: Experimental methods and procedures should be described with clear and brief explanations.

Results: This section contain only findings, no writing comment. Results can be supports by tables, figures, graphics etc., if necessary.

Discussion: Results should be compare with other studies and discuss similarity and distinction.

Acknowledgements: It should be grants, funds, peoples reviewing the manuscript and must be placed before thr references.

Referencing

Please do not use unpublishing data. But MSc and PhD thesis can be use as references. References in the text:

In Turkish and English Paper:

If they have one author (Reşat 2001, Landen 2002)

In English Paper;

Two authors (e.g.: Büyükgüzel and Yazgan 2004, Ünlü and Gerçek 2003); In the case of multiple authors they should be cited as (Landen et al. 2002, Yılmaz et al. 2007). Multiple citations (Smith 1996, Yılmaz et al. 2007, Jones 2008), multiple publications by same author(s) should be written as (Smith et al. 1996a, 1996b, 1997). Software should be cited as (PROC GLM, SAS Institute 1999).

In Turkish Paper:

Two authors (e.g.: Büyükgüzel ve Yazgan 2004, Ünlü ve Gerçek 2003); In the case of multiple authors they should be cited as (Landen vd. 2002, Yılmaz vd. 2007). Multiple citations (Smith 1996, Yılmaz vd. 2007, Jones 2008), multiple publications by same author(s) should be written as (Smith vd. 1996a, 1996b, 1997). Software should be cited as (PROC GLM, SAS Institute 1999).

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

References should appeared at the end of the text as in the examples provided below:

Journal Articles:

Büyükgüzel, K., Tunaz, H., Putnam, SM., Stanley, DW. 2002. Prostoglandin biosynthesis by midgut tissue isolated from the Tobacco Hornworm, *Manduca secta*. *Insec. Biochem. Mol. Biol.*, 32: 435-443. [https://doi.org/10.1016/S0965-1748\(01\)00121-7](https://doi.org/10.1016/S0965-1748(01)00121-7)

Büyükgüzel, K., Yazgan, Ş. 1996. Bazı antibiyotiklerin endoparazitoid *Pimpla turionellae* L. (Hymenoptera: Ichneumonidae)'nin yaşama ve gelişimine etkileri. *Turk. J. Zool.*, 20: 1-7.

Özer, M., Uzuntarla, M. 2008. Effects of the network structure and coupling strength on the noise-induced response delay of a neuronal network. *Phys. Let. A*, 372: 4603-4609.

A Book:

Reşat, U. 2001. Uygulamalı Jeoteknik Bilgiler. 4. Basım, TMOB 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.

A Chapter in a Book:

Cheeseman, KH. 1993. Lipid peroxidation in biological systems, In: Halliwell B., Auroma OI. [eds.], DNA and Free Radicals. Ellis Horwood, London, pp. 12-17. [https://doi.org/10.1016/0968-0004\(90\)90206-Q](https://doi.org/10.1016/0968-0004(90)90206-Q)

A 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 Proceedings:

Stock, A. 2004. Signal transduction in bacteria. In the Proceedings of the 2004 Markey Scholars Conference, pp: 80-89.

Kaplan, A. 2000. Ankara havasında bulunan biyolojik partiküller. XV. Ulusal Biyoloji Kongresi, s. 45-50, Ankara.

A Thesis:

Strunk, JL. 1991. The extraction of mercury from sediment and the geochemical partitioning of mercury in sediments from Lake Superior, M. Sc. thesis, Michigan State Univ., East Lansing, MI, 119 pp.

Özcan, A. 2006. Endüstriyel atıklar ve polipropilen lif içeren saha betonlarının özelliklerinin araştırılması. Yüksek Mühendislik Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, 70 s.

In Press:

Evans, MA. 2002. Title. *Journal*. (in press).

Software: SAS Institute. 2001. PROC user's manual, version 6th ed. SAS Institute. Cary, NC.

Internet and URL: If author(s) obtained from some information from internet, should be write full web address in the reference section.

Web documents with no authors:

Leafy seadragons and weedy seadragons 2001. <http://www.windspeed.net.au/jenny/seadragons/>

Web document with author: Dawson, J., Smith, L., Deubert, K. 31 October 2002. Referencing, not plagiarisim. <http://studytrekk.lis.curtin.edu.au/>

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: All acronyms/abbreviations must be explained in parenthesis after their first occurrence. If many unfamiliar acronyms/abbreviations are used, please compile them in an “Abbreviations” section at the end of the paper.

Use the following abbreviations for time: h (hour), min (minute), s (second), yr (year), mo (month), wk (week), add “s” to create plurals (e.g. wks). Do not abbreviate “liter” by itself or when accompanied by a numeral.

Dates: Present dates in this format: day month year (e.g. 13 February 1998).

Gene Sequencing: Genbank may be conducted at their website at <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/Genbank/submit.html>.

Tables and Figures:

- Tables and figures captions must be written in separate pages in Table Legends and Figure Legends sections after the reference section.
- Tables and figures should be embedded in separate papers and must be numbered consecutively throughout the paper (Table 1, Fig. 1, Figs. 2-3, Fig. 4).
- Use a semicolon to separate different types of citations (Fig. 3; Table 3)



- Figures must be uploaded as jpeg or tiff separately in supplementary file. Electronically submitted figures and graphs are preferred *.jpg or *.tiff (min. 300 dpi) formats. Do not give magnification on scales in the figure titles; instead draw bar scales directly on the figures.
- All the tables and figures must be referred in the text.
- 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.
- Standart errors or deviations should be cited as (e.g., 1.45 ± 1.06), statistically data should data must be given as (e.g., 734.3ab) in the table.
- The column title of standart errors or deviations must be cited as (means \pm SD, or means \pm SE).
- Use the following abbreviations for months: Jan., Feb., Mar., April, May, Jun., July, Aug., Sep., Oct., Nov., and Dec.

Appendices: All appendices must be typed on separate sheet and should be numbered consecutively with capital Roman numerals.

Equations: Mathematical expressions should be written by an equation editor (Word format) in 9 point size. Indices font should be 8 point size. Each equation in text should be numbered in parenthesis.

Mathematical equations should be cited as below:

$$R = A_{\text{barrtype}} + B \log_{10}(f) \quad (2)$$

When authors send mathematical papers, they should state AMS-Mathematical Subject Classification Number.

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). When a number is >1000, use a comma to separate hundreds from thousands.

Footnotes to Tables: 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.

The preparation of the manuscript should be as follows for Mathematics and related subject:

The first page of the manuscript must include at least one 2010 MSC (Mathematics Subject Classification) numbers following the annual index of the Mathematical Reviews. MSC Subject Classification can be obtained from "<http://www.ams.org/mathscinet/msc/msc2010.html>".

The items in the reference section should be ordered according to the alphabetical order of the surnames of the authors and numbered numerically such as [1], [2],....

In the text, reference numbers should be enclosed in square brackets, such as [23] or [12]-[15], to distinguish them from formula numbers which should be quoted in round brackets.

For the cover letter: "All claims and finalized processes regarding ethical violations are under the responsibility of the author, and in case of ethical violations, the article is automatically canceled"

Specify this sentence in your letter.

Final 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 letter is enclosed
- Spell check and grammar check have been performed
- Entire paper is double-spaced including abstract, tables, captions, references

- Margins are 2.5 cm each margin
- Font size is 12 punto
- Font type is Times new roman
- Decimals are shown by a full stop (e.g., 10.25)
- Percent signs appear without a space after the number (e.g., 63%)
- Names of authors are written in full (not abbreviated)
- Address is given
- English and Turkish title is given
- Title is in title case
- English abstract is given
- English keywords are given
- Turkish abstract (Öz) is given
- Turkish keywords (Anahtar Kelimeler) are given
- Original figures are enclosed
- Figures are prepared according to the instructions
- Figures are maximum 16x20 cm; minimum 8 cm wide
- Figures are referred to the consecutively in the paper
- Figures are loaded in our web site (new submission, supplementary file) as jpeg file (in rar. or separately).
- Tables are maximum 16x20 cm; minimum 8 cm wide
- Tables are referred to the consecutively in the paper
- Captions are written in left case
- Figure legends are given
- Table legends are given
- References are typed according to the instructions
- References are listed alphabetically
- All pages are numbered
- All lines are numbered

Additional Requirements

All authors need to send their ORCID iDs so that the process of evaluation and publishing of the manuscripts can continue in accordance with our publishing policy.

In references, doi numbers of all articles should be given.

Submission Preparation Checklist

As part of the submission process, authors are required to check off their submission's compliance with all of the following items, and submissions may be returned to authors that do not adhere to these guidelines.

The submission has not been previously published, nor is it before another journal for consideration (or an explanation has been provided in Comments to the Editor).

Copyright Notice

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 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.



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

- Armutçuk Kömür Çevre Kayaçlarının Dayanım, Delinebilirlik ve Aşındırıcılık Özellikleri ile Öğütülebilirlikleri 225**
Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi
Çağrı Aldı
- Geri Dönüştürülmüş Geopolimer Agregaları ile Üretilen Çimento Esaslı Harçların Mühendislik Özelliklerinin 235**
Araştırılması
Şevin Ekmen, Zeynep Algın
- Küresel Spiral Aracılığıyla Güneşin Görünürdeki Hareketinin Yorumlanması 248**
Deniz Güçler, Nejat Ekmekçi
- Ateş Dikeni Meyvesi (*Pyracantha coccinea Roemer*) Ekstraktları Kullanılarak Sentezlenen Demir Nanopartiküllerinin ... 255**
Karakterizasyonu, Antioksidan ve Antimikrobiyal Aktiviteleri
Volkan Karakullukçu, Bülent Akar, Cemalettin Baltacı, Azer Özad Düzgün, Ömer Karpuz
- PPF Lifi ve PET Talaşı ile Güçlendirilmiş Kaolin Kilinin Kayma Mukavemetinin İncelenmesi..... 266**
Hüseyin Suha Aksoy, Atakan Yıldırım
- Zemin Kaplama Ürünlerinin Kalite Boyutlarının Garvin Modeli ve Aralık Değerli Fermatean Bulanık Analitik..... 276**
Hiyerarşi Prosesi Entegrasyonu ile Analizi
Hilal Singer
- 2019'dan 2022'ye İnşaat Yönetiminde Kullanılan ÇKKV Yöntemlerinin SWOT Analizine Dayalı Olarak..... 292**
Değerlendirilmesi
Burak Öz
- Genelleştirilmiş Tetranacci Sayı Bileşenleri ile Genelleştirilmiş Komutatif Kuaterniyonlar Üzerine 309**
Özge Arıbaş, Mustafa Yıldız
- Geri Dönüştürülmüş Beton Agrega Katkısının Kumlu Zeminlerin Mukavemet Parametreleri Üzerindeki Etkisinin..... 316**
İncelenmesi
Hüseyin Suha Aksoy, Atakan Yıldırım
- COVID-19 Şiddeti ve Mortalitesinin Kan Parametrelerinden Kolektif Öğrenme Yöntemleri ile Tespiti..... 329**
Gizemnur Erol Doğan, Betül Uzbaşı



CONTENTS

Research Articles

- Determination of the Relationships Between Strength, Drillability and Abrasiveness Properties and Grindability of..... 225**
Armutçuk Coal Environmental Rocks
Çağrı Aldı
- Investigation of Engineering Properties of Cement-Based Mortars Produced with Recycled Geopolymer Aggregates 235**
Şevin Ekmen, Zeynep Algın
- The Interpretation of the Apparent Motion of the Sun Through the Spherical Spiral..... 248**
Deniz Güçler, Nejat Ekmekçi
- Characterization, Antioxidant and Antimicrobial Activities of Iron Nanoparticles Synthesized Using Firethorn 255**
Fruit (*Pyracantha coccinea Roemer*) Extracts
Volkan Karakullukçu, Bülent Akar, Cemalettin Baltacı, Azer Özad Düzgün, Ömer Karpuz
- Investigation of the Shear Strength of Kaolin Clay Reinforced with PPF Fibers and PET Flakes..... 266**
Hüseyin Suha Aksoy, Atakan Yıldırım
- Analyzing the Quality Dimensions of Flooring Products with the Integration of the Garvin Model and the 276**
Interval-Valued Fermatean Fuzzy Analytical Hierarchy Process
Hilal Singer
- Trends on MCDM in Construction Management from 2019 to 2022 Based on a SWOT Analysis 292**
Burak Öz
- On Generalized Commutative Quaternions with Generalized Tetranacci Number Components..... 309**
Özge Arıbaş, Mustafa Yıldız
- Investigation of the Effect of Recycled Concrete Aggregate Addition on the Strength Parameters of Sandy Soils 316**
Hüseyin Suha Aksoy, Atakan Yıldırım
- Detection of COVID-19 Severity and Mortality from Blood Parameters by Ensemble Learning Methods 329**
Gizemnur Erol Doğan, Betül Uzbaş



Armutçuk Kömür Çevre Kayaçlarının Dayanım, Delinebilirlik ve Aşındırıcılık Özellikleri ile Öğütülebilirlikleri Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi

Determination of the Relationships Between Strength, Drillability and Abrasiveness Properties and Grindability of Armutçuk Coal Environmental Rocks

Çağrı Aldı*

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Çaycuma Meslek Yüksekokulu, Zonguldak, Türkiye

Öz

Yeraltı madencilik faaliyetleri kapsamında sürülen galerilerin daha ekonomik açılması için kullanılacak olan mekanize kazı makinelerinin (kollu galeri açma makinası, elektro hidrolik delici, vb.) seçimi ile performans tahmin analizlerinde kullanılabilecek ve makine enerji tüketimi konusunda fikir verecek yeni yöntemler geçmişten günümüze araştırılmaktadır. Bu çalışmanın amacı kayaçların öğütülebilirliği ile dayanım, delinebilirlik ve aşındırıcılık değerleri arasındaki ilişkileri laboratuvar ortamında incelemektir. Bu doğrultuda sedimanter kökenli 7 kayacın öğütülebilirliklerini belirlemek için Hardgrove öğütülebilirlik indeksi (HGI) deneyi ve Bond iş indeksi (Bwi) deneyi yapılmıştır. Kayaçların delinebilirlik değerleri delme oranı indeksi (DRI) deneyi ile aşındırıcılıkları ise Cerchar aşınma indeksi (CAI) deneyi ile belirlenmiştir. Kayaçların dayanımlarını belirlemek için tek eksenli basınç dayanımı (UCS) ve Brazilian çekme dayanımı (BTS) deneyleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar neticesinde kayaçların öğütülebilirlikleri ile kayaçların dayanım, delinebilirlik ve aşındırıcılık değerleri arasında anlamlı ilişkiler elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bond iş indeksi, hardgrove öğütülebilirlik indeksi, delinebilirlik, aşındırıcılık, dayanım

Abstract

The selection of mechanized excavation machines (roadheader, electro-hydraulic drill, etc.) that will be used for more economical opening of the driven galleries within the scope of underground mining activities, and new methods that can be used in performance estimation analyzes and give an idea about machine energy consumption are being researched from past to present. The aim of this study is to examine the relationships between the grindability of rocks and their strength, drillability and abrasiveness values in a laboratory setting. In this respect, Hardgrove grindability index (HGI) test and Bond work index (Bwi) test were conducted to determine the grindability of 7 sedimentary rocks. The drillability values of the rocks were determined by the Drilling Rate Index (DRI) test and the abrasiveness was determined by the Cerchar Abrasiveness Index (CAI) test. Uniaxial compressive strength (UCS) and Brazilian tensile strength (BTS) tests were performed to determine the strength of the rocks. As a result of the results obtained from the experimental studies, significant relationships were obtained between the grindability of the rocks and the strength, drillability and abrasiveness values of the rocks.

Keywords: Bond work index, hardgrove grindability index, drillability, abrasiveness, strength

1. Giriş

Madencilikte öğütme aşaması enerji tüketimi açısından önemli yer tutmaktadır. Öğütme işleminde yüksek verim elde etmek enerji sarfiyatının azalışı ile ifade edilir. Bir

öğütme işleminde amaç; uygun öğütme boyutunda, öğütme miktarının maksimum olması, buna karşılık ufalanan malzemenin tonu başına harcanan enerjinin minimum olmasıdır.

Geçmişten günümüze birçok araştırmacı öğütülebilirlik konusu üzerinde çalışmalar yapmıştır. Bu çalışmaların büyük çoğunluğu kömürün öğütülebilirliği üzerine yoğunlaşmıştır. Diğer kayaçların öğütülebilirliğinin araştırıldığı çalışma sayısı ise sınırlıdır. Zonguldak Havzası'ndaki sedimanter kökenli taş kömürü çevre kayaçlarının içinde bulunduğu çalışma ise bulunmamaktadır. Bu çalışmanın diğer çalışma-

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: cagrialdi67@gmail.com

Çağrı Aldı orcid.org/0000-0003-4029-0527



lardan farkı; öğütülebilirliğin sadece kömür için değil, diğer kayaçlar için de yapılabilir olduğunu göstermek ve Zonguldak Havzası Armutçuk kömür çevre kayaçlarının öğütülebilirliği (HGI, B_{wi}) ile, diğer parametreler (UCS, BTS, DRI, CAI) arasındaki ilişkileri ilk kez incelemektir.

Öğütülebilirliğin araştırıldığı çalışmalarda çoğunlukla Bond iş indeksi (B_{wi}) deney yöntemi ön plana çıkmaktadır. Malzemelerin öğütülebilirlik ve B_{wi} 'nin belirlenmesi için yapılan bu deneyin, uzun süren ve yorucu olması nedeniyle birçok araştırmacı tarafından sürecin daha kolaylaştırılması için yöntemler önerilmiştir. Deney yönteminin uygulanışı ve basitliğinden dolayı Hardgrove öğütülebilirlik indeksi (HGI) deneyi daha çok tercih edilmektedir (Berry ve Bruce 1966, Horst ve Bassarear 1976, Karra 1981, Magdalinović 1989).

Kayaçların öğütülebilirliği (HGI, B_{wi}) ile diğer parametreler (UCS, BTS, DRI, CAI) arasındaki ilişkilerin incelendiği birçok çalışma yapılmıştır. Tamrock (1999) kayaçların aşındırıcılığının belirlenmesinde yapılan deneyler arasında HGI deney yönteminin olduğunu da belirlemiştir.

Tiryaki vd. (2001) ve Tiryaki (2005) yaptıkları çalışmalarda, Çayırhan kömürlerinin sertlik özellikleri ile HGI özellikleri arasında güçlü ilişkiler elde etmişlerdir.

Özkahraman (2005), kayaçların delinebilirlik değerinin bulunmasında en çok kullanılan yöntem olan delme oranı indeksi (DRI) deneyinin parametresi olan kayaç kırılgenlik (S_{20}) özelliği ile B_{wi} arasında anlamlı ilişkiler bulunmuştur.

Özer ve Çabuk (2006) yapmış oldukları çalışmada öğütülebilirliğin daha pratik olarak tahmin edilmesini araştırmışlar ve yapmış oldukları deneyler neticesinde, Shore sertliği, tek eksenli basınç dayanımı ve nokta yük indeksiyle B_{wi} 'nin daha az maliyetle, kolay ve hızlı bir biçimde tahmin edilebileceği sonucuna ulaşmışlardır. Ancak yapılan deneylerin sınırlı olduğu ve elde edilen sonuçların tüm kayaçlar için geçerli olduğunu söyleyebilmek için daha çok kayaç örneğinde aynı araştırmaların yürütülmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Özer ve Çabuk (2007), dört farklı kalker ve iki farklı kromit numunesi kullandıkları çalışmalarında, Bond iş indeksi (B_{wi}) ile kaya parametreleri arasındaki ilişkileri araştırmışlardır. Kayaçların Bond iş indeksi (B_{wi}) değerlerini ve mekanik dayanım değerlerini belirlemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, tek eksenli basınç dayanımı değerlerinin Bond iş indeksi ile en yüksek ilişkileri verdiği bulunmuştur.

Swain ve Rao (2009) kayaçlar üzerinde yapmış oldukları çalışmada, HGI ile hesaplanmış oldukları B_{wi} değerleri ile

deneysel çalışmalardan elde ettikleri B_{wi} değerleri arasında oldukça güçlü bir ilişki elde etmişlerdir. Araştırmacılar, kayaçların öğütülebilirliklerinin, pratik bir deney yöntemi olan HGI ile kolaylıkla tespit edilebileceğini ortaya koymuşlardır.

Abdelhaffez (2012), Bond iş indeksi ile kayaçların aşındırıcılık ve tek eksenli basınç dayanımı arasındaki ilişkileri incelemiş ve Bond iş indeksi (B_{wi}) ile tek eksenli basınç dayanımı (UCS) arasında anlamlı ilişki bulmuştur.

Aras vd., (2020) yaptıkları çalışmada Schmidt sertliği, dolaylı çekme dayanımı, tek eksenli basınç dayanımı, nokta yükü dayanım indeksi deneyleri yapmışlar ve bu deneylerden elde ettikleri sonuçları yapay sinir ağları yönteminde kullanarak B_{wi} değerlerini tahmin etmeye çalışmışlardır.

Abdelhaffez (2020) farklı mineralojik özelliklere sahip altın cevherlerinin öğütülmesinde, basınç dayanımı ve petrografik özellikler ile B_{wi} arasındaki ilişkiyi araştırmıştır.

Sakız (2021) yapmış olduğu çalışmada delinebilirlik değerinin, kayacın HGI özelliği ile kolay bir şekilde bulunabileceğini belirlemiştir ve sınıflama sistemi önermiştir. Ancak, yapılan sınıflamanın güvenilirliğini belirlemek için kayaç sayısının artırılmasını ve kayaçların kökenlerine göre ayrıca değerlendirilmesi gerektiğini belirtmiştir. Ek olarak, öğütülebilirlik sınıflaması ile ilgili olarak aralıkların hassasiyetinin incelenmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Bu bilgiler ışığında kayaçların öğütülebilirlikleri (HGI, B_{wi}) ile diğer parametreler (UCS, BTS, DRI, CAI) arasındaki ilişkileri belirlemek için laboratuvarında deneysel çalışmalar yapılmıştır.

2. Gereç ve Yöntem

Çalışma kapsamında Zonguldak Havzası'ndaki Armutçuk bölgesinden alınan sedimanter kökenli 7 farklı kayaç türü üzerinde deneyler yapılmıştır. Kayaçların dayanım değerleri tek eksenli basınç dayanımı (UCS) ve Brazilian çekme dayanımı (BTS) deneyleri ile belirlenmiştir. Deneysel çalışmalardan tek eksenli basınç dayanımı (UCS) deneyinde ISRM (1981), Brazilian çekme dayanımı (BTS) deneyinde ise ISRM (1978) tarafından önerilen yöntem izlenmiştir.

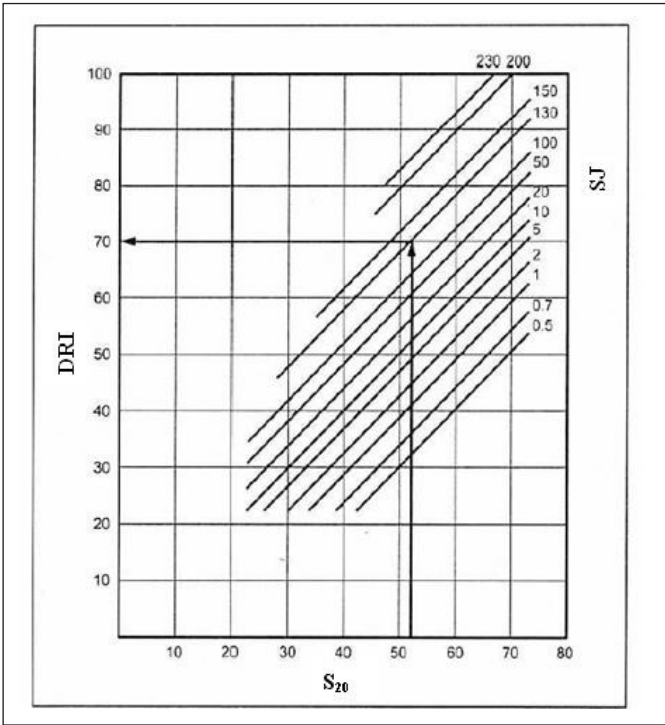
Deneylerde kullanılan hidrolik pres Şekil 1'de gösterilmiştir.

Kayaçların delinebilirlikleri S_{20} kırılgenlik ve SJ minyatür delme deneyleri yapılarak belirlenmiş ve Şekil 2'deki abak kullanılarak delme oranı indeksleri (DRI) bulunmuştur.

Delinebilirlik deneylerinde kullanılan deney aletleri Şekil 3 ve Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Tek eksenli basınç dayanımı (UCS) ve Brazilian çekme dayanımı (BTS) deneylerinin gerçekleştirildiği hidrolik press.



Şekil 2. DRI'nin belirlenmesinde kullanılan diyagram (Dahl 2003).

Kayaçların aşındırıcılık değerlerini belirlemek için ise Cerc-har aşınma indeksi (CAI) deneyleri yapılmıştır. Deneylerde Alber vd. (2013)'ün önermiş olduğu yöntem göz önünde bulundurulmuştur. Deneylerde kullanılan deney aleti Şekil 5'de, bilgisayar destekli mikroskopla yapılan görüntüleme sistemi Şekil 6'da ve Şekil 7'de ise görüntüleme sisteminden elde edilen ölçümler gösterilmiştir.

Kayaçların öğütülebilirliklerini belirlemek için HGI deneyi ve B_{wi} deneyi yapılmıştır ve her 2 deney yöntemi için bulunan sonuçlar, kayaçların dayanım, delinebilirlik ve aşındı-



Şekil 3. Kırılganlık deney aleti.



Şekil 4. Sievers J minyatür deney aleti.

rıcılık değerleri ile karşılaştırılmıştır. Hardgrove deneyinde kullanılan deney aleti Şekil 8'de gösterilmiştir. Öncelikle kayaç örnekleri için -1180 μm +600 μm tane boyutunda 50 gramlık örnekler hazırlanmıştır. Sonrasında, hazırlanan örnekler için HGI değirmeninde 60 devirde öğütülmüştür.

Son olarak, öğütülmüş malzeme 200 mesh elekten elenerek, HGI sonuçları aşağıda verilen Eşitlik (1)'e göre bulunmuştur.

$$HGI = 13 + 6.93m_H \quad (1)$$

Burada;

HGI: Hardgrove öğütülebilirlik indeksi,

m_H : 200 mesh boyutunda elekten geçen kayaç miktarıdır.



Şekil 5. West tam otomatik CAI deney aleti.

Bond (1961), malzemelerin iş indekslerini belirlemek için kendisine ait test yöntemini geliştirmiştir. B_{wi} , kuramsal olarak sonsuz boyuttaki cevher kütlelerinin %80'inin geçtiği sınırsız teorik elek boyutunu 100 mikrona getirmek için yapılan öğütme işlemindeki ton başına harcanan enerji olarak tanımlanabilir. Deney aleti Şekil 9'da gösterilmiştir. Eşitlik (2)'de belirtilen eşitlikte deneye bağlı B_{wi} öğütülen malzeme için bulunur.

$$B_{wi} = 44.5 / \left((p1)^{0.23} * (G)^{0.82} * \left(\frac{10}{\sqrt{P}} \right) - \left(\frac{10}{\sqrt{F}} \right) \right) \quad (2)$$

Burada;

B_{wi} : Bond iş indeksi (kWh/t),

P1: deneyin yapıldığı elek açıklığı (μ m),

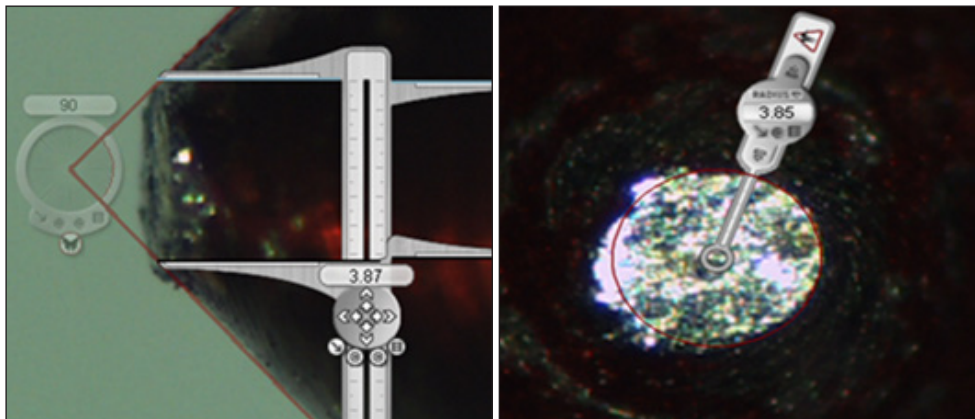
G: Bond'un standart bilyalı değirmen öğütülebilirlik değeri (gr/dv),

P: nihai ürünün %80'inin geçtiği elek açıklığı (μ m),

F: beslenen malzemenin %80'inin geçtiği elek açıklığıdır (μ m).



Şekil 6. Bilgisayar destekli mikroskop yardımıyla yapılan görüntüleme sistemi.



Şekil 7. Aşınmış uçların mikroskop altında yatay ve düşey konumda ölçülmesi.

Çizelge 1. Deney sonuçları.

Örnek Türü	HGI	B _{wi} (kWh/t)	UCS (MPa)	BTS (MPa)	DRI	CAI
Kumtaşı 1	83.70	17.74	57.90	4.86	57.00	2.62
Kumtaşı 2	75.40	19.12	76.90	5.50	60.00	2.48
Kumtaşı 3	80.20	17.74	65.40	4.92	62.00	2.50
Kumtaşı 4	84.40	17.61	50.90	4.62	60.00	2.84
Kumtaşı 5	77.40	18.33	73.70	4.99	59.00	3.04
Kumtaşı 6	97.50	15.02	45.80	4.37	65.00	2.44
Kireçtaşı	120.40	12.62	42.60	4.24	68.00	1.86



Şekil 8. Hardgrove öğütülebilirlik indeksi (HGI) deney aleti.

3. Bulgular ve Tartışma

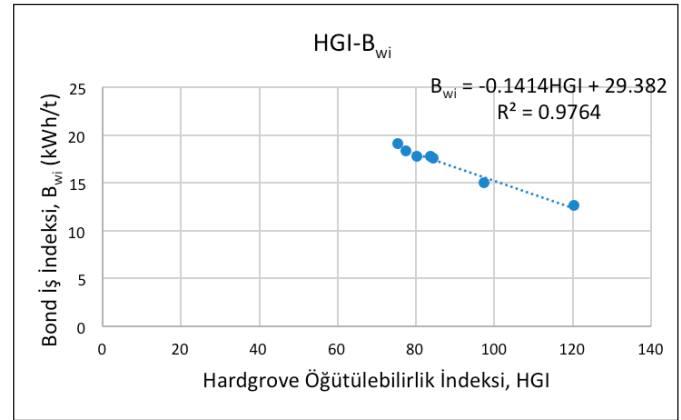
Bu deneysel çalışmada, Hardgrove öğütülebilirlik indeksi (HGI), Bond iş indeksi (B_{wi}), delme oranı indeksi (DRI), Cerchar aşınma indeksi (CAI), tek eksenli basınç dayanımı (UCS) ve Brazilian çekme dayanımı (BTS) deneyleri yardımıyla bir veri tabanı hazırlanmıştır ve yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Çizelge 1'de sunulmuştur. Deneylerde kullanılan kayaçlar Zonguldak Havzası Armutçuk bölgesinden alınmıştır.

Deney sonuçlarına göre HGI ile B_{wi} deneyi arasındaki ilişkilere bakılmıştır (Şekil 10).

Grafik incelendiğinde, 2 deney sonucu arasında anlamlı ilişki bulunmuştur ($R^2=0.98$). Öğütülebilirlik ne kadar kolay olursa, harcanan enerji o kadar azalmaktadır. Geçmişte yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Berry ve Bruce 1966, Horst ve Bassarear 1976, Karra 1981,



Şekil 9. Bond bilyalı değirmen deney aleti.



Şekil 10. HGI ile B_{wi} arasındaki ilişki.

Magdalinović 1989, Swain ve Rao 2009, Sakız 2021). Uygulanış açısından Hardgrove öğütülebilirlik indeksi (HGI) deneyinin uygulanış yönünden daha basit ve az zaman alıyor olması göz önüne alınarak, bu deney yönteminden elde edilecek sonuçlara bağlı olarak Bond iş indeksi (B_{wi}) deneyi sonucu bulunan enerji değeri rahatlıkla tahmin edilebilecektir.

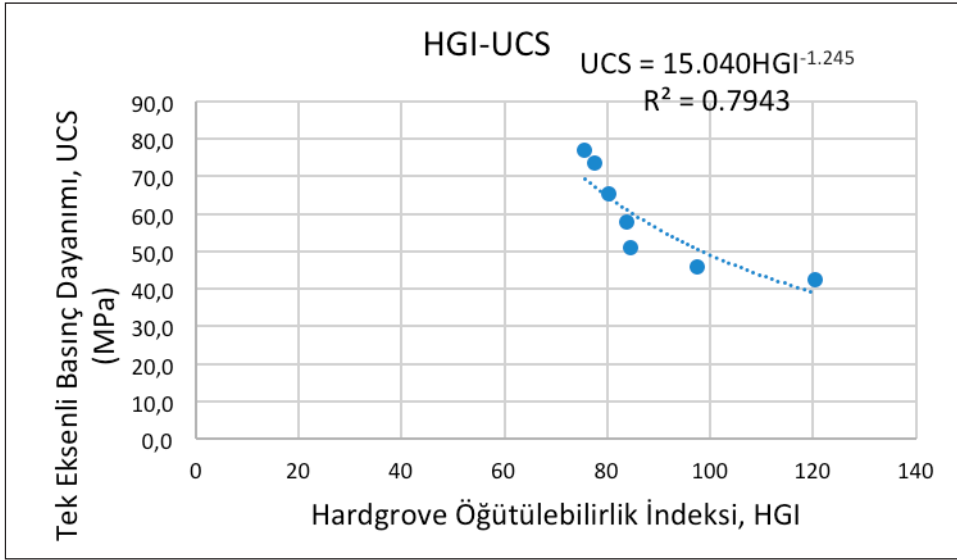
Çizelge 1’de gösterilen sonuçlar çerçevesinde kayaçların öğütülebilirlik değerleri (HGI, B_{wi}) ile diğer parametreler (UCS, BTS, DRI, CAI) arasındaki ilişkiler grafiklerle gösterilmiştir. Öğütülebilirlik deneyleri ile dayanım deneyleri arasındaki ilişkiler Şekil 11-14’de gösterilmiştir.

Grafikler incelendiğinde kayaçların öğütülebilirlik değerleri ile dayanım değerleri arasında anlamlı ilişkiler elde edilmiştir. Kayaçların dayanımı arttıkça öğütülebilirliğin zorlaştığı ve azaldığı, buna karşılık kayaçların dayanımı arttıkça harcanan enerjinin de arttığı anlaşılmaktadır. Geçmişte yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar ortaya konmuştur (Özer ve Çabuk 2006, Özer ve Çabuk 2007, Abdelhaffez 2012, Aras vd., 2020). Bundan sonra yapılacak çalışmalarda mekanize kazı işlemlerinde delme işlemi yapılırken öğütme anında harcanan enerji hesaplanırken, kayaçların dayanım değerleri

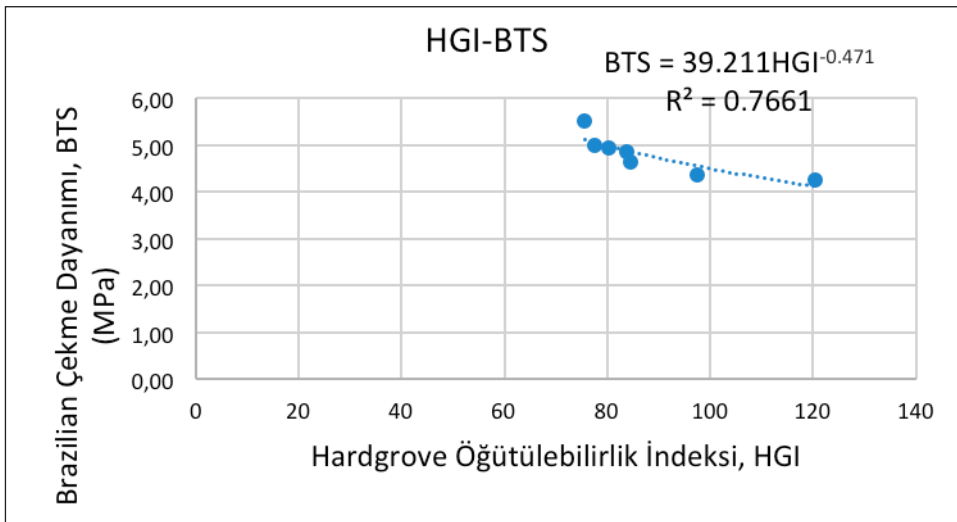
(UCS, BTS) ile öğütülebilirlik değerleri (HGI, B_{wi}) arasında daha doğru analizler yapılabilecektir.

Öğütülebilirlik parametreleri (HGI, B_{wi}) ile delme oranı indeksi (DRI) karşılaştırılmıştır ve ilişkiler Şekil 15 ve Şekil 16’da gösterilmiştir.

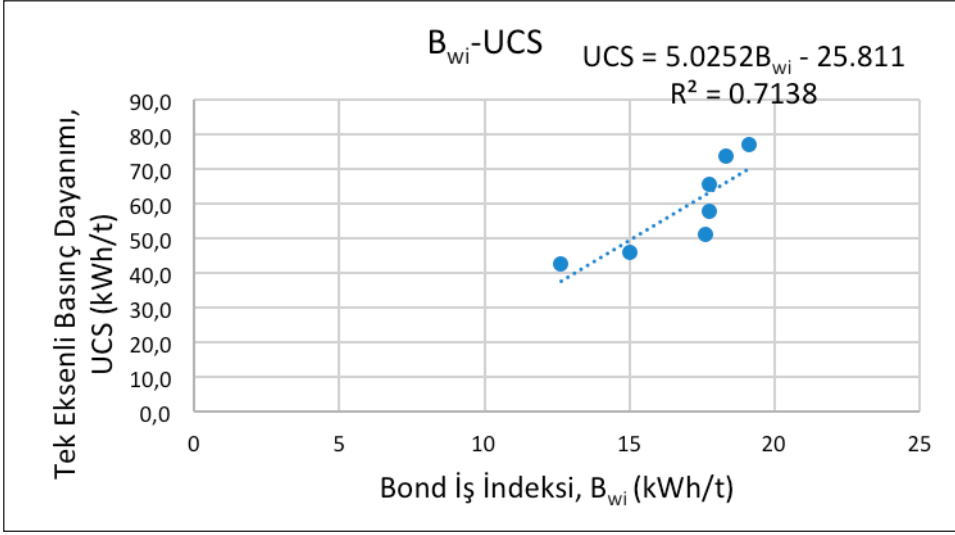
Grafiklerden de anlaşılacağı üzere kayaçların delinebilirliği zorlaştıkça, harcanan enerji artmaktadır. Delinebilirlik kolaylaştıkça, öğütülebilirlik de o derecede kolay olmaktadır. Özkahraman (2005), yapmış olduğu çalışmada benzer sonuç elde etmiştir. Özellikle mekanize kazı çalışmalarında harcanan enerjinin bulunmasında, delici ucun kayaç içerisine girdikten sonra öğütme anında harcadığı enerji dikkate alınarak, spesifik enerjinin değerlendirilmesinde öğütülebilirlik anında harcanan enerji de ayrıca araştırılmalıdır.



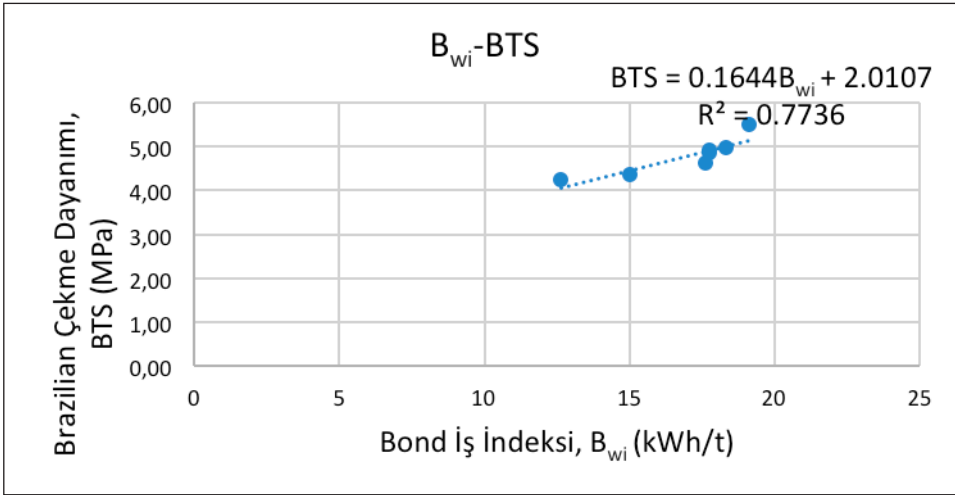
Şekil 11. HGI ile UCS arasındaki ilişki.



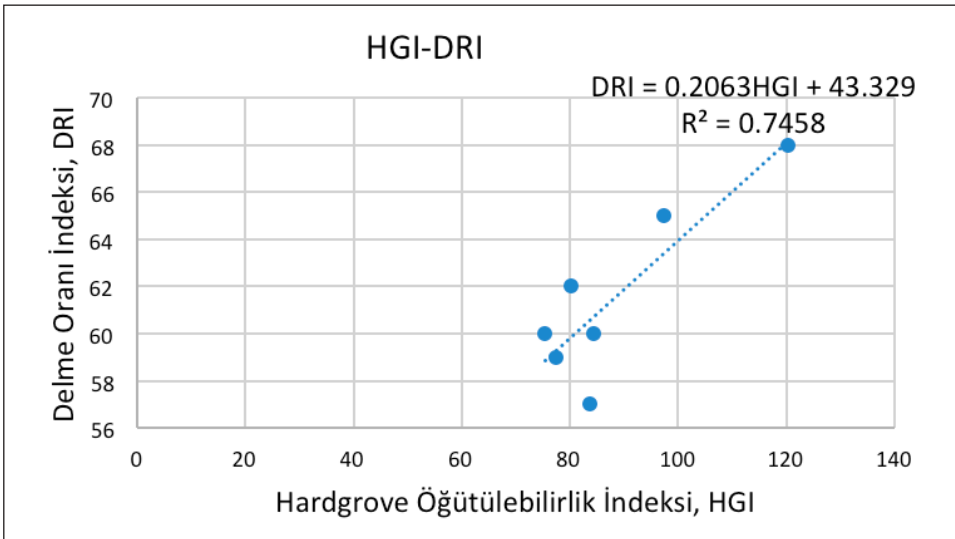
Şekil 12. HGI ile BTS arasındaki ilişki.



Şekil 13. B_{wi} ile UCS arasındaki ilişki.



Şekil 14. B_{wi} ile BTS arasındaki ilişki.



Şekil 15. HGI ile DRI arasındaki ilişki.

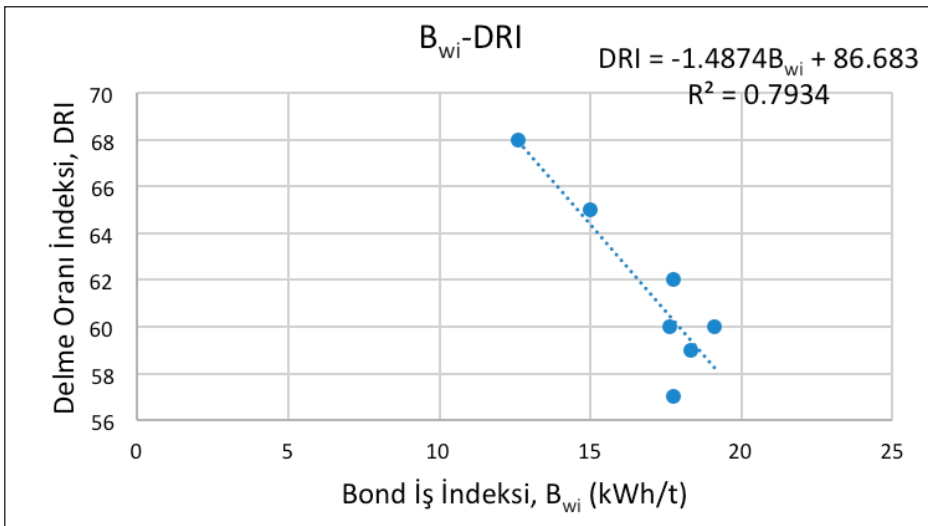
Öğütülebilirlik deneyleri (HGI, B_{wi}) ile Cerchar aşınma indeksi (CAI) deney yöntemi karşılaştırılmıştır ve aralarındaki ilişki Şekil 17 ve Şekil 18'de gösterilmiştir.

Grafiklere bakıldığında kayaçların aşındırıcılığı arttıkça, harcanan enerjinin de arttığı görülmektedir. Aşındırıcılık ne kadar az ise, öğütülebilirlik o kadar kolay olmaktadır. Diğer değişkenlerle (DRI, UCS, BTS) öğütülebilirlik deneyleri (HGI, B_{wi}) arasındaki ilişkilere göre, Cerchar aşınma indeksi (CAI) ile öğütülebilirlik değerleri (HGI, B_{wi}) arasındaki ilişkilere daha düşük ilişkiler ortaya çıkmıştır. Bu durum kayaçların aşındırıcı mineral ortalama tane boyutu, çimentolanma derecesi gibi petrografik özelliklerine bakılarak daha sonraki çalışmalarda göz önünde bulundurulmalıdır. Kayaçların aşındırıcılığı ile ilgili yapılacak olan değerlendirmelerde petrografik analiz sonuçları da mutlaka incelenmelidir.

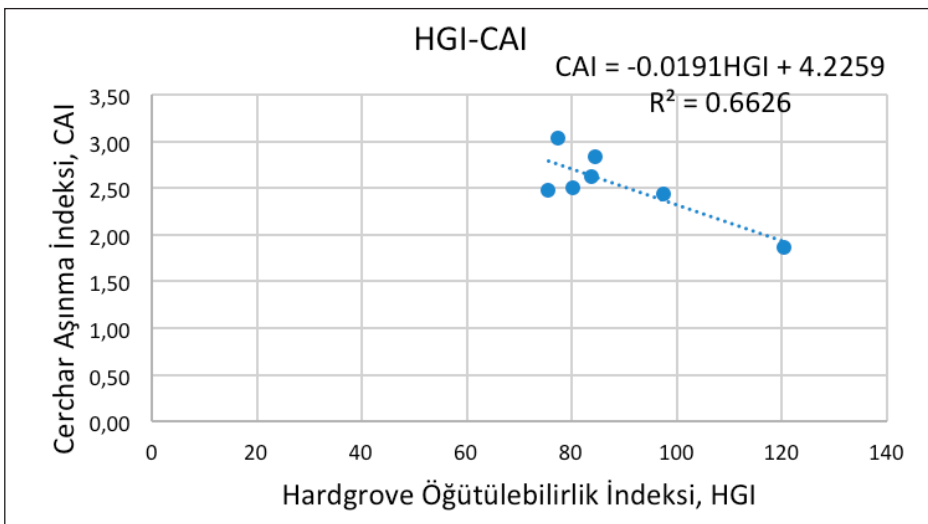
Değişkenler arasındaki ilişkiler basit regresyon (tek değişkenli) analizi ile irdelenmiş olup sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. Çalışma kapsamında basit regresyon analizi ile elde edilen ilişkiler.

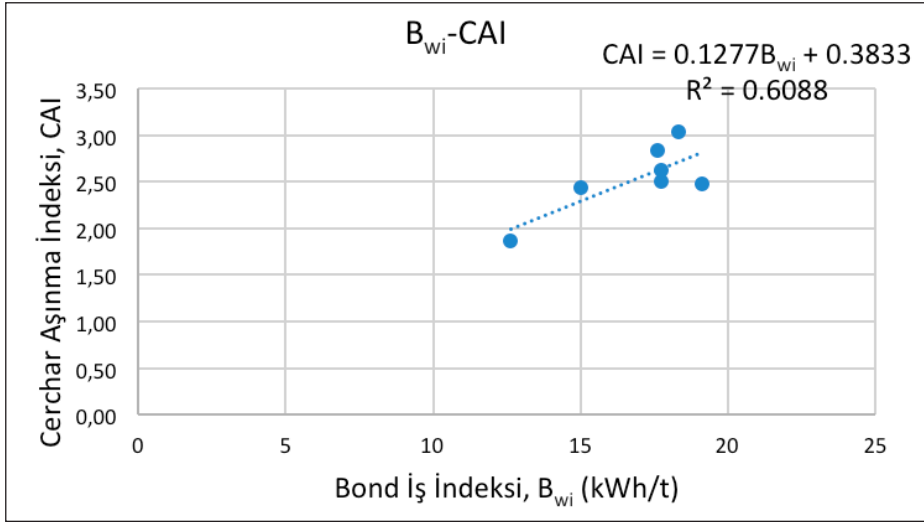
Elde Edilen İlişki	R ²
$B_{wi} = -0,1414HGI - 29,382$	0,98
$DRI = -1,4874B_{wi} - 86,683$	0,79
$DRI = 0,2063HGI + 43,329$	0,75
$CAI = -0,0191HGI + 4,2259$	0,66
$CAI = 0,1277B_{wi} + 0,3833$	0,61
$UCS = 5,0252B_{wi} - 25,811$	0,71
$BTS = 0,1644B_{wi} + 2,0107$	0,77
$UCS = 15,040HGI^{-1,245}$	0,79
$BTS = 39,211HGI^{-0,471}$	0,77



Şekil 16. B_{wi} ile DRI arasındaki ilişki.



Şekil 17. HGI ile CAI arasındaki ilişki.



Şekil 18. B_{wi} ile CAI arasındaki ilişki.

4. Sonuçlar

Elde edilen sonuçlar neticesinde öğütülebilirlik deney yöntemlerinin (HGI, B_{wi}) sadece kömür için değil, diğer kayaçlar için de kullanılabilir olduğu görülmektedir. Öğütülebilirlik deney yöntemleri (HGI, B_{wi}) ile kayaçların dayanım, delinebilirlik ve aşındırıcılık (UCS, BTS, DRI, CAI) özellikleri arasında anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Öğütülebilirlik deney yöntemleri (HGI, B_{wi}) arasında çok yüksek bir ilişki elde edilmiştir ($R^2=0,98$) Bu yüzden bu yöntemlerden bir tanesi kullanılarak diğer deney yönteminden elde edilecek sonuçlar tahmin edilebilir. Ancak daha güvenilir sonuçlar elde etmek için örnek sayısı artırılmalı, diğer kayaç türleri için de deneyler yapılmalı ve tüm parametrelerin (dayanım, delinebilirlik, aşındırıcılık) öğütülebilirliğe birlikte olan etkisi de değerlendirilmelidir. Magmatik ve metamorfik kayaçların da yer aldığı öğütülebilirlikle ilgili çalışmalar yapılmalıdır. Ayrıca kayaçların sertlik ve petrografik özelliklerinin de öğütülebilirliğe olan etkileri diğer çalışmalarda detaylı şekilde incelenmelidir.

Kaynaklar

- Abdelhaffez, GS. 2012. Correlation Between Bond Work Index and Mechanical Properties of Some Saudi Ores, 40(1):271–280.
- Abdelhaffez, GS. 2020. Studying the Effect of Ore Texture on the Bond Work Index at the Mahd Ad Dahab Gold Mine: A Case Study, Rud. Geol. Naft. Zb., 35(1):111–121.
- Alber, M., Yaralı, O., Dahl, F., Bruland, A., Käsling, H., Michalakopoulos, TN., Cardu, M., Hagan, P., Aydın, H., Ozarslan, A. 2013. ISRM suggested method for determining the abrasivity of rock by the Cerchar abrasivity test, Rock Mech. Rock Eng., 47:261–266.

- Aras, A., Özşen, H., Dursun, AE. 2020. Using Artificial Neural Networks for the Prediction of Bond Work Index from Rock Mechanics Properties, Miner. Process. Extr. Metall. Rev., 41 (3):145–152.
- Berry, TF., Bruce, RW. 1966. A simple method of determining the grindability of ores. *Canadian Mining Journal* 87:63–65.
- Bond, FC. 1961. Crushing and Grinding Calculations I-II, Br. Chem. Eng., 1–14.
- Dahl, F. 2003. DRI, BWI, CLI standards, NTNU, 20.
- Horst, WE., Bassarear, JH. 1976. Use of simplified ore grindability technique to evaluate plant performance. *AIME TRANS* 260.4: 348–351.
- ISRM. 1978. Suggested Method for Determining Tensile Strength of Rock Materials, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech, Abstr., 15:99–103.
- ISRM. 1981. ISRM Suggested Methods: Rock Characterization, Testing and Monitoring, ed. E. T. Brown, Pergamon Press, London, 211 p.
- Karra, VK. 1981. Simulation of the Bond grindability test.
- Magdalinović, N. 1989. A procedure for rapid determination of the Bond work index. *International Journal of Mineral Processing* 27.1-2: 125–132.
- Özer, Ü., Çabuk, E. 2006. Bond İş İndeksi ve Kaya Parametreleri Arasındaki İlişki, 1, 43–49.
- Özer, Ü., Çabuk, E. 2007. Relationship between bond work index and rock parameters. Istanbul University the Journal of Engineering Faculty's Earth Sciences Review 20(1): 43–49.
- Özkahraman, HT. 2005. A Meaningful Expression Between Bond Work Index, Grindability Index and Friability Value, 18:1057–1059.

Sakız, U. 2021. Kayaçların Mekanik ve Delinebilirlik Özellikleri ile Öğütülebilirliği Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi. *El-Cezeri*, 8(2):728-740.

Swain, R., Rao, RB. 2009. Alternative Approaches for Determination of Bond Work Index on Soft and Friable Partially Laterised Khondalite Rocks of Bauxite Mine Waste Materials, *J. Miner. Mater. Charact. Eng.*, 8(9):729-743.

Tamrock. 1999. Handbook of Underground Drilling.

Tiryaki, B., Atasoy, K., Yaşıtı, NE., Eyüboğlu, AS., Aydın, MZ. 2001. Studies in The Relationships Between Hardgrove Grindability and Some Rock Index Tests on Cayırhan Coals, *Proc. 20th Int. Min. Congr. Exhib. Turkey, 2001*, 451-458.

Tiryaki, B. 2005. Practical Assessment of the Grindability of Coal Using Its Hardness Characteristics, *Rock Mech. Rock Eng.*, 38(2):145-151.



Geride Dönüştürülmüş Geopolimer Agregaları ile Üretilen Çimento Esaslı Harçların Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması

Investigation of Engineering Properties of Cement-Based Mortars Produced with Recycled Geopolymer Aggregates

Şevin Ekmen* , Zeynep Algın 

Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Şanlıurfa, Türkiye

Öz

Yapı malzemeleri üretiminde yüksek oranlarda kullanılan doğal agrega yerine inşaat atıklarından elde edilen geride dönüştürülmüş agrega kullanımı oldukça önemli bir yere sahiptir. Portland çimentosu bazlı malzemelerin geride dönüştürülmüş agregalar olarak geride dönüşümü yaygın olarak araştırılırken, geopolimerlerin yeniden kullanımına çok az odaklanılmıştır. Bu çalışma kapsamında çimento kullanımı devre dışı bırakılarak üretimi gerçekleştirilen geopolimer kompozitlerin atık hallerinin tekrar değerlendirilmesi amaçlanmıştır. %0, %50 ve %100 olmak üzere 3 farklı oranda geride dönüştürülmüş-geopolimer agregası (GDA) ikamesi ve %0, %0.2, %0.4 ve %0.6 oranlarında bazalt lif kullanımı ile 12 farklı çimentolu harç karışımı üretilmiştir. Üretilen harç karışımlarının yayılma çapı ve birim ağırlık deneyleri ile taze özelliklerinin, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, su emme ve kılcal su emme deneyleri ile ise sertleşmiş özelliklerinin belirlenmesi hedeflenmiştir. GDA birim ağırlık değerlerini düşürürken, su emme değerlerinde belirgin bir artışa neden olmuştur. Tüm karışımlar için %0.4 oranının üzerinde bazalt lif kullanımı basınç dayanımı değerlerinde düşüşe neden olmuştur. En yüksek basınç dayanım değerine %0.2 bazalt lif oranı için, geride dönüştürülmüş agrega ikamesi yapılmamış numunede ulaşılmıştır. Kontrol karışımları için lif oranının artışına bağlı olarak eğilme dayanım değerleri artış gösterirken GDA içeren harçlarda en yüksek eğilme dayanım değerine %0.2 bazalt lif oranı ile ulaşılmıştır.


Anahtar Kelimeler: Bazalt lif, geride dönüştürülmüş geopolimer agregası, çimento harcı, taze ve sertleşmiş harç özellikleri


Abstract

The use of recycled aggregate obtained from construction waste has a very important place instead of the natural aggregate used at high rates in the production of building materials. While the recycling of Portland cement-based materials as recycled aggregates has been widely investigated, the reuse of geopolymers has not been sufficiently focused. Within the scope of this study, it is aimed to reuse the waste states of geopolymer composites, which were produced by disabling the use of cement. 12 different cement-based mortar mixtures were produced by using recycled geopolymer aggregates (RA) in 3 different ratios as 0%, 50% and 100% and basalt fiber at 0%, 0.2%, 0.4% and 0.6% ratios. It was aimed to determine the fresh properties of the produced mortar mixtures by spreading diameter and unit weight tests, and to determine the hardened properties by compressive strength, flexural strength, water absorption and capillary water absorption tests. While the recycled geopolymer aggregate decreased the unit weight values, it caused a significant increase in the water absorption values. The use of basalt fiber above 0.4% for all blends caused a decrease in compressive strength values. The highest compressive strength value was obtained for the 0.2% basalt fiber content in the sample without recycled aggregate replacement. While the flexural strength values of the control mixtures increased depending on the increase in the fiber content, the highest flexural strength value was reached with the basalt fiber ratio of 0.2% for the mortars containing RA.

Keywords: Basalt fiber, aggregate of recycled geopolymer, cement mortar, properties of fresh and hardened mortar

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: ekmensevin@harran.edu.tr

Şevin Ekmen  orcid.org/0000-0002-2577-696X

Zeynep Algın  orcid.org/0000-0001-7004-8403



1. Giriş

Endüstriyel katı atıkların ciddi çevre sorunlarına neden olduğu bilinmektedir (Tang vd. 2019, Zhou vd. 2020, De Azevedo vd. 2022). İnşaat ve yıkıntı atıklarının yarattığı olumsuz etkiler nedeniyle dünya çapında birçok ülke çevreyi korumak için farklı yasalar üreterek farkındalık yaratmaya çalışmaktadır (Bilgen ve Altuntas 2023, Mehrjardi vd. 2020, Bilgen 2020, Islam vd. 2019). Bu atıkların yapısal ve yapısal olmayan beton yapımında sürdürülebilir şekilde bertarafı (Shariati vd. 2011, Toghroli vd. 2018, Zhang vd. 2020, Zhang vd. 2021) çevreye zararlı etkilerini azaltmak için en iyi çözüm olarak kabul edilmektedir. Atıkların yeniden kullanılması sayesinde elde edilen para tasarrufu, doğal kaynak tüketiminde azalma gibi avantajların yanı sıra CO₂ emisyonunun azalması ile çevrenin korunması sağlanmış olmaktadır (Park and Tucker, 2017). Beton üretiminde yüksek oranlarda kullanılan agreganın yerine çeşitli geri dönüştürülmüş agregaların kullanımı doğal kaynak tüketimini azaltmak açısından büyük önem kazanmıştır. Bu konuda gerçekleştirilen birçok çalışma (Hansen ve Narud 1983, Parviz 2012, Suryawanshi vd. 2015, Gómez-Soberón 2002, Katz, 2003, Martín-Morales vd. 2011, Nagataki vd. 2004) sayesinde çeşitli yöntemler ile kullanılabilirliği araştırılan geri dönüştürülmüş agregaların harç/beton kompozitlerin mühendislik özellikleri üzerindeki etkileri farklı açılardan irdelenmiştir.

Geopolimer, beton üretiminde çimento kullanımını ortadan kaldırmak için alkali aktivatörler ile silisyum ve alüminyum kaynaklı malzemeler, kaolin (Kaya 2021), kireç (Das vd. 2020) vb. doğal kaynaklar veya uçucu kül (Kaya 2022), yüksek fırın cürufu (Luga ve Atis 2018), pirinç kabuğu külü (Liu vd. 2020) gibi yan ürünlerin reaksiyonu sonucu oluşan amorf alkali alüminosilikatlardır. Geopolimerizasyon işleminde üç boyutlu polimerik Si-O-Al-O zincirleri oluşturmak için yüksek alkali ortamlarda alüminosilikat oksitler arasında gerçekleşen birkaç karmaşık kimyasal reaksiyondan sonra inorganik bileşikler üretilir. Polimerizasyon sırasında alkali aktivatör ilk olarak alüminosilikat kaynaklarındaki Al-O ve Si-O bağlarını kırar ve bu tetrahedral monomerler amorf -Si-O-Al-O-yapılarına ve zeolit kristallerine dönüştürülür. Son olarak dehidrasyon aşamasından sonra rijit yapıya sahip geopolimer elde edilmiş olur (Davidovits 1994). Geopolimer yapı malzemelerinin özelliklerini iyileştirmek, tasarım parametrelerini optimize etmek amacıyla son on yılda çok sayıda araştırma yapılmıştır. Portland çimentolu yapı malzemeleri ile kıyaslandığında geopolimer kompozitlerin daha yüksek basınç dayanımı, çekme dayanımı, elastisite modülü değerlerine sahip olduğu ve dış etkilere, yüksek

sıcaklığa karşı daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir (Ryu vd. 2013, Rangan 2009, Hardjito vd. 2004, Sarker vd. 2014). Elde edilen bu umut verici sonuçlar ile bu alandaki önemli ilerlemeler dikkate alındığında geopolimer yapı malzemelerinin artan şekilde benimsenmesinin yakın gelecekte devam etmesi beklenmektedir. Geopolimerlerin belirtilen üstün mekanik ve dayanıklılık özelliklerinin yanı sıra doğal kaynak tüketimindeki azalma, düşük karbon emisyonu ve yan ürün kullanımı gibi sürdürülebilirlik faydalarının inşaat sektöründe benimsenmesine olanak sağlaması beklenmektedir.

Çimento esaslı kompozit malzemelerin gevrek davranış göstermeleri, bünyelerinde bulunan malzemelerin büzülme eğilimi sonucunda kolay çatlama, düşük çekme dayanım değerlerine sahip olmaları ve darbe direncinde zayıflık göstermeleri sonucunda yapının belirli bir süre sonra bozulması kaçınılmaz olabilmektedir. Harçta liflerin kullanılması, başarılı bir onarım için en önemli gereksinimlerden biri olan eski yüzey ile tamir malzemeleri arasındaki bağ kuvvetini önemli ölçüde artırabilmektedir (Iucolano vd. 2013, Zanotti vd. 2014). Ek olarak, harçta liflerin kullanılması aynı zamanda kompozit malzemenin basınç ve eğilme dayanımlarını, kırılma tokluğunu, köprüleme etkisinden dolayı harçtaki çatlakların genişliğini ve sayısını azaltarak aşınma direnci ve donma çözülme direnci gibi harcın dayanıklılık özelliklerini geliştirebilmektedir (Grdic vd. 2012, Çavdar 2014, Spadea vd. 2015). Sürdürülebilir bir mühendislik yapısı geliştirmek için yürütülmüş olan önceki çalışmalar optimum lif yüzdesi ve türünün harcın işlenebilirliği, priz süresi, akışkanlığı gibi taze özelliklerinin yanı sıra darbe direnci, yarmada çekme ve eğilme dayanımı gibi mekanik özelliklerini de iyileştirebileceğini göstermişlerdir (Banthia vd. 1994, Bentur ve Mindess 2006, Mallat ve Alliche 2011, Banthia vd. 2014).

Çevre dostu malzemeler olan geri dönüştürülmüş agregalar, enerji, kaynak ve üretim maliyetini büyük ölçüde koruma ve sürdürülebilir kalkınma taleplerinin tam olarak karşılanmasına olanak sağlama potansiyeline sahiptir. Geri dönüştürülmüş agreganın geopolimer kompozit yapılarda kullanımına henüz yeterince odaklanılmaması ile birlikte geri dönüştürülmüş geopolimer agregasının kullanımı ile ilgili gerçekleştirilen çalışmalar oldukça kısıtlı sayıdadır (Rao ve Acharya 2014, Gharzouni vd. 2016, Zhu vd. 2020,) Akbarnezhad vd. (2015) GDA 'ların beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması kapsamında agregalar üzerinde aşınma, yoğunluk ve su emme testlerini gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca GDA 'nın normal iri agrega ile %100 ikamesi sonucunda üretilen çimento esaslı betonun basınç dayanımı, elastisite modülü

ve kopma modülü değerlerinin sırasıyla %12.9, %10.7 and %15.2 oranlarında azaldığı sonucuna varmışlardır. Mesgari vd. (2020) bazalt agregası yerine %0, %20, %50 ve %100 oranlarında GDA kullanarak çimento esaslı beton üretmişlerdir. Üretilen beton numunelerinin basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve elastisite modülü sonuçları irdelenmiş ve GDA kullanımının bu değerlerde sırasıyla %21, %3.4 ve %8.3 oranlarında düşüşe neden olduğu belirlenmiştir. Geopolimerin, Portland çimento bazlı malzemelerden daha yüksek dayanıma, dayanıklılığa ve daha düşük gözenekliliğe sahip olduğu göz önüne alındığında, geri dönüştürülmüş geopolimer agregası kullanımının uzun vadede doğal kaynak tüketimi ve küresel ısınma sorunlarını ortadan kaldırmak için uygun bir alternatif olabileceği gayet açıktır. Geopolimer kompozitlerin pazar payı ve ortaya çıkan atık miktarı hakkında tam bir bilgiye sahip olunmaması ile birlikte, yapılan literatür çalışmalarının geopolimerlerin Portland çimentolu kompozitler yerine kullanımını önerilmesi sonucunda, benimsenmesi ve üretilen toplam beton atığı içinde geopolimer atık payının önümüzdeki birkaç on yılda hızla artması beklenmektedir. Bu nedenle, geopolimer yapıların pratikte uygulanması, inşaat endüstrisi tarafından değerlendirmesi ve kullanımının başlarında olunmasına rağmen, geopolimer yapılarının hizmet ömrünün sonunda atıkları ile başa çıkamadaki potansiyel zorlukları anlamak oldukça önemli hale gelecektir.

Bu çalışma belirtilen durumlar göz önüne alındığında geopolimer kompozitlerin benimsenmesi için karar verme sürecinin daha hızlı bir şekilde gerçekleşmesine olanak tanınması hedeflenerek gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında geri dönüştürülmüş geopolimer agregasının Portland çimentolu harç üretiminde kullanılabilirliği ve mühendislik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. GDA içeren harç numunelerine ayrıca bazalt lif de eklenerek birlikte kullanımları araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar GDA kullanımı ile yeterli özelliklere sahip harç üretiminin mümkün olduğunu göstermiştir.

2. Gereç ve Yöntem

2.1. Gereç

Bu çalışma kapsamında kullanılan malzemeler; çimento (Cem-I 52.5N), dere kumu, uçucu kül esaslı geri dönüştürülmüş geopolimer agregası, Spinteks Tekstil İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş.'den temin edilen 6 mm boyuna sahip bazalt lif (BL), su ve süper akışkanlaştırıcıdır. Kullanılan malzemelerin özgül ağırlık değerlerine ve agregaların su emme de-

ğerlerine Çizelge 1'de çimentonun kimyasal bileşimine ise Çizelge 2'de yer verilmiştir.

Geri dönüştürülmüş geopolimer agregalar, 24 saat 80 C°'de ısı kürlemesi yapılarak üretilen 5x5x5 cm boyutlarına sahip geopolimer harç numunelerinin çeneli kırıcı yardımı ile istenilen boyutlarda parçalanması ile elde edilmiştir. Kullanılan numuneler Kullanılan geri dönüştürülmüş geopolimer agregasının ve dere kumunun dane boyut dağılımını yansıtan granülometre eğrisi ASTM C33/33M (2018) standardında yer alan alt ve üst limit değerleri ile birlikte Şekil 1'de verilmiştir.

Çalışmada kullanılacak olan malzeme oranları ve miktarları belirlenirken 3 farklı ikame oranlarında geri dönüştürülmüş agregası (%0, %50, %100) ve 4 farklı bazalt lif oranı (%0, %0.2, %0.4, %0.6) dikkate alınmıştır. Hazırlanan toplam 12 karışıma ait malzeme miktarlarına Çizelge 3'te yer verilmiştir. Karışım adı kullanılan malzeme oranlarına göre belirlenmiştir. Örneğin 50GDA-0.2BL gösterimi %50 oranında geri dönüştürülmüş agregası %0.2 oranında ise bazalt lif kullanımının gerçekleştiği karışımı ifade etmektedir.

2.2. Yöntem

Çalışma kapsamında üretilen tüm taze harç karışımları aynı

Çizelge 1. Kullanılan malzemeleri özellikleri.

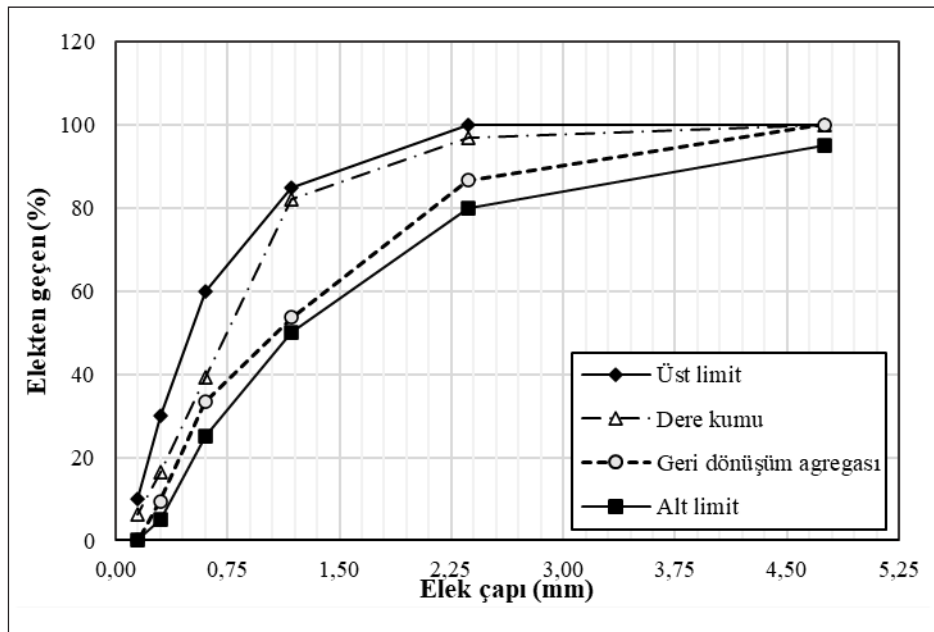
Özgül ağırlıklar	
Su	1
Çimento	3.15
Kum	2.72
Geri dönüştürülmüş geopolimer agregası	2.1
Süper akışkanlaştırıcı	1.07
Bazalt lif	2.78
Su emme (%)	
Geri dönüştürülmüş geopolimer agregası	15
Kum	2.5

Çizelge 2. Kullanılan çimentonun kimyasal bileşenleri.

