

JSAT

JOURNAL OF STUDIES IN ADVANCED TECHNOLOGIES

İLERİ TEKNOLOJİLERDE
ÇALIŞMALAR DERGİSİ



Volume | Cilt: 2

Issue | Sayı: 1

June | Haziran 2024

Journal of Studies in Advanced Technologies

[İleri Teknolojilerde Çalışmalar Dergisi]

JSAT

Volume / Cilt

Issue / Sayı

June / Haziran

2

1

2024

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. Ali Yeşildağ, Kafkas 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. Öğr. Üyesi Nihat Emre Börekçi, *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. Öğr. Üyesi 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
Nimet Sönmez Okulmuş Erdoğan Okulmuş	(Research article/Araştırma makalesi) Three-Dimensional Visualization of Historical Buildings with Augmented Reality Technology: The Example of Altıntepe Temple <i>Tarihi Yapıların Artırılmış Gerçeklik Teknolojisiyle Üç Boyutlu Olarak Görüntülenmesi: Altıntepe Tapınağı Örneği</i>	1-12
Cansu Bozkurt	(Research article/Araştırma makalesi) Drought Analysis with SPI and SPEI Indices Using Different Time Periods <i>Farklı Zaman Periyotları Kullanılarak SPI ve SPEI İndisleri ile Kuraklık Analizleri</i>	13-23
Yusuf Esen Mustafa Akgün Rövşen Guliyev	(Research article/Araştırma makalesi) Utilizing Sludge Derived from Treating Whey with Magnetic Nanoparticles (MNPs) as Potential Food or Animal Feed <i>Peynir Altı Suyunun Manyetik Nanopartiküller (MNP'ler) ile Arıtımından Elde Edilen Çamurun Potansiyel Gıda veya Hayvan Yemi Olarak Kullanımı</i>	24-32
Amina Suljevic Erdal Kesgin	(Research article/Araştırma makalesi) Experimental Study of Unconfined Twin Propeller Jet Scour <i>Yapı ile Sınırlanmamış Çift Peroane Jet Etkisinde Oyulmanın Deneysel Olarak Araştırılması</i>	33-41
Daha Orhan Serkan Yıldırım	(Research article/Araştırma makalesi) Development and Evaluation of a Design Framework for Preparing Infographic Forms for Scholarly Publications <i>Akademik Yayınlar Ait Bilgi Grafik Formlarının Hazırlanmasına Yönelik Bir Tasarım Çerçevesinin Geliştirilmesi ve Değerlendirilmesi</i>	42-63
Fatih Ongül	(Research article/Araştırma makalesi) Simulation of Inverted Planar Perovskite Solar Cell Using SCAPS-1D Software <i>SCAPS-1D Yazılımını Kullanarak Tersine Çevrilmiş Düzlemsel Perovskit Güneş Hücresinin Simülasyonu</i>	64-73



Research Article

Three-Dimensional Visualization of Historical Buildings with Augmented Reality Technology: The Example of Altıntepe Temple

Nimet Sönmez Okulmuş¹ , Erdinç Okulmuş² *

¹ Department of Ancient History, Atatürk University, Erzurum, Türkiye

² Kars Public Education Center Directorate, Ministry of National Education, Kars, Türkiye

* Correspondence: erdincokulmus@gmail.com

Received: 26 October 2023; Accepted: 28 January 2024; Published: 30 June 2024

Abstract: The Urartians, who have an important place in the Eastern Anatolia Region, are very important for the history of the region. Erzincan / Altıntepe Temple, one of the areas where the Urartian dominance reached, is a rare Urartian artifact. The fact that the structure cannot be accessed at any time and place has made this study necessary. Therefore, in this way, it is aimed to reach the structure at any desired moment and situation. With this improved feature, the Ancient History lessons will not only consist of basic images projected from the projector, but technological developments will also be utilized in the course.

It is important that technological developments can be adapted to the areas where they are needed. Digital visualization of three-dimensional models of historical buildings with augmented reality technology offers innovation to users. Especially the easy accessibility of mobile devices has popularized the development and use of augmented reality applications. In this study, Altıntepe Temple was modeled in three dimensions and an application was developed using augmented reality technology. In accordance with the data obtained as a result of the literature study, Altıntepe Temple was modeled and an augmented reality application was developed using Unity game engine and Vuforia SDK platform.

Keywords: History, Urartians, Altıntepe, augmented reality, mobile application.

Araştırma Makalesi

Tarihi Yapıların Artırılmış Gerçeklik Teknolojisiyle Üç Boyutlu Olarak Görüntülenmesi: Altıntepe Tapınağı Örneği

Öz: Doğu Anadolu Bölgesinde önemli bir yere sahip Urartular, bölge geçmişi için oldukça önemlidir. Urartuların hakimiyetinin ulaştığı alanlardan olan Erzincan/ Altıntepe Tapınağı nadide bir Urartu eseridir. Yapıya istenilen an ve mekânda ulaşılmaması durumu, söz konusu çalışmayı gerekli kılmıştır. Dolayısıyla bu sayede arzu edilen her an ve durumda yapıya ulaşmak hedeflenmiştir. Geliştirilmiş bu özellik ile Eskiçağ dersleri yalnızca projeksiyondan yansıtılan temel görüntülerden ibaret kalmayacak, derste teknolojik gelişmelerden de faydalanılacaktır.

Teknolojik gelişmelerin, ihtiyaç duyulan alanlara uyarlanabilir olması önemli bir husustur. Artırılmış gerçeklik teknolojisi ile tarihsel yapıların üç boyutlu modellerinin dijital olarak görüntülenmesi kullanıcılara yenilik sunmaktadır. Özellikle mobil cihazların kolay ulaşılabilir olması, artırılmış gerçeklik uygulamaların gelişmesi ve kullanılmasını yaygınlaştırmıştır. Bu çalışmada Altıntepe Tapınağı üç boyutlu olarak modellenmiş ve artırılmış gerçeklik teknolojisi yöntemi kullanılarak bir uygulama geliştirilmiştir. Literatür çalışması sonucunda elde edilen verilere uygun olarak Altıntepe Tapınağı modellenerek, Unity oyun motoru ve Vuforia SDK platformu kullanılarak artırılmış gerçeklik uygulaması geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tarih, Urartular, Altıntepe, artırılmış gerçeklik, mobil uygulama.

Citation: N. Sönmez Okulmuş and E. Okulmuş, "Three-Dimensional Visualization of Historical Buildings with Augmented Reality Technology: The Example of Altıntepe Temple", *Journal of Studies in Advanced Technologies*, vol. 2, no. 1, pp. 1-12, Jun 2024, doi: 10.63063/jsat.1381541

1. Giriş

Mitannilerin son bulmasının ardından yayılcı politika izleyen Asurlar, Doğu Anadolu Bölgesinin zengin yer altı kaynakları ve coğrafyasından istifade etmek için ilerleme göstermişlerdir. Bölgede yer alan Hurri kökenli halk toplulukları artan Asur saldırılarına karşı bir baskı oluşturmak adına bir çatı ekseninde toplanmış ve MÖ 13. yüzyılda “*Uruatri- Nairi Konfederasyonu*” ortaya çıkmıştır. Bu dönem Urartuların oluşum dönemini ifade ettiği için tarihi kayıtlarda “*Urartu Arkaik Çağı* veya *Urartu'nun Proto Tarihi*” olarak da nitelendirilmektedir [1], [2], [3]. Urartuların ilk kralı Arame ilk krali kentleri ise Sugunia'dır. Krallık dönemi de dâhil sırasıyla Urartu başkentleri Sugunia- Aramu, Arzaşkun ve son olarak günümüz Van ilinde bulunan Tuşpa'dır. Urartu tarihinin, MÖ. XIII yüzyılın ilk çeyreği ve MÖ. IX yüzyılın ilk yarısındaki ilk devre *beylikler dönemi* olarak nitelendirilmektedir. MÖ. IX yüzyılın ikinci yarısı ve MÖ. VI yüzyılın başları arasındaki devre ise *krallık dönemi* olarak adlandırılmaktadır¹ [4], [5]. Urartular artan siyasi gücü ve genişleyen sınırlara bağlı olarak birçok alanda yenilik ve değişimler yapma ihtiyacı hissetmiş, bu noktada önceliği dini ve askeri alana vermiştir. Devletin politikasına uygun iskân alanları oluşturarak hoşgörülü bir siyaset izleyerek varlığını kalıcı hale getirmeyi hedeflemiştir [6].

Urartu dininin kaynağını kraldan alan, devletin bekasını sağlayan ve genişleyen sınırlara bağlı olarak farklı tanrılara yer vermeyi gaye edinmiş bir zihniyete sahip olduğunu bilmekteyiz. Bu özellik Urartu panteonunda yer alan Hitit, Hurri ve Asurlara ait öğelerden de anlaşılabilir. Dolayısıyla bu özellik çok tanrılı bir yapının zeminini oluşturmaktadır. Urartularda dinin yeri ve önemine dair bilgilerimizi çivi yazılı metinlerden ve kabartmalardan edinmekteyiz. Urartu dininde ayrı bir öneme haiz tanrılara metinlerin ilk satırında atıflar yapılmış ve çoğunlukla baş tanrı Haldi, Teişeba ve Şivini'ye yapılan atıflara yer verilmiştir [7]. Kral İşpiuni dönemine ait Meherkapı Yazıtında Urartu panteonunda bulunan tanrıların adlarına ve onların her birine kaç adet kurban sunulması gerektiğine dair bilgilere yer verilmiştir [8], [7]. Görülmektedir ki din ve devlet birbiriyle bağlantılı iki yapı olarak sosyal hayata da yön vermektedir. Gerek dini konulu gerek savaş ve sefer sonunda ortaya konulan yazıtlar kültürel hayatlarında dini değerlerin önemine dair açık delillerdendir.

Urartular dine kültürel hayatlarında ayrı bir yer vermiş ve bu anlamda tapınım alanları oluşturmayı tercih etmiştir. Tapınakların Urartu sosyal yaşamında yer edinmeye başladığını Menua döneminden itibaren görmekteyiz. Musaşir tapınağının ele geçirilmesi ardından tanrının evi olarak nitelendirilmiş ve kutsanan tanrı Haldi için kurbanlar kesilerek çeşitli hediyeler ile ikramlarda bulunulmuştur. Dolayısıyla din faktörünün toplumu birleştirme ve devletin bekasını sağlama noktasındaki katkısı da oldukça açık ve önemlidir [9], [8]. Urartu panteonunda tanrıların önem derecelerine göre sıralandığına Meherkapı Yazıtındaki liste sayesinde şahit olmaktadır. Esasen dini ibadetlerini nerede ve ne şekilde yaptıklarına dair bilgileri ise yetersiz arkeolojik varlık sebebiyle öğrenememekteyiz. Altın-tepe tapınağı günümüze kadar ulaşmış en güzide Urartu eserlerinden biri olarak bu noktada önem arz etmektedir. Standart Urartu mimarisini en geniş haliyle yansıtan Altın-tepe, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesinde yer almaktadır.

Erzincan ilinin 20 km doğusunda Erzincan- Erzurum karayolu üzerinde Erzincan Ovasından 60 m. yükseklikte 500 metrelik çapa sahip Altın-tepe'de ilk olarak 1959-1968 Prof. Dr. Tahsin Özgüç, ikinci dönem 2003'den itibaren olmak üzere Prof. Dr. Mehmet Karaosmanoğlu tarafından kazılar gerçekleştirilmiştir. Türk Tarih Kurumu ve Eski Eserler ve Müzeler Genel Müdürlüğü adına 1959 yılı Eylül'ünde Prof. Dr. Tahsin Özgüç başkanlığında kazı çalışması başlatılan Altın-tepe, Eski Tunç Çağına tarihlendirilmekte olup Urartu ve Orta Çağ devletlerinden Akkoyunlular'a kadar iskân alanı içerisinde bulunmuştur. Urartulardan günümüze kadar en sağlam ve kale olduğu açıkça anlaşılan Altın-tepe, 1938'lerde tesadüfen eserlerin keşfedilmesi neticesinde bilim dünyasında yerini almıştır. 1959'da Tahsin Özgüç tarafından Altın-tepe'de çalışmalar başlatılmış daha sonra bölgede Urartu mimarisini yansıtan muntazam işçilik ve yapı kalıntılarına rastlanmıştır. Klasik Urartu niteliğini yansıtan Van Toprakale ve Karmir-Blur'dan sonra örnek verilebileceğimiz Altın-tepe'de ayrıca kale, sur duvarları, tapınak, avlu ve saray, havuz, su kapısı, mahzen ve depo alanları, kanalizasyon, ilk apadana ve genişletilmiş apadana ve mezar odaları bulunmaktadır [10], [11], [12]. Doğu Anadolu Bölgesinin kuzeybatısında ve Yukarı Fırat havzasında yer alan Erzincan ovasında bulunan Altın-tepe, çevresinde yer alan volkanik konilerden oluşan bir alanda yer almaktadır. Şehir merkezine yakın bir mesafede

¹ Urartu başkentleri ve lokalizasyon önerileri hakkında değerlendirmeler ve detaylı bilgi için bkz: Pınarcık, P. (2014). “Urartuların Başkentleri”. *Tarih Araştırmaları Dergisi*, 33, 35- 54. Tarhan, M.T. (1978). MÖ. XIII. Yüzyılda Uruatri ve Nairi Konfederasyonlar, Yayınlanmamış Doçentlik Tezi, İstanbul., Salvini, M. (2006). *Urartu Tarihi ve Kültürü*, İstanbul.

ve ovadan 60 m yüksek olan bu tepede Prof. Dr. Tahsin Özgüç tarafından gerçekleştirilen kazılarda² tepeden elde edilen arkeolojik bulgular³ Eskiçağ Tarihi'ne önemli katkılar sunmuştur. Zira sunduğu kültür bakımından bölge genelinde tek örnek olma özelliğine sahiptir [12]. Tahsin Özgüç döneminde gerçekleştirilen kazılardan sonraki süreçte yoğun şekilde tahribata uğramış olsa bile Urartuların kuzeybatıya yayılmaları noktasında büyük öneme sahip merkezler arasında yer almaktadır [13], [14], [15].

Altın-tepe adı ve inşa edilme süreci hakkında net bilgiler bulunmamasına rağmen tepede yer alan mezarlarda “*Rusa'nın oğlu Arğıştı*” ifadesinin okunması dolayısıyla Altın-tepe, II. Arğıştı dönemine tarihlendirilmiştir ve bu dönemde yoğunlaşan Kimmer saldırılarına önlem mahiyetinde yapıldığı ihtimal dahilindedir⁴ [6]. Tepede Doğu Roma ve Urartu dönemini simgeleyen sur, iç kaleye ait kapı, saray ve mabet, depo, açık hava tapınak alanı ve apadana yer almaktadır [12]. Altın-tepe'de gerçekleştirilen kazılardan sonra sunulan yayınlarda bilgiler kısıtlı olsa bile tepedeki ilk yerleşimin Tunç Çağına ait olduğu, yapımında el ve çarkın kullanıldığının göstergesi olan Erken Demir Çağ seramiklerine de rastlanmıştır [10]. Altın-tepe'de Urartu dönemine ait yapının ilk katı MÖ 8. yüzyıla tarihlendirilmekte iken yapının ikinci katı MÖ. 7 yüzyıla tarihlendirilmektedir [18], [16]. Urartu mimarisinin günümüze kadar korunarak gelen en nadide örneklerinden biri olan Altın-tepe, 27. 2 x 30 m ölçülerine sahip dikdörtgen şeklinde etrafında bulunan revaklar ile çevrilmiş avluda yer almaktadır. Tapınağın dört köşesinde yer alan temel taşların üzerinde bulunan 1 cm derinlik 8, 5 cm ölçüsündeki oyuğa hammaddesi tunçtan olan 8 cm çapında 0, 8 cm kalınlığa sahip birer tane disk eklenmiştir [6], [17]. Tapınak kompleksinin dört köşesinde yer alan temel taşların tepesine birer adet disk yerleştirilmiştir [17]. Bu disklerin görsel estetik amaçlı mı yoksa sunularda kullanılmak üzere mi inşa edildiği hakkında net bir bilgi bulunmamaktadır. Tapınağın ön cephesinde yer alan yuvarlak plana sahip alanın ise kurban sunumu için oluşturulduğu düşünülmektedir [18]. Girişi güneydoğuda yer alan duvarın ortasına açılan tapınağın avlusunda da taş kaideler yer almaktadır. Girişin iki tarafı da Urartu yapılarına özgü bir şekilde çerçeveli şekildedir. Bu özelliği ile Meherkapı ve Yeşilalıç anıtları ile benzerlik göstermektedir [19], [20], [21]. Urartu döneminde tapınakta ilk apadana ve daha sonra bir nevi tadilat mahiyetinde yeniden oluşturulan genişletilmiş apadana yer almaktadır. Tapınak girişinin yaklaşık 6 m ön kısmının çaprazına denk gelen şekilde ana kayayı tıraş etmek suretiyle çevresine nazaran 2 m yükseklikte ilk apadana yapılmıştır. Giriş ise doğuda yer alan kapılardan sağlanmıştır. Apadana çevre zeminden 2 m kadar yüksekte bulunduğundan kapı önünde yer alan ahşap bir merdiven kullanılmıştır [12]. Yapı duvarları temeli taşlarla örülü dört kat üzerine kerpiç ile yükseltilmiş ve giriş yine ilk apadanada olduğu gibi doğu cephesinden sağlanmıştır. Dolayısıyla aynı yapıya ek olarak ortaya çıkarılan bu yapıda zeminden yüksek bir girişe sahip olduğu için girişler yine ahşap merdiven kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ne yazık ki bu yapının da akıbeti bir yangın ile nihayet bulmuştur [22]. Altın-tepe'den elde edilen bulgular günümüzde Ankara İngiliz Arkeolojisi Enstitüsünde korunmaktadır.

