

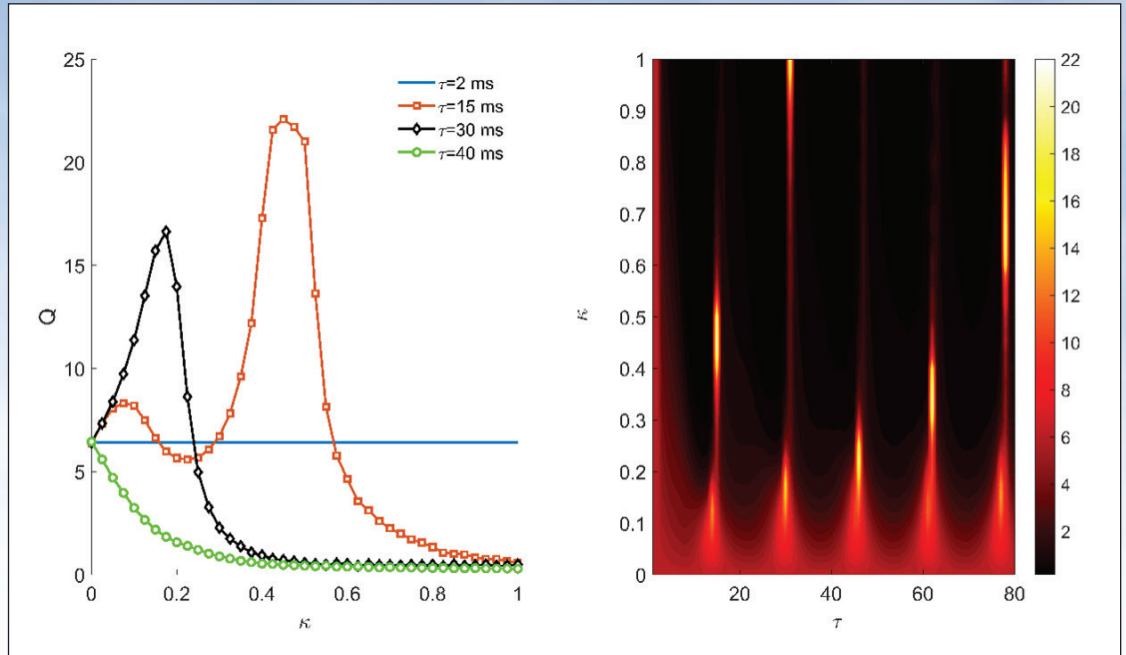


Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Tarafından Yayınlanmaktadır

Published by the Zonguldak Bülent Ecevit University

Karaelmas Science and Engineering Journal



- ❑ Selection of Genetic Algorithm Parameters for Optimization of Storm-Sewer Networks Using Taguchi Method
- ❑ Akıllı Ev Bileşenlerinde Kullanılan Farklı Kablosuz İletişim Standartları için Makine Öğrenmesi Tabanlı Öneri Sistemi
- ❑ Accurate and Sensitive Determination of Mefenpyr-diethyl in Barley, Oat and Corn Silk Matrices by Gas Chromatography – Flame Ionization Detector (GC-FID)
- ❑ *Asphodelus aestivus* Brot. ve *Nigella sativa* L. Esansiyel Yağının Bazı Fungus Türlerine Karşı Antifungal Etkisi
- ❑ The Role of CertiŞcation on Project Management: Perspective of PMP CertiŞsed Project Managers
- ❑ Transfer Öğrenme Teknikleri Kullanarak Nohut Çeşidi Sınışandırma
- ❑ Kalp Yetmezliği Tanılı Hastaların Hayatta Kalma Tahmininde Topluluk Makine Öğrenme Yöntemlerinin Performans Analizi
- ❑ Development of a Digital Imaging-Based Colorimetric Analysis Method for the Determination of Phenolphthalein in Drinking Water
- ❑ Zayıf Sinyal Frekansının Geribesleme Mekanizması Tarafından İndüklenen Çoklu Stokastik Rezonans Üzerindeki Etkileri
- ❑ Sürdürülebilir Kentsel Gelişim Bağlamında Eko Şehirlerde Su ve Atık Yönetimi

Cilt / Volume: 14
Sayı / Number: 1
Nisan/April 2024

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



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


Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi

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

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Yayın Organı

Official Journal of Zonguldak Bülent Ecevit University


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

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

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


Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi

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

Yılda üç sayı yayımlanır

Published three issues per year


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



AMAÇ ve KAPSAM

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

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

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

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

Yayın İzni

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

Bilimsel makalelerde, uygun şekilde kaynak gösterilerek alıntı yapılabilir.

Abone İşlemleri

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

Yazıların Bilimsel ve Hukuki Sorumluluğu

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

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

AIMS and SCOPE

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

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

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

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

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

Permission Requests

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

Citations may be used in scientific articles with proper referral.

Subscriptions

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

Scientific and Legal Responsibilities

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

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



YAZARLARA BİLGİLER

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

Dergide yayınlanacak makale türleri aşağıdaki gibidir.

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

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

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

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

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

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

YAYIN KURALLARI

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

DEĞERLENDİRME SÜRECİ

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

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

MAKALE SUNUMU

Makaleler elektronik ortamda sunulacaktır.

YAZIM KURALLARI

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

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

Kapak Yazısı Planı:

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

Tam Metin Sayfasının Planı

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

- Türkçe makalelerde

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

Sonuç ve Öneriler: Sonuçlar özetlenmeli ve öneriler yapılmalıdır.

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

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

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

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

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

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

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

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

Kaynakların metin içerisindeki kullanımını aşağıda verilmiştir:

1. Türkçe Makalelerde:

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

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

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

2. İngilizce Makalelerde:

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

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

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

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

Kaynakların metin sonunda veriliş şekilleri aşağıdaki gibidir:

Kaynaklar alfabetik sıraya göre yazılmalıdır.

Makale:

Tek yazarlı

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

İki yazarlı

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

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

Üç ve daha fazla yazarlı

Erdem, S., Gonca, E., Başoğlu, G., Aydemir, E. 2022. İskemi sonrası verilen 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). Yüzdelik birimler (%50) şeklinde belirtilmelidir.

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

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

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

Makale Yazım Kontrol Listesi

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

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



ETİK KURALLAR

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

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

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

Hakemler İçin Etik Kurallar

Hakemler;

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

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

Yazarlar İçin Etik Kurallar

Yazarlar ve yardımcı yazarlar;

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

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

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

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

Editörler İçin Etik Kurallar

Editörler:

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



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

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



YAYIN ETİĞİ

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

Editörlerin Görevleri

Adil ve 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 yazılarını dikkate almaktan geri çekilecekler; bunun yerine, yayın kurulunun başka bir üyesinden yazıyı işlemesini isteyecekler.

Yayın kararları

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

Soruşturmalara katılım ve işbirliği

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

Gözden Geçirenlerin Görevleri

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 hissedene 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 yayıncısını derhal bilgilendirmek ve çalışmayı bir hata biçiminde düzeltmek veya geri çekmek için onlarla işbirliği yapmak onların yükümlülüğüdür. Editörler veya yayıncı, yayınlanmış bir çalışmanın önemli bir hata veya yanlışlık içerdiğini üçüncü bir taraftan öğrenirse, makalenin doğruluğunu dergi editörlerine derhal düzeltmek veya geri çekmek veya dergi editörlerine kanıt sunmak yazarların yükümlülüğüdür.



INSTRUCTIONS to AUTHORS

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

Manuscript Categories:

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

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

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

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

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

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

CONDITIONS FOR PUBLICATION

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

THE REFEREE PROCESS

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

PRESENTATION

Papers should be submitted online.

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

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

WRITING RULES

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

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

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

Cover Page

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

The Plan of Cover Page

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

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

The Plan of the Full Text Page

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



Table 1: The Plan of Full Text Page

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

The use of sources in the text is given below:

1. In Turkish Paper:

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

2. In English Paper:

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

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

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

Article:

One author

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

Multiple authors

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

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

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

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

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



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

Book:

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

Chapter:

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

Report:

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

Conference, Symposium:

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

Internet:

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

Web page:

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

Web document with author:

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

In press:

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

A Thesis:

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

Software:

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

Tables and Figures:

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

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

Equations:

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

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

Mathematical equations should be cited as below:

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

Attachments:

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

Symbols and Units:

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

Abbreviations:

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

Numbers:

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

Footnotes:

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

CHECKLIST OF THE MANUSCRIPT

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

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

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



ETHICAL PRINCIPLES

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

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

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

Ethical Guidelines for Peer Reviewers

Peer Reviewers,

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

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

Ethical Guidelines for Authors

Authors and co-authors,

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

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

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

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

Ethical Guidelines for Editors

Editors:

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



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

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



PUBLICATION ETHICS

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

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

Duties of Editors

Fair play and editorial independence

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

Confidentiality

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

Disclosure and conflicts of interest

Editors and editorial board members will not use unpublished information disclosed in a submitted manuscript for their own research purposes without the authors' explicit written consent. Privileged information or ideas obtained by editors as a result of handling the manuscript will be kept confidential and not used for their personal advantage. Editors will refuse 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

- Yağmur Suyu-Kanalizasyon Şebekelerinin Optimizasyonunda Taguchi Yöntemi ile Genetik Algoritma..... 1**
Parametrelerinin Seçimi
Tülin Çetin, Mehmet Ali Ilgın, Mehmet Ali Yurdusev
- Akıllı Ev Bileşenlerinde Kullanılan Farklı Kablosuz İletişim Standartları için Makine Öğrenmesi Tabanlı 11**
Öneri Sistemi
Ahmet Yazar, Ahmet Ata Şentürk, Şulenur Çörez, Olçan Satır, Burak Kosova
- Mefenpir-dietilin Arpa, Yulaf ve Mısır Püskülü Matrikslerinde Gaz Kromatografisi-Alev İyonizasyon..... 23**
Dedektörü (GC-FID) ile Doğru ve Hassas Tayini
Hakan Serbest
- Asphodelus aestivus* Brot. ve *Nigella sativa* L. Esansiyel Yağının Bazı Fungus Türlerine Karşı Antifungal Etkisi 28**
Alper Zöngür
- Proje Yönetiminde Sertifikasyonun Rolü: PMP Sertifikalı Proje Yöneticilerinin Yaklaşımı 36**
Volkan Arslan
- Transfer Öğrenme Teknikleri Kullanarak Nohut Çeşidi Sınıflandırma..... 48**
İbrahim Kılıç, Nesibe Yalçın
- Kalp Yetmezliği Tanılı Hastaların Hayatta Kalma Tahmininde Topluluk Makine Öğrenme Yöntemlerinin 59**
Performans Analizi
İrem Şenyer Yapıcı, Rukiye Uzun Arslan, Okan Erkaymaz
- İçme Sularında Fenolftalein Tayinine Yönelik Dijital Görüntüleme Temelli Kolorimetrik Analiz Yöntemi 70**
Geliştirilmesi
Nihal Yücel, Ozan Yağmuroğlu
- Zayıf Sinyal Frekansının Geribesleme Mekanizması Tarafından İndüklenen Çoklu Stokastik Rezonans 80**
Üzerindeki Etkileri
Veli Baysal

Derleme

- Sürdürülebilir Kentsel Gelişim Bağlamında Eko Şehirlerde Su ve Atık Yönetimi..... 92**
Elif Öztekin



CONTENTS

Research Articles

- Selection of Genetic Algorithm Parameters for Optimization of Storm-Sewer Networks Using Taguchi Method** 1
Tülin Çetin, Mehmet Ali Ilgın, Mehmet Ali Yurdusev
- Machine Learning-Based Recommendation System for Different Wireless Communications Standards Used in Smart Home Components** 11
Ahmet Yazar, Ahmet Ata Şentürk, Şulenur Çörez, Olçan Satır, Burak Kosova
- Accurate and Sensitive Determination of Mefenpyr-diethyl in Barley, Oat and Corn Silk Matrices by Gas Chromatography – Flame Ionization Detector (GC–FID)** 23
Hakan Serbest
- Antifungal Effect of Essential Oil of *Asphodelus aestivus* Brot. and *Nigella sativa* L. Against Some Fungus Species**..... 28
Alper Zöngür
- The Role of Certification on Project Management: Perspective of PMP Certified Project Managers**..... 36
Volkan Arslan
- Chickpea Varietal Classification Using Transfer Learning Techniques**..... 48
İbrahim Kılıç, Nesibe Yalçın
- Performance Analysis of Ensemble Machine Learning Methods for Predicting Survival of Patients with Heart Failure** 59
İrem Şenyer Yapıcı, Rukiye Uzun Arslan, Okan Erkaymaz
- Development of a Digital Imaging-Based Colorimetric Analysis Method for the Determination of Phenolphthalein in Drinking Water** 70
Nihal Yücel, Ozan Yağmuroğlu
- Effects of Weak Signal Frequency on Multiple Stochastic Resonance Induced by Feedback Mechanism**..... 80
Veli Baysal

Review

- Water and Waste Management in Eco-Cities in the Context of Sustainable Urban Development**..... 92
Elif Öztekin



Selection of Genetic Algorithm Parameters for Optimization of Storm-Sewer Networks Using Taguchi Method

Yağmur Suyu-Kanalizasyon Şebekelerinin Optimizasyonunda Taguchi Yöntemi ile Genetik Algoritma Parametrelerinin Seçimi

Tulin Cetin^{1*} , Mehmet Ali Ilgin² , Mehmet Ali Yurdusev¹ 

¹Manisa Celal Bayar University, Engineering Faculty, Civil Engineering Department, Manisa, Türkiye

²Manisa Celal Bayar University, Engineering Faculty, Industrial Engineering Department, Manisa, Türkiye

Abstract

Genetic algorithm is one of the most referred optimization techniques for the hydraulic optimization of stormwater and sewer system design. The genetic algorithm has different parameters affecting its performance such as population sizes, crossover methods, crossover rates, elitism rates, mutation rates and comparative values for the tournament selection algorithm. By the nature of the genetic algorithm, different values of these parameters should be tried to get the optimum values for them. But checking all possible values of these parameters that is a full factorial design is too much time consuming. Therefore, in this study, the Taguchi method is proposed for the first time in the literature to determine the most suitable parameter values of the genetic algorithm used for the hydraulic optimization of stormwater and sewage system design. The L16 Taguchi orthogonal array that involves 16 experiments was employed. Each experiment was replicated six times. Only 16x6=96 runs were carried out to determine the significance of the factors instead of running a full factorial design with 4³x6=1536 runs. As a result, the cost value obtained with the Taguchi method is very close (0,15%) to the cost value obtained with the full factorial design. Moreover, with the Taguchi method, the results are obtained in a shorter time (7 days instead of 4 months) with much fewer attempts.


Keywords: Storm-sewer networks, optimization, genetic algorithm, taguchi

Öz


Genetik algoritma, yağmursuyu ve kanalizasyon sistem tasarımının hidrolik optimizasyonu için en çok başvurulan optimizasyon tekniklerinden biridir. Genetik algoritma, performansını etkileyen popülasyon büyüklüğü, çaprazlama yöntemleri, çaprazlama oranları, elitizm oranları, mutasyon oranları ve turnuva seçim algoritması için karşılaştırma değerleri gibi farklı parametrelere sahiptir. Genetik algoritmanın doğası gereği bu parametrelerin optimum değerlerini elde etmek için, parametrelerin farklı değerleri denenmelidir. Fakat tam faktöriyel tasarım olan bu parametrelerin tüm olası değerlerini denemek, çok fazla zaman alır. Bu nedenle, yağmursuyu ve kanalizasyon sistem tasarımının hidrolik optimizasyonu için kullanılan genetik algoritmanın en uygun parametrelerini belirlemek için Taguchi Yöntemi, literatürde ilk defa bu çalışmada önerilmektedir. Taguchi yönteminin 16 deney anlamına gelen L16 ortogonal dizisi kullanılmıştır. Her deney altı kez tekrarlanmıştır. Faktörlerin anlamlılığını belirlemek için tam faktöriyel tasarımda 4³x6=1536 defa çalıştırma yerine sadece 16x6=96 defa çalıştırılmıştır. Sonuç olarak, Taguchi yöntemiyle elde edilen maliyet değeri, tam faktöriyel tasarımla elde edilen maliyet değerine oldukça yakındır (0,15%). Üstelik Taguchi yöntemi ile çok daha az denemeyle daha kısa sürede (4 ay yerine 7 gün) sonuç elde edilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yağmur suyu-kanalizasyon şebekeleri, optimizasyon, genetik algoritma, taguchi

*Corresponding author: tulin.cetin@cbu.edu.tr

Tulin Cetin  orcid.org/0000-0002-1511-7338

Mehmet Ali Ilgin  orcid.org/0000-0003-1765-2470

Mehmet Ali Yurdusev  orcid.org/0000-0003-3018-0770



1. Introduction

Urban stormwater drainage and sewer systems are essential parts of municipal infrastructure as building a new network has a high cost of investment. Therefore, optimization techniques are used to minimize the cost while the infrastructure design is complex.

The optimization of storm-sewer systems can be performed in three parts: the layout optimization (Haghighi 2013, Turan et al. 2019), the hydraulic optimization of the given layout (Liang et al. 2004, Afshar 2006, Afshar et al. 2006, Cetin and Yurdusev 2017) and the optimization of both layout and hydraulic designs (Pan and Kao 2009, Moeini and Afshar 2017, Duque et al. 2020).

There are several optimization algorithms used for the hydraulic optimization of storm-sewer networks such as ant colony algorithm (Afshar 2010, Moeini 2019), cellular automata (Guo et al. 2007, Zaheri et al. 2020), cuckoo search algorithm (Cetin and Turan 2022), grey wolf optimization algorithm (Masoumi et al. 2021), and particle swarm optimization algorithm (Afshar 2008; Navin and Mathur 2016).

Besides these optimization algorithms, genetic algorithms, and genetic programming (Ekmekcioğlu et al. 2023) have been widely used for the hydraulic optimization of storm-sewer networks by many researchers. To find the global optimum value, the genetic algorithm provides the necessary solution by getting the least cost with several trials. The genetic algorithm has different parameters affecting the performance such as population sizes, crossover methods, crossover rates, elitism rates, mutation rates and comparative values for the tournament selection algorithm. By the soul of the genetic algorithm, different values of these parameters should be tried to determine the most suitable values for them.

Afshar (2006) and Afshar et al. (2006) used the genetic algorithm for the hydraulic design optimization in some benchmark networks in the literature. Afshar (2006) used nodal elevations as decision variables and examined the effects of four different selection methods. Afshar et al. (2006) examined the effects of using nodal elevations and pipe diameters together as decision variables and using only nodal elevations as a decision variable. In both studies, genetic algorithm parameters are given only for the case where the best results are obtained. Siriwardene and Perera (2006) emphasized the importance of the proper selection of genetic algorithm parameters for the hydraulic optimization

of sewer networks. They investigated the effects of different genetic algorithm parameters such as seven population sizes, two selection methods, four crossover rates, eight mutation rates in addition to impervious and pervious model parameters. Brand and Ostfeld (2011) used the genetic algorithm to determine the optimal design of sewer network with searching the diameter size and the flow distribution of the network, the number, size and location of treatment plants, the pump power, and the required excavation work. They conducted experiments by assigning one value to each genetic algorithm parameter. Afshar (2012) studied on the hydraulic optimization of storm-sewer networks with rebirthing procedure to overcome the discretization problems of the continuous decision variables. He used the genetic algorithm and tried four population sizes and assigned one value for each of the other genetic algorithm parameters. Haghighi and Bakhshipour (2012) studied on the hydraulic optimization of storm-sewer networks with the adaptive decoding strategy to satisfy all constraints of the sewer system by using the genetic algorithm. They assigned one value for each genetic algorithm parameter. Cimorelli et al. (2013) studied on the hydraulic optimization by using the genetic algorithm.

Cetin and Yurdusev (2017) studied on the hydraulic optimization of storm-sewer networks by using the genetic algorithm. They used pipe diameters and pipe slopes as decision variables. They tried different genetic algorithm parameters such as five population sizes, four elitism rates, two tournament rates, three cross methods, four crossover rates and six mutation rates to find the optimum cost value. Since checking all parameter combinations (2880) as a full factorial design was too much time consuming, they suggested the dynamic mutation rate method to reduce the number of trials for the mutation rates. They used the stormwater network taken from a real project in the hydraulic optimization. The real project was prepared without any optimization procedure and based on engineering experience only. They found the dynamic mutation rate method is effective instead of trying all mutation rates.

In some of the studies mentioned above a value is directly assigned to each genetic algorithm parameter without carrying out any experiments. There are also studies in the literature that use the full factorial design to determine the best possible values of genetic algorithm parameters. However, it is obvious that checking all alternative values of the genetic algorithm parameters is too much time consuming.

An experimental design technique known as the Taguchi method, developed by Genichi Taguchi, can be used to reduce the number of total runs (Taguchi 1986) required to determine the best values of genetic algorithm parameters. In the literature, many researchers used the Taguchi method to reduce the number of trials required for the determination of the best parameter values. Turton (1994) proposed a genetic algorithm approach for the solution of the traveling salesman problem and used the Taguchi method to tune the values of genetic algorithm parameters. Bayrak and Hınıslioğlu (2013) used the Taguchi method to determine the optimal conditions for the concrete pavement. Zhang et al. (2015) investigated the usage of the Taguchi method for soil erosion experiments. They found that the Taguchi design could replace full factorial designs. Moosavi and Sadeghi (2021) used the Taguchi method for the modeling and optimization of the soil loss process. Zhang et al. (2021) studied the Taguchi method's applicability to soil erosion experiments. Akkuş and Yaka (2018) prepared an experimental design for machining the steel on CNC lathes and used the Taguchi method to find the best values of cutting parameters. Lafifi et al. (2019) used the Taguchi method to estimate the geotechnical parameters of the Mohr–Coulomb model obtained from the pressuremeter test. Xia et al. (2019) optimized the performance of the genetic algorithm for determining the pollutant source fluxes by tuning the parameters with the Taguchi method. George and Tembhurkar (2020) took the advantage of the Taguchi method to optimize the defluoridation of water using *Ficus glomerata*. Gisbert et al. (2020) proposed the application of Taguchi's orthogonal arrays to calibrate the parameters of the Descent Local Search algorithm to optimize the tensioning process of cable-stayed bridges. Jalees (2020) optimized the adsorption condition of the drinking water using the Taguchi method. Liu et al. (2021) studied the influences of Taguchi designed structural factors on the water quality of the green roof runoff. Naghedifar et al. (2020) used the Taguchi method to optimize performance of an irrigation system by means of numerical modeling. Seifi et al. (2020) optimized time series models of the wastewater treatment and reuse plants with the help of the Taguchi method. Sharifi et al. (2020) improved the Taguchi method to model the high strength self-consolidating concrete's ideal mix design. Chanda and Bhattacharyya (2021) studied the Taguchi method to find the ideal combination of the parameters during profile forming. Chen et al. (2021) investigated the usage of the Taguchi method to explore the feasibility of producing low-strength material for the waste management.

Elsheikh et al. (2021) used the Taguchi method to optimize the kerf geometry. Gholizadeh-Tayyar et al. (2021) adjusted the key factors in project planning with the Taguchi method. Hiwarkar et al. (2021) used the Taguchi method to tune operating parameters in order to attain the maximum rate of degradation for nitrogenous substances in the mineralization. Pham et al. (2021) used the Taguchi method to optimize the treatment performance associated with the removal of the total organic carbon. Kechagias et al. (2022) presented the Taguchi method to optimize the parameters of artificial neural networks designed for the prediction of quality characteristics of cut surfaces. Puneeth and Ganesha Prasad (2022) carried out the Taguchi method to optimize the coating parameters of membranes.

Although it has been seen in the literature that the Taguchi method is used in many areas, the usage of the Taguchi method has not been encountered in the storm-sewer optimization. In this study, the Taguchi Method is proposed for the first time in the literature to lessen time to be spent during the optimization process, to decrease the number of trials and to tune different genetic algorithm parameters of the hydraulic design optimization. For this purpose, the genetic algorithm-based storm-sewer network design proposed by Cetin and Yurdusev (2017) was considered as the case study. The Taguchi method was applied to this problem and the obtained results were compared with the results of Cetin and Yurdusev (2017).

2. Material and Methods

2.1. Optimization Of Hydraulic Calculations with a Genetic Algorithm

The genetic algorithm is a natural selection-based search and optimization technique. A new generation is obtained after performing crossover and mutation operations on the population of chromosomes. The total cost of the system is used to determine the best solution. The cost function (C_t) is given in Equation 4:

$$C_p = \sum_{i=1}^n L_i x M_p \quad (1)$$

$$C_m = \sum_{i=1}^m X_i x M_m \quad (2)$$

$$C_b = \sum_{i=1}^n L_i x h_i x M_b + \sum_{i=1}^m X_i x M_b \quad (3)$$

$$C_t = C_p + C_m + C_b \quad (4)$$

where C_p is the total pipe cost, n is the total number of lines in the network, L_i is the pipe length, M_p is the unit price of a pipe per meter length, C_m is the total manhole cost, m

is the total number of manholes in the network, X_i is the buried depth of each manhole, M_m is the unit price of a manhole per meter depth, C_b is the burying cost, h_i is the average buried depth of each line and M_b is the unit price of the burying per meter depth. (Cetin and Yurdusev 2017)

Decision variables are pipe diameters and pipe slopes. The population size, the crossover rate, the elitism rate, and the mutation rate are the genetic algorithm parameters. The flow chart of the algorithm used in this study is given in Figure 1.

2.2. Taguchi Experimental Design

The traditional experimental design requires an extensive number of runs to determine the impact of various factors on the system performance. Hence, the implementation of this technique in real-life problems is time-consuming and expensive. Genichi Taguchi, developed an alternative experimental design technique called Taguchi experimental design which can reduce the number of runs by using orthogonal arrays (OAs) (Taguchi 1986).

An OA is a special matrix in which columns are factors or factor interactions and rows are factor levels for a particular run. OAs are highly fractioned factorial experiments that permit the estimation of the greatest number of main effects in an orthogonal manner with the fewest possible runs in the experiment. (El-Haik and Shaout 2010). It is necessary to choose an appropriate p-value and resolution level if a conventional fractional factorial design is used. Furthermore, there may not be a fractional factorial design with the requisite resolution for the number of factors considered (Law 2007). In ready-to-use tables, all design points in OAs are defined. Because of this, they are exempt from the requirement to determine the p-value and the resolution level. (Ilgin and Gupta 2010).

Signal to Noise ratios (SNR) are calculated based on the experimental results obtained using OAs. In the Taguchi technique, the terms “signal” and “noise” stand for the desired and unwanted values, respectively, for the output characteristic known as “mean” and “standard deviation,” respectively. That is why, the SNR can be considered as the ratio of the mean to the standard deviation (Yang and Tarn 1998). One of the following three equations is often used to calculate SNR depending on the category of the output characteristic:

Category 1: Smaller is the better characteristic:

$$SNR = -10 \log \frac{1}{n} (\sum y^2) \quad (5)$$

Category 2: Larger is the better characteristic:

$$SNR = -10 \log \frac{1}{n} \left(\sum \frac{1}{y^2} \right) \quad (6)$$

Category 3: Nominal is the best characteristic:

$$SNR = 10 \log \left(\frac{\bar{y}}{s_y^2} \right) \quad (7)$$

A larger SNR indicates a better test result regardless of the category of the output characteristic.

Following the determination of SNRs, statistical analysis of variance (ANOVA) is conducted to determine the significant parameters. Furthermore, optimal parameter settings can be predicted by analyzing SNRs and the results of ANOVA. Figure 1 presents the steps of the Taguchi experimental design.

2.3. Case Study

The stormwater network previously mentioned by Cetin and Yurdusev (2017) is used in this study. This stormwater network taken from a real project having 193 manholes and 192 lines having 15,318 m long is shown in Figure 2. (Cetin and Yurdusev 2017).

2.4. Genetic Algorithm Parameter Optimization Using Taguchi Experimental Design

In this study, the population size, the crossover rate, the elitism rate, and the mutation rate are chosen to be analyzed for their impacts on the genetic algorithm performance. The parameters (factors) and their levels are presented in Table 1. According to Table 1, a full factorial experimental design requires 256 different experiments (Yang and Tarn 1998) assuming that each experiment is replicated once. If the number of replications increases, the number of experiments will also be much larger.

Table 1. Levels of each factor.

Factors	Levels			
	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
Population size	80	100	120	140
Crossover rate	30%	50%	70%	90%
Elitism rate	1%	2%	3%	5%
Mutation rate	1%	3%	5%	7%

A great reduction in the number of experiments can be achieved by using an appropriate Taguchi orthogonal array. An L16 orthogonal array which accommodates five factors with four levels was employed in this study. As a result, placing factor levels' numerical values into the L16

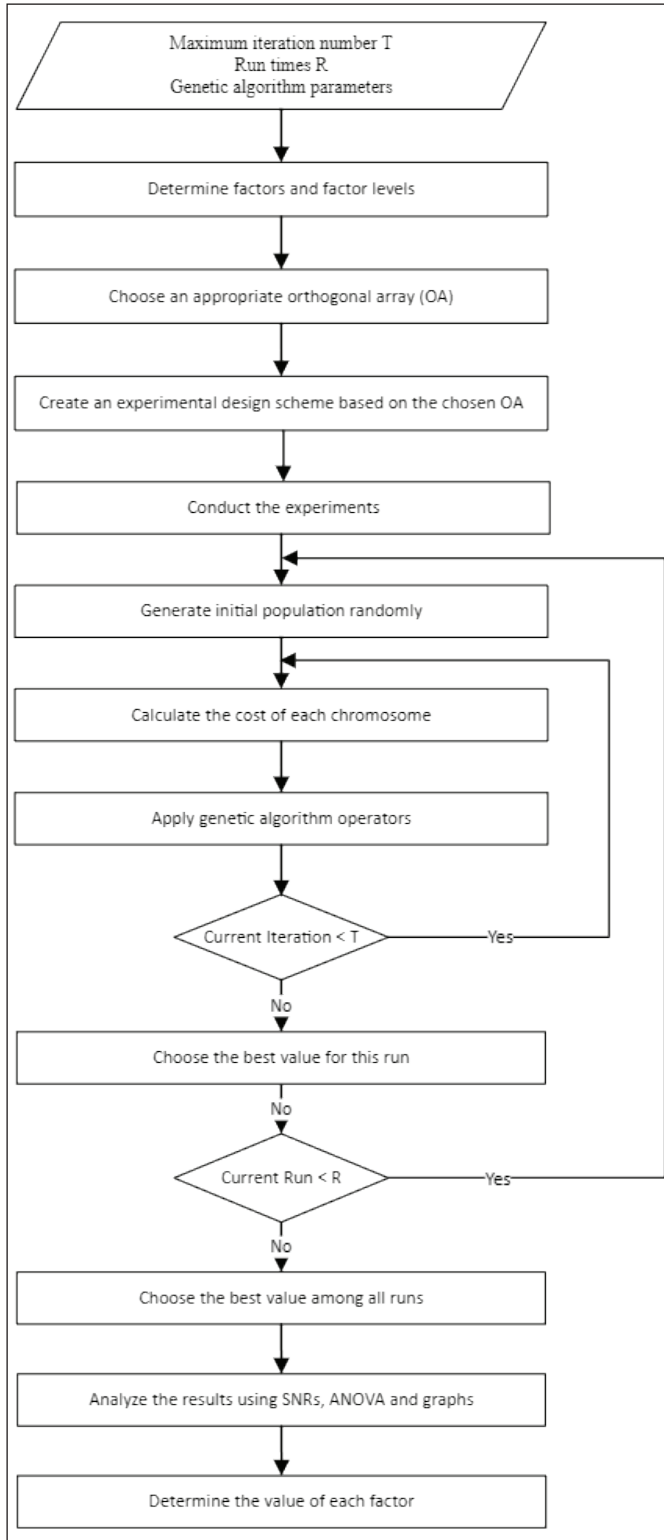


Figure 1. Steps of the Taguchi experimental design based genetic algorithm parameter determination approach.



Figure 2. The network of the case study.

orthogonal array creates the experimental design shown in Table 2. The last column of Table 2 was left blank since there are four factors in our study. It must be noted that keeping one column empty does not damage the orthogonality of the array. (Gologlu and Sakarya 2008) Each experiment was replicated six times. This means that $16 \times 6 = 96$ runs were carried out to determine the significance of the factors. If a full factorial design was used, the number of runs would be 1536 ($4^4 \times 6$).

All trials were performed on a computer with an Intel 2.8 GHZ Pentium Core i7 CPU. On average, one run lasted approximately 6300 seconds. 96 runs that are the total number of runs in the experimental design created by the L16 orthogonal array, lasted approximately 7 days. If the total number of runs (1536) of the full factorial design were used, it would take approximately 112 days, in other words approximately 4 months.

Equation 5 is used to calculate SNRs. Table 3 displays the average SNRs for each of the four levels of factors. In this table, delta (Δ) represents the difference between a factor's maximum and minimum average SNRs and denotes the impact of that factor. The factor with the greatest delta

Table 2. L-16 Orthogonal array-based experimental design used in this study.

Experiment Number	Column				
	1	2	3	4	5
1	80	30%	1%	1%	-
2	80	50%	2%	3%	-
3	80	70%	3%	5%	-
4	80	90%	5%	7%	-
5	100	30%	2%	5%	-
6	100	50%	1%	7%	-
7	100	70%	5%	1%	-
8	100	90%	3%	3%	-
9	120	30%	3%	7%	-
10	120	50%	5%	5%	-
11	120	70%	1%	3%	-
12	120	90%	2%	1%	-
13	140	30%	5%	3%	-
14	140	50%	3%	1%	-
15	140	70%	2%	7%	-
16	140	90%	1%	5%	-

value has the greatest influence on the response. The last row of Table 3 presents the ranking of the factors based on the delta values. The two most important factors are the crossover rate and the mutation rate. The least important factor is the population size.

An ANOVA study was also conducted on SNRs. Table 4 presents the results of this analysis. According to the ANOVA results, the two most important factors are the crossover rate and the mutation rate due to their low p values. The crossover rate is significant at 90% confidence level while the mutation rate is significant at 85% percent confidence level. If the factors are ranked according to p values, the same ranking in Table 3 is obtained.

The average SNRs listed in Table 3 are graphically represented in Figure 3. For each factor, the highest SNR is desired. The value of each parameter was determined based on this principle and presented in Table 5.

3. Results and Discussion

In this study, the Taguchi's L16 orthogonal array was used to determine the parameter values of a genetic algorithm constructed for the storm-sewer hydraulic optimization. After all Taguchi experiments, the values of the population size, the crossover rate, the elitism rate, and the mutation

Table 3. Signal to noise ratios (SNRs).

Levels	SNR			
	Population Size	Crossover Rate	Elitism Rate	Mutation Rate
First Level	-135,112	-135,053	-135,084	-135,185
Second Level	-135,076	-135,052	-135,071	-135,043
Third Level	-135,089	-135,090	-135,089	-135,069
Fourth Level	-135,140	-135,222	-135,173	-135,120
Δ	0.06	0.17	0.10	0.14
Rank	4	1	3	2

Table 4. ANOVA Table for SNRs.

Source	DF	SS	MSS	F	p
Population Size	3	0.009609	0.003203	0.830557	0.55884345
Crossover Rate	3	0.077826	0.025942	6.726940	0.07589487
Elitism Rate	3	0.026004	0.008668	2.247647	0.26158664
Mutation Rate	3	0.046994	0.015665	4.061969	0.13989030
Residual Error	3	0.011569	0.003856		
Total	15	0.172003			

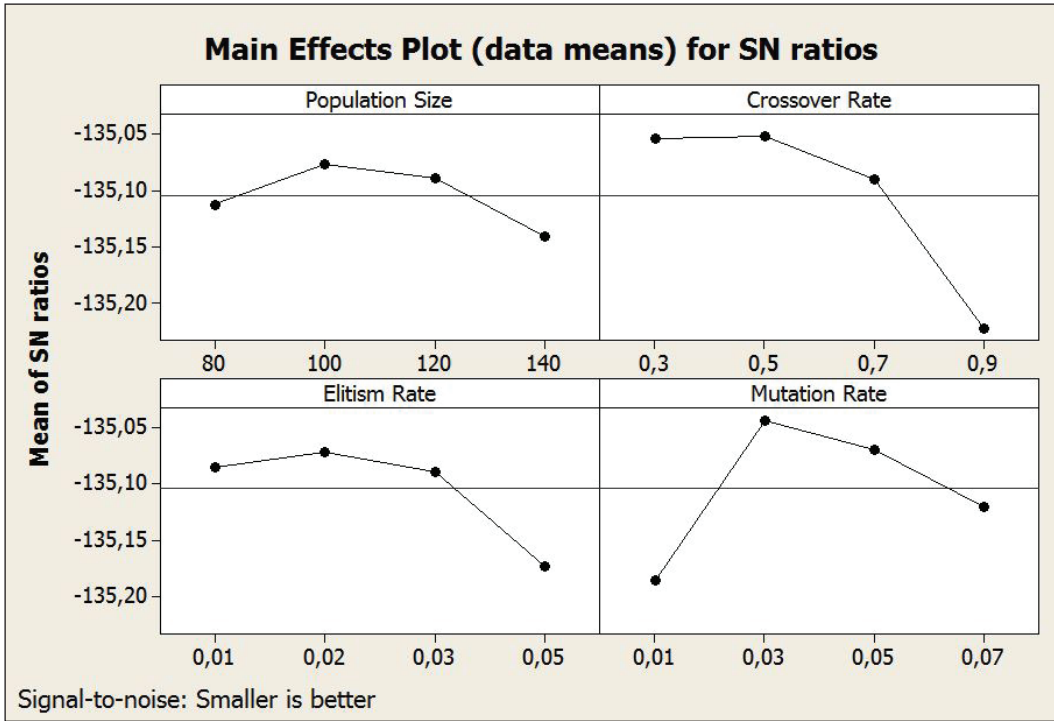


Figure 3. Main effect plot for SNRs.

Table 5. Genetic algorithm parameter values.

Parameter	Value
Population Size	100
Crossover Rate	50%
Elitism Rate	3%
Mutation Rate	2%

rate were determined as 100, 50%, 2% and 3%, respectively. A cost value of 2.766.566,11 EUR was obtained with these parameter values.

Cetin and Yurdusev (2017) applied the full factorial design for the determination of the parameter values of the genetic algorithm designed for the same storm-sewer network. Based on this analysis, they determined the values of the

population size, the crossover rate, the elitism rate, and the mutation rate as 100, 50%, 1%, and 7%, respectively. (Cetin and Yurdusev 2017).

Table 6 summarizes the results obtained in this study and the results of Cetin and Yurdusev (2017). According to this table, the optimum genetic algorithm parameter values obtained by the Taguchi method are very close to the optimum parameter values obtained by the full factorial design of Cetin and Yurdusev (2017). The difference in cost values between the Taguchi method and the full factorial design is only 0,15%.

By using the Taguchi method, only 96 runs were carried out to determine the significance of the factors instead of implementing 1536 runs required by the full factorial design. Although, the cost values of the full factorial design and the

Table 6: Results.

Study	Cost Value (EUR)	Population size	Crossover rate	Elitism rate	Mutation rate
Taguchi L16 (this study)	2,766,566.11	100	50%	2%	3%
Cost with full factorial design (Cetin and Yurdusev 2017)	2,762,534.00	100	50%	1%	7%
Cost without optimization (Cetin and Yurdusev 2017)	2,913,750.00				

Taguchi method were very close to each other, there was a dramatic difference between the operation times of both design methods. The processing time in the full factorial design is four months while the Taguchi method provides the results in only 7 days. In other words, the Taguchi design provides a dramatic decrease in the processing time although its cost value is 0,15% higher.

4. Conclusion and Suggestions

The aim of this study is to lessen the number of runs to be carried out for the determination of the genetic algorithm parameter values while getting the optimum cost value of a storm water and sewer network. For this purpose, the Taguchi Method has been proposed for the first time in the literature for the determination of the genetic algorithm parameter values to be used in the hydraulic design optimization of stormwater and sewerage networks. Taguchi experimental design is an alternative experimental design technique which can reduce the number of runs by using orthogonal arrays.

The developed algorithm has been run on a real network optimized by the genetic algorithm. The population size, the crossover rate, the elitism rate, and the mutation rate were chosen to be analyzed for the impact of these parameters on the genetic algorithm performance. The L16 Taguchi orthogonal array that involves 16 experiments was employed. As a result, the optimum genetic algorithm parameters values were determined for this network.

The outcome of this study has shown that, the genetic algorithm parameter values and the cost value obtained by using the Taguchi Method are approximately the same with the values provided by the full factorial design. This leads to the fact that the optimum values of the genetic algorithm parameters can be determined with less trials in less time without deteriorating the performance of the genetic algorithm.

Acknowledgment: The authors have not received any financial support for the research, authorship, or publication of this study. No conflict of interest or common interest has been declared by the authors.

Author contribution: The authors contributed equally to the study.

Ethics committee approval: This study does not require ethics committee permission or any special permission.

5. References

- Afshar, M.H. 2006.** Application of a genetic algorithm to storm sewer network optimization. *Scientia Iranica*, Vol. 13, No. 3, pp 234-244.
- Afshar, M.H. 2008.** Rebirthing Particle Swarm Optimization Algorithm: Application to Storm Water Network Design. *Canadian Journal of Civil Engineering* 35:1120-1127. Doi: 10.1139/L08-056.
- Afshar, M.H. 2010.** A Parameter Free Continuous Ant Colony Optimization Algorithm for the Optimal Design of Storm Sewer Networks: Constrained and Unconstrained Approach. *Advances in Engineering Software* 41 188-195. Doi: 10.1016/j.advengsoft.2009.09.009.
- Afshar, M.H. 2012.** Rebirthing genetic algorithm for storm sewer network design. *Scientia Iranica A*, 19 (1), 11-19. Doi: 10.1016/j.scient.2011.12.005
- Afshar, M.H., Afshar, A., Mariño, M.A., Darbandi, A.A.S. 2006.** Hydrograph-based storm sewer design optimization by genetic algorithm. *Can. J. Civ. Eng.* 33: 319-325. Doi: 10.1139/L05-121
- Akkuş, H., Yaka, H. 2018.** Optimization of turning process by using Taguchi method. *Sakarya University Journal of Science*, 22 (5), 1444-1448. Doi: 10.16984/saufenbilder
- Bayrak, O.Ü., Hınışoğlu, S. 2013.** Investigation of compressive strength of pavement concrete by the Taguchi method. *EÜFBED - Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi Cilt-Sayı: 6-1* 99-110.
- Brand, N., Ostfeld, A. 2011.** Optimal design of regional wastewater pipelines and treatment plant systems. *Water Environment Research*, 83, 53-64. Doi: 10.2175/106143010X12780288628219
- Cetin, T., Yurdusev, M.A. 2017.** Genetic algorithm for networks with dynamic mutation rate. *Gradevinar*, 69 (12), 1101-1109. Doi: 10.14256/JCE.1533.2015
- Cetin, T., Turan, M.E. 2022.** Kanalizasyon Şebekesi Optimizasyonunda Popülasyon Boyutunun Guguk Kuşu Arama Algoritması Üzerine Etkileri [Effects of Population Size on Cuckoo Search Algorithm in Sewer]. *Karabakh III. International Congress of Applied Sciences, Proceedings Book. Volume-I, Page: 60-72, June 7-10.*
- Chanda, A., Bhattacharyya, D. 2021.** A parametric study to minimise spring-back while producing plywood channels. *Journal of Cleaner Production* 304 127109. Doi: 10.1016/j.jclepro.2021.127109
- Chen, H.-J., Lin, H.-C., Tang, C.-W. 2021.** Application of the Taguchi method for optimizing the process parameters of producing controlled low-strength materials by using dimension stone sludge and lightweight aggregates. *Sustainability*, 13, 5576. Doi: 10.3390/su13105576

- Cimorelli, L., Cozzolino, L., Covelli, C., Mucherino, C., Palumbo, A., Pianese, D. 2013.** Optimal design of rural drainage networks. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 139(2):137-144. Doi: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000526
- Duque, N., Duque, D., Aguilar, A., Saldarriaga, J. 2020.** Sewer Network Layout Selection and Hydraulic Design Using a Mathematical Optimization Framework. *Water*, 12, 3337. Doi: 10.3390/w12123337
- Ekmekcioğlu, Ö., Başakın, E.E., Özger, M., 2023.** Exploring the practical application of genetic programming for stormwater drain inlet hydraulic efficiency estimation. *International Journal of Environmental Science and Technology* 20:1489–1502. Doi: 10.1007/s13762-022-04035-9
- El-Haik, B.S., Shaout, 2010.** A Software design for six sigma: a roadmap for excellence. New Jersey: John Wiley & Sons. Doi: 10.1002/9780470877845
- Elsheikh, A.H., Muthuramalingam, T., Abd Elaziz, M., Ibrahim, A.M.M., Showaib, E.A. 2021.** Minimization of fume emissions in laser cutting of polyvinyl chloride sheets using genetic algorithm. *International Journal of Environmental Science and Technology*. Doi: 10.1007/s13762-021-03566-x
- George, A.M., Tembhurkar, A.R. 2020.** Taguchi experimental design for adsorptive removal of fluoride from water using novel Ficus Glomerata Bark-developed biosorbent. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17:4829–4840. Doi: 10.1007/s13762-020-02787-w
- Gholizadeh-Tayyar, S., Okongwu, U., Lamothe, J. 2021.** A heuristic-based genetic algorithm for scheduling of multiple projects subjected to resource constraints and environmental responsibility commitments. *Process Integration and Optimization for Sustainability* 5:361–382. Doi: 10.1007/s41660-020-00150-7
- Gisbert, C.M., Lozano-Galant, J.A., Paya-Zaforteza, I., Turmo, J. 2020.** Calibration of the descent local search algorithm parameters using orthogonal arrays. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. 35(9):997-1008. Doi: 10.1111/micc.12545
- Gologlu, C., Sakarya, N. 2008.** The effects of cutter path strategies on surface roughness of pocket milling of 1.2738 steel based on Taguchi method. *J Materials Processing Technology*. 206 7–15. Doi: 10.1016/j.jmatprotec.2007.11.300
- Guo, Y., Walters, G.A., Khu, S.T., Keedwell, E.C. 2006.** Optimal design of sewer networks using hybrid cellular automata and genetic algorithm. IWA Publishing.
- Guo, Y., Walters, G.A., Khu, S.T., Keedwell, E. 2007.** A novel cellular automata based approach to storm sewer design. *Engineering Optimization* 39:3, 345-364. Doi: 10.1080/03052150601128261.
- Guo, Y., Walters, G.A., Khu, S.T., Keedwell, E.C. 2008.** Efficient multiobjective storm sewer design using cellular automata and genetic algorithm hybrid. *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 134, No. 6. Doi: 10.1061/(ASCE)0733-9496(2008)134:6(511)
- Haghighi, A., Bakhshipour, A.E. 2012.** Optimization of sewer networks using an adaptive genetic algorithm. *Water Resource Management*, 26:3441–3456. Doi: 10.1007/s11269-012-0084-3
- Haghighi, A. 2013.** Loop-by-Loop Cutting Algorithm to Generate Layouts for Urban Drainage Systems. *Journal of Water Resources Planning and Management* Vol. 139, No. 6. Doi: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000294.
- Hassan, W.H., Jassem, M.H., Mohammed, S.S. 2018.** A GA-HP model for the optimal design of sewer networks. *Water Resources Management*, Volume 32, Issue 3, pp 865–879. Doi: 10.1007/s11269-017-1843-y
- Hiwarkar, A.D., Chauhan, R., Patidar, R., Srivastava, V.C., Singh, S., Mall, I.D. 2021.** Binary electrochemical mineralization of heterocyclic nitrogenous compounds: parametric optimization using Taguchi method and mineralization mechanism. *Environmental Science and Pollution Research* 28:7332–7346. Doi: 10.1007/s11356-020-11057-8
- Ilgin, M.A., Gupta, S.M. 2010.** Comparison of economic benefits of sensor embedded products and conventional products in a multi-product disassembly line. *Computers & Industrial Engineering*, 59 (4): 748-763. Doi: 10.1016/j.cie.2010.07.031
- Jalees, M.I. 2020.** Synthesis and application of magnetized nanoparticles to remove lead from drinking water: Taguchi design of experiment. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, 10.1. Doi: 10.2166/washdev.2020.09
- Kechagias, J.D., Tsiolikas, A., Petousis, M., Ninikas, K., Vidakis, N., Tzounis, L. 2022.** A robust methodology for optimizing the topology and the learning parameters of an ANN for accurate predictions of laser-cut edges surface roughness. *Simulation Modelling Practice and Theory* 114 102414. Doi: 10.1016/j.simpat.2021.102414
- Laffi, B., Rouaiguia, A., Boumazza, N. 2019.** Optimization of geotechnical parameters using Taguchi's design of experiment (DOE), RSM and desirability function. *Innovative Infrastructure Solutions* 4:35. Doi: /10.1007/s41062-019-0218-z
- Law, A.M. 2007.** Simulation modelling and analysis. 4th ed. New York: McGraw Hill.
- Liang, L.Y., Thompson, R.G., Young, D.M. 2004.** Optimising the design of sewer networks using genetic algorithms and tabu search. *Engineering, Construction and Architectural Management*, Vol. 11 Iss 2 pp. 101 – 112. Doi: 10.1108/09699980410527849

- Liu, W., Engel, B.A., Chen, W., Wei, W., Wang, Y., Feng, Q. 2021.** Quantifying the contributions of structural factors on runoff water quality from green roofs and optimizing assembled combinations using Taguchi method. *Journal of Hydrology* 593 125864. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2020.125864
- Masoumi, F., Masoumzadeh, S., Zafari, N., Skardi, M.J.E. 2021.** Optimum Sanitary Sewer Network Design Using Shuffled Gray Wolf Optimizer. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice* 12(4): 04021055. Doi: 10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000597.
- Moeini, R. 2019.** Ant Intelligent Applied to Sewer Network Design Optimization Problem: Using Four Different Algorithms. *Environmental Engineering and Management Journal* Vol.18, No.5, 957-971.
- Moeini, R., and M.H. Afshar, 2017.** Arc Based Ant Colony Optimization Algorithm for Optimal Design of Gravitational Sewer Networks. *Ain Shams Engineering Journal* 8, 207–223. Doi: 10.1016/j.asej.2016.03.003.
- Moosavi, V., Sadeghi, S.H. 2021.** Modeling and optimization of experimental designs for soil loss assessment at plot scale. *Journal of Hydrology* 592;125806. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2020.125806
- Naghedifar, S.M., Ziaei, A.N., Ansari, H. 2020.** Numerical analysis and optimization of triggered furrow irrigation system. *Irrigation Science* 38:287–306. Doi: 10.1007/s00271-020-00672-5
- Navin, P.K., Mathur, Y.P. 2016.** Design Optimization of Sewer System Using Particle Swarm Optimization. *Proceedings of Fifth International Conference on Soft Computing for Problem Solving, Advances in Intelligent Systems and Computing* 437. Doi: 10.1007/978-981-10-0451-3_17.
- Pan, T.C., Kao, J.J. 2009.** GA-QP model to optimize sewer system design. *Journal of Environmental Engineering*, Vol. 135, 17-24. Doi: 10.1061/(ASCE)0733-9372(2009)135:1(17)
- Pham, T.L., Boujelbane, F., Bui, H.N., Nguyen, H.T., Bui, X.-T., Nguyen, D.N., Nguyen, H.T.T., Phan, H.A., Duong, H.T.G., Bui, H.M. 2021.** Pesticide production wastewater treatment by electro-fenton using Taguchi experimental design. *Water Science & Technology* Vol 00 No 0, 1. Doi: 10.2166/wst.2021.372
- Puneeth, H.V., Ganesha Prasad, M.S. 2022.** Sustainable in-situ recycling and IoT-based monitoring system of water-soluble metal working fluids. *Sustainable Water Resources Management* 8:1. Doi: 10.1007/s40899-021-00589-7
- Rohani, M., Afshar, M.H. 2015.** GA-GHCA model for the optimal design of pumped sewer networks. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 42(1): 1-12. Doi: 10.1139/cjce-2014-0187
- Seifi, A., Ehteram, M., Soroush, F. 2020.** Uncertainties of instantaneous influent flow predictions by intelligence models hybridized with multi-objective shark smell optimization algorithm. *Journal of Hydrology* 587 124977. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2020.124977
- Sharifi, E., Sadjadi, S.J., Aliha, M.R.M., Moniri, A. 2020.** Optimization of high-strength self-consolidating concrete mix design using an improved Taguchi optimization method. *Construction and Building Materials* 236 117547. Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.117547
- Siriwardene, N.R., Perera, B.J.C. 2006.** Selection of genetic algorithm operators for urban drainage model parameter optimisation. *Mathematical and Computer Modelling* 44, 415–429. Doi: 10.1016/j.mcm.2006.01.002
- Taguchi, G. 1986.** Introduction to quality engineering: designing quality into products and processes. Tokyo: Asian Productivity Organization.
- Turan, M.E., Bacak-Turan, G., Cetin, T., Aslan, E. 2019.** Feasible Sanitary Sewer Network Generation Using Graph Theory. *Advances in Civil Engineering* Volume 2019, Article ID 8527180, 15 pages. Doi: 10.1155/2019/8527180.
- Turton, B. 1994.** Optimization of genetic algorithms using the Taguchi method. *Journal of Systems Engineering*. Volume: 4 Issue: 3 Pages: 121-130.
- Weng, H.T., Liaw, S.L. 2007.** An optimization model for urban sewer system hydraulic design. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, Vol. 30, No. 1, pp. 31-42. Doi: An optimization model for urban sewer system hydraulic design
- Weng, H.T., Liaw, S.L., Huang, W.C. 2005.** Establishing an optimization model for sewer system layout with applied genetic algorithm. *Journal of Environmental Informatics* 5(1) 26-35. Doi: 10.3808/jei.200500043
- Xia, X., Jiang, S., Nianqing, Z., Li, X., Wang, L. 2019.** Genetic algorithm hyper-parameter optimization using Taguchi design for groundwater pollution source identification. *IWA Publishing, Water Supply* 19 (1): 137-146. Doi: 10.2166/ws.2018.059
- Yang, W.H., Tarnq, Y.S. 1998.** Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method. *Journal of Materials Processing Technology*, 84 (1-3): 122-129. Doi: 10.1016/S0924-0136(98)00079-X
- Zaheri, M.M., Ghanbari, R., Afshar, M.H. 2020.** A Two-Phase Simulation–Optimization Cellular Automata Method for Sewer Network Design Optimization. *Engineering Optimization* 52:4, 620–636. Doi: 10.1080/0305215X.2019.1598983.
- Zhang, F.B., Wang, Z.L., Yang, M.Y. 2015.** Assessing the applicability of the Taguchi design method to an interrill erosion study. *Journal of Hydrology* 521 65–73. Doi: 10.1016/j.jhydrol.2014.11.059
- Zhang, F., Wang, M., Yang, M. 2021.** Successful application of the Taguchi method to simulated soil erosion experiments at the slope scale under various conditions. *Catena* 196;104835. Doi: 10.1016/j.catena.2020.104835



Akıllı Ev Bileşenlerinde Kullanılan Farklı Kablosuz İletişim Standartları için Makine Öğrenmesi Tabanlı Öneri Sistemi

Machine Learning-Based Recommendation System for Different Wireless Communications Standards Used in Smart Home Components

Ahmet Yazar^{1*}, Ahmet Ata Şentürk², Şulenur Çörez², Olçan Satır², Burak Kosova²

¹Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Yazılım Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye

²Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, Türkiye

Öz

Akıllı ev sistemlerinin giderek yaygınlaştığı son yıllarda bu sistemlere ait kablosuz iletişim altyapısı da daha çok önem kazanmıştır. Birbirlerine karşı farklı üstünlükleri olan kablosuz iletişim standartlarının bir akıllı ev sistemi için ne tür ihtiyaçlar ve hangi şartlar altında daha kullanılabilir olduğunun kestirilmesi yeni bir problem haline gelmiştir. Bu çalışmada, yeni nesil akıllı ev bileşenlerinde kullanılan farklı kablosuz iletişim standartları için makine öğrenmesi tabanlı özgün öneri yöntemleri geliştirilmiştir. Ayrıca bu amaca yönelik olarak ortamsal ve çevresel farkındalığı yükseltecek düzeyde bilgi girdilerinden yararlanılmıştır. Makine öğrenmesi uygulamasına yönelik yeni bir yapay veri kümesi oluşturulmuştur. Alınan sonuçlara bakıldığında, geliştirilen özgün çözümlerin akıllı ev tasarımlarına fayda getireceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: 5G, akıllı evler, kablosuz iletişim, makine öğrenmesi, öneri sistemi

Abstract

In recent years, as smart home systems have become increasingly widespread, the wireless communication infrastructure associated with these systems has gained more importance. Assessing the needs and determining the conditions under which different wireless communication standards, each with its own advantages, can be more suitable for a smart home system has become a new challenge. In this study, a machine learning-based recommendation methods have been developed for various wireless communication standards used in next-generation smart home components. Additionally, a level of ambient and environmental awareness has been utilized to enhance the information inputs for this purpose. A new artificial dataset has been created for the machine learning application. When examining the results, it can be observed that the proposed novel solution would be beneficial in smart home designs.

Keywords: 5G, smart homes, wireless communications, machine learning, recommendation system

1. Giriş

Akıllı evler, insan faaliyetlerini taklit edebilen, belirli görevleri yerine getirebilen ve çeşitli cihazları uzaktan kontrol edebilen sistemlerdir. Bu sistemler, kullanıcıların konforu-

nu ve güvenliğini artırır, enerjiden tasarruf etmelerini sağlar (Stefanov vd. 2004). Gelişen teknolojiyle beraber insanların hayatını kolaylaştıracak teknolojik ürünlere ilgi günden güne artmaktadır. Akıllı evlerin de yıllara göre kullanımlarında önemli ölçüde artış görülmektedir. (Insight 2022)'de yapılan bir analiz çalışmasında, 2022 yılında 120 milyon civarı olan akıllı ev sayısının, 2026 yılı itibarıyla 200 milyona yaklaştığı öngörülmektedir. Aynı doğrultuda akıllı ev pazarının gelişimi hızla devam etmektedir. Özellikle çevresel etkenleri algılama kabiliyeti yüksek akıllı evlerin sayısında önemli artış olmaktadır (Yazar vd. 2012, Yazar ve Çetin 2013).

Yaygınlaşmakta olan akıllı ev sistemleri için en kritik altyapılardan biri de iletişim alt sistemleridir. Akıllı evlerde kul-

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

Ahmet Yazar orcid.org/0000-0001-9348-9092

Ahmet Ata Şentürk orcid.org/0009-0002-3292-9597

Şulenur Çörez orcid.org/0009-0004-0582-5869

Olçan Satır orcid.org/0009-0005-8828-3950

Burak Kosova orcid.org/0009-0005-5652-9020



lanılan iletişim ağı teknolojileri, kablolu ve kablosuz olmak üzere iki ana sınıf altında değerlendirilebilmektedir. Kablosuz haberleşmenin kurulumunun ve bakımının kablolu haberleşmeye göre çok daha kolay ve düşük maliyetli olması sebebiyle kablosuz iletişim sistemlerinin akıllı evlerde kullanılması günümüzde giderek yaygınlaşmıştır. Aynı zamanda kablosuz iletişimde çoklu bağlantının kolay sağlanması ve taşınabilir olması avantajlıdır (Parikh vd. 2010). Özellikle 5. Nesil (5G) haberleşmesinin standartlaşması sonrasında kablosuz haberleşmenin akıllı ev gibi farklı senaryolarda daha da ön plana çıkması beklenmektedir (Dzogovic vd. 2019). 6. Nesil (6G) haberleşmesinin gelişim sürecinde ise akıllı ev sistemleri gibi dikey sektörlerin önemi giderek artmaktadır (Yazar vd. 2020, Yazar 2021).

Kablosuz iletişim sistemleri için kullanılan birbirinden farklı standartlar bulunmaktadır. Bu standartların birbirlerine karşı çeşitli üstünlük ya da zayıflıkları olabilmektedir. Örneğin bir kısmı çok yüksek veri hızlarını desteklemekte iken diğerleri çok düşük gecikme ya da çok yüksek güvenilirlik olacak şekilde veri iletimi sağlayabilmektedir. Mevcut kablosuz iletişim sistemleri arasında tüm farklı ölçütler açısından en iyi olan tek bir haberleşme standardı bulunmamaktadır (Horyachyy 2017). Kullanıcı sistemlerinin ve akıllı evlerdeki uygulamaların ihtiyaç duyduğu haberleşme gereksinimlerine göre uygun olacak iletişim standartları kullanılabilir. Ayrıca, değişen ortam koşullarına göre bu tercihler farklılaşmaktadır. Bu çalışmada, tüm bu değişen koşullar dikkate alınarak akıllı ev ihtiyaçlarına göre en uygun kablosuz haberleşme standardının belirlenmesine yönelik özgün yöntemler geliştirilmeye çalışılmıştır. Geliştirilen yaklaşımın ele aldığı problem tanımı Şekil 1 üzerinde özetlenmektedir.

Farklı kablosuz iletişim standartları için gruplamaların yapılması mümkün olmaktadır. Örneğin, geniş alan ağları



Şekil 1. Geliştirilen yaklaşım özelinde ele alınan problem tanımı özeti.

(wide area networks, WAN), yerel alan ağları (local area networks, LAN) ve düşük güçlü geniş alan ağları (low-power wide area networks, LPWAN) gibi gruplamalara literatürde rastlanmaktadır (Shilpa 2022). Söz konusu gruplamalar, ele alınan standartların genel karakteristikleri üzerinden oluşturulmaktadır. Bu çalışmada geliştirilen yöntem için WAN, LAN ve LPWAN gruplamaları esas alınarak makine öğrenmesi tabanlı bir öneri sistemi tasarlanmıştır. Güncel literatür incelendiğinde, akıllı evlerde kullanılan haberleşme standartları için daha önce karşılaştırma çalışmalarının yapıldığı görülmektedir (Horyachyy 2017). Fakat bu standartlar arasından grup bazlı olarak makine öğrenmesinden yararlanılarak seçim yaptıran bir yöntem yazarların bildiği kadarıyla literatürde henüz geliştirilmemiştir.

Bu çalışmanın literatüre olan temel katkısı, akıllı ev sistemlerinde yer alan alt bileşenler için kullanılabilen farklı kablosuz iletişim standartlarına yönelik özgün protokol öneri yöntemleri geliştirilmesidir. Verilen hedef doğrultusunda geliştirilen yaklaşımlar için makine öğrenmesi algoritmalarından yararlanılmıştır. Makine öğrenmesinin tek başına kullanılması haricinde, hibrit bir yöntem de önerilmiştir. Ayrıca ortamsal ve çevresel farkındalığı yükseltmek amacı ile farklı bilgilerden yararlanılmıştır. Bu bilgiler kullanılarak yeni bir yapay veri kümesi oluşturulmuştur. Geliştirilen konsept ve yöntemler, tasarlanacak olan akıllı evlerde en doğru kablosuz iletişim altyapısı tercihlerinin belirlenmesinde önemli bir fayda getirecektir.

Çalışmanın 2. bölümünde materyal ve yöntem başlığı altında geliştirilen tasarımların detayları verilmektedir. 3. bölümde ise makine öğrenmesi sonuçları ile ilgili bulgular ve tartışmalar sunulmaktadır. Son olarak 4. bölümde çıkarımlar verilmiş ve geleceğe yönelik yapılabilecek araştırma faaliyetleri örneklendirilmiştir.

2. Gereç ve Yöntem

Bu çalışmada makine öğrenmesi tabanlı bir yaklaşım geliştirilmesi sebebiyle veri kümesine ihtiyaç olmuştur. Literatürde uygun bir veri kümesi bulunmaması sebebiyle yeni bir tane oluşturulması yoluna gidilmiştir. Fakat, çalışmanın doğası itibarıyla birçok farklı bilgi kaynağından yararlanılması gerektiğinden dolayı gerçek dünya verisine bağlı bir veri kümesi oluşturulması mümkün olmamıştır. Bu noktada yapay bir veri kümesinin elde edilmesi sağlanmıştır. Simülasyona dayalı oluşturulan bu yapay veri kümesinde sınıf etiketi tabanlı üretilen öznitelikler kullanılmıştır. Son yıllardaki trendlere bakıldığında, yapay veri kümelerinin giderek yaygınlaştığı görülmektedir (Emam 2020, Nikolenko 2022).

