

JSAT

JOURNAL OF STUDIES IN ADVANCED TECHNOLOGIES

İLERİ TEKNOLOJİLERDE
ÇALIŞMALAR DERGİSİ



Volume | Cilt: 1

Issue | Sayı: 2

December | Aralık 2023

Journal of Studies in Advanced Technologies

[İleri Teknolojilerde Çalışmalar Dergisi]

JSAT

<i>Volume / Cilt</i>	<i>Issue / Sayı</i>	<i>December / Aralık</i>
1	2	2023

Owner / Sahibi

Prof. Dr. Mehmet Biber
Rector (Rektör), Ardahan University, Türkiye

Editor in-Chief / Baş Editör

Dr. Öğr. Üyesi Arif Cem Topuz, Ardahan University, Türkiye
Dr. Öğr. Üyesi Akif Göktuğ Bozkurt, Ardahan University, Türkiye

Publication Board / Dergi Kurulu

Prof. Dr. Alper Nuhoglu, Ataturk University, Türkiye
Prof. Dr. Okan Eştürk, Ardahan University, Türkiye
Prof. Dr. Mahmut Fırat, İnönü University, Türkiye
Doç. Dr. Ahmet Akköse, Ataturk University, Türkiye
Doç. Dr. Röşen Guliyev, Ardahan University, Türkiye
Doç. Dr. Ali Yeşildağ, Kafkas University, Türkiye
Doç. Dr. Fatih Ongül, Ardahan University, Türkiye
Doç. Dr. Ali Baltakesmez, Ardahan University, Türkiye
Doç. Dr. Asif Yokuş, Fırat University, Türkiye

Editorial Board / Yayın ve Danışma Kurulu

Prof. Dr. Mahmud Güngör, Civil Engineering- Pamukkale University, Türkiye
Prof. Dr. Yalçın Bozkurt, Animal Science- Isparta University of Applied Sciences, Türkiye
Prof. Dr. Yaşar Nuhoglu, Environmental Engineering, Yıldız Technical University, Türkiye
Prof. Dr. Ümmihan Danış, Environmental Engineering- 19 Mayıs University, Türkiye
Doç. Dr. Abdullah Ateş, Electric-Electronic Engineering- İnönü University, Türkiye
Doç. Dr. Hasan Ufuk Çelebioğlu, Molecular Biology and Genetic, Bartın University, Türkiye

Doç. Dr. Ali Rıza Deniz, *Physics, Hakkari University, Türkiye*
Doç. Dr. Serbay Duran, *Mathematics, Adıyaman University, Türkiye*
Doç. Dr. Hülya Durur, *Mathematics, Ardahan University, Türkiye*
Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Burcu Atalay, *Food Engineering, Iğdır University, Türkiye*
Dr. Öğr. Üyesi Bilge Ertekin Filiz, *Food Engineering, Süleyman Demirel University, Türkiye*
Dr. Öğr. Üyesi Ezgi Demir Özer, *Food Engineering, Kapadokya University, Türkiye*
Dr. Öğr. Üyesi Gülsen Kılınç, *Mathematics, Adıyaman University, Türkiye*
Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Murat Ceylan, *Food Engineering, Iğdır University, Türkiye*
Dr. Öğr. Üyesi Semahat Doruk, *Chemical Engineering, Çankırı Karatekin University, Türkiye*
Dr. Öğr. Üyesi Sevda Ocak, *Environmental Engineering, Giresun University, Türkiye*
Dr. Öğr. Üyesi Sevgin Dıblan, *Food Engineering, Tarsus University, Türkiye*
Dr. Öğr. Üyesi Ümit Yaşar, *Medical Biochemistry, Ardahan University, Türkiye*
Dr. Öğr. Üyesi Zehra Gül Yaşar, *Physiology, Ardahan University, Türkiye*
Dr. Lütfi Bilal Taşyürek, *Physics, Malatya Turgut Özal University, Türkiye*
Dr. Didem Rodoplu Solovchuk, *Nanotechnology, National Health Research Institutes, Taiwan*

Writing Editor / Yazım Editörü

Dr. Öğr. Üyesi Niyazi İpek, *Ardahan University, Türkiye*

Layout Editor / Mizanpaj Editörü

Dr. Nihat Emre Börekçi, *Ardahan University, Türkiye*

Technical Coordinator / Teknik Koordinatör

Sinan Üst, *Ardahan University, Türkiye*

Journal of Studies in Advanced Technologies (JSAT) is an international, peer-reviewed journal, published biannually (June and December). Publication languages are Turkish and English. JSAT is an open access and licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

İleri Teknolojilerde Çalışmalar Dergisi (JSAT) uluslararası, hakemli bir dergidir ve yılda iki sefer Haziran ve Aralık aylarında yayımlanmaktadır. Yayın dili Türkçe ve İngilizcedir. JSAT makaleleri açık erişimlidir ve Creative Commons Atıf-GayriTicari 4.0 Uluslararası Lisansı ile lisanslanmıştır.



<https://jsat.ardahan.edu.tr>
jsat@ardahan.edu.tr

CONTENTS / İÇİNDEKİLER

Author(s) /Yazar(lar)	Title /Başlık	Page/Sayfa
Bahanur Malak Akgün	(Review/Derleme) The Opportunities Given by ChatGPT to Health Science Education <i>ChatGPT'nin Sağlık Bilimleri Eğitimine Getirdiği Fırsatlar</i>	48-54
Merve Akdemir Salih Yılmaz	(Research article/Araştırma makalesi) Practical and Theoretical Comparison of Leaks in Drinking Water Systems <i>İçme Suyu Sistemlerinde Sızıntıların Uygulamalı ve Teorik Olarak Karşılaştırılması</i>	55-66
Fatih Ongül	(Research article/Araştırma makalesi) Performance of Vanadium Pentoxide Thin Film as Hole Conduction Layer in Perovskite Based Solar Cell <i>Perovskit Tabanlı Güneş Hücresinde Vanadyum Beşoksit İnce Filmin Deşik İletim Tabakası Olarak Performansı</i>	67-75
Ahmet Yusuf Cevher Serkan Yıldırım	(Research article/Araştırma makalesi) Design and Use of Chatbots for Educational Purposes: A Study on Student Opinions <i>Eğitim Amaçlı Sohbet Robotlarının Tasarımı ve Kullanımı: Öğrenci Görüşleri Üzerine Bir Çalışma</i>	76-83
Yeşim Tarhan Remzi Şahin	(Research article/Araştırma makalesi) Use of Recycled Aggregate Concretes in Road and Site Concretes Subject to Freeze-Thaw Effect <i>Geri Kazanılmış Agregalı Betonların Donma-Çözülme Etkisi Altındaki Yol ve Saha Betonlarında Kullanımı</i>	84-93
Galip Kaltakkıran	(Research article/Araştırma makalesi) Exergy Analysis of Solar Radiation Based on Measurement Data: A Study in Erzurum Province <i>Ölçüm Verilerine Dayalı Global Güneş Radyasyonunun Ekserji Analizi: Erzurum İli Örneği</i>	94-104

Burhan aydaşı
Yakup Akko

(Research article/*Araştırma makalesi*)

**Microbial Investigation of Mains Water in Ardahan Central
Province and Districts**

105-110

Ardahan Merkez İl ve İleleri şebeke Sularının Mikrobiyal incelenmesi



Review

The Opportunities Given by ChatGPT to Health Science Education

Bahanur Malak Akgün¹ *

¹ Department of Nursing, Faculty of Health Sciences, Ardahan University, 75002 Ardahan, Türkiye

* Correspondence: bahnur_mk@hotmail.com

Received: 10 July 2023; Accepted: 31 August 2023; Published: 31 December 2023

Abstract: Chat Generative Pre-trained Transformer (ChatGPT) is a conversational chatbot capable of asking follow-up questions, testing definitions, and challenging assumptions. It is stated that ChatGPT is versatile and can be used in a wide variety of areas, including customer support, information, healthcare and education. The opportunities of ChatGPT for health education have been discussed in the literature within the framework of ethical principles such as academic integrity and privacy, and security. It is recommended that Higher Education Councils quickly adapt to ChatGPT technology by providing personnel training. It is very important to present to the attention of health educators and create awareness in Turkey about ChatGPT that is a current and important issue that has been on the agenda. In summary, this review aims to provide a comprehensive overview of the opportunities of ChatGPT in health education. Thus, this review can bring forth awareness to health educators about the important developments that the use of ChatGPT in health education. As a result, health educators can adapt to the latest developments in the world without delay by gaining awareness in Turkey.

Keywords: health education, artificial intelligence, chatbot, ChatGPT

Derleme

ChatGPT'nin Sağlık Bilimleri Eğitimine Getirdiği Fırsatlar

Öz: Üretici Ön-Eğitilmiş Dönüştürücü (Chat Generative Pre-trained Transformer (ChatGPT)), takip soruları sorulabilen, tanımları test edebilen ve varsayımları sorgulayabilen bir sohbet robotudur. Çok yönlü olan ChatGPT'nin müşteri desteği, bilgi alma, sağlık hizmetleri ve eğitim dahil olmak üzere çok çeşitli alanda kullanılabileceği belirtilmektedir. Literatürde ChatGPT'nin sağlık bilimleri eğitimi için sunduğu fırsatlar akademik dürüstlük, gizlilik gibi etik ilkeler ve güvenlik çerçevesinde ele alınmıştır. Yükseköğretim Kurulları'nın personel eğitimi vererek ChatGPT teknolojisine hızlıca uyum sağlaması önerilmektedir. Bu güncel ve önemli konunun Türkiye'deki sağlık bilimleri eğitimcilerinin dikkatine sunmak ve ChatGPT'nin sağlık bilimleri eğitimi için sunduğu fırsatlar hakkında farkındalık oluşturmak oldukça önemlidir. Özetle bu derleme ChatGPT'nin sağlık bilimleri eğitimine sunduğu fırsatlara kapsamlı bir genel bakış sunmayı amaçlamaktadır. Böylece bu derleme ChatGPT kullanımının sağlık bilimleri eğitimine getirebileceği önemli gelişmelere ilişkin sağlık bilimleri eğitimcilerinde farkındalık oluşturulmasını sağlayabilir. Sonuçta Türkiye'deki sağlık bilimleri eğitimcileri kazandıkları farkındalıkla dünyadaki en güncel gelişmelere geç kalmadan uyum sağlayabilirler.

Anahtar Kelimeler: sağlık bilimleri eğitimi, yapay zeka, sohbet robotu, ChatGPT

Citation: B. Malak Akgün, "The Opportunities Given by ChatGPT to Health Science Education", *Journal of Studies in Advanced Technologies*, vol. 1, no. 2, pp. 48-54, Dec 2023, doi: 10.5281/zenodo.10444933

1. Giriş

Yapay zeka (artificial intelligence (AI)), insan zekası gerektiren görevleri yerine getirebilecek makineler üretmeyi amaçlayan bilgisayar bilimi ve dil biliminin çok disiplinli yaklaşımı olarak tanımlanabilir [1]. Son yapay zeka ürünü olan Üretici Ön-Eğitilmiş Dönüştürücü (Chat Generative Pre-trained Transformer (ChatGPT)), bir yapay zeka şirketi olan Open AI® tarafından 2022'de kullanıma açılmıştır. ChatGPT, Türkçe de dahil birçok dilde insan benzeri yanıtlar üretme becerisiyle geniş metin veri kümeleri üzerinde eğitilmiş yapay zeka tabanlı bir büyük dil modelidir. Takip soruları sorulabilen, tanımları test edebilen ve varsayımları sorgulayabilen bir sohbet robotudur [2]. GPT mimarisi, doğal dili işlemek için bir sinir ağı kullanır ve böylece giriş metninin bağlamına dayalı yanıtlar üretebilir [3]. ChatGPT'nin GPT tabanlı öncüllerine kıyasla üstünlüğü, gelişmiş modellemeye dayalı rafine ve son derece karmaşık yanıtlar üreten birden çok dile yanıt verme yeteneği ile ilişkilendirilebilir [2], [3]. Çok yönlü olan ChatGPT'nin müşteri desteği, bilgi alma, sağlık hizmetleri ve eğitim dahil olmak üzere çok çeşitli alanda kullanılabileceği belirtilmektedir [2].

Literatürde ChatGPT'nin sağlık bilimleri eğitimi için sunduğu fırsatlar akademik dürüstlük, gizlilik gibi etik ilkeler ve güvenlik çerçevesinde ele alınmıştır [4]-[6]. Yükseköğretim Kurulları'nın personel eğitimi vererek ChatGPT teknolojisine hızlıca uyum sağlaması önerilmektedir. Çünkü ChatGPT'nin gelecek vaat eden uygulamaları, sağlık bilimleri eğitiminde paradigma kaymalarına neden olabilir [6].

İnsanın çok yönlülüğü, yaratıcılığı, karmaşık soyut kavramları anlama, uyum sağlama yetenekleri ve insanda duygusal zekanın varlığı düşünüldüğünde yapay zekaya kıyasla insan zekası hala üstündür [7]. Ancak ChatGPT diğer disiplinlerde olduğu gibi sağlık bilimleri eğitiminde de gerekli çıktının verimliliğini ve doğruluğunu artırmaya yardımcı olarak konuşma ve yazmada eğitimcilere yardımcı olabilir [8]. Eğitimde ChatGPT yazdığı denemelerin sonuna kaynak olarak kendine atıf yapabilir [9]. Bu şekilde insan zekası ve yapay zeka işbirliği doğru ve güvenilir bir şekilde eğitimde kullanılabilir [10], [11].

Literatürde yapay zeka sohbet robotlarının sağlık bilimleri eğitimindeki faydalarının araştırılması ilginç bir alandır. Bu sağlık bilimleri öğrencilerinin kavraması gereken çok sayıda bilgi ve çeşitli kavramlarla ilgili olmasından kaynaklanmaktadır [12]. Bu güncel ve önemli konunun Türkiye'deki sağlık bilimleri eğitimcilerinin dikkatine sunmak ve ChatGPT'nin sağlık bilimleri eğitimi için sunduğu fırsatlar hakkında farkındalık oluşturmak oldukça önemlidir. Özetle bu derleme ChatGPT'nin sağlık bilimleri eğitimine sunduğu fırsatlara kapsamlı bir genel bakış sunmayı amaçlamaktadır. Böylece bu derleme ChatGPT kullanımının sağlık bilimleri eğitimine getirebileceği önemli gelişmelere ilişkin sağlık bilimleri eğitimcilerinde farkındalık oluşturulmasını sağlayabilir. Sonuçta Türkiye'deki sağlık bilimleri eğitimcileri kazandıkları farkındalıkla dünyadaki en güncel gelişmelere geç kalmadan uyum sağlayabilirler. Derlemede ChatGPT'nin sağlık bilimleri eğitimine getirdiği fırsatlar ele alınırken hem öğrencilere hem eğitimcilere ChatGPT'nin neler sunduğu ilgili literatür eşliğinde değerlendirilmeye çalışılmış hem de okuyuculara ChatGPT'nin kullanımı ile ilgili örnekler verilmeye çalışılmıştır. Özellikle bir sohbet başlatılarak ChatGPT'ye sağlık bilimleri eğitimine getirdiği fırsatların neler olduğu sorularak nasıl kullanıldığı ve nasıl cevaplar verdiği gösterilmeye çalışılmıştır. ChatGPT kullanımına yönelik eleştiriler de değerlendirilmeye çalışılmıştır. Sağlık bilimleri eğitimcilerinin ve öğrencilerinin ChatGPT kullanırken kullanabilecekleri diğer yapay zeka uygulamalarına da değinilmiştir.

2. ChatGPT'ye Göre ChatGPT'nin Sağlık Bilimleri Eğitimine Getirdiği Fırsatlar

ChatGPT kullanıcılarına sunduğu fırsatlar nedeniyle sağlık bilimleri eğitimini derinden etkileyecek ve sağlık bilimleri eğitiminde devrim yaratacak niteliktedir [2], [4], [6]. Archibald ve Clark [4] ChatGPT'nin GPT-3 sürümüne "ChatGPT'nin yükseköğretim üzerindeki olası etkilerinin neler olacağını" sorduklarında ChatGPT'nin verdiği yanıt şu şekilde olmuştur; "ChatGPT yükseköğretimde ve akademik alanda birçok şekilde kullanılabilir. Bunlar şunlardır;

1. İçerik üretimi: ChatGPT bilimsel makalelerin özetleri, makaleler ve sınav soruları gibi eğitim içeriği oluşturmak için kullanılabilir. Bu eğitimcilere zaman kazandırabilir, mevcut materyal çeşitliliğini artırabilir ve farklı öğrenme stillerine sahip öğrencilerin materyali anlamasını kolaylaştırabilir.

2. Özel Ders: ChatGPT öğrencilere öğretmenlik yapabilir. Bu öğretmen öğrencilerin sorularını yanıtlayabilir, ödevleri hakkında geri bildirimde bulunabilir ve öğrencilerin problem çözmelerine yardımcı olabilir.

3. Değerlendirme: ChatGPT ödevler, projeler ve çoktan seçmeli testler gibi öğrenci ödevlerine otomatik olarak not vermek için de kullanılabilir. Bu eğitimcilere zaman kazandırabilir ve öğrencilere geri bildirim sağlama hızını artırabilir.

4. Çevrimiçi Öğrenme: ChatGPT çevrimiçi öğrenmeyi öğrenciler için daha etkileşimli, bireyselleştirilmiş ve etkili hale getirmede büyük bir rol oynayabilir” [4].

Derlemede ChatGPT'nin kullanımını göstermek ve ChatGPT'ye göre sağlık bilimleri eğitiminde ne gibi faydalarının olduğunu ve ne gibi fırsatlar sunduğunu okuyucuyla paylaşabilmek için ChatGPT'nin GPT-3.5 sürümüne “ChatGPT'nin sağlık bilimleri eğitimi için faydaları ve sunduğu fırsatlar nelerdir?” sorusu sorulmuştur. ChatGPT'nin soruya verdiği yanıt ise şu şekilde olmuştur; “ChatGPT gibi yapay zeka modelleri, sağlık bilimleri eğitimi için bir dizi fayda ve fırsat sunabilir. Bunlar şunlardır;

1. Bilgi erişimi: ChatGPT, geniş bir bilgi tabanına sahip olup, sağlık bilimleri alanındaki konular hakkında geniş bir anlayışa sahiptir. Tıp, farmakoloji, biyoloji, epidemiyoloji ve daha fazlası gibi birçok konuda bilgi sağlayabilir. Öğrencilerin öğrenme süreçlerini desteklemek ve sorularını yanıtlamak için kullanılabilir.

2. Özelleştirilmiş öğrenme: ChatGPT, kullanıcının ihtiyaçlarına göre özelleştirilebilir. Öğrenciler, kendi ilgi alanlarına veya çalışma hedeflerine uygun olarak ChatGPT'yi yapılandırabilirler. Örneğin bir öğrenci farmakolojiyle ilgileniyorsa, ChatGPT'yi farmakoloji konularına odaklanmak üzere ayarlayabilir ve bu alanda derinlemesine bilgi sağlayabilir.

3. Soru-cevap etkileşimi: ChatGPT, öğrencilerin sağlık bilimleri alanındaki sorularını yanıtlayabilir. Öğrenciler, öğrenme süreçlerini desteklemek ve belirsizlikleri gidermek için ChatGPT'ye sorular yöneltebilirler. Bu hızlı ve doğru bilgiye erişim sağlar ve öğrencilerin daha iyi anlamalarına yardımcı olur.

4. Sanal simülasyonlar: ChatGPT, sağlık bilimleri alanındaki konuları simüle etmek için kullanılabilir. Örneğin tıbbi teşhis süreçlerini veya ilaç etkileşimlerini simüle ederek öğrencilere pratik deneyim sağlayabilir. Bu gerçek dünya deneyimi olmadan bile pratik becerilerin geliştirilmesini sağlar.

5. İnovasyon ve keşif: ChatGPT gibi yapay zeka modelleri, sağlık bilimleri alanındaki yeni keşifler ve inovasyonlar için bir araştırma aracı olarak kullanılabilir. Öğrenciler, bilgi tabanını kullanarak yeni fikirleri araştırabilir, hipotezler geliştirebilir ve daha önce keşfedilmemiş bilgilere erişebilir. Bu sağlık bilimleri alanındaki araştırma ve geliştirme teşvik edebilir.

Bu faydalar, ChatGPT'nin sağlık bilimleri eğitimi için sunduğu bazı fırsatları yansıtmaktadır. Ancak ChatGPT'nin bir yapay zeka modeli olduğunu unutmamak önemlidir. Bu nedenle öğrencilerin sağlık bilimleri alanında pratik deneyim ve gerçek insanlarla etkileşim içeren diğer öğrenme yöntemleriyle de desteklenmeleri gerekmektedir.”

Archibald ve Clark'ın [4] yükseköğretim ile ilgili ChatGPT'ye sordukları soruya ve derlemede ChatGPT'ye sorulan soruya ChatGPT'nin verdiği ortak yanıtlar; ChatGPT'nin bireyselleştirilmiş öğrenmeyi sağladığı ve öğrencilerin sorularını yanıtlayarak çeşitli konuda bilgi erişimi sağladığı şeklindedir. Sallam [6] ise sistematik derlemesinde incelediği makalelerin %85'inde ChatGPT'nin sağlık bilimleri eğitimindeki faydalarının yüksek düzey sağlık okuryazarlığı, gelişmiş bireyselleştirilmiş öğrenme, eleştirel düşünme ve probleme dayalı öğrenmeye odaklanma şeklinde belirtildiğini açıklamıştır. Sağlık bilimleri eğitiminde örneğin farklı ve gerçeği yansıtan klinik öykülerin oluşturulmasında, sağlık bilimleri öğrencilerinin özgün klinik vakalarda anında yardım almalarını sağlamada ve öğrencilerin iletişim becerilerini geliştirmelerinde ChatGPT kullanılabilir [6]. Ayrıca ChatGPT kendi kendine öğrenmede ve grup çalışmalarında sağlık bilimleri öğrencilerine yardımcı olabilir. ChatGPT'nin kullanışlılığı ve sağladığı bireyselleştirilmiş etkileşim öğrenciler için bir motivasyon kaynağı olarak kabul edilmesini sağlamıştır [5], [13]-[15].

Derlemede ChatGPT'nin aynı sürümüne “Sence gelecekteki sağlık bilimleri eğitimi nasıl olacak?” sorusu sorulduğundaysa ChatGPT'nin verdiği yanıt şu şekilde olmuştur; “Gelecekteki sağlık bilimleri eğitimi, teknolojik gelişmelerin ve yeniliklerin etkisiyle büyük değişikliklere uğrayabilir. İşte bazı olası değişiklikler ve trendler;

1. Sanal ve artırılmış gerçeklik: Sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik, sağlık bilimleri eğitiminde daha yaygın olarak kullanılabilir. Öğrenciler, simülasyonlar ve sanal ortamlar aracılığıyla cerrahi prosedürlerin pratiklerini gerçekleştirebilir, hastalıkları teşhis edebilir veya tedavi süreçlerini takip edebilir. Bu öğrencilere gerçek dünya deneyimine yakın bir eğitim imkanı sunabilir.

2. Yapay Zeka Destekli Eğitim: Yapay zeka, sağlık bilimleri eğitiminde önemli bir rol oynayabilir. ChatGPT gibi yapay zeka modelleri, öğrencilere soru-cevap etkileşimi ve bilgi sağlama konusunda yardımcı olabilir. Ayrıca yapay zeka, öğrencilerin performansını izleyebilir ve bireyselleştirilmiş geribildirimlerle öğrenme sürecini iyileştirebilir.

3. Uzaktan Eğitim ve E-Öğrenme: Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte, uzaktan eğitim ve çevrimiçi öğrenme sağlık bilimleri eğitiminde daha yaygın hale gelebilir. Öğrenciler, internet üzerinden derslere erişebilir, çevrimiçi dersler alabilir ve dijital kaynakları kullanarak kendi hızlarında öğrenme imkanına sahip olabilir.

4. Genetik ve Bireyselleştirilmiş Tıp: Genetik bilgilerin anlaşılması ve bireyselleştirilmiş tıp alanındaki gelişmeler, sağlık bilimleri eğitimini de etkileyebilir. Öğrenciler, genetik testlerin yorumlanması, hastalık risklerinin analizi ve bireyselleştirilmiş tedavi stratejilerinin öğrenilmesi gibi konularda eğitim alabilir.

5. İnterdisipliner Yaklaşım: Sağlık bilimleri eğitimi, farklı disiplinler arasında daha fazla entegrasyona ve iş birliğine dayalı bir yaklaşım benimseyebilir. Öğrenciler, tıbbi bilimler, mühendislik, veri analitiği, iletişim ve liderlik gibi farklı alanlardan bilgi ve becerileri bir araya getirerek sağlık hizmetlerinin daha etkili sunumuna katkıda bulunabilir.

Bu sadece bazı örneklerdir ve gelecekteki sağlık bilimleri eğitiminin nasıl olacağı konusunda kesin bir öngöründe bulunmak zor. Ancak teknolojinin ilerlemesi ve sağlık sektöründeki gelişmelerin eğitimi dönüştürme potansiyeli yüksektir. Öğrencilerin pratik deneyimler, etkileşimli öğrenme ve güncel bilgilere erişim gibi temel bileşenleri içeren bir eğitim alması beklenmektedir.”

Derlemede ChatGPT'ye sorulan her iki soruya ChatGPT'nin verdiği ortak yanıtlar ise öğrencilere sanal simülasyonlar ile gerçek dünya deneyimine yakın bir eğitim olanağı sunulabileceği, yapay zekanın soru-cevap etkileşimi ve bilgi sağlama konularında öğrencilere yardımcı olabileceği, öğrencilerin performansını izleyebileceği ve bireyselleştirilmiş geribildirimlerle öğrenme sürecini iyileştirebileceği yönündedir. ChatGPT'nin verdiği ortak yanıtlar düşünüldüğünde gelecekte sağlık bilimleri eğitimcilerini ve öğrencilerini şu an bildiğimiz ve alışık olduğumuz öğrenme stillerinden çok farklı ve çeşitli öğrenme süreçlerinin beklediği anlaşılmaktadır.

3. ChatGPT Şu Anda Ne Yapabilir?

İki kişi ChatGPT'den aynı anda, aynı bilgileri talep etse bile ChatGPT birbirine benzemeyen yanıtlar oluşturabilir. Bir yazar ChatGPT'ye “neden hemşire olmak isteyebileceğim ile ilgili üç farklı paragraf yaz” diye bir sohbet başlattığında ChatGPT birbirinden farklı üç metin oluşturmuştur [16]. Bir üniversite öğrencisi olan Edward Tian ChatGPT teknolojisinin gelişimi üzerine GPTZero adlı yeni bir uygulama geliştirmiştir. Bu uygulama insan tarafından ve makine tarafından yazılan metinleri ayırt edebilme özelliğine sahiptir [17]. Frith [16] bu uygulamanın işlerliğini denemek için kendi yazdığı bir metni ve ChatGPT'nin yazdığı metni GPTZero'ya yüklemiştir. Bu denemede GPTZero her metnin yazarını doğru bir şekilde tanımlamıştır. ChatGPT ile birlikte GPTZero'nun kullanılması öğrencilerin ödevlerinde intihali tespit etmede sağlık bilimleri eğitimcilerine yardımcı olabilir [16]. Ek olarak eğitimciler, öğrencilere ChatGPT tarafından oluşturulan bilgileri eleştirel bir şekilde değerlendirebilmeyi, bilgilerin doğruluğu hakkında bilinçli kararlar verebilmeyi ve ChatGPT'nin kullanımındaki sorumlulukları hakkında düşünmeyi öğreterek derin öğrenmeyi teşvik edebilirler [18]. Örneğin ödev olarak sağlık bilimleri öğrencilerinden stres yönetimi ile ilgili kanıta dayalı bir protokol oluşturmaları istenebilir. Öğrenciler protokolü hazırlamak için ChatGPT'yi kullanabilir ve araştırma sorularını yanıtlayan makaleler bulmak için başka bir yapay zeka araştırma asistanı olan Elicit'i kullanabilirler. Elicit makaleleri özet, giriş, yöntem, girişimler (interventions) ve bulgular ile yapılandırılmış bir şekilde özetleme özelliğine sahiptir [19]. Bu şekilde öğrenciler zamanlarının çoğunu stresin nedenleri, belirtileri, karmaşık fizyolojisi ve stres yönetimi ile ilgili girişimleri öğrenmek için harcayabilirler.

ChatGPT'nin faydalarını ve gelecekte bize sunabileceği olası faydalarını değerlendirmenin zamanlaması düşünüldüğünde biz sağlık bilimleri eğitimcileri için bu değerlendirmenin şu an tam zamanı olduğunu belirtmekte fayda vardır [20]. Birçok yazar tarafından ChatGPT'nin nasıl kullanılabileceği gösterilmek istenmiş ve çeşitli çalışmalarda ChatGPT'den yardım alınmıştır [5], [21]-[24]. Hill-Yardin ve arkadaşları [24] Manohar ve Prasad'ın [23] yayını ele alarak ChatGPT'nin oluşturduğu metni değerlendirmiş ve metnin rahatsız edici şekilde uydurma referanslar sunmasına karşın oldukça iyi bir metin içeriğine sahip olduğunu belirtmişlerdir. ChatGPT'nin hastalık neden sonuç ilişkisini doğru ve mantıklı bir şekilde verdiğini, gramer

açısından doğru bir yazım sunduğunu da açıklamışlardır. Basit bir dille yazılmış metnin uzman olmayan kişilerin anlayabileceği yalınlıkta olduğunu belirtmişlerdir. ChatGPT'ye yazdırdıkları kendi metinleri hakkında ise ChatGPT'nin yazma hızının gayet hızlı olduğunu ve 500 kelimeyi oluşturmasının iki dakikadan az sürdüğünü bildirmişlerdir [24].

Günümüzde İngiltere'de kodlama ve yazılım geliştirme konuları zorunlu eğitimin bir parçası haline gelmiştir [25]. Bu nedenle öğrencilerin dijital okuryazarlık düzeylerinin yükselmesi sonucu geleceğin sağlık çalışanlarının da mesleki güçlerinin artması beklenmektedir. İnsanların dijital okuryazarlığı hızla gelişmeye devam ettikçe ve ChatGPT gibi teknolojilerin kullanımı toplumda yaygınlaştıkça akademik çalışmaları desteklemek [21] ve mesleki performansı arttırmak için de yapay zeka kullanımı muhtemelen artacaktır.

Literatürde ChatGPT'nin bazı ödevlerin yazımında sağlık bilimleri öğrencilerinden daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir [21]. ChatGPT, öğrencilere hızlı yazma yardımı, araştırma desteği ve kaynak erişilebilirliği sunmaktadır [26]. Öğrencilerin çok çeşitli konuları, içerikleri ve bilgileri kapsayan çok fazla sayıda sorularına anında yanıt verebilir. ChatGPT'nin en dikkat çekici özelliği yüksek kaliteli yazılı yanıtlar oluşturmadaki olağanüstü verimliliği ve etkinliğidir [2]. ChatGPT'nin çok miktarda bilgiyi işleme ve analiz etme yeteneği, öğrencilere sorularına anında yanıt almada ve ilgili kaynaklara anında yönlendirilmede eşsiz bir fırsat sunar. ChatGPT'nin bu yeteneği öğrencilerin çalışmalarında verimliliğin artmasına olanak sağlayabilir [26]. Anında bilgiye erişim öğrencilerin öğrenme deneyimlerini büyük ölçüde geliştirebilir. Öğrencilerin zamandan ve çaba harcamadan tasarruf etmelerini sağlayabilir [16], [19], [26]. Bazı eğitimciler ChatGPT'yi internet arama motorlarına, editing yazılımlarına, istatistiksel yazılımlara ve referans yönetim sistemlerine benzer bir araç olarak görmektedir. Bu doğrultuda sağlık bilimleri eğitimcileri, öğrencilerin ChatGPT tarafından üretilen kalıplaşmış yazılarını taslak metin olarak kullanabileceklerini savunmaktadırlar. Onlara göre sağlık bilimleri öğrencileri, kaynak materyalleri uygun şekilde bularak ve alıntılarla bilgilerin doğruluğunu kontrol ederek ve araştırma sonuçları, vaka çalışmaları ve uzman görüşleri dahil olmak üzere kanıtlar ile destekleyerek taslak metinlerine kaynaklar eklemelidirler. Böylece öğrenciler zamanlarını konu ile ilgili kavramları öğrenerek veya çeşitli konular hakkında bilgi edinerek harcaabilirler [16]. ChatGPT, öğrencilere çalışmalarında yardımcı olmak için taslaklar, çalışma kılavuzları ve çalışma soruları oluşturma yeteneğine sahiptir. Eleştirel düşünme ve tanısıl muhakeme için açık uçlu sorular oluşturabildiği gibi, her soru için gerekçeli ayrıntılı yanıtlar da sunabilir. Ayrıca doğru cevabı ve beraberindeki mantığı içeren çoktan seçmeli sorular da üretebilmektedir [2]. Bu özellikler, öğrencilerin ders materyali konusundaki anlayışlarını güçlendirmelerine ve sınavlara daha iyi hazırlanmalarına yardımcı olacak son derece değerli bir araç olabilir. Bu özellikler aynı zamanda sağlık bilimleri öğretim üyeleri için çalışma kılavuzları ve sınav soruları oluşturmada inanılmaz derecede yararlı bir kaynak görevi görebilir [26].

ChatGPT, müthiş bir düzeltme ve düzenleme aracıdır. Dilbilgisi hatalarını, anlatım bozukluklarını, yanlış yazım veya noktalama işaretlerini etkili ve verimli bir şekilde tespit edip düzeltebilir. Buna ek olarak kelime seçimine yardımcı olabilir, alternatif ifadeler önerebilir ve öğrencinin yazısında tutarlı bir akış ve stilin korunmasına yardımcı olabilir. ChatGPT, uzun makalelerin, metinlerin veya belgelerin kısa ve öz ancak kapsamlı özetlerini oluşturmak için anahtar kelime çıkarma, cümle skorlama ve metin sıkıştırma yapabilir. Üstelik ChatGPT gelişmiş duygu analizi ve klinik dokümantasyon oluşturma yeteneklerine de sahiptir. ChatGPT sübjektif veya objektif değerlendirme (assessment) ve plan (SOAP (Simple Object Access Protocol)) notları yazma, özgeçmiş ve fiziksel muayeneleri tamamlama yeteneğine sahiptir [26].

Yükseköğrenim kurulları bu yeni teknolojilere nasıl yanıt vereceği konusunda emin olmamakla birlikte bazı kurullar yeni teknolojileri kabul etmeyi tercih ederken bazıları bu tür bir teknoloji ışığında öğrencilerin öğrenmelerinin nasıl değerlendirileceğinin dikkate alınması gerektiğini belirtmektedir. Diğer kurullar ise cinin şışeye geri konmasını tercih ettiklerini bildirmişlerdir [27]. Bunun için sağlık bilimleri eğitiminde ChatGPT'nin sunduğu eğitim içeriklerinin kalitesini ve verimliliğini, öğrencilerin değerlendirme yeterliliğini değerlendirmek için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır [6]. Bu nedenle sağlık bilimleri eğitimcileri, ChatGPT ve diğer yapay zeka ürünleri ile ilgili düzenlemeleri ve politikaları anlamak için yasal ilerlemeleri yakından takip etmelidirler [16]. Örneğin ABD Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü geçerli ve güvenilir yapay zeka sistemleri için standartlar oluşturmak üzere çalışmalar yürütmektedir [28].

4. Sonuç

Derlemede ChatGPT'nin sağlık bilimleri eğitimi için faydaları ve sunduğu fırsatlar açıklanmıştır. ChatGPT'nin sağlık bilimleri eğitiminde eğitim sürecini kolaylaştırarak ve eğitim sürecine çeşitli fırsatlar sunarak devrim yaratma olasılığı vardır. ChatGPT'nin sağlık bilimleri eğitimi için faydaları ve sunduğu fırsatlar; bireyselleştirilmiş öğrenmeyi sağlayabileceği, bireyselleştirilmiş geribildirimlerle öğrenme sürecini iyileştirebileceği, öğrencilere sanal simülasyonlar ile gerçek dünya deneyimine yakın bir eğitim olanağı sunabileceği, öğrencilere soru-cevap etkileşimi ve bilgi sağlama konularında yardımcı olabileceği, öğrencilerin sorularını yanıtlarak çeşitli konuda bilgi erişimi sağlayabileceği ve öğrencilerin performanslarını izleyebileceği şeklinde özetlenebilir. ChatGPT sağlık bilimleri eğitimine çeşitli fırsatlar sunmuş olsa da insanın ve eleştirel düşünmenin yerine geçemeyecektir. Bu nedenle ChatGPT'yi bireysel ve mesleki sorumluluk bilinciyle kullanmak önemlidir.