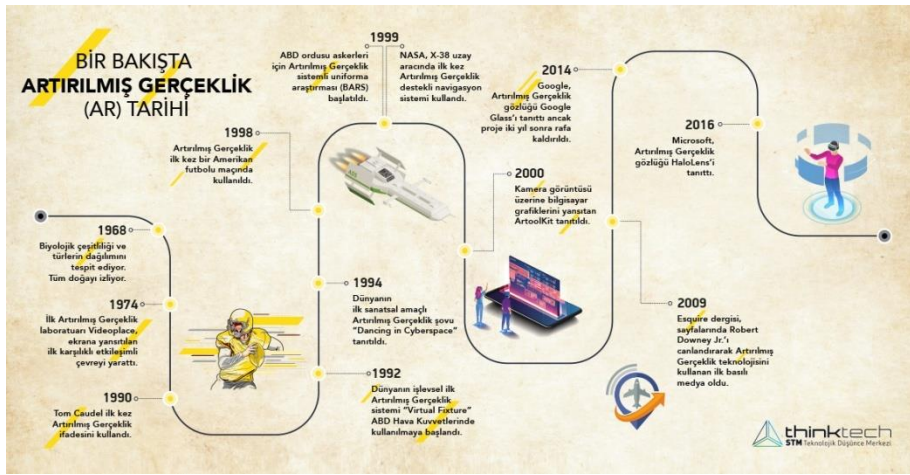
2. Artırılmış Gerçeklik

Artırılmış gerçeklik (AG) teknolojisi dijital ortamlarda hazırlanan içeriklerin, gerçek ortamlara entegre edilerek etkileşim sağlanabilen görüntüleme teknolojisidir [23]. Başka bir ifade ile artırılmış gerçeklik, gerçek dünya ile bilgisayarda oluşturulan ortamların birlikte görüntülenmesidir [24]. Artırılmış gerçeklik teknolojisinin temelleri 1950'li yıllara dayanmakta ve o dönem geliştirilen “Sensorama” isimli cihaz bu teknolojinin ilk örneği olarak tanımlanmaktadır [25]. Sonraki dönemde 1992 yılında Boeing firması tarafından geliştirilen bir uygulama ile işçilerin montaj işlemini daha verimli bir şekilde yapmaları sağlanmıştır. Tüm bu gelişmeler ışığında artırılmış gerçeklik ifadesi ilk kez Ronald Azuma tarafından kullanılarak dünya literatürüne eklenmiştir [26].

² Kazı bulguları ve arkeolojik malzemeler birçok yayına konu olma niteliği sağlamıştır: Özgüç 1961, 253-269; Özgüç 1963, 43-57; Özgüç 1964, 43-44; Çiner 1965, 225-245; Özgüç 1965, 93; Özgüç 1969, 256-263; Klein 1974, 77-94;

³ Altın-tepe Urartu Mimarlık Eserleri için bkz: Tahsin Özgüç, Altın-tepe'de Urartu Mimarlık Eserleri” Anatolia, 1963, 51- 57.

⁴ Ancak saldırılara karşı yetersiz kalan kalelerden biri olmuştur.



Şekil 1. Artırılmış Gerçeklik Tarihi

Azuma [27], artırılmış gerçeklik teknolojisini, algılanması güç olan bilgilerin, doğal ortamları geliştirilmesi ve güçlendirmesi şeklinde tanımlamıştır. Bu teknolojinin verimli ve pratik bir şekilde kullanılabilmesi için mobil cihaz, kamera ve tetikleyici görselinin bir arada bulunması gerekmektedir [28]. Artırılmış gerçeklik teknolojisinde optik ve video görüntüleme teknolojileri kullanılarak içerikler oluşturulmaktadır [27].

Cheng ve Tsai [29], artırılmış gerçeklik teknolojisinin iki farklı şekilde tanımlamıştır. Bu tanımlamalar; i) konum tabanlı artırılmış gerçeklik ve ii) şekil-ışaretçi tabanlı artırılmış gerçeklik şeklindedir.

Konum Tabanlı Artırılmış Gerçeklik: Kullanılan mobil cihazın konum bilgileri doğrultusunda kamera yardımıyla ortamın algılanması ve içeriklerin gerçek ortama entegre edilmesidir [30]. Konum tabanlı artırılmış gerçeklik teknolojisine en güzel örnek 2016 yılında tüm dünyada kullanılmaya başlayan "Pokemon Go" uygulamasıdır.



Şekil 2. Konum Tabanlı Uygulama Örneği (Pokemon Go)

Şekil-İşaretçi Tabanlı Artırılmış Gerçeklik: Bu teknolojiye, daha önceden hazırlanan içerik, mobil cihaz kamerasına okutulan tetikleyici görsel ile görüntülenmektedir [30].



Şekil 3. Artırılmış Gerçeklik Uygulaması Örneği

Şekil-işaretçi tabanlı uygulamalarda tetikleyici görsel ile görüntülenecek içerik ilişkilendirilmektedir. Bu tarz uygulamalar kullanıcıların hazırlanmış içerikleri algılama düzeyleri yükselmekte ve içeriği anlamlandırma kapasitesinin artmasını sağlamaktadır [31]. Artırılmış gerçeklik teknolojisi, gerçeklik hissini değiştirmeden insanlara ilgi çekici ortamlar sunmaktadır [32].

Günümüzde teknolojik gelişmelerin baş döndürücü hızla ilerlemesi artırılmış gerçeklik teknolojilerinin ulaşılabilirliğini artırmış ve birçok alanda kullanılmasını sağlamıştır [33]. Artırılmış gerçeklik teknolojisinin kullanıldığı alanlar Tablo 1’de sunulmuştur.

Tablo 1. Artırılmış gerçeklik teknolojisi kullanım alanları

Artırılmış Gerçeklik Teknolojisi Kullanım Alanları
1. Reklam ve pazarlama
2. Kültür ve Turizm
3. Mühendislik
4. Eğlence
5. Eğitim
6. Askeri
7. Sağlık

Tablo 1 incelendiğinde artırılmış gerçeklik teknolojisinin yaygın bir şekilde kullanıldığı görülmektedir. Artırılmış gerçeklik uygulamalarının farklı platformlarda kullanılması ayrıca çeşitli içeriklerin üretilmesine de olanak sağlamıştır [34]. Bu teknolojinin gerçek zaman ve ortam koşullarında kullanılabilir olması, gerçeklik algısını değiştirmemesi, kullanıcıların etkileşim düzeylerini destekleyici niteliktedir [35]. Bu teknoloji içinde bulunduğumuz ortamı zenginleştirerek, bizlerin çevreyle olan etkileşimimizi artıran araçsal bir yeniliktir [36]. Artırılmış gerçeklik ile bilgisayarda hazırlanmış bilgiler doğal ortama aktarılarak kullanıcının algı eşiğini geliştirmektedir [37]. Özellikle bu teknolojiyi kullanırken farklı donanımlara ihtiyaç duymadan zaman ve mekândan bağımsız olarak kullanabilmek önemli bir noktadır [38].

Fakat son dönemlerde artırılmış ile sanal gerçeklik kavramları karıştırılmaktadır. Benzer mimari teknolojiler kullanan bu iki görüntüleme teknolojisinin farkını en bariz şekilde ortaya koymak adına Milgram ve Kishino’nun oluşturduğu “Gerçek Sanal Sürekliliği Diyagramı” aşağıda Şekil 4’te sunulmuştur.



Şekil 4. Gerçek Sanal Sürekliliği Diyagramı

Şekil 4'te ki diyagram incelendiğinde artırılmış gerçeklik teknolojisinin gerçekliği temel aldığı, sanal gerçeklik teknolojisinin ise sanallığı temel aldığı anlaşılmaktadır. [28] çalışmasında artırılmış gerçeklik teknolojisinde gerçek içinde sanal olanın yer aldığını belirtmiştir. AG teknolojisi, kullanıcının gerçeklik algısını değiştirmediği için kullanıcının davranışlarını kısıtlamaz ve etkileşimin en yüksek seviyede olmasını sağlamaktadır [20].

Artırılmış gerçeklik teknolojisinin çalışma aşamaları;

- İşaretçi-tetikleyici
- Konum bilgileri
- İşaretleyicinin çözümlenmesi
- Veritabanından hazırlanmış içeriğin çekilmesi
- Görüntüleme şeklinde ifade edilebilir.

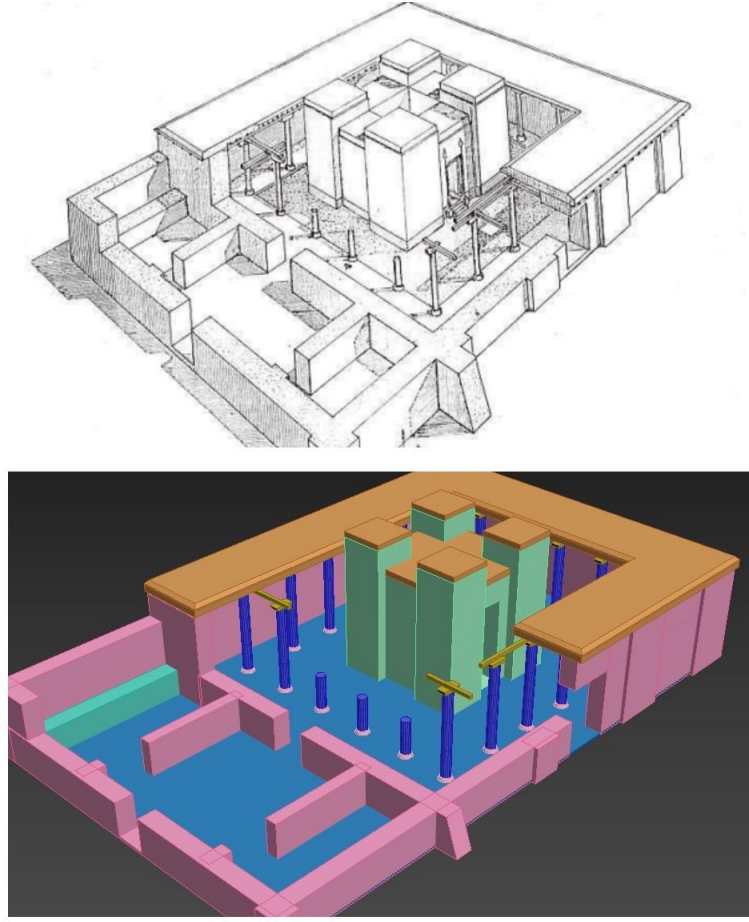
Teknolojik gelişmeler ışığında artırılmış gerçeklik teknolojisinin sahip olduğu potansiyel görüntüleme teknolojilerine yeni bir soluk ve bakış açısı kazandırmıştır [39]. İhtiyaç halinde kolay ulaşılır hale gelmesi ve problem durumlarına çözüm sunabilmesi adına kullanıcılara kolaylıklar sunmakta etkilidir [31]. Cihazlardaki ekran ve kamera özelliklerinin geliştirilmesi artırılmış gerçeklik teknolojisi tabanlı uygulamaların niteliğini artırmıştır [39].

3. Materyal / Metod

Çalışmanın bu bölümü, içerik olarak kullanılacak tapınak modelinin hazırlanması ve artırılmış gerçeklik uygulamasının geliştirilmesi adımlarını kapsamaktadır. Bu adımlar iki başlık halinde sunulmuştur.

3.1. Materyal Modelleme

Çalışmada Prof. Dr. Tahsin Özgüç tarafından 1956-1968 yılları arasında gerçekleştirilen araştırmalar sonucunda açığa çıkartılan tapınak kompleksi üç boyutlu modelleme programı kullanılarak, geliştirilen artırılmış gerçeklik uygulamasında kullanmak amacıyla modellenmiştir. Modelleme işleminin yapılabilmesi için aşağıdaki Şekil 5'te verilen çizim taslak olarak kullanılmıştır.



Şekil 5. Altıntepe Tapınağı Referans Çizimi ve 3b modeli

Şekil 5'te 3ds Max programı kullanılarak taslak çizim üzerinden Altıntepe Tapınağı modellenmiş ve sonraki aşamada mimari özelliklerine uygun şekilde kaplama işlemleri gerçekleştirilmiştir.



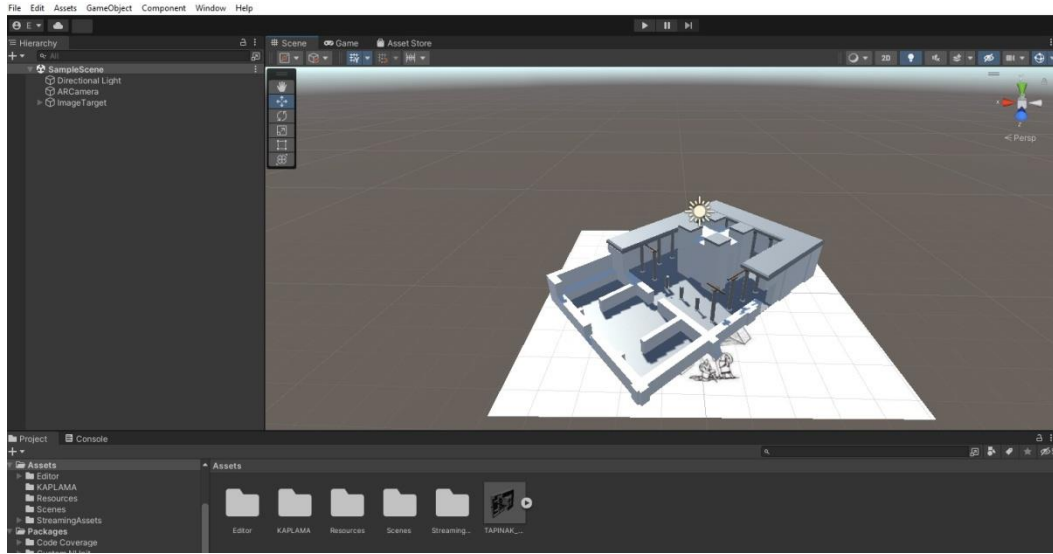
Şekil 6. Altıntepe, Kazı açma alanı ve planı

3.1. Artırılmış Gerçeklik Uygulaması

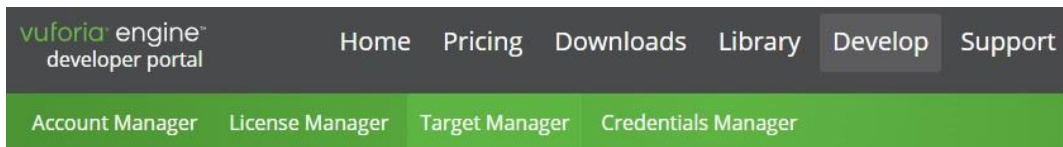
Çalışmada Altın-tepe tapınağının mevcut bilgileri ışığında üç boyutlu olarak görüntülenmesi adına artırılmış gerçeklik teknolojisi kullanılmıştır. Bu amaçla Unity oyun motoru ve Vuforia SDK geliştirici platformlarından faydalanılmıştır.

Unity oyun motoru bilgisayar, mobil cihaz ve oyun konsolları için içerik geliştirilmede kullanılan bir yazılımdır. İlk olarak 2005 yılında yayımlanan bu program ile iki ve üç boyutlu oyunlar ve uygulamalar geliştirmek oldukça mümkündür.

Bu çalışmada geliştirilen uygulamanın mobil cihazlarda kullanılabilmesi amacıyla Unity oyun motoru ile uyumlu olarak çalışabilen Vuforia platformu kullanılarak bir veri tabanı oluşturulmuştur. Vuforia kameranın çevrildiği alandaki tetikleyici görseli algılayarak daha önceden hazırlanan içeriğin algıladığı görsel üzerine konumlanmasını sağlayan yazılımdır.