Hızlı şekilde çok sayıda örneklemin üretilebilmesi ve gerçek dünya verisi olarak elde etmenin zor olduğu senaryoların simülasyonda gerçekleştirilebiliyor olması, yapay veri kümelerinin önemli avantajları arasında sayılmaktadır.

Veri kümesinin üretilmesi sırasında sınıf etiketleri ve öznitelikler arasında kablosuz haberleşme kanalına etki eden faktörler üzerinden bir ilişkilendirme yapılmaya çalışılmıştır. Bu ilişkilere temel oluşturan kablosuz haberleşme kanalı ile ilgili bazı temel bilgiler aşağıdaki alt başlıkta anlatılmaktadır. Sonrasında veri kümesi üretimi detayları ayrı bir alt başlıkta sunulmaktadır. En son başlıkta ise makine öğrenmesi tabanlı yöntemlerin detayları aktarılmaktadır.

2.1. Kablosuz İletişim Kanalı

Kablosuz iletişim sistemleri için kritik bir yere sahip olan haberleşme kanalı birçok rastgelelik içeren doğası sebebi ile ilgili sistemler açısından önemli problemler doğurmaktadır. Yol kaybı ve çoklu yol etkileri kaynaklı bu problemler kablosuz iletişimin çeşitli yayılım ve sönümlenme özellikleri ile ilişkili oluşmaktadır. Değişen şartlar ve çevre koşulları ile kanalı etkilerinin genel hatları farklılaşmaktadır. Literatürde geçmişten günümüze kablosuz iletişim kanalları ile ilgili modelleme, dengeleme ve faydalanma üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada, yapay veri kümesi üretimi öncesinde kablosuz iletişim kanalı ve çevre koşullarının ilişkileri incelenmiştir. Hem yol kaybı (Kihero vd. 2021), hem de çoklu yol etkileri (Yarkan ve Serkan 2008) ile ilgili olarak kanal, çevre koşullarına bağlı olarak önemli ölçüde değişebilmektedir.

Bina içinde ve bina dışında bulunması kablosuz iletişim kanalı açısından önemli farklılıklar getirmektedir. Özellikle hücreli iletişim sistemlerinde baz istasyonu noktaları sokaklarda olduğundan dolayı, bina içi ile baz istasyonu noktası arasında oluşan haberleşme kanalı zorlu etkiler meydana getirebilmektedir. Bu örnekte görüldüğü üzere, kullanılan kablosuz iletişim sistemi ve standardı kablosuz iletişim kanalı açısından önemli sayılabilecek bir etkiye sebep olmaktadır. Bu çalışma kapsamında akıllı evler incelendiğinden dolayı daha çok bina içi kablosuz iletişim kanalları temel alınarak ilgili geliştirmeler yapılmıştır. Bununla beraber, her ne kadar bina içi haberleşme kanalları dikkate alınsa da, iletim noktalarının bina dışında yer alabileceği durumlar düşünülerek, bina mimarisi haricinde coğrafi yapı (Yarkan ve Serkan, 2008) ve yerleşim planlaması (Kihero vd. 2021) bileşenleri göz önünde bulundurulmuştur.

2.2. Veri Kümesi Üretimi

Bu çalışmada kullanılan, kablosuz iletişim kanalı özellikleri

ile olan ilişkilere dayalı yapay veri kümesi üretimi yöntemi daha önce literatürdeki farklı çalışmalarda ele alınmıştır. Uygun dalga şekli seçtirilmesine yönelik bir veri kümesi (Hançer ve Yazar 2023a, Hançer ve Yazar 2023b), uygun araçtan her şeye haberleşme protokolü seçtirilmesine yönelik bir veri kümesi (Eren vd. 2023) ve numeroloji kararlarına yönelik bir veri kümesi (Sazak ve Yazar 2023; Altunan vd. 2023) literatürde yer alan çalışmalarda geliştirilen yaklaşımlara dahil edilmiştir. Bahsi geçen mevcut çalışmalardaki problem tanımları ve uygulama senaryolarının farklı olması sebebiyle öznitelikler ve sınıf etiketleri değişiklik göstermiştir. Dolayısıyla bu çalışmada da farklı öznitelikler ve sınıf etiketleri kullanılarak yapay veri kümesi oluşturulmuştur.

Geliştirilen yaklaşıma yönelik oluşturulan yapay veri kümesinde üç sınıf etiketi ve dokuz öznitelik bulunmaktadır. Yapay veri kümesi oluşturulurken öncelikle sınıf etiketi oluşturulmuş, sonrasında bu sınıf etiketine bağlı olarak tanımlanmış rastgelelik değerlerine göre öznitelikler oluşturulmuştur. Bu rastgelelik değerlerinin tanımlanması sırasında normal dağılım kullanılmıştır. Ayrıca, üretilen öznitelik değerleri 1-10 arasında olacak şekilde normalize edilme varsayımı ile elde edilmiştir. Sınıf etiketlerine bağlı olarak özniteliklerin üretimi sırasında MATLAB ile hazırlanan bir simülasyon komut dizisinden yararlanılmıştır.

Sınıf etiketleri arasında kablosuz iletişim standartları gruplarından WAN, LAN ve LPWAN yer almaktadır. Öznitelikler arasında ise Çizelge 1 ile verildiği gibi bir akıllı ev ve çevresi ile ilgili coğrafi yapı, yerleşim planlaması, bina mimarisi, canlı sayısı, yaş ortalaması, kameralı sistem sayısı, sensörlü sistem sayısı, kritik sensör kullanımı ve veri iletim sıklığı bulunmaktadır.

Belirlenen öznitelikler arasından coğrafi yapı, yerleşim planlaması ve bina mimarisi coğrafi bilgi sistemleri (CBS) üzerinden elde edilebilmektedir. Şöyle ki, CBS ile konum bazlı olarak çevrenin coğrafi özellikleri ve yerleşim planlaması ile ilgili bilgiler çekilebilmektedir. CBS üzerinde tanımlanmış olarak bina mimarisi bilgileri de benzer şekilde alınabilmektedir. Bu çalışmada tasarlanan konsept ve yöntemlerin uygulamaya geçirilmesinde CBS uygulamalarının kullanılabilmesi düşünülmüştür. Ayrıca bu bilgiler kablosuz iletişim kanalı karakteristiği ile yakın ilişkilidir. Diğer öznitelikler arasından canlı sayısı ve yaş ortalaması kişi bilgileri ile ilişkili olmaktadır. Dolayısıyla, akıllı ev içerisinde yaşayacak kişilerin bilgilerinin girilmesi sonrası bu özniteliklerin çıkarılabilmesi sağlanacaktır. Kalan son dört öznitelik ise akıllı evde bulunacak bileşenler için sistem bilgilerini içermektedir. Kameralı sistem sayısı, sensörlü sistem sayısı, kritik sensör

Çizelge 1: Öznitelikler ile kablosuz iletişim kanalı ve haberleşme gereksinimi ilişkileri.

No	Öznitelik	Kablosuz İletişim Kanalı ve Haberleşme Gereksinimi İlişkisi	Normalize Değer Aralığı
1	Coğrafi Yapı	- Zorlu ortamlarda çoklu yol etkileri artış gösterir.	Zorlu (1) – Basit (10)
2	Yerleşim Planlaması	- Kentsel senaryolarda çoklu yol etkileri artış gösterir. - Yol kaybı karakteristiği planlamaya göre değişim gösterir.	Kentsel (1) – Kırsal (10)
3	Bina Mimarisi	- Zorlu mimarilerde çoklu yol etkileri artış gösterir. - Yol kaybı karakteristiği planlamaya göre değişim gösterir.	Zorlu (1) – Basit (10)
4	Canlı Sayısı	- Sayı arttıkça hareketliliğe bağlı kanal etkileri değişim gösterir.	Çok (1) – Az (10)
5	Yaş Ortalaması	- Ortalama değiştikçe uygulama kullanımları farklılaşacaktır.	Çok (1) – Az (10)
6	Kameralı Sistem Sayısı	- Sayı arttıkça veri iletim yoğunluğu ve veri hacmi artış gösterir.	Çok (1) – Az (10)
7	Sensörlü Sistem Sayısı	- Nesnelerin İnterneti tabanlı bileşen sayısına karşılık gelir.	Çok (1) – Az (10)
8	Kritik Sensör Kullanımı	- Kullanım söz konusu ise güvenilirlik gereksinimi önem kazanır.	Var (1) – Yok (10)
9	Veri İletim Sıklığı	- Sıklık arttıkça veri iletim yoğunluğu ve veri hacmi yükselir.	Sürekli (1) – Aralıklı (10)

Çizelge 2: Kullanıcı girdileri üzerinden öznitelik çıkarımı sırasında kullanılabilen soru listesi.

No	Uygulamada Kullanıcıya Yöneltilen Sorular	İlişkili Öznitelik
1	Binanın bulunduğu bölgenin dağlık/tepelik arazi yoğunluğu nasıldır?	Coğrafi Yapı
2	Bina bir ovada mı konumlanıyor?	
3	Bina ormana yakın mı?	
4	Binanın suya (deniz, nehir, vb.) yakınlığı nedir?	
5	Binanın bulunduğu bölgede yağış miktarını nasıl tanımlarsınız?	Yerleşim Planlaması
6	Binanın bulunduğu bölge şehir merkezinde veya kırsalda mı bulunuyor?	
7	Binanın bulunduğu bölgedeki binaların genel yüksekliği nasıl?	
8	Binanın bulunduğu bölgedeki binaların sıklığı nasıl?	
9	Binanın yapı malzemesi nedir?	Bina Mimarisi
10	Binanın cam oranı nasıldır?	
11	Evde kaç oda bulunuyor?	
12	Eviniz kaç metrekare?	
13	Evde kaç kişi yaşıyor?	Canlı Sayısı
14	Evde 50 yaş ve üzerinde kaç kişi var?	
15	Evde bulunan evcil hayvan sayısı kaçtır?	
16	Evde yaşayan insanların yaş bilgilerini girer misiniz?	Yaş Ortalaması
17	Evde kamera sistemi var mı?	Kameralı Sistem Sayısı
18	Evde kaç adet kamera var?	
19	Akıllı evde aşağıdakilerden hangileri kullanılacak? - Ev aydınlatma kontrol sistemleri - Güvenlik sistemleri - Hareketli aydınlatma kontrolü sensörleri - Termostatlar - Akıllı fişler - Akıllı anahtarlı uzatma kabloları - Fırın, ocak uzaktan kontrol - Bahçe uzaktan kontrol sulama sistemleri - Gaz kaçağı, yangın vs. anlarında telefona anlık bildirim gelmesi	Sensörlü Sistem Sayısı Kritik Sensör Kullanımı Veri İletim Sıklığı

kullanımı ve veri iletim sıklığı akıllı evin tasarımı sürecinde karar verilecek bilgileri oluşturmaktadır. CBS bilgileri, kişi bilgileri ve sistem bilgileri olmak üzere üç grup öznitelik çeşidinden yapay veri kümesi üretimi sırasında yararlanılmıştır. Son aşamada toplam dokuz öznitelik bu üç grup üzerinden gerekli bilgilerin toplanması ile temin edilmiştir.

Özniteliklerin çıkarımı noktasında gerçek bir uygulamada Çizelge 2 üzerinde verilen soruların kullanılabilmesi düşünülmüştür. Kullanıcılardan bu sorulara cevaplar alınarak öznitelik çıkarılması sağlanabilecektir. Söz konusu sorulara verilebilecek cevaplar özniteliklerin alacağı normalize değer aralıklarına haritalandırılabilir.

Çizelge 1 üzerinde verilen öznitelikler ile kablosuz iletişim kanalı ve haberleşme gereksinimi ilişkilerine daha detaylı şekilde bakılacak olursa; akıllı ev ve çevresi ile ilgili olarak coğrafi yapı, yerleşim planlaması, bina mimarisi ve canlı sayısı kablosuz iletişim kanalını değiştirmektedir. Yaş ortalaması, kameralı sistem sayısı, sensörlü sistem sayısı, kritik sensör kullanımı ve veri iletim sıklığı ise haberleşme gereksinimlerine yoğun şekilde etki etmektedir.

Coğrafi yapının zorlaştığı, örneğin dağlık ve ormanlık arazinin yaygın olduğu bölgelerde kablosuz iletişim kanalı açısından çoklu yol etkileri artış göstermektedir. Bu tür durumlarda WAN grubu yerine diğer standartların seçimi daha makul hale gelmektedir. Yerleşim planlaması açısından ise, kentsel senaryolarda yine çoklu yol etkilerinde artış oluşmaktadır. Dolayısıyla kentsel senaryolardaki yapılaşmanın yoğunluğuna bağlı olarak yine WAN grubu yerine diğer kablosuz haberleşme standartlarının seçtirilmesi daha tercih edilir olmaktadır. Bir benzer durum da bina mimarisi özniteliği için gerçekleşmektedir. Bina içi ve dışı arasındaki kablosuz iletişimin zorlaşacağı senaryo durumları için yine WAN grubu kablosuz iletişim standartları problem çıkarabilmektedir. Coğrafi yapı, yerleşim planlaması ve bina mimarisi öznitelikleri için aksi durumlarda diğer özniteliklerin önemi daha fazla olmaktadır.

Diğer özniteliklere bakıldığında, ortamdaki canlı sayısının fazla olması, doğal olarak hareketlilik miktarının yükselmesini beraberinde getirecektir. Bu noktada hareketliliğe bağlı kablosuz iletişim kanalı karakteristikleri değişim göstermeye başlayacaktır. Örnek olarak yüksek hareketlilik içeren senaryolarda WAN grubu haberleşme standartları daha etkin çözüm sunmaktadır. Beşinci öznitelik olarak, akıllı ev içerisinde yaşayacak kişilerin yaş ortalaması tercih edilecek uygulamalar açısından farklılık oluşturmaktadır. Genel olarak, yaş ortalaması arttıkça daha yoğun bir veri iletimi gereksini-

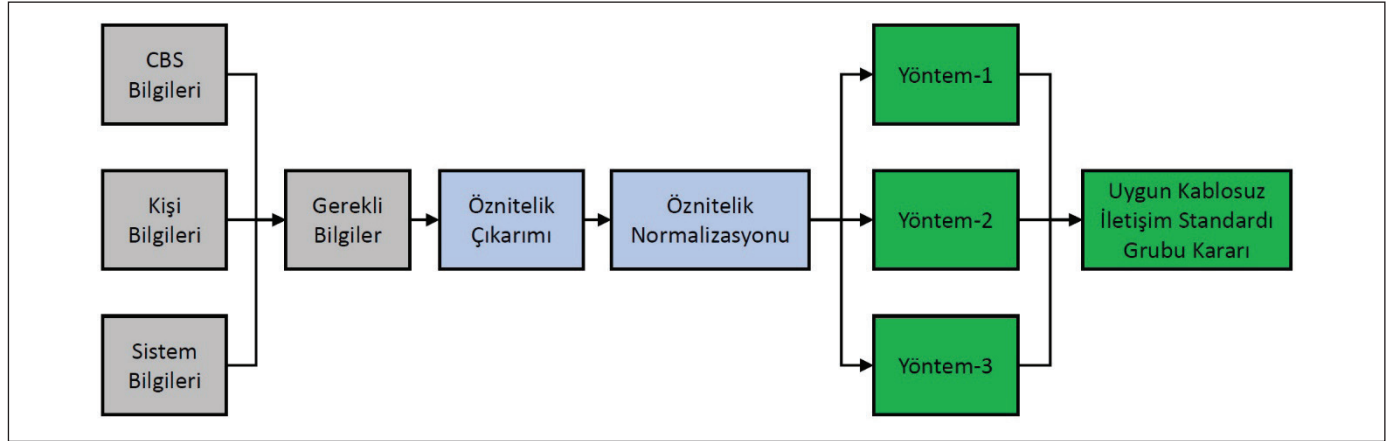
mi doğabilmekte, bu sebeple LPWAN standart grubu ihtiyacı karşılama noktasında zayıf kalabilmektedir.

Yaş ortalaması özniteliğindeki bir mantıkla, altıncı öznitelik olarak, kameralı sistem sayısının azlık ya da çokluğunda LPWAN ve diğer iletişim standardı grupları arasında bir tercih yapılması söz konusu olabilmektedir. Sensörlü sistem sayısı özniteliği için ise bu sayıda bir artış olursa Nesnelerin İnterneti tabanlı bileşen sayısının artması söz konusudur. Bu sebeple LPWAN standart grubu ön plana çıkmaktadır. Diğer yandan, kritik sensör kullanımının varlığı söz konusu olduğunda güvenilirlik ölçütü önem kazanmaktadır. Bu konuda farklı standartlar arasından 5G haberleşmesini içeren WAN standart grubu güvenilirlik ihtiyacını daha iyi karşılayabilmektedir. Son olarak, veri iletim sıklığı özniteliği veri iletim yoğunluğunu göstermekte ve yoğun bir iletim durumunda LAN standart grubu önemli olabilmektedir.

Görüldüğü üzere, farklı öznitelikler ile farklı sınıf etiketleri arasında değişen miktarlarda ilişkiler söz konusudur. Dolayısıyla, öznitelikler arasındaki ideal ilişkilerin yakalanması ve bu ilişkilerin tamamı göz önünde bulundurularak sınıf etiketleri arasından bir seçim yapılması için özel yöntemlerin geliştirilmesine ihtiyaç bulunmaktadır. Bu türde özniteliklerin bir arada olduğu ve öznitelik ilişkilerinin çıkarılmasında zorlanılacak durumlarda makine öğrenmesi hızlı bir çözüm imkanı sunmaktadır. Makine öğrenmesi ile farklı öznitelikler arasındaki ilişkilerin sınıf etiketleri arasından seçim yaptırma amacıyla hızlı şekilde çıkarılabilmesi sağlanmaktadır. Aynı zamanda sınıflar arası ayrıştırma adil bir denge kurma noktasında makine öğrenmesi teknikleri bu tür çok öznitelikli veri kümeleri açısından önemli bir fayda getirmektedir.

2.3. Geliştirilen Yaklaşım

Veri kümesi üretimi detaylarında anlatıldığı üzere farklı kaynaklardan (CBS, kişi ve sistem bilgileri) bilgiler toplanarak bu gerekli bilgilerden öznitelik çıkarımı yapılmaktadır. Öznitelik çıkarımı için kablosuz iletişim kanalı ve haberleşme gereksinimleri ile olan ilişkiler temel alınmaktadır. Şekil 2 üzerinde gösterilen blok diyagramda olduğu gibi öznitelik çıkarımı sonrasında öznitelik değerleri üzerinde bir normalizasyon işlemi yaptırılarak değerler 1-10 arasına çekilmektedir. Sonrasında bu normalize değerler, geliştirilen farklı yöntemlere girdi olarak verilmektedir. Yöntemlerin çıktısı olarak, mevcut şartlar açısından en uygun kablosuz iletişim standardı grubu kararına ulaşılmaktadır. Tavsiye kararı niteliğinde olan bu sonuca bakılarak bir akıllı ev sisteminde ne tür bir kablosuz iletişim standardının kullanılmasının daha



Şekil 2. Geliştirilen yaklaşımlar için kullanılan blok diyagram gösterimi.

etkin çözüm sağlayacağı belirlenebilecektir. Geliştirilen yaklaşım ve yöntemler özetle akıllı ev sistemi geliştiricilerini ve kullanıcılarını ilgilendirmektedir.

Şekil 2 üzerinde gösterilmiş olan, bu çalışmada geliştirilen üç farklı yöntemin ana özellikleri aşağıda özetle sunulmaktadır. Sonraki başlıkta bu yöntemlere ait sonuçlar verilerek birbirleriyle karşılaştırılmış ve makine öğrenmesine ne yönde ihtiyaçların olduğu yorumlanmıştır.

Yöntem-1: Bu yöntemde sadece makine öğrenmesi algoritmaları kullanılmaktadır. Normalize edilmiş özniteliklerin tamamı daha önceden eğitilmiş makine öğrenmesi modelini beslemekte, model çıktısı olarak da uygun kablosuz iletişim standardı grubu kararı verdirilmektedir. Bu kapsamda çoklu-sınıf sınıflandırma problemine çözüm aranmaktadır.

Yöntem-2: Bu yöntem iki aşamalı olarak uygulanmaktadır. İlk aşamada Sınıf-1 (WAN) öncelikle diğer iki sınıftan makine öğrenmesi kullanılmadan ayrıştırılmaktadır. Sonrasında ise ikinci aşamada ayrıca eğitilen makine öğrenmesi modeli Sınıf-2 (LAN) ve Sınıf-3 (LPWAN) ayrıştırması için görev almaktadır. Bu şekilde bir hibrit yaklaşım uygulanmaktadır. İlk aşamadaki Sınıf-1 ayrıştırmasında coğrafya, canlı sayısı, yaş ortalaması (yüksek ağırlıklı), kameralı sistem sayısı, kritik sensör kullanımı (yüksek ağırlıklı) ve veri iletim sıklığı öznitelikleri kullanılmıştır. Makine öğrenmesi için ise tüm öznitelikler girdi olarak verilmiştir.

Yöntem-3: Bu yöntem de iki aşamalı uygulanmaktadır. Fakat her iki aşamada da makine öğrenmesi kullanılmamıştır. İlk aşama olarak Yöntem-2 için kullanılan ilk aşamanın aynısı kullanılmıştır. İkinci aşamada ise Sınıf-2 ve Sınıf-3 arasında ayrıştırma yapmak için sensörlü sistem sayısı özneliğinden yararlanılmıştır.

Hem Yöntem-2 hem de Yöntem-3 için hangi özniteliklerin

kullanılacağına karar verilirken özniteliklerin sınıf tabanlı olarak sayısal dağılım grafikleri incelenmiş, makine öğrenmesi kullanılmayan yöntem aşamaları bu şekilde belirlenmiştir. Ayrıca, sayısal dağılım grafiklerine ek olarak sonraki bölümde ele alınan hata analizi sırasında karmaşıklık matrislerine bakılarak birbirlerine daha yakın ve daha uzak olan sınıf etiketlerinin belirlenmesi sağlanmıştır. Böylece Yöntem-2 ve Yöntem-3 için ilk etapta hangi sınıf etiketinin diğerlerinden ayrıştırılabileceğine karar verilebilmiştir. Bu noktada Sınıf-1 diğer iki sınıftan daha kolay ayrıştırılabilmektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde, farklı makine öğrenmesi modellerinin üretilen yapay veri kümesi üzerindeki başarıları karşılaştırılmış ve hangi makine öğrenmesi algoritmalarının bu veri kümesi için daha başarılı sonuç verdiği anlaşılmaya çalışılmıştır. Ayrıca geliştirilen farklı yöntemlerin sonuçları birbirleriyle kıyaslanarak birbirlerine karşı üstünlükleri ele alınmış ve yorumlama yapılmıştır.

MATLAB platformu ile üretilen yapay veri kümesi için 10.000 örneklem kullanılmıştır. Herbir örneklem sınıf etiketi ile birlikte dokuz öznitelik bulundurmaktadır. Makine öğrenmesi kullanılan yöntem aşamalarında yapay veri kümesi üzerinde 5-katlamalı çapraz doğrulama yapılarak modeller eğitilmiştir. Farklı sınıflandırma algoritmalarına yönelik hiperparametre optimizasyonları öncesinde deneme yanılma yöntemi ile yapılmıştır (Yang ve Shami 2020). Sonrasında ise, Python için scikit-learn kütüphanesinden yararlanılmış ve GridSearchCV aracı ile farklı sınıflandırma algoritmaları için hiperparametreler belirlenmiştir (Pedregosa vd. 2011). Nihai hiperparametreler kullanılarak alınmış sonuçlar aşağıdaki alt başlıklarda sunulmaktadır.

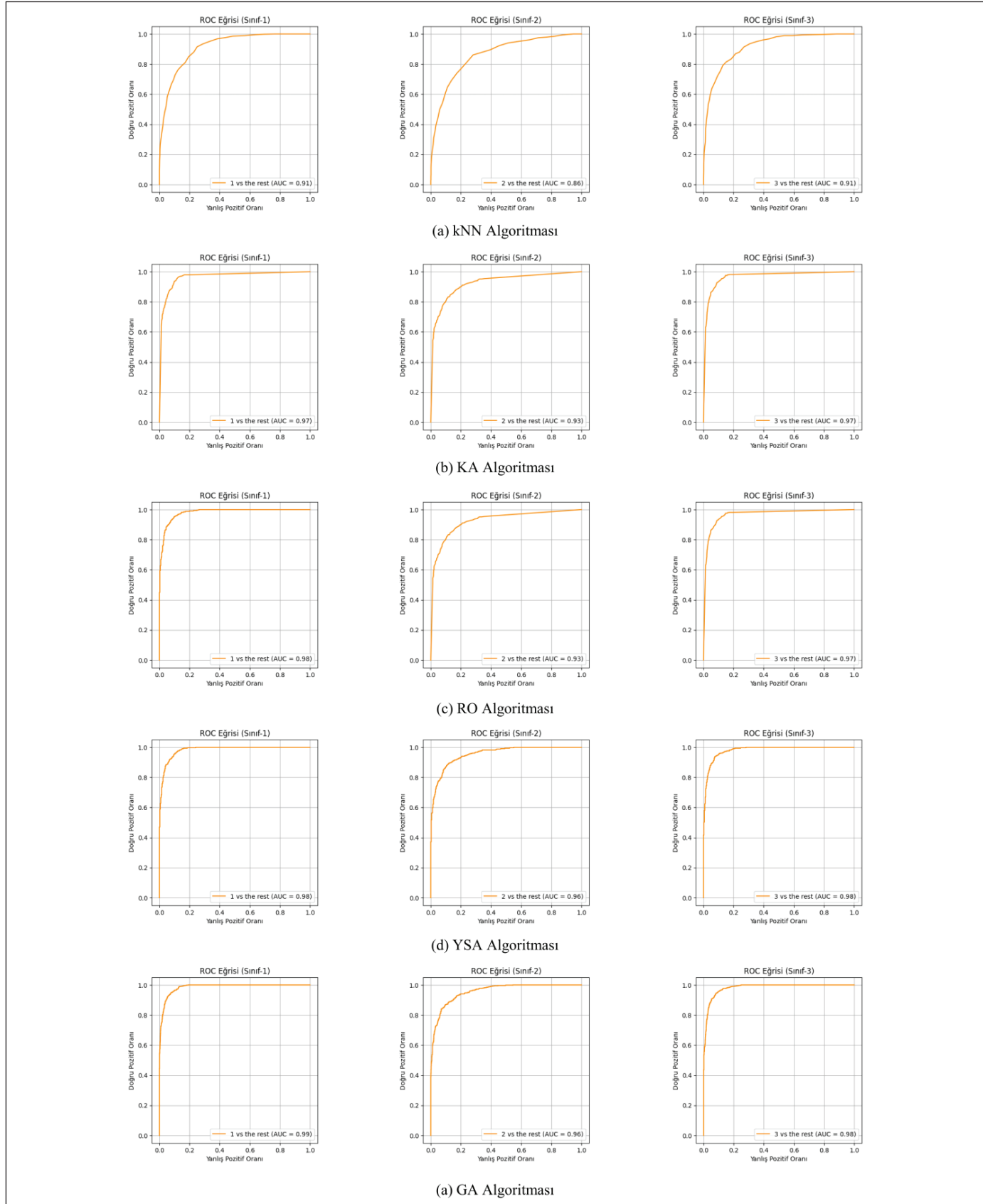
3.1. Yöntem-1 Sonuçları

Yöntem-1 kapsamında tüm öznitelikler kullanılarak tek bir aşamada makine öğrenmesinden yararlanılmıştır. Bu kapsamda k-En Yakın Komşu (kNN), Karar Ağacı (KA), Rastgele Orman (RO), Yapay Sinir Ağları (YSA) ve Gradyan Artırma (GA) sınıflandırma algoritmalarından yararlanılmıştır. RO ve GA topluluk öğrenmesi algoritmalarının özellikle YSA tabanlı algoritmalara karşı tablosal veri kümeleri üzerindeki olası üstünlüğünün araştırılabilmesi için bu sınıflandırma algoritmaları tercih edilmiştir. Literatürde bu

yönde araştırmalar yapılmaktadır (Shwartz-Ziv ve Armon 2022). KA algoritması ise RO algoritması ile karşılaştırılabilmek için çalışmaya dahil edilmiştir. Son olarak, klasik bir makine öğrenmesi algoritması olarak kNN algoritmasına da karşılaştırmalarda yer verilmiştir. Farklı algoritmalar için optimize edilmiş hiperparametreler ile alınan en iyi başarı sonuçları Çizelge 3 kapsamında sunulmuştur. Ayrıca bu sonuçlara karşılık gelen karmaşıklık matrisleri ve sınıf tabanlı ROC eğrileri sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4 üzerinde gösterilmiştir.

Gerçek	Sınıf-1	Sınıf-2	Sınıf-3	
	%76	%14	%9.8	Sınıf-1
	%14	%71	%14	Sınıf-2
	%9.4	%15	%76	Sınıf-3
Tahmin (Yöntem-1 için kNN)				
Gerçek	Sınıf-1	Sınıf-2	Sınıf-3	
	%89	%7.6	%3.5	Sınıf-1
	%25	%61	%14	Sınıf-2
	%12	%17	%71	Sınıf-3
Tahmin (Yöntem-2 için kNN)				
Gerçek	Sınıf-1	Sınıf-2	Sınıf-3	
	%88	%9.2	%3	Sınıf-1
	%11	%79	%10	Sınıf-2
	%2.8	%9	%88	Sınıf-3
Tahmin (Yöntem-1 için KA)				
Gerçek	Sınıf-1	Sınıf-2	Sınıf-3	
	%89	%9.1	%2.0	Sınıf-1
	%25	%67	%8.7	Sınıf-2
	%12	%11	%77	Sınıf-3
Tahmin (Yöntem-2 için KA)				
Gerçek	Sınıf-1	Sınıf-2	Sınıf-3	
	%89	%7.3	%3.6	Sınıf-1
	%8.1	%82	%9.7	Sınıf-2
	%1.9	%7.1	%91	Sınıf-3
Tahmin (Yöntem-1 için RO)				
Gerçek	Sınıf-1	Sınıf-2	Sınıf-3	
	%89	%9.2	%1.8	Sınıf-1
	%25	%67	%7.9	Sınıf-2
	%12	%8.3	%79	Sınıf-3
Tahmin (Yöntem-2 için RO)				
Gerçek	Sınıf-1	Sınıf-2	Sınıf-3	
	%89	%7.3	%3.6	Sınıf-1
	%7.5	%84	%8.8	Sınıf-2
	%2.2	%7.7	%90	Sınıf-3
Tahmin (Yöntem-1 için YSA)				
Gerçek	Sınıf-1	Sınıf-2	Sınıf-3	
	%89	%9.6	%1.5	Sınıf-1
	%25	%66	%9.2	Sınıf-2
	%12	%6.9	%81	Sınıf-3
Tahmin (Yöntem-2 için YSA)				
Gerçek	Sınıf-1	Sınıf-2	Sınıf-3	
	%92	%5.8	%2.1	Sınıf-1
	%7.9	%84	%8.1	Sınıf-2
	%2.6	%8.2	%89	Sınıf-3
Tahmin (Yöntem-1 için GA)				
Gerçek	Sınıf-1	Sınıf-2	Sınıf-3	
	%89	%9.2	%1.8	Sınıf-1
	%25	%68	%7.1	Sınıf-2
	%12	%8.2	%80	Sınıf-3
Tahmin (Yöntem-2 için GA)				

Şekil 3. Farklı sınıflandırıcı algoritmaları için alınmış karmaşıklık matrisleri.



Şekil 4. Farklı sınıflandırıcı algoritmalar için alınmış sınıf tabanlı ROC eğrileri.

Çizelge 3. Farklı algoritmalar için en iyi başarı sonuçları ve ilgili hiperparametreler.

Kullanılan Algoritma	Hiperparametre Seçimleri	Başarı Değerleri (Yöntem-1)	Başarı Değerleri (Yöntem-2)
kNN	Komşu Sayısı: 40	Doğruluk: %74.2 F1 skoru: 0.7425	Doğruluk: %72.7 F1 skoru: 0.7265
KA	Yapraktaki Min. Veri: 9 Bölmedeki Min. Veri: 8 Maks. Derinlik: 9	Doğruluk: %84.8 F1 skoru: 0.8475	Doğruluk: %76.8 F1 skoru: 0.7675
RO	Kestiri Sayısı: 200 Yapraktaki Min. Veri: 1 Bölmedeki Min. Veri: 5 Maks. Derinlik: 5	Doğruluk: %87.3 F1 skoru: 0.8725	Doğruluk: %77.9 F1 skoru: 0.7785
YSA	Gizli Katman: 20 Aktivasyon: Tanh Çözücü: Adam Maks. Tekrar: 1000	Doğruluk: %87.5 F1 skoru: 0.8750	Doğruluk: %77.8 F1 skoru: 0.7780
GA	Kestiri Sayısı: 500 Öğrenme Oranı: 0.1 Yapraktaki Min. Veri: 1 Bölmedeki Min. Veri: 2	Doğruluk: %88.3 F1 skoru: 0.8825	Doğruluk: %78.2 F1 skoru: 0.7820

kNN Algoritması: Bu algoritmada eğitilen modele test verileri verildiğinde en yakın komşusuna göre sınıflandırma işlemi yapılmaktadır. Optimize edilmeye çalışılan hiperparametre olarak da komşu sayısı ele alınmıştır. Komşu sayısı 40 olarak alındığında en yüksek doğruluk oranı olan %74.2 değerine ulaşılmıştır. Bu değer için alınan sonuçlar kapsamında karmaşıklık matrisi Şekil 3 üzerinde verilmektedir. Sınıf-1 ve Sınıf-3 için doğruluk oranları Sınıf-2'ye kıyasla daha yüksek olarak alınmıştır.

KA Algoritması: Bu algoritma kullanılarak yapraktaki minimum veri sayısı, bölmedeki minimum veri sayısı ve maksimum derinlik parametrelerine göre optimizasyon yapılmıştır. Son aşamada bu parametreler sırasıyla 9, 8 ve 9 olarak seçtirilmiştir. En yüksek doğruluk oranı olarak %84.8 değerine ulaşılmıştır. Karmaşıklık matrisinde Sınıf-1 ve Sınıf-3 için doğruluk oranları Sınıf-2'ye kıyasla daha yüksek olarak alınmıştır.

RO Algoritması: Hiperparametre olarak kestiri sayısı, yapraktaki minimum veri sayısı, bölmedeki minimum veri sayısı ve maksimum derinlik dikkate alınmıştır. Son aşamada bu parametreler sırasıyla 200, 1, 5 ve 5 olarak seçtirilmiştir. En yüksek doğruluk oranı olarak %87.3 değerine ulaşılmıştır. Karmaşıklık matrisinde Sınıf-3 için doğruluk oranı Sınıf-1 ve Sınıf-2'ye kıyasla daha yüksek olarak alınmıştır.

YSA Algoritması: Hiperparametre olarak gizli katman sayısı, aktivasyon fonksiyonu, çözücü algoritma ve maksimum tekrar sayısı dikkate alınmıştır. Son aşamada bu parametreler sırasıyla 20, Tanh, Adam ve 1000 olarak seçtirilmiştir. En yüksek doğruluk oranı olarak %87.5 değerine ulaşılmıştır. Karmaşıklık matrisinde Sınıf-3 için doğruluk oranı Sınıf-1 ve Sınıf-2'ye kıyasla daha yüksek olarak alınmıştır.

GA Algoritması: Hiperparametre olarak kestiri sayısı, öğrenme oranı, yapraktaki minimum veri sayısı ve bölmedeki minimum veri sayısı dikkate alınmıştır. Son aşamada bu parametreler sırasıyla 500, 0.1, 1 ve 2 olarak seçtirilmiştir. En yüksek doğruluk oranı olarak %88.3 değerine ulaşılmıştır. Karmaşıklık matrisinde Sınıf-1 için doğruluk oranı Sınıf-2 ve Sınıf-3'e kıyasla daha yüksek olarak alınmıştır.

Kullanılan sınıflandırma modellerine bakıldığında tüm sınıflar birlikte ele alındığında en yüksek doğruluk oranına ulaşan algoritmanın GA olduğu görülmektedir. Bununla birlikte Sınıf-1 için en başarılı algoritma GA; Sınıf-2 için en başarılı algoritma YSA ve GA; Sınıf-3 için en başarılı algoritma ise RO olarak karşımıza çıkmaktadır. Genel olarak topluluk öğrenmesi algoritmalarının kullanılan tablosal veri kümesi üzerinde daha başarılı olduğu anlaşılmıştır. (Shwartz-Ziv ve Armon 2022).

3.2. Yöntem-2 Sonuçları

Yöntem-2 ile ilgili sonuçlar yine aynı şekilde Çizelge 3 ve Şekil 3 üzerinde verilmiştir. İlk yöntemden farklı olarak iki aşamalı hibrit bir çözümün sunulduğu bu yöntemde öncelikle makine öğrenmesi kullanılmadan Sınıf-1 ayrıştırılmıştır. Sonrasında ise geriye kalan iki sınıf etiketi üzerinde yeni bir makine öğrenmesi modeli çalıştırılmıştır. Bu hibrit yöntemin başarı sonuçları genel olarak Sınıf-1 için daha iyi oluşsa da, yanlış negatif oranı açısından Yöntem-1 sonuçlarına kıyasla daha başarısız olmuştur. Genel doğruluk oranları %72.7 ile %78.2 arasında değişim göstermiştir. Kullanılan algoritmaların sıralaması açısından Yöntem-1 sonuçları ile farklılık olarak RO algoritması YSA algoritmasından çok az daha iyi sonuç vermiştir. Dolayısıyla topluluk öğrenmesi algoritmaları Yöntem-2'nin son aşaması kapsamında daha başarılı olmuştur. Bir diğer yorum olarak, her ne kadar Yöntem-2 yaklaşımı Sınıf-1 için Yöntem-1'e karşı üstünlük oluştursa da, GA algoritması Yöntem-1 ile Sınıf-1 açısından da daha iyi başarı göstermiştir. Bunun haricinde Sınıf-2 için en iyi sonucu GA ve Sınıf-3 için en iyi sonucu YSA vermiştir.

3.3. Yöntem-3 Sonuçları

İlk iki yöntemden farklı olarak makine öğrenmesinin hiç kullanılmadığı bir yöntem olarak, Yöntem-3 kapsamında ilk aşamada Yöntem-2 ile aynı yol izlenmiş, son aşamada ise Sınıf-2 ve Sınıf-3 arasında ayrıştırma sensörlü sistem sayısı özneliği kullanılarak yapılmıştır. Yöntem-3 için doğruluk oranı %73.1 olarak elde edilmiştir. Bu kapsamda Yöntem-3, kNN algoritmalarının kullanıldığı durumlarla benzer sonuçlar oluşturmuş, fakat ilk iki yöntemde diğer sınıflandırma algoritmalarının kullanıldığı durumlardan daha iyi bir sonuç vermemiştir.

Farklı tipte özneliklerin olduğu ve bu öznelikler arasında ilişki kurmanın zorlaştığı durumlar için yeni nesil makine öğrenmesi teknikleri pratik başarılı sonuçlar oluşturabilmektedir. Ele alınan özneliklerin herbirinin sınıf etiketlerine farklı yönlerden etki oluşturması sınıflandırma problemi zorlaştırmaktadır. Bununla birlikte, kNN algoritması gibi klasik makine öğrenmesi teknikleri bu çalışmadaki gibi veri kümeleri için zayıf kalabilmektedir.

3.4. Makine Öğrenmesi Algoritmalarında Eğitim ve Test Süreleri

Yöntem-1 ve Yöntem-2 için kullanılan makine öğrenmesi algoritmalarının eğitim ve test süreleri elde edilerek Çizelge 4 üzerinde sunulmuştur. Bu süreler bakıldığında, kNN ve KA algoritmalarının eğitim sürelerinin daha kısa olduğu gö-

rülmektedir. Gerçek zamanlı bir uygulama için daha kritik olan test sürelerinde ise KA ve YSA algoritmaları ön plana çıkmıştır. GA algoritması ise üçüncü sıradadır.

Çizelge 4. Farklı algoritmalar için alınan eğitim ve test süreleri.

Makine Öğrenmesi Algoritması	Eğitim Süresi (saniye)	Test Süresi (saniye)
kNN	0.104	2.687
KA	0.922	0.001
RO	3.589	0.491
YSA	38.357	0.038
GA	26.451	0.244

Çizelge 5. Kullanılan öznelikler için hesaplatılan bilgi kazancı ve reliefF değeri.

No	Öznelik	Bilgi Kazancı (Information Gain)	reliefF Değeri
1	Coğrafi Yapı	0.065	0.048
2	Yerleşim Planlaması	0.011	0.008
3	Bina Mimarisi	0.005	0.003
4	Canlı Sayısı	0.025	0.011
5	Yaş Ortalaması	0.067	0.024
6	Kameralı Sistem Sayısı	0.059	0.031
7	Sensörlü Sistem Sayısı	0.098	0.048
8	Kritik Sensör Kullanımı	0.033	0.013
9	Veri İletim Sıklığı	0.022	0.005

3.5. Hata Analizi

Yöntem-1 için alınan LogLoss (çapraz entropi kaybı) değerlerine göre, kararlılık açısından en iyi sonucu 0.310 ile yapay sinir ağları algoritması göstermiştir. En kötü sonuç ise karar ağacı algoritması ile 0.817 ile alınmıştır. Bu kapsamda, doğruluk oranları haricinde yapılan tahmin hatalarının gerçek değerden ne kadar uzak düştüğü incelenmiştir. Diğer algoritmaların LogLoss değerleri 0.310 ve 0.817 arasında değişiklik göstermiştir.

Çizelge 5 üzerinde, bu çalışmada kullanılan için hesaplatılan bilgi kazancı ve reliefF değerleri sunulmuştur. Bilgi kazancı, bir öznelik ve sınıf etiketleri düşünüldüğünde, beklenen bilgi miktarının hesaplanması şeklinde özetlenebilir ve ent-

ropinin azalma miktarı ile ilişkilidir. reliefF değeri ise, bir özneteliğin benzer veri örnekleri üzerinde sınıfları ayırt etme yeteneği olarak açıklanabilir. Bu kapsamda bilgi kazancı olarak, veri kümesindeki en değerli öznetelikler sensörlü sistem sayısı, yaş ortalaması, coğrafi yapı ve kameralı sistem sayısı olarak karşımıza çıkmıştır. Eğer öznetelik seçimi yapılmak istenseydi, bina mimarisi ve yerleşim planlaması öznetelikleri veri kümesine dahil edilmeyebilirdi. reliefF değeri açısından ise bina mimarisi ve yerleşim planlamasına ek olarak veri iletim sıklığı ve canlı sayısı da sınıflandırma için ayırt etme noktasında çok büyük bir etki oluşturamayabilmektedir. Fakat yine de küçük miktar da olsa tüm bu öznetelikler sınıflandırma başarısının artmasında rol oynamaktadır.

Son olarak, karmaşıklık matrisleri ve ROC eğrileri beraber değerlendirildiğinde, yanlış pozitif ve yanlış negatif değerleri açısından ardışık gelen sınıflar arasında daha yüksek oran olduğu, Sınıf-1 ve Sınıf-3 arasında ayırıştırma yapmanın daha kolay gerçekleştiği görülmektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

Yapılan çalışmanın sonuçlarına bakıldığında, geliştirilen makine öğrenmesi tabanlı yaklaşımın umut vaadedici olduğu görülmektedir. Tablosal veri kümeleri açısından topluluk öğrenmesi algoritmaları başarılı olabilmektedir. Akıllı ev sistemlerine yönelik olarak hangi kablosuz iletişim standartlarından yararlanılması gerektiğinin kararının tavsiye şeklinde verilmesi hususunda geliştirilen yaklaşımdan faydalanılabilecektir. Hem akıllı ev sistemlerinin tasarımcıları, hem de kullanıcıları bu geliştirilen yaklaşımdan yararlanabileceklerdir.

Gelecek çalışmalarda, kablosuz iletişim standartlarının gruplarından ziyade daha spesifik standartların bu tür bir çalışma ile belirlenebilmesi sağlanabilecektir. Dolayısıyla daha fazla sınıf etiketi arasından seçim yaptırılması söz konusu olacaktır. Bu durumda problem zorlaşabilecek, daha fazla özneteliğe ihtiyaç duyulabilecektir. Öznetelik sayısının artışına paralel olarak öznetelik indirgeme tekniklerinden yararlanılması gerekebilecektir. Yine sonraki çalışmalarda, geliştirilen yaklaşım için uygulamaya yönelik şekilde bir geliştirme yapılması söz konusu olacaktır. Bu noktada gerçek bir uygulama için farklı sistemlerden bilgi çekimi sürecinde çeşitli zorluklar yaşanabilecektir.

Yazar katkısı: Ahmet Yazar makalenin başlıca yazarıdır. Diğer yazarlar literatür taraması ve simülasyonlar için katkı vermiştir.

5. Kaynaklar

- Altunan, U., Sazak, H., Yazar, A. 2023.** ML-Based Service Type Priority Decision Method Using Ambient Information for 5G. International Conference on Smart Applications, Communications and Networking (SmartNets), Istanbul, Turkey.
- Dzogovic, B., Santos, B., Noll, J., Do, VT., Feng, B., Do, TV. 2019.** Enabling Smart Home with 5G Network Slicing. IEEE 4th International Conference on Computer and Communication Systems (ICCCS), s.543, Singapore.
- Emam, KE. 2020.** Accelerating AI with Synthetic Data. O'Reilly Media, Inc.
- Eren, HA., Adar, N., Yazar, A. 2023.** Vehicle-to-Everything Communications Standard Selection Under Different Intelligent Transportation Scenarios with Artificial Learning. Journal of Intelligent Systems: Theory and Applications, 6(1):67-74.
- Hançer, A., Yazar, A. 2023a.** Waveform Decision Method with Machine Learning for 5G Uplink Communications. International Journal of Engineering Research and Development, 15(2):820-827.
- Hançer, A., Yazar, A. 2023b.** Multi-Carrier and Single-Carrier Waveform Decision Method in Non-Terrestrial Networks. 31st Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Istanbul, Turkey.
- Horyachyy, O. 2017.** Comparison of Wireless Communication Technologies used in a Smart Home. MS Thesis, Blekinge Institute of Technology.
- Insight, B. 2022.** Smart Homes and Home Automation. Technical Report (9th Ed.).
- Kihero, AB., Tusha, A., Arslan, H. 2021.** Wireless Channel and Interference. Wireless Communication Signals: A Laboratory-based Approach. Wiley, ch. 10, s.267.
- Nikolenko, SI. 2022.** Synthetic Data for Deep Learning. Springer Cham.
- Parikh, PP., Kanabar, MG., Sidhu, TS. 2010.** Opportunities and challenges of wireless communication technologies for smart grid applications. IEEE PES General Meeting, USA.
- Pedregosa, F., vd. 2011.** Scikit-learn: Machine Learning in Python. Journal of Machine Learning Research, 12:2825-2830.
- Shilpa, B., Radha, R., Movva, P. 2022.** Comparative Analysis of Wireless Communication Technologies for IoT Applications. Artificial Intelligence and Technologies. Lecture Notes in Electrical Engineering, vol 806. Springer, Singapore.
- Sazak, H., Yazar, A. 2023.** Ambient Aware User-Numerology Association for 5G and Beyond. Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Turkey.

- Stefanov, DH., Bien, Z., Bang, WC. 2004.** The smart house for older persons and persons with physical disabilities: structure, technology arrangements, and perspectives. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 12(2):228-250.
- Shwartz-Ziv, R., Armon, A. 2022.** Tabular Data: Deep Learning is Not All You Need. *Information Fusion*, 81:84-90.
- Yang, L., Shami, A. 2020.** On hyperparameter optimization of machine learning algorithms: Theory and practice. *Neurocomputing*, 415(1):295-316.
- Yarkan, S., Arslan, H. 2008.** Exploiting Location Awareness toward Improved Wireless System Design in Cognitive Radio. *IEEE Communications Magazine*, 46(1):128-136.
- Yazar, A., Çetin, AE., Töreyn, BU. 2012.** Human activity classification using vibration and PIR sensors. 20th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Mugla, Turkey.
- Yazar, A., Çetin, AE. 2013.** Ambient assisted smart home design using vibration and PIR sensors. 21st Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Girne.
- Yazar, A., Dogan-Tusha, S., Arslan, H. 2020.** 6G Vision: An Ultra-Flexible Perspective. *ITU Journal on Future and Evolving Technologies – Volume 2020*, Article 9, 1(1):1-20.
- Yazar, A. 2021.** Requirement Analysis and Clustering Study for Possible Service Types in 6G Communications. 29th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Istanbul, Turkey.



Accurate and Sensitive Determination of Mefenpyr-diethyl in Barley, Oat and Corn Silk Matrices by Gas Chromatography – Flame Ionization Detector (GC–FID)

Mefenpir-dietilin Arpa, Yulaf ve Mısır Püskülü Matrislerinde Gaz Kromatografisi – Alev İyonizasyon Dedektörü (GC-FID) ile Doğru ve Hassas Tayini

Hakan Serbest* 

İstanbul Health and Technology University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Chemical Engineering, İstanbul, Türkiye

Abstract

Pesticides are frequently utilized in the cultivation of agricultural products for human consumption to prevent / minimize the detrimental effects caused by pests and to keep the yield at the desired levels at harvest time. Besides the benefits of pesticides, unconscious use of pesticides causes the occurrence of different diseases. Monitoring the levels of pesticide residues is of vital importance for the environment, human, and other living organisms. In the present study, an analytical method was reported for the determination of mefenpyr-diethyl (MFD) as a member of the herbicide group by gas chromatography flame ionization detector (GC-FID) system with high accuracy and sensitivity. An in-column temperature program was established to effectively separate the analyte, and MFD was determined at a retention time of 5.2 min. The limit of detection (LOD), the limit of quantitation (LOQ), and the linear working range were found to be 0.01 mg/L, 0.04 mg/L, and 0.07-29.7 mg/L, respectively. The applicability of the determination method was investigated by recovery studies with barley, oat, and corn silk matrices. No analytical signal was recorded for MFD in blank samples of all three species. Recovery results close to 100% showed that MFD could be determined with high accuracy in barley, oat, and corn silk matrices.

Keywords: GC-FID, mefenpyr-diethyl, herbicide, grain matrix

Öz

İnsan tüketiminde olan zirai ürünlerin yetiştirilmesinde zararlıların neden olacağı bozucu etkileri önlemek / en aza indirmek ve hasat sırasında verimin istenen seviyelerde tutmak amacıyla pestisitlerden sıklıkla yararlanılmaktadır. Pestisitlerin faydalarının yanı sıra, bilinçsiz kullanımı farklı hastalıkların ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Pestisit kalıntılarının seviyelerinin izlenmesi çevre, insanlar ve diğer canlı organizmalar için hayati önem taşımaktadır. Bu çalışmada, herbisit grubunun bir üyesi olan mefenpir-dietilin (MFD) gaz kromatografisi alev iyonizasyon dedektörü (GC-FID) sistemi ile yüksek doğruluk ve hassasiyetle tayini için analitik bir yöntem rapor edilmiştir. Analitin etkili bir şekilde ayrılması için kolon içi sıcaklık programı oluşturulmuş ve 5,2 dakikalık bir alıkonma süresinde MFD tayin edilmiştir. Gözlenebilme limiti (GL), tayin limiti (TL) ve doğrusal çalışma aralığı sırasıyla 0,01 mg/L, 0,04 mg/L, ve 0,07-29,7 mg/L olarak bulunmuştur. Tayin yönteminin uygulanabilirliği arpa, yulaf ve mısır püskülü örnekleri ile yapılan geri kazanım çalışmaları ile araştırılmıştır. Her üç türün kör numunelerinde MFD için analitik bir sinyal kaydedilmemiştir. %100'e yakın geri kazanım sonuçları arpa, yulaf ve mısır püskülü örneklerinde yüksek doğrulukta MFD'nin tayin edilebileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: GC-FID, mefenpir-dietil, herbisit, tahıl matrisi

1. Introduction

Pesticides are chemicals widely used in agriculture and public health to increase crop yields by eliminating or minimiz-

ing the effects of pests (Ross and Carr 2019). In addition to their role in preventing diseases, pesticides are also preferred in agriculture both before and after harvesting to improve the quality and quantity and to enhance the storage period of agricultural products (Chormey 2021, Durak et al. 2020, Weiss et al. 2004). However, over the years, detrimental effects on the health of humans and other living things have been identified due to DDT (dichlorodiphenyltrichloroethane) usage, and therefore scientists have focused on the

*Corresponding author: hakan.serbest@istun.edu.tr

Hakan Serbest  orcid.org/0000-0003-2303-0408



development of pesticides that are more environmentally friendly (Rosini et al. 2008, Umetsu and Shirai 2020). Parameters such as chemical structure, target organism, mode of application, mechanism of action, organic/inorganic and natural/synthetic type are prominent in the classification of pesticides (Chormey et al. 2017). Pesticides are grouped as fungicides, insecticides, and herbicides, depending on the target organisms (Lushchak et al. 2018). Among them, herbicides are a type of pesticide that has been widely used to control of weeds growing in crop and non-crop areas since about the 1940s (Kettles et al. 1997). It has been reported that herbicides have a global share of approximately 50% in the pesticide class. Besides crop areas, herbicides are often preferred to eliminate aquatic plants in the lake, weeds that grow on the side of the road and shrub-derived plants (Yang et al. 2021). Uncontrolled use of herbicides in agricultural applications not only causes environmental pollution by contaminating the soil and water resources, but also the accumulation of herbicide residues in aquatic environments and soil poses a risk to the living life using these environments (Li et al. 2023). The harmful impacts of herbicides on human and living organisms' health depend on various factors including the type of chemicals, the amount of consumption, the duration and the type of exposure (Aparecida et al. 2013). It has been reported that long-term exposure to these substances can cause a range of health consequences such as neurodegenerative diseases, cancer, and reproductive and respiratory problems (Maes et al. 2021).

Mefenpyr-diethyl (MFD), a member of the herbicide group, is a chemical belonging to the pyrazoline group and is a preservative used in combination with different herbicides to reduce the effect of weed species in the cultivation of grain crops such as barley, oats, wheat, and triticale (Bianchi et al. 2021). It has been reported that MFD is effective on plant growth and being protective, but its excessive dose causes the drying of plant roots (Taylor et al. 2013). The American Society of Plant Biologists has reported MFD as an herbicide with carcinogenic effects. Due to its carcinogenic potential, the arrival of this herbicide in resources such as water and soil is a cause for concern to the public and regulatory agencies (El Boukili et al. 2018). For this reason, qualitative and quantitative determination of MFD concentration in ground and surface water samples, soil samples, and human consumption food samples is crucial for monitoring these effects and taking precautions.

Chromatography, which is widely used in the separation and qualitative and quantitative determination of pesticides and

other organic molecules, is categorized under two headings according to the type of mobile phase as gas chromatography (GC) (Erarpat et al. 2019) and liquid chromatography (LC) (Tekin et al. 2023). Among these methods, GC is an analytical method with a high capability in separating volatile organic compounds. The several detector types such as nitrogen phosphorus detector (NPD) (Tian et al. 2014), thermal conductivity detector (TCD) (Budiman et al., 2015), electron capture detector (ECD) (Tandon et al. 2015), mass spectrometry (MS) (Kapukiran et al. 2019), flame photometric detector (PID) (Sun et al. 2014) and flame ionization detector (FID) (de Souza Pinheiro and de Andrade 2009) are generally utilized in the GC system for the determination of pesticides. Here, GC-FID was applied in the method development studies.

The main objective of this study was to determine the MFD in barley, oat, and corn silk matrices with high accuracy in the GC-FID system. Since herbicides containing MFD are frequently used to control weeds in barley, oats and wheat cultivation in the fields, these grain samples were selected as real samples for qualitative/quantitative determination of herbicide residues. The recovery studies confirmed the applicability of the applied method carried out with these samples.

2. Material and Methods

2.1. Instrumentation

An Agilent 6890N model gas chromatography system and flame ionization detector were employed in the separation/determination of MFD. The Chemstation software, which is compatible with the GC-FID system, was used to display, evaluate, and record the analytical data obtained. The hydrogen gas required for the system was supplied from the Domnick Hunter model 40H hydrogen generator. The length, film thickness and inner diameter of the column (HP-5MS) utilized in the separation of MFD were defined as 30 m, 0.25 μm , and 250 μm , respectively. The detector and inlet temperatures were kept constant at 250 $^{\circ}\text{C}$. The sample volume injected into the system in splitless mode was 1.0 μL . The oven temperature program was set in ramp mode to ensure the effective separation in 6.1 minutes as follows: From 100 $^{\circ}\text{C}$ to 220 $^{\circ}\text{C}$ in 50 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ increments, from 220 $^{\circ}\text{C}$ to 270 $^{\circ}\text{C}$ in 30 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ increments with 2.0 minutes of hold time. In the sample preparation step, a vortex (Isolab) and an ultrasonic bath (Alex Machine) were used for the mixing process. The phase separation was achieved by employing a centrifuge (Hettich-EBA20) at 3000 rpm.

A four-digit analytical balance (OHAUS PA214C) was utilized throughout all standard/sample preparations.

2.2. Chemicals and Reagents

High purity mefenpyr-diethyl (CAS: 135590-91-9) was obtained from Dr. Erhrenstorfer (Germany). 1000 mg/L stock standard MFD solution was prepared in acetonitrile (Isolab). Gravimetric dilution of the stock solution was carried out with acetonitrile to prepare MFD standard solutions at different concentrations. 10 µL ethanol (Isolab) was used to wash the injection unit that feeds the sample into the system.

2.3. Samples

The barley, oat and corn silk samples used in the recovery studies were purchased from a local herbalist in İstanbul, Türkiye. 1.0 g of barley and oat samples whose surface areas were increased by crushing and grinding processes were weighed and diluted to 5.0 g with 5.09 mL of acetonitrile. 0.50 g of the corn silk sample, whose surface area was increased by cutting with sterile scissors, was weighed, and diluted to 5.0 g with 5.73 mL of acetonitrile. All three samples were extracted by mixing in 60 s vortex and 60 s ultrasonic bath, respectively and then used as blank samples after centrifugation and filtration. The prepared solutions were spiked to final concentrations of 2.5, 5.0 and 10 mg/L for recovery studies.

3. Results and Discussion

3.1. Qualitative and Quantitative Determination of MFD

All MFD calibration standard solutions were analyzed in triplicate under the temperature program and operating conditions given in Section 2.1 to investigate the accuracy, precision, and applicability of the proposed method. The retention time for MFD was recorded as 5.2 min (Figure 1) and the nine-point calibration plot was obtained based the mean peak areas. The linear dynamic range was determined between 0.07 and 29.7 mg/L with a coefficient (R^2) of 1.0000. The lowest concentration with a signal-to-noise ratio ≥ 3 was sent to the GC-FID system six times, and the obtained standard deviation value was employed in the following formulas given in Equations 1, 2, and 3 to calculate

the limit of detection (LOD), the limit of detection (LOQ), and percent relative standard deviation (RSD%) and these values found to be 0.01 mg/L, 0.04 mg/L and 8.7%, respectively (Serbest et al. 2023, Yağmuroğlu 2023):

$$\text{LOD} = 3 \times \text{Standard deviation} / \text{Slope of calibration plot} \quad (1)$$

$$\text{LOQ} = 10 \times \text{Standard deviation} / \text{Slope of calibration plot} \quad (2)$$

$$\text{RSD\%} = 100 \times \text{Standard deviation} / \text{Mean} \quad (3)$$

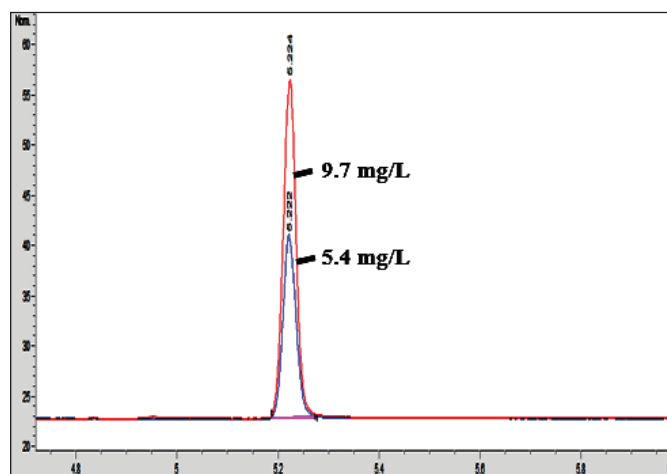


Figure 1. The overlay chromatograms of MFD standard solutions under proposed GC-FID conditions.

The MFD standard solution with a concentration of 5.4 mg/L was analyzed on three different days to investigate the precision of the GC-FID system. The RSD% between the obtained peak areas was close to 6.5%. This result showed that the GC-FID system has high repeatability for the determination of MFD. The analytical performance values of the GC-FID system for MFD determination under the proposed conditions are summarized in Table 1.

3.2. Recovery Studies in Real Samples

Pesticides are complex substances widely used in agricultural areas to prevent or reduce the effects of harmful organisms and pose a risk to human health and other living organisms (Özcan et al. 2020). Pesticide residues can be found

Table 1. System analytical performance values of GC-FID for MFD determination.

Analyte	LOD, mg/L	LOQ, mg/L	Linear Range, mg/L	R^2	RSD%
Mefenpyr-diethyl	0.01	0.04	0.07 – 29.7	1.0000	8.7

in products that reach the market from the field. Therefore, it is critical to perform qualitative/quantitative determinations of these products with high accuracy. In order to investigate the applicability of the proposed method, recovery studies were carried out on barley, oat and corn silk matrices. MFD has high solubility in acetonitrile. Hence, barley, oat and corn silk samples were extracted with acetonitrile as mentioned in the “Samples” section. Extracted samples were injected to the GC–FID system as blank solutions and the presence of MFD was investigated, but no analytical signal was observed in all three samples. After blank analysis, spiked samples were carefully prepared at 2.5, 5.0 and 10 mg/L and percent recovery values were calculated by external calibration method after four replicates measurements. The recovery results are presented in Table 2.

Table 2. Recovery results for barley, oat, and corn silk matrices

Sample	Spiked Concentration, mg/L	External Calibration Recovery ± Std. Dev., %
Barley	2.5	101.8 ± 4.7
	5.0	98.9 ± 1.3
	10	99.8 ± 1.2
Oat	2.5	104.3 ± 3.6
	5.0	103.4 ± 3.1
	10	101.2 ± 1.3
Corn Silk	2.5	97.6 ± 1.8
	5.0	101.5 ± 4.8
	10	101.0 ± 2.7

4. Conclusion and Suggestions

Within the scope of this study, an analysis method was presented in the GC–FID system for the direct determination of mefenpyr diethyl herbicide in barley, oat, and corn silk matrices. A gradual temperature program was applied to determine the MFD in a run time of 6.1 min. Under the specified conditions, the LOD value was found to be 0.01 mg/L with an 8.7% RSD. The applicability of the proposed method in real samples was evaluated with recovery experiments by spiking for three different concentrations using barley,

oat, and corn silk samples. Satisfactory percentage recovery results achieved between 97.6% and 104.3% with low standard deviations indicated the feasibility and the accuracy of the developed method for these grain matrices. Thanks to the presented method, MFD, which is used especially for the removal of weeds in grain cultivation, can be determined with high accuracy.

Author contribution: Hakan Serbest: Conceptualization, Formal analysis, Data curation, Methodology, Investigation, Validation, Visualization, Writing.

Ethics committee approval: No ethical approval is required.