Sağlık bilimleri eğitimcilerinin ChatGPT hakkında bilgi sahibi olmamaları geleceğin sağlık profesyonellerinin bu teknolojik gelişmelere hazırlıksız yakalanmalarına neden olabilir. Çünkü ChatGPT'nin sağlık bilimleri eğitimine getirdiği faydalar ve sunduğu fırsatlar yalnızca sağlık bilimleri öğrencilerini olumlu etkilemeyecek aynı zamanda geleceğin sağlık profesyonellerinin kaliteli bir eğitim almalarını sağlayarak sağlık hizmetlerinin kalitesinin de artmasını sağlayacaktır. Sağlık bilimleri eğitimcilerinin ChatGPT hakkında bilgi sahibi olmaları güncel eğitim teknolojisine uyum sağlamalarını, kaliteli sağlık bilimleri personeli yetiştirmelerini ve halka kaliteli sağlık hizmeti verilmesi taahhüdünü yerine getirmelerini sağlamış olacaktır. Bu derlemenin literatüre ön önemli katkısı sağlık bilimleri eğitiminde ChatGPT kullanımının yaratabileceği önemli gelişmeler hakkında sağlık bilimleri eğitimcilerinde farkındalık oluşturmaktır. İleriki dönemlerde gerçekleştirilecek deneysel çalışmalarda öğrencilere sanal simülasyonlar ile gerçek dünya deneyimine yakın bir eğitim olanağı sunularak bireyselleştirilmiş öğrenme temelli soru-cevap etkileşimi ile tıbbi bilgi sağlamanın mümkün olup olmadığının araştırılması önerilmektedir.

Kaynakça

- [1] I. H. Sarker, "AI-Based Modeling: Techniques, applications and research issues towards automation, intelligent and smart systems." *SN Comput. Sci.*, vol. 3, no. 158, pp. 2-20, 2022, <https://doi.org/10.1007/s42979-022-01043-x>
- [2] "Open AI®" 2023. <https://chat.openai.com/>
- [3] T. Brown, B. Mann, N. Ryder, M. Subbiah, J. D. Kaplan, P. Dhariwal, A. Neelakantan, P. Shyam, G. Sastry, A. Askell, "Language models are few-shot learners." *Adv. Neural Inf. Process. Syst.*, vol. 33, pp. 1877–1901, 2020.
- [4] M. M. Archibald, A. M. Clark, "ChatGPT: What is it and how can nursing and health science education use it?," *J Adv Nurs.*, vol. 0, pp. 1-4, 2023, doi: 10.1111/jan.15643.
- [5] S. O'Connor, ChatGPT, "Open artificial intelligence platforms in nursing education: Tools for academic progress or abuse?," *Nurse Educ Pract.*, vol. 66, pp. 103537, 2023, doi: 10.1016/j.nepr.2022.103537.
- [6] M. Sallam, "ChatGPT utility in healthcare education, research, and practice: Systematic review on the promising perspectives and valid concerns," *Healthcare*, vol. 11, pp. 887, March 2023, <https://doi.org/10.3390/healthcare11060887>
- [7] J. E. Korteling, G. C. van de Boer-Visschedijk, R. A. M. Blankendaal, R. C. Boonekamp, A. R. Eikelboom, "Human- versus artificial intelligence." *Front. Artif. Intell.*, vol. 4, pp. 622364, 2021, doi: 10.3389/frai.2021.622364
- [8] J. Deng, Y. Lin, "The benefits and challenges of ChatGPT: An overview." *Front. Comput. Intell. Syst.*, vol. 2, no. 2, pp. 81–83, 2023.
- [9] C. Stokel-Walker, "AI bot ChatGPT writes smart essays—Should professors worry?" *Nature*, December 2022, <https://doi.org/10.1038/d41586-022-04397-7>
- [10] K. B. Johnson, W. Q. Wei, D. Weeraratne, M. E. Frisse, K. Misulis, K. Rhee, J. Zhao, J. L. Snowdon, "Precision medicine, AI, and the future of personalized health care." *Clin. Transl. Sci.*, vol. 14, pp. 86–93, 2021, doi:10.1111/cts.12884
- [11] P. Rajpurkar, E. Chen, O. Banerjee, E. J. Topol, "AI in health and medicine." *Nat. Med.*, vol. 28, pp. 31–38, 2022, <https://doi.org/10.1038/s41591-021-01614-0>

- [12] K. Paranjape, M. Schinkel, R. Nannan Panday, J. Car, P. Nanayakkara, "Introducing artificial intelligence training in medical education." *JMIR Med. Educ.*, vol. 5, no. 2, pp. e16048, 2019, doi:10.2196/16048
- [13] N. Fijačko, L. Gosak, G. Štiglic, C. T. Picard, M. John Douma, "Can ChatGPT pass the life support exams without entering the American Heart Association course?" *Resuscitation*, vol. 185, pp. 109732, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2023.109732>
- [14] A. Khan, M. Jawaid, A. Khan, M. Sajjad, "ChatGPT-Reshaping medical education and clinical management." *Pak. J. Med. Sci.*, vol. 39, no. 2, pp. 605–607, Mar-Apr 2023, doi: [10.12669/pjms.39.2.7653](https://doi.org/10.12669/pjms.39.2.7653)
- [15] A. Gilson, C. W. Safranek, T. Huang, V. Socrates, L. Chi, R. A. Taylor, D. Chartash, "How does ChatGPT perform on the United States medical licensing examination? The implications of large language models for medical education and knowledge assessment." *JMIR Med. Educ.*, vol. 9, pp. e45312, 2023, doi: [10.2196/45312](https://doi.org/10.2196/45312)
- [16] K. H. Frith, "ChatGPT: Disruptive educational technology." *Nursing Education Perspectives*, vol. 44, no. 3, pp. 198-199, 2023, doi: [10.1097/01.NEP.0000000000001129](https://doi.org/10.1097/01.NEP.0000000000001129)
- [17] G. Rosalsky, Peaslee, E. "This 22-year-old is trying to save us from ChatGPT before it changes writing forever." *NPR News*, 17 January 2023, <https://www.npr.org/sections/money/2023/01/17/1149206188/this-22-year-old-is-trying-to-save-us-from-chatgpt-before-it-changes-writing-for>
- [18] G. H. Sun, S. H. Hoelscher, "The ChatGPT storm and what faculty can do." *Nurse Educator*, vol. 48, no. 3, pp. 119-124, May/June 2023, Doi: [10.1097/NNE.0000000000001390](https://doi.org/10.1097/NNE.0000000000001390)
- [19] "Elicit: The AI research assistant." 2023. <http://elicit.org>
- [20] V. Taecharungroj, "What can ChatGPT do?"; Analyzing early reactions to the innovative AI chatbot on Twitter." *Big Data Cogn. Comput.*, vol. 7, no. 1, pp. 35, 2023, <https://doi.org/10.3390/bdcc7010035>
- [21] C. Allen, S. Woodnutt, "Guest editorial: Can ChatGPT pass a nursing exam?" *International Journal of Nursing Studies*, 104522, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2023.104522>
- [22] A. Scerri, K. H. Morin, "Using chatbots like ChatGPT to support nursing practice." *Journal of Clinical Nursing*, vol. 32, pp. 4211-4213, 2023, <https://orcid.org/0000-0002-7231-9710>
- [23] N. Manohar, S. S. Prasad, "Use of ChatGPT in academic publishing: a rare case of seronegative systemic lupus erythematosus in a patient with HIV infection." *Cureus*, vol. 15, no. 2, pp. e34616, 2023, DOI: [10.7759/cureus.34616](https://doi.org/10.7759/cureus.34616)
- [24] E. L. Hill-Yardin, M. R. Hutchinson, R. Laycock, S. J. Spencer, "A Chat (GPT) about the future of scientific publishing." *Brain Behav Immun*, vol. 110, pp. 152-154, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2023.02.022>
- [25] "UK Government. National Curriculum in England: Computing programmes of study." 2013. <https://www.gov.uk/government/publications/national-curriculum-in-england-computing-programmes-of-study>
- [26] G. H. Sun, S. H. Hoelscher, "The ChatGPT storm and what faculty can do." *Nurse Educ.*, vol. 48, no. 3, pp. 119-124, 2023, doi:10.1097/ NNE.0000000000001390
- [27] P. Wood, "Oxford and Cambridge ban ChatGPT over plagiarism fears but other universities choose to embrace AI bot." 2023. <https://inews.co.uk/news/oxford-cambridge-ban-chatgpt-plagiarism-universities-2178391>
- [28] "National Council of State Legislatures. Legislation related to artificial intelligence." 2022. <https://www.ncsl.org/technology-and-communication/legislationrelated-to-artificial-intelligence>



Research Article

Practical and Theoretical Comparison of Leaks in Drinking Water Systems

Merve Akdemir¹ , Salih Yılmaz¹ *

¹ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Çankırı Karatekin University, 18100, Çankırı, Türkiye

* Correspondence: salihyilmaz@karatekin.edu.tr

Received: 16 October 2023; Accepted: 4 December 2023; Published: 31 December 2023

Abstract: In drinking water systems, leaks and failures occur in pipes that provide water transmission due to various factors. One of the main factors in the damage of pipes is pressure fluctuation. In order to eliminate this fluctuation, pressure management is applied with different pressure regulation methods. In addition to reducing leakages, pressure management also has cost elements. In order to meet this cost, the condition of the water distribution system should be analyzed before pressure management, which pressure regulation method will be preferred should be decided and how much water loss will be prevented as a result of pressure management application should be calculated. In this study, leakages were calculated theoretically with the Fixed and Variable Area Discharges (FAVAD) equation, which establishes a relationship between leakage and pressure in the isolated measurement area where pressure regulation is applied, and compared with the field application. Pressure regulation methods that do not give results close to practice were identified by analysis and a new calculation method was developed for these methods. The results in the field application were compared with the developed method and it was tested that it gives results close to the field. In this study, it was aimed to create an algorithm that would give results closer to the application area for the evaluation of water losses and it was successful. This method is considered to be one of the deciding factors in the calculation of leakage in different pressure methods.

Keywords: water drinking system, pressure management, leakage, water loss, Favad equation

Araştırma Makalesi

İçme Suyu Sistemlerinde Sızıntıların Uygulamalı ve Teorik Olarak Karşılaştırılması

Öz: İçme suyu sistemlerinde çeşitli unsurlara bağlı olarak su iletimini sağlayan borularda sızıntı ve arızalar meydana gelmektedir. Boruların hasar görmesindeki temel etkenlerden biri basınç dalgalanmasıdır. Bu dalgalanmanın giderilmesi için farklı basınç düzenleme yöntemleriyle basınç yönetimi uygulaması yapılmaktadır. Basınç yönetimi uygulamasının sızıntıların azaltılmasının yanında maliyet unsurları da vardır. Bu maliyeti karşılaması için basınç yönetimi öncesi su dağıtım sisteminin durumu analiz edilmeli, hangi basınç düzenleme yöntemi tercih edileceğine karar verilmeli ve basınç yönetimi uygulaması sonucu ne kadar su kaybı önleneceği hesaplanmalıdır. Bu çalışmada basınç düzenlemesi yapılan izole ölçüm bölgesinde sızıntı ve basınç arasında ilişki kuran Fixed and Variable Area Discharges (FAVAD) denklemiyle sızıntılar teorik olarak hesaplanmış ve saha uygulamasıyla karşılaştırılmıştır. Uygulamaya yakın sonuç vermeyen basınç düzenleme yöntemleri analizlerle tespit edilmiştir ve bu yöntemler için yeni bir hesaplama yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemle saha uygulamasındaki sonuçlar karşılaştırılmış ve sahaya yakın sonuçlar verdiği test edilmiştir. Yapılan çalışmada su kayıplarının değerlendirilmesi için uygulama sahasına daha yakın sonuç verecek bir algoritma oluşturulması amaçlanmış ve başarılı olunmuştur. Bu yöntemin farklı basınç yöntemlerinde sızıntıların hesaplanması konusunda karar verici unsurlardan biri olması düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: içme suyu sistemi, basınç yönetimi, sızıntı, su kaybı, Favad denklemi

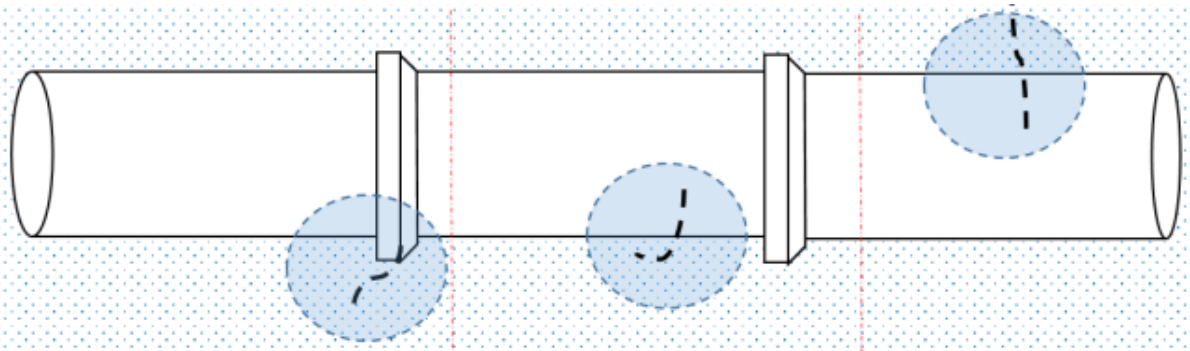
Citation: M. Akdemir and S. Yılmaz, "Practical and Theoretical Comparison of Leaks in Drinking Water Systems", *Journal of Studies in Advanced Technologies*, vol. 1, no. 2, pp. 55-66, Dec 2023, doi: 10.5281/zenodo.10445009

1. Giriş

İçme suyu dağıtım şebekelerinde şebeke hattındaki basınç, borunun zamanla yaşlanması, boru malzemesinin kalitesi, şebekenin işçiliği, iklim ve yer hareketleri, boru üzerinde meydana gelen trafik yükü gibi çeşitli fiziksel, çevresel, hidrolik gibi faktörlerden dolayı fiziksel su kayıpları ve arızalar meydana gelmektedir [1]. Su kaynaklarının her geçen gün azalması ve artan nüfusa bağlı olarak su talep debilerinin artması sonucu su kayıplarının kontrol edilmesi önem kazanmıştır [1]. Thornton vd. [2] ABD’de yaptıkları bir çalışma sonucunda boru arızalarından kaynaklı oluşan sızıntıların ülkedeki su kaynaklarının %20’sini bulduğunu ve bu durumun ülke ekonomisini de olumsuz açıdan etkilediğini belirtmiştir. Su kayıpları içme suyu dağıtım şebekesinde meydana gelen fiziksel ve idari kayıpların toplamını ifade etmektedir. Fiziksel su kayıpları şebekeye verilen ancak tüketiciye ulaşmadan sızıntı yoluyla kaybolan suyun ölçüsüdür. İdari su kayıpları ise şebekeye verilen ve tüketicilerin suya ulaştığı ancak izinsiz kullanım, ölçüm ve veri işleme hataları gibi sebeplerden dolayı su idaresinin ücretini tahsil edemediği suyun ölçüsüdür [3], [4]. Dağıtım sisteminde izinli su tüketimi kapsamında ibadethane, park ve bahçelere verilen faturalandırılmayan su kullanımları ile su kayıpları (fiziksel ve idari kayıplar) bileşenlerinin toplamı gelir getirmeyen suyu (GGS) oluşturmaktadır [4]. Sisteme verilen su hacminden su idaresinin gelirini aldığı su hacmi faturalandırılmış yasal tüketimdir [3], [4].

Fiziksel kayıplar oluşma şekline göre 3’e ayrılır.

- **Belirsiz Sızıntılar:** Borunun alt yüzeyinde meydana gelen ve yüzeye çıkmayan sızıntılardır. Sızıntı debisi küçük olduğu için akustik yöntemlerle tespit edilmesi zordur. Sızıntının farkına varma, tespit ve onarım süreci oldukça uzun bir süreçtir ve sızıntı debisi çok küçük olsa da bu süreçte ciddi miktarda su kayıpları meydana gelmektedir [1], [5].
- **İhbar Edilmeyen Sızıntılar:** Borunun alt yüzeyinde meydana gelen ve basınç etkisinde yüzeye çıkmayan sızıntılardır. Sızıntıların farkına varılması için yer mikrofoni, dinleme çubuğu gibi akustik yöntemler kullanılmalıdır. Sızıntı tespiti yapılmazsa sızıntının farkına varılıp onarılma süresi artar. Birim zamanda kaybolan su miktarı belirsiz sızıntılardan fazla, ihbar edilen sızıntılardan azdır [1,5].
- **İhbar Edilen Sızıntılar:** Arızaların yüzeye çıkmasıyla meydana gelen ve büyük sızıntı debisine sahip sızıntılardır. Birim zamanda kaybolan su miktarı fazladır ancak sızıntı yüzeye çıktığı için tespit edilmesi de kolaydır. Sızıntının hacmi arızanın bildirilmesine, dağıtım sistemindeki basınca ve arızaya müdahale etme süresine bağlıdır [1], [5].



Şekil 1: Oluşma Şekline Göre Sızıntılar [6]

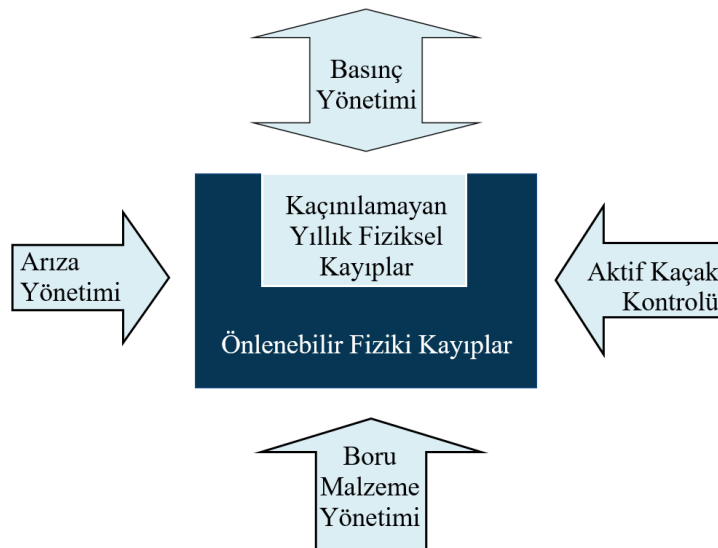
Adedeji vd. [1] yaptıkları çalışmada su dağıtım şebekelerinde uygulanan sızıntı tespit yöntemlerini farklı açılardan karşılaştırmıştır. Uygulanan mevcut yöntemlerin belirsiz sızıntıları etkili bir şekilde tespit edemediğini belirtmiştir. Belirsiz sızıntılardan meydana gelen su kayıplarını önlemek için sensörlerin kullanılması gerektiğini ve belirsiz sızıntıların tespiti için araştırmaların sayısının artması gerektiğini ifade etmiştir.

Tablo 1: IWA/AWWA Standart Su Dengesi

Sisteme Giren Su	İzinli Tüketim	Faturalandırılmış İzinli Su Tüketimi	Faturalandırılmış Ölçülmüş Kullanım	Gelir Getiren Su
		Faturalandırılmamış İzinli Su Tüketimi	Faturalandırılmamış Ölçülmüş Kullanım	
Su Kayıpları	Su Kayıpları	İdari Kayıplar	İzinsiz Tüketim	Gelir Getirmeyen Su
		Fiziki Kayıplar	Sayaç Ölçüm Hataları	
			Dağıtım Sistemindeki Kayıp ve Kaçaklar	
			Depolardaki Kayıp ve Kaçaklar	

Türkiye’de su kayıplarının kontrolü için Orman ve Su İşleri Bakanlığı tarafından 8 Mayıs 2014’te “İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemlerindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliği” 16 Temmuz 2015’te “Teknik Usuller Tebliği” yayımlanmıştır. Bu yönetmelikle su kanal idarelerinin su kayıp oranlarını belirlenen takvimde belli oranlara düşürmesi hedeflenmiştir. Ancak su kanal idarelerinin birbirinden farklı teknolojiler kullanması, belediyelerdeki su kayıp oranlarının farklı olması ve depo beslenme şekillerinin farklı olması gibi sebeplerden dolayı hedefe ulaşılmasının zor olması nedeniyle 31 Ağustos 2019’da çıkan “İçme Suyu Temin ve Dağıtım Sistemindeki Su Kayıplarının Kontrolü Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Yönelik Yönetmelik” ile hedeflenen değerler güncellenmiştir. 2014’te yayımlanan yönetmeliğin 9. maddesi, “Büyükşehir ve il belediyeleri su kayıplarını 2023 yılına kadar en fazla %30, 2028 yılına kadar ise en fazla %25 düzeyine; diğer belediyeler su kayıplarını 2023 yılına kadar en fazla %35, 2028 yılına kadar en fazla %30, 2033 yılına kadar ise en fazla %25 düzeyine indirmekle yükümlüdürler.” ifadesiyle değiştirilmiştir.

Dağıtım sistemlerinde verimlilik açısından temel prensip GGS oranını minimum seviyeye düşürerek sistem verimliliğini ve abone memnuniyetini yükseltmektir [5]. Fiziksel kayıpların azaltılması ve kontrol edilmesi amacıyla çeşitli yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemlerden en çok tercih edilenleri basınç yönetimi, aktif kaçak kontrolü, arıza yönetimi ve boru malzemesi yönetimidir [4]. Bu yöntemler sızıntı azaltmada birbirinden farklı sonuçlar vermekte olup saha uygulamaları için farklı ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla maliyet bakımından farklı sonuçlar ortaya çıkmaktadır [7].

**Şekil 2:** Fiziksel Kayıplarla Mücadele Yöntemleri

Samir vd. [8] yaptıkları çalışma sonucunda su kayıp azaltma yöntemleri içinde basınç yönetimi uygulamasının diğer yöntemlere kıyasla sızıntıları azaltmada en iyi sonucu verdiğini belirtmiştir. Basınç yönetimi uygulaması sızıntıları azaltma konusunda etkili bir çözüm ortaya koyarken sahada uygulanması durumunda finansal anlamda ciddi maliyetleri vardır [7]. Bu nedenle basınç yönetimi uygulanmadan önce ekonomik açıdan fayda maliyet analizi yapılması önerilmiştir [7], [8].

Faydaların finansal olarak belirlenmesinde Fixed and Variable Area Discharges (FAVAD) denklemi kullanılmaktadır. Ancak FAVAD denklemi ile hesaplanan finansal faydalar tüm basınç kontrol yöntemleri için (sabit çıkışlı, zaman ayarlı, debi ayarlı, kapalı devre) doğru sonucu vermemektedir. Bu nedenle tüm basınç kontrol yöntemlerinde faydaları doğru bir şekilde hesaplayan yönteme gereksinim vardır. Azalan su kaynakları karşısında şebekede oluşan sızıntıların azaltılması amacıyla pek çok sayıda basınç yönetimi çalışması vardır. Ancak tüm basınç kontrol yöntemlerinde oluşan sızıntıları tek bir yöntemle hesaplayan çalışma bulunmamaktadır.

Bu çalışma kapsamında basınç düzenlemesi yapılan ölçülebilir alt bölgenin basınç ve debi verileri alınarak teorik olarak FAVAD denklemiyle karşılaştırılmış ve şebekede oluşan sızıntıların doğru bir şekilde hesaplanmasını sağlayan yöntemin geliştirilmesi amaçlanmıştır.

2. Basınç Yönetimi

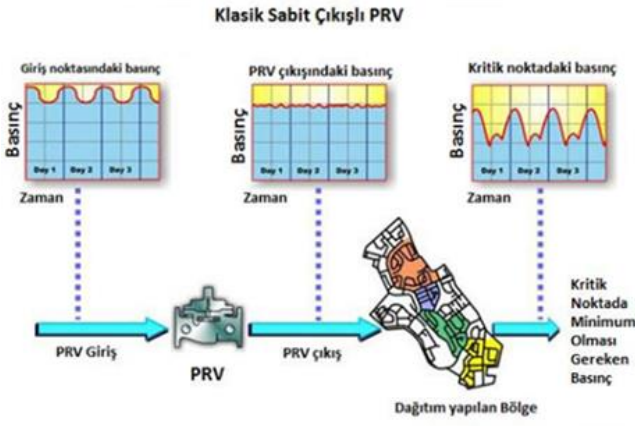
Su dağıtım şebekelerinin en verimli şekilde çalışması için yönetilmesi gereken en önemli faktörlerden biri basınçtır. Bölge topoğrafyasına bağlı olarak abonelere su yeterli ve etkin şekilde iletilerek, kritik noktalarda minimum basınç seviyesi sağlanarak ve kullanıcılara yeterli miktarda debiyi iletecek şekilde sistem basıncının düzenlenmesi gerekmektedir [9]. Su dağıtım şebekesi kritik noktaların basınç gereksinimini sağlayacak şekilde tasarlandığında su taleplerinin az olduğu zaman dilimlerinde sistem çalışması gerekenin üstünde bir basınçla çalışabilir. Bu durum basınç etkisinde su kayıp miktarlarının ve arıza sıklıklarının artmasına neden olmaktadır. Bu nedenle su dağıtım sistemlerinde basınç yönetimi uygulaması yapılmalıdır [9], [10].

Basınç yönetimi uygulaması için sınırları belirlenen, tek veya birden fazla girişi olan, kendi içinde değerlendirilen, karmaşık şebekelerin daha küçük ağlara bölünmesiyle elde edilen izole alt bölgelerin oluşturulması zorunludur. İzole alt bölgelerin oluşturulmasıyla fiziksel kayıpları azaltmak için uygulanan yöntemlerin uygulanması kolaylaşmaktadır. Elde edilen her bir izole alt bölgeye ölçülebilir alt bölge (ÖAB) adı verilir [4], [11], [12].

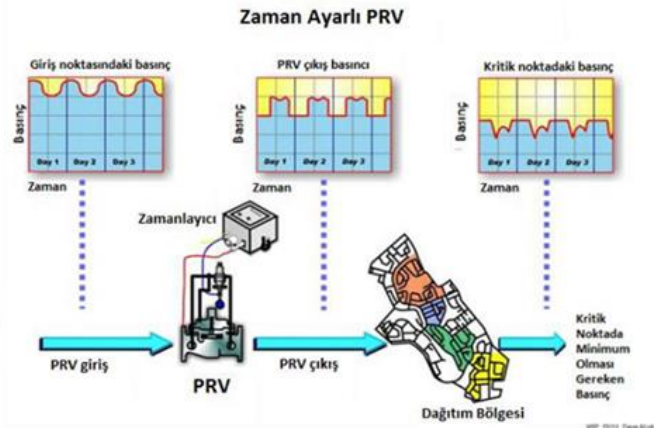
ÖAB planlanmasında sistemin işletilme kolaylığı ve yatırım maliyetleri göz önünde bulundurulmalıdır. Şebeke uzunluğu kısa planlanırsa maliyetler artarken uzun planlanırsa şebekenin işletilmesi zorlaşmaktadır. Literatürde şebeke uzunluğunun 4 km ile 30 km arasında seçilmesi gerektiği belirtilip ve ortalama 15 km olarak planlanabileceği belirtilmiştir. Servis bağlantı sayısının dikkate alınması gereken durumlar için de 500 ile 3000 bağlantı arasında olması gerektiği ifade edilmiştir [4].

Dağıtım sisteminde borular basınca duyarlı olup şebekede sızıntıyı azaltmak için farklı basınç kontrol yaklaşımları önerilmiş ve yapılan çalışmalar sonucu basınç düzenlemesinin dağıtım şebekelerinde kayıpların azaltılması için önemli olduğu kanıtlanmıştır [12]. Basınç kontrolünü sağlamak için çeşitli yöntemler uygulandığı görülmektedir.

- **Sabit Çıkışlı Basınç Kontrolü:** Sistem çıkış basıncı bölgedeki tüm noktaların su gereksinimini karşılayacak tek bir değere ayarlanır. Basınç düzenleyici vana (PRV) dışında cihaz kurulumu gerektirmediğinden uygun maliyetlidir ancak gündüz ve gece su kullanımlarında ciddi farklar olmasına karşın tek çıkış basınç değerine ayarlı olmasından su basıncı ayarlama konusunda esnek değildir. Bu nedenle basınç dalgalanmasının fazla olduğu durumlarda tercih sebebi değildir [13].
- **Zaman Ayarlı Basınç Kontrolü:** Su tüketimlerinin az veya fazla olduğu zaman dilimlerine göre sistem çıkış basıncı ayarlanır. Su talebinin yoğun olmadığı dönemlerde daha fazla basınç düşüşü sağlamak için ağa ek bir cihaz eklenir, bu cihaz basınç ayarlama esnekliği sunar. Sabit çıkışlı basınç kontrolüne göre kıyaslandığında daha fazla su tasarrufu sağlar ve maliyet açısından daha maliyetlidir [13].

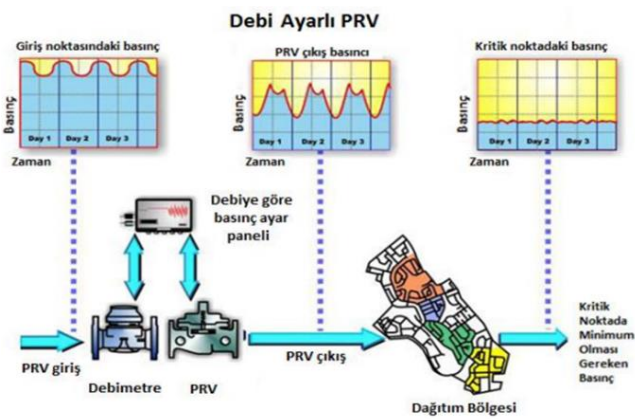


Şekil 3: Sabit Çıkışlı Basınç Kontrolü [13]

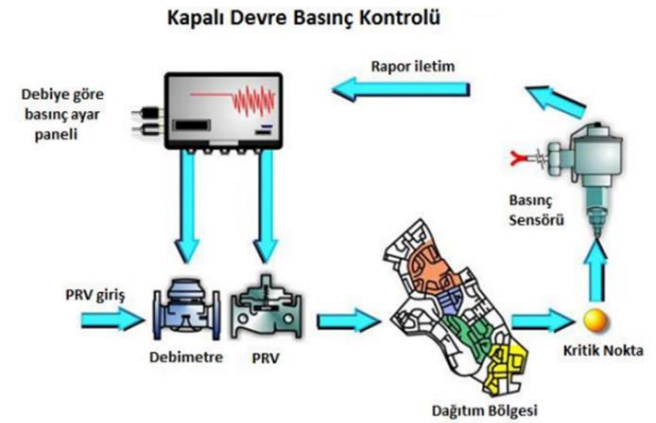


Şekil 4: Zaman Ayarlı Basınç Kontrolü [13]

- **Debi Ayarlı Basınç Kontrolü:** Su dağıtım şebekesindeki anlık su talep gereksinimlerine göre basınç ayarlanır. Basınç düzenleyici vana (PRV) dışında debimetre ve sistemin izlenmesi için ilave cihazlar gerekir. Diğer yöntemlere göre maliyeti fazladır ancak su talep gereksinimine göre çıkış basıncını düzenlemesiyle su kayıplarına karşı en etkili yöntemdir [13].
- **Kapalı Devre Basınç Kontrolü:** Su dağıtım şebekesinde kritik noktadaki basınç sürekli olarak sensörle ölçülür. Kritik noktada ölçülen basınç değeri basınç düzenleyici vanaya elektronik iletişimle bildirilir. Anlık veri almak için kullanılan basınç sensörü maliyeti artırsa da üst düzeyde kontrol sağlar [13].



Şekil 5: Debi Ayarlı Basınç Kontrolü [13]



Şekil 6: Kapalı Devre Basınç Kontrolü [13]

Thornton vd. [2] su kaybına neden olan unsurları açıklayarak yapılması gereken çalışmalardan bahsetmiştir. Su kaybindan dolayı ülkelerin finansal açıdan olumsuz etkilendiği, yapılacak çalışmaların su kaybının azaltılmasının yanı sıra ülke ekonomisini de olumlu yönde etkileyeceğini belirtmiştir. Farley vd. [4] yüksek orandaki gelir getirmeyen suyun kötü su yönetimini işaret ettiğini ve bunun sonucu olarak ülkelerin su temini için fazla harcama yapacağını belirtmiştir. Samir vd. [8] içme suyu dağıtım sistemlerinde düşük basıncın kullanıcıların talebini karşılamadığını ve basınç düzenleyici vana, türbin pompa, özel cihazlar kullanılması gerektiğini belirtmiştir. Lambert vd. [20] basınç düzenlemenin su dağıtım sistemindeki arızaya etkisini inceleyerek sistem çalışma basıncının düşürülmesinin arıza oranını da düşüreceğini belirtmiştir.

Literatürdeki çalışmalar basınç yönetimi stratejisinin fiziksel su kayıplarını doğrudan azaltacağını, su üretim maliyetini ve su iletim maliyetini düşüreceğini, birim zamanda tüketilen su hacmini azaltacağını, boru ekonomik ömrünü uzatacağını ve şebekede oluşacak arıza sayılarını azaltacağını göstermektedir [14].

Basınç yönetiminin sahada uygulanmasında faydalarının yanı sıra debimetre odası kurulması, saha testleri yapılması, ölçülebilir alt bölgelerin (ÖAB) oluşturulması, otomasyon sistemlerinin temin edilmesi gibi maliyetleri de vardır [15]. Bu sebeple fayda ve maliyetler finansal açıdan kıyaslanarak fayda maliyet analizi yapılmalıdır. Faydalar finansal olarak maliyetlerden daha fazla çıkıyorsa basınç yönetimi uygulanmalıdır [16].

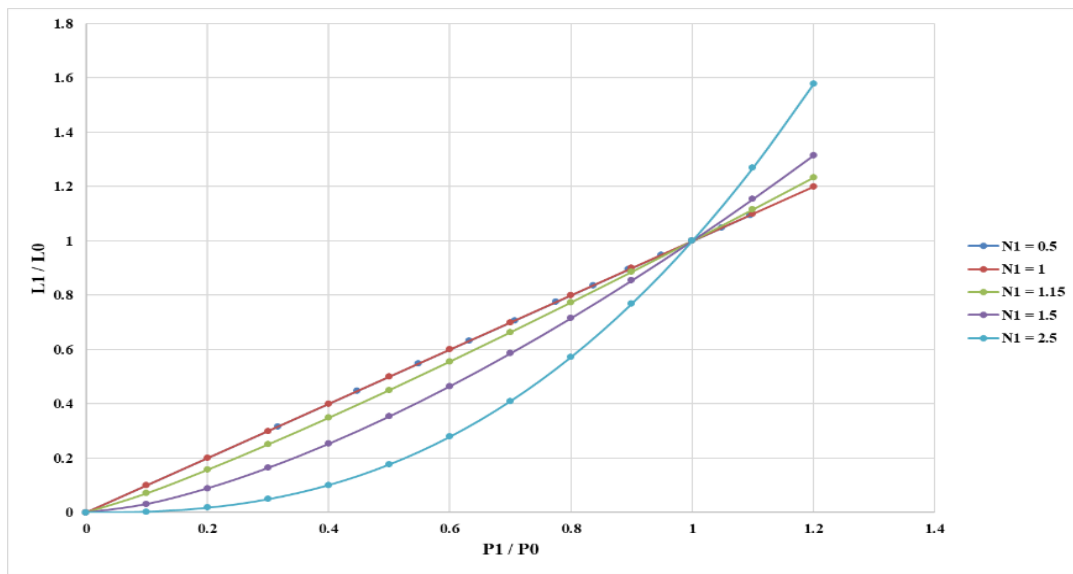
Bu yöntemler önemli maliyetler oluşturmaktadır ve sahada uygulanabilmesi için teknik, teknolojik ve personel alt yapısına ihtiyaç duyulmaktadır. Her bir basınç düzenleme yöntemi fayda ve maliyetler

bakımından farklılık gösterdiğinden bölgenin su tüketim karakteristiğine göre belirlenip uygulanabilir ve en doğru yöntem seçilmelidir [17]. Su dağıtım şebekesinde ekonomik açıdan en çok sızıntıyı önleyecek şekilde basınç düzenleme yönteminin seçilmesi gerektiğine dikkat çekilmiştir [17], [18].