Kimyasal bileşenler (%)	Portland Çimentosu
CaO	62.85
SiO ₂	18.96
Al ₂ O ₃	5.33
Fe ₂ O ₃	3.05
MgO	1.67
SO ₃	2.6
K ₂ O	0.58
Na ₂ O	0.17

Çizelge 3. Kullanılan malzeme miktarları (1 m³)

Karışım adı	GDGA oranı (%)	Bazalt lif oranı (%)	Su (kg)	Çimento (kg)	Kum (kg)	GDGA (kg)	Lif (kg)
0GDA-0BL	0	0	290	500	1568	0	0
0GDA-0.2BL	0	0.2	290	500	1568	0	6
0GDA-0.4BL	0	0.4	290	500	1568	0	11
0GDA-0.6BL	0	0.6	290	500	1568	0	17
50GDA-0BL	50	0	363	500	784	528	0
50GDA-0.2BL	50	0.2	363	500	784	528	6
50GDA-0.4BL	50	0.4	363	500	784	528	11
50GDA-0.6BL	50	0.6	363	500	784	528	17
100GDA-0BL	100	0	436	500	0	1055	0
100GDA-0.2BL	100	0.2	436	500	0	1055	6
100GDA-0.4BL	100	0.4	436	500	0	1055	11
100GDA-0.6BL	100	0.6	436	500	0	1055	17



Şekil 1. Agregada dane boyut dağılımı.

karıştırma prosedürü ile hazırlanmıştır. 15 litre kapasiteye sahip mikserde ilk olarak çimento, dere kumu ve GDA konulmuş ve 1'er dakika normal ve hızlı devirlerde karıştırılmıştır. Homojen bir görünüme ulaşan karışıma su ve akışkanlaştırıcı da eklenip 2 dakika daha hızlı devirde karıştırıldıktan sonra işlem tamamlanmıştır.

Belirlenen malzeme oranları dikkate alınarak hazırlanan taze karışımlar kalıplara döküldükten 24 saat sonra kalıptan çıkarılarak istenilen deney gününe kadar suda bekletilmiştir. Hazırlanan taze karışımların ilk olarak yayılma çapı ve taze birim ağırlık değerlerine ulaşıldıktan sonra sertleşmiş özel-

liklerin belirlenmesi kapsamında birim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, su emme ve kılcal su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Yayılma çapı tayini kesik koni kullanılarak ASTM C1437 (2015) standardına göre gerçekleştirilmiştir. Her karışım için elde edilen yayılmalar birbirine dik iki yönde gerçekleştirilen ölçümlerin ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

Basınç dayanımı testi ASTM C109/C109M (2016) standardına göre 3000 kN kapasiteye sahip cihaz kullanılarak 0.63 kN/sn kırma hızı gerçekleştirilmiştir. 50x50x50 mm

boyutlarına sahip 28 günlük 3 adet küp numunenin dayanım değerlerinin ortalaması alınarak nihai dayanım sonucuna ulaşılmıştır.

Eğilme dayanımı testi 40x40x160 mm boyutlarına sahip kırış numuneler üzerinde ASTM C348-18 (2010) standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Test, 1 MPa/dk kırma hızı kullanılarak 100 kN kapasiteli cihaz yardımı ile uygulanmıştır.

Su emme testi için ASTM C642 (2013) standardı dikkate alınmıştır. Deney 28. günde 50 mm boyutundaki üç küp numunesi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Elde edilen değerlerin ortalaması alınarak son değere ulaşılmıştır.

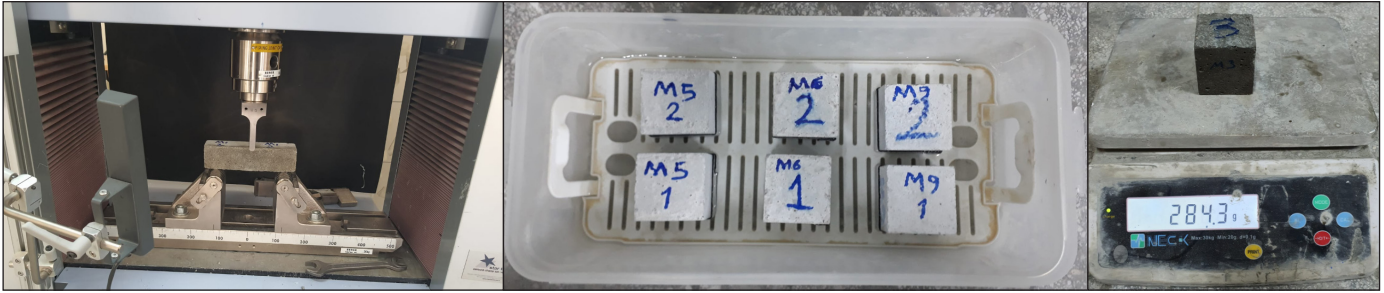
Kılcal su emme deneyi ASTM C 1585 (2013) standardı kullanılarak 50x50x50 mm boyutlarında 3 küp numunesi üzerinde gerçekleştirilmiştir. Sadece taban yüzeyinden su akışının sağlanması amacıyla numunelerin dört tarafı 3 cm yüksekliğe kadar parafin ile kaplanmıştır. Böylece numuneler tarafından emilen birim alandaki su miktarı belirlenerek

oluşturulan eğri eğimi ile kılcallık katsayısına ulaşılmıştır. Gerçekleştirilen deneylere ait bazı görsellere Şekil 2'de yer verilmiştir.

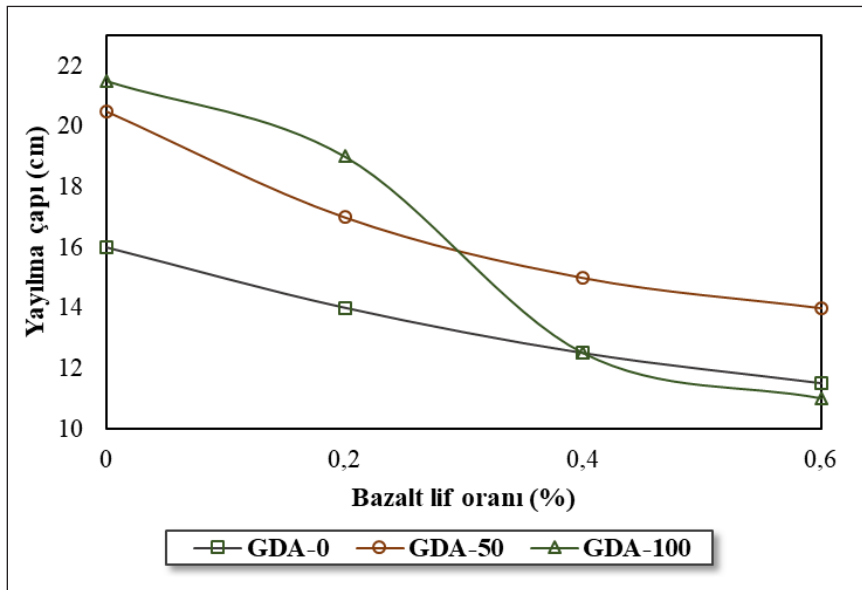
3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Yayılma Çapı

Yayılma çapı deneyi karışımların taze halde iken istenildiği gibi şekil verilebilme durumunun belirlenmesi açısından oldukça önemli bir yere sahiptir. Üretilen taze karışımın bünyesinde bulunan malzeme oran ve özelliklerine bağlı olarak elde edilen değerler değişkenlik gösterebilmektedir. Üretilen karışımın kullanım alanına amacına göre hedeflenen sonuçlara ulaşılması gerekmektedir. Yürütülen bu çalışmada geri dönüştürülmüş geopolimer agregasının ve bazalt lifin farklı oranlarının taze karışımların işlenebilme özellikleri üzerindeki etkisini incelemek için yayılma çapı deneyi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen yayılma çapı (cm) değerlerine Şekil 3'te yer verilmiştir. Tüm karışımlar dikkate alındığında yayılma



Şekil 2. Bazı deneylere ait görseller.



Şekil 3. Hazırlanan taze karışımlar için yayılma çapı değerleri.

çapı değerlerinin 11 cm ile 21.5 cm arasında değiştiği görülmüştür. İşlenebilirliği olumsuz etkilemesi sonucunda bazalt lif oranının artması ile birlikte tüm agrega ikame oranları için yayılma çapı (cm) değerlerinde düşüş görülmüştür. Benzer sonuca Ma vd. (2013) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, farklı oranlarda bazalt lifin kullanılması ile üretilen harç karışımları için de ulaşılmıştır. Bir diğer çalışmada Sadr-momtazi vd. (2018) %0, %1 ve %1.5 oranlarında bazalt lif kullanarak ürettikleri kompozitlerde lif yüzdesinin artmasına bağlı olarak yayılma değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Şekil 3 incelendiğinde, GDA kullanımının ise yayılma çapı değerleri üzerinde değişken bir etkisinin olduğu görülmektedir. %0 ve %0.2 oranlarında bazalt lif kullanılan karışımlarda GDA oranının artması ile yayılma çapı değerleri artış gösterirken, %0.4 ve %0.6 oranlarında lif kullanımı durumlarında belirlenen eğilimde değişiklik olmuştur. Lifsiz karışımlar için kontrol karışımı ile kıyaslandığında %50 ve %100 oranlarında GDA kullanımını sırasıyla %28 ve %34 oranlarında yayılma çapı değerlerini arttırmıştır. Sonuç olarak GDA-100 için %0.2 'den fazla bazalt lif kullanımı yayılma çapında bariz düşüşe neden olmaktadır.

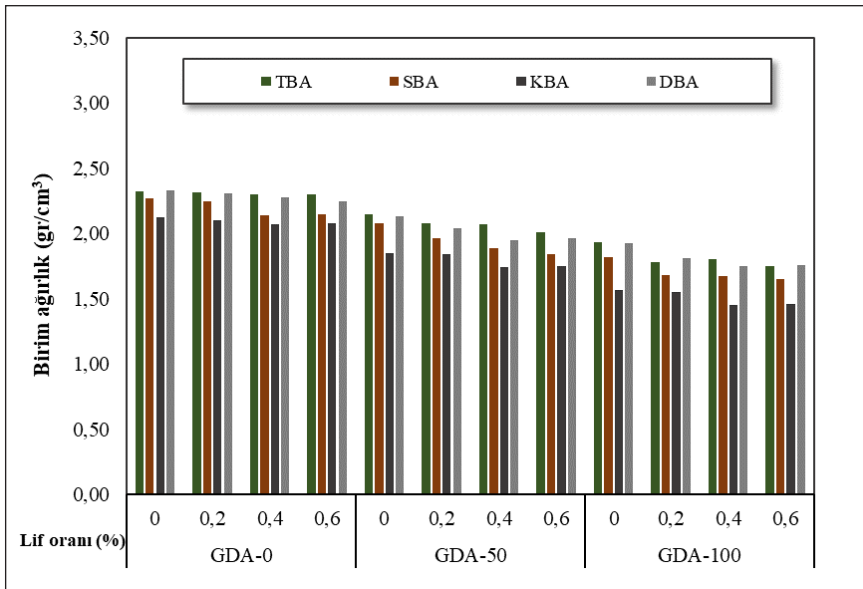
3.2. Birim Ağırlık

Üretilen kompozit yapıların ağırlıkları özellikle dinamik etkiler altında oldukça önem kazanmaktadır. Bu nedenle yapıya gelen yükü minimuma indirmek amacıyla yapı malzemeleri üretiminde mümkün oldukça düşük birim ağırlık değerlerinin hedeflenmesi gerekmektedir. Çalışma kapsamında üretilen karışımların taze birim ağırlık (TBA), sertleşmiş birim ağırlık (SBA), doymun birim ağırlık (DBA) ve

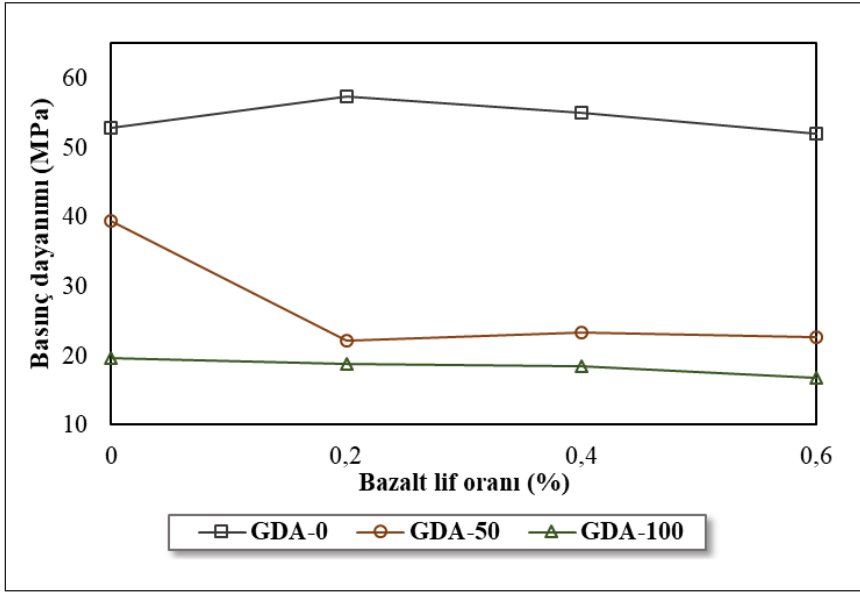
kuru birim ağırlık (KBA) olmak üzere 4 farklı birim ağırlık değerlerine ulaşılmıştır. Ulaşılan değerleri içeren grafiğe Şekil 4'te yer verilmiştir. Üretilen tüm karışımları içeren TBA, SBA, DBA ve KBA değer aralıkları sırasıyla 1.73-2.32 gr/cm³, 1.65-2.27 gr/cm³, 1.75-2.31 gr/cm³ ve 1.45-2.10 gr/cm³ olarak elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar irdelendiğinde 3 farklı GDA ikamesi için de %0.4 oranına kadar bazalt lif artışı genel olarak birim ağırlık değerlerinde artışa neden olurken %0.4'ten %0.6 lif oranına çıkıldığında birim ağırlık değerlerinde düşüş görülmüştür. Koksall (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmada da bazalt lifin çimento esaslı harçların birim ağırlık değerleri üzerindeki etkisi incelenmiş ve elde edilen sonuçlara göre lif oranlarının artmasına bağlı olarak birim ağırlık değerlerinde hem artış ve hem azalışlar görüldüğünden sabit bir ilişki bulunamamıştır. Aynı zamanda elde ettiğimiz sonuçlara göre sabit lif oranları için GDA oranının artışına bağlı olarak birim ağırlık değerlerinde azalma trendi görülmektedir. Değerlerde meydana gelen azalma yüzdeleri %7.5 ile %14 arasında değişerek her birim ağırlık grubunda farklılık göstermiştir.

3.3. Basınç Dayanımı

GDA içeren harç numunelerinin 28 günlük basınç dayanım sonuçları Şekil 5'te verilmiştir. %0 GDA ikamesi ile üretilen karışımlar ile belirgin bir şekilde daha yüksek basınç dayanım değerleri elde edilmiştir. GDA-50 ile GDA-100 karışımları ile ulaşılan basınç dayanım değerleri oldukça yakın olmak ile birlikte GDA ikame oranının artması ile tüm basınç dayanım değerlerinde azalma görülmüştür. Bu duruma dere kumu ile kıyaslandığında daha zayıf ve boşluklu



Şekil 4. Hazırlanan karışımlar için birim ağırlık değerleri.



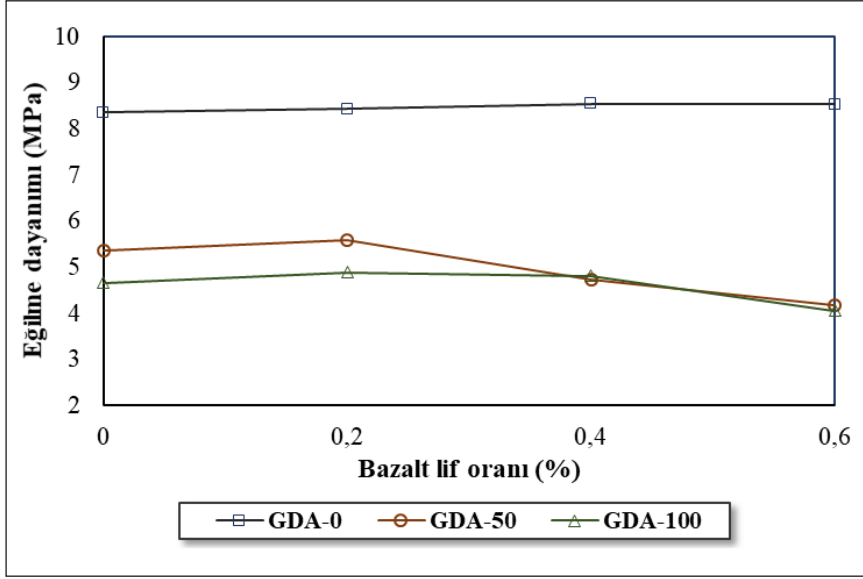
Şekil 5. Hazırlanan karışımlar için basınç dayanım değerleri.

bir yapıya sahip olan GDA kullanımı neden olmuştur. Lif içermeyen karışımlar için kontrol karışımı ile kıyaslandığında %50 ve %100 oranlarında GDA kullanımı sırasıyla %25 ve %63 oranlarında basınç dayanımı değerlerini düşürmüştür. Benzer sonuçlara Gómez-Soberón (2002) ile Majhi vd. (2018) tarafından geri dönüştürülmüş agrega kullanımının araştırıldığı çalışmalar ile de ulaşılmıştır. Mesgari vd. (2020) de benzer şekilde geri dönüştürülmüş geopolimer agregalarının farklı oranlarında kullanımının betonun mühendislik özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre bazalt agrega yerine %20 oranında geri dönüştürülmüş geopolimer agrega kullanımı basınç dayanım değerinde %14 oranında düşüğe neden olurken %50 ikame oranı ile dayanım değerinde %33'lük bir azalma görülmüştür. Bazalt lif oranındaki değişimin basınç dayanım değerleri üzerindeki etkisi incelendiğinde ise yalnızca GDA-100 karışımı için lif yüzdesinin artışına bağlı olarak dayanım değerlerinde sürekli bir düşüş eğilimi görülmüştür. Bu durum yüksek GDA ikame oranı ile birlikte bazalt lif varlığının harç bünyesinde meydana getirdiği boşluk dağılımı ve yapısı ile ortaya çıkmıştır. BL eklenmesi, GDA agregasının meydana getirdiği zayıf ara yüzey geçiş bölgesinin artmasına neden olarak dayanım gelişimini olumsuz etkileyebilmektedir. BL kullanımı kompozit malzemenin iç gözenek yapısını iyileştirerek mikro çatlak gelişimini engellemektedir. Bununla birlikte yüksek oranlarda kullanımı ise bir bölgede toplanma (aglomerasyon) sonucunda harcın akışkanlığını ve sıkıştırılabilir performansını azaltarak dayanım değerlerinde düşüklere neden olmaktadır. Bu çalışma neticesinde elde edilen basınç dayanım sonuçları irdelendiğinde de %0.4 oranının

üzerinde lif kullanımının tüm karışımlarda elde edilen değerleri düşürdüğü görülmüştür. GDA-50 için, kontrol karışımı ile kıyaslandığında %0.2, %0.4 ve %0.6 oranlarında bazalt lifi kullanımı basınç dayanım değerlerini sırasıyla %44, %41 ve %42.5 oranlarında düşürmüştür. Tamamen GDA ile üretilen karışımlarda ise belirtilen lif oranları basınç dayanım değerlerinde sırasıyla %4, %6 ve %15 oranlarında düşüşe neden olurken geri dönüşüm agregasız karışımlarda %0.2 ve %0.4 bazalt lif oranı için sırasıyla %8 ve %4 oranlarında artış %0.6 için ise %2 oranında azalış görülmüştür. Ulaşılan basınç dayanım değerleri 16.7 MPa ile 57.27 MPa arasında değişirken en yüksek dayanım değerine %0.2 bazalt lif oranı için %0 GDA ikamesi ile ulaşılmıştır. Zheng vd. (2022) tarafından bazalt lifin geri dönüştürülmüş agrega ile kullanımının beton yapılarıdaki etkisinin incelendiği çalışma ile de benzer sonuçlara ulaşılmıştır.

3.4. Eğilme Dayanımı

Eğilme dayanımı yapısal performansı gösteren diğer bir önemli özelliktir. Çalışma kapsamında geri dönüştürülmüş agrega ve bazalt lif kullanımının üretilen numunelerin eğilme dayanımı değerleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu deneyden elde edilen sonuçlar Şekil 6'da görülmektedir. En yüksek eğilme dayanım değerlerine lif kullanım oranından bağımsız olarak GDA-0 karışımı ile ulaşıırken GDA-50 ile GDA-100 karışımlarında özellikle yüksek bazalt lif oranları için oldukça yakın değerler elde edilmiştir. Lif eklenmeyen karışımlar için kontrol karışımı ile kıyaslandığında %50 ve %100 oranlarında GDA kullanımı sırasıyla %36 ve %44 oranlarında eğilme dayanımı değerlerini düşürmüştür. GDA



Şekil 6. Hazırlanan karışımlar için eğilme dayanım değerleri.

oranının artışına bağlı olarak meydana gelen eğilme dayanımı değerlerindeki düşüş GDA yüzeylerinde bulunan eski harç ile oluşturulan yeni harç arasındaki zayıf bağlantıdan kaynaklanmaktadır. Bairagi vd. (1993) tarafından gerçekleştirilen çalışmada %25 ile %50 arasında GDA kullanımının eğilme dayanım değerlerini %6-13 arasında düşürdüğü belirlenmiştir. Mesgari vd. (2020) portland çimentolu beton üzerinde gerçekleştirdikleri çalışmalarında %20 oranında geri dönüştürülmüş geopolimer agregası kullanımının %3.4, %100 oranında agregası ikamesinin ise %21 oranında eğilme dayanım sonuçlarını düşürdüğünü belirlemişlerdir.

Bazalt lif kullanımının etkisi incelendiğinde geri dönüştürülmüş agreganın kullanılmadığı kontrol numunesinde lif yüzdesinin artışına bağlı olarak eğilme dayanım değerlerinde artış görülmüştür. GDA-0 için lif içermeyen karışım ile kıyaslandığında %0.2, %0.4 ve %0.6 oranlarında bazalt lifi kullanımı eğilme dayanım değerlerini sırasıyla %1 %2.2 ve %2.3 oranlarında arttırmıştır. %50 oranında geri dönüştürülmüş agregası kullanılması durumunda ise %0.2 bazalt lif eklenmesi eğilme dayanımını %4.5 oranında arttırırken bu oranın üzerindeki %0.4 ve %0.6 oranları için dayanım değerlerinde sırasıyla %12 ve %22 oranlarında düşüş görülmüştür. GDA-100 için ise %0.2 ve %0.4 oranlarında bazalt lifi kullanımı eğilme dayanım değerlerini sırasıyla %5 ve %3 oranlarında arttırırken %0.6 lif eklenmesi %13 oranında azaltmıştır. Yüksek oranlarda geri dönüştürülmüş geopolimer agregası kullanımının: belirli bir orandan sonra bazalt lifin eğilme dayanımı üzerindeki olumlu etkisini tersine çevirdiği görülmüştür. Ulaşılan eğilme dayanımı değerleri 4.05-8.52 MPa arasında olup en yüksek değere %0 GDA

ikamesi ve %0.6 bazalt lif oranı ile ulaşılmıştır.

3.5. Su Emme

Sertleşmiş harç numuneleri üzerinde gerçekleştirilen su emme deneyi sonucunda elde edilen değerlere Şekil 7'de yer verilmiştir. Görüldüğü gibi dere kumu ile kıyaslandığında daha boşluklu ve kusurlu bir yapıya sahip olan GDA yüzdesinin artmasına bağlı olarak bazalt lif kullanımından bağımsız olarak su emme (%) değerlerinde belirgin şekilde artış olmuştur. Lifsiz üretilen karışımlarda, kontrol karışımı ile kıyaslandığında %50 ve %100 oranlarında GDA kullanımı sırasıyla %70 ve %140 oranlarında su emme değerlerini arttırmıştır. Elde edilen bu sonuç, yüksek su emme değerine sahip GDAsının bünyesinde bulunan boşluklar ile ilişkilendirilebilmektedir. Çakır (2014) tarafından gerçekleştirilen çalışma ile de geri dönüştürülmüş agregası kullanımının su emme değerleri üzerindeki artırıcı etkisi incelenmiştir. Aynı GDA oranı için bazalt lif etkisi incelendiğinde ise %0.2 oranının üzerinde bazalt lif kullanımı su emme değerlerinde artışa neden olmuştur. Bu durum numune bünyesinde bulunan liflerin dağılım şekli ile ilişkilidir. Koksall (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmada benzer şekilde bazalt lif kullanımının harç numunelerinin su emme değerleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Elde ettikleri verilere göre %0.4 miktarının üzerinde bazalt lif eklenmesi harçların su emme değerlerinde artış ile sonuçlanmıştır.

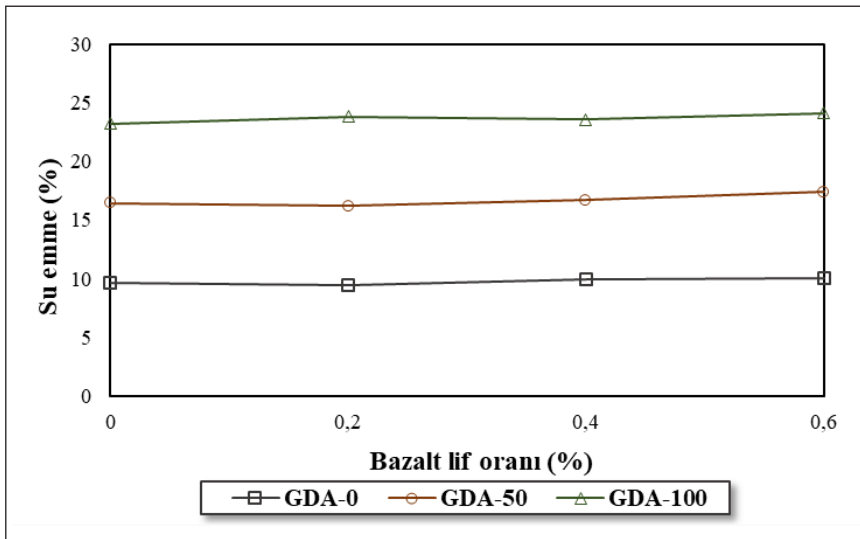
GDA-0 için, lif içermeyen karışım ile kıyaslandığında %0.2 oranında bazalt lifi kullanımı su emme değerini %2 oranında azaltırken %0.4 ve %0.6 oranları su emme değerlerini sırasıyla %3 ve %3.5 oranlarında arttırmıştır. GDA-50

için de benzer bir eğilim görülerek %0.2 bazalt lif kullanımı ile %1.5 oranında azalış %0.4 ve %0.6 oranları için ise su emme sonuçlarında %1 ve %6 oranlarında artış görülmüştür. GDA-100 için ise lifsiz duruma göre %0.2, %0.4 ve %0.6 oranlarında bazalt lifi kullanımı su emme değerlerini sırasıyla %2.5 %1.5 ve %4 oranlarında arttırmıştır.

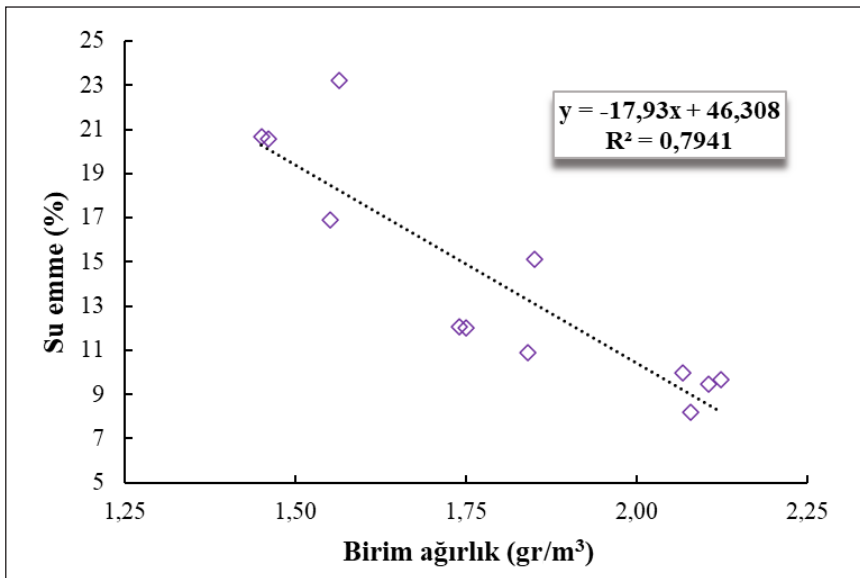
Şekil 8'de sertleşmiş harç numunelerinin kuru birim ağırlık değerleri ile su emme değerleri arasındaki ilişki verilmiştir. Bu çalışma kapsamında elde edilen birim ağırlık ve su emme değerleri arasındaki bağlantıyı gösteren $0.794 R^2$ determinasyon katsayısına sahip bir denklem elde edilmiştir. Belirtilen her iki parametre için elde edilen sonuçlar numune bünyesinde bulunan boşluk oranı ile orantılıdır. Boşluk miktarının artmasına bağlı olarak birim ağırlık değerlerinde

azalma beklenirken su emme değerlerinde artış beklenmektedir. Verilen şekilde de iki parametre arasında beklenen bu ters ilişki görülmektedir.

Üretilen sertleşmiş kuru numuneler üzerinde gerçekleştirilen basınç dayanımı (MPa) ve su emme (%) deney sonuçlarından elde edilen veriler arasındaki ilişki de incelenmiştir (Şekil 9). İncelenen her iki parametre de malzeme yapısında bulunan boşluk miktarı ile orantılı olduğunda aralarındaki ilişkinin kurulabilmesi beklenmektedir. Bu çalışma kapsamında elde edilen basınç dayanımı ve su emme değerleri arasındaki bağlantıyı gösteren $0.919 R^2$ determinasyon katsayısına sahip bir denklem elde edilmiştir. Basınç dayanımı sonuçlarında artış, su emme değerlerinde azalma ile paralellik göstermiştir. Elde edilen numunelerin su emme değer-



Şekil 7. Hazırlanan karışımlar için su emme değerleri.



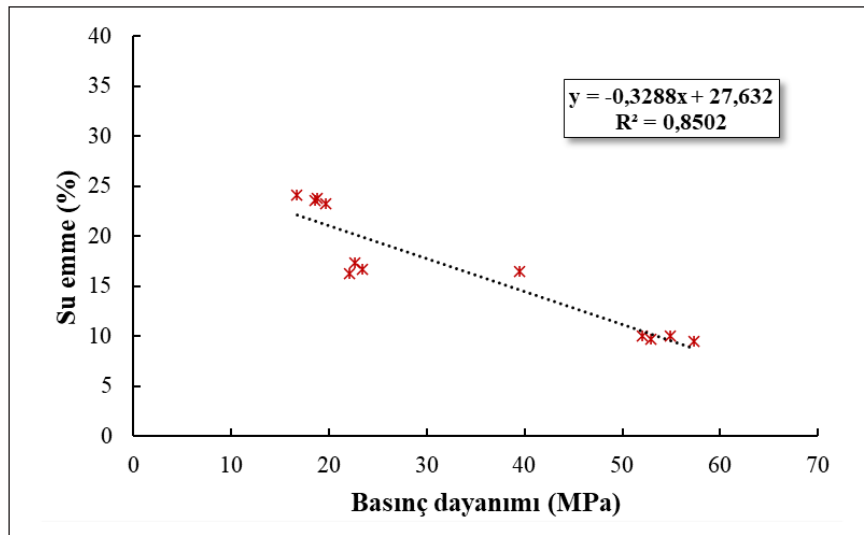
Şekil 8. Birim ağırlık değerleri ile su emme değerleri arasındaki ilişki.

leri %9.47 ile %24.10 arasında değişirken basınç dayanımı değerleri 16.70 MPa ile 57.27 MPa arasında değişkenlik göstermiştir.

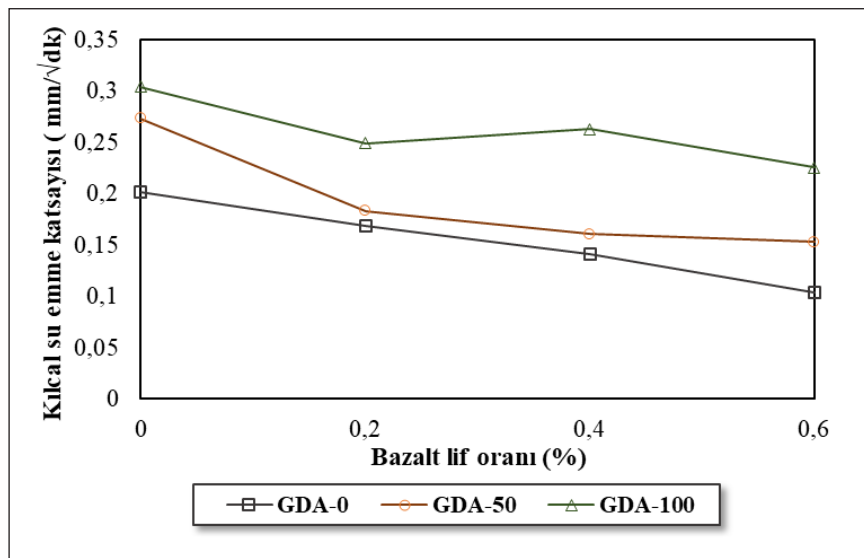
3.6. Kılcal Su Emme

Sertleşmiş numuneler üzerinde gerçekleştirilen kılcal su emme deneyi sonucunda elde edilen kılcallık katsayısı değerleri Şekil 10'da bulunan grafikte gösterilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde GDA oranının artmasına bağlı olarak kılcallık katsayısı değerlerinde artma olduğu görülmüştür. Lif içermeyen karışımlar için, kontrol karışımı ile kıyaslandığında %50 ve %100 oranlarında GDA kullanımı sırasıyla %35.5 ve %51 oranlarında kılcallık katsayısı değerlerini arttırmıştır. GD-100 ile kıyaslandığında, GDA-0 ve GDA-50 karışımları için daha yakın değerler elde edilmiştir. GDA-0

karışımı için bazalt lif oranının artışı kılcallık katsayısında sürekli düşüşe neden olurken diğer GDA ikame oranları için sabit bir eğilim görülemediği. GDA-0 için, lifsiz karışım ile kıyaslandığında %0.2, %0.4 ve %0.6 oranlarında bazalt lifi kullanımı kılcallık katsayısı değerlerini sırasıyla %16, %30 ve %48 oranlarında, GDA-50 için sırasıyla %33, %41 ve %44 oranlarında GDA-100 için ise sırasıyla %18, %13.5 ve %16 oranlarında azaltmıştır. Kılcallık katsayı değerinin birbirleri ile bağlantılı boşluk yapılarının varlığı ile orantılı olduğu bilgisi ışığında, bu durum yüksek GDA ikame oranlarının bu boşluk yapılarında değişiklik meydana getirmesi ile açıklanabilmektedir. En düşük ve en yüksek kılcallık katsayı değerleri olan 0.104 mm^{1/2}/dk ve 0.304 mm^{1/2}/dk sırasıyla 0GDA-0,6BL ve 100GDA-0BL karışımları ile elde edilmiştir.



Şekil 9. Basınç dayanım değerleri ile su emme değerleri arasındaki ilişki.



Şekil 10. Hazırlanan karışımlar için kılcallık katsayısı değerleri.

4. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında GDA kullanılarak bazalt lif içeren harç üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen numuneler üzerinde yayılma çapı, birim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, su emme ve kılcal su emme deneyleri yapılmıştır. Böylece elde edilen harç numunelerinin hem taze hem de sertleşmiş özellikleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

- Üretilen taze karışımlara ait yayılma çapı değerleri 11 cm ile 21.5 cm arasında değişmiştir. Bazalt lif oranının artması ile birlikte tüm agrega ikame oranları için yayılma çapı (cm) değerlerinde düşüş görülürken GDA kullanımının sabit bir etkisi görülmemiştir.
- GDA oranının artışı ile birim ağırlık değerlerinde azalma eğilimi görülmüştür. Lif oranının artmasına bağlı olarak genel olarak birim ağırlık artışı görülmüştür.
- Tüm karışımlar için %0.4 oranının üzerinde bazalt lif kullanımı basınç dayanımı değerlerinde düşüşe neden olmuştur. GDA yüzdesindeki artış da yine basınç dayanım değerlerini düşürmüştür. En yüksek basınç dayanım değerine %0.2 bazalt lif oranı için %0 GDA ikamesi ile ulaşılmıştır.
- Ulaşılan birim ağırlık ile su emme (%) sonuçları arasında 0.794 R² determinasyon katsayısına sahip ters ilişki bulunmuştur.
- Elde edilen basınç dayanımı (MPa) ve su emme (%) değerleri arasında yüksek bir ilişki olduğu görülmüştür.
- GDA kullanımı eğilme dayanım değerlerini düşürmüştür. Lifin eğilme dayanım değerleri üzerindeki olumlu etkisi ise yüksek oranlarda GDA kullanımı ile tersine dönmüştür. Ulaşılan eğilme dayanımı değerleri 4.05 MPa ile 8.52 MPa arasında olup en yüksek değere %0 GDA ikamesi ve %0,6 bazalt lif oranına sahip numune ile ulaşılmıştır.
- GDA oranının artması su emme (%) değerlerinde artış ile sonuçlanmıştır. Lif eklenmesinin su emme değerleri üzerindeki etkisi ise değişiklik göstermiştir.
- GDA oranının artmasına bağlı olarak kılcallık katsayısı değerlerinde artma olduğu görülmüştür. En düşük ve en yüksek kılcallık katsayı değerleri olan 0.104 mm/ \sqrt{dk} ve 0.304 mm/ \sqrt{dk} sırasıyla 0GDA-0.6BL ve 100GDA-0BL karışımları ile elde edilmiştir. Tüm agrega oranları için bazalt lif miktarının artması sonucunda kılcallık katsayılarında azalma görülmüştür. En yüksek azalma

değerine GDA-0 karışımında 0.6 bazalt lif oranı ile ulaşılmıştır.

Yapılan çalışmalar neticesinde Portland çimentolu yapı malzemeleri ile kıyaslandığında geopolimer kompozit yapıların daha üstün mekanik ve dayanıklılık özellikler gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca üretiminin çimento kullanımı içermemesi, atık malzemeler ile gerçekleştirilmesi gibi avantajlar sunması geopolimer yapıların uygulama sahasının daha fazla genişletilmesi açısından oldukça önemsenmektedir. Yapılan yoğun çalışmalar ışığında gelecekte geopolimer yapıların daha fazla kullanım alanına sahip olacağı beklentisi ile atık olarak ortaya çıkarılabileceği problemlerin de önemsenmesi gerekmektedir. Gelecekte bu çalışma geliştirilerek farklı yapı kompozitlerinin üretilmesi ve dayanıklılık problemlerinin de incelenmesi hedeflenmektedir.

Kaynaklar

- Akbarnezhad, A., Huan, M., Mesgari, S., Castel, A. 2015.** Recycling of geopolymer concrete. *Constr. Build. Mater.*, 101, pp. 152-158.
- ASTM C1437, 2015.** Standard test method for flow of hydraulic cement mortar, 10.1520/C1437-15.
- ASTM C33/C33M, 2018.** Standard specification for concrete aggregates.
- ASTM, C109/109M, 2016.** Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2-in. or [50-mm] cube specimens). *Annual Book of ASTM Standards*, 4.
- ASTM, C1585, 2013.** Standard test method for measurement of rate of absorption of water by Hydraulic-, ASTM Int, 4-9.
- ASTM, C348, 2010.** Standard test method for flexural strength of concrete (using simple beam with third-point loading). In *American Society for Testing and Materials*, 100: 19428-2959.
- ASTM, C642, 2013.** Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete. *ASTM International*, West Conshohocken, PA, 2013.
- Bairagi, NK., Ravande, K., Pareek, VK. 1993.** Behaviour of concrete with different proportions of natural and RAs. *Resour. Conserv. Recycl.*, 9 (1-2): 09-126.
- Banthia, N., Chokri, K., Ohama, Y., Mindess, S. 1994.** Fiber-reinforced cement based composites under tensile impact. *Advanced Cement Based Materials*, 1(3), 131-141.
- Banthia, N., Majdzadeh, F., Wu, J., Bindiganavile, V. 2014.** Fiber synergy in Hybrid Fiber Reinforced Concrete (HyFRC) in flexure and direct shear. *Cement and Concrete Composites*, 48, 91-97.
- Bentur, A., Mindess, S. 2006.** Fibre reinforced cementitious composites. *Crc Press*.

- Çakır, O. 2014.** Experimental analysis of properties of recycled coarse aggregate (rca) concrete with mineral additives. *Constr. Build. Mater.*, 68, 17–25.
- Çavdar, A. 2014.** Investigation of freeze–thaw effects on mechanical properties of fiber reinforced cement mortars. *Composites Part B: Engineering*, 58, 463–472.
- Bilgen, G. 2020.** Geri dönüştürülmüş beton agregasının düşük plastisiteli bir kilin mekanik özelliklerine etkisi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(3), 1714–1719.
- Bilgen, G., Altuntas, O. F. 2023.** Sustainable re-use of waste glass, cement and lime treated dredged material as pavement material. *Case Studies in Construction Materials*, 18, e01815.
- Das, SK., Mustakim, SM., Adesina, A., Mishra, J., Alomayri, TS., Assaedi, HS., Kaze, CR. 2020.** Fresh, strength and microstructure properties of geopolymer concrete incorporating lime and silica fume as replacement of fly ash. *Journal of Building Engineering*, 32, 101780.
- Davidovits, J. 1994.** Properties of geopolymer cements, in: First international conference on alkaline cements and concretes. KIEV, Ukraine, pp. 131–149.
- De Azevedo, AR., Costa, AM., Cecchin, D., Pereira, CR., Marvila, MT., Adesina, A. 2022.** Adesina, economic potential comparative of reusing different industrial solid wastes in cementitious composites: a case study in Brazil. *Environment. Development and Sustainability*, pp. 1–24.
- Gharzouni, A., Vidal, L., Essaidi, N., Joussein, E., Rossignol, S. 2016.** Recycling of geopolymer waste: Influence on geopolymer formation and mechanical properties. *Materials and Design*, 94, 221–229.
- Gómez-Soberón, JM. 2002.** Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate: an experimental study. *Cem. Concr. Res.*, 32 (8), 1301–1311.
- Grdic, ZJ., Curcic, GAT., Ristic, NS., Despotovic, IM. 2012.** Abrasion resistance of concrete micro-reinforced with polypropylene fibers. *Construction and Building Materials*, 27(1), 305–312.
- Hansen, TC., Narud, H. 1983.** Henrik, strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate. *Concr. Int.*, 5 (1), 79–83.
- Hardjito, D., Wallah, SE., Sumajouw, DM., Rangan, BV. 2004.** On The development of fly ash-based geopolymer concrete. *ACI Mater. J.*, 101 (6), 467–472.
- Islam, R., Nazifa, TH., Yuniarto, A., Uddin, AS., Salmiati, S., Shahid, S. 2019.** An empirical study of construction and demolition waste generation and Implication of Recycling. *Waste Manag.*, 95, 10–21.
- Iucolano, F., Liguori, B., Caputo, D., Colangelo, F., Cioffi, R. 2013.** Recycled plastic aggregate in mortars composition: Effect on physical and mechanical properties. *Materials and Design*, 52, 916–922.
- Katz, A. 2003.** Properties of concrete made with ra from partially hydrated old concrete. *Cem. Concr. Res.*, 33, 703–711.
- Kaya, M. 2021.** Kaolin esaslı geopolimer harçlarda silis dumanı ve mikro SiO₂ katkısının dayanım özellikleri üzerine etkisi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(2), 640–647.
- Kaya, M. 2022.** Effect of steel fiber additive on high temperature resistance in geopolymer mortars. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 46(3), 1949–1967.
- Koksal, F., Kocabeyoglu, ET., Gencel, O., Benli, A. 2021.** The effects of high temperature and cooling regimes on the mechanical and durability properties of basalt fiber reinforced mortars with silica fume. *Cement and Concrete Composites*, 121, 104107.
- Liu, X., Jiang, J., Zhang, H., Li, M., Wu, Y., Guo, L., ..., Zhang, Z. 2020.** Thermal stability and microstructure of metakaolin-based geopolymer blended with rice husk ash. *Applied Clay Science*, 196, 105769.
- Luga, E., Atis, CD. 2018.** Optimization of heat cured fy ash/slag blend geopolymer mortars designed by “Combined Design” method: Part 1. *Construction and Building Materials*, 178, 393–404.
- Ma, JX., Zhang, M., Zhao, G. 2013.** Experimental research on basalt fiber reinforced cementitious composites. In *Applied mechanics and materials*, Vol. 253, pp. 533–536.
- Majhi, RK., Nayak, AN., Mukharjee, BB. 2018.** Development of sustainable concrete using recycled coarse aggregate and ground granulated blast furnace slag. *Constr. Build. Mater.* 159, 417–430.
- Mallat, A., Alliche, A. 2011.** Mechanical investigation of two fiber-reinforced repair mortars and the repaired system. *Construction and building materials*, 25(4), 1587–1595.
- Martín-Morales, M., Zamorano, M., Ruiz-Moyano, A., Valverde-Espinosa, I. 2011.** Characterization of ras construction and demolition waste for concrete production following the spanish structural concrete code ehe-08. *Constr. Build. Mater.*, 25 (2): 742–748.
- Mehrjardi, GT., Azizi, A., Haji-Azizi, A., Asdollahfardi, G. 2020.** Evaluating and improving the construction and demolition waste technical properties to use in road construction. *Transport. Geotech.*, 23, 100349.

- Mesgari, S., Akbarnezhad, A., Xiao, J. Z. 2020.** Recycled geopolymer aggregates as coarse aggregates for portland cement concrete and geopolymer concrete: effects on mechanical properties. *Constr. Build. Mater.*, 236.
- Nagataki, S., Gokce, A., Saeki, T., Hisada, M. 2004.** Hisada, assessment of recycling process induced damage sensitivity of recycled concrete aggregates. *Cem. Concr. Res.*, 34 (6), 965–971.
- Park, J., Tucker, R. 2017.** Overcoming barriers to the reuse of construction waste material in australia: a review of the literature. *Int. J. Construct. Manag.*, 17, 228–237.
- Parviz, S. 2012.** Strength and durability of rac containing milled glass as partial replacement for cement. *Constr. Build. Mater.*, 29, 368–377.
- Rao, SM., Acharya, IP. 2014.** Synthesis and characterization of fly ash geopolymer sand. *Journal of materials in civil engineering*, 26(5), 912–917.
- Rangan, BV. 2009.** Engineering properties of geopolymer concrete. *Geopolymers: Structure, Processing, Properties and Industrial Applications*, p. 211–226.
- Ryu, GS., Lee, YB., Koh, KT., Chung, YS. 2013.** The mechanical properties of fly ash-based geopolymer concrete with alkaline activators. *Constr. Build. Mater.*, 47, 409–418.
- Sadrumontazi, A., Tahmouresi, B., Saradar, A. 2018.** Effects of silica fume on mechanical strength and microstructure of basalt fiber reinforced cementitious composites (BFRCC). *Construction and Building Materials*, 162, 321–333.
- Sarker, PK., Kelly, S., Yao, Z. 2014.** Effect of fire exposure on cracking, spalling and residual strength of fly ash geopolymer concrete. *Mater. Des.*, 63, 584–592.
- Shariati, M., Ramli Sulong, NH., Sinaei, H., Arabnejad Khanouki, MM., Shafiqh, P. 2011.** Behavior of channel shear connectors in normal and light weight aggregate concrete (experimental and analytical study). *Adv. Mater. Res.*, 168, 2303–2307.
- Spadea, S., Farina, I., Carrafiello, A., Fraternali, F. 2015.** Recycled nylon fibers as cement mortar reinforcement. *Construction and Building Materials*, 80, 200–209.
- Suryawanshi, SR., Singh, B., Bhargava, P. 2015.** Characterization of rac, advances in structural engineering. Springer, India, pp. 1813–1822.
- Tang, Z., Li, W., Ke, G., Zhou, JL., Tam, VW. 2019.** Sulfate attack resistance of sustainable concrete incorporating various industrial solid wastes. *J. Clean. Prod.*, 218, 810–822.
- Toghroli, A., Shariati, M., Sajedi, F., Ibrahim, Z., Koting, S., Mohamad, ET., Khorami, MA. 2018.** A Review on pavement porous concrete using recycled waste materials. *Smart Struct. Syst.*, 22, 433–440.
- Zanotti, C., Bantia, N., Plizzari, G. 2014.** A study of some factors affecting bond in cementitious fiber reinforced repairs. *Cement and Concrete Research*, 63, 117–126.
- Zhang, C., Ali, A., Sun, L. 2021.** Investigation on low-cost friction-based isolation systems for masonry building structures: experimental and numerical studies. *Eng. Struct.*, 243, 112645.
- Zhang, J., Yao, Z., Wang, K., Wang, F., Jiang, H., Liang, M., Wei J., Airey, G. 2020.** Sustainable utilization of bauxite residue (red mud) as a road material in pavements: a critical review. *Construct. Build. Mater.*, 121419.
- Zheng, Y., Zhuo, J., Zhang, P., Ma, M. 2022.** Mechanical properties and meso-microscopic mechanism of basalt fiber-reinforced recycled aggregate concrete. *Journal of Cleaner Production*, 370, 133555.
- Zhou, K., Gong, K., Zhou, Q., Zhao, S., Guo, H., Qian, X. 2020.** Estimating the feasibility of using industrial solid wastes as raw material for polyurethane composites with low fire hazards. *J. Clean. Prod.*, 257, 120606.
- Zhu, P., Hua, M., Liu, H., Wang, X., Chen, C. 2020.** Interfacial evaluation of geopolymer mortar prepared with recycled geopolymer fine aggregates. *Construction and Building Materials*, 259, 119849.



The Interpretation of the Apparent Motion of the Sun Through the Spherical Spiral

Küresel Spiral Aracılığıyla Güneşin Görünürdeki Hareketinin Yorumlanması

Deniz Güçler* , Nejat Ekmekçi 

Ankara University, Faculty of Science, Department of Mathematics, Ankara, Türkiye

Abstract

This paper shows that the apparent motion of the Sun traces a spherical spiral in a limited section of the sphere. The rotation operator that produces the curve is in turn produced by a quaternion. The way the components of the quaternion correspond to the daily apparent motion of the Sun is shown. To achieve this, first, the spherical spiral formula is obtained using quaternions. It is known that the spherical spiral is a locus of a point P moving at constant angular speed ω along the meridian of a sphere while also rotating at constant angular speed $c\omega$ around the polar axis where $c > 2$. Therefore, two rotations occur at the same time, and for each rotation, a quaternion can be defined. The directions of these quaternions form a 90° angle with each other. In this paper, it is shown that if this angle was $23^\circ 27'$ then the curve that would form would coincide with the apparent motion of the Sun. The product of these quaternions gives the quaternion which produces the rotation operator that forms this curve. Afterward, it is shown that the quaternion rotation angle converted in time units displays the time the Sun needs to move from one point to another. On the other hand, the rotational axis for small angles is the same as the axis of the equatorial plane. The importance of this work is twofold: it gives the science of astronomy a new perspective regarding the interpretation of the apparent motion of the Sun, and at the same time it is an important example of a work that shows the convenience that the use of quaternions brings to other fields of science.

Keywords: Spherical spiral, quaternions, apparent motion of the sun, rotational motion

Öz

Bu makale, Güneş'in, günlük ve yıllık görünürdeki hareketlerinin birleşimi ile, kürenin sınırlı bir kesitinde bir spiral çizdiğini göstermektedir. Eğriyi oluşturan dönme operatörü bir kuaterniyon tarafından üretilmiştir. Kuaterniyon bileşenlerinin, Güneş'in günlük hareketine ne şekilde karşılık geldikleri gösterilmiştir. Bunun için öncelikle kuaterniyonlar yardımıyla küresel spiralin formülü elde edilmiştir. Küresel spiralin, bir kürenin meridyeni boyunca sabit ω açısal hızıyla hareket ederken aynı zamanda, $c > 2$ olmak üzere, kutup eksenini etrafında $c\omega$ açısal hızıyla dönen bir P noktasının yeri olduğunu göz önünde bulundurarak, her dönme hareketi için bir kuaterniyon tanımlanmıştır. Bu kuaterniyonların yönleri birbirleriyle 90° açı oluşturur. Bu açı $23^\circ 27'$ olsaydı, oluşacak eğri Güneş'in görünürdeki hareketiyle çakışırdı. Bu kuaterniyonların çarpımı, bu eğriyi oluşturan, dönme operatörünü üreten kuaterniyonu verir. Zaman birimine dönüştürülen kuaterniyonun dönüş açısı, Güneş'in bir noktadan diğerine hareket etmesi için gereken süreyi verir. Küçük açılar için dönme eksenini, ekvator düzleminin eksenini ile aynıdır. Bu çalışmanın önemi iki yönlüdür; Astronomi bilimine, Güneş'in görünürdeki hareketinin yorumlanmasında yeni bir bakış açısı kazandırıyor olması, ve aynı zamanda kuaterniyonların kullanımının, bilimin diğer alanlarına getirdiği kolaylığa önemli bir örnek sunmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Küresel spiral, kuaterniyonlar, güneş'in görünürdeki hareketi, dönme hareketi


1. Introduction


It is known that a spherical spiral is a locus of a point P moving at constant angular speed ω along the meridian of

a sphere while also rotating at constant angular speed $c\omega$ around the polar axis, where $c > 2$. This means that a point P that is located in the sphere with radius $r = 1$ and with center O in a coordinate system XYZ moves with a constant angular velocity ω across the great circle which passes through points P and $(0,0,1)$. Additionally, at the same time point P also moves parallel to plane XY with a constant angular velocity $c\omega$.

A body performs a circular motion around an axis called the rotation axis. Point P makes two circular motions simulta-

*Corresponding author: deniz.gucler@yahoo.com

Deniz Güçler  orcid.org/0000-0003-0376-0294

Nejat Ekmekçi  orcid.org/0000-0003-1246-2395



neously that each have a rotational axis. As a result, a spherical spiral is drawn. The first rotational motion of point P has as a rotational axis, axis Y. The second rotational motion of this point has as a rotational axis, axis Z. Between these two axes a 90° angle is found.

At this point three questions come to mind: If the angle between these two rotational axes is different from 90° will the curve that forms still be considered a spherical spiral? Is there an equivalent motion in nature? If there is, how can it be interpreted?

The purpose of this paper is to answer the above-mentioned questions. To achieve this, the author has benefited from references (Altman 1986; Delphenich 2012; Hacısalihoğlu 1983; Kuipers 1975; Kuipers 1998; Griffin 2017; Dong et al. 2020) to present and understand the rotation operators that are produced by quaternions and which will be used to express the rotation motions of point P. The author has benefited from references (Karaali 1985; Kızılırmak 1977; Kummer 1996; Lowenstein 2012; Motz and Duveen 1966; Woolard and Clemence 1966), to present the problem and the apparent motion of the Sun. The information needed for the understanding of spherical spirals is found in reference (Fisher and Ziebur 1965). A previous paper has been published on the method of defining the apparent motion of the Sun with the help of quaternions. This paper, which is found in reference (Güçler et al. 2022) is used as an example of a motion in nature of the type that was mentioned above. Afterward, the required interpretation has been done.

The main idea that gave rise to this paper was first presented at the 19th International Geometry Symposium by the authors of this paper (Güçler and Ekmekci 2022).

2. Preliminaries

In this paper, rotational operators produced by quaternions have been used to calculate the rotation sequences and express the rotation motions. For this reason, basic knowledge has been provided below about quaternions and the rotation operators produced by them.

A quaternion is a hyper-complex number of rank 4. The most important rule of this invention of Hamilton is:

$$i^2 = j^2 = k^2 = ijk = -1 \tag{1}$$

i, j, and k are the components of the vector part of the quaternion and they will be used to represent the standard orthogonal base of R^3 .

The quaternion can be thought of as a quadruple of real numbers. This makes it an element of R^4 . Accordingly, quaternion m can be expressed as below where m_0, m_1, m_2 and m_3 are each a real number.

$$m = m_0 + \alpha = m_0 + im_1 + jm_2 + km_3, \alpha = im_1 + jm_2 + km_3 \tag{2}$$

where m_0 is the scalar part and α is the vector part.

Multiplication of quaternions is done according to the following rule.

$$i_2 = j_2 = k_2 = ijk = -1 \text{ ve } ij = k = -ji, jk = i = -kj, ki = j = -ij \tag{3}$$

For $m = m_0 + \alpha_m = m_0 + im_1 + jm_2 + km_3$ and $n = n_0 + \alpha_n = n_0 + in_1 + jn_2 + kn_3$

$$m \times n = (m_0 + im_1 + jm_2 + km_3) \times (n_0 + in_1 + jn_2 + kn_3) \tag{4}$$

$$m \times n = m_0 n_0 - \langle \alpha_m, \alpha_n \rangle + m_0 \alpha_n + n_0 \alpha_m + \alpha_m \wedge \alpha_n \tag{5}$$

" \langle, \rangle " represents the scalar product of vectors, and \wedge represents the cross product of vectors.

The complex conjugant of $m = m_0 + im_1 + jm_2 + km_3$ is $m^* = m_0 - im_1 - jm_2 - km_3$

Definition: The quaternion whose scalar part is zero is called a pure quaternion.

The unit quaternion $m = m_0 + \alpha$ satisfies the following equality $m_0^2 + |\alpha|^2 = 1$.

The quaternion that will be used as a rotation operator is:

$$m = m_0 + \alpha = \cos \phi + u \sin \phi \text{ and } m^* = m_0 - \alpha = \cos \phi - u \sin \phi \tag{6}$$

where $u = \alpha / |\alpha| = \alpha / \sin \phi$

Theorem 1: For any $q = q_0 + \mathbf{q} = \cos \phi + u \sin \phi$ unit quaternion (where q_0 is the scalar part and \mathbf{q} is the vector part of the quaternion) and for any vector $v \in R^3$ the action of the operator

$$L_q(v) = q \times v \times q^*$$

on v may be interpreted geometrically as a rotation of the vector v through an angle 2ϕ about \mathbf{q} as the axis of the rotation. According to Kuipers (1998).

Theorem 2: Suppose that q and p are unit quaternions that define the quaternion rotation operators:

$$L_q(u) = q \times u \times q^* \text{ and } L_p(v) = p \times v \times p^*$$

Then the quaternion product $p \times q$ defines a quaternion operator L_{pq} which represents a sequence of operators, L_q followed by L_p . The axis and the angles of rotation are those

represented by the quaternion product, $r = p \times q$. According to Kuipers (1998).

Information must be provided on the apparent motion of the Sun as well. For this reason, the apparent yearly and daily motion of the Sun have been introduced below.

As it is known, the Earth rotates every day in a positive direction around its axis and parallel to the equatorial plane. This motion is reflected to an observer on Earth, as the apparent motion of the Sun, occurring in the negative direction.

It is also known that the Earth rotates every year around the Sun in the positive direction, in an elliptic orbit found in the ecliptic plane. However, this motion appears to an observer on Earth, as if it was the Sun moving around the Earth during the year in a positive direction (Figure 1). The ecliptic plane intersects with the celestial equatorial plane and creates an angle. According to Karaali (1985).

Definition 2.1: The coordinate system defined by taking the celestial equator as the fixed plane, taking O& as the fixed line, and taking the center of the celestial sphere as the fixed point, is called the Celestial Equatorial Coordinate System.

3. The Interpretation of the Apparent Motion of the Sun Through the Spherical Spiral

As stated before, a spherical spiral is a locus of a point P moving at constant angular speed P along the meridian of a sphere while also rotating at constant angular speed ω around the polar axis, where \cdot . Because there exists a direct proportion between the velocities and the angles, point P will accordingly trace angles θ and $c\theta$. Hereafter, it will be

accepted that the motion will occur in a sphere with a radius $r = 1$.

Now let us determine the quaternions that will generate rotational operators that will perform each rotational motion. Since the first rotation takes place in the XZ plane in the positive direction with an angle θ , the direction of the quaternion used in the rotation operator is the same as the direction of the rotation axis, meaning $u_1 = j$. In this case, the quaternion generating the first operator, according to Theorem 1 is:

$$K_1 = \cos \theta/2 + j \sin \theta/2 \tag{7}$$

Since the second rotation takes place in the XY plane in the positive direction with an angle of $c\theta$, the direction of the quaternion used in the rotation operator is the same as the direction of the rotation axis, meaning $u_2 = k$. In this case, the quaternion generating the second operator, according to Theorem 1 is:

$$K_2 = \cos (c\theta)/2 + k \sin (c\theta)/2 \tag{8}$$

The result of transferring vector v to the quaternion space is:

$$v = (1, 0, 0) \rightarrow w = 0 + 1i + 0j + 0k = i \tag{9}$$

The vector that is obtained is a pure quaternion. According to Theorem 2:

For $L_{K_1}(w) = K_1 \times w \times K_2^*$, $L_{K_2}(m) = K_2 \times m \times K_2^*$, $m = K_1 \times w \times K_2^*$:

$$L(w) = (K_2 \times K_1) w (K_2 \times K_1)^* \tag{10}$$

If $K_2 \times K_1 = K$ and for $w = i$, $L(w) = K \times i \times K^*$ is shown. In this case:

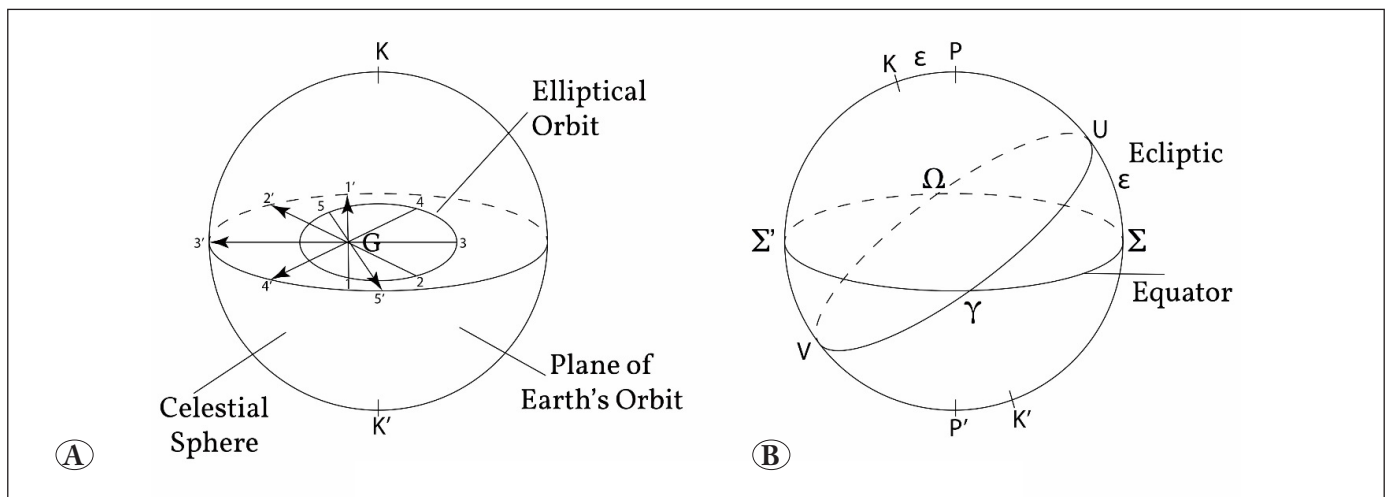


Figure 1. The elliptical orbit made by the actual motion of the Earth (A) the elliptical circle made by the annual motion of the Sun (B).

$$K = (\cos(c\theta)/2 + k \sin(c\theta)/2) \times (\cos \theta/2 + j \sin \theta/2) \quad (11)$$

$$K = \cos(c\theta)/2 \cos \theta/2 - i \sin(c\theta)/2 \sin \theta/2 + j \cos(c\theta)/2 \sin \theta/2 + k \sin(c\theta)/2 \cos \theta/2 \quad (12)$$

Accordingly, when the rotation operator produced by the K quaternion is applied to $w = (i, 0, 0)$, the pure quaternion $W = (W_1, W_2, W_3)$ is obtained as shown below.

$$W = K \times w \times K^* \quad (13)$$

When calculations are made,

$$W_1 = (\cos \theta \cos(c\theta)) i, W_2 = (\sin(c\theta) \cos \theta) j, W_3 = (-\sin \theta) k \quad (14)$$

is found. As a result of transferring pure quaternion W to the vector space, $V = (V_1, V_2, V_3)$ is obtained.

For $c > 2, 0 \leq \theta \leq 2\pi$ where c is constant

$$\begin{cases} V_1 = X = \cos \theta \cos(c\theta) \\ V_2 = Y = \cos \theta \sin(c\theta) \\ V_3 = Z = -\sin \theta \end{cases} \quad (15)$$

is found. This is the parametric equation of the spherical spiral with the radius $r = 1$ (Figure 2).

It has been possible to express the spherical sphere equation with the help of the rotation operators. These operators are produced by the quaternions, the directions of which are found in the axes Y and Z.

But what if the angle between these two rotational axes is different from 90° ? Can the curve that is formed still be considered a spherical spiral? Is there an equivalent motion in nature? If so, how can it be interpreted? To answer these questions, let us examine the apparent daily and yearly motion of the Sun (Figure 3). As seen in Figure 3, the angle between the two rotation axes is different from 90° .

In this paper, it is assumed the apparent motion of the Sun occurs in ideal conditions. So, it will be accepted that the apparent motion of the Sun occurs in a circular orbit with a constant angular velocity in the ecliptic plane.

Now let plane E represent the elliptic plane while plane XY represents the plane of the celestial equator, and angle $\epsilon = 23^\circ 27'$ represents the angle which is the angle that is formed from the intersection of the celestial equatorial plane and the ecliptic plane (Figure 3). In this case, point represents $(0, 0, 0)$ the Earth. In addition, the positive direction of axis X will represent the Aries constellation.

Let Q_1 be the quaternion that will realize the motion in the positive direction around axis N. Let Q_1^* be the quaternion

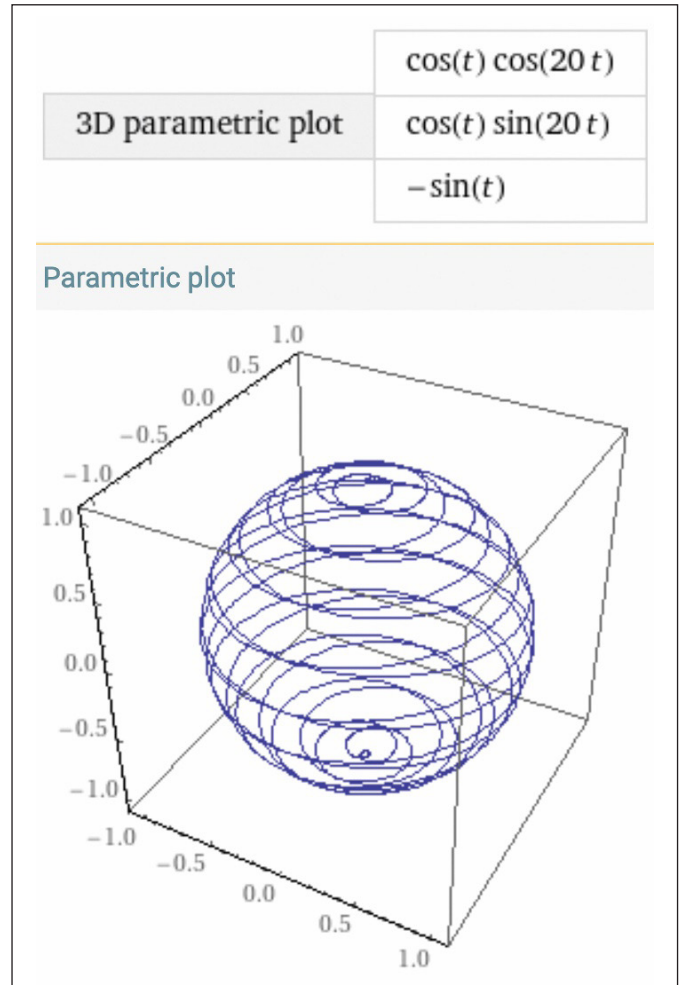


Figure 2. Spherical Spiral, $c = 20$

that will realize the motion in the negative direction around axis Z. The starting point of the motion is $P = (1, 0, 0)$ which coincides with the Aries constellation. The vector OP that is found in the direction of the Earth-Aries constellation is $v = (1, 0, 0)$. First, let this vector be transferred to the quaternion space so:

$$v = (1, 0, 0) \text{ vector} \rightarrow \omega = 0 + i + 0j + 0k = i \quad (16)$$

corresponds to a pure quaternion. The first rotation motion will be realized around axis $u = -j \sin \epsilon + k \cos \epsilon$ with θ angle. The second rotation motion will be realized around axis k with a $(c\theta)$ angle in a negative direction. In this case, the Q_1 and Q_2^* quaternions that will operate as rotation operators, for $a = \sin \epsilon$ and $b = \cos \epsilon$, are:

$$Q_1 = \cos \theta/2 - j \sin \theta/2 + k \sin \theta/2 \text{ and } Q_2^* = \cos(c\theta)/2 - k \sin(c\theta)/2 \quad (17)$$

According to Theorem 2 and if $Q_2^* \times Q_1 = Q$ and $w = i$ then

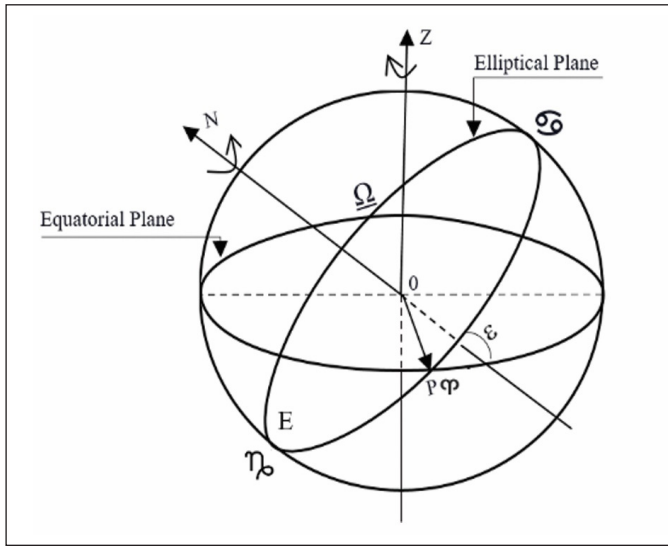


Figure 3. The system in which the apparent motion of the Sun occurs.

$$L(w_1) = Q \times i \times Q^* \tag{18}$$

So the calculations are as such:

$$Q = Q_2^* \times Q_1 = (\cos(c\theta)/2 - k \sin(c\theta)/2) \times (\cos \theta/2 - j a \sin \theta/2 + k b \sin \theta/2) \tag{19}$$

$$Q = (\cos(c\theta)/2 \cos \theta/2 + b \sin(c\theta)/2 \sin \theta/2) - i a \sin(c\theta)/2 \sin \theta/2 - j a \cos(c\theta)/2 \sin \theta/2 \tag{20}$$

Accordingly, when the rotation operator produced by the Q quaternion is applied to $w = (i, 0, 0)$, the pure quaternion $W = (W_1, W_2, W_3)$ is obtained as shown below.

$$W = Q \times i \times Q^* \tag{21}$$

When the calculations are made

$$W_1 = (\cos(c\theta)\cos \theta + b \sin(c\theta) \sin \theta)i, W_2 = (b \cos(c\theta) \sin \theta - \sin(c\theta) \cos \theta)j, W_3 = (a \sin \theta)k \tag{22}$$

is found. As a result of transferring pure quaternion W to the vector space, $V = (V_1, V_2, V_3)$ is obtained.