5. References

- Aparecida, M., Campos Ventura-Camargo, B., Miyuki, M. 2013.** Toxicity of Herbicides: Impact on Aquatic and Soil Biota and Human Health. In *Herbicides - Current Research and Case Studies in Use*. InTech. Chapter 16: 400-443. DOI: 10.5772/55851
- Bianchi, L., Perissato, SM., Anunciato, VM., Dias, RC., Gomes, DM., Carbonari, CA., Velini, ED. 2021.** Stimulation action of mefenpyr-diethyl on soybean, wheat, and signal grass plants. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 56(2): 163–167. DOI: 10.1080/03601234.2020.1853459
- Budiman, H., Nuryatini, OZ. 2015.** Comparison between GC–TCD and GC–FID for the determination of propane in gas mixture. *Procedia Chemistry*, 16: 465–472. DOI: 10.1016/j.proche.2015.12.080
- Chormey, DS., Karakuş, Y., Karayaka, S., Özsöyler, Ç., Bozdoğan, AE., Bakirdere, S. 2017.** Multivariate optimization of dispersive liquid-liquid microextraction for the determination of paclobutrazol and triflumizole in water by GC–MS. *Journal of Separation Science*, 40(23): 4541–4548. DOI: 10.1002/jssc.201700853
- Chormey, DS. 2021.** Determination of Fenobucarb and Chlorbenside in Wastewater and Lake Water Samples by Gas Chromatography Mass Spectrometry. *European Journal of Science and Technology*, 21: 518–521. DOI:10.31590/ejosat.928133
- De Souza Pinheiro, A., De Andrade, JB. 2009.** Development, validation and application of a SDME/GC–FID methodology for the multiresidue determination of organophosphate and pyrethroid pesticides in water. *Talanta*, 79(5): 1354–1359. DOI:10.1016/j.talanta.2009.06.002
- Durak, BY., Chormey, DS., Firat, M., Bakirdere, S. 2020.** Validation of ultrasonic-assisted switchable solvent liquid phase microextraction for trace determination of hormones and organochlorine pesticides by GC–MS and combination with QuEChERS. *Food Chemistry*, 305: 125487. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125487

- El Boukili, A., Loudiyi, N., El Bazaoui, A., El Hourch, A., Taibi, M., El Boukili, A. 2018.** Adsorption and Desorption Behavior of Herbicide Mefenpyr-diethyl in the Agricultural Soils of Morocco. *Mediterranean Journal of Chemistry*, 7(5): 386–395. DOI: 10.13171/mjc7519111210255aeb
- Erarpat, S., Çağlak, A., Bodur, S., Chormey, SD., Engin, ÖG., Bakırdere, S. 2019.** Simultaneous Determination of Fluoxetine, Estrone, Pesticides, and Endocrine Disruptors in Wastewater by Gas Chromatography–Mass Spectrometry (GC–MS) Following Switchable Solvent–Liquid Phase Microextraction (SS–LPME). *Analytical Letters*, 52(5): 869–878. DOI: 10.1080/00032719.2018.1505897
- Kapukıran, F., Firat, M., Chormey, DS., Bakırdere, S., Özdoğan, N. 2019.** Accurate and Sensitive Determination Method for Procymidone and Chlorflurenol in Municipal Wastewater, Medical Wastewater and Irrigation Canal Water by GC–MS After Vortex Assisted Switchable Solvent Liquid Phase Microextraction. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 102(6): 848–853. DOI: 10.1007/s00128-019-02618-w
- Kettles, MK., Browning, SR., Prince, TS., Horstman, SW. 1997.** Triazine herbicide exposure and breast cancer incidence: an ecologic study of Kentucky counties. *Environmental Health Perspectives*, 105(11): 1222–1227. DOI: 10.1289/ehp.971051222
- Li, Y., Guo, R., Liang, X., Yao, B., Yan, S., Guo, Y., Han, Y., Cui, J. 2023.** Pollution characteristics, ecological and health risks of herbicides in a drinking water source and its inflowing rivers in North China. *Environmental Pollution*, 334: 122130. DOI:10.1016/j.envpol.2023.122130
- Lushchak, VI., Matviishyn, TM., Husak, VV., Storey, JM., Storey, KB. 2018.** Pesticide toxicity: a mechanistic approach. *EXCLI Journal*, 17: 1101–1136. DOI: 10.17179/excli2018-1710
- Maes, C., Meersmans, J., Lins, L., Bouquillon, S., Fauconnier, ML. 2021.** Essential Oil-based bioherbicides: Human health risks analysis. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(17): 9396. DOI: 10.3390/ijms22179396
- Özcan, R., Büyükpınar, Ç., Bakırdere, S. 2020.** Determination of fipronil and bixafen pesticides residues using gas chromatography mass spectroscopy with matrix matching calibration strategy after binary dispersive liquid–liquid microextraction. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*, 55(12): 1041–1047. DOI: 10.1080/03601234.2020.1808417
- Rosini, G., Borzatta, V., Paolucci, C., Righi, P. 2008.** Comparative assessment of an alternative route to (5-benzylfuran-3-yl) methanol (Elliott’s alcohol), a key intermediate for the industrial production of resmethrins. *Green Chemistry*, 10(11): 1146. DOI: 10.1039/b809088b
- Ross, MK., Carr, RL. 2019.** Pyrethroid Insecticides: An Update. In *Encyclopedia of Environmental Health (Second Edition)*, 429–435. DOI: 10.1016/B978-0-12-409548-9.11819-6
- Serbest, Z., Gorduk, O., Sahin, Y. 2023.** Electrochemical sensing of serotonin in food products by electrochemically fabricated s-doped graphene oxide electrode. *Journal of Analytical Chemistry*, 78(9): 1267–1279. DOI: 10.1134/S1061934823090125
- Sun, J., Cui, D., Guan, F., Zhang, L., Chen, X., Li, H. 2014.** Detection biomarkers of lung cancer using mini-GC-PID system integrated with micro GC column and micro pre-concentrator. *Nanoscale Research Letters*, 9(1): 576. DOI: 10.1186/1556-276X-9-576
- Tandon, S., Kumar, S., Sand, NK. 2015.** Development and validation of GC-ECD method for the determination of metamitron in soil. *International Journal of Analytical Chemistry*, 2015: 1–5. DOI: 10.1155/2015/592763
- Taylor, VL., Cummins, I., Brazier-Hicks, M., Edwards, R. 2013.** Protective responses induced by herbicide safeners in wheat. *Environmental and Experimental Botany*, 88: 93–99. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2011.12.030
- Tekin, Z., Özdoğan, N., Karlıdağ, NE., Bakırdere, S. 2023.** Stearic acid functionalized iron nanoparticle based magnetic solid-phase extraction (MSPE) for the determination of oxadiazon in purslane by high-performance liquid chromatography (HPLC). *Analytical Letters*, 56(1): 120–131. DOI: 10.1080/00032719.2022.2089887
- Tian, F., Liu, W., Fang, H., An, M., Duan, S. 2014.** Determination of six organophosphorus pesticides in water by single-drop microextraction coupled with GC-NPD. *Chromatographia*, 77(5–6): 487–492. DOI: 10.1007/s10337-013-2609-1
- Umetsu, N., Shirai, Y. 2020.** Development of novel pesticides in the 21st century. *45(2): 54–74.* DOI: 10.1584/jpestics.D20-201
- Weiss, B., Amler, S., Amler, RW. 2004.** Pesticides. *Pediatrics*, 113(3): 1030–1036. DOI: 10.1542/peds.113.S3.1030
- Yağmuroğlu, O. 2023.** Accurate and sensitive determination of Sb(III) in water samples using UV–VIS spectrophotometry after simultaneous complexation and preconcentration with deep eutectic solvent/DTZ probe-based liquid–liquid microextraction. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(1): 191. DOI: 10.1007/s10661-022-10809-y
- Yang, C., Lim, W., Song, G. 2021.** Reproductive toxicity due to herbicide exposure in freshwater organisms. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 248: 109103. DOI: 10.1016/j.cbpc.2021.109103



Asphodelus aestivus Brot. ve *Nigella sativa* L. Esansiyel Yağının Bazı Fungus Türlerine Karşı Antifungal Etkisi

Antifungal Effect of Essential Oil of Asphodelus aestivus Brot. and Nigella sativa L. Against Some Fungus Species

Alper Zöngür

Sivas Cumhuriyet Üniversitesi, Gemerek Meslek Yüksekokulu, Kimya ve Kimyasal İşleme Bölümü, Laboratuvar Teknolojileri Pr., Sivas, Türkiye

Öz

Günümüzde çoğu bitki farmasötik çalışmalarının konusunu oluşturmaktadır. Bu çalışma, tamamlayıcı tıpta sıklıkla kullanılan *Asphodelus aestivus* Brot. ve *Nigella sativa* L. bitki uçucu yağ içeriğinin belirlenmesi ve antifungal etkinliğinin değerlendirilmesi amacı ile yapılmıştır. Bitki uçucu yağlarının eldesi, hidrodistilasyon yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen uçucu yağ bileşenleri ise Gaz Kromatografisi-Kütle Spektrometresi (GC/MS) ile belirlenmiştir. *A. aestivus* Brot. bitkisinde toplam 22 farklı bileşen bulunmuş olup uçucu yağında pentakozan %15.19, trikozan %14.36, oktadekatrienoik asit %19.62 ve heksadekanoik asit %16.94 olarak belirlenmiştir. Benzer şekilde, *N. sativa* L. bitkisinde toplam 26 farklı bileşen bulunmuş olup uçucu yağında p-simen %23.64 ve timokinon %32.56 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, farklı konsantrasyondaki bitki uçucu yağları sırasıyla (0.1 µL, 1 µL, 10 µL, 100 µL, 1000 µL); *Fusarium oxysporum*, *Aspergillus flavus*, *Rhizopus oryzae*, *Penicillium expansum*, *Alternaria solani* ve *Aspergillus paraciticus* fungus türleri üzerinde test edilmiştir. Uçucu yağların antifungal aktivite testleri disk difüzyon metodu ile yapılmış ve inhibisyon çapları belirlenmiştir. Sonuç olarak, *A. aestivus* Brot. ve *N. sativa* L.'nin farklı uçucu yağ konsantrasyonlarının tüm türlerde etkili olduğu görülmüştür. Dahası, bitkisel uçucu yağların yüksek konsantrasyonlarının diğer türlere göre, *F. oxysporum* türlerini % 28.8-33.1 daha fazla inhibe ederken, *A. flavus* türlerini ise %22.4-26.1 oranında da daha az inhibe ettiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Antifungal etki, *Asphodelus aestivus*, *Nigella sativa*, uçucu yağlar

Abstract

Today, most plants are the subject of pharmaceutical studies. This study was conducted to determine the essential oil content of *Asphodelus aestivus* Brot. and *Nigella sativa* L. plants, which are frequently used in complementary medicine, and to evaluate their antifungal activity. Plant essential oils were obtained by hydrodistillation method. The components of the essential oils obtained were analyzed by Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC/MS). A total of 22 different components were found in the *A. aestivus* Brot. plant, and its essential oil was determined as pentacosane 15.19%, tricosane 14.36%, octadecatrienoic acid 19.62% and hexadecanoic acid 16.94%. Similarly, a total of 26 different components were found in *N. sativa* L. plant, and p-cymene was determined as 23.64% and thymoquinone was determined as 32.56% in its essential oil. Additionally, plant essential oils at different concentrations were used respectively (0.1 µL, 1 µL, 10 µL, 100 µL, 1000 µL); It has been tested on the fungal species *Fusarium oxysporum*, *Aspergillus flavus*, *Rhizopus oryzae*, *Penicillium expansum*, *Alternaria solani* and *Aspergillus paraciticus*. Antifungal activity tests of essential oils were performed by disk diffusion method and inhibition diameters were determined. As a result, different essential oil concentrations of *A. aestivus* Brot. and *N. sativa* L. were found to be effective in all species. Moreover, it was determined that high concentrations of herbal essential oils inhibited *F. oxysporum* species by 28.8-33.1% more and inhibited *A. flavus* species by 22.4-26.1% less than other species.

Keywords: Antifungal effect, *Asphodelus aestivus*, *Nigella sativa*, essential oils

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

Alper Zöngür orcid.org/0000-0003-4946-3199



Bu eser "Creative Commons Atıf-GayriTicari-4.0 Uluslararası Lisansı" ile lisanslanmıştır.

1. Giriş

Günümüzde ilaçlarda, kozmetik ürünlerde ve birçok sanayi ürününde tıbbi aromatik bitkiler kullanılmaktadır. Tıbbi aromatik bitkilerden bazıları boya, renklendirici ve bitki koruma ürünü olarak da değerlendirilmektedir (Rather vd. 2017). Ayrıca tıbbi aromatik bitkiler tamamlayıcı tıp uygulamalarında da sıklıkla kullanılmaktadır (Bharadvaja 2023). Tıbbi aromatik bitkiler, özelliklerinin çoğunu içerisinde barındırdığı uçucu yağlardan almaktadır. Uçucu yağların işlenmesiyle ilgili geleneksel teknolojiler büyük öneme sahiptir ve dünyanın birçok yerinde hala kullanılmaktadır. Üretim teknolojisi ile uçucu yağın genel verimi ve kalitesi arttırılabilmektedir. Tıbbi aromatik bitkilerin uçucu yağları; bulunduğu bitki kısmı, bitki türü ve bitkinin familyasına göre farklılık göstermektedir. Bitki kısımlarına göre farklılık gösteren uçucu yağların içerisinde birçok kimyasal bileşen bulunmaktadır. Bu kimyasallardan bazıları antifungal, antibakteriyel ve antiviral etkiye sahiptirler (Corrêa ve Ferreira 2023).

Bitki uçucu yağları, kokulu ve uçucu bileşiklerin karışımları olan ikincil metabolit molekülleridir. Genel olarak bitki uçucu yağları terpenoidler, terpenler ve fenoller dâhil olmak üzere uçucu maddelerin karışımlarıdır (Rao vd. 2019). Tıbbi aromatik bitkiler uçucu yağlar açısından zengindirler. Bitkinin kök, gövde, yaprak, çiçek, meyve, tohum ve ağaç kabuğu gibi farklı kısımlarından elde edilebilirler (Falleh vd. 2020). Tıbbi aromatik bitkilerin farklı kısımlarının nematisidal, insektisidal, antioksidan ve antihiperlipidemik gibi özellikleri de mevcuttur (Boyko ve Brygadyrenko 2021; Das vd. 2021; Radünz vd. 2021).

Türkiye’de tıbbi ve aromatik öneme sahip pek çok bitki mevcuttur. Bu bitkilerden çok fazla bilinmeyenlerinden bir tanesi halk arasında “çiriş” olarak bilinen *Asphodelus aestivus*’dur. *Asphodelus* cinsi (Liliaceae familyasına ait) 16 tür içermektedir (Boatwright 2012). *Asphodelus* cinsleri Türkiye’nin de içerisinde bulunduğu Akdeniz bölgesinde geniş bir dağılım göstermektedir. *A. aestivus* Türkiye’de eski zamanlardan beri geleneksel tıpta (yara iyileştirici ve egzama tedavisinde) ve gıda maddesi olarak (yöresel yemek yapımında) kullanılmaktadır (Ugulu vd. 2009, Malmir vd. 2018). *A. aestivus* geleneksel olarak fazla kullanılmasına rağmen bu bitkinin farmakolojik olarak kullanılması günümüzde yaygın değildir. Bu durumun bitkinin potansiyel yan etkilerinin tam olarak bilimsel çalışmalara konu olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Gras vd. 2018). Bu nedenle Türkiye’de yetişen *A. aestivus* bitkisinin biyolojik aktivitelerini belirlemek için daha çok çalışmaların yapılmasına ihtiyaç duyul-

maktadır. *A. aestivus* bitkisinin kimyasal içeriğinde; glikozitler, flavonoidler, triterpenler, alkaloidler, antrakononlar gibi çeşitli bileşikler bulunmaktadır (Aslantürk ve Çelik 2013). Ayrıca bitki içerdiği antioksidan ve antiinflamatuvar kimyasal bileşenleri sayesinde bazı cilt enfeksiyöz oluşumlarını engelleme de profilaktik olarak kullanılmaktadır (Malmir vd. 2018). Ayrıca, deride melanin üretiminde tirozin kinaz enzimini inhibe edebilmektedir (Polatoğlu vd. 2016). Tıbbi ve aromatik bitki olan *Nigella sativa*’nın ise Türkiye’de 12 türü, Akdeniz bölgesinde 20 türü bulunmaktadır. *N. sativa* L. bitkisi Ranunculaceae familyasına ait bir türdür. Geleneksel olarak *N. sativa* L. tohumları astım ve ishal tedavisinde tıp alanında kullanılmıştır (Ali ve Blunden 2003). Halk arasında “çörek otu” otu olarak bilinen bitki, yüksek besin içeriği bakımından zengindir. Bu yönüyle *N. sativa* L. bitkisinin tohumlarında bulunan besin içerikleri birçok bilimsel çalışmanın konusu olmuştur (Ramadan 2007). Bitki tohumları uçucu yağlar, proteinler, alkaloidler ve saponin içermektedir (Shafodino vd. 2022). Ayrıca, bitki tohumları uçucu yağında timokinon bulunmaktadır (Fatima vd. 2021). Çalışmalarda bitkinin bu bileşeninin biyolojik aktivitesinde önemli olduğu gösterilmiştir. Özellikle tohum uçucu yağlarında bulunan timokinonun antiinflamatuvar, analjezik, anti-piretik, antimikrobiyal aktiviteye sahip olduğu bildirilmiştir (Ali ve Blunden 2003).

Bu çalışmada, *A. aestivus* Brot. ve *N. sativa* L. bitki uçucu yağ içeriklerinin özellikle yapılan literatür araştırmalarında fazla çalışmanın olmadığı, fungus türleri üzerindeki etkinliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. *A. aestivus* bitkisinin çiçek kısımlarının uçucu yağ bileşenleri hakkında literatürde birkaç antimikrobiyal etki çalışması olmasına rağmen antifungal özelliği ile ilgili yayınlara rastlanmamıştır. Benzer şekilde, *N. sativa* L. bitki tohum bileşenleri çok fazla çalışmanın konusu olmakla birlikte çalışmada kullanılan fungus türleri üzerine yapılan çalışmaların sınırlı olduğu görülmüştür. Bu doğrultuda yapılan çalışma ile bitki uçucu yağlarının literatürde eksik olan fungus türleri üzerine olan etkinliğinin araştırılması amaçlanmıştır.

2. Gereç ve Yöntem

2.1. Çalışmada Kullanılan Bitkiler

A. aestivus Brot. (çiriş otu) 2023 yılı Nisan ayında Haliliye/Şanlıurfa Germus Dağı’ndan, *N. sativa* L. (çörek otu) bitkisi ise 2023 yılının Ağustos ayında Tekir/Kahramanmaraş bölgesinden temin edilmiştir. Örneklerin tür tanımlaması Davis’in Türkiye florasına göre Alper ZÖNGÜR tarafından yapılmıştır (Davis ve Miller 1988). Laboratuvara getirilen

A. aestivus Brot. bitkilerinin çiçek kısımları oda sıcaklığında kurutulmuştur. *N. sativa* L. tohumları ise sararmış bitkinin kapsülleri içerisinden alınarak iki gün oda sıcaklığında se-rilerek kurutma ve havalandırma işlemleri yapılmıştır. Ku-rutulan bitki örnekleri aynı gün uçucu yağ elde etmek için çalışmalarda kullanılmıştır.

2.2. Bitkilerdeki Uçucu Yağın Çıkarılması

A. aestivus Brot. bitki çiçek kısımlarından 50 g tartılmış ve 1 L balon içerisine konmuştur. Balon üzerine termometre ile birlikte Clevenger aparatı yerleştirilmiştir. Örnekler 90-100 °C arasındaki sıcaklıkta 4 saat hidrodistilasyona tabi tutulmuştur. Benzer uygulama *N. sativa* L. tohumu içinde yapılmıştır. *N. sativa* L. bitki tohumlarından 50 g tartılmıştır ve balon içerisine konulmuştur. 90-100 °C arasındaki sıcaklıkta 4 saat hidrodistilasyona tabi tutulmuştur. Uygulama sonucunda elde edilen uçucu yağlar GC-MS (Gaz Kromatogra-fisi-Kütle Spektrometresi) ve antifungal analizler yapılınca-ya kadar +4 °C'de bekletilmiştir.

2.3. Bitki Uçucu Yağ İçeriklerinin Analiz Edilmesi

Analizler yapılırken GC-MS (Agilent Technologies 7890) cihazı kullanılmıştır. Cihazda taşıyıcı gaz olarak Helyum (0.8mL/dak), kolon olarak (30m x 0.25 mm) %5 fenil ile kaplanmış %95 metilpolisiloksan içeren HP-5 kullanılmıştır. Enjektör sıcaklığı 290 °C, dedektör ve iyon kaynağının sıcaklıkları sırasıyla 150 °C ve 250 °C olacak şekilde ayarlanmıştır.

2.4. İn-Vitro Antifungal Testler

Çalışmada, Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mikrobiyoloji laboratuvarlarından temin edilen *Fusarium oxysporum*, *Aspergillus flavus*, *Rhizopus oryzae*, *Penicillium expansum*, *Alternaria solani* ve *Aspergillus paraciticus* fungus türleri kullanılmıştır. Fungusları kültüre etmek için Potato Dextrose Agar (PDA) kullanıldı. Fungusların canlılık testi için 0.1 mL 1×10^4 cfu/mL süspansiyon, PDA içeren petri kaplarına ekilmiştir. 25 °C'de 24 saatlik inkübasyondan sonra 100'er spor alınmış ve %96 oranında bir canlılık tespit edilmiştir. Kültüre edilen funguslardan %1 NaCl içerisinde MacFarland 0,5 bulanıklık değerine sahip hücre süspansiyonları hazırlanmıştır. Daha sonra 1 mL hücre süspansiyonu yeni hazırlanan PDA'ya eklenip karıştırılmıştır. Karışımlar petri kaplarına (9 cm çapında) dökülmüştür. Hazır olan besi yerlerine kuyucuklar (6 mm çapında) açılmış ve bu kuyucukların içerisine 0.1 µL, 1 µL, 10 µL, 100 µL, 1000 µL konsantrasyonlarına sahip bitki uçucu yağları eklenmiştir. Petrilerin tamamı sıcaklığı 28 °C olarak ayarlanan inkübatörde 5 gün

bekletilmiştir. Petri kaplarında görülen inhibisyon zonları ölçülmüştür. Tüm kontrol gruplarına fungus ekimi gerçekleştirilmiştir. Ancak, aktivite test örneklerinin aksine pozitif kontrol gruplarında kuyucuklara %0.01'lik flukonazol eklenmiş, negatif kontrol gruplarında ise kuyucuklara distile su eklenmiştir. Yapılan tüm deneyler 3 tekrarlı olarak yapılmıştır ve ortalamaları alınarak sunulmuştur.

2.5. İstatistiksel Analizler

İstatistiksel analiz için SPSS 26.00 ANOVA testi kullanılmıştır. Deneyler üç kez tekrarlanmış ve ortalamaları dikkate alınarak çizelgelerde sunulmuştur. Farklı konsantrasyonlar ve kontrol grupları arasında anlamlı farklılıkların olup olmadığı değerlendirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada, GC-MS ile analiz edilen *A. aestivus* Brot. bitkisi çiçek kısımlarında; heksadekan %0.38, dokoza %1.93, trikoza %14.36, tetrakoza %4.17, pentakoza %15.19, heksakoza %0.35, oktadeka %0.40, dodeka %1.21, nonakoza %0.85, fitol %5.8, α -kamfenol %0.49, oktadekatrionoik asit %19.62, heksadekanonoik asit %16.94, borneol %2.16, skualen %1.63, 1-okten-3-ol %3.84, 2-feniletanol %0.86, kafur %0.34, 1-oktanol %1.25, α -terpineol %1.88, mirtenol %2.14, timol %0.12 olmak üzere uçucu yağ bileşenleri toplam %95.91 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca %4.09 tanımlanamayan bileşen olduğu görüldü. *A. aestivus* Brot. bitki uçucu yağ bileşenlerinden pentakoza, trikoza, oktadekatrionoik asit ve heksadekanonoik asit'in diğer bileşenlere göre daha fazla olduğu görülmüştür (Çizelge 1).

Çizelge 1. *A. aestivus* Brot. çiçek kısımlarında bulunan uçucu yağ bileşenleri (%).

heksadekan	0.38	oktadekatrionoik asit	19.62
dokoza	1.93	heksadekanonoik asit	16.94
trikoza	14.36	borneol	2.16
tetrakoza	4.17	skualen	1.63
pentakoza	15.19	1-okten-3-ol	3.84
heksakoza	0.35	2-feniletanol	0.86
oktadeka	0.40	kafur	0.34
dodeka	1.21	1-oktanol	1.25
nonakoza	0.85	α -terpineol	1.88
fitol	5.8	mirtenol	2.14
α -kamfenol	0.49	timol	0.12
		Tanımlanamayan	4.09
Toplam			95.91

A. aestivus bitki çiçeklerinden elde edilen uçucu yağ bileşenlerinin belirlenmesine yönelik yapılan çalışma çok azdır. Polatoğlu vd. (2016)'nin yaptığı çalışmada, Kıbrıs'ta yetişen *A. aestivus* Brot. bitkisinin çiçeklerinden elde edilen uçucu yağın GC/MS analizi yapılmış ve 17 bileşik tespit edilmiştir. Uçucu yağın ana bileşenleri olarak %35.6 heksadekanoik asit, %17.4 pentakozan, %13.4 trikozan ve %8.4 heptakozan olmak üzere yüksek miktarda n-alkan, doymuş yağ asitleri ve az miktarda asiklik diterpenler olduğu bildirilmiştir (Polatoğlu vd. 2016). Alsarhan vd. (2023)'nin yaptığı çalışmada, *A. aestivus* Brot.'un çiçek kısımlarının uçucu yağlarını belirlemiştir. Bileşen olarak, alkol %26.9, aldehit %23, alkanlar, asetat türevleri ve alifatik türevler %19.2, ketonlar %7.7 ve epoksitler %3.8. Ana uçucu yağ bileşenleri olarak ise %18.79 vetositral C (trans), %17.27 heksadesil asetat, %14.5 heksanal ve %9.6 sabinen hidrat bulmuşlardır (Alsarhan vd. 2023). Çalışmamızda, literatürde belirtilen çiçek uçucu yağlarından bazılarının dışında yakın bir benzerlik olduğu görülmektedir. Benzerlik görülen bileşiklerde ise miktar olarak farklılıklar görülmektedir. Ancak çalışmamızda önemli bir farklılık olarak ana bileşik olarak %19.62 oktadekatrienoik asit bulunmuştur. Oktadekatrienoik asit'in bazı *Asphodelus* türlerinde bulunduğu bilinmekle birlikte *A. aestivus* Brot. bitkisinde ise rapor edilmemiştir. Bitki uçucu yağları arasındaki farklılıkların bitkinin yetiştiği toprak yapısı, iklim koşulları gibi ekosistemden kaynaklı olduğu bilinmektedir (Karayel ve Akçura 2016).

Çalışmada, benzer şekilde *N. sativa* L. bitkisinin uçucu yağ içerikleri belirlendi. *N. sativa* L. bitkisinde; *p*-simen %23.64, kafur %0.92, terpinolen %0.51, terpinen-4-ol %0.71, α -tujen %6.72, karvon %0.44, α -terpineol %0.24, kamfen %0.27, α -pinen %1.87, timokinon %32.56, longifolen %2.42, 4-terpineol %3.82, sabinen %0.73, timol %0.84, β -okimen %0.27, terpinolen %0.27, karvon %0.79, karvakrol %5.65, β -mirsen %0.38, β -pinen %1.78, α -felandren %0.26, longsiklen %0.74, limonen %0.81, borneol %0.25, γ -terpinen %6.94, *p*-simen-8-ol %0.73 uçucu yağ bileşenleri tespit edildi. Uçucu yağ bileşenlerinin %94.56'sı tanımlanırken, %5.44'lük bir kısmı tanımlanamadı. *N. sativa* L. bitki uçucu yağ bileşenlerinden *p*-simen ve timokinon diğer bileşenlere göre daha fazla bulunurken, timokinon ana bileşen olarak bulundu (Çizelge 2).

N. sativa L. bitkisi uçucu yağ bileşenleri üzerine yapılan benzer çalışmalar bulunmaktadır. Kazemi (2014)'nin yaptığı çalışmada, *p*-simen (%32.05) ve timokinon (%20.32) ana uçucu yağ bileşeni olarak bildirilmiştir (Kazemi 2014). Diğer çalışmalarda, *p*-simen (%60.2), linoleik asit (%22.14)

Çizelge 2. *N. sativa* L. tohumu uçucu yağ bileşenleri (%).

<i>p</i> -simen	23.64	kafur	0.92
terpinolen	0.51	terpinen-4-ol	0.71
α -tujen	6.72	karvon	0.44
α -terpineol	0.24	kamfen	0.27
α -pinen	1.87	timokinon	32.56
longifolen	2.42	4-terpineol	3.82
sabinen	0.73	timol	0.84
β -okimen	0.27	terpinolen	0.27
karvon	0.79	karvakrol	5.65
β -mirsen	0.38	β -pinen	1.78
α -felandren	0.26	longsiklen	0.74
limonen	0.81	borneol	0.25
γ -terpinen	6.94	<i>p</i> -simen -8-ol	0.73
		Tanımlanamayan	5.44
Toplam			94.56

ve timokinon'nin (%21.03) ana bileşenler olduğu rapor edilmiştir (Wajs vd. 2008, Ghahramanloo vd. 2017, Shanmugam vd. 2018). Yapılan çalışmalara bakıldığında genellikle *p*-simen ve timokinon bileşenlerinin bitki uçucu yağ içeriğinin ana bileşenleri olduğu görülmektedir. Çalışmamızda elde edilen bitki yağ içerikleri incelendiğinde yüksek benzerlikler görülmesine rağmen bitkilerin yetiştirme koşulları farklı olduğu için oransal farklılıklar görülmektedir. Ancak genel olarak bitki uçucu yağ içeriğinde bulunan ana bileşiklerin literatür ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Günümüzde çok sayıda bitkinin uçucu yağları detaylı olarak analiz edilmektedir. Bu çalışmalarda bulunan bitki uçucu yağ bileşenlerinden alternatif tıpta ve farmakolojik ürünlerin üretimde sıklıkla yararlanılmaktadır (Uma vd. 2017, Antonio-Gutiérrez vd. 2023, Azizi vd. 2023, Afsharnia 2023). Ayrıca, bitkilerde bulunan uçucu yağların antibakteriyel ve antifungal özellikleri birçok bilimsel çalışmanın konusu olmaktadır. Çalışmamızda, *A. aestivus* Brot. ve *N. sativa* L. bitki uçucu yağlarının bazı fungal türler (*F. oxysporum*, *A. flavus*, *R. oryzae*, *P. expansum*, *A. Solani*, *A. paraciticus*) üzerindeki antifungal etkinliği test edilmiştir. *A. aestivus* Brot. uçucu yağının farklı konsantrasyonlarının, *F. oxysporum* 2.3-28.8 mm, *A. flavus* 1.7-22.4 mm, *R. oryzae* 2.1-26.7 mm, *P. expansum* 2.1-28.1 mm, *A. solani* 1.9-26.0 mm, *A. paraciticus* 1.8-23.5 mm aralıklarında inhibisyon çapı oluşturduğu belirlenmiştir. Benzer şekilde *N. sativa* L. uçucu yağının farklı konsantrasyonlarının, *F. oxysporum* 4.1-33.1 mm, *A. flavus* 2.9-26.1 mm, *R. oryzae* 3.8-30.9 mm, *P. expansum* 3.9-32.5 mm, *A. solani* 3.6-29.2 mm, *A. paraciti-*

cus 3.1-26.4 mm aralıklarında inhibisyon çapı oluşturduğu belirlenmiştir. Bitki uçucu yağlarının deneme yapılan tüm konsantrasyonlarda çalışmada kullanılan fungus türlerine karşı etkili olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, *A. aestivus* Brot. ve *N. sativa* L. uçucu yağının farklı konsantrasyonlarının etkilediği türler farklı olmasına rağmen, en fazla *F. oxysporum* fungus türünü, en az ise *A. flavus* türünü inhibe ettiği tespit edilmiştir (Çizelge 3, Şekil 1).

Peksel vd. (2012)'nin yaptığı çalışmada, *A. aestivus* bitkisinin yaprak kısımlarından elde edilmiş uçucu yağın 0.25, 0.5 ve 1 mg/mL konsantrasyonlarının *A. niger* fungusu üzerine olan antifungal etkinliği değerlendirilmiş ve 0.3-0.5 cm aralığında inhibisyon zonu oluşturduğu bildirilmiştir (Peksel vd. 2012). *A. aestivus* uçucu yağı ile yapılan antibakteriyel bir çalışmada ise *S. aureus* ve *E. coli* bakterilerine karşı sırasıyla 15 mm ve 14 mm inhibisyon zon çapı olduğu belirtilmiştir (Tomar ve Akarca 2020). *N. sativa* L. uçucu yağının antimikrobiyal etkinliğe sahip olduğu bilinmektedir (Haloci vd. 2012). Bir çalışmada, farklı bakteri patojenlerine karşı *N. sativa* L. uçucu yağının etkinliği araştırılmış ve 20-40 mm arasında değişen inhibisyon çapları bildirilmiştir (Gözcü ve Akşit 2023). *T. mentagrophytes*, *M. canis*, *M. gypseum* deri patojen fungusları üzerine yapılan başka bir çalışmada *N. sativa* L. uçucu yağlarının aktivite gösterdiği belirtilmiştir (Mahmoudvand vd. 2014). *C. albicans*, *A. niger*, *A. flavus*, *F. oxysporum* fungusları üzerine yapılan bir diğer çalışmada özellikle bitki uçucu yağının *F. oxysporum* türüne karşı yüksek antifungal etki gösterdiği rapor edilmiştir (Zouirech vd. 2022). Bu yüksek antifungal etkinliğin *N. sativa* L. uçucu yağında ana bileşen olarak bulunan timokinon ve *p*-simen maddelerinden kaynaklandığı bilinmektedir (Tiwari vd. 2023; Yang vd. 2023). Uçucu yağlar genellikle hidrofobik karaktere sahip bileşikler içermektedir. Bu özellikleri sayesinde fungus membran yapısını etkileyerek integral ve periferik proteinlerin yapısında denatürasyonlara ve mitokondri membran lipidlerinde bozulmalara yol açarak hücre iyon girişlerini engelleyebilmektedir (Kumar vd. 2008, Sırıkten vd. 2018).

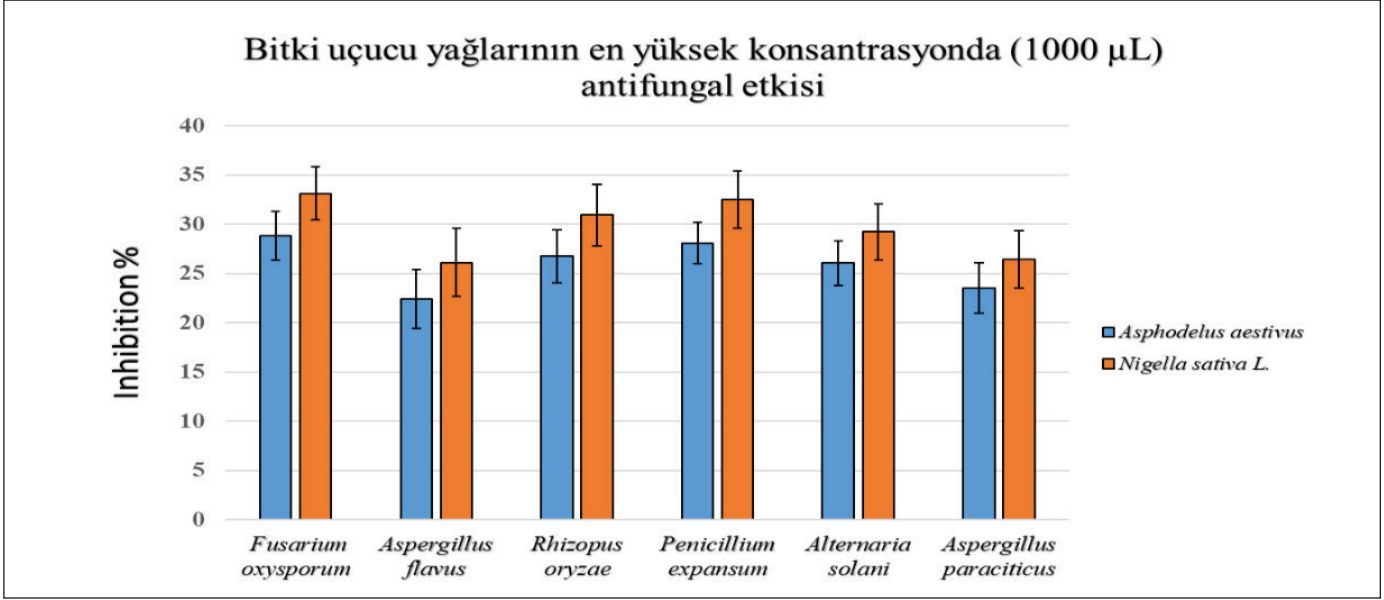
4. Sonuç ve Öneriler

Tamamlayıcı tıp ve farmakoloji alanlarında birçok bitkinin uçucu yağından ve içerisinde bulunan farklı bileşenlerden yararlanılmaktadır. Çalışmamızda, *A. aestivus* Brot. çiçekleri ve *N. sativa* L. tohumu uçucu yağ içerikleri belirlenmiştir. Test sonuçlarında iki bitkinin antifungal etkinliğe sahip olduğu görülmüştür. Özellikle yüksek konsantrasyonlarda *N. sativa* L. uçucu yağının daha fazla antifungal etkinlik

Çizelge 3. Bitki uçucu yağlarının bazı fungal türler üzerindeki inhibisyon çapları (mm).

Fungus türleri	İnhibisyon çapı (mm)									
	<i>A. aestivus</i> Brot.					<i>N. sativa</i> L.				
	0.1 µL	1 µL	10 µL	100 µL	1000 µL	0.1 µL	1 µL	10 µL	100 µL	1000 µL
<i>Fusarium oxysporum</i>	2.3 ± 0.1 ^f	6.2 ± 0.9 ^e	13.1 ± 0.8 ^d	23.2 ± 0.7 ^b	28.8 ± 1.2 ^a	4.1 ± 0.7 ^e	7.7 ± 0.9 ^d	13.5 ± 1.2 ^c	25.8 ± 0.9 ^b	33.1 ± 0.7 ^a
<i>Aspergillus flavus</i>	1.7 ± 0.6 ^f	2.8 ± 0.7 ^f	5.7 ± 0.9 ^e	17.3 ± 0.9 ^c	22.4 ± 1.0 ^b	2.9 ± 0.6 ^f	4.7 ± 0.9 ^e	10.8 ± 0.5 ^d	21.0 ± 0.8 ^b	26.1 ± 0.8 ^b
<i>Rhizopus oryzae</i>	2.1 ± 0.2 ^f	4.1 ± 0.9 ^e	9.6 ± 0.8 ^d	22.3 ± 1.0 ^b	26.7 ± 0.7 ^a	3.8 ± 0.4 ^e	6.8 ± 0.8 ^d	12.5 ± 0.8 ^c	24.6 ± 1.0 ^b	30.9 ± 0.9 ^a
<i>Penicillium expansum</i>	2.1 ± 0.3 ^f	4.7 ± 0.5 ^e	11.9 ± 0.7 ^d	22.8 ± 0.5 ^b	28.1 ± 1.1 ^a	3.9 ± 0.1 ^e	7.5 ± 0.8 ^d	12.7 ± 0.6 ^c	24.8 ± 1.0 ^b	32.5 ± 0.7 ^a
<i>Alternaria solani</i>	1.9 ± 0.2 ^f	3.4 ± 0.6 ^e	8.6 ± 1.0 ^d	21.1 ± 0.3 ^b	26.0 ± 1.1 ^a	3.6 ± 0.2 ^e	6.5 ± 0.5 ^d	12.1 ± 1.0 ^c	23.2 ± 0.3 ^b	29.2 ± 0.4 ^a
<i>Aspergillus paraciticus</i>	1.8 ± 0.4 ^f	2.7 ± 0.8 ^f	5.9 ± 1.0 ^e	17.6 ± 1.1 ^c	23.5 ± 0.9 ^b	3.1 ± 0.6 ^e	4.7 ± 1.0 ^e	11.3 ± 0.8 ^c	21.2 ± 1.2 ^b	26.4 ± 1.1 ^b

*Aynı sütündeki farklı üst simgeler (a-f) önemli anlamlı bir farka karşılık gelir (p < 0.05).



Şekil 1. *A. aestivus* Brot. ve *N. sativa* L. bitki uçucu yağlarının inhibisyon oranları.

gösterdiği tespit edilmiştir. Ayrıca, bu iki bitkide bulunan uçucu yağların ana bileşenleri belirlenmiştir. Her ne kadar bu bileşiklerin ayrı ayrı izole edilerek antifungal özelliklerinin belirlenmesi gerekse de yaptığımız çalışma ile literatürde çalışılmamış fungus türleri çalışılmıştır.

Günümüzde, uçucu yağlar alternatif tıp alanında, ilaç ham maddesi olarak ve gıda üretimi olmak üzere birçok alanda endüstriyel olarak kullanılmaktadır. Özellikle, uçucu yağların etkili klinik kullanımı için sitotoksitelerinin ve genotoksitelerinin değerlendirilmesi ve potansiyel fitoterapötiklerin biyolojik aktivitelerinin araştırılmasına yönelik çalışmaların yapılması gerekmektedir. Ayrıca, hücre canlılığını etkileyen apoptotik mekanizmaların aydınlatılması gerekmektedir. Yapılan çalışma ile *A. aestivus* Brot. çiçekleri ve *N. sativa* L. tohumu uçucu yağ içeriklerinin ileride bu bitkiler ile yapılacak; sitotoksiteler, genotoksiteler, terapötik etkinlik, apoptotik aktivite ayrıca antimutajenite, antikarsinojenite, antiaging ve yara iyileştirme dâhil farmasötik ve tıbbi çalışmalar için kaynak olabileceği düşünülmüştür. Ayrıca, bitkilerin uçucu yağının içeriğinin ve etkinliğinin bilinmesi, özellikle yabancı otları ve bitki hastalıklarını kontrol etmek için sentetik pestisitlerin ve fungusitlerin yerine geçecek ve ürün verimini etkilemeden tarım ilaçlarının yerine kullanılmasına katkı sağlayacaktır. Ek olarak, iki bitki uçucu yağının antifungal özellik göstermesi gıdalarda meydana gelebilecek mikrobiyolojik bozulmaların önlenmesine katkıda bulunmaktadır. Ayrıca, uçucu yağlar ışık, oksijen ve sıcaklık gibi çevresel etmenlerden etkilenirler. Uçucu yağların daha kararlı ve etkin olması için biyomalzemeler üretilmektedir. Bu doğrultuda

çalışma verileri gıdaların uzun ömürlü olması amacıyla üretilebilecek biyomalzemeler için de destekleyici bir kaynak oluşturmuştur.

Yazar katkısı

Bu çalışmanın planlanması, analizlerinin yapılması ve yazım süreçleri yazar Alper Zöngür tarafından yapılmıştır.

Kaynaklar

- Afsharnia, F. 2023.** Optimization of in vitro and in vivo antifungal effects of trehalose coating included *Artemisia sieberi* essential oil on mulberry (*Morus alba* var. *nigra*) fruits using the hybrid RSM-GRA method. *Food Science and Biotechnology*, 1-15. <https://doi.org/10.1007/s10068-022-01236-3>.
- Ali, BH., Blunden, G. 2003.** Pharmacological and toxicological properties of *Nigella sativa*. *Phytotherapy Research: An international journal devoted to pharmacological and toxicological evaluation of natural product derivatives*, 17(4), 299-305. <https://doi.org/10.1002/ptr.1309>
- Alsarhan, A., Salman, KB., Olimat, S. 2023.** Chemical Composition of the Essential Oils of the Flowers *Asphodelus aestivus* Brot. Grown Wild in Jordan. *Jordan Journal of Pharmaceutical Sciences*, 16(4), 734-739. <https://doi.org/10.35516/jjps.v16i4.1082>
- Antonio-Gutiérrez, O., Alvizar-Martínez, JA., Solano, R., Vásquez-López, A., Hernández-Valladolid, SL., Lustre-Sánchez, H., ... Lagunez-Rivera, L. 2023.** Microwave-assisted hydrodistillation of essential oil from *Plectranthus amboinicus*: Evaluation of its antifungal effect and chemical composition. *Life*, 13(2), 528. <https://doi.org/10.3390/life13020528>

- Aslantürk, ÖS., Çelik, TA. 2013.** Investigation of antioxidant, cytotoxic and apoptotic activities of the extracts from tubers of *Asphodelus aestivus* Brot. Afr. J. Pharm. Pharmacol., 7(11), 610-621. <https://doi.org/10.5897/AJPP12.1149>
- Azizi, Z., Omran, SM., Sheikhzadeh, S., Gholinia, H., Gharekhani, S. 2023.** Antifungal effect of *Ginger* essential oil spray on *Candida albicans* adhering to self-cure acrylic plates. Frontiers in Dentistry, 20, 3. <https://doi.org/10.18502/fid.v20i3.12279>
- Bharadvaja, N. 2023.** Aromatic plants: a multifaceted asset. Brazilian Journal of Botany, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s40415-023-00882-z>
- Boatwright, JS. 2012.** *Asphodelus fistulosus* (Asphodelaceae, Asphodeloideae), a new naturalised alien species from the West Coast of South Africa. South African Journal of Botany, 79, 48-50. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2011.11.008>
- Boyko, O., Brygadyrenko, V. 2021.** Nematicidal activity of essential oils of medicinal plants. Folia Oecologica, 48(1), 42-48. <https://doi.org/10.2478/foecol-2021-0005>
- Corrêa, ANR., Ferreira, CD. 2023.** Essential oil for the control of fungi, bacteria, yeasts and viruses in food: An overview. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 63(27), 8960-8974. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2062588>
- Das, S., Singh, VK., Dwivedy, AK., Chaudhari, AK., Dubey, NK. 2021.** Insecticidal and fungicidal efficacy of essential oils and nanoencapsulation approaches for the development of next generation ecofriendly green preservatives for management of stored food commodities: an overview. International Journal of Pest Management, 1-32. <https://doi.org/10.1080/09670874.2021.1969473>
- Davis, P., Miller, R. 1988.** Flora of Turkey, 10 (Vol. 1). Edinburgh University Press.
- Falleh, H., Jemaa, MB., Saada, M., Ksouri, R. 2020.** Essential oils: A promising eco-friendly food preservative. Food Chemistry, 330, 127268. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127268>
- Fatima Shad, K., Soubra, W., Cordato, DJ. 2021.** The role of thymoquinone, a major constituent of *Nigella sativa*, in the treatment of inflammatory and infectious diseases. Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology, 48(11), 1445-1453. <https://doi.org/10.1111/1440-1681.13553>
- Ghahramanloo, KH., Kamalidehghan, B., Akbari Javar, H., Teguh Widodo, R., Majidzadeh, K., Noordin, MI. 2017.** Comparative analysis of essential oil composition of Iranian and Indian *Nigella sativa* L. extracted using supercritical fluid extraction and solvent extraction. Drug Design, Development and Therapy, 11, 2221-2226. <https://doi.org/10.2147/DDDT.S87251>
- Gözcü, S., Akşit, Z. 2023.** Chemical composition and antibacterial activity of three volatile oils extracted from *Nigella sativa* L. seeds. Black Sea Journal of Health Science, 6(4), 662-666. <https://doi.org/10.19127/bshealthscience.1318520>
- Gras, A., Parada, M., Rigat, M., Valles, J., Garnatje, T. 2018.** Folk medicinal plant mixtures: Establishing a protocol for further studies. Journal of Ethnopharmacology, 214, 244-273. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2017.12.014>
- Haloci, E., Manfredini, S., Toska, V., Vertuani, S., Ziosi, P., Topi, I., ... Kolani, H. 2012.** Antibacterial and antifungal activity assessment of *Nigella sativa* essential oils. World Acad. Sci. Eng. Technol., 66(6), 1198-1200. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1083473>
- Karayel, HB., Akçura, M. 2016.** Farklı lokasyonlarda yetiştirilen Anadolu adaçayı (*Salvia fruticosa* Mill.)'in uçucu yağ bileşenlerindeki değişimlerin incelenmesi. Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi, (13), 13-23.
- Kazemi, M. 2014.** Phytochemical composition, antioxidant, anti-inflammatory and antimicrobial activity of *Nigella sativa* L. essential oil. Journal of Essential Oil Bearing Plants, 17(5), 1002-1011. <https://doi.org/10.1080/0972060X.2014.914857>
- Kumar, A., Shukla, R., Singh, P., Prasad, CS., Dubey, NK. 2008.** Assessment of *Thymus vulgaris* L. essential oil as a safe botanical preservative against post harvest fungal infestation of food commodities. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 9(4), 575-580. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.12.005>
- Mahmoudvand, H., Sepahvand, A., Jahanbakhsh, S., Ezatpour, B., Mousavi, SA. 2014.** Evaluation of antifungal activities of the essential oil and various extracts of *Nigella sativa* and its main component, thymoquinone against pathogenic dermatophyte strains. Journal de Mycologie Medicale, 24(4), 155-161. <https://doi.org/10.1016/j.mycmed.2014.06.048>
- Malmir, M., Serrano, R., Canica, M., Silva-Lima, B., Silva, O. 2018.** A comprehensive review on the medicinal plants from the genus *Asphodelus*. Plants, 7(1), 20. <https://doi.org/10.3390/plants7010020>
- Peksel, A., Altas-Kiyamaz, N., Imamoglu, S. 2012.** Evaluation of antioxidant and antifungal potential of *Asphodelus aestivus* Brot. growing in Turkey. J. Med. Plants Res, 6(2), 253-265. <https://doi.org/10.5897/JMPR11.1229>
- Polatoğlu, K., Demirci, B., Başer, KHC. 2016.** High amounts of n-alkanes in the composition of *Asphodelus aestivus* Brot. flower essential oil from Cyprus. Journal of Oleo Science, 65(10), 867-870. <https://doi.org/10.5650/jos.ess15197>

- Radünz, M., Camargo, T.M., dos Santos Hackbart, HC., Alves, PIC., Radünz, AL., Gandra, EA., da Rosa Zavareze, E. 2021.** Chemical composition and in vitro antioxidant and antihyperglycemic activities of clove, thyme, oregano, and sweet orange essential oils. *LWT*, 138, 110632. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110632>
- Ramadan, MF. 2007.** Nutritional value, functional properties and nutraceutical applications of black cumin (*Nigella sativa* L.): an overview. *International Journal of Food Science & Technology*, 42(10), 1208-1218. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01417.x>
- Rao, J., Chen, B., McClements, DJ. 2019.** Improving the efficacy of essential oils as antimicrobials in foods: Mechanisms of action. *Annual review of food science and technology*, 10, 365-387. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032818-121727>
- Rather, LJ., Akhter, S., Hassan, QP., Mohammad, F. 2017.** Chemistry of plant dyes: Applications and environmental implications of dyeing processes. *Current Environmental Engineering*, 4(2), 103-120. <https://doi.org/10.2174/2212717804666161216114949>
- Shafodino, FS., Lusilao, JM., Mwapagha, LM. 2022.** Phytochemical characterization and antimicrobial activity of *Nigella sativa* seeds. *PloS one*, 17(8), e0272457. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0272457>
- Shanmugam, MK., Arfuso, F., Kumar, AP., Wang, L., Goh, BC., Ahn, KS., ... Sethi, G. 2018.** Modulation of diverse oncogenic transcription factors by thymoquinone, an essential oil compound isolated from the seeds of *Nigella sativa* Linn. *Pharmacological Research*, 129, 357-364. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2017.11.023>
- Srıken, B., Yavuz, C., Güler, A. 2018.** Antibacterial Activity of *Laurus nobilis*: A review of literature. *Medical Science and Discovery*, 5(11), 374-379. <https://doi.org/10.17546/msd.482929>
- Tiwari G., Gupta M., Devhare D., Tiwari R. 2023.** Therapeutic and phytochemical properties of thymoquinone derived from *Nigella sativa*. *Current Drug Research Reviews*, 1, 37605475. <https://doi.org/10.2174/2589977515666230811092410>
- Tomar, O., Akarca, G. 2020.** The Antibacterial effects of çiriş (*Asphodelus aestivus* Brot.) on some foodborne pathogenic bacteria. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (18), 11-15. <https://doi.org/10.31590/ejosat.650511>
- Ugulu, I., Baslar, S., Yorek, N., Dogan, Y. 2009.** The investigation and quantitative ethnobotanical evaluation of medicinal plants used around Izmir province, Turkey. *Journal of Medicinal Plants Research*, 3(5), 345-367.
- Uma, K., Huang, X., Kumar, BA. 2017.** Antifungal effect of plant extract and essential oil. *Chinese Journal of Integrative Medicine*, 23(3), 233-239. <https://doi.org/10.1007/s11655-016-2524-z>
- Wajs, A., Bonikowski, R., Kalemba, D. 2008.** Composition of essential oil from seeds of *Nigella sativa* L. cultivated in Poland. *Flavour and Fragrance Journal*, 23(2), 126-132. <https://doi.org/10.1002/ffj.1866>
- Yang, F., Chen, L., Zhao, D., Guo, T., Yu, D., Zhang, X., ... Chen, J. 2023.** A novel water-soluble chitosan grafted with nerol: Synthesis, characterization and biological activity. *International Journal of Biological Macromolecules*, 232, 123498. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.123498>
- Zouirech, O., Alyousef, AA., El Barnossi, A., El Moussaoui, A., Bourhia, M., Salamatullah, AM., ... Derwich, E. 2022.** Phytochemical analysis and antioxidant, antibacterial, and antifungal effects of essential oil of black caraway (*Nigella sativa* L.) seeds against drug-resistant clinically pathogenic microorganisms. *BioMed Research International*, 2022, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2022/5218950>



The Role of Certification on Project Management: Perspective of PMP Certified Project Managers

Proje Yönetiminde Sertifikasyonun Rolü: PMP Sertifikalı Proje Yöneticilerinin Yaklaşımı

Volkan Arslan*

Zonguldak Bulent Ecevit University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, Zonguldak, Türkiye

Abstract

The purpose of this study is to investigate the role of certification in a project management environment from the perspective of Project Management Profession (PMP) certified project managers. To do so, a semi-structured questionnaire survey was created through a focus group discussion technique and applied to 30 PMP-certified project managers. The data obtained were analyzed via the SPSS 20 statistical package and results were presented in two sub-sections: (i) the demographic information of respondents and (ii) the specific perspective of project managers about PMP certification. Several organizations offer comprehensive and constantly updated certification programs to adapt to the changing needs of the project management profession. Thus, professionals can confirm their knowledge, abilities, and skills in the project management field. Moreover, certification is a key factor for the project management profession regarding up-to-date training offered, standardization of project management applications, and continuous development in project management performance. This paper aims to aid project managers to be aware of the potential benefits of PMP certification to improve project management capabilities as a source of competitive advantage.

Keywords: Certification, project management, project management institute, PMI, PMP

Öz

Bu çalışmanın amacı, proje yönetimi mesleğinde sertifikasyonun rolünü Proje Yönetimi Profesyoneli (Project Management Professional, PMP) sertifikalı proje yöneticilerinin bakış açısından araştırmaktır. Bunun için odak grup tartışma tekniği kullanılarak yarı yapılandırılmış bir anket oluşturulmuş ve 30 PMP sertifikalı proje yöneticisine uygulanmıştır. Elde edilen veriler SPSS 20 istatistik paketi aracılığıyla analiz edilmiş ve sonuçlar iki alt bölümde sunulmuştur: (i) katılımcıların demografik bilgileri ve (ii) proje yöneticilerinin PMP sertifikasyonuna özel bakış açısı. Birçok kuruluş, proje yönetimi mesleğinin değişen ihtiyaçlarına uyum sağlamak için kapsamlı ve sürekli güncellenen sertifika programları sunmaktadır. Bu sertifikalar, proje yönetimi alanındaki profesyonellerin bilgi, yetenek ve becerilerini kanıtlayabilme ve geliştirebilme imkanı sağlamaktadır. Ayrıca sertifikasyon, sunulan güncel eğitimler, proje yönetimi uygulamalarının standartlaştırılması ve proje yönetimi performansında sürekli gelişimin sağlanması açısından proje yönetimi mesleği için önemli bir araç olarak görülmektedir. Bu çalışma, PMP sertifikasyonunun bir rekabet avantajı kaynağı ve proje yönetimi yeteneklerinin geliştirilmesinde kullanılabilecek bir araç olarak, proje yöneticileri açısından potansiyel faydalarının anlaşılmasına yardımcı olmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Proje yönetimi, proje yönetimi enstitüsü, PMI, PMP, sertifikasyon

1. Introduction

Project management (PM) is to execute a project considering limited time, limited budget, and expected quality standards (Uhlir 2013). In this regard, PM is a profession since

project managers are trained to improve their management abilities (Pant and Baroudi 2008). This profession has been developing continuously since the beginning of the 1960s. Since the 1970s, the training/education philosophy evolved and the concept of lifelong learning has become more popular (De los Rios-Carmenado et al. 2011). Thus, several associations have started to conduct training and certification programs for project managers in developed countries (Soroka Potrzebna 2021).

*Corresponding author: volkanarslan@beun.edu.tr

Volkan Arslan orcid.org/0000-0002-0368-5653



The significance of project managers or team members for a prospering project execution has altered dramatically in the past few years (Alam et al. 2010, Hadaya et al. 2012). Moreover, the expected technical, business, and management knowledge of project managers has transformed into a more competitive characteristic (Aslam and Bilal 2021). Therefore, vocational training or certification programs of specific associations have emerged as key factors to remain competitive in professional life (De los Rios-Carmenado et al. 2011). However, the lack of certification programs in the PM profession was a disadvantage, while the importance of certification programs has been increasing (Pinto and Winch 2016). In the 1990s, OECD adopted life-long learning education and the skills acquired in a specific area have started to be confirmed through certification programs (Pang et al. 2008).

In the field of PM, certification programs were initiated to be regarded as mediums for project managers to improve their skills and capabilities (De los Rios-Carmenado et al. 2011). Accordingly, knowledge and experience-based standards started to be required in the PM field of several industries (Crawford 2005). Several methodologies aim to formalize and standardize the PM profession such as PMBoK Guide (project management body of knowledge), PRINCE2 (projects in controlled environments), PCM (project cycle management), TenStep, IPMA (the international project management association), Agile, and SCRUM (Soroka Potrzebna 2021). Among these, PMI and PRINCE2 are the two most popular PM methodologies where the project managers' competencies are defined (Sobieraj et al. 2021). Today, most project managers are certified by these two organizations considering the need for constant definition, education, experience sharing, and certification in the PM profession (Aslam and Bilal 2021, Rastovski 2021).

The increased influence of project managers on completing projects within the expected time, quality, and budget forced companies to conduct a critical process of selecting appropriate professionals for their projects (Müller and Turner 2007). Therefore, skill-based education becomes a significant factor in ensuring employability in the PM environment (De los Rios-Carmenado et al. 2011). Among many other certifications, Project Management Professional (PMP) issued by PMI is the most popular one with more than 1.4 million certification holders (PMI 2023). In this regard, only a few researches were conducted to point out the importance and influence of PMI certification in the PM profession. However, the project managers' attitudes on

PMP were not revealed. Therefore, this study aims to reveal the effect of PMP certification on professionals' careers from the perspective of PMP-certified project managers. To accomplish the research aim, previous studies on PM certification programs were reviewed in a detailed manner. Then, a focus group discussion (FGD) was conducted to develop a questionnaire survey. Finally, participants were surveyed through a semi-structured five-point Likert-scale questionnaire survey. Consequently, the data obtained were analyzed via SPSS 20 (Statistical Package for the Social Sciences 2020) statistical package and results were presented in two sub-sections: (i) the demographic information of respondents and (ii) the specific perspective of project managers about PMP certification. This research is expected to be a notable effort for not only professionals but also researchers and students to understand the significance of certification programs, significant factors, and the importance of PMP certification for the PM profession.

In the next section of this study, the two most popular certification programs and the literature review were given as background. The research methodology is then explained. This section is followed by results and discussion. Finally, conclusions, some limitations, and future research suggestions were given.

2. Background

A proper PM methodology may ensure a successful project execution from the initial stage to completion. For this reason, project standards/frameworks are utilized to improve the PM performance of organizations. These standards/frameworks are expected to assist project managers and project teams to implement the projects successfully (Zwi-kael 2009). Table 1 presents previous studies on the effect of PM frameworks, certifications, and professionals. The literature presents an increasing interest in the significance of PM frameworks in several industries (Rastovski et al. 2023, Simonaitis et al. 2023, Lopez and Alexander 2023, Onyia et al. 2023, Robertson and Stock 2023, Pinto 2022, Soroka Potrzebna 2021, Aslam and Bilal 2021, Al-Zwainy et al. 2016, De los Rios-Carmenado et al. 2011). According to previous studies, the future trends in the PM field reveal the importance of continuous education and improvement of individuals through certification programs (Rastovski et al. 2023). PMBoK and PRINCE2 are two PM methodologies that were preferred most in the PM environment (Sobieraj et al. 2021). These frameworks aim to identify project objectives, enhance quality, improve communication, and train

Table 1. Past studies

Reference	Objective and Method	Certification	Results
Rastovski et al. (2023)	The attitude of project professionals towards competency-based certification in the field of PM was investigated through a qualitative research method.	IPMA	PM competencies can contribute to individuals' competitive advantage.
Simonaitis et al. (2023)	The PM methodologies were compared regarding repetitive construction projects through structured interviews.	n.a.	The PRINCE2 is found to be the most suitable framework.
Lopez and Alexander (2023)	Current graduate PM curricula within the United States were analyzed through a qualitative research method.	n.a.	None of them addressed the full spectrum of the subject.
Onyia et al. (2023)	Construction management skills and competencies were analyzed regarding PM methodologies through a qualitative research method.	n.a.	Quality of training and certification was found to be significant.
Robertson and Stock (2023)	The relationship between PM certification and quality was examined through a qualitative research method.	n.a.	A negative relationship was quality was found.
Pinto (2022)	Implications for current and future practice in PM were investigated through Grounded Theory.	n.a.	Economic, societal, and environmental will be faced in the PM field.
Soroka Potrzebna (2021)	The importance of certification in PM in the labor market is investigated through a qualitative research method.	PMP, AgilePM, PRINCE2	A higher importance of experience over certification was found.
Rastovski (2021)	The effect of certificates on project managers' careers was analyzed through Grounded Theory.	IPMA Level C, B, or PMP	A positive influence of certification was found on project managers' careers.
Aslam and Bilal (2021)	The impact of PM certification on strategic and operational performance was investigated through a qualitative research method.	n.a.	Certification has a direct impact on the performance of project managers.
Farashah et al. (2019)	The value of PM certification in recruiting was investigated through questionnaire surveys.	PMI, IPMA, PRINCE2, others	No direct relationship between certification and performance was found.
Karaman and Kurt (2015)	Two PM methodologies, PRINCE2 and PMBOK, were compared in the IT industry.	n.a.	PRINCE2 is preferable for small-size IT projects; whereas PMBOK is preferable for large ones.
Catanio et al. (2013)	The effects of PM certification on project scope, time, and cost management were investigated through a qualitative research method.	n.a.	No performance difference between uncertified and certified project managers was found.
De los Rios-Carmenado (2011)	The effect of PM certification on employability was investigated through interviews with professionals.	IPMA	The certification was found to be a powerful tool for improving employability.
Stevenson and Starkweather (2010)	The effect of PMP on IT PM competencies across United States industries was investigated through a qualitative research method.	PMP	PMP certification was not a highly valued criterion in evaluating new hires.
Müller and Turner (2007)	The performance of certified and non-certified project managers was compared through a qualitative research method.	n.a.	No performance or project success criteria differences were found.
Crawford (2005)	The relationship between PM standards and effective PM performance was measured through hypothesis tests.	n.a.	No significant relationship was found.

professionals regarding up-to-date management philosophy (Simonaitis et al. 2023). They have enabled project managers to verify their skills, capabilities, and knowledge to find appropriate working conditions since they have started to be utilized as a tool during the process of candidate selection (Soroka Potrzebna 2021). The PMBoK and PRINCE2 were developed based on the world standards and methodologies of PM (Kulejewski 2008). The PMBoK as the most recognizable PM framework, standardizes the organizational activities of employees and workers through relevant PM guidelines and mediums (Sobieraj et al. 2021). On the other hand, the PRINCE2 framework is more focused on the construction investment processes, planning of time schedules, and providing standards to ensure the repeatability of projects.