3. Şebekedeki Sızıntıların Hesaplanması

İçme suyu dağıtım şebekelerinde sistem basıncından dolayı meydana gelen sızıntı ve arızalar kaçınılmazdır [1]. May [19], orifis denkleminde bağı olarak geliştirdiği Fixed and Varied Area Discharge (FAVAD) denklemiyle (Denklem 3.1) uygulama sahasındaki ölçümlere dayanarak basınç ve sızıntı arasında bir ilişki önermiştir. FAVAD denklemi basınç değişimleri, debi değişimleri ve boru malzemesi katsayısına bağı olarak geliştirilmiştir. Denklemde; L1 basınç düzenlemesi sonrasındaki sızıntı debisini, L0 basınç düzenlemesi yapılmadan önceki sızıntı debisini, P1 düzenlenmiş ortalama basınç değerini, P0 düzenlenmemiş basınç değerini, N1 boru malzemesi katsayısını ifade etmektedir.

$$L1/L0=(P1/P0)^{N1} \quad (3.1)$$

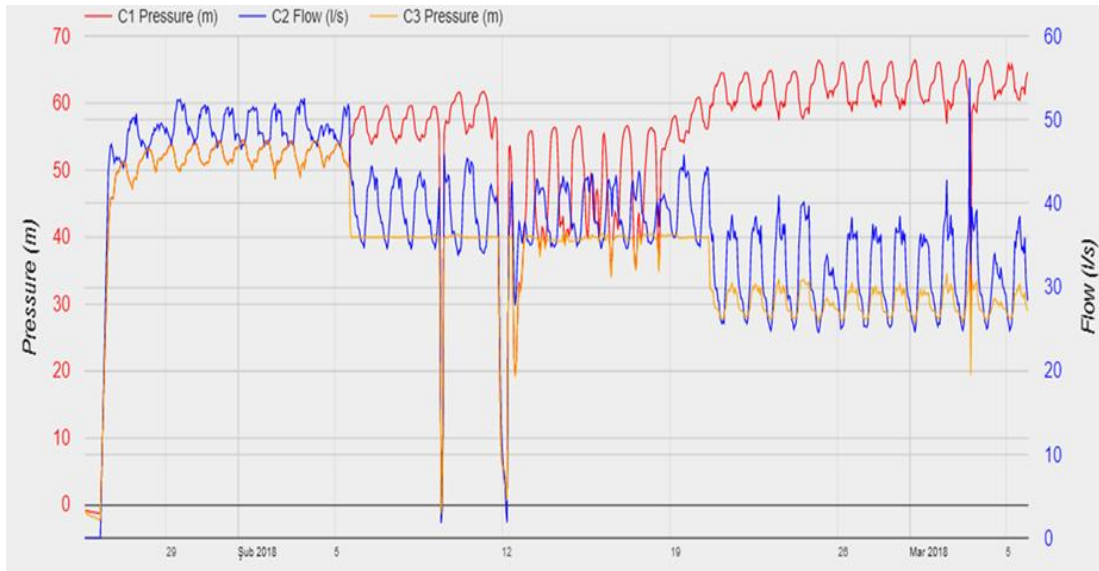


Şekil 7: N1 Boru Malzemesi Katsayısının Sızıntıya Etkisi

Yapılan çalışmalar N1 boru malzemesi katsayısının 0.5 ile 1.5 arasında değiştiğini göstermektedir [20]. Yılmaz vd. [21] dağıtım sisteminde farklı boru malzemelerinin (asbest, düktil, pvc vb.) seçilmesinin sızıntılar üzerinde etkisinin farklı olacağını belirtmiştir.

FAVAD denklemi içme suyu dağıtım sisteminde basınç düzenlenmesi yapılmasıyla su akış debisindeki ve arıza oluşumundaki değişimleri teorik olarak hesaplamaya yardımcı olmaktadır [22]. Denklemden teorik olarak hesaplanan sonuç ve saha uygulamasındaki sonuç kıyaslandığında dağıtım şebekelerinde basınç kontrolünü sağlamak için kullanılan sabit çıkışlı basınç kontrolünde yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Ancak FAVAD denklemi zaman ayarlı ve debi ayarlı basınç kontrolü için teorik anlamda sahaya yakın sonuç vermemektedir.

Sızıntıların doğru bir şekilde tahmin edilmesine yönelik olarak yapılan bu çalışmada Malatya MASKİ’de aktif olarak çalışan Sanayi ölçülebilir alt bölgesine ait saha uygulamasına ait basınç-debi grafiği alınmıştır.



Şekil 8: Basınç-Akış Grafiği

Ölçülebilir alt bölgede basınç yönetimi uygulanmadan önce ortalama basıncın (P0) 51 m, ortalama giriş debisinin (L0) 50 L/s dolaylarında ölçüldüğü görülmektedir. İlk olarak sabit çıkışlı basınç kontrolü uygulanmış ve basınç yönetimi sonrası ortalama basınç değeri (P1) 40 m'ye, ortalama giriş debisi (L1) ise 40 L/s seviyelerine düşmüştür. Yaklaşık olarak ortalama basınçta 11 m'lik bir azalmayla 10 l/s'lik su kaybı azaltılmıştır. Bu da debide %20'lik bir azalma meydana getirmiştir. Şebekede PVC boru malzemesi seçildiği bilinmektedir.

Tablo 2: Teorik Olarak Sızıntıların Hesaplanması

BASINÇ-DEBİ İLİŞKİSİ		
Debi Değişiminin Hesaplanması	Değer	Birim
BY Öncesi Ölçülen Debi (L0)	50	L/s
Sistem İlk Basıncı (P0)	51	m
Sistem Son Basıncı (P1)	40	m
Şebeke Ağırlıklı Boru Cinsi	PVC	-
Boru Malzemesi Katsayısı (N1)	1.5	-
BY Sonrası Ölçülen Debi (L1)	34.73	L/s
Net Fayda	15.27	L/s
Net Fayda	30.54	%

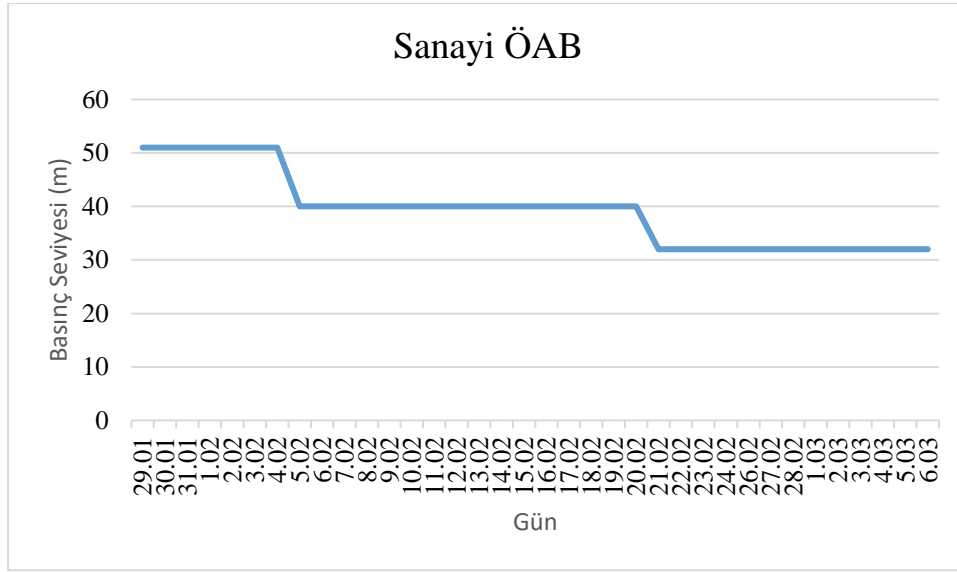
Debi ve basınç değişimlerini öngören FAVAD denklemi yaklaşımıyla teorik olarak hesaplama yapılmıştır [19]. Teorik olarak debide 15.27 L/s azalma hesaplanırken saha uygulamasında ortalama 10 L/s'lik bir azalma meydana gelmiştir. Bu da %34.51'lik bir sapmaya denk gelmektedir (Tablo 3). Bu farkın sebebi şebekenin dinamik yaşayan bir sistem olmasından kaynaklanmaktadır. Sonuçlar basınç yönetimi uygulamasının sızıntı azaltmada önemli bir araç olduğunu da göstermektedir [14], [23].

Tablo 3: Net Faydaların Karşılaştırılması

Debi Değişiminin Hesaplanması	Değer	Birim
Teorik Hesaplanan Net Fayda	15.27	L/s
Saha Uygulamasındaki Net Fayda	10.00	L/s
Net Fayda Farkı	5.27	L/s
Net Fayda Farkı	34.51	%

Grafikten görüldüğü üzere (Şekil 8) dağıtım sistemi 2 hafta sabit çıkışlı basınç kontrolünde çalıştıktan sonra basınç düzenleme yöntemi değiştirilip debi ayarlı basınç kontrolünde işletilmeye başlanmıştır.

Ölçülebilir alt bölgede basınç yönetimi uygulanmadan önce ortalama basıncın (P0) 51 m, ortalama giriş debisinin (L0) 50 l/s dolaylarında ölçüldüğü görülmektedir.



Şekil 9: Ortalama Basınç Değişimleri

Sabit çıkışlı basınç kontrolünü dikkate almadan basınç yönetimi öncesi verilerle kıyaslandığında ortalama basınç değeri (P1) 32 m'ye, ortalama giriş debisi 35 L/s seviyelerine düşmüştür. Ortalama basınçta 19 m'lik bir azalmayla 15 L/s'lik su kaybı azaltılmıştır. Bu da debide %35.19'lük azalmaya tekabül etmektedir.

Tablo 4: Teorik Olarak Sızıntıların Hesaplanması

BASINÇ-DEBİ İLİŞKİSİ		
Debi Değişiminin Hesaplanması	Değer	Birim
BY Öncesi Ölçülen Debi (L0)	50	L/s
Sistem İlk Basıncı (P0)	51	m
Sistem Son Basıncı (P1)	32	m
Şebeke Ağırlıklı Boru Cinsi	PVC	-
Boru Malzemesi Katsayısı (N1)	1.5	-
BY Sonrası Ölçülen Debi (L1)	24.85	L/s
Net Fayda	25.15	L/s
Net Fayda	50.30	%

Debi ve basınç değişimlerini öngören FAVAD denklemi yaklaşımıyla teorik olarak hesaplama yapılmıştır [19]. Teorik olarak debide 25.15 L/s azalma hesaplanırken saha uygulamasında ortalama 15 L/s'lik bir azalma meydana gelmiştir. Bu da %40.36'lık bir sapmaya denk gelmektedir (Tablo 5).

Tablo 5: Net Faydaların Karşılaştırılması

Debi Değişiminin Hesaplanması	Değer	Birim
Teorik Hesaplanan Net Fayda	25.15	L/s
Saha Uygulamasındaki Net Fayda	15.00	L/s
Net Fayda Farkı	10.15	L/s
Net Fayda Farkı	40.36	%

Sabit çıkışlı basınç kontrolünü dikkate alarak basınç yönetimi uygulandıktan sonra elde edilen verilerle kıyaslandığında ortalama 40 m'de çalışan sistem çıkış basınç değeri (P1) ortalama 32 m'ye, ortalama giriş debisi (L1) 40 L/s'den 35 L/s seviyelerine düşmüştür. Yaklaşık olarak ortalama basınçta 8 m'lik bir azalmayla 5 L/s'lik su kaybı azaltılmıştır. Bu da debide %12.5'lük bir azalma meydana getirmiştir.

Tablo 6: Teorik Olarak Sızıntıların Hesaplanması

Debi Değişiminin Hesaplanması	Değer	Birim
BY Öncesi Ölçülen Debi (L0)	40	L/s
Sistem İlk Basıncı (P0)	40	m
Sistem Son Basıncı (P1)	32	m
Şebeke Ağırlıklı Boru Cinsi	PVC	-
Boru Malzemesi Katsayısı (N1)	1.5	-
BY Sonrası Ölçülen Debi (L1)	28.62	L/s
Net Fayda	11.38	L/s
Net Fayda	28.45	%

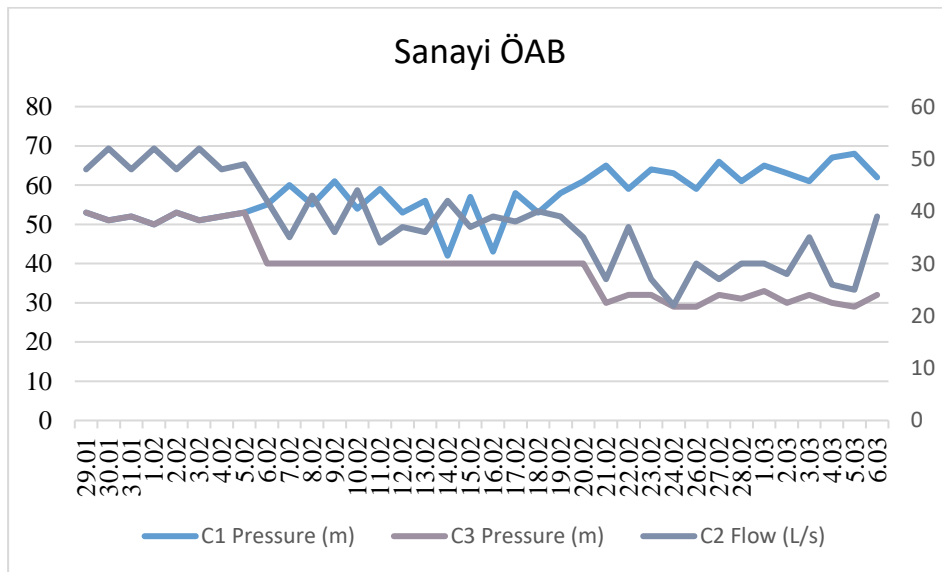
Debi ve basınç değişimlerini öngören FAVAD denklemi yaklaşımıyla teorik olarak hesaplama yapılmıştır [19]. Teorik olarak debide 11.38 L/s azalma hesaplanırken saha uygulamasında ortalama 5 L/s'lik bir azalma meydana gelmiştir. Bu da %56.06'lık bir sapmaya denk gelmektedir (Tablo 7).

Tablo 7: Net Faydaların Karşılaştırılması

Debi Değişiminin Hesaplanması	Değer	Birim
Teorik Hesaplanan Net Fayda	11.38	L/s
Saha Uygulamasındaki Net Fayda	5.00	L/s
Net Fayda Farkı	6.38	L/s
Net Fayda Farkı	56.06	%

Yapılan hesaplamalar sızıntı ve basınç arasında ilişki kurmaya olanak sağlayan FAVAD denklemi (Denklem 1) ile yapılan teorik hesaplamalardan elde edilen sızıntı miktarları saha uygulamasına göre karşılaştırıldığında yakın sonuçlar vermesi bakımından sabit çıkışlı basınç kontrolünün diğer basınç kontrol yöntemlerine göre daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir. İlgili hesaplamalar zaman ayarlı ve debi ayarlı basınç kontrol yöntemleri için yapıldığında uygulama ve teori anlamında ciddi farklar meydana gelmektedir.

Bu sebeple Malatya MASKİ'den verisi alınan Sanayi ölçülebilir alt bölgesine ait debi ayarlı basınç kontrolüyle çalışan zaman dilimi için Şekil 8'den ilgili basınç ve akış verileri alınarak grafik oluşturulmuş (Şekil 16) ve alansal değişimler dikkate alınarak yeni bir yöntemle hesaplama yoluna gidilmiştir.

**Şekil 10:** Sanayi ÖAB Modellenmesi

Modellenen grafiğin denklemi çıkarılıp alan hesabı yöntemine gidilmiştir. Debi ayarlı basınç kontrolü ve sabit çıkışlı basınç kontrolüyle çalışan zaman dilimleri denklemde yerine koyularak ilgili basınç kontrol yöntemleri için su tüketim miktarları hesaplanmıştır (Tablo 8).

Tablo 8: Debi Değişimlerinin Hesaplanması

$y=$	-0.6937	$x+$	29970	
$F(x)=$	-0.6937	$/2x^2+$	29970	$*x+c$

Debi Ayarlı Basınç Kontrolü Debi Hesaplanması

x	$F(x)$	x	$F(x)$
20	599261.26	5	149841.32
32	958684.83	19	569304.78
Debi (L/s)	359423.6	Debi (L/s)	419463.46

Hesaplanan debi değişimleri doğrultusunda basınç yönetimi öncesi ve sonrası su tüketimleri dikkate alınarak net faydalar hesaplanmıştır (Tablo 9).

Tablo 9: Net Faydaların Hesaplanması

Debi Değişiminin Hesaplanması	Değer	Birim
Basınç Yönetimi Öncesi Toplam Su Tüketimi	419463.46	L/s
Basınç Yönetimi Sonrası Toplam Su Tüketimi	359423.57	L/s
Net Fayda Farkı	60039.89	L/s
Net Fayda Farkı	14.31	%

Sabit çıkışlı basınç kontrolünü dikkate alarak debi ayarlı basınç kontrolü uygulandıktan sonra ortalama basınçta yaklaşık olarak 8 m'lik bir azalmayla 5 L/s'lik su kaybı azaltılmıştır. Bu da debide %12.5'lük bir azalma meydana getirmiştir. Grafik yardımıyla yapılan net fayda hesaplamasında %14.31'lik bir değer elde edilmiştir. FAVAD denklemi ((Denklem(1)) ile yapılan hesaplama sonucu %28.45'lik bir net fayda hesaplanmış (Tablo 6) ve saha uygulamasıyla %56.06'lık bir sapma meydana getirmişti (Tablo 7).

Tablo 10: Net Faydaların Karşılaştırılması

Debi Değişiminin Hesaplanması	Değer	Birim
Teoik Hesaplanan Net Fayda	14.31	%
Saha Uygulamasındaki Net Fayda	12.50	%
Net Fayda Farkı	1.81	%

Değerlerden görüldüğü üzere FAVAD denklemi debi ayarlı basınç kontrolü için sahaya yakın sonuçlar vermezken alanları dikkate alarak yapılan hesaplamada %1.81'lik sapmayla (Tablo 10) sahaya daha yakın sonuçlar elde edilmiştir.

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, farklı basınç kontrol yöntemleri için sızıntılardan elde edilecek net faydalar FAVAD denklemi ve geliştirilen yeni hesaplama yöntemiyle karşılaştırılmıştır. Sahadaki bilinen sonuçlar FAVAD denkleminde göre karşılaştırıldığında en yakın sonucu sabit çıkışlı basınç kontrolü uygulamasının verdiği görülmüştür. Debi ayarlı basınç kontrolüne göre uygulama sahası ve teorik anlamda karşılaştırılmaya gidildiğinde teorik olarak hesaplanan değerler saha uygulamasından çok farklı sonuç verdiği görülmüştür. Bu durum basınç yönetimi uygulamasından önce fayda ve maliyetlerin hesaplanması açısından teorik olarak basınç ve sızıntı arasında ilişki kuran Fixed and Variable Area Discharges (FAVAD) denkleminin yalnızca sabit çıkışlı basınç kontrolü için sağlıklı bir ilişki kurabileceğini ve diğer yöntemler için yetersiz olduğunu göstermektedir. Bu sebeplerle tüm basınç düzenleme yöntemleri için sızıntılardan elde edilecek faydayı hesaplayan yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntem alansal basınç değişimlerini dikkate alarak debi değişimlerini istenilen zaman diliminde hesaplayan bir algoritma olarak tasarlanmıştır. Yöntemle aynı izole alt bölgede sızıntılar hesaplanmıştır. Sonuçlar geliştirilen yöntemin uygulama sahasına yakın sonuç verdiğini göstermiştir. Geliştirilen bu hesaplama yönteminin basınç yönetimi uygulamasında fayda ve

maliyetlerin kıyaslanması, basınç düzenlemenin yapılıp yapılmaması konusunda önemli bir karar verici olması düşünülmektedir.

Kaynakça

- [1] K. B. Adedeji, Y. Hamam, B. T. Abe, and A. M. Abu-Mahfouz, "Towards Achieving a Reliable Leakage Detection and Localization Algorithm for Application in Water Piping Networks: An Overview," *IEEE Access*, vol. 5, pp. 20272–20285, 2017, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2752802.
- [2] J. Thornton, R. Sturm, and G. K. P.E., *Water Loss Control*, 2nd edition. New York: The McGraw-Hill Companies, 2008.
- [3] J. Thornton and A. O. Lambert, "Pressure management extends infrastructure life and reduces unnecessary energy costs," 2007.
- [4] M. Farley *et al.*, "The Manager's Non-Revenue Water Handbook A Guide to Understanding Water Losses," 2008.
- [5] M. Firat, S. Yilmaz, A. Ateş, and Ö. Özdemir, "Determination of Economic Leakage Level with Optimization Algorithm in Water Distribution Systems," *Water Economics and Policy*, vol. 07, no. 03, Jul. 2021, doi: 10.1142/S2382624X21500144.
- [6] F. J. Tardelli, "Controle E Redução De Perdas Nos Sistemas Públicos De Abastecimento De Água Posicionamento E Contribuições Técnicas Da Abes," 2015.
- [7] T. AL-Washali, S. Sharma, and M. Kennedy, "Methods of Assessment of Water Losses in Water Supply Systems: a Review," *Water Resources Management*, vol. 30, no. 14, pp. 4985–5001, Nov. 2016, doi: 10.1007/s11269-016-1503-7.
- [8] N. Samir, R. Kansoh, W. Elbarki, and A. Fleifle, "Pressure control for minimizing leakage in water distribution systems," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 56, no. 4, pp. 601–612, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.aej.2017.07.008.
- [9] AWWA, *Water Audits and Loss Control Programs-M36*, Fourth Edition. Denver: American Water Works Association, 2016.
- [10] A. Lambert and J. Thornton, "Pressure : Bursts Relationships : Influence of Pipe Materials, Validation of Scheme Results and Implications of Extended Asset Life," *Water Loss*, vol. 2, no. 11, 2012.
- [11] L. S. Araujo, H. Ramos, and S. T. Coelho, "Pressure Control for Leakage Minimisation in Water Distribution Systems Management," *Water Resources Management*, vol. 20, no. 1, pp. 133–149, Feb. 2006, doi: 10.1007/s11269-006-4635-3.
- [12] B. Ulanicki, P. L. M. Bounds, J. P. Rance, and L. Reynolds, "Open and closed loop pressure control for leakage reduction," *Urban Water*, vol. 2, no. 2, pp. 105–114, Jun. 2000, doi: 10.1016/S1462-0758(00)00048-0.
- [13] R. S. Mckenzie and W. Wegelin, *Implementation of pressure management in municipal water supply systems*. IWA 0309, 2009.
- [14] A. O. Lambert, T. G. Brown, M. Takizawa, and D. Weimer, "A review of performance indicators for real losses from water supply systems," *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*, vol. 48, no. 6, pp. 227–237, Sep. 1999, doi: 10.2166/aqua.1999.0025.
- [15] B. Charalambous, D. Foufeas, and N. Petroulias, "Leak detection and water loss management," 2014.
- [16] F. J. Salguero, R. Cobacho, and M. A. Pardo, "Unreported leaks location using pressure and flow sensitivity in water distribution networks," *Water Supply*, vol. 19, no. 1, pp. 11–18, Feb. 2019, doi: 10.2166/ws.2018.048.
- [17] V. Kanakoudis and K. Gonelas, "The Optimal Balance Point between NRW Reduction Measures, Full Water Costing and Water Pricing in Water Distribution Systems. Alternative Scenarios Forecasting the Kozani's WDS Optimal Balance Point," *Procedia Eng*, vol. 119, pp. 1278–1287, 2015, doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.996.
- [18] S. Yilmaz, M. Firat, A. Ateş, and Ö. Özdemir, "Analyzing the economic water loss level with a discrete stochastic optimization algorithm by considering budget constraints," *Journal of Water Supply: Research and Technology—Aqua*, vol. 71, no. 7, pp. 835–848, Jul. 2022, doi: 10.2166/aqua.2022.060.
- [19] M. John Henry, *Pressure dependent leakage*. World Water and Environmental Engineering, 1994.

- [20] S. Ahopelto and R. Vahala, “Cost–Benefit Analysis of Leakage Reduction Methods in Water Supply Networks,” *Water (Basel)*, vol. 12, no. 1, p. 195, Jan. 2020, doi: 10.3390/w12010195.
- [21] S. Yilmaz, A. Ateş, M. Firat, Ö. Özdemir, and H. Cinal, “Determination of economic loss levels in water distribution systems with different network conditions by a district stochastic optimization algorithm,” *Water Supply*, vol. 23, no. 3, pp. 1349–1361, Mar. 2023, doi: 10.2166/ws.2023.047.
- [22] N. A. Barton, S. H. Hallett, S. R. Jude, and T. H. Tran, “An evolution of statistical pipe failure models for drinking water networks: a targeted review,” *Water Supply*, vol. 22, no. 4. IWA Publishing, pp. 3784–3813, Apr. 01, 2022. doi: 10.2166/ws.2022.019.
- [23] M. Girard and R. A. Stewart, “Implementation of Pressure and Leakage Management Strategies on the Gold Coast, Australia: Case Study,” *J Water Resour Plan Manag*, vol. 133, no. 3, pp. 210–217, May 2007, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9496(2007)133:3(210).
- [24] “Malatya Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (MASKİ),” Malatya, 2022.



Research Article

Performance of Vanadium Pentoxide Thin Film as Hole Conduction Layer in Perovskite Based Solar Cell

Fatih Ongül¹ *

¹ Department of Electricity and Energy, Ardahan Vocational School of Technical Sciences, Ardahan University, 75002, Ardahan, Türkiye

* Correspondence: fatihongul@ardahan.edu.tr

Received: 13 November 2023; Accepted: 4 December 2023; Published: 31 December 2023

Abstract: Interest in clean, sustainable energy sources has increased due to the fact that traditional fossil energy resource reserves will be depleted in the near future and that energy production technologies that use existing fossil fuels cause global warming and other environmental threats. As a result, the sun, a long-lasting natural resource, is being explored as an alternative energy source. Solar cells are devices that convert sunlight directly into electrical energy. When perovskites were first introduced in solar cells in 2009, the efficiency was 3.8%. However, intensive research and development efforts in recent years have pushed the efficiency in this field to 25.7% by 2023. Poly(3,4-ethylenedioxythiophene):poly(styrene-sulfonate) (PEDOT:PSS) is commonly used as the hole transport material in the inverted structure. Due to PEDOT:PSS's low crystallinity, low mobility, and its acidic and hygroscopic nature, various inorganic materials are employed as hole transport materials to enhance stability. Vanadium oxides (V_2O_3 , VO_2 and V_2O_5) are used in a wide variety of applications, including solar cells. Vanadium pentoxide (V_2O_5) thin films were obtained from solution by spin coating method and their structural and optical properties were examined. The photovoltaic performance of PEDOT:PSS and V_2O_5 thin films as hole conduction layer in inverted (p-i-n) planar structure perovskite solar cells was determined.

Keywords: perovskite solar cells, planar p-i-n structures, hole conduction layers, V_2O_5 thin films

Araştırma Makalesi

Perovskit Tabanlı Güneş Hücresinde Vanadyum Beşoksit İnce Filmin Deşik İletim Tabakası Olarak Performansı

Öz: Geleneksel fosil enerji kaynak rezervlerinin yakın gelecekte tükenerek olması ve ayrıca son yıllarda mevcut fosil yakıtları kullanan enerji üretim teknolojilerinin küresel ısınma ve diğer çevresel tehditlere yol açması nedeniyle, temiz, sürdürülebilir enerji kaynaklarına ilgi artmıştır. Bundan dolayı, özellikle uzun ömürlü doğal bir kaynak olan güneş, alternatif bir enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Perovskitler ilk kez 2009 yılında güneş hücrelerinde kullanıldığı zaman verim %3.8 iken, son yıllarda yapılan yoğun araştırma ve geliştirme sonucunda 2023 yılına gelindiğinde bu alanda verim %25.7'e ulaşmış durumdadır. Tersine çevrilmiş yapıda deşik iletim materyali olarak çoğunlukla Poly(3,4ethylenedioxythio phene):poly(styrene-sulfonate) PEDOT:PSS kullanılmaktadır. PEDOT:PSS'in düşük kristallliği, düşük mobilitesi, asidik ve hidroskopik doğası nedeniyle kararlılığını arttırmak amacıyla farklı inorganikler deşik iletim materyali olarak kullanılmaktadır. Vanadyum oksitler (V_2O_3 , VO_2 ve V_2O_5) güneş hücreleri de dahil olmak üzere çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Vanadyum beşoksit (V_2O_5) ince filmleri çözeltiden dönele kaplama yöntemiyle elde edilerek yapısal ve optik özellikleri incelenmiştir. Tersine çevrilmiş (p-i-n) düzlemsel yapıda perovskit güneş hücrelerinde PEDOT:PSS ve V_2O_5 ince filmlerin deşik iletim tabakası olarak fotovoltaiik performansı belirlendi.

Anahtar Kelimeler: perovskit güneş hücreleri, düzlemsel p-i-n yapıları, deşik iletim tabakaları, V_2O_5 ince filmler.

Citation: F. Ongül, "Performance of Vanadium Pentoxide Thin Film as Hole Conduction Layer in Perovskite Based Solar Cell", *Journal of Studies in Advanced Technologies*, vol. 1, no. 2, pp. 67-75, Dec 2023, doi: 10.5281/zenodo.10445044

1. Giriş

Enerji üretiminde kullanılan geleneksel fosil enerji kaynakları hızla tükenmekte, diğer yandan sınırlı rezervlere sahip bu kaynaklara olan ihtiyaç gün geçtikçe artmaktadır. Enerji üretim teknolojilerinde fosil yakıtların kullanımı küresel ısınma ve diğer çevresel sorunlara yol açması nedeniyle sürdürülebilir temiz enerji kaynaklarına olan ilgi artmıştır. Bundan dolayı özellikle uzun ömürlü doğal bir kaynak olan güneş, alternatif bir enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Güneş hücreleri, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren aygıtlardır. Perovskitler ilk kez 2009 yılında güneş hücrelerinde kullanıldığı zaman verim %3.8 iken, son yıllarda yapılan yoğun araştırma ve geliştirme sonucunda 2023 yılına gelindiğinde bu alanda verim %25.7'e ulaşmış durumdadır [1], [2]. Perovskitlerin optoelektronik ve yapısal özelliklerinin kontrol edilebilmesi ve ayarlanabilmesi dışında, elektron ve deşik iletim tabakalarının özellikleri ve ara yüzleri de perovskit güneş hücresi performansını iyileştirmek için kritik öneme sahiptir [3]-[6]. Perovskit güneş hücrelerinde deşik iletim tabakası olarak küçük moleküller, organik polimerler ve inorganikler kullanılmıştır [7]. Küçük moleküllerde özellikle de spiro-MeOTAD yüksek verimli perovskit güneş hücrelerinde deşik iletim materyali olarak ön plana çıkmıştır [8]. Metal-oksit malzemeler geniş bant aralıkları, yüksek optik geçirgenliği, yüksek iş fonksiyonları, yüksek mobiliteleri ve karalılıkları nedeniyle perovskit tabanlı güneş hücrelerinde deşik iletim tabakası olarak kullanılmaktadır. Perovskit hücre mimarisinde tersine çevrilmiş düzlemsel yapıda deşik iletim materyali olarak çoğunlukla Poly(3,4ethylenedioxythio phene):poly(styrene-sulfonate) PEDOT:PSS kullanılmaktadır [9]. PEDOT:PSS'in düşük kristallığı, düşük mobilitesi asidik ve hidroskopik doğası nedeniyle kararlılığı ve aygıt verimini arttırmak amacıyla CuSCN, CuO, MoO_x ve NiO_x gibi inorganikler deşik iletim materyali olarak kullanılmaktadır ve bunlar arasında NiO_x ön plana çıkmıştır. Perovskit güneş hücrelerinde deşik iletim tabakası olarak kullanılan metal oksitler arasında en yoğun NiO_x araştırılmış ve incelenmiştir [10]. Ayrıca Perovskit tabanlı güneş hücrelerinde perovskit ile elektron ve deşik taşıma malzemeleri arasındaki bant hizalanması problemleri güneş hücrelerinde açık devre geriliminde (V_{oc}) düşüşe sebep olmaktadır bundan dolayı PEDOT:PSS yerine metal oksitlerin kullanımı daha uygun olmaktadır [11].

Vanadyum oksitler (V₂O₃, VO₂ ve V₂O₅), enerji depolaması, kataliz, ışık saçan diyotlar ve güneş hücreleri de dahil olmak üzere çok çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır [12], [13]. Vanadyum oksit (V₂O_x), tersine çevrilmiş düzlemsel heteroeklem perovskit güneş hücrelerinde PEDOT:PSS/perovskit ara yüzünde ara tabaka olarak kullanılmıştır [14]. V₂O_x'in perovskit hücre mimarisinde (ITO/PEDOT:PSS/V₂O_x/CH₃NH₃PbI₃) PEDOT:PSS/perovskit ara yüzünde ara tabaka olarak kullanıldığında iş fonksiyonun 5.1 eV dan 5.4 eV'a arttığı, taşıyıcı yük rekombinasyonunu azaldığı belirtilmiş ve PEDOT:PSS ile karşılaştırıldığında açık devre geriliminin, dolum faktörünün ve dolayısıyla hücre veriminin arttığı rapor edilmiştir [15]. Sb₂S₃ tabanlı inorganik güneş hücrelerinde vanadyum beşoksit (V₂O₅) deşik iletim tabakası olarak kullanılarak inorganik düzlemsel heteroeklem güneş hücrelerinde %4.8 verime ulaşıldığı ve ayrıca organik deşik iletim malzemesi ile karşılaştırıldığında neme karşı kararlılığında önemli bir iyileşme sağlandığı rapor edilmiştir [16]. Vanadyum beşoksit (V₂O₅), tersine çevrilmiş düzlemsel heteroeklem perovskit güneş hücrelerinde ITO/PEDOT:PSS ara yüzünde deşik iletim tabakasının modifikasyonu için kullanılmıştır. V₂O₅ ile modifiye edilmesi sayesinde fotonları yansıtarak fotoaktif perovskit katmandaki ışık soğurumunu artırdığı, asidik PEDOT:PSS ince filminin ITO elektrotunu aşındırmasını önlediği böylece hücre yapısının kararlılığını arttırdığı belirtilmiş. ITO/V₂O₅/PEDOT:PSS/CH₃NH₃PbI₃/PCBM/4,7-diphenyl-1,10-phenanthroline/Ag konfigürasyonunda ITO/PEDOT:PSS arasında V₂O₅ ve PCBM/Ag arasında Bphen kullanılmasıyla deşik ve elektron iletim tabakalarının modifikasyonu sayesinde hücre veriminin ve kararlılığın arttığı rapor edilmiştir [17].

Bu çalışmada, vanadyum beşoksit (V₂O₅) çözeltisi yalnızca bir adımda hidrotermal yöntemiyle hazırlanarak dönel kaplama tekniği ile V₂O₅ ince filmleri üretildi ve ısıl işlemin V₂O₅ ince filmlerin yapısal ve optik özelliklerine etkisi belirlendi. Perovskit tabanlı güneş hücrelerinde PEDOT:PSS yerine V₂O₅ ince filmleri deşik iletim tabakası olarak kullanıldı ve elde edilen cihazların fotovoltaiik parametreleri belirlendi.

2. Materyal ve Yöntemler

Cam ve ITO kaplı cam altlıklar 1.5x1.5 cm² boyutlarında kesildi. İndiyum kalay oksit (ITO) kaplı cam altlıklar optik geçirgen iletken tabaka olarak kullanıldı. Üst metal kontak kaplandığında ITO ile kısa devre

olmaması açısından, ITO kaplı camların bir kısmına HCl:HNO₃:H₂O (4.6:0.4:5) oranlarında asit çözeltisi kullanılarak dağlama işlemi uygulandı. Cam ve ITO kaplı altlıkların yüzeyleri distile su, aseton ve izopropil alkol kullanılarak ultrasonik banyo yardımıyla temizlendi. Altlıklara film kaplanmadan önce altlıkların yüzeyine UV Ozon 10 dakika uygulanarak yüzey temizliği yapıldı.