Şekil 7. Unity Oyun Motoru ve Uygulama Geliştirme Aşaması



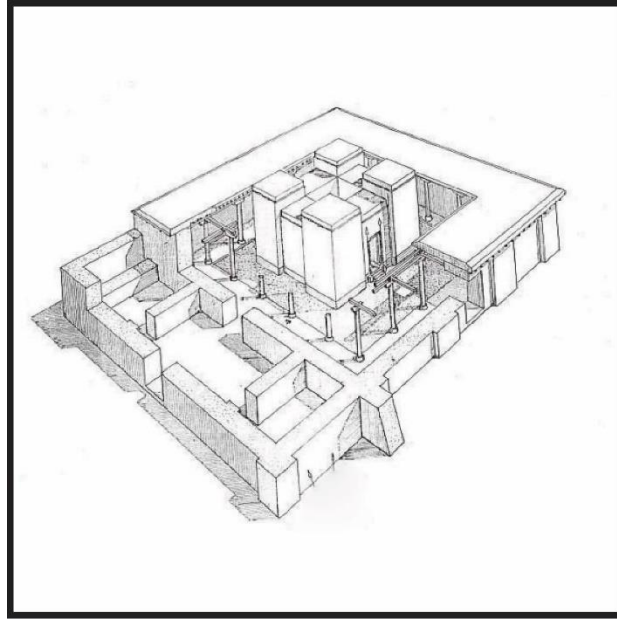
Target Manager

Use the Target Manager to create and manage databases and targets.

Database	Type	Targets
Altın-tepe	Device	1

Şekil 8. Vuforia Sdk Geliştirme Platformu Arayüzü

Geliştirilen uygulamanın kullanılabilmesi için uygulamanın kullanılacak mobil cihazda yüklü olması ve cihaz kamerasına aşağıdaki Şekil 8'de ki Altın-tepe Tapınağı görseli okutulmalıdır.



Şekil 9. Uygulama Tetikleyici Görseli



Şekil 10. Uygulamanın mobil cihazda kullanımı

3. Sonuç ve Tartışma

Son yıllarda bilgisayar ve görüntüleme teknolojilerindeki gelişmeler uygulama geliştiricilerine farklı imkânlar sunmaktadır. Bilginin farklı teknolojilerle desteklenerek kullanılması oldukça dikkat çekmektedir. Özellikle kullanıcılara çeşitli etkileşim olanağı sunacak gelişmelerin fazla olması heyecan yaratıcı bir durum olmuştur. Bu noktada son dönemlerde farklı alanlarda sık sık karşılaştığımız artırılmış gerçeklik teknolojisinin tarih alanında kullanılabilir olması oldukça önem arz etmektedir. Bireylere tarihi bilginin aktarılmasında artırılmış gerçeklik teknolojisinin kullanılması teknolojik etkileşimin artmasını ve tarihi yapıların geçmişine dair bilgilenmemizi sağlamaktadır.

Bu çalışmada önemli bir tarihi yapı olarak adlandırılan ve Urartulara ait olan bugüne ulaşmış tapınak örneği olan Altıntepe ele alınmıştır. Altıntepe'nin seçilmesinde en önemli etmen yapı katlarının belirgin oluşu sayesinde geçmişine dair bilgi almamızın sunduğu kolaylık ve alanında nadide bir yapı olmasıdır. Esasen bu

özellikleri ve tarih alanındaki önemi sebebiyle derslere konu olmaya devam etmekte oluşu ve aynı zamanda günümüzde hala ayakta oluşu yapının çalışılmasına kaynaklık etmiştir. Günümüzde farklı sebeplere bağlı olarak yok olma noktasına gelen Altıntepe Tapınağı, üç boyutlu modelleme programlarından biri olan 3ds max programı kullanılarak modellenmiştir. Bu modellemenin yapılabilmesi için Prof. Dr. Tahsin Özgüç'ün hazırladığı çizimler, referans görselleri olarak kullanılmıştır. Modelleme programı ile hazırlanan üç boyutlu Altıntepe Tapınağı “.fbx” uzantılı bir dosya şeklinde dışa aktarılmıştır. Modelleme işleminden sonra artırılmış gerçeklik teknolojisi tabanlı uygulama geliştirebilmek adına kullanılabilecek farklı program ve platformlar arasından Unity oyun motoru ve Vuforia platformu tercih edilmiştir. Artırılmış gerçeklik teknolojisi kullanılarak geliştirilen bu uygulama ile tarihi yapıların tanıtılması, görselleştirilmesi tarih eğitim ve öğretiminde farklı bir deneyim ve bakış açısı sunması elde edilmiştir. Dolayısıyla tarihi eserleri veya yapıları üç boyutlu olarak görüntülemek hem bireylere hem gelecek nesillere arkeolojik bulgular yok olma noktasına gelmiş olsa bile önemli fırsatlar sunmaktadır.

Kaynakça

- [1] M. Salvini, *Nairi e Ur(u)atri: Contributa alla StoriadellaFormazione del regno di Urartu*. Roma: [Publisher], 1967.
- [2] M. Salvini, *Geschichte und Kultur der Urartäer*. Darmstadt: [Publisher], 1995.
- [3] A. Ceylan and Y. Günaşdı, “Erzurum ve çevresindeki Urartu yazıtlarının tarihi açıdan değerlendirilmesi,” *Akademik Tarih ve Düşünce Dergisi*, vol. 4, no. 13, pp. 313-350, 2017.
- [4] M. T. Tarhan, “Urartu Devletinin «Kuruluş» Evresi ve Kurucu Krallardan «Lutipri = Lapturi» Hakkında Yeni Görüşler (1 levha ile birlikte),” *Anadolu Araştırmaları*, no. 8, pp. 69-114, 1982.
- [5] N. A. Sevin, “Urartu Takı Sanatı,” *Arkeo Atlas, Tarihöncesinden Demir Çağı'na Anadolu Arkeoloji Atlası*, 2011.
- [6] Y. Günaşdı, *Karasu (Yukarı) Havzasındaki Tarihi ve Arkeolojik Veriler*. Ph.D. dissertation, Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Erzurum, 2013.
- [7] A. Çilingiroğlu, “Urartu Dini,” *Arkeo Atlas (Anadolu'nun Arkeolojik Atlası: Özel Koleksiyon)*, pp. 474-475, İstanbul, 2011.
- [8] M. R. Payne, *Urartu Çivi Yazılı Belgeler Kataloğu*. İstanbul: [Publisher], 2006.
- [9] W. C. Benedict, “The Urartian-Assyrian Inscription of Kelishin,” *Journal of the American Oriental Society*, vol. 81, no. 4, pp. 359-385, Sep.-Dec. 1961.
- [10] T. Özgüç, “Altıntepe Kazıları,” *Bellekten*, vol. 25, pp. 253-269, 1961.
- [11] R. Çiner, “Altıntepe (Urartu) İskeletlerine Ait Kalıntıların Tetkiki,” *Bellekten*, vol. 29, no. 114, pp. 225-245, 1965.
- [12] M. Karaosmanoğlu, H. Korucu, and M. A. Yılmaz, “Altıntepe Urartu Kalesi Kazısı ve Onarım Çalışmaları 2003-2013,” *Anadolu'nun Zirvesinde Türk Arkeolojisinin*, vol. 40, pp. 77-96, 2014.
- [13] A. Ceylan, “The Erzincan, Erzurum and Kars region in the iron age,” *Anatolian Iron Ages V*, pp. 21-29, 2005.
- [14] A. Ceylan, *Doğu Anadolu araştırmaları: Erzurum, Erzincan, Kars, Iğdır (1998-2008)*. [Publisher], 2008.
- [15] G.-A. Ceylan, et al., *Türkiye Arkeolojik Yerleşmeleri - 6a-b Demir Çağları*. İstanbul: [Publisher], 2008.
- [16] A. Nunn, “Wandmalerei in Urartu,” in *Biañinili-Urartu, The Proceedings of the Symposium held in Munich 12-14 October 2007*, S. Kroll, C. Gruber, U. Hellwag, M. Roaf, and P. Zimansky, Eds., 2012, pp. 321-337.
- [17] M. Karaosmanoğlu, “Yeni Bulgular Işığında Altıntepe Urartu Tapınağı,” in *XV. Türk Tarih Kongresi*, vol. 1, pp. 209-220, Ankara, 2010.

- [18] T. Özgüç, *Altın-tepe-Mimarlık Anıtları ve Duvar Resimleri*. Ankara: Türk Tarih Kurumu Basımevi, 1966.
- [19] T. Tarhan and V. Sevin, "Urartu Tapınak Kapıları ile Anıtsal Kaya Nişleri Arasındaki Bağını," *Bellekten*, vol. 39, no. 155, pp. 389-400, 1975.
- [20] A. Çilingiroğlu, *Urartu Krallığı: Tarihi ve Sanatı*. İzmir: [Publisher], 1997.
- [21] O. Belli, *Anzaf Kaleleri ve Urartu Tanrıları*. İstanbul: [Publisher], 1998.
- [22] M. Karaosmanoğlu, H. Korucu, and M. A. Yılmaz, "Altın-tepe Urartu Kalesi Kazı ve Onarım Çalışmaları 2003-2013," *Anadolu'nun Zirvesinde Türk Arkeolojisinin*, vol. 40, pp. 77-96, 2014.
- [23] V. Demirer and Ç. Erbaş, "Investigation Of Mobile Augmented Reality Applications And Evaluation Of Educational Perspective," *Mersin University Journal of the Faculty of Education*, vol. 11, no. 3, pp. 802-813, 2015.
- [24] A. Walsh, "Blurring The Boundaries Between Our Physical And Electronic Libraries: Location-Aware Technologies, QR Codes And RFID Tags," *The Electronic Library*, vol. 29, no. 4, pp. 429-437, 2011.
- [25] H. Altınpulluk and M. Kesim, "Geçmişten Günümüze Artırılmış Gerçeklik Uygulamalarında Gerçekleşen Paradigma Değişimleri," *Akademik Bilişim Kongresi*, vol. 4, no. 6, pp. 546-551, 2015.
- [26] B. Eroğlu, "Ortaokul Öğrencilerine Astronomi Kavramlarının Artırılmış Gerçeklik Uygulamaları ile Öğretiminin Değerlendirilmesi," M.S. thesis, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 2018.
- [27] R. T. Azuma, "A Survey Of Augmented Reality," *Presence: teleoperators & virtual environments*, vol. 6, no. 4, pp. 355-385, 1997.
- [28] B. Çankaya, "The Effect Of The Augmented Reality Applications On The Success, Attitude And Motivation Of Secondary Education Students," M.S. thesis, Gazi University, Ankara, 2019.
- [29] K. H. Cheng and C. C. Tsai, "Affordances of augmentedreality in sciencelearning: Suggestionsforfuture research," *Journal of scienceeducationandtechnology*, vol. 22, pp. 449-462, 2013.
- [30] G. Gelmez, "Artırılmış Gerçeklik ile Montaj Kiti Bilgilendirme Kılavuzu Üzerine Bir Uygulama," M.S. thesis, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2021.
- [31] M. V. Balak, "Teknik Resim Derslerinde Kullanılmak Üzere Etkileşimli 3 Boyutlu Ders İçeriklerinin Geliştirilmesi ve Öğrenme Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması," *Atatürk Üniversitesi Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Dergisi*, vol. 41, pp. 357-378, 2020.
- [32] Ö. Çobanoğlu, "Artırılmış Gerçeklik ile Üç Boyutlu Hareketli Sanal Afişlerin Oluşturulması ve Sergilenmesi," [Thesis type], [Institution], [Location], 2021.
- [33] S. A. H. Morales, L. Andrade-Arenas, A. Delgado, and E. L. Huamaní, "Augmented Reality: Prototype For The Teaching-Learning Process In Peru," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 13, no. 1, pp. 806-815, 2022.
- [34] O. Güler, "El Hareketlerinin Derin Öğrenme Tabanlı Tanınması ve Artırılmış Gerçeklik Uygulaması Geliştirme," Ph.D. dissertation, Düzce Üniversitesi, Düzce, 2021.
- [35] F. K. Chiang, X. Shang, and L. Qiao, "Augmented Reality In Vocational Training: A Systematic Review Of Research And Applications," *Computers in Human Behavior*, vol. 129, 107125, 2022.
- [36] M. V. Balak, "Teknik Resim Derslerinde Kullanılmak Üzere Etkileşimli 3 Boyutlu Ders İçeriklerinin Geliştirilmesi ve Öğrenme Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması," *Atatürk Üniversitesi Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Dergisi*, vol. 41, pp. 357-378, 2020.
- [37] J. W. Lai and K. H. Cheong, "Adoption Of Virtual And Augmented Reality For Mathematics Education: A Scoping Review," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 13693-13703, 2022.
- [38] J. H. Chiew and A. N. Sung, "Augmented Reality Application For Laptop Assembly With Assembly Complexity Study," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 120, no. 1-2, pp. 1149-1167, 2022.

- [39] S. Polyzou, K. Botsoglou, N. C. Zygouris, and G. Stamoulis, "Interactive Books For Preschool Children: From Traditional Interactive Paper Books To Augmented Reality Books: Listening To Children's Voices Through Mosaic Approach," *Education 3-13*, vol. 51, no. 6, pp. 881-892, 2023.



Research Article

Drought Analysis with SPI and SPEI Indices Using Different Time Periods

Cansu Bozkurt¹ *

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

* Correspondence: cansubozkurt@ardahan.edu.tr

Received: 24 October 2023; Accepted: 26 November 2023; Published: 30 June 2024

Abstract: Drought refers to a situation of insufficient moisture due to lack of precipitation over a certain period of time. Different drought indices are applied to determine temporal and spatial drought characteristics. Determining the drought index and monitoring its changes is of great importance in terms of planning and management of usable water resources such as stream flow, lake and reservoir levels, snow cover, soil moisture and groundwater, and solving problems related to environmental, ecological and economic systems. In this study, Standard Precipitation Index (SPI) and Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) analysis was carried out using monthly precipitation and monthly average temperature data recorded between the hydrological years 1980-2022 at Ardahan meteorology station no. 17046 in the Eastern Anatolia Region. Drought evaluations were made for different time periods such as 1, 3, 4, 6, 9 and 12 months, and the effects of indices on drought analysis were examined. Accordingly, it has been seen that the SPI index has the advantage of being calculated more practically in cases where only precipitation data is obtained, but is more stable for long periods of time, while the SPEI method can effectively evaluate drought for all time periods. Analysis results show that drought has tended to increase in Ardahan province, especially in the last 6 years, due to the decrease in precipitation and the increase in temperature.

Keywords: Drought, drought analysis, standardized precipitation index, precipitation, hydrology

Araştırma Makalesi

Farklı Zaman Periyotları Kullanılarak SPI ve SPEI İndisleri ile Kuraklık Analizleri

Öz: Kuraklık belirli bir zaman periyodunda yağış eksikliği nedeniyle yetersiz nem durumunu ifade etmektedir. Zamansal ve alansal kuraklık özelliklerinin belirlenmesinde farklı kuraklık indisleri uygulanmaktadır. Kuraklık indisinin belirlenmesi ve değişimlerin izlenmesi akarsu akışı, göl ve rezervuar seviyeleri kar örtüsü, toprak nemi ve yeraltı suları gibi kullanılabilir su kaynaklarının planlaması ve yönetimi, çevresel, ekolojik ve ekonomik sistemlere yönelik sorunların çözümü açısından büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan 17046 no'lu Ardahan meteoroloji istasyonunda 1980-2022 hidrolojik yılları arasında kaydedilen aylık yağış ve aylık ortalama sıcaklık verileri kullanılarak Standart Yağış İndisi (SPI) ve Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) analizi gerçekleştirilmiştir. 1, 3, 4, 6, 9 ve 12 ay gibi farklı zaman periyotları için kuraklık değerlendirmesi yapılmış ve indislerin kuraklık analizi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Buna göre SPI indisinin sadece yağış verilerinin elde edildiği durumlarda daha pratik biçimde hesaplanmasından dolayı avantaj taşıdığı ancak uzun zaman periyotları için daha kararlı olduğu, SPEI yönteminin ise tüm zaman periyotları için kuraklığı etkili bir şekilde değerlendirebildiği görülmüştür. Analiz sonuçları Ardahan ilinde yağışın azalması ve sıcaklığın artmasına bağlı olarak özellikle son 6 yıl içerisinde kuraklığın artış eğiliminde olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Kuraklık, kuraklık analizi, standart yağış indisi, yağış, hidroloji.

Citation: C. Bozkurt, "Drought Analysis with SPI and SPEI Indices Using Different Time Periods", *Journal of Studies in Advanced Technologies*, vol. 2, no. 1, pp. 13-23, Jun 2024, doi: 10.63063/jsat.1380592

1. Giriş

Kuraklık, belirli bir zaman periyodunda buharlaşma ve terleme oranının yağış oranını geçmesi durumunda meydana gelmekte ve küresel iklimin sürekli ısınması ile kuraklık sıklığı ve yoğunluğu da artış göstermektedir. Bu da toplumun sürdürülebilir kalkınmasını önemli ölçüde etkilemektedir [1]. Kuraklık genellikle meteorolojik, hidrolik, tarımsal ve sosyo-ekonomik faktörlere bağlı olarak sınıflandırılmaktadır [2]. Meteorolojik kuraklık ciddi yağış eksikliği sonucu oluşmakta ve kuraklık analizi için yağış eksikliğinin miktarı ve süresi incelenmektedir. Hidrolojik kuraklık ise akarsu ve nehirler üzerindeki meteorolojik kuraklığın etkisini yansıtmakta ve kuraklık analizinde yağışın yetersiz olduğu periyotlarda yüzey ve yeraltı su kaynakları üzerindeki etkileri incelemektedir [3], [4], [5], [6]. Uzun periyotlarda görülen meteorolojik kuraklığın tarımsal ve sosyo-ekonomik faktörler üzerinde de ciddi etkileri bulunmaktadır [7], [8]. Kümülatif artış gösteren, başlangıç ve bitişi belirsiz olan ve aynı anda birçok kaynak üzerinde etkisi olan kuraklık diğer doğal afetlere kıyasla daha çok insanı etkilemesi nedeniyle dünyanın en maliyetli doğal afetidir. 2008 yılında yapılan bir araştırmada küresel olarak kuraklığın etkisi yıllık 6-8 milyar ABD dolarına eşdeğer bulunmuştur [9]. Kuraklığın etkileri ve yaygınlığı göz önüne alındığında, erken tespitin sağlanabilmesi ve çeşitli önlemlerin alınabilmesi amacıyla kuraklık olaylarının süre, etki alanı, frekans ve şiddetinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla kuraklığın yoğunluğu ve şiddetini belirlemek ve izlemek için çeşitli indisler geliştirilmiştir. Mevcut literatürde meteorolojik kuraklık analizinde yaygın olarak kullanılan yöntemler; Standart Yağış İndisi, Normalin Yüzdesi İndisi, Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi, Palmer Kuraklık Şiddet İndisi (PDSI), De Martonne-Gotmann İndisi, Thornthwaite Yöntemi İndisi, Erinç Kuraklık İndisi, Bagnauls-Gausson İndisi, Modifiye Fournier İndisi şeklindedir [5], [9], [10], [11], [12].