For $0 \leq \theta \leq 2\pi, c = 365.25$ (365.25 the number of days in a year), $a = \sin 23^\circ 27'$ and $b = \cos 23^\circ 27'$

$$\begin{cases} V_1 = X = \cos \theta \cos(c\theta) + b \sin \theta \sin(c\theta) \\ V_2 = Y = b \sin \theta \cos(c\theta) - \cos \theta \sin(c\theta) \\ V_3 = Z = a \sin \theta \end{cases} \tag{23}$$

If the graphic of the equation (23) we obtained above was drawn, this curve would cover the entirety of the sphere found between the planes $z = -\sin 23^\circ 27'$ and $z = \sin 23^\circ 27'$ because the constant c is $c = 365.25$. For this reason, to be

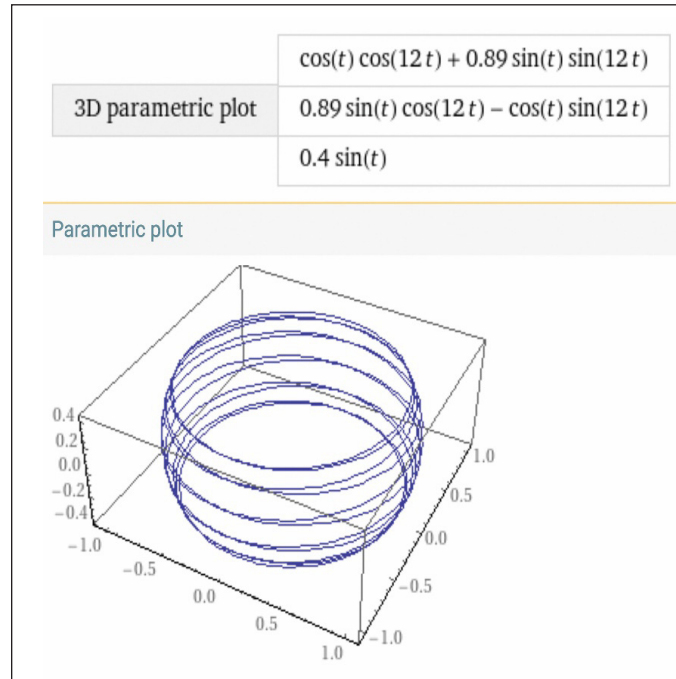


Figure 4. The curve of the apparent motion of the Sun for $c = 12$.

able to visually show the shape of the curve, $c = 12$ is chosen instead of $c = 365.25$ and this way the graphic shown in Figure 4 is obtained. According to Güçler et al. (2022).

If in equation (23) $\epsilon = -90^\circ$ and it is accepted that the second rotation occurs in the positive direction, then the parametric equation of the spherical spiral is procured. This means that the answer to the question “Can the curve that is formed still be considered a spherical spiral?” that was posited above is an affirmative “Yes, it can still be considered a spherical spiral.” However, the question arises, “Are there other examples that can be provided to clarify this subject?”. The answer to this question is also an affirmative “Yes, there are”.

Another example of this motion is the apparent motion of the Sun as seen by an observer found on another planet in the solar system, for example, on planet Venus (Güçler 2023) or Mercury (Güçler 2023). Because the speed with which these planets move around themselves is much slower than the speed with which Earth rotates around itself, the advantages which the use of the method brings are more clearly apparent.

As it is shown in Figure 4, the curve that is obtained is a spherical spiral confined to a particular region. So what does the quaternion used to obtain this curve tell us? To answer this, we will examine the quaternion Q. For $Q = (q_0, q_1, q_2, q_3)$:

$$\begin{cases} q_0 = (\cos(c\theta)/2 \cos \theta/2 + b \sin(c\theta)/2 \sin \theta/2) \\ q_1 = (-a \sin(c\theta)/2 \sin \theta/2) \\ q_2 = (-a \cos(c\theta)/2 \sin \theta/2) \\ q_3 = (b \cos(c\theta)/2 \sin \theta/2 - \sin(c\theta)/2 \cos \theta/2) \end{cases} \quad (24)$$

By showing " Q " = $\cos \psi/2 + \alpha_q \sin \psi/2$, $\alpha_q = (q_1, q_2, q_3)$, we have,
 $\cos \psi/2 = \cos(c\theta)/2 \cos \theta/2 + b \sin(c\theta)/2 \sin \theta/2$ (25)

From this equation, ψ angle of rotation can be found.

The Sun completes its motion in the ecliptic orbit in approximately 365.25 days. Therefore, in one day $\Delta\theta \approx 1^\circ$, where $\Delta\theta$ is the difference between angle θ_2 taken by the sun in $x+1$ days, and angle θ_1 taken by the Sun in x days. Due to this, if we analyse the apparent daily motion of the Sun, the angular distance between the two points that the Sun appears in, in the celestial sphere will be $\Delta\theta < 1^\circ$. This means that $\Delta\theta/2 < (1/2)^\circ$. If we calculate the value of $\sin \Delta\theta/2$ for such a small angle the result can be accepted as equal to zero and the value of $\cos \Delta\theta/2$ can be accepted as equal to one. In this case:

$$\cos \psi/2 = \cos(c\Delta\theta/2) \cos \Delta\theta/2 + b \sin(c\Delta\theta/2) \sin \Delta\theta/2 = \cos(c\Delta\theta/2) \quad (26)$$

$$\cos \psi/2 = \cos 365,25 (\Delta\theta/2) \rightarrow \psi = 365,25 \Delta\theta \quad (27)$$

Additionally:

$$\begin{cases} q_1 = -a \sin(c\Delta\theta/2) \sin \Delta\theta/2 = 0 \\ q_2 = -a \cos(c\Delta\theta/2) \sin \Delta\theta/2 = 0 \\ q_3 = b \cos(c\Delta\theta/2) \sin \Delta\theta/2 - \sin(c\Delta\theta)/2 \cos \Delta\theta/2 = \\ -\sin(c\Delta\theta)/2 \end{cases} \quad (28)$$

The direction $\alpha_q = (q_1, q_2, q_3)$ of quaternion Q found as a result of the calculation above, is the same as the direction of $Q_2^* = \cos(c\theta)/2 - k \sin(c\theta)/2$. So α_q is the same as the axis of the apparent daily motion of the Sun. This motion occurs in parallel to the equatorial plane. This is an expected result because when astronomers study the apparent daily motion of the Sun, they accept that this motion takes place parallel to the equatorial plane.

When the angle of rotation $\psi = 365.25 \Delta\theta$ is converted from degrees to units of time, the time taken for the Sun to travel from one point to the other is obtained.

4. Conclusion

First conclusion: Let an object move with the velocity ω of the sphere with a radius r along any great circle of the sphere and let this object move with the velocity $c\omega$, where $c > 2$,

parallel to XY plane. In this case, this object traces a spiral confined in a section such as $2r \sin \vartheta$, where ϑ is the small angle between the plane determined by the great circle and XY plane. This section lies between two parallel planes that cut through the sphere. Each plane is located at a distance equal to the $r \sin \vartheta$ of the XY plane.

Second conclusion: The apparent motion of the Sun can be shown as an example of the graph described in the first result. In addition, the quaternion used in obtaining this curve provides important data for interpreting the apparent motion of the Sun.

5. References

- Altman, SL. 1986.** Quaternions and Double Groups. Oxford Science Publications. **Delphenich, DH. 2012.** The representation of physical motions by various types of quaternions. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1205.4440>
- Dong, D., Du, P., Zhuoyue, L. 2020.** Understanding Quaternions. Mathematics Research Developments, Nova Science Publisher, Inc.
- Fisher, RC., Ziebur, AD. 1965.** Calculus and Analytic Geometry. Prentice-Hall.
- Griffin, S. 2017.** Quaternions: Theory and Applications. Mathematics Research Developments, Nova Science Publisher, Inc.
- Güçler D., 2023.** Quaternions on the Apparent Movement of the Sun According to Venus. International Geometry Symposium in Memory of Prof Erdoğ an ESİN, s. 32-33, Ankara.
- Güçler D., 2023.** The use of Quaternions in the Calculation of the Sun's Apparent Movement According to Mercury and its Comparison with the Sun' Apparent Movement According to Earth. 5th International Conference of Natural Sciences and Mathematics - University of Tetova, s. 635 , Tetova, North Macedonia.
- Güçler, D., Ekmekci, FN. 2022.** The Interpretation of the Apparent Movement of the Sun Through the Spherical Spiral. 19. International Geometry Symposium, s. 51, Edirne.
- Güçler, D., Ekmekci, FN., Yaylı Y., Helvacı, M. 2022.** Obtaining the Parametric Equation of the Curve of the Sun's Apparent Movement by using Quaternions. Universal Journal of Mathematics and Applications, 5 (2): 42-50.
- Hacısalıhoğ lu, HH. 1983.** Hareket Geometrisi ve Kuaterniyonlar Teorisi. Ankara.
- Karaali, S. 1985.** Genel Astronomi I. İstanbul.
- Kızılırmak, A. 1977.** Küresel Gökbilimi. Bornova, İzmir.
- Kuipers, JB. 1975.** Object Tracking and Orientation Determination Means, System, and Process. U.S. Patent 3,868,565, February 25.

- Kuipers, JB. 1988.** Methods and Apparatus for Determining Remote Object Orientation and Position. U.S. Patent 4,742,356, May.
- Kuipers, JB. 1998.** Quaternions and Rotation Sequences. Princeton, New Jersey.
- Kummer, M. 1996.** Reduction in Rotating Kepler Problem and Related Topics. Contemporary Mathematics, 198:155-180.
- Lowenstein, JH. 2012.** Hamiltonian Dynamics. Cambridge University Press.
- Motz, L., Duveen, A. 1966.** Essentials of Astronomy. London.
- Smart, WM. 2013.** Celestial Mechanics. Literary Licensing.
- Todhunter, MA., Leathem, JG. 1960.** Spherical Trigonometry. London.
- Voronston, V., Rabbitt, PM. 1969.** Astronomical Problems. London.
- Woolard, EW., Clemence, GM. 1966.** Spherical Astronomy. New York.



Characterization, Antioxidant and Antimicrobial Activities of Iron Nanoparticles Synthesized Using Firethorn Fruit (*Pyracantha coccinea* Roemer) Extracts

Ateş Dikeni Meyvesi (Pyracantha coccinea Roemer) Ekstraktları Kullanılarak Sentezlenen Demir Nanopartiküllerinin Karakterizasyonu, Antioksidan ve Antimikrobiyal Aktiviteleri

Volkan Karakullukçu¹ , Bülent Akar^{2*} , Cemalettin Baltacı² , Azer Özad Düzgün³ , Ömer Karpuz⁴ 

¹Gümüşhane University, Graduate Education Institute, Department of Biotechnology, Gümüşhane, Türkiye

²Gümüşhane University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Food Engineering, Gümüşhane, Türkiye

³Gümüşhane University, Faculty of Health Sciences, Department of Occupational Health and Safety, Gümüşhane, Türkiye

⁴Gümüşhane University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Genetic and Bioengineering, Gümüşhane, Türkiye

Abstract

The main focus of this study was to explore the biological activity of metal nanoparticles that were green-synthesized from firethorn fruits. Specifically, iron nanoparticles (Fe-NP) were synthesized from extracts obtained from fruits and seeds of the firethorn plant (*Pyracantha coccinea*) grown on Gumushane University's campus for landscaping purposes. The antioxidant and antimicrobial properties of both extracts and synthesized iron nanoparticles were evaluated.

To characterize the Fe-NPs, FT-IR spectroscopy, scanning electron microscopy (SEM), and X-Ray Diffraction (XRD) analyses were performed. The antioxidant activity of the fruit extracts and Fe-NPs was assessed using various antioxidant activity tests, including ABTS radical scavenging activity, DPPH radical scavenging activity, ferric reducing antioxidant power (FRAP), total phenolic content (TPC), total flavonoid content (TFC), and total antioxidant content (TAC). The results of all antioxidant activity tests indicated that the iron nanoparticles exhibited higher antioxidant activity than the fruit extracts.

Moreover, the minimum inhibitory concentrations (MIC) of the fruit extracts and nanoparticles against Gram-negative bacteria (*Yersinia pseudotuberculosis* ATCC 911, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Proteus vulgaris* ATCC 13315, and *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 43288) and Gram-positive bacteria (*Streptococcus pyogenes* ATCC 19615, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, and *Bacillus subtilis* ATCC 6633) were determined the using the medium microdilution procedure. Similar to the antioxidant activity findings, the Fe-NPs demonstrated stronger antimicrobial activity compared to the fruit extracts.

Keywords: Antimicrobial, antioxidant, firethorn, iron nanoparticle, pyracantha coccinea

Öz

Bu çalışmanın amacı, ateş dikeni meyvelerinden yeşil sentez yolu ile elde edilmiş metal nanopartiküllerin biyolojik aktivitesini belirlemektir. Gümüşhane Üniversitesi kampüsünde peyzaj amacıyla yetiştirilen ateş dikeni bitkisinin (*Pyracantha coccinea*) meyve ve tohumlarından elde edilen ekstraktlardan demir nanopartikülleri (Fe-NP) sentezlenmiştir. Hem ekstraktların hem de sentezlenen demir nanopartiküllerinin antioksidan ve antimikrobiyal özellikleri değerlendirilmiştir.


*Corresponding author: akarblnt@gmail.com

Volkan Karakullukçu  orcid.org/0000-0002-0893-6423

Bülent Akar  orcid.org/0000-0002-1421-374X

Cemalettin Baltacı  orcid.org/0000-0002-4336-4002

Azer Özad Düzgün  orcid.org/0000-0002-6301-611X

Ömer Karpuz  orcid.org/0000-0002-0546-9831



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

Fe-NP'leri karakterize etmek için FT-IR spektroskopisi, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve X-Işını Kırınımı (XRD) analizleri gerçekleştirilmiştir. Meyve özlerinin ve Fe-NP'lerin antioksidan aktivite etkinliği, ABTS radikal süpürme aktivitesi, DPPH radikal süpürme aktivitesi, demir indirgeyici antioksidan güç (FRAP), toplam fenolik içerik (TPC), toplam flavonoid (TFC) ve toplam antioksidan içeriği (TAC) gibi antioksidan aktivite belirleme testleri kullanılarak tespit edilmiştir. Tüm antioksidan aktivite testlerinin sonuçları, demir nanopartiküllerinin meyve ekstraktlarından daha yüksek antioksidan aktivite sergilediğini göstermiştir.

Ayrıca Gram-negatif bakterilere (*Yersinia pseudotuberculosis* ATCC 911, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Proteus vulgaris* ATCC 13315 ve *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 43288) ve Gram-pozitif bakterilere (*Bacillus subtilis* ATCC 6633, *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Streptococcus pyogenes* ATCC 19615) karşı meyve ekstraktlarının ve nanopartiküllerin minimum inhibe edici konsantrasyonu (MIK), mikrodilüsyon besiyeri yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Antioksidan aktivite bulgularına benzer şekilde, Fe-NP'ler meyve özlerine kıyasla daha güçlü antimikrobiyal aktivite göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Antimikrobiyal, antioksidan, ateş dikenini, demir nanopartikül, *pyracantha coccinea*

1. Introduction

Organisms employ various strategies to cope with adverse biotic and abiotic environmental factors in order to survive. Animals rely on their mobility, enabling them to flee from predators, avoid extreme temperatures, and orient themselves toward light sources. In contrast, plants, lacking the ability to move, have evolved different mechanisms to combat these stressors. When faced with environmental changes, plants detect stress conditions and respond at the cellular level to ensure their survival (Gull et al., 2019). This cellular response leads to the production of secondary metabolites, which help minimize the harmful effects of stress on the plant. Secondary metabolites can be significantly induced in response to stress (Pagare, 2015; Isah, 2019). These compounds play a vital role in the adaptation of plants to environmental changes and also hold economic value as they are utilized in pharmaceuticals, food flavorings, cosmetics, and insecticidal chemicals (Thirumurugan, 2018). The primary types of secondary metabolites include terpenoids, alkaloids, phenolics, glycosides, tannins, and saponins (Paiva et al., 2010; Kabera, 2014). These secondary metabolites possess a wide array of properties, such as anti-inflammatory, anti-malarial, anthelmintic, analgesic, antimicrobial, antioxidant, antiarthritic, antidiabetic, antihypertensive, antifungal, anticancer, cardioprotective, antispasmodic, and antihistamine properties (Zehra et al., 2019).

As plants serve as the primary source of these essential compounds, their importance to human health is substantial. To determine the biological activities of these compounds in plants, researchers commonly conduct studies on antioxidant and antimicrobial activity. New methods are continuously being developed to enhance the biological activity of extracts containing these secondary metabolites from plants. One such method is the production of nanoparticles through green synthesis using plants in nanotechnology. Nanotechnology involves manipulating matter using

chemical and physical techniques to create materials with specific properties suitable for various applications (Herlekar et al., 2014). While chemical and physical methods can yield well-defined nanoparticles, they are often costly and can contribute to environmental pollution (Pattanayak and Nayak, 2013; Gottimukkala et al., 2017). The alternative approach of synthesizing nanoparticles from biological sources, such as microorganisms and plant biomass, is more economical and environmentally friendly (Pattanayak and Nayak, 2013). Additionally, nanoparticles derived from biological materials have unique optical, chemical, photoelectrochemical, and electronic properties, making them particularly interesting for research. This has led to a growing focus on "green synthesis" procedures using various organisms, ranging from bacteria and fungi to plants (Mohanpuria et al., 2008). During metallic nanoparticle green synthesis, a redox reaction occurs through the reduction capacity of cellular or extracellular compounds, such as carbohydrates, proteins, phenols, organic acids, and other metabolites. These compounds, whether single metabolites or metal groups, donate electrons to metal cations, converting them into metallic nanoparticles at the nanometric scale with zero-charge (Vitta et al., 2020). This reaction typically occurs spontaneously at room temperature without requiring significant changes in pressure and is completed within minutes. Ultimately, the phytochemicals present in plant extracts convert iron ions into iron nanoparticles (Ebrahiminezhad, 2018).

The firethorn plant (*Pyracantha coccinea* Roemer), belonging to the *Rosaceae* family, is the subject of this study. This plant naturally grows in Southern and Southeastern Europe, Italy, the Balkans, the Crimea, the Caucasus, and Turkey in the form of shrubs and is also cultivated as an ornamental plant (Tunç et al., 2020). The fruits of the firethorn plant have been traditionally used in medicine for their diuretic and heart-tonic properties (Tunç et al., 2020).

The aim of this study is to synthesize iron nanoparticles from the fruits of the firethorn plant (FF) (*Pyracantha coccinea*) grown as an ornamental plant for landscaping purposes on the Gumushane University-Main Campus area. The researchers aim to determine the antimicrobial and antioxidant activities of these nanoparticles and FF extracts and observe how the activity values change with nanoparticle formation.

2. Materials and Methods

2.1. Sampling

The FFs were collected in November 2022 from plants grown for landscaping purposes within the campus area of Gümüşhane University. The collected fruits are left to dry at room temperature and without light.

2.2. Extraction

First, the dried fruit samples were ground into a powder with a blender. Then, 500 g of the powdered sample was mixed with 7.5 L of water. The mixture was boiled in a closed container for 2.5 hours and cooled. Then, filtration of aqueous extract was performed through sieves with pore aperture of 2.00 mm, 1.00 mm, and 0.25 mm, respectively. Then, the total soluble solids of the FF extract were determined as $4.00\% \pm 0.25\%$ by analysis with a digital refractometer (Hanna HI96801, Hanna Instruments, Milan, Italy). The total soluble solids of the FF extract were then increased to 10% under a pressure of 150 mbar at 60 °C using a vacuum evaporator (Gedikli 2022).

2.3. Preparation of Iron Nanoparticles

In order to prepare iron nanoparticles from FF samples, a 125 mL solution that contains 2 M Fe^{+3} and 1 M Fe^{+2} was prepared from $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ and FeSO_4 chemicals. The pH of 250 mL of FF extract with total solids of 10% was set to 11 with 1.0 M NaOH using a pH meter (OHAUS Starter 3000, Ohaus Corporation, Parsippany, NJ, USA) The solution was then mixed in a magnetic mixer (500 rpm) while $\text{Fe}^{+2}/\text{Fe}^{+3}$ solution was added to the extract mixture at a speed of 1 second/1 drop. Then the beaker was covered for 60 minutes and mixed at 500 rpm.

Color change (Complete conversion to black) was observed in the solution due to the formation of Fe_3O_4 . The resulting FF based iron nanoparticle (FF-FeNP) was centrifuged (NÜVE NF 800R) at 12000 rpm. The residue was centrifuged with the addition of pure water for washing purposes, and this step was repeated four times. Finally, drying was

carried out in the oven at 60 °C (Yusefi et al. 2020, Gedikli 2022).

2.3.1. Characterization of FF-FeNPs

At the East Anadolu High Technology Application and Research Center of Atatürk University, analyses of FF-FeNPs using XRD, FTIR, and SEM were conducted. Using the Opus program on the Bruker VERTEX 70v (Bruker Optik GmbH, Rosenheim, Germany) device, FT-IR spectrometer readings were done as absorbents at 4 cm^{-1} accuracy 32 times in the 400–4000 range. SEM images and elemental analyses of nanoparticles were measured through the in-lens detector in the scanning electron microscope (SEM-Zeiss Sigma 300, Carl Zeiss AG, Oberkochen, Germany). The crystal size was examined via the Panalytical Empyrean XRD (Empyrean, Almelo, The Netherlands) at 45 kV, 40 mA, and 0.05 degrees per second scanning speed.

2.4. Antioxidant Analysis

2.4.1. ABTS radical scavenging activity

150 μL of the sample and 10 mg of Fe-NP was taken, and 2.85 mL of ABTS solution was added. After vortexing the solution, the mixture was kept in the dark for 2 hours. The absorbances were read via spectrophotometer (Shimadzu UV-1800, Kyoto, Japan) at 734 nm. The same procedure was repeated by taking 150 μL of standard ascorbic acid (Ahmed et al. 2015).

2.4.2. DPPH radical scavenging activity

100 μL of the sample and 10 mg of Fe-NP was taken, and 3 mL of DPPH was added to the working solution. The mixture was vortexed and held for 30 minutes. A 517 nm spectrophotometer reading followed this. The same procedure was performed for the standard ascorbic acid. The DPPH radical scavenging activity amounts are calculated as indicated below in Equation 1 (Ahmed et al. 2015).

$$\% \text{ inhibition capacity} = ((\text{Ac}-\text{As})/\text{Ac}) \times 100 \quad (1)$$

Ac: Blind Sample Absorbance

As: Sample Absorbance

2.4.3. Ferric reducing antioxidant power (FRAP)

A 250 μL sample and 10 mg of Fe-NP was taken, and 2750 μL FRAP solution was added. The mixture was vortexed and held for 30 minutes. 250 μL were taken from the standards, and the same procedure was carried out. The quantities of FRAP substances were determined using the linear equation of the calibration curve obtained with FeSO_4 (10,

25, 50, 100, and 200 μL /ml) solution. FRAP was determined as mg FeSO_4 equivalent/g (Ahmed et al. 2015).

2.4.4. Total antioxidant capacity (TAC)

500 μL of a sample and 10 mg of Fe-NP was added to 2.5 mL of deionized water. Then, 1 mL of molybdate reactive was added to the mixture. The mixture was vortexed and incubated at 95°C in a water bath for 90 minutes. The samples are kept for 30 minutes to reach room temperature after incubation. The absorbances of the mixtures were read on a spectroscopic photometer at 695 nm. The same procedure was followed for the standards. The TAC amount of the samples was determined based on the linear equation of the calibration curve generated using the solution of the ascorbic acid standard (25, 50, 100, 150, 400, and 800 $\mu\text{g}/\text{mL}$) as the TAC mg AA equivalent/g sample (Prieto et al. 1999).

2.4.5. Total phenolic content (TPC)

The total phenolic substance content of the FF was analyzed using the Folin–Ciocalteu's reactive (Slinkard and Singleton 1977). In the first phase, a 0.3 mL sample and 10 mg of Fe-NP was taken, 3.4 mL of pure water was added, 0.5 mL of methanol was added to the mixture, and 200 μL of the Folin–Ciocalteu's reactive was added. Then, the mixture was vortexed and held for 10 minutes in room conditions, and 0.6 mL of 10% liquid sodium carbonate solution was added. After the final mixture was vortexed again, it was incubated at room temperature in the dark for 2 hours. At the end of this period, the absorbance value of the mixture was recorded by reading on a spectrophotometer at 760 nm. In addition, a mixture of 500 μL methanol, 100 μL folin–ciocalteu's reactive, 600 μL sodium carbonate, and 3.7 mL water has been used as a blind.

The amounts of TPC in the samples are shown as mg GA Equivalent/L samples based on the linear equation of the calibration curve generated using gallic acid (160, 120, 80, 60, 40, and 20 $\mu\text{g}/\text{mL}$) solution.

2.4.6. Total flavonoid contents (TFC)

A 150 μL and 10 mg of Fe-NP sample was taken in the first stage, and 3.2 mL methanol (30% v/v) was added. 150 μL of 0.5 M sodium nitrite solution and 150 μL of 0.3 M aluminum chloride solution were added to the mixture. Then 5 minutes waited, and 1 mL of 1 M sodium hydroxide solution was added. Subsequently, the mixture was vortexed again, and after a 10-minute wait, the absorbance was read at 506 nm on the spectrophotometer. The same procedure was followed for the standards. The TFC in the samples

were determined by using the linear equation of the calibration curve generated using the solution of quercetin (25, 50, 100, 200, and 400 $\mu\text{g}/\text{mL}$) as the total flavonoid mg catechin equivalent/g sample (Kasangana et al. 2015).

2.5. Minimum Inhibition Concentrations (MIC)

MIC of the FF extracts and FF-FeNPs against Gram-negative (*Yersinia pseudotuberculosis* ATCC 911, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Proteus vulgaris* ATCC 13315, and *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 43288) and Gram-positive (*Streptococcus pyogenes* ATSC 19615, *Staphylococcus aureus* ATCD 25923, and *Bacillus subtilis* ATCB 6633) bacteria was determined by fluid microdilution method. The concentration of the FF extract was set at 90-0.17 mg/ml, and the nanoparticle concentration was 60-0.05 mg/mL. The experiments were carried out using 96 well-plate three times. 50 μL of Luria Broth (LB) feed was added to each well (except for the 12th well), and 100 μL LB was added to the 12th well. In order to evaluate sterility control, the 12th well was used. Furthermore, the eleventh well growth (50 μL LB and 50 μL bacteria) was assessed as the control. 50 μL of the FF extract or the first concentration of the nanoparticles were taken from the first well to the 10th well. The first concentration of MIC in which Fe-NPs inhibit the strains, incubated at 37°C , was determined, and ampicillin was used as a control (Üçüncü et al. 2020).

3. Results and Discussion

3.1. Characterization of FF-FeNPs

Researchers have used Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) to identify phenolic compounds, which are biomolecules that exhibit capping and reducing properties in the formation of iron nanoparticles synthesized from biological sources.

Figure 1 displays the FTIR spectra of iron nanoparticles and FF extract. Various vibration bands observed in the range of 650-4000 cm^{-1} indicate that functional groups are responsible for the reduction of iron (Figure 1). O-H stretching vibrations of the C-OH and H_2O groups were observed around 3419 cm^{-1} and 3373 cm^{-1} . The peak around 1622 cm^{-1} shows C=C stretching. C-O-C absorption peaks of carboxylated acid groups in the structure are seen around 1030 cm^{-1} .

Peaks around 1430 and 1388 cm^{-1} indicate polyphenolic O-H bending and aromatic structure. The peak at 1068 cm^{-1} shows the presence of polyphenols due to the C-N stretching vibration, which represents aliphatic amines. The groups

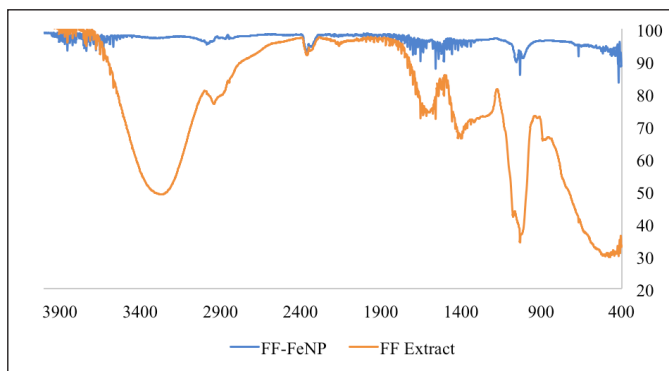


Figure 1. FTIR spectra of firethorn fruit iron nanoparticles (FF-FeNP) and firethorn fruit extract (FF Extract).

of methyl and methylene belong to the plant extract lipids caused stretching vibration at the band of 2950 cm^{-1} .

The O-H ($1250\text{--}1310\text{ cm}^{-1}$, $675\text{--}815\text{ cm}^{-1}$), C=O ($1690\text{--}1740\text{ cm}^{-1}$), C=C ($1520\text{--}1590\text{ cm}^{-1}$), N-H ($1415\text{--}1490\text{ cm}^{-1}$), C-H ($2750\text{--}2860\text{ cm}^{-1}$), O-H ($3310\text{--}3390\text{ cm}^{-1}$), C-O-C ($1025\text{--}1195\text{ cm}^{-1}$), C-N ($2310\text{--}2350\text{ cm}^{-1}$) bands reported by Khan et al. (2020) seen in FTIR give traces of aromatic components in the structures examined. The bands in the spectrum, at 870 cm^{-1} and 668 cm^{-1} , are attributed to CH bending. As described above, it is typical of the heterocyclic compounds of flavonoids and alkaloids found in plant extract (Alsammarraie et al. 2018). Therefore, the

FTIR spectra of FF-FeNP produced by green synthesis and FF extracts exhibit some similar characteristics. The results indicate that the Fe_3O_4 structure is capped by FF organic structures. Fico et al. (2000) detected about 30 metabolites in flowers and fruits of firethorn plant. Both flowers and fruits of firethorn have been reported to have high flavonoid content (Fico et al. 2000).

Energy-dispersive X-ray (EDX) spectroscopy in Scanning Electron Microscopy (SEM) can provide elemental maps showing properties at the atomic level. The EDX spectra of Fe-NPs synthesized using FF extracts are shown in Figure 2 and their numerical values are shown in Table 1. The elements evaluated in EDX analyses are iron, carbon and oxygen. The percentage-to-weight ratios whose elements are detected in FF-FeNPs are 47.33 for oxygen, 38.46 for carbon, and 14.21 for iron. The percentages of carbon, oxygen and iron atoms were determined as 49.92, 46.11 and 3.97, respectively. The presence of the Fe and O phase in the EDX spectra in the samples and their high quantity confirms that the FF-FeNPs are synthesized at high purity. A high percentage of oxygen indicates that nanoparticles are composed of iron oxide (Demirezen et al. 2019). The presence of carbon and oxygen can be due to the organic compounds' existence. Gedikli (2022) obtained separate iron nanoparticles from black tea and green tea. While iron, carbon and oxy-

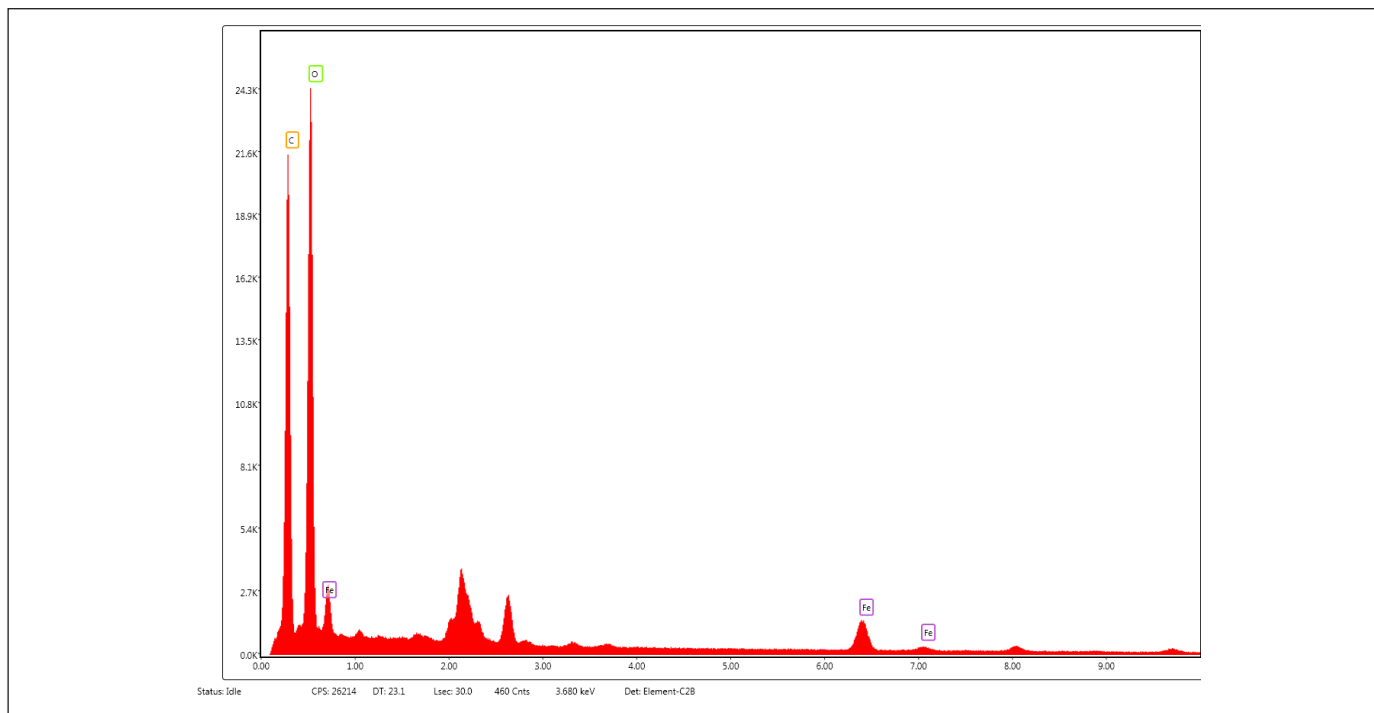


Figure 2. EDX spectrum of synthesized firethorn fruit iron nanoparticles (FF-FeNP).

gen in these iron nanoparticles obtained from black tea were 8.62, 40.15 and 46.85 %, respectively, in green tea they were 7.41, 41.97 and 49.31 %. Chatterjee et al. (2021) concluded that the strong presence of iron and oxygen elements in the EDX analysis of the iron nanoparticle that were synthesized from rice seeds is a sign of the synthesis of Fe-NPs.

Table 1. EDX element values of Fe-NPs obtained from the fruits of firethorn plant.

Element	% Weight	% Atom
C	38.46	49.92
O	47.33	46.11
Fe	14.21	3.97

Scanning Electron Microscopy images of FF-FeNPs at 80.00 KX magnifications are given in Figure 3. It has been observed that FF-FeNPs are nano-sized and spherical. In Figure 3, the dimensions of the nanoparticles marked in the SEM images at 80.00 KX were measured as 11.25 and 13.75.

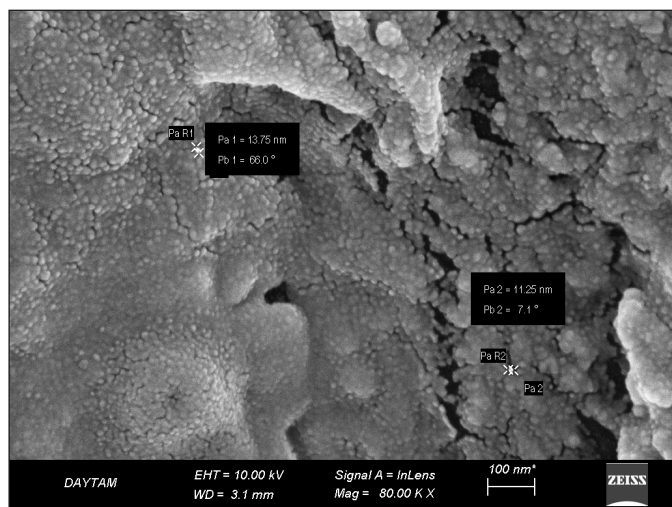


Figure 3. Scanning electron microscopy (SEM) images of the firethorn fruit iron nanoparticles (FF-FeNP).

X-ray diffraction analysis (Figure 4) showed no significant peak for green synthesized Fe_3O_4 NPs. This lack of peaks indicates an amorphous structure of the nanoparticles produced (Machado et al. 2014, Wang et al. 2014a, Machado et al. 2015, Ebrahiminezhad et al. 2016). The presence of amorphous iron nanoparticle structure has been detected in previous studies on waste or leaf extracts such as eucalyptus and sorghum bran (Njagi et al. 2011, Wang et al., 2014a,

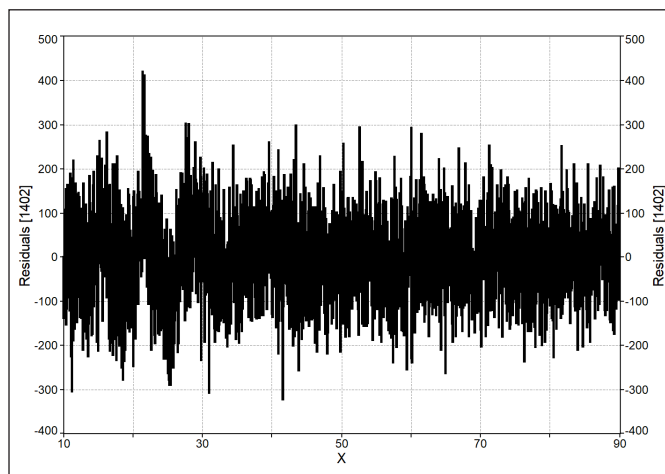


Figure 4. X-ray diffraction (XRD) analysis of synthesized firethorn fruit iron nanoparticles (FF-FeNP).

Wang et al. 2014b). The wide shoulder range of 2 Theta values between 10° and 20° degrees has been suggested to be due to the existence of organic materials in leaf extracts as stabilizing agents for NPs (Wang 2014a, Ebrahiminezhad et al. 2016).

3.2. Antioxidant Activity

The antioxidant activities of FF extracts and FF-FeNPs obtained by green synthesis were evaluated through six different mechanisms (Table 2).

ABTS, a radical scavenging assay, is widely used to determine the antioxidant activity of compounds. In our study, the ABTS values of the FF extract and produced Fe-NP were 7.92 mg/g and TEAC equivalents of 15834.57 mg/g. It was determined that the capacity of Fe-NPs was much higher than the FF extract. A study on the extracts of *P. coccinea* (Keser 2014) showed that ethanol, methanol, and acetone extracts exhibit higher ABTS and DPPH radical scavenging activity than BHT. The presence of high phenolic compounds in FF was therefore concluded to be an excellent source of natural antioxidants (Keser 2014). In another study on the fresh fruits of firethorn, ABTS ethanol extract was found to be 4.00, and water extract was 0.71 mg TEAC/g (Sarikurkcu and Tepe 2015).

The scavenging activity of the DPPH radical forms the basis of the DPPH antioxidant test (Sharma and Bahat 2009). In the present study, DPPH values of the FFs and FF-FeNP were determined as 11.47 ± 0.26 and 15400 ± 400 mg AA/g, and DPPH % inhibition values were determined as 91.44 ± 0.44 and 94.97 ± 0.11 , respectively. As in ABTS method, the activity values of Fe-NP in the DPPH method

Table 2. Antioxidant activities of FF extract and FF-FeNPs.

Analyses	Samples	Concentration mg/g	
ABTS** mg TEAC	FF extract	7.92	±0.1
	FF-FeNPs	15834.57	±197.53
DPPH mg AA	FF extract	11.47	±0.26
	FF-FeNPs	15400	±400
DPPH % Inhibition	FF extract	91.44	±0.44
	FF-FeNPs	94.97	±0.11
FRAP mg FeSO ₄	FF extract	30.55	±0.62
	FF-FeNPs	20368.89	±411.11
TAC mg AA	FF extract	14.83	±6.52
	FF-FeNPs	7332.81	±945.32
TPC mg GA	FF extract	11.46	±0.22
	FF-FeNPs	5741.67	±771.24
TFC mg QUE	FF extract	46.55	±4.75
	FF-FeNPs	8633.33	±642.91

FF extract: Firethorn fruit extract, **FF-FeNPs:** Firethorn fruit iron nanoparticles, n:3.

were much higher than in the FF extract. Sarikurkcu and Tepe (2015) measured DPPH values of ethanol and water extracts of FF as 6.12 ± 0.292 and 2.05 ± 0.101 mg TE_s/g, respectively. Keser et al. (2014) determined DPPH % inhibition values of the same plant fruit as ethanol (78.73 ± 0.27), water (27.62 ± 0.09), methanol (93.43 ± 0.81), acetone (81.18 ± 0.21) and diethylether ($7.807.80 \pm 0.190.19$). Other studies have also been carried out to determine the activity value of FFs using the DPPH method (Kerasioti et al. 2019, Tunç et al. 2020, Turu et al. 2020, Sharifi-Rad, 2021).

Another method for measuring antioxidant activity is the iron-reducing antioxidant power (FRAP) method developed by Benzie and Strain (1996). FRAP activity values of FF extracts and FF-FeNPs were measured as 30.55 ± 0.62 mg FeSO₄/g for FF extracts and 20368.89 ± 411.11 mg FeSO₄/g for FF-FeNP. Similar to the previous methods above, FF-FeNPs had FRAP values considerably higher than FF extracts. In other studies on firethorn, the FRAP values of the FF extract were 3.18 ± 0.050 in ethanol extract, 0.73 ± 0.082 mg TE_s/g fresh fruit in water extract (Sarikurkcu and Tepe 2015), 6.75 ± 0.52 AAE/g (Sharifi-Rad 2021). The FRAP value of the methanol extract of Himalayan firethorn (*Pyracantha crenulata* (D.Don) M.Roem.) fruits, which is classified in the genus *Pyracantha*, to which the firethorn plant belongs as well, was 5.40 ± 0.05 mm AAE/100g (Saklani et

al. 2011), and FRAP value of *Pyracantha fortuneana* (Maxim.) Li species water extracts was 18.1 ± 0.14 (Fu et al. 2010). Many factors, such as genetic diversity, environmental factors, and fruit ripening times, may impact FRAP activity results in the studies mentioned.

In TAC analysis, which is one of the six antioxidant activity determination methods used, the activity values of FF-FeNPs produced in our study were measured quite higher than those of FF extracts. TAC values were 14.83 ± 6.52 mg AA/g in firethorn fruit extracts, and 7332.81 ± 945.32 mg AA/g in Fe-NPs. Sarikurkcu and Tepe (2015) reported the total antioxidant capacity values of ethanol and water extracts of FFs as 6.69 ± 0.744 and 1.96 ± 0.381 , respectively, and Sharifi-Rad et al. (2021) reported 3.97 ± 0.28 mg AAE/g. These values are lower than our study results. The TAC values of the methanol extracts of the *Pyracantha crenulata* species in the *Pyracantha* genus at different concentrations were measured in the range of $18.05 - 66.68$ μM Trolox equivalents (Pal et al. 2013).

TPC, also defined as secondary metabolites and mostly found in plant tissues such as vegetables and fruits, show antioxidant activity as well as antimicrobial (Akar et al. 2020, Baltacı et al. 2022), antifungal (Simonetti 2020, Posamai Rossatto et al. 2021). There are many studies showing

that it has anticancer and antiangiogenic (Abbaszadeh et al. 2019), anthelmintic (Kaska et al. 2018), and anti-inflammatory (Demir et al. 2019) activities. TPC analysis showed that TPC values of FF-FeNP were considerably higher than FF extracts. TPC values of FF extracts and FF-FeNP were determined as 11.46 ± 0.22 mg AA/g and 5741.67 ± 771.24 . In a study on fresh FF, TPC in methanol and water extracts were reported as 1.31 ± 0.198 and 0.38 ± 0.022 mg GAEs/g, respectively (Sarıkurkcu and Tepe 2015). Sharifi-Rad et al. (2021) found the TPC values of methanol extracts of FF to be 14.48 ± 1.09 higher than the results in this study. However, there was no significant difference between the two activity values.

According to the TFC, which is one of the most used antioxidant analyses, the activity value of FF-FeNPs (8633.33 ± 642.91) was found to be considerably higher than the activity value of FF extract (46.55 ± 4.75), in accordance with previous analyses. Sarıkurkcu and Tepe (2015) reported the ethanol and water extract TFC values of firethorn fresh fruit as 0.22 ± 0.014 and 0.03 ± 0.002 mg REs/g, respectively. Sharifi-Rad et al. (2021) determined 0.13 ± 0.01 mg QE/g in methanol extracts of firethorn fruits.

Although scientific literature has revealed that FF has high antioxidant activity, there are differences in activity values. Factors affecting the chemical composition of plants, such as different solvents used in plant extraction, variations between different plant parts, individual genetic diversity, different developmental stages of plants, production process conditions and environmental changes (soil, air, water, pH, temperature, light, pollutants), may be the reason for these differences (Figueiredo, 2008, Akar 2021).

The antioxidant activities of plant extracts based on Fe-NPs are considerably higher than those of plant extracts. This situation occurs due to the intense bonding of organic compounds such as alkaloids, flavonoids, tannins, phenols, and saponins in plant extracts around Fe_3O_4 (Mahendiran et al. 2017, Rehana et al. 2017). Vitta et al. (2020) determined the antioxidant activities of *Eucalyptus robusta* Sm plant extracts and Fe-NP obtained from these extracts using DPPH, TPC, and TFC antioxidant activity determination methods. They reported DPPH activity IC50 values as 423.14 μ g/mL, 81.63 μ g/mL, and 7.19 μ g/mL for *E. robusta* plant extract, plant extract-derived Fe-NP, and standard quercetin, respectively. As seen from the standard in this test, a lower value indicates higher activity. In the same study, the values obtained for TPC (158.47 mg GAE /g in plant extract, 98.21 mg GAE /g in Fe-NP) and TFC (131.12 mg

QE /g in plant extract; 40.54 mg QE /g in Fe-NP) were higher in plant leaf extract than in Fe-NP. Vitta et al. (2020) stated that the low TPC and TFC in nanoparticles might be due to the reduction reaction include these compounds in Fe-NP biosynthesis. In addition, regarding the existences of phenolic compounds in FeNPs, they stated that some of these compounds were not reduced and were related to the fact that they could interplay in the stabilization of nanoparticles.

3.3. Antimicrobial Activity

The antibacterial effects of FF extract and FF-FeNP were investigated using seven isolates. MIC values in the FF extract were 20 mg/mL against *S. pyogenes* and *P. aeruginosa* strains, 40 mg/mL against *S. aureus* and *P. vulgaris*, 10 mg/mL for *E. coli*, 1.25 mg/mL for *Y. pseudotuberculosis* and 5 mg/mL for *B. subtilis* (Table 3). The MIC value of FF-FeNPs obtained using the plant extract was 0.75 mg/mL for *S. pyogenes*, *B. subtilis*, *P. vulgaris*, *E. coli*, *Y. pseudotuberculosis*, and *S. aureus*. The MIC value of Fe-NPs against *P. aeruginosa* was 0.375 mg/ml (Table 3).

It was observed that FF-FeNPs from plant extract had 53 times more activity on *P. aeruginosa*, *S. aureus*, and *P. vulgaris*, 27 times more on *S. pyogenes*, and 13 times more on *E. coli* than plant extract. It was determined that the plant extract and FF-FeNPs had 1.7 and 7 times more antimicrobial activity against *Y. pseudotuberculosis* and *B. subtilis*, respectively. The plant extract showed the highest activity against *Y. pseudotuberculosis*. Fe-NP was found to have the highest activity against *P. aeruginosa* strain. The antimicrobial activity differences were influenced by both the sensitivity of bacteria and the iron oxide content of the nanoparticles, as reported by Ezealigo et al. (2021). Particularly noteworthy is the higher antimicrobial activity exhibited by

Table 3. Antimicrobial activity of FF extract and FF-FeNPs.

Bacteria	FF Extract MIC (mg/mL)	FF-FeNP MIC (mg/mL)
<i>B. subtilis</i>	5	0.75
<i>S. aureus</i>	40	0.75
<i>S. pyogenes</i>	20	0.75
<i>E. coli</i>	10	0.75
<i>P. aeruginosa</i>	20	0.375
<i>P. vulgaris</i>	40	0.75
<i>Y. pseudotuberculosis</i>	1.25	0.75

green-synthesized Fe-NPs compared to FF extracts against all bacteria. This enhancement in activity can be attributed to the presence of plant-specific functional groups on the surface of the NPs, which significantly contribute to their increased antimicrobial efficacy. Moreover, the smaller size of the NPs facilitates their penetration into the bacterial cell wall, ultimately leading to cell death. Consequently, both the nanoparticle size and the structure of the bacterial cell wall play crucial roles in determining the antimicrobial activity of the nanoparticles, as emphasized by Kanagasubbulakshmi and Kadirvelu (2017).

Studies in the scientific literature have reported that the antimicrobial activities of Fe-NPs obtained by using different plant extracts are high. Antimicrobial activities of aqueous extracts from the leaves of *Eucalyptus robusta* Sm species and Fe-NPs based on these extracts were determined by Vitta et al. (2020), and they concluded that Fe-NP showed higher antimicrobial activity than the plant extract against *E. coli*, *S. aureus*, *P. aeruginosa*, and *B. subtilis* species. Likewise, in a study by Irshad et al. (2017), where they compared the antimicrobial effects of *Punica granatum* L. bark extracts and iron oxide nanoparticles synthesized with these extracts, it was conclusively demonstrated that the bacterial cell (*Pseudomonas aeruginosa*) experienced denaturation and shrinkage in response to the treatment with FeNPs. On the other hand, the treatment with *Punica granatum* bark extract alone resulted in relatively less denaturation.

4. Conclusion

Green synthesis was used to produce FF-FeNPs from firethorn fruit extracts. The size and shape of the nanoparticles were examined using SEM images. Analysis of the EDX spectra revealed that the Fe-NPs had high purity, with significant amounts of Fe and O phases. XRD spectra analysis indicated that the nanoparticles had an amorphous structure. The FT-IR analysis results showed the involvement of polyphenols in the synthesis of FF-FeNPs.

In terms of antioxidant activity, FF-FeNPs demonstrated higher levels compared to the fruit extracts, as assessed by various methods, including ABTS, DPPH, FRAP, TAC, TPC, and TFC. The antibacterial properties of both the FF extract and FF-FeNPs were evaluated against seven different isolates, and it was found that Fe-NPs exhibited stronger antimicrobial activity than the fruit extracts.

These findings suggest that FF-FeNPs, synthesized using firethorn fruit extracts, possess notable antioxidant and antibacterial activity, making them promising candidates for

non-toxic and environmentally friendly nano or micro-scale materials in various applications.

Conflict of Interest

The authors declared that there is no conflict of interest.

5. References

- Abbaszadeh, H., Keikhaei, B., Mottaghi, S. 2019.** A review of molecular mechanisms involved in anticancer and antiangiogenic effects of natural polyphenolic compounds. *Phytother. Res.*, 33(8): 2002-2014.
- Ahmed, D., Khan M.M., Saeed R. 2015.** Comparative analysis of phenolic, flavonoids, and antioxidant and antibacterial potential of methanolic, hexanic and aqueous extracts from *Adiantum caudatum* leaves, *Antioxidants*, 4: 394-409.
- Akar, Z. 2021.** Chemical compositions by using LC-MS/MS and GC-MS and antioxidant activities of methanolic extracts from leaf and flower parts of *Scabiosa columbaria* subsp. *columbaria* var. *columbaria* L. *Saudi J. Biol. Sci.*, 28(11): 6639-6644.
- Akar, Z., Karakurt, A., Okumuş, F., Cinemre, S., Düzgün, A. Ö., Akar, B. Can, Z. 2020.** RP-HPLC-UV analysis of the phenolic compounds, antimicrobial activity against multi-drug resistant bacteria and antioxidant activity of fruit and seed of *Diospyros lotus* L. *Int. J. Second. Metab.*, 7(4): 237-246.
- Alsammarraie, F.K., Wang, W., Zhou, P., Mustapha, A., Lin, M. 2018.** Green synthesis of silver nanoparticles using turmeric extracts and investigation of their antibacterial activities. *Colloids Surf. B*, 171: 398-405.
- Baltacı, C., Öz, M., Fidan, M. S., Üçüncü, O., Merve, Ş. 2022.** Chemical composition, antioxidant and antimicrobial activity of *Colchicum speciosum* Steven growing in Türkiye. *Pak. J. Agri. Sci*, 59(5): 729-736.
- Benzie, I.F., Strain J.J. 1996.** The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Anal Biochem*, 239(1): 70-76.
- Chatterjee, A., Mridha, D., Banerjee, J., Chanda, S., Ray, K., Acharya, K., Das, M., Roychowdhury, T., Sarkar, J. 2021.** Green synthesis of iron oxide nanoparticles and their ameliorative effect on arsenic stress relief in *Oryza sativa* seedlings. *Biocatal. Agric. Biotechnol.*, 38, 102207.
- Demir, T., Akpınar, Ö., Kara, H., Güngör, H. 2019.** Nar (*Punica granatum* L.) kabuğunun in vitro antidiyabetik, antienflamatuar, sitotoksik, antioksidan ve antimikrobiyal aktivitesi. *Akademik Gıda*, 17(1): 61-71.
- Demirezen, D.A., Yıldız, Y.Ş., Yılmaz, Ş., Yılmaz, D.D. 2019.** Green synthesis and characterization of iron oxide nanoparticles using *Ficus carica* (common fig) dried fruit extract. *J. Biosci. Bioeng.*, 127(2): 241-245.

- Ebrahiminezhad, A., Bagheri, M., Taghizadeh, SM., Berenjian, A., Ghasemi, Y. 2016.** Biomimetic synthesis of silver nanoparticles using microalgal secretory carbohydrates as a novel anticancer and antimicrobial. *Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol.*, 7(1): 015018.
- Ebrahiminezhad, A., Zare-Hoseinabadi, A., Sarmah, A. K., Taghizadeh, S., Ghasemi, Y., Berenjian, A. 2018.** Plant-mediated synthesis and applications of iron nanoparticles. *Mol. Biotechnol.*, 60(2): 154-168.
- Ezealigo, US., Ezealigo, BN., Aisida, SO., Ezema, FI. 2021.** Iron oxide nanoparticles in biological systems: Antibacterial and toxicology perspective. *JCIS Open*, 4, 100027.
- Fico, G., Bilia, A. R., Morelli, I., Tomè, F. 2000.** Flavonoid distribution in *Pyracantha coccinea* plants at different growth phases. *Biochem. Syst. Ecol.*, 28(7): 673-678.
- Figueredo, A.C., Barroso, J.G., Pedro, L.G. Scheffer, J.J. 2008.** Factors affecting secondary metabolite production in plants: volatile components and essential oils. *Flavour Fragr. J.*, 23(4): 213-226.
- Fu, L., Xu, B.T., Xu, X.R., Qin, X.S., Gan, R.Y., Li, H.B. 2010.** Antioxidant capacities and total phenolic contents of 56 wild fruits from South China. *Molecules*, 15(12): 8602-8617.
- Gedikli, H. 2022.** Türk siyah ve yeşil çayı ekstraktlarının ve bu ekstraktlardan yeşil sentez yoluyla üretilen demir nano parçacıklarının bazı gıdalarda aflatoksinlerin azaltılması üzerine bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, 81 s.
- Gottimukkala, K.S.V., Harika, R.P., Zamare, D. 2017.** Green synthesis of iron nanoparticles using green tea leaves extract. *J. Nanomedicine Biotherapeutic Discov.*, 7,1000151.
- Gull, A., Lone, A.A., Wani, N.U.I. 2019.** Biotic and abiotic stresses in plants. de Oliveria A.B. [eds.], In: abiotic and biotic stress in plants. IntechOpen, London, pp 3-8.
- Herlekar, M., Barve, S., Kumar, R. 2014.** Plant-mediated green synthesis of iron nanoparticles. *J. Nanopart.*, 140619.
- Irshad, R., Tahir, K., Li, B., Ahmad, A., Siddiqui, AR., Nazir, S. 2017.** Antibacterial activity of biochemically capped iron oxide nanoparticles: A view towards green chemistry. *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.*, 170: 241-246.
- Isah, T. 2019.** Stress and defense responses in plant secondary metabolites production. *Biol. Res.*, 52: 1-25.
- Kabera, J.N., Semana, E., Musa, A.R., He, X. 2014.** Bitki sekunder metabolitleri: biyosentez, sınıflandırma, işlev ve farmakolojik özellikler. *J. Ecz. Pharmacol*, 2 (7): 377-392.
- Kanagasubbulakshmi, S., Kadirvelu, K. 2017.** Green synthesis of iron oxide nanoparticles using *Lagenaria siceraria* and evaluation of its antimicrobial activity. *Def. Life Sci. J.*, 2(4): 422-427.
- Kasangana, P.B., Haddad, P.S., Stevanovic, T. 2015.** Study of polyphenol content and antioxidant capacity of *Myrianthus arboreus* (cecropiaceae) root bark extracts. *Antioxidants*, 4(2): 410-426.
- Kaska, A., Deniz, N., Çiçek, M. Mammadov, R. 2018.** Evaluation of antioxidant properties, phenolic compounds, anthelmintic, and cytotoxic activities of various extracts isolated from *Nepeta cadmea*: an endemic plant for Turkey. *J. Food Sci.*, 83(6): 1552-1559.
- Kerasioti, E., Apostolou, A., Kafantaris, I., Chronis, K., Kokka, E., Dimitriadou, C., Tzanetou, E.N., Priftis A., Koulocheri, S.D. Haroutounian S.A., Kouretas, D., Stagos, D. 2019.** Polyphenolic composition of *Rosa canina*, *Rosa sempervivens* and *Pyrocantna coccinea* extracts and assessment of their antioxidant activity in human endothelial cells. *Antioxidants*, 8(4), 92.
- Keser, S. 2014.** Antiradical activities and phytochemical compounds of firethorn (*Pyracantha coccinea*) fruit extracts. *Nat. Prod. Res.*, 28(20): 1789-1794.
- Khan, S.A., Shahid, S., Lee, C.S. 2020.** Green synthesis of gold and silver nanoparticles using leaf extract of *Clerodendrum inerme*; characterization, antimicrobial, and antioxidant activities. *Biomolecules*, 10(6): 835.
- Machado, S., Grosso, J.P., Nouws, H.P.A., Albergaria, J.T., Delerue-Matos, C. 2014.** Utilization of food industry wastes for the production of zero-valent iron nanoparticles. *Sci. Total Environ.*, 496: 233-240.
- Machado, S., Pacheco, J.G., Nouws, H.P.A., Albergaria, J.T., Delerue-Matos, C. 2015.** Characterization of green zero-valent iron nanoparticles produced with tree leaf extracts. *Sci. Total Environ*, 533: 76-81.
- Mahendiran, D., Subash, G., Arumai Selvan, D., Rehana, D., Senthil Kumar, R., Kalilur Rahiman, A. 2017.** Biosynthesis of zinc oxide nanoparticles using plant extracts of *Aloe vera* and *Hibiscus sabdariffa*: phytochemical, antibacterial, antioxidant and anti-proliferative studies. *Bionanoscience*, 7(3): 530-545.
- Mohanpuria, P., Rana, N.K., Yadav, S.K. 2008.** Biosynthesis of nanoparticles: technological concepts and future applications. *J Nanopart Res.*, 10(3): 507-517. <https://doi.org/10.1007/s11051-007-9275-x>
- Njagi, E. C., Huang, H., Stafford, L., Genuino, H., Galindo, H.M., Collins, J.B., George E. Hoag G.E., Suib, S. L. 2011.** Biosynthesis of iron and silver nanoparticles at room temperature using aqueous sorghum bran extracts. *Langmuir*, 27(1): 264-271.
- Pagare, S., Bhatia, M., Tripathi, N., Pagare, S. Bansal, Y.K., 2015.** Secondary metabolites of plants and their role: Overview. *Curr. Trends Biotechnol. Pharm.*, 9(3): 293-304.

- Paiva, P.M., Gomes, F.S., Napoleão, T.H., Sá, R.A., Correia, M.T.S., Coelho, L.C.B.B. 2010.** Antimicrobial activity of secondary metabolites and lectins from plants. In: A. Méndez Vilas, [eds.], Current research, technology and education topics in applied microbiology and microbial biotechnology, pp. 396-406.
- Pal, R.S., Kumar, R.A., Agrawal, P.K., Bhatt, J.C. 2013.** Antioxidant capacity and related phytochemicals analysis of methanolic extract of two wild edible fruits from north western Indian Himalaya. *Int. J. Pharm. Bio. Sci.*, 4(2): 113-123.
- Pattanayak, M. Nayak, P.L. 2013.** Green synthesis and characterization of zero valent iron nanoparticles from the leaf extract of *Azadirachta indica* (Neem). *World J. Nano Sci. Eng.*, 2(1): 6-9.
- Possamai R.F.C., Tharmalingam, N., Escobar, I.E., d'Azevedo, P.A., Zimmer, K.R. Mylonakis, E. 2021.** Antifungal activity of the phenolic compounds ellagic acid (EA) and caffeic acid phenethyl ester (CAPE) against drug-resistant *Candida auris*. *J. Fungi*, 7(9): 763.
- Prieto, P., Pineda, M., Aguilar, M. 1999.** Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: specific application to the determination of vitamin E. *Anal. Biochem.*, 269(2): 337-341.
- Rehana, D., Mahendiran, D., Kumar, R.S., Rahiman, A.K. 2017.** Evaluation of antioxidant and anticancer activity of copper oxide nanoparticles synthesized using medicinally important plant extracts. *Biomed. Pharmacother.*, 89: 1067-1077.
- Saklani, S., Chandra, S., Mishra, A.P. 2011.** Evaluation of antioxidant activity, quantitative estimation of phenols, anthocyanins and flavonoids of wild edible fruits of Garhwal Himalaya. *J. Pharm. Res.*, 4(11): 4083-4086.
- Sarikurku, C., Tepe, B. 2015.** Biological activity and phytochemistry of firethorn (*Pyracantha coccinea* MJ Roemer). *J. Funct. Foods*, 19: 669-675.
- Sharifi-Rad, J., Song, S., Ali, A., Subbiah, V., Taheri, Y. Suleiria, H.A. 2021.** LC-ESI-QTOF-MS/MS characterization of phenolic compounds from *Pyracantha coccinea* M. Roem. and their antioxidant capacity. *Cell. Mol. Biol.*, 67(1): 201-211.
- Sharma, O.P., Bhat, T.K. 2009.** DPPH antioxidant assay revisited. *Food Chem.*, 113(4): 1202-1205.
- Simonetti, G., Brasili, E., Pasqua, G. 2020.** Antifungal activity of phenolic and polyphenolic compounds from different matrices of *Vitis vinifera* L. against human pathogens. *Molecules*, 25(16): 3748.
- Slinkard, K., Singleton, V.L. 1977.** Total phenol analysis: automation and comparison with manual methods. *Am. J. Enol. Vitic.*, 28: 49-55.
- Thirumurugan, D., Cholarajan, A., Raja, S.S., Vijayakumar, R. 2018.** An introductory chapter: secondary metabolites. In: R. Vijayakumar, S.S.S. Raja, Secondary Metabolites-Sources and Applications, IntechOpen, pp. 3-21.
- Tunç, K., Semerci, A.B. Okur, İ. 2020.** Antioxidant activity of the fruits of *Pyracantha coccinea* using ethanolic extract method. *Food and Health*, 6(1): 35-40.
- Turu, D., Bozyel, M.E., Candan, K., Yakan, M.A., Benek, A., Canli, K. 2020.** In vitro antimicrobial and antioxidant activities of *Pyracantha coccinea* fruits ethanol extract. *Int. J. Multidiscip. Res.*, 4: 89-93.
- Üçüncü, O., Baltacı, C., Akar, Z., Duzgun, A., Cuce, M. Kandemir, A. 2020.** Biological activities and phytochemical screening of ethanol extracts from *Adonis paryadricea* (Ranunculaceae). *Farmacina*, 68(6): 1062-1068.
- Vitta, Y., Figueroa, M., Calderon, M. Ciangherotti, C. 2020.** Synthesis of iron nanoparticles from aqueous extract of *Eucalyptus robusta* Sm and evaluation of antioxidant and antimicrobial activity. *Mater. Sci. Technol.*, 3: 97-103.
- Wang, T., Jin, X., Chen, Z., Megharaj, M., Naidu, R. 2014a.** Green synthesis of Fe nanoparticles using eucalyptus leaf extracts for treatment of eutrophic wastewater. *Sci. Total Environ.*, 466: 210-213.
- Wang, T., Lin, J., Chen, Z., Megharaj, M. Naidu, R. 2014b.** Green synthesized iron nanoparticles by green tea and eucalyptus leaves extracts used for removal of nitrate in aqueous solution. *J. Clean. Prod.*, 83: 413-419.
- Yusefi, M., Shameli, K., Rasit, A.R., Pang, S.W. Teow S.Y. 2020.** Evaluating anticancer activity of plant-mediated synthesized iron oxide nanoparticles using *Punica granatum* fruit peel extract. *J. Mol. Struct.*, 127539.
- Zehra, A., Choudhary, S., Naeem, M., Masroor, A., Khan, M. Aftab, T. 2019.** A review of medicinal and aromatic plants and their secondary metabolites status under abiotic stress. *J. Med. Plant Res.*, 7(3): 99-106.



PPF Lifi ve PET Talaşı ile Güçlendirilmiş Kaolin Kilinin Kayma Mukavemetinin İncelenmesi

Investigation of the Shear Strength of Kaolin Clay Reinforced with PPF Fibers and PET Flakes

Hüseyin Suha Aksoy* , Atakan Yıldırım 

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

Öz

Zeminin kayma mukavemeti, inşa edilecek bir yapının temelini tasarımımda önemli bir rol oynar. İnşaat mühendisleri mevcut zeminlerin, yapı yükünü taşıyabilecek durumda olmasını beklerler. Ancak zaman zaman yapı yükünü taşıyamayan zayıf zeminler ile karşılaşmaktadır. Bu nedenle bu tür zeminlerin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında, düşük plastisiteli bir kil olan kaolin kilinin mukavemeti, Polipropilen Elyaf (PPF) lifleri ve Polietilen Tereftalat (PET) talaşları kullanılarak laboratuvar ortamında artırılmaya çalışılmıştır. PPF lifleri düşük maliyeti ve dayanıklılığından dolayı, PET talaşları ise hem ekonomik olması hem de gün geçtikçe artan katı atık hacminin azaltılması amacıyla tercih edilmiştir. Bu amaçla kaolin kiline ağırlıkça %0, %0.5, %1.0, %1.5 ve %2.0 oranlarında PPF lifleri ve PET talaşları ilave edilerek karışımlar oluşturulmuş ve Proctor deneyleri yardımıyla optimum su muhtevaları (wopt) ve maksimum kuru birim hacim ağırlıkları (γ_{kmax}) belirlenmiştir. Proctor sıklığında hazırlanmış numuneler üzerinde serbest basınç deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda katkılı kaolin kilinin mukavemetinde dikkate değer artışlar olduğu tespit edilmiştir. Optimum su muhtevasında ve Proctor sıklığında hazırlanan numuneler üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre %2.0 PPF eklenen kaolin kilinin serbest basınç mukavemeti, katkısız kaolin kili numunelere göre %116 oranında artış göstermiştir. Aynı oranda PET katkısı ile iyileştirilen kaolin kilinde ise serbest basınç mukavemeti %36 artış göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kil zemin, polietilen tereftalat, polipropilen elyaf, zemin iyileştirme

Abstract

The shear resistance of the soil plays an important role in the design of the foundation of a structure to be built. In civil engineering, existing soils are expected to be capable of bearing structural loads. However, sometimes weak soils that cannot carry the load of the building can be encountered. Therefore, it is necessary to improve the engineering properties of such soils.