Considering the geographic widespread, the PMBOK framework is more popular in North America, while the PRINCE2 is more favorable in Europe, as it originated in the United Kingdom (Murray 2009). The differences between PMBoK and PRINCE2 and the comparison of these methodologies were studied in several past studies (Simonaitis et al. 2023, Sobieraj et al. 2021, Karaman and Kurt 2015, Matos and Lopes 2013, Wideman 2002). However, these studies have not reached a consensus about which certificate or framework could be the most effective PM methodology to implement for personal and organizational success. In this study, a certification system based on the PMBoK (developed by PMII) was considered since it represents more comprehensive knowledge of PM and is widely accepted as the best practice in the field of PM (Association for Project Management (APM) 2022, Munns and Bjeirmi 1996).

2.1. PMI Certifications

A project manager may improve his/her skills and so can have a higher status by attaining a PM certification program (Blomquist and Thomas 2004). Professional PM organizations have developed several standards for the PM profession such as ethics and workplace through professional certifications like PMP (Pinto 2022). Moreover, certified qualifications were identified as one of the critical success factors in improving construction management skills (Onyia et al. 2023). PMI's first PMBoK was published in 1983 and the first PMPs were certified in 1984 (Duncan 1995). In 1994, this number has increased to around 2600 (Allen 1995). In 2007, the PMI certification program was accredited by the International Standards Organization (ISO) (Iyer and Banerjee 2019). Then, in 2020, PMP was in the first position

among other certifications that take attention most in the PM field (Global Knowledge 2020). Today, the PMI (2023) serves around 2.9 million professionals located in different countries in the field of PM with nine certifications. These certifications are (i) Project Management Professional (PMP), (ii) Certified Associate in Project Management (CAPM), (iii) PMI Professional in Business Analysis (PMI-PBA), (iv) Program Management Professional (PgMP), (v) Portfolio Management Professional (PfMP), (vi) PMI Risk Management Professional (PMI-RMP), (vii) PMI Scheduling Professional (PMI-SP), (viii) PMI Project Management Ready, and (ix) Construction Professional in Built Environment Projects (PMI-CP). The most famous certificate given for project managers is PMP and there are more than 1.4 million PMP certification holders worldwide and it is followed by CAPM with more than 50 thousand professionals. PMP certification was referenced as the best highest-paying certificate in the PM environment (Skillsoft 2023; Study International 2023). Considering previous studies and future perspectives, PMP can be regarded as the most attractive certification, and therefore it's worth studying in a detailed manner.

2.2 Literature on PMI Certifications

PM certifications have been regarded as useful criteria for identifying the most suitable candidates for management positions in several industries (Soroka Potrzebna 2021). This is because certifications were assumed as mediums that present the capabilities, capacities, and skills of the candidate to be interviewed (Pohler and Willness 2014). Therefore, having a certificate may bring numerous competitive advantages for project managers. However, although numerous researches have been carried out in the field of PM, the literature on the certifications is scarce (Morris 2014). PMI certifications are considered the most widely preferred ones and this study focused on PMP since it is the most popular certificate in a PM environment. The literature on PMI certifications has mainly focused on confirmation of qualification, developing skills, and meeting job requirements. Regarding PMP certification, it is the most frequently demanded certificate in terms of requirements for project manager job offers in Poland and Germany, while it is the second most popular certificate in England (Soroka Potrzebna 2021). On one hand, recruiters and executives of Information and Communication Technologies (ICT) companies found PMP certification irrelevant to the characteristics of potential candidates they look for in Sweden (Stevenson and Starkweather 2010). On the other

hand, companies tend to hire certified project managers in Pakistan, especially in the construction and IT industry (Aslam and Bilal 2021). Even though the PMP certification provides a greater level of formalized training (Catania et al. 2013), the significance of experience in PM is still high to perform better than competitors (Lopez and Alexander 2023). This is because, despite the many advantages of PM certifications, they cannot guarantee to maximization of the performance of project managers (Ahlemann et al. 2013). However, it can be assumed that standardized PM may perform more effectively than unstandardized one (Morris et al. 2006).

Considering the impacts of certifications on project managers' careers or performance, Rastovski et al. (2023) aimed to investigate the attitude of project professionals towards competency-based certification in the field of PM through a qualitative research method. In their research, they interviewed 246 project, program, and portfolio managers who have IPMA certification in Croatia. Consequently, they concluded that PM competencies can contribute to individuals' competitive advantage. Soroka Potrzebna (2021) analyzed job offers that require certification in Poland and stated that there is a higher importance of experience over certification in the PM field. In another study, Rastovski (2021) conducted research with 35 project managers to present the effect of IPMA level C, B, or PMP on project managers' careers. He identified five major criteria that influence the careers of project managers such as (i) lack of skill and knowledge, (ii) continual professional development, (iii) better job opportunity and salary, (iv) ability to manage complex projects, and (v) legislation and the employer. Finally, he concluded that there is a positive influence of certification on project managers' careers. Similarly, Aslam and Bilal (2021) studied the impact of PM certification on project performance in Pakistan. The researchers interviewed project managers to measure project performance based on strategic performance and operational performance. They found that PM certification issued by any organization has a direct impact on the strategic or operational performance of project managers. Stevenson and Starkweather (2010) investigated the effect of PMP on IT PM competencies across United States industries through a qualitative research method and concluded that PMP certification was not a highly valued criterion in evaluating new hires. There is also another study conducted by Müller and Turner (2007) that aimed to compare the performance of certified and non-certified project managers. Although they found no performance or project success criteria difference

regarding certifications, the results revealed that certified managers perform better on high-performing projects. On the contrary, Crawford (2005) found no relationship between PM standards and effective PM performance.

The PM methodologies/certification studies were focused on the relationship between methodologies/certification and particular concepts such as (i) project performance (Simonaitis et al. 2023, Onyia et al. 2023, Robertson and Stock 2023, Aslam and Bilal 2021, Catania et al. 2013, Müller and Turner 2007, Crawford 2005) (ii) employment (Soroka Potrzebna 2021, Rastovski 2021, Farashah et al. 2019, De los Rios-Carmenado 2011, Stevenson and Starkweather 2010), (iii) personal improvement (Rastovski et al. 2023, Lopez and Alexander 2023, Pinto 2022), and (iv) comparison of methodologies (Simonaitis et al. 2023, Karaman and Kurt 2015). However, studies investigating the effect of PM certifications usually consider a generalized approach to these certifications rather than focusing on a particular one. This may cause some misunderstandings or false conclusions since several certification systems require different qualifications and training processes. For this reason, it is believed that concentrating on one particular certification will bring clearer results for both academicians and practitioners. In this manner, there is only one study that was conducted to reveal the effect of PMP on IT PM competencies across United States industries. Stevenson and Starkweather (2010) stated that PMP certification was not a highly valued criterion in evaluating new hires in the IT industry. However, there is a gap in the literature analyzing the effect of PMP certification on project managers' careers. Thus, the main purpose of this study is to fill this gap and make contributions to the PM body of knowledge by investigating the attitudes of certified project managers towards PMP certification. To this aim, an FGD-based semi-structured questionnaire survey was developed and applied to certified professionals. Moreover, factors affecting project managers to prefer PMP certification were also analyzed. Consequently, the obtained results may assist researchers in conducting further studies on PM certifications and motivate practitioners to improve their careers through PMP certification.

3. Research Methodology

In this study, the research methodology consists of two steps which are presented in the following sub-sections.

3.1. Focus Group Discussion

FGD is a discussion-based technique utilized to explore

and gather data from experts in a particular subject and has been widely utilized in research in the past years (Hasan et al. 2018, Liu et al. 2017). This method enables to harmonization of various approaches provided by participants and to exploration of diverse opinions on selected subjects (Koc and Gurgun 2022, Kunkcu et al. 2023). Moreover, this technique has advantages in means of time and cost-effectiveness for data gathering (Gold and Vassell 2015). Since an overcrowded session with too many participants may lead to undesired chaos during sessions, 5 to 10 participants were accepted as satisfactory in this technique (Nyumba et al. 2018). Therefore, 5 PMP-certified project managers were selected in FGD this study to discuss past studies, identify questions, and create the questionnaire survey utilized. To avoid misunderstandings and save time, previous studies were summarized and potential questions were identified by the researcher before the FGD meeting. During the meeting, questions selected from the literature (Soroka Potrzebna 2021, Rastovski 2021, Farashah et al. 2019, De los Rios-Carmenado 2011, Stevenson and Starkweather 2010) were discussed and adapted to PMP certification by the experts. Finally, a questionnaire including

questions related to demographic information and questions presented in Table 2 was formed.

3.2. Data collection

Based on the results of FGD, a semi-structured questionnaire survey was created to explore the personal experiences and attitudes of project managers on PMP certification. In the first part of the survey, profiles of respondents were identified. The next ten questions were assessed to receive general perceptions of participants on PMP certification. The final question was open-ended to gather respondents' opinions and thoughts. The survey was completed during March and April 2023 via e-mails sent to respondents. A total of 225 professionals with available contact information were discovered from online platforms (i.e. LinkedIn). The number of participants who responded to the survey was 30 (the response rate is 13.33%) and this number ($n \geq 30$) can be considered valid in terms of the representation of the total sample group (Daim et al. 2013, Uhlir 2013). Questions were designed in the form of a five-point Likert-type scale since the Likert scale offers a range of possible values for respondents' answers (Windapo et al. 2020). Finally, the

Table 2. Perspective of project managers on PMP certification.

Question	SA	A	PA	D	SD	Mean
PMP creates a competitive advantage against rivals for my professional career.	63.33%	33.33%	3.33%	-	-	4.60
PMP boosts the opportunity to get better jobs and higher salaries.	46.67%	20.00%	16.67%	16.67%	-	3.97
PMP increases the ability of managers to handle more complex projects.	50.00%	30.00%	20.00%	-	-	4.30
PMP improves the managing skills of professionals.	63.33%	36.67%	-	-	-	4.63
PMP increases the faith of professionals to conduct projects successfully.	46.67%	20.00%	16.67%	10.00%	6.66%	3.90
PMP increases the popularity of professionals in their companies.	13.33%	20.00%	30.00%	26.67%	10.00%	3.00
PMP improves the reputation of professionals in the business environment	30.00%	26.67%	33.33%	10.00%	-	3.77
PMP creates new opportunities to build a network between PM communities	63.34%	33.33%	3.33%	-	-	4.60
The process of having PMP is considerably challenging for professionals	26.67%	53.33%	10.00%	10.00%	-	3.97
PMP has provided more benefits for my career than I expected	46.67%	33.33%	20.00%	-	-	4.27

Notes: SA: Strongly agree; A: Agree; PA: Partially agree; D: Disagree; SD: Strongly disagree.

data gathered were evaluated through a statistical analysis of given answers via SPSS 20 and the results were discussed considering previous studies.

4. Results and Discussion

4.1. Profiles of Respondents

According to Figure 1(a), 30.00% of the respondents have a BSc degree, 50.00% have an MSc degree, and 20.00% have a PhD degree. The portion of participants who studied at the postgraduate level reveals a group of well-educated professionals who participated in this study. Therefore, the sample group can be regarded as well-informed professionals in their area of expertise. More than 1.4 million professionals have PMP certificates from all over the world and the PMI certification system has been disseminated in more than 70 countries (PMI 2023). The sample group of this study represents thirteen countries and the number of participants from Turkey leads this sample group with 20.00% (Figure 1b). Although several studies focused on the impact of PMI certification from several countries, none of them include Turkey and most of them examined single country-based data (Aslam and Bilal 2021, Soroka Potrzebna 2021, Uhilir 2013, McHugh and Hogan 2011, Alam et al. 2010). Since Rastovski (2021) did not reveal the participants' profiles, to the best of our knowledge, both developed and developing countries were represented for the first time in a sample group of a study focused on the attitudes of PMP-certified project managers.

The PM practices are popular in traditional industries, such as ICT, energy, health care, construction, and finance sectors (Richardson et al. 2015). Certified project managers are preferred especially in the construction and IT industry (Aslam and Bilal 2021). In this regard, participants' industries were listed according to the results of the third question. The majority of the participants (46.67%) work in the construction industry, while telecommunication and ICT were represented by 13.33% (Figure 1c). Moreover, health electronics, electricity, media, education, health, and human resources are other industries where participants work as PMP-certified project managers. However, Lundqvist and Marcusson (2014) stated that employer interest in PM certifications in ICT is considerably low. Therefore, representing several industries may bring more comprehensive results to implicate the impact of PMP certification. Project managers usually have a significant duration of experience in their profession and this experience can be considered as a key factor in executing projects successfully (Isik et al.

2009, Prabhakar 2005). However, they may change their industries regarding job satisfaction or working conditions. In the study, the duration of experience of respondents was examined through a scaled question. Consequently, it was found that a vast majority of respondents have more than 15 years of experience. Therefore, it can be claimed that the sample group of this study has enough experience to reveal general thoughts and opinions on the PM profession. The final question on the demographic information of respondents aimed to determine the duration of being a PMP-certified professional. Figure 1(d) reveals that 50.00% of participants have the PMP certification between 1 to 5 years, while 20.00% have 6 to 10 years, and 13.33% have 11 to 15 years. The portion of respondents who have had PMP certification for more than 15 years is 16.66%. Since the PMP certification is valid for three years, the sample group represents entry-level, intermediate-level, mid-level, or executive-level PMP-certified professionals.

4.2. Perspective of Project Managers on PMP Certification

Professional certifications and standards issued by the organizations of PM are expected to improve the PM skills of professionals. ISO 17024 prescribes certification processes to ensure that certification systems function consistently, comparably, and reliably (Uhilir 2013). These certifications represent the ability of knowledge, skills, and experience according to a defined certification schema (ISO 2003). In this regard, the associations have created required standards to assist and confirm project managers' abilities through a certificate (Soroka Potrzebna 2021). Thus, it was clear that a project manager should be competitive and to be competitive he/she should successfully and efficiently perform all of his/her functions (Uhilir 2013). PM certifications provide continuous development of professionals and improve their competitive advantage for them (De los Rios-Carmenado et al. 2011). As shown in Table 2, more than half of the participants (63.33%) strongly agree that PMP certification creates a competitive advantage in a PM environment. As far as certification represents a confirmation of personal professional competencies, obtaining a certificate from a reliable institute guarantees the qualifications and knowledge of project managers all over the world (Soroka Potrzebna 2021). Also, certified professionals can prove that their skills and knowledge meet the international standard for the PM profession (ISO 2003). Certification should not be the only criterion to determine the management capabilities and skills of professionals (Farashah et al. 2019). However, PMP

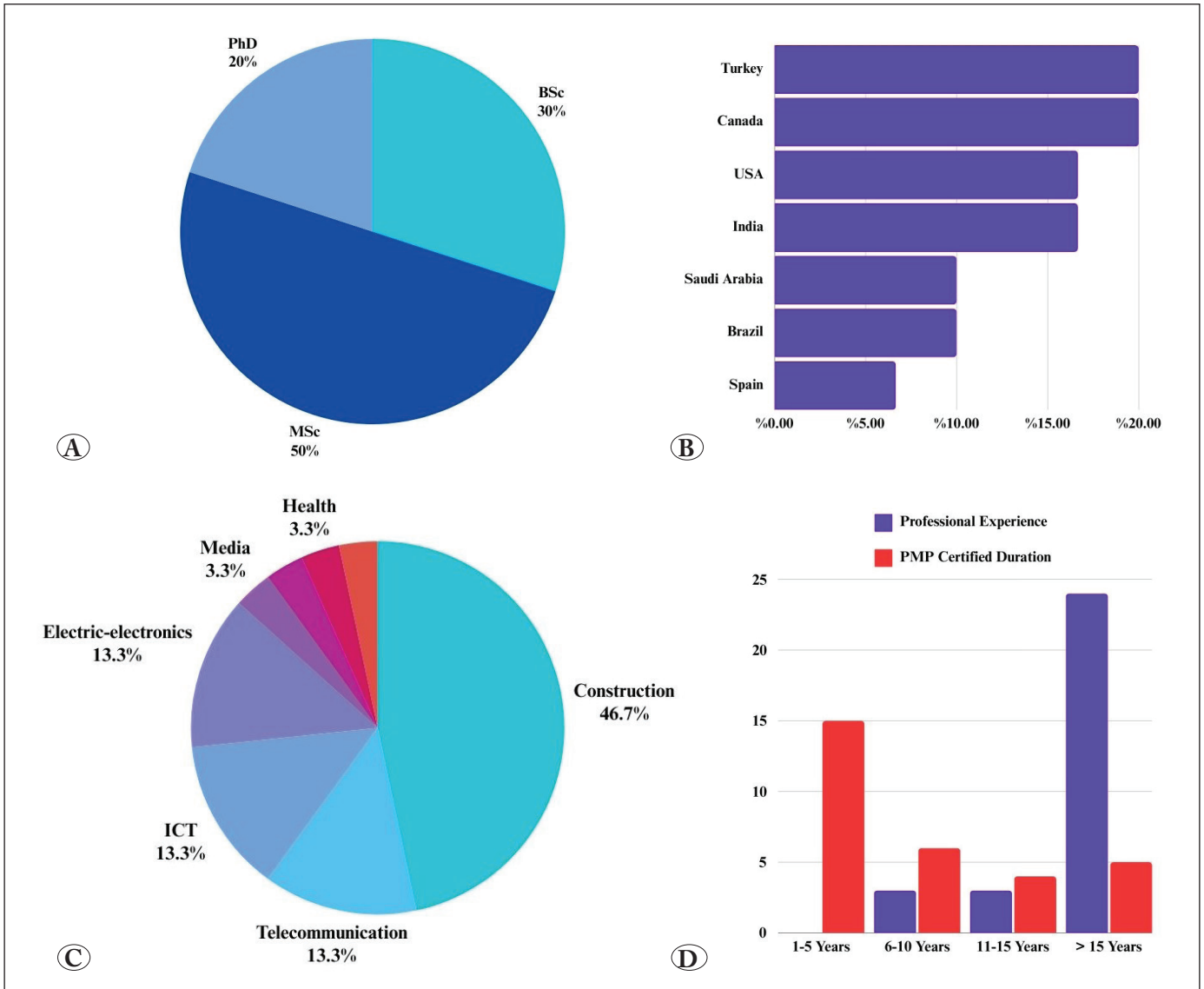


Figure 1: Respondents' profile: (A) Education level; (B) Location; (C) Industry; (D) Duration of experience and certification.

certification stimulates an increase in salary or the possibility of applying for a better-paying job. In addition, certification can be utilized as proof of meeting companies' requirements for a particular job role (De los Rios-Carmenado et al. 2011). Hence, PM certification has become widespread and practitioners respect these certifications for determining the ability and skills of the project managers (Lundqvist and Marcusson 2014). In this study, 66.67% of the respondents agree or strongly agree that PMP certification creates better job opportunities. This result is consistent with the study conducted by Soroka Potrzebna (2021). International companies and projects have a great potential to benefit from PMP certification because it clearly defines the standards of PM in the international arena (Crawford 2000). Success-

ful PM includes coordination between tasks, resources, and people, and business today is all about completing projects faster, cheaper, and better (Harvard Business School 2001). According to Rastovski et al. (2023), professionals working in the construction/architecture field strongly believe that PM certification plays a significant role in increasing PM performance. Similarly, respondents of the current study also believe that PMP certification can increase the ability of project managers to handle complex projects successfully (80.00%). The operational or strategic performance of project managers cannot always be improved by PM certification alone (Farashah et al. 2019, Catanio et al 2013). However, Rastovski et al. (2023) state that certification improves the performance of project managers and helps them

to direct projects adequately. This statement is consistent with the results of this study that shows PMP certification improves the managing skills of professionals (100.00%) and increases the faith of managers to carry out projects as planned (66.67%). A certified project manager knows project initiation, planning, execution, monitoring, and closure, as well as risk management and PM best practices (Soroka Potrzebna 2021). In this regard, certification can facilitate the recognition of project managers and increase their value on the market (Rastovski et al. 2023).

However, there is no evidence that certification guarantees a successful PM performance (Müller and Turner 2007). Thus, participants of this study were not certain about the effect of PMP certification on providing popularity or reputation in the business environment (56.67%). In addition, being educated and gaining updated knowledge are significant factors in being recognized as a professional in the PM community (Rastovski et al. 2023) and the public (De los Rios-Carmenado et al. 2011). In this regard, PMP certification may provide a network with fellow professionals to share ideas and discuss problems with other certified project managers (Aslam and Bilal 2021, Soroka Potrzebna 2021). Moreover, connecting the professional communities, standardizing codes and ethics, and providing a platform to discuss professional opinions through a certification mechanism may improve both the skills of professionals and the conditions of the profession (Farashah et al. 2019). Respondents also strongly agree (63.33%) that PMP certification creates new opportunities to build a network between PM communities. Despite the benefits of PMP certification, certified professionals believe that it is a challenging process to have this certificate (80.00%). Especially, the process of selecting the most proper kind of certificate or quantifying the exact extent of the certificate can be difficult for professionals. This is because PRINCE2 was recommended by Simonaitis et al. (2023) for repetitive construction and by Karaman and Kurt (2015) for small-size IT projects, while PMBOK is preferable for the IT projects with large and complex project teams (Karaman and Kurt 2015). Moreover, in several cases (Rastovski 2021, Soroka Potrzebna 2021, Farashah et al. 2019) no significant difference was identified between PM methodologies/frameworks. Therefore, professionals should be well prepared to select the most suitable certification for their careers and to maximize the benefit of PMP certification. The performance of PM can be accepted as successful if all project parties are satisfied with the results obtained. Moreover, none of the PM certifications can guarantee a

successful project execution but verified competencies and knowledge may contribute to a project positively. Finally, PMP-certified project managers have benefitted from this certification more than they expected (80.00%). Therefore, working with PMP-certified project managers can improve the results and maximize the benefits of projects executed.

To find out the effects of selected factors and rank them, the mean values of each question were also evaluated regarding the assigned values for given answers (SA=5, A=4, PA=3, D=2, SD=1). According to the results (Table 2), the most influential factors to motivate professionals for PMP certification are improving managing skills (4.63), creating competitive advantage (4.60), and building a network between PM communities (4.60). On the other hand, increasing the popularity of professionals in their companies (3.00) is the least significant factor in motivating professionals to prefer PMP certification.

5. Conclusion

This study invokes the significance of the PMP certification system for project managers. In the field of PM, abilities, knowledge, experience, and skills should be standardized, categorized, and kept updated. In this regard, the professional associations related to the PM profession play a key role as revealed by most of the PMP-certified professionals. PMP certification creates better job opportunities, improves management skills, and establishes new network options for project managers. Moreover, PMP-certified managers gain a reputation in the PM field since companies seek standardized and increased levels of PM profession. To conclude the study, certification in PM paves the way for continuous development in project performance by providing a well-structured training and education platform for professionals.

The limitation of this study is that it is based upon only the PMP certifications while there are other PM certifications issued by PMI or other organizations. Moreover, a larger sample group would allow us to reveal the impact of PMP certification on project managers' careers in a more detailed manner. However, the results are generally in parallel to previous studies and the study can be considered as an introduction for future studies. In future works, conducting comparative analysis based on demographic characteristics such as profession, education, and development level of the countries of participants could contribute to the PM body of knowledge.

Acknowledgment: The authors would like to thank the surveyed professionals for their generous collaboration and contributions. The authors also thank financial supports provided by Committees on Research Grants of Zonguldak Bulent Ecevit University.

References

- Ahlemann, F., El Arbi, F., Kaiser, MG., Heck, A. 2013.** A process framework for theoretically grounded prescriptive research in the project management field. *Int. J. Proj. Manag.*, 31 (1): 43–56. Doi:10.1016/j.ijproman.2012.03.008.
- Al-Zwainy, FMS., Mohammed, IA., Raheem, SH. 2016.** Application project management methodology in the construction sector: Review. *Int. J. Sci. Eng. Res.*, 7 (3): 244–253.
- Alam, M., Gale, A., Brown, M., Khan, AI. 2010.** The importance of human skills in project management professional development. *Int. J. Manag. Proj. Bus.*, 3 (3): 495–516. Doi:10.1108/17538371011056101.
- Allen, WE. 1995.** Establishing some basic project-management body-of-knowledge concepts. *Int. J. Proj. Manag.*, 13 (2): 77–82. Doi:10.1016/0263-7863(95)00004-A.
- Aslam, A., Bilal, A. 2021.** Impact of project management certification on project performance. *J. Proj. Manag.*, 6 (3): 133–142. Doi:10.5267/j.jpjpm.2021.3.001.
- Association for Project Management (APM). 2022.** Project risk analysis & management (PRAM) mini guide.
- Blomquist, T., Thomas, J. 2004.** Project manager's perceptions of the motivation for, and benefits, of certification. In the Proceedings of IRNOP VI Conf. Turku, Finland, pp: 15-24.
- Catania, JT., Armstrong, G., Tucker, J. 2013.** The effects of project management certification on the triple constraint." *Int. J. Inf. Technol. Proj. Manag.*, 4 (4): 93–111. Doi:10.4018/ijitpm.2013100106.
- Crawford, L. 2000.** Project management competence for the new millennium. 15th World Congress on Project Management, pp. 34-46, United Kingdom.
- Crawford, L. 2005.** Senior management perceptions of project management competence. *Int. J. Proj. Manag.*, 23 (1): 7–16. Doi:10.1016/j.ijproman.2004.06.005.
- Daim, TU., Udbye, A., Balasubramanian, A. 2013.** Use of analytic hierarchy process (AHP) for selection of 3PL providers. *J. Manuf. Technol. Manag.*, 24 (1): 28–51. Doi:10.1108/17410381311287472.
- De los Rios-Carmenado, I., Diaz-Puente, JM., Martinez-Almela, J. 2011.** The effect that project management certification has on employability: Agents' perceptions from Spain. *Commun. in Comp. Inf. Sci.*, 208: 35-47.
- Duncan, WR. 1995.** Developing a project-management body-of-knowledge document: the US Project Management Institute's approach, 1983-94. *Int. J. Proj. Manag.*, 13(2):89–94. Doi:10.1016/0263-7863(94)00021-4.
- Farashah, AD., Thomas, J., Blomquist, T. (2019).** Exploring the value of project management certification in selection and recruiting. *Int. J. Proj. Manag.*, 37(1): 14-26. Doi:10.1016/j.ijproman.2018.09.005
- Global Knowledge. 2020.** <https://www.globalknowledge.com/us-en/resources/resource-library/articles/2020-15-top-paying-certifications/#gref>. Access Date: 01.12.2023
- Gold, B., Vassell, C. 2015.** Using risk management to balance agile methods: A study of the Scrum process. 2nd International Conference on Knowledge-Based Engineering and Innovation, pp. 49–54, Iran. Doi:10.1109/KBEL.2015.7436020.
- Hadaya, P., Cassivi, L., Chalabi, C. 2012.** IT project management resources and capabilities: A Delphi study. *Int. J. Manag. Proj. Bus.*, 5 (2): 216–229. Doi:10.1108/17538371211214914.
- Harvard Business School. 2001.** What you can learn from professional project managers. Retrieved from: <http://hbswk.hbs.edu/archive/2284.html>. Access Date: 01.12.2023
- Hasan, A., Elmualim, A., Rameezdeen, R., Baroudi, B., Marshall, A. 2018.** An exploratory study on the impact of mobile ICT on productivity in construction projects. *Built Environ. Proj. Asset Manag.*, 8 (3): 320–332. Doi:10.1108/BEPAM-10-2017-0080.
- Isik, Z., Arditi, D., Dikmen, I., Birgonul, MT. 2009.** Impact of corporate strengths/weaknesses on project management competencies. *Int. J. Proj. Manag.*, 27 (6): 629–637. Doi:10.1016/j.ijproman.2008.10.002.
- ISO. 2003.** ISO/IEC:17024: Conformity assessment. General requirements for bodies operating certification of persons. Switzerland International Organization for Standardization.
- Iyer, KC., Banerjee, PS. 2019.** Identifying New knowledge areas to strengthen the Project Management Institute (PMI) framework. *Organ. Technol. Manag. Constr. an Int. J.*, 11 (1): 1892–1903. Doi:10.2478/otmcj-2018-0014.
- Karaman, E., Kurt, M. 2015.** Comparison of project management methodologies: Prince 2 versus PMBOK for its projects. *Int. J. Appl. Sci. Eng. Res.*, 4 (5): 657–664. Doi:10.6088/ijaser.04068.
- Koc, K., Gurgun, AP. 2022.** Ambiguity factors in construction contracts entailing conflicts. *Eng. Constr. Archit. Manag.*, 29 (5): 1946–1964. Doi:10.1108/ECAM-04-2020-0254.
- Kulejewski, J. 2008.** Directions of system solutions for the management of construction investment projects financed from public funds. Polish Association of Civil Engineers and Technicians, Workshops of Civil Engineers, Preparation and Implementation Problems in Construction Projects, Puławy 22-24 October.

- Kunkcu, H., Koc, K., Gurgun, A. P., Dagour, H. H. 2023.** Operational barriers against the use of smart contracts in construction projects. *Turkish J. Civ. Eng.*, 34 (5): 81–106. Doi:10.18400/tjce.1322972
- Liu, Y., van Nederveen, S., Hertogh, M. 2017.** Understanding effects of BIM on collaborative design and construction: An empirical study in China. *Int. J. Proj. Manag.*, 35 (4): 686–698. Doi:10.1016/j.ijproman.2016.06.007.
- Lopez, EV., Alexander, JF. 2023.** The project management profession: Current state of U.S. graduate programs. *J. Educ. Bus.*, 98 (4): 186–191. Doi:10.1080/08832323.2022.2105781.
- Lundqvist, S., Marcusson, L. 2014.** Advertisements for ICT project managers show diversity between Swedish employers' and project management associations' views of PM certifications. *Probl. Manag. 21st Century*, 9 (1): 35–55. Doi:10.33225/pmc/14.09.35.
- Matos, S., Lopes, E. 2013.** Prince2 or PMBOK – A question of choice." *Procedia Technol.*, 9: 787–794. Doi:10.1016/j.protcy.2013.12.087.
- McHugh, O., Hogan, M. 2011.** Investigating the rationale for adopting an internationally-recognized project management methodology in Ireland: The view of the project manager. *Int. J. Proj. Manag.*, 29 (5): 637–646. Doi:10.1016/j.ijproman.2010.05.001.
- Morris, PWG. 2014.** Project management: a profession with a hole in its head or, why a change in the culture of academic support is needed for the profession. *Eng. Proj. Organ. J.*, 4 (2–3): 147–151. Doi:10.1080/21573727.2013.873717.
- Morris, PWG., Crawford, L., Hodgson, D., Shepherd, MM., Thomas, J. 2006.** Exploring the role of formal bodies of knowledge in defining a profession - The case of project management. *Int. J. Proj. Manag.*, 24 (8): 710–721. Doi:10.1016/j.ijproman.2006.09.012.
- Müller, R., Turner, R. 2007.** The influence of project managers on project success criteria and project success by type of project. *Eur. Manag. J.*, 25 (4): 298–309. Doi:10.1016/j.emj.2007.06.003.
- Munns, AK., Bjeirmi, BF. 1996.** The role of project management in achieving project success. *Int. J. Proj. Manag.*, 14 (2): 81–87. Doi:10.1016/0263-7863(95)00057-7.
- Murray, A. 2009.** Managing successful projects with PRINCE2, 2009 edition manual. The Stationary Office, London, UK, 342 pp.
- Nyumba, T., Wilson, K., Derrick, CJ., Mukherjee, N. 2018.** The use of focus group discussion methodology: Insights from two decades of application in conservation. *Meth. Ecol. Evol.*, 9 (1): 20–32. Doi://10.1111/2041-210X.12860.
- Onyia, U., Egbu, C., Suresh, S., Renukappa, S. 2023.** The critical success factors to remote development of construction management skills and competencies in Nigeria. *J. Eng. Des. Tech.* 21 (2): 343–35. Doi:10.1108/JEDT-10-2021-0546/full/html
- Pang, M., Chua, BL., Chu, CWL. 2008.** Learning to stay ahead in an uncertain environment. *Int. J. Hum. Resour. Manag.*, 19 (7): 1383–1394. Doi:10.1080/09585190802110307.
- Pant, I., Baroudi, B. 2008.** Project management education: The human skills imperative. *Int. J. Proj. Manag.*, 26 (2): 124–128. Doi:10.1016/j.ijproman.2007.05.010.
- Pinto, JK. 2022.** Reassessing project practices, research, and theory in a post-Covid reality. *Int. J. Inf. Sys. Proj. Manage.*, 10 (4): 5–17. Doi:10.12821/ijispm100401
- Pinto, JK., Winch, G. 2016.** The unsettling of 'settled science': The past and future of the management of projects. *Int. J. Proj. Manag.*, 34 (2): 237–245. Doi:10.1016/j.ijproman.2015.07.011.
- PMI. 2023.** Project Management Institute. <https://www.pmi.org/certifications/project-management-pmp>. Access Date: 01.12.2023
- Pohler, D., Willness, C. 2014.** Balancing interests in the search for occupational legitimacy: The HR professionalization project in Canada. *Hum. Resour. Manage.*, 53 (3): 467–488. Doi:10.1002/hrm.21579
- Prabhakar, GP. 2005.** Switch leadership in projects: Leadership on project success across the importance of transformational an empirical study reflecting the twenty-eight nations. *Proj. Manag. J.*, December: 53–61.
- Rastovski, T. 2021.** Influence of project management certification on project managers' career. 5th Asia-Pacific Conference on Economic Research and Management Innovation, pp. 48–52, Online.
- Rastovski, T., Golomejic, RDV., Vukomanovic, M. 2023.** The role of competency-based certification in ensuring sustainable project delivery. *Organ. Technol. Manag. Constr. an Int. J.* 15: 243–252. Doi:10.2478/otmcj-2023-0019
- Richardson, TM., Earnhardt, MP., Marion, JW. 2015.** Is project management still an accidental profession? A qualitative study of career trajectory. *SAGE Open*, 5 (1). Doi:10.1177/2158244015572098.
- Robertson, JW., Stock, GN. 2023.** The effects of project management certification and project complexity on project quality in information technology projects: An organizational information processing perspective. *Int. J. Proj. Manag.*, 15(3): 375–394. <https://doi.org/10.1504/IJPOM.2023.132722>

- Simonaitis, A., Daukšys, M., Mockienė, J. 2023.** A comparison of the project management methodologies PRINCE2 and PMBOK in managing repetitive construction projects. *Buildings*, 13(7):1979-2007. Doi:10.3390/buildings13071796.
- Skillsoft. 2023.** <https://www.skillsoft.com/blog/top-paying-it-certifications>. Access date: 15.11.2023
- Sobieraj, J., Metelski, D., Nowak, P. 2021.** PMBoK vs. PRINCE2 in the context of Polish construction projects: Structural equation modeling approach. *Arch. Civ. Eng.*, 67 (2): 551–579. Doi:10.24425/ace.2021.137185.
- Soroka Potrzebna, H. 2021.** The importance of certification in project management in the labor market. *Proc. Comput. Sci.*, 192: 1934-1943. Doi: 10.1016/j.procs.2021.08.199.
- Stevenson, DH., Starkweather, JA. 2010.** PM critical competency index: IT execs prefer soft skills. *Int. J. Proj. Manag.*, 28 (7): 663–671. Doi:10.1016/j.ijproman.2009.11.008.
- Study International. 2023.** <https://www.studyinternational.com/news/highest-paying-certifications>. Access Date: 15.11.2023
- Uhlir, Z. 2013.** The effect of the project manager certification process on the development of project management – A Croatian perspective. *Proc. Soc. Behav. Sci.*, 74: 223–232. Doi: 10.1016/j.sbspro.2013.03.009.
- Wideman, RM. 2002.** Comparing PRINCE2® with PMBoK®. *AEW Serv.*, 13–16. Vancouver, Canada.
- Windapo, AO., Olugboyega, O., Odediran, S. 2020.** Impacts of procurement strategies on construction SMEs' growth. *J. Financ. Manag. Prop. Constr.*, 25 (3): 423–446. Doi:/10.1108/JFMPC-05-2019-0045.
- Zwikael, O. 2009.** The relative importance of the PMBOK® Guide's nine knowledge areas during project planning. *Proj. Manag. J.*, 40 (4): 94–103. Doi:10.1002/pmj.20116



Transfer Öğrenme Teknikleri Kullanarak Nohut Çeşidi Sınıflandırma

Chickpea Varietal Classification Using Transfer Learning Techniques

İbrahim Kılıç¹ , Nesibe Yalçın^{2*} 

¹Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, Türkiye

²Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Kayseri, Türkiye

Öz

Tohum saflığı, tarım üretiminde verimi artırmak ve ürün kalite standartlarını karşılamak için oldukça önemlidir. Bu durum, tohum üreticilerinden dağıtıcılarına tarım endüstrisinin, tohum saflığına daha fazla önem vermesini gerektirmektedir. Bu da tohum çeşidi sınıflandırma ve ayırma yöntemlerine ihtiyacı artırmıştır. Çalışma kapsamında, dünyada en çok üretilen yemeklik baklagillerden biri olan nohudun çeşit sınıflandırması problemi ele alınmıştır. Sınıflandırma için 14 adet ön eğitilmiş derin öğrenme modeli kullanılmış ve model performansları karşılaştırılarak ilgili problem için en başarılı model(ler) tespit edilmeye çalışılmıştır. Başarımı en yüksek modeller VGG16 ve VGG19, sırasıyla %96.7 ve %97 test doğruluklarına sahiptir ve daha verimli, kaliteli ve sürdürülebilir tohum üretiminin sağlanması için önemli bir araç olabilirler.

Anahtar Kelimeler: Derin öğrenme, evrişimli sinir ağı, nohut sınıflandırma, transfer öğrenme.

Abstract

Seed purity is important for improving the efficiency of agricultural production and meeting product quality standards. This requires the agricultural seed industry, from producers to distributors/sellers, to focus more on the seed purity. Therefore, the need for seed variety identification and classification methods has increased. The seed variety classification of chickpeas, one of the most produced edible legumes in the world, is examined in this study. 14 pre-trained deep learning models have been used for classification and their performances have been compared to determine the most successful model(s) for the relevant problem. The most successful models, VGG16 and VGG19, have test accuracies of 96.7% and 97%, respectively. Thus, they can be an important tool for ensuring more efficient, high-quality, and sustainable seed production.

Keywords: Deep learning, convolutional neural network, chickpea classification, transfer learning.


1. Giriş


Tarım için tohum en önemli girdidir. Tohum saflığı, tekdüze (uniform) bir ürün güvencesi sağlamanın yanında optimum verim elde etmenin de ön koşuludur. Tohum çeşitliliğinin saflığının tehlikeye atılması, ekim uygulamalarını ve bitki büyümesini olumsuz etkilemektedir. Tohum sınıflandırması genellikle uzmanlar tarafından renk ve boyut gibi özelliklere bakılarak yapılmaktadır. Zaman alıcı bir süreç olmasının yanında çeşidin yanlış tanımlanmasına da neden olabilmek-

tedir (Abuhayi ve Bezabih 2023). Bu durum, tohum çeşit sınıflandırma problemi için otomatik sınıflandırma sistemi gibi daha hızlı ve verimli çözümlere olan ihtiyacı artırmaktadır.

Yapay zeka yaklaşımları hayatımızın her alanında uygulanabilir olmuşlardır. Tarım sektörü ve tarımsal üretimde bundan payını almıştır. Özellikle tohum çeşidinin tanımlanması ve otomatik sınıflandırılması üzerine giderek artan bir ilgi söz konusudur. Bununla birlikte çoklu tohum çeşitlerinin sınıflandırılmasına yönelik çalışma sayısı oldukça sınırlıdır (Başol ve Toklu 2021). Çetiner (2022), hint keneviri, mısır, pirinç, şeker kamışı, buğday bitkilerine ait görüntülerden oluşan bir veri setini kullanmıştır. Veri çoğaltma teknikleri uyguladığı veri setini, %80 eğitim ve %20 test amaçlı ikiye ayırmıştır. Sınıflandırma için MobileNetV2 tabanlı bir model önermiş ve temel MobileNetV2 modeli ve önerdiği model ile de-

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: nesibeyalcin@erciyes.edu.tr

İbrahim Kılıç  orcid.org/0000-0001-5971-7928

Nesibe Yalçın  orcid.org/0000-0003-0324-9111



neyler gerçekleştirmiştir. Önerdiği model %98.75 doğruluk (accuracy) başarımına, temel model ise %72.67 başarıma sahiptir. Mısır tohumu görüntü örnekleri üzerinde çalışma gerçekleştiren Xu ve diğerleri (2021), görüntülerden 16 adet özellik çıkarmışlar ve daha sonra çeşitli makine öğrenmesi algoritmaları kullanarak çeşit sınıflandırması yapmışlardır. En iyi sonuçlara Destek Vektör Makinesi (%99.46) ve Çok Katmanlı Algılayıcı Ağları (%96.26) ile ulaşmışlardır. Aktaş (2022), geliştirdiği düzenek yardımı ile Antep fıstıklarına ait görüntüler elde etmiş ve veri setini dengeli hale getirmiştir. Farklı eğitim, doğrulama ve test veri seti bölümlenmeleri için gerçekleştirdiği deneyler sonucunda, %60-%20-%20 bölümlenmesi ile %98.44 doğruluk değerine ulaşmıştır. Yaşar (2023) çalışmasında, 5 ekmeklik buğday çeşidini (Ayten Abla, Hamitbey, Şanlı, Bayraktar 2000 ve Tosunbey) sınıflandırmıştır. Kullanılan görüntü veri seti, seyrek şekilde dizilmiş buğday tanesi görüntülerinden elde edilmiş 8354 adet görüntü içermektedir. InceptionV3, MobileNetV2 ve ResNet18 modelleri transfer edilmek suretiyle gerçekleştirilen sınıflandırma deneylerinde %97 ve üzeri doğruluk elde edilmiştir. 3 farklı karanfil türüne ait tohumların sınıflandırıldığı bir çalışmada (Tuğrul vd. 2022), DenseNet201, VGG16, MobileNet, InceptionV3 ve ResNet152V2 modellerine derin öğrenme teknikleri uygulanarak elde edilen versiyonları kullanılmıştır. Sınıflandırma sonucunda ResNet152V2 modelinin yeni versiyonu ile %99.45 doğruluk ve 0.9996 AuC değerine ulaşılmıştır. Singh ve diğerleri (2022), Siirt ve kırmızı Antep fıstığı tanelerine ilişkin görüntü seti üzerinde 3 ön eğitimli model ile deneyler yürütmüşler ve en yüksek doğruluk başarımını VGG16 ile elde etmişlerdir.

Nohut, zengin besin içeriği nedeniyle dünyada en çok üretilen ve tüketilen baklagillerden biridir ve birçok çeşidi bulunmaktadır. Üretim verimliliği tohum kalitesinden (saflığından) etkilenmektedir ve bu nedenle tohum sınıflandırması üretim açısından oldukça önemlidir. Kalite derecelerine (üstün, kabul edilebilir ve kusurlu) göre nohut sınıflandırmanın amaçlandığı bir çalışmada (Çakmak ve Boyacı 2011), nohut numuneleri ayrı ayrı yerinde tutabilen küçük bölmeli bir tabla tasarlanmıştır. Tohumlar bu bölmelere yerleştirilmiş ve tarayıcı ile görüntüler elde edilmiştir. Bilgisayarlı bir görme sistemine entegre Yapay Sinir Ağları ile yapılan sınıflandırma sonucunda en düşük doğruluk %87.6 ve olarak hesaplanmıştır. Nohut ve fasulye çeşit sınıflandırması üzerine yapılan bir çalışmada (Kaya vd. 2022), ResNet50 modeli kullanılmış ve sınıflandırma sonucunda %83.23 (nohut) ve %87.16 (fasulye) kesinlik (precision) elde edilmiştir. Makine öğrenmesi tabanlı nohut sınıflandırma üzerine yapılan bir

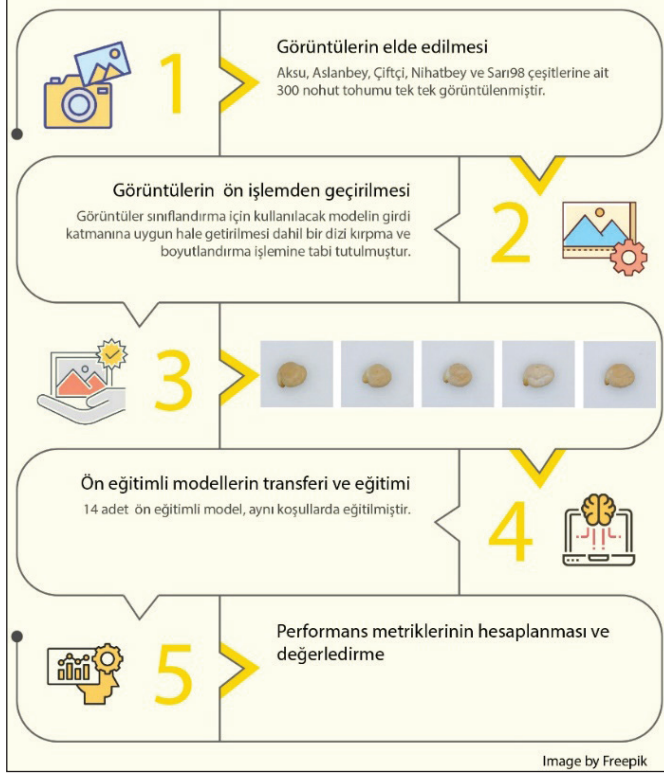
çalışmada (Ayele ve Tamiru 2020), 8 özellik ve toplam 8303 kayıt içeren bir veri seti kullanılmıştır. Ön işleme ile deneylere hazır hale getirilen veri seti, %80'i eğitim ve %20'si test amaçlı ikiye ayrılmıştır. Deneyler sonucunda %97.5 doğruluk oranı ile Karar Ağacı en iyi performansı göstermiştir. Makine öğrenmesi yöntemleri kullanılarak yapılan bir başka çalışmada (Karadağ ve Keskinbıçak 2023), nohut bitkisinin özellikleri (hacim, ağırlık, renk, kabuk şekli gibi) kullanılmıştır. Ham veri seti ve daha sonra sentetik veriler kullanılarak deneyler yapılmış ve sadece ham verilerin kullanıldığı deneyler sonucunda en yüksek başarı oranı %90.6 olarak hesaplanmıştır. Saha ve Manickavasagan (2022), nohut sınıflandırma üzerine 7 ön eğitimli model ile gerçekleştirdikleri deneylerde en iyi doğrulukları MobilNetV2: %100, ResNet: %100 ve GoogleNet: %99.4 olarak belirlemişlerdir. Nohut tohumunun morfolojik özellikleri dikkate alınarak yapılan bir sınıflandırma çalışmasında (Saha vd. 2023), NasNet-A, MobileNetV3 ve EfficientNetB0 modelleri ile sırasıyla %97, %99 ve %98 doğruluk elde edilmiştir. 4 nohut çeşidine ilişkin yapılan bir sınıflandırma çalışmasında (Taheri-Garavand vd. 2021), değiştirilmiş VGG16 modeli ile %94 üzeri ortalama doğruluk hesaplanmıştır. 6 sertifikalı nohut çeşidi (Atabey, Aydoğan, Göktürk, Badır, Karlı ve Tunç) sınıflandırması üzerine yapılan bir başka çalışmada (Golcuk vd. 2023), hibrit bir sınıflandırma modeli (MobilNetV2 + LSTM) ile %92.97 kesinlik elde edilmiştir. İncelenen çalışmalar transfer öğrenme tekniklerinin tohum sınıflandırma-daki potansiyelini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmada, nohut tohumu çeşit sınıflandırması amaçlanmıştır. Sınıflandırmada yüksek doğruluk elde etmek amacıyla 14 adet transfer öğrenme tekniği kullanılmıştır. Öğrenme modellerinin belirsizliğini ve tahmin verimliliğini değerlendirmek için 5 katlı çapraz doğrulama (cross validation) yapılmıştır. Bütün modellerde %90 ve üzeri test doğruluğuna ulaşılmıştır. Çalışmanın literatüre ana katkıları aşağıda listelenmiştir:

- Çalışma kapsamında "TRCS_5_SET" isimli özgün bir veri seti oluşturulmuş ve araştırmacıların kullanımına sunulmuştur.
- Çoklu tohum sınıflandırma problemi için transfer öğrenme teknikleri, başarı ile uygulanmıştır.
- VGG16 ve VGG19 modelleri ile sırasıyla %96.7 ve %97 test doğruluklarına ulaşılmıştır.
- Nohut açısından tarımda verimliliği artırmak ve tohum saflığına katkıda bulunmak için yüksek doğrulukla tohum sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir.

2. Gereç ve Yöntem

Çalışma kapsamında Türkiye’de üretilen 5 farklı nohut tohumu çeşidine ilişkin bir görüntü veri seti oluşturulmuş ve önışlemden geçirilerek transfer öğrenme modellerinin eğitim ve test edilmesinde kullanılmıştır. Nohut çeşidi sınıflandırma için önerilen mimari Şekil 1’de sunulmuştur. Her bir adıma ilişkin ayrıntılara bu bölümde yer verilmiştir.



Şekil 1. Nohut sınıflandırma akış diyagramı.

2.1. Veri Seti

Çalışmada kullanılan veri seti (Kılıç ve Yalçın 2023), dengeli bir dağılıma sahiptir ve Nihatbey, Sarı98, Aksu, Çiftçi ve Aslanbey nohut çeşitlerine ait görüntüler içermektedir. Çeşit başına 300 olmak üzere toplamda 1500 görüntü veri setinde yer almaktadır (Çizelge 1). Veri seti nohut çeşitlerine ilişkin birer örnek görüntü Şekil 2’de sunulmuştur.

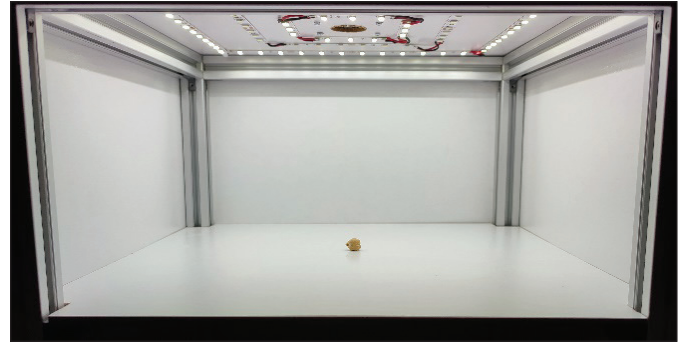


Şekil 2. Veri setinden örnek görüntüler.

Çizelge 1. Veri seti özeti.

Çeşit	Görüntü Adeti	Oran (%)	Toplam
Nihatbey	300	20	1500
Sarı98	300	20	
Aksu	300	20	
Çiftçi	300	20	
Aslanbey	300	20	

Nohut tohumu görüntüleri, Arducam Hawk-Eye kamera ile 1050 kandela ışık şiddetine sahip beyaz bir LED ışık kaynağı altında 15 cm yükseklikten çekilmiştir (Şekil 3). 9152×6944 çözünürlüğe sahip nohut görüntüleri, sınıflandırma işlemi öncesi ön işlemden geçirilmiştir. Görüntüler nohut tanesini içerecek şekilde kırılarak önce 1200×1100 piksel çözünürlüğe yeniden boyutlandırılmış, daha sonra ilgili ön eğitilmiş modelin eğitimi için girdi katmanının gerektirdiği çözünürlüğe indirgenmiştir. Çalışma kapsamında hazırlanan görüntü veri seti, “TRCS_5_SET” olarak isimlendirilmiş ve GitHub’ta paylaşılmıştır (Kılıç 2024).



Şekil 3. Görüntülerin elde edilmesi için kullanılan sistem.

2.2. Derin Öğrenme ve Transferi

Derin öğrenme, makinenin birden fazla gizli katmana sahip çok katmanlı yapay sinir ağları (derin ağlar) aracılığıyla öğrenmesini ifade etmektedir. Derin öğrenme modelleri, başlangıç sinir hücresi (nöron) değerlerini ve sinir hücreleri arası bağlantı ağırlıklarını denetimsiz olarak belirlemekte, geri yayılım gibi farklı algoritmalar ile parametre optimizasyonunu gerçekleştirmekte ve eğitim sırasında çok küçük hata oranlarına kısa sürede ulaşabilmektedir (Altan 2019). Evrişimli Sinir Ağı (Convolutional Neural Network, CNN), özellikle görüntü sınıflandırma ve nesne tespiti görevlerinde başarılı bir derin öğrenme mimarisidir. Herhangi bir öznelik çıkarımına ihtiyaç duymadan canlıların görsel algılamaya

şeklini taklit eden evrişim işlemi, CNN’i popüler hale getirmiştir.

CNN, temel olarak evrişim (convolution), havuzlama (pooling) ve tam bağlı (fully-connected) katmanlardan oluşmaktadır (Narin vd. 2021). Evrişim katmanı, görüntüden özelliklerin çıkarılmasından sorumludur. Bir filtre matrisi yardımı ile görüntü matrisinden özellik haritası (feature map) çıkarılır. Çıkarılan özellik haritasının boyutu; görüntü girişi, filtre çekirdeği ve adım değerine (stride) bağlıdır. Her evrişim işlemi ile birlikte ağırların eğitiminin hesaplama maliyeti artmaktadır. Havuzlama katmanı, özellik haritasında boyut azaltımı gerçekleştirerek hesaplama maliyetini düşürmektedir. Bilgi kaybına rağmen bir piksel komşu piksellerde yer alan bilgileri istatistiksel olarak özetlediği için önemli bilgileri içermes, daha az hesaplama yükü sağlama, ezberlemeyi önleme gibi avantajları nedeniyle CNN modellerinde sıklıkla kullanılmaktadır (Narin vd. 2021, LeChun vd. 2015, Srivastava vd. 2014). Tam bağlı katman, bütün sinir hücrelerinin bir önceki katmanın çıkışları ile bağlantılı olduğu katmandır ve bir çeşit çok katmanlı algılayıcıdır (Narin vd. 2021).

Transfer öğrenme, özellikle küçük veri setleri ile derin öğrenme çalışmalarında sıklıkla tercih edilmektedir. Transfer öğrenmenin özünü büyük veri setleri üzerinde başarısını kanıtlamış olan eğitilmiş modellerin, yeni öğrenme problemlerinde kullanılması oluşturmaktadır. Bu çalışmada, VGG16, VGG19, DenseNet201, ResNet18, ResNet50, ResNet101, InceptionResNetv2, GoogleNet, Xception, AlexNet, MobileNetV2, NasNetMobile, EfficientNet ve ShuffleNet ön eğitilmiş modelleri kullanılmıştır.

AlexNet, CNN’nin kendi kendisine çıkardığı öznetelikler ile ulaşılan öğrenme başarımının, klasik yöntemlerle çıkarılmış öznetelikler kullanılarak yapılan öğrenmenin başarımını geçebileceğini gösteren ilk modeldir. ILSVRC 2012’yi büyük bir farkla kazanmıştır. Derin öğrenmenin gücünü ve potansiyelini göstermesi bakımından bir dönüm noktası olarak kabul edilen AlexNet, yeni derin öğrenme modellerinin geliştirilmesine ilham kaynağı olmanın yanında bilgisayarla görmenin alışılmış kalıpların ötesine geçebilmesine de öncülük etmiştir. 8 katmanlı bir yapıya sahip olan AlexNet mimarisi, ilerleyen katmanlar boyunca boyutları azalan evrişim filtrelerine sahiptir. Aktivasyon fonksiyonu olarak ReLU kullanılmış ve böylece LeNet’te var olan gradyan kaybı sorunu çözüme ulaştırılmıştır (Zhang vd. 2023).

VGG, ConvNet olarak da bilinen bir CNN çeşididir. 13 evrişim katmanı ve 3 tane tam bağlı katmandan oluşmaktadır. Oxford Üniversitesi Görsel Geometri Grup (Visual Geo-

metry Group, VGG) Laboratuvarı çalışanlarından Karen Simonyan ve Andrew Zisserman tarafından 2015 yılında “Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition” başlıklı makalede önerilmiştir. VGG, ImageNet üzerinde %92.7 başarımla elde etmiştir (Simonyan ve Zisserman 2015). Katman yapısı ve geliştirildiği laboratuvar nedeniyle VGG16 olarak anılmaktadır. AlexNet mimarisine göre kernel boyutları azaltılmıştır. VGG19 mimarisi ise VGG16 mimarisine 3 adet evrişim katmanı eklenerek geliştirilmiş versiyonudur.

GoogleNet, diğer adı ile Inception, 2014 yılında duyurulmuştur ve 22 katmana sahiptir. Mimarisinin ana fikrini, geleneksel evrişimli ağlarda sıralı bazı işlemlerin paralel olarak aynı anda gerçekleştirilmesi oluşturmaktadır. “Inception modülü” adı verilen bu yaklaşım, eğitilebilir parametre sayısını artırmaktadır. Parametre sayısındaki artışın getirdiği hesaplama maliyeti, 1×1 evrişim filtresi ve düzeltilmiş doğrusal aktivasyon içeren boyut azaltım modülü ile çözülmüştür. Böylece, önemli bir performans kaybı yaşanmadan ağırların derinliği ve genişliği de artırılabilmiştir (Szegedy vd. 2015).

ResNet, 2015 yılında ILSVRC yarışmasını kazanan bir derin öğrenme modelidir. Derin sinir ağlarında karşılaşılabilen gradyan kaybı problemini azaltmak ve ağırların öğrenmesini kolaylaştırmak için evrişim bloğu girişini bir veya daha fazla katman sonrası çıkış aktivasyonu öncesine aktaran artık (residual) bağlantılar kullanılmaktadır (He vd. 2016). Ağırların daha etkili ve hızlı öğrenmesine yardımcı olan bu bağlantılar ile gerçekleştirilen öğrenme yaklaşımına, artık öğrenme (residual learning) denir (Géron 2019). Inception-ResNet (Szegedy vd. 2017), Inception ve ResNet mimarilerini birleştiren bir CNN mimarisidir. Böylece, her iki mimarinin avantajlarından yararlanılarak daha etkili ve verimli bir öğrenme modelinin sunulması amaçlanmıştır.

Xception, 2016 yılında “Xception: Deep Learning with Depthwise Separable Convolutions” başlıklı makale ile tanıtılmıştır (Chollet 2017). Inception ve ResNet mimarilerinin yaklaşımlarını benimseyen Xception’ın ana fikri, Inception modülleri yerine derinlemesine ayrılabilir (depthwise separable) evrişim katmanı kullanmaktır. Ayrılabilir evrişimsel katmanlar, daha az bellek ve hesaplama maliyeti ile daha iyi bir performans vaatmektedir. Xception, aynı sayıda parametreye sahip olduğu InceptionV3’e göre model parametrelerini daha verimli kullanması nedeniyle iyi bir performans sergilemiştir (Géron 2019).

DenseNet, ağ performansını artırmak amacıyla evrişimsel katmanlar arası yoğun bağlantılar içeren derin öğrenme

modelidir. Modelin tasarımı, yoğun blok (DenseBlock) adı verilen alt birimlerde yer alan katmanların her birinin çıkışının ardı sıra gelen diğer katmanlara bağlanması fikrine dayanmaktadır. Dolayısıyla yoğun blokta yer alan her katman, kendisinden önceki bütün katmanların çıkışını giriş olarak almaktadır. Yoğun bağlantılar, hesaplama ve bellek maliyeti artışını da beraberinde getirmiştir. Hesaplama ve bellek kullanım verimliliği için evrişim işlemi öncesi darboğaz katmanları (bottleneck layers) kullanılabilir ifade edilmiştir (Huang vd. 2017). DenseNet121 ve DenseNet201 gibi mimari üyelerinin adındaki rakamsal tanımlamalar, model derinliğini başka bir ifadeyle katman sayısını ifade etmektedir.

MobileNet, sınırlı sistem kaynaklarına sahip mobil cihazlar ve gömülü sistemlerde bilgisayarlı görme uygulamaları için tasarlanmış CNN mimarisidir. Derinlemesine ayrılabilir filtreler temel alınarak geliştirilen model, probleme daha iyi adapte olabilmeyi sağlayan hiper parametrelere sahiptir. Bu parametreler sayesinde, probleme uygun olarak performansı optimize etmek için modelin boyutu ve karmaşıklığı ayarlanabilmektedir (Howard vd. 2017).

NasNetMobile, belirli bir veri seti ve görev için en iyi performansı sunacak bir sinir ağı mimarisinin keşfedilmesini hedeflemektedir. Bu bağlamda, genel mimarisi başlangıçta belirlenmiş bir ağ üzerinde Sinir Mimarisi Araması (Neural Architecture Search, NAS) yönteminden (Zoph ve Le 2017) yararlanarak göreve en uygun ağ mimarisi otomatik olarak aranır. NAS yöntemi, alt ağların eğitiminden elde edilen doğruluklar ile kendisini güncelleyen bir denetleyiciye sahiptir. Denetleyicinin doğruluklar çerçevesinde güncellenmesinin nedeni zaman içerisinde daha iyi mimariye ulaşabilmektir. Ölçeklenebilir bir mimari için ağ, hücrelerden oluşmaktadır. Basit bir ifade ile denetleyici, arama uzayında ağ oluşturan bu hücrelerin yapılarını aramakta ve ağın ölçeklenmesini sağlamaktadır (Zoph vd. 2018).

ShuffleNet, sistem kaynakları ve bilgi işlem gücü sınırlı cihazlar için tasarlanmıştır. Derinlemesine ayrılabilir evrişim kullanan mimarilerin noktasal evrişimden yeterli düzeyde faydalanmadığı ana fikri çerçevesinde, noktasal grup evrişimi (pointwise group convolution) ve kanal karıştırma (channel shuffle) kullanmıştır. Bu yöntem, hesaplama maliyetini azaltırken doğruluğun korunabilmesini sağlamıştır. Noktasal grup evrişimi, kanal karıştırma ve dar boğaz (bottle-neck) işlemlerinin bileşimini içeren karıştırma birimlerinden oluşmaktadır. Diğer bazı modellere kıyasla daha az işlem yükü ile düşük sınıflandırma hatası sunmaktadır (Zhang vd. 2018).

Evrişimli sinir ağlarının ölçeklendirilmesi problemi temelinde geliştirilen EfficientNet, yüksek doğruluk elde etmek için genişlik, derinlik ve çözünürlük bileşenlerinin bileşik bir katsayı vasıtasıyla sezgisel olarak ölçeklenmesi ilkesini benimsemiştir (Tan ve Le 2019). Klasik yöntemleri kullanan modellere kıyasla daha fazla nesne ayrıntısına sahip daha ilgili bölgelere odaklanma eğilimindedir. Bu sayede, hesaplama maliyeti açısından verimlidir ve kaynak kısıtlı cihazlar için idealdir.

2.3. Performans Değerlendirme Metrikleri

Ön eğitilmiş modellerin sınıflandırma performanslarının değerlendirilebilmesi için doğruluk, kesinlik ve karakteristik eğrisi altında kalan alan (AuC) metrikleri kullanılmıştır. İlgili metrikler, her ön eğitilmiş modelin çalıştırılması sonucu elde edilen karmaşıklık matrislerine (confusion matrix) göre hesaplanmıştır. Karmaşıklık matrisi, modelin sınıflar için verdiği doğru ve yanlış tahminleri, gerçek etiketleri ile birlikte gösteren tablodur. Şekil 4'te ikili (A ve B sınıfı) bir sınıflandırma problemi için karmaşıklık matrisi verilmiştir. TP (True Positive, Doğru Pozitif), gerçekte A sınıfına (pozitif) ait olan ve doğru bir şekilde tahmin edilen örneklerin sayısını ve TN (True Negative, Doğru Negatif) ise gerçekte B sınıfından (negatif) olan ve doğru tahminlenen örneklerin sayısını ifade etmektedir. B sınıfı olarak yanlış tahmin edilen ve gerçekte A sınıfından olan örneklerin sayısı, FN (False Negative, Yanlış Negatif) ve yanlış bir şekilde A olarak tahmin edilen B sınıfı örneklerin sayısı ise FP (False Positive, Yanlış Pozitif) ile belirtilmiştir.