V₂O₅ çözeltisi yalnızca bir adımda hidrotermal yöntemiyle hazırlandı. V₂O₅ çözeltisi, 50 mg V₂O₅ tozunun (%99.99) 3 mL deiyonize su içine manyetik karıştırıcı ile çözünmesi sağlandı sonra manyetik karıştırıcı sıcaklığı 50 °C'ye ayarlanarak sabit sıcakta 500 µl H₂O₂ (%30) damla damla yavaşça çözeltiye eklenerek hazırlandı [18]. Çözeltinin renginin başlangıçta sarı, zamanla sarımsı-turuncu hale gelmesi ve son olarak 24 saat karanlıkta bekletildikten sonra V₂O₅ hidrat çözeltisinin karakteristiği olan turuncudan koyu kırmızıya değişimi gözlemlendi.

V₂O₅ çözeltileri dönele kaplama yöntemi ile altlıklar üzerine 2000 rpm'de 60 s kaplandı. V₂O₅ ince filmlere ısıtılma işlemi etkisini belirlemek amacıyla kaplanan V₂O₅ ince filmlere atmosferik ortamda 100 °C'de ve 300 °C'de 30 dakika ısıtılma işlemi uygulandı. Isıtılma işlemi uygulanan V₂O₅ ince filmlerin yapısal analizi X-Işınım Kırınım yöntemi (XRD) kullanılarak PANalytical Empyrean XRD cihazıyla yapıldı.

İnce Filmlerin optik soğurma ölçümleri, "Perkin Elmer" UV-VIS spektrometresi kullanılarak yapılmıştır. V₂O₅ ince filmler 300-1100 nm dalgaboyu aralığında optik soğurma spektrumları incelenmiştir. V₂O₅ ince filmler direkt geçişli band yapısına sahip olduğundan ince filmlerin dalga boyuna bağlı soğurma katsayısından $(\alpha h\nu)^2=f(h\nu)$ grafikleri çizildi. Çizilen bu optik soğurma spektrum eğrisinin lineer kısmından alınan eğimin enerji eksenini kestiği değerden ince filmin yasak band genişliği belirlendi.

Perovskit güneş hücreleri ITO/PEDOT:PSS/CH₃NH₃PbI₃/PCBM/BCP/Ag ve ITO/V₂O₅/CH₃NH₃PbI₃/PCBM/BCP/Ag konfigürasyonlarında p-i-n düzlemsel yapıda hazırlandı. PEDOT:PSS Poly(3,4-ethylenedioxythiophene)-poly(styrenesulfonate) (Clevios PH1000) çözeltisi, dönele kaplama yöntemi ile 1500 rpm'de 45 s ITO kaplı cam altlıklar üzerine kaplandı ve 120 °C'de 30 dakika atmosferik ortamda ısıtılma işlemi uygulandı. ITO kaplı cam altlıklar üzerine V₂O₅ çözeltileri dönele kaplama yöntemi kullanılarak 1500 rpm'de 60 s kaplandı. V₂O₅ ince filmleri 100 °C'de 30 dakika ısıtılma tabla üzerinde atmosferik ortamda ısıtılma işlemi uygulandı.

Perovskit çözeltisi, PbI₂ ve CH₃NH₃I'nin 1.4:1.4 mol oranında gama-bütürolakton (GBL) içinde çözünmesiyle hazırlandı. Bu çözelti, 60 °C'de en az 12 saat karıştırıldı ve kaplanmadan önce 0.45 µm PVDF ve 0.22 µm PTFE filtrelerle iki kez süzüldü. CH₃NH₃PbI₃ perovskit çözeltisi, dönele kaplama yöntemi ile 2000 rpm'de 10 s ve dönme hızı 4000 rpm'ye ulaştığında antisolvent yıkama için perovskit yüzeyine toluen (60 µL) damlatılarak 4000 rpm'de 20 s deşik iletim tabakası üzerine atmosferik ortamda kaplanmıştır. Perovskit tabakası 100 °C'de 20 dakika sıcak bir plaka üzerinde atmosferik ortamda ısıtılma işlemi uygulandı.

Ağırlıkça %2 oranında PCBM, klorobenzen (CB) ve kloroform (CF) içinde 1:1 hacim oranında karıştırılmasıyla hazırlanan PCBM çözeltisi, perovskit tabakası üzerine 1500 rpm'de 15 s ve 2000 rpm'de 15 s dönele kaplama yöntemi kullanılarak aktif tabakasının üzerine kaplandı ve 100 °C'de 30 s ısıtılma işlemi uygulandı.

Bathocuproine (BCP) çözeltisi, saf (absolute) ethanol içerisinde 0.5 mg BCP tozunun çözünmesiyle hazırlandı. BCP çözeltisi kaplanan PCBM tabakasının yüzeyine dönele kaplama yöntemiyle 4000 rpm'de 40 s kaplandı.

Gümüş (Ag) üst metal kontak, ara yüzey olarak kaplanan BCP tabakasının üzerine 110 nm kalınlığında vakum ortamında termal buharlaştırma sisteminde kaplandı.

Hazırlanan perovskit tabanlı güneş hücrelerinin akım-gerilim karakteristikleri standart 25 °C ortam sıcaklığında, güneş simülatörü (solar simülatör AM1.5G-100 mW/cm²) ile aydınlıkta Keithley 2400 cihazı kullanılarak akım-gerilim karakterizasyonu yapıldı. Akım-gerilim karakteristiklerinden yararlanılarak, hücrelerin açık devre gerilimi (V_{oc}), kısa devre akım yoğunluğu (J_{sc}), paralel ve seri dirençleri, dolun faktörü (FF) ve güç dönüşüm verimi (PCE) gibi fotovoltaiik parametreleri literatürde verilen teorik formüller kullanılarak hesaplandı.

$$PCE (\%) = \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right) \times 100 = \frac{FF \cdot V_{oc} \cdot J_{sc}}{P_{in}} \times 100 \quad ve \quad FF = \frac{V_{mpp} \cdot J_{mpp}}{V_{oc} \cdot J_{sc}}$$

Histerezis indeksi (HI),

$$HI = \frac{PCE_{geri} - PCE_{ileri}}{PCE_{geri}}$$

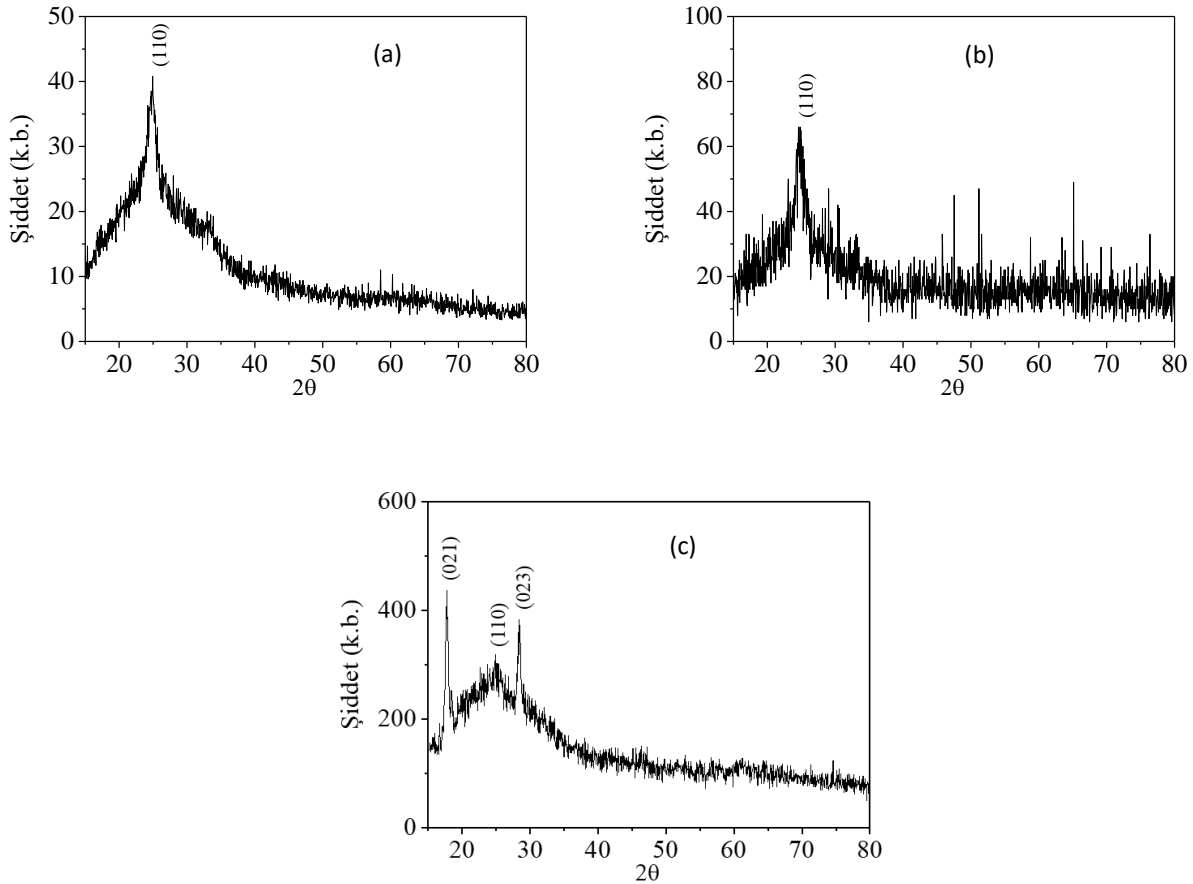
denklemleri ile hesaplandı, burada PCE_{geri} geriye doğru akım-gerilim ölçümü ve PCE_{ileri} ileri doğru akım-gerilim ölçümü altındaki güneş hücrelerinin güç dönüşüm verim (PCE) değerleridir. Perovskit tabanlı güneş hücrelerinin gelen foto akım dönüşüm verimliliği (IPCE), Newport kuantum verimlilik sistemi kullanılarak ölçüldü. Ayrıca fotoakım yoğunluğu (J_{IPCE}), dalga boyuna bağlı IPCE(λ) spektrumunun ve foto akım yoğunluğunun dalga boyu üzerinden integre edilmesiyle hesaplandı.

$$J_{IPCE} = q \int IPCE(\lambda) \cdot \Phi(\lambda) \cdot d\lambda$$

IPCE spektrumundan fotoakım yoğunluğunu (J_{IPCE}) belirlemek için kullanılan denklemden q elektron yüküdür, IPCE (λ) spektral duyarlılıktır, $\Phi(\lambda)$ gelen foton akı yoğunluğu (AM1.5) ve λ ışığın dalga boyudur

3. Bulgular ve Tartışma

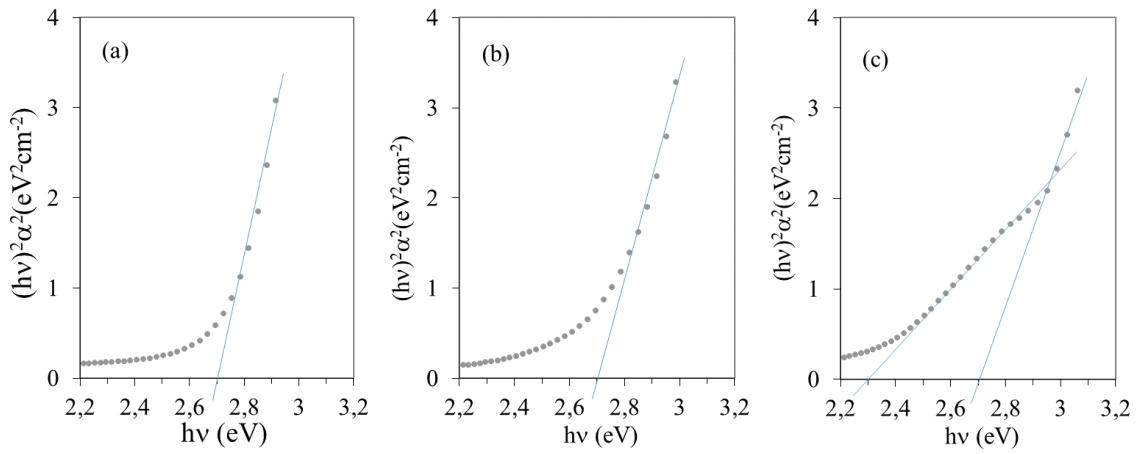
V_2O_5 çözeltileri dönele kaplama yöntemi ile altlıklar üzerine 2000 rpm'de 60 s kaplandı. V_2O_5 ince filmlere ısıtılma işleminin etkisini belirlemek amacıyla kaplanan V_2O_5 ince filmlere atmosferik ortamda 100 °C'de ve 300 °C'de 30 dakika ısıtılma işlemi uygulandı. Isıtılma işlemi uygulanan V_2O_5 ince filmlerin yapısal analizi X-Işın Kırınım yöntemi (XRD) kullanılarak PANalytical Empyrean XRD cihazıyla yapıldı. Isıtılma işlemi uygulanan V_2O_5 ince filmlerin XRD desenleri Şekil 1'de gösterildi.



Şekil 1. a) Isıtılma işlemi uygulanmamış b) 100 °C'de ve c) 300 °C'de 30 dakika ısıtılma işlemi uygulanan V_2O_5 ince filmin XRD deseni.

V_2O_5 'in JCPDS no. 60-0767'de indekslenen XRD deseninin sırasıyla 2θ açıları 15.6° , 20.4° , 21.9° , 26.3° , 31.2° , 32.6° , 34.5° , 41.4° , 42.3° , 45.6° , 47.5° , 49.0° , 51.4° , 52.3° , 55.8° , 61.2° , 62.3° ve bunlara karşılık gelen yönelimleri sırasıyla (020), (001), (011), (110), (040), (101), (130), (002), (012), (141), (060), (102), (200), (061), (201), (240), (170) şeklinde rapor edilmiştir [19]. Isıl işlem görmemiş ve 100°C 'de ve 300°C 'de ısıl işlem görmüş V_2O_5 ince filmlerin XRD desenlerindeki geniş piklerin maksimumun 2θ açıları yaklaşık olarak 26.3° karşılık gelmektedir, (110) yönelimli bu pikler V_2O_5 yapısının karakteristik piklerindedir. V_2O_5 ince filmlerin XRD desenlerindeki düşük şiddetli geniş pikler ince filmlerin kristalitelerinin düşük olduğunu daha çok amorf yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

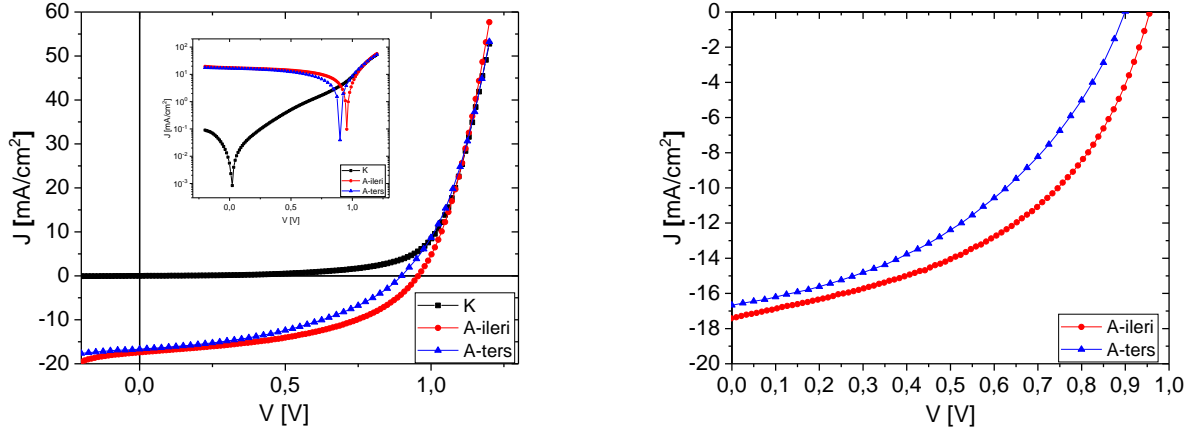
İnce filmlerin optik soğurma ölçümleri, Perkin Elmer UV-VIS spektrometresi kullanılarak yapılmıştır. V_2O_5 ince filmler $\lambda=300-1100$ nm dalgaboyu aralığında optik soğurma spektrumları incelenmiştir. V_2O_5 ince filmler direkt geçişli band yapısına sahip olduğundan optik soğurma spektrumlarından dalga boyuna bağlı soğurma katsayısından $(\alpha hv)^2=f(hv)$ grafikleri çizildi. Çizilen bu optik soğurma katsayısı spektrum eğrisinin lineer kısmından alınan eğimin enerji eksenini kestiği değerden ince filmin yasak band genişliği belirlendi.



Şekil 2. a) Isıl işlem uygulanmamış, b) 100°C 'de ve c) 300°C 'de 30 dakika ısıl işlem uygulanmış V_2O_5 ince filmlerin soğurma katsayısı spektrumları.

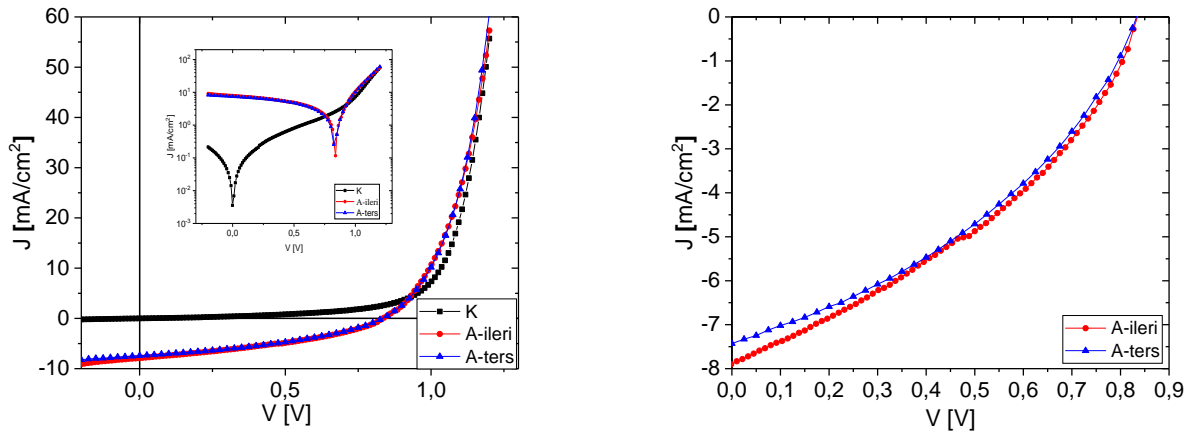
Isıl işlem uygulanmamış, 100°C 'de ve 300°C 'de 30 dakika ısıl işlem uygulanmış V_2O_5 ince filmlerin Şekil 2'de verilen optik soğurma katsayısı spektrumlarından yasak band genişlikleri (E_g) tavlanmamış V_2O_5 için 2.70 eV, 100°C 'de 30 dakika tavlanmış V_2O_5 için 2.70 eV ve 300°C 'de 30 dakika tavlanmış V_2O_5 için 2.70 eV ve 2.30 eV olarak belirlenmiştir. 300°C 'de 30 dakika tavlanmış V_2O_5 ince filmin soğurma katsayısı spektrumunda iki keskin lineer bölge görülmektedir hem amorf hem de kristal yapıdan kaynaklanabilir. Isıl işlem uygulanmasıyla yasak band genişliğinde azalma gözükmemektedir amorf yapıdan daha kristal yapıya geçiş yaptığı şeklinde yorumlanabilir. Literatürde daha önce yapılan çalışmalarda V_2O_5 yapısının yasak band genişliği 2.3 eV ile 2.8 eV arasında rapor edilmiştir [20].

Perovskit güneş hücreleri ITO/PEDOT:PSS/ $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ /PCBM/BCP/Ag ve ITO/ V_2O_5 / $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ /PCBM/BCP/Ag konfigürasyonlarında p-i-n düzlemsel yapıda hazırlandı. Hazırlanan perovskit tabanlı güneş hücrelerinin akım-gerilim ölçümleri karanlıkta ve güneş simülatörü ($\text{AM1.5G-100 mW/cm}^2$) ile aydınlatma altında ileri ve ters besleme durumunda yapıldı. Akım-gerilim karakteristiklerinden yararlanılarak, hücrelerin açık devre gerilimi (V_{oc}), kısa devre akım yoğunluğu (J_{sc}), paralel (R_{sh}) ve seri (R_s) dirençleri, dolum faktörü (FF) ve güç dönüşüm verimi (PCE) gibi fotovoltaiik parametreleri belirlendi.



Şekil 3. ITO/PEDOT:PSS/CH₃NH₃PbI₃/PCBM/BCP/Ag konfigürasyonunda PEDOT:PSS ile üretilen güneş hücrelerinin karanlıkta, aydınlatma altında (AM1.5G-100 mW/cm²) akım yoğunluğu-gerilim karakteristikleri.

ITO/PEDOT:PSS/CH₃NH₃PbI₃/PCBM/BCP/Ag konfigürasyonunda deşik iletim tabakası olarak PEDOT:PSS ince filmi kullanılan perovskit güneş hücresinin akım yoğunluğu-gerilim karakteristikleri belirlendi ve Şekil 3’de gösterildi. Bu konfigürasyonda üretilen cihazın fotovoltaiik parametreleri $V_{oc}=955$ mV, $J_{sc}=17.36$ mA/cm², $FF=0.47$ ve $PCE=\%7.8$ olarak belirlendi. Hücresinin seri ve paralel dirençleri sırasıyla $R_s=13$ Ω.cm² ve $R_{sh}=193$ Ω.cm² olarak belirlendi. Perovskit güneş hücresinin aydınlatma altında ileri ve ters besleme durumunda elde edilen güç dönüşüm verimlerinden histerezis indeksi $HI=0.23$ olduğu gözlenmiştir. Deşik iletim tabakası olarak PEDOT:PSS ince filmi kullanılarak üretilen perovskit güneş hücrelerinin fotovoltaiik parametreleri Tablo 1’de verilmiştir.

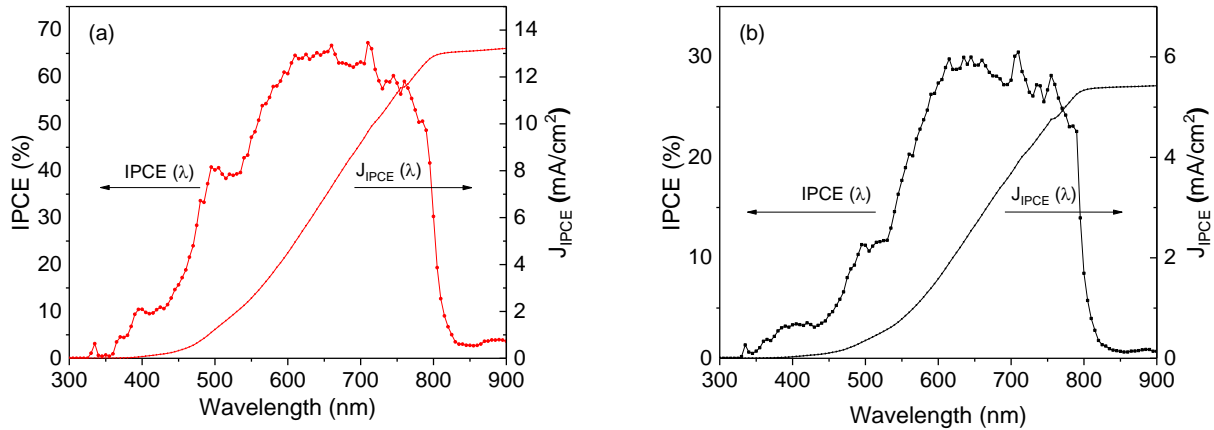


Şekil 4. ITO/V₂O₅/CH₃NH₃PbI₃/PCBM/BCP/Ag konfigürasyonunda V₂O₅ ince filmleri ile üretilen güneş hücrelerinin karanlıkta, aydınlatma altında (AM1.5G-100 mW/cm²) akım yoğunluğu-gerilim karakteristikleri.

ITO/V₂O₅/CH₃NH₃PbI₃/PCBM/BCP/Ag konfigürasyonunda deşik iletim tabakası olarak V₂O₅ ince filmi kullanılan perovskit güneş hücresinin akım yoğunluğu-gerilim karakteristikleri belirlendi ve Şekil 4’de gösterildi. Bu konfigürasyonda üretilen cihazın fotovoltaiik parametreleri $V_{oc}=832$ mV, $J_{sc}=7.83$ mA/cm², $FF=0.38$ ve $PCE=\%2.5$ olarak belirlendi. Hücresinin seri ve paralel dirençleri sırasıyla $R_s=32$ Ω.cm² ve $R_{sh}=195$ Ω.cm² olarak belirlendi. Perovskit güneş hücresinin aydınlatma altında ileri ve ters besleme durumunda elde edilen güç dönüşüm verimlerinden histerezis indeksi $HI=0.04$ olduğu gözlenmiştir. Deşik iletim tabakası olarak V₂O₅ ince filmi kullanılarak üretilen perovskit güneş hücrelerinin fotovoltaiik parametreleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Deşik iletim tabakası (DİT) olarak PEDOT:PSS ve V₂O₅ ince filmleri kullanılarak üretilen perovskit güneş hücrelerinin fotovoltajik parametreleri.

DİT	V _{oc} (mV)	J _{sc} (mA/cm ²)	FF	R _s (Ω.cm ²)	R _{sh} (Ω.cm ²)	PCE (%)	HI
PEDOT:PSS	955	17.36	0.47	13	193	7.8	0.23
V ₂ O ₅	832	7.83	0.38	32	195	2.5	0.04

**Şekil 5.** a) PEDOT:PSS ve b) V₂O₅ deşik iletim tabakası olarak kullanılan perovskit güneş hücrelerinin IPCE spektrumları.

Gelen fotonun akıma dönüşüm verimliliği (IPCE), monokromatik ışık altında güneş hücresinin devrede üretilen yük taşıyıcı sayısının gelen foton sayısına oranı olarak tanımlanır. IPCE spektrumunun şekli fotovoltajik cihazın spektral duyarlılığı hakkında bilgi verir. Perovskit tabanlı güneş hücrelerinin IPCE spektrumları Şekil 5 'de gösterilmektedir. Tüm cihazların IPCE spektrumları 350-850 nm dalgaboyu aralığında geniş bir spektral duyarlılığa sahiptir. Perovskit tabanlı güneş hücrelerinin IPCE spektrumundan fotoakım yoğunluğu (J_{IPCE}), deşik iletim tabakası olarak PEDOT:PSS kullanılan cihazda 13.21 mA/cm² ve V₂O₅ ince filmi kullanılan cihazda ise 5.42 mA/cm² olarak belirlenmiştir. Perovskit tabanlı güneş hücrelerinin J_{sc} ve J_{IPCE} değerlerinde PEDOT:PSS için %24 ve V₂O₅ ince filmi için %30 gibi ortaya çıkan fark, IPCE spektrumlarının geç ölçülmesinden dolayı atmosfer ortamına daha fazla maruz kalmasından kaynaklanmaktadır.

PEDOT:PSS ve V₂O₅ ince filmleri ile hazırlanan perovskit güneş hücrelerinin fotovoltajik parametreleri karşılaştırıldığında, V₂O₅ ince filmleri ile hazırlanan cihazın fotovoltajik performansı PEDOT:PSS ince filmi ile hazırlanan cihazın fotovoltajik performansının gerisinde kalmıştır. Bu cihazların IPCE spektrumları karşılaştırıldığında 350-850 nm dalgaboyu aralığında geniş bir spektral duyarlılığa sahiptir fakat V₂O₅ ince filmleri ile hazırlanan cihazın gelen fotonla yük taşıyıcı üretim oranı PEDOT:PSS ince filmleri ile hazırlanan cihaza göre düşüktür buda kısa devre akım yoğunluğunun düşüklüğü ile ilişkilidir. V₂O₅ ince filmlerin elektriksel özelliklerinin geliştirilmesiyle PEDOT:PSS ince filmlerine benzer fotovoltajik performans elde edilebilir. V₂O₅ ince filmleri perovskit tabanlı güneş pillerinde deşik iletim tabakası olarak kullanılabilir ve gelecek çalışmalar için ümit verici olduğu bu çalışma ile gösterilmiştir.

4. Sonuçlar

Hidrotermal yöntemiyle V₂O₅ çözeltisi yalnızca bir adımda hazırlandı ve çözeltiden dönel kaplama yöntemiyle V₂O₅ ince filmleri elde edildi. V₂O₅ ince filmlerin XRD desenlerindeki geniş piklerin maksimumun 2θ açıları yaklaşık olarak 26.3° karşılık gelmektedir, (110) yönelimli bu pikler V₂O₅ yapısının karakteristik piklerindedir. V₂O₅ ince filmlerin XRD desenlerindeki düşük şiddetli geniş pikler filmlerin kristalitelerinin düşük olduğunu daha çok amorf yapıya sahip olduğunu göstermektedir. V₂O₅ ince filmlerin optik soğurma katsayısı spektrumlarından yasak band genişlikleri E_g 2.70 eV olarak belirlenmiştir. Literatürde

daha önce yapılan çalışmalarda V_2O_5 yapısının yasak band genişliği 2.3eV ile 2.8eV arasında rapor edilmiştir [39]. V_2O_5 ince filmlerin yasak band genişliğinin kısmen yüksek olması amorf yapıya sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Tersine çevrilmiş (p-i-n) düzlemsel yapıdaki perovskit güneş hücrelerinde PEDOT:PSS yerine V_2O_5 ince filmleri deşik iletim tabakası olarak kullanıldı ve fotovoltaiik performansı belirlendi. PEDOT:PSS ve V_2O_5 ince filmlerin deşik iletim tabakası olarak kullanıldığı perovskit güneş hücrelerinin fotovoltaiik parametreleri karşılaştırıldığında, V_2O_5 ince filmi ile hazırlanan cihazın verimi (PCE=%2.5) PEDOT:PSS ince filmi ile hazırlanan cihazın verimine (PCE=%7.8) göre daha düşük olduğu gözlenmiştir. V_2O_5 ince filmi ile hazırlanan perovskit güneş hücresinin veriminin düşük olması özellikle kısa devre akım yoğunluğunun ($J_{sc}=7.83 \text{ mA/cm}^2$) düşük olmasından kaynaklanmaktadır. V_2O_5 ince filmleri ile hazırlanan cihazların histerezis indeksi (HI=0.04), PEDOT:PSS ince filmleri ile hazırlanan cihazların histerezis indeksine (HI=0.23) göre daha iyi olduğu gözlenmiştir. Bu çalışmada perovskit tabanlı güneş hücrelerinde V_2O_5 ince filmlerin deşik iletim tabakası olarak kullanılabilceği gösterilmiştir.

Teşekkür

Bu çalışma Ardahan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 2020/004 proje numarası ile desteklenmiştir. Prof. Dr. Serap Güneş'e bilimsel desteklerinden ve laboratuvar imkanlarını sunarak çalışmalarının yapılmasına imkân sağladığı için sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Dr. Hamed Moeini Alishah'a deneysel çalışmalardaki yardımlarından dolayı çok teşekkür ederim. Doç. Dr. Ali Baltakesmez ve Dr. Öğr. Üyesi Zakir Çaldıran'a desteklerinden dolayı çok teşekkür ederim.

Kaynakça

- [1] A. Kojima, K. Teshima, Y. Shirai and T. Miyasaka, "Organometal halide perovskites as visible-light sensitizers for photovoltaic cells", *Journal of the American Chemical Society*, vol. 131, no. 17, pp. 6050–6051, 2009.
- [2] National Renewable Energy Laboratory (NREL), <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>, 2023.
- [3] M. Grätzel, "The light and shade of perovskite solar cells" *Nature Materials*, vol. 13, no.9, pp. 838–842, 2014.
- [4] A. Fakharuddin, F. De Rossi, T. M. Watson, L. Schmidt-Mende and R. Jose, "Research Update: Behind the high efficiency of hybrid perovskite solar cells", *APL Materials*, vol. 4, no. 9, pp. 0–16, 2016.
- [5] T. A. Berhe, W. N. Su, C. H. Chen, C. J. Pan, J. H. Cheng, H. M. Chen, B. J. Hwang, "Organometal halide perovskite solar cells: degradation and stability", *Energy Environ. Sci.*, vol. 9, 2016.
- [6] Z. Song, S. C. Watthage, A. B. Phillips and M. J. Heben, "Pathways toward high-performance perovskite solar cells: review of recent advances in organo-metal halide perovskites for photovoltaic applications", *Journal of Photonics for Energy*, vol. 6, no.2, pp. 22001, 2016.
- [7] Yang Bai, Xiangyue Meng and Shihe Yang "Interface Engineering for Highly Efficient and Stable Planar p-i-n Perovskite Solar Cells", *Adv. Energy Mater.*, vol. 8, pp. 1701883, 2018.
- [8] L. Calió, S. Kazim, M. Grätzel and S. Ahmad, "Hole-Transport Materials for Perovskite Solar Cells", *Angew. Chemie - Int. Ed.*, vol. 55, pp. 14522–14545, 2016.
- [9] S. Pitchaiya, M. Natarajan, A. Santhanam, V. Asokan, A. Yuvapragasam, V. Madurai Ramakrishnan and et al., "A review on the classification of organic/inorganic/carbonaceous hole transporting materials for perovskite solar cell application", *Arab. J. Chem.*, vol. 13, pp. 2526–2557, 2020.
- [10] P. K. Kung, M.H. Li, P. Y. Lin, Y. H. Chiang, C. R. Chan, T. F. Guo and P. Chen., "A Review of Inorganic Hole Transport Materials for Perovskite Solar Cells", *Adv. Mater. Interfaces.*, vol. 5, pp. 1800882 (1–35), 2018.
- [11] Z. Shariatnia, "Recent progress in development of diverse kinds of hole transport materials for the perovskite solar cells: A review", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 119, pp. 109608, 2020.
- [12] M. Liu, B. Su, Y. Tang, X. Jiang and A. Yu, "Recent Advances in Nanostructured Vanadium Oxides and Composites for Energy Conversion", *Adv. Energy Mater.*, vol. 7, pp. 1700885, 2017.
- [13] A. Mauger and C. M. Julien, " V_2O_5 thin films for energy storage and conversion", *AIMS Materials Science*, vol. 5, no. 3, pp. 349–401, 2018.

- [14] I. Hancox, L. A. Rochford, D. Clare, M. Walker, J. J. Mudd, P. Sullivan, S. Schumann, C. F. McConville and T. S. Jones, "Optimization of a High Work Function Solution Processed Vanadium Oxide Hole-Extracting Layer for Small Molecule and Polymer Organic Photovoltaic Cells", *J. Phys. Chem. C.*, vol. 117, pp. 49–57, 2013.
- [15] H. Peng, W. Sun, Y. Li, S. Ye, H. Rao, W. Yan and et al., "Solution processed inorganic V_2O_x as interfacial function materials for inverted planar-heterojunction perovskite solar cells with enhanced efficiency", *Nano Res.*, vol. 9, pp. 2960–2971, 2016.
- [16] L. Zhang, C. Jiang, C. Wu, H. Ju, G. Jiang, W. Liu and et al., " V_2O_5 as Hole Transporting Material for Efficient All Inorganic Sb_2S_3 Solar Cells", *ACS Appl. Mater. Interfaces*, vol. 10, pp. 27098–27105, 2018.
- [17] Z. Liu, T. He, H. Wang, X. Song, H. Liu, J. Yang and et al., "Improving the stability of the perovskite solar cells by V_2O_5 modified transport layer film", *RSC Adv.*, vol. 7, pp. 18456–18465, 2017.
- [18] J. Wu, Y. Zhang, P. Xu, W. Guo, L. Shen and S. Ruan, "Role of solution-processed V_2O_5 in P3HT:PCBM based inverted polymer solar cells", *Synth. Met.*, vol. 170, pp. 7–10, 2013.
- [19] Y. L. Chan, S.-Y. Pung and S. Sreekantan, "Synthesis of V_2O_5 Nanoflakes on PET Fiber as Visible-Light-Driven Photocatalysts for Degradation of RhB Dye", *Journal of Catalysts*, vol. Article ID 370696, 7, 2014.
- [20] K. Schneider, "Optical properties and electronic structure of V_2O_5 , V_2O_3 and VO_2 ", *J Mater Sci: Mater Electron*, vol. 31, pp. 10478–10488, 2020.