In this study, the strength of kaolin, a clay with low plasticity, was investigated in the laboratory using Polypropylene (PPF) fibers and Polyethylene Terephthalate (PET) flakes. While PPF fibers were preferred due to their low cost and durability, PET flakes were preferred because they are both economical and reduce the volume of solid waste that is increasing day by day. For this purpose, by adding 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% PPF fibers and PET flakes by weight to kaolin clay, optimum water content (wopt) and max. dry unit volume weights (γ_{kmax}) were determined. Uniaxial compression tests were carried out on the samples prepared in Proctor density. As a result of the experiments, it was determined that there was a significant increase in the strength of the reinforced kaolin clay. According to the test results performed on the samples prepared with optimum water content and Proctor density, the unconfined compressive strength of kaolin clay with 2.0% PPF increased by 116% compared to the pure kaolin clay samples. On the other hand, unconfined compressive strength increased by 36% in kaolin clay improved with PET additive at the same rate.

Keywords: Clay soil, polyethylene terephthalat flakes, polypropylene fibers, soil improvement

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: saksoy@firat.edu.tr

Hüseyin Suha Aksoy  orcid.org/0000-0003-0564-457X

Atakan Yıldırım  orcid.org/0009-0008-6713-0877



1. Giriş

Gevşek veya yumuşak zemin üzerinde yapı inşaatı oldukça risklidir çünkü bu tür zeminlerin, zayıf taşıma gücü ve yüksek sıkışmasından dolayı aşırı ve farklı oturmalar görülmesi mümkün olacaktır. Zemin iyileştirmesinin amacı zeminin mühendislik özelliklerinin herhangi bir yapı için yeterli olmadığı durumlarda, zeminin mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi ve zeminin yapılacak inşaat için elverişli hale getirilmesidir (Bilgen 2020a, Afşar ve Bilgen 2021). Zemin iyileştirilmesinde kullanılacak olan malzemelerin maliyeti ucuz olmalı, çevreye zarar vermemeli ve zorlu çevre koşullarına dayanıklı olmalıdır. Bu tür avantajları nedeniyle polipropilen lif (PPF) kullanımı zemin iyileştirmesi için oldukça uygundur (Aksoy vd. 2021). Dayanıklılığında, düşük maliyetinden ve kolay bulunabilirliğinden dolayı PPF uygulaması çoğu geoteknik mühendisliği problemleri için etkili bir çözüm olabilir (Prabakar ve Sridhar 2002, Maliakal ve Thiyyakkandi 2013). İnsanlığın sürdürülebilir gelişimi için yeni tekniklerin ve konseptlerin kavramsallaştırılması ve yürütülmesi, yaygın ve büyük bir şekilde atılan belirli atıkların büyük miktarının dönüştürülmesini ve yeniden kullanılmasını mümkün kılmak gereklidir (Bilgen ve Altunbaş 2023). Literatürde zeminin güçlendirilmesi için geri dönüştürülmüş polietilen tereftalat (PET) talaşlar kullanımını öneren araştırmalar mevcuttur (Botero vd. 2015). PET talaşlar, polyester ailesinden gelen bir termoplastik polimerdir. Mekanik ve termal özellikleri arasındaki ilişki ve ucuz maliyetinden dolayı PET 1990'lı yılların sonunda dünya üretiminde $2.4 * 10^{10}$ kg üretime ulaşarak, dünya genelinde en çok üretilen termoplastik türü olmuştur (Romão vd. 2009). Amerikan Birleşik Devletleri'nde 2013 yılında yerli kaynaklardan geri dönüştürülmek için yaklaşık 0.81 milyon kg PET şişe toplanmıştır (NAPCOR 2016). 2013 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde şişe üretiminde kullanılan toplam PET miktarı 2.61 milyon kg'dan yüksektir (Louzada vd. 2019). Zemine ilave edilen liflerin rolünü tanımlamaya yönelik ilk yaklaşımlar, önceden belirlenen bir zemin ile birlikte kullanılacak olan lifin zeminin taşıma gücüne katkısına odaklanmıştır (Wu 1976 ve Waldron 1977). Çeşitli çalışmalarda tek eksenli deneyler, direkt kesme deneyi ve üç eksenli deney kullanılmakta ve sonuçların çoğu takviye edilen liflerin etkinliğini göstermektedir (Al-Refeai 1991, Ranjan vd. 1996, Trindade vd. 2006, Dos Santos vd. 2010, Festugato vd. 2017, Peddaiah vd. 2018, Fathi vd. 2020, Onyelowo vd. 2019). Literatür incelendiğinde, zeminlere ilave edilen PPF lif ve PET talaş gibi polimer ilavelerin zeminin mukavemetinin artmasında etkili olduğu görülmüştür. İlave edilecek malzemelerin oranı killi zeminlerde %1.5 civarında

olmasının uygun olacağı sonucuna varmıştır (Castilho vd. 2021). Zemin iyileştirilmesi yapılırken dikkat edilmesi gereken konulardan biri de çevre kirliliğidir. Çünkü zeminin güçlendirilmesi üzerine çok sayıda etkili materyal vardır ve bu materyallerin bir kısmı çevre üzerinde kirliliğe neden olabilir. PPF çevreye zarar vermemektedir. Bütün bunlara ek olarak PPF bütün lif tipleri arasında en hafifidir. Polyester ve naylondan sırasıyla %34 ve %20 daha hafiftir. Dolgu inşaatlarında Polipropilen seçilmesinin bir diğer nedeni ise sıcaklık değişimlerinin etkisidir. Polipropilen -55 derece civarına kadar esnek kalmaktadır. PPF düşük su emilimine sahiptir. PPF ile güçlendirilmiş ve güçlendirilmemiş zeminlerin sünekliliği kıyaslandığında, güçlendirilmiş zeminin sünekliliğinde artış olduğu gözlemlenmiştir (Aksoy vd. 2021). PPF'in geoteknik mühendisliğindeki en popüler uygulamaları set, dolgu, temel, alt temel ve şev stabilitesi problemleridir (Li ve Ding 2002, Tang vd. 2007, Unnikrishnan vd. 2002). Maher (1988), Maher ve Gray (1990) rastgele dağıtılan fiberlerle güçlendirilmiş zeminin gerilme – şekil değiştirme davranışını belirlemek için üç eksenli deneyler yürütmüştür. Bu durumda, zeminin nihai mukavemetinde önemli bir artış gözlemlenmiştir. Wang (1999) zemin iyileştirmesinde, zeminde ve betonda takviye lifi olarak halı atığı kullanmıştır. Yazar naylon ve PPF halı atığı türlerini betona takviye olarak kullanılmasını önermiştir. Yaptığı çalışmalar sonucunda güçlendirilmiş zeminlerin mukavemetlerinin ve sünekliliğinin arttığını belirlemiştir. Bazı araştırmacılar, sentetik lifler ile güçlendirilmiş kohezyonlu iki zemin tipiyle (kil ve siltli kil) çalışmıştır (Calvo 2006, Calvo vd. 2007). Laboratuvar deneylerinde, sentetik liflerin eklenmesinden sonra zeminin mekanik özelliklerinde önemli artışlar meydana geldiğini tespit etmiştir. Kilin mukavemetindeki artışın, siltli kildekinden daha fazla olduğunu belirlemiştir. Ayrıca lif boyu arttıkça zemin mukavemetinde artış olduğu gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada, laboratuvar ortamında killi bir zemine ağırlıkça farklı oranlarda PPF lifleri ve PET talaşları eklenerek kilin mukavemet parametrelerinin değişimi incelenmiştir. Daha önce yapılmış çalışmaların çoğunda PET şişeler şeritler halinde kesilmiş ve zemine katılarak kullanılmıştır. Ancak PET şişeler, sanayide şeritler haline getirilmeden parçalayıcıda kırılarak talaş haline getirilmektedir. Dolayısı ile PET malzemesinin büyük miktarda temin edilmesi ancak talaş formunda mümkündür. Bu nedenle yapılan çalışmada PET talaşının kullanılması uygun görülmüştür. Bu amaçla ilk olarak katkısız kaolin, Proctor sıklığında hazırlanarak serbest basınç mukavemeti belirlenmiştir. Ardından kil zemine PPF liflerin ve PET talaşları ağırlıkça farklı oranlarda eklenerek

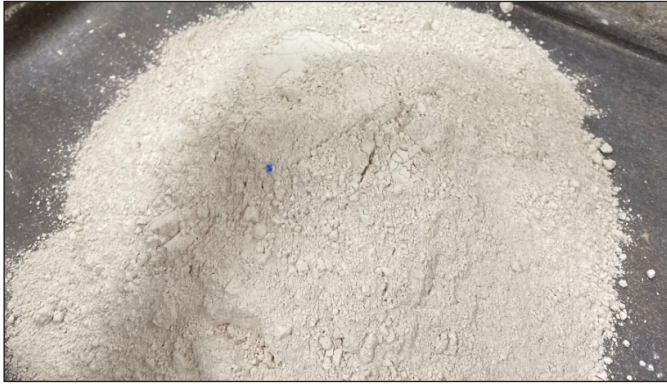
(%0.5, %1.0, %1.5, %2.0) Proctor sıklığında zemin numuneleri hazırlanmış ve serbest basınç deneyi yapılmıştır. Yapılan serbest basınç deneylerinin kıyaslanması sonucunda, Proctor sıklığında hazırlanan kil zemine ağırlıkça eklenen PPF elyaflarının PET talaşlara göre zeminin mukavemetinin iyileştirilmesinde daha etkili olduğu belirlenmiştir.

2. Gereç ve Yöntemler

2.1. Kullanılan Malzemeler

2.1.1. Kaolin Kili ve Özellikleri

Kaolin (Şekil 1) volkanik kayaların veya granitin kimyasal ayrışması sonucunda meydana gelmektedir. İçerisinde bulunan minerallere göre rengi farklılık göstermektedir. Ancak kaolin genellikle doğada beyaz renkte bulunan bir kil türüdür (Özpolat 2020).



Şekil 1: Kaolin kili.

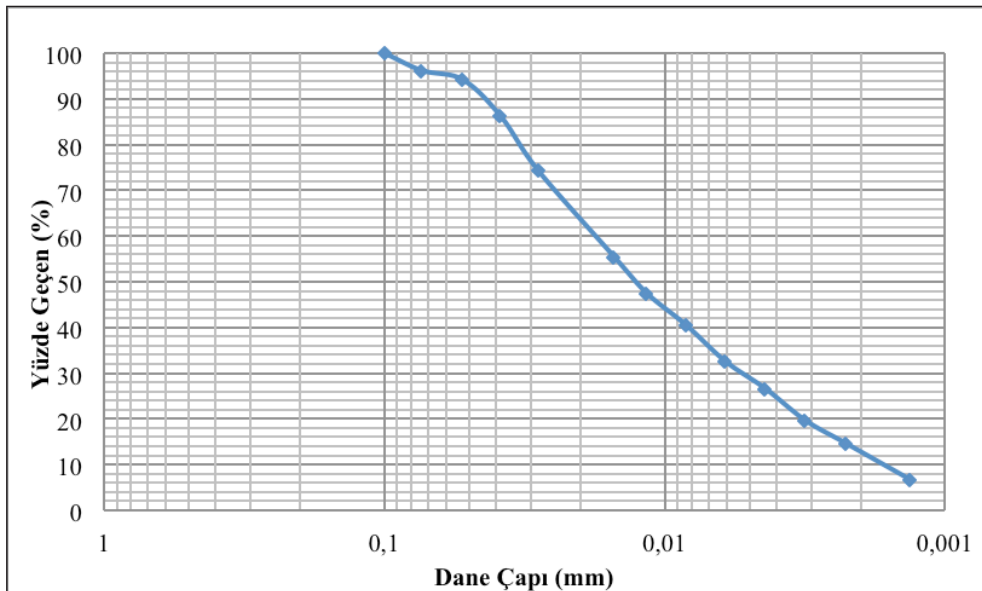
Bir yapının temelleri altında killi zeminlerin varlığı birçok problemi beraberinde getirmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda, iyileştirilecek ve zemin deneyleri gerçekleştirilecek olan kaolin kili Balıkesir bölgesinden temin edilmiş olup bu kilin özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Kil zeminin dane boyutunun belirlenmesi için hidrometre analizi yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen granülometri eğrisi Şekil 2'de görülmektedir. Kullanılan kaolin kilinin yaklaşık %96'sının 200 nolu elekten geçtiği tespit edilmiştir.

Kaolin kilinin kıvam limitlerini belirlemek için likit limit ve plastik likit deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda elde edilen veriler Çizelge 2'de görülmektedir.

Çizelge 1: Kaolin kilinin genel özellikleri (Özpolat 2020).

Özellikler	Değerler
Beyazlık (%)	89.38
Dane boyutu (μm cinsinden)	$D_{50} : 1.3$ < 10 $\mu\text{m} : 97.1$ < 2 $\mu\text{m} : 60.8$
Kimyasal İçeriği (%)	$\text{SiO}_2 = 58.40$ $\text{Al}_2\text{O}_3 = 38.74$ $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 1.86$ $\text{TiO}_2 = 0.63$
Nem Oranı (%)	0.37
pH	6.83
Özgül Ağırlık (G_s)	2.63



Şekil 2. Kil granülometri eğrisi.

Çizelge 2. Kil malzemenin LL, PL ve IP değerleri.

Kıvam Analizleri	(%)
Likit Limit (LL)	28
Plastik Limit (PL)	16
Plastisite İndisi (IP)	12

Yapılan deneyler sonrasında kaolin kilinin optimum su muhtevasını ve maksimum kuru birim hacim ağırlığını belirlemek için standart Proctor deneyi yapılmıştır. Herhangi bir katkı maddesiyle karıştırılmadan saf haldeki kaolin kili saf su ile yoğurulup standart Proctor deneyine tabii tutulmuştur. Yapılan standart Proctor deneyi sonucu elde edilen veriler Çizelge 3'de görülmektedir.

Çizelge 3: Kaolin kilinin kompaksiyon parametreleri.

Optimum Su İçeriği, w_{opt} (%)	18.30
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık, $\gamma_{k,mak}$ (g/cm ³)	1.66

2.1.2. Polipropilen Elyaf (PPF) ve Özellikleri

PPF (Şekil 3) propilen polimerizasyonundan elde edilen doğrusal sentetik elyaf polimer türüdür. Düşük yoğunluklu olma, yüksek mukavemeti olma ve korozyona dayanıklı olma gibi avantajlara sahiptir (Liu vd. 2021). Çizelge 4'de PPF'in fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 4. PPF'in fiziksel özellikleri (Li vd. 2014).

Özgül Ağırlık (G _s)	0.91
Elyaf Uzunluğu, L _f (mm)	18.00
Elyaf Kalınlığı veya Çapı, D _f (mm)	0.03
Boy / En Oranı (L _f / D _f)	600
Yoğunluk (kN / m ³)	8.927
Çekme Mukavemeti (MPa)	350
Elastisite Modülü (MPa)	3500

2.1.3. Polietilen Tereftalat (PET) ve Özellikleri

PET talaşlar (Şekil 4), tüketim sonrası içecek şişeleri olan PET'ten üretilen termoplastik polimer türüdür (Ekopet Geri Dönüşüm San. Tic. A.Ş.). Bu çalışma kapsamında kullanılmış olan PET talaşlar istenilen boyutlarda hazır temin edilmiştir. Türkiye'nin hemen her bölgesinde toplamda 15

**Şekil 3.** Polipropilen elyaf.

– 20 adet PET talaş üretim tesisi bulunmaktadır. Bu tesisler, pet şişeleri toplayıp, etiketlerinden, kapaklarından ayırıp temizledikten sonra parçalayarak 1 mm boyutuna kadar küçük parçalara ayırmakta ve ticari mal olarak değerlendirmektedirler.

**Şekil 4.** PET talaş.

PET talaşların Ekopet Geri Dönüşüm Laboratuvarı'nda yapılan deneyler sonucunda elde edilen fiziksel özellikleri Çizelge 5'de verilmiştir.

2.2. Yöntem

Belirlenen oranlarda katkı maddeleriyle karıştırılan killi

Çizelge 5. PET talaş fiziksel özellikleri (Ekopet Geri Dönüşüm San. Tic. A.Ş.).

Özellikler	Birim	Min	Maks	Test Metot
İşsel Viskozite, IV	dl/g	0.70	0.75	ASTM D 4603
Hacimsel Yoğunluk	kg/m ³	285	350	ISO 12418-2:2012
pH	-	6	7.5	PH Metre
Su İçeriği	%	0.30	0.70	ISO 12418-2:2012
Pul Boyutu	mm	8	12	ISO 12418-2:2012
PVC Atığı	ppm	10	50	ISO 12418-2:2012
Poliolefin atığı	ppm	10	50	ISO 12418-2:2012
Diğer Atıklar	ppm	10	50	ISO 12418-2:2012
Renk	-	%20 Mavi	%80 Açık	-
Paketleme Ağırlığı	kg		1100	-

zeminler, optimum su muhtevalarını ve maks. birim hacim ağırlıklarını belirlemek için standart Proctor deneyi yapılmıştır. Bu bölümde Proctor sıklığında hazırlanan kaolin kiline PPF ve PET talaşların ağırlıkça farklı oranları (%0.5, %1.0, %1.5, %2.0) eklenerek yapılan minyatür Proctor deneyinden bahsedilecektir. Minyatür Proctor aletiyle hazırlanan kil numuneleri serbest basınç deneyine tabii tutulmuştur.

2.2.1. Standart Proctor Deneyi

Zeminlerin sabit, hareketli ve dinamik yükler altında meydana gelecek oturmaları ve zeminin geçirimsizliğini azaltarak su almasını önlemek ve taşıma gücünü arttırmak amacıyla, tabakalar halinde serilerek mekanik araçlar vasıtasıyla su ve dane hacmi sabit iken havanın dışarı atılarak sıkıştırılması olayına kompaksiyon denilmektedir (TS 1900-1,2006).

Proctor metodu, numuneleri belli bir enerji ile sıkıştırarak her aşamada su muhtevasını arttırmak suretiyle tekrarlayarak zemin numunesinin optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığını belirlemeye yarayan deney yöntemidir (Akan ve Keskin 2018, Bilgen 2020b).

Proctor deneyleri, ASTM D-698 standartlarına göre yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında elde edilen kompaksiyon eğrisi Şekil 7'de ve katkısız kaolin kilinin optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı Çizelge 3'te verilmiştir.

Kaolin kiline ağırlıkça farklı oranlarda PPF lifler ve PET talaşlar eklenerek (%0.5, %1.0, %1.5, %2.0) elde edilen karışımlar standart Proctor deneyine tabii tutulmuştur. Standart Proctor deney sonuçları Çizelge 6 ve Çizelge 7'de verilmiştir.

Çizelge 6. Kaolin kili - PPF karışımlarının standart Proctor deneyi sonuçları.

Ağırlıkça Oranlar, %	Optimum Su İçeriği, w_{opt} , %	Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık, γ_{kmak} , gr/cm ³
0.5	16.70	1.65
1.0	17.30	1.63
1.5	17.60	1.62
2.0	18.20	1.61

Çizelge 7. Kaolin kili - PET talaşı karışımlarının standart Proctor deneyi sonuçları.

Ağırlıkça Oranlar, %	Optimum Su İçeriği, w_{opt} , %	Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlık, γ_{kmak} , gr/cm ³
0.5	17.60	1.65
1.0	17.00	1.64
1.5	18.00	1.63
2.0	18.20	1.62

Serbest basınç deneylerini yapabilmek için standart Proctor deneti ile belirlenen su muhtevalarında karışımlar hazırlanmış ve Minyatür Proctor aleti (Şekil 5) kullanılarak sıkıştırılmıştır. Bu işlemin sonucunda 3.77 cm çapında, 7.69 cm yüksekliğinde silindirik zemin numuneleri (Şekil 6) elde edilmiştir.

2.2.2. Serbest Basınç Deneyi

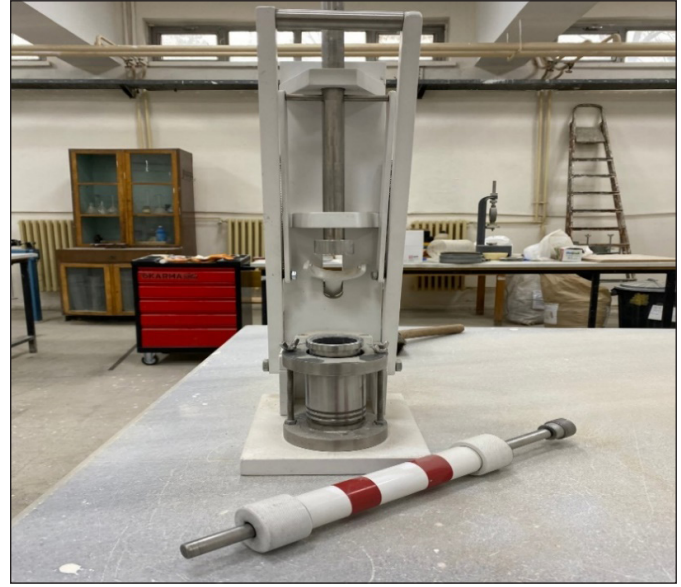
Serbest Basınç Deneyi, genellikle suya doygun normal konsolide killi zeminlerde kayma mukavemetinin belirlenmesi için kullanılan bir deneştir (Satı 2016). Kaolin kili, PPF lifleri ve PET talaşları kullanılarak elde edilmiş numuneler ASTM D2166-06 Standardına uygun şekilde serbest basınç deney aleti ile 0.5 mm/ dk yükleme hızıyla kesilmiştir. Eksenel yük ile yüklenen numune, bir noktadan sonra yük alamaz hale gelmiş ve uygulanan eksenel yük değeri düşmeye başlayınca deney sonlandırılmıştır. Bu esnada okunan en yüksek eksenel yük değeri numunenin o andaki kesit alanına bölünerek gerilmeye dönüştürülmüştür. Bu sayede elde edilen birim boy kısalmasına denk gelen eksenel gerilme eğrileri çizilmiştir. Eksenel gerilmenin maksimum olduğu değer numunenin serbest basınç mukavemet değeri olarak belirlenmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Laboratuvar ortamında yapılan çalışmalar sonucunda kaolin kiline PPF ve PET talaşların ağırlıkça farklı oranları eklenmiş olup numunelere serbest basınç deneyi yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda katkısız kaolin kili ve katkılı kaolin kilinin mukavemetleri kıyaslanmıştır. Katkısız kaolin kiline PPF ve PET talaşların ağırlıkça farklı oranları eklenerek yapılan Standart Proctor deneyi sonucunda elde edilen kompaksiyon eğrileri Şekil 7'de verilmiştir. Elde edilen veriler sonucunda, her iki katkı içinde katkısız kaolinin optimum su muhtevası ve kuru birim hacim ağırlık değerlerinin daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Kaolin kiline PPF ve PET talaşların ağırlıkça farklı oranları eklenerek yapılan serbest basınç deneyi sonucunda elde edilen gerilme – şekil değiştirme eğrisi Şekil 8'de gösterilmiştir.

Çizelge 3'de görüldüğü üzere katkısız kaolin kiline yapılan standart Proctor deneyi sonucunda optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla %18.30 ve 1.66 gr/cm^3 olarak belirlenmiştir. Sonra PPF ve PET talaşların ağırlıkça farklı oranları eklenerek yapılan deneyler sonucunda, ağırlıkça %0.5 eklenen PET talaşlar ile hazırlanan kaolin kiline yapılan standart Proctor deneyi sonucunda optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla %17.60 ve 1.65 gr/cm^3 , ağırlıkça %0.5 eklenen PPF katkısı ile hazırlanan kaolin kiline yapılan Standart Proctor deneyi sonucunda optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlık değerleri sırasıyla %16.70 ve 1.65 gr/cm^3 olarak belirlenmiştir. Şekil 9'da görüldüğü üzere, ağırlıkça eklenen PPF ve PET



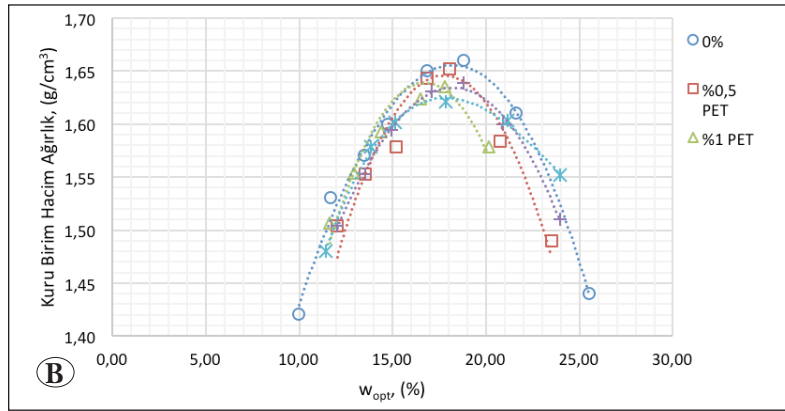
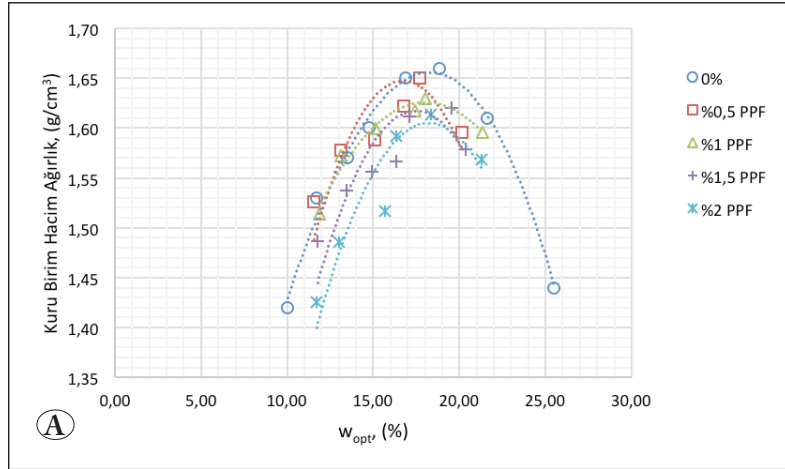
Şekil 5. Minyatür Proctor aleti.



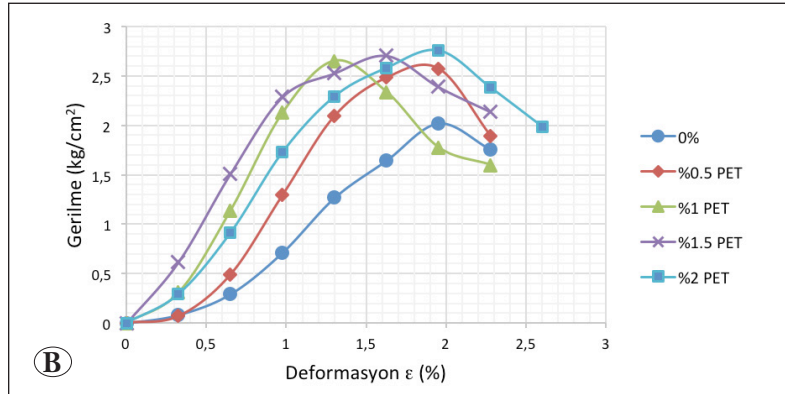
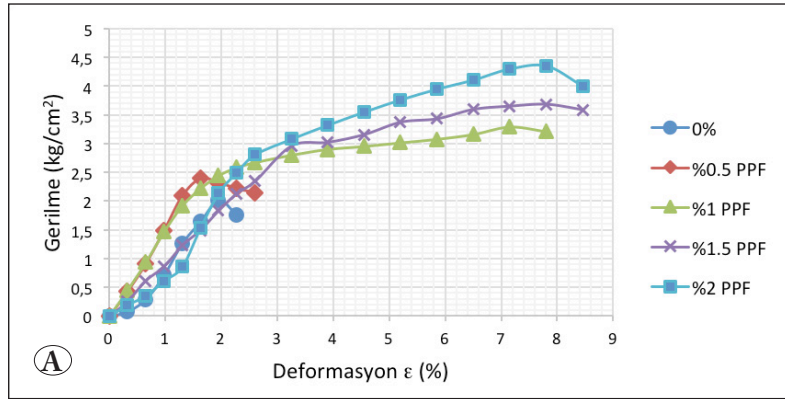
Şekil 6. Kaolin kiline uygulanan serbest basınç deneyi.

talaşların oranının artmasıyla optimum su muhtevasının arttığı gözlemlenmiş olup, maksimum kuru birim hacim ağırlık değerinin ise düştüğü belirlenmiştir.

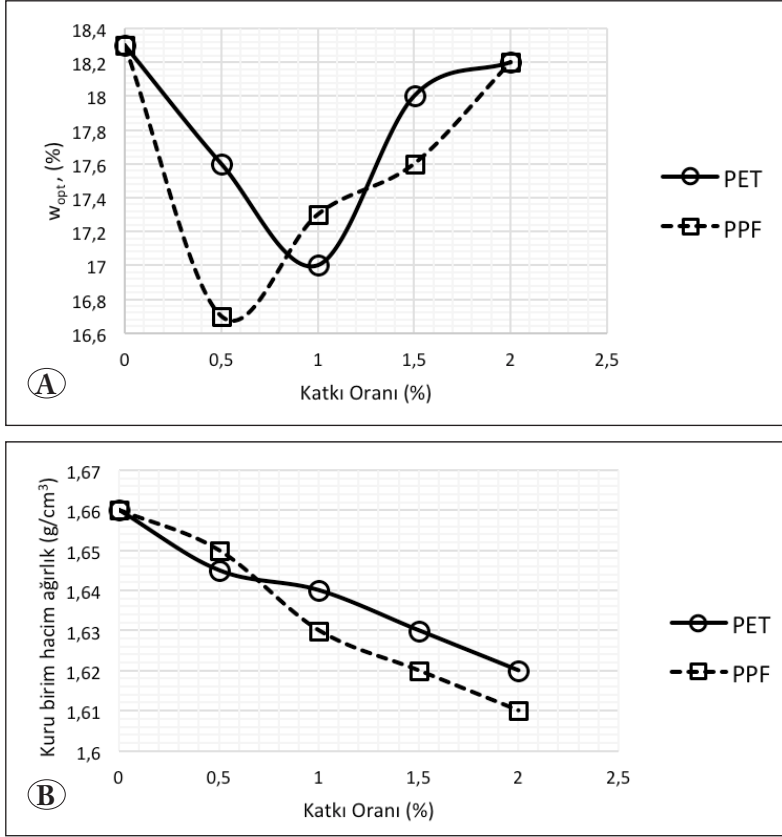
Serbest basınç deneyi sonucunda katkısız kaolin kilinin maksimum mukavemeti 2.02 kg/cm^2 olarak belirlenmiştir. PPF ve PET talaşlarının ağırlık oranının artırılmasıyla serbest basınç mukavemeti değerlerinde artış olduğu gözlemlenmiştir. Proctor sıklığında hazırlanan kaolin kiline ağırlıkça %2.0 oranda PPF ve PET talaşlar eklenerek hazırlanan numuneye serbest basınç deneyi yapılmıştır. Çi-



Şekil 7. Katkısız kaolin kili ve ağırlıkça farklı oranları eklenen PPF (A) ve PET talaşların (B) kompaksiyon eğrisi.



Şekil 8: A) PPF (B) PET talaş malzemelerinin gerilme - deformasyon eğrisi.



Şekil 9. Su muhtevası – katkı oranı ilişkisi (A) kuru birim hacim ağırlığı- katkı oranı ilişkisi (B).

zelge 8 ve Çizelge 9'da görüldüğü üzere, yapılan deneyler sonucunda serbest basınç mukavemeti sırasıyla PET talaş ve PPF için 2.76 kg/cm², 4.36 kg/cm² olarak elde edilmiştir. Şekil 10'da elde edilen veriler sonucunda katkılı kaolin kilinin mukavemetinde saf haline göre PET talaş için %36, PPF için %116'lık artışlar olduğu tespit edilmiştir.

4. Sonuç ve Öneriler

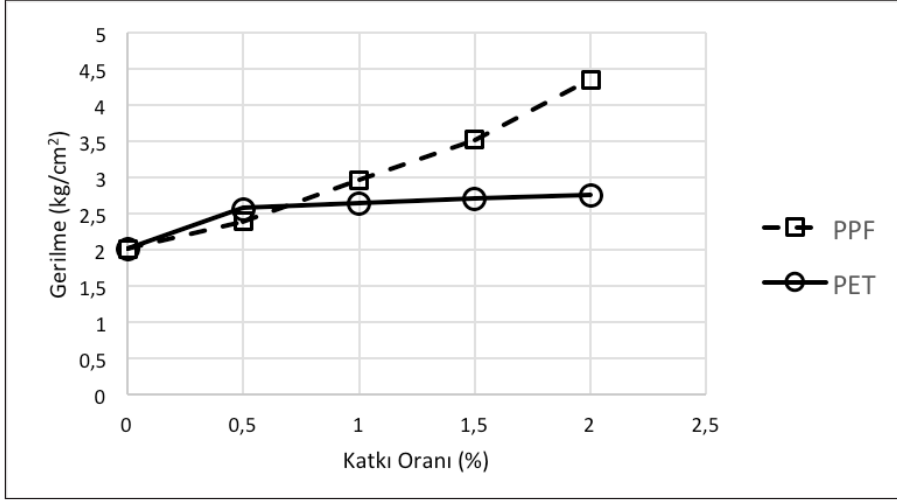
Bu çalışmada laboratuvarında kaolin kili ile PPF ve PET katkıları karıştırılmış ve Proctor sıklığında hazırlanan numuneler üzerinde serbest basınç deneyleri yapılmıştır. PET katkısı geri dönüşüm tesislerinden temin edilmiş olup neredeyse sıfır maliyetli bir malzemedir. PPF katkısı ise üretim tesislerinden hazır olarak temin edilmiş bir malzemedir ve atık bir ürün olmadığı için daha yüksek maliyetlidir. Yapılan deneyler sonucunda, kaolin kiline eklenen PPF ve PET katkılarının kaolin kilinin serbest basınç mukavemetini artırdığı belirlenmiştir. PPF katkısının, life benzer bir yapıya sahip olması (Boy/En≥600) ve PET ile kıyaslandığında daha düşük birim hacim ağırlığına sahip olmasından dolayı PPF katkısının daha düşük oranlarda bile mukavemeti yeterli oranda artırdığı gözlemlenmiştir. PET talaşının lif benzeri bir yapıya sahip olmamasından dolayı ve Boy/En

Çizelge 8. Kaolin kiline PET talaşların ağırlıkça farklı oranları eklenerek hazırlanan numunelerin serbest basınç deneyleri sonrasında elde edilen serbest basınç mukavemetleri

PET Talaş %	Serbest Basınç Mukavemeti (kg / cm ²)
0.5	2.58
1.0	2.66
1.5	2.71
2.0	2.76

Çizelge 9. Kaolin kiline PPF liflerin ağırlıkça farklı oranları eklenerek hazırlanan numunelerin serbest basınç deneyleri sonrasında elde edilen serbest basınç mukavemetleri.

PPF %	Serbest Basınç Mukavemeti (kg / cm ²)
0.5	2.40
1.0	2.97
1.5	3.53
2.0	4.36



Şekil 10. Kaolin kiline PPF ve PET talaşların ağırlıkça farklı oranları eklenerek hazırlanan numunelerin serbest basınç deneyi sonrasında elde edilen maksimum gerilme değerleri değişimi.

oranının yaklaşık 1 civarında olması nedeniyle donatı görevi görememiş ve ağırlıkça %0.5 oranından sonra zemin-PET talaşı karışımının mukavemetinin çok fazla artmadığı gözlemlenmiştir.

Optimum su muhtevasında ve Proctor sıklığında hazırlanan numuneler üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre %2.0 PPF eklenen kaolin kilinin serbest basınç mukavemeti, katkısız kaolin kili numunelere göre %116 oranında artış göstermiştir. Aynı oranda PET katkısı ile iyileştirilen kaolin kilinde ise serbest basınç mukavemeti %36 artış göstermiştir.

Hem PPF hem de PET katkılarının kaolin içerisindeki ağırlıkça yüzde oranları arttıkça karışımların birim hacim ağırlıklarının azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca optimum su muhtevasının ise önce azaldığı ve daha sonrasında arttığı gözlemlenmiştir.

Her iki katkı içinde artan katkı oranlarıyla kaolin zemininin mukavemeti sürekli artış göstermiştir. Ancak yüksek maliyeti ve zemini iyileştirmesindeki başarısı da göz önüne alındığında PPF katkısının killi zeminlerde ağırlıkça %0.5 oranında kullanılmasının yeterli olacağı belirlenmiştir. PET katkısı ise atık bir malzeme olup tek maliyeti geri dönüşüm için yapılan harcamalardır. Bu nedenle PET katkısının zeminde daha yüksek oranlarda kullanılması hem mukavemeti artıracak hem de doğaya atılan katı atıkların hacminin azaltılmasını sağlayacaktır. Yukarıda sayılan nedenlerle killi zeminlerde %2.0 ve daha yüksek oranlarda PET katkısının kullanılmasının uygun olabileceği sonucuna varılmıştır.

5. Kaynaklar

- Afşar, E., Bilgen, G. (2021).** Kuyu temel maliyetinin deprem riskine göre değişimi. *Tasarım Mimarlık ve Mühendislik Dergisi*, 1(3), 181-188.
- Akan, R., Keskin, S. N. (2018).** Kompaksiyon Yönteminin Kohezyonlu Zeminlerin Serbest Basınç Mukavemetine Etkisi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 6(2), 250-257.
- Aksoy, H. S., Edan, O. M. E., Taher, N. (2021).** Shear Strength Parameters of Sand Reinforced with Polypropylene Fiber. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(4), 900-907.
- Al-Refeai, T. O. (1991).** Behavior of granular soils reinforced with discrete randomly oriented inclusions. *Geotextiles and Geomembranes*, 10(4), 319-333.
- ASTM, D2166-06. (2016).** Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil. *West Conshohocken, PA, United States*.
- ASTM D698-00. (2000).** Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using standard effort (12,400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m^{3Annual Book of ASTM Standards, 4.}
- Bilgen, G. (2020a).** Geri Dönüştürülmüş Beton Agregasının Düşük Plastisiteli Bir Kilin Mekanik Özelliklerine Etkisi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(3), 1714-1719.
- Bilgen, G. (2020b).** Utilization of powdered glass in lime-stabilized clayey soil with sea water *Environmental Earth Sciences*, 79 (19), 472.
- Bilgen, G., Altuntas, O. F. (2023).** Sustainable re-use of waste glass, cement and lime treated dredged material as pavement material. *Case Studies in Construction Materials*, 18, e01815.
- Botero, E., Ossa, A., Sherwell, G., Ovando-Shelley, E. (2015).** Stress-strain behavior of a silty soil reinforced with polyethylene terephthalate (PET). *Geotextiles and Geomembranes*, 43(4), 363-369.

- Calvo, C. F., (2006).** Estudio experimental de refuerzo de suelos con fibras sintéticas.
- Calvo, C. F., Santamaría, J. M. M., Mayoral, J. M. T. (2007).** Refuerzo de suelos con fibras sintéticas. *Rutas: Revista de la Asociación Técnica de Carreteras*, (121), 13-24.
- Castilho, T. W., Rodrigues, R. A., Lodi, P. C. (2021).** Use of Recycled Polyethylene Terephthalate Strips in Soil Improvement. *Geotechnical and Geological Engineering*, 39(8), 5943-5955.
- Dos Santos, A. S., Consoli, N. C., Baudet, B. A. (2010).** The mechanics of fibre-reinforced sand. *Geotechnique*, 60(10), 791-799.
- Fathi, H., Jamshidi Chenari, R., Vafaeian, M. (2020).** Shaking table study on PET strips-sand mixtures using laminar box modelling. *Geotechnical and Geological Engineering*, 38(1), 683-694.
- Festugato, L., Menger, E., Benezra, F., Kipper, E. A., Consoli, N. C. (2017).** Fibre-reinforced cemented soils compressive and tensile strength assessment as a function of filament length. *Geotextiles and Geomembranes*, 45(1), 77-82.
- https://www.eko-pet.com.tr/uploads/ekoflake_f-01_product_standarts.pdf
- Li, J., Ding, D., (2002).** Nonlinear elastic behavior of fiberreinforced soil under cyclic loading. *Soil dynamics and earthquake engineering*, 22(9-12), 977-983.
- Li, J., Tang, C., Wang, D., Pei, X., Shi, B. (2014).** Effect of discrete fibre reinforcement on soil tensile strength. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 6(2), 133-137.
- Liu, Y., Wang, L., Cao, K., Sun, L. (2021).** Review on the Durability of Polypropylene Fibre-Reinforced Concrete. *Advances in Civil Engineering*, 2021.
- Louzada, N. D. S. L., Malko, J. A. C., Casagrande, M. D. T. (2019).** Behavior of clayey soil reinforced with polyethylene terephthalate. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 31(10), 04019218.
- Maher, M. H. (1988).** Static and dynamic force response of sands reinforced with discrete, randomly distributed fibers. *University of Michigan*.
- Maher, M. H., Gray, D. H. (1990).** Static response of sands reinforced with randomly distributed fibers. *Journal of geotechnical engineering*, 116(11), 1661-1677.
- Maliakal, T., Thiyyakkandi, S. (2013).** Influence of randomly distributed coir fibers on shear strength of clay. *Geotechnical and Geological Engineering*, 31(2), 425-433.
- NAPCOR (2016).** (National Association for PET Container Resources). n.d. Accessed.
- Onyelowe, K. C., Bui Van, D., Ubachukwu, O., Ezugwu, C., Salahudeen, B., Nguyen Van, M., Ugorji, B. (2019).** Recycling and reuse of solid wastes; a hub for ecofriendly, ecoefficient and sustainable soil, concrete, wastewater and pavement reengineering. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 14(3), 440-451.
- Özpolat, A. (2020).** Killi zeminlerde kazıklı radye temellerin düşey yükler etkisi altında davranışının model deneyleri ile incelenmesi.
- Peddaiah, S., Burman, A., Sreedeeep, S. (2018).** Experimental study on effect of waste plastic bottle strips in soil improvement. *Geotechnical and Geological Engineering*, 36(5), 2907-2920.
- Prabakar, J., Sridhar, R. S. (2002).** Effect of random inclusion of sisal fibre on strength behaviour of soil. *Construction and Building materials*, 16(2), 123-131.
- Ranjan, G., Vasan, R. M., Charan, H. D. (1996).** Probabilistic analysis of randomly distributed fiber-reinforced soil. *Journal of geotechnical engineering*, 122(6), 419-426.
- Romão, W., Spinacé, M. A., Paoli, M. A. D. (2009).** Poli (terefalato de etileno), PET: uma revisão sobre os processos de síntese, mecanismos de degradação e sua reciclagem. *Polímeros*, 19, 121-132.
- Santoni, R. L., Tingle, J. S., Webster, S. L. (2001).** Engineering properties of sand-fiber mixtures for road construction. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 127(3), 258-268.
- Satı, Y. (2016).** Sıkıştırılmış ince daneli zeminlerin kayma mukavemetinin drenajlı koşullarda incelenmesi. (*Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü*).
- Tang, C., Shi, B., Gao, W., Chen, F., Cai, Y. (2007).** Strength and mechanical behavior of short polypropylene fiber reinforced and cement stabilized clayey soil. *Geotextiles and Geomembranes*, 25(3), 194-202.
- Trindade, T. P., Iasbik, I., de Lima, D. C., Minette, E., de Carvalho Silva, C. H., de Carvalho, C. A. B., Machado, C. C. (2006).** Estudos laboratoriais do comportamento de um solo residual arenoso reforçado com fibras de polipropileno, visando à aplicação em Estradas Florestais. *Revista Árvore*, 30(2), 215-221.
- Unnikrishnan, N., Rajagopal, K., Krishnaswamy, N. R. (2002).** Behaviour of reinforced clay under monotonic and cyclic loading. *Geotextiles and Geomembranes*, 20(2), 117-133.
- Waldron, L. J. (1977).** The shear resistance of root-permeated homogeneous and stratified soil. *Soil Science Society of America Journal*, 41(5), 843-849.
- Wang, Y. (1999).** Utilization of recycled carpet waste fibers for reinforcement of concrete and soil. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 38(3), 533-546.
- Wu, T. H. (1976).** Investigation on landslides on Prince of Wales Island. *Alaska Geotech. Rpt. No 5, Dpt. Of Civil Eng., Ohio State Univ., Columbus, USA*.



Zemin Kaplama Ürünlerinin Kalite Boyutlarının Garvin Modeli ve Aralık Değerli Fermatean Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi Entegrasyonu ile Analizi

Analyzing the Quality Dimensions of Flooring Products with the Integration of the Garvin Model and the Interval-Valued Fermatean Fuzzy Analytical Hierarchy Process

Hilal Singer*

Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Bolu, Türkiye

Öz

Döşemeler, yapılarda katları birbirinden ayıran ve üzerlerinde yürünebilen, beklenebilen ve vakit geçirilebilen yapı elemanlarıdır. Döşemeler değişik etkilere maruz kaldığından beklenen fonksiyonları yerine getirebilmeleri için uygun bir şekilde malzemelerle kaplanması gerekir. Artan ulusal ve uluslararası rekabet ile çeşitli ve değişen tüketici zevkleri nedeniyle, zemin kaplama endüstrisinin ürün kalitesini geliştirmesi önem arz etmektedir. Bu çalışmada, zemin kaplama ürünlerinin kalite boyutları tanımlanmış ve bu boyutlar uzman bilgisine dayalı bir karar verme yaklaşımı ile analiz edilmiştir. Literatürde sıkça kullanılan Garvin modeli çevrecilik, ekonomiklik ve güvenlik boyutları eklenerek sekiz boyuttan on bir boyuta genişletilmiştir. Önerilen on bir kalite boyutu aralık değerli Fermatean bulanık AHP yöntemi ile değerlendirilmiştir. Çalışmanın bulguları, uygunluk, performans ve dayanıklılık boyutlarının rekabetçi kalite açısından oldukça önemli olduğunu göstermiştir. İlave olarak, uygulanan yöntemin çıktıları karşılaştırmalı analiz ile güçlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Analitik hiyerarşi prosesi, aralık değerli fermatean bulanık küme, ürün kalite boyutları, zemin kaplama endüstrisi

Abstract

Floorings are the construction elements that divide the building into different levels and can be walked, waited, and spent time on them. Since floorings are exposed to different forces, they should be properly covered with materials in order to fulfill their expected functions. Due to the increasing national and international competition and diverse and changing consumer pleasures, it is important for the flooring industry to improve product quality. In this study, the quality dimensions of flooring products are defined, and these dimensions are analyzed by an expert knowledge-based decision-making approach. The Garvin model, which is frequently used in the literature, is expanded from eight dimensions to eleven dimensions by adding environmentalism, economy, and safety dimensions. The proposed eleven quality dimensions are evaluated by the interval-valued Fermatean fuzzy AHP method. The findings of the study demonstrate that conformance, performance, and durability dimensions are highly important in terms of competitive quality. Additionally, the outputs of the applied method are strengthened by the comparative analysis.

Keywords: Analytic hierarchy process, interval-valued fermatean fuzzy set, product quality dimensions, flooring industry

1. Giriş

Döşemeler, yapılarda katları birbirinden ayıran ve üzerlerinde yürünebilen, beklenebilen ve vakit geçirilebilen yapı elemanlarıdır. Yatay taşıyıcı olan döşemelerin ana işlevleri, kat yüklerini taşıyıcı elemanlara iletmek ve uygun bir zemin oluşturmaktır. Değişik etkilere maruz kalan döşemelerin

beklenen fonksiyonları yerine getirebilmesi için önemli olan bileşenlerden biri malzeme kaplamasının uygunluğudur. Masif ağaç malzeme, ahşap-esaslı malzemeler, PVC, taş ve seramik döşeme kaplama amacıyla kullanılabilen malzemelerdendir (Döngel 2005, Döngel vd. 2008).

İşletmelerin çoğu günümüzde iki önemli zorlukla karşı karşıya kalmaktadır. Birçok ürün ve hizmet kategorisinde hem fiyata hem de kaliteye dayalı rekabet artmaktadır. Kalite, karmaşık ve çok yönlü bir kavramdır. Ürün kalitesi, en geniş anlamda, bir ürünün tüketici beklentilerini karşılama veya aşma yeteneğidir (Hoe ve Mansori 2018). Kalite, müşteri memnuniyetini belirlemede ve etkilemede önemli bir rol

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: hilal.singer@hotmail.com

Hilal Singer orcid.org/0000-0003-0884-2555



oynar ve iş stratejilerinin de en önemli bileşenidir. Yüksek ürün kalitesi işletmelerin rekabet gücünü artırmada kilit bir unsur olarak görülür. Ürün kalitesinin tanımlanması, ölçülmesi ve geliştirilmesi için bir çerçeve olarak Garvin (1984) tarafından sekiz kritik kalite boyutu önerilmiştir: performans, özellik, güvenilirlik, uygunluk, dayanıklılık, hizmet görme yeteneği, estetik ve algılanan kalite (Jaskulska 2013). Bu sekiz boyutun optimal konfigürasyonunu içeren bir ürün rekabetçi kalite sağlar; diğer bir deyişle, bu boyutlar arasında stratejik dengenin kurulması artan küresel rekabet ortamında faaliyet gösteren işletmelerin başarısı için önemlidir (Kumar vd. 2021).

Literatürde, çeşitli ürün grupları için kalite boyutlarını belirleme ve önceliklendirme gayesiyle bazı çalışmalar yürütülmüştür. Sinclair vd. (1993), ofis mobilyalarının değerlendirilmesinde önemli olan kalite boyutlarını araştırmışlardır. Karnes vd. (1995), giyim endüstrisinde ürün kalitesinin tüketici bakış açısıyla ölçümü için analitik hiyerarşi prosesi (AHP) yönteminin kullanımını önermişlerdir. Ayrıca, ilgili kalite boyutlarının önem sırasını şu şekilde belirlemişlerdir: özellik, görünüm, dayanıklılık, kaliteli görüntü, uyum, konfor, güvenilirlik, giysi bakımı ve işçilik. Sebastianelli ve Tamimi (2002), ürün kalite boyutları ile kalitenin tanımlanması arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Çalışmaya katılan işletmelerin çoğu, kalitenin kullanıcı tarafından nasıl tanımlandığı ile ilgilenmiştir. Kianpour vd. (2014), mevcut ürün kalite boyutlarına çevre dostu boyutunun eklenmesini önermişlerdir. Wudhikarn vd. (2015a), en uygun çatı ürününü analitik ağ süreci ile seçmek için Garvin'nin beş kalite boyutunu ve yaşam döngüsü maliyetlerini dikkate almışlardır. Wudhikarn vd. (2015b), yeni geliştirilen ürünler arasından seçim yapmak için analitik ağ süreci yöntemi ile Monte Carlo analizini önermişlerdir. Sharma ve Kumar (2016), toplu taşıma sektöründe ürün-hizmet kalite boyutlarının değerlendirilmesi için sıradan bulanık AHP yöntemini önermişlerdir. Hazen vd. (2017), yeniden üretilen ürünlerin algılanan kalitesinin kullanım ömrü, özellik, performans ve hizmet görme yeteneği boyutlarına dayanan çok boyutlu bir yapı olduğunu öne sürmüşlerdir. Özveri ve Kabak (2018), işletmelerin ürün kalitesinin etkinliğini ölçmek için bulanık veri zarflama analizi yöntemini kullanmışlardır. Gouda vd. (2019) yeşil kalite boyutlarını belirlemek için karbon ayak izi yaklaşımı ile Garvin modelini bütünleştirmiş ve karar çerçevesine izlenebilirlik ve standardizasyon boyutlarını eklemiştir. Çavdar ve Zerdali (2020) tarafından yürütülen anket çalışmasında, beyaz eşya, tüketici elektroniği, elektrikli ev aletleri, mobilya, ev tekstili, giyim, ayakkabı ve mobilya ürün grupları tüketicilerin perspektifinden incelenmiştir.

Çalışmalarında, Garvin modeli çevrecilik ve fiyat boyutları ile genişletilmiştir. Kumar vd. (2021), en iyi-en kötü yöntemi kullanarak polimer endüstrisi için ürün kalite boyutlarını sıralamışlardır. Luczak vd. (2022), basketbol ayakkabılarının kalite açısından sınıflandırılması için insan faktörleri mühendisliğini ve Garvin modelini dikkate almışlardır.

Ürün kalite boyutlarının önemi aynı değildir. Güvenilir ve bilgilendirici sonuçlar elde etmek için uzman görüşleri toplanmalı ve bilimsel bir teknikle analiz edilmelidir. En popüler bilimsel tekniklerden biri çok kriterli karar vermedir (ÇKKV). Bu teknik, karmaşık karar durumlarını ve süreçlerini karar destek araçlarıyla inceler. ÇKKV tekniğinin temel amaçları, birbiriyle çelişen birden çok kriteri önceliklendirmek ve karşılaştırma matrislerine dayalı olarak bir aday kümesinden en iyi alternatifi seçmektir (Kim ve Chung 2013). ÇKKV ağırlıklandırma yöntemlerinden biri olan AHP genellikle diğerlerinden daha pratik ve önemli özellikler gösterir. Bu yöntemde, karar vericilerin bilgilerine, tecrübelerine ve düşüncelerine göre kriterler ve alternatifler değerlendirilir. AHP yöntemi, karar problemlerini hiyerarşik olarak yapılandırır ve basit ikili karşılaştırmalar yoluyla en uygun kararı belirler. Hiyerarşik yapılar, karmaşık karar problemlerinin basitleştirilmesine ve kolaylıkla çözülmesine yardımcı olur. Bireysel yargıların tutarsızlığını kontrol edebiliyor olması kararların kalitesini ve güvenilirliğini yükseltir (Singer ve Özşahin 2023). Değerlendirme sürecinin bulanık doğası nedeniyle karar elemanlarının doğru ve net derecelendirmelerinin yapılması zordur. Kesin sayısal yargılar elde etmek problemin karmaşıklığı, düşünmenin sınırlılığı, öznellik ve verilerdeki sınırlamalar nedeniyle birçok uygulamada kolay değildir. İnsan yargıları, çoğunlukla kesin değildir ve kesin sayısal değerler ile yeterince temsil edilememektedir. Karar vermede, genellikle sözel etiketler tercih edilir. Bu kapsamda, bulanık kümeleri ÇKKV yöntemleri ile bütünleştirmek önemlidir. Karar verme sürecinin daha esnek ve uygun hale getirilmesi için AHP yönteminin genişletilmesi ve en uygun kararın daha kesin bir şekilde tanımlanmasına izin veren bulanık bir yaklaşımın oluşturulması gerekir (Zavadskas vd. 2020).

Bulanık mantık, insan muhakemesini taklit eder. Karar verici değerlendirmelerinin belirsizliği ile başa çıkmak için bulanık küme teorisi sağlam bir araçtır (Bostancıoğlu 2021). Bulanık derecelendirmeler ve ölçekler, karar vericilere bilgi doğruluk düzeylerini daha iyi ifade etme olanağı sağlar (Zavadskas vd. 2020). Aralık değerli Fermatean bulanık küme, sıradan bulanık kümenin oldukça yeni varyantlarından biridir. Bu kümenin üye olma, üye olmama ve tereddüt parametreleri

esnek aralık değerleri ile tanımlandığı için belirsizlikler daha net bir şekilde ele alınır. Aralık değerli Fermatean bulanık küme, karar vericilerin kesin sayısal değerlendirmeler yapma ile ilgili endişelerini gidermek için oldukça uygundur (Ilieva ve Yankova 2022). Bu nedenlerle, AHP yöntemi belirsizliklere karşı sağlam sonuçlar elde etmek için aralık değerli Fermatean bulanık küme ile güncellenmiştir. Literatürde, farklı karar problemlerini çözmek için Fermatean bulanık küme temelli AHP yaklaşımları kullanılmıştır (Alkan ve Kahraman 2023, Camci vd. 2022, Zeng vd. 2022). Ayrıca,

literatürde farklı ÇKKV yöntemlerinin Fermatean bulanık küme ile birleştirilmesine yönelik çeşitli çalışmalar da yürütülmüştür. Çizelge 1, dikkate değer Fermatean bulanık küme temelli bazı ÇKKV çalışmalarını sunmaktadır. Açık ki, aralık değerli Fermatean bulanık AHP yönteminin ürün kalite boyutlarının değerlendirilmesi için kullanımı ve ayrıca zemin kaplama endüstrisine uygulanması yeni konsepttir. Literatürdeki bu boşluk, aralık değerli Fermatean bulanık AHP yöntemi ile zemin kaplama ürünü kalite değerlendirme modeli tasarlamak için önemli bir motivasyondur.

Çizelge 1. Fermatean bulanık küme temelli ÇKKV çalışmaları.

Yazar(lar)	ÇKKV yöntemi	Konu
Keshavarz-Ghorabae vd. (2020)	WASPAS	Yeşil tedarikçi değerlendirme
Gul vd. (2021)	TOPSIS	Mesleki risk değerlendirmesi
Ayyıldız (2022)	SWARA	Sürdürülebilir kalkınma amaçları
Camci vd. (2022)	AHP	Tedarikçi seçimi
Ilieva ve Yankova (2022)	TOPSIS	COVID-19 aşularının değerlendirilmesi
Kirişçi vd. (2022)	ELECTRE	Biyomedikal malzeme seçimi
Mishra vd. (2022a)	COPRAS	Desalinasyon teknolojisi seçimi
Mishra vd. (2022b)	CRITIC, EDAS	Üçüncü parti tersine lojistik servis sağlayıcısı seçimi
Rani ve Mishra (2022)	WASPAS	E-atık geri dönüşümü
Rani vd. (2022)	CRITIC, COPRAS	Turizm değerlendirmesi
Simić vd. (2022)	MEREC, CoCoSo	Kentsel ulaşım planlaması
Yang vd. (2022)	TOPSIS	Liman değerlendirme
Zeng vd. (2022)	AHP	Çevrimiçi öğretim kalitesi değerlendirme
Alkan ve Kahraman (2023)	AHP	Tedarik zinciri dijital dönüşüm stratejilerinin önceliklendirilmesi
Deliktaş vd. (2023)	Birleştirme operatörlerine dayalı ağırlıklandırma, Hedef programlama	Ömrünü tamamlamış binalar kapsamında sürdürülebilir tedarik zinciri yönetimi
Deveci vd. (2023)	SWARA	Sürdürülebilir madencilik için risk değerlendirmesi
Farid vd. (2023)	CODAS	Sürdürülebilir tedarikçi seçimi
Fetanat vd. (2023)	MEREC, REGIME	Negatif emisyon teknolojilerinin önceliklendirilmesi
Görçün vd. (2023)	FUCOM, MAIRCA	Blokzincir teknolojisi seçim sistemi
Hooshangi vd. (2023)	TOPSIS	Güneş enerjisi çiftlik yeri belirleme
Rao ve Sujatha (2023)	WASPAS	Tıbbi atık arıtma teknolojisi seçimi
Saha vd. (2023)	MARCOS	Depo yeri seçimi
Simic vd. (2023)	ITARA, MARCOS	Tıbbi atık dezenfeksiyon tesisi yer seçimi
Zeng vd. (2023)	TOPSIS, Entropi	Düşük karbonlu şehir değerlendirmesi

CRITIC: Kriterler arası korelasyon yoluyla kriterlerin önem tespiti, **CoCoSo:** Kombine uzlaşık çözüm, **CODAS:** Birleştirilebilir mesafe bazı değerlendirme, **COPRAS:** Karmaşık nisbi değerlendirme, **EDAS:** Ortalama çözüm uzaklığına göre değerlendirme, **ELECTRE:** Gerçeği açıklayan eleme ve seçim, **FUCOM:** Tam tutarlılık yöntemi, **ITARA:** Kayıtsızlık eşiği temelli nitelik oran analizi, **MEREC:** Kriterlerin kaldırma etkilerine dayalı yöntem, **MAIRCA:** Çok nitelikli ideal-gerçek karşılaştırma analizi, **MARCOS:** Uzlaşma çözümüne göre alternatiflerin ölçülmesi ve sıralaması, **SWARA:** Adım adım ağırlık değerlendirme oran analizi, **TOPSIS:** İdeal çözüme benzerliğe göre tercih sıralama, **WASPAS:** Ağırlıklandırılmış bütünlük toplam çarpım değerlendirmesi.

1.1. Amaç ve Katkı

Zemin kaplama ürünleri, inşaat sektöründe ve mekân tasarımı-nda sıkça kullanılmakta olup, karar vericilerin beklentilerinin karşılanması açısından üstün kalitede olmaları önemlidir. Ancak, zemin kaplama ürünlerinin kalite boyutlarının değerlendirilmesi hususunda literatürde bir boşluk bulunmaktadır. Kalite boyutlarının analizi ürün geliştirme, tasarım ve satın alma süreçleri açısından önemlidir. Öte yandan, farklı ürün grupları ile ilgili kalite boyutu değerlendirme süreçlerinde belirsizliklerin ele alınması açısından geçmiş çalışmalar eksiklikler içermektedir. Bu çalışmanın amacı, zemin kaplama ürünleri için kalite boyutlarını Garvin modeli temelinde incelemek, zemin kaplama ürünü kalite değerlendirme problemini uzmanların bakış açısından ele almak için aralık değerli Fermatean bulanık AHP yöntemi ile bir karar çerçevesi oluşturmak ve zemin kaplama endüstrisine faydalı bir kılavuz sunmaktır. Mevcut çalışma, Garvin modelini çevrecilik, ekonomiklik ve güvenlik boyutları ile genişleterek daha kapsamlı bir çok kriterli analiz gerçekleştirmektedir. Önerilen on bir kalite boyutunun değerlendirilmesi bulanık ÇKKV problemi olarak ele alınmakta ve problemin uzman perspektifinden çözümü için aralık değerli Fermatean bulanık AHP yöntemi kullanılmaktadır. Söz konusu yöntemin bu alana ilk kez uygulanması çalışmanın bir diğer yeniliğini sunmaktadır. Sonuç olarak, mevcut çalışma zemin kaplama endüstrisine kalite değerlendirmesi için yeni bir bakış açısı sunmakta ve kalite karar süreçlerine rehberlik edebilecek değerli bilgiler sağlamaktadır.

2. Gereç ve Yöntem

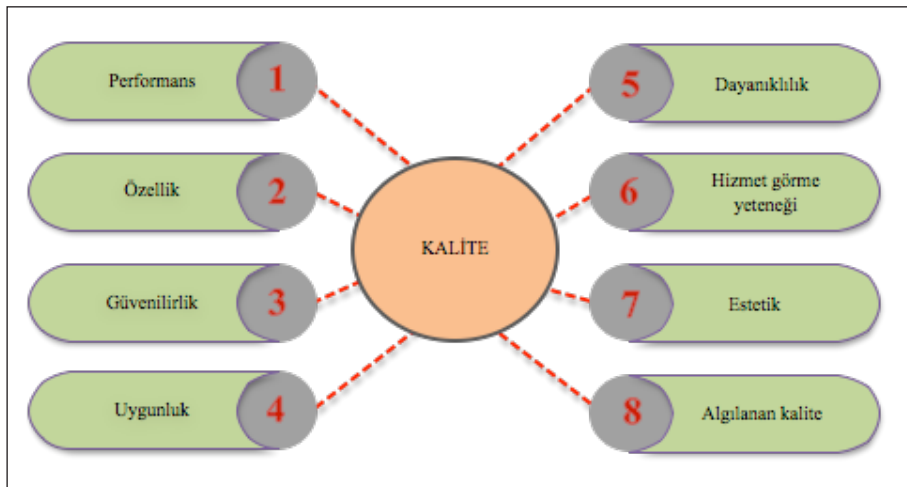
2.1. Genişletilmiş Garvin Modeli

Kalite, tüketicilerin çok sayıda benzer ürün arasından han-

gisini satın alacaklarına karar verirken etkili bir faktördür. Tüketicilerin ürün kalitesini önemseydiği gerçeği, işletmelerin gelecekte varlıklarını sürdürebilmeleri için ürünlerinin kaliteli olmasına özen göstermesine bir neden sağlar. Bir ürünün kalitesinin kontrol edilebilmesi ve iyileştirilebilmesi için kalitenin tanımlanması ve ölçülmesi gerekir. Ürün kalitesinin nicelleştirilmesi için uygun değerlendirme kriterleri belirlenmelidir. Garvin (1984) ürün kalitesinin tanımlanmasına, ölçülmesine ve geliştirilmesine yardımcı olmak için sekiz boyuttan oluşan bir çerçeve sunmuştur. Performans, özellik, güvenilirlik, uygunluk, dayanıklılık, hizmet görme yeteneği, estetik ve algılanan kalite Garvin modelini oluşturan kalite boyutlarıdır (Şekil 1) (Ghylin vd. 2008). Bu kalite boyutları arasından performans, özellik ve dayanıklılık ürün açısından ele alınırken, güvenilirlik ve uygunluk temel üretim bakış açısıyla ilgilidir. Estetik, algılanan kalite ve hizmet görme yeteneği ise sıklıkla kullanıcının tanımlanmasıyla ilgilidir (Chen vd. 2009). Garvin'in sekiz kalite boyutu, geniş bir ürün yelpazesini kapsayan sağlam bir karar çerçevesidir ve ürünlerin değerlendirilmesine yönelik doğru nitelikleri seçmek için iyi bir başlangıç noktasıdır. Garvin modeli, bir üründe kaliteyi açıklayan önemli yönleri göz önünde bulundurarak kaliteye genel bir bakış sunar (Sousa ve Voss 2002).

Kalitenin sekiz kritik boyutu aşağıdaki gibi kısaca açıklanabilir (Garvin 1984, Wudhikarn vd. 2015b).

- Performans: Bir ürünün temel işlevsel özelliklerini temsil eder. Ürünün performans özelliklerinin ölçülmesi genellikle kolaydır. Bu nedenle, performans boyutundan yararlanılarak benzer ürünler arasında önceliklendirme veya sınıflandırma yapılabilir.
- Özellik: Ürüne çekicilik katan ve temel fonksiyonu tamamlayan karakteristiklerdir.



Şekil 1: Ürün kalitesinin boyutları.

- **Güvenilirlik:** Ürünün belirli bir süre içerisinde bozulma ve arızalanma potansiyelini belirtilir. Birim zamandaki arıza oranı ve arızalar arası ortalama süre güvenilirlik ile ilgili göstergelerden bazılarıdır.
- **Uygunluk:** Ürünün tasarımının ve işleyiş özelliklerinin standartlara uyma derecesidir.
- **Dayanıklılık:** Bir ürünün ne kadar süre kullanılacağını ölçer. Teknik olarak, ürünün onarımın imkânsız olduğu bir noktaya kadar bozulmadan önce kullanıma dayanma yeteneği olarak tanımlanır.
- **Hizmet görme yeteneği:** Onarım kolaylığı, hız, yeterlilik ve nezaket ile ilgilidir. Şikâyetleri ele alma ve vaka çözme mekanizmaları başarısız olursa, müşteriler servis hizmetinden memnun olmayabilir.
- **Estetik:** Bireyin yargısını ve kişisel tercihini içerdiği için öznelidir. Ürünün nasıl görüldüğü, sesi, tadı veya kokusu hakkında basit sorular estetik çekiciliği ölçmek için kullanılır.
- **Algılanan kalite:** Kalitenin ürün özelliklerinden ziyade itibar, marka adı, imaj veya reklam ile temsil edilmesidir (Garvin 1984, Wudhikarn vd. 2015b).

İşletmeler seçilen birkaç boyutta rekabet etmek zorunda kalabilir. Bir ürün için kalite boyutlarından birine yüksek öncelik ayrılabilirken, diğerlerine daha az öncelik verilebilir. Rekabet avantajı elde etmek için stratejik olarak önemli kalite niteliklerini tanımlamak ve bunlardan yararlanmak esastır. Garvin modeli, kalitenin değerini en üst düzeye çıkarmaya yardımcı bir çerçeve sağlar. Ancak, geleneksel Garvin modeli bazı eksikliklere sahiptir. Ürünün kalitesine ve müşterinin memnuniyetine etki eden günümüzün güncel boyutları ile Garvin modelinin genişletilmesi gerekir. Ayrıca, mevcut literatür zemin kaplama endüstrisi için kalite boyutlarının karar destek araçlarıyla analizini ihmal etmektedir. Bu çalışmada, üç farklı boyutun ilave edilmesiyle zemin kaplama ürünlerinin değerlendirilmesini amaçlanmaktadır. Mevcut Garvin modeline çevrecilik, ekonomiklik ve güvenlik boyutları eklenerek on bir boyuttan oluşan zemin kaplama ürünü kalite değerlendirme modeli önerilmiş ve aralık değerli Fermatean bulanık AHP yöntemi ile boyutlar arasındaki öncelikler ortaya çıkarılmıştır. Önerilen boyutlar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

- **Çevrecilik:** Ürünün çevreye yönelik olumlu/olumsuz etkilerinin durumuna dair ölçüttür.
- **Ekonomiklik:** Ürünün değerini ve yol açtığı kalite maliyetlerinin toplamını belirtir.

- **Güvenlik:** Ürünün kullanımı ile herhangi bir zararın veya yaralanmanın meydana gelip gelmeyeceğinin ölçütüdür. Tasarım ve sağlık açısından ele alınır. Hem ürün hem de kullanıcı bakış açısı ile ilgilidir.

2.2. Aralık Değerli Fermatean Bulanık Küme

Bulanık küme teorisi, keskin sınırların ve kesin sayıların olmadığı karar problemlerinin ele alınmasında ve çoklu ve çelişen kriterler altında kararların modellenmesinde etkilidir (Díaz vd. 2022). Bu çalışmada, aralık değerli Fermatean bulanık küme belirsizliği iyi bir şekilde ele alması, popülerliği, kullanılabilirliği ve güncelliği gibi yönleri göz önünde bulundurularak tercih edilmiştir (Rani vd. 2022). Bu bulanık küme üç boyutludur ve üye olma, üye olmama ve tereddüt dereceleri $[0,1]$ aralığındaki sayılarla temsil edilir. Bu bulanık kümedeki kısıtlama, üye olma ve üye olmama parametrelerinin ilgili üst sınırlarının küp toplamının 1'den küçük veya eşit olmasıdır (Ilieva ve Yankova 2022). Aralık değerli Fermatean bulanık küme ile ilgili bazı tanımlar aşağıda verilmiştir.