Karmaşıklık matrisi; doğruluk, özgünlük ve duyarlılık (recall) gibi performans metriklerinin hesaplanmasına yardım-

Gerçekler	Sınıf B	FP	TN
	Sınıf A	TP	FN
		Sınıf A	Sınıf B
		Tahminler	

Şekil 4. Karmaşıklık matrisi örneği.

cı olmaktadır. Çalışmada kapsamında transfer öğrenme modellerinin başarısının değerlendirilmesinde doğruluk metriği kullanılmıştır. Doğruluk, doğru olarak sınıflandırılan örneklerin tüm örneklere oranını ifade eder ve (1) denklemi yardımı ile hesaplanır.

$$\begin{aligned} \text{Doğruluk} &= \frac{\text{Doğru tahmin edilen pozitif ve negatif örneklerin sayısı}}{\text{Veri setindeki toplam örnek sayısı}} \\ &= \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \end{aligned} \quad (1)$$

Kesinlik, model seçiminde önemli bir metriklerden biridir. Pozitif olarak tahmin edilen örneklerin gerçekte ne kadarının pozitif olduğunu gösterir. Denklem (2) kullanılarak hesaplanır.

$$\begin{aligned} \text{Kesinlik} &= \frac{\text{Doğru tahmin edilen pozitif örneklerin sayısı}}{\text{Pozitif tahmin edilen toplam örnek sayısı}} \\ &= \frac{TP}{TP + FP} \end{aligned} \quad (2)$$

Sınıflandırma modellerinin performansını ölçmek için kullanılan metriklerden biri de AuC (Area under Curve)'dir. Bu metrik, gerçek pozitifler ile gerçek negatiflerin oranları arasındaki ilişkiyi betimleyen Alıcı İşlem Karakteristik (Receiver Operating Characteristic, ROC) eğrisi altında kalan alanı göstermektedir. AuC, 0 ile 1 arasında bir değer alır ve bu değer 1'e yakın olması sınıflandırma modelinin iyi bir performans gösterdiği ve daha doğru tahminde bulunduğu anlamına gelmektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

Nohut sınıflandırma problemi için 5 çeşide sahip görüntü veri seti üzerinde, 14 ön eğitilmiş model (DenseNet201, ResNet18, ResNet50, ResNet101, InceptionResNetv2, VGG16, VGG19, GoogleNet, Xception, AlexNet, MobileNetV2, NasnetMobile, EfficientNet ve ShuffleNet), transfer öğrenme yaklaşımıyla kullanılmıştır. Veri seti, modelleri eğitmek ve test etmek için 80:20 oranında (Ayele ve Tami-ru 2020) eğitim ve test setlerine ayrılmıştır. Eğitim ve test işlemleri, Intel Core I5 10400F 2.9 GHz işlemci, 16 GB DDR4 RAM bellek ve 6 GB GTX1660 GPU donanımına sahip masaüstü bir bilgisayarda Matlab R2022b programı ile gerçekleştirilmiştir. 5 katlı çapraz doğrulama yapılmış ve bütün ön eğitilmiş modeller için Çizelge 2'de verilen model eğitim parametreleri kullanılmıştır.

Çizelge 2. Eğitim parametreleri.

Parametre	Değer
Optimizasyon algoritması	sgdm
Maksimum devir sayısı (epoch)	20
Veri seti karıştırma	Her devir
Öğrenme oranı	1e-4
Mini yığın büyüklüğü	16
Doğrulama frekansı	10

Ön eğitilmiş modeller ile yürütülen deneyler sonucunda Çizelge 3'te sunulan eğitim ve test veri setlerine ilişkin doğruluk oranları ve AuC değerleri elde edilmiştir. Sonuçlar, bütün modellerin yaklaşık %90 ve üzeri eğitim ve test doğruluklarına ulaştığını göstermiştir. VGG19, çalışma kapsamında elde edilen en yüksek test doğruluğu %97 ile nohut çeşitlerini başarılı ve doğru bir şekilde sınıflandırmıştır. En yüksek eğitim doğruluk değerleri ise sırasıyla VGG16 (%97.2), DenseNet201 (%97.2) ve VGG19 (%96.3) modelleri ile elde edilmiştir. En düşük eğitim doğruluğu ise %89.7 ile NasNetMobile modeline aittir. Modellerin AuC değerleri ise 0.9935 ve üzeridir.

VGG16 ve VGG19 modelleri ile test veri seti için elde edilen karmaşıklık matrisleri, sırasıyla Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir. Aslanbey nohut örneklerinin VGG19 ve VGG16 modelleri ile %100 duyarlılık ile sınıflandırıldığı görülmektedir. Ayrıca çiftçi nohut örnekleri de her iki model ile yüksek duyarlılıkla (%98.3) sınıflandırılmıştır. VGG19 modeli için Aslanbey, Aksu ve Sarı98 çeşitleri %100 kesinlik değerine sahiptir. En düşük duyarlılık değerleri, VGG19 modeli ile Sarı98 çeşidi için %93.3 ve VGG16 ile Nihatbey çeşidi için %90 olarak elde edilmiştir.

Modellerin nohut çeşitlerini sınıflandırmada aldığı kararlara ilişkin görsel açıklamalar üretmek için Grad-CAM (Selvaraju vd. 2017) tekniğinden yararlanılmıştır. Diğer modellere kıyasla daha başarılı olan VGG16 modeli burada dikkate alınmıştır. Şekil 7'de her bir sınıfa ilişkin rastgele seçilen iki orijinal nohut görüntüsü ve Grad-CAM ile elde edilen görselleştirmeleri sunulmuştur. Koyu kırmızı renkli olan bölgeler, modelin sınıflandırma kararında en etkili olan özellikleri başka bir ifade ile yüksek aktivasyon değerine sahip alanları göstermektedir.

Aynı veri seti üzerine yapılan bir çalışmada (Kılıç ve Yalçın 2023), CNN modelleri (CNN-1 ve CNN-2) ile sınıflandırma gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma sonucunda elde edilen eğitim-test doğrulukları ve AuC değerleri, CNN-1 modeli için sırasıyla 0.912-0.94 ve 0.9945; CNN-2 için 0.969-0.98 ve 0.9990'dır. Ön eğitilmiş model sonuçları ile karşılaştırıldı-

Çizelge 3. Ön eğitilmiş modellerin eğitim ve test sonuçları.

Model	Eğitim Doğruluğu	Test Doğruluğu	AuC
DenseNet201	0.972	0.930	0.9969
ResNet50	0.939	0.957	0.9979
VGG16	0.972	0.967	0.9991
InceptionResNetv2	0.955	0.957	0.9935
GoogLeNet	0.912	0.927	0.9967
Xception	0.919	0.940	0.9949
AlexNet	0.943	0.960	0.9987
MobileNetV2	0.954	0.923	0.9957
ResNet18	0.959	0.950	0.9982
ResNet101	0.948	0.927	0.9968
VGG19	0.963	0.970	0.9987
NasNetMobile	0.897	0.907	0.9936
EfficientNet	0.923	0.900	0.9961
ShuffleNet	0.940	0.917	0.9955

		Karmaşıklık Matrisi(Test): Vgg19					
Tahmin Edilen Sınıf	aksu	59 19.7%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	aslanbey	0 0.0%	60 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	çiftçi	1 0.3%	0 0.0%	59 19.7%	3 1.0%	0 0.0%	93.7% 6.3%
	nihatbey	0 0.0%	0 0.0%	1 0.3%	57 19.0%	4 1.3%	91.9% 8.1%
	sarı98	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	56 18.7%	100% 0.0%
			98.3% 1.7%	100% 0.0%	98.3% 1.7%	95.0% 5.0%	93.3% 6.7%
		Gerçek Sınıf					
		aksu	aslanbey	çiftçi	nihatbey	sarı98	

Şekil 5. VGG19 - test karmaşıklık matrisi.

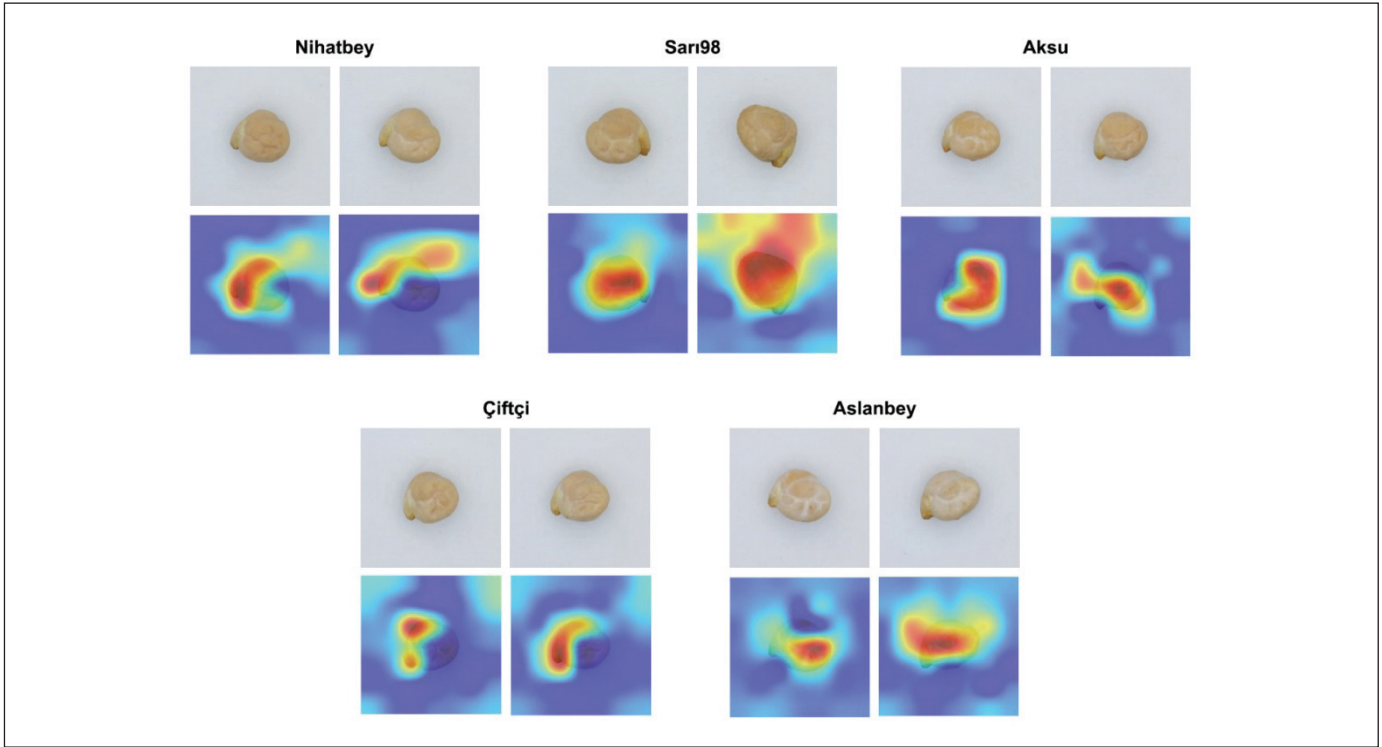
gında CNN-2 modeli daha yüksek test başarımına sahiptir. Test doğruluk değerlerinin karşılaştırması Şekil 8'de verilmiştir. Bütün modeller ile %90 ve üzeri doğruluk sağlanmıştır. En yüksek test doğrulukları ise sırasıyla CNN-1 (%98) ve VGG19 (%97) modelleri ile elde edilmiştir.

Test veri seti üzerinde sınıf bazında elde edilen kesinlik değerleri, Çizelge 4'te verilmiştir. Bütün modeller Aslanbey nohut çeşidi sınıflandırmasında, diğer çeşit sınıflandırma-

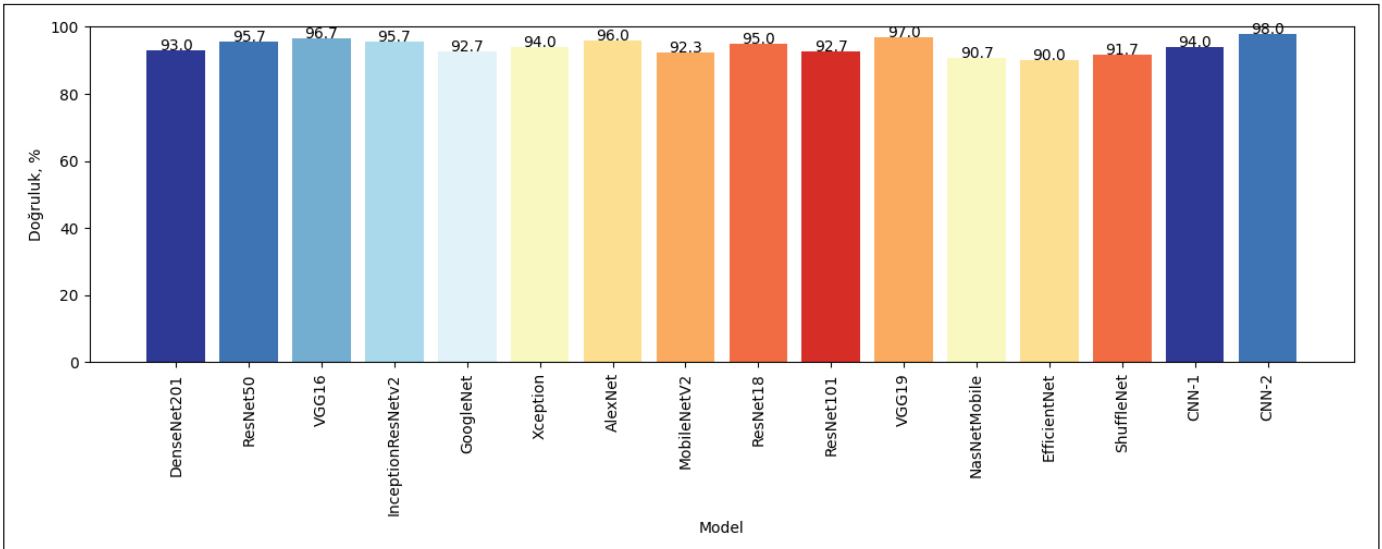
		Karmaşıklık Matrisi(Test): Vgg16					
Tahmin Edilen Sınıf	aksu	60 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	2 0.7%	0 0.0%	96.8% 3.2%
	aslanbey	0 0.0%	60 20.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	çiftçi	0 0.0%	0 0.0%	59 19.7%	3 1.0%	0 0.0%	95.2% 4.8%
	nihatbey	0 0.0%	0 0.0%	1 0.3%	54 18.0%	3 1.0%	93.1% 6.9%
	sarı98	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	1 0.3%	57 19.0%	98.3% 1.7%
			100% 0.0%	100% 0.0%	98.3% 1.7%	90.0% 10.0%	95.0% 5.0%
		Gerçek Sınıf					
		aksu	aslanbey	çiftçi	nihatbey	sarı98	

Şekil 6. VGG16 - test karmaşıklık matrisi.

larından daha başarılı bir performans göstermiştir. Aslanbey için elde edilen en düşük kesinlik değeri ise 0.983'tür. Diğer nohut çeşitleri için elde edilen en yüksek kesinlik değerleri Nihatbey sınıfı için 0.98 (AlexNet), Çiftçi için 0.966 (ResNet18), Sarı98 ve Aksu için 1.0 (VGG19)'dir. CNN-1 ve CNN-2 modelleri ile ön eğitilmiş model sonuçları karşılaştırıldığında, Nihatbey ve Çiftçi nohut çeşitleri için CNN-2 modeli daha yüksek başarımlar sağlamıştır.



Şekil 7. Her bir sınıf için orijinal nohut görüntüleri ve Grad-CAM görselleştirmeleri.



Şekil 8. Modellerin test doğrulukları.

Literatürdeki transfer öğrenme tabanlı nohut tohumu sınıflandırma çalışmaları ile karşılaştırıldığında (Çizelge 5) çalışma sonuçları umut vericidir. Taheri-Garavand ve diğerleri (2021), 4 katman ekleyerek değiştirdikleri VGG16 modeli ile %94 sınıflandırma doğruluğu elde etmiştir. Bu çalışmada ise VGG16 modeli ile %96.7 test doğruluğu sağlanmıştır. Saha ve Manickavasagan (2022), MobilNetV2 ve

ResNet modelleri ile %100, GoogLeNet ile %99.4 doğruluk oranına ulaşılırken bu çalışma kapsamında, MobileNetV2, ResNet101 ve VGG19 modelleri ile Aslanbey çeşidi %100 doğrulukla sınıflandırılmıştır. Ayrıca VGG16, VGG19 ve AlexNet modelleri ile ulaşılan sonuçların daha yüksek olduğu çizelgede görülebilir.

Çizelge 4. Çeşit bazlı test sonuçlarının karşılaştırması.

Model	Kesinlik				
	Nihatbey	Sarı98	Aksu	Çiftçi	Aslanbey
DenseNet201	0.978	0.833	0.922	0.965	0.984
ResNet50	0.887	0.968	0.983	0.946	1.000
VGG16	0.931	0.983	0.968	0.952	1.000
InceptionResNetv2	0.891	0.967	0.983	0.964	0.984
GoogleNet	0.862	0.982	0.983	0.838	0.983
Xception	0.862	0.982	0.922	0.946	1.000
AlexNet	0.980	0.984	0.938	0.908	1.000
MobileNetV2	0.882	0.855	0.967	0.915	1.000
ResNet18	0.873	0.966	0.966	0.966	0.984
ResNet101	0.781	0.982	0.983	0.922	1.000
VGG19	0.919	1.000	1.000	0.937	1.000
NasNetMobile	0.882	0.894	0.857	0.925	0.983
EfficientNet	0.872	0.843	0.932	0.862	1.000
ShuffleNet	0.976	0.882	0.921	0.848	0.984
CNN-1	0.960	0.919	0.951	0.881	1.000
CNN-2	0.983	0.984	0.983	0.967	0.984

Çizelge 5. Literatür karşılaştırması.

Çalışma	Model	Doğruluk (%)
(Taheri-Garavand vd. 2021)	Değiştirilmiş VGG16	>94 (ortalama)
(Saha ve Manickavasagan 2022)	MobilNetV2	100 (genel/overall)
	ResNet50	100
	GoogleNet	99.4
	VGG16	78
	VGG19	72
	AlexNet	50
Bu çalışma	VGG19	97.0 (test)
	VGG16	96.7
	AlexNet	96

4. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, nohut çeşitlerinin sınıflandırılmasında transfer öğrenme tekniklerinin potansiyeli araştırılmıştır ve ön eğitimli 14 modelin doğruluğunu ve etkinliğini değerlendirmek için çeşitli deneyler yürütülmüştür. Deneyler sonucunda elde edilen test sonuçlarına göre bütün modeller yaklaşık %90 ve üzeri doğruluk başarımları göstermiştir. Bu bağlamda, bütün modeller ilgili sınıflandırma probleminde kullanılabilir özellikte olup VGG16 ve VGG19 ön eğitimli modelleri, en başarılı modeller olarak nohut tohumu çeşit sınıflandırması için önerilmiştir. Elde edilen sonuçlar, nohut tohumu açısından tarım üretim zincirindeki temel problemlerinden

biri olan tohum saflığının korunmasına katkı sağlayabilir.

Çeşitli görüntü işleme tekniklerinin önerilen ön eğitimli modeller ile entegre edilmesi, nohut tohumu çeşit sınıflandırması çalışmalarının pratikte uygulanabilmesini daha mümkün kılacaktır. Yine toplu örnekler içerisinde farklı nohut tohumlarının varlığının tespiti için kullanılabilmesini sağlamak adına nohut tanelerinin tek bir açıdan değil farklı açılardan görüntülerinin elde edilerek görüntü setinin oluşturulması önemlidir. Gelecekte ilgili modellerin daha fazla nohut çeşidiyle (farklı açılardan görüntülere sahip) test edilmesi planlanmaktadır.

5. Teşekkür

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırmalar Enstitüsü Müdürlüğüne, Doğu Akdeniz Geçit Kuşağı Tarımsal Araştırmalar Enstitüsü Müdürlüğüne, Kahramanmaraş İl Tarım ve Orman Müdürlüğüne ve Kayseri Develi İlçe Tarım ve Orman Müdürlüğüne, nohut tohumlarının temini için teşekkür ederiz.

Yazar katkısı

İbrahim Kılıç: Görüntüleme sistemini kurmuş, veri setini hazırlamış, deneyleri gerçekleştirmiş, sonuçları analiz etmiş ve makaleyi yazmıştır, Nesibe Yalçın: Çalışmanın denetimini gerçekleştirmiş, sonuçları analiz etmiş, makaleyi yazmış ve düzenlemiştir.

6. Kaynaklar

- Abuhayi, BM., Bezabih, YA. 2023.** Chickpea disease classification using hybrid method. *Smart Agricultural Technology*, 6:100371. Doi: 10.1016/j.atech.2023.100371
- Aktaş, H. 2022.** Antep fıstığının derin öğrenme ile dış kabuk rengine göre sınıflandırılması. *NÖHÜ Müh. Bilim. Derg.*, 11(3):461-466.
- Altan, G. 2019.** DeepGraphNet: grafiklerin sınıflandırılmasında derin öğrenme modelleri. *EJOSAT*, 319-327. Doi: 10.31590/ejosat.638256
- Ayle, NA., Tamiru, HK. 2020.** Developing classification model for chickpea types using machine learning algorithms. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 10(1): 5-11. Doi: 10.35940/ijitee.A8057.1110120
- Başol, Y., Toklu, S. 2021.** A deep learning-based seed classification with mobile application. *Turk. J. Math. Comput. Sci.*, 13(1): 192-203. Doi: 10.47000/tjmcs.897631
- Chollet, F. 2017.** Xception: deep learning with depthwise separable convolutions. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, Honolulu, HI, USA, 1800-1807. Doi: 10.1109/CVPR.2017.195
- Çakmak, YS., Boyacı, İH. 2011.** Quality evaluation of chickpeas using an artificial neural network integrated computer vision system. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 46(1): 194-200.
- Çetiner, H. 2022.** Classification of plant species with transfer learning-based methods. *EasyChair Preprint no. 8447*.
- Géron A. 2019.** Hands-on machine learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow, 2nd Edition. *Scikit-Learn, Keras ve TensorFlow ile Uygulamalı Makine Öğrenmesi*. 1. Baskı. Çevirenler: Aksoy B., Özgür K., Buzdağı Yayınevi, İstanbul.
- Golcuk, A., Yasar, A., Saritas, MM., Erharman, A. 2023.** Classification of cicer arietinum varieties using MobileNetV2 and LSTM. *Eur. Food Res. Technol.*, 249:1343-1350. Doi: 10.1007/s00217-023-04217-w
- He, K., Zhang, X., Ren, S., Sun, J. 2016.** Deep residual learning for image recognition. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 770-778.
- Howard, AG., Zhu, M., Chen, B., Kalenichenko, D., Wang, W., Weyand, T., Andreetto, M., Adam, H. 2017.** MobileNets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications. *arXiv Prepr., arXiv:1704.04861*
- Huang, G., Liu, Z., Van Der Maaten, L., Weinberger, KQ. 2017.** Densely connected convolutional networks. *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 4700-4708.
- Karadağ, K., Keskinbıçak, F. 2023.** Estimation chickpea species and productivity per decare with synthetic data generation methods, *C. R. Acad. Bulg. Sci.*, 76(1): 146-155.
- Kaya, A., Çelik, A., Özkaya, U., Yigit, E. 2022.** Derin öğrenme ile tahıl ayıklama, 1st International Conference on Engineering and Applied Natural Sciences (ICAENS 2022), Konya, Türkiye, 2501-2508.
- Kılıç, İ. 2024.** TRCS_5_SET. https://github.com/ibrahimkilig/TRCS_5_SET
- Kılıç, İ., Yalçın, N. 2023.** Evrimsel sinir ağları tabanlı nohut çeşitleri sınıflandırması. *Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU 2023)*, Sivas, Türkiye. IEEE. Doi: 10.1109/ASYU58738.2023.10296680
- LeCun, Y., Bengio, Y., Hinton, G. 2015.** Deep learning. *Nature*, 521: 436-444. Doi: 10.1038/nature14539
- Narin, A., Kaya, C. Pamuk, Z. 2021.** Automatic detection of coronavirus disease (COVID-19) using X-ray images and deep convolutional neural networks. *Pattern Anal. Applic.*, 24: 1207-1220. Doi: 10.1007/s10044-021-00984-y
- Saha, D., Manickavasagan, A. 2022.** Chickpea varietal classification using deep convolutional neural networks with transfer learning. *J. Food Process Eng.*, 45(3): e13975. Doi: 10.1111/jfpe.13975
- Saha, D., Mangukia, MP., Manickavasagan, A. 2023.** Real-time deployment of MobileNetV3 model in edge computing devices using RGB color images for varietal classification of chickpea. *Appl. Sci.*, 13(3): 7804. Doi: 10.3390/app13137804
- Selvaraju, RR., Cogswell, M., Das, A., Vedantam, R., Parikh, D., Batra, D. 2017.** Grad-CAM: visual explanations from deep networks via gradient-based localization, *IEEE International Conference on Computer Vision*, 618-626.
- Singh, D., Taspınar, YS., Kursun, R., Cinar, I., Koklu, M., Ozkan, İA., Lee, HN. 2022.** Classification and analysis of pistachio species with pre-trained deep learning models. *Electronics*, 11: 981. Doi: 10.3390/electronics11070981

- Simonyan, K., Zisserman, A. 2015.** Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. International Conference on Learning Representations, 1-14.
- Srivastava, N., Hinton, G., Krizhevsky, A., Sutskever, I., Salakhutdinov, R. 2014.** Dropout: a simple way to prevent neural networks from overfitting. *J. Mach. Learn. Res.*, 15: 1929-1958.
- Szegedy, C., Ioffe, S., Vanhoucke, V., Alemi, AA. 2017.** Inception-v4, inception-ResNet and the impact of residual connections on learning. AAAI Conference On Artificial Intelligence, San Francisco, California, USA, 4278-4284.
- Szegedy, C., Liu, W., Jia, Y., Sermanet, P., Reed, S., Anguelov, D., Erhan, D., Vanhoucke, V., Rabinovich, A. 2015.** Going deeper with convolutions. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1-9.
- Taheri-Garavand, A., Nasiri, A., Fanourakis, D., Fatahi, S., Omid, M., Nikoloudakis, N. 2021.** Automated in situ seed variety identification via deep learning: a case study in Chickpea. *Plants*, 10(7): 1406. Doi: 10.3390/plants10071406
- Tan, M., Le, QV. 2019.** EfficientNet: rethinking model scaling for convolutional neural networks. International Conference on Machine Learning, 6105-6114.
- Tuğrul, B., Sivari, E., Akca, S., Eryigit, R. 2022.** Classification of dianthus seed species with deep transfer learning. SSRN. Doi: 10.2139/ssrn.4173707
- Xu, P., Yang, R., Zeng, T., Zhang, J., Zhang, Y., Tan, Q. 2021.** Varietal classification of maize seeds using computer vision and machine learning techniques. *J. Food Process Eng.*, 44(11): e13846. Doi: 10.1111/jfpe.13846
- Yaşar, A. 2023.** Benchmarking analysis of CNN models for bread wheat varieties. *Eur. Food Res. Technol.*, 249: 749-758. Doi: 10.1007/s00217-022-04172-y
- Zhang, A., Lipton, ZC., Li, M., Smola, AJ. 2023.** Dive into deep learning. Cambridge University Press.
- Zhang, X., Zhou, X., Lin, M., Sun, J. 2018.** ShuffleNet: an extremely efficient convolutional neural network for mobile devices. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 6848-6856.
- Zoph, B., Le, QV. 2017.** Neural architecture search with reinforcement learning. International Conference on Learning Representations.
- Zoph, B., Vasudevan, V., Shlens, J., Le, QV. 2018.** Learning transferable architectures for scalable image recognition. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 8697-8710.



Kalp Yetmezliği Tanılı Hastaların Hayatta Kalma Tahmininde Topluluk Makine Öğrenme Yöntemlerinin Performans Analizi

Performance Analysis of Ensemble Machine Learning Methods for Predicting Survival of Patients with Heart Failure

İrem Şenyer Yapıcı^{1*}, Rukiye Uzun Arslan², Okan Erkaymaz³

¹Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye

²Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye

³Milli Savunma Üniversitesi, Deniz Harp Okulu, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

Öz

Kalp yetmezliği önemli morbidite ve mortaliteye sahip bir kardiyovasküler hastalık olup, dünya çapında giderek daha fazla insanı etkilemektedir. Klinik verilerle kalp yetmezliği tanılı hastaların sağ kalımlarını tahmin etmek oldukça zordur. Bu çalışmada, kalp yetmezliği tanılı hastaların hayatta kalma tahmininin doğruluğunu artıracak önemli özellikler ve etkili makine öğrenme (MÖ) algoritması tespit edilerek, etkili ve verimli bir MÖ temelli bir yapay zeka modeli tasarlanmaya çalışılmıştır. Bunun için yedi farklı MÖ algoritmasının performansları veri setinden çıkarılan belirleyici özelliklere dayanarak karşılaştırılmıştır. Veri setindeki dengesizliği gidermek ve daha gerçekçi doğruluk değerine sahip modeller elde etmek için amacıyla sentetik azınlık aşırı örnekleme tekniği (SMOTE) ile iki farklı çapraz doğrulama tekniğinden yararlanılmıştır. Yapılan benzetim çalışmaları sonucunda SMOTE tekniğinin kalp yetmezliği tanılı hastaların hayatta kalma oranını tahmininde sınıflandırıcıların performanslarını önemli ölçüde arttırdığı tespit edilmiştir. Birisi dışarıda çapraz doğrulama tekniğinde rastgele orman algoritmasıyla %90'lık bir başarımla elde edilirken, 10 kat çapraz doğrulama tekniğinde ekstrem gradyan artırma algoritmasıyla %93 doğruluk değeriyle en yüksek başarımla elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürde benzer veri seti kullanılarak yapılan çalışmalarla kıyaslandığında önerilen yöntemin daha yüksek performans sergilediği tespit edilmiştir. Önerilen yöntem hem sağlık sistemini iyileştirme hem de sağlık hizmeti sağlayıcıları için kalp yetmezliği tanılı hastaların hayatta kalmasını tahmininde etkili bir yöntem olma potansiyeli bulunmaktadır. Bununla birlikte uzman hekimlere kalp yetmezliği tanılı hastaların tedavi sürecinin planlanmasında yol gösterici olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Kalp yetmezliği, makine öğrenmesi, özellik seçimi, SMOTE

Abstract

Heart failure is a cardiovascular disease with significant morbidity and mortality, affecting an increasing number of people worldwide. It is very difficult to predict the survival of patients diagnosed with heart failure using clinical data. In this study, an intelligent machine learning (ML)-based artificial intelligence model is designed by identifying important features and an effective ML algorithm that will improve the accuracy of survival prediction of patients diagnosed with heart failure. For this purpose, the performance of seven different ML algorithms were compared regarding the extracted features from the dataset. Synthetic minority oversampling technique (SMOTE) and two different cross-validation techniques were used to remove the imbalance in the dataset and to obtain models with more realistic accuracy. Experimental results showed that SMOTE technique significantly improve the performance of classifiers in predicting the survival rate of patients diagnosed with heart failure. In the one-out cross-validation technique, the random forest algorithm achieved 90% accuracy, while in the 10-fold cross-validation technique, the extreme gradient boosting algorithm achieved

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

İrem Şenyer Yapıcı orcid.org/0000-0003-0655-340X

Rukiye Uzun Arslan orcid.org/0000-0002-2082-8695

Okan Erkaymaz orcid.org/0000-0002-1996-8623



the highest performance with 93% accuracy. When the results obtained are compared with the studies conducted in the literature used similar data sets, it is found that the proposed method exhibits higher performance. The proposed method has the potential to both improve the healthcare system and be an effective method for healthcare providers in predicting the survival of patients diagnosed with heart failure. In addition, it will guide specialist physicians in planning the treatment process of patients diagnosed with heart failure.

Keywords: Heart failure, machine learning, feature selection, SMOTE.

1. Giriş

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) verilerine göre, dünya çapında meydana gelen ölümlerde en büyük pay kardiyovasküler hastalıklara (KVH) aittir (WHO 2023). KVH; aritmiler, kalp yetmezliği, hipertansif hastalıklar, romatizmal kalp hastalıkları ve periferik damar hastalıkları gibi birçok kalp ve damar hastalığını içermektedir (WHO 2023, Meng vd. 2019, Çilhoroz ve Çilhoroz 2021). Bunlardan kalp yetmezliği (KY), kalbin vücudun ihtiyaç duyduğu kan miktarını karşılayamaması ile karakterize edilen ve karmaşık klinik belirtileri olan bir sendromdur (Muntasir Nishat vd. 2022). KY'nin ortaya çıkmasına neden olabilecek başlıca risk faktörleri arasında koroner arter hastalığı, hipertansiyon, diyabet, kalp kapak hastalıkları, obezite, tütün kullanımı, fiziksel inaktivite, yaş, cinsiyet ve aile geçmişi yer almaktadır (Yancy vd. 2013, TDK 2023). Her geçen yıl prevalansı artan KY'nin önümüzdeki 15-20 yıl içerisinde halk sağlığını daha da tehdit edici boyutlara ulaşacağı öngörülmektedir (TKD 2023). Bu bağlamda KY'nin erken evrelerde teşhis edilerek tedaviye başlanması, hastalığın mortalite ve morbiditesinin azaltılmasında önemlidir.

KY teşhisinin konulmasında net bir yöntem olmamakla birlikte; ilk olarak hastanın klinik geçmişi uzman hekimler tarafından değerlendirilmektedir (Shamsham ve Mitchell 2000). Bunun yanı sıra hastaya elektrokardiyografi, eko-kardiyografi ve göğüs röntgeni başta olmak üzere pek çok elektrofizyolojik test uygulanmaktadır (Chiarugi vd. 2008). Ancak analiz edilmesi ve yönetilmesi gereken veri ve bilgilerin miktarı ve karmaşıklığı, KY'nin doğru teşhis edilmesini ve tedavi yöntemlerinin değerlendirilmesini oldukça zorlu ve karmaşık süreçlere dönüştürmektedir (Tripoliti vd. 2017, Takcı 2023). Bu durum son yıllarda makine öğrenme (MÖ) tekniklerinin karmaşık tıbbi verilerin analizinde, hastalığın seyrinin takibinde, hastalık sonucunun kestiriminde ve hastalıkların sınıflandırılmasında tercih edilmesindeki dikkat çekici artışının nedenleri arasındadır (Solanki ve Sharma 2019, Salman ve Aksoy 2022, Takcı 2023, Gürgen ve Serttaş 2023). Literatürde KY tanı ve prognozu (öngörüsü) hususunda MÖ tekniklerine dayalı çok sayıda çalışma bulunmaktadır (Saqlain vd. 2016, Ali vd. 2019, Chicco ve Jurman 2020, Erdaş ve Ölçer 2020, Oladimeji ve Oladimeji 2020,

Rahayu vd. 2020, Gürfidan ve Ersoy 2021, Ishaq vd. 2021, Potur ve Erginel 2021, Huang vd. 2021, Türkmenoğlu ve Yıldız 2021, Mamun vd. 2022, Muntasir Nishat vd. 2022, Özbay ve Özbay 2022, Salman ve Aksoy 2022, Keser ve Keskin 2023, Gürgen ve Serttaş 2023). Örneğin, Örneğin, Saqlain vd. (2016) KY tanısı konan hastaların sağkalımlarını tahmin etmek için uzmanların yardımıyla tespit ettikleri özellikleri kullanarak çoklu bir sınıflandırma yaklaşımı önermişlerdir. Farklı sınıflandırma algoritmalarının kullanıldığı çalışmada en yüksek başarımla Naive Bayes (NB) (%86,7) algoritmasıyla elde edilmiştir. Ali vd. (2019) KY hastalığının teşhis doğruluğunu arttırmak amacıyla ki-kare istatistiksel testi ve Gauss Navie Bayes (GNB) sınıflandırıcı temelli iki aşamalı özellik odaklı bir karar destek sistemi önermişlerdir. Altı farklı değerlendirme ölçütüne göre değerlendirilen modelin performansının geleneksel GNB modelinin performansına kıyasla daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Chicco ve Jurman (2020) çalışmalarında hem KY olan hastaların sağkalımını tahmin etmek hem de KY'deki en önemli risk faktörlerine karşılık gelen özellikleri belirlemek amacıyla farklı MÖ tekniklerinden yararlanmışlardır. Yaptıkları çalışmada MÖ algoritmalarıyla tespit edilen risk faktörlerinin geleneksel biyoistatistik testlerle belirlenenlerle kıyaslanmıştır. Yapılan analizler sonucunda serum kreatinin ve ejeksiyon fraksiyonunun tıbbi kayıtlardan KY hastalarının sağkalımını tahmin etmede daha yüksek başarıma sahip olduğunu belirlenmiştir. Bu iki özellik kullanılarak KY olan hastaların sağkalımını tahmininde lojistik regresyon (LR) sınıflandırıcısıyla %83,8'lik bir doğruluk elde edilmiştir. Erdaş ve Ölçer (2020) KY tanılı hastaların sağkalımlarını tahmin edebilmek amacıyla geliştirdikleri MÖ tabanlı modellerden tüm özelliklerin kullanılması durumunda %86 ile bir kural (one rule) algoritmasıyla elde etmişlerdir. Oladimeji ve Oladimeji (2020), KY hastalarının sağkalımını tahmin etmek için MÖ tabanlı bir yöntem önermişlerdir. Önerilen yöntemde spesifik (belirleyici) özellikler sıralamalarına göre seçilerek, sınıflandırma veri kümesindeki sınıf dengesizliğinin üstesinden gelinmiştir. Farklı MÖ algoritmalarının kullanıldığı çalışmada en yüksek başarımla %83,18 ile rasgele orman (RO) algoritmasıyla elde edilmiştir. Bir başka çalışmada sentetik azınlık aşırı örnekleme tekniği (SMOTE) ve yeniden örnekleme tekniklerinin RO, karar ağaçları (KA), k en yakın komşu (KNN),

destek vektör makineleri (DVM), yapay sinir ağları (YSA) ve NB algoritmalarının KY hastalarının sağkalımını tahmin etme performansları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda her iki örnekleme tekniği için en yüksek başarıyı sergileyen algoritmanın RO algoritması olduğu tespit edilmiştir (Rahayu vd. 2020). Gürfidan ve Ersoy (2021) hastaların klinik verileri ve yaşam bilgilerine dayanarak, KY'ne bağlı ölüm durumlarının sınıflandırılmasında kullandıkları farklı MÖ algoritmalarından en yüksek başarımın DVM'yle elde edildiğini ortaya koymuşlardır. Ishaq vd. (2021) KY hastalarının sağkalım tahmininde ekstra ağaç sınıflandırıcısının (ETC) daha iyi performans sergilediğini ve sınıflandırıcısının performansının SMOTE ile 0,9262 doğruluk değerine ulaştığını göstermişlerdir. Potur ve Erginel (2021) üç farklı öznitelik seçim yöntemi kullanarak farklı MÖ algoritmalarının sınıflandırma performanslarını karşılaştırdıkları çalışmalarında, çok katmanlı yapay sinir ağı algılayıcısının (ÇKYSA) %90'lık doğruluk oranıyla en yüksek başarıya sahip olduğunu saptamışlardır. Huang vd. (2021) KY'ni sınıflandırmak amacıyla kullandıkları NB, DVM, RO ve LR algoritmalarından RO'nun %88 doğrulukla en yüksek performansa sahip olduğu ortaya koymuşlardır. Türkmenoğlu ve Yıldız (2021) farklı yeniden örnekleme yöntemleri kullanarak KY tanılı hastaların sağkalımlarının tahmininde kNN, RO ve EA algoritmalarının başarımlarını araştırmışlardır. Yapılan analizlerde en yüksek başarıya aşağı örnekleme ile EA (%84,58) ulaşılmıştır. Mamun vd. (2022) KY ile ilintili patofizyolojik parametrelerden hasta sağkalımını tahmin etmek için çeşitli MÖ sınıflandırıcıları için korelasyon matrisine göre en önemli risk faktörlerine karşılık gelen özelliklerin analizini araştırmışlardır. Yapılan analizler, LightGBM'nin %85 doğruluk ile diğer MÖ algoritmalarına kıyasla daha yüksek başarıya sahip olduğunu tespit etmişlerdir. Muntasir Nishat vd. (2022) KY teşhisinde standart ve min-max ölçeklendirme yöntemlerini kullanarak farklı MÖ algoritmalarının performanslarını SMOTE ve düzenlenmiş en yakın komşu veriyi yeniden örnekleme tekniği (SMOTE-ENN) uygulanması durumları için araştırmışlardır. Yapılan analizler sonucunda; SMOTE-ENN ve standart ölçekleme tekniği ile birlikte kullanıldığında RO %90 test doğruluğu ile diğer tüm algoritmalarından daha yüksek performansa sahip olduğu ortaya koyulmuştur. Özbay ve Özbay (2022) tarafından yakın zamanda yapılan bir çalışmada 4 farklı performans ölçütüne dayanarak 10 farklı MÖ tekniğinin kalp yetmezliğine sahip hastaların hayatta kalma oranını tahminindeki başarımını araştırmışlardır. Yapılan çalışmada sınıflardaki dengesizliklerin üstesinden gelmek adına SMOTE yöntemi uygulanmış ve en başarılı MÖ al-

goritmasının RO olduğu tespit edilmiştir. 2022 yılında yapılan başka bir çalışmada ikili parçacık sürü optimizasyonu (BPSO) algoritmasıyla belirlenen öznitelikler kullanılarak geliştirilen RO modeliyle %80 doğruluk oranıyla KY tanılı hastaların tahmin edilebileceği gösterilmiştir (Salman ve Aksoy 2022). Keser ve Keskin (2023) üç farklı MÖ tekniğinin (YSA, RO ve aşırı gradyan arttırma (AGA)) KY hastalarının sağkalım tahminindeki başarımını araştırdığı çalışmalarında, YSA'nın %86,67 ile en yüksek sınıflandırma performansına sahip olduğu tespit etmişlerdir. Yakın zamanda yapılan başka bir çalışmada KY'nin erken teşhisinde sekiz farklı MÖ tekniğinin başarımını araştırılmış ve en yüksek başarımın RO ile elde edildiği ortaya koyulmuştur (Gürgeç ve Serttaş, 2023).

Yukarıda bahsedilen çalışmalar KY hastalarının sağkalım tahmininde MÖ algoritmalarının oldukça etkili olduğunu göstermesine rağmen, bu tekniklerden en yüksek başarımın hangisine ait olduğu hususunda tartışmalar süre gitmektedir. Bu doğrultuda bu çalışmada KY sahip hastaların sağkalım oranlarının belirlenmesinde daha önceden önerilen ve yukarıda bahsedilen karar destek sistemlerinden esinlenerek etkili ve verimli bir MÖ temelli yapay zeka modeli önerilmiştir. Bu doğrultuda önerilen modelde farklı MÖ algoritmalarının başarımları irdelenmiştir. Çalışmada ilk olarak KY verileri ön işleme tabi tutulup, bozucu örneklerden temizlenerek yeni bir veri seti elde edilmiştir. Sonrasında da veri seti [0,1] arasında normalize edilerek, çapraz doğrulama teknikleri ile 8 farklı MÖ yönteminin eğitiminde kullanılmıştır. Eğitim süreci, hem tüm özellikleri hem de kümeleme temelli özellik seçimi algoritması yardımıyla elde edilen optimal özellikleri içeren veri setleri için gerçekleştirilmiştir. Ek olarak çalışma kapsamında optimal özellikleri içeren veri seti için SMOTE tekniğinin MÖ yöntemlerinin başarımına etkisi de araştırılmıştır.

Çalışmada, Bölüm 2'te veri seti, kullanılan MÖ algoritmaları ve performans metrikleri detaylandırılmıştır. Bölüm 3'te ise farklı çapraz doğrulama tekniklerine göre MÖ algoritmalarının performansları kıyaslanmıştır. Son bölümde ise çalışma literatürdeki ilgili çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

2. Gereç ve Yöntemler

2.1. Veri Seti

Bu çalışmada, internet üzerinden açık erişime sahip UCI Machine Learning Repository veri tabanında yer alan "Heart Failure Clinical Records" başlıklı veri seti kullanılmıştır (UCI 2023). Veri seti, Nisan-Aralık 2015 tarihleri arasında Pakistan Faysalabad Kardiyoloji Enstitüsü ve Allied

Hastanesi'ne başvuran 299 kalp yetmezliği tanılı hastanın tıbbi kayıtlarını içermektedir. Hastaların 105'i kadın 194'ü erkek olup, yaşları 40 ila 95 (ortalama yaş 60,83) arasında değişmektedir. Bununla birlikte hastaların tamamında sol ventriküler sistolik fonksiyon bozukluğu mevcut olup, New York Kalp Cemiyeti'nin (NYHA) konjestif kalp yetmezliği sınıflamasına göre Sınıf III ve IV'de yer almaktadır (Ahmad vd. 2017).

Veri setinde hastaların yaşları, tütün kullanım durumu, çeşitli kan tahlili sonuçları ile diyabet, tansiyon ve anemi gibi hastalıklara sahip olup olmadıklarına dair bilgilere yer verilmiştir. Bunlardan kreatinin fosfokinaz (CPK), trombosit, ejeksiyon fraksiyonu, kreatinin ve sodyum değerleri sürekli (nümerik) değişkenler; sigara kullanımı, diyabet, anemi, kan basıncı (KB) ve cinsiyet ise kategorik değişkenler olarak tanımlanmıştır (Tablo 1). Bunların yanı sıra hastaların sağ kalım süreleri zaman olarak bilinen bir değişkenle gün cinsinden verilmiştir. Veri setinde eksik değer bulunmamakla birlikte; takip süresi boyunca (ortalama 130 gün) hastaların 96'sının hayatını kaybetmesi, veri setinin dengesiz bir dağılıma sahip olduğunu göstermektedir. Veri setinde ölüm=1 ölen hastayı, ölüm=0 ise hayatta kalan hastayı ifade etmektedir. Veri setinin genel özeti Çizelge 1'de sunulmuştur (Potur ve Erginel 2021, Gürgeç ve Serttaş 2023). Bu çalışma kapsamında bu değişkenleri kullanarak kalp yetmezliğine

sahip hastaların sağ kalımlarını gerçeğe en yakın olacak şekilde tespit edilmesi amaçlanmıştır.

2.2. Özellik Seçimi

Özellik seçimi, bir MÖ sürecinde kullanılan temel bir adım olup, modelin performansını veri setindeki özelliklerin seçimi veya elenmesi yoluyla artırmayı hedeflemektedir. Bu süreç, gereksiz veya gürültülü verilerin çıkartılarak modelin genelleme yeteneğini artırmakta ve aynı zamanda işlem maliyetini azaltmaktadır (Selvakuberan vd. 2008). Literatürde özellik seçimine yönelik birçok algoritma bulunmaktadır. Bunlardan CfsSubsetEval algoritması, özellikler arasındaki korelasyonu değerlendirerek en anlamlı bilgiyi taşıyan özelliklerin tespitine odaklanmaktadır. Bu algoritma genellikle en iyi ilk arama (Best First Search) veya genetik arama (Genetic Search) gibi bir arama algoritmasıyla birleştirildiğinde daha yüksek performans sergilemektedir (Bektaş ve Babur 2016). Arama algoritmaları, özellik alt kümelerini sistemli bir şekilde keşfetmek ve en iyi performansı sağlayacak özellikleri seçmek amacıyla kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında, veri setindeki optimum özellikleri tespit etmek için CfsSubsetEval algoritması ile en iyi ilk arama yöntemi seçilmiştir. Bunun için WEKA programından faydalanılmış olup, veri setinde yer alan tüm özellikler arasından en etkili olanlar (yaş, ejeksiyon fraksiyonu, serum kreatinin, serum sodyum ve süre) tespit edilmiştir.

Çizelge 1: Veri setinde yer alan özelliklerinin tanımı, ölçüm birimleri ve aralıkları

Özellik	Tanımı	Ölçü Birimi	Aralığı
Yaş	Hasta yaşı	Yıl	[40 – 95]
Cinsiyet	Kadın veya Erkek	Binary (İkili)	0, 1
Tütün kullanımı	Hastanın sigara içme durumu	Binary (İkili)	0, 1
Anemi	Kırmızı kan hücrelerinde veya hemoglobinde azalma durumu	Binary (İkili)	0, 1
Yüksek kan basıncı	Hastada yüksek tansiyon olup olmaması durumu	Binary (İkili)	0, 1
Kreatinin Fosfokinaz (CPK)	CPK enziminin kandaki seviyesi	mcg/L	[23-7861]
Diyabet	Hastanın diyabet olma durumu	Binary (İkili)	0, 1
Ejeksiyon Fraksiyonu	Kalbin her kasılmasında çıkan kan yüzdesi	Yüzde	[14-80]
Trombositler	Kandaki trombosit miktarı	kilotrombosit/mL	[25.0150.00]
Serum Kreatinin	Kandaki kreatinin miktarı	mg/dL	[0.50- .40]
Serum Sodyum	Kandaki sodyum miktarı	mEq/L	[114-148]
Zaman	Hastalığın takip süresi	Gün	[4-285]
(Hedef) Ölüm Olayı	Hastanın takip süresi sonundaki sağ kalım bilgisi	Binary (İkili)	0, 1

2.3. Makine Öğrenme Algoritmaları

2.3.1 *K en yakın komşu (kNN)*

K en yakın komşu (KNN) algoritması, örnekleri uzayda noktalar olarak temsil edilen bir veri seti üzerinde sınıflandırma veya regresyon görevleri için kullanılan denetimli MÖ algoritmasıdır. Temel prensibi, bilinmeyen bir örneği sınıflandırmak veya tahmin etmek için en yakın komşularının etrafındaki etiketleri veya değerleri kullanmaya dayanmaktadır. Bu algoritma, veri noktalarının uzayda geometrik olarak birbirine yakın olan benzer özelliklere sahip veri noktalarının aynı sınıfa veya benzer bir değere sahip olma eğilimini temel almaktadır. KNN, genellikle eğitim verileri üzerinde basit bir uzaklık ölçümü (örneğin, Öklid mesafesi) kullanarak yeni örnekleri sınıflandırmakta veya tahmin etmektedir. K değeri komşuların sayısını belirtirken, algoritmanın performansını da etkilemektedir. Bu algoritma basit ve etkili olmasında rağmen, büyük veri setlerinde ve yüksek boyutlu veri uzaylarında hesaplama maliyetini artabilmektedir (Duda vd. 2000, Uzun vd. 2018, Azam vd. 2020, Turan 2023).

2.3.2 *Lojistik regresyon (LR)*

Lojistik regresyon (LR), istatistik ve MÖ alanlarında sıklıkla kullanılan bir diğer sınıflandırma algoritmasıdır. Temel mantığı bağımlı bir değişkenin (genellikle kategorik) belirli bağımsız değişkenlerle olan ilişkisinin modellenmesine dayanmaktadır. Bu algoritma, bağımlı değişkenin olasılığını tahmin etmek için kullanılmakta ve genellikle ikili sınıflandırma problemlerinde tercih edilmektedir. LR, basit yapısı ve yüksek uygulanabilirliği sayesinde hızlı eğitim ve tahmin sağlarken, doğrusal ayrılabilir olmayan veri setlerinde etkisiz olabilmekte ve karmaşık ilişkileri modelleme konusunda kısıtlı kalabilmektedir (Ishaq vd. 2021, Khan vd. 2023, Seven vd. 2023).

2.3.3 *Gaussian naive bayes (G-NB)*

Gaussian Naive Bayes (G-NB), Naive Bayes sınıflandırma algoritmasının bir türüdür. Temelinde Bayes Teoremi'ne dayanan bu algoritma, bir örneğin belirli bir sınıfa ait olma olasılığını hesaplamak için sınıf etiketinin ve özneliklerin arasındaki olasılık ilişkilerini kullanmaktadır. Bu algoritma, sınıflandırma sürecinde her özelliğin normal (Gaussian) bir dağılıma sahip olduğunu varsaymaktadır. Algoritmada sınıflandırma sürecinde, Bayes Teoremi kullanılarak belirli bir sınıfa ait olasılık hesaplamak ve en yüksek olasılığa sahip sınıf tahmin edilen sınıf olarak seçilmektedir. G-NB hızlı ve basit olmasıyla öne çıkarken, özellikler arasındaki ger-

çek bağımlılıkları göz ardı ederek bağımsızlık varsayımına dayandığı için bazı durumlarda performansı düşük kalabilmektedir (Beltozar-Clemente vd. 2024).

2.3.4 *Karar ağacı (KA)*

Karar Ağacı (KA) algoritması, veri setindeki desenleri hiyerarşik bir yapı içinde temsil eden bir modelleme tekniğidir. Temel prensibi, veri kümesindeki öznelikleri kullanarak bir dizi kararlar kuralı oluşturmaya dayanmaktadır. Daha sonra bu kurallara dayalı olarak verinin sınıflandırma veya regresyon işlemini gerçekleştirmektedir. KA, genellikle anlaşılabilirlikleri ve yorumlanabilirlikleri nedeniyle tercih edilmektedirler. Ancak, algoritmanın tek başına kullanımı verilerdeki karmaşık ilişkileri ifade etmekte bazen kısıtlı kalabilmekte ve bu nedenle aşırı uyum riski taşıyabilmektedir (Charbuty ve Abdulazeez 2021).

2.3.5 *Rastgele orman (RO)*

Rastgele Orman (RO) karar ağaçlarının birleştirilmesiyle oluşturulan bir topluluk (ensemble) öğrenme algoritmasıdır. Algoritmada her bir karar ağacı, rastgele seçilmiş alt öznelikler üzerinde eğitilmekte ve bu ağaçlar arasında yapılan oylama (ortalamalarının alınması) ile sınıflandırma (regresyon) işlemi gerçekleştirilmektedir. Algoritmanın temel avantajları, aşırı uydurmayı (overfitting) azaltma, yüksek boyutlu veri setlerinde etkili performans sergileme ve öznelik önem sıralamalarını sağlama yeteneklerine sahip olmasıdır. Ayrıca, paralel işlem yetenekleri sayesinde büyük veri setlerinde etkili bir şekilde çalışabilmektedirler (Pandimurugan vd. 2022, Atasoy ve Kara 2023, Cesur ve Cemal 2023).

2.3.6 *Gradyan arttırma (GB)*

Gradyan arttırma (Gradient Boosting, GB), zayıf öğreniciler adı verilen basit modellerin (genellikle karar ağaçları) bir araya getirilmesiyle daha güçlü bir tahmin modelini oluşturan önemli bir topluluk öğrenme algoritmasıdır. Bu algoritma, hata fonksiyonunu minimize etmek amacıyla önceki modellerin hatalarına odaklanan iteratif bir süreci takip etmektedir. Bu iteratif süreç, öğrenme oranı ve ağaç derinliği gibi hiperparametrelerle yönetilmektedir. Genellikle KA temel alınarak regresyon ve sınıflandırma problemlerinde etkili sonuçlar elde edilmektedir. GB'nin en önemli avantajları yüksek tahmin performansı ve karmaşık ilişkileri modelleme yeteneklerine sahip olmasıdır. Dezavantajları ise eğitim sürecinin hesaplama açısından yoğun olması ve hiperparametre ayarının önemli olmasıdır (Friedman 2002, Natekin ve Knoll 2013, Sarıkaya 2020, Nusrat vd. 2020, Bentéjac vd. 2021).

2.3.7 Ekstrem Gradyan Arttırma (GB)

Ekstrem Gradyan Arttırma (Extreme Gradient Boosting, XGBoost), GB 'nin optimize edilmiş ve performansı artırılmış versiyonudur. Daha verimli hesaplama yöntemleri kullanarak eğitim sürecini hızlandıran XGBoost, paralel hesaplama yetenekleri sayesinde özellikle büyük veri setlerinde daha yüksek başarımlar sergilemektedir. Ayrıca, aşırı öğrenmeye karşı dirençli olmak için çeşitli düzenleme teknikleri ve hiperparametrelerin otomatik ayarlanmasını sağlayan özellikler içermesi algoritmaya daha esnek bir kullanım olanağı sağlamaktadır (Maulana vd. 2023, Yılmaz ve Bakır 2023).

2.4. Çapraz Doğrulama Yöntemleri

MÖ'de çapraz doğrulama teknikleri, modelin genelleme yeteneğini ve performansını daha güvenilir bir şekilde değerlendirmek için kullanılmaktadır. Bu bağlamda gerçekleştirilen çalışmada modellerin başarımları, literatürde yaygın olarak kullanılan k-katlamalı (k-fold) ve birisi dışarıda (leave-one-out- LOO) çapraz doğrulama tekniklerine dayanarak değerlendirilmiştir (James vd. 2013).

2.4.1.k-katlamalı (k-kat) çapraz doğrulama yöntemi

Bu yöntem, veri setini rasgele k eşit parçaya bölmekte ve her parçayı sırayla test seti olarak kullanarak modeli k defa eğiterek değerlendirmektedir. Her iterasyonda farklı bir parça test seti olarak seçilmekte ve geri kalanlar eğitim verisi olarak kullanılmaktadır. Bu şekilde k defa yapılan bu işlemlerin ortalaması alınarak modelin genel performans ölçüsü elde edilmektedir. Bu çalışmada k değeri 10 olarak seçilmiştir (Wong ve Yeh 2020).

2.4.2.Birisi dışarıda çapraz doğrulama yöntemi (LOO)

Birisi dışarıda çapraz doğrulama (leave-one-out, LOO) yöntemi, veri setindeki her bir örneği sırasıyla dışarıda bırakarak modeli eğitip test etme sürecini ifade etmektedir. Bu yöntemde her iterasyonda bir örnek test için kullanılmakta ve geri kalan veri setiyle de model eğitilmektedir. Bu işlem, veri setindeki her örneği test etmek için tekrarlanmaktadır. Bu durum modelin genelleme yeteneği hakkında daha güvenilir bir değerlendirme yapılmasına olanak sağlamaktadır. Buna karşın, büyük veri setleri için yüksek hesaplama maliyetleri nedeniyle kullanışlı olmamaktadır (Narin vd. 2014, Wong 2015).

2.4.3 Sentetik azınlık aşırı örnekleme tekniği (SMOTE)

Sentetik Azınlık Aşırı Örnekleme Tekniği (sentetic minority over-sampling technique, SMOTE), sınıf dengesizliği

içeren veri setlerinde azınlık sınıfını güçlendirmek ve modelin performansını artırmak amacıyla kullanılan bir örnekleme yöntemidir. Bu teknik, azınlık sınıfındaki örnekleri analiz etmekte ve her bir azınlık örneğinin komşularını dikkate alarak yeni sentetik örnekler oluşturmaktadır. Bu sentetik örnekler, azınlık sınıfının veri boşluğunu doldurmak ve dengesizliği azaltmak için kullanılmaktadır. SMOTE, az sayıda örneği olan sınıfların neden olduğu dengesizlik sorunlarını çözmek ve sınıflandırma performansını artırmak için kullanılmaktadır (Chawla 2010, Blagus ve Lusa 2015). Bu çalışmada, SMOTE tekniği kullanılarak yeni eğitim veri seti oluşturulmuştur. Böylelikle SMOTE ile veri örneklerini her sınıf için 299 örnekten 406 örneğe çıkarılmıştır.

2.5. Performans Metrikleri

Sınıflandırıcıların performansı, gerçek etiketlerle yapılan karşılaştırmalar ve tahminler arasındaki uyumu değerlendiren metriklerle ölçülmektedir. Bu bağlamda doğruluk (accuracy, ACC), kesinlik (precision, Prec), özgüllük (specificity, Spec) ve F-ölçütü gibi metrikler kullanılmaktadır. Bu metrikler sınıflandırıcıların doğruluğunu, yanlılığını, tam hatırlama yeteneğini ve doğru pozitiflerle yanlış pozitifler arasındaki dengeyi belirlemektedir. Yapılan çalışma kapsamında sınıflandırıcıların performansları doğruluk (ACC), kesinlik, özgüllük ve F-ölçütü metriklerine göre değerlendirilmiştir. İlgili metriklere ait denklemler aşağıda verilmiştir.

$$\text{Doğruluk (ACC)} = \frac{DP + DN}{DP + DN + YP + YN} \quad (1)$$

$$\text{Kesinlik (Prec)} = \frac{DP}{DP + YP} \quad (2)$$

$$\text{Özgüllük (Spec)} = \frac{DN}{DN + YP} \quad (3)$$

$$F - \text{Ölçütü} = 2 * \frac{\text{Kesinlik} * \text{Duyarlılık}}{\text{Kesinlik} + \text{Duyarlılık}} \quad (4)$$

Burada DP (Doğru Pozitif) sınıflandırıcının doğru bir şekilde pozitif tahmin ettiği örnekleri, DN (Doğru Negatif) gerçekten negatif olan örnekleri, YP (Yanlış Pozitif) gerçekte negatif olan örnekleri yanlış pozitif tahmin ettiği durumları ve YN (Yanlış Negatif) gerçekte pozitif olan örnekleri yanlış negatif tahmin ettiği durumları ifade etmektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, kalp yetmezliği tanılı hastaların sağ kalım veya ölüm durumlarının tahmin edilmesi için farklı MÖ algoritmalarının performansları analiz edilmiştir. Çalışmada öncelikle MÖ algoritmalarının başarımlarını arttırmak amacıyla veri setindeki en anlamlı özellikler tespit edilmiştir. Bunun

için WEKA programında yer alan CfsSubsetEval özellik seçim yöntemi ile en iyi ilk arama (Best fit) algoritmasından faydalanılmıştır. Yapılan benzetim çalışmaları sonucunda veri setinde en anlamlı özellikler yaş, ejeksiyon fraksiyonu, serum kreatinin, serum sodyum ve süre olarak belirlenmiştir. Sonrasında, bu beş özellik kullanılarak 7 farklı MÖ algoritmasının performansları 10-kat çapraz doğrulama ve birini dışarıda bırak çapraz doğrulama (LOO) teknikleriyle elde edilen analizlerin sonuçları karşılaştırılmıştır. Analizler Phyton programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. MÖ algoritmalarının seçimi literatürde kalp yetmezliği tanılı hastaların sağ kalımının tahmini üzerine yapılan çalışmalar baz alınarak yapılmıştır. Bu bağlamda K-en yakın komşu (KNN), Gauss Naive Bayes (G-NB), Karar ağacı (KA), Rasgele orman (RO), Extreme Gradient Boosting (XGBoost), Lojistik regresyon (LR) ve Gradient Boosting (GB) algoritmalarından faydalanılmıştır. Bunun yanı sıra veri setindeki dengesizlik probleminin önüne geçebilmek için SMOTE

tabanlı örnekleme yöntemi kullanılmıştır. SMOTE'nin olduğu ve olmadığı durumlardaki MÖ algoritmalarının performansları ayrı ayrı analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar sırasıyla Çizelge 2 ve Çizelge 3' de verilmiştir.

Çizelge 2'de yer alan sonuçlar irdelendiğinde; 10 kat çapraz doğrulama tekniğinin kullanılması durumunda MÖ algoritmaları arasından sınıflandırma başarımı en yüksek KA ve XGBoost iken, en düşük olan ise G-NB'dir. KA algoritmasının doğruluk, duyarlılık, kesinlik ve f-ölçütü metrikleri sırasıyla %83, %94, %90 ve %78'dir. XGBoost algoritmasının doğruluğu %83, özgüllüğü %88, kesinliği %83 ve f-ölçütü %80'dir. G-NB algoritması için elde edilen başarımler metriklerinden doğruluk %76, özgüllük ve kesinlik %100 iken f-ölçütü ise %63'dür. LOO tekniğinde ise en yüksek sınıflandırma başarımı KNN, RO ve G-NB algoritmalarından elde edilmiştir. En düşük sınıflandırma başarımı ise KA algoritmasında gözlemlenmiştir. KNN algoritmasının doğru-

Çizelge 2. Farklı makine öğrenme algoritmalarının 10-kat ve LOO çapraz doğrulama teknikleri için elde edilen başarımler metrikleri.