Kuraklık indisleri meteoroloji istasyonlarından elde edilen yağış, sıcaklık ve buharlaşma gibi parametreleri kullanarak hesaplanmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları sadece yağış verisini kullanırken bazıları hem yağış hem de sıcaklık verilerini kullanmaktadır. SPI indisi sadece yağış verisini kullanması, kolay hesaplanması ve güvenilir sonuç vermesi nedeniyle en yaygın olarak kullanılan kuraklık indisidir [13]. SPI ve SPEI meteorolojik, hidrolojik ve tarımsal kuraklıkları izlemek için kullanılabilir. Yu vd. [3], Çin'de 1951-2010 dönemi için kuraklığın uzun vadeli eğilimleri, yoğunluk, süre, sıklık ve etkilenen alanın yüzdesi gibi çeşitli özelliklerini araştırmışlardır. Aylık yağış ve sıcaklık verileri kullanılarak SPEI kuraklık indisi hesaplanmış, özellikle yağışların azalması ve sıcaklığın artması nedeniyle kuruma eğilimleri tespit edilmiştir [3]. Vicente-Serrano vd. [12] yaptıkları çalışmada kuraklığın hidrolojik, tarımsal ve ekolojik parametreler üzerindeki etkilerini izlemek amacıyla farklı kuraklık indislerinin performanslarını değerlendirilmiştir. Bu amaçla çalışmada SPI, PDSI ve SPEI yöntemleri uygulanmıştır. Parametrelerin kurak üzerindeki etkilerini değerlendirmede PDSI'nin üstün bir yeteneği olduğu, SPEI'nin ise yaz aylarındaki kuraklık etkilerini belirlemede daha yüksek kapasiteye sahip olduğu tespit edilmiştir.

Kuzey Zambiya'da yer alan Kafue havzasının kuraklığını için 1960-2015 yılları arasında farklı zaman periyotları kullanılarak SPI ve SPEI yöntemleri ile elde edilen zaman serileri kıyaslanmıştır. Havzada yağış yetersizliğinden dolayı çeşitli kuraklıklar yaşandığı ve kuraklığın artış eğiliminde olduğu belirlenmiştir [8]. Qaisrani vd. [14], çalışmalarında Pakistan'ın Belucistan eyaletinde bulunan kurak bir bölgenin kuraklık dönemleri 38 yıllık 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık farklı zaman periyotlarında SPI ve SPEI kullanarak araştırmıştır. Sonuçlar kısa zaman periyotlarında dalgalanmalar olduğunu göstermektedir. Türkiye'de de kuraklık indisleri kullanılarak birçok çalışma yapılmıştır. Örneğin Yüce vd. [15], Samsun ili için SPI ve SPEI yöntemlerini kullanarak 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık zaman periyotlarında kuraklığı belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmada, kuraklığın zamansal ve mekânsal etkilerini belirlemek amacıyla 31 yıllık sıcaklık ve yağış verilerini kullanarak De Matonne-Gottman ve SPI yöntemleri ile kuraklık analizi gerçekleştirmiştir. Batan [10], kurak bir iklimde bulunan Batman ilinin kuraklığını değerlendirmek için çeşitli kuraklık indisleri kullanarak kurak bölgeler için en uygun indisler değerlendirilmiştir. Topçu ve Karaçor [17], Kuzeydoğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan Erzurum ilinin kuraklığını analiz etmek için SPEI ve Bütünleşik Kuraklık İndisi yöntemlerini kullanmışlardır. Çalışmada, 1975 ve 2008 yılları arasında 1, 3, 6, 12 ve 24 aylık periyotları için yağış, sıcaklık, nispi nem, buharlaşma ve güneşlenme süreleri verileri ile kuraklık incelenmiştir. Sonuçlar istasyonda sıklıkla hafif kuraklığın yaşandığını aşırı kuraklığın ise az olduğunu göstermektedir. Çelik [18], Doğu Anadolu Bölgesi'nde 1967 ve 2017 yılları arasındaki kuraklık eğilimini belirlemek amacıyla 14 il için SPI analizi uygulanmış, ayrıca iklim sınıflandırma yöntemlerinden faydalanılmıştır. Araştırmada, Türkiye'de mevsimlik

kuraklıklar incelendiğinde Doğu Anadolu Bölgesinde son yıllarda yağış azalmasına bağlı olarak hissedilir kuraklık eğilimi dikkat çekmektedir.

Bu çalışmada Ardahan il merkezinde bulunan 17046 numaralı meteoroloji istasyonundan 1980 ve 2022 hidrolojik yılları arasında kaydı alınmış aylık ortalama yağış verileri kullanılarak SPI, aylık ortalama yağış ve aylık ortalama sıcaklık verileri kullanılarak SPEI yöntemleri kullanılarak kuraklık analizi yapılmış, sıcaklık verisinin kuraklık üzerindeki etkisini gözlemleyebilmek amacıyla bu iki yöntem tercih edilmiştir. İstasyonun her iki yöntemle elde edilen kuraklık indislerinin 1, 3, 4, 6, 9 ve 12 aylık zamansal değişimleri izlenmiş, yöntemlerin kuraklık değerlendirme kapasiteleri karşılaştırılmış, kuraklık karakteristikleri incelenmiştir. Çalışmanın kuraklık eğilimi gösteren Ardahan ili için kuraklığın etkilerini azaltmak amacıyla erken uyarı sisteminin kurulması, gerekli planlamaların yapılması, su kaynaklarının korunması ve su yapılarının projelendirilmesi konuları kapsamında referans oluşturacağı düşünülmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

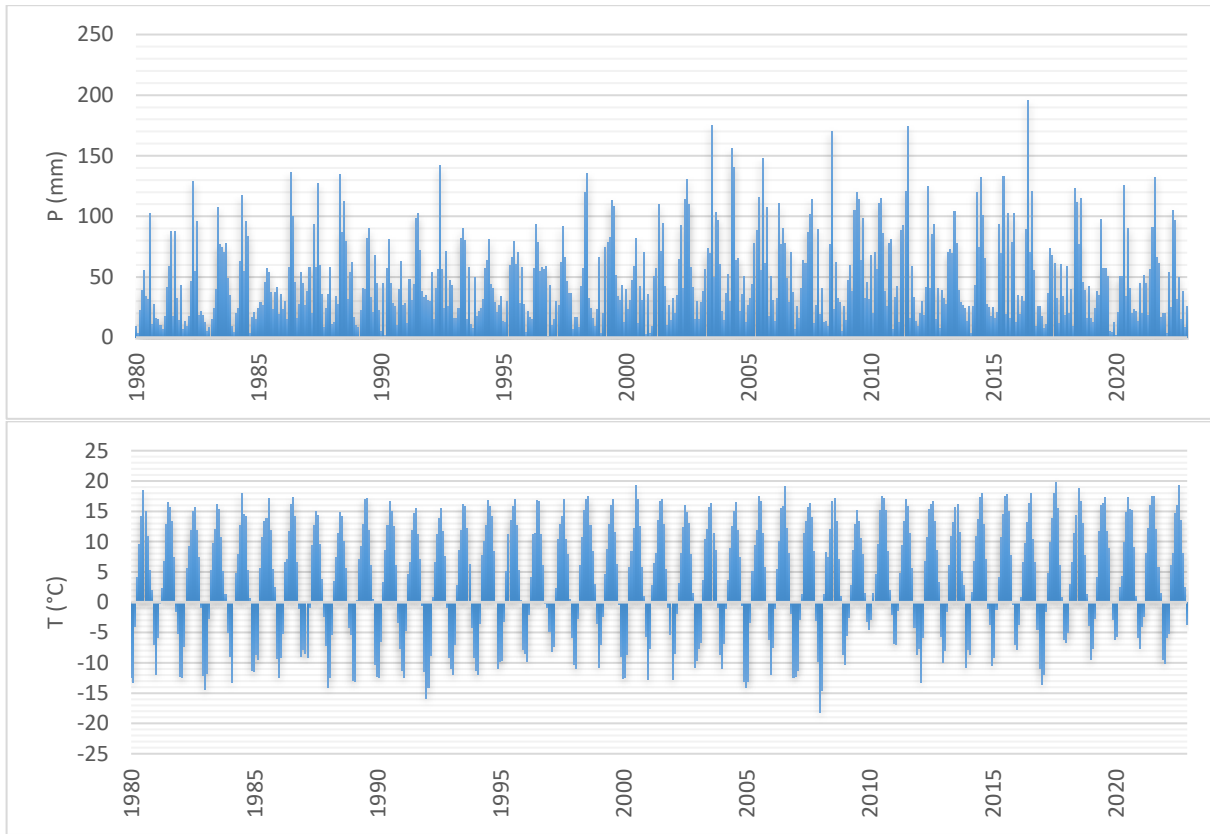
2.1. Çalışma Alanı ve Veriler

Bu çalışmada Türkiye'nin kuzey doğusunda Doğu Anadolu Bölgesi ve kısmen Doğu Karadeniz'de coğrafi konum olarak 41° 6' 36" Kuzey enlemleri, 42° 42' 12" Doğu boylamları arasında bulunan toplam 4.934 km² yüzölçümü ve 1900 m rakıma sahip Ardahan ilinin farklı zaman periyotlarında kuraklık analizi hesaplanmıştır. Ardahan il haritası ve konumu Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Ardahan İl Haritası (<https://www.ardahanvakfi.org/>)

1827 m rakıma sahip 41.1061 enlem ve 42.7055 boylamında bulunan 17046 numaralı Ardahan Merkez istasyonundan 1980 ve 2022 hidrolojik yılları arasında kaydedilen aylık yağış ve aylık ortalama sıcaklık verilerinin yıllara göre değişimi Şekil 1'de grafik halinde verilmiştir. Çalışmada kullanılan veriler Meteoroloji Genel Müdürlüğü MEVBİS sistemi üzerinden temin edilmiştir.



Şekil 2. Aylık ortalama yağış P(mm) ve sıcaklık değerleri T (°C) (1980-2022)

Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından 2016 yılında yapılan iklim sınıflandırması çalışmasına göre Ardahan iklimi Köppen-Geiger Dfb sınıfında yer almaktadır [19]. Güncel bir konu olan iklim değişikliği ile iklim sınıflandırma çalışmaları devamlı olarak güncellenme ve düzenleme gerektirmektedir. Tablo 1’de 1980 ve 2022 yılları arası Ardahan iklim özellikleri sunulmuştur.

Tablo 1. Ardahan İklimi (1980-2022)

Aylar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
En yüksek sıcaklık (°C)	-4,5	-2,9	3	8,2	12,2	16	19,2	19,8	15,4	9,1	3,2	-0,9
Ortalama sıcaklık (°C)	-10,7	-9,4	-2,9	4,7	9,4	13,2	16,3	16,4	12,4	6,8	-0,2	-7,5
En düşük sıcaklık (°C)	-18,2	-14,6	-9,4	-0,8	6,6	11,1	13,8	13,3	9,6	3,7	-4,5	-13
En yüksek yağışlar (mm)	67,9	57,8	74,5	110,4	155,7	195,6	174,8	147,6	103,2	107,7	102	65,8
Ortalama yağış (mm)	21,9	21,2	33,5	52,2	84,9	93,1	72,7	62,8	35,6	40,4	31,8	23,8
En düşük yağışlar (mm)	1,4	3	1,9	8,8	18,1	33,5	11,3	15,5	3,6	4,7	0,5	4

1980 ve 2022 yılları arasında aylık ortalama sıcaklık verileri incelendiğinde maksimum sıcaklıkların 19,8 ve 19,2 °C ile ağustos ve temmuz aylarında, minimum sıcaklıkların -18,2 ve -14,6 °C ile ocak ve şubat aylarında olduğu, yıllık ortalama sıcaklıkların ise 6,76 °C ile 2010 yılında maksimum ve 1,525 °C ile 1992 yılında minimum olduğu görülmektedir. Maksimum yağışlar sırası ile 195,6, 174,8 ve 147,6 mm ile haziran, temmuz ve ağustos aylarındadır. Aylık ortalama yağış bazında ise en yüksek yağışlar sırası ile 93,12, 84,93 ve 72,66 mm ile haziran, mayıs ve temmuz aylarındadır. Yıllık yağış miktarları incelendiğinde 824,7 mm ile 2005 yılında maksimum ve 365,4 mm ile 1980 yılında minimum yağış görülmektedir.

2.2. Kuraklık İndisleri

2.2.1. Standart Yağış İndisi (SPI)

SPI yöntemi, 1993 yılında McKee vd. [20] tarafından belirli zaman periyotları için yağış eksikliğini ölçme amacıyla geliştirilmiştir. Suyun varlığı ve kullanımının analizinde zaman periyotlarının önemini tanıyan bir kuraklık göstergesi olarak tasarlanmıştır. Yağışın (X_i), ortalama yağıştan (\bar{X}) farkının standart sapmaya (s) oranı şeklinde eşitlik 1 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$SPI = \frac{X_i - \bar{X}}{s} \quad (1)$$

Eşitlikte X_i ; belli bir periyot için toplam yağışı (mm), \bar{X} ; aynı periyot için ortalama yağışı (mm), s ise yağışların standart sapmasını ifade etmektedir. SPI analizinde en az 30 yıllık yağış verisi 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık zaman periyotları için değerlendirilmektedir. Ancak 12 ay ve daha kısa olan zaman periyotlarında yağış verileri normal dağılıma uymayabilir bu durumda her bir veri seti için gama fonksiyonu uygulanır [17], [21].

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta}, \quad x > 0 \quad (2)$$

Burada α şekil parametresini, β ölçek parametresini, x yağış miktarını, Γ gama fonksiyonunu ifade etmektedir. Gama fonksiyonu eşitlik 3 ile hesaplanmaktadır.

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty x^{\alpha-1} e^{-x} dx \quad (3)$$

α ve β için en iyi değerler maksimum olabilirlik yöntemi ile tahmin edilmektedir. Bunun için 4, 5 ve 6 numaralı eşitlikler kullanılmaktadır.

$$\alpha = \frac{1}{4A} + \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}}\right) \quad (4)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (5)$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (6)$$

Burada n yağış seri sayısıdır. Belirli bir ay için kümülatif olasılık eşitlik 7 ile hesaplanmaktadır.

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx \quad (7)$$

$G(x)$, Γ fonksiyonuna bağlı yağış olasılık dağılımını ifade etmektedir.

Gama fonksiyonunda yağış dağılımının 0 değeri içermesi nedeniyle tanımsız olduğu durumlarda ise toplam olasılık eşitlik 8 ile hesaplanmaktadır.

$$H(x)q + (1 - q)G(x) \quad (8)$$

Eşitlik 8'de q , x 'in 0 değeri alma olasılığını ifade etmektedir ve eşitlik 9 ile hesaplanabilir.

$$q = \frac{m}{n} \quad (9)$$

Burada m , bir yağış serisinde bulunan yağışsız günleri, $H(x)$ toplam olasılığı ifade etmektedir.

SPI ise şu şekilde hesaplanır.

$$SPI = S \frac{t - (c_2 t + c_1 0) + c_0}{[(d_3 t + d_2) t + d_1] t + 1.0} \quad (10)$$

$$t = \sqrt{\ln \frac{1}{G(x)^2}} \quad (11)$$

Burada S pozitif veya negatif katsayıdır. $G(x) > 0.5$ durumunda $S=1$ ve $G(x) \leq 0.5$ durumunda $S=-1$ değerini almaktadır. Denklemdaki sabitler ise:

$c_0=2.5155$, $d_1=1.4327$, $c_1=0.8028$, $d_2=0.1892$, $c_2=0.0103$, $d_3=0.0013$ 'tür.

Bu çalışmada SPI sırasıyla 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık gözlemlenen yağış toplamalarına karşılık gelen zaman periyotları için hesaplanmıştır. Bu periyotlardan kısa olanlar toprağın nem koşullarını yansıtırken uzun olanlar yeraltı sularını, nehir akışı ve göl suyu seviyelerini yansıtmaktadır.