Tanım 1: Bir aralık değerli Fermatean bulanık küme (F) Denklem (1) ile temsil edilir (Rani ve Mishra 2022).

$$F = \{ \langle x, [\mu_{F_L}(x), \mu_{F_U}(x)], [v_{F_L}(x), v_{F_U}(x)] \rangle; x \in X \} \quad (1)$$

Burada; $\mu_F(x)$ ve $v_F(x)$ sırasıyla üye olmama ve üye olma derecesini gösterir. Ayrıca, $0 \leq \mu_{F_L}(x), \mu_{F_U}(x), v_{F_L}(x), v_{F_U}(x) \leq 1$ ve $(\mu_{F_U}(x))^3 + (v_{F_U}(x))^3 \leq 1$ gibidir. Tereddüt derecesi Denklem (2) aracılığıyla hesaplanabilir.

$$\pi_F(x) = \left[\frac{\sqrt[3]{1 - (\mu_{F_U}(x))^3 - (v_{F_U}(x))^3}}{\sqrt[3]{1 - (\mu_{F_L}(x))^3 - (v_{F_L}(x))^3}} \right] \quad (2)$$

Tanım 2: $F = ([\mu_F^L, \mu_F^U], [v_F^L, v_F^U])$, $F_1 = ([\mu_{F_1}^L, \mu_{F_1}^U], [v_{F_1}^L, v_{F_1}^U])$ ve $F_2 = ([\mu_{F_2}^L, \mu_{F_2}^U], [v_{F_2}^L, v_{F_2}^U])$ üç aralık değerli Fermatean bulanık sayı ve $\lambda > 0$ olması durumunda ana aritmetik işlemler şunlardır (Sergi vd. 2022):

$$F_1 \oplus F_2 = \left(\left[\frac{\sqrt[3]{(\mu_{F_1}^L)^3 + (\mu_{F_2}^L)^3 - (\mu_{F_1}^U)^3 (\mu_{F_2}^U)^3}}{\sqrt[3]{(\mu_{F_1}^U)^3 + (\mu_{F_2}^U)^3 - (\mu_{F_1}^L)^3 (\mu_{F_2}^L)^3}} \right], [v_{F_1}^L v_{F_2}^L, v_{F_1}^U v_{F_2}^U] \right) \quad (3)$$

$$F_1 \otimes F_2 = \left([\mu_{F_1}^L \mu_{F_2}^L, \mu_{F_1}^U \mu_{F_2}^U], \left[\frac{\sqrt[3]{(v_{F_1}^L)^3 + (v_{F_2}^L)^3 - (v_{F_1}^U)^3 (v_{F_2}^U)^3}}{\sqrt[3]{(v_{F_1}^U)^3 + (v_{F_2}^U)^3 - (v_{F_1}^L)^3 (v_{F_2}^L)^3}} \right] \right) \quad (4)$$

$$\lambda F = \left(\left[\sqrt[3]{1 - (1 - (\mu_F^L)^3)^\lambda}, \sqrt[3]{1 - (1 - (\mu_F^U)^3)^\lambda} \right], [(v_F^L)^\lambda, (v_F^U)^\lambda] \right) \quad (5)$$

$$F^\lambda = \left([(\mu_F^L)^\lambda, (\mu_F^U)^\lambda], \left[\sqrt[3]{1 - (1 - (v_F^L)^3)^\lambda}, \sqrt[3]{1 - (1 - (v_F^U)^3)^\lambda} \right] \right) \quad (6)$$

2.3. Aralık Değerli Fermatean Bulanık Analitik Hiyerarşi Prosesi

AHP yöntemi, karmaşık karar problemlerini basitleştirmek ve çözmek için sıklıkla kullanılır. AHP süreci, dört ana adımdan oluşur: hiyerarşi oluşturma, ikili karşılaştırmalar yapma, tutarlılık kontrolü ve önceliklerin sentezi (Singer ve Özşahin 2018). Karar problemi ayrıştırılarak hiyerarşik bir yapı oluşturulur. Bu yapı genellikle amaç, kriterler ve alternatifler listesini içerir. Aynı seviyedeki elemanlar bir değerlendirme ölçeği kullanılarak üst seviyedeki elemana göre ikili karşılaştırılır. Karar verici görüşlerine göre her seviye için ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur (Tripathi vd. 2022). Ancak, kesin sayılarla karar elemanlarının karşılaştırılması karar vericinin sınırlı bilgi ve becerisi nedeniyle her zaman mümkün olmayabilir. Çok sayıda karar elemanının olduğu bir süreçte belirsizlik kaçınılmaz olmaktadır. Dilsel etiketlerin kullanımı ile karar verme yöntemlerinin uygulanabilirliği artmaktadır. Bu nedenle, klasik AHP yöntemi bulanık kümeler ailesi ile bütünleştirilerek modifiye edilmiştir (Efe ve Kurt 2018, Verma ve Chandra 2021). Bulanık AHP yaklaşımı, Zadeh (1965) tarafından tanımlanan bulanık küme teorisinden ortaya atılmıştır. Bu yaklaşım, olağan matematiksel terimlerin açıklayamadığı belirsizliği dilsel etiketler aracılığıyla ele alır. Alkan ve Kahraman (2023), klasik AHP yöntemini aralık değerli Fermatean bulanık küme ile birleştiren bir çalışma sunmuştur. Bu çalışma doğrultusunda, ele alınan

karar problemini çözmek için uygulanan aralık değerli Fermatean bulanık AHP prosedürü şu şekildedir:

Adım 1: Karar elemanları Çizelge 2'deki aralık değerli Fermatean bulanık AHP ölçeğine göre ikili karşılaştırılarak karar matrisi oluşturulur.

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \cdots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \cdots & f_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f_{n1} & f_{n2} & \cdots & f_{nn} \end{bmatrix} \quad (7)$$

Denklem (7)'de F, bulanık ikili karşılaştırma matrisini; f_{ij} , i . karar elemanının j . karar elemanına göre derece tercihini; n ise incelenen karar elemanlarının sayısını belirtir.

Adım 2: İkili karşılaştırmaların tutarlılığı Denklem (8) ile kontrol edilir. 0.10 'un altındaki tutarlılık oranları karşılaştırma sonuçlarının kabul edilebilir olduğunu göstermektedir.

$$\text{tutarlılık oranı} = \frac{\left(\frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \right)}{\text{rastgele tutarlılık indeksi}} \quad (8)$$

Burada; λ_{\max} , matrisin maksimum özdeğerini gösterir. Saaty (1977) tarafından n 'nin farklı değerleri için önerilen rastgele tutarlılık değerleri Çizelge 3'te görülebilir.

Adım 3: Farklar matrisi ($D = (d_{ij})_{n \times n}$) Denklem (9) ve Denklem (10) aracılığıyla elde edilir.

Çizelge 2. Aralık değerli Fermatean bulanık AHP ölçeği.

Dilsel etiket	Aralık değerli Fermatean bulanık sayı			
	μ_L	μ_U	ν_L	ν_U
Kesinlikle düşük önemli - KDÖ	0	0	0.95	1
Çok düşük önemli - ÇDÖ	0.1	0.2	0.8	0.9
Düşük önemli - DÖ	0.2	0.3	0.7	0.8
Biraz düşük önemli - BDÖ	0.35	0.4	0.6	0.65
Eşit önemli - EÖ	0.5	0.5	0.5	0.5
Biraz yüksek önemli - BYÖ	0.6	0.65	0.35	0.4
Yüksek önemli - YÖ	0.7	0.8	0.2	0.3
Çok yüksek önemli - ÇYÖ	0.8	0.9	0.1	0.2
Kesinlikle yüksek önemli - KYÖ	0.95	1	0	0

Çizelge 3. Rastgele tutarlılık indeksi.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Rastgele tutarlılık değeri	0	0	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

$$d_{ijL} = \mu_{ijL}^3 - v_{ijV}^3 \quad (9)$$

$$d_{ijV} = \mu_{ijV}^3 - v_{ijL}^3 \quad (10)$$

Adım 4: Çarpımsal matris ($S = (s_{ij})_{n \times n}$) Denklem (11) ve Denklem (12) kullanılarak oluşturulur.

$$s_{ijL} = \sqrt[3]{1000^{d_{ijL}}} \quad (11)$$

$$s_{ijV} = \sqrt[3]{1000^{d_{ijV}}} \quad (12)$$

Adım 5: Tereddüt dereceleri ($T = (t_{ij})_{n \times n}$) aşağıdaki eşitliğe göre hesaplanır.

$$t_{ij} = 1 - (\mu_{ijV}^3 - \mu_{ijL}^3) - (v_{ijV}^3 - v_{ijL}^3) \quad (13)$$

Adım 6: Normalize edilmemiş ağırlıklar ($R = (r_{ij})_{n \times n}$) Denklem (14) uygulanarak hesaplanır.

$$r_{ij} = \left(\frac{s_{ijL} + s_{ijV}}{2} \right) t_{ij} \quad (14)$$

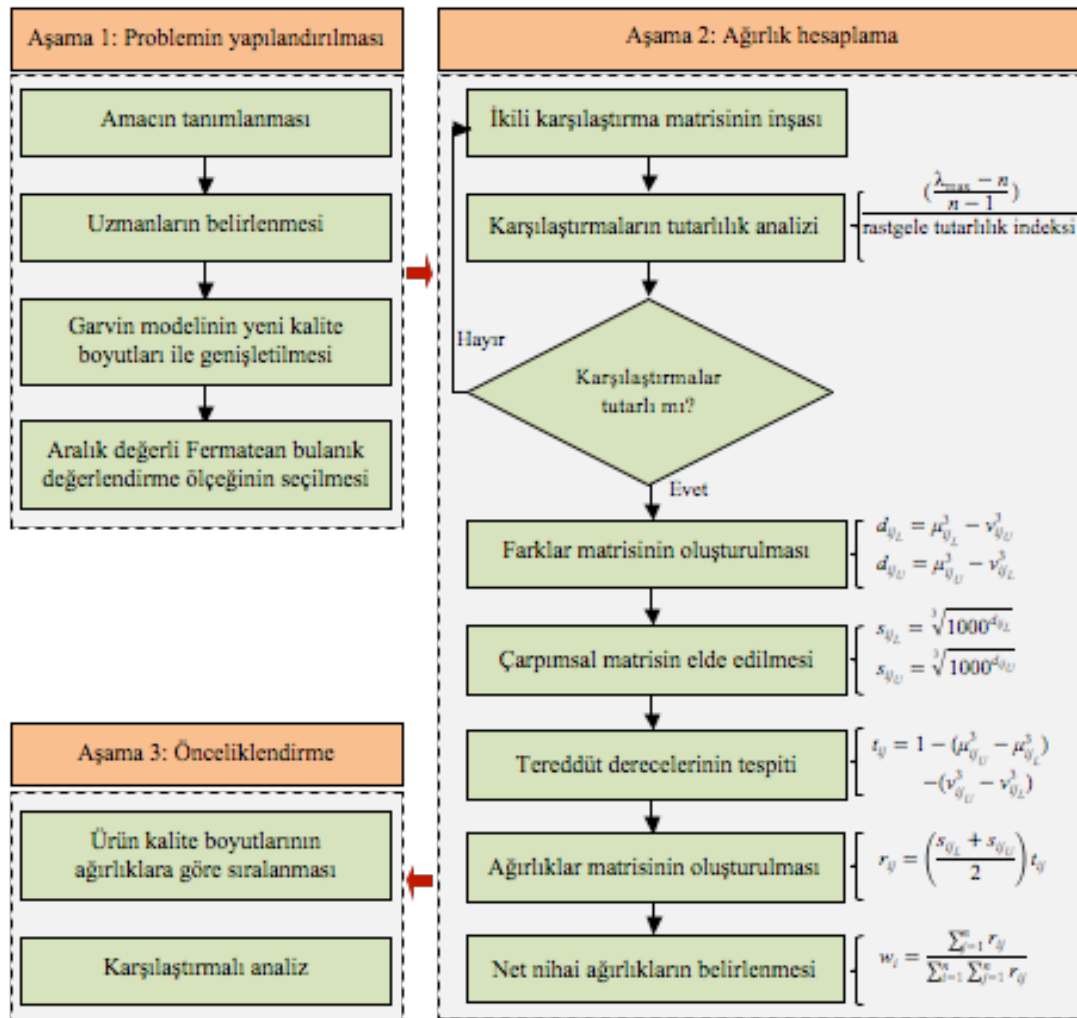
Adım 7: Net nihai ağırlıklar (w_i) aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanır.

$$w_i = \frac{\sum_{j=1}^n r_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n r_{ij}} \quad (15)$$

3. Uygulama

3.1. Karar Verme Çerçevesi

Bu çalışmada, zemin kaplama ürünlerinin kalite boyutları tanımlanmış ve bu boyutlar uzman bilgisine dayalı bir karar verme yaklaşımı ile analiz edilmiştir. Araştırma metodolojisi, üç ana aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, literatür araştırması ve uzman görüşleri dikkate alınarak Garvin modeli genişletilmiştir. Ardından, ürün kalite boyutlarının ağırlık vektörünü belirlemek için aralık değerli Fermatean bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır. Son aşamada, nihai bir sıralama sonucu elde etmek için önceliklendirme prosedürü başlatılmıştır. Çalışmanın işleyişi Şekil 2'de gösterilmiştir.

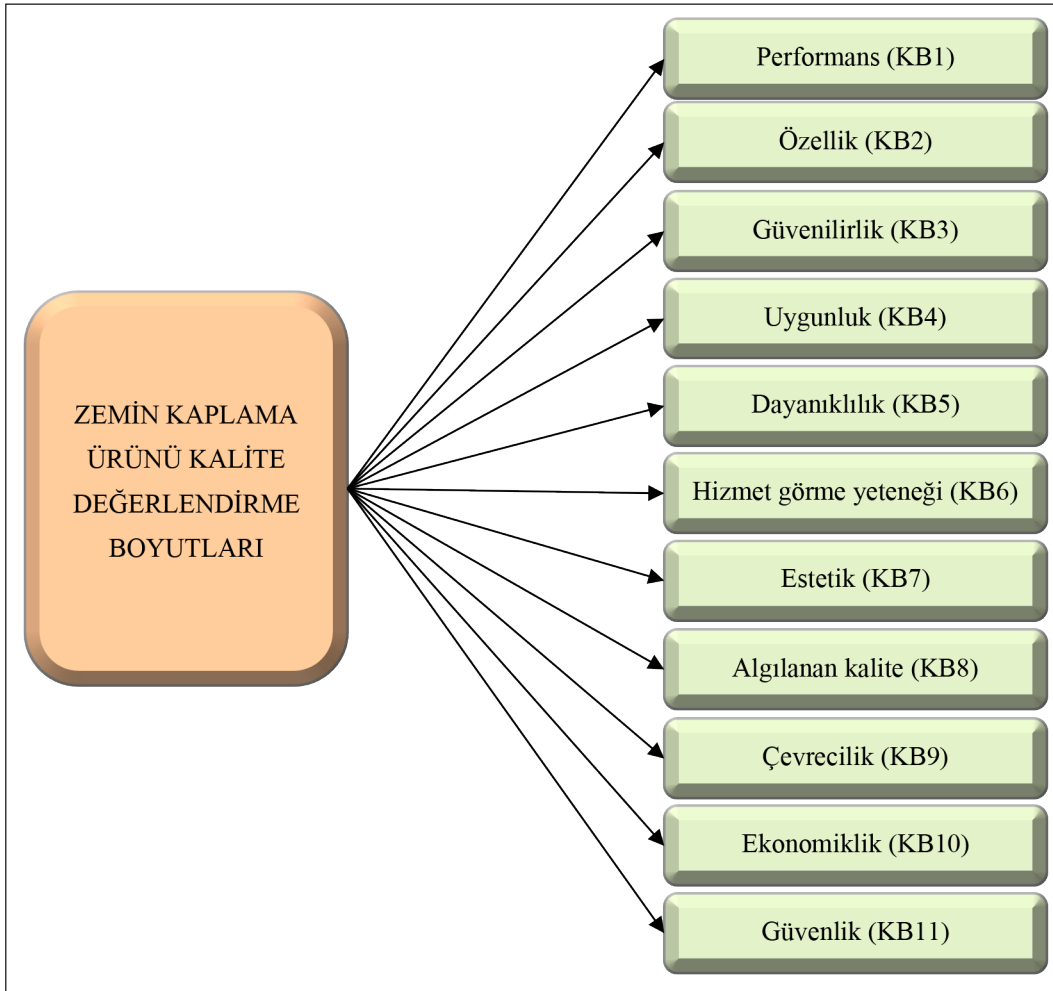


Şekil 2. Çalışmanın işleyişi.

Klasik Garvin modeli sekiz kalite boyutundan oluşmaktadır. Bu model ürün kalitesini değerlendirmek için oldukça değerli bir araç olsa da, günümüzün değişen iş ve tüketici dinamikleri nedeniyle bazı eksikliklere sahiptir. Örneğin, günümüzde ürün ve hizmet kalitesini değerlendirirken çevresel etki ve sürdürülebilirlik önemli bir faktör haline gelmiştir. Dolayısıyla, klasik Garvin modelinin hem günümüz şartlarına hem de incelenen ürün grubuna yönelik güncellenmesi önemlidir. Bu çalışmada, uzman görüşlerine ve çalışmanın kaynak araştırması sonuçlarına dayanarak modele üç farklı boyut eklenmiştir. Zemin kaplama ürünleri için tanımlanan kalite değerlendirme boyutları şunlardır: performans, özellik, güvenilirlik, uygunluk, dayanıklılık, hizmet görme yeteneği, estetik, algılanan kalite, çevrecilik, ekonomiklik ve güvenlik (Şekil 3). Çalışmada dikkate alınan kalite boyutları, Türkiye’de mühendislik fakültesi ile endüstride çalışan, zemin kaplama ürünleri üzerine uluslararası çalışmaları olan, daha önce ÇKKV çalışmalarında yer alan ve alanında en az beş yıllık deneyime ve en az yüksek lisans derecesine sahip

on uzman tarafından değerlendirilmiştir. Uzmanlar, araştırma konusuyla ilgili deneyimleri, eğitimleri, bilgileri ve yayınları dikkate alınarak seçilmiştir.

Ürün kalite boyutlarının ikili mukayeseleri uzman ekip tarafından yapılmıştır. Bulanık AHP soru formları Çizelge 2’de verilen sözel ifadelerle hazırlanmıştır. Uzmanlardan her bir boyut çifti arasındaki tercihlerini sözel olarak belirtmeleri istenmiştir. Yanıtlayıcılar, kişisel bilgi ve uzmanlık temelinde yargılarda bulunmuştur. Uzman görüşleri ile analiz verilerini elde etmek için yüz yüze görüşme yöntemi seçilmiş ve fikir birliğine varma süreci uygulanmıştır. İki kalite boyutu arasındaki karşılaştırma tercihleri Çizelge 2’de verilen dilsel etiketler ile ifade edilmiştir. Uzmanların yanıtları ilk aşamada derlenmiş ve ardından ikinci değerlendirme turuna geçilmiştir. Üç turluk görüş birleştirme sürecinden sonra nihai fikir birliğine varılmıştır. Ardından, dilsel ifadeler karşılık gelen aralık değerli Fermatean bulanık sayılara dönüştürülmüştür. Elde edilen bulanık ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 4’te verilmiştir.



Şekil 3. Çalışmada kullanılan ürün kalitesi değerlendirme boyutları.

Ürün kalite boyutlarının öncelik değerlerini belirlemek için aralık değerli Fermatean bulanık AHP yönteminin hesaplama prosedürü uygulanmıştır. Öncelikle, farklar matrisi Denklem (9) ve Denklem (10)'un yardımıyla Çizelge 5'teki gibi oluşturulmuştur.

Bir sonraki adımda, çarpımsal matris Denklem (11) ve Denklem (12) aracılığıyla Çizelge 6'daki gibi elde edilmiştir.

Tereddüt dereceleri Denklem (13) kullanılarak hesaplanmış ve normalizasyon işleminden önceki ağırlıklar Denklem (14) uygulanarak Çizelge 7'deki gibi elde edilmiştir.

Çizelge 4. İkili karşılaştırma matrisi.

	KB1	KB2	KB3	KB4	KB5	KB6	KB7	KB8	KB9	KB10	KB11
KB1	EÖ	KYÖ	BYÖ	BDÖ	BYÖ	ÇYÖ	ÇYÖ	KYÖ	YÖ	YÖ	BYÖ
KB2		EÖ	ÇDÖ	KDÖ	ÇDÖ	BDÖ	BDÖ	BDÖ	DÖ	DÖ	ÇDÖ
KB3			EÖ	BDÖ	BDÖ	YÖ	YÖ	ÇYÖ	BYÖ	BYÖ	BDÖ
KB4				EÖ	BYÖ	ÇYÖ	ÇYÖ	KYÖ	YÖ	YÖ	BYÖ
KB5					EÖ	YÖ	YÖ	ÇYÖ	BYÖ	BYÖ	BYÖ
KB6						EÖ	BDÖ	BYÖ	BDÖ	BDÖ	DÖ
KB7							EÖ	BYÖ	BDÖ	BDÖ	DÖ
KB8								EÖ	DÖ	DÖ	ÇDÖ
KB9									EÖ	BYÖ	BDÖ
KB10										EÖ	BDÖ
KB11											EÖ

Çizelge 5. Farklar matrisi.

	KB1	KB2	KB3	KB4	KB5	KB6	KB7	KB8	KB9	KB10	KB11
KB1	[0.00, 0.00]	[0.86, 1.00]	[0.15, 0.23]	[-0.23, -0.15]	[0.15, 0.23]	[0.50, 0.73]	[0.50, 0.73]	[0.86, 1.00]	[0.32, 0.50]	[0.32, 0.50]	[0.15, 0.23]
KB2	[-1.00, -0.86]	[0.00, 0.00]	[-0.73, -0.50]	[-1.00, -0.86]	[-0.73, -0.50]	[-0.23, -0.15]	[-0.23, -0.15]	[-0.23, -0.15]	[-0.50, -0.32]	[-0.50, -0.32]	[-0.73, -0.50]
KB3	[-0.23, -0.15]	[0.50, 0.73]	[0.00, 0.00]	[-0.23, -0.15]	[-0.23, -0.15]	[0.32, 0.50]	[0.32, 0.50]	[0.50, 0.73]	[0.15, 0.23]	[0.15, 0.23]	[-0.23, -0.15]
KB4	[0.15, 0.23]	[0.86, 1.00]	[0.15, 0.23]	[0.00, 0.00]	[0.15, 0.23]	[0.50, 0.73]	[0.50, 0.73]	[0.86, 1.00]	[0.32, 0.50]	[0.32, 0.50]	[0.15, 0.23]
KB5	[-0.23, -0.15]	[0.50, 0.73]	[0.15, 0.23]	[-0.23, -0.15]	[0.00, 0.00]	[0.32, 0.50]	[0.32, 0.50]	[0.50, 0.73]	[0.15, 0.23]	[0.15, 0.23]	[0.15, 0.23]
KB6	[-0.73, -0.50]	[0.15, 0.23]	[-0.50, -0.32]	[-0.73, -0.50]	[-0.50, -0.32]	[0.00, 0.00]	[-0.23, -0.15]	[0.15, 0.23]	[-0.23, -0.15]	[-0.23, -0.15]	[-0.50, -0.32]
KB7	[-0.73, -0.50]	[0.15, 0.23]	[-0.50, -0.32]	[-0.73, -0.50]	[-0.50, -0.32]	[0.15, 0.23]	[0.00, 0.00]	[0.15, 0.23]	[-0.23, -0.15]	[-0.23, -0.15]	[-0.50, -0.32]
KB8	[-1.00, -0.86]	[0.15, 0.23]	[-0.73, -0.50]	[-1.00, -0.86]	[-0.73, -0.50]	[-0.23, -0.15]	[-0.23, -0.15]	[0.00, 0.00]	[-0.50, -0.32]	[-0.50, -0.32]	[-0.73, -0.50]
KB9	[-0.50, -0.32]	[0.32, 0.50]	[-0.23, -0.15]	[-0.50, -0.32]	[-0.23, -0.15]	[0.15, 0.23]	[0.15, 0.23]	[0.32, 0.50]	[0.00, 0.00]	[0.15, 0.23]	[-0.23, -0.15]
KB10	[-0.50, -0.32]	[0.32, 0.50]	[-0.23, -0.15]	[-0.50, -0.32]	[-0.23, -0.15]	[0.15, 0.23]	[0.15, 0.23]	[0.32, 0.50]	[-0.23, -0.15]	[0.00, 0.00]	[-0.23, -0.15]
KB11	[-0.23, -0.15]	[0.50, 0.73]	[0.15, 0.23]	[-0.23, -0.15]	[-0.23, -0.15]	[0.32, 0.50]	[0.32, 0.50]	[0.50, 0.73]	[0.15, 0.23]	[0.15, 0.23]	[0.00, 0.00]

Çizelge 6. Çarpımsal matris.

	KB1	KB2	KB3	KB4	KB5	KB6	KB7	KB8	KB9	KB10	KB11
KB1	[1.00, 1.00]	[7.20, 10.00]	[1.42, 1.71]	[0.59, 0.70]	[1.42, 1.71]	[3.19, 5.35]	[3.19, 5.35]	[7.20, 10.00]	[2.07, 3.19]	[2.07, 3.19]	[1.42, 1.71]
KB2	[0.10, 0.14]	[1.00, 1.00]	[0.19, 0.31]	[0.10, 0.14]	[0.19, 0.31]	[0.59, 0.70]	[0.59, 0.70]	[0.59, 0.70]	[0.31, 0.48]	[0.31, 0.48]	[0.19, 0.31]
KB3	[0.59, 0.70]	[3.19, 5.35]	[1.00, 1.00]	[0.59, 0.70]	[0.59, 0.70]	[2.07, 3.19]	[2.07, 3.19]	[3.19, 5.35]	[1.42, 1.71]	[1.42, 1.71]	[0.59, 0.70]
KB4	[1.42, 1.71]	[7.20, 10.00]	[1.42, 1.71]	[1.00, 1.00]	[1.42, 1.71]	[3.19, 5.35]	[3.19, 5.35]	[7.20, 10.00]	[2.07, 3.19]	[2.07, 3.19]	[1.42, 1.71]
KB5	[0.59, 0.70]	[3.19, 5.35]	[1.42, 1.71]	[0.59, 0.70]	[1.00, 1.00]	[2.07, 3.19]	[2.07, 3.19]	[3.19, 5.35]	[1.42, 1.71]	[1.42, 1.71]	[1.42, 1.71]
KB6	[0.19, 0.31]	[1.42, 1.71]	[0.31, 0.48]	[0.19, 0.31]	[0.31, 0.48]	[1.00, 1.00]	[0.59, 0.70]	[1.42, 1.71]	[0.59, 0.70]	[0.59, 0.70]	[0.31, 0.48]
KB7	[0.19, 0.31]	[1.42, 1.71]	[0.31, 0.48]	[0.19, 0.31]	[0.31, 0.48]	[1.42, 1.71]	[1.00, 1.00]	[1.42, 1.71]	[0.59, 0.70]	[0.59, 0.70]	[0.31, 0.48]
KB8	[0.10, 0.14]	[1.42, 1.71]	[0.19, 0.31]	[0.10, 0.14]	[0.19, 0.31]	[0.59, 0.70]	[0.59, 0.70]	[1.00, 1.00]	[0.31, 0.48]	[0.31, 0.48]	[0.19, 0.31]
KB9	[0.31, 0.48]	[2.07, 3.19]	[0.59, 0.70]	[0.31, 0.48]	[0.59, 0.70]	[1.42, 1.71]	[1.42, 1.71]	[2.07, 3.19]	[1.00, 1.00]	[1.42, 1.71]	[0.59, 0.70]
KB10	[0.31, 0.48]	[2.07, 3.19]	[0.59, 0.70]	[0.31, 0.48]	[0.59, 0.70]	[1.42, 1.71]	[1.42, 1.71]	[2.07, 3.19]	[0.59, 0.70]	[1.00, 1.00]	[0.59, 0.70]
KB11	[0.59, 0.70]	[3.19, 5.35]	[1.42, 1.71]	[0.59, 0.70]	[0.59, 0.70]	[2.07, 3.19]	[2.07, 3.19]	[3.19, 5.35]	[1.42, 1.71]	[1.42, 1.71]	[1.00, 1.00]

Çizelge 7. Ağırlıklar matrisi.

	KB1	KB2	KB3	KB4	KB5	KB6	KB7	KB8	KB9	KB10	KB11
KB1	1.00	7.37	1.44	0.59	1.44	3.31	3.31	7.37	2.14	2.14	1.44
KB2	0.10	1.00	0.19	0.10	0.19	0.59	0.59	0.59	0.32	0.32	0.19
KB3	0.59	3.31	1.00	0.59	0.59	2.14	2.14	3.31	1.44	1.44	0.59
KB4	1.44	7.37	1.44	1.00	1.44	3.31	3.31	7.37	2.14	2.14	1.44
KB5	0.59	3.31	1.44	0.59	1.00	2.14	2.14	3.31	1.44	1.44	1.44
KB6	0.19	1.44	0.32	0.19	0.32	1.00	0.59	1.44	0.59	0.59	0.32
KB7	0.19	1.44	0.32	0.19	0.32	1.44	1.00	1.44	0.59	0.59	0.32
KB8	0.10	1.44	0.19	0.10	0.19	0.59	0.59	1.00	0.32	0.32	0.19
KB9	0.32	2.14	0.59	0.32	0.59	1.44	1.44	2.14	1.00	1.44	0.59
KB10	0.32	2.14	0.59	0.32	0.59	1.44	1.44	2.14	0.59	1.00	0.59
KB11	0.59	3.31	1.44	0.59	0.59	2.14	2.14	3.31	1.44	1.44	1.00

Son adımda, Denklem (15) kullanılarak nihai ağırlıklar belirlenmiştir.

3.2. Bulgular ve Tartışma

Şekil 4, ürün kalite boyutları için elde edilen ağırlıkları grafiksel olarak sunmaktadır. Ürün kalite boyutlarının sıralama düzeni şu şekildedir: uygunluk ($w = 0.196$), performans ($w = 0.191$), dayanıklılık ($w = 0.114$), güvenlik ($w = 0.109$), güvenilirlik ($w = 0.104$), çevrecilik ($w = 0.073$), ekonomiklik ($w = 0.068$), estetik ($w = 0.048$), hizmet görme yeteneği ($w = 0.042$), algılanan kalite ($w = 0.031$), özellik ($w = 0.026$). Bu sıralama sonucu, ürün kalitesini değerlendirirken her bir boyutun ne kadar önemli olduğunu vurgulamaktadır. Çalışmanın bulgularına dayanarak, uygunluk, performans ve dayanıklılık boyutlarının rekabetçi kalite açısından oldukça önemli olduğu sonucuna varılabilir.

Uygunluk, zemin kaplama ürünlerinin belirli standartlara ne kadar uygun olduğunu ölçen kritik bir boyuttur. Bu, ürünlerin kullanılabilirliğini de belirler. Bir ürünün uygunluk açısından yüksek bir değere sahip olması, endüstrinin düzenlemelere uygun ürünler ürettiğini gösterir. Uygunluk eksikliği, ürünlerin pazarlama veya kullanım sırasında sorunlar yaşayabileceği anlamına gelmektedir. Bir ürünün standartlara uygun olması, işletmenin tüketicilerin güvenini kazanmasına ve sektördeki rekabette avantaj sağlamasına yardımcı olur.

Performans, zemin kaplama ürünlerinin belirli koşullarda nasıl çalıştığını değerlendirmede önemlidir. Performans özellikleri, bir ürünün değerini ve işlevselliğini belirler. Ürünlerin tasarım aşamasından başlayarak, performans beklentilerine uygunluğunun sürekli olarak takip edilmesi ve iyileştirilmesi gerekir. Tüketiciler, zemin kaplama ürünlerinin beklentilerini karşılayıp karşılamadığını değerlendirmek için performansını göz önünde bulundururlar. Bu nedenle, ürünlerin performansının değerlendirilmesi tüketici memnuniyetini artırmanın ve sektör içinde itibarı yükseltmenin kilit bir unsuru olarak öne çıkar.

Dayanıklılık, bir zemin kaplama ürününün ne kadar süre boyunca dayanabileceğini ve ne kadar dirençli olduğunu belirtir. Tüketiciler, zemin kaplamalarının uzun süre dayanmasını bekler ve sık sık bakım gerektirmemesini ister. Bu nedenle, dayanıklılık boyutuna odaklanmak tüketici sadakatini korumak için kritik bir faktördür. Dayanıklı ürünler, tüketicilere uzun vadeli bir yatırımın güvencesini sunar, yeniden değiştirme veya onarım maliyetlerini azaltabilir ve marka sadakatini oluşturur.

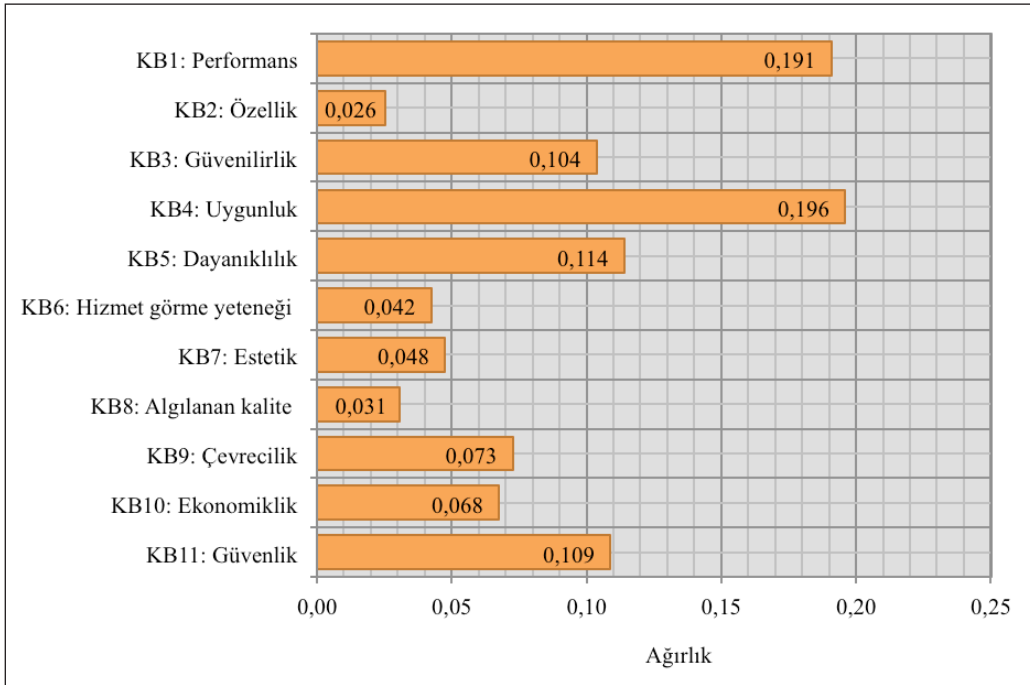
Zemin kaplama endüstrisinin ürün kalitesi ile ilgili atılacak adımlarda öncelikle uygunluk, performans ve dayanıklılık boyutlarına odaklanması ve her boyuta yönelik beklentilerin karşılanması gerekir. Ürünlerin uygunluk, performans ve dayanıklılık açısından gereksinimleri karşılaması, tüketicilerin güvenini kazanmak ve pazarda liderlik konumunu sağlamak için kritik bir adımdır. Bu boyutlara yönelik yatırım yapmak, endüstrinin genel kalite seviyesini artırabilir ve uzun vadede başarı için temel bir faktör olabilir. Öte yandan, hizmet görme yeteneği, algılanan kalite ve özellik daha az önemli boyutlardır.

Artan ulusal ve uluslararası rekabet ile çeşitli ve değişen tüketici zevkleri nedeniyle, zemin kaplama endüstrisinin ürün kalitesini geliştirmeye ihtiyacı vardır. Bir kalite planı oluşturulduktan sonra, etkili metodolojiler veya bu metodolojilerle birlikte gelişmiş teknolojiler önceliklendirilen kalite boyutları altında üretim süreçlerini yönetmek için uygulanabilir. Etkili bir kalite kontrol sistemi de ürün kalitesinin artırılması açısından önem teşkil etmektedir. Kalite yönetimi bir süreçtir ve sürekli iyileştirmeyi içerir. Ürün kalitesini artırmak için sürekli olarak veriler analiz edilmeli, hatalar tanımlanmalı ve düzeltici önlemler alınmalıdır.

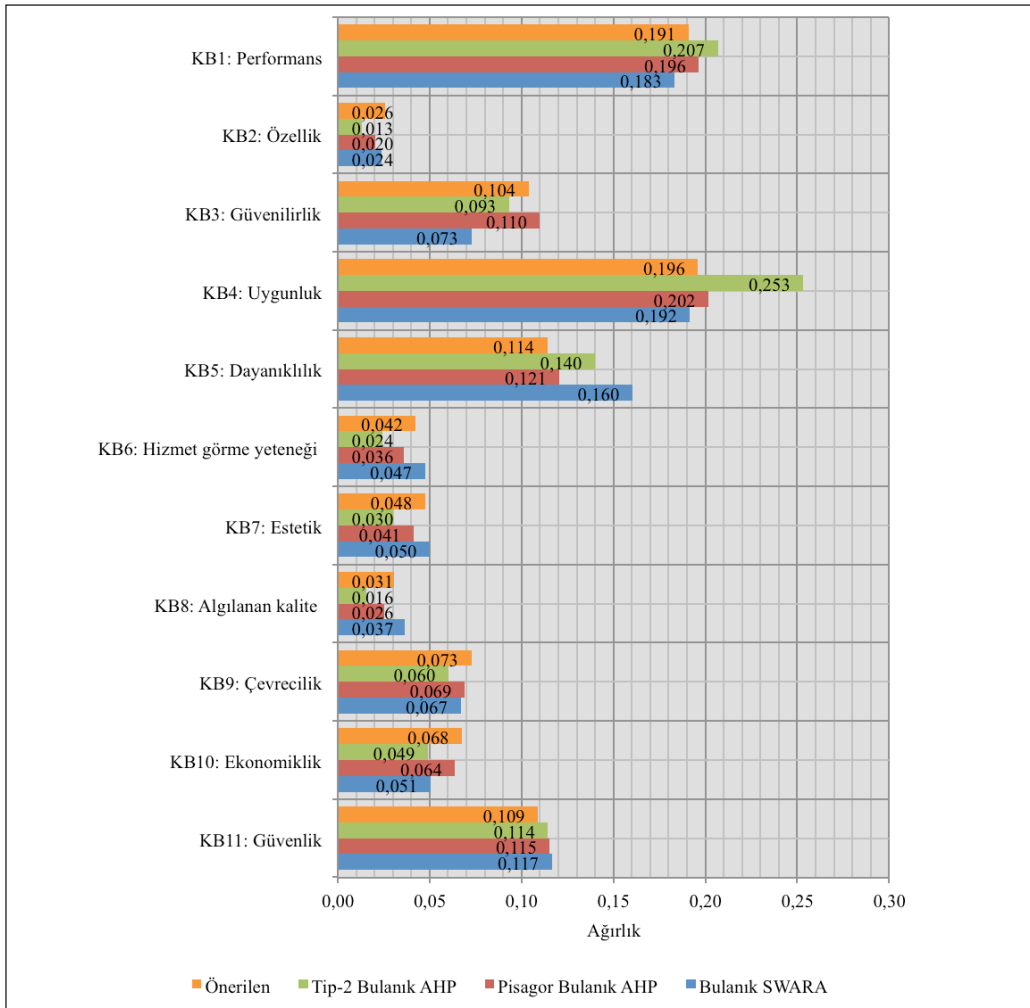
Karar verme uygulamalarında elde edilen sonuçların güçlendirilmesi için genellikle ilave işlemler gerçekleştirilir. Bu kapsamda, çalışmada karşılaştırmalı analiz yapılmıştır. Uygulanan yöntemin çıktıları, bulanık SWARA, aralık değerli Pisagor bulanık AHP ve aralıklı tip-2 bulanık AHP yöntemleri (ayrıntılar için bkz. Şengül ve Çağıl 2020, Seker ve Kahraman 2021, Celik ve Akyuz 2018) uygulanarak incelenmiştir. Karşılaştırmalı analiz sonuçları Şekil 5'te grafiksel olarak sunulmuştur. Şekilde görülebileceği üzere, uygunluk, performans ve dayanıklılık ilk üç sırada yer almaktadır. Diğer ürün kalite boyutları da sıralamadaki konumlarını korumuştur. Sonuç olarak, grafiksel karşılaştırma mevcut sonuçların güvenilir ve kabul edilebilir olduğuna işaret etmiştir.

4. Sonuç

Bu çalışma, zemin kaplama ürünlerinin kalitelerinin değerlendirilmesine odaklanarak karar verme sürecinde hangi kalite boyutlarının dikkate alınması gerektiğini araştırmaktadır. Öncelikle, literatür araştırması ve uzman görüşleri doğrultusunda ürün kalite boyutları tanımlanmaya çalışılmıştır. Zemin kaplama ürünü kalitesinin değerlendirilmesine yönelik bir çerçeve sağlama maksadıyla literatürde sıkça kullanılan Garvin modeli çevrecilik, ekonomiklik ve güvenlik boyutları eklenerek sekiz boyuttan on bir boyuta genişletilmiştir. Önerilen on bir kalite boyutunun değeri-



Şekil 4. Ürün kalite boyutlarının önem ağırlıkları.



Şekil 5. Karşılaştırmalı analiz sonuçları.

dirilmesi bulanık ÇKKV problemi olarak kabul edilmiştir. Aralık değerli Fermatean bulanık AHP yöntemi ile ürün kalite boyutları analiz edilmiştir. Son aşamada, uygulanan yöntemin çıktılarını güçlendirmek için karşılaştırmalı analiz gerçekleştirilmiştir. Araştırma boyunca uzman görüşlerinden yararlanılmıştır. Çalışmadan elde edilen başlıca sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Ürün kalite boyutlarının azalan düzende sıralaması uygunluk, performans, dayanıklılık, güvenlik, güvenilirlik, çevrecilik, ekonomiklik, estetik, hizmet görme yeteneği, algılanan kalite, özellik olarak elde edilmiştir.
- Sonuçlar, zemin kaplama endüstrisinin ürün elde etme sürecinde yüksek kalite için öncelikle uygunluk, performans ve dayanıklılık boyutlarına odaklanması gerektiğini göstermiştir. Bu boyutlara öncelik vermek, tüketici memnuniyetini artırmanın yanı sıra işletmeye sürdürülebilir bir rekabet avantajı sağlayabilir. Tüketiciler, ihtiyaçlarına uygun yüksek kaliteli zemin kaplamalarını tercih edeceklerdir. Ayrıca, rekabetçi bir avantaj elde etmek, sektördeki diğer oyuncuların önünde olmayı ve yeni tüketiciler kazanmayı kolaylaştırabilir. Sonuç olarak, bu boyutlara odaklanmak hem tüketici memnuniyetini artırmak hem de uzun vadeli iş başarısını desteklemek için akıllıca bir strateji olabilir.
- Karşılaştırmalı analiz, çalışmanın sonuçlarını ve aralık değerli Fermatean bulanık AHP yönteminin uygulanabilirliğini desteklemiştir.
- Elde edilen sonuçlar, zemin kaplama endüstrisinde yüksek kalite elde etmenin önemini vurgulamakta ve bir yol haritası sunmaktadır.

Literatürde, bazı ürün grupları için kalite boyutları analiz edilmiştir. Yazar bilgisine göre, literatürde zemin kaplama ürünlerinin kalite boyutlarının önceliklendirilmesine ve bu amaç için bulanık ÇKKV yönteminin kullanımına ilişkin herhangi bir bilgi bulunmamaktadır. Bu nedenle, zemin kaplama ürün grubuna odaklanan bu çalışmada kalite boyutları için elde edilen bulgular endüstriyel açıdan oldukça önemlidir. Mevcut çalışmanın değeri şu şekilde listelenebilir:

- Zemin kaplama ürünlerini kapsayan genel kalite değerlendirme boyutları incelenmiştir.
- Garvin modeli çevrecilik, ekonomiklik ve güvenlik boyutları ile genişletilmiştir.
- Modeldeki on bir kalite boyutunun değerlendirilmesi bulanık ÇKKV problemi olarak ele alınmıştır.

- Ürün kalite boyutlarının önceliklendirilmesi için ilk kez aralık değerli Fermatean bulanık AHP yöntemi kullanılmıştır.
- Karar problemi uzman perspektifinden incelenmiştir.
- Tanımlanan zemin kaplama ürünü kalite değerlendirme boyutlarının önem ağırlıklarının ortaya çıkarılması sonucunda zemin kaplama endüstrisine değerli bir rehber sunulmuştur.

Mevcut çalışma, literatüre önemli katkılarda bulunsa da, bazı sınırlılıklar taşımaktadır. Zemin kaplama ürünleri için tanımlanan kalite boyutları arasındaki nedensel ilişkiler (etkileşimler) hesaba katılmamıştır. Bu etkileşimlerin sonuçlar üzerine olan etkisi bulanık bilişsel harita gibi yöntemler ile incelenebilir. Karar verme çerçevesi, zemin kaplama ürünleri için tasarlanmıştır. Bu nedenle, diğer ürün kategorileri için doğrudan uygulanamayabilir. İleriki çalışmalarda önerilen yaklaşım farklı ürün grupları için kullanılabilir. Gıda ürünleri, elektronik cihazlar, giyim veya otomobil parçaları gibi farklı ürün kategorileri için söz konusu yaklaşımın ne kadar etkili olduğu uzman veya tüketici perspektifinden araştırılabilir. Zemin kaplama ürünleri için önerilen karar verme çerçevesi tanımlanan kalite boyutları ile sınırlıdır. Lakin problemlerin doğasına göre kalite boyutları ve boyut sayısı değiştirilebilir. Ayrıca, farklı karar destek yöntemleri probleme dâhil edilebilir ve elde edilen bulgular bu çalışmanın sonuçları ile mukayese edilebilir.

5. Kaynaklar

- Alkan, N., Kahraman, C. 2023.** Prioritization of supply chain digital transformation strategies using multi-expert Fermatean fuzzy analytic hierarchy process. *Informatica*, 34: 1-33. Doi:10.15388/22-infor493
- Ayyıldız, E. 2022.** Fermatean fuzzy step-wise Weight Assessment Ratio Analysis (SWARA) and its application to prioritizing indicators to achieve sustainable development goal-7. *Renew. Energy*, 193: 136-148. Doi:10.1016/j.renene.2022.05.021
- Bostancıoğlu, E. 2021.** Double skin façade assessment by fuzzy AHP and comparison with AHP. *Archit. Eng. Des. Manag.*, 17: 110-130. Doi:10.1080/17452007.2020.1735292
- Camci, A., Ertürk, ME., Gül, S. 2022.** A novel Fermatean fuzzy analytic hierarchy process proposition and its usage for supplier selection problem in industry 4.0 transition. in: H. Garg [ed.], *Q-Rung Orthopair Fuzzy Sets*. Springer, Singapore, pp. 405-437.
- Celik, E., Akyuz, E. 2018.** An interval type-2 fuzzy AHP and TOPSIS methods for decision-making problems in maritime transportation engineering: the case of ship loader. *Ocean Eng.*, 155: 371-381. Doi:10.1016/j.oceaneng.2018.01.039

- Chen, SC., Chang, L., Huang, TH. 2009.** Applying six-sigma methodology in the Kano quality model: an example of the stationery industry. *Total Qual. Manag. Bus. Excell.*, 20: 153-170. Doi:10.1080/14783360802622847
- Çavdar, E., Zerdali, N. 2020.** Farklı mamul grupları için kalite boyutları önem değerlendirmesi. *İşletme Ekon. ve Yönetim Araştırmaları Derg.*, 2: 222-233.
- Deliktaş, D., Karagoz, S., Simić, V., Aydın, N. 2023.** A stochastic Fermatean fuzzy-based multi-choice conic goal programming approach for sustainable supply chain management in end-of-life buildings. *J. Clean. Prod.*, 382: 135305. Doi:10.1016/j.jclepro.2022.135305
- Deveci, M., Varouchakis, E.A., Brito-Parada, P.R., Mishra, A.R., Rani, P., Bolgkoranou, M., Galetakis, M. 2023.** Evaluation of risks impeding sustainable mining using Fermatean fuzzy score function based SWARA method. *Appl. Soft Comput.*, 139: 110220. Doi:10.1016/j.asoc.2023.110220
- Díaz, H., Teixeira, AP., Guedes Soares, C. 2022.** Application of Monte Carlo and Fuzzy Analytic Hierarchy Processes for ranking floating wind farm locations. *Ocean Eng.*, 245: 1-10. Doi:10.1016/j.oceaneng.2021.110453
- Döngel, N. 2005.** Ahşap ve ahşap esaslı döşeme kaplama malzemelerinin (parke) teknik özellikleri. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Döngel, N., Küreli, İ., Söğütü, C. 2008.** Kuru sıcaklığın ahşap ve ahşap esaslı döşeme kaplama malzemelerinde parlaklık ve renk değişimine etkisi. *Politek. Derg.*, 11: 255-263.
- Efe, B., Kurt, M. 2018.** Bir liman işletmesinde personel seçimi uygulaması. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Derg.*, 8: 417-427. Doi:10.7212%2Fzkufbd.v8i2.750
- Farid, HMA., Bouye, M., Riaz, M., Jamil, N. 2023.** Fermatean fuzzy CODAS approach with topology and its application to sustainable supplier selection. *Symmetry*, 15: 433. Doi:10.3390/sym15020433
- Fetanat, A., Tayebi, M., Mofid, H. 2023.** Water-energy-carbon nexus and sustainability-oriented prioritization of negative emissions technologies for the oil & gas industry: A decision support system under Fermatean fuzzy environment. *Process Saf. Environ. Prot.*, 179: 462-483. Doi:10.1016/j.psep.2023.09.037
- Garvin, DA. 1984.** What does "product quality" really mean? *MIT Sloan Manag. Rev.*, 26: 25-43.
- Ghylin, KM., Green, BD., Drury, CG., Chen, J., Schultz, JL., Uggirala, A., Abraham, JK., Lawson, TA. 2008.** Clarifying the dimensions of four concepts of quality. *Theor. Issues Ergon. Sci.*, 9: 73-94. Doi:10.1080/14639220600857639
- Gouda, SK., Awasthy, P., Krishnan, TS., Sreedevi, R. 2019.** What does "green quality" really mean? *TQM J.*, 31: 52-69. Doi:10.1108/TQM-06-2018-0080
- Görçün, ÖF., Pamucar, D., Biswas, S. 2023.** The blockchain technology selection in the logistics industry using a novel MCDM framework based on Fermatean fuzzy sets and Dombi aggregation. *Inf. Sci.*, 635: 345-374. Doi:10.1016/j.ins.2023.03.113
- Gul, M., Lo, HW., Yucesan, M. 2021.** Fermatean fuzzy TOPSIS-based approach for occupational risk assessment in manufacturing. *Complex Intell. Syst.*, 7: 2635-2653. Doi:10.1007/s40747-021-00417-7
- Hazen, BT., Boone, CA., Wang, Y., Khor, KS. 2017.** Perceived quality of remanufactured products: construct and measure development. *J. Clean. Prod.*, 142: 716-726. Doi:10.1016/j.jclepro.2016.05.099
- Hoe, LC., Mansori, S. 2018.** The effects of product quality on customer satisfaction and loyalty: evidence from Malaysian engineering industry. *Int. J. Ind. Mark.*, 3: 20. Doi:10.5296/ijim.v3i1.13959
- Hooshangi, N., Mahdizadeh Gharakhanlou, N., Ghaffari Razin, SR. 2023.** Evaluation of potential sites in Iran to localize solar farms using a GIS-based Fermatean Fuzzy TOPSIS. *J. Clean. Prod.*, 384: 135481. Doi:10.1016/j.jclepro.2022.135481
- Ilieva, G., Yankova, T. 2022.** Extension of interval-valued Fermatean fuzzy TOPSIS for evaluating and benchmarking COVID-19 vaccines. *Mathematics*. 10: 1-22. Doi:10.3390/math10193514
- Jaskulska, J. 2013.** Quality of service and product as the main factors influencing customers' satisfaction in the clothing retailing industry in Ireland - case study of Zara Plc. *Dublin Business School, Dublin, İrlanda.*
- Karnes, CL., Sridharan, SV., Kanet, JJ. 1995.** Measuring quality from the consumer's perspective: a methodology and its application. *Int. J. Prod. Econ.*, 39: 215-225. Doi:10.1016/0925-5273(95)00027-L
- Keshavarz-Ghorabae, M., Amiri, M., Hashemi-Tabatabaei, M., Zavadskas, EK., Kaklauskas, A. 2020.** A new decision-making approach based on fermatean fuzzy sets and waspas for green construction supplier evaluation. *Mathematics*, 8: 1-24. Doi:10.3390/math8122202
- Kianpour, K., Jusoh, A., Asghari, M. 2014.** Environmentally friendly as a new dimension of product quality. *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, 31: 547-565. Doi:10.1108/IJQRM-06-2012-0079
- Kim, Y., Chung, ES. 2013.** Fuzzy VIKOR approach for assessing the vulnerability of the water supply to climate change and variability in South Korea. *Appl. Math. Model.*, 37: 9419-9430. Doi:10.1016/j.apm.2013.04.040
- Kirişçi, M., Demir, I., Şimşek, N. 2022.** Fermatean fuzzy ELECTRE multi-criteria group decision-making and most suitable biomedical material selection. *Artif. Intell. Med.*, 127: 1-23. Doi:10.1016/j.artmed.2022.102278

- Kumar, L., Ibne Hossain, NU., Fazio, SA., Awasthi, A., Jaradat, R., Babski-Reeves, K. 2021.** A data driven decision model for assessing the enablers of quality dimensions: context of industry 4.0. *CIRP J. Manuf. Sci. Technol.*, 35: 896-910. Doi:10.1016/j.cirpj.2021.10.003
- Luczak, T., Burch, R., Smith, B., Chander, H., Carruth, D., Lamberth, J., Crane, C., Bollwinkel, D., Burgos, B. 2022.** Using human factors engineering and Garvin's product quality to develop a basketball shoe taxonomy. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part P J. Sport. Eng. Technol.*, 236: 60-69. Doi:10.1177/1754337120965421
- Mishra, AR., Liu, P., Rani, P. 2022a.** COPRAS method based on interval-valued hesitant Fermatean fuzzy sets and its application in selecting desalination technology. *Appl. Soft Comput.*, 119: 1-17. Doi:10.1016/j.asoc.2022.108570
- Mishra, AR., Rani, P., Pandey, K. 2022b.** Fermatean fuzzy CRITIC-EDAS approach for the selection of sustainable third-party reverse logistics providers using improved generalized score function. *J. Ambient Intell. Humaniz. Comput.*, 13: 295-311. Doi:10.1007/s12652-021-02902-w
- Özveri, O., Kabak, M. 2018.** İşletmelerin ürün kalitesi etkinliğinin analiz edilmesi için bulanık veri zarflama analizi yönteminin kullanılması. *Anadolu Üniversitesi Sos. Bilim. Derg.*, 18: 145-158.
- Rani, P., Mishra, AR. 2022.** Interval-valued fermatean fuzzy sets with multi-criteria weighted aggregated sum product assessment-based decision analysis framework. *Neural Comput. Appl.*, 34: 8051-8067. Doi:10.1007/s00521-021-06782-1
- Rani, P., Mishra, AR., Deveci, M., Antucheviciene, J. 2022.** New complex proportional assessment approach using Einstein aggregation operators and improved score function for interval-valued Fermatean fuzzy sets. *Comput. Ind. Eng.*, 169: 1-20. Doi:10.1016/j.cie.2022.108165
- Rao, CN., Sujatha, M. 2023.** A consensus-based Fermatean fuzzy WASPAS methodology for selection of healthcare waste treatment technology selection. *Decis. Mak. Appl. Manag. Eng.*, 6: 600-619. Doi:10.31181/dmame622023621
- Saha, A., Pamucar, D., Gorcun, OF., Raj Mishra, A. 2023.** Warehouse site selection for the automotive industry using a fermatean fuzzy-based decision-making approach. *Expert Syst. Appl.*, 211: 118497. Doi:10.1016/j.eswa.2022.118497
- Saaty, TL. 1977.** A scaling method for priorities in hierarchical structures. *J. Math. Psychol.*, 15: 234-281. Doi:10.1016/0022-2496(77)90033-5
- Sebastianelli, R., Tamimi, N. 2002.** How product quality dimensions relate to defining quality. *Int. J. Qual. Reliab. Manag.*, 19: 442-453. Doi:10.1108/02656710210421599
- Seker, S., Kahraman, C. 2021.** Socio-economic evaluation model for sustainable solar PV panels using a novel integrated MCDM methodology: a case in Turkey. *Socioecon. Plann. Sci.*, 77: 1-14. Doi:10.1016/j.seps.2020.100998
- Sergi, D., Sari, IU., Senapati, T. 2022.** Extension of capital budgeting techniques using interval-valued Fermatean fuzzy sets. *J. Intell. Fuzzy Syst.*, 42: 365-376. Doi:10.3233/JIFS-219196
- Sharma, MG., Kumar, G. 2016.** Prioritizing quality of product and service dimensions with respect to a product-service system in the public transport sector. *Qual. Manag. J.*, 23: 23-36. Doi:10.1080/10686967.2016.11918487
- Simic, V., Ebadi Torkayesh, A., Ijadi Maghsoodi, A. 2023.** Locating a disinfection facility for hazardous healthcare waste in the COVID-19 era: a novel approach based on Fermatean fuzzy ITARA-MARCOS and random forest recursive feature elimination algorithm. *Ann. Oper. Res.*, 328: 1105-1150. Doi:10.1007/s10479-022-04822-0
- Simić, V., Ivanović, I., Đorić, V., Torkayesh, AE. 2022.** Adapting urban transport planning to the COVID-19 pandemic: an integrated Fermatean fuzzy model. *Sustain. Cities Soc.*, 79: 1-26. Doi:10.1016/j.scs.2022.103669
- Sinclair, SA., Hansen, BG., Fern, EF. 1993.** Industrial forest product quality: an empirical test of Garvin's eight quality dimensions. *Wood Fiber Sci.*, 25: 66-76.
- Singer, H., Özşahin, Ş. 2023.** Applying an interval-valued Pythagorean fuzzy analytic hierarchy process to rank factors influencing wooden outdoor furniture selection. *Wood Mater. Sci. Eng.*, 18: 322-333. Doi:10.1080/17480272.2021.2025427
- Singer, H., Özşahin, Ş. 2018.** Employing an analytic hierarchy process to prioritize factors influencing surface roughness of wood and wood-based materials in the sawing process. *Turkish J. Agric. For.*, 42: 364-371. Doi:10.3906/tar-1801-138
- Sousa, R., Voss, CA. 2002.** Quality management re-visited: a reflective review and agenda for future research. *J. Oper. Manag.*, 20: 91-109. Doi:10.1016/S0272-6963(01)00088-2
- Şengül, D., Çağıl, G. 2020.** Bulanık swara ve bulanık analitik hiyerarşi prosesi yöntemi ile iş değerlemesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Derg.*, 11, 965-976. Doi:10.24012/dumf.715363
- Tripathi, AK., Agrawal, S., Gupta, RD. 2022.** Comparison of GIS-based AHP and fuzzy AHP methods for hospital site selection: a case study for Prayagraj City, India. *GeoJournal*, 87: 3507-3528. Doi:10.1007/s10708-021-10445-y
- Verma, R., Chandra, S. 2021.** Interval-valued intuitionistic fuzzy-analytic hierarchy process for evaluating the impact of security attributes in fog based Internet of Things paradigm. *Comput. Commun.*, 175: 35-46. Doi:10.1016/j.comcom.2021.04.019

- Wudhikarn, R., Chakpitak, N., Neubert, G. 2015a.** An analytic network process approach for the election of green marketable products. *Benchmarking*, 22: 994-1018. Doi:10.1108/BIJ-10-2012-0069
- Wudhikarn, R., Chakpitak, N., Neubert, G. 2015b.** Use of an analytic network process and monte carlo analysis in new product formula selection decisions. *Asia-Pacific J. Oper. Res.*, 32: 1-28. Doi:10.1142/S0217595915500074
- Yang, S., Pan, Y., Zeng, S. 2022.** Decision making framework based Fermatean fuzzy integrated weighted distance and TOPSIS for green low-carbon port evaluation. *Eng. Appl. Artif. Intell.*, 114: 1-8. Doi:10.1016/j.engappai.2022.105048
- Zadeh, LA. 1965.** Fuzzy sets. *Inf. Control*, 8: 338-353.
- Zavadskas, EK., Turskis, Z., Stević, Ž., Mardani, A. 2020.** Modelling procedure for the selection of steel pipe supplier by applying the fuzzy ahp method. *Oper. Res. Eng. Sci. Theory Appl.*, 3: 39-53. Doi:10.31181/oresta2003034z
- Zeng, S., Gu, J., Peng, X. 2023.** Low-carbon cities comprehensive evaluation method based on Fermatean fuzzy hybrid distance measure and TOPSIS. *Artif. Intell. Rev.* 56: 8591-8607. Doi:10.1007/s10462-022-10387-y
- Zeng, S., Pan, Y., Jin, H. 2022.** Online teaching quality evaluation of business statistics course utilizing Fermatean fuzzy analytical hierarchy process with aggregation operator. *Systems*, 10: 1-25. Doi:10.3390/systems10030063



Trends on MCDM in Construction Management from 2019 to 2022 Based on a SWOT Analysis

2019'dan 2022'ye İnşaat Yönetiminde Kullanılan ÇKKV Yöntemlerinin SWOT Analizine Dayalı Olarak Değerlendirilmesi

Burak Öz*

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak, Türkiye

Abstract

The purpose of this study is to investigate publications utilizing multi-criteria decision-making (MCDM) methods in construction management to identify their strengths, weaknesses, opportunities and threats through a SWOT analysis. A variety of academic search engines was used to systematically search publications between January 2019 and May 2022 for this purpose. An in-depth analysis of 249 articles was conducted; first, they were ranked based on academic databases, indexes, and years, then they were classified according to their major applications in construction management, and finally, a SWOT analysis was carried out. The studies demonstrate that these methods improve the consistency and robustness of decision-making; however, they mainly concentrate on macro-level aspects, which is considered a disadvantage. Even though models heavily rely on participants' knowledge and experience, they can be eliminated by integrating perspectives from a variety of experts and professionals. Using the findings of this study, researchers will be able to plan their future original studies based on opportunities identified, as well as improve possible weaknesses and eliminate threats outlined in previous studies.

Keywords: Construction management, MCDM, SWOT, hybrid methods, optimum solution

Öz

Bu çalışmanın amacı, inşaat yönetiminde çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerini kullanan yayınları inceleyerek güçlü ve zayıf yönlerini, fırsatları ve tehditleri SWOT analizi yoluyla tespit edip ortaya çıkarmaktır. Bu amaçla Ocak 2019 ile Mayıs 2022 tarihleri arasındaki yayınların sistematik olarak taranmasında çeşitli akademik arama motorları kullanıldı. Ulaşılan makalelerden 249'u derinlemesine analiz edildi; öncelikle akademik veritabanlarına, indekslere ve yıllara göre sıralandı, ardından inşaat yönetimindeki başlıca uygulamalarına göre sınıflandırıldı ve son olarak SWOT analizleri yapıldı. Araştırmalar, bu yöntemlerin karar vermenin tutarlılığını ve sağlamlığını artırdığını göstermekle birlikte esas olarak makro düzeydeki yönlelere yoğunlaştığını belirtmekte ve bu da dezavantaj olarak değerlendirilmektedir. Modeller ağırlıklı olarak katılımcıların bilgi ve deneyimlerine dayansa da, çeşitli uzman ve profesyonellerin bakış açılarının entegre edilmesiyle bu durumun ortadan kaldırılacağı kanaatine varılmıştır. Bu çalışma, araştırmacıların bu konularda geçmiş çalışmalarda fırsat olarak tespit edilen özgün çalışmalarını planlamalarının yanı sıra olası zayıf yönlerin iyileştirilmesi ve tehditlerin ortadan kaldırılması açısından da oldukça katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: İnşaat yönetimi, ÇKKV, SWOT, hibrit yöntemler, optimum çözüm

*Corresponding author: ozbrk@yahoo.com

Burak Öz orcid.org/0000-0003-0686-1410



1. Introduction

Many industries rely on decision-making for their success, but the construction industry is especially dependent on information processing (Zhu et al., 2021). The construction sector makes significant and positive contributions to socio-economic development in both developed and developing economies and has been one of the most important sectors for years as it contributes to the meeting of the most fundamental needs, including shelter, transportation, water supply, and energy use (Ajayi & Chinda, 2022). Several complex factors affect construction works, and the right decision may not be obvious at first glance (Oz et al., 2017; Oz et al. 2019). When the optimal solution cannot be easily seen in construction, multi-criteria decision-making (MCDM) methods are used to make decisions that consider multiple factors at the same time (Zhu et al., 2021). Therefore, the most appropriate decision-making method for solving the related problem in the construction industry must be determined by examining previous studies concerning MCDM in detail. For the development of better practices and further research in the future, it is essential to understand their strengths, weaknesses, opportunities, and threats.

As shown in Figure 1, the MCDM process consists of many steps from identifying the problem to choosing the best alternative. MCDM methods have come to the forefront with many different approaches since the 1950s-1960s (Köksalan, 2011).

According to Arslan (2018), MCDM methods can be divided into three groups, namely (1) the basic methods such as the graphical method, the simplex method, linear programming, integer programming, and goal programming, (2) the single analytical methods such as AHP, ANP, MAUT, SMART, TOPSIS, data envelopment analysis, gray relational analysis, and (3) the hybrid methods such as AHP-VIKOR, fuzzy-TOPSIS, and AHP-genetic algorithm (Arslan, 2018).

Several weighting methods can be applied to solve different MCDM techniques, and the weights of the criteria have a significant impact on the decision-making process. According to Odu (2019), the most commonly used weighting methods can be classified into four groups: (1) subjective weighting methods such as point allocation method, direct rating, and ranking method, (2) pairwise comparison methods such as AHP, ratio method, swing method, Delphi method, nominal group technique, and simple multi-attribute ranking technique, (3) objective weighting methods

such as entropy method, criteria importance through inter-criteria correlation, mean weight, standard deviation, statistical variance procedure, and ideal point method, (4) integrated weighting methods such as multiplication synthesis, additive synthesis, optimal weighting based on the sum of squares, and optimal weighting based on the relational coefficient of graduation. In terms of computations, subjective weighting methods are easier than objective

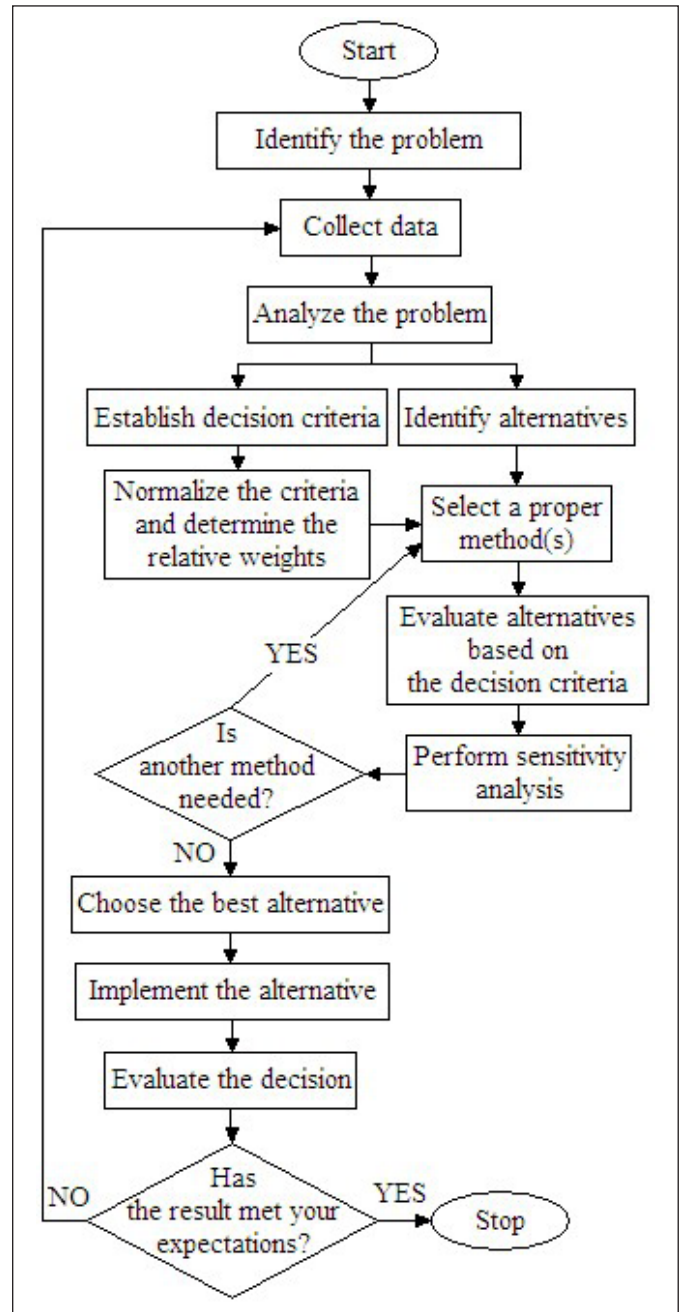


Figure 1. Steps of the decision-making process adapted from dos Santos et al., 2017.

weighting methods, which rely on mathematical functions to determine weights without the decision-maker's involvement (Odu, 2019).

An essential part of a decision-making process is normalizing data, and MCDM methods use those techniques to convert input data into numerical and comparable data by using a common scale. Vafaei et al. (2016) state that some normalization methods are better suited to specific decision methods than others, and each normalization method has two formulas, one for benefit criteria and the other for cost criteria. In a benefit criterion, high values correspond to high normalized values (maximization), and in a cost criterion, high values correspond to low normalized values (minimization). It's possible to normalize data using various methods; the most commonly applied techniques are linear (max), linear (max-min), linear (sum), vector normalization and logarithmic normalization (Vafaei et al., 2016).