	10-kat				LOO			
	ACC (%)	Spec (%)	Prec (%)	F-Ölçütü (%)	ACC (%)	Spec (%)	Prec (%)	F-Ölçütü (%)
KNN(k=3)	79	94	89	73	85	84	63	73
G-NB	76	100	100	63	79	80	51	61
KA	83	94	90	78	77	82	59	63
RO	79	88	82	75	85	88	75	76
XGBoost	83	88	83	80	84	87	73	74
LR	79	94	89	73	82	85	67	71
GB	79	88	75	90	85	89	77	77

Çizelge 3. SMOTE örnekleme tekniği kullanılması durumunda farklı makine öğrenme algoritmalarının 10-kat ve LOO çapraz doğrulama teknikleri için elde edilen başarımler metrikleri.

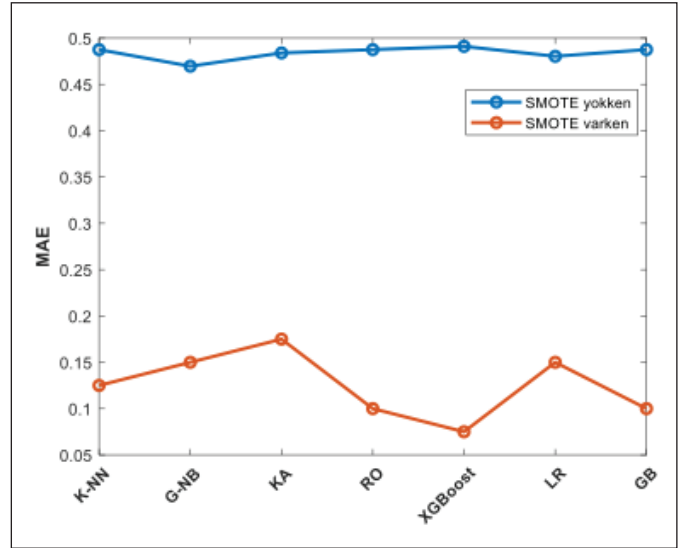
	10-kat				LOO			
	ACC (%)	Spec (%)	Prec (%)	F-Ölçütü (%)	ACC (%)	Spec (%)	Prec (%)	F-Ölçütü (%)
KNN (k=3)	83	89	89	83	84	82	80	84
G-NB	85	94	94	85	80	76	73	79
KA	83	94	94	82	85	83	83	85
RO	90	89	91	91	90	93	93	90
XGBoost	93	89	91	93	88	89	89	88
LR	85	89	90	86	81	80	80	81
GB	90	94	95	90	89	91	91	89

luğu %85, özgüllüğü %84, kesinliği %63 ve f-ölçütü %73'dür. RO algoritmasının doğruluk, özgüllük, kesinlik ve f-ölçütü değerleri sırasıyla %85, %88, %75 ve %75'dir. G-NB algoritmasının ise doğruluğu %85, özgüllüğü %89 iken kesinliği ve f-ölçütü %77'dir. KA algoritmasıyla en düşük sınıflandırma başarımı elde edilmiş olup, bu değer %77'dir. Diğer metrikler olan özgüllük, kesinlik ve f-ölçütü ise sırasıyla %82, %59 ve son olarak %63'dür.

Çizelge 3'de görüldüğü üzere LOO tekniği kullanılması durumunda en yüksek sınıflandırma doğruluğu %90 ile RO sınıflandırıcısından elde edilmiştir. RO sınıflandırıcısının özgüllük ve kesinlik değerleri %93 iken F-ölçütü ise %90'dır. G-NB sınıflandırıcısı ise en düşük sınıflandırma başarımını vermiş olup, sınıflandırma başarımı %80'dir. Sınıflandırıcının özgüllük, kesinlik ve F-ölçütü değerleri sırasıyla %76, %73 ve %79'dur. Çapraz doğrulama yöntemi olarak 10-kat çapraz doğrulama kullanılması durumunda en yüksek sınıflandırma başarımı %93 ile XGBoost sınıflandırıcısından, en düşük sınıflandırma başarımı ise %83 ile KNN ve KA sınıflandırıcılarından elde edilmiştir. KNN sınıflandırıcısının özgüllüğü ve kesinliği %89, F-ölçütü %83 olarak hesaplanmıştır. KA sınıflandırıcısında ise özgüllük ve kesinlik %94 iken F-ölçütü %82'dir. Son olarak XGBoost sınıflandırıcısının özgüllük, kesinlik ve F-ölçütü metriklerinin değeri sırasıyla %89, %91 ve %93 olarak elde edilmiştir.

Elde edilen tüm sonuçlar göz önüne alındığında kalp yetmezliği bulunan bireylerin sağ kalım veya ölüm durumlarının tahmininde SMOTE tabanlı örnekleme yönteminin eklenmesi sınıflandırıcıların başarımını arttırdığı görülmektedir. Yanı sıra SMOTE yönteminde 10- kat çapraz doğrulama tekniğinin kullanılması durumunda en yüksek sınıflandırma başarımı elde edilmektedir. Sınıflandırıcılar arasında en yüksek doğruluk değeri XGBoost algoritmasının 10-kat çapraz doğrulama yöntemiyle kullanılması durumunda elde edildiği görülmektedir. Bu bağlamda 10-kat çapraz doğrulama yöntemi için SMOTE yönteminin olduğu ve olmadığı durumlarda her bir sınıflandırma algoritması için elde edilen ortalama mutlak hata (MAE) değerleri Şekil 1 ve Çizelge 4'de verilmiştir.

Şekil 1'de görüldüğü üzere SMOTE yönteminin eklenmesi durumunda hata değerleri düşmektedir. SMOTE yönteminin olmaması durumunda en yüksek hata değeri XGBoost algoritmasında ve en düşük hata değeri G-NB algoritmasında elde edilmiştir. SMOTE yönteminin eklenmesi durumunda ise en yüksek ve en düşük hata değerleri sırasıyla KA ve XGBoost algoritmalarında gözlenmiştir.



Şekil 1. SMOTE tekniğinin uygulanıp uygulanmaması durumları için yedi farklı makine öğrenme algoritmasında hatanın değişimi.

Çizelge 4. SMOTE tekniğinin uygulanıp uygulanmaması durumları için yedi farklı makine öğrenme algoritmasında elde edilen ortalama mutlak hata değerleri.

	Mutlak hata değerleri	
	SMOTE uygulanmaması durumu	SMOTE uygulanması durumu
KNN (k=3)	0.4875	0.1250
G-NB	0.4696	0.1500
KA	0.4839	0.1750
RO	0.4875	0.1000
XGBoost	0.4910	0.0750
LR	0.4803	0.1500
GB	0.4875	0.1000

Çalışmada son olarak kalp yetmezliği tanılı hastaların sağ kalımlarının tahmininde MÖ algoritmalarının başarımları literatürde aynı veri seti kullanılarak yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır (Çizelge 5). Bu karşılaştırmada, veri seti ayırımı ve özellik seçimi sürecinin nasıl yapıldığı hususunda detay verilmemiş çalışmalar göz ardı edilmiştir. Çizelge 5'den de açıkça görüldüğü üzere önerilen çalışma literatürde yer alan diğer çalışmalar arasında öne çıkmaktadır. SMOTE tekniğinin uygulanması sınıflandırıcılarının performansları artırmıştır.

Çizelge 5. Kalp yetmezliği veri seti ile yapılan çalışmaların karşılaştırılması.

Yazarlar	Kullanılan Yöntem(ler)	Özellik Sayısı	ACC (%)
Chicco ve Jurman (2020)	RO	2	75.4
Rahayu vd. (2020)	DVM	12	83
Erdaş ve Ölçer, (2020)	Bir Kural (One rule)	12	86
Ishaq vd. (2021)	SMOTE+ Ekstra Ağaç (EA)	8	92.62
Potur ve Erginel (2021)	Çok katmanlı algılayıcı	4	90
Türkmenoğlu ve Yıldız, (2021)	Aşağı Örnekleme+ EA	3	84.58
Gürfidan ve Ersoy (2021)	DVM	12	83
Salman ve Aksoy (2022)	RO+hiper parametre ayarı +BPSO	7	80
Özbay ve Özbay (2022)	SMOTE+RO	12	87.088
Keser ve Keskin (2023)	YSA	12	86.67
Bu Çalışma	KNN, G-NB, RO	5	85
Bu Çalışma	SMOTE +XGBoost	5	93

4. Sonuç ve Öneriler

Kalp yetmezliği sinsi seyirle ilerleyen ve hayati riskler içeren bir sağlık sorunu olup, erken teşhisi önem arz etmektedir. Bu bağlamda son yıllarda uzman hekimlerin karar verme sürecine destek sağlamak amacıyla bilgisayar tabanlı karar destek sistemleri geliştirilmektedir. Karar destek sistemlerinin uzman hekimlere sundukları önerilerle hatalı kararların önüne geçilmekte ve erken teşhis aşamasına ciddi katkılar sağlamaktadır. Kalp yetmezliğine katkıda bulunan faktörler analiz edilip, önleyici tedbirler alınarak ölüm oranı kontrol altına alınabilmektedir. Bu çalışmada, kalp hastalarının hayatta kalma tahmini için etkili ve verimli bir makine öğrenmesi temelli bir yapay zeka modeli tasarlanmaya çalışılmıştır. Bu amaç doğrultusunda KNN, G-NB, KA, RO, LR, XGBoost ve GB algoritmaları kullanılmıştır. Veri seti kaynaklı bozucu etkileri minimize etmek ve örnek setini arttırmak amacıyla SMOTE uygulanmıştır. Yanı sıra, veri homojenliğini sağlamak ve tüm örnekleri hem test hem de eğitim süreçlerinde kullanarak daha gerçekçi doğruluk değerine sahip modeller elde etmek için çapraz doğrulama tekniğinden yararlanılmıştır. Ek olarak, CfsSubsetEval öznelilik seçim yönteminin en iyi ilk arama algoritması kullanılmıştır. En iyi ilk arama algoritmasına göre en önemli özellikler yaş, ejeksiyon fraksiyonu, serum kreatinin, serum sodyum ve süre olarak tespit edilmiştir. Daha sonra veri setinden seçilen bu özellikler kullanılarak makine öğrenme algoritmalarının performansları karşılaştırılmıştır.

5. Kaynaklar

- Ahmad, T., Munir, A., Bhatti, SH., Aftab, M., ... Raza, MA. 2017. Survival analysis of heart failure patients: A case study. PloS one, 12(7): e0181001. Doi: 10.1371/journal.pone.0181001.
- Ali, L., Khan, S. U., Golilarz, N. A., Yakubu, I., Qasim, I., Noor, A., Nour, R. 2019. A feature-driven decision support system for heart failure prediction based on statistical model and Gaussian Naive Bayes. Computational and Mathematical Methods in Medicine, 2019: 6314328-8. Doi: 10.1155/2019/6314328.
- Atasoy, D., Kara, H. 2023. Karar ağacı optimizasyon algoritması üzerine bir çalışma. Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 13(2): 1247-1255. Doi: 10.21597/jist.1214796.
- Azam, MS., Rahman, A., Iqbal, SHS., Ahmed, MT. (2020). Prediction of liver diseases by using few machine learning based approaches. Aust. J. Eng. Innov. Technol, 2(5): 85-90.
- Bektaş, B., Babur, S. 2016. Makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak meme kanseri teşhisinin performans değerlendirilmesi, TıpTekno»16 Tıp Teknolojileri Kongresi, s.1-4, Türkiye.
- Beltzar-Clemente, S., Diaz-Vega, E., Ramos, IC., Navarrete, RT. 2024. Improving accuracy: Comparative analysis of machine learning models for prostate cancer prediction. International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering, 12(2): 654-664.
- Bentéjac, C., Csörgő, A., Martínez-Muñoz, G. 2021. A comparative analysis of gradient boosting algorithms. Artif. Intell. Rev., 54:1937-1967. Doi: 10.1007/s10462-020-09896-5.

- Blagus, R., Lusa, L. 2015.** Joint use of over-and under-sampling techniques and cross-validation for the development and assessment of prediction models. *BMC bioinformatics*, 16(1): 1-10. Doi: 10.1186/s12859-015-0784-9.
- Cesur, E., Cemal, E. 2023.** Kampüs içi kapalı alanlarda hava kalitesinin modellenmesi ve karar destek sistemi geliştirilmesi. *Zeki Sistemler Teori ve Uygulamaları Dergisi*, 6(2): 181-190. Doi: 10.38016/jista.1222483.
- Charbuty, B., Abdulazeez, A. 2021.** Classification based on decision tree algorithm for machine learning. *Journal of Applied Science and Technology Trends*, 2(01): 20-28. Doi: 10.38094/jastt20165.
- Chawla, NV. 2010.** Data mining for imbalanced datasets: An overview. In: Maimon, O., Rokach, L. (eds). *Data mining and knowledge discovery handbook*, Springer, Boston, MA pp. 853-867.
- Chiarugi, F., Colantonio, S., Emmanouilidou, D., Moroni, D., Salvetti, O. 2008.** Biomedical signal and image processing for decision support in heart failure. In *Advances in Mass Data Analysis of Images and Signals in Medicine, Biotechnology, Chemistry, and Food Industry. Proceeding of the Third International Conference, Leipzig, Germany, (Lecture Notes in Computer Science)*, Ed. by P. Perner and O. Salvetti (Springer, 2008), Vol. 5108, pp. 38-51.
- Chicco, D., Jurman, G. 2020.** Machine learning can predict survival of patients with heart failure from serum creatinine and ejection fraction alone. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 20(1):1-16. Doi: 10.1186/s12911-020-1023-5.
- Çilhoroz, İA., Çilhoroz, Y. 2021.** Kardiyovasküler hastalıklara bağlı ölümleri etkileyen faktörlerin belirlenmesi: OECD ülkeleri üzerinde bir araştırma. *Acıbadem Sağlık Bilimleri Dergisi*, 12(2):340-345. Doi: 10.31067/acusaglik.849024
- Erdas, CB., Olcer, D. 2020.** *A machine learningbased approach to detect survival of heart failure patients.* 2020 Medical Technologies Congress, pp. 1-4, Antalya, Turkey.
- Friedman, JH. 2002.** Stochastic gradient boosting. *Computational statistics & data analysis*, 38(4): 367-378. Doi: 10.1016/S0167-9473(01)00065-2.
- Gürfidan, R., Ersoy, M. 2021.** Classification of death related to heart failure by machine learning algorithms. *Advances in Artificial Intelligence Research*, 1(1): 13-18.
- Gürgen, G., Serttaş, S. 2023.** Kalp yetmezliği hastalığının erken teşhisinde makine öğrenimi algoritmalarının performans karşılaştırması. *Euroasia Journal of Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences*, 10(28):165-174. Doi: 10.5281/zenodo.8238065.
- Hart, PE., Stork, DG., Duda, RO. 2000.** *Pattern classification.* Hoboken: Wiley, NJ, USA.
- Ishaq, A., Sadiq, S., Umer, M., Ullah, S., Mirjalili, S., Rupapara, V., Nappi, M. 2021.** Improving the prediction of heart failure patients' survival using SMOTE and effective data mining techniques. *IEEE access*, 9, 39707-39716.
- James, G., Witten, D., Hastie, T., Tibshirani, R. 2013.** *An Introduction to Statistical Learning.* New York, Springer.
- Keser, SB., Keskin, K. 2023.** Kalp yetmezliği hastalarının sağ kalım tahmini: Sınıflandırmaya dayalı makine öğrenmesi algoritmalarının bir uygulaması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(2), 362-369.
- Khan, RA., Rashid, N., Shahzaib, M., Malik, UF., Arif, A., Iqbal, J., ... Tiwana, M. 2023.** A novel framework for classification of two-class motor imagery EEG signals using logistic regression classification algorithm. *Plos one*, 18(9), e0276133.
- Küçükakçalı, Z., Çiçek, I., Güldoğan, E., Çolak, C. 2020.** Assessment of associative classification approach for predicting mortality by heart failure. *The Journal of Cognitive Systems*, 5(2):41-45.
- Maulana, A., Faisal, FR., Noviandy, TR., Rizkia, T., Idroes, GM., Tallei, TE., ... Idroes, R. 2023.** Machine learning approach for diabetes detection using fine-tuned XGBoost algorithm. *Infolitika Journal of Data Science*, 1(1):1-7. Doi: 10.60084/ijds.v1i1.72.
- Mamun, M., Farjana, A., Al Mamun, M., Ahammed, MS., Rahman, MM. 2022.** Heart failure survival prediction using machine learning algorithm: am I safe from heart failure?. 2022 IEEE World AI IoT Congress, pp. 194-200.
- Mansur Huang, N. S., Ibrahim, Z., Mat Diah, N. 2021.** Machine learning techniques for early heart failure prediction. *Malaysian Journal of Computing (MJOC)*, 6(2), 872-884.
- Meng, F., Zhang, Z., Hou, X., Qian, Z., Wang, Y., Chen, Y., ... Zou, J. (2019).** Machine learning for prediction of sudden cardiac death in heart failure patients with low left ventricular ejection fraction: study protocol for a retrospective multicentre registry in China. *BMJ open*, 9(5), e023724.
- Muntasir Nishat, M., Faisal, F., Jahan Ratul, I., Al-Monsur, A., Ar-Rafi, AM., Nasrullah, SM., ... Khan, MRH. 2022.** A comprehensive investigation of the performances of different machine learning classifiers with SMOTE-ENN oversampling technique and hyperparameter optimization for imbalanced heart failure dataset. *Scientific Programming*, 2022:1-17. Doi: 10.1155/2022/3649406
- Narin, A., İşler, Y., Özer, M. 2014.** Konjestif kalp yetmezliği teşhisinde kullanılan çapraz doğrulama yöntemlerinin sınıflandırıcı performanslarının belirlenmesine olan etkilerinin karşılaştırılması. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 16(48): 1-8.
- Natekin, A., Knoll, A. 2013.** Gradient boosting machines, a tutorial. *Frontiers in neurobotics*, 7: 21. Doi: 10.3389/fnbot.2013.00021.

- Nusrat, F., Uzbay, B., Baykan, ÖK. 2020.** Prediction of diabetes mellitus by using gradient boosting classification. *European Journal of Science and Technology*, 268-272. Doi: 10.31590/ejosat.803504
- Oladimeji, OO., Oladimeji, O. 2020.** Predicting survival of heart failure patients using classification algorithms. *Journal of Information Technology and Computer Engineering*, 4(2): 90-94. Doi: 10.25077/jitce.4.02.90-94.2020.
- Özby, FA., Özby, E. 2022.** Makine öğrenmesi algoritmalarının kalp yetmezliği hastalarının hayatta kalma tahmini üzerindeki performans karşılaştırılması, 2. International Mediterranean Scientific Research and Innovation Congress, pp. 503-515, Girne, KKTC.
- Pandimurugan, V., Usha, D., Guptha, MN., Hema, MS. 2022.** Random forest tree classification algorithm for predicating loan. *Materials Today: Proceedings*, 57 (2022), 2216-2222. Doi: 10.1016/j.matpr.2021.12.322.
- Potur, EA., Erginel, N. 2021.** Kalp yetmezliği hastalarının sağ kalımlarının sınıflandırma algoritmaları ile tahmin edilmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24): 112-118. Doi: 10.31590/ejosat.902357
- Rahayu, S., Purnama, JJ., Pohan, A. B., Nugraha, FS., Nurdiani, S., Hadianti, S. 2020.** Prediction of survival of heart failure patients using random forest. *Jurnal Pilar Nusa Mandiri*, 16(2): 255-260.
- Salman OKM., Aksoy B. 2022.** Rasgele orman ve ikili parçacık sürü zekâsı yöntemiyle kalp yetmezliği hastalığındaki ölüm riskinin tahminlenmesi. *Uluslararası 3B Yazıcı Teknolojileri ve Dijital Endüstri Dergisi*, 6(3): 416-428.
- Sarıkaya, BS. 2020.** AES algoritmasına yapılan zaman odaklı önbellek saldırılarının makine öğrenmesi ile tespiti. *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 13(1): 57-68.
- Saqlain, M., Hussain, W., Saqib, NA., Khan, MA. 2016.** *Identification of heart failure by using unstructured data of cardiac patients*. 45th International Conference on Parallel Processing Workshops (ICPPW), pp. 426-431, Philadelphia, PA, USA.
- Selvakuberan, K., Indradevi, M., Rajaram, R. 2008.** Combined feature selection and classification—a novel approach for the categorization of web pages. *Journal of Information and Computing Science*, 3(2): 083-089.
- Seven, S., Aydin, T., Karaman, G. 2023.** Öğrenci bilgi seviyesinin veri madenciliği yöntemleri ile belirlenmesi ve tahmin edilmesi. *Cognitive Models and Artificial Intelligence Conference*, s.36, Türkiye. Doi: doi.org/10.36287/setsoci.6.1.016.
- Shamsham, F., Mitchell, J. 2000.** Essentials of the diagnosis of heart failure. *American family physician*, 61(5), 1319-1328.
- Solanki, Y., Sharma, S. 2019.** A survey on risk assessments of heart attack using data mining approaches. *International Journal of Information Engineering and Electronic Business*, 11(4):43-51. Doi: 10.5815/ijieeb.2019.04.05.
- Takçı, H. 2023.** Performance-enhanced KNN algorithm-based heart disease prediction with the help of optimum parameters. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 38(1):451-460. Doi: 10.17341/gazimmfd.977127.
- TKD 2023.** <https://tkd.org.tr/menu/112/kalp-yetersizligi-farkindalik-gunu>
- Tripoliti, EE., Papadopoulos, TG., Karanasiou, GS., Naka, KK., Fotiadis, DI. 2017.** Heart failure: diagnosis, severity estimation and prediction of adverse events through machine learning techniques. *Computational and structural biotechnology journal*, 15, 26-47. Doi: 10.1016/j.csbj.2016.11.001.
- Turan, T. 2023.** Optimize edilmiş denetimli öğrenme algoritmaları ile obezite analizi ve tahmini. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 14(2) : 301-312.
- Türkmenoğlu, BK., Yildiz, O. 2021.** *Predicting the survival of heart failure patients in unbalanced data sets*. 29th Signal Processing and Communications Applications Conference, pp. 1-4, Istanbul, Turkey.
- UCI, 2023.** <https://archive.ics.uci.edu/dataset/519/heart+failure+clinical+records>
- Uzun, R., Isler, Y., Toksan, M. 2018.** *Use of support vector machines to predict the success of wart treatment methods*. 2018 Innovations in Intelligent Systems and Applications Conference (ASYU), pp. 1-4, Turkey.
- Wang, J. 2021.** Heart failure prediction with machine learning: a comparative study. In *Journal of Physics: Conference Series*, 2031:p. 012068, IOP Publishing: London, UK.
- WHO 2023.** https://www.who.int/health-topics/cardiovascular-diseases#tab=tab_1
- Wong, TT. 2015.** Performance evaluation of classification algorithms by k-fold and leave-one-out cross validation. *Pattern recognition*, 48(9):2839-2846.
- Wong, TT., Yeh, PY. 2020.** Reliable accuracy estimates from k-fold cross validation. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 32(8):1586-1594.
- Yancy, CW., Jessup, M., Bozkurt, B., Butler, J., Casey, DE., Drazner, MH., ... Wilkoff, BL. 2013.** 2013 ACCF/AHA guideline for the management of heart failure: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *Journal of the American college of cardiology*, 62(16): e147-e239
- Yılmaz, EK., Bakır, H. 2023.** Hyperparameter Tuning and Feature Selection Methods for Malware Detection. *Journal of Polytechnic*, 1-1. Doi: 10.2339/politeknik.1243881.



Development of a Digital Imaging-Based Colorimetric Analysis Method for the Determination of Phenolphthalein in Drinking Water

İçme Sularında Fenolftalein Tayinine Yönelik Dijital Görüntüleme Temelli Kolorimetrik Analiz Yöntemi Geliştirilmesi

Nihal Yücel , Ozan Yağmuroğlu*

National Defense University, Air Force Academy, Department of Chemistry, İstanbul, Türkiye

Abstract

In this study, a digital imaging box-based colorimetric analysis method was developed for the determination of phenolphthalein in drinking water samples. In digital imaging, a smartphone camera was used as a sensor, and an application called “Color Detector” was used as software. Firstly, an optimization study was carried out for the variables that were considered to be effective in the analysis method. For this purpose, the distance of the sample from the phone lens, the location of the sample to be measured, the scale at the measurement location, and pH values were optimized. Then, analysis was carried out with samples with different concentrations between 0.5-5.0 mg/L. Linearity between 1-4 mg/L was observed in the analysis results. As a result of the calculations made to determine the method performance, the limit of detection (LOD) was found to be 0.14 mg/L and the percent relative standard deviation was 0.28% (n = 8). A recovery study was carried out on a drinking water sample to evaluate the performance of the method we developed in the real sample environment. As a result of the analysis, percentage recovery values were found to be in the range of 99%-106%. These values show that our method has high performance in drinking water samples.

Keywords: Phenolphthalein, Colorimetry, Digital imaging, Drinking water.

Öz

Bu çalışmada, fenolftaleinin içme suyu örneklerinde tayinine yönelik dijital görüntüleme kutusu temelli kolorimetrik analiz yöntemi geliştirilmiştir. Dijital görüntülemede algılayıcı olarak akıllı telefon kamerası kullanılmış, yazılım olarak ise “Color Detector” isimli uygulamadan yararlanılmıştır. İlk olarak analiz yöntemi üzerinde etkili olacağı değerlendirilen değişkenlere yönelik optimizasyon çalışması yapılmıştır. Bu amaçla, numunenin telefon lensine uzaklığı, numune üzerinde ölçüm alınacak konum, ölçüm konumundaki ölçek ve pH değerleri optimize edilmiştir. Daha sonra 0.5-5.0 mg/L arasında farklı derişimlere sahip örneklerle analiz yapılmıştır. Analiz sonuçlarında 1-4 mg/L arasında lineerlik gözlenmiştir. Yöntem performansının belirlenmesine yönelik yapılan hesaplamalar sonucu tayin limiti (LOD) 0.14 mg/L mg/L ve yüzde bağıl standart sapma %0,28 (n=8) olarak bulunmuştur. Geliştirdiğimiz yöntemin gerçek numune ortamındaki performansının değerlendirilmesi amacıyla içme suyu örneğinde geri kazanım çalışması gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda yüzde geri kazanım değerleri %99-%106 aralığında bulunmuştur. Bu değerler yöntemimizin içme suyu örneklerinde yüksek performans gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Fenolftalein, Kolorimetri, Dijital görüntüleme, İçme suyu.

1. Introduction

Phenolphthalein was used as a laxative in the twentieth century, but because of research, it was determined that this

substance could be carcinogenic when exposed to it for a long time (Dunnick 1996). Inhalation of this substance may cause sneezing and coughing (Saeidnia and Manayi 2014). Additionally, when used in high doses and incorrectly, phenolphthalein can cause electrolyte imbalance, cardiac arrhythmia, loss of consciousness, and even death (Guo 2012, Jalilian et al. 2021). Phenolphthalein is an organic acid that's classified as an odorless and tasteless organic dye. Its chemical structure is shown in Figure 1 (Wilhelm et al. 1992, Adewuyi and Oderinde 2022, Saeidnia and Manayi 2014).

*Corresponding author: oyagmurog@hho.msu.edu.tr

Nihal Yücel orcid.org/0009-0002-0197-3579

Ozan Yağmuroğlu orcid.org/0000-0002-4703-6313



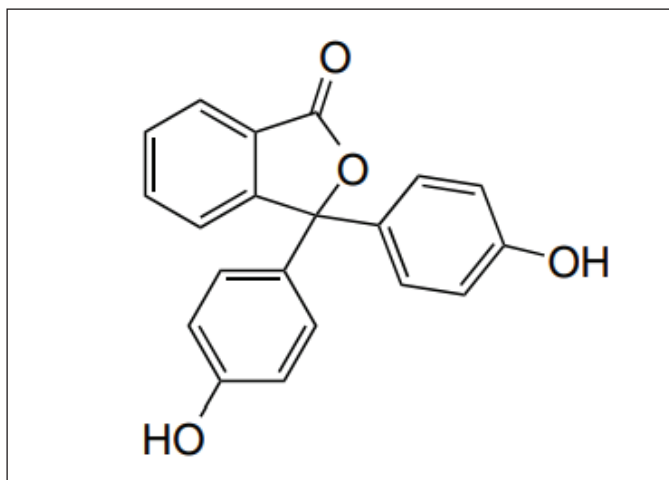


Figure 1. Chemical structure of phenolphthalein (Saeidnia and Manayi 2014).

While phenolphthalein can dissolve in dilute solutions of alkali hydroxides, ether, acetone, pyrene, chloroform, toluene, ethanol, and ether, it is only slightly soluble in water and can be flammable (Saeidnia and Manayi 2014). Phenolphthalein is colorless when in the benzenoid form at pH 8 or lower. However, it takes on a red-pink color in the pH range of 8-10 while in the quinonoid form. At higher pH values, it becomes colorless carbinol (Kunimoto et al. 2001).

Phenolphthalein is among the chemicals classified as toxic to the aquatic ecosystem (Silva et al. 2017). This compound can be released into the environment through various wastewater (Saeidnia and Manayi 2014). The material safety data sheet (MSDS) contains information that phenolphthalein should not be released into the environment. It is also classified as a substance of very high concern (SVHC) due to its carcinogenic, mutagenic, or reproductive toxic properties. It has also been nominated as a substance class requiring attention by the European Chemicals Agency (ECHA) (Silva et al. 2017). Some restrictions have been imposed on the use of phenolphthalein due to its toxic properties and negative effects on health (Li et al. 2022).

The detection and determination of phenolphthalein are important because it has various negative effects on living life. Many methods, including electrochemiluminescence (Guo et al. 2012), HPLC (Kim et al. 2016), LC-MS/MS (Zeng et al. 2016), capillary electrophoresis (Wang et al. 2016), and voltammetry (Geng et al. 2009), have been reported in the literature for the determination of phenolphthalein. In our study, a smartphone-based colorimetric method was used for the determination of phenolphthalein. With developing

technology, we can easily access a lot of information in every aspect of our lives. Applications on smartphones are used for different purposes in daily life. These applications have made many contributions to the world of science. The digital image-based colorimetric method (DIC) is an example of a technique developed using these software applications.

This method has gained importance as a feasible method for laboratory studies due to its low cost and versatility (Barreto et al. 2020). In this developed method, color changes in images obtained with various devices are examined and the analyte can be determined using these changes (Jain et al. 2021, Fan et al. 2021, Dos Santos and Pereira-Filho 2013). Devices such as scanners, tablets, computers, smartphones, and webcams are used to acquire images, and the images are processed by software to convert the pixels of the digital image into a suitable analytical signal (Barreto et al. 2020, Resque et al. 2019). The data obtained from digital images are converted to RGB (red-green-blue) and other color scales, and the relationship between the RGB data of the images obtained and the analyte concentration is examined. In the DIC method, there are various mobile applications (Apps) specially developed to convert images into different color scales, so that the samples can be analyzed easily (Jain et al. 2021, Fan et al. 2021, Silva and Rocha 2020).

In recent years, digital imaging method has been used to determine heavy metals (El Kaoutit et al. 2013, Firdaus et al. 2019, Wongthanyakram and Masawat 2019, Kumar et al. 2020, Pessoa et al. 2017, Choodum et al. 2019), determination of pesticide-herbicides (Pohanka et al. 2018, Wang et al. 2018, Sicard et al. 2015, Guo et al. 2015), determination of antibiotics (Masawat et al. 2015, Lin et al. 2018), determination of biochemical indicators (Devadhasan et al. 2015, Mahato and Chandra 2019, Ravazzi et al. 2018, Moonrungrsee et al. 2018).

In our study, the digital image-based colorimetric method, which is an easy and applicable method for the determination of phenolphthalein with high accuracy and sensitivity, was used. A smartphone was used to obtain the images required to apply the method. A smartphone application called "Color Detector" was used to determine the RGB values of the images. A new box was designed to isolate the light coming from the environment while recording images and to obtain all images homogeneously. By ensuring that the positions of the cuvette and the smartphone where the standards/samples would be placed were fixed, the captured image area and focal distance were kept constant in each experiment. The smartphone was fixed to the lid of the box

and a hole was created in the box to obtain images. The box is made of a material that does not transmit light from the environment, and LED lights are placed inside to provide sufficient illumination. Figure 2 shows the designed digital imaging box.

2. Material and Methods

2.1. Instrumentation

In the sample preparation process, Shimadzu ATX224R analytical balance, Ohaus Starter 3100 pH meter, KUDOS SK 3310 HP ultrasonic water bath, and DLAB MX-S Vortex were used. An LG (Android 9.0) smartphone with a 16-megapixel camera was used for digital imaging in the colorimetric analysis. A smartphone application called "Color Detector" was used to determine RGB values during the analysis. Within the scope of the study, a digital imaging box, originally designed in our laboratory and made of light-proof white wooden material with dimensions of 24 cm x 19 cm x 17 cm (width/length/depth), was used to perform colorimetric analysis.

2.2. Chemicals

Ultrapure water obtained from the Elektro-Mag Labora-

tory Water Still M4 brand pure water device was used in the sample/standard preparation processes and cleaning of glassware within the scope of our study. Phenolphthalein standards used in the study were prepared by diluting 1000 mg/L standard stock solution obtained from High Purity Standards (USA). Sodium hydrogen phthalate, hydrochloric acid, sodium hydroxide, borax, sodium dihydrogen phosphate, sodium bicarbonate, and all other chemicals used were obtained from Sigma-Aldrich (Germany).

2.3. Procedure

Before starting the analysis, an optimization study was carried out for some variables that were considered to be effective on the analysis results. 1 mg/L phenolphthalein standard was used in optimization studies. Distance, measuring point, measuring radius, and pH optimization were performed. Buffers with the required pH value were prepared using Sodium hydrogen phthalate, hydrochloric acid, sodium hydroxide, borax, sodium dihydrogen phosphate, and sodium bicarbonate. Phenolphthalein standard solution was placed in a quartz cuvette with a volume of 700 μ L and measurements were performed. The variables that are optimized are the distance from the smartphone camera lens,

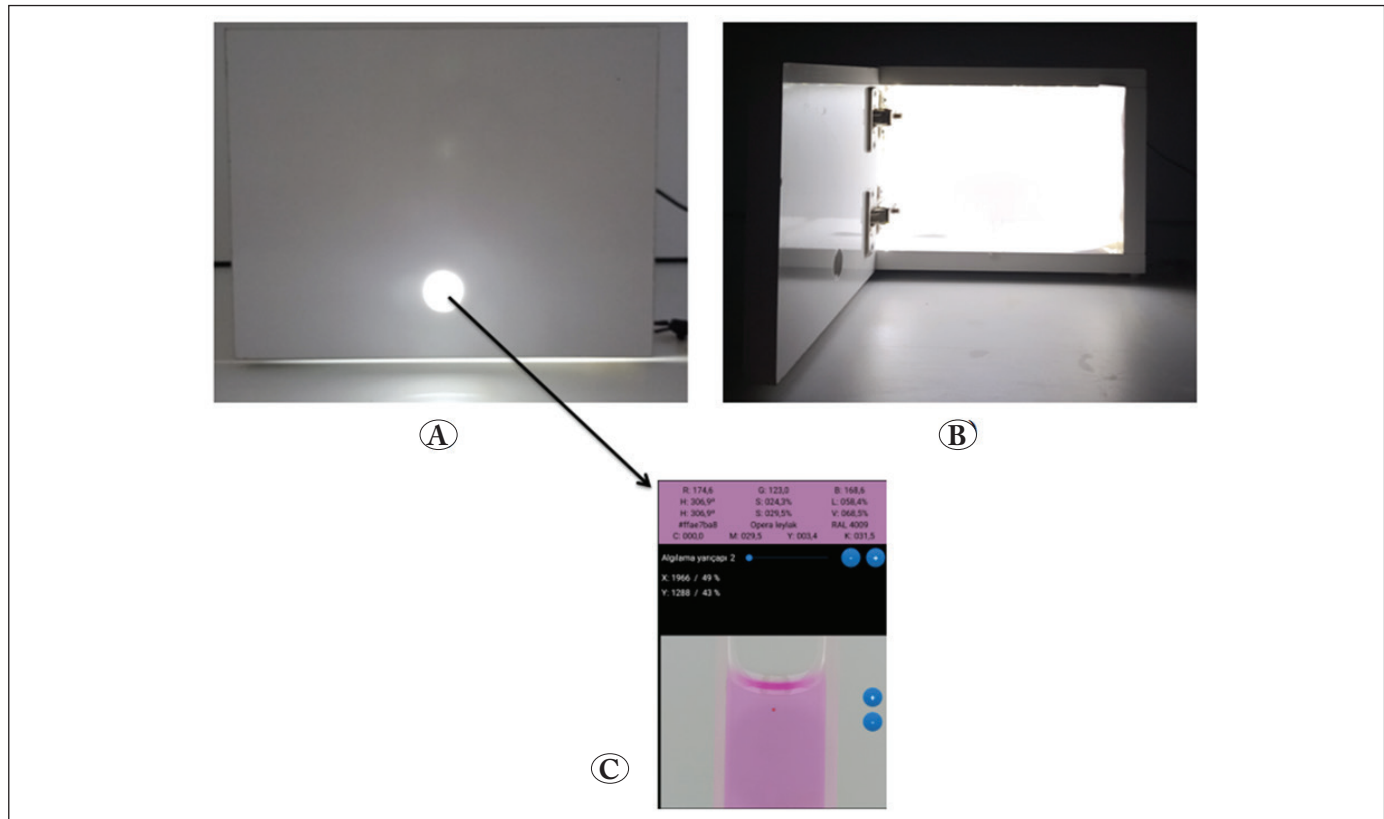


Figure 2. Digital display box (A) External view; (B) Interior view; (C) Sample image.

the location of the point where the measurement is made on the quartz bathtub surface, the radius of the measurement point, and the pH value. After determining the optimum conditions, phenolphthalein samples with concentrations between 0.5-5 mg/L were analyzed. Analysis results were transferred to the calibration chart and LOD, LOQ, linear region, and %RSD values were calculated. After determining the analytical performance of our method, a recovery study was carried out on a drinking water sample.

3. Results and Discussion

The distance of the quartz cuvette from the smartphone camera lens, the location of the measurement point on the quartz cuvette surface, the radius of the measurement point, and the pH value were optimized before starting the analyses.

3.1. Distance Optimization

The distance between the quartz cuvette placed in the digital imaging box and the smartphone camera lens was optimized before starting the analyses. For this purpose, analyses were performed for samples placed at a distance of 5, 8, and 10 cm. The distance values were determined based on the focusing feature of the smartphone's camera. Samples containing 1 mg/L phenolphthalein were used for the optimization study. RGB (red, green, blue) values obtained as a result of digital imaging-based colorimetric analysis were examined. Red intensity, which has the highest numerical value among the RGB values, was used as the measurement

result in the rest of the study. When the red color intensity values of analyses at different distances were examined, it was seen that the highest value was obtained at a distance of 5 cm. In this context, it was decided to apply the distance of 5 cm in the continuation of the study. The measurement results obtained as a result of analyses are presented in Figure 3, and the graphical representation of the measurement results is presented in Figure 4.

3.2. Measuring Point Optimization

Before starting our digital imaging-based colorimetric analysis studies, an optimization study was carried out to determine the point at which the measurement would be taken on the quartz cuvette surface where the sample to be analyzed was placed. For this purpose, separate measurements were taken from the upper middle part, middle part, and lower middle part of the quartz bathtub. The sample containing 1 mg/L phenolphthalein was used during optimization. When the red color intensity of analyses taken from different points was examined, it was seen that the highest value was obtained in the middle part. In the continuation of the study, it was decided to use the middle part of the quartz bathtub as the measurement point. The measurement results obtained as a result of analyses are presented in Figure 5, and the graphical representation of the measurement results is presented in Figure 6.

3.3. Measuring Radius Optimization

The radius value of the measured point on the sample can be adjusted in the smartphone application used in digital

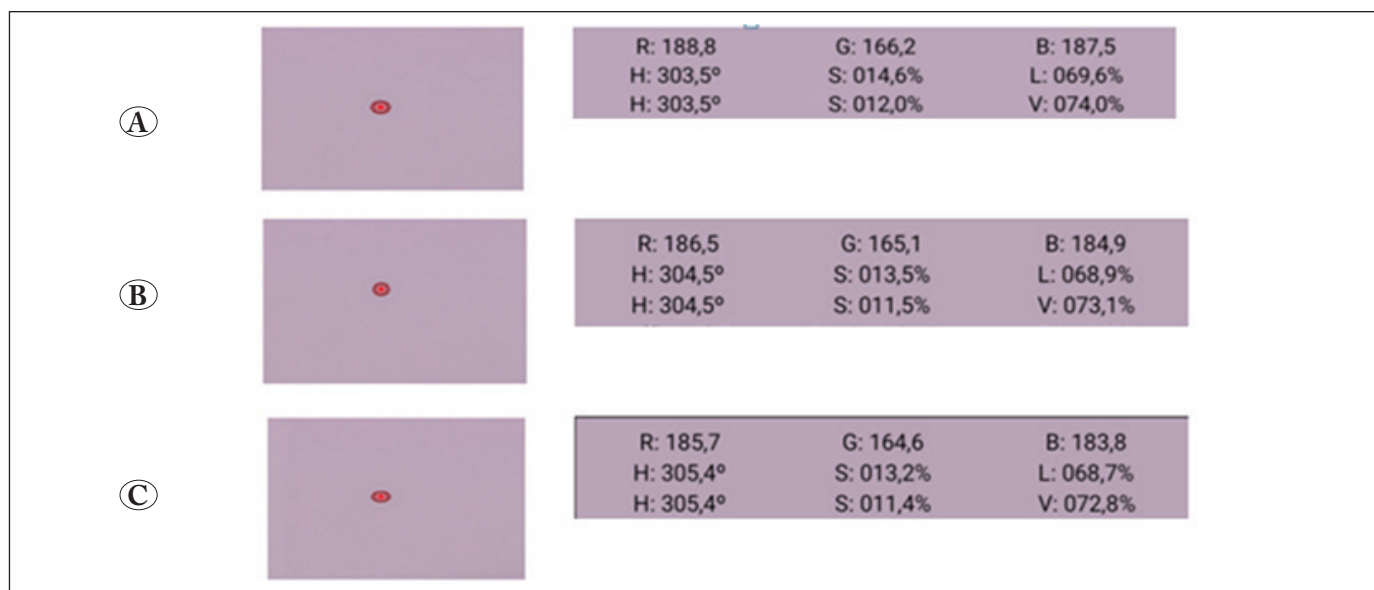


Figure 3. Distance optimization measurement results (A) 5 cm; (B) 8 cm; (C) 10 cm.

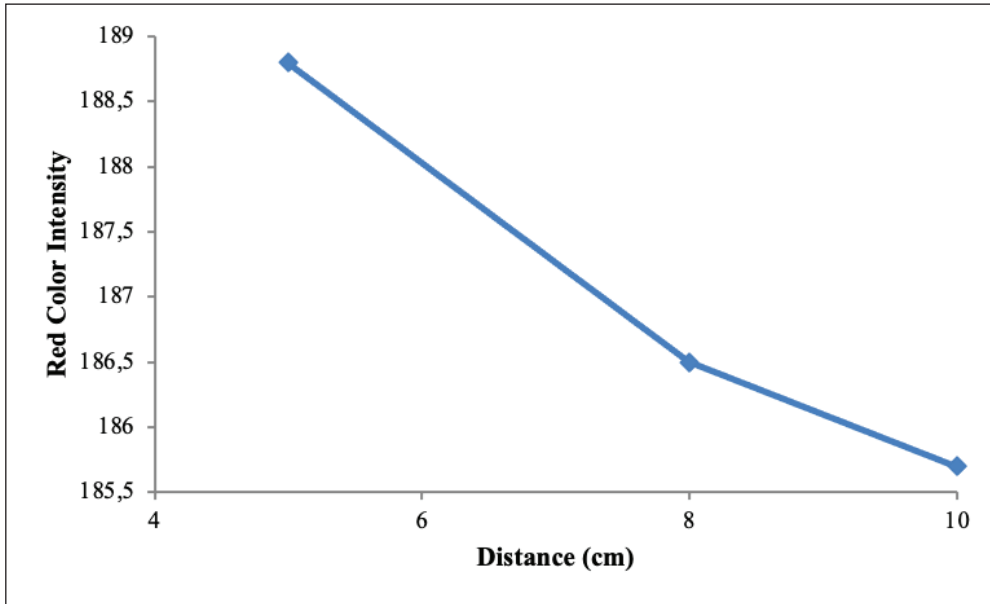


Figure 4. Distance optimization measurement results comparison graph.

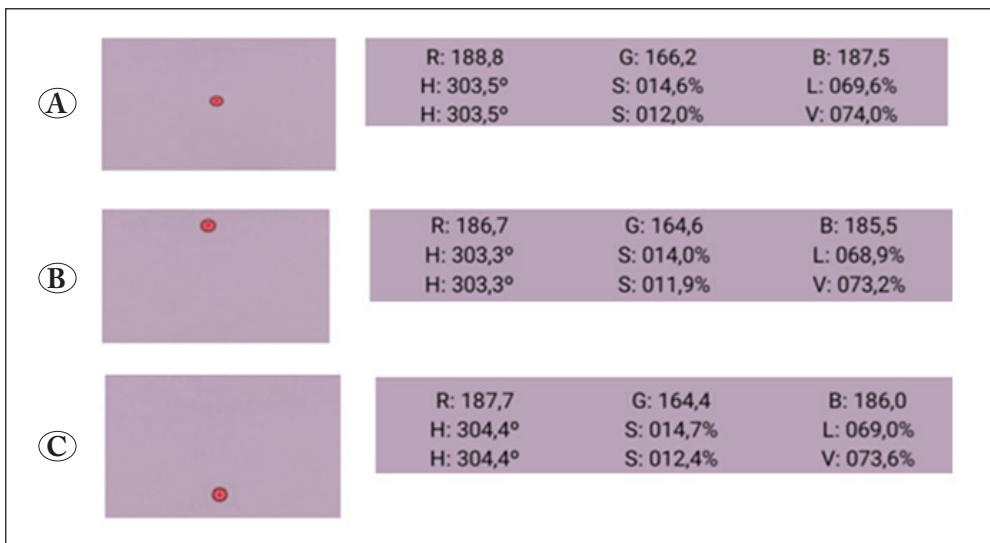


Figure 5: Measurement point optimization measurement results (A) Middle part; (B) Upper middle part; (C) Lower middle part.

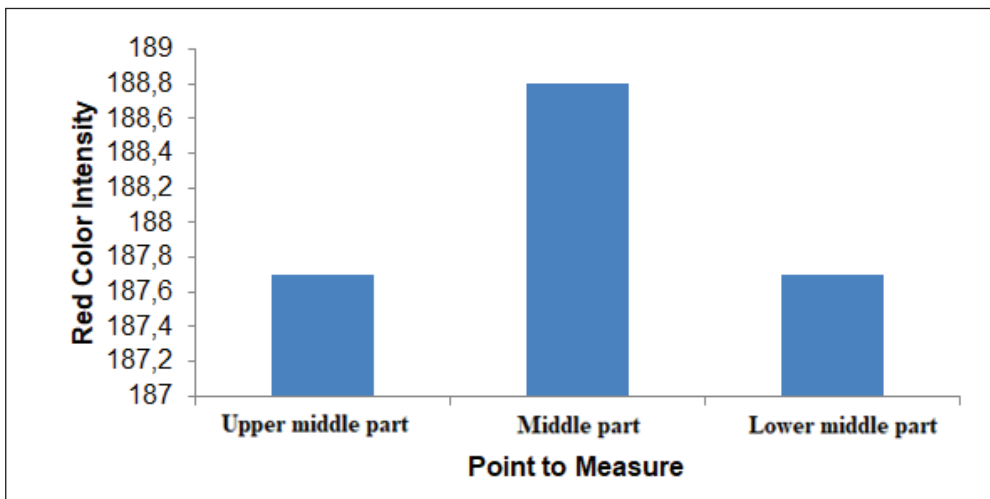


Figure 6: Measuring point optimization results comparison chart.

imaging-based colorimetric analysis. In the analysis to be carried out, measurement radius optimization was made to determine the radius that would yield the highest measurement result. For this purpose, a separate analysis was carried out on the radius scale at 2, 5, and 10 radius values. When the red color intensity of analyses performed at different radius values was examined, it was seen that the highest value was obtained when the radius was 2. In the rest of the study, the radius value was applied as 2. The measurement results obtained as a result of the analysis are presented in Figure 7, and the graphical representation of the measurement results is presented in Figure 8.

3.4. pH Optimization

Within the scope of our work to develop a digital imag-

ing-based colorimetric analysis method in water samples, pH optimization was carried out to determine the most suitable environmental pH. Potassium hydrogen phthalate was used in the preparation of buffers between pH 4-6, tris was used for pH 7, and borax was used for pH 8-10. Figure 9 shows the measurement results at pH values ranging from 4.0 to 10.0. When the measurement results were examined, it was seen that the highest value was obtained at pH 9.0. The color transformation of phenolphthalein occurs between pH 8-10. The highest red color value was obtained at pH 9. At pH 9, the red color intensity in the sample medium was higher than at pH 10. At pH 10, the red-green-blue color intensity of the sample medium increased less in favor of red. In the continuation of the study, the pH of the environment was determined to be 9.0.

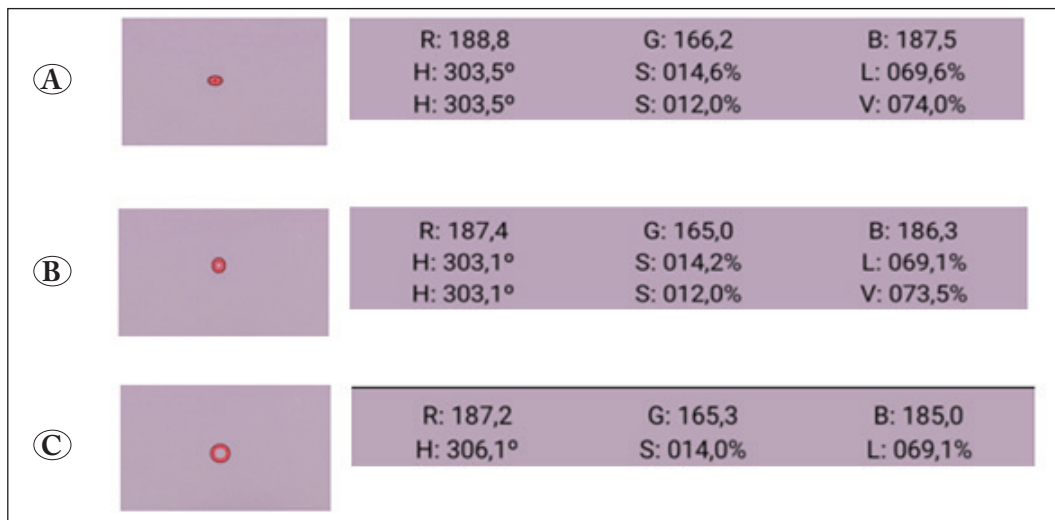


Figure 7: Radius optimization measurement results (A) 2; (B) 5; (C) 10.

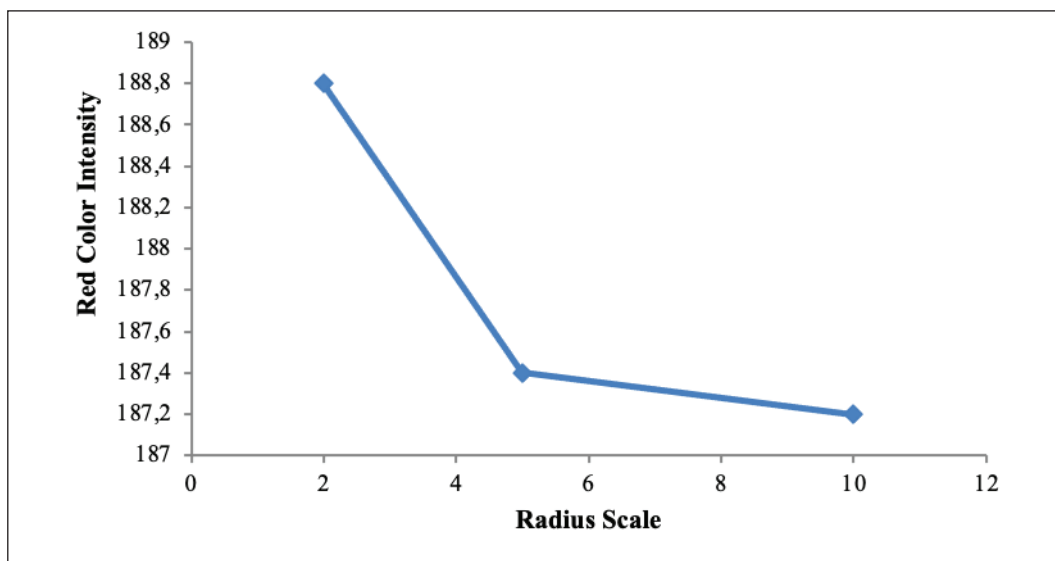


Figure 8: Radius optimization measurement results comparison graph.

3.5. Analytical Performance of the Method

Analyzes were carried out to determine the analytical performance of the digital imaging-based colorimetric analysis method we developed for the determination of phenolphthalein. For this purpose, colorimetric analysis of phenolphthalein solutions with different concentrations was carried out under the determined optimum conditions to obtain a calibration chart. The calibration graph obtained by plotting the measurement results obtained as a result of the analysis is shown in Figure 10.

When Figure 10 is examined; The signal change was almost linear against the concentration varying between 1-4 mg/L. Deviation from linearity occurs at concentrations below 1 mg/L and above 4 mg/L. Deviation occurs when the concentration is below 1 ppm and when it is above 4 ppm. The method we developed in these regions does not provide linear results. In the calibration graph drawn for our linear region of 1-4 mg/L, the correlation coefficient (R^2) was calculated as 0.9955. The closeness of the correlation coefficient to 1 reveals the linearity of our measurement results. LOD (Limit of detection) and LOQ (Limit of quantification)

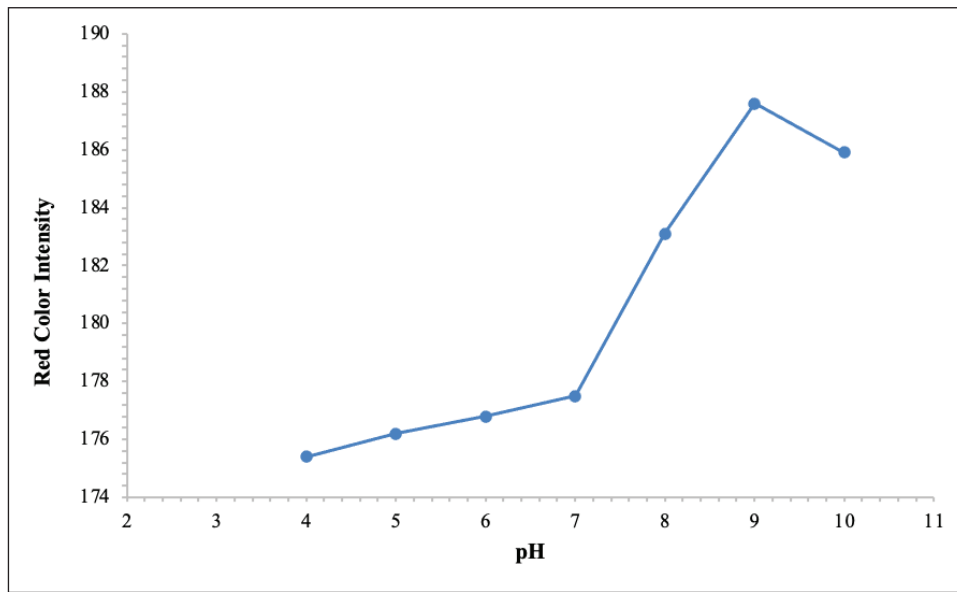


Figure 9. pH optimization measurement results.

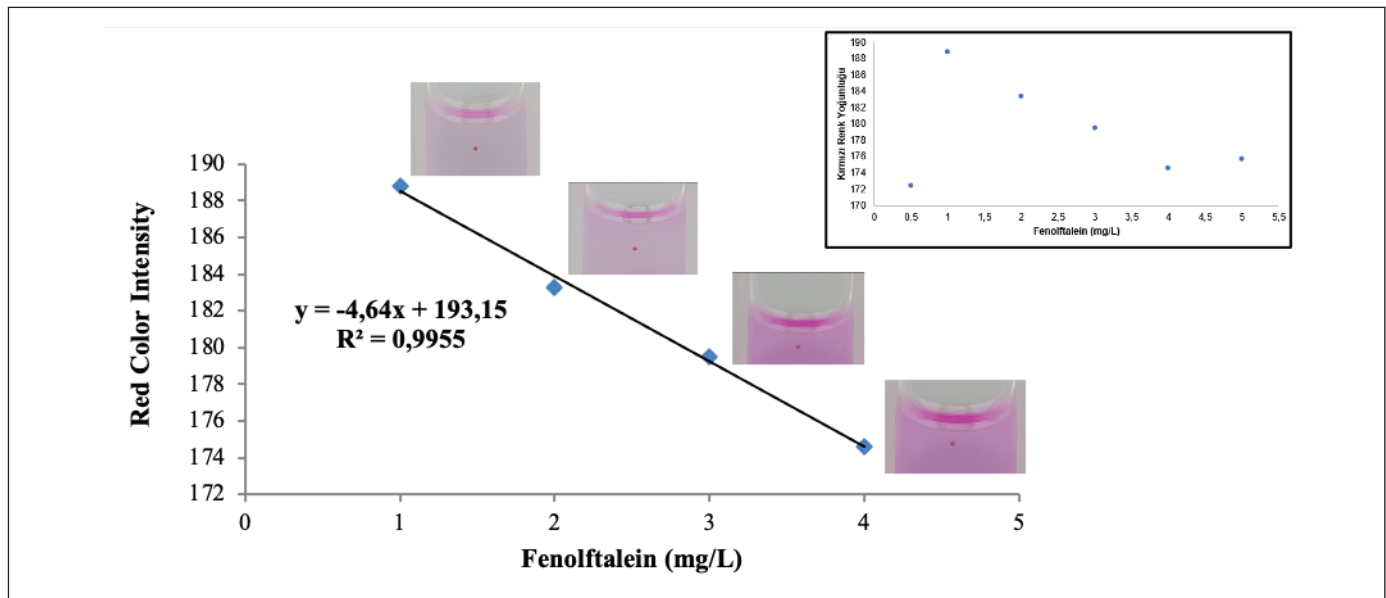


Figure 10. Calibration graph.

Table 1. Comparison of the detection limits achieved using different methods for the determination of phenolphthalein.

Analytical method	LOD (mg/L)	Reference
Digital Imaging-Based Colorimetry	0.14	Our study
Capillary electrophoresis	0.18	(Wang et al. 2016)
Thin layer chromatography	10	(Fang et al. 2016)
Liquid Chromatography	0.47	(Nasr et al. 2017)
High-performance liquid chromatography	0.5	(Wilhelm et al. 1992)

values were calculated to determine the accuracy and sensitivity of the analysis method we developed. Eight repeated measurements were taken for the lowest concentration in the calibration chart we drew to calculate LOD and LOQ values. The standard deviation (SD) value was calculated using our measurement results obtained as a result of the analysis. In our calculations, the formula $3SS/m$ (m =slope of the calibration graph) was used for the LOD value and the formula $10SD/m$ was used for the LOQ value. As a result of the aforementioned procedures, the LOD value was found to be 0.14 mg/L and the LOQ value was 0.48 mg/L. The percentage relative standard deviation value (%RSD) of the developed analytical method was calculated as 0.28%. This value shows that the method has high reproducibility. A comparison of detection limits obtained using different methods for the determination of phenolphthalein is given in Table 1. When Table 1 is examined, it can be seen that the LOD value of the method we developed is much lower than other methods.

3.6. Recovery Study on Drinking Water Sample

To demonstrate the performance of our method in a real sample environment, a recovery study was conducted in drinking water. Within the scope of recovery experiments, analyses were made by adding 1, 2, and 3 mg/L phenolphthalein standards to the drinking water sample, respectively. As a result of the analysis, percentage recovery values were found to be in the range of 99%-106%. These values show that our method has high performance in drinking water samples.

4. Conclusion and Suggestions

Our study aimed to develop a digital imaging-based analysis method for the determination of phenolphthalein in drinking water samples. First of all, an imaging box was designed to perform digital imaging. In the design of this box, care was taken to prevent light from outside and to use reflective material inside. An application called Color Detector, which can be downloaded to smartphones free of charge

was used in the analysis processes. Before starting the analyses, variables that had an impact on the measurements were optimized. For this purpose, distance, radius, measurement point, and pH optimization were carried out. After the optimum values were determined, the analysis of phenolphthalein samples with increasing concentrations was started. As a result of the analysis of samples with concentrations varying between 0.5 mg/L and 5 mg/L, a linear region between 1 and 4 mg/L was detected. As a result of the calculations, the LOD value was found to be 0.14 mg/L and the LOQ value was 0.48 mg/L. The percentage relative standard deviation value (%RSD) of the developed analytical method was calculated as 0.28%. This value shows that the method has high reproducibility. A recovery study was carried out on a drinking water sample to evaluate the performance of the method we developed in the real sample environment. As a result of the analysis, percentage recovery values were found to be in the range of 99%-106%. These values show that our method has high performance in drinking water samples. When the studies in the literature developed using different analysis methods for the determination of phenolphthalein are examined, it is seen that the analytical performance of our method is quite satisfactory.

5. Acknowledgment

This study was supported within the scope of TÜBİTAK 2209/A University Students Research Projects Support Program.

Author contribution

Author Yağmuroğlu and Author Yücel: Planned and designed the study, gathered and analyzed data about the study, and wrote the article by analyzing the study.

6. References

- Adewuyi, A., Oderinde RA. 2022. Removal of phenolphthalein and methyl orange from laboratory wastewater using tetraethylammonium-modified kaolinite clay. *Curr. Res. Green Sustain. Chem.*, vol. 5:(100320). Doi: 10.1016/J.CRGCSC.2022.100320.