2.2.2. Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndisi (SPEI)

Standartlaştırılmış bir ölçek olan SPEI, çeşitli bölgesel ve zamansal ölçeklerdeki kuraklıkları karşılaştırmak amacıyla kullanılmaktadır. Vicente-Serrano vd. [12] tarafından geliştirilen SPEI, Yağış ile potansiyel buharlaşma ve terleme (PET) arasındaki fark ile hesaplanır ve iklimsel su değişimini belirlemede etkilidir. PET ise Penman-Monteith yöntemi kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu yöntemde yağış, sıcaklık, rüzgar hızı, güneş ışığı miktarı gibi çeşitli iklim değişkenleri de hesaba katılmaktadır [6].

SPEI, çeşitli zaman periyotlarında su seviyelerinin yanı sıra kuraklık olasılığının ciddiyetini değerlendirmekte etkilidir. SPEI aşağıdaki işlem adımları ile hesaplanmaktadır:

$$D_i = P_i - PET_i \quad (12)$$

Burada D fark, i zaman periyodu (ay), P aylık yağıştır (mm) ve PET Potansiyel Evapotranspirasyon [22] yöntemine göre aylık ortalama sıcaklık ve değerlendirilen bölgenin coğrafi konum verileri kullanılarak hesaplanır.

$$PET = 16k\left(\frac{10T}{I}\right)^m \quad (13)$$

T aylık ortalama sıcaklık (°C), k meteorolojik istasyonun enlemi ve ayın bir fonksiyonu olarak hesaplanan bir düzeltme katsayısı, I 12 aylık sıcaklık indis değerlerinin toplamı ve m, I ile ilişkili bir katsayıdır. Farklı zaman periyotları için D değerleri şu şekilde hesaplanır [3].

$$D_n^k = \sum_{i=0}^{k-1} (P_{n-i} - PET_{n-i}), n \geq k \quad (14)$$

Burada k (ay), toplam zaman periyodunu ve n hesaplanan ayı ifade etmektedir. $k > n$ olması durumunda D değerleri tanımsızdır bu nedenle D serisini standartlaştırmak için üç parametrelili bir dağılıma ihtiyaç duyulmaktadır. Genellikle, Kolmogorov-Smirnov testi kullanılarak üç parametrelili log-lojistik dağılımının tüm zaman periyotlarında SPEI için daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir [23]. D ve log-lojistik olasılık yoğunluğu aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanır.

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} \left[1 + \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta}\right]^{-2} \quad (15)$$

Burada α , β ölçek, γ şekil ve orjin parametrelerini ifade etmektedir [24]. D serisinin olasılık dağılım fonksiyonu şu şekilde verilir:

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x-\gamma}\right)^{\beta}\right]^{-1} \quad (16)$$

Böylece SPEI, $f(x)$ 'in standartlaştırılmış değerleri kullanılarak kolaylıkla elde edilebilmektedir.

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1W + C_2W^2}{1 + d_1W + d_2W^2 + d_3W^3} \quad (17)$$

Burada;

$$P \leq 0.5 \quad W = \sqrt{-2 \ln(P)} \quad P, \text{ belirli bir D değerinin üzerine çıkma olasılığıdır.}$$

$P > 0.5$ SPEI'nin işaretinin tersi kullanılır. W, P'nin PET'ten yüksek veya düşük olmasına bağlı katsayıdır. Denklemdaki sabitler:

$$C_0 = 2.515517, d_1 = 1.432788, C_1 = 0.802853, d_2 = 0.189269, C_2 = 0.010328, d_3 = 0.001308.$$

SPI ve SPEI indis değerleri için tanımlanan kuraklık sınıfları Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. SPI ve SPEI indis değerleri ve iklim özellikleri [25].

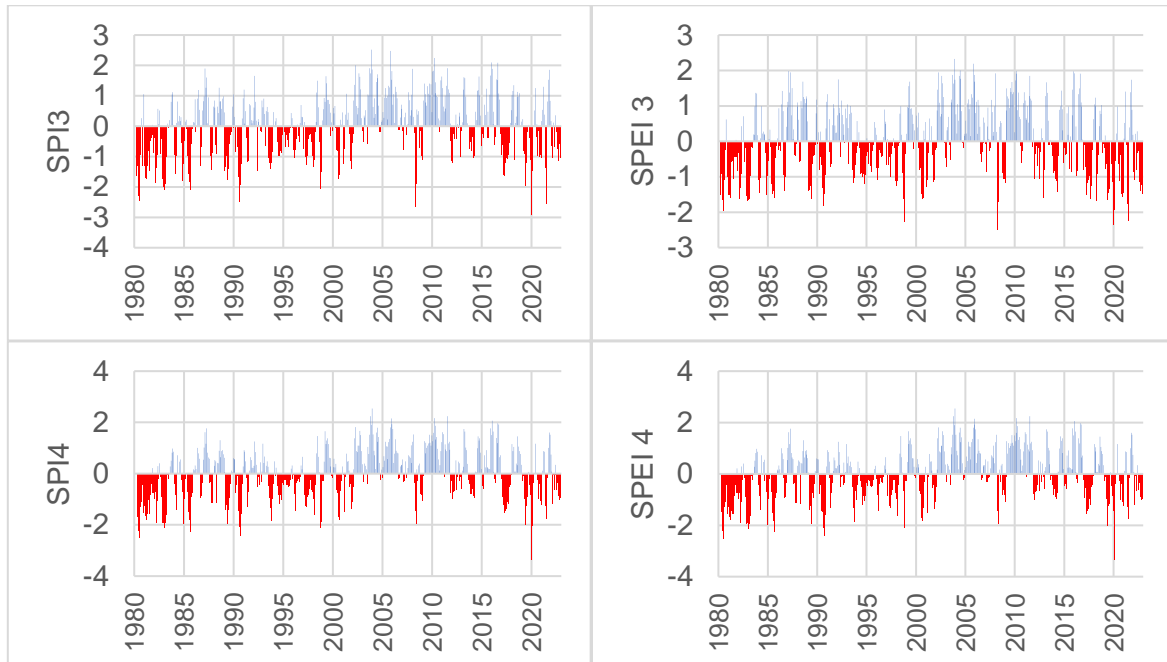
Aşırı nemli	Çok nemli	Orta nemli	Normal	Orta kurak	Şiddetli kurak	Aşırı kurak
≥ 2	1.5, 1.99	1.0, 1.49	0.99,-0.99	-1.0,-1.49	-1.5,-1.99	≤ -2.0

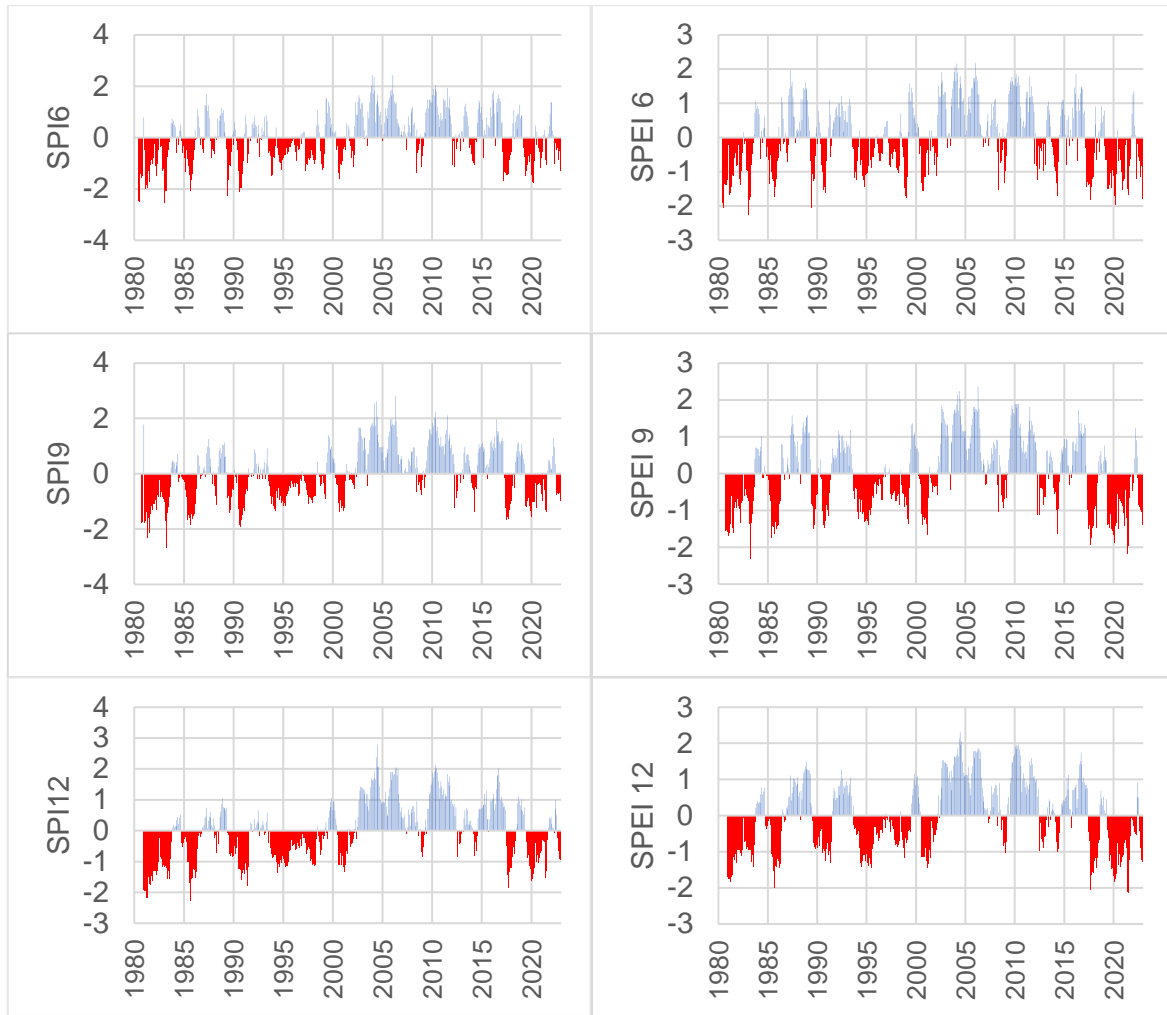
Kurak periyotlar negatif değerler ile nemli periyotlar pozitif değerler ile gsterilmekte, 0,99 ve -0,99 aralığı ise normal sınıfı temsil etmektedir.

3. Analiz ve Tartışma

Kuraklık analizi ve izlenmesinde zaman periyotlarının kullanımı oldukęa 3nemlidir. 3rneğin belirli bir zaman aralığında 1 aylık periyotlardaki yağış miktarının toplam yağış miktarı ile tarihsel karşılaştırmasını içeren 1 aylık zaman periyodu için hesaplanan indisler meteorolojik kuraklığın belirlenmesinde kullanılmaktadır. Kısa d3nemi temsil eden 3 ve 4 aylık periyotlarda hesaplanan indisler nem koşullarının etkilerini değerlendirmek ve mevsimsel değişimleri izlemek ve tarımsal kuraklığı belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Kısa periyotlarda su kaynakları etkileri g3r3lmezken toprak nemi ani bir şekilde etkilenebilmektedir. 6 aylık indisler yağış ve sıcaklık verilerinin orta vadeli eğilimlerini belirlenmesi ve yıl içinde yağış değişimlerini tespit etmede etkilidir. 9 ve 12 aylık uzun d3nem periyotlarda hesaplanan indisler hidrolojik kuraklık etkilerinin tespit edilmesi ve y3zey suyu kaynaklarının izlenmesinde etkilidir. 3nk3 yağış eksikliğinin su kaynakları 3zerindeki etkisi belirli bir s3re sonra ortaya çıkabilmektedir. Kuraklığın en baskın bileşenlerinin belirlenmesi için 12 aylık SPI ve SPEI indisleri kullanılmaktadır. Daha uzun periyotlar için hesaplanan indisler ise kuraklığın sosyo-ekonomik ve çevresel etkilerinin belirlenmesinde oldukęa 3nemlidir [6], [14], [26].

Çalışmada sadece yağış verisini girdi parametresi olarak kullanan SPI ve hem yağış hem de sıcaklık verilerini girdi parametresi olarak kullanarak buharlaşmanın etkisini de g3z 3n3nde bulunduran SPEI indisleri ile kuraklık analizi geręekleřtirilmiř ve sıcaklığın kuraklık analizi 3zerindeki etkisi indisler karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. SPI indisi istatistiksel bir hesaplama aracı olan R4.3.1. RStudio yazılımı SPI paketi 1.8.1 s3r3m3 kullanılarak, SPEI indisi ise SPEI yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. 1980-2022 hidrolojik yılları arasında 1, 3, 4, 6, 9 ve 12 aylık zaman periyotlarında hesaplanan SPI ve SPEI indislerinin yıllara g3re değişimini g3steren grafikler şekil 2’de sunulmuştur. Grafikte kırmızı ile belirtilen eksi değerler kurak d3nemleri temsil etmektedir. Tablo 3’te ise her iki y3ntem için elde edilen kurak ayların sayısı ve değişimi sunulmuştur.





Şekil 3. 3, 4, 6, 9 ve 12 aylık zaman periyotlarında SPI ve SPEI indisleri dağılımı

Tablo 3. SPI ve SPEI yöntemlerine göre kurak aylar sayısı

İndisler	Aşırı nemli	Çok nemli	Orta nemli	Normal	Orta kurak	Şiddetli kurak	Aşırı kurak
	≥ 2	1.5, 1.99	1.0, 1.49	0.99,-0.99	-1.0,-1.49	-1.5,-1.99	≤ -2.0
SPI 3	6	28	54	342	53	20	11
SPEI 3	3	28	58	336	57	28	4
SPI 4	6	28	51	350	43	25	10
SPEI 4	5	29	64	326	58	26	5
SPI 6	5	26	56	343	56	17	8
SPEI 6	3	34	61	319	62	29	3
SPI 9	7	29	47	343	59	20	3
SPEI 9	4	33	54	330	64	21	2
SPI 12	10	27	39	340	66	20	3
SPEI 12	3	32	56	319	73	17	5

Şekil 2 ve Tablo 3'te 1980 ve 2022 hidrolojik yılları arasında farklı zaman periyotlarında hesaplanan SPI değerleri incelendiğinde;

Mevsimleri ifade eden 3 aylık SPI analizine göre 11 ayda aşırı kuraklık, 20 ayda şiddetli kuraklık ve 53 ayda orta kuraklık ve toplamda 84 ayda kuraklık gözlenmiştir. Zamansal olarak incelendiğinde son 6 yılda 14 ayın orta kurak, 3 ayın şiddetli kurak ve 3 ayın da aşırı kurak geçtiği gözlenmiştir. 4 aylık SPI analizinde 10 ayda aşırı kuraklık, 25 ayda şiddetli kuraklık ve 43 ayda orta kuraklık olduğu belirlenmiştir. Son 6 yılda 14 ayın orta kurak, 2 ayın şiddetli kurak ve 3 ayın da aşırı kurak olduğu belirlenmiştir. 6 aylık SPI değerlerine göre, 8 ayın aşırı kurak, 17 ayın şiddetli kurak ve 56 ayın orta kurak geçtiği görülmekte, aşırı kurak ayların 1980 ve 1990 yılları arasında dağılım gösterdiği son 6 yılda ise 16 ayın orta kurak ve 3 ayın aşırı kurak geçtiği

görülmektedir. 9 aylık SPI değerleri incelendiğinde 3 ayın aşırı kurak 20 ayın şiddetli kurak ve 59 ayın orta kurak olduğu ve bunlardan 16 orta kurak geçen ay ve 4 şiddetli kurak geçen ay son 6 yıl içerisinde yer almaktadır. Son olarak yıllık (12 aylık) değerler incelendiğinde 3 ayın aşırı kurak, 20 ayın şiddetli kurak ve 66 ayın orta kurak olduğu görülmekte ve bunlardan 13 orta kurak ay ve 4 şiddetli kurak ayın son 6 yılda gerçekleştiği görülmektedir. Tüm zaman periyotlarında SPI değerleri incelendiğinde 1980 ile 1986 yılları arasında ve 2017 ile 2022 yılları arasında kuraklığın yoğunluk gösterdiği gözlemlenmiştir.

Şekil 2 ve Tablo 3'te 1980 ve 2022 yılları arasında farklı zaman periyotlarında hesaplanan SPEI değerleri incelendiğinde; 3 aylık SPEI analizine göre 4 ayın aşırı kurak, 28 ayın şiddetli kurak ve 57 ayın orta kurak geçtiği gözlemlenmiştir. 4 aylık SPEI analizinde 5 ayın aşırı kurak, 26 ayın şiddetli kurak ve 58 ayın orta kurak geçtiği gözlemlenmiştir. 6 aylık SPEI değerlerine göre, 3 ayın aşırı kurak 29 ayın şiddetli kurak ve 62 ayın orta kurak olduğu, 9 aylık SPEI, 2 ayın aşırı kurak 21 ayın şiddetli kurak ve 64 ayın orta kurak olduğu belirlenmiştir. 12 aylık SPEI, 5 ayın aşırı kurak, 17 ayın şiddetli kurak ve 73 ayın orta kurak geçtiği aşırı kurak aylardan 4 tanesinin de 2017-2022 yılları arasında gerçekleştiği, şiddetli kurak aylardan 4 tanesinin 2017, 1 tanesinin 2019 ve 4 tanesinin de 2020 yılında gerçekleştiği, orta kurak ayların da 21 tanesinin yine son 6 ayda gerçekleştiği tespit edilmiştir.