MCDM studies in the field of construction management have been searched in the literature and it is evident that there is a substantial body of research; the studies between 2019 and May 2022 were focused on identifying recent trends in this research area to facilitate and simplify data search. After an exhaustive review of related literature and applying filters, 249 studies out of 350 were subjected to deep analysis. Seen that hybrid methods which are composed of the combination of two or more techniques have been mostly used in these studies, evaluation criteria have been determined according to the nature of the problem generally by using a survey or interviewing with experts, and various weighting methods have been used to determine the criteria weights, and finally, a sensitivity analysis has been performed in most studies.

Previous studies have mostly used MCDM methods in a problem and evaluated the output of the problem, and it is generally stated that incorrectly determined evaluation criteria or their importance weights may lead to inappropriate decisions and unsuccessful implications. For example, Zavadskas et al. (2014) indicated that selecting contractors based on the wrong criteria may lead to poor performance. The unique aspect of this study is that it examines the strengths, weaknesses, opportunities and threats based on the statements of previous articles that use MCDM in construction management through a SWOT analysis. This study will help those working in the field of construction management to select the most optimum decision-making

methods to use for the problem and do research to know which issues are prominent, on-trend or interesting to the scientific community.

2. Material and Methods

In this study, a SWOT analysis is used to identify strengths, weaknesses, opportunities and threats of publications utilizing multi-criteria decision-making (MCDM) methods in construction management. SWOT analysis is a tool used to identify and analyze environments to support strategic decision-making (Kajanus et al., 2012). According to Zavadskas et al. (2010), the SWOT analysis can also be used to develop management strategies for construction firms. Three main sections were used to categorize the study: (1) An analysis of the statistical distribution of publications related to the topic, (2) a classification of construction management publications based on their application areas, and (3) making suggestions based on a SWOT analysis.

Various search methods can be used to find the information needed, including quick and dirty, snowball, and cited references. The cited reference search finds more recent publications on a topic; each document includes bibliographical details, an abstract, and a list of references used (Erasmus University Rotterdam, 2023). The cited reference search in this study was used to search academic databases and search engines for publications relating to construction management and multi-criteria decision-making, including ISI Web of Science, Google Scholar, Science Direct and PubMed. The methods for multi-criteria decision-making problems were then scanned, filtered, and listed by rapid review. An approach called rapid review is a method of producing information in a short amount of time by simplifying or eliminating the systematic review process (Tricco et al., 2015). This paper uses acronyms and their full forms listed in Table 1.

2.1. Distributions of the Selected Publications Based on Statistics

After an exhaustive review of 350 MCDM studies in construction management between January 2019 and May 2022, duplicates and out-of-scope records were refined and 249 studies were selected for analysis. As shown in Figure 2, these publications were sorted by types of index and by years; the 249 selected studies were almost evenly distributed by publication year, 172 of which were published in journals with the Science Citation Index Expanded (SCIE).

Table 1. List of acronyms.

Full name	Acronym	Full name	Acronym
Accident causation theory	ACT	Ideal and anti-ideal virtual units method	IAIVUM
Additive value function	AVF	Improved grey correlation analysis	IGCA
Additive-veto model	AVM	Interpretative/Interpretive structural modeling	ISM
Analytic hierarchy process	AHP	Interval-valued fuzzy numbers/sets	IVFS
Cybernetic Fuzzy AHP	CYBERF-AHP	Interval-valued intuitionistic Fuzzy	IVIF
Interval AHP	INT-AHP	Interval-valued hesitant fuzzy numbers	IVHFN
Sparse AHP	S-AHP	Interrater agreement analysis	IRA
Artificial neural network	ANN	INP method	INPM
Analytic network process	ANP	Degree of project utility and investment value assessments	INVAR
Analysis of variance	ANOVA	Life cycle assessment/Life cycle cost analysis	LCA
Additive ratio assessment	ARAS	Multi-attributive border approximation area comparison	MABAC
ARAS with grey values	ARAS-G	Measuring attractiveness by a categorical based evaluation technique	MACBETH
Alternative queuing method	AQM	Malmquist productivity index	MPI
Bayesian-structural equation modeling	B-SEM	Malmquist-luenberger index	M-LI
Bi-objective mixed linear programming	Bi-OMLP	Measurement of alternatives and ranking according to compromise solution	MARCOS
BCC input-oriented model	BCC-IOM	Multiple attribute decision support system	MADSS
Best worst method	BMW	Mann-Whitney U test	M-WUT
Case analysis	CASEA	Maslow's hierarchy	MASLOWH
Case-based reasoning	CBR	Maximum consistency model	MAXCM
Choosing by advantages	CHOBA	Maximizing deviation principle	MAXDP
Choquet integral	CHOQI	Multi attribute utility theory	MAUT
Closeness coefficient	CCOEF	Meta-Malmquist productivity index	M-MPI
Cloud theory	CLOUDT	Matrix cross-reference multiplication applied to a classification	MICMAC
Cloud and matter-element extension theories	CMEET	Integrated value model for sustainable assessment	MIVES
Combined Compromise Solution	CoCoSo	Mixed center-point triangular whitenization weight function	MCPTWWF
Grey combined compromise solution	CoCoSo-G	Monte carlo simulation	MCS
Combinative distance assessment	CODAS	Mutual information theory	MIT
Constraint programming optimizer	CPOPT	Multi-criteria ranking method	MCRM
Complex Proportional Assessment	COPRAS	Nearest neighbor element analysis method	NNEAM
COPRAS with gray relations	COPRAS-G	Niche field model	NFM
Cooperative game theory	CGAMET	NK model	NKM
Correlation and consensus-driven clustering method	CCDCM	Nuo method	NUOM
Criteria importance through inter-criteria correlation	CRITIC	Order relationship analysis	ORA
Data envelopment analysis	DEA	Pareto optimal solutions	PAROPTS
Delphi	Delphi	Preference selection index	PSI

Table 1. Cont.

Full name	Acronym	Full name	Acronym
Decision-making trial and evaluation laboratory	DEMATEL	Preference ranking organization method for enrichment evaluation	PROMETHEE
Discrete event simulation	DESIM	Proportional risk assessment technique	PRAT
Distance friction minimization	DFMIN	Principal component analysis	PCA
Dominance-based rough set	DBRS	Quality function deployment	QUALFD
Double normalization-based multi-aggregation	DNBMA	Qualitative flexible multiple criteria	QUALIFLEX
Dynamic analysis	DYMA	Quasi-compensatory rationality	QUASICR
Evaluation based on Distance from Average Solution	EDAS	Rank order centroid method	ROC
Economic feasibility analysis	EVAFA	Quadruple-bottom line approach	QUADBLA
Elman neural network invasive weed optimization model	E-NNIWOM	Quality function deployment based method	QUALFDBM
Environmental impact analysis	EIA	Relative closeness coefficients	RELCC
Exponential chaotic differential evolution	ECDE	Revised Simos' method	REVSIMM
Elimination et choix traduisant la réalité	ELECTRE	Robust nonparametric production frontier method	RNPFM
Entropy weight method	EWM	Risk matrix approach	RMA
Epsilon-based measure	EBM	Risk impact-frequency analysis	RIFA
Evidential reasoning	ER	Relative Important Index	RII
Enhanced Russell model	ERM	Relative preference alternative	RPR
Evaluation index system	EIS	Regression analysis techniques	REGAT
Exploratory factor analysis	EXPFA	Rough AHP	R-AHP
Experts grading method	EXPGM	Rough TOPSIS	R-TOPSIS
Factor comparison method	FCOMM	Rough dombi aggregator	RDA
Failure mode and effects analysis	FMEA	Standardized quantitative assessment approach	SQAA
Fine-Kinney method	F-KM	Simple additive weighting/Weighted sum model	SAW/WSM
Frequency-adjusted importance index	FAII	Single-valued neutrosophic set	SVNS
Full consistency method	FUCOM	Shapley value model	SVM
Fuzzy	Fuzzy	Social network analysis	SNA
Fuzzy cluster analysis	F-CA	Social willingness-to-pay	SWTP
Fuzzy cognitive map	F-COGM	Spatial-temporal analysis	SPATTA
Fuzzy comprehensive evaluation method	F-CEM	Spearman's correlation coefficient	SCC
Fuzzy positive ideal solution	F-POSIS	Strategic-aligned projects	SAP
Fuzzy negative ideal solution	F-NEGIS	Super efficiency DEA	SE-DEA
λ -Fuzzy measure	L-FM	Supply chain operations reference model	SCOR
Fuzzy axiomatic design	F-AXD	Surrogate machine learning model	SMLM
Fuzzy-eckenrode method	F-EM	Systems thinking approaches	SYSTA
Fuzzy fault tree analysis	F-FTA	System dynamics modeling	SDM
Functional index evaluations	FUNCIE	Simple multi-attribute rating technique	SMART
Pearson's correlation coefficient	PEARSONCC	Stepwise weight assessment ratio analysis	SWARA
Picture Fuzzy sets	PICFS	Technology acceptance model	TAM

Table 1. Cont.

Full name	Acronym	Full name	Acronym
Proximity information	PROXINF	2-dimension uncertain linguistic variables	2DULVs
Probability theory	PROBT	2-dimension uncertain linguistic power generalized weighted aggregation	2DULPGWA
Geomean	GEOM	Tomada de decisao interativa multicriterio	TODIM
Geographic information systems	GEOPIs	Tobit regression model approach	TRMA
Geospatial analysis	GEOSA	Technology organization environment	TOE
Generalized comparative linguistic expressions	GCLEs	Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution	TOPSIS
Goal programming method	GOALPM	Interval-valued fuzzy TOPSIS	IVF-TOPSIS
Grey relational analysis	GRA	TOPSIS-G Method in Minkowski Space	TOPSIS-GM
Grey clustering model	GCM	Unascertained measurement theory	UMT
Grey system theory	GSM	Više Kriterijumska optimizacija i Kompromisno Rešenje	VIKOR
Graph theory	GRAPHT	Visual tracking method	VTM
Grounded theory	GROUNT	Weighted Aggregated Sum Product Assessment	WASPAS
Group AHP	GR-AHP	Weighted linear combination	WLC
Hesitant Fuzzy technique	HESFT	Weighting, rating and calculating	WRAC
Hierarchical Fuzzy expert	HFEXP	Z-order-m method	ZOM
Integrated determination of objective criteria weights	IDOCRIW		

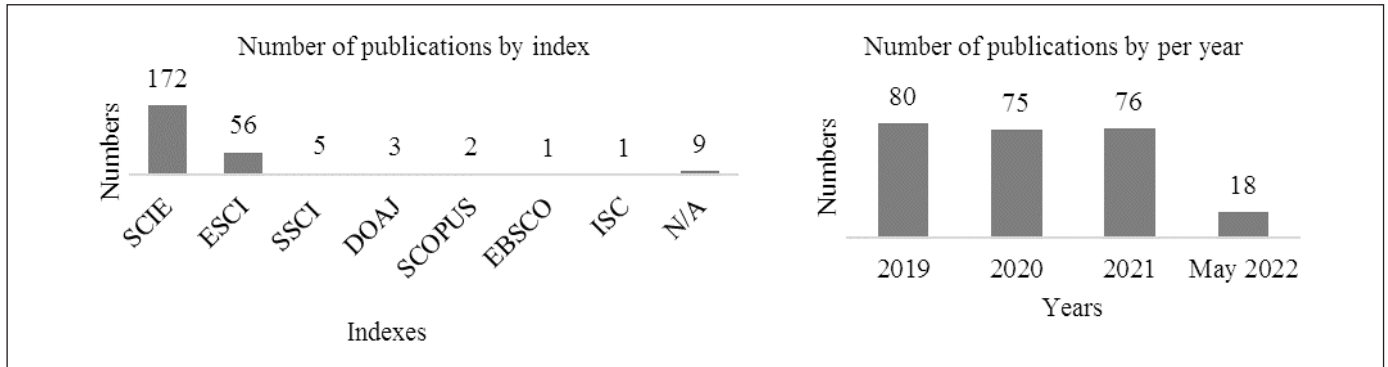


Figure 2: Publication statistical distributions.

3. Results

The publications were categorized into fourteen major application areas of construction management, as shown in Table 2. The two most popular subjects in these studies were “risk issues and assessments” and “party selection”, while “maintenance/repair strategies” were among the least popular.

Table 3 shows the MCDM techniques used in the fourteen major application areas. Single analytical and basic methods were used in 53 studies, while hybrid methods were used in 196 studies. Various normalization techniques were used in these studies, and sensitivity analyses were performed in most. The 196 related studies mostly used 2 method hybrid techniques, while 4 method hybrid techniques were rarely used. AHP has been the most commonly used method in related studies, followed by DEA and TOPSIS. Addition-

ally, Zavadskas et al. (2016) stated that AHP is the most common method for determining alternative weights. It is evident from Table 3 that the 2 methods were used in 90 studies; Fuzzy-TOPSIS in 6, AHP-Fuzzy in 5, AHP-TOPSIS in 4, and the other 2 combination methods in less than 4 studies. The 3 methods were used in 69 studies; ANP-DEMATEL-Fuzzy in 4, AHP-Fuzzy-TOPSIS in 3 and the other 3 combination methods in less than 3. The 4 methods were used in 26 studies, the 5 methods in 9, and the 6 methods and 8 methods in one study.

3.1. The SWOT Analysis

Finally, a SWOT analysis was made to identify the strengths, weaknesses, opportunities, and threats of the MCDM studies by searching some keywords indicated below. For this purpose, answers to the following questions were sought in the studies, and then a succinct SWOT analysis was developed.

Table 2. Major application areas studied in construction management.

Classification	References selected at random from 249 studies	Study numbers
Risk issues and assessments	(Erol et al., 2022; Gunduz & Almuajebh, 2020; Roghabadi & Moselhi, 2020)	40
Party selection (contractor, subcontractor, supplier, partner, etc.)	(Abdullah & Alshibani, 2022; Bonyani & Alimohammadlou, 2020; Liang & Chong, 2019)	34
Performance assessments (construction, management, organizational, labor, financial, projects, etc.)	(Banihashemi & Khalilzadeh, 2022; Li et al., 2021; Yuan et al., 2020)	27
Construction assessments or selection (technology, method, system, cost, etc.)	(Sing et al., 2021; Tamošaitiene et al., 2021; Xiahou et al., 2022)	25
Occupational risks and issues (health/safety)	(Gunduz & Khader, 2020; Prasad, 2019; Qi et al., 2022)	23
Resources assessments/selection (finance, equipment and machinery, materials, labor, technical and office staffing, etc.)	(Dehooei & Dehshiri, 2019; Gharouni Jafari, 2021; Kar & Jha, 2022)	23
Project planning/assessments/selection	(Kalan & Ozbek, 2020; Kiani et al., 2022; Kim et al., 2021)	22
Construction contract issues/selection	(Shalaby & Hassanein, 2019; Su et al., 2020; Wu & Xu, 2021)	16
Managerial issues	(Haruna et al., 2021; Iqbal et al., 2021; Ma et al., 2022)	11
Green construction assessments (material, benefits, costs, risks, technology, etc.)	(Mojumder & Singh, 2021; Sun et al., 2022; Tabatabaee et al., 2019)	8
Location/facility/site selection	(Biluca et al., 2020; Bozanic et al., 2019; Garg & Sharma, 2020)	7
Construction and demolition waste issues	(Khoshand et al., 2020; Liu et al., 2020; Negash et al., 2021)	5
Lean construction assessments	(Bayhan et al., 2022; Dehdasht et al., 2020; Demirkesen & Bayhan, 2020)	5
Maintenance/Repair strategies	(Abdelkader et al., 2022; Das & Nakano, 2021; Ighravwea & Sunday, 2019)	3

Table 3. Major application areas studied in construction management and used methods.

	ANP, Fuzzy	ANP, Fuzzy, FMEA, Fuzzy	S-AHP	COPRAS-G, DEMATEL, EWM, Fuzzy	MCS, RMA, TOPSIS	AHP	ANP, Delphi	WASPAS	ANP, DEMATEL	DEA, Fuzzy, F-COGM, ISM
Risk issues and assessments	AHP, DEMATEL, TOPSIS	DEMATEL, FCOMM, Fuzzy	AHP, Fuzzy, MCS	Delphi, DEMATEL	ANP, TOPSIS	CODAS, SWARA	DYMA, GCM, VTM	ANN, SE-DEA	EWM, Fuzzy, TOPSIS	EWM, F-COGM, GRA
	SMART	Fuzzy, TOPSIS	AHP, BMW, Fuzzy, GEOPIS	AHP, Delphi, Fuzzy, LCA	ANP, DEMATEL, Fuzzy	TOPSIS	CASEA, DEMATEL, ORA, SYSTA	ANP, FMEA, Fuzzy	DEMATEL	ANP, Delphi
	CoCoSo, Fuzzy, SAW/WSM	DEMATEL	ANP, DEMATEL	AHP, Delphi, Fuzzy	CPOPT, TOPSIS	AHP, Fuzzy, PRAT	GR-AHP, PCA	DBRS, MCRM	AHP, CGAMET, F-CEM, SVM	DEA, MPI
Party selection (contractor, subcontractor, supplier, partner, etc.)	AHP, IGCA, QUALFD	BMW, CoCoSo-G, DEMATEL	HESFT, QUALIFLEX	AHP, PROMETHEE	AHP	BMW	ARAS, COPRAS, FUCOM, MABAC, RDA, SAW/WSM, SCC, WASPAS	CHOPA	AHP, EWM, TOPSIS	AHP
	ELECTRE, EWM, Fuzzy, NFM, VIKOR	AHP, TOPSIS	AHP	BMW, Fuzzy, VIKOR	CLOUDT, Fuzzy, PROBT	AHP, FUNCIE, LCA, SQAA	AHP, SVNS, SWARA, WASPAS	DEA	AHP, CHOOQ	AHP, F-CEM, UMT
	AHP, GEOM	BMW, Fuzzy, WASPAS	EVAF, GOALPM	ANP, Fuzzy, MABAC	AHP, PEARSONCC, SCC	AHP	DEA, DFMIN	COPRAS, INVAR	AHP, FUCOM, MARCOS, PAREOPTS, TOPSIS	SWARA, WASPAS
Performance assessments (construction, management, organizational, labor, financial, projects, etc.)	Fuzzy, SWARA, VIKOR	DEA	Fuzzy, TOPSIS	AHP, LCA, SWTP	DEA, TRMA					
	DEA, EIA, ERM, LCA	CCOEF, Fuzzy, F-POSIS, F-NEGIS, TOPSIS	AHP, F-CEM	AHP, COPRAS, LCA	DEA, TRMA	Fuzzy, IRA, M-WUT, VIKOR	AHP	F-COGM, GRA, GROUND	DEA	EXPFA, MACBETH
	DEA, INPM, NUOM, TOPSIS	AHP, Fuzzy	AHP	FMEA, Fuzzy, SWARA, WASPAS	DEMATEL, ISM, MICMAC	AHP, TOPSIS	DEMATEL, Fuzzy, SDM	TOPSIS	DEMATEL, GSM, NKM	DEA, SPATTA
MIVES	Delphi, DEMATEL, Fuzzy	GOALPM	DEA, IAIIVUM	AHP, Fuzzy, TOPSIS	DEA, MPI					

Table 3. Cont.

Construction assessments or selection (technology, method, system, cost, etc.)	AHP	AHP	ANP, DEMATEL, Fuzzy, LCA, TOPSIS	Fuzzy, MAUT	AHP, SYSTA	AHP, Fuzzy, GEOM	AHP	BMW, Fuzzy, IVFS, TOPSIS	AHP, RII	AHP, Fuzzy
	MAUT	AHP	EWM, SAW/WSM	EBM, M-LI	AHP, DEA, F-CEM	ANP, Fuzzy, F-CEM	Fuzzy, TOPSIS	AHP, TOPSIS	AHP	SAW/WSM
	ANP, DEMATEL, Fuzzy	CCDCM, QUALFDBM, TOPSIS	ANP, LCA	Fuzzy, TOPSIS	ANOVA, DEA					
Occupational risks and issues (health/safety)	Fuzzy, UMT	Delphi, F-EM	Delphi, F-KM, Fuzzy, F-FTA, TOPSIS	DEA	AQM, BMW, PICFS	ANP, DEMATEL, Fuzzy	ANP, TOPSIS	BCC-IOM, DEA	AHP, PROMETHEE	AHP
	IVIF, MABAC, RPR, WASPAS	ACT, GRA, SYSTA	DEMATEL, GSM	Delphi, DEMATEL	AHP, Delphi	AHP	R-AHP, R-TOPSIS	AHP, PAREOPTS	EDAS, Fuzzy	CoCoSo, CRITIC, PSI
	Fuzzy, SWARA, TOPSIS	DEMATEL	DEMATEL, TAM, TOE							
Resources assessments/selection (finance, equipment and machinery, materials, labor, technical and office staffing, etc.)	COPRAS, SAW/WSM, TOPSIS	BMW, Fuzzy, TOPSIS	CHOQL, L-FM, TODIM	CODAS, IVIF	ANP, Delphi, DEMATEL, TOPSIS	ANP, FAI	AHP	AHP, RII	DEA	MAUT
	COPRAS, ROC	DESIM, E-NNIWOM, SMLM	ANP, ISM	AHP, Fuzzy	ANP, CMEET	SAW/WSM, TOPSIS, VIKOR	AHP, MASLOWH	AHP, Delphi, PROMETHEE	AHP, EDAS, EWM, SNA, 2DULV's, 2DULPGWA	AVM, QUASICR, TOPSIS
	DEA, TRMA	DEA	DEA, M-MPI							
Project planning/assessments/selection	AHP, Fuzzy, TOPSIS	AHP, Fuzzy	AHP, Fuzzy, SAW/WSM, TOPSIS, VIKOR	ARAS-G, GEOM, SWARA, TOPSIS-GM	ANP, DEMATEL, Fuzzy	TOPSIS	Fuzzy, LCA, MADSS, TOPSIS	AHP, Fuzzy	MCS, TOPSIS	HESFT, MAXCM, TOPSIS
	TOPSIS	AHP, HFEXP	Fuzzy, F-POSiS, MAXDP, RELCC, TOPSIS	FUCOM, Fuzzy, MABAC	EWM, ER, PAREOPTS	AHP	AHP, GEOPIS, SAP, TOPSIS	INT-AHP, TOPSIS	DEA	AHP, Fuzzy, TOPSIS
	ANP, Fuzzy, ISM	DEA, MPI								

Table 3. Cont.

Construction contract issues/ selection	SAW/WSM	AHP, GOALPM, MAUT, REVSIMM, TOPSIS	B-SEM, CBR, RNPFM, ZOM	BMW, GRA	Fuzzy, TOPSIS	AHP, REGAT	DEMATEL, Fuzzy, ISM	ANP	Bi-OMLP, DEA, Fuzzy	AHP
Managerial issues	ELECTRE, GCLEs, HESFT	EWM, VIKOR	AHP, MAUT	AHP, ELECTRE	AHP, QUADBLA, RII	AHP				
	DEMATEL, ISM	AHP, F-CA, NNEAM	AVF	GEOPIs, GEOSA	DEMATEL, SDM	AHP, TOPSIS	ANP, DEMATEL, SCOR, TOPSIS	TOPSIS	AHP, FMEA	AHP, WRAC
Green construction assessments (material, benefits, costs, risks, technology, etc.)	CYBERF-AHP, Delphi, Fuzzy, IVIF									
	DEA	Delphi, DEMATEL, Fuzzy	AHP, ANOVA, SCC	ER	DEA	AHP, MCPTWWF	CBR, GRA	DEA, MPI		
Location/facility/ site selection	BMW, GRA, VIKOR	AHP, F-CEM	AHP	BMW, IVFS, MARCOS	EWM, ER, PAREOPTS	DNBMA, HESFT, SWARA	ANP, ISM			
Construction and demolition waste issues	CHOQJ, ELECTRE, EIS, IVHFN	DEA, Fuzzy	Fuzzy, TOPSIS	AHP, ELECTRE, GEOPIs, WLC	ANP, EIS, F-CEM					
Lean construction assessments	EWM, TOPSIS	ANP	ANP, Delphi	AHP, RIFA	TOPSIS					
Maintenance/ Repair strategies	ARAS, F-AXD, SWARA, WASPAS	TOPSIS	COPRAS, CRITIC, ECDE, GRA							

(a) Strengths: What is the originality, value, purpose, aim, contribution or unique knowledge of the study?

(b) Weaknesses: What are the deficiencies, inadequacies, shortcomings, or imperfections of the study to be improved?

(c) Opportunities: What are the opportunities, occasions, and suggestions for future or further studies?

(d) Threats: What are the threats, threatenings, obstacles, barriers, or constraints of the study?

3.2. Strengths

- Uses linguistic expressions of experts under hesitancy behaviors in the complex decision-making environment.
- Deals with the uncertainty arising from experts' limited awareness.
- Presents a systematic and scientific approach instead of the decision maker's knowledge, experience and intuition.
- Improves accuracy and reliability by including uncertainty and complexity.
- Uses various single or hybrid techniques for similar problems to select the most suitable method(s) by comparing the results.
- Increases the legitimacy of the final decision by including the demands of various stakeholders.
- Increases the consistency and robustness of the decision-making process.
- Makes the results of the decision more reasonable and objective.
- Helps construction managers make fast and desirable decisions.
- Easily applicable to real cases, especially in various regions.
- Provides a guideline for construction management by identifying the main barriers such as technical, economic, social, regulatory and environmental.
- Identifies critical barriers to implementing digitalization in the construction industry.
- Evaluates key performance indicators for measuring the management performance of construction firms.
- Easily integrated into building information modeling (BIM), the Internet of Things (IoT) and artificial intelligence systems (AIS).

- Helps to prioritize various drivers, enablers and barriers of construction management practices.
- Helps to select and rank the most influential persons in the sustainable prevention of accidents at work.
- Evaluates the most important levels of safety risks or construction laborers' safety levels in construction projects.
- Helps to classify security risks resulting in accidents and fatalities due to intense labor and machine environment interactions.
- Evaluates construction safety performance or construction laborers' safety levels.
- Significantly reduces conflicts and encourages agreement by ensuring transparency and mutual trust between the parties.

3.3. Weaknesses

- Unavailability or reluctance of experts for involvement.
- Experts with insufficient experience or knowledge in the field of study.
- A small sample size of respondents, experts or decision-makers in a study.
- Distraction of participants during interviews, which may affect the reliability of answers.
- Identification of dependencies between some of the ambiguity factors and possible measures.
- Considering interrelationships among criteria and attributes of enablers and barriers.
- Only one case is being considered to validate the applicability of the proposed method.
- Testing for large-size construction companies only.
- Analyzing the work only from a macro perspective.
- Considering only a theoretical evaluation or only a single country's context.
- Connection between the study results and the effectiveness of reality.
- Subjects being studied are still at the infancy stage or still vague for all stakeholders.

3.4. Opportunities

- Sufficient number of experts in the surveys should be included to make the results more accurate.

- Different perspectives of experts or professionals familiar with the field of study should be included in models to evaluate criteria more widely.
- The performance of the model should be tested with additional experts and on different projects.
- Perspectives of various experts from academia that have different points of view should be included in studies to improve the results.
- Perspectives of various stakeholders like clients, suppliers, employees, designers, government and agencies should be included in studies to improve the results.
- Various categories of respondents from multiple nations should be included to obtain more interesting results.
- Sufficient number of questionnaire responses from different types of projects should be added to improve the cases.
- A method to determine the weights of factors based on experts' consensus degrees should be developed.
- Results of the models should be analyzed with different weights of different individuals.
- Relationship between the factors should be evaluated not only qualitatively but also quantitatively.
- Sufficient number of factors should be included in the problem to enhance the efficiency estimation.
- Inner-dependencies of factors should be reconsidered for different locations.
- A list of criteria for specific problems should be provided to help the decision-makers speed up the process of defining criteria and focus on the criteria weighting.
- Different techniques should be applied to compare their results and enhance the accuracy of the assessment.
- Proposed models can be investigated in different types of problems by changing the factors, weights and alternatives.
- Proposed models should be applied to different locations to allow greater generalizability of the results beyond the current scope
- Proposed models should be validated in different contexts such as different countries or different construction sectors or projects.
- Performance of the models can be tested with a sufficient number of projects from the construction industry and multiple cases around the world to give more confidence in the results and standardize the proposed method.
- A combination of various decision-making techniques and artificial intelligence technologies may be applied more to decision-making problems.

3.5. Threats

- Small number of experts' opinions due to time limitations.
- Uncertainty and vagueness of the expert's judgments.
- Limited number of experts or experts only from the same country.
- High dependency greatly on participants' knowledge and experience.
- Factors of different practices and regulations in each country.
- Taking much time to provide a comprehensive list of criteria.
- Difficulties in data collection because of the limited number of qualified professionals.
- Constraints of data accessibility.
- Surveys obtained from respondents from a specific region that is not being generalized to other regions.
- Unknown or uncertain attributes of alternatives.
- Generating different results in case of a change in the sample groups or activities.
- The scope of the research is limited only to the stakeholders in the construction industry of a particular country.
- Using only optimal cases by removing non-optimal cases.
- Generating different results based on the context of a specific issue, different business contexts, working environments, and cultural backgrounds.
- Limitations of the methods being used to evaluate the internal influencing mechanism of factors.

4. Discussion

There is no doubt that the construction sector is an important industry that has a long-term impact on the

economy, environment, and society and requires high levels of investment, and construction management and technology are two factors that greatly affect the industry. The process of managing a construction project entails setting objectives, identifying user requirements, determining constraints, and determining the resources required. MCDM is an essential tool for solving the basic problems of construction management, and the process has several criteria with different qualitative qualities, measures, and weights. Criteria may be defined subjectively or numerically, depending on the situation (Stojić et al. 2018). Construction management, health, technology, defense, textiles, the food industry, and many other fields have used MCDM methods. Although a variety of existing single or hybrid methods have been extensively used in construction management, new methods are still being developed and applied to a variety of construction management problems to determine the most suitable solution to the problem (Qi et al., 2018; Kazimieras Zavadskas et al., 2019; Erdogan et al., 2019). The development of MCDM methods grew rapidly in the 1980s and 1990s; An overview of MCDM methods was given by Koksalan et al. (2011), Erdogan et al. (2019) analyzed MCDM for sustainability in construction management, Erol et al. (2022), Günduz et al. (2020) and Raghbani et al. (2020) presented detailed studies about the application of MCDM methods to risk issues and assessments, Jato-Espino et al. (2020) examined the applications of MCDM methods in construction, Khoshand et al. (2020) examined the assessment model of benefits, opportunities, costs, and risks related to green roof installation, and so forth.

The study shows that 69% of the publications are indexed in SCIE. Risk assessment and party selection are the two most popular subjects, while maintenance strategies are the least popular. In the related studies, hybrid methods have been used more frequently than single methods; 79% used hybrid methods, while 21% used single methods. In related MCDM studies, the originality lies in the use of expert linguistic expressions during hesitancy behaviors, it uses a systematic and scientific approach rather than decision makers' knowledge, experience and intuition, it takes into account the uncertainty that arises from experts' limited knowledge, by including the demands of various stakeholders, the final decision becomes more legitimate, its results are more objective and reasonable, and by ensuring transparency and mutual trust between the parties, it reduces conflicts and encourages agreement. Studies that needed to be improved were categorized into three groups: experts and participants, evaluation factors and weights, and techniques

and models. Among the highlights to be improved are; the inability or reluctance of experts, the lack of experience or knowledge of experts, the small sample size, the distraction of participants during interviews, testing/validation of the applicability of the proposed methods/models, and studies whose topics are too vague or in the early stages for all stakeholders. Further studies should include a sufficient number of experts, different perspectives of experts and professions, perspectives from various academics, perspectives from various stakeholders, as well as different respondents from multiple nations to improve results and improve the accuracy of the evaluation. The cases should be improved by adding sufficient questionnaire responses from a variety of project types. By determining the weights of factors based on experts' consensus degrees, the process can be sped up and the efficiency estimation improved. Not only should the relationship between the factors be evaluated qualitatively, but also quantitatively. Models should include a sufficient number of factors, and inner-dependencies should be reconsidered for different regions. Specific criteria for specific problems should be provided. Different weights should be applied to the models to analyze the results. There were several barriers, obstacles, or constraints mentioned in the relevant studies, including uncertainty and vagueness of expert judgments, high reliance on participants' knowledge and experience, difficulty in collecting data, and unknown or uncertain alternative attributes. Taking advantage of the significant role the construction sector plays in economic development will not only benefit the business, but also the country as a whole, since reaching an effective, appropriate or optimum solution quickly with the appropriate MCDM method will make a significant impact. Academics, researchers and professionals in the construction industry can use this study as a guide for their future studies.

5. Conclusions

The selection of the most suitable MCDM techniques for the problem will provide important contributions not only to the business but also to the country's economy by finding an effective and optimum solution quickly. It is necessary to examine previous studies regarding MCDM in detail to determine which decision-making method is most appropriate for the related problem in the construction industry, as well as to understand the strengths, weaknesses, opportunities and threats associated with them to develop better practices and conduct further research in the future. SWOT and MCDM methodologies based on previous relevant studies summarized in this study can quickly

lead to an effective, appropriate or optimum solution to a construction problem, which will significantly improve construction management.

For this purpose, the studies between January 2019 and May 2022 were searched using academic search engines, ranked according to academic databases, indexes, and years, and then classified. MCDM studies have been successfully applied in fourteen major areas of construction management and 69% of related publications were indexed in SCIE, while studies on “risk issues and assessments”, and “party selection” have been the most popular subjects, while “maintenance/repair strategies” have been the least popular. It is on trend to use hybrid methods instead of single methods in the related studies. It has been noted in previous publications that the studies have more strengths than weaknesses, even though there are some limitations or obstacles. However, it has been observed that construction management has many fields to explore in the future.

As a result of this study, researchers will be able to determine which MCDM method is used in which field of construction management, as well as gain an idea of future studies in this area. For example, methods that have never been studied before on a similar subject may contribute more to literature and the field than others. The study’s methodological approach is very important in identifying the methods that are missing in the literature to guide new projects and studies that will fill these gaps. Researchers will also be able to plan studies on issues that have been identified as opportunities in previous studies, as well as to improve potential weaknesses and eliminate threats during the planning process. The literature may be further enriched in terms of both research articles and reviews if deficiencies can be eliminated and further studies with higher original value can be planned.

This study has some limitations. In total, only 227 out of 249 publications were available for full-text access, so a SWOT analysis could not be conducted on the remaining 22 studies. The SWOT analysis has been abridged due to a large amount of information and similar data that has been gathered from the studies. It’s possible that some information was overlooked owing to the skimming and scanning techniques used to gather relevant information from the studies. A similar analysis could be conducted using text mining techniques or other information retrieval methods in the future. Finally, this study could only cite a few randomly chosen references because of page and word limits.

References

- Abdelkader, E. M., Moselhi, O., Marzouk, M., & Zayed, T. 2021.** Integrative evolutionary-based method for modeling and optimizing budget assignment of bridge maintenance priorities. *Journal of Construction Engineering and Management*, 147(9). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0002113](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0002113)
- Abdelkader, E. M., Moselhi, O., Marzouk, M., & Zayed, T. 2022.** An exponential chaotic differential evolution algorithm for optimizing bridge maintenance plans. *Automation in Construction*, 134, 104107. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.104107>
- Abdullah, A. K., & Alshibani, A. 2021.** Multi-criteria decision-making framework for selecting sustainable private partners for housing projects. *Journal of Financial Management of Property and Construction*, 27(1), 112–140. <https://doi.org/10.1108/jfmpc-07-2020-0046>
- Ajayi, B. O., & Chinda, T. 2022.** Impact of construction delay-controlling parameters on project schedule: DEMATEL-System dynamics modeling approach. *Frontiers in Built Environment*, 8. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2022.799314>
- Arslan, H. M. 2017.** Current classification of multi criteria decision analysis methods and public sector implementations. In M. Aydin, N. Şirin Pinarcioglu, & Ö. Ugurlu (Eds.), *Current Debates in Public Finance Public Administration and Environmental Studies* (pp. 241–261). IJOPEC Publication Limited.
- Banihashemi, S. A., & Khalilzadeh, M. 2021.** Evaluating efficiency in construction projects with the TOPSIS model and NDEA method considering environmental effects and undesirable data. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 46(2), 1589–1605. <https://doi.org/10.1007/s40996-021-00669-w>
- Bayhan, H. G., Demirkesen, S., Zhang, C., & Tezel, A. 2022.** A lean construction and BIM interaction model for the construction industry. *Production Planning & Control*, 1–28. <https://doi.org/10.1080/09537287.2021.2019342>
- Biluca, J., de Aguiar, C. R., & Trojan, F. 2020.** Sorting of suitable areas for disposal of construction and demolition waste using GIS and ELECTRE TRI. *Waste Management*, 114, 307–320. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.007>
- Bonyani, A., & Alimohammadlou, M. 2018.** A new approach for evaluating international EPC contractors in Iran’s energy sector. *International Journal of Construction Management*, 20(7), 775–782. <https://doi.org/10.1080/15623599.2018.1484858>
- Božanić, D., Tešić, D., & Kočić, J. 2019.** Multi-criteria FUCOM – Fuzzy MABAC model for the selection of location for construction of single-span bailey bridge. *Decision-making: Applications in Management and Engineering*, 2(1), 132–146. <https://doi.org/10.31181/dmame1901132b>

- Das, R., & Nakano, M. 2021.** A multi-criteria decision-making model using socio-technical attributes for transportation bridge maintenance prioritisation. *International Journal of Construction Management*, 23(4), 579–585. <https://doi.org/10.1080/15623599.2021.1899560>
- Dehdasht, G., Ferwati, M. S., Zin, R. M., & Abidin, N. Z. 2020.** A hybrid approach using entropy and TOPSIS to select key drivers for a successful and sustainable lean construction implementation. *PLOS ONE*, 15(2), e0228746. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228746>
- Demirkesen, S., & Bayhan, H. G. 2020.** A lean implementation success model for the construction industry. *Engineering Management Journal*, 32(3), 219–239. <https://doi.org/10.1080/10429247.2020.1764834>
- dos Santos, C. F., Piechnicki, F., de Freitas Rocha Loures, E., & Santos, E. A. P. 2017.** Mapping the conceptual relationship among data analysis, knowledge generation and decision-making in industrial processes. *Procedia Manufacturing*, 11, 1751–1758. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.305>
- Erasmus University Rotterdam. 2023.** *Search methods & techniques: Search methods*. LibGuides at Erasmus University Rotterdam; Erasmus University Library. <https://libguides.eur.nl/informationsskillssearchmethods/methods>
- Erdogan, S. A., Šaparauskas, J., & Turskis, Z. 2019.** A multi-criteria decision-making model to choose the best option for sustainable construction management. *Sustainability*, 11(8), 2239. <https://doi.org/10.3390/su11082239>
- Erol, H., Dikmen, I., Atasoy, G., & Birgonul, M. T. 2022.** An analytic network process model for risk quantification of mega construction projects. *Expert Systems with Applications*, 191, 116215. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2021.116215>
- Garg, C. P., & Sharma, A. 2018.** Sustainable outsourcing partner selection and evaluation using an integrated BWM-VIKOR framework. *Environment, Development and Sustainability*, 22(2), 1529–1557. <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0261-5>
- Gharouni Jafari, K., & Noorzai, E. 2021.** Selecting the most appropriate project manager to improve the performance of the occupational groups in road construction projects in warm regions. *Journal of Construction Engineering and Management*, 147(10). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0002151](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0002151)
- Gunduz, M., & Almuajebh, M. 2020.** Critical success factors for sustainable construction project management. *Sustainability*, 12(5), 1990. <https://doi.org/10.3390/su12051990>
- Gunduz, M., & Khader, B. K. 2020.** Construction project safety performance management using analytic network process (ANP) as a multicriteria decision-making (MCDM) tool. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2020, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2020/2610306>
- Haruna, A., Shafiq, N., & Montasir, O. A. 2021.** Building information modelling application for developing sustainable building (Multi criteria decision-making approach). *Ain Shams Engineering Journal*, 12(1), 293–302. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.06.006>
- Heydari Dehooei, J., Hosseini Dehshiri, S. 2021.** Selecting project manager based on competency model using SWARA and WASPAS combined methods: Case of Pishgaman Kavir Yazd Cycas Park Project. *Management Research in Iran*, 22(4), 47–72.
- Ighravwe, D. E., & Oke, S. A. 2019.** A multi-criteria decision-making framework for selecting a suitable maintenance strategy for public buildings using sustainability criteria. *Journal of Building Engineering*, 24, 100753. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100753>
- Iqbal, M., Ma, J., Ahmad, N., Ullah, Z., & Ahmed, R. I. 2021.** Uptake and adoption of sustainable energy technologies: Prioritizing strategies to overcome barriers in the construction industry by using an integrated AHP-TOPSIS approach. *Advanced Sustainable Systems*, 5(7), 2100026. <https://doi.org/10.1002/adsu.202100026>
- Jato-Espino, D., Castillo-Lopez, E., Rodriguez-Hernandez, J., & Canteras-Jordana, J. C. 2014.** A review of application of multi-criteria decision-making methods in construction. *Automation in Construction*, 45, 151–162. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.05.013>
- Kajanus, M., Leskinen, P., Kurttila, M., & Kangas, J. 2012.** Making use of MCDS methods in SWOT analysis—Lessons learnt in strategic natural resources management. *Forest Policy and Economics*, 20, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2012.03.005>
- Kalan, D., & Ozbek, M. E. 2020.** Development of a construction project bidding decision-making tool. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 25(1). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)sc.1943-5576.0000457](https://doi.org/10.1061/(asce)sc.1943-5576.0000457)
- Kar, S., & Jha, K. N. 2020.** Assessing criticality of construction materials for prioritizing their procurement using ANP-TOPSIS. *International Journal of Construction Management*, 22(10), 1852–1862. <https://doi.org/10.1080/15623599.2020.1742637>
- Kazimieras Zavadskas, E., Antucheviciene, J., & Chatterjee, P. 2018.** Multiple-Criteria decision-making (MCDM) techniques for business processes information management. *Information*, 10(1), 4. <https://doi.org/10.3390/info10010004>
- Khoshand, A., Khanlari, K., Abbasianjahromi, H., & Zoghi, M. 2020.** Construction and demolition waste management: Fuzzy Analytic Hierarchy Process approach. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 38(7), 773–782. <https://doi.org/10.1177/0734242x20910468>

- Kiani, M., Bagheri, M., Ebrahimi, A., & Alimohammadlou, M. 2019.** A model for prioritizing outsourceable activities in universities through an integrated fuzzy-MCDM method. *International Journal of Construction Management*, 22(5), 784–800. <https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1645264>
- Kim, D., Oh, W., Yun, J., Youn, J., Do, S., & Lee, D. 2021.** Development of key performance indicators for measuring the management performance of small construction firms in Korea. *Sustainability*, 13(11), 6166. <https://doi.org/10.3390/su13116166>
- Köksalan, M. M., Wallenius, J., & Zionts, S. 2011.** *Multiple criteria decision-making: From early history to the 21st century*. World Scientific.
- Li, Y., Lin, J., Cui, Z., Wang, C., & Li, G. 2019.** Workforce productivity evaluation of the US construction industry from 2006 to 2016. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 28(1), 55–81. <https://doi.org/10.1108/ecam-07-2019-0366>
- Liang, R., & Chong, H.-Y. 2019.** A hybrid group decision model for green supplier selection: A case study of megaprojects. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 26(8), 1712–1734. <https://doi.org/10.1108/ecam-10-2018-0462>
- Liu, H., Long, H., & Li, X. 2020.** Identification of critical factors in construction and demolition waste recycling by the grey-DEMATEL approach: A Chinese perspective. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(8), 8507–8525. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07498-5>
- Ma, D., Chen, Y., Fu, Y., & Meng, C. 2022.** Influencing factors of outsourcing in construction projects: A holistic perspective. *International Journal of Managing Projects in Business*, 15(2), 396–422. <https://doi.org/10.1108/ijmpb-04-2021-0107>
- Mojumder, A., & Singh, A. 2021.** An exploratory study of the adaptation of green supply chain management in construction industry: The case of Indian Construction Companies. *Journal of Cleaner Production*, 295, 126400. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126400>
- Negash, Y. T., Hassan, A. M., Tseng, M.-L., Wu, K.-J., & Ali, M. H. 2021.** Sustainable construction and demolition waste management in Somaliland: Regulatory barriers lead to technical and environmental barriers. *Journal of Cleaner Production*, 297, 126717. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126717>
- Odu, G. O. (2019).** Weighting methods for multi-criteria decision-making technique. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 23(8), 1449. <https://doi.org/10.4314/jasem.v23i8.7>
- Oz, B., Anbarci, M., & Manisali, E. 2017.** A conflict resolution model identifying cause and effect relations by using Fuzzy Expert System. *Gazi Univ. J. Sci*, 4(4), 67–83
- Oz, B., Anbarci, M., & Manisali, E. 2019.** Classification of conflicts encountered in the public construction projects. *AJIT-e: Online Academic Journal of Information Technology*, 10(36), 95–107. <https://doi.org/10.5824/1309-1581.2019.1.005.x>
- Prasad, S. V. S. R. 2019.** The influence of a goal programming approach for safety management practices on the performance of a selected Indian construction organization. *Production Engineering Archives*, 24(24), 43–47. <https://doi.org/10.30657/pea.2019.24.10>
- Qi, H., Zhou, Z., Li, N., & Zhang, C. 2022.** Construction safety performance evaluation based on data envelopment analysis (DEA) from a hybrid perspective of cross-sectional and longitudinal. *Safety Science*, 146, 105532. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105532>
- Qi, X.-W., Zhang, J.-L., & Liang, C.-Y. 2018.** Multiple attributes group decision-making under interval-valued dual hesitant fuzzy unbalanced linguistic environment with prioritized attributes and unknown decision-makers' weights. *Information*, 9(6), 145. <https://doi.org/10.3390/info9060145>
- Roghabadi, M. A., & Moselhi, O. 2020.** A fuzzy-based decision support model for risk maturity evaluation of construction organizations. *Algorithms*, 13(5), 115. <https://doi.org/10.3390/a13050115>
- Shalaby, A., & Hassanein, A. 2019.** A decision support system (DSS) for facilitating the scenario selection process of the renegotiation of PPP contracts. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 26(6), 1004–1023. <https://doi.org/10.1108/ecam-01-2018-0010>
- Sing, M., Chan, J., Liu, H., & Ngai, N. N. H. 2021.** Developing an analytic hierarchy process-based decision model for modular construction in urban areas. *Journal of Engineering, Design and Technology*. <https://doi.org/10.1108/jedt-05-2021-0242>
- Stojić, G., Stević, Ž., Antuchevičienė, J., Pamučar, D., & Vasiljević, M. 2018.** A novel rough WASPAS approach for supplier selection in a company manufacturing PVC carpentry products. *Information*, 9(5), 121. <https://doi.org/10.3390/info9050121>
- Su, L., Wang, T., Li, H., Chao, Y., & Wang, L. 2019.** Multi-criteria decision-making for identification of unbalanced bidding. *Journal of Civil Engineering And Management*, 26(1), 43–52. <https://doi.org/10.3846/jcem.2019.11568>
- Sun, H., Mao, W., Dang, Y., & Xu, Y. 2022.** Optimum path for overcoming barriers of green construction supply chain management: A grey possibility DEMATEL-NK approach. *Computers & Industrial Engineering*, 164, 107833. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107833>

- Tabatabaee, S., Mahdiyar, A., Durdyev, S., Mohandes, S. R., & Ismail, S. 2019.** An assessment model of benefits, opportunities, costs, and risks of green roof installation: A multi criteria decision-making approach. *Journal of Cleaner Production*, 238, 117956. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117956>
- Tamošaitienė, J., Sarvari, H., Cristofaro, M., & Chan, D. W. M. 2021.** Identifying and prioritizing the selection criteria of appropriate repair and maintenance methods for commercial buildings. *International Journal of Strategic Property Management*, 25(5), 413–431. <https://doi.org/10.3846/ijspm.2021.15225>
- Tricco, A. C., Antony, J., Zarin, W., Strifler, L., Ghassemi, M., Ivory, J., Perrier, L., Hutton, B., Moher, D., & Straus, S. E. 2015.** A scoping review of rapid review methods. *BMC Medicine*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/s12916-015-0465-6>
- Vafaei, N., Ribeiro, R. A., & Camarinha-Matos, L. M. 2016.** Normalization techniques for multi-criteria decision-making: Analytical hierarchy process case study. In *Technological Innovation for Cyber-Physical Systems* (pp. 261–269). Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-31165-4_26
- Wu, X., & Xu, F. 2021.** Detection model for unbalanced bidding in railway construction projects: Considering the risk of quantity variation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 147(7). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0002058](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0002058)
- Xiahou, X., Wu, Y., Duan, T., Lin, P., Li, F., Qu, X., Liu, L., Li, Q., & Liu, J. 2022.** Analyzing critical factors for the smart construction site development: A DEMATEL-ISM based approach. *Buildings*, 12(2), 116. <https://doi.org/10.3390/buildings12020116>
- Yuan, F., Tang, M., & Hong, J. 2020.** Efficiency estimation and reduction potential of the Chinese construction industry via SE-DEA and artificial neural network. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27(7), 1533–1552. <https://doi.org/10.1108/ecam-10-2019-0564>
- Zavadskas, E. K., Govindan, K., Antucheviciene, J., & Turskis, Z. 2016.** Hybrid multiple criteria decision-making methods: A review of applications for sustainability issues. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 29(1), 857–887. <https://doi.org/10.1080/1331677x.2016.1237302>
- Zavadskas, E. K., Vilutienė, T., Turskis, Z., & Šaparauskas, J. 2014.** Multi-criteria analysis of Projects' performance in construction. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 14(1), 114–121. <https://doi.org/10.1016/j.acme.2013.07.006>
- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Tamosaitiene, J. 2010.** Multi-criteria decision-making of management effectiveness of construction enterprises based on the SWOT and MCDM. *The 6th International Scientific Conference "Business and Management 2010"*. Selected Papers. <http://dx.doi.org/10.3846/bm.2010.152>
- Zhu, F., Hu, H., Xu, F., & Tang, N. 2021.** Predicting the impact of country-related risks on cost overrun for overseas infrastructure projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 147(2). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)co.1943-7862.0001959](https://doi.org/10.1061/(asce)co.1943-7862.0001959)



On Generalized Commutative Quaternions with Generalized Tetranacci Number Components

Genelleştirilmiş Tetranacci Sayı Bileşenleri ile Genelleştirilmiş Komutatif Kuaterniyonlar Üzerine

Özge Arıbaş¹ , Mustafa Yıldız^{2*} 

¹Zonguldak Bülent Ecevit University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Mathematics, Zonguldak, Türkiye

²Bartın University, Faculty of Science, Bartın, Türkiye

Abstract

In this research, generalized commutative quaternions with generalized Tetranacci number components are introduced and studied. Then, some algebraic properties of these quaternions, such as a Binet-like formula and the summation formula are presented. Furthermore, a matrix representation is given involving these generalized commutative quaternions.

Keywords: Generalized quaternions, generalized tetranacci numbers, quaternions, tetranacci numbers

Öz

Bu çalışmada, genelleştirilmiş Tetranacci sayı bileşenleri ile genelleştirilmiş komutatif kuaterniyonlar tanımlanmış ve incelenmiştir. Bu kuaterniyonlara ait Binet-benzeri formül ve toplam formülü gibi bazı cebirsel özellikler sunulmuştur. Ayrıca, bu genelleştirilmiş komutatif kuaterniyonları içeren bir matris temsilcisi verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Genelleştirilmiş kuaterniyonlar, genelleştirilmiş tetranacci sayıları, kuaterniyonlar, tetranacci sayıları

1. Introduction

The Tetranacci numbers $\{M_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ were introduced by Waddill (1992), while the generalized Tetranacci numbers were considered by Yeşil Baran and Yetiş (2019). These sequences can be viewed as generalizations of the Fibonacci numbers, which appear frequently in nature and man-made systems.

The generalized Tetranacci sequence $\{\mathcal{T}_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ is defined with the recurrence relation

$$\mathcal{T}_n = p\mathcal{T}_{n-1} + q\mathcal{T}_{n-2} + r\mathcal{T}_{n-3} + s\mathcal{T}_{n-4}, \quad n \geq 4. \quad (1)$$


Here, $\mathcal{T}_0 = a, \mathcal{T}_1 = b, \mathcal{T}_2 = c, \mathcal{T}_3 = d$ and we have


$$p + q + r + s - 1 \neq 0, \quad (2)$$

(Yeşil Baran and Yetiş 2019). When $a = b = 0, c = d = 1$ and $p = q = r = s = 1, \{\mathcal{T}_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ becomes the

Tetranacci sequence $\{M_n\}_{n \in \mathbb{N}}$. In the case of $a = b = 1, c = 2, d = 4, p = q = r = s = 1, \{\mathcal{T}_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ transforms into the Tetranacci numbers $\{l_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ and 4-bonacci numbers $\{\mathcal{F}_n^{(4)}\}_{n \in \mathbb{N}}$ mentioned in Ramírez and Sirvent (2015). We have the Quadrapell numbers $\{D_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ considered by Taşcı (2009), for $a = b = c = 1, d = 2$ and $p = 0, q = r = 1, s = 2$. By taking $a = b = 0, c = 1, d = 3$ and $p = 3, q = 0, r = -3, s = -1$, we get the quadra Fibona-Pell numbers $\{W_n\}_{n \in \mathbb{N}}$, which are presented by Özkoç (2015). $\{\mathcal{T}_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ becomes the quadra Lucas-Jacobsthal numbers $\{S_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ described by Kızılateş (2017), for $a = b = 2, c = 4, d = 7$ and $p = q = 2, r = -3, s = -2$. We obtain Gaussian Tetranacci numbers $\{GM_n\}_{n \in \mathbb{N}}$, which are introduced by Taşcı and Acar (2017), for $a = b = 0, c = 1, d = 1 + i$ and $p = q = r = s = 1$. The case of $a = 1, b = 2, c = 4, d = 9$ and $p = q = 4, r = -5, s = -1$ gives us the binomial transform of Quadrapell numbers $\{b_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ defined by Kızılateş et al. (2017). We get the Tetranacci-Lucas numbers $\{TL_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ given in Soykan (2020) for $a = 4, b = 1, c = 3, d = 7, p = q = s = r = 1$. While $a = 0, b = c = d = 1$ and $p = 0, q = s = 1, r = 2, \{\mathcal{T}_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ becomes the Pell-Padovan Tetranacci sequence $\{PT_n\}_{n \in \mathbb{N}}$, which is defined by Petroudi et al. (2020).

*Corresponding author: mustafa.yildiz@beun.edu.tr

Özge Arıbaş  orcid.org/0000-0002-8711-2413

Mustafa Yıldız  orcid.org/0000-0003-3367-7176



Moreover, the sequences $\{N_n\}_{n \in \mathbb{N}}$, $\{P_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ and $\{R_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ can be obtained from (1) and (2). The values of a, b, c, d, p, q, r, s corresponding to these sequences will be given in the next section. Here, Narayana sequence $\{N_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ (sequence A000930 in Sloane), Padovan sequence $\{P_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ (sequence A000931 in Sloane) and Perrin sequence $\{R_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ (sequence A001608 in Sloane) are available at: <http://oeis.org>.

Recently, general forms of generating functions for sequences of numbers and polynomials are defined by Simsek (2023) as

$$F(w, P(\vec{\mathcal{E}}_m)) = \frac{1}{1 + \sum_{j=1}^m P_j(\mathcal{E}_j) w^j} = \sum_{n=0}^{\infty} Y_n(P(\vec{\mathcal{E}}_m)) w^n \tag{3}$$

and

$$G(w, P(\vec{\mathcal{E}}_m); Q(\vec{\mathcal{E}}_k)) = \frac{\sum_{j=0}^k Q_j(\mathcal{E}_j) w^j}{1 + \sum_{j=1}^m P_j(\mathcal{E}_j) w^j} = \sum_{n=0}^{\infty} S_n(P(\vec{\mathcal{E}}_m); Q(\vec{\mathcal{E}}_k)) w^n \tag{4}$$

for $P(\vec{\mathcal{E}}_m) = (P_1(\mathcal{E}_1), P_2(\mathcal{E}_2), \dots, P_m(\mathcal{E}_m))$,

$$Q(\vec{\mathcal{E}}_k) = (Q_1(\mathcal{E}_1), Q_2(\mathcal{E}_2), \dots, Q_k(\mathcal{E}_k)), \tag{5}$$

$$P_j(\mathcal{E}_j) = \sum_{v=0}^d a_v \mathcal{E}_j^v, Q_l(\mathcal{E}_l) = \sum_{v=0}^c b_v \mathcal{E}_l^v,$$

$0 \leq l \leq k, 0 \leq j \leq m, m \in \mathbb{N}$ and $c, d, k \in \mathbb{N} \cup \{0\}$. By choosing suitable values, we can obtain the generating functions of all the specific cases of $\{\mathcal{T}_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ that we mentioned above.

Binet formula for $\{\mathcal{T}_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ is given by the following relationship

$$\mathcal{T}_n = \frac{At_1^n}{(t_1 - t_2)(t_1 - t_3)(t_1 - t_4)} + \frac{Bt_2^n}{(t_2 - t_1)(t_2 - t_3)(t_2 - t_4)} + \frac{Ct_3^n}{(t_3 - t_1)(t_3 - t_2)(t_3 - t_4)} + \frac{Dt_4^n}{(t_4 - t_1)(t_4 - t_2)(t_4 - t_3)} \tag{6}$$

where t_1, t_2, t_3, t_4 are the roots of characteristic equation of (1) and

$$A = \frac{t_1(t_1 - t_2)(t_1 - t_3)(t_1 - t_4)(t_2 - t_3)(t_2 - t_4) + B(t_1 - t_3)(t_1 - t_4)}{(t_2 - t_3)(t_2 - t_4)} + \frac{-C(t_1 - t_2)(t_1 - t_4)(t_2 - t_4) + D(t_1 - t_2)(t_1 - t_3)(t_2 - t_3)}{(t_2 - t_3)(t_2 - t_4)(t_3 - t_4)}, \tag{7}$$

$$B = (b - ap)[(t_3 - t_2)(t_4 - t_2)] - \frac{C(t_2 - t_4) + D(t_3 - t_2)}{(t_3 - t_4)}, \tag{8}$$

$$C = (t_3 - t_4)[c - bp - aq] + D, \tag{9}$$

$$D = d - cp - bq - ar, \tag{10}$$

(Yeşil Baran 2021).

The Irish mathematician William Rowan Hamilton defined quaternions in 1843 and they are a four-dimensional hypercomplex number system. Quaternions are widely used in pure and applied mathematics, modern physics and many other fields. Multiplication of quaternions is non-commutative and this property makes it difficult to conduct applications to engineering problems. Commutative quaternions are defined by modifying the definition of quaternions in a way that enabled commutativity in multiplication. They are a number system that has received a lot of attention and are used in applications such as signal processing.

A generalized quaternion x is a vector which can be written as

$$x = x_0 + x_1 e_1 + x_2 e_2 + x_3 e_3. \tag{11}$$

Here,

$$e_1^2 = -\alpha, e_2^2 = -\beta, e_3^2 = -\alpha\beta, \tag{12}$$

$$e_1 e_2 = -e_2 e_1 = e_3, e_2 e_3 = -e_3 e_2 = \beta e_1, e_1 e_3 = -e_3 e_1 = \alpha e_2 \tag{13}$$

and $x_0, x_1, x_2, x_3, \alpha, \beta \in \mathbb{R}$. $\mathbb{H}_{\gamma\beta}$ denotes the family of all generalized quaternions.

The generalized commutative quaternions were introduced and studied in Szyńal-Liana and Włoch (2022). A generalized commutative quaternion x is a vector of the form (11), where generalized commutative quaternionic units e_1, e_2, e_3 satisfy the equalities

$$e_1^2 = \alpha, e_2^2 = \beta, e_3^2 = \alpha\beta \tag{14}$$

and

$$e_1 e_2 = e_2 e_1 = e_3, e_2 e_3 = e_3 e_2 = \beta e_1, e_1 e_3 = e_3 e_1 = \alpha e_2 \tag{15}$$

for $x_0, x_1, x_2, x_3, \alpha, \beta \in \mathbb{R}$. The family of all generalized commutative quaternions is denoted by $\mathbb{H}_{\gamma\beta}^c$. The generalized commutative quaternions are generalizations of elliptic quaternions ($\alpha < 0, \beta = 1$), parabolic quaternions ($\alpha = 0, \beta = 1$), hyperbolic quaternions ($\alpha > 0, \beta = 1$), bicomplex numbers ($\alpha = -1, \beta = -1$), complex hyperbolic numbers ($\alpha = -1, \beta = 1$) and hyperbolic complex numbers ($\alpha = 1, \beta = -1$).

The generalized non-commutative Fibonacci quaternions were presented by Horadam (1963). Some properties of generalized non-commutative Fibonacci quaternions were given in Flaut and Shpakivskyi (2013), Akyiğit et al. (2014), Flaut (2014) and Flaut and Savin (2015). As for the generalized commutative quaternions with Fibonacci type number components, they were studied in Szyńal-Li-

ana and Włoch (2022), Bród et al. (2022) and Bród and Szynal-Liana (2023), by utilizing Horadam, Jacobsthal and Jacobsthal-Lucas numbers. Then, Szynal-Liana et al. (2023) examined generalized commutative quaternions by using Fibonacci, Lucas, Jacobsthal, Jacobsthal-Lucas, Pell and Pell-Lucas polynomials sequences.

On the other hand, in literature there exist some interesting results about the quaternions defined by using a generalized and recurrent number sequence. To name some examples, generalized Fibonacci quaternions, generalized Fibonacci-Lucas quaternions, Horadam quaternions, generalized Tribonacci quaternions, bicomplex generalized Tribonacci

numbers, bicomplex Tetranacci and Tetranacci-Lucas numbers, higher order Fibonacci quaternions, higher order Fibonacci hyper complex numbers, incomplete Fibonacci and Lucas quaternions were defined and examined by Swamy (1973), Flaut and Savin (2015), Halici and Karataş (2017), Cerda-Morales (2017), Kızılateş et al. (2019), Soykan (2020), Kızılateş and Kone (2021a), Kızılateş and Kone (2021b), Kızılateş (2022), respectively.

By taking these studies into account, we will define generalized commutative quaternions with generalized Tetranacci number components in the next section.

2. Generalized Commutative Quaternions with Generalized Tetranacci Number Components

Definition 2.1. For $n \geq 0$, we define the n -th generalized commutative generalized Tetranacci quaternion

$$gc\mathcal{T}_n = \mathcal{T}_n + \mathcal{T}_{n+1}e_1 + \mathcal{T}_{n+2}e_2 + \mathcal{T}_{n+3}e_3 \tag{16}$$

where \mathcal{T}_n is the n -th generalized Tetranacci number and the generalized commutative quaternionic units e_1, e_2, e_3 satisfy (14) and (15). The following are some special cases of this quaternion:

- I) $\{gc\mathcal{T}_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ become the generalized commutative Fibonacci quaternions $\{gcF_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ for $a = 0, b = c = 1, d = 2$ and $p = q = 1, r = s = 0$.
- II) $\{gc\mathcal{T}_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ become the generalized commutative Jacobsthal quaternions $\{gcJ_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ for $a = 0, b = c = 1, d = 3$ and $p = 1, q = 2, r = s = 0$.
- III) $\{gc\mathcal{T}_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ become the generalized commutative Horadam quaternions $\{gc\mathcal{H}_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ for $a, b, c, d, p, q \in \mathbb{R}$ and $q = -p, r = s = 0$.
- IV) $\{gc\mathcal{T}_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ become the generalized commutative Narayana quaternions $\{gcN_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ for $a = b = c = 1, d = 2$ and $p = r = 1, q = s = 0$.
- V) $\{gc\mathcal{T}_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ become the generalized commutative Padovan quaternions $\{gcP_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ for $a = d = 1, b = c = 0$ and $p = s = 0, q = r = 1$.
- VI) $\{gc\mathcal{T}_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ become the generalized commutative Perrin quaternions $\{gcR_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ for $a = d = 3, b = 0, c = 2$ and $p = s = 0, q = r = 1$.
- VII) $\{gc\mathcal{T}_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ become the generalized commutative Tetranacci quaternions $\{gcM_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ for $a = b = 0, c = d = 1$ and $p = q = r = s = 1$.

We note that cases I, II and III are considered by Szynal-Liana and Włoch (2022).

Theorem 2.1. Let $n \geq 0$ be an integer. Then, a Binet-like formula for generalized commutative quaternions with generalized Tetranacci components can be written as

$$gc\mathcal{T}_n = \frac{At_1^n [1 + t_1e_1 + t_1^2e_2 + t_1^3e_3]}{(t_1 - t_2)(t_1 - t_3)(t_1 - t_4)} + \frac{Bt_2^n [1 + t_2e_1 + t_2^2e_2 + t_2^3e_3]}{(t_2 - t_1)(t_2 - t_3)(t_2 - t_4)} + \frac{Ct_3^n [1 + t_3e_1 + t_3^2e_2 + t_3^3e_3]}{(t_3 - t_1)(t_3 - t_2)(t_3 - t_4)} + \frac{Dt_4^n [1 + t_4e_1 + t_4^2e_2 + t_4^3e_3]}{(t_4 - t_1)(t_4 - t_2)(t_4 - t_3)}, \tag{17}$$

where t_1, t_2, t_3, t_4 are the roots of characteristic equation of (1) and A, B, C, D are given with equalities (7) - (10).

Proof. By (6) and (16), we have

$$\begin{aligned}
 gc\mathcal{T}_n &= \mathcal{T}_n + \mathcal{T}_{n+1}e_1 + \mathcal{T}_{n+2}e_2 + \mathcal{T}_{n+3}e_3 = \frac{At_1^n}{(t_1-t_2)(t_1-t_3)(t_1-t_4)} + \frac{Bt_2^n}{(t_2-t_1)(t_2-t_3)(t_2-t_4)} \\
 &+ \frac{Ct_3^n}{(t_3-t_1)(t_3-t_2)(t_3-t_4)} + \frac{Dt_4^n}{(t_4-t_1)(t_4-t_2)(t_4-t_3)} + \left(\frac{At_1^{n+1}}{(t_1-t_2)(t_1-t_3)(t_1-t_4)} + \frac{Bt_2^{n+1}}{(t_2-t_1)(t_2-t_3)(t_2-t_4)} \right. \\
 &+ \left. \frac{Ct_3^{n+1}}{(t_3-t_1)(t_3-t_2)(t_3-t_4)} + \frac{Dt_4^{n+1}}{(t_4-t_1)(t_4-t_2)(t_4-t_3)} \right) e_1 + \left(\frac{At_1^{n+2}}{(t_1-t_2)(t_1-t_3)(t_1-t_4)} + \frac{Bt_2^{n+2}}{(t_2-t_1)(t_2-t_3)(t_2-t_4)} \right. \\
 &+ \left. \frac{Ct_3^{n+2}}{(t_3-t_1)(t_3-t_2)(t_3-t_4)} + \frac{Dt_4^{n+2}}{(t_4-t_1)(t_4-t_2)(t_4-t_3)} \right) e_2 + \left(\frac{At_1^{n+3}}{(t_1-t_2)(t_1-t_3)(t_1-t_4)} + \frac{Bt_2^{n+3}}{(t_2-t_1)(t_2-t_3)(t_2-t_4)} \right. \\
 &+ \left. \frac{Ct_3^{n+3}}{(t_3-t_1)(t_3-t_2)(t_3-t_4)} + \frac{Dt_4^{n+3}}{(t_4-t_1)(t_4-t_2)(t_4-t_3)} \right) e_3 = \frac{At_1^n [1 + t_1e_1 + t_1^2e_2 + t_1^3e_3]}{(t_1-t_2)(t_1-t_3)(t_1-t_4)} + \frac{Bt_2^n [1 + t_2e_1 + t_2^2e_2 + t_2^3e_3]}{(t_2-t_1)(t_2-t_3)(t_2-t_4)} \\
 &+ \frac{Ct_3^n [1 + t_3e_1 + t_3^2e_2 + t_3^3e_3]}{(t_3-t_1)(t_3-t_2)(t_3-t_4)} + \frac{Dt_4^n [1 + t_4e_1 + t_4^2e_2 + t_4^3e_3]}{(t_4-t_1)(t_4-t_2)(t_4-t_3)},
 \end{aligned} \tag{18}$$

which completes the proof.