- Barreto, JA., dos Santos de Assis, R., Santos, LB., Cassella, R. J., Lemos, VA. 2020.** Pressure variation in-syringe dispersive liquid-liquid microextraction associated with digital image colorimetry: Determination of cobalt in food samples. *Microchemical Journal*, 157:105064. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105064>
- Choodum, A., Sriprom, W., Wongniramaikul, W. 2019.** Portable and selective colorimetric film and digital image colorimetry for the detection of iron. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 208, 40–47. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2018.09.062>
- Devadhasan, JP., Oh, H., Choi, CS., Kim, S. 2015.** Whole blood glucose analysis based on the smartphone camera module. *Journal of Biomedical Optics*, 20, 117001. DOI: 10.1117/1.JBO.20.11.117001
- Dunnick, JK., Hailey, JR. 1996.** Phenolphthalein exposure causes multiple carcinogenic effects in experimental model systems. *Cancer Research*, 56(21): 4922–4926.
- El Kaoutit, H., Estévez, P., García, FC., Serna, F., and García, J. M. 2013.** Sub-ppm quantification of Hg(II) in aqueous media using both the naked eye and digital information from pictures of a colorimetric sensory polymer membrane taken with the digital camera of a conventional mobile phone. *Analytical Methods*, 5(1), 54–58. <https://doi.org/10.1039/c2ay26307f>
- Fan, Y., Li, J., Guo, Y., Xie, L., Zhang, G. 2021.** Digital image colorimetry on a smartphone for chemical analysis: A review. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 171: 108829. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108829>
- Fang, F., Qi, Y., Lu, F., Yang, L. 2016.** Highly sensitive on-site detection of drugs adulterated in botanical dietary supplements using thin layer chromatography combined with dynamic surface enhanced Raman spectroscopy. *Talanta*, 146, 351–357. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.08.067>
- Firdaus, ML., Aprian, A., Meileza, N., Hitsmi, M., Elvia, R., Rahmidar, L., Khaydarov, R. 2019.** Smartphone coupled with a paper-based colorimetric device for sensitive and portable mercury ion sensing. *Chemosensors*, 7(2). <https://doi.org/10.3390/chemosensors7020025>
- Geng, M., Yang, YJ., and Hu, S. 2009.** The voltammetric determination of phenolphthalein on multi-walled carbon nanotube-DHP composite film-modified glassy carbon electrode. *Fullerenes Nanotubes and Carbon Nanostructures*, 17(3), 285–297. <https://doi.org/10.1080/15363830902779619>
- Guo et al Z. May 2012.** A highly sensitive electrochemiluminescence method combined with molecularly imprinted solid phase extraction for the determination of phenolphthalein in drug, slimming food, and human plasma. *Food Chem.*, 132(2): 1092–1097. Doi: 10.1016/J.FOODCHEM.2011.11.056.
- Guo, J., Wong, JXH., Cui, C., Li, X., Yu, HZ. 2015.** A smartphone-readable barcode assay for the detection and quantitation of pesticide residues. *Analyst*, 140, 5518–5525. <https://doi.org/10.1039/C5AN00874C>
- Jain, R., Jha, RR., Kumari, A., Khatri, I. 2021.** Dispersive liquid-liquid microextraction combined with digital image colorimetry for paracetamol analysis. *Microchemical Journal*, 162: 105870. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105870>
- Kim, JY., Park, HJ., Kim, JW., Lee, JH., Heo, S., Yoon, CY., Cho, S. 2016.** Development and validation of UPLC and LC-MS/MS methods for the simultaneous determination of anti-obesity drugs in foods and dietary supplements. *Archives of Pharmacal Research*, 39(1), 103–114. <https://doi.org/10.1007/s12272-015-0665-9>
- Kumar, A., Bera, A., Kumar, S. 2020.** A Smartphone-Assisted Sensitive, Selective and Reversible Recognition of Copper Ions in an Aqueous Medium. *ChemistrySelect*, 5, 1020–1028.
- Lin, B., Yu, Y., Cao, Y., Guo, M., Zhu, D., Dai, J., Zheng, M. 2018.** Point-of-care testing for streptomycin based on aptamer recognizing and digital image colorimetry by smartphone. *Biosensors and Bioelectronics*, 100, 482–489. DOI: 10.1016/j.bios.2017.09.028
- MacEdo Dos Santos, P., Pereira-Filho, ER. 2013.** Digital image analysis—an alternative tool for monitoring milk authenticity. *Analytical Methods*, 5(15):3669–3674. Doi: <https://doi.org/10.1039/c3ay40561c>
- Mahato, K., Chandra, P. 2019.** Paper-based miniaturized immunosensor for naked eye ALP detection based on digital image colorimetry integrated with smartphone. *Biosensors and Bioelectronics*, 128, 9–16.
- Masawat, P., Harfield, A., Namwong, A. 2015.** An iPhone-based digital image colorimeter for detecting tetracycline in milk. *Food Chemistry*, 184, 23–29.
- Moonrungrsee, N., Peamaroon, N., Boonmee, A., Suwancharoen, S., Jakmunee, J. 2018.** Evaluation of tyrosinase inhibitory activity in Salak (*Salacca zalacca*) extracts using the digital image-based colorimetric method. *Chemical Papers*, 72, 2729–2736.
- Nasr, EM., Lai, CW. 2017.** Development and validation of a reverse phase-high performance liquid chromatography-ultraviolet method for simultaneous detection of caffeine and phenolphthalein in weight reducing supplements. *Malaysian Journal of Analytical Science*, 21(3). <https://doi.org/10.17576/mjas-2017-2103-10>
- Pessoa, KD., Suarez, WT., dos Reis, MF., de Oliveira Krambeck Franco, M., Moreira, RPL., dos Santos, VB. 2017.** A digital image method of spot tests for determination of copper in sugar cane spirits. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 185, 310–316.

- Pohanka, M., Zakova, J., Sedlacek, I. 2018.** Digital camera-based lipase biosensor for the determination of paraoxon. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 273, 610–615.
- Ravazzi, CG., Krambeck Franco, M. de O., Vieira, MCR., Suarez, WT. 2018.** Smartphone application for captopril determination in dosage forms and synthetic urine employing digital imaging. *Talanta*, 189, 339–344.
- Resque, IS., dos Santos, VB., Suarez, WT. 2019.** An environmentally friendly analytical approach based on spot tests and digital images to evaluate the conformity of bleaching products. *Chemical Papers*, 73(7):1659–1668. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11696-019-00717-w>
- Saeidnia, S., Manayi, A. 2014.** Phenolphthalein. In *Encyclopedia of Toxicology: Third Edition*, Elsevier, pp. 877–880. Doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.01136-2>
- Sicard, C., Glen, C., Aubie, B., Wallace, D., Jahanshahi-Anbuhi, S., Pennings, K., Daigger, GT., Pelton, R., Brennan, JD., Filipe, CDM. 2015.** Tools for water quality monitoring and mapping using paper-based sensors and cell phones. *Water Research*, 70, 360–369.
- Silva, A., Santos, LHMLM., Antão, C., Delerue-Matos, C., Figueiredo, SA. 2017.** Ecotoxicological evaluation of chemical indicator substances present as micropollutants in laboratory wastewaters. *Global Nest Journal*, 19(1):94–99. Doi: <https://doi.org/10.30955/gnj.002051>
- Wang, D., Man, R., Shu, M., Liu, H., Gao, Y., Luan, F. 2016.** Detection of sibutramine and phenolphthalein in functional foods using capillary electrophoresis. *Analytical Methods*, 8(3), 621–626. <https://doi.org/10.1039/c5ay02973b>
- Wang, Y., Zeinhom, MMA., Yang, M., Sun, R., Wang, S., Smith, JN., Timchalk, C., Li, L., Lin, Y., Du, D. 2017.** A 3D-Printed, Portable, Optical-Sensing Platform for Smartphones Capable of Detecting the Herbicide 2,4-Dichlorophenoxyacetic Acid. *Analytical Chemistry*, 89, 9339–9346.
- Wilhelm, JAL., Bailey, LC., Shepard, TA., Venturella, VS. 1992.** Simultaneous determination of phenolphthalein and phenolphthalein glucuronide from dog serum, urine, and bile by high-performance liquid chromatography. *J. Chromatogr. B Biomed. Sci. Appl.*, 578(2):231–238. Doi: 10.1016/0378-4347(92)80421-L.
- Wongthanyakram, J., Masawat, P. 2019.** Rapid Low-Cost Determination of Lead(II) in Cassava by an iPod-Based Digital Imaging Colorimeter. *Analytical Letters*, 52, 550–561.
- Zeng, Y., Xu, Y., Kee, CL., Low, MY., Ge, X. 2016.** Analysis of 40 weight loss compounds adulterated in health supplements by liquid chromatography quadrupole linear ion trap mass spectrometry. *Drug Testing and Analysis*, 8(3–4), 351–356. <https://doi.org/10.1002/dta.1846>



Zayıf Sinyal Frekansının Geribesleme Mekanizması Tarafından İndüklenen Çoklu Stokastik Rezonans Üzerindeki Etkileri

Effects of Weak Signal Frequency on Multiple Stochastic Resonance Induced by Feedback Mechanism

Veli Baysal*

Bartın Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, Bartın, Türkiye

Öz

Sinir sisteminde sinyal algılama mekanizması son derece karmaşıktır ve çevresel faktörlere oldukça bağlıdır. Beynin hem mikro hem de makro seviyesinde doğal olarak bulunan gürültü, bu mekanizmayı etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Deneysel ve sayısal çalışmalar, nöronal sistemin, bilgi işleme kapasitesini optimal şekilde kullanmak için gürültüden faydalandığını göstermektedir. Nöronların zayıf sinyal sezinleme kapasitesinin, belirli bir gürültü seviyesinde maksimize olması "stokastik rezonans" kavramı ile açıklanmaktadır. Bu çalışmada, zayıf sinyal frekansının, bir elektriksel geribesleme bağlantısına sahip Hodgkin-Huxley nöronlarında iyon kanal gürültüsü tarafından tetiklenen stokastik rezonans olgusuna olan etkileri, geribesleme mekanizmasının biyolojik fonksiyonlarına bağlı olarak ele alınmıştır. Elde edilen bulgular, öz-sinaps geri besleme mekanizması, nöronun sinyallere duyarlı olduğu frekans aralığındaki bütün frekanslarda Hodgkin-Huxley nöronlarının sinyal algılama kapasitesini önemli ölçüde geliştirdiğini göstermiştir. Ayrıca, eşik altı sinyalin bu aralıktaki bütün frekanslarında Hodgkin-Huxley nöronunun sinyal algılama kapasitesinin, uygun geribesleme zaman gecikme değerlerinde geribesleme iletkenliğine bağlı olarak rezonans davranışı sergilediği görülmüştür. Ek olarak, zayıf sinyalin bütün frekanslarında Hodgkin-Huxley nöronunun maksimal sinyal algılama performansının, geribesleme zaman gecikmesine bağlı olarak çoklu stokastik rezonans fenomeni sergilediği görülmektedir. Bu stokastik rezonansların maksimal olduğu geribesleme zaman gecikmesi noktaları, uygulanan zayıf sinyal frekansı tarafından belirlenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Hodgkin-Huxley nöron, öz-sinaps, zayıf sinyal frekansı.

Abstract

The mechanism of signal perception in the nervous system is highly complex and heavily dependent on environmental factors. One of the most significant factors affecting this mechanism is the naturally emerging noise at both the micro and macro levels of the brain. Experimental and numerical studies demonstrate that the nervous system utilizes noise to optimize its information processing capacity. Maximizing the weak signal capacity of neurons at a sufficient noise level is explained with the concept of "stochastic resonance". This study examines the effects of weak signal frequency on the stochastic resonance phenomenon triggered by ion channel noise depending on the biological functions of the feedback mechanism in Hodgkin-Huxley neurons with an electrical feedback connection. The findings indicate that the autaptic feedback mechanism significantly enhances the signal coding capacity of Hodgkin-Huxley neurons across all frequencies within the range of frequencies to which the neuron is sensitive. Also, it is observed that the subthreshold signal detection capacity of Hodgkin-Huxley neurons exhibits resonance behaviour depending on feedback coupling strength at the appropriate feedback time delays for all frequencies in this range. Furthermore, it is shown that the maximal weak signal coding performance of Hodgkin-Huxley neuron displays multiple stochastic resonance phenomena depending on the feedback time delay. These points of maximal stochastic resonance are determined by the frequency of the applied weak signal.

Keywords: Hodgkin-Huxley neuron, autaptic synapse, weak signal frequency.

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: veli_baysal@hotmail.com.tr

Veli Baysal orcid.org/0000-0001-6504-1653



1. Giriş

Uyarılabilir nöron sistemi kendisine uygulanan bilgi sinyaline yanıt olarak elektrik sinyalleri üreterek bunları canlı sistemde ilgili birimlere iletmektedir (Bean 2007). Hücre membranı üzerinde bulunan iyon kanalları hücrenin elektriksel aktivitesinin oluşmasında etkin rol oynamaktadırlar (Hodgkin ve Huxley 1952). Hücre zarında bulunan iyon kanallarının açılması ile dinlenme durumundaki hücre içi- dışı iyon konsantrasyon değişmekte ve böylelikle aksiyon potansiyeli oluşmaktadır (Hodgkin ve Huxley 1952). Diğer taraftan iyon kanallarının rastgele dalgalanması hücre membranında gürültüye neden olmaktadır (Lecar ve Nossal 1971, Hamil vd. 1981). Yapılan çalışmalarda bu gürültünün nöronların zayıf sinyallere verdiği tepkiyi olumlu yönde etkilediği ortaya konulmuştur (Moss vd. 2004). Nöronların zayıf sinyal ile verdiği cevabın gürültünün belli bir değerinde maksimize olması stokastik rezonans (SR) olarak bilinmekte olup, bu konu geniş bir şekilde çalışılmıştır (Douglass vd. 1993, Rubinstein 1995, Chow ve White 1996, Schmid vd. 2003, Moss vd. 2004, Baysal ve Calim 2023). Temel olarak, hücre membranında meydana gelen içsel gürültünün kaynağı iyon kanallarıdır ve iyon kanallarının stokastik yapısından kaynaklanan gürültünün, nöronların elektriksel dinamiklerine olan etkisi geniş bir şekilde ele alınmıştır (Skaugen ve Walløe 1979, Bezrukov ve Vodyanov 1995, Levin ve Miller 1996, Fox 1998, Schneidman vd. 1998, Jung ve Shuai 2001, Faisal ve White 2005, Ozer ve Ekmekçi 2005). Jung ve Shuai, Hodgkin-Huxley (H-H) nöronlarındaki kanal dinamiklerinin eşik altı periyodik işaret algılama performansına etkisini araştırmışlardır. Belirli bir kanal yoğunluğu aralığında, eşik altı sinüzoidal sinyallerin spayk kodlamasının kanal gürültüsüyle artırılabilirliğini göstermişlerdir (Jung ve Shuai 2001). Bir başka sayısal çalışmada, hücre membranında bulunan iyon kanal sayısının nöronların sinyal algılama eşiklerine etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada, iyon kanal yoğunluğunun artması ile H-H nöronlarının sinyallere daha düşük genlikte yanıt verdiği gözlemlenmiştir (Skaugen ve Walløe 1979). Bu bağlamda hücre zarında yer alan iyon kanal sayılarının yoğunluğunun nöronların sinyallere verdiği tepkinin özelliklerini önemli derecede etkilediği tespit edilmiştir (Skaugen ve Walløe 1979). Ayrıca hücre membranında bulunan iyon kanallarının sayısı hücre boyutu ile orantılı olduğu yapılan başka bir çalışmada ortaya konulmuştur (Fox 1997). Küçük boyuttaki membranlarda iyon kanal yoğunluğunun daha fazla olduğu, yüksek boyuttaki zarlarda ise kanal yoğunluğunun daha az olduğu gösterilmiştir (Fox 1997). Dolayısıyla küçük boyutlardaki membrana sahip nöronların elektriksel

aktivitesinin oldukça stokastik olduğu bilinmektedir. Nöronların elektriksel davranışı hücre boyutunun artması ile deterministik duruma yaklaşmaktadır (Fox 1997). Schneidman ve arkadaşları spayk güvenilirliği ve hassasiyetini H-H nöron modelini kullanarak iyon kanal sayısına bağlı olarak incelemişlerdir (Schneidman vd. 1998). Bu çalışmada düşük kanal gürültüsünün pre-sinaptik ateşlemelerin post-sinaptik nörona iletme güvenliğini azalttığını gözlemlemişlerdir. Yüksek gürültüde ise pre-sinaptik ateşlemelerinin zamanı post-sinaptik nöron tarafından kolaylıkla tespit edildiğini rapor etmişlerdir. Dolayısıyla nöronlar arasında bilgi aktarımı bakımında kanal gürültüsünün stokastikliğinin dikkate alınması gerektiği sonucuna varmışlardır. Bezrukov ve Vodyanov iyon kanal gürültüsüne bağlı elde edilen sinyal gürültü oranı (SNR) performansını harici gürültüye göre daha yüksek elde etmişlerdir (Bezrukov ve Vodyanov 1995).

Diğer taraftan bir nöronda oluşan elektro-kimyasal bilgi sinyalleri başka nöronlara özel kavşaklar vasıtasıyla iletilmektedirler. Bu kavşaklar sinaptik bağlantı olarak isimlendirilmektedirler. Temelde elektriksel ve kimyasal olmak üzere iki tür sinaptik bağlantı bulunmaktadır. Ayrıca kimyasal sinaptik bağlantıların uyarıcı (excitatory) ve yasaklayıcı (inhibitory) olmak üzere iki türü mevcuttur. Genel olarak sinaptik bağlantı bir nöronun aksonunun başka bir nöronun dendriti ile yaptığı elektro-kimyasal bağlantı olarak bilinmektedir. Ancak, 1972 yılında Van der Loos ve Glaser tarafından bir nöronun kendi aksonundan kendi dendritine yaptığı sinaptik bağlantılar keşfedilmiştir (Van Der Loos ve Glaser 1972). Bu ilginç geribesleme bağlantısı literatürde öz-sinaps (geribesleme, autapse) olarak isimlendirilmektedir. Geribesleme bağlantısına sahip nöronların varlığı birçok çalışma ile doğrulanmıştır (Scheibel ve Scheibel 1971, DiFiglia vd. 1976, Karabelas ve Purrura 1980, Park vd. 1980, Peters ve Proskauer 1980, Preston vd. 1980, Shkolnik-Yarros 2012). Örneğin, sıçan ve köpeklerin serebral korteksinde, maymunların neostriatumunda ve kedilerin omuriliğinde geribeslemeli sinaptik bağlantılar gözlemlenmiştir (Scheibel ve Scheibel 1971, DiFiglia vd. 1976, Peters ve Proskauer 1980, Preston vd. 1980, Shkolnik-Yarros 2012). Yapılan bir deneysel çalışmada görsel kortekste inhibitör internöronların anatomik olarak yaklaşık 10-30 geribesleme bağlantısı yapabileceği gösterilmiştir (Tamás vd. 1997). Karabelas ve Purrura, kedi beyni hücrelerinde geribesleme bağlantılarına sahip nöronların varlığını tespit etmişlerdir (Karabelas ve Purrura 1980). Başka bir deneysel çalışmada, Cobb ve arkadaşları hipokampal internöronların biyositin dolu mikroelektrotlar kullanarak elde ettikleri hücre içi kayıtları ile ge-

ribesleme sinaptik bağlantıları tasvir etmişlerdir (Cobb vd. 1997). Ayrıca bir deneysel çalışmada sıçan neokorteksindeki piramidal hücrelerde bulunan geri besleme yapılarının yoğunluğu ve dağılımı araştırılmıştır (Lübke vd. 1996). Bu çalışmada, yazarlar V. tabaka piramidal hücrelerin %80'inde öz-sinaps bağlantılarının olduğunu bildirmişler ve öz-sinaps geri besleme devrelerinin, kimyasal ve elektriksel sinaps devre sistemi ile aynı prensiplerle sinyal iletim işlemlerini gerçekleştirdiği sonucuna varmışlardır.

Geribesleme sinaptik bağlantıların varlığı beyin çeşitli katmanlarında deneysel olarak ispatlandıktan sonra bu sistemin nöronların elektriksel dinamikleri üzerindeki etkileri araştırmacıların yoğun ilgisini çekmiştir (Saada vd. 2009, Wang vd. 2014, Baysal vd. 2015, Ma vd. 2015, Yılmaz ve Ozer 2015, Guo vd. 2016, Yılmaz vd. 2016a, Yılmaz vd. 2016b, Wang ve Chen 2016, Baysal ve Calim 2023). Yapılan bir nümerik çalışmada yazarlar elektriksel ve uyarıcı geribesleme bağlantılarının patlama (bursting) tipi ateşlemeleri artırdığı ve bundan dolayı ateşleme düzenliliğini azalttığı, aksine yasaklayıcı geribesleme bağlantısının ise patlama tipi ateşlemeleri azaltarak ateşleme düzenliliğini artırdığını bulmuşlardır (Guo vd. 2016). Başka bir nümerik çalışmada stokastik H-H nöronlarının eşik altı periyodik sinyalle verdiği tepkinin dinamiklerini geribesleme mekanizmasının fonksiyonlarına bağlı olarak nasıl değiştiği irdelenmiştir. Bu çalışmada öz-sinaps bağlantısının nöronların hem stokastik tepkisini ayarladığı hem de eşik altı sinyallere verdiği cevabı geliştirdiği gösterilmiştir (Wang ve Chen 2016). Wang ve arkadaşları (2014) gecikmeli geri besleme bağlantısının, Hindmarsh-Rose (HR) nöronunun elektriksel aktivitelerini durgun (suskun, ateşleme olmama durumu), periyodik ve kaotik ateşleme modelleri arasında geçiş sağlandığını tespit etmişlerdir. Ayrıca spesifik geribesleme bağlantı iletkenliği ve zaman gecikmesinde, elektriksel geribesleme mekanizması nöronlarda periyodik ateşleme rejiminden kaotik ateşleme rejimine geçiş sağladığını not etmişlerdir. Buna paralel olarak uyarıcı kimyasal geribesleme bağlantısının, kaotik ateşlemelerin oluşmasında rol oynadığı gözlemlenmiştir. Bunların aksine engelleyici kimyasal öz-sinapsın ise nöronlarda oluşabilecek kaotik ateşlemeleri azaltabildiği ve bastırabildiği ortaya konulmuştur (Wang vd., 2014).

Literatürde geribesleme sisteminin çeşitli nöron modellerinde sinyal algılama mekanizmasına olan etkileri geniş bir şekilde çalışılmıştır (Saada vd. 2009, Wang vd. 2014, Baysal vd. 2015, Ma vd. 2015, Yılmaz ve Ozer 2015, Guo vd. 2016, Yılmaz vd. 2016a, Yılmaz vd. 2016b, Wang ve Chen 2016, Baysal ve Calim 2023). Fakat bu çalışmalarda genellikle

öz-sinaps bağlantısının biyofiziksel özelliklerinin nöronların bilgi işleme dinamiklerine olan etkileri üzerinde durulmuştur. Bu çalışmalarda nörona uygulanan sinyalin frekansı ya sabit tutulmuştur veya çok dar bir parametre aralığında incelenmiştir (Yılmaz ve Ozer 2015, Yılmaz vd. 2016a, Yılmaz vd. 2016b, Wang ve Chen 2016, Baysal ve Calim 2023). Diğer taraftan nöronlar belli frekans aralığındaki sinyalleri kodlayabildiği ortaya konulmuştur (Levin ve Miller 1996, Baysal vd. 2019). Ayrıca beyin farklı bölgelerindeki nöronların elektriksel aktivitesinin farklı frekans bantlarında dalgalanmalar yaptığı bilinen bir gerçektir (Miller 2007). Bu nedenle beyin birçok bölgesinde bulunan geribesleme sisteminin nöronların bilgi işleme mekanizmasına olan katkılarının farklı frekans aralıklarında araştırılması önem arz etmektedir. Bu amaçla bu çalışmada zayıf sinyal frekansının geribesleme bağlantısının çeşitli biyofiziksel özelliklerine bağlı olarak H-H nöronlarının sinyal işleme mekanizması sistematik olarak ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlar geribesleme bağlantısı, nöronların sinyal algılama frekans aralığındaki bütün frekanslarda uygun geribesleme iletkenlik ve zaman gecikmesi değerlerinde H-H nöronların sinyal algılama performansını önemli derecede artırdığını göstermiştir. Ayrıca eşik altı sinyalin bütün frekanslarında H-H nöronunun sinyal algılama kapasitesi uygun geribesleme zaman gecikme değerlerinde geribesleme bağlantı iletkenliğine bağlı olarak rezonans davranışı sergilemiştir. Bunun yanı sıra zayıf sinyalin bütün frekanslarında H-H nöronunun maksimal sinyal algılama performansı geribesleme zaman gecikmesine bağlı çoklu SR (multiple SR, MSR) olgusu sergilemektedir. Bu SR'lerin oluştuğu geribesleme zaman gecikmesi noktaları uygulanan zayıf sinyalin frekansı belirlemektedir.

2. Model ve Yöntem

Bu çalışmada, bir elektriksel geribesleme bağlantısı varlığında zayıf sinyallere verilen nöronal tepkiyi araştırmak için, gerçek bir biyolojik nöronun ateşleme davranışlarının çoğunu sergileyen klasik H-H nöron modeli kullanılmıştır. Elektriksel öz-sinaps geribesleme akımı dikkate alınarak H-H nöron modelinde, bir nöronun zar geriliminin zamanla değişimi aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Yılmaz ve Ozer 2015):

$$C \frac{dv}{dt} = -G_K^{maks} n^4 (v - U_K) - G_{Na}^{maks} m^3 h (v - U_{Na}) - G_I (v - U_I) + I_{ext} + I_{aut} \quad (1)$$

Burada $C = 1 \mu F/cm^2$ hücre membranının kapasitansını göstermektedir. Hücre zarının elektriksel gerilim değeri v , sodyum, potasyum ve kaçak iyonların toparlanma gerilimleri

ise sırasıyla $U_{Na} = 115mV$, $U_K = -12mV$ ve $U_l = 10.6mV$ ile temsil edilmektedir. Sodyum, potasyum ve kaçak iyon kanallarının hepsi açık olduğunda ilgili kanalların maksimum iletkenliği $G_{Na}^{maks} = 120mScm^{-2}$, $G_K^{maks} = 36mScm^{-2}$ ve $G_l = 0.3mScm^{-2}$ olarak kabul edilmektedir. m , n ve h iyon kanalların açılma oranlarını temsil etmektedirler. m , n ve h değişkenlerin zamanla değişimi ve bu değişkenlerin açılma ve kapanma hızını kontrol eden voltaj bağımlı α ve β değişkenlere ait eşitlikler aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

$$\frac{dx}{dt} = \alpha_x(v)(1-x) - \beta_x(v)x + \xi_x, \quad x = m, n, h \quad (2)$$

$$\alpha_m(v) = \frac{0.1(v-25)}{1 - \exp^{-(v-25)/10}} \quad (3)$$

$$\beta_m(v) = 4 \exp^{-(v/18)} \quad (4)$$

$$\alpha_n(v) = \frac{0.01(v-10)}{1 - \exp^{-(v-10)/10}} \quad (5)$$

$$\beta_n(v) = 0.125 \exp^{-(v/80)} \quad (6)$$

$$\alpha_h(v) = 0.07 \exp^{-(v/20)} \quad (7)$$

$$\beta_h(v) = \frac{1}{1 + \exp^{-(v-30)/10}} \quad (8)$$

Denklem (2)'de ξ_x iyon kanal gürültüsünü temsil etmektedir. Burada iyon kanal gürültüsü beklenen değeri sıfır ve öz-ilişki fonksiyonu aşağıdaki gibi verilen beyaz Gauss gürültüsü ile ifade edilmiştir (Fox 1997).

$$\xi_m(t)\xi_m(t') = \frac{2\alpha_m(v)\beta_m(v)}{N_{Na}(\alpha_m(v) + \beta_m(v))} \delta(t-t') \quad (9)$$

$$\xi_h(t)\xi_h(t') = \frac{2\alpha_h(v)\beta_h(v)}{N_{Na}(\alpha_h(v) + \beta_h(v))} \delta(t-t') \quad (10)$$

$$\xi_n(t)\xi_n(t') = \frac{2\alpha_n(v)\beta_n(v)}{N_K(\alpha_n(v) + \beta_n(v))} \delta(t-t') \quad (11)$$

Burada $N_{Na} = \rho_{Na}S$ ve $N_K = \rho_K S$ $S = 6 \mu m^2$ olarak verilen membran alanı için sodyum ve potasyum iyonların toplam kanal sayısını ifade etmektedir. $\rho_{Na} = 60 \mu m^{-2}$ ve $\rho_K = 18 \mu m^{-2}$ sodyum ve potasyum iyon kanalların yoğunluğunu temsil etmektedirler. Zar alanının temsil eden S 'nin küçük değerlerinde kanal gürültüsünün yüksek olduğu, yüksek S değerlerinde ise kanal gürültüsünün düşük olduğu denklemlerden kolaylıkla gözükmektedir. Ayrıca Denklem (1)'de $I_{ext} + I_{aut}$ nöronu etkileyen toplam akımdır. Burada $I_{ext} = A \sin(\omega t)$ nörona uygulanan eşik altı periyodik işarettir. Aksi belirtilmedikçe çalışmada $A = 1 \mu A/cm^2$ olarak kabul edilmiştir ve işaretin genliğini temsil etmektedir. ω ise zayıf sinyalin frekansını ifade etmektedir. Burada nöro-

na uygulanan harici eşik altı sinyali zayıf bilgi işareti olarak kabul edilmektedir. Ayrıca elektriksel geri besleme mekanizmasından kaynaklı öz-sinaps akımı I_{aut} ile verilmiştir ve zamanla değişimi aşağıda gösterilmiştir.

$$I_{aut} = \kappa(v(t) - v(t - \tau)) \quad (12)$$

Burada κ geribesleme iletkenliğini ve τ ise geri besleme yolu üzerinde meydana gelen zaman gecikmesini temsil etmektedir. Ayrıca çalışmada zayıf sinyalin nöron tarafında kodlama performansını ölçmek için Fourier katsayısı kullanılmıştır. Fourier katsayısı hesaplanması aşağıda verilmiştir (Baysal vd. 2019).

$$Q_s = \frac{\omega}{2\pi n} \int_0^{2\pi/\omega} 2v(t) \sin(\omega t) dt \quad (13)$$

$$Q_c = \frac{\omega}{2\pi n} \int_0^{2\pi/\omega} 2v(t) \cos(\omega t) dt \quad (14)$$

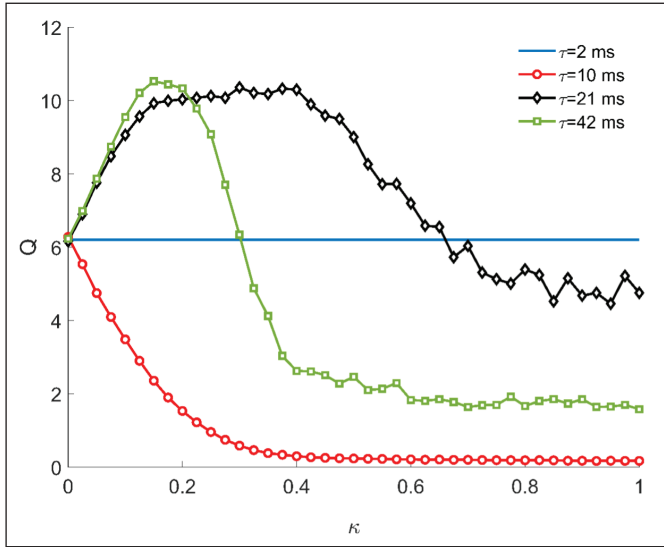
$$Q = \sqrt{Q_s^2 + Q_c^2} \quad (15)$$

Burada Q değerlerinin daha tutarlı olması için her bir tekrarı $n = 100$ periyot süren 50 tekrarın ortalanması alınarak hesaplanmıştır. Ayrıca yukarıda verilen denklemler ile modellenen bir elektriksel geribesleme mekanizmasına sahip H-H nöronunu zar potansiyelinin hesaplaması Euler yöntemi ile yapılmıştır. Hesaplamalarda adım aralığı 0.01 olarak alınmıştır.

3. Nümerik Sonuçlar

Bu çalışmada temel olarak geribesleme mekanizmasının H-H nöronların eşik altı periyodik sinyalleri kodlama performansına olan etkileri uygulanan sinyalin frekansına bağlı olarak ele alınmıştır. Bunun sebebi önceki çalışmalarda, geribesleme sisteminin nöronların bilgi sezinleme dinamiklerine olan etkileri genellikle zayıf sinyalin frekansı $\omega = 0.3 ms^{-1}$ alınarak araştırılmıştır (Baysal vd. 2015, Yılmaz ve Ozer 2015, Yılmaz vd. 2016; Baysal ve Calim 2023). Diğer taraftan bu frekans dışındaki frekanslarda geribesleme mekanizmasının H-H nöronunun zayıf sinyal kodlama performansına olan etkileri incelenirken öz-sinapsın sınırlı parametre (geribesleme iletkenlik ve zaman gecikmesi) aralığında analizler yapılmıştır (Baysal vd. 2015, Yılmaz ve Ozer 2015, Yılmaz vd. 2016b, Baysal ve Calim 2023). Bu durum ise geribesleme mekanizmasının bazı etkilerinin göz ardı edilmesine neden olmuştur. Örneğin zayıf sinyal frekansı $\omega = 0.3 ms^{-1}$ iken geribesleme zaman gecikmesi τ sadece 21 ms ve katları seçildiğinde SR performansını yükselttiği görülmüştür (Yılmaz ve Ozer 2015). Diğer frekans bantlarında geribesleme bağlantısının SR performansına her-

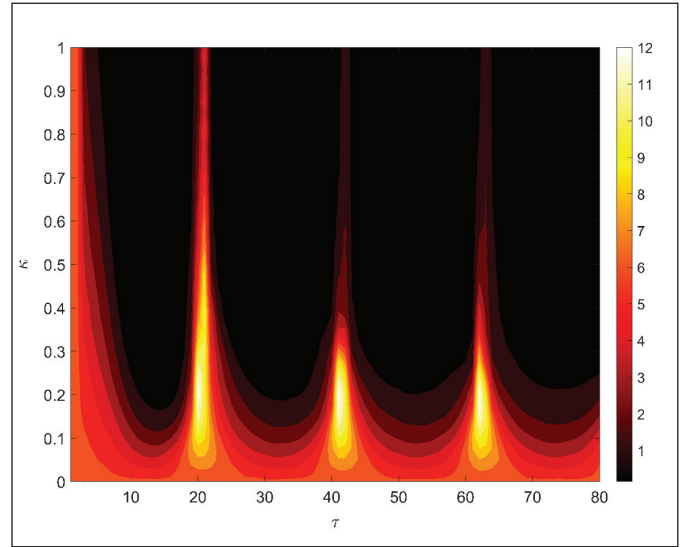
hangi bir etkisi olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu bağlamda ilk olarak zayıf sinyal frekansı $\omega = 0.3 \text{ ms}^{-1}$ alınarak farklı geribesleme zaman gecikmesi değerlerinde geribesleme iletkenliğine bağlı olarak H-H nöronların zayıf sinyal sezinleme performansı Q hesaplanmış ve Şekil 1'de sunulmuştur. Şekil 1'deki sonuçlar uygun geribesleme zaman gecikmesi seçilmesi durumunda Q performansı geribesleme iletkenlik değerine bağlı rezonans benzeri bir davranış sergilediği göstermektedir. Burada dikkat çekici bir şekilde, $\tau = 21 \text{ ms}$ ve $\tau = 42 \text{ ms}$ seçildiğinde nöronun zayıf sinyal kodlama performansı oldukça yükselmiştir. Ayrıca $\tau = 21 \text{ ms}$ değerinde nöronun gürültüden yararlandığı κ aralığı $\tau = 42 \text{ ms}$ değerine göre daha geniştir. Diğer taraftan τ değerlerinde geribesleme iletkenliğe bağlı Q performansında herhangi değişiklik olmamıştır. Bu durumda elde edilen Q performansı izole nöronunkine (öz-sinaps bağlantısı olmayan nöron) yakın elde edilmiştir. Yani düşük τ değerlerinde geribesleme bağlantısının nöronun sinyal kodlama performansına olumlu ya da olumsuz bir etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. 21 ms ve katlarından farklı yüksek τ değerlerinde ise H-H nöronun zayıf sinyal sezinleme performansı oldukça düşmüştür. Ayrıca çok küçük ve yüksek κ değerlerinde de H-H nöronun bilgi algılama performansı elde edilmiştir. Şekil 1'de verilen sonuçları daha da detaylandırmak için H-H nöronunun zar potansiyelinden hesaplanan Q değer-



Şekil 1. H-H nöronunun zayıf sinyal sezinleme performansının farklı geribesleme zaman gecikme değerlerinde geribesleme iletkenliğine bağlı değişimi ($S = 6 \mu\text{m}^2$, $\omega = 0.3 \text{ ms}^{-1}$, $A = 1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$). Burada H-H nöronunun zayıf sinyal kodlama performansı uygun geribesleme iletkenliği ve zaman gecikmesi değerlerinde geribesleme mekanizması ile oldukça geliştiği gözükmektedir.

leri geniş bir $\kappa - \tau$ uzayında analiz edilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 2'de sunulmuştur.

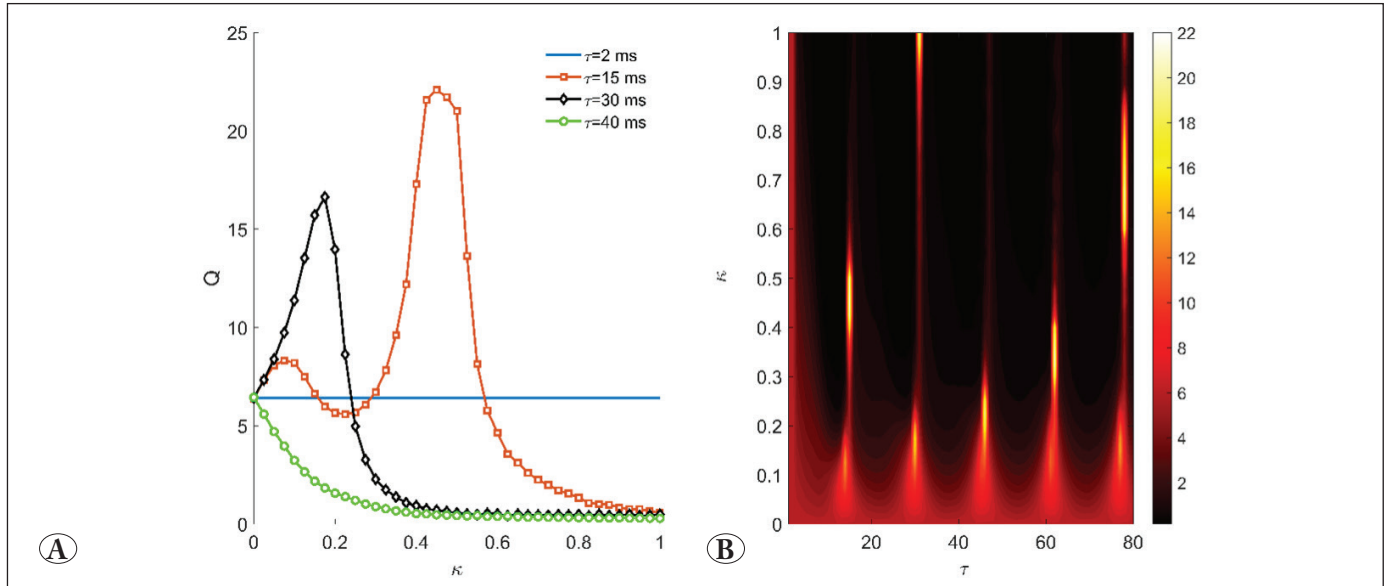
Şekil 2'de verilen sonuçlar incelendiğinde uygun geribesleme iletkenlik değerlerinde, $\tau = 21 \text{ ms}$ ve katlarında Q performansı yüksek elde edildiği gözükmektedir. Diğer taraftan çok küçük geribesleme zaman gecikmesi değerlerinde ($\tau < 5 \text{ ms}$), κ 'nin değişmesi Q performansının üzerinde herhangi bir etkiye neden olmamıştır. Bu durumda H-H nöronun eşik altı sinyal kodlama performansı izole nöronunkine yakındır. Ayrıca $\tau = 21 \text{ ms}$ değerinde H-H nöronun sinyal kodlama performansının yüksek olduğu κ aralığı $\tau = 42 \text{ ms}$ ve $\tau = 63 \text{ ms}$ değerlerine göre daha olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda $\tau = 21 \text{ ms}$ değeri için H-H nöronun gürültüden yararlanabildiği geribesleme iletkenlik aralığı diğer rezonans noktalarına göre daha geniştir. Ayrıca çok büyük ve küçük κ değerlerinin seçilmesi H-H nöronunun sinyal kodlama performansı önemli derecede düşmesine neden olmuştur. Ek olarak uygun geribesleme iletkenlik değerlerinde Q performansının geribesleme zaman gecikmesine bağlı olarak MSR sergilemiştir. Bu sonuçlar dikkatlice irdelendiğinde, geribesleme mekanizması uygun geribesleme iletkenlik değerlerinde $\tau = 21 \text{ ms}$ ve katlarında H-H nöronunun sinyal kodlama kapasitesini artırdığı gözükülecektir. Bu noktada nörona uygulanan harici zayıf sinyal frekansının $\omega = 0.3 \text{ ms}^{-1}$ olduğunu hatırlatmakta fay-



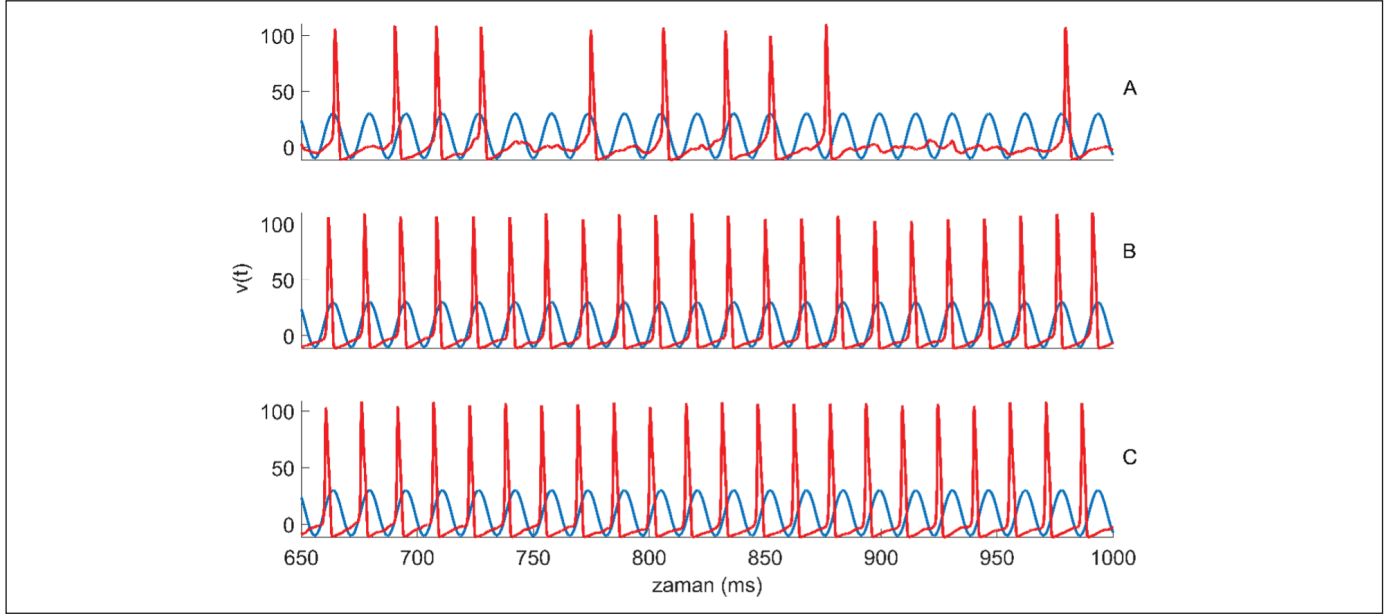
Şekil 2. H-H nöronun sinyal kodlama performansının geniş bir $\kappa - \tau$ uzayında analizi ($S = 6 \mu\text{m}^2$, $\omega = 0.3 \text{ ms}^{-1}$, $A = 1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$). Şekilde uygun κ değerlerinde $\tau = 21 \text{ ms}$ ve katlarında Q değerlerinin oldukça yüksek olduğu kolaylıkla anlaşılabilir.

da vardır. Bu doğrultuda H-H nöronuna uygulanan sinyal periyodu yaklaşık olarak $T_s = 21 \text{ ms}$ olmaktadır. Dolayısıyla geribesleme yapısının nöronun çıkış cevabını yükselttiği geribesleme zaman gecikme değeri, uygulanan zayıf periyodik sinyalin periyodu ile yakın bir ilişkisi olduğu ortaya konulmuştur. Buraya kadar elde edilen sonuçlar literatürde çeşitli çalışmalarda elde edilen sonuçları doğrulamaktadır (Yılmaz ve Ozer 2015, Yılmaz vd. 2016a, Yılmaz vd. 2016b, Wang ve Chen 2016, Baysal ve Calim 2023). Diğer taraftan yapılan çalışmalarda H-H nöronların belli frekans aralığındaki sinyalleri algıladıkları ortaya konulmuştur (Levin ve Miller 1996, Baysal vd. 2019). Yapılan bir çalışmada bu frekans aralığının H-H nöronu için $0.2 \text{ ms}^{-1} - 1.05 \text{ ms}^{-1}$ olduğu ortaya konulmuştur (Baysal vd. 2019). Ayrıca nöronların ancak bu frekans aralığında gürültü ve benzeri harici işaretlerden yararlanarak kendilerine uygulanan zayıf sinyaller ile uyum içinde ateşleme aktivitesi sergiledikleri not edilmiştir (Levin ve Miller 1996, Baysal vd. 2019). Bu bağlamda bu frekans aralığındaki diğer frekans değerlerinde geribesleme mekanizmasının H-H nöronun eşik altı periyodik sinyal algılama dinamiklerine etkilerini ortaya koymak önem arz etmektedir. Bu amaçla zayıf sinyal frekansı $\omega = 0.4 \text{ ms}^{-1}$ için farklı τ değerlerinde geribesleme iletkenliğe bağlı Q 'nun performansı analiz edilmiştir ve elde edilen bulgular Şekil 3'te sunulmuştur. Ayrıca H-H nöronunun zayıf sinyal algılama performansını geniş bir $\kappa - \tau$ parametre aralığında Şekil 3'te sunulmuştur.

Şekil 3A'da verilen sonuçlar incelendiğinde, küçük τ değerlerinde geribesleme mekanizmasının H-H nöronunun bilgi kodlama kapasitesi üzerinde herhangi olumlu veya olumsuz bir etkisi olmadığı anlaşılmaktadır. Diğer taraftan $\tau = 15 \text{ ms}$ ve $\tau = 30 \text{ ms}$ seçilmesi durumunda Q değerlerinin geribesleme iletkenliğe bağlı rezonans davranışı sergilemektedir. Ayrıca $\tau = 15 \text{ ms}$ değerinde meydana gelen SR'nin performansı $\tau = 30 \text{ ms}$ değerinkinden daha yüksektir. Ayrıca $\tau = 15 \text{ ms}$ ve katları dışında yüksek seçilmesi durumunda geribesleme mekanizması Q 'nun performansını oldukça düşmesine neden olmuştur. Şekil 3B'deki sonuçlar Şekil 3A'daki bulguları doğrulamaktadır. Şekil 3B'de sonuçlar incelendiğinde uygun κ değerlerinde $\tau = 15 \text{ ms}$ ve katlarının civarında Q performansı oldukça yükseldiği gözlemlenmektedir. $\omega = 0.4 \text{ ms}^{-1}$ için sinyal periyodu yaklaşık olarak $T_s = 15 \text{ ms}$ olduğunu göz önünde bulundurulduğunda, bu sonuçlar ayrıca geribesleme bağlantısı, geribesleme zaman gecikme değeri uygulanan zayıf sinyalin periyodu ve katları seçildiğinde H-H nöronunun bilgi mekanizmasına olumlu katkılar sunduğunu göstermektedir. Bu sonuçlar geribesleme mekanizmasının uygun τ ve κ değerlerinin seçilmesi durumunda H-H nöronun bilgi işleme performansını $\omega = 0.3 \text{ ms}^{-1}$ frekansı dışındaki frekanslarda da yükseltebileceği göstermektedir. Şekil 3'teki sonuçların nedenlerini ortaya koymak için $\tau = 15 \text{ ms}$ değerinde sırasıyla küçük, orta ve yüksek geribesleme iletkenlik değerlerinde zayıf sinyal ile birlikte H-H nöronunun zar potansiyelinin zamanla değişimi Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 3. Çeşitli τ ve κ değerlerinde H-H nöronunun zayıf sinyal kodlama performansını ($S = 6 \mu\text{m}^2$, $\omega = 0.4 \text{ ms}^{-1}$, $A = 1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$). Şekilde $\omega = 0.4 \text{ ms}^{-1}$ değerinde, H-H nöronunun zayıf sinyal kodlama performansı geribesleme mekanizmasıyla önemli ölçüde kontrol edilebileceği anlaşılmaktadır.

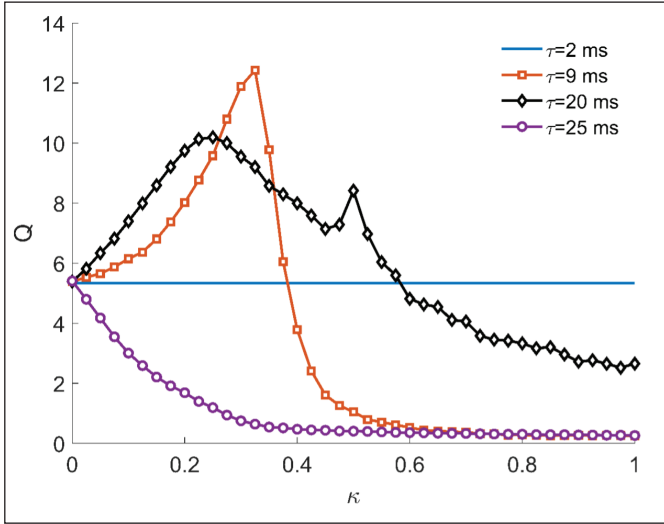


Şekil 4. H-H nöronunun elektriksel aktivitesin zayıf sinyal ile birlikte zamanla değişimi. Buradan zayıf sinyal grafikte daha rahat gözükmesi için 20 ile çarpılıp 10 eklenmiştir. ($S = 6 \mu m^2$, $\omega = 0.4 ms^{-1}$, $A = 1 \mu A/cm^2$, $\tau = 15 ms$) **A)** $\kappa = 0.025$ **B)** $\kappa = 0.45$ **C)** $\kappa = 0.75$.

Şekil 4A'daki sonuçlar irdelendiğinde ($\kappa = 0.025$), H-H nöronun ateşleme frekansının çok düşük olduğu görülmektedir. H-H nöronu düşük oranda zayıf sinyalin pozitif alternansında ateşleme yaptığı gözükmektedir. Ayrıca H-H nöronu zayıf sinyalin birçok periyodunda ateşleme oluşturamamıştır. Bu durumdan dolayı H-H nöronunun zayıf sinyal sezinleme performansı düşük elde edilmiştir. Optimal bir geribesleme iletkenlik değeri için ($\kappa = 0.45$) Şekil 4B'de verilen sonuçlar H-H nöronu ile zayıf sinyal arasında yüksek bir uyum olduğu göstermektedir. H-H nöronu genellikle zayıf sinyalin pozitif döngülerinin tepe noktasında ateşlemektedir. Ayrıca H-H nöronun ateşleme frekansı zayıf sinyalin frekansına ile aynı olduğu gözükmektedir. Bütün bu göstergeler H-H nöronu ateşleme aktivitesi ile uygulanan eşik-altı sinyal arasında iyi bir uyumun olduğunu ortaya çıkarmaktadır. Bu duruma paralel olarak bu parametre değerlerinde Q oldukça yüksek çıkmaktadır. Diğer taraftan yüksek geribesleme iletken değeri için verilen Şekil 4C incelendiğinde H-H nöronunun zayıf sinyalin hem negatif hem de pozitif döngülerinde ateşleme yaptığı gözükmektedir. Bu durum nöronun ateşleme aktivitesi zayıf sinyalden bağımsız olduğunun göstergesidir. Dolayısıyla nöron eşik altı sinyale duyarsız kaldığı söylenebilir. Sonuç olarak H-H nöronu ile zayıf sinyal arasında herhangi bir uyumdan bahsedilemez. Bu parametre değerlerin H-H nöronun zayıf sinyal sezinleme performansı oldukça düşük elde edilmiştir. Ayrıca düşük geribesleme iletkenlik değeri nöronların düşük frekansta

ateşleme yapmaktadırlar. Geribesleme iletkenliğin biraz artırılması H-H nöronunun ateşleme frekansında artmasına neden olmuştur. Diğer taraftan κ değerinin daha da artırılması H-H nöronunun ateşleme frekansı sabit kalmaktadır. Bu sonuçlar geribesleme mekanizmasının nöronların ateşleme rejimlerini de önemli derecede etkilediğini ortaya koymaktadır. Öz-sinaps geri beslenme bağlantısının H-H nöronların bilgi sezinleme performansı üzerindeki etkilerini zayıf sinyalin başka frekanslarında ortaya koymak amacı $\omega = 0.6 ms^{-1}$ değerinde farklı geribesleme parametrelerine bağlı olarak Q değerleri hesaplanmış ve Şekil 5'te sunulmuştur.

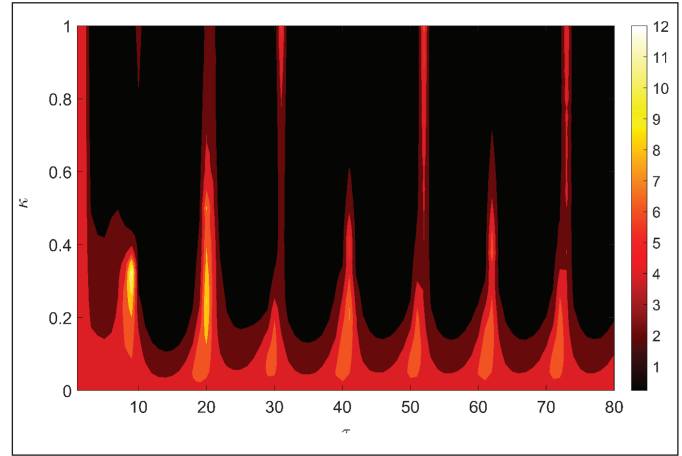
Şekil 5'te sunulan sonuçlar dikkatte alındığında, $\tau \approx 10 ms$ ve katlarında H-H nöronunun bilgi sezinleme kapasitesi geribesleme iletkenliğe bağlı rezonans benzeri davranış sergilediği gözükmektedir. Ayrıca $\tau = 9 ms$ 'de elde edilen rezonans performansı $\tau = 20 ms$ değerinde meydana gelen rezonans performansından daha yüksektir. Küçük geribesleme zaman gecikmelerinde ise H-H nöronunun bilgi kodlama performansı, geribesleme iletkenliğinin değişiminden etkilenmemiştir ve bu durumda elde edilen Q değerleri izole nöronunkine benzerdir. Diğer taraftan $\tau = 10 ms$ ve katlarında dışında yüksek seçilmesi durumunda ise H-H nöronunun bilgi kodlaması geribesleme mekanizması tarafından bloke edilmiştir ve Q 'nun performansı geribesleme iletkenliğinin artmasına bağlı olarak azalmıştır. Ayrıca $\tau = 20 ms$ 'de elde edilen rezonans performansı $\tau = 9 ms$ 'deki rezo-



Şekil 5. $\omega = 0.6 \text{ ms}^{-1}$ değerinde H-H nöronunun bilgi kodlama kapasitesinin geribesleme iletkenliğe bağlı değişimi ($S = 6 \mu\text{m}^2$, $\omega = 0.6 \text{ ms}^{-1}$, $A = 1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$). Burada $\omega = 0.6 \text{ ms}^{-1}$ değerinde H-H nöronunun zayıf sinyal kodlama performansı öz-sinaps yoluyla kontrol edilebileceği anlaşılmaktadır.

nans performansında daha düşük olmasına rağmen, bu geribesleme zaman gecikmesinde H-H nöronunun bilgi kodlamak için gürültüden yararlandığı geribesleme iletkenlik aralığı daha geniştir. Elde edilen bu sonuçlara daha geniş bir bakış açısı sunmak için geniş bir $\kappa - \tau$ aralığında H-H nöronların zayıf sinyal algılama performansı incelenmiş ve elde edilen bulgular Şekil 6'da sunulmuştur.

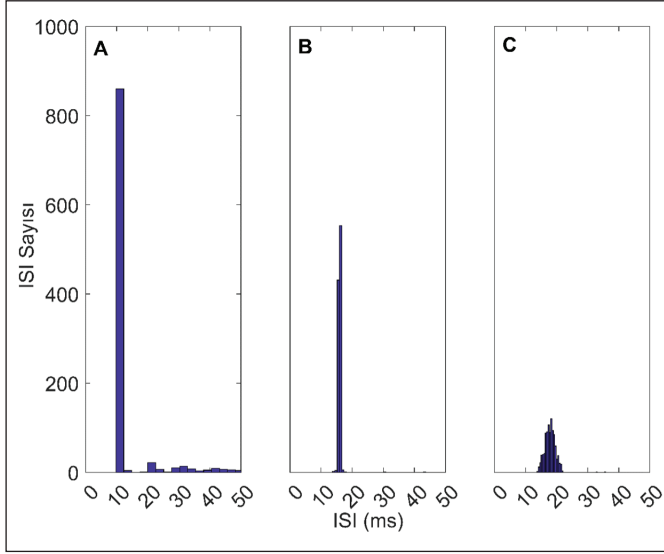
Şekil 6'daki sonuçlar, uygun geribesleme iletkenlik değerlerinde H-H nöronun bilgi kodlama performansı geribesleme zaman gecikmesine bağlı MSR davranışı sergilediğini göstermektedir. Burada $\tau = 10 \text{ ms}$ civarındaki SR performansı diğer τ noktalarında meydana gelen SR performansından daha yüksektir. Ayrıca SR'lerin performansı geribesleme zaman gecikmesinin artması ile düşmüştür. Çok küçük τ değerlerin geribesleme iletkenliğinin değişmesi Q performansını etkilememiştir ve bu durumdaki nöronun bilgi kodlama performansı izole nöronunkine benzerdir. $\tau = 10 \text{ ms}$ ve katlarında dışındaki gecikme değerlerinde ve yüksek geribesleme iletkenliklerde Q oldukça düşmektedir. Ayrıca çok küçük iletkenlik değerlerinde geribesleme iletkenliğinin değişmesi Q performansına herhangi bir etkisi olmamıştır. Bu sonuçlarda diğer frekans bantlarındaki sonuçlara benzer şekilde geribesleme mekanizması zayıf sinyal periyodu ($\omega = 0.6 \text{ ms}^{-1}$ için $T_s = 10 \text{ ms}$) ve katlarında H-H nöronunun bilgi algılamasını olumlu yönde etkilediğini göstermektedir. Elde edilen bulguların nedenlerini ortaya koymak



Şekil 6. $\omega = 0.6 \text{ ms}^{-1}$ değerinde Q performansının geniş $\kappa - \tau$ aralığını analizi ($S = 6 \mu\text{m}^2$, $\omega = 0.6 \text{ ms}^{-1}$, $A = 1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$).

amacı ile $\kappa = 0.3$ için üç farklı τ değerinde H-H nöronun yaptığı 1000 spayk üzerinde ateşlemelerin zaman aralığı histogramı elde edilmiş ve Şekil 7'de verilmiştir.

Şekil 7A'da $\tau = 10 \text{ ms}$ için verilen histogram grafiği incelendiğinde, H-H nöronunun ateşleme zaman aralığı $t = 10 \text{ ms}$ 'deki sayısı diğer zamanlardakine göre oldukça yüksektir. Bu bağlamda bu durumda nörona uygulanan zayıf sinyalin periyodu $\omega = 0.6 \text{ ms}^{-1}$ için $T_s = 10 \text{ ms}$ olduğunu hatırlatmak isteriz. Dolayısıyla zayıf sinyalin periyodu ile H-H nöronunun ateşleme periyodu birbirine denk olduğu anlaşılmaktadır. Dolayısıyla H-H nöronunun ateşleme aktivitesi ile zayıf sinyal arasında oldukça iyi bir uyum vardır. Sonuç olarak bu durumda elde edilen Q değerleri oldukça yüksektir. Diğer taraftan $\tau = 15 \text{ ms}$ için elde edilen Şekil 7B'deki histogram grafiğinde H-H nöronun baskın ateşleme periyodunun 15 ms civarında olduğu rahatlıkla gözlemlenebilmektedir. Bu ateşleme periyodu uygulanan eşik altı periyodik işaretinin periyodu ile bir bağlantısı yoktur. Dolayısıyla H-H nöronu bu durumda uygulanan zayıf sinyali kodlamakta başarısız olmuştur. Dolayısıyla bu durumda Q performansı oldukça düşmüştür. Son olarak $\tau = 35 \text{ ms}$ değerinde için verilen Şekil 7C'de H-H nöronunun ateşleme aralığı oldukça geniş bir zaman aralığı yayılmıştır. Ayrıca H-H nöronunun baskın ateşleme periyodu 20 ms civarında olduğu gözükmemektedir. Ek olarak H-H nöronunun ateşleme sayısı da oldukça düşüktür. Bu durumda H-H nöronu uygulanan zayıf sinyalden bağımsız spontane ateşlemeler yapmaktadır. Dolayısıyla bu parametre değerlerinde Q performansı oldukça düşük elde edilmiştir. Son olarak uygulanan zayıf sinyal frekansının geribesleme zaman gecikmesine bağlı meydana gelen MSR olgusunun zamansal boyutunu belirlediğini

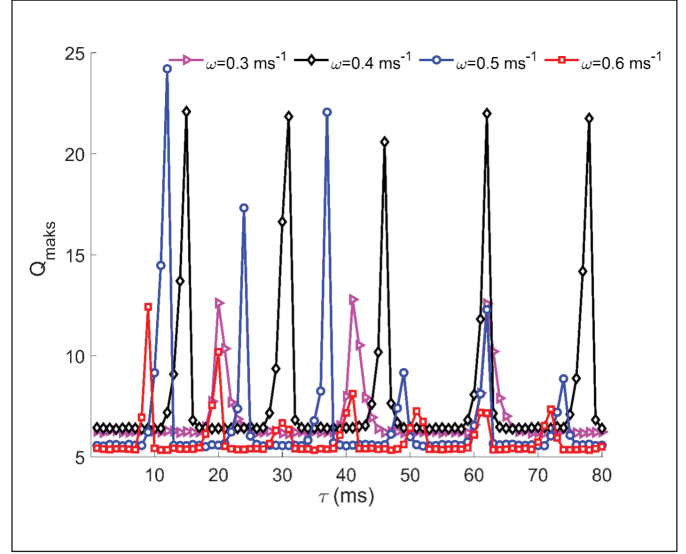


Şekil 7. Farklı τ değerlerinde H-H nöronunun yaptığı ateşleme zaman aralıklarının histogramı ($S = 6 \mu m^2$, $\omega = 0.6 ms^{-1}$, $A = 1 \mu A/cm^2$, $\kappa = 0.3$)
A) $\tau = 10 ms$ B) $\tau = 15 ms$ C) $\tau = 35 ms$.

daha açık göstermek için H-H nöronunun sinyal algıladığı frekans bölgesinde farklı ω değerlerinde κ 'nin değiştirilmesi ile elde edilen Q_{maks} performansı τ 'ya bağlı davranışı Şekil 8'de verilmiştir.

Şekil 8'deki sonuçlar incelendiğinde Q_{maks} performansının değişimi zayıf sinyal frekansından bağımsız bir şekilde geribesleme zaman gecikmesine bağlı MSR davranışı sergilediği görülmektedir. Q_{maks} performansı en yüksek $\omega = 0.5 ms^{-1}$ frekans değerinde ve $\tau = 12 ms$ civarında elde edilmiştir. Ayrıca bazı frekans değerlerinde SR genliği geribesleme zaman gecikmesine değişimine bağlı önemli bir değişikliğe meydana gelmemiştir. Örneğin $\omega = 0.4 ms^{-1}$ değerinde meydana SR'lerin genliği birbirine oldukça yakındır. Dolayısıyla bu gibi değerlerde elde edilen SR'ler oldukça kararlı olduğu söylenebilir. Diğer taraftan bazı frekans değerlerinde (örn. $\omega = 0.6 ms^{-1}$) SR performansı geribesleme zaman gecikmesinin artmasıyla düşmektedir ve hatta yüksek geribesleme zaman gecikmesi değerlerinde tamamen kaybolmaktadır. Buradaki sonuçlar dikkatli bir şekilde incelendiğinde H-H nöronuna uygulanan zayıf sinyal frekansı SR oluşacağı τ değerinin büyük ölçüde belirlemektedir. Örneğin $\omega = 0.3 ms^{-1}$ için Q_{maks} $\tau = 21 ms$ ve katlarında pik yaparken, SR performansının pik noktaları $\omega = 0.4 ms^{-1}$ için $\tau = 15 ms$ ve katlarıdır. Diğer frekans değerleri için benzer durum söz konusudur.