Research Article

Design and Use of Chatbots for Educational Purposes: A Study on Student Opinions

Ahmet Yusuf Cevher¹ , Serkan Yıldırım² 

¹Department of Computer Technologies, Ardahan Vocational School of Technical Sciences, Ardahan University, 75002 Ardahan, Türkiye

²Department of Computer and Instructional Technologies Education, Kazım Karabekir Faculty of Education, Atatürk University, 25100 Erzurum, Türkiye

* Correspondence: ahmetyusufcevher@ardahan.edu.tr

Received: 16 October 2023; Accepted: 5 December 2023; Published: 31 December 2023

Abstract: Rapid developments in information and communication technologies have caused significant changes in the field of education. Among these changes, the role of artificial intelligence-based chatbots in education is increasing. In this study, it is aimed to reveal the issues that need to be taken into consideration in the design of chatbots used for educational purposes by discussing student opinions and experiences about the design and use of chatbots. In the study, case study research method, one of the qualitative designs, was used. The sample of the research was selected by purposeful sampling method, and the experimental period was determined as two course weeks. The data of the participants were collected using the focus group interview technique. Content analysis method was applied to the data obtained. As a result of the study, it was revealed that chatbots were generally easy to use by students and their interface design was evaluated positively. Positive features such as ease of use, quick answers and clarity contribute to students developing a positive attitude towards this technology. The lack of naturalness of the chatbots' answers, the inability to understand spelling errors, and the failure to indicate the sources of the answers caused students to develop negative opinions about the answers given by the chatbots on extracurricular topics. Additionally, some of the students wanted chatbots to be usable outside the course content

Keywords: chatbot, qualitative design, student opinions, artificial intelligence, distance learning

Araştırma Makalesi

Eğitim Amaçlı Sohbet Robotlarının Tasarımı ve Kullanımı: Öğrenci Görüşleri Üzerine Bir Çalışma

Öz: Bilgi ve iletişim teknolojilerindeki hızlı gelişmeler arasında yapay zekâ temelli sohbet robotlarının eğitimdeki rolü giderek artmaktadır. Bu çalışmada sohbet robotlarının tasarımı ve kullanımı hakkında öğrenci görüşleri ve deneyimlerinin ele alınarak eğitim amaçlı kullanılan sohbet robotlarının tasarımında dikkat edilmesi gereken hususların ortaya çıkarılması amaçlanmaktadır. Çalışmada, nitel desenlerden biri olan örnek olay araştırması yönteminden faydalanılmıştır. Araştırmanın örnekleme amaçlı örnekleme yöntemiyle seçilmiş olup, deney süresi iki ders haftası olarak belirlenmiştir. Katılımcılara ait veriler odak grup görüşme tekniği kullanılarak toplanmıştır. Elde edilen verilere içerik analizi yöntemi uygulanmıştır. Çalışmanın sonucunda, sohbet robotlarının öğrenciler tarafından genel olarak kullanımının kolay ve arayüz tasarımının olumlu olarak değerlendirildiği ortaya çıkmıştır. Kullanım kolaylığı, hızlı cevaplar ve netlik gibi pozitif özellikler, öğrencilerin bu teknolojiye olumlu bir tutum geliştirmesine katkıda bulunmaktadır. Sohbet robotlarının cevapların doğallığının eksikliği, yazım hatalarını anlayamama ve cevapların kaynaklarını belirtmeme nedeniyle öğrencilerin ders dışı konularda sohbet robotlarının verdiği cevaplar konusunda olumsuz görüş geliştirmelerine neden olmuştur. Ayrıca, öğrencilerin bir kısmı, sohbet robotlarının ders içeriği dışında da kullanılabilir olmasını istemişlerdir.

Anahtar Kelimeler: sohbet robotu, nitel desen, öğrenci görüşleri, yapay zeka, uzaktan öğrenme

Citation: A. Y. Cevher and S. Yıldırım, "Design and Use of Chatbots for Educational Purposes: A Study on Student Opinions", *Journal of Studies in Advanced Technologies*, vol. 1, no. 2, pp. 76-83, Dec 2023, doi: 10.5281/zenodo.10445240

1. Introduction

Rapid and significant developments in information and communication technologies have led to the transformation of many disciplinary fields. One of the fields most affected by these developments is educational sciences. Educational researchers aim to integrate technology into educational environments in order to make education more meaningful, efficient and effective. Recently, artificial intelligence technology has emerged in almost every sector. ChatGPT, developed as an artificial intelligence product, draws the attention of practitioners and researchers to chatbots created based on artificial intelligence [1]. The use of chatbots for educational purposes is becoming increasingly popular [2]. These robots attract attention as teaching tools that can interact with students and enrich the learning process.

Chatbots belong to the natural language processing sub-branch of artificial intelligence, which includes various sub-branches such as artificial neural networks, expert systems, pattern recognition and genetic algorithms [3]. Nuruzzaman and Hussain [4] defined chatbots as conversational software systems that mimic human communication abilities by communicating with users. The architecture of a standard chatbot is shown in Figure 1 [5].

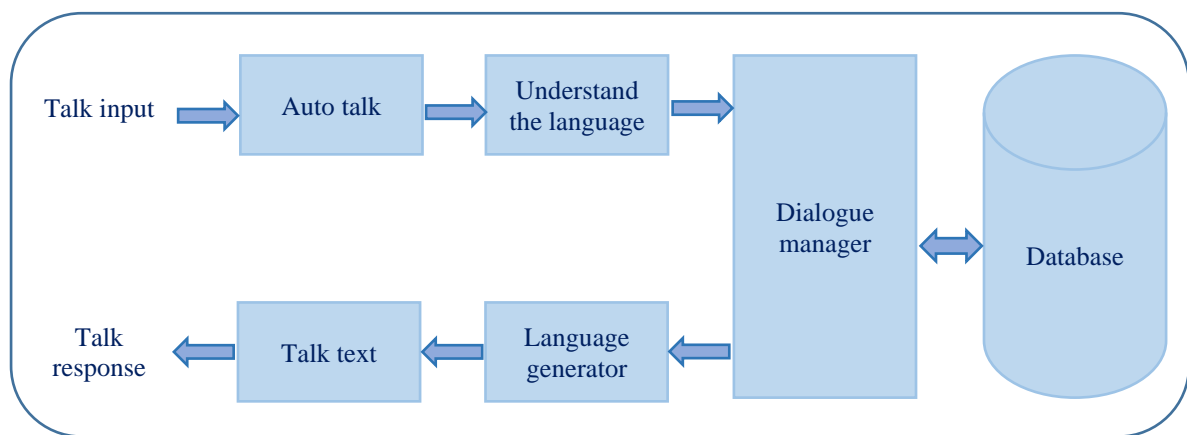


Figure 1. Chatbot Architecture

In this architecture, the automatic speech recognizer receives input from the user, converts it into lexical rules and then initiates the process by passing it to the language understanding module. The language understanding module receives the user's utterances and forwards them to the dialog manager. The dialog manager extracts meaning from these utterances using the natural language processing module and accesses them to pull information from the database when needed. Once the information is obtained, the dialog manager decides on the processing flow. Then it moves to the spoken language generation module and the words or phrases are converted into a form that the user can understand and transmitted.

In the literature, chatbots are categorized into four main groups based on their intended use: goal (task), information, service, and response generation [4], [6]. These classifications help us understand the design and use of different types of chatbots by focusing on their functions and purposes.

1. **Task-based Chatbots:** Goal-based chatbots are designed to fulfill specific tasks. These robots aim to meet the needs of users by having short conversations. For example, they are tasked with responding quickly to customers' questions on company websites.
2. **Informative Chatbots:** Informative chatbots work based on the information they collect from accessible sources. According to these sources, they can be classified as open and closed spaces. In open domains, it can access resources without limitations and provide the most appropriate responses. Closed domains collect information from sources that are limited to a specific data set. Examples include Allen AI Science and Quiz Bowl open domain robots, and closed domain examples such as Daily Mail, MCTest and bAbI.
3. **Service-based Chatbots:** Service-based chatbots are designed to provide services to users in a specific domain. These services can be personal or commercial and can be categorized according to the possibilities offered to users. For example, service-based chatbots can be used to order food from a restaurant.

4. Chat-based Chatbots: Response generation-based chatbots can be classified into four different groups according to the methods they use to generate responses: template-based model, generative model, access-based model, and search engine model. These models generate responses in accordance with the natural language inputs they receive from users.

In chatbot studies in the literature, it has been stated that chatbots provide personalized information with instant guidance and support personal and collaborative learning environments [7]. Chatbots used for instructional purposes have generally been used in language education for language learning and speaking practice [8]-[11]. In addition, educational chatbots have been used in prototype design and implementation studies in computer science [9] and health [11], and their effects have been observed [12]. There are studies showing that chatbots for educational purposes contribute positively to students' learning processes. Baylor [13], found that motivational chatbots and avatars positively affect student motivation. In their study, Belpaeme et al. [14] discussed the use of chatbots in L2 education and provided guidance for the design of chatbots to be used in language learning. Vázquez Cano, Mengual Andrés, and López Meneses [15] observed the effects of using chatbots for educational purposes. At the end of this study, it was concluded that chatbots positively affected academic achievement and students had positive perceptions about the use of chatbots. Jeon, in his study conducted to examine the effects of chatbots in the language learning process, stated that chatbots increase interest in the course, positively affect students' motivation, and cause students to develop positive attitudes towards the course [16].

When the literature is examined, although research on the design and use of chatbots for educational purposes has recently become popular, studies on this subject are still in the minority [17], [18]. In the studies conducted in the literature on the use of chatbots in education, there are suggestions for future researchers to reveal the potentials of the subject and to increase studies to reduce the risks associated with the subject [19]. Therefore, it is considered important for the literature to increase the number of studies in which the issues to be considered in the design of chatbots for educational purposes, in other words, chatbots used for educational purposes, and the effects of these robots are observed.

In this study, it is aimed to reveal the issues that need to be considered in the design of chatbots used for educational purposes by addressing student opinions about the design and use of chatbots. In line with these objectives, the research questions of the study are as follows:

- 1- What are the students' views on receiving instructional support using a chatbot?
 - i. What do students like about the chatbot?
 - ii. What do students dislike about the chatbot?
 - iii. What are the students' suggestions and opinions on improving the chatbot?

2. Materials and Methods

In this study, which was conducted to reveal the issues that require attention in the design of chatbots used for educational purposes, case study research method, which is one of the qualitative designs, was used as a research method. Qualitative research designs provide the researcher with a more flexible perspective, keeping the research in a specific focus and ensuring the consistency of the various steps of the research. The case study research design is a particularly effective research method for understanding and explaining complex or unique situations. It offers researchers rich and in-depth insights and can contribute to the application of theoretical knowledge to practical situations [20]. The sample of the study was selected by purposive sampling method and the study group consisted of students taking the English Culture II course at Ardahan University, Faculty of Humanities and Literature, Department of Western Languages and Literatures, Department of English Language and Literature. At the end of the experiment period determined for two course weeks, eight of the students (2 males, 6 females) volunteered to participate in the focus group interview.

The data of the participants were collected using the focus group interview technique. Considering the analysis of the data recorded in individual interviews and the size of the resulting data set, it is known that this situation will become more complex and challenging as the number of interviewees increases. With focus group interviews, researchers can reach more participants and obtain more systematic data [20].

Content analysis method was applied to the data obtained. Content analysis is the technique of systematically summarizing a text under smaller content categories with codes created under certain rules [21]. In the pilot study, the categories were checked by the researchers and made consistent by different researchers placing similar data in the same category.

The chatbot used in the implementation process provides informative pedagogical support to the users about a topic with defined boundaries in a complementary/supportive way to the extracurricular learning process. The user interface of the chatbot is given in Figure 2.

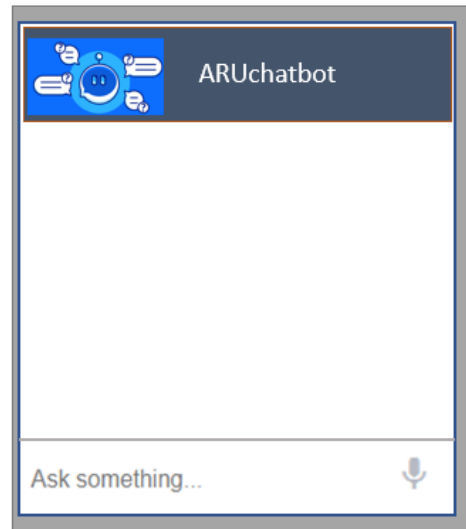


Figure 2. Chatbot User Interface

The chatbot designed using Dialogflow is an artificial intelligence-based chatbot with comprehension and response features that can be used over the Telegram messaging platform that allows both voice and text input. Documents belonging to the course unit determined by the educator are uploaded to this robot. The questions asked by the students about the course content are answered by utilizing these documents. Pre-determined answers are directed to the questions asked outside the course.

3. Findings

The findings of this study are presented in parallel with the research questions. The frequency of using categories in the findings is expressed as "*f*" and the research questions are expressed as RQ (Research Question).

RQ1-i. Findings Related to the Research Question

The findings related to the first sub-item of the first research question of the study are summarized in Table 1.

Table 1. RQ1-i positive views

	<i>f</i>	<i>Student</i>
Easy to access (via Telegram)	6	S3, S4, S5, S6, S7, S8
Easy to use	8	S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8
<u>Interface design</u>		
Design is sufficient	5	S2, S4, S5, S6, S7
Appropriate placement of elements	7	S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7
Color matching	8	S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8
Readable	8	S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8
<u>Answers</u>		
The answers are comprehensive and detailed	5	S1, S2, S4, S6, S8
Clear and fast response	8	S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8
The answers are correct	8	S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8

According to the information given in Table 1, all of the students stated that they found the chatbot easy to use. Sample statements of the students regarding ease of use are as follows:

- S1: - ... the chatbot was generally easy to use.
 S2: - ... I had no difficulty using the bot, it was simple and easy to use.
 S3: - ... the robot was very easy to use, it was like texting with someone.

While most of the students thought that the chatbot was easy to access, two students did not mention ease of access. Sample statements of the students regarding ease of access are as follows:

- S3: - ... I had easy access to the robot, I was already using the Telegram app, and we started chatting right away.
 S5: - ... it was very easy to access the bot, I clicked on the link and started messaging directly.

Regarding the interface design of the chatbot, all students stated that the readability was good and the colors were compatible. While the majority of the students found the placement of the elements in the chatbot interface design appropriate, one student did not express an opinion about the placement of the elements. Five students said that the design was sufficient in general. All students stated that the chatbot gave accurate, clear and fast answers to the questions asked about the course content. Five students thought that the answers were comprehensive and detailed, while three students disagreed with this view. Sample statements of the students about the answers given by the chatbot to the questions asked are as follows:

- S1: - ... helped me a lot to study for the exam. It was enough to write the title of the subject, I got quick answers.
 S3: - ... I checked the answers to the questions I had asked about the course and they were all correct.
 S7: - ... the answers were efficient and quick.

RQ1-ii. Findings Related to the Research Question

The findings of the second sub-item of the first research question are summarized in Table 2.

Table 2. RQ1-ii negative opinions

	<i>f</i>	<i>Student</i>
Answers like definition are unnatural	1	S1
Does not understand spelling mistakes	2	S1, S2
Does not suggest extra sources for more information	3	S3, S5, S7
Does not give the source of the information (no citation)	3	S3, S5, S7
He does not answer extracurricular questions,	5	S1, S3, S5, S6, S7

When Table 2 is examined, it is understood that the majority of the students ($f=5$) had the opinion that the chatbot could not provide good answers in extracurricular subjects. Some students (S3, S5, S7) stated that they were not satisfied with the details of the answers and needed different sources to reach more information. They also stated that they wanted to know from which source or sources the information given by the chatbot was given. Another negative opinion about the use of the chatbot was that the robot could not understand the spelling mistakes in the text written by the students to the chatbot and could not respond. One student (S1) stated that the chatbot responded to the questions he asked about the course content as if it was making a definition with a very formal language. Sample expressions of students regarding negative opinions about the chatbot are as follows:

- S1: - ... gives ready-made answers like a definition to the questions I ask about the course.
- S3: - ... sometimes he didn't understand me. He couldn't answer me when I made a spelling mistake.
- S5: - ... the quality of the answers is good, but I would like to know from which source the information comes.
- S7: - ... should also give a bibliography of their answers. They should also suggest different sources for those who want more information.

RQ1-iii. Findings Related to the Research Question

The findings of the third sub-item of the first research question of the study are summarized in Table 3.

Table 3. RQ1-iii development proposals

	<i>f</i>	<i>Student</i>
Must be both web interface and mobile	1	S3
Whatsapp support (in addition to Telegram)	2	S1, S2
Must register with the name of K. Previous correspondence must be kept confidential	2	S1, S3
Should be informative	2	S3, S7
Can be customizable (Color, font, size, color, background, bot name)	3	S1, S3, S8
Provide information with its source	3	S3, S5, S7
Suggest extra resources for those who want extra information	3	S3, S5, S7
Must be chat-based	5	S1, S2, S4, S5, S6, S8
It only needs to work with mobile support	7	S1, S2, S4, S5, S6, S7, S8

According to the information in Table 3, students mostly suggested that the chatbot should work on mobile platforms. Two students even wanted the chatbot to be used in Whatsapp application in addition to the mobile Telegram application. Some students wanted to personalize the chatbot according to their preferences. Two students stated that their correspondence with the chatbot should be kept private for later access. While most of the students ($f=5$) stated that they wanted to chat with the chatbot not only about the course content but also about everything, two students stated that they wanted to use it only for information purposes and did not want to chat outside the course. Sample expressions of students' suggestions for the chatbot are as follows:

- S1: - ... I want to name my chatbot and call it by the name I gave it...
- S4: - ... I don't just want to talk to the robot about the course content. I want it to answer every question I ask...
- S8: - ... the readability of the robot's writing is very good, but I would still like to create my own font...

4. Conclusion

The role of chatbots in education is increasing and they are seen as potential learning tools for students. In this study, the experiences and opinions of students were examined in order to reveal the issues that should be considered in the design of chatbots used for educational purposes. The findings of this study show that chatbots are generally considered easy to use and the interface design is evaluated positively by students. Students stated that the answers were fast, clear and accurate. Students see chatbots as an effective tool for answering questions about course content. Positive features such as ease of use, quick answers, and clarity contribute to students' positive attitude towards this technology. Deveci Topal, Eren & Geçer [21], in their study of student opinions on chatbots, stated that students have a positive attitude towards chatbots, that students find chatbots fun and useful, and that they even want to use them in other courses. Kohnke [22] emphasized in his study that students enjoyed interacting with chatbots in and out of class and that chatbots contributed to students' learning. Chiu, Moorhouse, Chai, and Ismailov [23] stated in their study that learning with chatbots supports students' intrinsic motivation to learn, especially it meets the need for teacher-student interaction support well, but it meets the need for learning less. It was observed that chatbots lacked the ability

to respond to extracurricular issues and to indicate the sources of the answers. Students have negative opinions about the answers given by chatbots on extracurricular topics. Lack of naturalness of the answers, not being able to understand spelling mistakes and not specifying the sources of the answers are the main reasons for these negative opinions. Students think that chatbots should strengthen their knowledge base with more sources and citations. Also, some of the students wanted chatbots to be usable outside the course content. This shows that students see this technology as a more general communication tool and should not be limited to education. However, other students prefer a more specific and course-oriented use. In their study, Lee and Yeo [24] stated that chatbots with personalized feedback are more effective than closed-circuit simulations. They also stated that the use of emotional responses such as emojis in the answers given by chatbots makes chatbots more humanoid and they are perceived more realistic.

This study provides valuable insights into the design and use of chatbots for educational purposes. In the future, developers of such technologies could take student opinions into account to design chatbots with more natural language processing capabilities and resource citation. They should also consider developing these robots in ways that meet the needs for more general or course-oriented uses. In conclusion, this study provides valuable insights for researchers and developers interested in the design and use of chatbots in education. Student opinions can guide the development and improvement of future educational technologies.

Funding: In this study, data from the project numbered "SDK-2022-10513", supported by Atatürk University Scientific Research Projects Coordination Unit, was used.

References

- [1] M. Farrokhnia, S.K. Banihashem, O. Noroozi & A. Wals, "A SWOT analysis of ChatGPT: Implications for educational practice and research", *Innovations in Education and Teaching International*, pp. 1–15, 2023.
- [2] E. Adamopoulou & L. Moussiades, "Chatbots: History, technology, and applications", *Machine Learning with Applications*, vol. 2, 100006, 2020.
- [3] L. Reznik, "General Principles and Purposes of Computational Intelligence", *Systems Science and Cybernetics*-vol. 3, 198, 2009.
- [4] M. Nuruzzaman & O. K. Hussain, "A survey on chatbot implementation in customer service industry through deep neural networks", presented at the 2018 IEEE 15th International Conference on e-Business Engineering, pp. 54-61, Oct. 2018.
- [5] H. Y. Shum, X. D. He & D. Li, "From Eliza to XiaoIce: challenges and opportunities with social chatbots", *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, vol. 19, no 1, pp. 10-26, 2018.
- [6] K. Nimavat & T. Champaneria, "Chatbots: An overview types, architecture, tools and future possibilities", *International Journal for Scientific Research & Development*, vol. 5, no 7, pp. 1019-1024, 2017.
- [7] W. Huang, K. F. Hew & L.K. Fryer, "Chatbots for language learning—Are they really useful? A systematic review of chatbot-supported language learning", *Journal of Computer Assisted Learning*, vol. 38, no 1, pp. 237–257, 2022.
- [8] G. J. Hwang & C. Y. Chang, "A review of opportunities and challenges of chatbots in education", *Interactive Learning Environments*, 2021.
- [9] M. A. Kuhail, N. Alturki, S. Alramlawi & K. Alhejori, K, "Interacting with educational chatbots: A systematic review", *Education and Information Technologies*, vol. 28, pp. 973–1018, 2022.
- [10] Q. J. Pérez, T. Daradoumis & J. M. M. Puig, "Rediscovering the use of Chatbots in education: A systematic literature review", *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 28, no 6, pp. 1549-1565, 2020
- [11] R. Winkler & M. Sollner, "Unleashing the Potential of Chatbots in Education: A State-Of-TheArt Analysis", *Academy of Management Annual Meeting (AOM)*, vol. 1, pp. 15903, 2018
- [12] S. Hobert & R. M. Wolff, "Say Hello to Your New Automated Tutor- A Structured Literature Review on Pedagogical Conversational Agents". presented at the 14th International Conference on Wirtschaftsinformatik, Germany, February 2019.

- [13] A. L. Baylor, “The design of motivational agents and avatars”, *Educational Technology Research and Development*, vol. 59, no 2, pp. 291-300, 2011.
- [14] T. Belpaeme, P. Vogt, R. Van den Berghe, K. Bergmann, T. Göksun, M. De Haas & A. K. Pandey, “Guidelines for designing social robots as second language tutors”, *International Journal of Social Robotics*, vol. 10, pp. 325-341, 2018.
- [15] E. Vázquez Cano, S. Mengual Andrés and E. López Meneses, “Chatbot to improve learning punctuation in Spanish and to enhance open and flexible learning environments”, *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, vol. 38, pp. 237-257, 2021.
- [16] J. Jeon, “Exploring AI chatbot affordances in the EFL classroom: Young learners’ experiences and perspectives”, *Computer Assisted Language Learning*, pp. 1-26, 2021.
- [17] A. Deveci Topal, C. Dilek Eren & A. Kolburan Geçer, “Chatbot application in a 5th grade science course”, *Education and Information Technologies*, vol. 26, no 5, pp. 6241-6265, 2021.
- [18] M. Fırat, “Öğrenci Destek Servislerinde Doğal Dil İşleme: Gpt-3 Örneği”, presented at the 12th ICoSReSSE International Conference of Strategic Research in Social Science and Education, 10-13 December 2020.
- [19] A. Bozkurt, “Generative artificial intelligence (AI) powered conversational educational agents: The inevitable paradigm shift” *Asian Journal of Distance Education*, vol. 18, no 1, 2023.
- [20] A. Yıldırım & H. Şimşek, *Sosyal Bilimlerde Nitel Araştırma Yöntemleri*, (9. Baskı), Ankara, Türkiye: Seçkin Yayıncılık, 2013.
- [21] Ş. Büyüköztürk, E. Kılıç-Çakmak, Ö. Akgün, Ş. Karadeniz & F. Demirel, *Bilimsel Araştırma Yöntemleri*, (17. Baskı), Ankara, Türkiye: Pegem Akademi, 2014.
- [22] L. Kohnke, “L2 learners' perceptions of a chatbot as a potential independent language learning tool”, *International Journal of Mobile Learning and Organisation*, vol. 17, no 1-2, 214-226, 2023.
- [23] T. K. Chiu, B. L. Moorhouse, C. S. Chai, & M. Ismailov, “Teacher support and student motivation to learn with Artificial Intelligence (AI) based chatbot”, *Interactive Learning Environments*, pp. 1-17, 2023.
- [24] D. Lee & S. Yeo, “Developing an AI-based chatbot for practicing responsive teaching in mathematics”, *Computers & Education*, vol. 191, 104646, 2022.



Research Article

Use of Recycled Aggregate Concretes in Road and Site Concretes Subject to Freeze-Thaw Effect

Yeşim Tarhan¹ , Remzi Şahin² 

¹ Department of Construction, Ardahan Vocational School of Technical Sciences, Ardahan University, 75002 Ardahan, Türkiye

² Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Atatürk University, 25240 Erzurum, Türkiye

* Correspondence: yesimtarhan@ardahan.edu.tr

Received: 6 November 2023; Accepted: 7 December 2023; Published: 31 December 2023

Abstract: This study investigated the freeze-thaw resistance of concretes containing recycled aggregate (RCA) derived from construction industry waste. In the study, 0%, 30% and 60% RCA was used as a replacement for normal aggregate. Two different maximum aggregate grain sizes (16 mm and 22.4 mm) were selected and two different (0.06% and 0.20%) proportions of air-entraining admixture (AEA) were used. The freeze-thaw resistance of the concrete specimens under de-icing salt (3% NaCl solution) was determined. The experimental results showed that the use of AEA increased the freeze-thaw resistance of the concrete by providing additional voids in the concrete and reducing the capillary permeability of the concrete. As a result, it was concluded that RCA can be used in road and site concretes that are exposed to severe winter conditions.

Keywords: recycled aggregate, de-icing salt, concrete road, site concrete

Araştırma Makalesi

Geri Kazanılmış Agregalı Betonların Donma-Çözülme Etkisi Altındaki Yol ve Saha Betonlarında Kullanımı

Öz: Bu çalışmada inşaat sektörünün ürettiği yapısal atıklardan elde edilen geri kazanılmış agrega (GKA) içeren betonların donma-çözülme dirençleri araştırılmıştır. Çalışmada %0, %30 ve %60 oranlarında GKA normal agrega ile yer değiştirilerek kullanılmıştır. İki farklı maksimum agrega tane boyutunun (16 mm ve 22,4 mm) seçildiği çalışmada yine iki farklı (%0,06 ve %0,20) oranda hava sürükleyici katkı maddesi (AEA) kullanılmıştır. Çalışmada beton örneklerin buz çözücü tuz (%3'lük NaCl çözeltisi) altındaki donma-çözülme dirençleri belirlenmiştir. Deney sonuçları GKA kullanımının, betonda ekstra boşluklar sağladığı ve betonun kapiler geçirgenliğini azalttığı için betonun donma-çözülme direncini arttırdığını göstermiştir. Sonuç olarak, yoğun kış koşullarının yaşandığı yol ve saha betonlarında GKA kullanılabileceği değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: geri kazanılmış agrega, donma-buz çözücü tuz, beton yol, saha betonu.

Citation: Y. Tarhan and R. Şahin "Use of Recycled Aggregate Concretes in Road and Site Concretes Subject to Freeze-Thaw Effect", *Journal of Studies in Advanced Technologies*, vol. 1, no. 2, pp. 84-93, Dec 2023, doi: 10.5281/zenodo.10445086

1. Giriş

Dünya nüfusunda ve kentleşme potansiyelindeki hızlı artış, birçok alanda gerçekleşen teknolojik gelişmeler, endüstriyel alanlardaki yenilikler, insan gereksinimlerinin hızla değişmesi gibi birçok nedenden dolayı inşaat sektörüne olan ilgi her geçen gün çığ gibi artmaktadır. Bu ilginin karşılanabilmesi doğal hammadde kaynaklarının tüketilmesi ve ortaya çıkan atıkların yol açtığı bir takım ekolojik sorunları beraberinde getirmiştir [1]. Geri kazanım, bu sorunların çözümü için ekolojik ve ekonomik bir çözüm yöntemi olarak öne çıkmaktadır. Geri kazanım atık yönetimi içerisinde değerlendirilen bir işlemdir [2]. Nitekim atık yönetimi; atığın kaynağında azaltılması, özelliğine göre ayrılması, toplanması, geçici depolanması, ara depolanması, geri kazanılması, taşınması, bertarafı ve bertaraf işlemleri sonrası kontrolü ve benzeri işlemleri içeren bir yönetim biçimi olarak tarif edilmektedir [3].

İnşaat sektörü, ham maddesinin %50'sini doğadan sağlar, toplam enerjinin %40'unu tüketir ve toplam atıkların %50'sinin de oluşumuna neden olur [4]. Çevre kirliliğine sebep olan atıkların büyük bir bölümüne yapısal inşaat atıkları sebep olmaktadır. Yapısal inşaat atıklarının da yaklaşık %40'unu beton atıkları oluşturmaktadır [5]. Diğer taraftan, bilindiği üzere dünyada kişi başına en çok düşen malzeme, sudan sonra, betondur. Günümüzde dünyada tahminen 10 milyar metreküp hazır beton üretilmektedir [6]. Bu da dünya nüfusunun 8 milyar olduğu varsayıldığında, kişi başına yaklaşık 1.25 metreküp (yaklaşık 3 ton) hazır beton tüketildiği anlamına gelmektedir.

Bir bina ya da yapının yıkılması ile elde edilen eski beton, kırılarak beton agregası ya da yollarda zemin altı malzemesi olarak yeniden kullanılabilir [7]. Betonun ağır matrisi onu, aynen veya çok az güç ve performans kaybına uğrayarak kullanılabilen ideal bir geri dönüşümlü malzeme yapar. Ancak bu konuda henüz yeterince farkındalık oluşturulamamıştır. Geri kazanılmış agreganın kullanımı oldukça sınırlıdır ve genelde taşıyıcı olmayan alanlarda kullanılmaktadır [8]. Yukarıda verilen bilgilerden hareketle inşaat ve yıkıntı atıklarından elde edilen betonların yeniden kullanımının çevreye ve ekonomiye büyük oranlarda katkısı olacağı net olarak söylenebilir. Agreganın üretimi sırasında kırma, eleme ve nakliye için tüketilen zaman ve enerji miktarındaki azalma da göz önünde bulundurulduğunda sağlanan ekonomik katkının miktarının daha da artacağı ileri sürülebilir [9], [10]. Rao vd. [11]'de de geri kazanılmış agregaların doğal agregalara göre çok daha ucuz olduğu belirtilmiştir.

Literatürde geri dönüşümlü agreganın betonun donma-çözülme direnci üzerine etkisinin araştırıldığı sınırlı sayıda çalışmanın bulunduğu belirlenmiştir [12]. Çelik [13], 50 çevrimlik donma çözülme deneyleri sonucunda geri kazanılmış agregalı betonların donma çözülme-dirençlerinin normal agregalı betonlara göre oldukça yüksek performanslı sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir. Richardson vd. [14] yaptıkları çalışmada bu agregaların olumsuz özelliklerini iyileştirmek için hava sürükleyici katkı ve polipropilen lif katkısı kullanmışlardır. Sonuçta geri kazanılmış agregalı betonların normal agregalı betonlara nazaran donma-çözülme çevrimlerine daha dirençli olduğu görülmüş ve eklenen katkıların da bu direnci olumlu yönde etkilediğini belirtilmişlerdir. Petkovic vd. [15] tarafından çalışmada ise söz konusu agregalarla üretilen betonların donma-çözülme dirençleri açısından uygun olduğunu gösterse de buz çözücü tuzlara maruz bırakılan betonların donma-çözülme dayanımlarının zor şartlarda yeterli olmadığını göstermiştir. Zaharieva vd. [16] ve Medina vd. [17] tarafından yapılan çalışmalarda ise geri kazanılmış agregaların düşük donma-çözülme dirençleri nedeniyle değişken iklimlerde kullanılmaması gerektiği vurgulanmıştır.

Literatürde genel olarak GKA'ların betonların dayanımını düşürdüğü [10], [11], [18]-[20] ve bu nedenle yol ve saha betonlarında kullanılması gerektiği önerilmektedir. Öte yandan, kış aylarında yollardaki buzlanmayı gidermek için yapılan tuzlama çalışmalarının yol kaplamasına zarar verebileceği bilinmektedir. Bu bağlamda bu çalışma, GKA'lar ile üretilen betonların yol kaplaması olarak kullanıldığında buz çözücü bir tuz olan NaCl çözeltisi etkisi altında donma-çözülme direncini araştırmayı amaçlamaktadır. GKA'ların kış koşullarında beton yolların dayanıklılığını artırma potansiyelini anlamak için bu malzemelerin buzlanmayı önleyici tedbirlere nasıl katkı sağlayabileceği ortaya konulmaya çalışılmıştır.

2. Materyal ve Metot

2.1. Kullanılan Malzemeler

Deneyleerde Normal Portland Çimentosu (CEM I 42.5R), ince agrega olarak dere kumu, doğal iri agrega olarak kalker esaslı kırma taş ve filler malzeme olarak 0-0.125 mm boyutlu kalker tozu kullanılmıştır. Mineral katkı malzemesi olarak F sınıfı uçucu kül, kimyasal katkı olarak modifiye sentetik karboksilat polimer esaslı yeni nesil süper akışkanlaştırıcı beton katkısı (özgül ağırlığı 1.085) ve hava sürükleyici beton katkısı (AEA, özgül ağırlığı 1.010) kullanılmıştır. Kullanılan çimento ve uçucu külün kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 1’de verilmiştir.

GKA olarak İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Atık Maddeleri Değerlendirme AŞ (İSTAÇ)’a ait geri kazanım tesisinden temin edilen 4-22.4 mm boyutlarındaki agregalar kullanılmıştır. Tüm agregaların ilgili Türk Standartlarına göre belirlenen bazı fiziksel özellikleri ve özgül ağırlıkları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan çimento ve uçucu külün kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Kompozisyon (%)	Çimento (CEM I 42.5R)				Uçucu Kül (F)			
		SiO ₂	18.72	SO ₃	2.98	SiO ₂	53.69	SO ₃
	Al ₂ O ₃	4.54	Na ₂ O	0.19	Al ₂ O ₃	20.29	Na ₂ O	-
	Fe ₂ O ₃	3.43	K ₂ O	0.68	Fe ₂ O ₃	11.83	K ₂ O	2.53
	CaO	62.25	Cl	0.0098	CaO	3.40	Cl	-
	MgO	3.34	Çöz. Kalıntı	0.95	MgO	4.09	Kız. Kaybı	2.01
Fiziksel Karakteristikler	Blaine(cm ² /g)	3812		4020				
	Özgül Ağırlık	3.13		1.98				
	28-günlük	57.9		-				
	Bas.Day.(MPa)							

Tablo 2. Agregaların fiziksel özellikleri

	Tane Yoğ. (g/cm ³)	Su Emme (%)	Aşınma Oranı (%)	Donma-Çöz. Kütle Kaybı (%)
İnce Agrega	2.44	4.99	-	-
İri Agrega (Kırma Kalker)	2.68	0.96	15.4	0.95
GKA	2.37	6.94	38.04	13.75

Karışımlarda; su/çimento oranı 0.53, bağlayıcı dozajı 350 kg/m³, uçucu kül oranı %15 (çimento ile ikame edilerek) ve süperakışkanlaştırıcı oranı % 1.5 olarak sabit tutulmuştur. Buna karşın GKA oranı üç (%0, %30, ve %60), maksimum agrega tane çapı (d_{max}) iki (16 mm ve 22.4 mm) ve sürüklenmiş hava miktarı yine iki (0.06% ve 0.20%) farklı seviyede incelenmiştir. Bu parametre ve seviyelerine göre toplam 12 adet karışım üretilmiştir. Agrega oranları ise şu şekilde belirlenmiştir:

- i- Toplam agrega hacminin %5’i oranındaki filler malzeme bütün karışımlar için 93.4 kg/m³ olarak sabit alınmıştır.
- ii- Daha sonra kalan agrega hacmi her bir tane sınıfı için (yani 0/2, 2/4, 4/8 ve 8/dmax) eşit olacak şekilde (%25 oranında) dağıtılmıştır.
- iii- İnce agrega oranları sabit alınmıştır. Buna göre 0/2 tane sınıfı 392 kg/m³, 2/4 tane sınıfı ise 408 kg/m³ olarak bütün karışımlar için sabit alınmıştır.
- iv- İri agregalar ise karışımlara maksimum tane sınıflarına göre farklı şekillerde konulmuştur. Buna göre; dmax =16 mm olan seriler için iki tane sınıfı (4/8 ve 8/16), dmax =22.4 mm olan seriler için üç tane sınıfı (4/8, 8/16 ve 16/22.4) belirlenmiştir. 4/8 tane sınıfı için tüm karışımlarda NA+GKA oranı %25’dir. 8/dmax için ise ikili (8/16 ve 16/22.4) tane sınıfları için NA+GKA oranı toplamı %25’tir. Çalışmada sadece normal iri agrega aynı boyuttaki GKA ile %0, %30 ve %60 oranlarında yer değiştirilmiştir.