For simplicity, we can write

$$\hat{t}_1 = \frac{1 + t_1e_1 + t_1^2e_2 + t_1^3e_3}{(t_1-t_2)(t_1-t_3)(t_1-t_4)}, \tag{19}$$

$$\hat{t}_2 = \frac{1 + t_2e_1 + t_2^2e_2 + t_2^3e_3}{(t_2-t_1)(t_2-t_3)(t_2-t_4)}, \tag{20}$$

$$\hat{t}_3 = \frac{1 + t_3e_1 + t_3^2e_2 + t_3^3e_3}{(t_3-t_1)(t_3-t_2)(t_3-t_4)}, \tag{21}$$

$$\hat{t}_4 = \frac{1 + t_4e_1 + t_4^2e_2 + t_4^3e_3}{(t_4-t_1)(t_4-t_2)(t_4-t_3)}. \tag{22}$$

Then, using (19) - (22), equality (17) becomes

$$gc\mathcal{T}_n = At_1^n \hat{t}_1 + Bt_2^n \hat{t}_2 + Ct_3^n \hat{t}_3 + Dt_4^n \hat{t}_4. \tag{23}$$

Theorem 2.2. The following relations are valid for $gc\mathcal{T}_n$:

$$gc\mathcal{T}_n = p \cdot gc\mathcal{T}_{n-1} + q \cdot gc\mathcal{T}_{n-2} + r \cdot gc\mathcal{T}_{n-3} + s \cdot gc\mathcal{T}_{n-4}, (n \geq 4), \tag{24}$$

$$gc\mathcal{T}_n - gc\mathcal{T}_{n+1}e_1 + gc\mathcal{T}_{n+2}e_2 - gc\mathcal{T}_{n+3}e_3 = (\mathcal{T}_n - \alpha\mathcal{T}_{n+2} + \beta\mathcal{T}_{n+4} - \alpha\beta\mathcal{T}_{n+6}) + 2(\mathcal{T}_{n+2} - \alpha\mathcal{T}_{n+4})e_2, (n \geq 0). \tag{25}$$

Proof. In order to examine the first equality, we write

$$\begin{aligned}
 p \cdot gc\mathcal{T}_{n-1} + q \cdot gc\mathcal{T}_{n-2} + r \cdot gc\mathcal{T}_{n-3} + s \cdot gc\mathcal{T}_{n-4} &= p(\mathcal{T}_{n-1} + \mathcal{T}_ne_1 + \mathcal{T}_{n+1}e_2 + \mathcal{T}_{n+2}e_3) + q(\mathcal{T}_{n-2} + \mathcal{T}_{n-1}e_1 \\
 &+ \mathcal{T}_ne_2 + \mathcal{T}_{n+1}e_3) + r(\mathcal{T}_{n-3} + \mathcal{T}_{n-2}e_1 + \mathcal{T}_{n-1}e_2 + \mathcal{T}_ne_3) + s(\mathcal{T}_{n-4} + \mathcal{T}_{n-3}e_1 + \mathcal{T}_{n-2}e_2 + \mathcal{T}_{n-1}e_3) \\
 &= (p\mathcal{T}_{n-1} + q\mathcal{T}_{n-2} + r\mathcal{T}_{n-3} + s\mathcal{T}_{n-4}) + (p\mathcal{T}_n + q\mathcal{T}_{n-1} + r\mathcal{T}_{n-2} + s\mathcal{T}_{n-3})e_1 \\
 &+ (p\mathcal{T}_{n+1} + q\mathcal{T}_n + r\mathcal{T}_{n-1} + s\mathcal{T}_{n-2})e_2 + (p\mathcal{T}_{n+2} + q\mathcal{T}_{n+1} + r\mathcal{T}_n + s\mathcal{T}_{n-1})e_3 = \mathcal{T}_n + \mathcal{T}_{n+1}e_1 + \mathcal{T}_{n+2}e_2 + \mathcal{T}_{n+3}e_3 = gc\mathcal{T}_n,
 \end{aligned} \tag{26}$$

by using (1), (16) and we obtain (24). As for (25), by (14) - (16), we have

$$\begin{aligned}
 gc\mathcal{T}_n - gc\mathcal{T}_{n+1}e_1 + gc\mathcal{T}_{n+2}e_2 - gc\mathcal{T}_{n+3}e_3 &= (\mathcal{T}_n + \mathcal{T}_{n+1}e_1 + \mathcal{T}_{n+2}e_2 + \mathcal{T}_{n+3}e_3) - (\mathcal{T}_{n+1} + \mathcal{T}_{n+2}e_1 + \mathcal{T}_{n+3}e_2 + \mathcal{T}_{n+4}e_3)e_1 \\
 &+ (\mathcal{T}_{n+2} + \mathcal{T}_{n+3}e_1 + \mathcal{T}_{n+4}e_2 + \mathcal{T}_{n+5}e_3)e_2 - (\mathcal{T}_{n+3} + \mathcal{T}_{n+4}e_1 + \mathcal{T}_{n+5}e_2 + \mathcal{T}_{n+6}e_3)e_3 = (\mathcal{T}_n + \mathcal{T}_{n+1}e_1 + \mathcal{T}_{n+2}e_2 + \mathcal{T}_{n+3}e_3) \\
 &+ (-\mathcal{T}_{n+1}e_1 - \mathcal{T}_{n+2}\alpha - \mathcal{T}_{n+3}e_3 - \mathcal{T}_{n+4}\alpha e_2) + (\mathcal{T}_{n+2}e_2 + \mathcal{T}_{n+3}e_3 + \mathcal{T}_{n+4}\beta + \mathcal{T}_{n+5}\beta e_1) + (-\mathcal{T}_{n+3}e_3 - \mathcal{T}_{n+4}\alpha e_2 - \mathcal{T}_{n+5}\beta e_1 - \mathcal{T}_{n+6}\alpha\beta) \\
 &= (\mathcal{T}_n - \alpha\mathcal{T}_{n+2} + \beta\mathcal{T}_{n+4} - \alpha\beta\mathcal{T}_{n+6}) + 2(\mathcal{T}_{n+2} - \alpha\mathcal{T}_{n+4})e_2.
 \end{aligned} \tag{27}$$

Thus, the proof is completed.

With the next theorem, we will present a summation formula for the generalized commutative quaternions with generalized Tetranacci number components.

Theorem 2.3. Suppose that $n \geq 4$ is an integer. Then, we have

$$\sum_{k=0}^n gc\mathcal{T}_k = \frac{(p+q+r+s)gc\mathcal{T}_n + (q+r+s)gc\mathcal{T}_{n-1} + (r+s)gc\mathcal{T}_{n-2} + sgc\mathcal{T}_{n-3} + (p+q+r-1)gc\mathcal{T}_0 + (p+q-1)gc\mathcal{T}_1 + (p-1)gc\mathcal{T}_2 - gc\mathcal{T}_3}{p+q+r+s-1} + \frac{(p-1)gc\mathcal{T}_2 - gc\mathcal{T}_3}{p+q+r+s-1}. \tag{28}$$

Proof. Since we have equality (24) for $n \geq 4$ and by considering (2), we get

$$\sum_{k=0}^n gc\mathcal{T}_k = gc\mathcal{T}_0 + gc\mathcal{T}_1 + gc\mathcal{T}_2 + gc\mathcal{T}_3 + p \sum_{k=3}^{n-1} gc\mathcal{T}_k + q \sum_{k=2}^{n-2} gc\mathcal{T}_k + r \sum_{k=1}^{n-3} gc\mathcal{T}_k + s \sum_{k=0}^{n-4} gc\mathcal{T}_k = (p+q+r+s) \sum_{k=0}^n gc\mathcal{T}_k - (p+q+r+s)gc\mathcal{T}_n - (q+r+s)gc\mathcal{T}_{n-1} - (r+s)gc\mathcal{T}_{n-2} - sgc\mathcal{T}_{n-3} - (p+q+r-1)gc\mathcal{T}_0 - (p+q-1)gc\mathcal{T}_1 - (p-1)gc\mathcal{T}_2 + gc\mathcal{T}_3. \tag{29}$$

Therefore, the proof is completed.

3. Matrix Representation of Generalized Commutative Quaternions with Generalized Tetranacci Number Components

Now, we give the matrix generator of the numbers $gc\mathcal{T}_n$.

Theorem 3.1. Suppose that $n \geq 1$ is an integer. Then, matrix formulation of $gc\mathcal{T}_n$ can be given as

$$\begin{bmatrix} gc\mathcal{T}_{n+5} & gc\mathcal{T}_{n+4} & gc\mathcal{T}_{n+3} & gc\mathcal{T}_{n+2} \\ gc\mathcal{T}_{n+4} & gc\mathcal{T}_{n+3} & gc\mathcal{T}_{n+2} & gc\mathcal{T}_{n+1} \\ gc\mathcal{T}_{n+3} & gc\mathcal{T}_{n+2} & gc\mathcal{T}_{n+1} & gc\mathcal{T}_n \\ gc\mathcal{T}_{n+2} & gc\mathcal{T}_{n+1} & gc\mathcal{T}_n & gc\mathcal{T}_{n-1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} gc\mathcal{T}_6 & gc\mathcal{T}_5 & gc\mathcal{T}_4 & gc\mathcal{T}_3 \\ gc\mathcal{T}_5 & gc\mathcal{T}_4 & gc\mathcal{T}_3 & gc\mathcal{T}_2 \\ gc\mathcal{T}_4 & gc\mathcal{T}_3 & gc\mathcal{T}_2 & gc\mathcal{T}_1 \\ gc\mathcal{T}_3 & gc\mathcal{T}_2 & gc\mathcal{T}_1 & gc\mathcal{T}_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p & 1 & 0 & 0 \\ q & 0 & 1 & 0 \\ r & 0 & 0 & 1 \\ s & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^{n-1}. \tag{30}$$

Proof. The proof was done using the principle of mathematical induction. The result is obvious for $n = 1$, which can be easily seen. We will show the equality is true for $n + 1$, by assuming that the formula (30) holds for $n \geq 1$. We get

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} gc\mathcal{T}_6 & gc\mathcal{T}_5 & gc\mathcal{T}_4 & gc\mathcal{T}_3 \\ gc\mathcal{T}_5 & gc\mathcal{T}_4 & gc\mathcal{T}_3 & gc\mathcal{T}_2 \\ gc\mathcal{T}_4 & gc\mathcal{T}_3 & gc\mathcal{T}_2 & gc\mathcal{T}_1 \\ gc\mathcal{T}_3 & gc\mathcal{T}_2 & gc\mathcal{T}_1 & gc\mathcal{T}_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p & 1 & 0 & 0 \\ q & 0 & 1 & 0 \\ r & 0 & 0 & 1 \\ s & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^{n-1} \begin{bmatrix} p & 1 & 0 & 0 \\ q & 0 & 1 & 0 \\ r & 0 & 0 & 1 \\ s & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} gc\mathcal{T}_{n+5} & gc\mathcal{T}_{n+4} & gc\mathcal{T}_{n+3} & gc\mathcal{T}_{n+2} \\ gc\mathcal{T}_{n+4} & gc\mathcal{T}_{n+3} & gc\mathcal{T}_{n+2} & gc\mathcal{T}_{n+1} \\ gc\mathcal{T}_{n+3} & gc\mathcal{T}_{n+2} & gc\mathcal{T}_{n+1} & gc\mathcal{T}_n \\ gc\mathcal{T}_{n+2} & gc\mathcal{T}_{n+1} & gc\mathcal{T}_n & gc\mathcal{T}_{n-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p & 1 & 0 & 0 \\ q & 0 & 1 & 0 \\ r & 0 & 0 & 1 \\ s & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \\ & = \begin{bmatrix} gc\mathcal{T}_{n+6} & gc\mathcal{T}_{n+5} & gc\mathcal{T}_{n+4} & gc\mathcal{T}_{n+3} \\ gc\mathcal{T}_{n+5} & gc\mathcal{T}_{n+4} & gc\mathcal{T}_{n+3} & gc\mathcal{T}_{n+2} \\ gc\mathcal{T}_{n+4} & gc\mathcal{T}_{n+3} & gc\mathcal{T}_{n+2} & gc\mathcal{T}_{n+1} \\ gc\mathcal{T}_{n+3} & gc\mathcal{T}_{n+2} & gc\mathcal{T}_{n+1} & gc\mathcal{T}_n \end{bmatrix}, \tag{31} \end{aligned}$$

by considering induction's hypothesis and equality (24) and this ends the proof.

Moreover, we have

$$\begin{bmatrix} gc\mathcal{T}_6 & gc\mathcal{T}_5 & gc\mathcal{T}_4 & gc\mathcal{T}_3 \\ gc\mathcal{T}_5 & gc\mathcal{T}_4 & gc\mathcal{T}_3 & gc\mathcal{T}_2 \\ gc\mathcal{T}_4 & gc\mathcal{T}_3 & gc\mathcal{T}_2 & gc\mathcal{T}_1 \\ gc\mathcal{T}_3 & gc\mathcal{T}_2 & gc\mathcal{T}_1 & gc\mathcal{T}_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p & 1 & 0 & 0 \\ q & 0 & 1 & 0 \\ r & 0 & 0 & 1 \\ s & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p & 1 & 0 & 0 \\ q & 0 & 1 & 0 \\ r & 0 & 0 & 1 \\ s & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} gc\mathcal{T}_6 & gc\mathcal{T}_5 & gc\mathcal{T}_4 & gc\mathcal{T}_3 \\ gc\mathcal{T}_5 & gc\mathcal{T}_4 & gc\mathcal{T}_3 & gc\mathcal{T}_2 \\ gc\mathcal{T}_4 & gc\mathcal{T}_3 & gc\mathcal{T}_2 & gc\mathcal{T}_1 \\ gc\mathcal{T}_3 & gc\mathcal{T}_2 & gc\mathcal{T}_1 & gc\mathcal{T}_0 \end{bmatrix} \tag{32}$$

and

$$\det \begin{bmatrix} p & 1 & 0 & 0 \\ q & 0 & 1 & 0 \\ r & 0 & 0 & 1 \\ s & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \det \begin{bmatrix} p & 1 & 0 & 0 \\ q & 0 & 1 & 0 \\ r & 0 & 0 & 1 \\ s & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T = -r. \quad (33)$$

4. Conclusion

We defined the generalized commutative quaternions by using a number sequence which is defined with a generalized recurrence relation. This new definition generalizes the quaternions introduced by Szynal-Liana and Włoch (2022) and further investigated by Bród et al. (2022) and Bród and Szynal-Liana (2023). Some properties involving the sequence $\{gc\mathcal{T}_n\}_{n \in \mathbb{N}}$ were presented, including the Binet type formula and the summation formula. In addition, a specific matrix, whose elements are the generalized commutative quaternions with generalized Tetranacci number components, was given as an alternative way to acquire the n -th term of the sequence $\{gc\mathcal{T}_n\}_{n \in \mathbb{N}}$. We believe that the quaternions considered in this article can be extended to generalize other quaternion families 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.

Author contribution: Özge Aribaş wrote the article by gathering and analyzing data about the study, Mustafa Yıldız planned and designed the study.

5. References

- Akyiğit, M., Kosal, H. H., Tosun, M. 2014. Fibonacci generalized quaternions. *Adv. Appl. Clifford Algebr.*, 24: 631-641. Doi: 10.1007/s00006-014-0458-0
- Bród, D., Szynal-Liana, A., Włoch, I. 2022. On some combinatorial properties of generalized commutative Jacobsthal quaternions and generalized commutative Jacobsthal-Lucas quaternions. *Czechoslov. Math. J.*, 72: 1239-1248. Doi: 10.21136/CMJ.2022.0174-22
- Bród, D., Szynal-Liana, A. 2023. Generalized commutative Jacobsthal quaternions and some matrices. *Examples and Counterexamples*, 3: 100102. Doi: 10.1016/j.exco.2023.100102
- Cerda-Morales, G. 2017. On a generalization for Tribonacci quaternions. *Mediterr. J. Math.*, 14: 239. Doi: 10.1007/s00009-017-1042-3
- Flaut, C. 2014. A Clifford algebra associated to generalized Fibonacci quaternions. *Adv. Differ. Equ.*, 279. Doi: 10.1186/1687-1847-2014-279
- Flaut, C., Savin, D. 2015. Quaternion algebras and generalized Fibonacci-Lucas quaternions. *Adv. Appl. Clifford Algebr.*, 25: 853-862. Doi: 10.1007/s00006-015-0542-0
- Flaut, C., Shpakivskyi, V. 2013. On generalized Fibonacci quaternions and Fibonacci-Narayana quaternions. *Adv. Appl. Clifford Algebr.*, 23: 673-688. Doi: 10.1007/s00006-013-0388-2
- Halici, S., Karataş, A. 2017. On a generalization for Fibonacci quaternions. *Chaos, Solitons & Fractals*, 98: 178-182. Doi: 10.1016/j.chaos.2017.03.03
- Horadam, A. F. 1963. Complex Fibonacci numbers and Fibonacci quaternions. *American Mathematical Monthly*, 70: 289-291. Doi: 10.2307/2313129
- Kızılateş, C. 2017. On the Quadra Lucas-Jacobsthal Numbers. *Karaelmas Science and Engineering Journal*, 7(2): 619-621.
- Kızılateş, C. 2022. On quaternions with incomplete Fibonacci and Lucas numbers components. *Util. Math.*, 110: 263-269.
- Kızılateş, C., Catarino, P., Tuğlu, N. 2019. On the bicomplex generalized Tribonacci quaternions. *Mathematics*, 7(1): 80. Doi: 10.3390/math7010080
- Kızılateş, C., Kone, T. 2021a. On higher order Fibonacci quaternions. *J. Anal.* 29: 1071-1082. Doi: 10.1007/s41478-020-00295-1
- Kızılateş, C., Kone, T. 2021b. On higher order Fibonacci hyper complex numbers. *Chaos, Solitons & Fractals*, 148, 111044. Doi: 10.1016/j.chaos.2021.111044
- Kızılateş, C., Tuğlu, N., Çekim, B. 2017. Binomial transform of quadrapell sequences and quadrapell matrix sequences. *J. Sci. Arts*, 1(38): 69-80.
- Özkoç, A. 2015. Some algebraic identities on quadra Fibona-Pell integer sequence. *Adv. Differ. Equ.*, 148(2015): 1-10. Doi: 10.1186/s13662-015-0486-7
- Petroudi, S. H. J., Pirouz, M., Ozkoc, A. 2020. On some properties of particular Tetranacci sequences. *J. Int. Math. Virtual Inst.*, 10(2): 361-376. Doi: 10.7251/JIMVI2002361P
- Ramírez, J. L., Sirvent, V. F. 2015. A generalization of the k-bonacci sequence from Riordan arrays. *Electron. J. Comb.*, 22(1), P1.38: 1-20.
- Simsek, Y. 2023. Construction of general forms of ordinary generating functions for more families of numbers and multiple variables polynomials. *Rev. Real Acad. Cienc. Exactas Fis. Nat. Ser. A-Mat.*, 117, 130: 1-26. Doi: 10.1007/s13398-023-01464-0
- Soykan, Y. 2020. Bicomplex Tetranacci and Tetranacci-Lucas quaternions. *Commun. Math. Appl.*, 11(1): 95-112. Doi: 10.26713/cma.v11i1.1212

- Swamy, M. N. S. 1973.** On generalized Fibonacci quaternions, *Fibonacci Q*, 11(5): 547-549.
- Szynal-Liana, A., Włoch, I. 2022.** Generalized commutative quaternions of the Fibonacci type. *Bol. Soc. Mat. Mex.* 28: 1. Doi: 10.1007/s40590-021-00386-4
- Szynal-Liana, A., Włoch, I., Liana, M. 2023.** Generalized commutative quaternion polynomials of the Fibonacci type. *Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska Lub.-Pol., A- Mathematica*, 76(2): 33-44. Doi: 10.17951/a.2022.76.2.33-44
- Taşcı, D. 2009.** On Quadrapell numbers and Quadrapell polynomials. *Hacet. J. Math. Stat.*, 38(3): 265-275.
- Taşcı, D., Acar, H. 2017.** Gaussian Tetranacci numbers. *Commun. Math. Appl.*, 8(3): 379-386. Doi: 10.26713/cma.v8i3.615
- Waddill, M. E. 1992.** The Tetranacci sequence and generalizations. *Fibonacci Q*, 30(1): 9-20.
- Yeşil Baran, F., Yetiş, T. 2019.** On the norms of circulant matrices via generalized Tetranacci numbers. *Bilecik Seyh Edebali University Journal of Science*, 6(2): 444-454. Doi: 10.35193/bseufbd.662239
- Yeşil Baran, F. 2021.** The eigenvalues of circulant matrices with generalized Tetranacci numbers. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(2): 417-423. Doi: 10.17714/gumusfenbil.830575



Geride Dönüştürülmüş Beton Agregası Katkısının Kumlu Zeminlerin Mukavemet Parametreleri Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi

Investigation of the Effect of Recycled Concrete Aggregate Addition on the Strength Parameters of Sandy Soils

Hüseyin Suha Aksoy* , Atakan Yıldırım 

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

Öz

Yeni binaların inşası ve mevcut yapıların yıkılması sırasında büyük miktarlarda atık ortaya çıkmaktadır. Atıkların açık havada depolanması veya bertaraf edilmesi önemli çevre ve sağlık riskleri oluşturmaktadır. İnşaat projelerinde Geride Dönüştürülmüş Beton Agregasının (GDA) kullanılması, hem finansal hem de çevresel açıdan sürdürülebilir büyüme için çok önemli bir stratejidir. Bu çalışmada, inşaat ve yıkım atıklarıyla güçlendirilmiş kum zeminin mukavemet özellikleri incelenmiştir. Deneylede, sahadaki sıkıştırılmış dolguları modellemek için %80 rölatif sıklık sahip bir zemin kullanılmıştır. Bu kum zemin önce katkısız olarak hazırlanmış ve içsel sürtünme açısını belirlemek için kesme kutusu deneyi yapılmıştır. Kum zemin daha sonra ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 oranında 2 mm ile 4.76 mm arasında elenmiş GDA ile karıştırılmış ve her bir GDA oranı için mukavemet parametreleri belirlenmiştir. Aynı deneyler, boyutları 4.76 mm ile 6.30 mm arasında olan GDA kullanılarak tekrarlanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, GDA oranı arttıkça zeminin birim hacim ağırlığının %4'e varan oranlarda artış gösterdiği ve içsel sürtünme açısının ise %14'e varan oranlarda artış gösterdiği belirlenmiştir. Artan GDA boyutu ile içsel sürtünme açısının da artış gösterdiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Agregası boyutu, geride dönüştürülmüş beton agregası, içsel sürtünme açısı, kesme kutusu deneyi, kumlu zemin

Abstract

Large quantities of waste are generated during the construction of new buildings and demolition of existing structures. Outdoor storage or disposal of waste poses significant environmental and health risks. The use of Recycled Concrete Aggregate (RCA) in construction projects is a crucial strategy for sustainable growth, both financially and environmentally. In this study, the strength properties of sand soil reinforced with construction and demolition waste were investigated. In the experiments, soil with 80% relative density was used to model compacted embankments on site. This sand soil was first prepared without additives and a shear box test was performed to determine the angle of internal friction. The sand soil was then mixed with RCA which sieved between 2 mm and 4.76 mm with 5%, 10%, 15% and 20% by weight. Strength parameters were determined for each RCA ratio. The same experiments were repeated using RCA with dimensions between 4.76 mm and 6.30 mm. As a result of the experiments, it was determined that the unit volume weight of the soil increased by up to 4% and the angle of internal friction increased by up to 14% as the RCA ratio increased. It was also observed that the angle of internal friction increased with increasing RCA ratio.

Keywords: Aggregate size, internal friction angle, recycled concrete aggregate, sandy soil, shear box test

1. Giriş

Enerji kullanımının azaltılması, kaynakların kıt olduğu bir dünyada birçok sektörde olduğu gibi inşaat sektöründe de

bir önceliktir. Atıkların doğal ortamda depolanması veya bertaraf edilmesi, çevre ve sağlık risklerinin yanı sıra inşaat sektörü için de ciddi sorunlar teşkil etmektedir. Bu nedenle inşaat sektöründe de bu sorunların giderilmesi amacıyla malzeme kullanımının azaltılması en önemli hedeflerden biri haline gelmiştir. Buna atık malzeme ve yan ürünlerinin kullanımının yanı sıra çevre de az miktarda bulunan doğal kaynakların kullanımının azaltılması da dahildir (Vural 2019, Gör vd. 2015). Zemin mukavemetini artırmak, oturumları azaltmak, bina maliyetlerini düşürmek ve inşaat

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: saksoy@firat.edu.tr

Hüseyin Suha Aksoy  orcid.org/0000-0003-0564-457X

Atakan Yıldırım  orcid.org/0009-0008-6713-0877



sürelerini kısaltmak için zemin iyileştirmeye yönelik farklı teknikler geliştirilmiştir (Kumar ve Sadana 2012). İnşaat mühendisliği projelerinde kullanılan yapı malzemeleri doğal kaynaklar kullanılarak üretilmektedir. Sürdürülebilir kalkınma için çevrenin ve doğal kaynakların korunması gerekmektedir (Bilgen ve Altuntaş 2023). Nüfus artışı ve endüstriyel gelişim nedeniyle altyapı hızlı bir şekilde inşa edilmelidir. İnşaat projelerinin sayısı hızla artmakta ve doğal kaynaklar daha önce hiç görülmemiş bir oranda kullanılmaktadır. Bununla birlikte, mevcut yapıların yıkımı ve yeni yapıların inşası muazzam miktarda çöp üretmektedir. Modern inşaat sektörünün karşı karşıya olduğu iki temel sorun, doğal kaynakların tükenmesi ile inşaat ve yıkım atıklarının yönetimidir. Doğal kaynakların korunması ve muhafaza edilmesi için yeni çevre dostu yapı malzemeleri ve tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır (Bilgen 2020a). İnşaat projelerinde en sık kullanılan malzeme betondur. Son yıllarda betonun yoğun kullanımı göz önüne alındığında, betonla ilgili inşaat ve yıkım atıkları çok uzak olmayan bir gelecekte ciddi bir çevre sorunu oluşturacaktır (Ouria vd. 2022). Betonun yapısında yaklaşık olarak 200-300 kg/m³ Portland çimentosu bulunur. Çimento üretimi sırasında, büyük miktarlarda enerji ve hammaddeye kullanılır ve ayrıca bu üretim, çevreyi çeşitli şekillerde ciddi biçimde kirletir (Nidheesh ve Kumar 2019). Ekonomik ve çevresel konular dikkate alındığında, kentsel ve endüstriyel alanların hızlı gelişimi nedeniyle mukavemeti düşük olan zeminler üzerinde inşaat yapılması kaçınılmazdır. Düşük mukavemetli zeminleri iyileştirmenin, zemin güçlendirme teknikleri de dahil olmak üzere çeşitli yolları vardır (Ouria ve Mahmoudi 2018). Çevresel ve finansal açıdan bakıldığında, inşaat projelerinde geri dönüştürülmüş beton agregası (GDA) kullanılması sürdürülebilir büyüme için uygulanabilir bir yaklaşım olarak karşımıza çıkmaktadır. GDA asfalt, beton dolgu ve yeni inşaatlar için agrega olarak kullanılabilir (RMRC 2020). Genel olarak, büyük sürtünme açılara sahip kaba taneli malzemeler kullanılarak zemin en iyi şekilde güçlendirilmektedir (Berg vd. 2019). Son yıllarda, inşaat ve yıkım atıkları ile güçlendirilmiş zeminin yapılarca dolgu malzemesi olarak kullanımına ilişkin çok sayıda araştırma yapılmıştır (Arulrajah vd. 2014). Geri dönüştürülmüş beton, köşeli şekilde olup tamamen kırılmış bir malzemedir (RMRC 2020). Geri dönüştürülmüş beton agregasının içsel sürtünme açısı tipik olarak 35 ila 55 derece arasında değişir (Bhuiyan vd. 2015, Sarsby 2013, Soleimanbeigi vd. 2019).

Dolgu, otoyol inşası, yollar ve demiryolları için alt temellerin oluşturulması ve diğer amaçlar için kaba taneli malzemeler sıklıkla kullanılmaktadır. Son zamanlarda geri dönüştürülmüş beton agregası şev stabilizasyonu, gabion duvarları,

vibro-taş kolonlar ve diğer zemin iyileştirme projeleri için kullanılmaktadırlar. Bu uygulamalarda taş ocaklarından çıkarılmış taşlardan geniş ölçüde yararlanılmaktadır. Birçok Avrupa hükümeti, agrega üretiminden kaynaklanan olumsuz çevresel etkileri azaltmak amacıyla birincil kara kökenli kaynaklardan agrega tedarikini azaltmak için geniş bir hedef belirlemiştir. Ayrıca, atık üretimini azaltarak ve geri kazanılan ve yeniden kullanılan malzeme miktarını artırarak sürdürülebilir kalkınmaya daha fazla katkıda bulunmaları için inşaat sektörünü yönlendirmektedirler (Touahamia vd. 2002). Söylemez ve Bayraktar (2019) tarafından yapılan bir çalışmada, asfalt yolların aşınma tabakasında GDA kullanımının uygun olduğu belirtilmektedir. Ok ve Demir (2018) tarafından yapılan çalışmada, GDA üzerinde Los Angeles aşınma deneyi yapıldığı ve GDA de önemli bir aşınma kaybı olmadığı tespit edilmiştir. Geri dönüştürülmüş beton agregaları herhangi yerden gelmiş olabilir ve bileşenlerinin doğal agrega türü, su/çimento oranı, çimento tipi, katkı maddeleri ve bunların depolama koşulları gibi özellikler bilinmemektedir. Bu nedenle geri dönüştürülmüş beton agregalarının bileşenlerinin ve saklama koşullarının mekanik bozulma özellikleri üzerindeki etkilerini anlamak için ek testlerin faydalı olacağı belirtilmiştir (Coban vd. 2022). Deneysel çalışma sonuçlarına göre geri dönüştürülmüş beton agregasının kullanım yüzdesi arttıkça; killi zeminlerin likit limit ve plastisite indisi değerlerinin azaldığı ve zeminin optimum su muhtevasının azalırken birim hacim ağırlığının arttığı belirlenmiştir (Bilgen 2020b). Guler ve Astarci (2009) tarafından yapılan araştırmaya göre zemine takviye olarak eklenen granüler dolguların (çakıl) diğer dolgu türleriyle kıyaslanması sonucunda zeminin içsel sürtünme açısında ki artışta granüler dolguların daha etkili olduğu belirtilmiştir. Chini vd. (2001) Santa Rosa County'de sökülen bir beton kaplamadan elde edilen GDA'yı kullanarak yol temel örneklerinin özelliklerini incelemiştir. Bulgular, araştırmalarında kullanılan GDA'nın işlenmemiş agrega ile son derece karşılaştırılabilir niteliklere sahip olduğunu ve beton agregaları için FHWA (Federal Highway Administration) kriterlerinin çoğuna uyduğunu göstermiştir. Frondistou-Yannas (1977) doğal agrega yerine inşaat ve yıkıntı atıklarından elde edilmiş agrega ile elde edilen beton ile geleneksel betonun mekanik özelliklerini karşılaştırmıştır. Geri dönüştürülmüş beton harç yerine çakılla zenginleştirildiğinde, geri dönüştürülmüş betonun mekanik davranışının sıradan betona çok benzediğini tespit etmiştir. Geri dönüştürülmüş agregalı beton, kontrol karışımının %60'ı ile %100'ü arasında bir elastisite modülüne ve en az %76'lık bir basınç dayanımına sahiptir. Hansen ve Narud (1983) diğer değişkenlerin sabit

tutulduğu varsayıldığında, geri dönüştürülmüş betonun basınç dayanımı, orijinal betonun su-çimento oranı ile önemli ölçüde ilişkili olduğunu belirtmiştir. Tavakoli ve Soroushian (1996) tarafından yapılan test sonuçlarına göre, Los Angeles aşınma kaybının yanı sıra geri dönüştürülmüş agreganın su emmesi, orijinal betonun dayanımı, orijinal betondaki iri agrega oranı, orijinal betondaki agreganın üst boyutunun geri dönüştürülmüş agreganın üst boyutuna oranı ve orijinal betonun dayanımı geri dönüştürülmüş agregalı betonun dayanımını etkilemektedir. Ajdukiewicz ve Kliszczewicz (2002) geri dönüştürülmüş agregalar kullanılarak üretilen yüksek performanslı ve yüksek dayanımlı betonların mekanik özellikleri değerlendirilmiştir. Araştırmalarında, 40 ila 70 MPa arasında basınç dayanımına sahip betonlardan elde edilen geri dönüştürülmüş agregaları dikkate almışlardır. Aynı işlenebilirliği korumak için geri dönüştürülmüş beton karışım tasarımındaki su içeriğinin değiştirilmesi gerektiği sonucuna varmışlardır. Bulgular, artan su içeriğiyle beraber betonda kullanılan ince agrega türüne bağlı olarak kırılma anındaki basınç dayanımının %8-20 oranında azaldığını, geri dönüştürülmüş malzemeler kullanıldığında ise basınç dayanımının yaklaşık %10 oranında azaldığını göstermiştir.

Yapılmış çalışmalar incelendiğinde, araştırmacıların GDA malzemesini genellikle killi zeminlerin iyileştirilmesinde tercih ettikleri görülmüştür. Ancak özellikle nehir ve deniz kıyısındaki yerleşim birimlerinin çoğu kumlu zeminler üzerine inşa edilmektedir. Dolayısıyla GDA kullanılarak, kumlu zeminlerin iyileştirilmesi de önem arz etmektedir. Bu çalışmada, inşaat ve yıkıntı atığı ile güçlendirilmiş kum zeminin mukavemet parametreleri incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmada, arazideki sıkıştırılmış dolguları temsil etmek üzere %80 sıklıkta zemin kullanılmıştır. Bu zemin önce katkısız olarak hazırlanmış ve kesme kutusu deneyi yardımıyla içsel sürtünme açısı belirlenmiştir. Ardından zemine ağırlıkça sırasıyla %5, %10, %15 ve %20 oranlarında önce 2mm - 4.76mm arasında elenmiş GDA karıştırılmış ve her bir GDA oranı için mukavemet parametreleri belirlenmiştir. Aynı deneyler 4.76mm- 6.30mm arasında boyutlarda elenerek hazırlanmış GDA için tekrar edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, GDA yüzdesi arttıkça zeminin birim hacim ağırlığının ve içsel sürtünme açısının arttığı belirlenmiştir. Ayrıca artan agrega boyutunun içsel sürtünme açısının artmasına neden olduğu görülmüştür.

2. Gereç ve Yöntem(ler)

2.1. Kullanılan Materyaller

2.1.1. Kum Zeminin Özellikleri

Literatüre göre, laboratuvar da yürütülen modelleme çalışmalarının çoğunda (temel modelleri, kazık modelleri, ankraj modelleri vb.) kohezyonsuz zemin, tipik olarak 1 mm'den küçüktür (El Sawwaf 2010, Bağriacık ve Laman 2013, Kahyaoglu vd. 2012, Terzi vd. 2009). Sonuç olarak, çalışmalar başlamadan önce 2 m³ dere kumu laboratuvara getirilmiş, temizlenmiş, elenmiş ve uygun granülometride hazırlanmıştır (Şekil 1). Hazırlanan kum malzemesinin kalınlığı 0,074 mm (No. 200) ile 1 mm (No. 18) arasında değişmektedir. Deneylerde kullanılan zeminin granülometri eğrisi (Şekil 2) görülmektedir.

Deneylerde kullanılan zemin için, ASTM C127-15, ASTM D854-14 ve ASTM D422-63(2007)e2 standartları kullanılarak, rölatif sıklık, elek analizi ve piknometre deneyleri yapılmış ve zeminin endeks parametreleri belirlenmiştir. Zemin parametreleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Kum malzemenin endeks özellikleri

Dane Birim Hacim Ağırlığı, G _s	2.77
D ₁₀ (mm)	0.18
D ₅₀ (mm)	0.45
Maksimum – Minimum Dane Boyutu, D _{max} -D _{min} (mm)	1 – 0.074
Maksimum Kuru Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	17.46
Minimum Kuru Birim Hacim Ağırlığı (kN/m ³)	14.51
Maksimum Boşluk Oranı, e _{max}	0.872
Minimum Boşluk Oranı, e _{min}	0.557

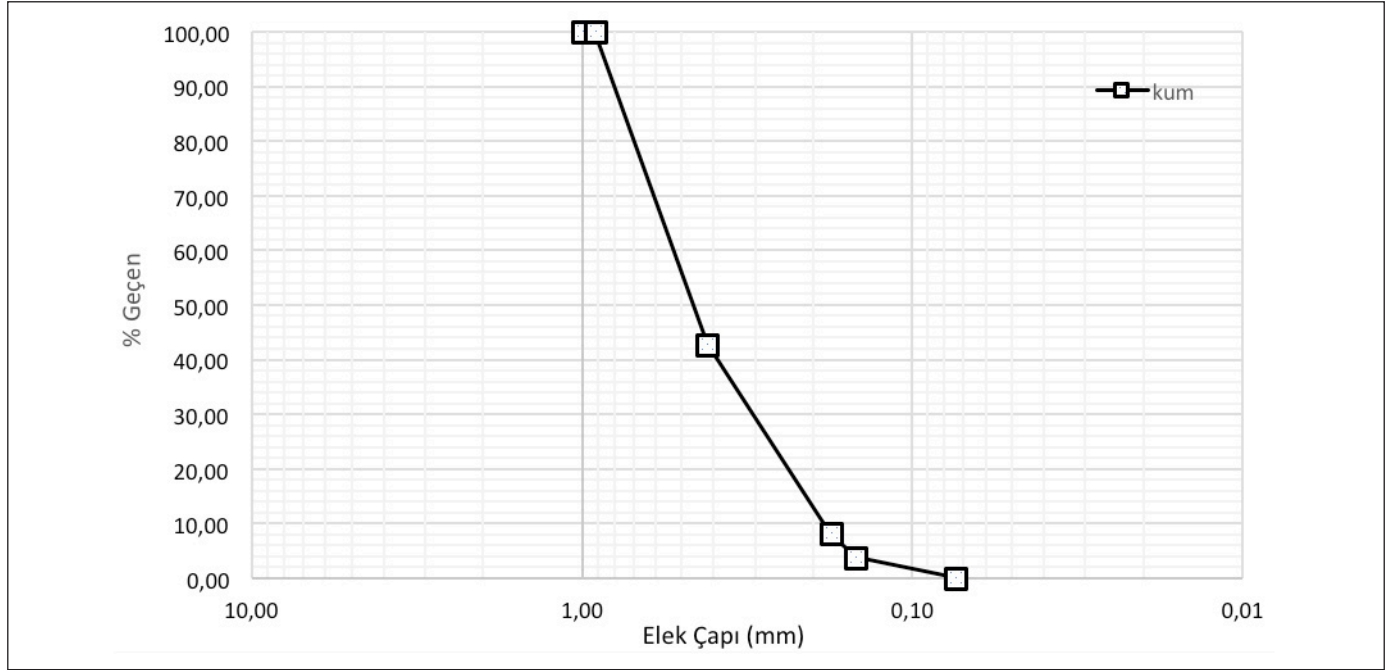


Şekil 1: Kum.

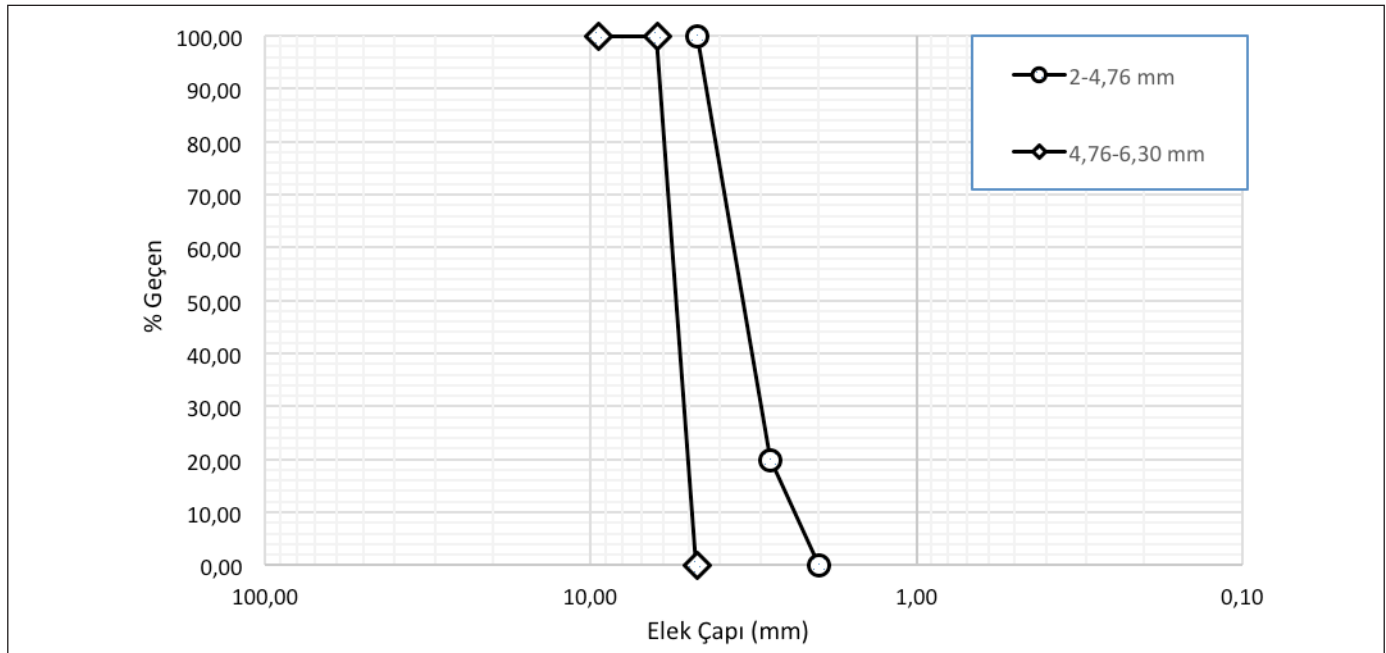
2.1.2. Geri Dönüştürülmüş Beton Agregası (GDA)

Bu çalışma için kullanılan GDA (Şekil 4), Elazığ ilinde yıkımı yapılan binaların yıkıntısından temin edilmiştir. Moloz malzemeler arasında gözle görülebilen malzemeler (metal, elektrik kablosu, donatı) ayıklanmıştır. Yabancı malzemelerden ayıklanan molozlar taş ocaklarına kırılma işlemi için

gönderilmiştir. Konkasörde kırılma işlemiyle istenilen boyutlar elde edilmiştir. Deneyler de farklı boyutlarda (2mm-4.76 mm ve 4.76mm-6.30 mm) kullanılan GDA'nın elek analizi sonucunda elde edilen granülometri eğrisi görülmektedir (Şekil 3).



Şekil 2: Kullanılan kumun granülometri eğrisi.



Şekil 3: GDA'nın elek analizi sonucunda elde edilen granülometri eğrisi.

2.2. Yöntem

Bu bölümde kum zemine ağırlıkça (%5, %10, %15, %20) ve farklı boyutlarda de (2mm-4.76mm, 4.76mm-6.30mm) GDA karıştırılarak rölatif sıklık ve kesme kutusu deneyleri yapılmış olup, kum zeminin içsel sürtünme açısında, kuru birim hacim ağırlık değerlerinde, boşluk oranında ve hedeflenen sıkışmaya ulaşmak için gereken sürede ki değişimler incelenmiştir.

2.2.1. Rölatif Sıklık Deneyi

Boyutları belirli bir kap içerisine 10 cm yükseklikten ilk olarak yağmurlama yöntemi ile kum dökülmüştür. Farklı sıklıklara ulaşmak için titreşim cihazı ile belirli bir sürede sıkıştırma işlemi uygulanmıştır. Titreşim cihazı ile zemin de istenilen sıklığa (%80) ulaşmak için birçok deneme yapılmıştır. Kum zemine yapılan rölatif sıklık değerleri, kuru birim ağırlık (γ_{korr}) ve boşluk oranı değerleri belirlenmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2 ve Şekil 5' de görüldüğü üzere kum zemine yapılan rölatif sıklık deneyi sonucunda titreşim süresi arttıkça kuru birim hacim ağırlık değerleri artmış olup, boşluk oranlarında azalma görülmüştür.

2.2.2. Kesme Kutusu Deneyi

%80 sıklıkta hazırlanan kum malzemenin içsel sürtünme açısını (ϕ) belirlemek için (6x6x2) cm boyutlarında kesme kutusu deney aparatı kullanılmıştır. Deney cihazı (Şekil 7) üç tipik yükleme koşulu (0.682, 1.238 ve 1.793) kg/cm² altında 0.5 mm/dk kesme hızında çalıştırılarak deneyler yapılmış ve içsel sürtünme açısı (ϕ) belirlenmiştir. Deney sonucunda elde edilen veriler Çizelge 3 ve Şekil 6'da belirtilmiştir.

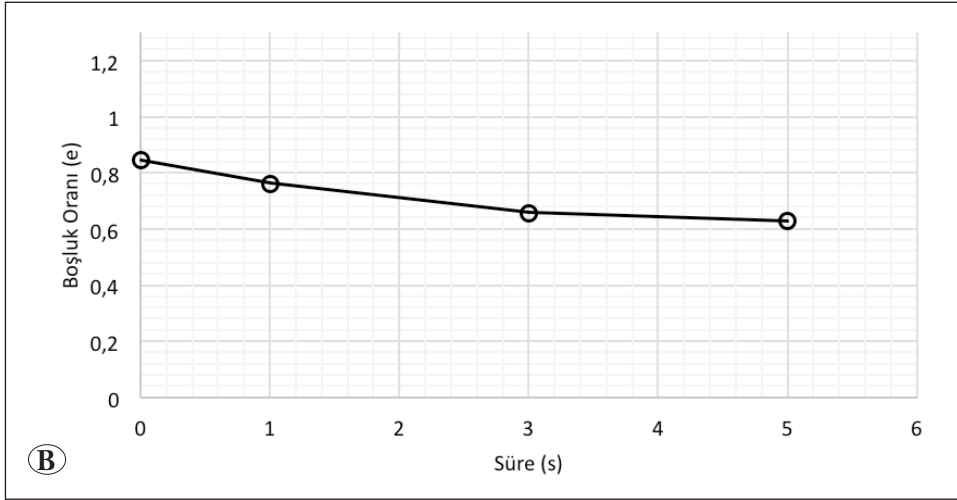
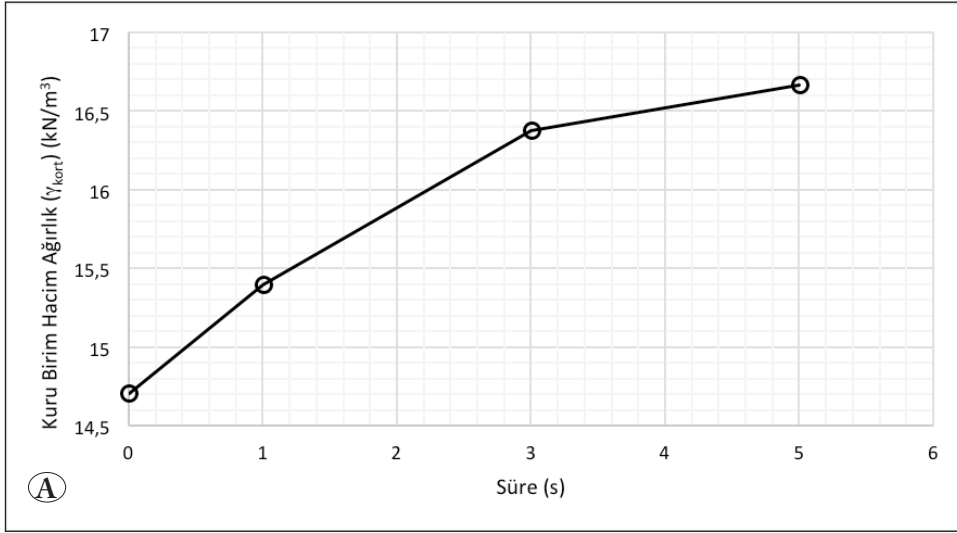
Yapılan hesaplamalar sonucunda kum malzemenin içsel sürtünme açısı (ϕ) 41.4° olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 2. Kum zemine yapılan rölatif sıklık deneyi sonucunda elde edilen değerler

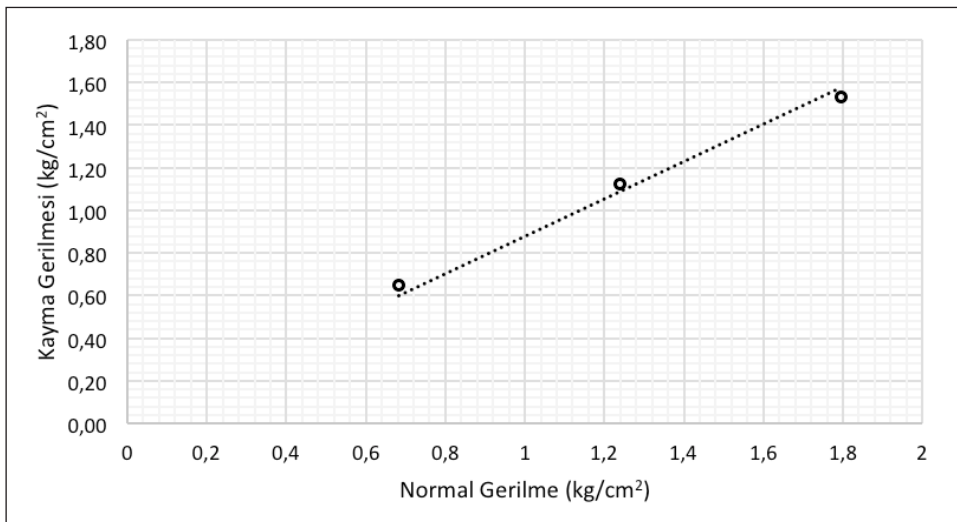
Sıkıştırma Yöntemi	Kuru Birim Hacim Ağırlık (γ_{korr}), (kN/m ³)	Boşluk Oranı (e)	Rölatif Sıklık (D_r , %)
Sadece yağmurlama	14.71	0.847	10
10 cm'den yağmurlama sonrasında 1 saniye titreşim cihazı uygulaması	15.40	0.764	40
10 cm'den yağmurlama sonrasında 3 saniye titreşim cihazı uygulaması	16.38	0.659	65
10 cm'den yağmurlama sonrasında 5 saniye titreşim cihazı uygulaması	16.67	0.629	80



Şekil 4. 4.76 mm-6.30 mm (A) ve 2mm-4.76 mm (B) boyutlarına sahip GDA.



Şekil 5. Kum zeminin kuru birim hacim ağırlık (A) ve boşluk oranı (B) değerleri grafiği.



Şekil 6. Katkısız kum zeminin kesme kutusu deney sonuçları.

Çizelge 3. Katkısız kum zeminin kesme kutusu deney sonuçları.

Gerilme (kg/cm ²)	Kayma Gerilmesi (kg/cm ²)
0.682	0.652
1.238	1.130
1.793	1.534



Şekil 7. Kesme kutusu deney cihazı.

3. Bulgular ve Tartışma

Bölüm 2'de bahsedilmiş olan kum zemine kesme kutusu ve rölatif sıklık deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar yukarıda belirtilmiştir (Çizelge 3 ve Şekil 6). Bu bölümde kum zemine ağırlıkça farklı oranlarda (%5, %10, %15 ve %20) ve boyutları farklı (2mm-4.76mm ve 4.76mm-6.30mm) GDA karıştırılarak kesme kutusu ve rölatif sıklık deneyleri yapılmış ve kullanılacak karışımların maksimum ve minimum boşluk oranları belirlenmiştir. Kullanılacak karışımlar istenilen sıklıkta kesme kutusu numunesi olarak hazırlanarak GDA oranı ve boyutlarının kum zeminin mukavemet parametrelerindeki değişimine etkisi incelenmiştir.

İlk olarak 2mm-4.76mm boyutlarına sahip olan GDA'nın ağırlıkça farklı oranları (%5, %10, %15 ve %20) kum zemine eklenerek rölatif sıklık deneyleri yapılmıştır. Rölatif sıklık deneyleri eklenen GDA'nın ağırlıkça farklı oranları için %80 sıklığa ulaşana kadar titreşim cihazı yardımıyla (Şekil 8) belirli süreler de deneyerek tekrarlanmıştır. %80 sıklıkta hazırlanmış olan GDA ve kum zemin karışımının kuru birim hacim ağırlık (γ_{korr}), boşluk oranı (e) parametrelerindeki değişimler incelenmiştir.

Kum ve 2mm-4.76mm boyutlarında olan GDA karışımı 10 cm yükseklikten bir kaba dökülerek titreşim cihazı yardımıyla %80 sıklığa ulaşana kadar rölatif sıklık deneyleri tekrarlanmıştır. %80 sıklık için elde edilen (γ_{korr}), (e) değerleri ve istenilen sıklığa ulaşmak için sıkıştırma süresi Çizelge 4'de belirtilmiştir.

Çizelge 4. GDA – kum karışımı zemine yapılan rölatif sıklık deneyi sonucunda elde edilen parametreler.

GDA Oranı (%)	Kuru Birim Hacim Ağırlık (γ_{korr}), (kN/m ³)	Boşluk Oranı (e)	Sıkıştırma Süresi (s)
0	16.67	0.629	5
5	16.70	0.623	3
10	16.77	0.608	3
15	16.97	0.590	3
20	17.06	0.575	3



Şekil 8. Titreşim cihazı yardımıyla GDA – kum karışımı zemine yapılan rölatif sıklık deneyi.

Ağırlıkça farklı oranlarda GDA eklenerek hazırlanan kum zeminde, GDA oranı arttıkça kuru birim hacim ağırlık (γ_{korr}) değerinin artış gösterdiği ve karışımın boşluk oranının (e) azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca eklenen GDA zeminin, titreşim cihazı kullanılarak %80 sıklıkta hazırlanması için gereken sıkıştırma süresinde azalmaya neden olduğu belirlenmiştir.

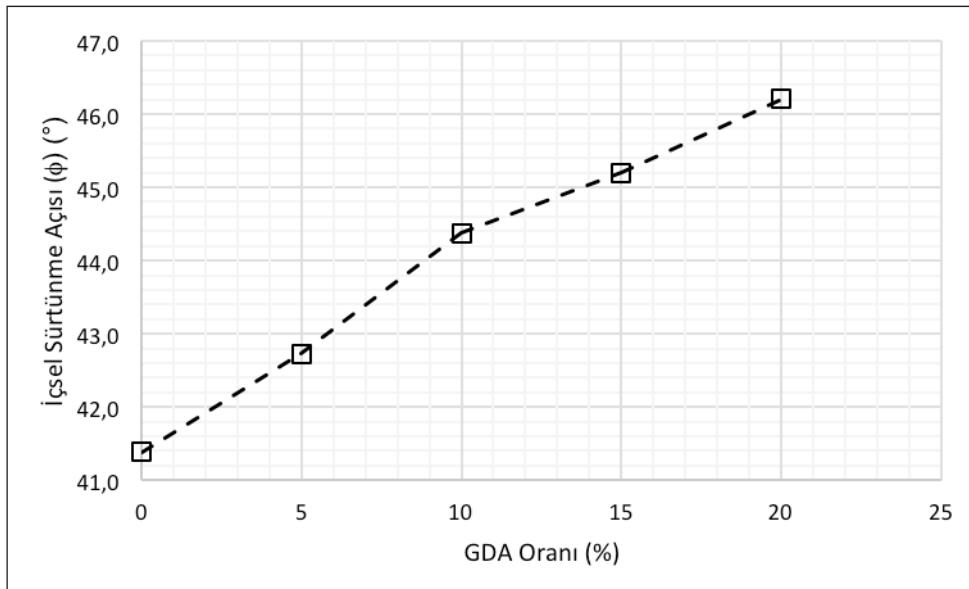
Rölatif sıklık deneyi sonrasında ağırlıkça farklı oranlarda 2mm-4.76 mm boyutlarına sahip GDA eklenerek %80 sıklıkta hazırlanan GDA – kum karışımı zeminin içsel sürtünme açısını (ϕ) belirlemek için kesme kutusu deneyleri yapılmıştır.

2mm-4.76 mm boyutlarındaki GDA eklenerek %80 sıklıkta hazırlanan GDA – kum karışımı zeminin kesme kutusu deneyi sonucunda elde edilen içsel sürtünme açısı değerleri Çizelge 5’de görülmektedir.

Çizelge 5’de görüldüğü üzere eklenen karışım oranının artmasıyla GDA – kum zeminin içsel sürtünme açısı değerle-

Çizelge 5. GDA – kum karışımı zeminin içsel sürtünme açısı değerleri.

GDA Oranı (%)	İçsel Sürtünme Açısı (ϕ) (°)
0	41.4
5	42.7
10	44.4
15	45.2
20	46.2



Şekil 9. GDA oranı – içsel sürtünme açısı değişim grafiği.

rinde artış olduğu tespit edilmiştir. 2mm-4.76mm boyutlarına sahip GDA – kum karışımının içsel sürtünme açısındaki (ϕ) değişimler Şekil 9’da verilmiştir.

Kullanılan diğer GDA boyutu için (4.76mm-6.30mm) ağırlıkça farklı oranlarda (%5, %10, %15 ve %20) kum zemine eklenerek rölatif sıklık deneyleri yapılmıştır. Rölatif sıklık deneyleri eklenen GDA’nın ağırlıkça farklı oranları için %80 sıklığa ulaşana kadar titreşim cihazı yardımıyla belirli süreler de deneyerek tekrarlanmıştır. %80 sıklıkta hazırlanmış olan GDA ve kum zemin karışımının kuru birim hacim ağırlık (γ_{korr}), boşluk oranı (e) parametrelerindeki değişimler incelenmiştir.

Kum ve 4.76mm-6.30mm boyutlarında olan GDA karışımı 10 cm yükseklikten bir kaba dökülerek titreşim cihazı yardımıyla %80 sıklığa ulaşana kadar rölatif sıklık deneyleri tekrarlanmıştır. %80 sıklık için elde edilen (γ_{korr}), (e) değerleri ve istenilen sıklığa ulaşmak için sıkıştırma süresi Çizelge 6’da belirtilmiştir.

Ağırlıkça farklı oranlarda GDA eklenerek hazırlanan kum zeminde, GDA oranı arttıkça kuru birim hacim ağırlık (γ_{korr}) değerinin artış gösterdiği karışımın boşluk oranının (e) azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca eklenen GDA’nın zeminin titreşim cihazı kullanılarak %80 sıklıkta hazırlanması için gereken sıkıştırma süresini azalttığı belirlenmiştir. Rölatif sıklık değerlerini hesaplamak için kullanılan maksimum ve minimum boşluk oranı değerleri Çizelge 7’de görülmektedir.

Rölatif sıklık deneyi sonrasında ağırlıkça farkı oranlarda 4.76mm-6.30mm boyutlarına sahip GDA eklenerek %80 sıklıkta hazırlanan GDA – kum karışımı zeminin içsel sürtünme açısını (ϕ) belirlemek için kesme kutusu deneyi yapılmıştır.

Çizelge 6. GDA – kum karışımı zemine yapılan rölatif sıklık deneyi sonucunda elde edilen parametreler.

GDA Oranı (%)	Kuru Birim Hacim Ağırlık (γ_{korr}), (kN/m ³)	Boşluk Oranı (e)	Sıkıştırma Süresi (s)
0	16.67	0.629	5
5	16.77	0.614	1.5
10	17.06	0.585	1.5
15	17.16	0.564	1.5
20	17.36	0.545	1.5

Çizelge 7. Yapılan rölatif sıklık deneyleri sonucunda elde edilen boşluk oranı değerleri.

Ağırlıkça GDA Oranı %	2mm-4.76mm		4.76mm-6.30mm	
	e_{max}	e_{min}	e_{max}	e_{min}
0	0.872	0.557	0.872	0.557
5	0.852	0.604	0.818	0.565
10	0.833	0.554	0.790	0.534
15	0.791	0.540	0.758	0.516
20	0.784	0.525	0.724	0.499

4.7 6mm-6.30 mm boyutlarına sahip GDA eklenerek %80 sıklıkta hazırlanan GDA – kum karışımı zeminin kesme kutusu deneyi sonucunda elde edilen içsel sürtünme açısı değerleri Çizelge 8’de belirtilmiştir.

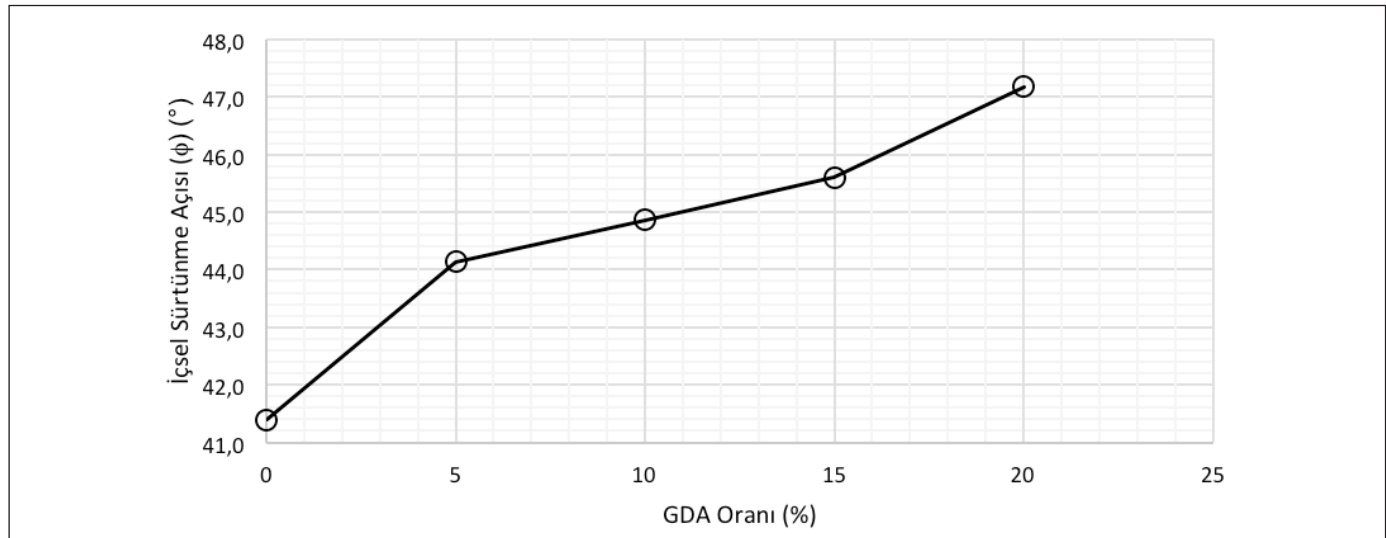
Çizelge 8. GDA – kum karışımı zeminin içsel sürtünme açısı değerleri.

GDA Oranı (%)	İçsel Sürtünme Açısı (ϕ) (°)
0	41.4
5	44.1
10	44.9
15	45.6
20	47.2

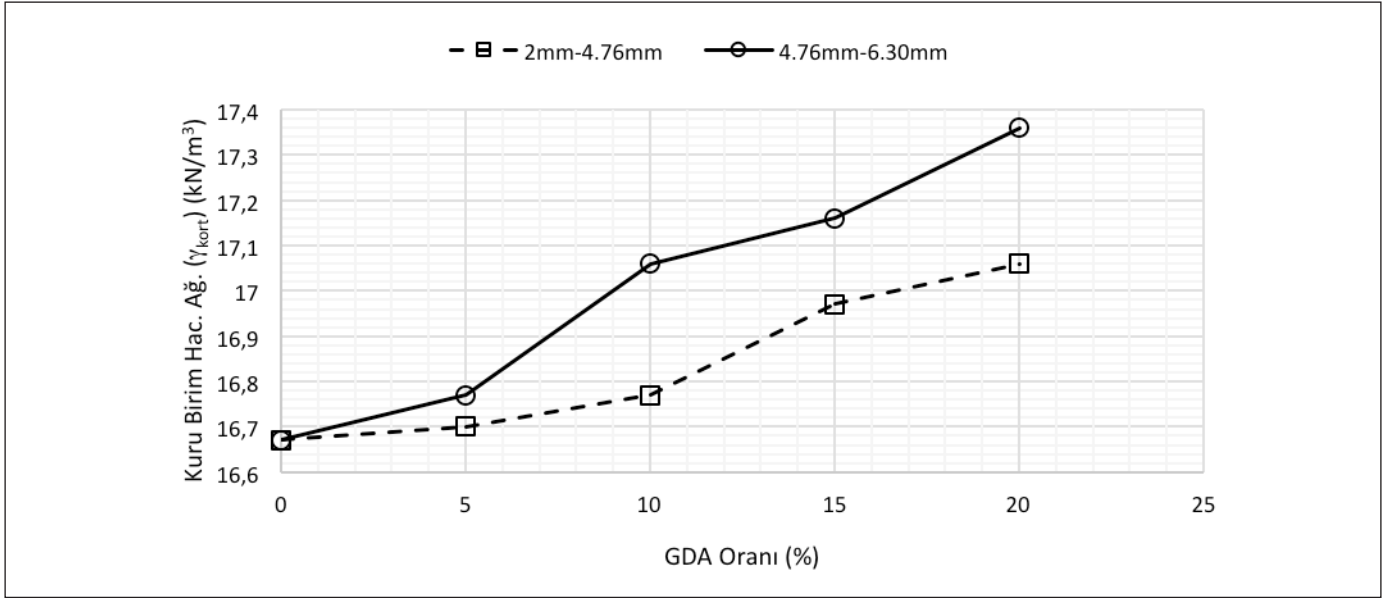
Çizelge 8’de görüldüğü gibi artan GDA oranı ile karışımın içsel sürtünme açısında (ϕ) artmaktadır. Şekil 10’da 4.76mm-6.30mm boyutlarına sahip GDA – kum karışımının içsel sürtünme açısındaki (ϕ) değişimler görülmektedir.

Ayrıca yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilere göre agrega boyutunun artmasıyla zeminin mukavemet parametrelerinin arttığı tespit edilmiştir.

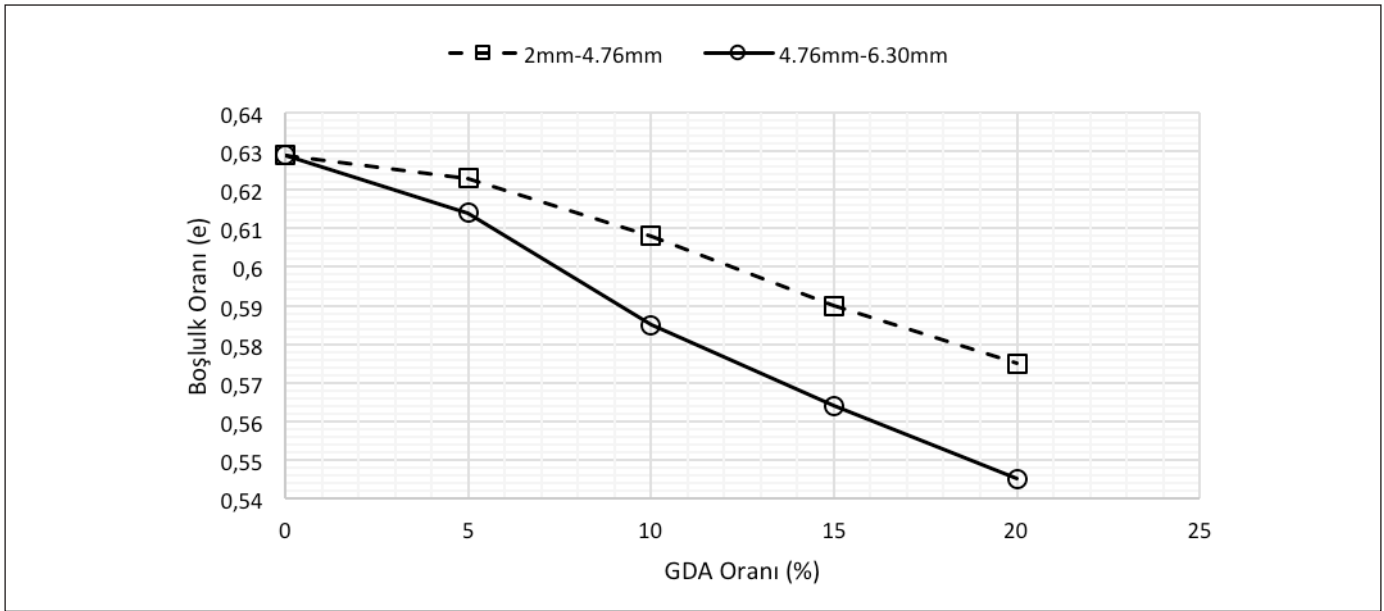
Şekil 11’de her iki GDA boyutu için kuru birim hacim ağırlık değerleri görülmektedir. Artan agrega boyutunun kuru birim hacim ağırlık değerlerinde %1 civarında artışa neden olduğu belirlenmiştir.



Şekil 10. GDA oranı – içsel sürtünme açısı değişim grafiği.



Şekil 11. GDA boyutu –kuru birim hacim ağırlık değişimi..



Şekil 12. GDA boyutu – boşluk oranı ilişkisi.

Agrega boyutunun artması ile GDA – kum karışımında daha düşük boşluk oranları (e) elde edileceği görülmektedir (Şekil 12).

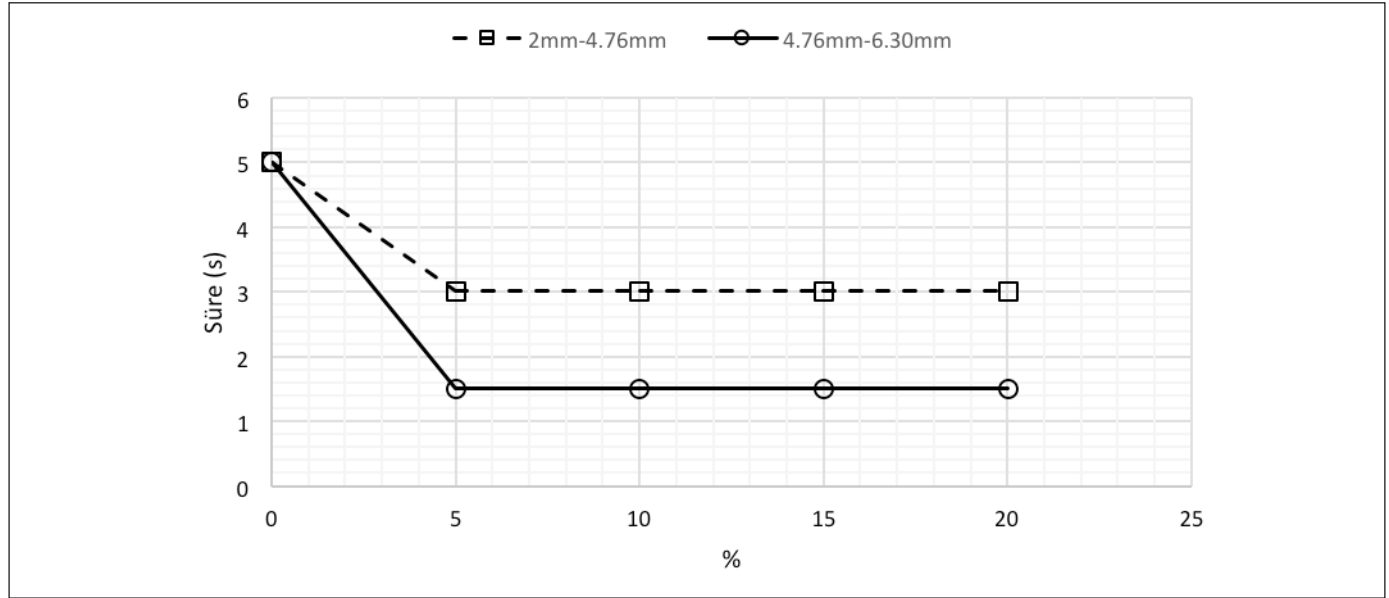
Artan GDA oranı zeminin istenilen sıklığa (%80) ulaşma süresinde azalma meydana getirdiği sonucuna varılmıştır (Şekil 13).