Sonuç olarak bu çalışmada temel olarak H-H nöron sistemine uygulanan zayıf sinyal frekansının nöronlarının zayıf



Şekil 8. Farklı zayıf sinyal frekans değerlerinde geribesleme zaman gecikmesine bağlı Q_{maks} performansının analizi ($S = 6 \mu m^2$, $A = 1 \mu A/cm^2$).

sinyal kodlama kapasitesine olan etkileri geribesleme mekanizmasının çeşitli biyofiziksel özelliklerine (geribesleme zaman gecikmesi ve iletkenliği) bağlı olarak ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlar H-H nöronunun sinyal algılama frekans aralığında geribesleme mekanizması uygun geribesleme iletkenlik ve zaman gecikmesi değerlerinde, H-H nöronunun zayıf sinyale cevabını önemli derecede artırdığını göstermektedir. Literatürde öz-sinapsın nöronların zayıf sinyal kodlama performansına olan etkileri incelenirken genellikle zayıf sinyal frekansı $\omega = 0.3 ms^{-1}$ kabul edilmiştir. Ayrıca diğer frekans bantlarında nöronun bilgi kodlama mekanizması ele alınırken geribesleme parametreleri çok dar bir aralıkta alınmıştır. Bu durumda geribesleme mekanizmasının sadece $\omega = 0.3 ms^{-1}$ değerinde nöronların sinyal işleme kapasitesini artırdığı sonucuna varılmıştır. Bu çalışma geribesleme mekanizması nöronların bilgi kodlama performansını nöronların sinyal algıladığı bütün frekans değerlerinde artırdığını göstermiştir. Dahası öz-sinapsın nöronların zayıf sinyal kodlama performansını yükselttiği geribesleme zaman gecikme değeri tamamen uygulanan zayıf sinyal frekansı tarafından belirlendiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar beynin farklı bölgesinde bulunan delta, teta, alfa, beta gibi farklı osilasyon yapan nöronların geribesleme zaman gecikmesinin dolayısıyla öz-sinaps bağlantı uzunluğunun birbirinden farklı olabileceğini göstermektedir. Bu sonuçlar bağlamında, öz-sinaps bağlantısının frekansa bağımlı nöronların sinyal algılama performansını farklı ağ şemalarında araştırılması önem arz etmektedir.

3. Tartışma

Sunulan bu çalışmada, eşik altı periyodik sinyal frekansının beynin birçok bölgesinde varlığı ortaya konulmuş geribesleme mekanizması öz-sinapsların çeşitli biyolojik fonksiyonlarına bağlı olarak H-H nöronların sinyal kodlama performansına olan etkileri detaylıca incelenmiştir. Yapılan çalışmalarda beynin birçok bölgesinde geribesleme bağlantılarının varlığı tespit edilmiştir (Scheibel ve Scheibel 1971, DiFiglia vd. 1976, Karabelas ve Purrura 1980, Park vd. 1980, Peters ve Proskauer 1980, Preston vd. 1980, Shkolnik-Yarros 2012). Ayrıca geribesleme bağlantısının biyolojik sistemlerde meydana gelen birçok fenomene olan etkileri geniş bir şekilde incelenmiştir (Saada vd. 2009, Wang vd. 2014, Baysal vd. 2015, Ma vd. 2015, Yılmaz ve Ozer 2015, Guo vd. 2016, Yılmaz vd. 2016a, Yılmaz vd. 2016b, Wang ve Chen 2016, Baysal ve Calim 2023). Bu çalışmalarda geribesleme bağlantısının biyolojik ağlarda nöronal senkronizyona, düzenliliğe, nöronların ateşleme dinamiğine ve beyinde sinyal kodlama mekanizmasına önemli etkileri olduğu ortaya konulmuştur. Diğer taraftan geribesleme bağlantısının H-H nöronların zayıf sinyal sezinleme performansı geniş bir şekilde çalışılmıştır. Bu çalışmalarda nörona uygulanan sinyalin frekansı sabit tutularak geribesleme bağlantısının çeşitli parametrelerine bağlı olarak nöronun sinyal işleme mekanizması incelenmiştir. Bu durumda geribesleme mekanizmasının nöronların farklı frekanstaki sinyal kodlama performansı üzerindeki etkileri merak konusu olmuştur. Oysaki nöronlar belli bir frekans aralığındaki sinyalleri algılamaktadırlar ve nöronlar ancak bu aralıktaki sinyalleri kodlarken nöronal gürültüden yararlanmaktadırlar (Levin ve Miller 1996, Baysal vd. 2019). Yapılan bir çalışmada H-H nöronların $0.2 \text{ ms}^{-1} - 0.9 \text{ ms}^{-1}$ aralığındaki sinyalleri kodlayabildikleri ve bu aralıkta sinyalleri kodlarken SR fenomeni meydana geldiğini gösterilmiştir. Dolayısıyla bu çalışmada farklı frekans bantlarında geribesleme mekanizmasının H-H nöronun sinyal işleme performansına olan etkileri ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlar nöronun sinyal algılama aralığındaki bütün frekans değerlerinde, geribesleme mekanizması H-H sisteminde sinyal kodlama performansını geribesleme parametrelerin doğru seçebilmesi ile geliştirebileceğini göstermiştir. Ayrıca bu frekans aralığındaki bütün frekans değerlerinde H-H nöronun sinyal algılama performansı geribesleme zaman gecikmesi uygun ayarlanması durumunda geribesleme iletkenliğe bağlı olarak rezonans davranışı sergilemiştir. Ek olarak, H-H nöronunun membran potansiyelinden hesaplanan maksimal Q değeri bütün frekans değerlerinde geribesleme zaman gecikmesine bağlı

MSR olgusu sergilemiştir. Bu SR'lerin oluştuğu geribesleme zaman gecikme noktaları zayıf sinyal frekansı tarafından belirlendiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar beynin farklı bölgelerinde bulunan ve elektriksel aktivitesi farklı frekanslarda osilasyon yapan nöronların yaptığı öz-sinapsın, geribesleme iletkenliği ve zaman gecikmesi gibi biyolojik özelliklerinin birbirinden farklı olabileceği göstermektedir.

4. Kaynaklar

- Baysal, V., Calim, A. 2023.** Stochastic resonance in a single autapse-coupled neuron. *Chaos, Solitons & Fractals*, 175:114059. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2023.114059>
- Baysal, V., Saraç, Z., Yılmaz, E. 2019.** Chaotic resonance in Hodgkin-Huxley neuron. *Nonlinear Dynamics*, 97:1275-1285. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11071-019-05047-w>
- Baysal, V., Yılmaz, E., Özer, M. 2015.** Effects of autapse on the transmission of localized rhythmic activity in small-world neuronal networks. In 2015 23rd Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) (pp. 1110-1113). IEEE. Doi: 10.1109/SIU.2015.7130029
- Bean, BP. 2007.** The action potential in mammalian central neurons. *Nature Reviews Neuroscience*, 8(6):451-465. Doi: <https://doi.org/10.1038/nrn2148>
- Bezrukov, SM., Vodyanoy, I. 1995.** Noise-induced enhancement of signal transduction across voltage-dependent ion channels. *Nature*, 378(6555):362-364. Doi: 10.1038/378362a0
- Chow, CC., White, JA. 1996.** Spontaneous action potentials due to channel fluctuations. *Biophysical journal*, 71(6):3013-3021. Doi: 10.1016/S0006-3495(96)79494-8
- Cobb, SR., Halasy, K., Vida, I., Nyiri, G., Tamás, G., Buhl, E. H., Somogyi, P. 1997.** Synaptic effects of identified interneurons innervating both interneurons and pyramidal cells in the rat hippocampus. *Neuroscience*, 79(3):629-648. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0306-4522\(97\)00055-9](https://doi.org/10.1016/S0306-4522(97)00055-9)
- DiFiglia, M., Pasik, P., Pasik, T. (1976).** A Golgi study of neuronal types in the neostriatum of monkeys. *Brain research*, 114(2):245-256. Doi: 10.1016/0006-8993(76)90669-7
- Douglass, JK., Wilkens, L., Pantazelou, E., Moss, F. 1993.** Noise enhancement of information transfer in crayfish mechanoreceptors by stochastic resonance. *Nature*, 365(6444):337-340. Doi:10.1038/365337a0
- Faisal, AA., White, JA., Laughlin, SB. 2005.** Ion-channel noise places limits on the miniaturization of the brain's wiring. *Current Biology*, 15(12):1143-1149. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2005.05.056>
- Fox, RF. 1997.** Stochastic versions of the Hodgkin-Huxley equations. *Biophysical journal*, 72(5):2068-2074. Doi: 10.1016/S0006-3495(97)78850-7

- Guo, D., Wu, S., Chen, M., Perc, M., Zhang, Y., Ma, J., Yao, D. 2016.** Regulation of irregular neuronal firing by autaptic transmission. *Scientific reports*, 6(1):26096. Doi: <https://doi.org/10.1038/srep26096>
- Hamill, OP., Marty, A., Neher, E., Sakmann, B., Sigworth, FJ. 1981.** Improved patch-clamp techniques for high-resolution current recording from cells and cell-free membrane patches. *Pflügers Archiv*, 391:85-100. Doi: 10.1007/BF00656997
- Hodgkin, AL., Huxley, AF. 1952.** A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve. *The Journal of physiology*, 117(4):500. Doi: 10.1113/jphysiol.1952.sp004764
- Jung, P., Shuai, JW. 2001.** Optimal sizes of ion channel clusters. *Europhysics Letters*, 56(1):29. Doi: 10.1209/epl/i2001-00483-y
- Karabelas, AB., Purrura, DP. 1980.** Evidence for autapses in the substantia nigra. *Brain research*, 200(2):467-473. Doi: 10.1016/0006-8993(80)90935-x
- Lecar, H., Nossal, R. 1971.** Theory of threshold fluctuations in nerves: I. Relationships between electrical noise and fluctuations in axon firing. *Biophysical journal*, 11(12):1048-1067. Doi: 10.1016/S0006-3495(71)86277-X
- Levin, JE., Miller, JP. 1996.** Broadband neural encoding in the cricket cerebellar sensory system enhanced by stochastic resonance. *Nature*, 380(6570):165-168. Doi:<https://doi.org/10.1038/380165a0>
- Lübke, J., Markram, H., Frotscher, M., Sakmann, B. 1996.** Frequency and dendritic distribution of autapses established by layer 5 pyramidal neurons in the developing rat neocortex: comparison with synaptic innervation of adjacent neurons of the same class. *Journal of Neuroscience*, 16(10):3209-3218. Doi:10.1523/JNEUROSCI.16-10-03209.1996
- Ma, J., Song, X., Jin, W., Wang, C. 2015.** Autapse-induced synchronization in a coupled neuronal network. *Chaos, Solitons & Fractals*, 80:31-38. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.chaos.2015.02.005>
- Miller, R. 2007.** Theory of the normal waking EEG: from single neurones to waveforms in the alpha, beta and gamma frequency ranges. *International journal of psychophysiology*, 64(1):18-23. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2006.07.009>
- Moss, F., Ward, LM., Sannita, WG. 2004.** Stochastic resonance and sensory information processing: a tutorial and review of application. *Clinical neurophysiology*, 115(2):267-281. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.clinph.2003.09.014>
- Ozer, M., Ekmekci, NH. 2005.** Effect of channel noise on the time-course of recovery from inactivation of sodium channels. *Physics Letters A*, 338(2):150-154. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.physleta.2005.02.039>
- Park, MR., Lighthall, JW., Kitai, ST. 1980.** Recurrent inhibition in the rat neostriatum. *Brain research*, 194(2):359-369. Doi:10.1016/0006-8993(80)91217-2
- Peters, A., Proskauer, CC. 1980.** Synaptic relationships between a multipolar stellate cell and a pyramidal neuron in the rat visual cortex. A combined Golgi-electron microscope study. *Journal of neurocytology*, 9:163-183. Doi:10.1007/BF01205156
- Preston, RJ., Bishop, GA., Kitai, ST. 1980.** Medium spiny neuron projection from the rat striatum: an intracellular horseradish peroxidase study. *Brain research*, 183(2):253-263. Doi: 10.1016/0006-8993(80)90462-x
- Rubinstein, JT. 1995.** Threshold fluctuations in an N sodium channel model of the node of Ranvier. *Biophysical journal*, 68(3):779-785. Doi:[https://doi.org/10.1016/S0006-3495\(95\)80252-3](https://doi.org/10.1016/S0006-3495(95)80252-3)
- Saada, R., Miller, N., Hurwitz, I., Susswein, AJ. 2009.** Autaptic excitation elicits persistent activity and a plateau potential in a neuron of known behavioral function. *Current Biology*, 19(6):479-484. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.01.060>
- Scheibel, ME., Scheibel, AB. 1971.** Inhibition and the Renshaw Cell A Structural Critique; pp. 73-93. *Brain, Behavior and Evolution*, 4(1):73-93. Doi:10.1159/000125424
- Schmid, G., Goychuk, I., Hänggi, P. 2003.** Channel noise and synchronization in excitable membranes. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 325(1-2):165-175. Doi:[https://doi.org/10.1016/S0378-4371\(03\)00195-X](https://doi.org/10.1016/S0378-4371(03)00195-X)
- Schneidman, E., Freedman, B., Segev, I. 1998.** Ion channel stochasticity may be critical in determining the reliability and precision of spike timing. *Neural computation*, 10(7):1679-1703. Doi:<https://doi.org/10.1162/089976698300017089>
- Shkolnik-Yarros, E. 2012.** *Neurons and interneuronal connections of the central visual system.* Springer Science & Business Media. Doi:<https://doi.org/10.1007/978-1-4684-0715-0>
- Skaugen, E., Walløe, L. 1979.** Firing behaviour in a stochastic nerve membrane model based upon the Hodgkin—Huxley equations. *Acta Physiologica Scandinavica*, 107(4):343-363. Doi:10.1111/j.1748-1716.1979.tb06486.x
- Tamás, G., Buhl, EH., Somogyi, P. 1997.** Massive autaptic self-innervation of GABAergic neurons in cat visual cortex. *Journal of Neuroscience*, 17(16): 6352-6364. Doi:10.1523/JNEUROSCI.17-16-06352.1997
- Van Der Loos, H., Glaser, EM. 1972.** Autapses in neocortex cerebri: synapses between a pyramidal cell's axon and its own dendrites. *Brain research*, 48:355-360. Doi:10.1016/0006-8993(72)90189-8

- Wang, H., Chen, Y. 2016.** Response of autaptic Hodgkin–Huxley neuron with noise to subthreshold sinusoidal signals. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 462: 321-329. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2016.06.019>
- Wang, H., Ma, J., Chen, Y., Chen, Y. 2014.** Effect of an autapse on the firing pattern transition in a bursting neuron. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 19(9):3242-3254. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2014.02.018>
- Yilmaz, E., Ozer, M. 2015.** Delayed feedback and detection of weak periodic signals in a stochastic Hodgkin–Huxley neuron. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 421:455-462. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2014.10.096>
- Yilmaz, E., Baysal, V., Perc, M., Ozer, M. 2016a.** Enhancement of pacemaker induced stochastic resonance by an autapse in a scale-free neuronal network. *Science China Technological Sciences*, 59:364-370. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11431-015-5984-z>
- Yilmaz, E., Ozer, M., Baysal, V., Perc, M. 2016b.** Autapse-induced multiple coherence resonance in single neurons and neuronal networks. *Scientific Reports*, 6(1):30914. Doi: <https://doi.org/10.1038/srep30914>



Sürdürülebilir Kentsel Gelişim Bağlamında Eko Şehirlerde Su ve Atık Yönetimi

Water and Waste Management in Eco-Cities in the Context of Sustainable Urban Development

Elif Öztekin

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Zonguldak, Türkiye

Öz

Eko şehirler, sürdürülebilirlik ilkelerine dayalı olarak tasarlanan, çevre dostu ve insan odaklı kentsel alanlardır. Su yönetimi açısından, eko şehirlerde yağmur suyu toplama sistemleri, atık su geri dönüşümü ve su tasarrufu sağlayacak teknolojilerin kullanımı gibi çeşitli önlemlerle su kaynaklarının daha etkin bir şekilde kullanılması hedeflenmektedir. Ayrıca atıksu arıtma sistemleri ile alıcı sulara ulaşan atıksu kalitesi iyileştirilerek, atıksudan değerli materyallerin geri kazanımına önem verilmektedir. Örneğin, Hammarby Sjöstad (İsveç) gibi eko şehirler, su yönetimi için yağmur suyu toplama sistemleri, atık su geri dönüşümü ve su tasarrufu teknolojileri gibi önlemlerle su kaynaklarının daha etkin kullanılmasını sağlamaktadır.

Atık yönetimi alanında eko şehirlerde, atık ayrıştırma ve geri dönüşüm gibi uygulamaların yanı sıra atık miktarının azaltılması için çeşitli stratejiler benimsenmektedir. Vauban (Almanya) gibi eko şehirlerde atık azaltma kampanyaları, geri dönüştürülebilir malzemelerin kullanımı ve organik atıkların kompostlaştırılması gibi uygulamalarla atık sorunlarına çözüm aranmaktadır. Bu şehirlerdeki somut örnekler, su ve atık yönetimi stratejilerinin başarılarını göstermektedir.

Bu çalışma, eko şehirlerdeki somut uygulama örnekleriyle su ve atık yönetiminin sürdürülebilir kentsel gelişimin temelini oluşturduğunu vurgulamaktadır. Eko şehirler, sadece günümüzdeki çevresel zorluklara değil, aynı zamanda gelecek nesillere daha yaşanabilir bir dünya bırakma amacını taşıyan kentsel alanlar olarak büyük bir potansiyele sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Atık yönetimi, döngüsel ekonomi, eko şehir, su yönetimi, sürdürülebilirlik

Abstract

Eco-cities are environmentally friendly and human-centered urban areas designed based on principles of sustainability. Concerning water management, various measures such as rainwater harvesting systems, wastewater recycling, and the use of technologies promoting water conservation are aimed at more effective utilization of water resources in eco-cities. Additionally, emphasis is placed on enhancing the quality of discharged wastewater through wastewater treatment systems and prioritizing the recovery of valuable materials from wastewater. For instance, eco-cities like Hammarby Sjöstad (Sweden) ensure more efficient use of water resources through measures like rainwater harvesting systems, wastewater recycling, and water-saving technologies.

In the domain of waste management in eco-cities, besides practices like waste separation and recycling, diverse strategies are adopted to reduce the quantity of waste. Campaigns for waste reduction, utilization of recyclable materials, and composting of organic waste are pursued in eco-cities such as Vauban (Germany) to address waste issues. Concrete examples from these cities demonstrate the success of water and waste management strategies.

This study highlights that the foundation of sustainable urban development lies in water and waste management practices evident in concrete examples from eco-cities. Eco-cities hold substantial potential as urban spaces not only addressing current environmental challenges but also aspiring to leave a more habitable world for future generations.

Keywords: Circular economy, eco-city, sustainability, waste management, water management

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: elif.alaydin@beun.edu.tr

Elif Öztekin orcid.org/0000-0001-7861-7041



Bu eser "Creative Commons Atıf-GayriTicari-4.0 Uluslararası Lisansı" ile lisanslanmıştır.

1. Giriş

Birleşmiş milletler raporuna göre 2050 yılında dünya nüfusunun 9.7 milyara ulaşması ve bu nüfusun üçte ikisinin kentlerde yaşaması öngörülmektedir (United Nations 2019). Bu yoğunluk, doğal kaynak ve enerji kıtlığı, doğal ekosistemin bozulması ve kirletici emisyonlarının artması gibi çeşitli sorunları beraberinde getirecektir (Li vd. 2021). Eko şehir olarak adlandırılan ekolojik şehirler, doğal kaynakları koruma ve yaşanabilir alanlar yaratma amacıyla şehirlerin çevresel etkilerini en aza indirmeyi hedeflemektedir. Roseland (1997), eko şehir için tek bir kabul edilmiş tanımın olmadığını savunmuştur. Örneğin Register (1987), “bir eko şehir, girdilerin (kaynak) ve çıktılarının (atık) en aza indirildiği kentsel bir çevresel sistemdir” şeklinde açıklarken, Jabareen (2006) ise “eko şehir, kentsel sürdürülebilirliği sağlamayı amaçlayan geniş bir yelpazeyi kapsayan bir şemsiyedir” olarak tanımlamıştır. Benzer bir şekilde Bibri (2020) “bir eko şehir doğal çevre ve ekosistemin kendi kendini sürdürebilen dayanıklı yapısını ve işleyişini vurgulayan bir insan yerleşimidir. Daha fazla yenilenebilir kaynağı tüketmeden sağlıklı ve yaşanabilir bir insan çevresi sunmayı amaçlar” olarak belirtmiştir. Eko şehir kavramının hedeflerini aşağıdaki şekilde sıralamak mümkündür (Çetinkaya 2013);

- Şehirlerin çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin azaltılması,
- Etkili su ve atıksu yönetimi,
- Doğal kaynakların korunması,
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması,
- Atık üretiminin azaltılması,
- Geri dönüşüm uygulamalarının artırılması,
- Ekolojik ayak izinin azaltılması.

Bu çalışma, kentsel yaşamın geliştirilmesi adına çevreci ve sürdürülebilir bir yaklaşım olan eko şehir kavramını su ve atık yönetimi bağlamında incelemektedir. Çalışmada, sürdürülebilir ve çevreci kentsel alanların oluşturulmasında çevresel sürdürülebilirlik ile kaynak verimliliğinin dengelenmesinin kritik önemi vurgulanmıştır. Bu bilgiler doğrultusunda, makalenin amacı eko şehir kavramının temelini oluşturan su ve atık yönetimi prensiplerine derinlemesine bir bakış açısı sunarak eko şehirlerin prensiplerini açıklamaktır.

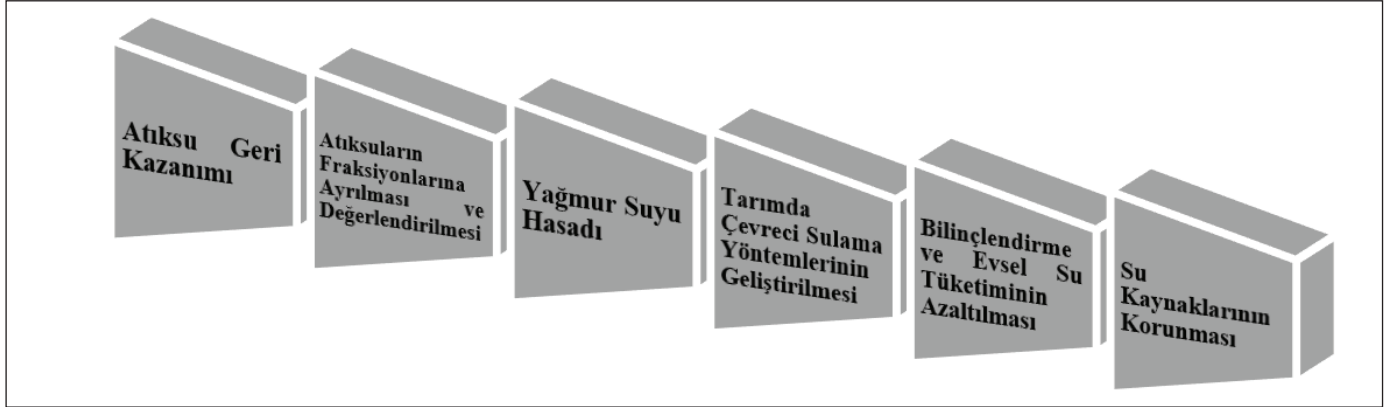
2. Eko Şehir Kavramı

2.1. Eko Şehir Kavramının Tarihsel Gelişimi ve Temel İlkeler

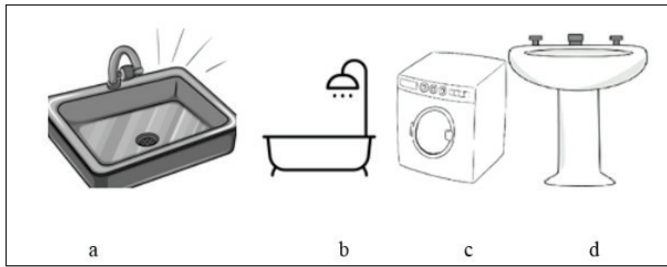
1960 yılının başlarında doğan ekolojik kent kavramı, çevresel sınırlara saygının öncelikli olduğu bir dönemi işaret etmektedir. Bu dönemde McHarg’ın 1969’da ortaya attığı fikirlerle başlayan bir hareket, çevreyle uyumlu şehirlerin inşası için önemli bir dönüm noktası olmuştur (McHarg 1969). 1975 yılında Richard Register ve birkaç arkadaşı doğayla uyumlu bir şekilde şehirleri yeniden inşa etmek amacıyla Berkeley’de kar amacı gütmeyen bir organizasyon olan “Urban Ecology”i kurmuştur. Bu organizasyon, çevre dostu projelere öncülük ederek Berkeley’de sakin sokakların oluşturulması, güneş enerjisinin kullanıldığı seraların tasarlanması ve bisiklet ile yaya hareketliliğini teşvik etmek gibi çeşitli etkinliklerle şehri dönüştürmeye başlamıştır (Roseland 1997). Eko şehir kavramı, kentsel planlama, tasarım ve yönetimde ekolojik prensiplerin uygulanmasına odaklanarak, Brundtland Raporu’nun yayınlanmasından sonra popüler hale gelen sürdürülebilirlik hedeflerini desteklemiştir (Register 1987). 1992’de Rio de Janeiro’da düzenlenen Birleşmiş Milletler Dünya Zirvesi ve sonrasında oluşturulan Eylem Planı olan Agenda 21 ile sürdürülebilir kalkınma prensipleri daha da detaylandırılmış, ekolojik kent ve planlaması için politika yönergeleri oluşturulmuştur (Lin 2018).

Günümüzde kaynakların daha verimli kullanılması, atıkların tekrar değerlendirilmesi ve alternatif kaynak haline getirilmesi, kentsel çevre kalitesinin geliştirilmesi ve korunması, yüksek verimli ve çevreci endüstrinin geliştirilmesi gibi yaklaşımlar benimsenmektedir. Sonuç olarak endüstriyel ve kentsel simbiyoz, çevre dostu şehir gelişimleri birçok ülke tarafından teşvik edilmeye başlanmıştır (Chen vd. 2012, Dong vd. 2014, Dong vd. 2016). Endüstriyel ve kentsel simbiyoz proseslerinin önemli bir itici güç olduğu eko şehirlerin özellikleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (Premalatha vd. 2013);

- Hava kalitesini arttıran, su kaynaklarını koruyan ve şehir yaşamında refahı arttıran yeşil alanların korunduğu ve geliştirildiği,
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılarak enerji tüketimini azaltmaya ve çevreci enerjiye odaklanan,
- Atık miktarının azaltıldığı, geri dönüşümün geliştirilerek sıfır atığın hedeflendiği,
- Toplu taşıma sistemlerinin teşvik edildiği, akıllı ulaşım sistemleri ile trafik sıkışıklığının ve hava kirliliğinin azaltıldığı,



Şekil 1. Sürdürülebilir Su Yönetiminin Bileşenleri (Öztekin ve Çolak 2022).



Şekil 2. Gri su kaynakları (a. mutfak lavabosu, b. banyo ve duş suları, c. çamaşır yıkama suları, d. el yıkama suları)

- Sera gazı emisyonlarının azaltıldığı, çevreye verilen zararın minimum seviyede olduğu,
- Yerel tarımın ve basit yaşam şeklinin desteklendiği,
- Toplumsal ve ekonomik adaletin olduğu, dezavantajlı topluluklara fırsat eşitliği sağlandığı,
- Aşırı tüketimin engellendiği, ekolojik ve ekonomik faaliyetlerin desteklendiği,
- Sürdürülebilir bina tasarımı ile enerji ve su tüketiminin azaltıldığı, doğal kaynakların korunduğu,
- Güvenli yaşam alanlarının sağlandığı,
- Sürdürülebilirlik hedeflerine ulaşabilmek için, tüm yerel halkın katıldığı ve yerel yönetimlerin çevreci yaklaşımı desteklediği, çevre merkezinde organize olunabilen şehirlerdir.

2.2. Eko Şehirlerde Suyun Sürdürülebilir Yönetimi

Dünya genelinde ortalama 2.2 milyar insan su kıtlığı ile karşı karşıyadır ve bu sayının yaklaşık olarak 933 milyonu kentlerde yaşamaktadır (Díaz-Vázquez vd. 2023). Bu nedenle yağmur suyu ve evsel atıksularının %80-85'ini oluşturan gri suların alternatif su kaynakları olarak kullanımı, sınırlı su

kaynaklarının korunmasında ve sürdürülebilir su yönetiminin oluşturulmasında oldukça önemlidir (Karahan vd. 2023, Ivanković ve Hrenović 2010, Hassanshahi ve Karimi-Jashni 2018). Sürdürülebilir su yönetiminin bileşenleri Şekil 1'de verilmiştir (Öztekin ve Çolak 2022).

Gri suların (Şekil 2) kaynağında ayrı toplanıp, uygun arıtma işlemlerinden geçirildikten sonra bahçe sulama, araba yıkama, tuvalet sifon suyu ve yangın söndürme amaçlı olarak tekrar kullanılabilirdiği bilinmektedir (Hassanshahi ve Karimi-Jashni 2018).

Bangladeş'in Dhaka şehrinde yapılan bir çalışmada üretilen evsel atıksuyun ortalama %60'ını gri suların oluşturduğu belirlenmiştir (Biswas vd. 2012). Çin'de bulunan Caofeidian eko şehrinde gri suların arıtımı ve tekrar kullanımı, siyah suların (dışkı) arıtımı ve metan gazı eldesi için kullanılması ile %100 atık su geri kazanımı planlanmıştır. Bunun dışında şehir, yağmur suyunun %90'ını toplayıp depolamak, %10'dan az yer altı suyu kullanmak üzere tasarlanmış entegre gri/siyah su arıtma sistemleri ile donatılmıştır (Joss ve Molella 2013). Kazakistan-Astana eko kentinde tasarımcılar, gri suları gerekli işlemlerden geçirdikten sonra var olan balık havuzlarına bağlayarak bir iç deniz oluşturmayı ve bitkilerle çevreleyerek de eko koridorlar oluşturmayı planlamışlardır (Kaya ve Susan 2020). İspanya, İtalya, Kıbrıs ve Yunanistan, arıtılmış atıksuyun tarım arazilerinde kullanıldığı öncülüklerdir. İsrail'de evsel atıksuların geri kazanım oranı %85'tir ve çoğunluğu tarımda kullanılmaktadır (Mannina vd. 2022). Japonya'da bulunan Fukuoka şehrinde 1978 yılında büyük bir kuraklık yaşanmış ve arıtılmış atıksular tuvalet sifon suları gibi çeşitli kentsel uygulamalarda kullanılmaya başlanmıştır (Takeuchi ve Tanaka 2020). Yamagata vd. (2003) tarafından yapılan bir çalışmada Tokyo metropol bölgesinin 23 semtinde biyolojik arıtma ve ultrafiltrasyon prosesleri

sayesinde geri kazanılmış suyun kullanım suyu ihtiyacının %61'ini karşılandığı ortaya konulmuştur. Japonya'da arıtılan atıksuyun %35'i akarsu akışının artırılmasında, %21'i peyzaj sulamada, %20'si kar eritme suyu, %6'sı tarımsal sulamada, %4'ü tuvalet sifon suyunda, %2'si rekreasyon uygulamalarında ve %1'i endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadır (Takeuchi ve Tanaka 2020).

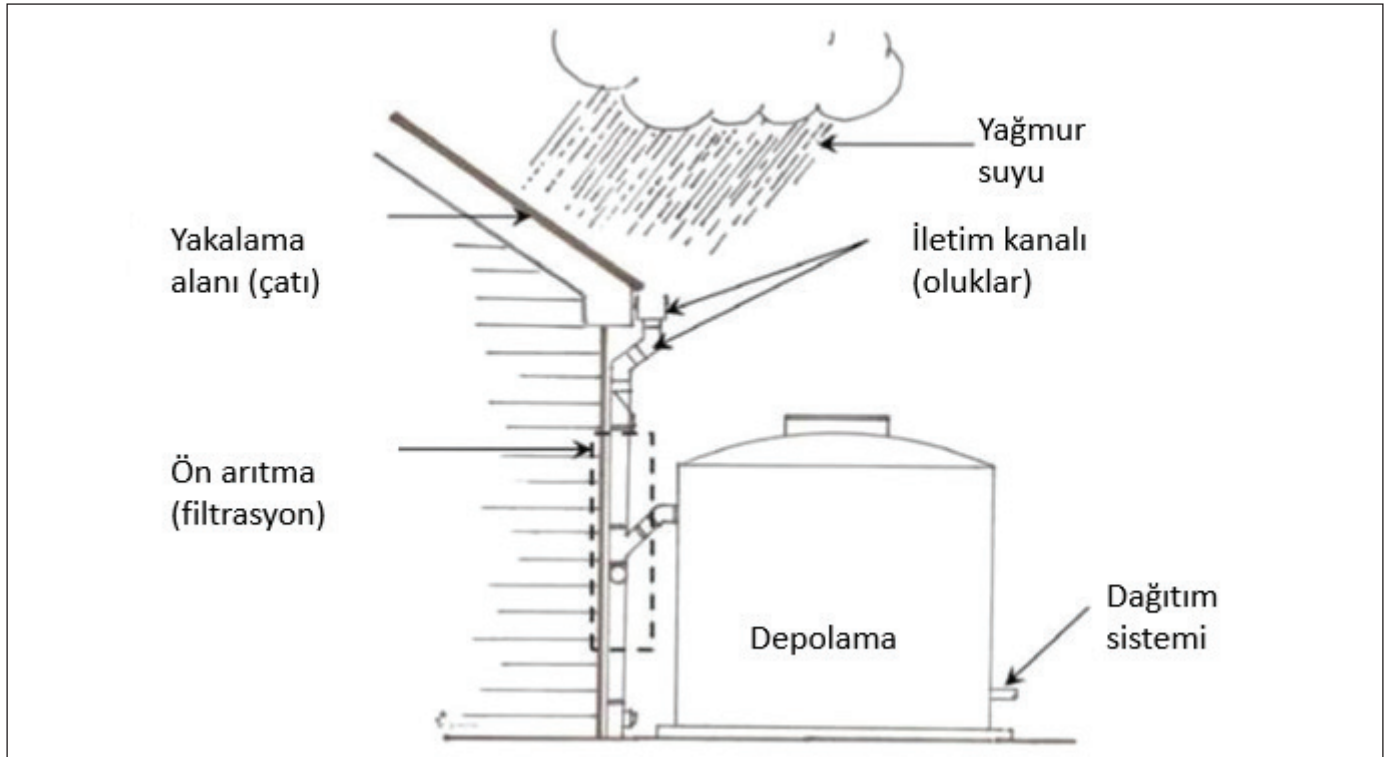
Eko şehir gibi çevreci yaklaşımların da ortaya çıkması ve alternatif su kaynakları arayışları sonucunda yağmur suyu hasadı adı verilen ve evsel kullanım suyu kıtlığını aşmak için uygulanabilen bir strateji ortaya çıkmıştır (Díaz-Vázquez vd. 2023). En basit haliyle evler için uygulanabilir olan yağmur suyu toplama sistemi örneği Şekil 3'te verilmiştir (Pradhan ve Sahoo 2020);

Yapılan çalışmalar, yağmur suyu hasadı ile ortalama %60 civarında su tasarrufu sağladığını belirtmektedir (Coombes vd. 2000, Ghisi 2006). İsveç Malmö'de Bo01 eko şehir bölgesinde yağmur suları yer üstü oluklar aracılığı ile yönlendirilerek toplanmaktadır ve tekrar kullanılmaktadır. İsveç'te bulunan Stockholm şehrinin Hammarby kasabasındaki ısıtma sistemindeki ısının %34'ü arıtılmış atıksudan, %47'si evsel katı atıklardan, %16'sı ise biyo yakıttan elde edilmektedir. Ayrıca eğitim ve farkındalık çalışmaları ile atıksularındaki kirletici miktarlarında %50 azalma olmuştur (UGBG 2023).

2.3. Eko Şehirlerde Atık Yönetimi

Günümüzde özellikle gelişmekte olan ülkelerde nüfus artışı ile birlikte kentleşmenin de hızlı bir şekilde artması, tüketim alışkanlıklarının değişimi ile evsel atık miktarının artmasına neden olmuştur (Alizadeh vd. 2023, Guerrero vd. 2013). Küresel atık üretiminin 2050 yılına kadar 3,4 milyar tona ulaşması beklenmektedir (Kaza vd. 2018). Yapılan çalışmalar, evsel katı atık yönetiminden kaynaklanan sera gazının, küresel olarak atmosfere verilen toplam sera gazı emisyonlarının %5'ine katkıda bulunduğunu ortaya koymuştur (Gautam ve Agrawal 2021). Buna karşılık ise yapılan bir çalışmada atıkların zamanında toplanmasının sera gazının azaltılmasında önemli bir yeri olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle özellikle geri dönüştürülebilir atık türünün ve miktarının bilinmesi ve sistematik bir şekilde paydaşlara anlık bildirim sağlanması için akıllı sistemler kullanılarak atık yönetiminin sağlanması oldukça önemlidir (Aazam vd. 2016).

Çevresinde ağır sanayi olmasına rağmen eko şehir olarak kurulan Çin-Caofeidian eko şehri projesi ile atıkların tam olarak ayrıştırılmasını sağlayan ve tüm şehri kapsayan vakumlu yer altı atık toplama sistemi ile atıkların %60'ının geri dönüştürülmesi planlanmaktadır. Bununla birlikte biyolojik olarak parçalanabilen atıkların %80'inin metan gazına dönüştürülmesi ve atıkların %10'undan azının çöp sahasına gitmesi de



Şekil 3. Yağmur suyu toplama sistemi bileşenleri (Pradhan ve Sahoo 2020).

planlamada yer almaktadır (Joss ve Molella 2013). 2021’de Avrupa Komisyonu tarafından Avrupa’nın yeşil başkenti seçilen Lahti, Finlandiya’da evsel atıkların %99’unu geri dönüşüme kazandırmaktadır. Bu geri dönüşüm oranının üçte biri, yeni malzemelerin üretiminde kullanılırken, geri kalan üçte ikilik kısım enerji üretiminde değerlendirilmektedir (European Commission 2021). Danimarka’nın 2020 yılı atık geri dönüşüm oranı %53,9 olarak açıklanmıştır (Eurostat 2022). Yaklaşık olarak 11.000 kişinin yaşadığı Hamburg Sjöstad eko şehrinde yaşayan sakinlerin %75’inden çoğu günlük olarak işe veya okula yaya olarak gitmekte veya bisikleti tercih etmektedir. Yapılan çalışmalara göre bu yayalaşma sayesinde şehirdeki CO₂ salınımı %50 oranında azalmıştır (Minh 2016). Finlandiya’nın ilk ekolojik kenti olan ve 2004 yılında tamamlanan Eco-Viiki’de geri dönüşüm ve atık azaltımına önem verilmekte ve biyoçeşitlilik korunmaktadır (Başar 2019). Almanya’da bulunan Vauban eko şehri yayalaşma ve bisiklet kullanımı ile hava kirliliğini önlemekle birlikte, yıllık garaj parası olan 18.000 Euro’dan tasarruf etmektedir. Bu ücretin devlet tarafından hava kirliliğine sebep olunması sonucu vergi olarak alındığı belirtilmektedir. Bu uygulama ile hava kirliliğini önleyen şehir sakinleri daha basit, daha sağlıklı ve refah içinde yaşama imkanı bulmuştur (Minh 2016).

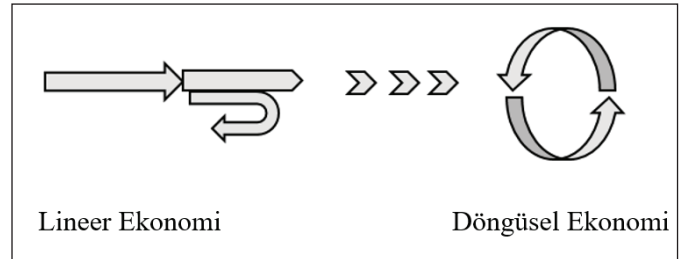
2.3.1. Sürdürülebilir atık yönetimi ve dögüsel ekonomi

Artan nüfus ve çevre kirliliği sonucunda küresel anlamda bazı önlemlerin acilen alınması gerektiği ortaya çıkmıştır. Özellikle “Al-Kullan-At” döneminin getirdiği olumsuz çevresel faktörler atık yönetimde acilen değişime gidilmesinin örneği olmuştur. Al-Kullan-At dönemi veya “Tek Kullanımlık Dönemi”, genellikle ürünlerin bir kere kullanıldıktan sonra atıldığı bir dönemi ifade eder. Özellikle plastik şişeler, tek kullanımlık ambalajlar, tek kullanımlık çatal-bıçak setleri, içecek kapları gibi ürünler bu dönemin sembolüdür. Doğrusal ekonomide, al-kullan-at modeli yaygınken dögüsel ekonomide kaynakların uzun süreli kullanımı temel bir prensip olarak kabul edilmektedir (Balbay vd. 2021). Şekil 4’te de görüldüğü üzere atık yönetimde odak noktası doğrusal yönetimden (lineer ekonomi), dögüsel yönetime (dögüsel ekonomi) doğru geçiş yapmaktadır (Ma vd. 2023).

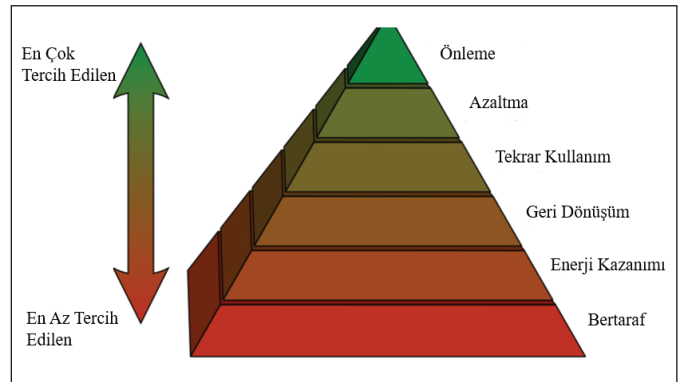
Dögüsel ekonomi, bir ürünün içindeki değerli bileşenlerin yeniden değerlendirilmesini vurgulayan, ömrünü tamamladığında geri dönüştürülerek başka ürünlerin üretiminde kullanılmasına olanak tanıyan bir ekonomi modeli olarak tanımlanmaktadır (Vinayagam vd. 2023). Bu modelin oluşması ile daha fazla arayış içine girilmiş ve sürdürülebilir süreçleri de içeren 3R (azalt, yeniden kullan, geri dönüştür) kavramı ve geri dönüşüm ekonomisi ortaya çıkmıştır. Za-

manla 3 faktör (kurtar, yeniden tasarla, yeniden üret) daha eklenerek 6R olan bu sistem günümüzde ise dögüsel ekonomi ile bağlantı kurularak 9R (reddet, yeniden düşün, azalt, yeniden kullan, onar, yenile, yeniden üret, yeniden amaçlandır, geri dönüştür) halini almıştır (Viles vd. 2022). Çevreci ve sürdürülebilir bir yaklaşımın benimsenmesi ile birlikte Şekil 5’te gösterilen atık yönetim hiyerarşisi ortaya çıkmıştır (Agovino vd. 2023).

Atık yönetim hiyerarşisinin en üst basamağında yer alan önleme ilkesi, tüketicilerin ürün ömürlerini uzatmalarını, üreticilerin dayanıklı ve çok yönlü tüketim malzemeleri tasarlamalarını gerektirmektedir. Hiyerarşik ölçekte bunu yeniden kullanım hazırlığı izlemektedir. Teknik olarak bir işlem uygulaması olsa da, sonuçta atılan ürünlerin bazılarının yeni bir tüketim dögüsü için malzeme olarak geri kazanılmasına izin veren muayene, temizleme ve onarım işlemleri olduğu sürece önleyici bir eyleme dönüşmektedir. Atık, yeniden üretilen ürünler şeklinde geri kazanılmadığında, enerji geri kazanımı alternatif bir seçenek oluşturmaktadır. Atık hiyerarşisinin dördüncü basamağında yer alan enerji geri kazanımı, atığın hala kullanışlı bir işlevi yerine getirmesine olanak tanıyan işlemleri ifade etmektedir. Bu işlemler, yanma tesislerinde enerji üretimi yoluyla, atıkların fosil yakıtlar gibi diğer malzemelerin yerine kullanılabilmesine olanak



Şekil 4. Atık Yönetiminde lineer ekonomiden dögüsel ekonomiye geçiş (Ma vd. 2023)



Şekil 5. Atık yönetim hiyerarşisi (Agovino vd. 2023).

sağlamaktadır. Tüm basamaklarda gösterilen işlemler teknik olarak mümkün olmadığında, depolama sahalarında imha etmek son çare olarak belirlenmiştir (Agovino vd. 2023).

3. Eko Şehir Kavramının Geleceği ve Zorlukları

Eko şehirler, su tüketimini ve atık oluşumunu azaltarak kaynakların daha verimli yönetilmesini sağlamaktadır (Liu ve Lo 2021). Buna karşılık şehirlerde su ve atık yönetiminin eksiksiz gerçekleştirilmesi ve yaygınlaşması bazı durumlarda zaman almaktadır. Çevresel sürdürülebilirlik, kaynak kullanımı, kentsel planlama ve toplumsal refah gibi şehirlerin karşılaştığı belirli sorunlara karşı çözüm arayışlarının sonucunda farklı eko şehir modelleri ortaya çıkmıştır. Farklı eko kent modellerine ait özellikler ve mevcut eko şehir örnekleri Çizelge 1’de verilmiştir (UN.ESCAP 2012);

Eko şehirlerin başarılı olabilmeleri için iyi bir planlama ve yönetim gerekmektedir. Bu kapsamda gerekli altyapının oluşturulabilmesi bir zorluk olarak görülmektedir. Bununla birlikte yeterli bilgi ve deneyim sahibi kişilerin bulunması ve yardım alınması da yaşanan zorluklardandır. Akıllı şehirler üzerine yapılan bir çalışmada şehirlerin gelişiminde ekonomik yetersizlikler, kurumlar arası işbirliği eksikliği, finansal yetersizlik ve bilgi eksiklikleri karşılaşılan başlıca zorluklar olarak belirtilmiştir. Ayrıca yeni bir teknolojinin toplum tarafından kabullenilmesi de zaman alıcı olmaktadır. Bu da uygulamada hızlı hareket edilmemesine sebep olmaktadır. Bununla birlikte yapılan yatırımlarla ilgili yeterli bilgiye sahip olmayan halk tarafından uygulamaların benimsenmesi de gecikmelere sebep olmaktadır. Yeterli bilgilendirme yapılmaması eko kente geçiş sürecini zorlaştırdığı bilinmektedir (Gül ve Çobanoğlu 2017). Eko şehir olmak isteyen

Çizelge 1. Farklı eko şehir modelleri (UN.ESCAP 2012).

Eko şehir modeli	Özellikler	Örnek eko şehir
Yenilenebilir enerji şehri	Şehir, yenilenebilir enerji kullanmaktadır. Biyoyakıtlar, güneş enerjisi, rüzgar veya jeotermal gibi kaynaklardan yenilenebilir enerji elde edilmektedir. Şehirler, yenilenebilir enerjinin kullanımını sağlayacak şekilde altyapılarını yeniden yapılandırmak zorundadır.	Masdar: Birleşik Arap Emirlikleri; Vauban, Freiburg: Almanya.
Karbon nötr şehirler	Şehir, fosil yakıtları yenilenebilir enerji kaynaklarıyla değiştirerek ve enerji verimliliğini arttırarak karbon emisyonundan arınmayı hedeflemektedir.	Çin’in düşük karbonlu şehirler projesi.
Bahçe şehirleri	Şehir, kentsel çevrenin bir parçası olarak yoğun yeşillendirme uygulamalarını içermektedir (yeşil çatılar, kentsel tarım, yenilenebilir enerji bitkilerinin yetiştirilmesi).	Ginza ticari bölgesindeki arı projesi: Japonya.
Kaynak verimli şehirler	Şehir, üretim ve tüketim uygulamalarında sürdürülebilir kaynakların kullanımını teşvik ederken, atık azaltma, yeniden kullanma, geri dönüşüm gibi 3R alışkanlıklarını en üst düzeye çıkarmayı hedeflemektedir (atıktan enerji üretimi, kompost uygulamaları).	Japonya’daki birçok şehir; Endüstriyel simbiyoz uygulamaları: Birleşik Krallık.
Kendine yeten şehirler	Ekolojik verimlilik, yerleştirilmiş ve kendi kendine yeterli üretim ve tüketim ile sağlanmaktadır.	Tayland: kendine yeterlilik ekonomisi projesi.
Dağıtılmış şehirler	Şehir, küçük ölçekli ve mahalle bazlı su ve enerji sistemlerine dayanmaktadır. Merkezi sistemdeki iletim sürecinden kaynaklanan maliyetlerden tasarruf edilmektedir.	Yeni Güney Galler’de Hill End kasabasında küçük ölçekli topluluk atık suyu sistemi.
Akıllı şehirler	Şehir, çevresel sürdürülebilirliği geliştirmenin bir parçası olarak bilgi teknolojilerinden yararlanmaktadır.	Yokohama Akıllı Şehir Projesi: Japonya.

şehirlerin mevcut durumu da maliyetlerin artmasına neden olabilir. Yeniden bir şehri inşa etmek veya değiştirmek hal- kın kabullenmesinde sıkıntılar yaratırken, inşaat aşaması da çevre üzerinde olumsuz etkiler bırakabilir. Yaşanan bu zor- lukların çözülmesi için bazı durumlarda bir mahalle veya bir bölge ve çoklu çevresel faktör yerine tek bir faktöre odakla- nılarak sorunların çözümlenmesi sağlanmaktadır. Şehirler- deki bu çözüm yolları da ülkelere göre farklılık göstermekte- dir. Örneğin şehirlerin geliştirilmesi açısından bakıldığında; Asya ve Orta Doğu ülkeleri genellikle şehirleri sıfırdan inşa edilmesi, Amerika'da; kentsel alanların genişletilmesi, Avru- pa ülkelerinde ise geçmişteki durumun geliştirilmesi tercih edilmektedir (Brodowicz vd. 2015).

4. Sonuç ve Öneriler

Eko şehirler gelecekteki sürdürülebilir kentleşme için umut verici, çevreci kentsel modellerdir. Çevre dostu teknolojilerin kullanımı, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, atık yönetimi ve geri dönüşüm, çevresel açıdan duyarlı mimari ve tasarım gibi sürdürülebilirlik ilkeleriyle donatılan eko şe- hirler, sadece çevresel açıdan değil, aynı zamanda ekonomik ve sosyal açıdan da birçok avantaj sunmaktadır. Su yönetimi, atık yönetimi ve geri dönüşüm gibi çevre konuları eko şe- hirlerin planlama sürecinde ele alınmalıdır. Bu şekilde, eko şehirlerin sadece kendi sınırları içinde değil, aynı zamanda çevrelerindeki diğer bölgeleri de etkileyeceği düşünülme- lidir. Eko şehirlerin geleceği inovasyon ve teknoloji ile sıkı bir şekilde bağlantılıdır. Örneğin, akıllı şehir teknolojileri, eko şehirlerde enerji, su, atık yönetimi ve ulaşımın optimize edilmesine yardımcı olabilir. Yapay zeka, büyük veri analizi ve diğer ileri teknolojiler, eko şehirlerdeki kaynakları daha etkili kullanmaya ve sürdürülebilirliği arttırmaya yardımcı olabilir. Ayrıca, yeşil teknolojiler ve yenilenebilir enerji kay- nakları, eko şehirlerde çevresel etkiyi azaltmaya yardımcı olarak enerji maliyetlerini düşürebilir.

Eko şehirlerin geleceği açısından toplumsal katılım ve yöne- tim oldukça önemlidir. Bu kavramlar, sadece karar alıcıların değil, aynı zamanda tüm toplumun sürece dahil edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Toplumsal katılım, şehir sakin- lerinin fikirlerinin alınması, beklentilerinin anlaşılması ve karar süreçlerine dahil edilmesi anlamına gelmektedir. Eko şehir yönetimi, karar alıcıların, sivil toplum kuruluşlarının, özel sektörün ve diğer ilgili tarafların iş birliği yaparak eko şehirlerin yönetimini ve planlamasını etkilemesi şeklinde gerçekleşmektedir. Şeffaflık, hesap verebilirlik ve katılımcılı- ğı teşvik ederek, eko şehirlerin sürdürülebilirliğinin arttırı- labileceği düşünülmektedir.

Son olarak, eko şehirlerin gelecekteki beklentileri ve hedef- lerini gerçekleştirmek için gerekli planlamaların bir an önce hayata geçirilmesi büyük önem taşımaktadır. Özellikle çevre dostu su ve atık yönetim sistemlerinin daha sürdürülebilir bir yaşam için önemli bir rol oynayacağı göz önünde bulun- durulmalıdır.

Çıkar Çatışması

Yazar, bu makalede bildirilen çalışmayı etkilemiş gibi görü- nebilecek bilinen herhangi bir rekabetçi finansal çıkar veya kişisel ilişkileri olmadığını beyan eder.

5. Kaynaklar

- Aazam, M., St-Hilaire, M., Lung CH., Lambadaris, I. 2016.** Cloud-based smart waste management for smart cities. 2016 IEEE 21st International Workshop on Computer Aided Modelling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD), Toronto, Canada, 188-193 pp, doi: 10.1109/CAMAD.2016.7790356.
- Agovino, M., Cerciello, M., Javed, A., Rapposelli, A. 2023.** Environmental legislation and waste management efficiency in Italian regions in view of circular economy goals. *Utilities Policy*, 85:101675. Doi: 10.1016/j.jup.2023.101675
- Alizadeh, S., Vali, F., Vatani, Z., Avami, A. 2023.** Sustainable analysis of waste-to-energy systems in cities by eco-efficiency assessment using DEA approach: A case study of Iran's municipalities. *Sustainable Cities and Society*, 98: 104825. Doi: 10.1016/j.scs.2023.104825
- Balbay, Ş., Sarıhan, A., Avşar, E. 2021.** Dünya'da ve Türkiye'de "döngüsel ekonomi / endüstriyel sürdürülebilirlik" yaklaşımı. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 27:557-569. DOI: 10.31590/ejosat.971172
- Başar, Ö. 2019.** Yaşanabilir kente katkısı bağlamında eko kentler: Bursa/Nilüfer belediyesi eko-kent projesi örneği. *Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi*, 126 s.
- Bibri, S.E. 2020.** The eco-city and its core environmental dimension of sustainability: green energy technologies and their integration with data-driven smart solutions. *Energy Informatics*, 3(4). Doi:10.1186/s42162-020-00107-7
- Biswas, SK., Rahman, Md MR., Rahman, Md YA., Rahman, Md M. 2012.** Applicability of domestic grey water reuse for alleviation of water crisis in Dhaka City. *Journal of Water Reuse Desalination*, 2(4): 239-246. Doi: 10.2166/wrd.2012.077
- Brodowicz, DP., Pospieszny, P., Grzymala, Z. 2015.** Eco-cities: challenges, trends and solutions. *Eco-innovations in the urban regeneration projects*. (1st ed) Warszawa, Warsaw School of Economics, Poland. 140 pp.

- Chen, X., Fujita, T., Ohnishi, S., Fujii, M., Geng, Y. 2012.** The impact of scale, recycling boundary, and type of waste on symbiosis and recycling. *Journal of Industrial Ecology*, 16: 129-141. DOI: 10.1111/j.1530-9290.2011.00422.x
- Coombes, P.J., Argue, J.R., Kuczera, G. 2000.** Figtree Place: A case study in water sensitive urban development (WSUD). *Urban Water*, 1(4): 335-343. Doi: 10.1016/S1462-0758(00)00027-3
- Çetinkaya, Ç. 2013.** Eko-kentler: kent ve doğa ilişkisinde yeni bir sistem tasarımı. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 6(1): 12-16. ISSN: 1308-0040, E-ISSN: 2146-0132
- Díaz-Vázquez, D., Camacho-Sandoval, T., Reynoso-Delgado, J., Gómez-Ayo, N.A., Macías-Calleja, M.G., ... Gradilla-Hernandez, M.S. 2023.** Characterization and multicriteria prioritization of water scarcity in sensitive urban areas for the implementation of a rain harvesting program: A case study for water-scarcity mitigation. *Urban Climate*, 51: 101670. Doi: 10.1016/j.uclim.2023.101670
- Dong, H., Ohnishi, S., Fujita, T., Geng, Y., Fujii, M., Dong, L. 2014.** Achieving carbon emission reduction through industrial & urban symbiosis: A case of Kawasaki. *Energy*, 64: 277-286. Doi: 10.1016/j.energy.2013.11.005
- Dong, H., Fujita, T., Geng, Y., Dong, L., Ohnishi, S., Sun, L., ...Fujii, M. 2016.** A review on eco-city evaluation methods and highlights for integration. *Ecological Indicators*, 60: 1184-1191. Doi: 10.1016/j.ecolind.2015.08.044
- European Commission. 2021.** Winning cities - European Green Capital & European Green Leaf Awards. https://environment.ec.europa.eu/topics/urban-environment/european-green-capital-award/winning-cities_en
- Eurostat. 2022.** European Environment Agency. Early warning assessment related to the 2025 targets for municipal waste and packaging waste. Country profile. Denmark. <https://www.eea.europa.eu/publications/many-eu-member-states/denmark>.
- Gautam, M., Agrawal, M. 2021.** Greenhouse gas emissions from municipal solid waste management: a review of global scenario. In: Muthu, S.S. (eds) *Carbon Footprint Case Studies, Environmental Footprints and Eco-design of Products and Processes*, Springer, Singapore, pp. 123-160
- Ghisi, E. 2006.** Potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of Brazil. *Building and Environment*, 41(11):1544-1550. Doi: 10.1016/j.buildenv.2005.03.018
- Guerrero, L.A., Maas, G., Hogland, W. 2013.** Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Waste Management*. 33(1): 220-232. Doi: 10.1016/j.wasman.2012.09.008
- Gül, A., Çobanoğlu, ŞA. 2017.** Avrupa'da akıllı kent uygulamalarının değerlendirilmesi ve Çanakkale'nin akıllı kente dönüşümünün analizi. *SDÜ İktisadi ve İdari Bilimleri Dergisi*, 22(15): 1543-1565.
- Hassanshahi, N., Karimi-Jashni, A. 2018.** Comparison of photofenton, O₃/H₂O₂/UV and photocatalytic processes for the treatment of gray water. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 161: 683-690. Doi: 10.1016/j.ecoenv.2018.06.039
- Ivanković, T., Hrenović, J. (2010).** Surfactants in the environment. *Archives of Industrial Hygiene and Toxicology*, 61(1): 95-110. Doi: 10.2478/10004-1254-61-2010-1943
- Jabareen, YR. 2006.** Sustainable urban forms: their typologies, models, and concepts. *Journal of Planning Education and Research*, 26(1): 38-52. Doi: 10.1177/0739456X052851
- Joss, S., Molella, AP. 2013.** The eco-city as urban technology: perspectives on Caofeidian International eco-city (China). *Journal of Urban Technology*, 20(1):115-137. Doi: 10.1080/10630732.2012.735411
- Karahan, BN., Akdag, Y., Fakiroglu, M., Korkut, S., Guven, H., Ersahin, ME., Ozgun, H. 2023.** Coupling ozonation with hydrogen peroxide and chemically enhanced primary treatment for advanced treatment of grey water. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 11(3), 110116. Doi: 10.1016/j.jece.2023.110116
- Kaya, EK., Susan, AT. 2020.** Sürdürülebilir Bir Kentleşme Yaklaşımı Olarak, Ekolojik Planlama ve Eko-Kentler. *İdealkent*, 30(11):909-937. Doi: 10.31198/idealkent.533730
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P, Woerden, FV. 2018.** What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050. *Urban Development Series, World Bank Publications, Washington DC., USA, 38 pp.*
- Li, J., Sun, W., Song, H., Li, R., Hao, J. 2021.** Toward the construction of a circular economy eco-city: An emergy-based sustainability evaluation of Rizhao city in China. *Sustainable Cities and Society*, 71:102956. Doi: 10.1016/j.scs.2021.102956
- Lin, Z. 2018.** Ecological urbanism in East Asia: A comparative assessment of two eco-cities in Japan and China. *Landscape and Urban Planning*, 179: 90-102. Doi: 10.1016/j.landurbplan.2018.07.008
- Liu, M. Lo, K. 2021.** Governing eco-cities in China: Urban climate experimentation, international cooperation, and multilevel governance. *Geoforum*, 121: 12-22. Doi: 10.1016/j.geoforum.2021.02.017
- Ma, W., Liu, T., Hao, J.L., Wu, W., Gu, X. 2023.** Towards a circular economy for construction and demolition waste management in China: Critical success factors. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 35:101226. Doi: 10.1016/j.scp.2023.101226
- Mannina, G., Gulhan, H., Ni, B-J. 2022.** Water reuse from wastewater treatment: The transition towards circular economy in the water sector. *Bioresource Technology*, 363: 127951. Doi: 10.1016/j.biortech.2022.127951
- McHarg, I. 1969.** *Design with nature*. 1st Edition, The Natural Science Press, Garden City, NY.

- Minh, NQ. 2016.** Application of “Car-Free City” and “City of Short Walks” to Living Quarters in Hanoi Towards Sustainable Mobility and Logistics. Sustainable Development of Civil, Urban and Transportation Engineering Conference. Procedia Engineering 142: 284 – 291.
- Öztekin, E., Çolak, S. 2022.** Sürdürülebilir ve düşük karbon emisyonlu kentsel alanlar için eko şehir kavramı; Zonguldak ili için öneriler. Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, 9(2): 62-73.
- Pradhan, R., Sahoo, J. 2020.** Smart Rainwater Management: New Technologies and Innovation. Smart Urban Development. Universities of Applied Sciences FH Joanneum, Austria. Doi: 10.5772/intechopen.77428.
- Premalatha M., Tauseef, SM., Abbasi, T., Abbasi SA. 2013.** The promise and the performance of the world’s first two zero carbon eco-cities. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 25: 660-669. Doi: 10.1016/j.rser.2013.05.011
- Register, R. 1987.** Ecocity Berkeley: Building cities for a healthy future. North Atlantic Books, Berkeley, California, USA, pp 139.
- Roseland, M. 1997.** Dimensions of the eco-city. Cities, 14(4):197-202. Doi: 10.1016/S0264-2751(97)00003-6
- Takeuchi, H., Tanaka, H. 2020.** Water reuse and recycling in Japan — History, current situation, and future perspectives. Water Cycle, 1: 1-12. Doi: 10.1016/j.watcyc.2020.05.001
- UGBG. 2023.** Urban green blue grids for resilient cities. <https://www.urbangreenbluegrids.com/> Son erişim tarihi: 27.09.2023
- UN.ESCAP. 2012.** Low carbon green growth roadmap for Asia and the Pacific: turning resource constraints and the climate crisis into economic growth opportunities. Retrieved from: <https://hdl.handle.net/20.500.12870/301>. Son erişim tarihi: 03.12.2023
- United Nations. 2019.** Population division, world population prospects 2019: highlights department of economic and social affairs, <https://populationmatters.org>
- Viles, E., Kalemkerian, F., Garza-Reyes, JA., Antony, J., Santos, J. 2022.** Theorizing the principles of sustainable production in the context of circular economy and industry 4.0. Sustain. Prod. Consum, 33: 1043-1058. Doi:10.1016/j.spc.2022.08.024
- Vinayagam, V., Sikarwar, D., Das, S., Pugazhendhi, A. 2023.** Envisioning the innovative approaches to achieve circular economy in the water and wastewater sector. Environmental Research, 117663. Doi: 10.1016/j.envres.2023.117663.
- Yamagata, H., Ogoshi, M., Suzuki, Y., Ozaki, M., Asano, T. 2003.** On-site water recycling systems in Japan. Water Supply, 3(3): 149-154. Doi: 10.2166/ws.2003.0020

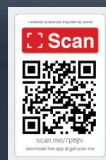


Yazışma Adresi:

Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 67100, Zonguldak

Tel: (372) 291 26 26 **Faks:** (372) 257 40 23

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



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