4. Sonuçlar

Kuraklığın izlenmesi, karakteristiklerinin belirlenmesi ve etkilerinin azaltılması su kaynaklarının planlanması açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada Ardahan ili 17040 numaralı merkez istasyonundan elde edilen 1980-2022 hidrolojik yılları arası kaydedilen yağış ve sıcaklık verileriyle farklı zaman periyotları (1, 3, 4, 6, 9 ve 12 aylık) için SPI ve SPEI kuraklık indisleri hesaplanmıştır. 42 yıllık meteorolojik veriler incelendiğinde yağışların azalma sıcaklıkların ise artma eğiliminde olduğu görülmektedir. 3 aylık zaman periyotları için hesaplanan indisler incelendiğinde ilkbahar ve yaz mevsimlerinde nemliliğin hâkim olduğu, sonbahar mevsiminde kuraklıkların arttığı ve kış mevsiminde ise kurak ve nemli dönemlerin bulunduğu görülmektedir. Sadece yağış parametresini girdi değişkeni olarak kullanan SPI ve hem yağış hem de sıcaklık parametrelerini girdi değişkeni olarak kullanan SPEI indisleri ile hesaplanan değerler incelendiğinde SPI'da kısa zaman periyotlarında daha fazla kuraklık görülmüş ve uzun zaman periyotları ile kıyaslandığında dalgalanmalar gözlemlenmiştir. SPEI indisinde ise kararlılık düzeyi daha yüksek ve özellikle yaz aylarında kuraklık belirleme kapasitesinin daha gelişmiş olduğu tespit edilmiştir. Yağış parametresi kuraklığın izlenmesinde temel göstergedir fakat sıcaklığın buharlaşma-terleme ve nem parametrelerini kontrol etmesi, kuraklığın oluşması ve izlenmesinde oldukça önemli bir parametre olduğu gözlemlenmektedir. Elde edilen bulgular neticesinde SPI indisinin uzun zaman periyotlarında SPEI ile yakın sonuçlar oluşturduğu ve bu nedenle uzun zaman periyotlarında etkili bir araç olarak kullanılabilirliği, SPEI indisinin ise tüm zaman periyotlarında kullanımının uygun olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada izlenen kuraklık değişimleri neticesinde Ardahan ilinin kuraklık eğiliminde olduğu ve erken uyarı sistemlerinin planlanması gerektiği ve aynı zamanda çalışmanın nem koşullarının değişimi ile tarımsal kuraklık, uzun dönem periyotlardaki değişimlerin izlenmesi ile hidrolojik kuraklık analizlerinde, yüzey suyu kaynaklarının korunması ve su yapılarının projelendirilmesi gibi konularda referans olacağı düşünülmektedir.

Kaynakça

- [1] M. A. H. Mondol, X. Zhu, D. Dunkerley, and B. J. Henley, "Observed meteorological drought trends in Bangladesh identified with the Effective Drought Index (EDI)," *Agric. Water Manag.*, vol. 255, no. May, p. 107001, 2021, doi: 10.1016/j.agwat.2021.107001.
- [2] D. Paton, L. Smith, and J. Violanti, "Disaster response: Risk, vulnerability and resilience," *Disaster Prev. Manag. An Int. J.*, vol. 9, no. 3, pp. 173–179, 2000, doi: 10.1108/09653560010335068.
- [3] M. Yu, Q. Li, M. J. Hayes, M. D. Svoboda, and R. R. Heim, "Are droughts becoming more frequent or severe in China based on the standardized precipitation evapotranspiration index: 1951-2010?," *Int. J. Climatol.*, vol. 34, no. 3, pp. 545–558, 2014, doi: 10.1002/joc.3701.
- [4] V. Gumus and H. M. Algin, "Meteorological and hydrological drought analysis of the Seyhan–Ceyhan River Basins, Turkey," *Meteorol. Appl.*, vol. 24, no. 1, pp. 62–73, 2017, doi: 10.1002/met.1605.

- [5] M. J. Uddin, J. Hu, A. R. M. T. Islam, K. U. Eibek, and Z. M. Nasrin, "A comprehensive statistical assessment of drought indices to monitor drought status in Bangladesh," *Arab. J. Geosci.*, vol. 13, no. 9, 2020, doi: 10.1007/s12517-020-05302-0.
- [6] I. Isia *et al.*, "Drought Analysis Based on Standardized Precipitation Evapotranspiration Index and Standardized Precipitation Index in Sarawak, Malaysia," *Sustain.*, vol. 15, no. 1, 2023, doi: 10.3390/su15010734.
- [7] D. P. Ariyanto, A. Aziz, Komariah, Sumani, and M. Abara, "Comparing the accuracy of estimating soil moisture using the standardized precipitation Index (SPI) and the standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI)," *Sains Tanah*, vol. 17, no. 1, pp. 23–29, 2020, doi: 10.20961/stjssa.v17i1.41396.
- [8] S. Tirivarombo, D. Osupile, and P. Eliasson, "Drought monitoring and analysis: Standardised Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) and Standardised Precipitation Index (SPI)," *Phys. Chem. Earth*, vol. 106, pp. 1–10, 2018, doi: 10.1016/j.pce.2018.07.001.
- [9] R. P. Pandey, B.B.Dash, S. K. Mishra, and R. Singh, "Study of indices for drought characterization in KBK districts in Orissa (India)," *Hydrol. Process.*, vol. 22, no. November 2008, pp. 1895–1907, 2008, doi: 10.1002/hyp.
- [10] M. Batan, "Çeşitli Kuraklık İndisleri ile Batman İlinin Kuraklık Analizi ve Kontur Haritalarının Çıkarılması," *Doğal Afetler ve Çevre Derg.*, vol. 7, no. 2, pp. 252–265, 2021, doi: 10.21324/dacd.817903.
- [11] I. Livada and V. D. Assimakopoulos, "Spatial and temporal analysis of drought in Greece using the Standardized Precipitation Index (SPI)," *Theor. Appl. Climatol.*, vol. 89, no. 3–4, pp. 143–153, 2007, doi: 10.1007/s00704-005-0227-z.
- [12] S. Vicente-Serrano *et al.*, "Performance of drought indices for ecological, agricultural, and hydrological applications," *Earth Interact.*, vol. 16, no. 10, pp. 1–27, 2012, doi: 10.1175/2012EI000434.1.
- [13] S. Dogan, A. Berktaş, and V. P. Singh, "Comparison of multi-monthly rainfall-based drought severity indices, with application to semi-arid Konya closed basin, Turkey," *J. Hydrol.*, vol. 470–471, pp. 255–268, 2012, doi: 10.1016/j.jhydrol.2012.09.003.
- [14] Z. N. Qaisrani, N. Nuthammachot, K. Techato, and Asadullah, "Drought monitoring based on Standardized Precipitation Index and Standardized Precipitation Evapotranspiration Index in the arid zone of Balochistan province, Pakistan," *Arab. J. Geosci.*, vol. 14, no. 1, 2021, doi: 10.1007/s12517-020-06302-w.
- [15] İ. H. Yüce, M. İ., Aksoy, H., Aytekin, A., Eşit, M., Uğur, F., Yaşar, İ., Şimşek, A., & Değer, "Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences," *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilim. Derg.*, vol. 25, no. 3, pp. 285–295, 2022.
- [16] İ. Dursun and A. A. Babalık, "De Martonne-Gottman ve Standart Yağış İndeksi yöntemleri kullanılarak kuraklığın belirlenmesi: Isparta ili örneği," *Turkish J. For. | Türkiye Orman. Derg.*, vol. 22, no. 3, pp. 192–201, 2020, doi: 10.18182/tjf.944195.
- [17] E. Topçu and F. Karaçor, "Erzurum İstasyonunun Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi Ve Bütünleşik Kuraklık İndeksi Kullanılarak Kuraklık Analizi," *Politek. Derg.*, vol. 24, no. 2, pp. 565–574, 2021, doi: 10.2339/politeknik.682168.
- [18] M. Ali Çelik *et al.*, "Doğu Anadolu Bölgesi'nin Mevsimlik Kuraklık Analizi," *Atatürk Üniversitesi Sos. Bilim. Enstitüsü Derg. Eylül*, vol. 22, no. 3, pp. 1741–1761, 2018.
- [19] Erdoğan Bölük, "Köppen İklim Sınıflandırmasına Göre Türkiye İklimi," *Meteoroloji Genel Müdürlüğü*, p. 18, 2016.
- [20] N. B. Guttman, "Comparing the palmer drought index and the standardized precipitation index," *J. Am. Water Resour. Assoc.*, vol. 34, no. 1, pp. 113–121, 1998, doi: 10.1111/j.1752-1688.1998.tb05964.x.

- [21] U. G. Bacanlı, M. Firat, and F. Dikbas, “Adaptive Neuro-Fuzzy inference system for drought forecasting,” *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.*, vol. 23, no. 8, pp. 1143–1154, 2009, doi: 10.1007/s00477-008-0288-5.
- [22] C. W. Thornthwaite, “An Approach toward a Rational Classification of Climate,” *Geogr. Rev.*, vol. 38, no. 1, p. 55, 1948, doi: 10.2307/210739.
- [23] S. M. Vicente-Serrano, S. Beguería, J. I. López-Moreno, M. Angulo, and A. El Kenawy, “A new global 0.5° gridded dataset (1901-2006) of a multiscalar drought index: Comparison with current drought index datasets based on the palmer drought severity index,” *J. Hydrometeorol.*, vol. 11, no. 4, pp. 1033–1043, 2010, doi: 10.1175/2010JHM1224.1.
- [24] V. P. Singh, H. Guo, and E. X. Yu, “Stochastic Hydrology and Hydraulics Parameter estimation for 3-parameter log-logistic distribution (LLD3) by Pome,” *Stoch. Hydrol. Hydraul.*, vol. 7, pp. 163–177, 1993.
- [25] M. Eşit and M. İ. Yüce, “Çok Değişkenli Kuraklık Frekans Analizi ve Risk Değerlendirmesi: Kahramanmaraş Örneği,” *Doğal Afetler ve Çevre Derg.*, vol. 8, no. 2, pp. 368–382, 2022, doi: 10.21324/dacd.1066958.
- [26] B. Bera, P. K. Shit, N. Sengupta, S. Saha, and S. Bhattacharjee, “Trends and variability of drought in the extended part of Chhota Nagpur plateau (Singbhum Protocontinent), India applying SPI and SPEI indices,” *Environ. Challenges*, vol. 5, no. June, p. 100310, 2021, doi: 10.1016/j.envc.2021.100310.



Research Article

Utilizing Sludge Derived from Treating Whey with Magnetic Nanoparticles (MNPs) as Potential Food or Animal Feed

Yusuf Esen¹ , Mustafa Akgün² , Rövşen Guliyev³ 

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

² Department of Occupational Health and Safety Program, Vocational School of Technical Sciences, Ardahan University, 75002, Ardahan, Türkiye

³ Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Ardahan University, 75002, Ardahan, Türkiye

* Correspondence: yusufesen@ardahan.edu.tr

Received: 19 November 2023; Accepted: 30 April 2024; Published: 30 June 2024

Abstract: Whey, which is the production waste of the dairy industry, poses a significant challenge in terms of environmental pollution and requires an effective and sustainable solution. In this research, the potential use in the food and feed industries of protein sludge obtained from the treatment of whey supplied from local cheese producers in Ardahan using magnetic nanoparticles (MNPs) to reduce the environmental impact was evaluated. To recover MNP, adsorption-desorption cycles were repeated 10 times, and then the amount of MNP added initially and recovered were compared. Afterwards, total protein determination was made in the separated protein sludge using the Kjeldahl method. The analyzes showed an 85% recovery rate of MNPs and it was observed that 15% MNPs remained in the sludge. The residual 15% consisting of MNP (Fe_3O_4) was considered potentially dangerous for ingestion by humans or animals, therefore rendering it unfit for use as an addition in food or feed. Thus, achieving a 100% MNP recovery becomes crucial. While some research exists on the suitability of Fe_3O_4 for plant and animal nutrition, most studies focus on natural sources of iron rather than chemical sources like in this study. Moreover, research examining its safety for human consumption is limited. Hence, future investigations should concentrate on developing methods for complete MNP recovery to enable the utilization of the sludge as a protein source.

Keywords: Magnetic, nanoparticles, protein source, treatment, whey.

Araştırma Makalesi

Peynir Altı Suyunun Manyetik Nanopartiküller (MNP'ler) ile Arıtımından Elde Edilen Çamurun Potansiyel Gıda veya Hayvan Yemi Olarak Kullanımı

Öz: Süt sektörünün üretim atığı olan peynir altı suyu, çevresel kirlilik açısından önemli bir zorluk oluşturmakta, etkili ve sürdürülebilir bir çözüm gerektirmektedir. Bu çalışmada, Ardahan'daki yerel peynir üreticilerinden temin edilen peynir altı suyunun çevresel etkisini azaltmak için manyetik nanopartiküller (MNP'ler) kullanılarak arıtımından elde edilen protein çamurunun gıda ve yem endüstrilerinde potansiyel kullanımı değerlendirilmiştir. MNP'nin geri kazanımı için adsorpsiyon-desorpsiyon döngüleri 10 defa tekrarlanmış ve sonrasında başta katılan MNP miktarı ile geri kazanılan kıyaslanmıştır. Devamında ayrıştırılan protein çamurunda Kjeldahl yöntemiyle toplam protein tayini yapılmıştır. Yapılan analizler, MNP'lerin %85 geri kazanım oranını göstermiş olup çamurda %15 MNP kaldığı görülmektedir. Fe_3O_4 'ten (Demir 2-3 oksit) oluşan geriye kalan %15, insan veya hayvan tüketimi için potansiyel olarak zararlı bulunarak gıda veya yem katkı maddesi kullanımına uygun olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu nedenle, %100 MNP geri kazanımının sağlanması önem kazanmaktadır. Fe_3O_4 'ün bitki ve hayvan beslenmesi için uygunluğuna dair bazı araştırmalar olsa da çoğu çalışma, bizim çalışmamızdaki gibi kimyasal kaynaklar yerine doğal demir kaynaklarına odaklanmaktadır. Ayrıca, insan tüketimi için uygunluğu inceleyen araştırmalar sınırlıdır. Bu nedenle, çamurun bir protein kaynağı olarak kullanılabilmesi için gelecekteki araştırmaların, tam bir MNP geri kazanım yöntemi geliştirmeye odaklanması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Arıtma, manyetik nanopartiküller, peynir altı suyu, protein kaynağı.

Citation: Y. Esen, M. Akgün and R. Guliyev, "Utilizing Sludge Derived from Treating Whey with Magnetic Nanoparticles (MNPs) as Potential Food or Animal Feed", *Journal of Studies in Advanced Technologies*, vol. 2, no. 1, pp. 24-32, Jun 2024, doi: 10.63063/jsat.1393034

1. Giriş

Su kaynaklarında sıkça karşılaşılan kirlilik kaynaklarından biri endüstriyel atıklardır. Endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan kirleticiler, diğer kaynaklardan gelenlere kıyasla daha zehirli ve arıtılması daha zordur. Sanayi atıklarının su kaynakları üzerindeki olumsuz etkileri evsel atıklardan daha büyük ve bunların temizlenmesi daha zor olabilmektedir. Atık suların özelliklerini belirleyen önemli faktörler arasında BO_5 (Beş Gün Biyolojik Oksijen İhtiyacı), KO_5 (Kimyasal Oksijen İhtiyacı), Askıda Katı Madde (AKM), pH değeri, yağ ve gres içeriği, sıcaklık yer almaktadır. Atık su arıtımı, suların çeşitli faaliyetler sonucu kaybettiği fiziksel, kimyasal ve bakteriyolojik özelliklerinin bir kısmını veya tamamını tekrar kazandırarak, alıcı ortamın doğal fiziksel, kimyasal, bakteriyolojik ve ekolojik özelliklerini değiştirmeyecek seviyeye getirmeyi amaçlamaktadır [1].