Agrega boyutu arttıkça içsel sürtünme açısında (φ) artışlara neden olmuştur (Şekil 14). Artan agrega boyutunun içsel

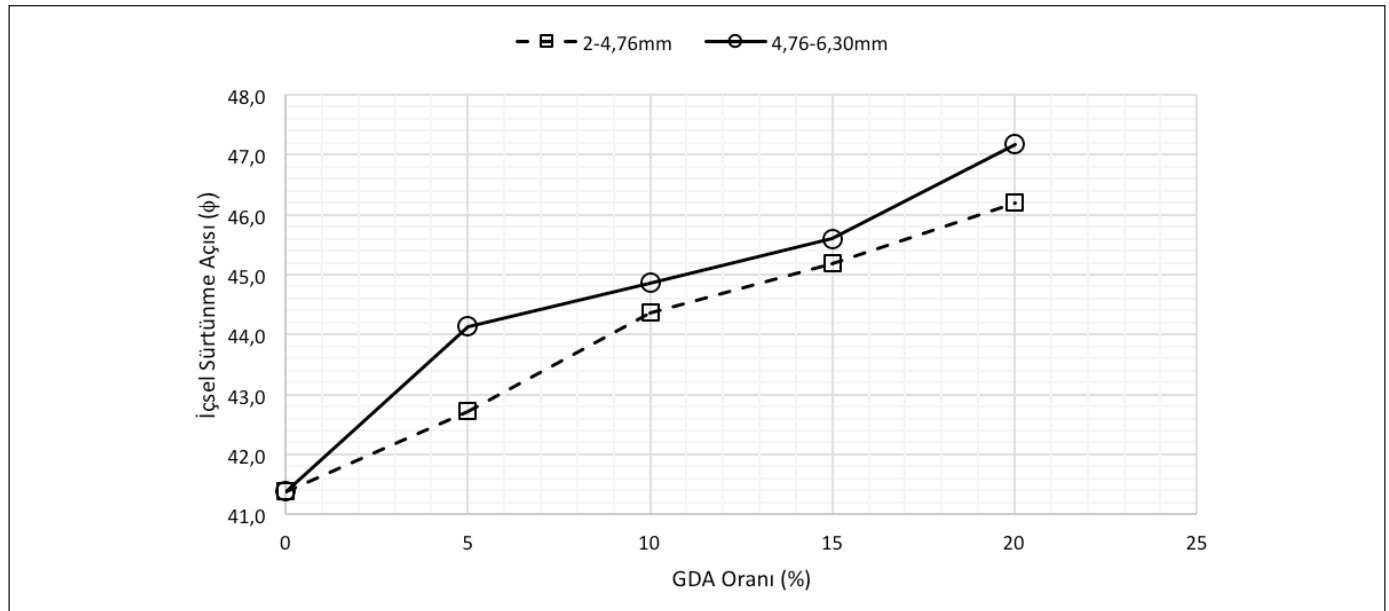
sürtünme açısında yaklaşık olarak %1-3 kadar artışa sebep olduğu belirlenmiştir.

4. Sonuç ve Öneriler

Yapılan deneylerde kum zemine ağırlıkça farklı oranlarda (%5, %10, %15 ve %20) ve boyutları farklı (2 mm–4.76 mm ve 4.76mm–6.30 mm) olan GDA eklenmiştir. Katkılı zemin üzerinde rölatif sıklık deneyi ve kesme kutusu deneyi yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda;



Şekil 13. GDA boyutu – titreşim süresi ilişkisi.



Şekil 14. GDA boyutu – içsel sürtünme açısı değerleri arasındaki ilişki..

- Ağırlıkça agregat oranının artmasıyla kuru birim hacim ağırlık değerlerinin yaklaşık %4'e varan oranda arttığı tespit edilmiştir.
- Ağırlıkça agregat oranının artmasıyla boşluk oranında düşüş gözlemlenmiştir.
- Ağırlıkça agregat oranının artmasıyla karışımların içsel sürtünme açısında %14'e varan artışlar olduğu belirlenmiştir.

Ayrıca iki farklı agregat boyutunu (2 mm-4.76 mm ve 4.76mm-6.30 mm) kıyaslamak gerekirse;

- Artan agregat boyutu ile daha yaklaşık %1 daha büyük kuru birim hacim ağırlık değerleri elde edilmiştir.
- Agregat boyutunun artmasıyla boşluk oranlarında düşüş gözlemlenmiştir.
- Agregat boyutunun artmasıyla istenilen sıklığa ulaşma süresinde düşüş gözlemlenmiştir.

- Artan agrega boyutu ile içsel sürtünme açısında %1-3 arasında artışlar gözlemlenmiştir.

Yapılan deneyler göstermiştir ki Geri dönüştürülmüş Beton Agregasının (GDA) zeminin mukavemet parametrelerini artırdığı ve dolayısı ile toprak işlerinde dolgu malzemesi olarak kullanılabilmesi belirlenmiştir. Deney sonuçlarından da görüleceği gibi, GDA oranı arttıkça mukavemet parametreleri de artış göstermiştir.

Daha sonraki çalışmalarda optimum GDA oranının belirlenmesi için daha yüksek GDA oranlarıyla çalışılarak mukavemet parametrelerinin belirlenmesi tavsiye edilmektedir.

5. Kaynaklar

- Ajdukiewicz, A., Kliszczewicz, A. 2002.** Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/HPC. Cement and concrete composites, 24(2), 269-279. [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(01\)00012-9](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(01)00012-9)
- Arulrajah, A., Rahman, MA., Piratheepan, J., Bo, MW., Imteaz, MA. 2014.** Evaluation of interface shear strength properties of geogrid-reinforced construction and demolition materials using a modified large-scale direct shear testing apparatus. Journal of Materials in Civil Engineering, 26(5), 974-982. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0000897](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0000897)
- ASTM C127-15, 2015.** Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org. <https://doi.org/10.1520/c0127-01>
- ASTMD422-63e2, 2007.** Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org. <https://doi.org/10.1520/d7928-16>
- ASTM D854-14, 2014.** Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer, ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org. <https://doi.org/10.1520/d0854-00>
- Bagriacik, B., Laman, M. 2013.** Investigation of the Size Effect at Different Geometries on Stress Distribution of Sandy Soils. International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.177>
- Berg, RR., Samtani, NC., Christopher, BR. 2009.** Design of mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes—Volume II (No. FHWA-NHI-10-025). United States. Department of Transportation. Federal Highway Administration. <https://rosap.nhtl.bts.gov/view/dot/49730>
- Bhuiyan, MZI., Ali, FH., Salman, FA. 2015.** Application of recycled concrete aggregates as alternative granular infills in hollow segmental block systems. Soils and Foundations, 55(2), 296-303. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2015.02.006>
- Bilgen, G. 2020(a).** Utilization of powdered glass as an additive in clayey soils. Geotechnical and Geological Eng.: 38, 3163-3173. <https://doi.org/10.1007/s10706-020-01215-7>
- Bilgen, G. 2020(b).** Geri Dönüştürülmüş Beton Agregasının Düşük Plastisiteli Bir Kilin Mekanik Özelliklerine Etkisi. Journal of the Institute of Science and Technology, 10(3), 1714-1719. <https://doi.org/10.21597/jist.685938>
- Bilgen, G., Altuntas, OF. 2023.** Sustainable re-use of waste glass, cement and lime treated dredged material as pavement material. Case Studies in Construction Materials, 18, e01815. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01815>
- Chini, AR., Kuo, SS., Armaghani, JM., Duxbury, JP. 2001.** Test of recycled concrete aggregate in accelerated test track. Journal of Transportation Engineering, 127(6), 486-492. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-947x\(2001\)127:6\(486\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-947x(2001)127:6(486))
- Coban, HS., Cetin, B., Edil, TB., Sun, Q. 2022.** Evaluation of mechanical degradation characteristics of recycled and natural aggregates under gyratory compaction effort. Transportation Geotechnics, 34. <https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2022.100743>
- El Sawwaf, M. 2010.** Experimental study of eccentrically loaded raft with connected and unconnected short piles. Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, 136(10), 1394-1402. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)gt.1943-5606.0000341](https://doi.org/10.1061/(asce)gt.1943-5606.0000341)
- Frondistou-Yannas, S. 1977.** Waste concrete as aggregate for new concrete. In Journal Proceedings, 74(8), 373-376. <https://doi.org/10.14359/11019>
- Guler, E., Astarci, B. 2009.** Friction between facing elements and geotextiles in geosynthetic reinforced soil retaining structures. In Proceedings of Second International Conference on new development in Soil mechanics and Geotechnical Engineering, Near East University, Nicosia, North Cyprus, 138-145. <https://zm2009.neu.edu.tr/wp-content/uploads/sites/33/2020/01/13/Friction-between-facing-elements-and-geotextiles-in-geosynthetic.pdf>
- Gör, M., Aksoy, HS., Bilgen, G. 2012.** Farklı katkı malzemelerinin kil bir zeminin kıvam limitleri üzerinde zamana bağlı etkisi. 15. Ulusal Kil Sempozyumu, 19-22, Niğde Üniversitesi. <http://kilbilimleri.org/project/ulusal-kil-sempozyumu-2012/>
- Hansen, TC., Narud, H. 1983.** Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate. Concrete international, 5(1), 79-83. <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal?m=details&ID=9140&cm=details&ID=9140>
- Kahyaoglu, MR., Seçer, M., Kayalar, AŞ. 2012.** Cam elyaf takviyeli plastik profilli pasif kazık grup davranışının deneysel olarak incelenmesi. Teknik Dergi, 23(112), 5931-5950. <https://dergi-park.org.tr/en/download/article-file/136556>
- Kumar, A., Sadana, D. 2012.** Bearing capacity of soil reinforced with vertical columns of recycled concrete aggregates. Australian Journal of Civil Engineering, 10(2), 153-162. <https://doi.org/10.7158/c11-704.2012.10.2>

- Nidheesh, PV., Kumar, MS. 2019.** An overview of environmental sustainability in cement and steel production. *Journal of cleaner production*, 231, 856-871. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.251>
- Ok, B., Demir, AO. 2018.** Yapım yıkım atıklarının yol temellerinde kullanılabilirliğinin incelenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(1), 224-236. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.386621>
- Ouria, A., Mahmoudi, A. 2018.** Laboratory and numerical modeling of strip footing on geotextile-reinforced sand with cement-treated interface. *Geotextiles and Geomembranes*, 46(1), 29-39. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2017.09.003>
- Ouria, A., Heidarli, E., Karamzadegan, S. 2022.** Utilization of recycled concrete aggregates as coarse material sandwich to improve the pullout strength of geosynthetics in a fine sand. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 8(5), 55. <https://doi.org/10.1007/s40891-022-00401-2>
- RMRC 2020.** UG-Mat Reclaimed Concrete Material | Recycled Materials Resource Center. <https://rmrc.wisc.edu/ug-mat-reclaimed-concrete-material/>
- Sarsby, RW. 2013.** Waste materials in geotechnical construction. In *Environmental Geotechnics*, ICE Publishing, <https://doi.org/365-391> 10.1680/eg.41875.393
- Soleimanbeigi, A., Tanyu, BF., Aydilek, AH., Florio, P., Abaspour, A., Dayioğlu, AY., Likos, WJ. 2019.** Evaluation of recycled concrete aggregate backfill for geosynthetic-reinforced MSE walls. *Geosynthetics International*, 26(4), 396-412. <https://doi.org/10.1680/jgein.19.00025>
- Söylemez, H., Bayraktar, O. Y. 2019.** İnşaat Yıkıntı Atıklarının Asfalt Agregası Olarak Kullanılma Stratejisi. In 3rd International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies, Ankara, Turkey. http://www.set-science.com/manager/uploads/ISAS2019-ENS_0042/SETSCI_ISAS2019-ENS_0042_0092.pdf
- Tavakoli, M., Soroushian, P. 1996.** Strengths of recycled aggregate concrete made using field-demolished concrete as aggregate. *Materials Journal*, 93(2), 178-181. <https://doi.org/10.14359/9802>
- Terzi, NU., Kiliç, H., Gültekin, S. 2009.** Yanal yüklü bir model kazığın kum ortamındaki davranışının deneysel ve nümerik yöntemlerle incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(1), 119-127. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/190908>
- Touahamia, M., Sivakumar, V., McKelvey, D. 2002.** Shear strength of reinforced-recycled material. *Construction and Building Materials*, 16(6), 331-339. [https://doi.org/10.1016/S0950-0618\(02\)00029-6](https://doi.org/10.1016/S0950-0618(02)00029-6)
- Vural, İ. 2019.** İnşaat yıkıntı atıklarının zemin iyileştirmesinde kullanılabilirliği. *Academic Platform-Journal of Engineering and Science*, 7(1), 1-6. <https://doi.org/10.21541/apjes.437288>



Detection of COVID-19 Severity and Mortality from Blood Parameters by Ensemble Learning Methods

COVID-19 Şiddeti ve Mortalitesinin Kan Parametrelerinden Kolektif Öğrenme Yöntemleri ile Tespiti

Gizemnur Erol Doğan^{1*}, Betül Uzbaş²

¹Konya Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Software Engineering Department, Konya, Türkiye

²Konya Technical University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Computer Engineering Department, Konya, Türkiye

Abstract

COVID-19 is a pandemic that causes a high rate of spread and Acute Respiratory Distress Syndrome (ARDS). Severe pneumonia in infected individuals has resulted in too many patients being admitted to the Intensive Care Unit (ICU). This has placed unprecedented pressure on health systems by exceeding capacities. It is essential to detect the prognosis of this disease so that the health systems can remain active and the conditions of the patients who need to be hospitalized in the ICU do not become critical. In this study, COVID-19 prognosis was detected by using ICU admission (COVID-19 SEVERITY) and COVID-19 related death (COVID-19 MORTALITY) datasets with Machine Learning (ML) methods. The missing data of the datasets were filled with K-Nearest Neighbor (KNN), and Min-Max normalization was performed. Datasets were divided three times into training and test sets, and the data were balanced with the Synthetic Minority Oversampling Technique (SMOTE). Then, classification was carried out using Ensemble Learning (EL) methods. For COVID-19 SEVERITY and COVID-19 MORTALITY, 89.54% and 97.25% accuracy were achieved with the Adaboost classifier, respectively. Successful and rapid COVID-19 prognosis detection with ML methods will help to use the ICU more efficiently and relieve the pressure on health systems.

Keywords: Classification models, hematological parameters, machine learning

Öz

COVID-19, yüksek yayılım hızına ve Akut Solunum Sıkıntısı Sendromuna (ARDS) neden bir pandemidir. Enfekte bireylerde gelişen şiddetli pnömoni, çok fazla hastanın Yoğun Bakım Ünitesine (ICU) kabul edilmesine neden olmuştur. Bu da, sağlık sistemlerinde kapasitelerin aşarak benzeri görülmemiş bir baskı meydana getirmiştir. Sağlık sistemlerinin aktif kalabilmesi ve ICU'ya yatması gereken hastaların durumlarının kritikleşmemesi için bu hastalığın prognozunun belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmada, ICU'ya kabul edilen (COVID-19 SEVERITY) ve COVID-19 nedeni ile ölen (COVID-19 MORTALITY) hastaların bilgilerini içeren veri setleri, Makine Öğrenmesi (ML) yöntemleri kullanılarak COVID-19 prognoz tespiti yapılmıştır. Veri setlerinde bulunan eksik veriler K-En Yakın Komşu (KNN) ile tamamlanmış ve Min-Max normalizasyonu yapılmıştır. Veri setleri, eğitim ve test setleri olarak bölünmüş ve veriler Sentetik Azınlık Aşırı Örnekleme Tekniği (SMOTE) ile dengelenmiştir. Ardından, Kolektif Öğrenme (EL) yöntemleri kullanılarak sınıflandırma gerçekleştirilmiştir. COVID-19 SEVERITY ve COVID-19 MORTALITY için Adaboost sınıflandırıcısı ile sırasıyla %89.54 ve %97.25 başarı elde edilmiştir. ML yöntemleri ile COVID-19 prognozunun başarılı ve hızlı bir şekilde tespiti edilmesi, ICU'yu daha verimli kullanmaya ve sağlık sistemlerinin üzerindeki baskıyı hafifletmeye yardımcı olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Hematolojik parametreler, makine öğrenmesi, sınıflandırma modelleri

*Corresponding author: gerol@ktun.edu.tr

Gizemnur Erol Doğan orcid.org/0000-0001-9347-9775

Betül Uzbaş orcid.org/0000-0002-0255-5988



1. Introduction

COVID-19 is the new viral respiratory disease that causes ARDS. Since its first appearance in 2019, it has been detected in more than 200 countries in the world within 4 months and has taken the world under its influence (Brinati et al. 2020). Because of this global epidemic, this disease has been defined as a pandemic. COVID-19 has caused severe effects on people with chronic conditions such as diabetes, cancer, and heart disease, causing permanent illness and even death (WHO 2020, WHO 2022). Serious illness occurred in about 15% of infected patients, and about 6% of them reached critical levels (Wang et al. 2020). Too many people were admitted to the ICU due to severe pneumonia and ARDS (Pasquier et al. 2021). In this pandemic situation where emergency departments and ICUs are overcrowded, early detection of patients who need intensive care is very important for the proper functioning of health systems (Negant et al. 2020). In addition, one of the most important epidemiological criteria to be detected in infectious diseases is the mortality of the disease (Ghani et al. 2005). Detecting the mortality of COVID-19, which has such a high contagiousness and ICU admission rate, makes it easier to determine the prognosis of the patients and to follow the pandemic surveillance.

In addition to biasing individual health, COVID-19 has also affected countries in terms of economic, social, and health infrastructure systems (Dey et al. 2020, Fong et al. 2020). For example, in northern Italy, with 1,381 patients admitted to the ICU in the first wave of COVID-19, healthcare systems have experienced unprecedented pressure, exceeding 133% of capacities (Grasselli et al. 2020). For this reason, artificial intelligence-based studies have been carried out to support healthcare professionals in many tasks to slow down this epidemic and control infrastructure systems (Chen et al. 2020, Erol Doğan and Uzbaş 2023, Kumar et al. 2023, Yang et al. 2020). While many studies have been conducted for the diagnosis of COVID-19-infected individuals, the development of prognostic models for ICU admission and mortality estimation has lagged (Cabitza et al. 2021; Wynants et al. 2020). However, health systems in many countries have come under a great burden with COVID-19. In addition, critically ill patients admitted to the ICU have been found to have a higher mortality rate than normal COVID-19 patients (Moore and June 2020, Willyard 2020). Therefore, early diagnosis of the prognosis and lethality of this disease is very important both for the health systems to remain active and for the condition of infected individuals not to become critical.

When the studies in the literature are examined, Podder et al. (2021) have developed various ML models for patients admitted to the ICU or semi-ICU. RF and voting classifiers (RF, Logistic Regression (LR), Support Vector Machines (SVM)) achieved the best performance in classifying patients who should be admitted to ICU and semi-ICU. Voting classifiers achieved 98% success and were presented as the most successful result. Rodriguez-Nava et al. (2020) determined clinical AUC scores to determine ICU admission and mortality, and ultimately obtained AUC scores of 0.761 and 0.781 for ICU admission and mortality, respectively. Kong et al. (2020) determined the importance of biomarkers with RF by taking blood samples from infected individuals every 3-7 days to determine the severity of COVID-19 and evaluated the diagnostic accuracy of the most important proteins with the Receiver Operating Characteristic (ROC) curve. Famiglini et al. (2021) developed 3 prognostic ML models with blood parameters of individuals for the admission of COVID-19 patients to the ICU. These models take as input the dataset BIG-DATA-COVID19, which includes blood parameters of COVID-19 patients, and predict whether they need to be transferred to the intensive care unit within 5 days. They obtained an AUC value of 0.880 with the ensemble model obtained with the XGBoost (XGB), RF, and LR classifiers. Alabad et al. (2022) developed an ML model estimating the length of ICU stay of COVID-19 patients in eastern Saudi Arabia. In this model, they achieved 94.16% success by using the RF classifier. Moulai et al. (2022) compared several ML models that predicted COVID-19 mortality using initial hospital admission data from 1500 COVID-19 patients. As a result, the RF model was chosen as the most successful model to predict COVID-19 mortality with 95.03% success and 0.990 AUC. Elshennawy et al. (2022) developed 3 Deep Learning (DL) models that predict the mortality risk of infected individuals. The first of these models is CV-CNN, which was developed with the Convolutional Neural Network (CNN). CV-CNN was developed using the clinical dataset of 12020 patients, and this clinical dataset was also used in the second model, CV-LSTM + CNN, which was developed by combining Long Short-Term Memory (LSTM) and CNN. The third model, IMG-CNN, is a CNN model and this model estimates mortality using the clinical dataset used in the first two models converted to image data. As a result, the IMG-CNN model performed better than the other two models with a success of 94.14% and an AUC of 93.70%.

In this study, a dataset containing blood parameters of COVID-19 patients and 2 classes of information was used. The first class is the Severity class, which represents COVID-19 patients admitted and not admitted to the ICU. The other is the Dead class, which represents patients who died and did not die due to COVID-19. The general diagram of this study is presented in Figure 1. First, certain data preprocessing was applied to the dataset: KNN was used to fill in missing data (Erol et al., 2022) and Min-Max normalization was performed. Two sub-datasets were obtained from the filled and normalized datasets. The first sub-dataset, COVID-19 SEVERITY, was obtained by dividing the blood parameter characteristics and Severity class in the dataset. The other sub-dataset, COVID-19 MORTALITY, was obtained by dividing the blood parameter characteristics and Dead class. Each dataset was then divided three times into an 80% training set and a 20% test set. The data in the training sets were balanced with SMOTE. ML models were developed with the Severity and Mortality datasets and the EL method, Bagging, RF, and Adaboost classifiers.

There are 2 main limitations to this study. These are:

1. Blood values are influenced by genetic factors (Mahaney et al., 2005). Therefore, COVID-19 studies with blood parameters will be active for certain breeds.
2. Missing and unbalanced data is a known problem in medical data (Rahman and Davis, 2013; Hu et al., 2017). While missing blood parameter data can cause bias in statistical analyses, unbalanced data distribution between classes can lead to both bias in statistical results and overfitting in classification.

Considering these 2 limitations, the dataset in the study should be well analyzed. The data preprocessing steps to be applied to the dataset in the study directly affect the classi-

fication accuracy. Therefore, the completion of missing data and the elimination of data imbalance are the main steps of the study.

As a result of this study, severity and mortality detection of infected individuals was performed with a single dataset containing the blood parameters of COVID-19 patients, whether they were admitted to the ICU, and whether they died as a result of the disease. In addition, by applying appropriate data preprocessing to a single dataset that has all of this information, it has been shown that EL methods produce very successful results in determining the prognosis of the disease and keeping health systems active.

2. Material and Methods

2.1. Dataset

The BIGDATA-COVID19 (Famigliani et al. 2021) dataset used in this study includes age, sex, and routine blood test results of 1218 patients admitted to the COVID-19 emergency department of San Raffaele Hospital in Milan (Italy) between February 19 and May 31, 2020. For those hospitalized for at least 24 hours, blood samples were collected every day of hospitalization, resulting in 4995 observations in total. There are 2 classes in the dataset, Severity and Dead. The Severity class contains information on whether patients were admitted to the ICU within 5 days of hospitalization. The Dead class contains information on whether individuals died due to COVID-19 during this period. The features and classes in the dataset are given in Table 1.

The Severity class in the BIGDATA-COVID19 (Famigliani et al. 2021) dataset represents COVID-19 patients who were and were not admitted to the ICU, and the Dead class represents patients who died and did not die due to COVID-19. After applying data preprocessing to the data-

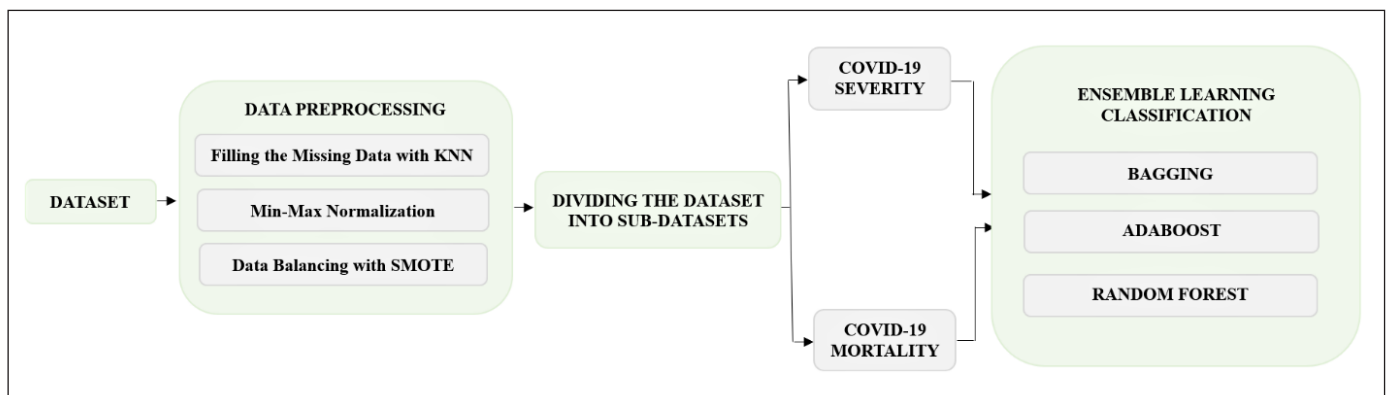


Figure 1. General diagram of the study.

Table 1. BIGDATA-COVID19 Dataset

Parameter		Acronym	Unit of Measure
Feature 1	Age	-	Years
Feature 2	Sex	-	Female-Male
Feature 3	Mean Corpuscular Volume	MCV	fL
Feature 4	Mean Platelet Volume	MPV	fL
Feature 5	Mean Corpuscular Hemoglobin	MCH	Pg/Cell
Feature 6	Mean Corpuscular Hemoglobin Concentration	MCHC	g Hb/dL
Feature 7	Neutrophils Count	NE - NET	% - $10^9/L$
Feature 8	Lymphocytes Count	LY - LYT	% - $10^9/L$
Feature 9	Monocytes Count	MO - MOT	% - $10^9/L$
Feature 10	Eosinophils Count	EO - EOT	% - $10^9/L$
Feature 11	Basophils Count	BA - BAT	% - $10^9/L$
Feature 12	Hematocrit	HCT	%
Feature 13	Platelets	PLT	$10^9/L$
Feature 14	Red Blood Cell	RBC	$10^{12}/L$
Feature 15	White Blood Cells	WBC	$10^9/L$
Feature 16	Hemoglobin	HGB	g/dL
Feature 17	Erythrocyte Distribution Width	RDW	CV%
Class 1	Severity	-	(0,1)
Class 2	Dead	-	(0,1)

set, 2 sub-datasets were obtained. The first sub-dataset, COVID-19 SEVERITY, was obtained by dividing the blood parameter properties and Severity class in the dataset. The other sub-dataset, COVID-19 MORTALITY, was obtained by dividing the blood parameter characteristics and Dead class.

2.2. Data Preprocessing

In this study, the BIGDATA-COVID19 (Famiglini et al. 2021) dataset was first subjected to certain data preprocessing: Missing data were filled with the KNN (Erol et al. 2022) and Min-Max normalization was performed in the range $[0, 1]$. Two sub-datasets were obtained from the filled and normalized datasets. The first sub-dataset, COVID-19 SEVERITY, was obtained by dividing the blood parameter characteristics and Severity class in the dataset. The other sub-dataset, COVID-19 MORTALITY, was obtained by dividing the blood parameter characteristics and Dead class. Each dataset was then divided three times into an 80% training set and a 20% test set. Each dataset has 3996

data in the training set and 999 data in the test set. In the COVID-19 SEVERITY training set, the number of ICU admissions and non-admissions are 1087 and 2909, respectively. In the COVID-19 MORTALITY training set, the number of deaths and non-deaths due to COVID-19 are 124 and 3872, respectively. This imbalance in the datasets was balanced with SMOTE and the minority classes in the COVID-19 SEVERITY and COVID-19 MORTALITY training sets were completed to 2909 and 3872, respectively.

2.2.1. Missing Data Filling with KNN Algorithm

Missing data from the dataset affects the performance of ML models and prevents them from producing accurate predictions. KNN fills the missing data in the dataset based on the average distance to its k nearest neighbors. Euclidean, Mahalanobis, and Manhattan distance metrics are used for distance calculation (Idri et al. 2016).

2.2.2. Min-Max Normalization

Min-Max normalization normalizes the data so that the

smallest value is 0 and the largest value is 1 and spreads all data in the dataset over the range $[0, 1]$. This method ensures that all data is kept on a positive scale. Min-Max normalization is presented in Equation 1. According to Equation 1, X_{norm} represents the rescaled data and X_i represents the original data. With Min-Max normalization, each data X_i in the dataset is subtracted from the minimum value in the relevant feature column, and the X_{norm} value is obtained by dividing the maximum value of the relevant feature column by the difference of the minimum value.

$$X_{norm} = \frac{X_i - \min(X)}{\max(X) - \min(X)} \quad (1)$$

2.2.3. Data Balancing with SMOTE

When the number of data in classes in a dataset is not approximately equal, this is called imbalanced data. Unbalanced data produces success according to the majority class ignoring the minority class and giving misleading results for ML models. Therefore, many algorithms have been developed to balance the data in datasets. One of these algorithms, SMOTE, developed by Chawla et al. (2002), generates synthetic samples based on the k nearest neighbors of the samples examined in the minority class. The rationale of the method is to help the classifier generalize to the test data without disturbing the natural structure of the dataset by generating synthetic samples instead of copying the existing observations in the minority class (Douzas et al. 2018, Fernandez et al. 2018). This method overcomes the overfitting that occurs by oversampling through replication.

2.3. Machine Learning

ML learns meaningful relationships and patterns from the observations in the training set and predicts the information learned from the observations in the test set that it has never seen (Bishop 2006). In this way, it assimilates the datasets presented to it and aims to perform the classification task directly without instructions. There are many ML classifier models. In this study, EL models were used, which have been successful in many fields and outperformed single models (Anwar et al. 2014, Prusa et al. 2015, Shahzad and Lavesson 2013).

2.4. Ensemble Learning

EL is a classification methodology that refers to the use of multiple models together to create a stronger model rather than using a single classification model. Model diversity increases success and reduces the risk of overfitting (Mohammed and Kora 2023). In the literature, there are many stud-

ies on EL methods and different EL methods have been presented according to how the models are combined and trained (Dong et al. 2020, Sagi and Rokach 2018). The commonly used ones are as follows: Bagging, RF, and Adaboost.

2.4.1. Bagging Classification Algorithm

Bagging is a bootstrap algorithm developed by Breiman (1996). This algorithm randomly selects sub-samples from the dataset and presents each of these samples to a classifier model to form an ensemble of classifiers. Each of this ensemble of classifiers produces a prediction. The final class prediction is produced by combining all the predictions. In the combination of predictions, the average is taken for regression trees, while in classification trees the results are determined by multiple voting. Bagging generates random sub-samples of n samples from a dataset of n samples and each selected sample is put back into the dataset. The working principle of Bagging is presented in Figure 2.

2.4.2. Random Forest Classification Algorithm

RF is a very fast and robust classifier for overlearning (Breiman 2001). RF creates an ensemble forest with multiple trees and trains each tree in this forest on a different observation, generating various models, and then combines these models to obtain a final prediction, maximizing the classification success. The working principle of RF is presented in Figure 3.

2.4.3. Adaboost Classification Algorithm

Adaboost, developed by Freund and Schapire (1999), is a classification algorithm that works by boosting. Boosting is the process of combining several weak classifier models to create a strong classifier model. In the Adaboost algorithm, which is one of the boosting methods, the training set is first trained with a weak classifier, and then a training model is created again by giving more priority to the samples that are incorrectly predicted as a result of this training, that is, by increasing their weights. The model is continued by training the model so that the output of the weak classifier is the input of the other classifier, and finally, the results are combined to produce the final classifier model and class prediction. The working principle of Adaboost is presented in Figure 4.

2.5. Classification Performance Metrics

Classifier models that take the dataset as input provide information about their accuracy with performance measures in various criteria. These performance measures on various criteria are based on an error table called the Confusion Ma-

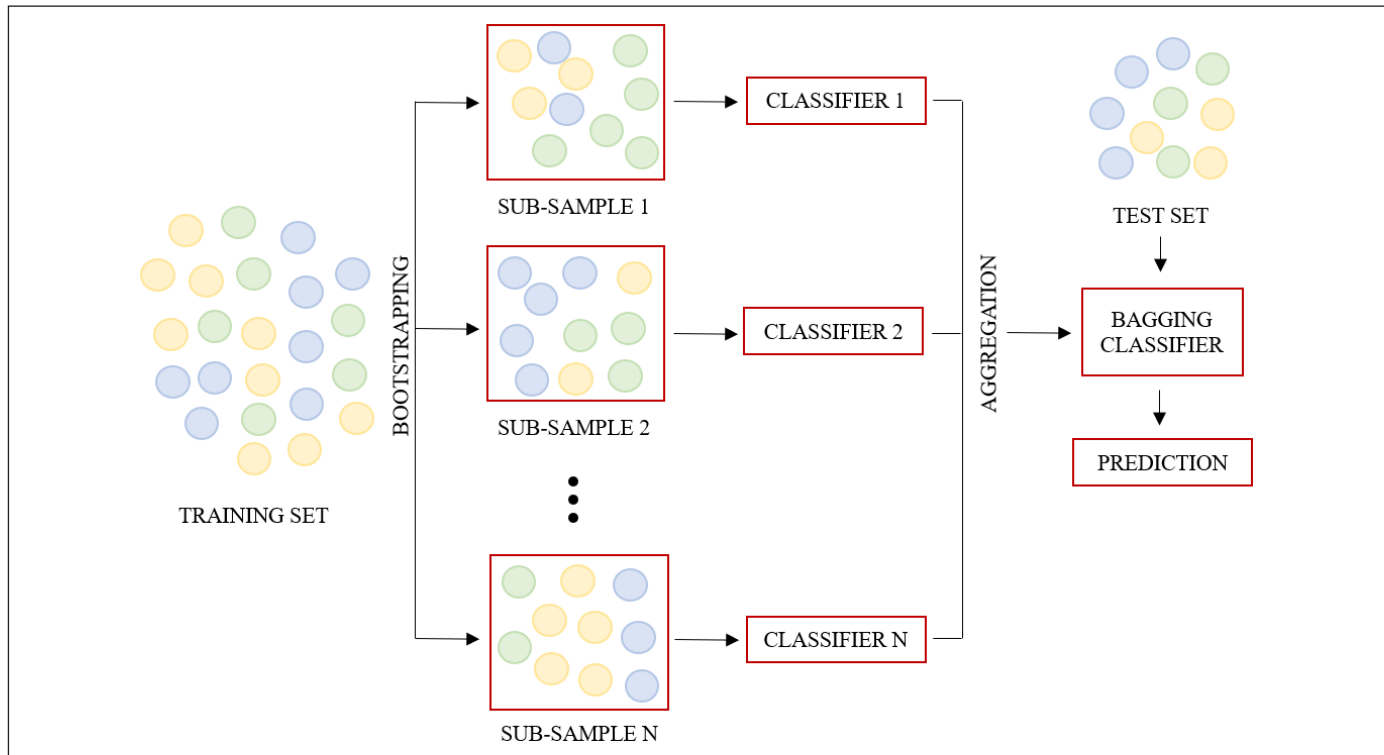


Figure 2. Working principle of bagging classification algorithm.

trix (CM) (Japkowicz and Shah 2011). The CM is a special two-dimensional table that presents the number of correct and incorrect data produced by the predicted results versus the actual results. The basic structure of the CM is presented in Figure 5, based on a binary classification model.

Each row of the matrix represents the instances in the predicted class and each column represents the actual class of those instances. As shown in Figure 5, for a two-class classifier model with positive and negative labels:

True- Positive (TP): This represents a dataset with a positive class label correctly predicted by the classifier.

True -Negative (TN): This represents the dataset with a negative class label correctly predicted by the classifier.

False-Positive (FP): This represents the dataset with a positive class label that is incorrectly predicted by the classifier.

False - Negative (FN): This represents a dataset with a negative class label that is incorrectly predicted by the classifier.

Some basic metrics have been established to measure the performance of a classifier using CM. These are Accuracy, Recall, Precision, F-Score, and Area under the ROC Curve (AUC).

2.5.1. Accuracy

Accuracy presents the rate at which the classifier model built using the training set correctly classifies the data in the test set. This metric is calculated as the ratio of correctly predicted areas in the model to the total dataset, as presented in Equation 2. This helps to evaluate the overall performance of the classifier by treating all class labels equally. The accuracy metric alone is not enough to evaluate a classifier model, especially for imbalanced datasets. Therefore, other performance metrics should also be used when evaluating the performance of a classifier model (Dai et al. 2022).

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (2)$$

2.5.2. Recall and Precision

Precision and Recall are metrics used to evaluate information extraction by measuring the test performance of a classifier and are suitable for applications such as artificial neural networks that perform information extraction (Abeel et al. 2009, Huang and Bader 2009). The standard to aim for when building a classifier model is a high TP and low FP ratio. The ability of the classifier to detect positive classes is called recall. In other words, recall is a metric that shows

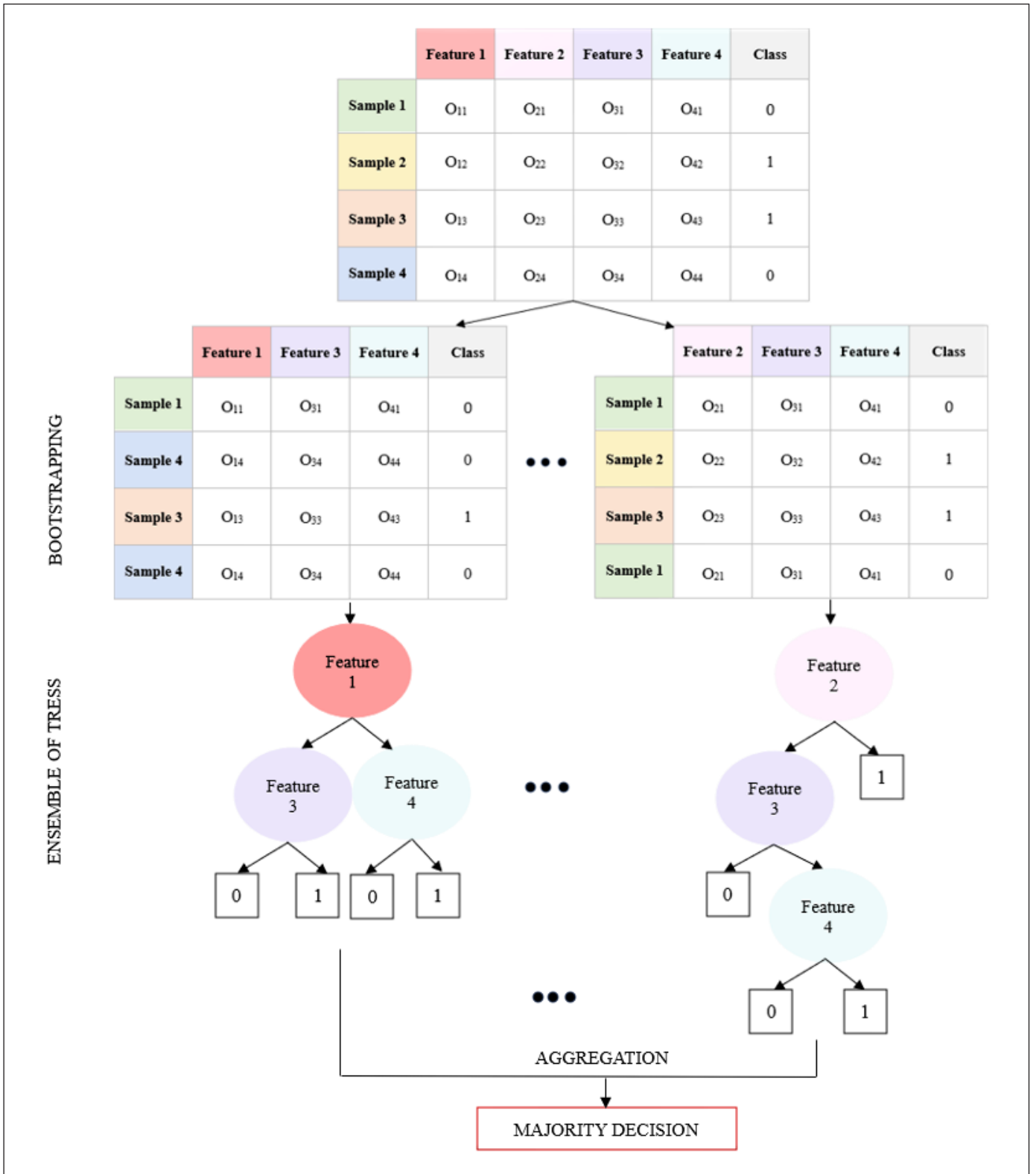


Figure 3. Working principle of random forest classification algorithm.

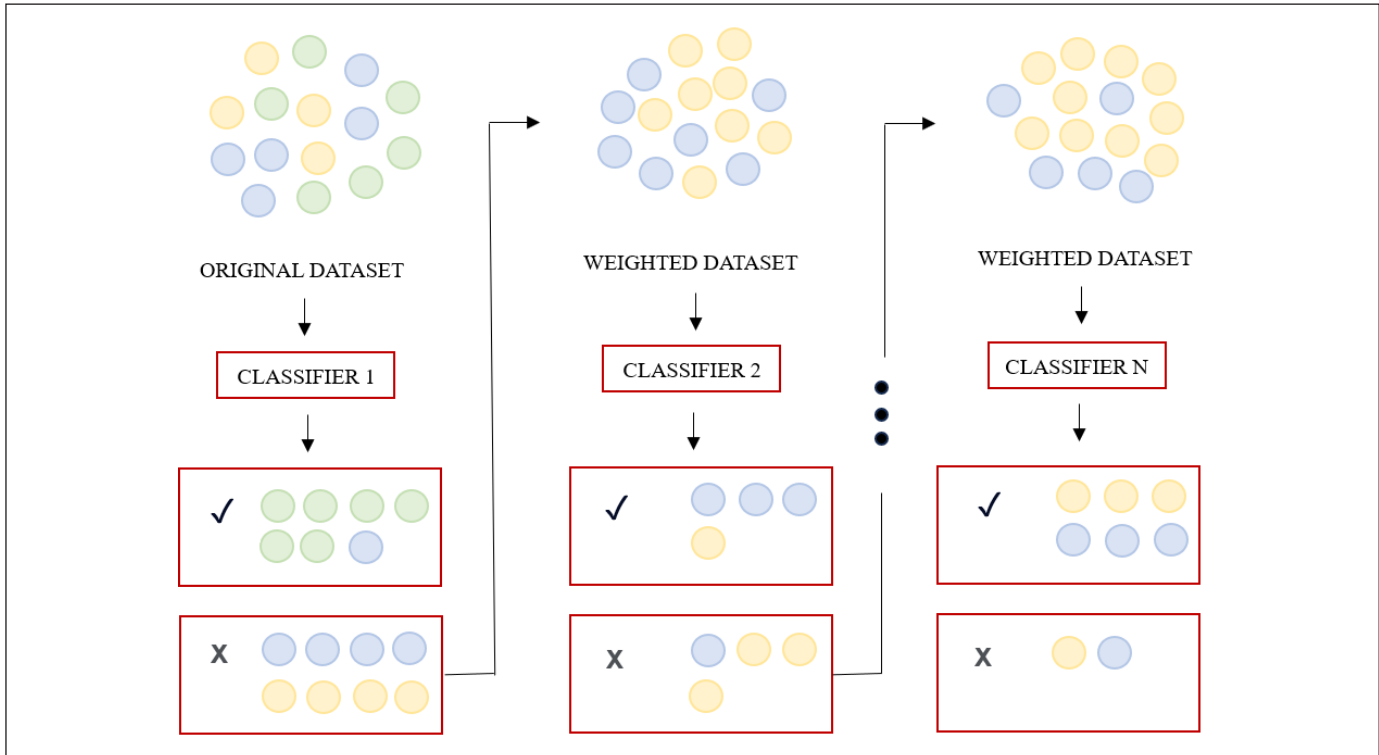


Figure 4. Working principle of adaboost classification algorithm.

		ACTUAL VALUES	
		Positive	Negative
PREDICTED VALUES	Negative	TP	FP
	Positive	FN	TN

Figure 5. Confusion matrix.

how much of the data that is known to belong to a positive class is labeled as a positive class after classification. The recall of a classifier is the number of TPs obtained from the CM divided by the number of instances in the true positive class. The TP ratio, the recall performance metric, is given in Equation 3.

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \tag{3}$$

Precision is a metric that indicates how many of the positively labeled values are correctly labeled positive. The precision metric is calculated as the ratio of the number of correctly labeled positive data to the number of data labeled as the predicted positive class and its formulation is given in Equation 4.

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \tag{4}$$

2.5.3. F-Score

The Precision and Recall measures alone do not provide a meaningful comparison result for the classifier models. The F-Score, which evaluates the two measures together, is the harmonic mean of the precision and sensitivity values. The F-Score is commonly used as F1, F0.5, and F2 and takes values between 0 and 1. A classifier that makes accurate predictions is expected to have an F-Score value close to 1 (Japkowicz 2011). The formulation of the F-Score is given in Equation 5.

$$F_{\beta} - Score = \frac{(1 + \beta^2) \times (Precision \times Recall)}{\beta^2 + Precision \times Recall} \tag{5}$$

2.5.4. The Area Under the ROC Curve

The ROC curve is a graphical representation of the relationship between recall and specificity. On the x-axis of the ROC graph is the FP ratio, the specificity performance metric, while on the y-axis is the TP ratio, the sensitivity performance metric. Recall and specificity values are calculated for different threshold values and each point on the ROC curve represents the recall-specificity pair corresponding to a given decision threshold. AUC is used to test the performance of classifiers between 0 and 1. A value of AUC approaching 1 indicates that the classifier is making accurate predictions, a value of 0.5 indicates that the classifier is making random predictions, and values below 0.5 indicate that the classifier is not working correctly (Hulley et al. 2001).

3. Results and Discussion

In this study, we used the BIGDATA-COVID-19 (Famigliani et al. 2021) dataset, which contains blood parameters of COVID-19 patients and 2 classes of information. The classes in the dataset are as follows: Severity class representing COVID-19 patients who were and were not admitted to the ICU and Dead class representing patients who died and did not die due to COVID-19. First, certain data preprocessing was applied to the dataset: Missing data were filled with the KNN (Erol et al. 2022) and Min-Max normalization was performed in the range [0, 1]. Two sub-datasets were obtained from the filled and normalized datasets. The first sub-dataset, COVID-19 SEVERITY, was obtained by dividing the blood parameter characteristics and Severity class in the dataset. The other sub-dataset, COVID-19 MORTALITY, was obtained by dividing the blood parameter characteristics and Dead class. Each dataset was then divided three times into an 80% training set and a 20% test set. The data in the training sets were balanced with SMOTE. Training models were developed

by applying 10-fold cross-validation to balanced training sets. Bagging, RF, and Adaboost classifiers were used. Kernel classifier RF was chosen for Bagging and Adaboost. The numFeatures parameter, which sets the number of randomly selected features for RF and kernel RF, was chosen as 4. Testing procedures were performed by applying test sets to the developed training models. The study was coded in Python 3.9.7 and classification processes were carried out with Weka 3.8.4.

Classification performances for COVID-19 SEVERITY and COVID-19 MORTALITY are presented in Table 2 with average Accuracy, Precision, Recall, F-Score, and AUC measurements of 3 sub-datasets obtained from each dataset.

As can be seen in Table 2, the highest success with the COVID-19 SEVERITY dataset was 89.54% with Adaboost. Bagging and RF achieved 89.11% and 89.41%, respectively. For the COVID-19 MORTALITY dataset, the highest success was 97.25% with Adaboost. Bagging and Adaboost achieved 96.69% and 96.89%, respectively. As a result, it was revealed that Adaboost, one of the EL methods, produced the most successful results in detecting both COVID-19 patients who were admitted to the ICU and those who were not, and individuals who died and did not die due to COVID-19.

The AUC performance criterion provides the optimal threshold for the separation of positive and negative classes and plays a central role in discriminating between populations (Hajian-Tilaki 2013, Metz 1978). Adaboost was selected as the most successful model for COVID-19 SEVERITY and COVID-19 MORTALITY. Adaboost, which was selected as the most successful model for COVID-19 SEVERITY and COVID-19 MORTALITY, produced 0.949 and 0.953 AUC for these two datasets, respectively. In contrast, the most successful AUC value for COVID-19 MORTALITY is 0.959 with Bagging.

Table 2. Classification results.

Classification Results							
Classifier	Dataset	Accuracy	Precision	Recall	F-Score	AUC	TP Rate
Bagging	COVID-19 Severity	89.11%	89.30%	89.13%	89.20%	0.948	89.13%
	COVID-19 Mortality	96.69%	97.26%	96.70%	96.93%	0.959	96.70%
Random Forest	COVID-19 Severity	89.41%	89.46%	89.43%	89.43%	0.948	89.40%
	COVID-19 Mortality	96.89%	97.13%	96.90%	97.0%	0.953	96.90%
Adaboost	COVID-19 Severity	89.54%	89.60%	89.56%	89.56%	0.949	89.56%
	COVID-19 Mortality	97.25%	97.33%	97.26%	97.30%	0.953	97.26%

In this study, the imbalance in the dataset is eliminated in the training set to ensure unbiased training and the accuracy of the models is checked with TP Rate in the test model. The TP Rate performance criterion provides the average number of true positives predicted for the true positive class. As seen in Table 2, the most successful TP Rate for COVID-19 SEVERITY and COVID-19 MORTALITY is 89.56% and 97.26% with Adaboost, respectively. Despite the unbalanced data distribution in the test set, thanks to the data balancing applied in the training model, the models perform their detection without bias. As a result, the blood parameters of COVID-19 patients can successfully determine whether the patients will be admitted to the ICU and whether they will die due to the disease.

The comparison of this study with other COVID-19 severity and mortality detection studies conducted in the literature is presented in Table 3.

When Table 3 is examined, Rodríguez-Nava et al. (2020) examined the blood parameters of 313 COVID-19 patients in the Northwestern United States and determined the patients' clinical AUC scores for determining ICU admission and deaths. As a result, the AUC for ICU admission and mortality in COVID-19 was determined to be 0.761 and 0.781, respectively. In this study, AUCs of 0.949 and 0.953 were obtained for COVID-19 SEVERITY and COVID-19 MORTALITY, respectively. This shows that the ML detection models developed in this study achieved higher AUC values determined by Rodríguez-Nava et al. (2020) for COVID-19 severity and mortality. In the study conducted by Podder et al. (2021), a dataset containing 111 blood samples of 5644 COVID-19 patients was used to predict whether individuals would be admitted to ICU or semi-ICU. Missing data in the dataset were completed with median values and then feature selection was made with Extra Trees (ET). They developed various ML models for patients admitted to ICU or semi-ICU with 10 selected

Table 3. Comparison of this study with the literature

Study	Dataset	Purpose	Result
Rodriguez-Nava et al. (2020)	Blood samples of 313 COVID-19 patients in the Northwestern United States	Determining clinical AUC scores for determining intensive care unit admissions and deaths.	AUC of 0.761 and 0.781 for ICU admission and mortality, respectively
Podder et al. (2021)	111 blood samples from 5644 patients at Hospital Israelita Albert Einstein, Brazil.	Classifying ICU and semi-ICU admission by selecting features from the blood parameters of COVID-19 patients.	98% accuracies with voting classifiers
Famiglini et al. (2021)	4995 blood samples taken from 1218 COVID-19 patients (BIGDATA-COVID19)	Predicting whether patients need to be transferred to the ICU within 5 days by blood parameters.	0.880 AUC with the ensemble model obtained with XGB, RF and LR classifiers
Moulaei et al. (2022)	First hospital admission data of 1500 (1386 survivors and 144 deaths) COVID-19 patients	Comparing various ML models predicting COVID-19 mortality	95.03% accuracy and 0.990 AUC with RF
This Study	4995 blood samples taken from 1218 COVID-19 patients (BIGDATA-COVID19)	Determining the disease severity and mortality with a single blood dataset containing information about whether COVID-19 patients were admitted to the ICU and whether they died	89.54% accuracy and 0.949 AUC and 97.25% accuracy and 0.953 AUC with Adaboost for COVID-19 SEVERITY and COVID-19 MORTALITY, respectively.

features. Voting classifiers (RF, Logistic Regression (LR), Support Vector Machines (SVM)) showed the best performance, achieving 98% success in classifying patients who should be admitted to intensive care and semi-intensive care. Famiglini et al. (2021) developed an ML model that predicts whether infected individuals should be transferred to the ICU within 5 days using the BIG DATA-COVID19 dataset used in this study. As a result, they achieved an AUC value of 0.880 with the ensemble classifier model consisting of XGBoost (XGB) RF and LR. In this study, an AUC of 0.949 was obtained with COVID-19 SEVERITY representing transfer to ICU using the same dataset. Although data imbalance was resolved with SMOTE in both studies, differences in pre-processing directly affected success. The success of the data preprocessing combination presented in the study was demonstrated by obtaining a higher AUC value with the same dataset. In this study, in addition to the prediction model of transfer to ICU, a prediction model of whether patients will die due to disease was also developed. In the study conducted by Moulai et al. (2022), they developed ML models that predict COVID-19 mortality by applying certain data preprocessing and feature selection to the data of 1500 COVID-19 patients, 1386 of whom were alive and 144 of whom were dead. Among the models, RF was chosen as the most successful model with 95.03% accuracy and 0.990 AUC value. In this study, higher accuracy (97.25%) and AUC (0.953) for COVID-19 MORTALITY were achieved with Adaboost.

4. Conclusion and Suggestions

COVID-19 is a pandemic respiratory disease that targets the lungs and can cause lung damage and death in severe cases. The lethality of this disease varies between countries (Asch et al. 2021, Strålin et al. 2021, Strålin et al. 2022), and workload in hospitals affects the lethality of the disease (Feigin et al. 2022, Strålin et al. 2022). About 15% of infected patients developed severe illnesses and about 6% of them reached critical status (Wang et al. 2020). Although many people were admitted to the ICU due to severe pneumonia and ARDS, 2.9% of those with severe illness had no abnormalities on initial admission (Guan et al. 2020, Pasquier et al. 2021). This has led to serious confusion in healthcare systems as COVID-19 patients' conditions worsened and the level of ICU need could not be determined.

In this study, a dataset containing blood parameters of COVID-19 patients and 2 classes of information was used first, certain data preprocessing was applied to the dataset:

KNN was used to fill in missing data (Erol et al. 2022) and Min-Max normalization was performed. Two sub-datasets were obtained from the filled and normalized datasets. The first sub-dataset, COVID-19 SEVERITY, was obtained by dividing the blood parameter characteristics and Severity class in the dataset. The other sub-dataset, COVID-19 MORTALITY, was obtained by dividing the blood parameter characteristics and Dead class. Each dataset was then divided three times into an 80% training set and a 20% test set. The data in the training sets were balanced with SMOTE. Training models were developed by applying 10-fold cross-validation to balanced training sets. Bagging, RF, and Adaboost classifiers were used. Testing procedures were performed by applying test sets to the developed training models. As a result of the classification, the most successful model was determined to be the Adaboost classifier. With Adaboost, the highest success was obtained with 89.54% for COVID-19 SEVERITY and for COVID-19 MORTALITY with 97.25%. In addition, the AUC values produced by this classifier for the most successful result are 0.949 for COVID-19 SEVERITY and 0.953 for COVID-19 MORTALITY.

As a result of this study, it has been demonstrated that severity and mortality detection of infected individuals can be performed with high success with a single dataset that includes blood parameters of COVID-19 patients, information on whether they were admitted to the ICU and whether they died as a result of the disease. Göreke et al. (2021) revealed that genetic differences are directly related to the ML models developed for COVID-19. In future studies, severity and mortality models can be developed based on the genetic factor with the knowledge of the blood parameters of many COVID-19 patients of different races, whether they were admitted to the ICU, and whether they died due to COVID-19. In addition, this study can be applied to many infectious diseases.

Acknowledgment: We want to thank the referees who carefully read our article and evaluated it in the light of valuable information and the attentive editor.

Author contribution: Author Gizemnur Erol Doğan: conceived the original idea, carried out software applications, and wrote the main manuscript text. Author Betül Uzbaşı: developed the theory, analyzed the results, and edited the final version of the manuscript. All authors discussed the results and contributed to the final manuscript.

Ethics committee approval: This study does not require ethics committee permission or any special permission.

5. References

- Abeel, T., Van de Peer, Y., Saeys Y. 2009.** Toward a gold standard for promoter prediction evaluation. *Bioinformatics*, 25(12): 313–320. Doi: 10.1093/bioinformatics/btp191
- Alabbad, D.A., Almuhaideb, A.M., Alsunaidi, S.J., Alqudaihi, K.S. 2022.** Machine learning model for predicting the length of stay in the intensive care unit for Covid-19 patients in the eastern province of Saudi Arabia. *Informatics in Medicine Unlocked*, 30:100937. Doi: 10.1016/j.imu.2022.100937
- Anwar, H., Qamar, U., Muzaffar Qureshi, A.W. 2014.** Global optimization ensemble model for classification methods. *Sci. World J.*, 2014:313164. Doi: 10.1155/2014/313164
- Asch, D.A., Sheils, N.E., Islam, M.N., Chen, Y., Werner, R.M., Buresh, J., Doshi, J.A. 2021.** Variation in US Hospital Mortality Rates for Patients Admitted with COVID-19 during the First 6 Months of the Pandemic. *JAMA Intern. Med.*, 181(4):471–478. Doi: 10.1001/jamainternmed.2020.8193
- Bishop, C. M. 2006.** Pattern recognition and machine learning (Information science and statistics). Springer-Verlag New York, Inc.
- Breiman L. 1996.** Bagging predictors. *Machine Learning*. 24:123-140. Doi: <https://doi.org/10.1007/BF00058655>
- Breiman L. 2001.** Random forests. *Machine Learning*. 45:5-32. Doi: 10.1023/A:1010933404324
- Brinati, D., Campagner, A., Ferrari, D., Locatelli, M., Banfi, G., Cabitza, F. 2020.** Detection of COVID-19 Infection from Routine Blood Exams with Machine Learning: A Feasibility Study. *Journal of Medical Systems*, 44(135). Doi: 10.1007/s10916-020-01597-4
- Cabitza, F., Campagner, A., Ferrari, D., Di Resta, C., Ceriotti, D., Sabetta, E., Colombini, A., ... Carobene, A. 2021.** Development evaluation and validation of machine learning models for covid-19 detection based on routine blood tests. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine (CCLM)*, 59(2):421-431. Doi: 10.1515/cclm-2020-1294
- Chawla, N.V., Bowyer, K.W., Hall, L.O., Kegelmeyer, W.P. 2002.** SMOTE: Synthetic Minority Over-sampling Technique. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 16(1):321-357. Doi: 10.1613/jair.953
- Chen, S.G., Chen, J.Y., Yang, Y.P., Chien, C.S., Wang, M.L., Lina, L.T. 2020.** Use of radiographic features in covid-19 diagnosis: Challenges and perspectives. *Journal of the Chinese Medical Association*, 83(7):644-647. Doi: 10.1097/JCMA.0000000000000336
- Dai, W., Li, D., Tang, D., Wang, H., Peng, Y. 2022.** Deep learning approach for defective spot welds classification using small and class-imbalanced datasets. *Neurocomputing*, 477(8):46-60. Doi: 10.1016/j.neucom.2022.01.004
- Dey, N., Mishra R., Fong S.J., Santosh K.C., Tan S., Crespo R.G. 2020.** COVID-19: Psychological and psychosocial impact, fear, and passion. *Digit. Gov.: Res. Pract.*, 1, 1–4. Doi: 10.1145/3428088
- Dong, X., Yu, Z., Cao, W., Shi, Y., Ma, Q. 2020.** A survey on ensemble learning. *Front. Comput. Sci.*, 14(2):241-258. Doi: 10.1007/s11704-019-8208-z
- Douzas, G., Bação, F., Last, F. 2018.** Improving imbalanced learning through a heuristic oversampling method based on k-means and SMOTE. *Inform Sci.*, 465:1-20. Doi: 10.1016/j.ins.2018.06.056
- Elshennawy, N.M., Ibrahim, D.M., Sarhan, A.M., Arafa, M. 2022.** Deep-Risk: Deep Learning-Based Mortality Risk Predictive Models for COVID-19. *Diagnostics (Basel)*, 12(8):1847. Doi: 10.3390/diagnostics12081847
- Erol, G., Uzbaş, B., Yücelbaş, C., Yücelbaş, Ş. 2022.** Analyzing The Effect Of Data Pre-Processing Techniques Using Machine Learning Algorithms On The Diagnosis Of COVID-19. *Concurrency and Computation-Practice & Experience*, 34(28). Doi: 10.1002/cpe.7393
- Erol Doğan, G., Uzbaşa, B. 2023.** Diagnosis of COVID-19 from blood parameters using convolutional neural network. *Soft Computing*, 27(15):10555–10570. Doi: 10.1007/s00500-023-08508-y
- Famiglioni, L., Bini, G., Carobene, A., Campagner, A., Cabitza, F. 2021.** Prediction of ICU admission for COVID-19 patients: a Machine Learning approach based on Complete Blood Count data. 2021 IEEE 34th International Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS). Doi: 10.1109/CBMS52027.2021.00065
- Feigin, E., Levinson, T., Wasserman, A., Shenhar-Tsarfaty, S. 2022.** Age-Dependent Biomarkers for Prediction of In-Hospital Mortality in COVID-19 Patients. *J. Clin. Med.*, 11(10):2682. Doi: 10.3390/jcm11102682
- Fernandez, A., Garcia, S., Herrera, F., Chawla, N. 2018.** SMOTE for Learning from Imbalanced Data: Progress and Challenges, Marking the 15-year Anniversary. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 61(1):863-905. Doi: 10.1613/jair.1.11192
- Fong, S., Li G., Dey N., Crespo R.G., Herrera-Viedma E. 2020.** Finding an accurate early forecasting model from small dataset: A case of 2019-nCoV novel coronavirus outbreak. *Int. J. Interact. Multimedia Artif. Intell.*, 6(1):1–10. Doi: 10.9781/ijimai.2020.02.002

- Freud, Y. & Schapire, R.E. 1999.** A Short Introduction to Boosting. *Journal of Japanese Society for Artificial Intelligence*, 14(5):771-780.
- Ghani, A.C., Donnelly, C.A., Cox, D.R., Griffin, J.T., Fraser, C., Lam, T.H., Ho, L.M., ... Leung, G.M. 2005.** Methods for estimating the case fatality ratio for a novel, emerging infectious disease. *Am J Epidemiol*, 162(5):479-486. Doi: 10.1093/aje/kwi230
- Göreke, V., Sari V., Kockanat S. 2021.** A novel classifier architecture based on deep neural network for COVID-19 detection using laboratory findings. *Applied Soft Computing*, 106(1):107329. Doi: 10.1016/j.asoc.2021.107329
- Grasselli, G., Zangrillo, A., Zanella, A., Antonelli M., Cabrini, L., Castelli, A., Cereda, D., ... COVID-19 Lombardy ICU Network, 2020.** Baseline characteristics and outcomes of 1591 patients infected with sars-cov-2 admitted to icus of the lombardy region, italy. *JAMA*, 323(16):1574-1581. Doi: 10.1001/jama.2020.5394
- Hajian-Tilaki, K. 2013.** Receiver Operating Characteristic (ROC) Curve Analysis for Medical Diagnostic Test Evaluation. *Caspian Journal of Internal Medicines*, 4(2): 627-635.
- Hu, Z., Melton, G.B., Arsoniadis, E.G., Wang, Y., Kwaan, M.R., Simon, G.J. 2017.** Strategies for handling missing clinical data for automated surgical site infection detection from the electronic health record, 68: 112-120. Doi: 10.1016/j.jbi.2017.03.009
- Huang, H., Bader, J.S. 2009.** Precision and recall estimates for two hybrid screens. *Bioinformatics*, 25(3):372-378. Doi: 10.1093/bioinformatics/btn640
- Hulley, S.B., Cummings, S.R., Browner, W.S., Grady, D., Hearst, N., Newman, T.B. 2001.** Studies of the Accuracy of Tests. *Designing Clinical Research An Epidemiologic Approach*. Second Edition. Lippincott Williams & Wilkins, 181-2.
- Idri, A., Abnane, I., Abran, A. 2016.** Missing data techniques in analogy-based software development effort estimation. *The Journal of Systems and Software*, 117, 595-611. Doi: 10.1016/j.jss.2016.04.058
- Japkowicz, N., Shah, M. 2011.** *Evaluating Learning Algorithms*, Cambridge University Press. Doi: 10.1017/CBO9780511921803
- Kong, Y., Han, J., Wu, X., Zeng, H., Liu, J., Zhang, H. 2020.** VEGF-D: a novel biomarker for detection of COVID-19 progression. *Crit Care*, 24(1):373. Doi: 10.1186/s13054-020-03079-y
- Kumar, Y., Koul, A., Singla, R., Ijaz, M.F. 2023.** Artificial intelligence in disease diagnosis: a systematic literature review, synthesizing framework and future research agenda. *Springer Nature*, 14(7):8459-8486. Doi: 10.1007/s12652-021-03612-z
- Wang, D., Hu, B., Hu, C., Zhu, F., Liu, X., Zhang, J., Wang, B., Peng Z. 2020.** Clinical characteristics of 138 hospitalized patients with 2019 novel coronavirus-infected pneumonia in Wuhan, China. *JAMA*, 323(11):1061-9. Doi: 10.1001/jama.2020.1585
- World Health Organization (WHO) 2020.** Health topics, coronavirus. https://www.who.int/health-topics/coronavirus#tab=tab_3
- World Health Organization (WHO) 2022.** WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard: <https://covid19.who.int/>
- Willyard, C. 2020.** Coronavirus blood-clot mystery intensifies. *Nature*, 581(7808):250. Doi: 10.1038/d41586-020-01403-8
- Wynants, L., Van Calster, B., Collins, G.S., Riley, R.D., Heinze, G., Schuit, E., Bonten, M.M.J., ... van Smeden, M. 2020.** Prediction models for diagnosis and prognosis of covid-19: systematic review and critical appraisal. *BMJ*, 7(369):m1328. Doi: 10.1136/bmj.m1328
- Mahaney, M.C., Brugnara, C., Lease, L.R., Platt, O.S. 2005.** Genetic influences on peripheral blood cell counts: a study in baboons, 106(4): 1210-1214. Doi: 10.1182/blood-2004-12-4863
- Metz, C.E. 1978.** Basic principles of ROC analysis. *Semin Nucl Med.*, 8(4):283-98. Doi: 10.1016/s0001-2998(78)80014-2
- Mohammed, A., Kora, R. 2023.** A Comprehensive Review on Ensemble Deep Learning: Opportunities and Challenges. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 35(2):757-774. Doi: 10.1016/j.jksuci.2023.01.014
- Moulaei, K., Shanbehzadeh, M., Mohammadi-Taghiabad, Z., Kazemi-Arpanahi, H. 2022.** Comparing machine learning algorithms for predicting COVID-19 mortality. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 22(1). Doi: 10.1186/s12911-021-01742-0
- Moore, J.B., June, C.H. 2020.** Cytokine release syndrome in severe COVID-19. *Science*, 368(6490):473-474. Doi: 10.1126/science.abb8925
- Nagant, C., Ponthieuxa, F., Smet, J., Dauby, N. 2020.** A score combining early detection of cytokines accurately predicts COVID-19 severity and intensive care unit transfer. *International Journal of Infectious Diseases*, 101:342-345. Doi: 10.1016/j.ijid.2020.10.003
- Pasquier, G., Bounhiol, A., Gangneux, F.R., Zahar, J.R., Gangneux, J.P., Novara, A., Bougnoux, M.E., Dannaoui, E. 2021.** A review of significance of Aspergillus detection in airways of ICU COVID-19 patients. *Mycoses*. 64(9):980-988. Doi: 10.1111/myc.13341.
- Podder, P., Khamparia, A., Mondal, M.R.H., Rahman, M.A. (2021).** Forecasting the Spread of COVID-19 and ICU Requirements, *International Journal of Online and Biomedical Engineering (iJOE)* 17(05):81. Doi: 10.3991/ijoe.v17i05.20009

- Prusa, J., Khoshgoftaar, T.M., Dittman, D.J. 2015.** Using ensemble learners to improve classifier performance on tweet sentiment data. 2015 IEEE International Conference on Information Reuse and Integration, 252-257. Doi: 10.1109/IRI.2015.49
- Rahman, M. and Davis, D.N. 2013.** Addressing the Class Imbalance Problem in Medical Datasets, 3(1): 224. Doi: 10.7763/IJMLC.2013.V3.307
- Rodriguez-Nava, G., Yanez-Bello, M.A., Trelles-Garcia, D.P., Chung, C.W., Friedman, H.J., Hines, D.W. 2020.** Performance of the quick covid-19 severity index and the brescia-covid respiratory severity scale in hospitalized patients with covid-19 in a community hospital setting. *International Journal of Infectious Diseases*, 102:571-576. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.11.003>
- Sagi, O., Rokach, L. 2018.** Ensemble learning: A survey *Wiley Interdiscip. Rev.: Data Min. Knowledge Discov.*, 8(4):e1249. Doi: 10.1002/widm.1249
- Shahzad, R.K., Lavesson, N. 2013.** Comparative analysis of voting schemes for ensemble-based malware detection. *J. Wireless Mobile Netw., Ubiquitous Comput. Dependable Appl.*, 4 (1):98-117.
- Strålin, K., Wahlström, E., Walther, S., Bennet-Bark, A.M., Heurgren, M., Lindén, T., Holm, J., Hanberger, H. 2021.** Mortality Trends among Hospitalised COVID-19 Patients in Sweden: A Nationwide Observational Cohort Study. *Lancet Reg. Health Eur.*, 4, 100054. Doi: 10.1016/j.lanepe.2021.100054
- Strålin, K., Wahlström, E., Walther, S., Bennet-Bark, A.M., Heurgren, M., Lindén, T., Holm, J., Hanberger, H. 2022.** Mortality in Hospitalized COVID-19 Patients Was Associated with the COVID-19 Admission Rate during the First Year of the Pandemic in Sweden. *Infect. Dis.*, 54, 145–151. Doi: 10.1080/23744235.2021.1983643
- Yang, H.S., Hou, Y., Vasovic, L.V., Steel, P.A., Chadburn, A., Racine-Brzostek, A.E., Velu, P., ... Wang, F. 2020.** Routine laboratory blood tests predict sars-cov-2 infection using machine learning. *Clinical chemistry*, 66(11):1396-1404. Doi: 10.1093/clinchem/hvaa200

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 ulaşılabilecek telefon numarası)**

Belge Geçer : **(Sorumlu yazara ulaşılabilecek 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>