Çalışmada kodlamalarla ilgili olarak aşağıdaki yol izlenmiştir: ilk üç karakter maksimum agrega çapını, ondan sonraki üç (kontrol numunelerinde iki) karakter GKA oranını (yüzde olarak), en son iki ya da üç karakter ise AEA oranını (on binde olarak) göstermektedir. Buna göre örneğin 16D60G20A; 16 mm maksimum agrega çapı, %60 GKA oranı ve %0.20 oranında AEA içeren betonu göstermektedir.

2.2. Deneysel Çalışma

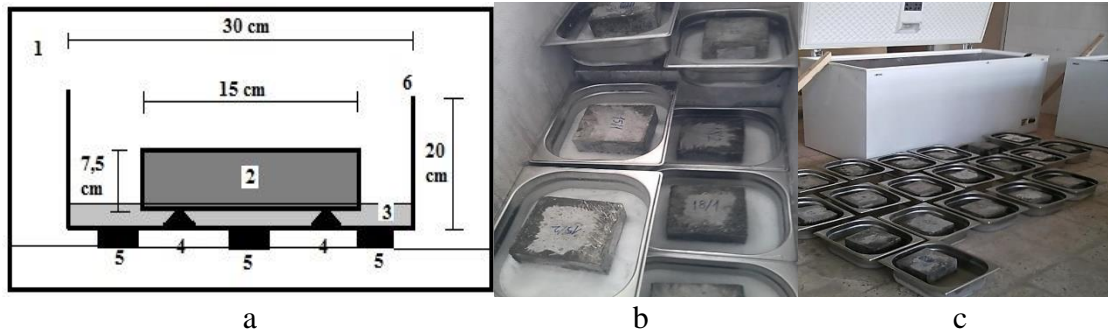
Beton numuneler 60 dm³ kapasiteli, 25 devir/dk karıştırma hızına sahip, düşey eksenli laboratuvar tipi mikserle karıştırılarak üretilmiştir. Uzun süren ön deneylerden sonra karışıma önce iri agregalar ve toz maddeler (çimento, uçucu kül ve filler malzeme) eklenerek bir ön karıştırma işlemi yapılmıştır. İnce agregaların da eklenmesiyle oluşan karışım 1dk kuru olarak karıştırıldıktan sonra suyun yaklaşık %60'lık kısmı eklenerek 1.5 dk daha karıştırılmaya devam edilmiştir. Ardından kalan suyun yaklaşık %70'lik kısmına süperakışkanlaştırıcı eklenerek 1.5 dk ve kalan yaklaşık %30'luk kısma da AEA eklenerek 1dk daha karıştırılmıştır. Karışım 1dk dinlendirildikten sonra 2 dk daha karıştırılarak beton üretimi tamamlanmıştır.

Beton karışım hesapları TS 802 (Beton karışım tasarımı hesap esasları) [21] standardına göre yapılmıştır. Beton üretimi ise TS EN 206+A2 (Beton-Özellik, performans, imalât ve uygunluk) [22]'e uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Kontrol betonu (16D0G6A)'na ve 22D60G20A grubuna ait karışım hesapları Tablo 3'de (1 m³ teki kilogramları olarak) verilmiştir. Karışımlarda başlangıçta çimento dozajı 350 kg/m³ olarak alınmış, ancak çimento miktarının %15'i kadar (52.5 kg) kullanılan uçucu kül çimento miktarından düşülmüştür. Bu nedenle net çimento dozajı 297.5 kg/m³ olarak verilmiştir.

Tablo 3. Beton karışım hesapları

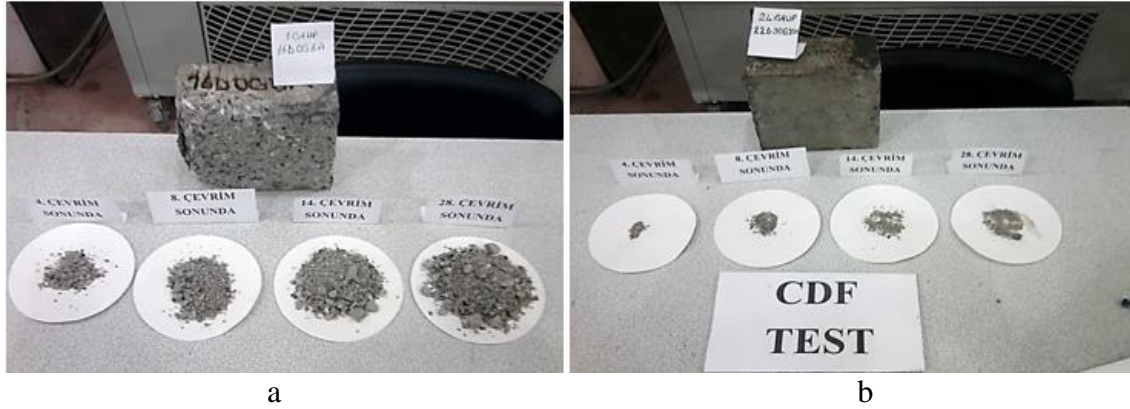
Grup	Çim ento	Su	Uçucu Kül	Süp. Ak.	AE A	Agrega								
						Filler	0-2 mm	2-4 mm	4-8 NA	8-16 NA	16-22.4 NA	4-8 GKA	8-16 GKA	16-22.4 GKA
16D0G6A	297.5	185.5	52.5	5.3	0.2	93	392	408	426	434	-	-	-	-
22D60G20A	297.5	185.5	52.5	5.3	0.7	93	392	408	170	87	87	219	112	115

GKA ile üretilen betonların donma-çözülme direncinin araştırıldığı bu çalışmada donma- çözülme deneyleri TSE CEN/TS 12390-9 (Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 9: Donma çözülme direnci- Yüzeysel kabuk atma (yüzeysel yıpranma)) [23]'e göre yapılmıştır. Bu standartta betonun donma-çözülmesi için Referans Yöntem ve Alternatif Yöntemler olmak üzere iki farklı ana metottan bahsedilmektedir. Bu çalışmada Alternatif Yöntemlerden CDF deneyi esas alınmıştır. Bu yöntem; numune üretim yönteminin kolaylığı, deney süresinin kısalığı ve de uluslararası bilinirliği nedeniyle seçilmiştir. Bu yöntemde 15x15x15 cm³ boyutlarındaki kalıbın içine merkezlenmiş politetrafloroetilen (PTFE) plakasının ikiye böldüğü (15cmx15cmx7.5 cm) numunelerin %3'lük NaCl çözeltisi içine kısmen batırılması sonucu oluşan hasarın incelenmesi ile betonların donma-çözülme dirençlerinin tayini yapılmıştır. Bu yöntemde donma-çözülme etkisiyle betonda oluşan hasar, 28 donma-çözülme döngüsü sonunda kabuk atma yoluyla uzaklaşan kütlelerin ölçülmesiyle değerlendirilmiştir. Her numunenin deneye tabi tutulan yüzeyi 150x150 mm²'dir. Donma-çözülme deneyi, deney numunesi doymun hale getirilip 28 günlük olunca başlatılmıştır. Kuru halde saklamayı müteakip numuneler Şekil 1(a)'da gösterildiği gibi (5±0.1) mm yükseklikteki takozlar üzerinde deney yüzeyleri aşağıya gelecek şekilde deney kaplarına yerleştirilmiştir. Daha sonra donma sıvısı, numunenin üst yüzeyleri ıslatılmadan (10±1) mm yüksekliğine kadar deney kabı içine dökülmüştür [24]. Şekil 1(b) ve (c)'de CDF yöntemine göre dondurulan ve çözdürülen numunelerin görüntüleri verilmiştir.



Şekil 1. CDF Yöntemi' ne göre oluşturulan donma-çözülme deney düzeneği [1: Dondurucu ortam. 2: Numune. 3: Donma sıvısı (%3 NaCl). 4: Takoz (5 mm). 5: Kapların üzerine oturtulduğu mesnetler. 6: Numunenin ve donma sıvısının konulduğu kap] (a), Numunelerin donma tuz çözeltisinde dondurucu ortam içinde dondurulması (b), Numunelerin çözdürülmesi (c).

Donma-çözülme deneylerinde numunelerin maruz kaldığı sıcaklıkların zamanla değişiminin belirlenmesi önem arz etmektedir. Dondurucu ortam tam dolu iken ve numune ile %3'lük NaCl çözeltisinin temas yüzeyine konulan bir termofit yardımıyla okunan sıcaklıklar ölçülerek donma çözülme rejimi belirlenmiştir. Donma-çözülme sıcaklık aralığı (+20°C) / (-20°C), dondurma süresi 16 saat çözülme süresi ise 8 saat olarak belirlenmiştir. Deney esnasında yapılan dondurma ve çözülme görüntüleri Şekil 1' de verilmiştir. Şekil 1 (a)'dan görülebileceği üzere dondurma ortamı havadır. Şekil 2 (a)' donma çözülme çevrimlerinden sonra en çok kabuk atan karışım ile en az kabuk atan karışımın (b) karşılaştırılması verilmiştir.



Şekil 2. Donma-çözülme sonrası en çok kabuk atan karışım (16D0G6A) (a) ve en az kabuk atan karışım (22D30G20A) (b).

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada üretilen beton numuneler üzerinde gerçekleştirilen donma-çözülme deneylerinden elde edilen bulgular Tablo 4' te verilmiştir.

Tablo 4. Betonların yüzeysel kabuk atma miktarlarının çevrim sayısına göre değişimi

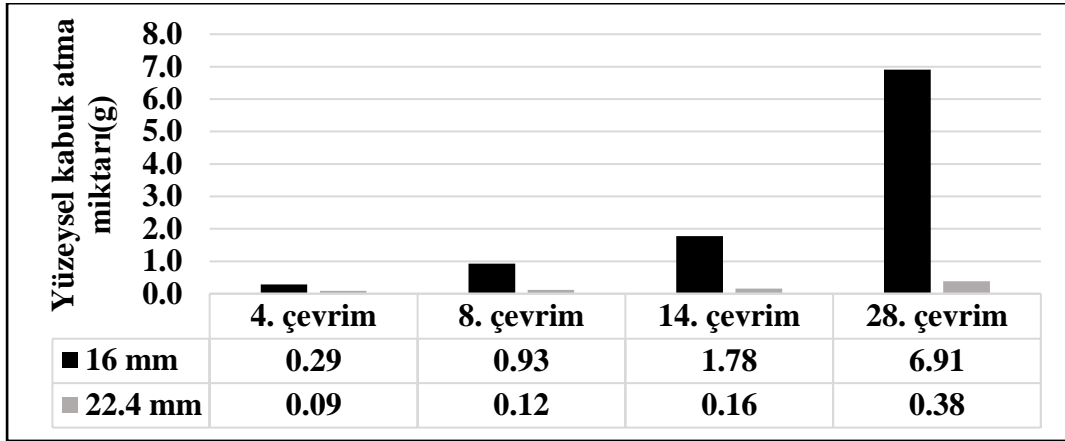
KOD	Pullanma Miktarı (kg/m ²)				S _n * (kg/m ²)
	4. çevrim	8. çevrim	14.çevrim	28. çevrim	
16D0G6A	0.12	0.67	1.49	6.27	8.55
16D0G20A	0.09	0.12	0.15	0.34	0.7
16D30G6A	0.02	0.04	0.06	0.09	0.21
16D30G20A	0.02	0.03	0.03	0.04	0.12
16D60G6A	0.02	0.04	0.02	0.05	0.13
16D60G20A	0.02	0.03	0.03	0.12	0.2
22D0G6A	0.01	0.02	0.03	0.14	0.2
22D0G20A	0.01	0.01	0.01	0.02	0.05
22D30G6A	0.01	0.01	0.01	0.03	0.06
22D30G20A	0.04	0.06	0.02	0.07	0.19
22D60G6A	0.01	0.01	0.04	0.06	0.12
22D60G20A	0.01	0.01	0.05	0.06	0.13

Tablo 4'te verilen bulgulardan hareketle seçilen parametrelerin betonun donma-çözülme davranışı üzerindeki etkisi aşağıda değerlendirilmiştir.

3.1. Maksimum Agrega Çapının Betonların Yüzeysel Kabuk Atma Direnci Üzerindeki Etkileri

Deneylerden elde edilen bulgulardan hareketle maksimum agrega tane çapına göre betonların ortalama yüzeysel kabuk atma miktarları da belirlenmiştir. Elde edilen grafik Şekil 3'de verilmiştir. Grafikten de görülebileceği üzere bütün donma-çözülme deneyleri boyunca (yani tüm çevrimlerde) en fazla kabuk atma miktarı 16 mm' lik maksimum agrega çapına sahip olan betonlarda görülmüştür. Buna karşın en az kabuk atmanın da 22.4mm'lik maksimum agrega çapına sahip olan betonlarda görüldüğü yine aynı grafikten

görülmektedir. Dolayısıyla maksimum agrega tane çapı arttıkça betondaki boşluk miktarı ve buna paralel olarak donma-çözülme direncinin de arttığını savunmak mümkündür.

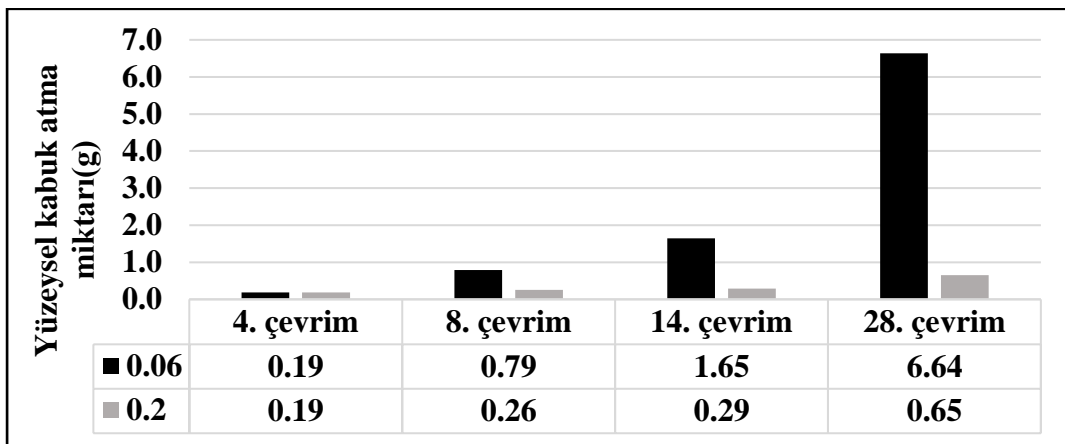


Şekil 3. Maksimum agrega tane çapının karışımların yüzeysel kabuk atmaları üzerindeki etkisi.

Şekil 3' teki grafikten ve Tablo 4'den görülebileceği üzere bütün donma-çözümeye deneyleri boyunca en fazla kabuk atma miktarı 16 mm' lik maksimum agrega çapına sahip olan ve GKA içermeyen betonlarda görülmüştür. Maksimum tane çapı 16 mm olan gruplarda karşına GKA katılması ile kabuk atma miktarının. %0 oranında GKA içeren kontrol betonuna göre kayda değer oranlarda azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Öyle ki, genel olarak GKA miktarının artması ile kabuk atmaların da azaldığı söylenebilir. GKA oranının artması ile betonların donma-çözülme kaynaklı yüzeysel kabuk atma dirençlerinin arttığı (yani yüzeysel kabuk atma miktarının azaldığı) net olarak görülmüştür. Bu grupta hemen hemen bütün çevrimlerde en iyi sonucu %60 oranında GKA içeren karışımlar vermiştir.

3.2. AEA Oranının GKA İçeren Betonların Yüzeysel Kabuk Atma Direnci Üzerindeki Etkileri

DeneySEL çalışma kapsamında üretilen tüm karışımlara iki farklı oranda (%0.06 ve %0.20) hava sürükleyici katkı maddesi katılmıştır. CDF Yöntemi' ne göre gerçekleştirilen donma-çözülme deneyleri sonucunda betonların yüzeylerinden olan ortalama kabuk atma miktarları belirlenerek Şekil 4' de verilmiştir. Belirtilen şekildeki grafikler, karışımların GKA içerikleri ve çevrim sayısına göre ölçülen ortalama kabuk atma miktarlarını göstermektedir.



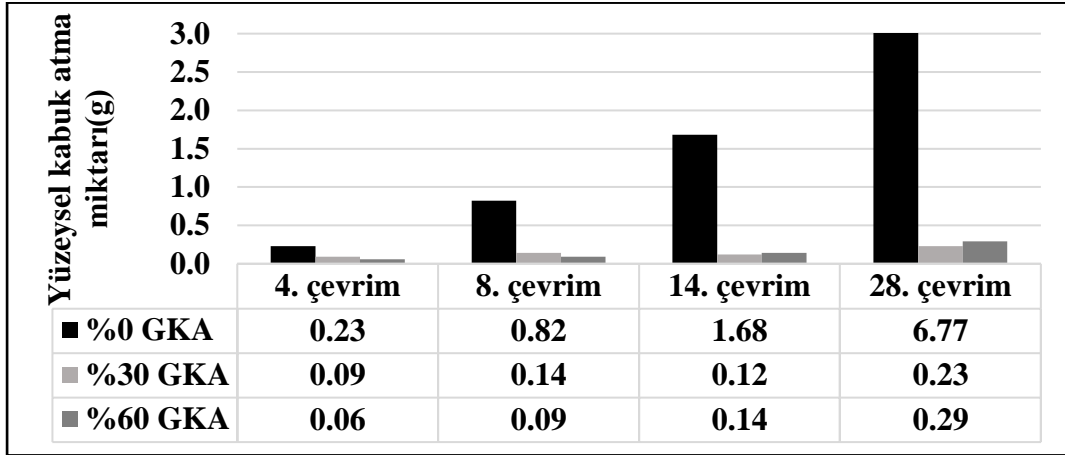
Şekil 4. Hava sürükleyici katkı oranının karışımların yüzeysel kabuk atmaları üzerindeki etkisi.

Şekil 4' den betonların yüzeysel kabuk atmaları üzerinde hava sürükleyici katkı oranının etkisi net olarak görülmektedir. Çevrim sayısı ilerledikçe hava sürükleyici katkı dozajının artmasının betonun yüzeysel kabuk atma direncini yükselttiği tespit edilmiştir. Nitekim ilk dört çevrim boyunca örneklerin kabuk atma miktarlarında hemen hemen bir farklılık yokken 8. çevrimden sonra farkın görülmeye başlandığı 14. özellikle de 28. çevrimden sonra etkinin belirgin olarak ortaya çıktığı yine verilen grafiklerde açıkça görülmektedir. Buradan özellikle tekrar sayısı arttıkça hava sürükleyici katkı miktarının artmasıyla betonun donma-çözülme direncinin de artıracığı sonucu çıkmaktadır.

Hava sürükleyici katkı maddeleri ile beton içinde oluşturulan küçük, kapalı ve ayırık haldeki milyarlarca hava boşluğunun; malzemeyi daha elastiki yaparak buz basınçlarına karşı dayanımını artırması, kılcal kanalları keserek kılcal su emmeyi azaltması ve suyun kolay boşalmasına dolayısı ile hidrostatik basınçların azalmasına imkân vermesi nedenlerinden dolayı betonların donma-çözülme ve donma-buz çözücü tuz dirençlerini artırdığı belirtilmektedir [25], [26]. Beton numunelere hava sürükleyici katkı ve GKA katılmasıyla beton içerisinde birbirinden bağımsız boşluklar oluşturulmuş ve donma çözülme çevrimlerine karşı daha dirençli olmuştur.

3.3. Geri Kazanılmış Agregası (GKA) Oranının Betonların Yüzeysel Kabuk Atma Direnci Üzerindeki Etkileri Doğrusal Regresyon modeli

GKA oranının karışımların toplam yüzeysel kabuk atmaları üzerindeki etkileri Şekil 5’ te verilmiştir. Bu grafikten de görülebileceği üzere GKA katılması ile betonların donma-çözülme dirençleri artmıştır. Nitekim grafikte görüldüğü gibi GKA ilave edilmeyen karışımların yüzeysel kabuk atma miktarları diğerlerine göre çok daha fazladır. GKA içermeyen betonlarda çevrim sayısı ilerledikçe toplam kabuk atma miktarı da artmıştır. Diğer taraftan, GKA içeren karışımlarda GKA oranının artması ile betonların donma-çözülme dirençleri de artmıştır. Bu artış, donma-çözülme çevriminin artması ile daha da belirgin hale gelmiştir. Nitekim ilk sekiz çevrimde tam olarak görülemezse de. 14 ve 28. çevrimlerden sonra karışımdaki GKA oranı arttıkça kabuk atma miktarının sürekli düştüğü Şekil 5’teki grafikten net olarak görülmektedir. Grafik %0 GKA dışındaki grupların değişiminin net olarak görülebilmesi için yüzeysel kabuk atma miktarı değeri maksimum 3 olacak şekilde çizilmiştir fakat grafiğin altındaki verilerden de görüleceği üzere 28. çevrimde %0 GKA içeren grubun yüzeysel kabuk atma miktarı 6.77 dir.



Şekil 5. GKA oranının betonun yüzeysel kabuk atma direnci üzerindeki etkisinin donma-çözülme çevrimine göre değişimi.

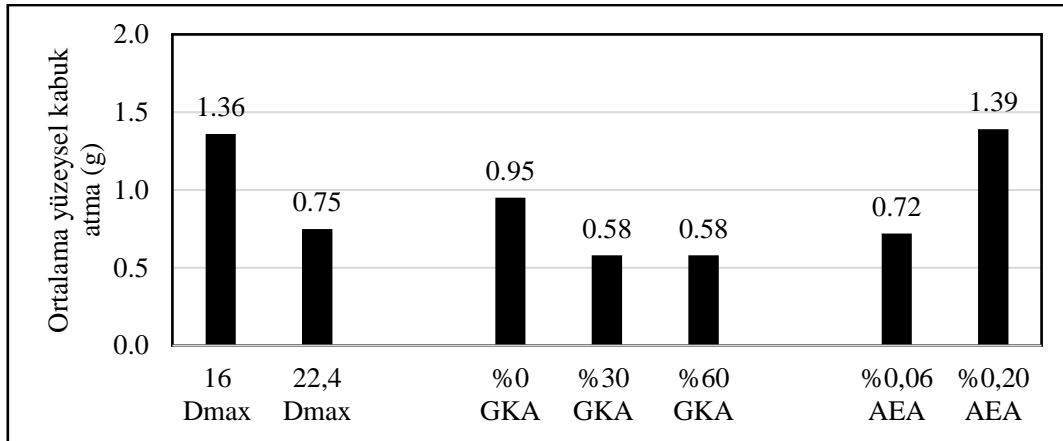
Betonun donma-çözülme direnci üzerinde geri kazanılmış agreganın olumlu yönde etkisinin olduğu kesindir. Nitekim Şekil 5’ den de görüldüğü gibi GKA ilave edilmeyen veya kullanılmayan karışımların yüzeysel kabuk atma miktarları diğerlerine göre çok daha fazladır. GKA’ ların betonların donma-çözülme dirençlerini artırmaları donma-çözülme çevriminin artması ile daha da belirgin hale gelmektedir. GKA oranının artması ile betonların kabuk atma dirençleri de artmaktadır. Nitekim ilk sekiz çevrimde tam olarak görülemezse de 14 ve 28. çevrimlerden sonra karışımdaki GKA oranı arttıkça kabuk atma miktarının sürekli düştüğü grafikten net olarak görülmektedir.

Bu durum, literatürde belirtilen sonuçlardan farklılık arz etmektedir. Örneğin Topçu and Şengel [27], Oikonomou [4]. Çakır and Sofyanlı [28] betonda kullanılacak GKA oranının optimum değeri olarak %30 değerini işaretlemişlerdir. Ancak, bu çalışmada elde edilen bulgulardan hareketle donma-çözülme direnci açısından bu oranının çok bağlayıcı olmadığı, %60 gibi daha yüksek oranların da kullanılabileceği söylenebilir. Bu sonucun çalışmanın ana temasını oluşturan donma-çözülme açısından olduğunu vurgulamak gerekir. Uygulamada ise birçok zaman betonun durabilite özellikleri yanında mekanik özelliklerinin de belli değerlerden yukarıda olması gözetilir. Diğer taraftan, bu paragrafta yapılan değerlendirmelerin bu çalışmanın sınırları içinde geçerli olduğunu da belirtmek gerekir. Bu çalışmada GKA ile donma-çözülme direnci üzerinde

olumlu etkisi olduğu literatürde açık olarak belirtilen hava sürükleyici katkı maddesinin betonun yüzeysel kabuk atması üzerindeki etkisi birlikte incelenmiştir.

3.4. Tüm Parametrelerin Betonların Yüzeysel Kabuk Atma Direnci Üzerindeki Etkileri

Karışımlara ilave edilen GKA oranı ile diğer parametreler olan maksimum agrega çapı ve hava sürükleyici katkı oranının betonların ortalama yüzeysel kabuk atmaları üzerindeki etkileri Şekil 6' da verilmiştir. Şekil 6' daki grafik tüm parametrelerin etkisinin net olarak gözükmesi için yüzeysel pullanma miktarının Tablo 4' de verildiği gibi 8.55 gramla diğer gruplardan çok fazla olduğu kontrol grubu (%0 GKA, 16 Dmax, %0.06 AEA) hariç tutularak çizilmiştir.



Şekil 6. Seçilen parametrelere göre ortalama yüzeysel kabuk atma grafiği.

Şekildeki grafikte de görüldüğü üzere; maksimum agrega çapı küçük olan, GKA içermeyen ve AEA miktarı en az olan numunelerin donma-çözülme çevrimleri sonucu yüzeysel kabuk atma miktarları fazladır. Maksimum agrega tane çapı için optimum değer 22.4 mm olarak bulunmuştur. Yukarıda da belirtildiği gibi kullanılan GKA miktarı arttıkça da yüzeysel kabuk atma direnci de artmıştır. GKA oranının optimum değeri ise bu çalışma kapsamında %60 olarak belirlenmiştir. Yine hava sürükleyici katkı için optimum oran yüzeysel pullanma miktarının daha az olduğu %0.06 olarak belirlenmiştir.

4. Sonuç

%3'lük NaCl çözeltisi içerisinde yapılan donma-çözülme deneylerinde AEA kullanılmasının, beton içerisinde bağımsız hava boşlukları oluşturduğundan, üretilen beton numunelerin donma-çözülme direncini artırdığı belirlenmiştir. Buna ek olarak GKA kullanılmasının, beton içerisinde ekstra boşluklar ortaya çıkmasını sağladığı ve kılcal geçirimsizliği düşürdüğü için, betonların yüzeysel kabuk atma direncini artırdığı belirlenmiştir. GKA oranının artışı da yüzeysel kabuk atma direncini artırmıştır. 16 mm ve 22.4 mm olarak seçilen maksimum tane çaplarından donma çözülme direnci için en uygun sonuç 22.4 mm olan serilerden elde edilmiştir. %30 ve %60 oranlarında GKA normal agrega ile yer değiştirilerek oluşturulan beton numunelerin yüzeysel kabuk atma dirençleri birbirine yakın bulunmuştur. Ayrıca AEA malzemesinin %0.06 olarak kullanılmasının beton numunelerin donma-çözülme direnci açısından olumlu sonuçlar ortaya çıkaracağı söylenebilir. Buna göre betonların donma-çözülme direnci için en uygun değerler olarak dmax= 22.4 mm, GKA = %60 ve AEA = %0.06 oranları önerilir. Belirtilen oranlara sahip betonların donma-çözülme direncinin yüksek olacak olması nedeniyle geri kazanılmış agregaların iklim koşullarının sert geçtiği bölgelerdeki yol ve saha betonları ile kaldırım kaplamalarında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Kaynakça

- [1] W. Schmidt, M. Commeh, K. Olonade, G. L. Schiewer, D. Dodoo-Arhin, R. Dauda, ... & A. Rogge, "Sustainable circular value chains: From rural waste to feasible urban construction materials solutions", *Developments in the Built Environment*, 6, 100047, 2021, doi.org/10.1016/j.dibe.2021.100047.
- [2] W. Lu, H. Yuan, "A framework for understanding waste management studies in construction", *Waste management*, 31(6), 1252-1260, 2011, doi.org/10.1016/j.wasman.2011.01.018.

- [3] S. Bayram, M. E. Öcal, and E. L. Oral, "İnşaat Atıkları Kavramının Yasal Düzenlemesi Ve Hazır Beton Tesisinde Örnek Uygulama", *Engineering Sciences*, vol. 7, no. 1, pp. 106–118, 2012, doi: 10.12739/nwsaes.v7i1.5000066872.
- [4] N. D. Oikonomou, "Recycled concrete aggregates", *Cement and concrete composites* 27.2 (2005): 315-318, doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.02.020.
- [5] B. Salgın, C. A. İpekçi, N. Coşgun, N., T. Karadayı, "Enerji ve Ham Madde Korunumu Açısından Yapısal Atıkların Yeniden Kullanımına/Geri Dönüşümüne Yönelik Bir Değerlendirme", *Journal of Architectural Sciences and Applications*, 6(2), 526-537, 2021, https://doi.org/10.30785/mbud.92798.
- [6] THBB, <http://www.thbb.org/sector/dunyada-sektor/>, Erişim Tarihi: Nisan 2019.
- [7] A. J. Roque, P.F. da Silva, and R.P.M. de Almeida, "Recycling of crushed concrete and steel slag in drainage structures of geotechnical works and road pavements", *J Mater Cycles Waste Manag* 24, 2385–2400, 2022, https://doi.org/10.1007/s10163-022-01486-7.
- [8] J. L. Zhao, T. Yu, and J. G. Teng. "Stress-strain behavior of FRP-confined recycled aggregate concrete." *Journal of composites for construction* 19.3 (2015): 04014054, doi.org/10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000513.
- [9] G. Durmuş, O. Şimşek, M. Dayi, "Geri Dönüşümlü İri Agregaların Beton Özelliklerine Etkisi", *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University / Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2009; 24(1):183-189. Accessed December 27, 2023.
- [10] B. Erdal, "Geri Kazanılmış Agregata ile Üretilen Polipropilen Lif Katkılı Betonların Özellikleri", Y. Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011.
- [11] A. Rao, N. J. Kumar, and M. Sudhir, "Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete." *Resources, conservation and Recycling* 50.1 (2007): 71-81, doi.org/10.1016/j.resconrec.2006.05.010.
- [12] Y. Tarhan, and R. Şahin, "Effect of recycled concrete aggregate, air entraining admixture and maximum aggregate particle size on the behavior of concrete under freeze-thaw cycles", *Journal of Green Building*, 16(2), 217-233, 2021, https://doi.org/10.3992/jgb.16.2.217.
- [13] B. Çelik, "Recycled Aggregate Concrete at Elevated Temperatures", Doktora Tezi, Graduate Program in Civil Engineering Boğaziçi University, 2007, İstanbul.
- [14] A. Richardson, K. Coventry, and J. Bacon. "Freeze/thaw durability of concrete with recycled demolition aggregate compared to virgin aggregate concrete." *Journal of Cleaner Production* 19.2-3 (2011): 272-277, doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.09.014.
- [15] G. Petkovic, J. Mehus, and S. Myren. "Recycled concrete aggregate–Durability aspects." Overview of research conducted as a part of the Norwegian Roads Recycled Materials R&D Program (2003).
- [16] R. Zaharieva, F. Buyle-Bodin, and E. Wirquin. "Frost resistance of recycled aggregate concrete." *Cement and concrete research* 34.10 (2004): 1927-1932, doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.02.025.
- [17] C. Medina, M. I. S. de Rojas, and M. Frías. "Freeze-thaw durability of recycled concrete containing ceramic aggregate." *Journal of Cleaner Production* 40 (2013): 151-160, doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.08.042.
- [18] T. Park, "Application of construction and building debris as base and subbase materials in rigid pavement." *Journal of Transportation Engineering* 129.5 (2003): 558-563, doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2003)129:5(558).
- [19] E. Mulder, T. PR de Jong, and L. Feenstra. "Closed Cycle Construction: An integrated process for the separation and reuse of C&D waste." *Waste management* 27.10 (2007): 1408-1415, doi.org/10.1016/j.wasman.2007.03.013.
- [20] M. Ozturk, "İnşaat yığıntı atıkları", (Construction wastes), [publication of Ministry of Environment and Urbanisation]. Retrieved from: <http://tucev.org/dosyalar/files/insaat-yikinti-atiklari.pdf>, (2017).
- [21] TS 802 (Beton karışım tasarımı hesap esasları), 2016, TSE, Ankara.
- [22] TS EN 206+A2 (Beton-Özellik, performans, imalât ve uygunluk), 2021, TSE, Ankara.
- [23] TSE CEN/TS 12390-9., Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 9: donma çözülme direnci - yüzeysel kabuk atma (yüzeysel yıpranma), 2017, TSE, Ankara.
- [24] Y. Tosun, "Geri kazanılmış agregalı betonların cdf yöntemi ile donma-çözülme (yüzeysel kabuk atma) dirençlerinin belirlenmesi (Determination of freeze-thaw (surface scaling) resistance of recycled concrete aggregate by CDF method)", Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Atatürk Üniversitesi, 2014, Erzurum.

- [25] R. Şahin, "Normal Portland Çimentolu Betonların Don Direncinin Taguchi Yöntemi ile Optimizasyonu ve Hasar Analizi", Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2003, Erzurum.
- [26] B. Baradan, H. Yazıcı, S.Aydın, "Durabilite" Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları No: 334, 825 s, 2012, İzmir.
- [27] İ.B. Topcu, and S. Şengel. "Properties of concretes produced with waste concrete aggregate." *Cement and concrete research* 34.8 (2004): 1307-1312, doi.org/10.1016/j.cemconres.2003.12.019.
- [28] Ö. Çakır, and Ö. Ö. Sofyanlı. "Influence of silica fume on mechanical and physical properties of recycled aggregate concrete." *HBRC journal* 11.2 (2015): 157-166, doi.org/10.1016/j.hbrcj.2014.06.002.



Research Article

Exergy Analysis of Solar Radiation Based on Measurement Data: A Study in Erzurum Province

Galip Kaltakkıran¹ *

¹ Department of Electric and Electronics, Faculty of Engineering, Ardahan University, 75002 Ardahan, Türkiye

* Correspondence: galipkaltakkiran@ardahan.edu.tr

Received: 4 November 2023; Accepted: 25 December 2023; Published: 31 December 2023

Abstract: In this study, the exergy potential of solar radiation energy is investigated using real measurement data such as average temperature and global solar radiation measured by the Erzurum/Tortum meteorology station between 2010 and 2021. Three different exergy models (Jeter, Spanner and Petela) are used to determine the region's global solar radiation exergy values. As a result of the analysis, the region's monthly average global solar radiation values are calculated as lowest in December with 6.92 MJ/m²-day and highest in July with 24.36 MJ/m²-day. The model-based long-term monthly average exergy-energy ratio is determined as 0.952897, 0.937196 and 0.937198 for Jeter, Spanner and Petela models, respectively. Among all models, the highest monthly and annual average global solar radiation exergy values are obtained with the Jeter model. Solar radiation exergy values of Spanner and Petela models are calculated the same. When the monthly average global solar radiation exergy values calculated according to the Jeter model are compared with the results of other models, the difference is maximum in August with 1.75%. Similarly, when comparing the annual average global solar radiation exergy values of Jeter and other models, the largest difference is in 2010 with 1.68%.