Çevreye en fazla atık salınmasına neden olan endüstrilerin başında gıda sektörü gelmektedir. Bunlardan bazıları et, meyve sebze, tahıl ve süt ürünleri işleme tesisleri olarak karşımıza çıkmaktadır. Gıda endüstrisinin tüm bu alt sektörleri incelendiğinde, organik yükü en fazla atık suların doğaya salındığı üretimlerin, süt ürünleri işleme tesislerinde gerçekleştiği görülmektedir. Bu atıkların en önemlisi ise peynir altı suyudur. Peynir altı suyu, yüksek organik madde içeriği nedeniyle çevresel açıdan önemli bir sorun oluşturmaktadır [2], [3]. Farklı teknolojilerle peynir altı suyunun değerlendirilmesi mümkün olsa da orta ve küçük ölçekli peynir üretim tesislerinde, bu yöntemlerin ekonomik olmaması ve bazı lokal nedenlerden dolayı peynir altı suyunun etkili bir şekilde kullanılması zor olabilmektedir [4], [5], [6]. Yaklaşık 1-1,5 kg peynir üretimi sırasında 8,5-9 kg peynir altı suyu oluşmaktadır. Peynir altı suyu, süt bileşenlerinden laktalbümin ve laktoglobulin gibi serum proteinleri ile birlikte değişen düzeylerde laktoz, yağ ve mineral madde içeren, peynir yapımı sırasında süzme sonucunda oluşan bir yan üründür [7]. Türkiye’de, 600 bin ton’dan fazla peynir altı suyu oluşmakta ve bu peynir altı suyunun hemen hemen yarısı herhangi bir arıtma işlemi uygulanmadan alıcı ortama yani dolaylı olarak toprağa verilmektedir [5].

Ardahan’da, süt sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin 15’i, Göle ilçesinde bulunmaktadır ve %72’lik bir fiili işleme kapasitesine sahiptir. Ardahan’daki süt işleme miktarı yaz aylarında (Nisan-Ağustos) ortalama 172 ton/gün iken, kış aylarında bu miktar 30 ton/gün olarak gerçekleşmektedir. Bu verilere dayanarak, Ardahan’da ortaya çıkan peynir altı suyu miktarının yaz aylarında günlük 17-25 ton arasında, kış aylarında ise günlük 3-4,5 ton arasında olduğu anlaşılmaktadır [8]. Sadece Ardahan ili özelinde bile bu miktarda bir atık oluşuyor olması, peynir altı suyunun arıtılması ya da farklı ürünlere dönüştürülerek değerlendirilmesinin gerekliliğini bir daha ortaya koymaktadır.

Peynir altı suyunun arıtımı daha önce anaerobik [9], [10] ve aerobik [11], [12] şartlar altında yürütülmüştür. Ancak bu arıtma yöntemlerinin çoğu peynir altı suyunun seyreltilmiş halinde denenmiştir. Koagülasyon yöntemiyle Peynir altı suyunun arıtılmasında kaba öğütülmüş kil, aktif silika ve kireç ile beraber $Fe(II)$ ve $Fe(III)$ tuzları kullanılmaktadır. Belirli metal tuzları [$Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$ ve $FeSO_4$] en yaygın kullanılan koagülant maddeleridir [13]. Bu koagülantlar suya eklendiğinde, metal hidroksit olarak bilinen bir tortu oluşur. Bir sonraki aşama olan çöktürme sırasında, koloidal parçacıklar ya bu tortuların çekirdeğini oluşturarak ya da tortu yığınları içinde kalarak durağan halden çıkarlar. Her bir koagülant, belirli bir pH aralığında en yüksek kirletici giderimini sağlayabilir. pH, atıksu özelliklerine, koagülant tipine ve dozuna bağlı olarak değişmektedir [14]. pH’ın atıksuda bulunan kirleticilerin giderim hızını etkilediği bilinmektedir [15]. Arıtılmış atıksuların pH değerinin alıcı ortamlar üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. pH değeri 11,0-11,5 aralığında tüm balık türleri ölmektedir. Bu nedenle kimyasal arıtmadan sonra atıksu alıcı ortama verilmeden pH’ı göz önünde bulundurulmalıdır [16]. Peynir altı suyunun içerdiği maddeler, koagülasyon yöntemiyle çöktürme sırasında flokların içinde tutularak veya metal hidroksitlere bağlanarak çökerler. Metal hidroksitler hem koagülant hem de çöktürücü etki gösterir [17]. Koagülasyon yönteminin dezavantajları, fazla miktarda koagülant kullanımı ve arıtma nedeniyle oluşan çamur oluşumudur. Bu işlemlerde oluşan çamur miktarı kullanılan koagülanta ve işletme koşullarına bağlıdır [18].

Manyetik nanopartiküller (MNP’ler) demir, kobalt metalleri ve ayrıca farklı demir oksitler ve kobalt alaşımlarından hazırlanmaktadır. MNP’lerin üretimi ya mekanik yıpratma ya da kimyasal sentez yoluyla yapılır. Kimyasal sentez yaygın olarak kullanılır ve kabul edilebilir. MNP’ler, biyoteknoloji, biyomedikal, malzeme bilimi, mühendislik ve çevre alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır [19]. MNP’ler, harici bir manyetik alanın varlığında manyetize hale gelen nanopartiküllerin bir alt sınıfıdır [20]. Yüksek yüzey

alanı/hacim oranına sahip olmasından kaynaklı proteinler ve diğer biyomolekülleri hızlı bir şekilde adsorbe etme özelliğine sahiptir. Örnek verilecek olursa histidin etiket proteinlerinin karmaşık bir matriksten ayrılması için MNP'ler kullanılmıştır [21]. Diğer bir örnekte ise MNPler fonksiyonel hale getirilip, sığır hemoglobininin seçici olarak tanınması ve ayrılması için kullanılmıştır [22].

Önerilen yöntemle oluşan çamurun gıda üretiminde değindirilerek koagülasyon yönteminin olumsuz yönlerini ortadan kaldırmaktadır. Bu çalışmada, MNP ile arıtma yönteminin tercih sebebi, bu dezavantajları ortadan kaldırarak oluşan çamurun gıda ve/veya yem üretiminde değerlendirilmesine olanak sağlamak ve ayrıca arıtıcı ajan olarak kullanılan manyetik nanopartikülün geri kazanımıyla tekrar kullanımını mümkün kılmaktır. Böylece arıtmanın daha ekonomik hale gelmesi ve ayrılan proteince zengin çamurun değerlendirilmesi amaçlanmıştır

2. Materyal ve Metot

2.1 Materyal

Çalışmada kullanılan Peynir altı suyu (PAS) örnekleri Ardahan Merkezde bulunan bir işletmeden temin edilmiştir. Örnekler üretimden hemen sonra alınmış ve temin edilen örnekler steril kaplarda laboratuvar ortamına getirilmiş ve analizlerde kullanılmak üzere +4°C' de muhafaza edilmiştir.

MNP üretimi için kullanılan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Demir sülfat heptahidrat), $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Demir 3 klorür heksahidrat) ve NaOH (Sodyum hidroksit) Fisher'dan (NJ, ABD) satın alınmış ve alındığı gibi kullanılmıştır. Hidroklorik asit (HCl) ve amonyum hidroksit (NH_4OH) Acros kimyasallarından (NJ, ABD) temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan Peynir altı suyu numunesinin kirlilik karakteristikleri saptanmış ve elde edilen değerler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Peynir altı suyunun karakteristikleri

Parametre	Konsantrasyon
pH	3,44
Fosfor	274 mg/L
BOI_5	51176 mg/L
KOI	102419 mg/L
Askıda Katı Madde	1380 mg/L
Çözünmüş Katı Madde	38000 mg/L
Toplam Katı Madde	39380 mg/L

2.2. Metot

2.2.1. Manyetik Nanopartikül Üretimi

Manyetik nanopartiküller (MNP), amonyak çözeltisinde Fe^{+2} ve Fe^{+3} iyonları (1:2 molar oranda) kullanılarak birlikte çökeltme yöntemi ile sentezlenmiştir. 25 mL 2 M hidroklorik asit (HCl) çözeltisi, 2,70 g $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ve 0,99 g $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ demir tuzları içeren 100 mL'lik behere ilave edilmiştir. Çözelti 15 dakika sonike edilmiş ve ardından oda sıcaklığında azot gazı kullanılarak çözelti oksijen gazından arındırılmıştır. Daha sonra bu çözeltiye 40 mL sulu amonyak (%28) karışımı, oda sıcaklığında ve çözelti karıştırılırken bir saatin üzerinde bir süreyle damla damla ilave edilmiştir. Elde edilen siyah çökelti güçlü bir kalıcı mıknatısla toplanmış ve deiyonize (DI) su ile birkaç kez yıkanmıştır [23]

2.2.2. Manyetik Nanopartiküllerin Karakterizasyonu

Üretilen MNP birkaç yöntemin kombine halde kullanılması ile karakterize edilmiştir. İlk olarak, transmisyon elektron mikroskopu (TEM) (Tecnai TF12, FEI Co., Hillsboro, OR) ve nanopartikül boyut dağılım ölçüm cihazı (BeNano 180 Zeta Pro) ile karakterize edilmiştir. Ardından, Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FT-IR) (Spectrum 100, Perkin Elmer) ile kimyasal yapısı belirlenmiştir. MNP'lerin ve atık PAS'ların zeta potansiyel değerleri zeta-potansiyel ve mobilite ölçüm cihazı (Zetasizer 3000HS) ile 12 mm, kare-cam küvet kullanılarak belirlenmiştir [23].

2.2.3. Peynir Altı Suyu Arıtımı ve MNP Geri Kazanımı

Arıtılacak 100 mL peynir altı suyu; 250 mL'lik beherlere alınmış ve 1 N sodyum hidroksit (NaOH) çözeltisi kullanılarak pH 4, 5, 6, 7, 8 ve 10'a ayarlanmıştır. Her pH için beherlere 5-15 mL (150-450 mg) MNP eklenmiş ve eklenen MNP'lerin çökmesi için manyetik ortamda 90 dakika beklenmiştir. Çöken MNP'ler, mıknatıslar vasıtasıyla peynir altı suyundan ayrılmıştır. Arıtma oda sıcaklığında (23-25 °C) gerçekleştirilmiştir. Arıtma işlemi bir başka çalışmamızda RSM (Response Surface Method) ile optimize edilmiş ve bu işlemin sonunda en iyi arıtım sonucu pH 8 olarak ayarlanan ve 15 mL MNP eklenen örneklerden elde edilmiştir [24]. Kullanılan MNP'ler, sırasıyla HCl (0,1 M) ve NaOH (0,1 M) ile geri kazanılmıştır. MNP, HCl veya NaOH solüsyonunda 30 dakika boyunca sonike edilmiştir. Daha sonra kalıcı mıknatıslar kullanılarak manyetik olarak ayrılmış ve birkaç kez saf su ile yıkanmıştır. Bu Adsorpsiyon-desorpsiyon döngüleri 10 kez tekrarlanmıştır. Böylece MNP'lerin geri kazanımı amaçlanmıştır [24], [25].

2.2.3. Çamurun Karakteristikleri ve Kullanım Potansiyelinin Değerlendirilmesi

Kjeldahl yöntemi ile Toplam N tayini ve protein oranı belirlenmesi ile birlikte; Hangi protein fraksiyonlarının bulunduğu belirlenmesi amaçlanmıştır. Ancak elde edilen sonuçlardan dolayı sadece toplam azot ve protein tayini yapılmıştır.

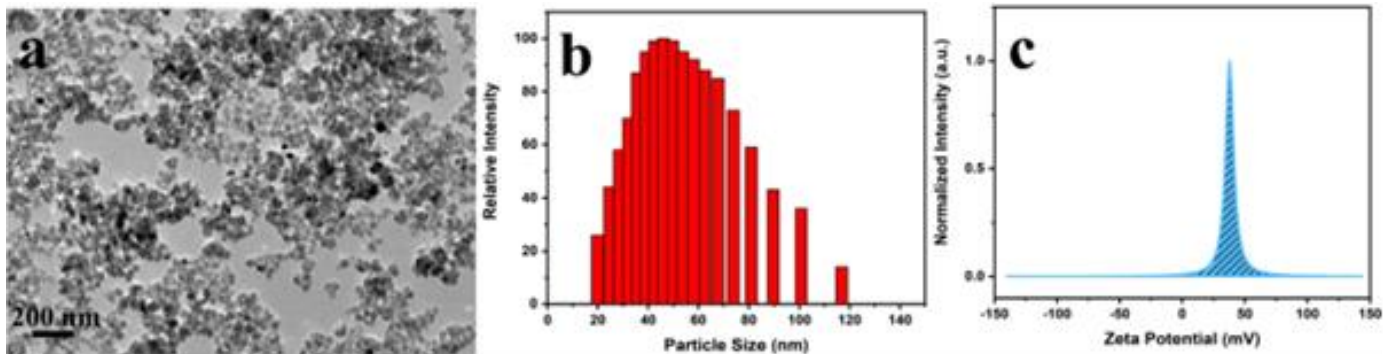
PAS örneklerinden 1 ml alınarak Kjeldahl balonuna konulmuş ve üzerine Kjeldahl tableti ve 8 ml H₂SO₄ (d=1,84g/ml) ilave edilmiştir. Çözelti mavi-yeşil berrak bir renge kadar 450 °C'de yakılmıştır. Daha sonra soğutulmuş ve üzerine 150 ml saf su ve 80 ml potasyum sülfürlü NaOH çözeltisi ilave edilmiştir. Bu çözelti da sonra distilasyon düzeneğine bağlanmış ve distilasyon düzeneğinin diğer tarafına %4'lük borik asit çözeltisinden 25 ml eklenmiş ve indikatör olarak bromkresol purple damlatılmıştır. Distilasyon işlemi bittikten sonra 0,1 N HCl çözeltisi ile titre edilerek harcanan miktara göre % azot miktarı hesaplanmıştır. Bulunan oran 6,38 faktörü ile çarpılacak ve % protein miktarı tespit edilmiştir [7].

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. MNP'lerin Karakterizasyonu

Şekil 1a, MNP örneklerinin TEM görüntüleri gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi MNP örnekleri Küresel benzeri yapıdadır. TEM tarafından belirlenen MNP'lerin çapı 20 ila 90 nm arasında değişmiştir. DLS ile elde edilen MNP'nin partikül boyutu dağılımı, ortalama çapı 45,6 ±3,2 nm, boyut olarak 18 ila 115 nm arasında değişmektedir (Şekil 1b). Bu da DLS sonuçları ile TEM verileri birbiriyle iyi bir uyum içinde olduğunu göstermektedir.

MNP'lerin yüzey yükü Zeta potansiyeli ile belirlenir. Zeta potansiyeli organik maddelerin veya diğer biyomoleküllerin adsorpsiyonuna etki eden önemli bir parametredir. Şekil 1c'de gösterildiği gibi, MNP'lerin Zeta potansiyeli 37,77 ± 2,26 eV olarak bulunmuştur.



Şekil 1. MNP'lerin (a) TEM, (b) DLS ve (c) zeta potansiyeli sonuçları [24].

3.2. Peynir Altı Suyu Arıtımı

Her pH da kendi içinde MNP miktarı arttıkça arıtma verimlerinin arttığı görülmüştür. Bu kullanılan MNP miktarını artırarak daha yüksek arıtma verimi elde etmenin mümkün olduğu anlamı taşımaktadır. Ancak pH 8'den yüksek pH larda MNP miktarı artsa da arıtma verimleri nispeten düşmektedir. Bu sebeple pH 8'den büyük pH larda hem işlem görmüş suyun doğaya salınmasında tekrar pH ın nötre yakın düzeylere indirilmesi

hem de fazla miktarda MNP kullanılsa da pH8'e göre nispeten düşük arıtma verimi sağlanması sebebiyle optimum şartlar pH 8 de ve 15 mL olarak tavsiye edilmektedir. Arıtma işlemine ait sonuçlara ilgili çalışmamızdan ulaşılabılır [24].



Şekil 2. Taze peynir altı suyunun MNP ile karıştırılarak neodyum mıknatıs etkisi altında bekletilmesi ile arıtımı [24].

100 mL peynir altı suyu, pH 8'de 15 mL MNP çözeltisi (30 mg/L) ile muamele edilmiştir. MNP'lerin peynir altı suyunun içerdiği kirleticileri kalıcı mıknatıs altında kısa sürede adsorbe ettiği gözle görülmekte olup, MNP'lerle peynir altı suyu muamelesinin zaman içindeki değişimi Şekil 2'de gösterilmiştir.

3.2. Çamur Analiz Sonuçları

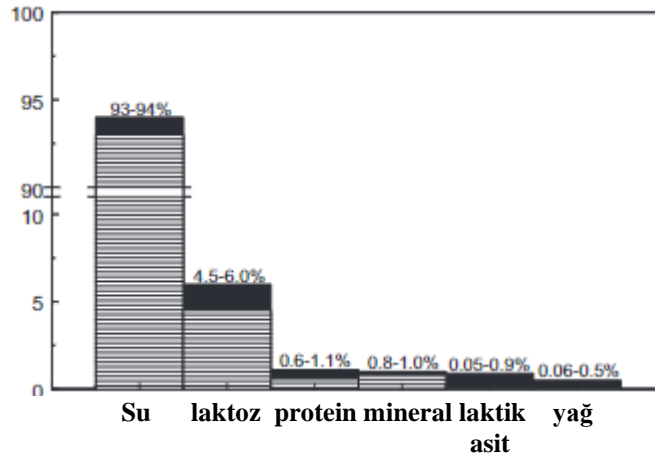
PAS arıtıldıktan sonra çökeltiye geçen azot ve protein miktarları Tablo 2'de verilmiştir. Ebrahimi ve ark. [26] PAS'ı arıtmaya yönelik yaptıkları çalışmada, 8, 12 ve 16 saatlik bir bekleme süresi sonunda, %97,4'e varan bir arıtma verimine aerobik ve anaerobik arıtımın birlikte kullanıldığı bir sistem sonucunda ulaşmışlardır. Yine aerobik ve anaerobik bir sistemin sıralı olarak kullanıldığı başka bir PAS arıtımı çalışmasında ise 2, 3 ve 4 günlük bekleme süresi sonucunda %88'lik bir arıtma verimine ulaşılmıştır [27].