Keywords: solar radiation, exergy analysis, Erzurum

Araştırma Makalesi

Ölçüm Verilerine Dayalı Güneş Radyasyonunun Ekserji Analizi: Erzurum İlinde Bir Çalışma

Öz: Bu çalışmada 2010-2021 yılları arasında Erzurum/Tortum meteoroloji istasyonu tarafından ölçümü gerçekleştirilen ortalama sıcaklık ve global güneş ışınımı gibi gerçek ölçüm verileri kullanılarak güneş ışınım enerjisinin ekserji potansiyeli araştırılmıştır. Bölgenin global güneş ışınım ekserji değerlerini belirlemek için üç farklı ekserji modeli (Jeter, Spanner ve Petela) kullanılmıştır. Analizler neticesinde bölgenin aylık ortalama global güneş ışınım değerleri en düşük 6,92 MJ/m²-gün ile Aralık ayında ve en yüksek 24,36 MJ/m²-gün ile Temmuz ayında hesaplanmıştır. Model bazlı uzun yılların aylık ortalama ekserji-enerji oranı Jeter, Spanner ve Petela modelleri için sırasıyla 0,952897, 0,937196 ve 0,937198 olarak tespit edilmiştir. Tüm modeller içerisinde en yüksek aylık ve yıllık ortalama global güneş ışınım ekserjisi değerleri Jeter modeli ile elde edilmiştir. Spanner ve Petela modellerinin güneş ışınım ekserji değerleri aynı hesaplanmıştır. Jeter modeline göre hesaplanan aylık ortalama global güneş ışınım ekserji değerleri diğer modellerin sonuçları ile mukayese edildiğinde aradaki fark en fazla %1,75 ile Ağustos ayında olmuştur. Benzer şekilde, Jeter ve diğer modellerin yıllık ortalama global güneş ışınım ekserji değerleri kıyaslandığında en büyük fark %1,68 ile 2010 yılında görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: güneş radyasyonu, ekserji analizi, Erzurum

Citation: G. Kaltakkıran, "Exergy Analysis of Solar Radiation Based on Measurement Data: A Study in Erzurum Province", *Journal of Studies in Advanced Technologies*, vol. 1, no. 2, pp. 94-104, Dec 2023, doi: 10.5281/zenodo.10445102

1. Giriş

Dünya nüfusunun hızlı artışı, sanayileşme ve teknolojik gelişmeler gibi çeşitli etmenler gündem güne enerjiye olan talebi artırmaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkeler için talep edilen bu enerjinin karşılanmasında en büyük pay sahibi fosil kökenli enerji kaynaklarıdır. Dünya genelinde olduğu üzere ülkemizde de temel enerji kaynağı geniş oranda fosil yakıtlardır [1]. Ancak bu enerji kaynaklarının yoğun bir şekilde kullanımı gelecekte erişilebilir enerji kaynaklarında bazı sınırlamaları beraberinde getireceği öngörülebilir. Öyle ki, enerji kaynağına erişim, enerjinin taşınması ve oldukça maliyetli süreçler bu problemlerden sadece bazılarıdır.

Geniş bir ölçekte kullanılan fosil kökenli enerji kaynaklarının faydaları yanı sıra bazı zararlı etkileri de bulunmaktadır. Kirletici emisyonların çevreye salınması ile insan sağlığı ve canlıların olumsuz yönde etkilenmesi bunlardan birkaçıdır. Bu nedenle fosil yakıtların temiz bir enerji kaynağı olmaması, çevreye olan zararlı etkileri, maliyetler ve tükenme noktasına gelmesi gibi pek çok faktör, insanların daha sürdürülebilir ve daha çevreci yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimini teşvik etmektedir. Bu doğrultuda, yaşamımızdaki en temel enerji kaynağı olan güneş, bol ve sınırsız bir enerji kaynağı olması bakımından kendisine ilk sırada yer bulmaktadır [2], [3]. Ülkemizin güneş enerjisi potansiyeli de dikkate alındığında güneş enerjisi, üzerinde çalışılması gereken öncelikli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır [1].

Güneş enerjisi dünya üzerinde bolca faydalanılan sonsuz bir enerji kaynağıdır. Bu özelliği nedeniyle herhangi bir bölge için bu enerjiden maksimum oranda yararlanılması amacıyla son yıllarda çok sayıda çalışma hazırlanmıştır. Başta güneş enerjisi sistemleri olmak üzere çeşitli enerji uygulamalarına yönelik çok sayıda çalışma için meteorolojik ve iklim verileri önemli birer veri kaynağı olmuştur [4]. Birçok iklim parametresi gibi güneş ışınım şiddeti değerleri meteoroloji istasyonları tarafından bölgesel olarak ölçülmektedir. Ölçümlerin yapılmadığı yerlerde ise ölçüm verilerine dayalı tahmin modellerinden faydalanılmaktadır [3]. Güneş ışınımının enerji uygulamalarında faydalanılan önemli bir parametre olmasından dolayı güneş enerjisinin sürdürülebilirliği, avantaj ve dezavantajlarının iyi incelenmesi ve maksimum enerji verimliliğinin sağlanması oldukça önemlidir.

Enerjinin sürdürülebilirliği temel olarak termodinamik analiz metotları ile değerlendirilebilir. Bu amaçla mevcut bir enerji sisteminin iyileştirilmesi, ekolojik, çevresel ve sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesi noktasında enerji sisteminin ve süreçlerinin ekserji analizlerinin yapılması önemli bir adımdır. Ekserji, enerjinin maksimum oranda faydalı işe dönüştürülmesi şeklinde ifade edilir. Diğer bir ifadeyle, bir ortamda sisteme giren enerjinin mekanik ya da elektrik enerjisine dönüştürülebilir bölümünü göstermektedir [2]. Böylece bir enerji sisteminin çevresel etkisi ve sürdürülebilirliğinin ölçümü ekserji analizi ile desteklenebilir [5], [6]. Güneş enerjisindeki dönüşümün çevresel açıdan temiz bir enerji dönüşümü olması hem önemini ortaya koymakta hem de bu yönüyle güneş ışınımına olan talebi artırarak enerji sistemlerinin termodinamik analizlerinin yapılmasını ve yeniden tasarlanmalarını teşvik etmektedir [7].

Güneş enerjisi entropi sahibi bir enerji kaynağı olduğu için tamamen dönüştürülemez ve bu yüzden ekserji değeri %100'ün altında kalabilmektedir [2]. Hatta atmosferik koşullara bağlı olarak dünyaya ulaşan güneş ışınım enerjisinin ekserji içeriği %50 seviyesine kadar düşebilmektedir [7]. Bu nedenle, güneş enerjisi sistemlerinin termodinamik analizleri yapılarak güneş ışınım enerjisinin ekserji içeriği belirlenmektedir. Bu amaçla araştırmacılar tarafından literatürde çok çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. Bunlar arasında Petela [8] termal ışınım ekserjisini araştırmış ve ekserji değerlerinin belirlenmesinde kullanılan mevcut denklemleri incelemiştir. Güneş ışınım ekserjisi değerlerinin belirlenmesine yönelik olarak Arslanoğlu [2], Türkiye'nin yedi farklı ilinde küresel güneş ışınımını Angström-Prescott model ile tahmin etmeye çalışmış ve bu verilerin ekserji analizini yapmıştır. Bunun yanı sıra gerçek meteorolojik ölçüm verileri yardımıyla tahmin modellerinin sonuçlarını çeşitli istatistiksel metotlarla birlikte karşılaştırmalı olarak değerlendirmiştir.

Güneş ışınım ekserjisini araştırmak için Edalati vd. [9] çeşitli modeller geliştirmişlerdir. Yapay sinir ağı yardımıyla geliştirilen model sonuçlarını gerçek ölçüm verileriyle karşılaştırmışlardır. Önermiş oldukları modele ait korelasyon katsayılarının %97'den büyük olduğu ve bu yüksek doğruluk değerinin güneş ışınım potansiyelinin ölçüm olmaksızın büyük bir doğrulukla tahmin edilebileceğini göstermiştir. Beyazit vd. [10] tarafından yürütülen bir çalışmada, Diyarbakır ili için ölçümü yapılan güneş ışınım verileri (1999-2008) kullanılarak Jeter, Petela ve Spanner ekserji yaklaşımlarına göre ekserji analizi yapılmıştır. Global güneş

ışınımının ekserji/enerji oranının belirlenmesinin yanı sıra güneş ışıını enerji analizini yapılmıştır. Petela ve Spanner modellerinde en yüksek uzun dönem aylık ortalama güneş ışıını ekserji değeri 26,66 MJ/m² olarak hesaplanmıştır. Jeter modeline göre ise en yüksek uzun dönem aylık ortalama güneş ışıını değerin 27,13 MJ/m² ile Haziran ayında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca Petela ve Spanner modellerinde güneş ışıını ekserji-enerji oranı 0,932 ile 0,939 arasında değişirken, Jeter modelinde bu değişkenlik 0,949-0,954 aralığında gerçekleşmiştir. Bu sonuçlar ışığında güneş ışıını ekserjisi tahminine yönelik korelasyon geliştirilmiştir.

Türkiye özelinde güneş ışıını ekserjisi değerlerinin hesaplanması amacıyla Kurtgöz vd. [11] güneş ışıını ekserji-enerji oranlarını Petela, Spanner ve Jeter yaklaşımları ile hesaplamışlardır. Türkiye için ekserji-enerji oranları ve ekserji değerleri haritalar yardımıyla sunulmuş çevresel ekonomik analizler yapılmıştır. Benzer şekilde Uçkan [12], Van ili için 1993-2007 yılları arası ölçüm verilerine dayalı güneş ışıını ekserji analizini gerçekleştirmiştir. Öyle ki, farklı ekserji modelleri yardımıyla ekserji/enerji oranlarını ve ekserji değerlerini hesaplamıştır. Spanner ve Petela ekserji modelleri ile en büyük aylık ortalama güneş radyasyonu ekserji değerin 26,85 MJ/m² ile Haziran ayında olduğunu gözlerken, Jeter modeli sonuçlarının diğer modellere göre yaklaşık %1,7 kadar yüksek olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, Petela ve Spanner modellerinde güneş ışıını ekserjisinin ışıını enerjisine oranının 0,934-0,939 arasında değiştiğini belirlemiştir. Yıllık güneş ışıını ekserjisinin en yüksek 19,68 MJ/m² ile 2000 yılında ve en düşük 16,50 MJ/m² ile 1993 yılında olduğunu tespit etmiştir.

Türkiye’de 8 farklı ilin güneş ışıını enerji ve ekserji değerlerinin araştırılması amacıyla Çevik [5], meteoroloji istasyonları tarafından ölçümü yapılan gerçek verilere dayalı istatistiksel modeller yardımıyla bölgelere ait yeni küresel güneş ışıını tahmin modelleri oluşturmuştur. Tahmin sonuçları gerçek ölçüm sonuçlarıyla mukayese edilerek doğruluğu incelenmiş ve Jeter, Petela ve Onyegegbu-Morhenne ekserji modellerine göre illerin ekserji analizleri yapılmıştır. Yeşilbudak vd. [13] tarafından yapılan bir çalışmada, Ankara iline yönelik uzun dönem ölçüm verilerine dayalı global güneş ışıını, güneşlenme süresi ve hava sıcaklığı gibi parametrelerin detaylı analizleri gerçekleştirilmiştir. Her bir parametre için üç ayrı ampirik metot yardımıyla modeller geliştirilmiş ve bu modellerin performansları istatistiksel olarak kıyaslanmıştır. En iyi istatistiksel sonuçları sergileyen modellerin ilin güneş karakteristiklerinin modellenmesinde başarılı olduğu ve bu modellerin benzer iklim şartlarına uygun farklı bölgeler için de önemli bir kaynak olacağı belirtilmiştir.

Küresel güneş ışıını doğru bir şekilde tahmin edilmesi güneş enerjisi sistemlerinin verimliliklerinin iyileştirilmesi noktasında oldukça önemlidir. Buna istinaden araştırmacılar gerçek ölçüm verileri yardımıyla global güneş ışıını şiddetinin olabildiğince doğru tahmin edilmesi amacıyla çeşitli yazılımlardan yararlanmaktadır. Bu amaçla, Kurtgöz ve Deniz [14] tarafından yürütülen bir çalışmada, güneş ışıını etkileyen meteorolojik ve coğrafi faktörler de dikkate alınarak yapay sinir ağları ile Türkiye’deki Göksun İstasyonu için global güneş ışıını tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bununla birlikte tahmin metodolojisinde girdi olarak yakındaki meteoroloji istasyonlarına ait global güneş ışıını verilerinin kullanılmasının etkisi de ayrıca incelenmiştir. Tahmin edilen ve ölçümü gerçekleştirilen global güneş ışıını değerlerinin ekserji analizleri Jeter, Spanner ve Petela yaklaşımları aracılığıyla yapılmıştır. Global güneş ışıını ekserji analizinde bu üç farklı ekserji modelinin kullanımı oldukça yaygındır. Hatta Hepbaslı ve Alsuhaibani [15] tarafından yürütülen bir çalışmada bu üç güneş ışıını ekserji modeli kapsamlı bir şekilde incelenmeye çalışılmıştır. Türkiye ve Suudi Arabistan’ın bazı bölgeleri için güneş ışıını ekserjisinin ışıını enerjisine oranının belirlenmesi amacıyla her bir ekserji modeli incelenmiştir. Ayrıca, ekserji modelleri arasında Jeter ekserji yaklaşımından elde edilen değerlerin Petela ve Spanner yaklaşımlarından elde edilen değerlere kıyasla %2 daha büyük olduğu belirlenmiştir.

Farklı bölgeler özelinde global güneş ışıını ekserji içeriğinin etkilerinin araştırılmasına yönelik olarak Joshi vd. [16] tarafından bir güneş ekserji haritası geliştirilmeye çalışılmış ve güneş enerjisi uygulamalarının performansına etkileri incelenmiştir. Hindistan ve ABD’nin farklı şehirlerine yönelik yürüttükleri bu çalışmada, güneş ışıını ekserjisinin fotovoltaik termal sistemlerin ekserji verimlilikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Hindistan Yeni Delhi bölgesi için modele dayalı ekserji verimlilik değerlerinin deneysel sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür. Maksimum ortalama ekserji verimleri yılın farklı aylarına göre Hindistan’ın farklı bölgelerinde değişkenlik göstermiştir. Sonuçta, her iki ülkenin iklim

koşulları altında fotovoltaik termal sistemlerin ekserji verimlilik performansının en iyi olduğu dönemin Ağustos ayı olduğu görülmüştür.

Güneş ışınım ekserjisi yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinin faydalı enerjiye dönüşüm oranını göstermektedir. Bu oranın belirlenmesi oldukça önemli olup, güneş ışınım enerjisinin soğurulması aşamasında enerji kalitesindeki bozulma ekserji analizleri ile belirlenir. Alta vd. [17] tarafından Türkiye üzerindeki aylık ortalama güneş ışınımı ekserji değerlerinin dağılımının belirlenmesi amacıyla ölçüm verilerine dayalı bir haritalama çalışması yürütülmüştür. Burada hem güneş ışınımının ekserji değerleri belirlenmeye çalışılmış hem de Türkiye özelinde ilk kez yatay bir yüzey için ortalama aylık güneş ışınımı ve ortalama aylık hava sıcaklığı değerleri kullanılarak haritalama işlemi yapılmıştır. Hesaplamalar neticesinde Türkiye için aylık ortalama güneş ışınım ekserji değerinin $13,5 \text{ MJ/m}^2\text{-gün}$ civarında ve yıllık ekserji-enerji oranının ise $0,93$ olduğu tespit edilmiştir. Benzer şekilde yatay bir yüzey için karasal ve kara dışı güneş ışınım ekserjisinin güneş ışınım enerjisine oranının tespit edilmesi amacıyla Chu ve Liu [18] tarafından yatay yüzeyler için hava kütesinin ve eğimli yüzeyler için eğim açısının yersel güneş ışınım ekserjisi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışma neticesinde, artan eğim açısıyla birlikte karasal güneş ışınım ekserjisinin ilk başta arttığı daha sonra ise azaldığı belirlenmiştir. Diğer yandan küresel karasal güneş ışınım ekserji değerlerinin hava kütesinin artışına bağlı olarak azaldığı görülmüştür.

Güneş ışınım ekserjisi veya entropisi üzerine çok sayıda araştırma literatürde yer almaya devam etmektedir. Ancak yazarlar arasında çeşitli tutarsızlıkların olması kavramlar arasında karmaşalara neden olmakta ve yanlış hesaplamaların yapılmasına sebep olmaktadır. Bu konunun aydınlığa kavuşturulması amacıyla Candau [19] tarafından bir çalışma yürütülmüş ve sadece klasik termodinamik kavramlara uygun olarak ışınım ekserjisinin hesaplanması önerilmiştir. Bu yolla elde edilen hesaplama sonuçlarının geçerliliğinin kolayca teyit edilebileceği düşünülmüş ve farklı ekserji yaklaşım modelleri incelenerek klasik termodinamik kavramlara uygun ekserji modellerinin geliştirilmesi önerilmiştir.

Bu çalışmada, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Erzurum ilinde Tortum meteoroloji istasyonu tarafından ölçümü gerçekleştirilen uzun dönem global güneş ışınımı ve hava sıcaklığı gibi meteorolojik verilere dayalı güneş ışınımının ekserji değerleri belirlenmiştir. Bu kapsamda, her iki ölçüm verisine literatürde bulunan farklı ekserji modellerinin (Jeter, Spanner ve Petela) uygulaması yapılarak hesaplanan güneş ışınım ekserji değerleri mukayese edilmiştir.

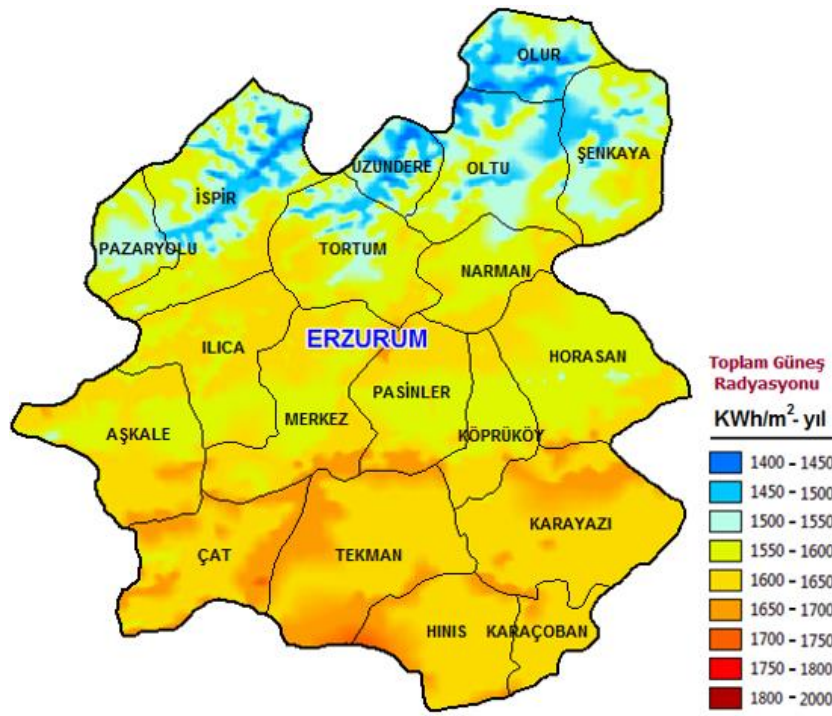
2. Yöntem

Önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş, insanoğlu için gereksinim duyulan enerjinin karşılanmasında oldukça büyük ve sonsuz bir enerji imkânı sunar. Çünkü güneş enerjisinin temiz, güvenilir ve erişim problemi olmaması gibi birçok avantajı vardır. Bu çalışmada ölçüm verilerine dayalı güneş ışınım enerjisinin ekserji değerlerinin hesaplanması amaçlanmıştır. Bu kapsamda Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün Erzurum/Tortum istasyonu tarafından ölçümü gerçekleştirilen son 12 yılın güncel global güneş ışınım değerleri ve bölgenin ortalama sıcaklık değerleri temin edilmiştir. Seçilen istasyonun numarası, enlem-boylam değerleri, rakım ve ölçüm verilerinin kaydedildiği yılların bilgisi Tablo 1'de detaylıca verilmiştir.

Tablo 1. Erzurum/Tortum meteoroloji istasyon bilgileri

Konum	İstasyon no	Enlem (ϕ)	Boylam	Yükseklik (m)	Dönem	Toplam yıl
Erzurum/Tortum	17688	$40,30^\circ$	$41,54^\circ$	1576	2010-2021	12

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü bünyesinde paylaşılan Erzurum ilinin yıllık ortalama güneş ışınım değerlerinin renklendirilmiş değişimi Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekil 1'de gösterilen ışınım şiddeti değerleri incelendiğinde Erzurum ilinde güneyden kuzeye doğru gidildiğinde güneş ışınım değerlerinde bölgesel düşüşler görülmekte olup özellikle bu durum bölgenin kuzeydoğusunda belirgin bir şekilde görülmektedir. En yüksek ışınım şiddeti değerlerinin ise bölgenin güney ve güneydoğusunda olduğu görülmektedir.



Şekil 1. Erzurum ili yıllık küresel güneş ışınımı değerlerinin değişimi [20].

2.1. Güneş Işınımı Ekserjisi

Isı transferi yöntemlerinden birisi olan ışınım, güneş enerjisi uygulamalarında önemli bir pay sahibidir. Güneş ışınımından maksimum faydalanma ilkesi hem araştırmacıların hem de enerji dönüşüm sistemlerinin limitlerini zorlamaktadır. Bundan dolayı güneş ışınımından elde edilebilecek en fazla faydanın belirlenmesi gerekir ve buna yönelik olarak da sürekli bir iyileştirme ihtiyacı kaçınılmazdır. Bu durumda güneş enerjisinin maksimum dönüşüm oranının belirlenmesi noktasında ekserji değerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Çünkü herhangi bir bölgede herhangi bir güneş enerjisi sistemi kurulduğundan önce güneş enerjisinin faydalı işe dönüşüm oranının belirlenmesi araştırmacı veya yatırımcılar için oldukça önemlidir.

Bir maddenin ekserjisi, referans bir çevreye göre yapılması düşünülen işin maksimum yeteneğinin belirlenmesini ifade eder. Dolayısıyla ışınım sıcaklığının, çevre sıcaklığının düşük veya yüksek olmasına bakmadan bir iş yaptığı gerçeği vardır. Buna istinaden ışınımın ekserjisi çevre sıcaklığının dışındaki tüm sıcaklıklarda sıfırdan yüksektir [21]. Bu açıklamalar eşliğinde Petela [22] tarafından enerji, entropi ve ekserji korunumu yasalarından faydalanılarak “ T_0 ” sıcaklığında bulunan siyah bir yüzeyin ışınım ekserjisi Eş. (1) ile türetilmiştir. Ardından “ ε ” yayıcılık katsayısına sahip gri yüzeyler için ışınım ekserjisi Eş. (2) ile ifade edilmiştir [21]. Işınım ekserjisinin yanı sıra “ ε ” yayıcılık katsayısına sahip bir yüzeyin “ $E_{ışınım}$ ” ışınım enerjisi (kJ/m²s), Eş. (3) ile hesaplanmaktadır [8].

$$E_{x_{ışınım,s}} = \frac{ac}{12}(3T^4 + T_0^4 - 4T_0T^3) \quad (1)$$

$$E_{x_{ışınım,g}} = \varepsilon \frac{ac}{12}(3T^4 + T_0^4 - 4T_0T^3) \quad (2)$$

$$E_{ışınım} = \varepsilon \frac{ac}{4}T^4 \quad (3)$$

Burada “ $E_{x_{ışınım,s}}$ ” siyah yüzey ışınım ekserjisi (kJ/m²s), “ $E_{x_{ışınım,g}}$ ” gri yüzey ekserjisi (kJ/m²s), “ ε ” yüzeyin yayıcılık oranı (siyah yüzey için $\varepsilon=1$), “ a ” evrensel sabit ($7,561 \cdot 10^{-19}$ kJ/m³K⁴), “ c ” vakum ortamında ışığın hızı ($2,998 \cdot 10^8$ m/s), “ T ” mutlak sıcaklık (K) ve “ T_0 ” çevre sıcaklığıdır (K).

Termal ışınım için iş elde edilirken ışınım enerjisinin formunda bir bozulma olmamasından dolayı termal ışınım farklı yöntemlerle dönüştürülebilmektedir. Bu yüzden iş doğrudan ekserjiyi tanımlayabilmektedir. O

halde, termal ışınımın işe dönüşüm verimi “ η_e ” olmak üzere, ışınımın kullanılması neticesinde elde edilen işin ışınım enerjisine oranı Eş. (4) ile ifade edilebilir [8]. Ancak tersinir bir dönüşüm sürecinde ışınım enerjisinin maksimum iş değeri ($W_{mak.}$) ve maksimum dönüşüm ifadesi Eş. (5) ile yazılabilir. Eş. (5) güneş ışınım enerjisi için yazıldığında maksimum dönüşüm etkinliği veya güneş ışınım ekserji/enerji oranı (ψ), Eş. (6) ile ifade edilebilir [21].

$$\eta_e = \frac{W}{E_{ışınım}} \quad (4)$$

$$\eta_{e,max} = \frac{W_{mak.}}{E_{ışınım}} \quad (5)$$

$$\eta_{e,max} = \psi = \frac{Ex_{ışınım}}{E_{ışınım}} \quad (6)$$

Güneş ekserjisinin enerjiye oranı veya güneş ışınımından elde edilebilecek maksimum enerjinin göreceli potansiyeli (ψ) için literatürde çeşitli ekserji modelleri geliştirilmiştir. Literatürde oldukça sık rastlanan bu modellerden birisi Petela modelidir [21]. “ T_0 ” referans sıcaklığında güneş ışınımından elde edilen maksimum enerji dönüşümü için Petela tarafından önerilen ekserji ifadesi Eş. (7) ile verilmiştir.

$$\psi_{petela} = 1 + \frac{1}{3} \left(\frac{T_0}{T_s} \right)^4 - \frac{4}{3} \left(\frac{T_0}{T_s} \right) \quad (7)$$

Burada “ $Ex_{ışınım}$ ” ifadesi güneş ışınımının ekserjisini ve “ $E_{ışınım}$ ” ise güneş enerjisini (kJ/m^2) temsil etmektedir. “ T_0 ” değişkeni analizi yapılan bölgenin ortalama çevre sıcaklığını (K) ve “ T_s ” ise güneşin sıcaklığını temsil etmektedir.

Petela ekserji modeli dışında literatürde Jeter tarafından geliştirilen başka bir ekserji modeli de yer almaktadır. Jeter [23], öncelikle güneşin sabit sıcaklık kaynağı olması bakımından dünya dışı ışınımın sürekli işe dönüşümü için Carnot verimini öne sürmüştür. Öyle ki, güneş ışınımının yayılmasının, güneşin sıcaklığına eşit bir termal enerji kaynağı ile ısı etkileşimine denk olduğu belirtilmiştir. Böylece dünya dışı güneş ışınımının ısı enerjisine eşit olduğu ifade edilmiştir. Bu sonuçla beraber, termodinamik bir sistemde elde edilebilecek maksimum iş eldesinin tüm enerjinin tersinir bir işe dönüşmesi durumunda sağlanabileceği söylenebilir. Benzer bir çıkarımla sisteme giren enerji çeşidinin güneş ışınım enerjisi olması durumunda “ T_0 ” referans sıcaklığında güneş ışınımından elde edilen maksimum dönüşüm verimliliğinin (ψ) Eş. (8) ile ifade edilebileceği belirtilmiştir.

$$\psi_{jeter} = 1 - \left(\frac{T_0}{T_s} \right) \quad (8)$$

Maksimum enerji dönüşümü oranının referans hava sıcaklığı (T_0) ve güneş ışınım sıcaklığı (T_s) ile ilişkili olduğu yukarıda belirtilmiştir. Spanner [24] tarafından geliştirilen bir diğer ekserji modeli ise Eş. (9) ile ifade edilmiştir.

$$\psi_{spanner} = 1 - \frac{4}{3} \left(\frac{T_0}{T_s} \right) \quad (9)$$

Böylece bu çalışma kapsamında, literatürde yer alan ekserji modelleri yardımıyla uzun yıllar ölçümü yapılan global güneş ışınımı ve ortalama sıcaklık verilerine dayalı güneş ışınımının model bazlı ekserji değerlerinin hesaplanması ve karşılaştırmalı analizleri gerçekleştirilebilmektedir.

3. Araştırma Bulguları

2010-2021 yılları arasında meteoroloji istasyonu tarafından ölçümü gerçekleştirilen ortalama sıcaklık ve global güneş ışınım değerlerinin aylık ve yıllık ortalamaları hesaplanarak literatürde yer alan üç farklı ekserji modeli (Jeter, Spanner ve Petela) yardımıyla güneş ışınımının ekserji içeriği belirlenmiştir. Erzurum/Tortum meteoroloji istasyonu için aylık ve yıllık bazda hesaplanan ekserji/enerji oranları ve ekserji değerleri Tablo 2 ve 3 ile detaylıca verilmiştir. Tablo 2’de ölçümü yapılan dış ortam sıcaklığı “ T_0 ” referans sıcaklığı olarak Kelvin cinsinden hesaplamalara katılmıştır. Burada “ ψ ” ifadesi güneş ışınımından elde edilebilecek en fazla enerji potansiyelini veya ekserji/enerji oranını göstermektedir.

12 yıllık ölçüm periyodu için aylık bazda ortalama günlük global güneş ışınımı verilerinin ekserji değerleri üç farklı ekserji modeli için Eş. (1), (2) ve (3) yardımıyla her bir ay için hesaplanmıştır. Tablo 2’de verilen değerler ve Eş. (4) dikkate alındığında anlaşılacağı üzere yatay yüzeye gelen güneş ışınım değerlerinden daha düşük ekserji değerleri hesaplanmıştır. Aylık ortalama en yüksek ve en düşük sıcaklıklar sırasıyla Ağustos (294,38 K) ve Ocak (271,24 K) ayında gözlenmiştir. Jeter modeline göre güneş ışınımının ekserji/enerji oranı 0,950938 (Ağustos) ile 0,954793 (Ocak) arasında değişkenlik gösterirken aynı modele göre hesaplanan güneş ışınımı ekserji değerleri incelendiğinde ise 6,60 MJ/m²-gün (Aralık) ile 23,17 MJ/m²-gün (Temmuz) arasında değişmiştir.

Tablo 2. Güneş ışınımı ölçüm verilerinin uzun yıllar aylık ortalamalarının ekserji değerleri

Aylar	Sıcaklık T_0 (K)	Ekserji/Enerji oranı			Güneş ışınım ekserjisi (MJ/m ² -gün)		
		ψ_{Jeter}	$\psi_{Spanner}$	ψ_{Petela}	EX _{Jeter}	EX _{Spanner}	EX _{Petela}
Ocak	271,24	0,954793	0,939724	0,939725	7,53	7,41	7,41
Şubat	272,53	0,954578	0,939437	0,939438	11,36	11,18	11,18
Mart	276,49	0,953918	0,938557	0,938559	14,51	14,28	14,28
Nisan	281,78	0,953038	0,937383	0,937385	17,02	16,74	16,74
Mayıs	286,44	0,952260	0,936346	0,936348	18,11	17,80	17,80
Haziran	290,92	0,951514	0,935352	0,935354	21,52	21,16	21,16
Temmuz	294,36	0,950940	0,934587	0,934589	23,17	22,77	22,77
Ağustos	294,38	0,950938	0,934583	0,934585	21,02	20,66	20,66
Eylül	289,98	0,951671	0,935561	0,935563	16,64	16,36	16,36
Ekim	283,67	0,952722	0,936963	0,936965	11,46	11,27	11,27
Kasım	277,13	0,953811	0,938415	0,938416	8,70	8,56	8,56
Aralık	272,48	0,954586	0,939448	0,939450	6,60	6,50	6,50

Spanner yaklaşımına göre hesaplanan ekserji/enerji oranı 0,934583 (Ağustos) ve 0,939724 (Ocak) arasında gerçekleşirken, Petela modelinin güneş ışınım ekserji/enerji oranları 0,934585 (Ağustos) ile 0,939725 (Ocak) arasında değişmiştir. Spanner ve Petela yaklaşımlarına göre en düşük ve en yüksek aylık ortalama güneş ışınım ekserjileri sırasıyla 6,50 MJ/m²-gün ile Aralık ve 22,77 MJ/m²-gün ile Temmuz aylarında gözlenmiştir. Spanner ve Petela yaklaşımları birbirlerine çok yakın sonuçlar gösterirken, Jeter modeli her iki yaklaşıma kıyasla daha yüksek sonuçlar sunmuştur. Spanner ve Petela yaklaşımlarının sonuçlarının birbirlerine yakın bulunmasının temel nedeni modellere ait eşitliklerin yaklaşık aynı olmasıdır. Öyle ki, Tablo 2’den anlaşılacağı üzere her iki modele ait ekserji/enerji oranları incelendiğinde aralarındaki farkın çok düşük olduğu görülmektedir.

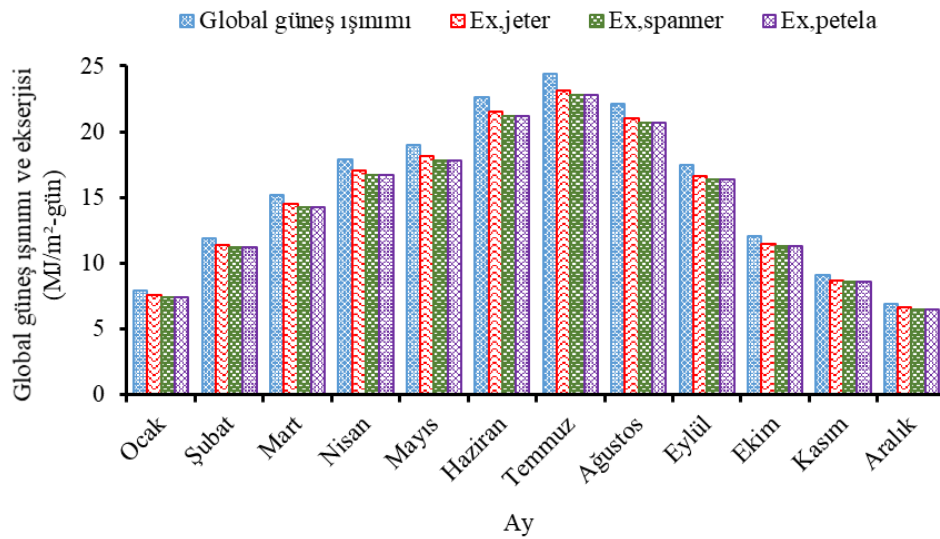
2010-2021 yılları arası yıllık ortalama günlük global güneş ışınımının ekserji/enerji oranları ve ekserji değerleri her bir ekserji modeli için ayrı ayrı hesaplanmış ve Tablo 3 ile detaylıca sunulmuştur. Jeter modeline göre hesaplanan güneş ışınımı ekserji değerleri 13,21 MJ/m²-gün ile 2010 ve 15,50 MJ/m²-gün ile 2021 yılları arasında değişmiştir. Birbirleriyle oldukça yakın sonuçlar gösteren Spanner ve Petela modellerine göre hesaplanan uzun yıllar güneş ışınımı ekserji değerleri 12,99 MJ/m²-gün ile 15,25 MJ/m²-gün aralığında değişkenlik göstermiştir. Jeter modeli ile hesaplanan ekserji/enerji oranlarının 0,952708 (2010) ile 0,953142 (2011) arasında değiştiği görülmüştür. Spanner ve Petela modellerinin sonuçları değerlendirildiğinde birbirlerine çok yakın değerler göstermiş olup, ekserji/enerji oranlarının 0,9369 ile 0,9375 arasında değiştiği

görülmüştür. Yıllık ortalama sıcaklık değerleri 281,15 K (2011) ve 283,75 K (2010) arasında %0,924 kadar değişkenlik göstermiştir.

Tablo 3. Güneş ışınımı ölçüm verilerinin uzun yıllar yıllık ortalamalarının ekserji değerleri

Yıllar	Sıcaklık T ₀ (K)	Ekserji/ Enerji oranı			Güneş ışınım ekserjisi (MJ/m ² -gün)		
		Ψ _{Jeter}	Ψ _{Spanner}	Ψ _{Petela}	EX _{Jeter}	EX _{Spanner}	EX _{Petela}
2010	283,75	0,952708	0,936944	0,936946	13,21	12,99	12,99
2011	281,15	0,953142	0,937522	0,937524	14,60	14,36	14,36
2012	281,85	0,953025	0,937367	0,937368	13,80	13,57	13,57
2013	282,05	0,952992	0,937322	0,937324	14,32	14,09	14,09
2014	283,35	0,952775	0,937033	0,937035	14,38	14,15	14,15
2015	282,45	0,952925	0,937233	0,937235	14,70	14,46	14,46
2016	281,85	0,953025	0,937367	0,937368	14,35	14,12	14,12
2017	282,65	0,952892	0,937189	0,937191	15,49	15,23	15,23
2018	283,65	0,952725	0,936967	0,936968	14,40	14,16	14,16
2019	282,85	0,952858	0,937144	0,937146	14,96	14,71	14,71
2020	282,65	0,952892	0,937189	0,937191	14,84	14,60	14,60
2021	283,25	0,952792	0,937056	0,937057	15,50	15,25	15,25

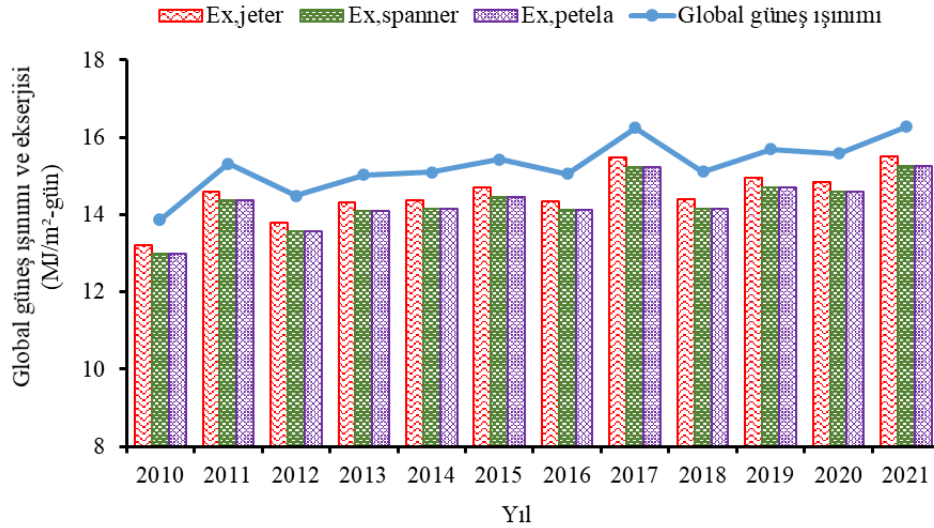
Güneş ışınımının ekserji değerleri ile ekserji/enerji oranlarının aylık ve yıllık ortalamaları Tablo 2 ve 3 ile verilmiştir. Meteoroloji istasyonu tarafından elde edilen global ışınım değerlerinin ve her bir ekserji modeline göre hesaplanan ışınım ekserji değerlerinin aylık ve yıllık değişimleri ise sırasıyla Şekil 2 ve 3 ile sunulmuştur. Şekil 2’de global güneş ışınımı ve ekserji değerlerinin uzun yıllar aylık ortalama değerlerinin değişimi gösterilmiştir. Burada global güneş ışınımı ile Jeter, Spanner ve Petela ekserji modeli sonuçları incelendiğinde en yüksek ışınım enerjisi ve ekserji değerlerinin Temmuz ayında sırasıyla 24,36 MJ/m²-gün, 23,17 MJ/m²-gün, 22,77 MJ/m²-gün ve 22,77 MJ/m²-gün olarak gerçekleştiği görülmüştür. 12 yıllık uzun yıllar aylık ortalama en düşük global güneş ışınım verileri ve ekserji değerleri Aralık ayında sırasıyla 6,92 MJ/m²-gün, 6,60 MJ/m²-gün, 6,50 MJ/m²-gün ve 6,50 MJ/m²-gün olarak gerçekleşmiştir. Spanner ve Petela modeli yaklaşımlarına ait sonuçlar incelendiğinde her iki modelin ekserji/enerji oranları birbirine çok yakın hesaplandığından dolayı güneş ışınım ekserji değerleri de aynı bulunmuştur.



Şekil 2. Uzun yıllar aylık ortalama global güneş ışınımı ve ekserji değerlerini değişimi

2010-2021 yılları arasında yıllık ortalama global güneş ışınımı ve her bir ekserji modeli için hesaplanan ekserji değerlerinin değişimi Şekil 3 ile sunulmuştur. Şekil 3 incelendiğinde her bir yıl için hesaplanan global güneş ışınımı ve model ekserji değerlerinde belirgin farkların olmadığı görülmektedir. Tüm yılların global güneş ışınım değerlerine bakıldığında en düşük 2010 yılında 13,87 MJ/m²-gün ve en yüksek 2021 yılında 16,27 MJ/m²-gün olarak belirlenmiştir. Bu iki değer arasındaki değişim %17,3 olarak tespit edilmiştir. Jeter,

Spanner ve Petela ekserji modellerinin yıllık ortalama ekserji değerleri incelendiğinde en düşük sonuçlar Jeter modeli için 2010 yılında 13,21 MJ/m²-gün ve Spanner ile Petela modelleri için 12,99 MJ/m²-gün olarak elde edilmiştir. Jeter modeli için en yüksek ekserji değeri 15,50 MJ/m²-gün olurken, Spanner ve Petela modelleri için bu değer 15,25 MJ/m²-gün olarak kaydedilmiştir. Global güneş ışınımının yıllık değerleri için Spanner ve Petela modellerinin en yüksek ekserji değerleri aynı bulunmuştur.



Şekil 3. Yıllık ortalama global güneş ışınımı ve ekserji değerlerinin yıllara göre değişimi

Global güneş ışınımı ve her bir ekserji modeline ait ışınım ekserjisi değerlerinin uzun yıllar ortalamaları arasında doğrudan bir korelasyon kurulabilir. Öyle ki, bu korelasyonlar yardımıyla ölçümü yapılan global güneş ışınım şiddeti değerlerinin yıllık ortalaması kullanılarak doğrudan ortalama ekserji değeri elde edilebilir. Diğer bir ifadeyle her bir ekserji modeline göre elde edilen yıllık ekserji/enerji oranlarının uzun yıllar ortalamaları bu korelasyonların sabit katsayısını ifade etmektedir. Böylece, global güneş ışınımının ve Jeter modeli ile elde edilen ekserji değerlerinin uzun yıllar ortalamaları arasında Eş. (10) ile gösterilen bir eşitlik türetilebilir. Benzer şekilde Spanner ve Petela modellerinden elde edilen ekserji değerleri aynı olduğundan iki model için ortak bir korelasyon belirlenmiş ve Eş. (11) ile verilmiştir. Böylece ilgili bölge için yıllık ortalama global ışınım değerleri belirlenen korelasyon katsayısı ile çarpıldığında güneş ışınımının ekserji potansiyeli yaklaşık olarak hesaplanabilir.

$$E_{x,Jeter} = 0,9529 * E_{Işınım} \quad (10)$$

$$E_{x,Spanner-Petela} = 0,9372 * E_{Işınım} \quad (11)$$

4. Sonuçlar

Güneş enerji sistemlerinin dizayn, kurulum ve verimlerinin iyileştirilmesi aşamasında global güneş ışınımı ve ekserji değerlerinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu doğrultuda Türkiye'nin Erzurum ilinde yer alan Tortum meteoroloji istasyonu tarafından 2010-2021 yılları arasında ölçümü gerçekleştirilen global güneş ışınım ve ortalama sıcaklık değerleri yardımıyla yatay bir yüzeye gelen global güneş ışınım ekserjisi değerlerini belirlemek için literatürde yer alan üç farklı ekserji yaklaşımı (Jeter, Spanner ve Petela) incelenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen temel bulgular şu şekildedir:

- Uzun yıllar aylık ortalama global güneş ışınım değerleri en düşük Aralık ayında 6,92 MJ/m²-gün ve en yüksek Temmuz ayında 24,36 MJ/m²-gün olarak hesaplanmıştır. Ayrıca en düşük ve en yüksek yıllık ortalama global güneş ışınım değerleri sırasıyla 2010 yılında 13,87 MJ/m²-gün ve 2021 yılında 16,27 MJ/m²-gün olarak tespit edilmiştir.

- Uzun yıllar aylık ortalama ekserji-enerji oranı (ψ) Jeter modeli için 0,952897, Spanner modeli için 0,937196 ve Petela modeli için 0,937198 olarak bulunmuştur.
- Jeter modeli ile elde edilen uzun yıllar aylık ortalama global güneş ışınım ekserji değerleri 6,60-23,17 MJ/m²-gün arasında değişirken, Spanner ve Petela ekserji modeli ile bu aralık 6,50-22,77 MJ/m²-gün arasında belirlenmiştir.
- Yıllık ortalama global güneş ışınım ekserji değerleri Jeter modeli için 13,21-15,50 MJ/m²-gün ve Spanner ve Petela ekserji modeli için 12,99-15,25 MJ/m²-gün aralığında tespit edilmiştir.
- Spanner ve Petela ekserji modellerinden elde edilen aylık ortalama global güneş ışınım ekserji değerleri Jeter modeli sonuçlarıyla mukayese edildiğinde, aylık güneş ışınım ekserji değerleri arasındaki fark en düşük %1,60 ile Ocak ayında ve en yüksek %1,75 ile Ağustos ayında gerçekleşmiştir.
- Spanner ve Petela ekserji yaklaşımlarına göre hesaplanan yıllık ortalama global güneş ışınım ekserji değerleri Jeter modeli sonuçlarıyla kıyaslandığında, yıllık güneş ışınım ekserji değerleri arasındaki farkın en düşük %1,66 ile 2011 yılında ve en yüksek %1,68 ile 2010 yılında olduğu tespit edilmiştir.
- Doğrudan global güneş ışınım verileri kullanılmasıyla yıllık ortalama global güneş ışınım ekserji değerlerinin yaklaşık olarak hesaplanabilmesi için her bir ekserji modeli için doğrusal eşitlik geliştirilmiştir.

Kaynaklar

- [1] G. Kaltakkıran and K. Bakırcı, "Yüzey Eğimlerinin Güneş Enerjisi Potansiyeline Etkisi," *Tesisat Mühendisliği*, no. 175, pp. 30–38, 2020.
- [2] N. Arslanoglu, "Empirical modeling of solar radiation exergy for Turkey," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 108, pp. 1033–1040, 2016, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2016.08.002.
- [3] K. Bakırcı, "Correlations for estimation of daily global solar radiation with hours of bright sunshine in Turkey," *Energy*, vol. 34, no. 4, pp. 485–501, 2009.
- [4] G. Kaltakkıran and K. Bakırcı, "Ardahan İlinde Enerji Uygulamaları için Meteoroloji ve İklim Verilerinin Analizi," *J. Inst. Sci. Technol.*, vol. 13, no. 3, pp. 2026–2041, 2023.
- [5] A. Çevik, "Uzun süreli verilere dayalı güneş radyasyonunun ekserji ve enerji analizi," Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, 2021.
- [6] S. Bilgen and İ. Sarıkaya, "Exergy for environment, ecology and sustainable development," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 51, pp. 1115–1131, 2015.
- [7] S. Kabelac, "Exergy of solar radiation," *Int. J. energy Technol. policy*, vol. 3, no. 1–2, pp. 115–122, 2005.
- [8] R. Petela, "Exergy of undiluted thermal radiation," *Sol. Energy*, vol. 74, no. 6, pp. 469–488, 2003, doi: 10.1016/S0038-092X(03)00226-3.
- [9] S. Edalati, M. Ameri, M. Iranmanesh, and H. Tarmahi, "Modelling and drawing energy and exergy of solar radiation," *Int. J. Exergy*, vol. 19, no. 4, pp. 544–568, 2016, doi: 10.1504/IJEX.2016.075890.
- [10] N. İ. Beyazıt, H. Bulut, and F. Ünal, "Diyarbakır İli İçin Uzun Dönemli Güneş Radyasyonunun Ekserji Analizi," *Harran Üniversitesi Mühendislik Derg.*, vol. 4, no. 2, pp. 1–6, 2019.
- [11] Y. Kurtgoz, E. Deniz, and I. Turker, "Solar radiation exergy and enviroeconomic analysis for Turkey," *Int. J. Exergy*, vol. 24, no. 2–4, pp. 281–300, 2017, doi: 10.1504/IJEX.2017.087675.
- [12] İ. Uçkan, "Exergy analysis of solar radiation based on long term for Van city," *Politek. Derg.*, vol. 20, no. 3, pp. 579–584, 2017.
- [13] M. Yeşilbudak, M. Çolak, and R. Bayındır, "Ankara İlinin Uzun Dönem Global Güneş Işınım Şiddeti, Güneşlenme Süresi ve Hava Sıcaklığı Verilerinin Analizi ve Eğri Uydurma Metotlarıyla Modellenmesi," *Gazi Üniversitesi Fen Bilim. Derg. Part C Tasarım ve Teknol.*, vol. 6, no. 1, pp. 189–203, 2018, doi: 10.29109/http-gujsc-gazi-edu-tr.336830.
- [14] Y. Kurtgoz and E. Deniz, "Global solar radiation estimation using artificial neural network by the addition of nearby meteorological stations' solar radiation data and exergy of solar radiation: A case study," *Int. J. Exergy*, vol. 21, no. 3, pp. 315–330, 2016, doi: 10.1504/IJEX.2016.079309.
- [15] A. Hepbaslı and Z. Alsuhaibani, "Estimating and comparing the exergetic solar radiation values of various climate

- regions for solar energy utilization,” *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, vol. 36, no. 7, pp. 764–773, 2014, doi: 10.1080/15567036.2010.545807.
- [16] A. S. Joshi, I. Dincer, and B. V Reddy, “Development of new solar exergy maps,” *Int. J. energy Res.*, vol. 33, no. 8, pp. 709–718, 2009.
- [17] D. Alta, C. Ertekin, and F. Evrendilek, “Quantifying spatio-temporal dynamics of solar radiation exergy over Turkey,” *Renew. Energy*, vol. 35, no. 12, pp. 2821–2828, 2010, doi: 10.1016/j.renene.2010.05.004.
- [18] S. X. Chu and L. H. Liu, “Analysis of terrestrial solar radiation exergy,” *Sol. Energy*, vol. 83, no. 8, pp. 1390–1404, 2009, doi: 10.1016/j.solener.2009.03.011.
- [19] Y. Candau, “On the exergy of radiation,” *Sol. Energy*, vol. 75, no. 3, pp. 241–247, 2003, doi: 10.1016/j.solener.2003.07.012.
- [20] GEPA, “Türkiye Güneş Radyasyon Dağılımı,” 2023. <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/pages/25.aspx> (accessed Oct. 25, 2023).
- [21] R. Petela, “Exergy of heat radiation,” *J. Heat Transf.*, vol. 2, pp. 187–192, 1964.
- [22] R. Petela, “Exergy of radiation of a perfect gray body,” *Energetyka*, vol. 5, pp. 33–45, 1961.
- [23] S. M. Jeter, “Maximum conversion efficiency for the utilization of direct solar radiation,” *Sol. energy*, vol. 26, no. 3, pp. 231–236, 1981.
- [24] D. C. Spanner, *Introduction to thermodynamics*. London: London and New York: Academic Press, 1964.



Research Article

Microbial Investigation of Mains Water in Ardahan Central Province and Districts

Burhan Çaydaşı¹ Yakup Akkoç² *

¹ Department of Advanced Technologies, Ardahan University, 75002 Ardahan, Türkiye

² Department of Medical Services and Techniques, Ardahan University, 75800 Ardahan, Türkiye

* Correspondence: yakupakkoc@gmail.com

Received: 29 October 2023; Accepted: 25 December 2023; Published: 31 December 2023

Abstract: Water is a very important resource for life. Clean drinking water is indispensable for human health. Due to the rapid increase in population, global drought, urbanization, industrialization and increase in agricultural activities, there are great difficulties in accessing clean drinking water. The negative effects of water resources on health should be subject to continuous investigation. In this study, it was investigated whether the mains water of Ardahan province and district centers was microbiologically analyzed in May and October 2023 and whether it was suitable for consumption. In this research, different numbers of coliforms were detected in the waters of the central neighborhoods of Ardahan, Posof, Hanak, Göle, Çıldır and Damal in May. In October, coliform was detected in all samples except the central district of Posof.

Keywords: Ardahan mains water, microbial analysis, clean water

Araştırma Makelesi

Ardahan Merkez İl ve İlçeleri Şebeke Sularının Mikrobiyal İncelemesi

Öz: Su yaşam için çok önemli bir kaynaktır. İnsanoğlunun sağlığı için de temiz içme suyu vazgeçilmezdir. Nüfusun hızla artması, küresel kuraklığın yaşanması, kentleşme, sanayileşme ve tarımsal faaliyetlerinin artması nedeniyle temiz içme suya ulaşma konusunda çok büyük sıkıntılar yaşanmaktadır. Su kaynaklarının sağlık açısından oluşturduğu olumsuz etkiler sürekli araştırılmalıdır. Bu çalışmada 2023 yılında mayıs ve ekim aylarında Ardahan İl ve ilçe merkezlerinin şebeke suyunu mikrobiyolojik açıdan analizleri yapılarak tüketime uygun olup olmadığı araştırılmıştır. Yapılan bu çalışmada mayıs ayında Ardahan, Posof, Hanak, Göle, Çıldır, Damal merkez mahalle sularında farklı sayılarda koliform tespit edilmiştir. Ekim ayında ise sadece Posof merkez mahallesi hariç diğer bütün örneklerde koliform tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ardahan şebeke suyu, mikrobiyal analiz, temiz su

Citation: B. Çaydaşı and Y. Akkoç, "Microbial Investigation of Mains Water in Ardahan Central Province and Districts", *Journal of Studies in Advanced Technologies*, vol. 1, no. 2, pp. 105-110, Dec 2023, doi: 10.5281/zenodo.10445110

1. Giriş

Su yaşam için çok önemli bir kaynaktır. İnsanoğlunun sağlığı için de temiz içme suyu vazgeçilmezdir. Nüfusun hızla artması, küresel kuraklığın yaşanması, kentleşme, sanayileşme ve tarımsal faaliyetlerinin artması nedeniyle temiz içme suyuna ulaşma konusunda çok büyük sıkıntılar yaşanmaktadır. Su kaynaklarının sağlık açısından oluşturduğu olumsuz etkiler sürekli araştırılmaya tabi olmalıdır.

Su kaynakları gün geçtikçe azalmaktadır. Bunun en büyük nedeni giderek artan dünya nüfusedir. Örneğin 2007 yılı verilerinde 6,6 milyar olan nüfus günümüzde 7,7 milyara ulaşmıştır. Bu nedenle kişi başına düşen su miktarı ortalaması giderek azalmaktadır. Kayba uğrayan su miktarı ise kaynakların azalmasında bir diğer önemli faktördür [1].

Enfekte su ile bulaşan hastalıklar dünyada morbidite ve mortalitede önemli yer tutar. Tifo ve kolera gibi 'klasik' su ile ilgili patojenlerin yanı sıra, yeni tanınan patojenler ve bu patojenlerin yeni suşları hem su temini hem de sanitasyonu yönünden sağlık maliyetlerini artırmaktadır [2].

Su kaynaklarında, insan veya hayvan dışkısı teması ile mikrobiyal riskler ortaya çıkmaktadır. Dışkı; patojenik bakteri, protozoa, virüs ve helmint kaynağı olabilir. Dışkı kaynaklı patojenik bakteri, mikrobiyal güvenlik için temel endişe olup, mikrobiyal su kalitesini hızla değiştirebilir [3]

Patojen konsantrasyonunda kısa vadeli artış olması, hastalık risklerini arttırabilir ve su kaynaklı salgın (diyare, sıtma, dizanteri, kolera) hastalıkları tetikleyebilir [3]-[6]. Bu hastalıkların önüne geçmek için dezenfeksiyon işlemleri lazım. Güvenli içme suyu temininde, patojenlerin varlığını en aza indirmek için dezenfeksiyonun önemli olduğu belirtilmiştir [7].

Koliform bakterileri suyun kalitesini değerlendirmek için uzun yıllardan beri kullanılmaktadır [8].

İçme suyu kalitesini etkileyen yağış olayları, su kaynaklı hastalıklara sebep olabilir. Yağış, çeşidi ve şiddetine bağlı olarak; askıda katı maddelerin yeryüzüne ulaşmasını ve kimyasal (doğal ve antropojenik) maddelerin akış ya da sızma ile yüzey ve yeraltı sularına ulaşmasını tetikleyebilir [9]-[11].

İçme suları depolama veya kaynağında kontaminasyona uğrayabilir; bu yüzden her aşamada kirlenme durumuna karşı su kaynaklı hastalıkları en aza indirmeye yönelik stratejiler geliştirilmelidir [12].

Ardahan ili konumu itibari ile Türkiye'nin en kuzey doğu ucunda yer alır. İl sınırları; güneyinde kesiminde Kars ve Erzurum batısında Artvin doğusunda Gürcistan ile sınırı bulunmaktadır. Ardahan ilçelerinin konumu bakımından kuzeyde Posof, güneyde Göle, kuzey doğusunda Hanak ve Damal ve güney batısında Çıldır bulunmaktadır. Bu çalışmada Ardahan İl ve ilçe merkezlerinin şebeke suyunu mikrobiyolojik açıdan analizleri yapılarak tüketime uygun olup olmadığı saptanmasını amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Metot

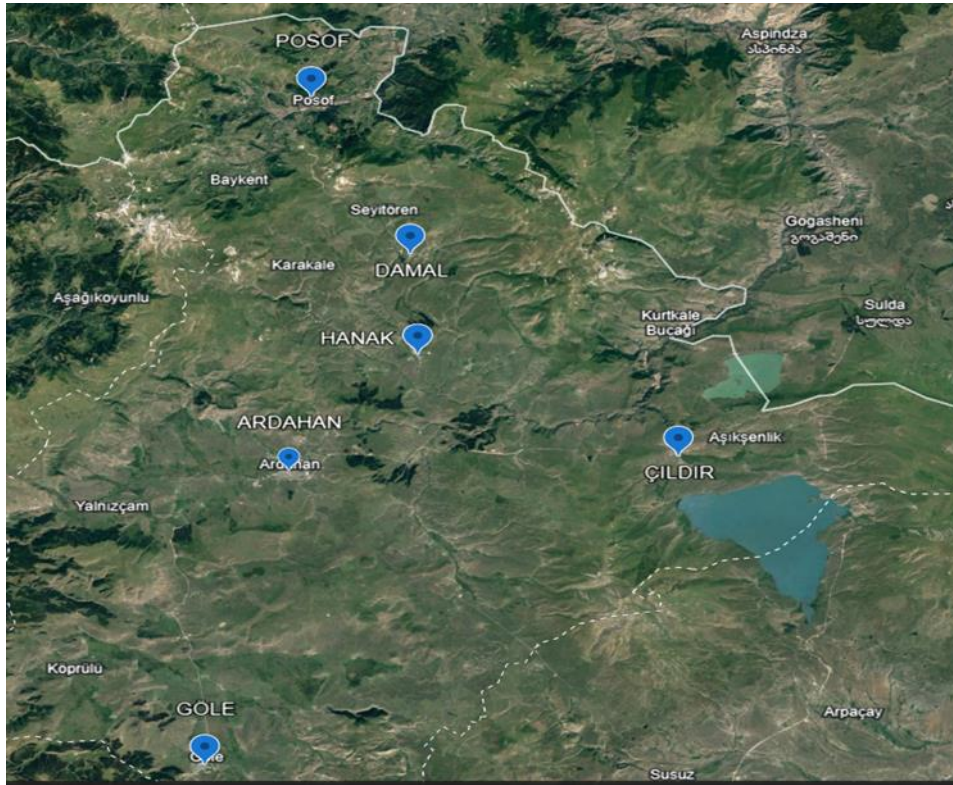
Ardahan ili Türkiye'nin en kuzeydoğu ucunda olup kısmi olarak karasal ve Doğu Karadeniz iklim özelliklerine sahiptir. İstatistikî verilere göre (1991-2020), ortalama sıcaklık yıl içinde 13,6°C'dir. En düşük sıcaklık -24,9°C Ocak ayında gözlenirken, en yüksek sıcaklık 41°C ile temmuz ayında rapor edilmiştir. [13]

Ardahan ili yağış miktarı olarak yıl içerisinde en fazla yaz döneminde (ortalama 75.4 mm) rapor edilmiştir [13].

Çalışmamızda Ardahan il ve ilçelerinden toplamda 18 adet örneklem noktası belirlenmiştir.

Tablo 1. Su numuneleri alınacak mahalleler

Ardahan merkez	İnönü mahallesi
	Kaptan paşa mahallesi
	Karagöl mahallesi
	Halil efendi mahallesi
	Yeni mahalle
Göle merkez	Atatürk mahallesi
	Kazım Karabekir mahallesi
	Fevzi çakmak Mahallesi
	Kubilay bey Mahallesi
Damal merkez	Salim bey Mahallesi
	Serhat Mahallesi
Çıldır merkez	Mustafa Kemal Mahalesi
	Dede korkut Mahallesi
Posof merkez	Ufuktepe Mahallesi
	Merkez Mahalle
Hanak merkez	Germik Mahallesi
	Atalar mahallesi
	Hürriyet Mahallesi

**Şekil 1.** Numune toplama noktaları

Numune toplama aşaması gerçekleştirilirken mikrobiyolojik analizler için kullanılan ve iç yüzeyi sodyum Tiyosülfat ile kaplı 500mL'lik polietilen kaplar kullanılmıştır. Numune alınması esnasında çakmak ile yakma işlemi uygulanarak ortam ve musluk ağzı dezenfekte edilmiştir. Sonrasında su açılarak 5 dakika beklendikten sonra numune kabının kapağı açılarak numune alınmış ve akabinde ağzı sıkıca kapatılarak ısı yalıtımlı köpük içerisinde konularak laboratuvara götürülmüştür. [15]

Mikrobiyal analizin hazırlık aşaması için gerekli malzemeler (pens, cam malzemeler, membran filtrasyon sistemi,) otoklavda sterilize edilmiştir. Violet Red Bile (VRB) Agar, koliform bakteri sayısını belirlemek amacıyla hazırlanmıştır [16]. Selüloz asetat membran (0.45 µm gözenek boyutlu) filtreler kullanılarak, membran filtrasyon yöntemi uygulanmıştır. Örnekler, sırayla membran filtreden geçirildikten sonra, filtre steril pens ile petri kutusundaki Violet Red Bile Agar (Merck, 1.01406) plakasına yerleştirilmiştir. İşlem her numune için üç tekrarlı olarak yapılmıştır. Plakalar, 37 °C'de 24 saat, mikroorganizmalarda büyümeyi sağlamak ve gözlemek amacıyla inkübasyon edilmiştir. İnkübasyon sonrası koloni Kob/100ml adet olarak sayılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Ardahan il ve ilçelerinde Mayıs ve Ekim aylarında yapılan çalışmalar sonucunda toplanan 36 adet numunede mikrobiyolojik koliform belirleme tayini yapılmıştır. Mayıs ayında toplanan numunelerin tamamında koliform gözlenirken, Ekim ayında yapılan analizlerde Posof ilçesi Merkez Mahallesi ve Ardahan merkez kaptan paşa mahallelerinden alınan numune hariç diğer bütün numunelerde koliform tespit edilmiştir.

Tablo 2. Ardahan ve ilçeleri merkez mahalleleri Mayıs ve Ekim ayları koliform bakteri sayım sonuçları

		Koliform Kob/100 ml	
		Mayıs	Ekim
Ardahan Merkez	1 İnönü Mah.	6	4,5
	2 Kaptanpaşa Mah.	6	0
	3 Karagöl Mah.	1	4,5
	4 Halilefendi Mah.	2	5
	5 Yeni Mah.	6	6,5
	6 Atatürk Mah.	3	1
Göle Merkez	1 Kazım Karabekir Mah.	29	77
	2 Fevzi Çakmak Mah.	12	8
	3 Kubilay Bey Mah.	35	47
	4 Salim Bey Mah.	15	87
Posof Merkez	1 Merkez Mah.	2	0
	2 Germik Mah.	2	3,5
Damal Merkez	1 Serhat Mah.	25	52
	2 Mustafa Kemal Mah.	47	78
Hanak Merkez	1 Atalar Mah.	9	2
	2 Hürriyer Mah.	19	118

Mayıs ve ekim aylarının koliform bakteri sayım sonuçları ise, Tablo 2’de verilmiştir. Ardahan il ve ilçelerinde Mayıs ve Ekim aylarında yapılan çalışmalar sonucunda toplanan 36 adet numunede mikrobiyolojik koliform belirleme tayini yapılmıştır. Mayıs ayında toplanan numunelerin tamamında koliform gözlenirken, Ekim ayında yapılan analizlerde Posof ilçesi Merkez Mahallesi ve Ardahan ili Kaptanpaşa mahallesinden alınan numune hariç diğer bütün numunelerde yapılan üç tekrarlı analizlerde koliform tespit edilmiştir.

Ardahan Merkez şebeke suları için yapılan bir çalışmada ilkbahar ve sonbahar aylarında düşük sıcaklıklar yüzünden koliform bakteri çok az tespit edilmiştir [12]

Askıda koliform bakterilerin çoğalması, suda yeterli miktarda azot, fosfor gibi besinlerin bulunması ve sıcaklık faktörüne bağlıdır [17] Ardahan ve ilçelerinin su dağıtım sistemlerinde, koliform bakteri oluşumu, halkın geçim kaynağı olan hayvancılıkla ilişkilendirilmiştir. Hayvancılığın çok olduğu bu ilde hayvan dışkıında bulunan azot yer altı sulara katıldığı düşünülmektedir. Bunun yanında Ardahan Merkez, Göle, Hanak, Damal, Çıldır yerleşkelerinde mandıra tesislerinin oluşu kirlenme kaynağının bu yönlü ihtimalini düşündürmektedir Buna ilaveten, koliform bakteri oluşumunun 10 °C üzeri su sıcaklıklarıyla ilişkili olduğu, 15 °C üzeri sıcaklıkların ise daha fazla koliform bakteri oluşumunun nedeni olduğu rapor edilmiştir [18]. Dolayısıyla örnekler değerlendirildiğinde, sıcaklığın düşük ve azot formlarının düşük miktarda olması veya bu formların olmaması, mikrobiyal analiz sonuçlarını desteklemektedir.

Ardahan il ve ilçelerinde genellikle ağır endüstri kuruluşlarının olmadığı bir ilimizdir. Sudaki kirlenmelerin genelde hayvan dışkısının tarım arazilerine gübre olarak kullanılmasından kaynaklanabileceği

düşünülmektedir. Nitekim yağışın fazla olduğu aylarda gübre olarak kullanılan hayvan dışkılarının yağmur suları ile karışarak yeraltı suları veya akar sulara karışması muhtemeldir. Bunun yanında Ardahan Merkez, Göle, Hanak, Damal, Çıldır yerleşkelerinde mandıra tesislerinin oluşu kirlenme kaynağının bu yönlü ihtimalini düşündürmektedir.

Bilindiği gibi içme suları, günümüzde bile insan ve hayvan kaynaklı kontaminasyon ile yüz yüzedir. E. coli gibi bağırsak bakterilerinin kontamine ettiği suların içilmesi, bu bakteriler ile taşınan çoklu antibiyotik direnç genlerinin bireyler arasında aktarımına sebep olmaktadır [19]. Patojen etkenleri taşıyan suların kullanılması pek çok salgını beraberinde getirebildiği gibi, buna dengesiz beslenmede eklendiğinde halk sağlığı açısından ciddi tehlike oluşturmaktadır.

4. Sonuç

Bu çalışmada, Mayıs ve Ekim aylarında Ardahan İl ve ilçe merkezlerinde alınmış şebeke sularının mikrobiyal parametreleri incelenmiştir. Dünya Sağlık Örgütü [3] ve insani tüketim amaçlı sular hakkındaki yönetmeliğine [19] göre 0 (sıfır) sayı/100ml olmalıdır. Bu yönetmenliklere göre Ekim ayında yapılan analizlerde Posof ilçesi Merkez Mahallesi ve Ardahan ili Kaptanpaşa mahallesinden alınan numune hariç sular içilemez.

Teşekkür

Bu makale Ardahan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (Proje No: “(2023-2) ÖNP-Lisa-001”) tarafından desteklemiştir.

Kaynakça

- [1] Gemci, E., Akarsu, S., Zıba, A., & Dolaz Mustafa. (2016). Kahramanmaraştaki Ayvalı Yüzey Suyu, Pınarbaşı ve Karasu Kaynaklarının İçme. KSU Mühendislik Bilimleri Dergisi, s. 21-24.
- [2] Emerging issues in water and infectious disease. France: WHO library cataloguing-in-publication data; 2003. p.3-24.
- [3] WHO. (2008). Guidelines for Drinking-Water Quality (Third Edition).
- [4] Prüss-Ustün, A., Bartram, J., Clasen, T., Colford Jr, J. M., Cumming, O., Curtis, V., Bonjour, S., Dangour, A. D., De France, J., Fewtrell, L., Freeman, M. C., Gordon, B., Hunter, P. R., Johnston, R. B., Mathers, C., Mausezahl, D., Medlicott, K., Neira, M., Stocks, M., Wolf, J., & Cairncross, S. (2014). Burden of disease from inadequate water, sanitation and hygiene in low and middle-income settings: A retrospective analysis of data from 145 countries. *Tropical Medicine and International Health*, 19(8), 894- 905. <https://doi.org/10.1111/tmi.12329>
- [5] Ashbolt, N. J. (2004). Microbial contamination of drinking water and disease outcomes in developing regions. *Toxicology*, 198, 229-238. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2004.01.030>
- [6] Sow, S., J. de Vlas, S., Engels, D., & Gryseels, B. (2002). Water-related disease patterns before and after the construction of the Diama Dam in Northern Senegal. *Annals of Tropical Medicine & Parasitology*, 96(6), 575-586. <https://doi.org/10.1179/000349802125001636>
- [7] Schoenen, D. (2002). Role of disinfection in suppressing the spread of pathogens with drinking water: Possibilities and limitations. *Water Research*, 36, 3874-3888. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00076-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00076-3)
- [8] Bigham, T., Dooley, J., Ternan, N., Snelling, W., & Héctor Castelán, M. (2019). Assessing microbial water quality: Electroanalytical approaches to the detection of coliforms. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*: <https://doi.org/10.1016/j.trac.2019.115670>
- [9] Delpla, I., Jung, A.-V., Baures, E., Clement, M., & Thomas, O. (2009). Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. *Environment International*, 35, 1225-1233. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2009.07.001>
- [10] Pardue, J. H., Moe, W. M., Mcinnis, D., Thibodeaux, L. J., Valsaraj, K. T., Maciasz, E., Van Heerden, I., Korevec, N., & Yuan, Q. Z. (2005). Chemical and microbiological parameters in new orleans flood water following hurricane katrina. *Environmental Science & Technology*, 39(22), 8591-8599. <https://doi.org/10.1021/es0518631>

- [11] Auld, H., MacIver, D., & Klaassen, J. (2004). Heavy rainfall and waterborne disease outbreaks: The walkerton example. *Journal of Toxicology and Environmental Health Part A*, 67, 1879-1887. <https://doi.org/10.1080/15287390490493475>
- [12] Dursun, N. (2022). Ardahan ili şebeke sularının bazı fiziksel kimyasal ve mikrobiyal olarak incelenmesi.
- [13] <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H>
- [14] TS266. (1997, 4). Sular-İçme ve kullanma suları. Türk Standardı, Türk Standartları. ANKARA.
- [15] Halkman, A. K., & Sağdaş, Ö. E. (2014). Mikrobiyoloji El Kitabı. MerckMillipore.
- [16] Camper, A. K., McFeters, G. A., Characklis, W. G., & Jones, W. L. (1991). Growth kinetics of Coliform Bacteria under conditions relevant to drinking water distribution systems. *Applied and Environmental Microbiology*, 57(8), 2233-2239. <https://doi.org/10.1128/aem.57.8.2233-2239.1991>
- [17] LeChevallier, M. W., Schulz, W., & Lee, R. G. (1991). Bacterial nutrients in drinking water. *Applied and Environmental Microbiology*, 57(3), 857-862. <https://doi.org/10.1128/aem.57.3.857-862.1991>
- [18] Aktürk S, Matyar F, Dinçer S. (2010). Adana-Tufanbeyli yol hattındaki çeşme sularından izole edilen gram negatif bakterilerin antibiyotik dirençlerinin incelenmesi. *Türk Mikrobiyol Cem Dergi* 40:54-9.
- [19] Resmî Gazete, 2005. İnsani tüketim amaçlı sular hakkındaki yönetmelik. 17 Şubat 2005, Sayı: 25730.