Tablo 2. PAS çamurunda yapılan kimyasal analizlerin sonuçları.

% N	0,091 ± 0,002
% Protein	0,58058 ± 0,017

Literatürde sadece anaerobik arıtım kullanılarak yapılan bir PAS arıtım çalışması da mevcuttur. Bu çalışmada Patil ve ark. [28] 5 günlük bekleme süresi sonunda % 94 - 96 aralığında bir arıtma verimine ulaşmışlardır. MNP kullanılarak yapılan bir atıksu arıtma işleminde PO₄₋₃ için %91 ve NH₄⁺ için %85'lik arıtma verimine 13 saatlik bir bekleme süresi sonunda ulaşılmıştır [29]. PAS arıtımı için koagülasyon ve flokülasyon yönteminin kullanıldığı başka bir çalışmada ise KOİ giderim verimi %90 olarak belirtilmiştir [30]. Koagülasyon ve flokülasyon tekniğinin kullanıldığı başka bir PAS arıtım çalışmasında ise Peynir atıksuları pıhtılaşma-flokülasyon prosesi ile arıtılmıştır. FeSO₄, Al₂(SO₄)₃ ve FeCl₃ olmak üzere üç farklı pıhtılaştırıcı kullanılmıştır. FeSO₄ kullanıldığında KOİ %50 ve BOİ₅ %60 azaltılmıştır [31].

Peynir altı suyunun bileşimi, kullanılan sütün kalitesi, hayvanın cinsi, laktasyon dönemi, peynir mayasının kuvveti ve kalitesi vb. etkenlere göre değişmektedir [32]. Genellikle peynir altı suyu %0,6-1,1 aralığında protein içermektedir. Bu protein kompleksinin içeriğinde ise β-Laktoglobulin, α-Laktalbumin, Immunoglobulin, Serum albümini, Laktoferrin, Laktopeksidaz ve pepton bulunduğu bilinmektedir [33].



Şekil 1: Peynir altı suyunun içeriği [30].

Peynir altı suyundaki protein fraksiyonları makro ve mikro olarak iki grupta toplanmaktadır. Makro grubu globulin ve albümin türevleri, mikro grubu ise immunoglobulin, serum albümini, laktoferrin ve enzimler oluşturmaktadır. Sütün peynire dönüşürken pıhtılaşması için asit kullanılması veya enzim kullanılması, peynir altı suyundaki protein fraksiyonlarını etkilemektedir [34]. Protein, mineral ve enzim içeriği açısından bu derece biyolojik değere sahip bir üretim atığının tekrar direkt ya da dolaylı olarak değerlendirilmesi elzemdir. Bu içerik ya direkt peynir altı suyu olarak ya da kuru maddenin ayrıştırılmasıyla kullanılabilir. Bu şekilde yeniden kullanılmak istenen peynir altı suyu, insan beslenmesi açısından yoğurt, tereyağı, dondurma ve peynir yapımında değerlendirilmekte ve ayrıca atıştırmalık ürünlerde kıvam düzenleyici olarak kullanılabilir [7], [33]. Bunun yanı sıra peynir altı suyu veya bundan elde edilen kuru madde, hayvan yemi katkısı olarak da kullanılmaktadır. Peynir altı suyu katkısı ile beslenen ineklerin sütlerinde %0,05 yağ, %0,13 protein, %0,09 kazein artışı olduğu yapılan çalışmalarla ortaya koyulmuştur [35].

Çalışmamızda, MNP içeriğinin çamurdan ayrıştırılması yani geri kazanımı için metot kısmında belirtilen proses defalarca uygulanmıştır. Fakat buna rağmen geri kazanım oranı %85'i geçememiştir. Dolayısıyla elde edilen çamurun protein muhtevası ile birlikte %15'lik MNP kalmıştır. Bu yüksek kalıntı oranından dolayı çamurun protein ve azot oranı dışında bir incelemenin yapılmasına gerek görülmemiştir. Bunun nedeni ise MNP'nin demir içeriğinin Fe_3O_4 formunda olmasıdır.

Tablo 3. Peynir altı suyu proteinlerinin bileşimi [33].

Protein	Konsantrasyon (g/L)
β -Laktoglobulin	3,2
α -Laktalbumin	1,2
Immunoglobulin	0,8
Serum albümini	0,4
Laktoferrin	0,2
Laktoperoksidaz	0,03
Pepton	>1

Ayrıca eğer detaylı inceleme yapılacak olsaydı bu sadece Tablo 3' de belirtilen protein fraksiyonlarının tespiti ve bu içerik tespitine göre katkı maddesi olarak kullanım miktarları ve sektörlerinin belirlenmesi yönünde olacaktır.

Çamurda bulunan "Fe" iyonlarının miktarı belirli analizlerle belirlenebilir olsa da Türk Gıda Kodeksi Takviye Edici Gıdalar Tebliği'ne göre bu demir türü izin verilen formlar arasında bulunmamaktadır [36]. Bu nedenle MNP geri kazanımı %100 olmalıdır. Bu çalışmalarda demir kaynakları hayvansaldır veya bitkiselidir, ancak Fe_3O_4 formunun hem bitki hem de hayvan beslenmesinde kullanılabilirliği ile ilgili

çalışmalar yoktur. Çalışmamızın bulgularına göre kimyasal kaynaklı değildir. Bununla birlikte, insan beslenmesi ile ilgili araştırmalar oldukça sınırlıdır [37], [38], [39]. Bu nedenlerle ve demir içeriğinin insan sağlığına zararlı etkileri göz önüne alındığında [40], elde edilen çamurun en azından bu şekilde insan veya hayvan beslenmesinde bir katkı maddesi olarak kullanılması uygun değildir.

4. Sonuçlar

Çalışmamızda, MNP içeriğinin çamurdan ayrıştırılması yani geri kazanımı için metot kısmında belirtilen proses defalarca uygulanmıştır. Fakat buna rağmen geri kazanım oranı %85'i geçememiştir. Dolayısıyla elde edilen çamurun protein muhtevası ile birlikte %15'lik MNP kalmıştır. Bu yüksek kalıntı oranından dolayı çamurun protein ve azot oranı dışında bir incelemenin yapılmasına gerek görülmemiştir. Bunun nedeni ise MNP'nin demir içeriğinin Fe_3O_4 formunda olmasıdır. Ayrıca eğer detaylı inceleme yapılacak olsaydı bu sadece protein fraksiyonlarının tespiti ve bu içerik tespitine göre katkı maddesi olarak kullanım miktarları ve sektörlerinin belirlenmesi yönünde olacaktır.

Birçok analizle, çamur içerisinde "Fe" iyonlarının miktarı tespit edilebilir olsa da bu demir bileşiği Türk Gıda Kodeksi Takviye Edici Gıdalar Tebliği'nde izin verilen formlar arasında değildir. Bu nedenle MNP geri kazanımının %100 olması zorunludur. Fakat buna rağmen Fe_3O_4 'ün hayvan ve bitki beslenmesinde kullanılabilirliği ile ilgili çalışmalar bulunmakla birlikte bu çalışmalarda demir kaynakları doğaldır. Çalışmamızda olduğu gibi kimyasal kökenli değildir. Buna ek olarak insan beslenmesi açısından incelendiği çalışmalar azdır. Dolayısıyla ve Fe içeriğinin insan sağlığına olan olumsuz etkileri değerlendirildiğinde, arıtma sonucu açığa çıkan çamurun bu haliyle hayvan veya insan beslenmesinde katkı maddesi olarak kullanılmasının uygunsuz olduğu sonucuna varılmıştır.

Kaynakça

- [1] G. Crini and E. Lichtfouse, "Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment," *Environ Chem Lett*, vol. 17, no. 1, pp. 145–155, Mar. 2019, doi: 10.1007/s10311-018-0785-9.
- [2] A. Kotoupas, F. Rigas, and M. Chalaris, "Computer-aided process design, economic evaluation and environmental impact assessment for treatment of cheese whey wastewater," *Desalination*, vol. 213, no. 1–3, pp. 238–252, Jul. 2007, doi: 10.1016/j.desal.2006.03.611.
- [3] O. Y. S.Sözer, "Sığır Gübresi ve Peynir Altı Suyu Karışımlarından Biyogaz Üretimi Üzerine Bir Araştırma," *Journal*, vol. 19, no. 2, pp. 179–183, 2006.
- [4] M. Rodgers, X.-M. Zhan, and B. Dolan, "Mixing Characteristics and Whey Wastewater Treatment of a Novel Moving Anaerobic Biofilm Reactor," *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, vol. 39, no. 8, pp. 2183–2193, Dec. 2004, doi: 10.1081/ESE-120039383.
- [5] G. Güven, A. Perendeci, and A. Tanyolaç, "Electrochemical treatment of deproteinated whey wastewater and optimization of treatment conditions with response surface methodology.," *J Hazard Mater*, vol. 157, no. 1, pp. 69–78, Aug. 2008, doi: 10.1016/j.jhazmat.2007.12.082.
- [6] S. V. Kalyuzhnyi, E. P. Martinez, and J. R. Martinez, "Anaerobic treatment of high-strength cheese-whey wastewaters in laboratory and pilot UASB-reactors," *Bioresour Technol*, vol. 60, no. 1, pp. 59–65, Apr. 1997, doi: 10.1016/S0960-8524(96)00176-9.
- [7] A. Kurt, S. Çakmakçı, and A. Çağlar, *Milk and Dairy Products Inspection and Analysis Methods Guide*. Erzurum: Ataturk University, 1996.
- [8] Anonim, "Ardahan İli Peynir Altı Suyu İşleme Tesisi Ön Fizibilite Raporu," Ardahan, 2020.
- [9] F. X. Wildenauer and J. Winter, "Anaerobic digestion of high-strength acidic whey in a pH-controlled up-flow fixed film loop reactor," *Appl Microbiol Biotechnol*, vol. 22, no. 5, pp. 367–372, Sep. 1985, doi: 10.1007/BF00582422.
- [10] K. V. Lo and P. H. Liao, "Digestion of cheese whey with anaerobic rotating biological contact reactors," *Biomass*, vol. 10, no. 4, pp. 243–252, Jan. 1986, doi: 10.1016/0144-4565(86)90001-6.
- [11] H. H. P. Fang, "Treatment of Wastewater from a Whey Processing Plant Using Activated Sludge and Anaerobic Processes," *J Dairy Sci*, vol. 74, no. 6, pp. 2015–2019, Jun. 1991, doi: 10.3168/jds.S0022-0302(91)78371-9.

- [12] B. Farizoglu, B. Keskinler, E. Yildiz, and A. Nuhoglu, "Cheese whey treatment performance of an aerobic jet loop membrane bioreactor," *Process Biochemistry*, vol. 39, no. 12, pp. 2283–2291, Oct. 2004, doi: 10.1016/j.procbio.2003.11.028.
- [13] A. Amokrane, C. Comel, and J. Veron, "Landfill leachates pretreatment by coagulation-flocculation," *Water Res*, vol. 31, no. 11, pp. 2775–2782, Nov. 1997, doi: 10.1016/S0043-1354(97)00147-4.
- [14] Z. Song, C. J. Williams, and R. G. J. Edyvean, "Treatment of tannery wastewater by chemical coagulation," *Desalination*, vol. 164, no. 3, pp. 249–259, Apr. 2004, doi: 10.1016/S0011-9164(04)00193-6.
- [15] R. J. Stephenson and S. J. B. Duff, "Coagulation and precipitation of a mechanical pulping effluent—I. Removal of carbon, colour and turbidity," *Water Res*, vol. 30, no. 4, pp. 781–792, Apr. 1996, doi: 10.1016/0043-1354(95)00213-8.
- [16] G. E. Likens, "Acid rain and its effects on sediments in lakes and streams BT - Sediment/Water Interactions," P. G. Sly and B. T. Hart, Eds., Dordrecht: Springer Netherlands, 1989, pp. 331–348.
- [17] Y. Arıcı, "Tekstil Endüstrisinde Reaktif Boyarmaddelerden Kaynaklanan Rengin Fenton Prosesi ile Giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul," 2000.
- [18] A. A. Tatsi, A. I. Zouboulis, K. A. Matis, and P. Samaras, "Coagulation–flocculation pretreatment of sanitary landfill leachates," *Chemosphere*, vol. 53, no. 7, pp. 737–744, 2003, doi: [https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(03\)00513-7](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(03)00513-7).
- [19] K. Cholkar, N. D. Hirani, and C. Natarajan, *Emerging Nanotechnologies for Diagnostics, Drug Delivery, and Medical Devices*. Elsevier, 2017. Accessed: Apr. 04, 2024. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com:5070/book/9780323429788/emerging-nanotechnologies-for-diagnostics-drug-delivery-and-medical-devices>
- [20] F. Keyhanian, S. Shariati, M. Faraji, and M. Hesabi, "Magnetite nanoparticles with surface modification for removal of methyl violet from aqueous solutions," *Arabian Journal of Chemistry*, vol. 9, pp. S348–S354, Sep. 2016, doi: 10.1016/j.arabjc.2011.04.012.
- [21] G. Aygar, M. Kaya, N. Özkan, S. Kocabıyık, and M. Volkan, "Preparation of silica coated cobalt ferrite magnetic nanoparticles for the purification of histidine-tagged proteins," *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, vol. 87, pp. 64–71, Dec. 2015, doi: 10.1016/j.jpcs.2015.08.005.
- [22] Y. Liu, Y. Wang, M. Yan, and J. Huang, "Selective Removal of Hemoglobin from Blood Using Hierarchical Copper Shells Anchored to Magnetic Nanoparticles," *Biomed Res Int*, vol. 2017, pp. 1–11, 2017, doi: 10.1155/2017/7309481.
- [23] O. Sadak, R. Hackney, A. K. Sundramoorthy, G. Yilmaz, and S. Gunasekaran, "Azo dye-functionalized magnetic Fe₃O₄/polyacrylic acid nanoadsorbent for removal of lead (II) ions," *Environ Nanotechnol Monit Manag*, vol. 14, p. 100380, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.enmm.2020.100380.
- [24] R. Guliyev, M. Akgün, B. Sayın Börekçi, O. Sadak, and Y. Esen, "Modelling and process optimization of cheese whey wastewater treatment using magnetic nanoparticles," *Biomass Convers Biorefin*, Apr. 2022, doi: 10.1007/s13399-022-02611-0.
- [25] P. Nicolás, M. L. Ferreira, and V. Lassalle, "Magnetic solid-phase extraction: A nanotechnological strategy for cheese whey protein recovery," *J Food Eng*, vol. 263, pp. 380–387, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.jfoodeng.2019.07.020.
- [26] A. Ebrahimi, G. Najafpour, M. Mohammadi, and B. Hashemiyeh, "Biological treatment of whey in an UASFF bioreactor followed a three-stage RBC," *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, vol. 16, no. 2, pp. 175–182, 2010, doi: 10.2298/CICEQ100315025E.
- [27] J.-C. Frigon, J. Breton, T. Bruneau, R. Moletta, and S. R. Guiot, "The treatment of cheese whey wastewater by sequential anaerobic and aerobic steps in a single digester at pilot scale," *Bioresour Technol*, vol. 100, no. 18, pp. 4156–4163, Sep. 2009, doi: 10.1016/j.biortech.2009.03.077.
- [28] S. S. Patil, N. V Ghasghse, A. P. Nashte, S. S. Kanase, and R. H. Pawar, "Anaerobic digestion treatment of cheese whey for production of methane in a two stage upflow packed bed reactor," *International Journal of Advanced Science, Engineering and technology*, vol. 1, pp. 1–7, 2012.

- [29] M. Govarathanan, C.-H. Jeon, Y.-H. Jeon, J.-H. Kwon, H. Bae, and W. Kim, "Non-toxic nano approach for wastewater treatment using *Chlorella vulgaris* exopolysaccharides immobilized in iron-magnetic nanoparticles," *Int J Biol Macromol*, vol. 162, pp. 1241–1249, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2020.06.227.
- [30] A. R. Prazeres, F. Carvalho, and J. Rivas, "Cheese whey management: A review," *J Environ Manage*, vol. 110, pp. 48–68, Nov. 2012, doi: 10.1016/j.jenvman.2012.05.018.
- [31] J. Rivas, A. R. Prazeres, F. Carvalho, and F. Beltrán, "Treatment of Cheese Whey Wastewater: Combined Coagulation–Flocculation and Aerobic Biodegradation," *J Agric Food Chem*, vol. 58, no. 13, pp. 7871–7877, Jul. 2010, doi: 10.1021/jf100602j.
- [32] Ö. K. Oktay Yerlikaya Necati Akbulut, "Functional Properties of Whey And New Generation Dairy Products Manufactured With Whey (Turkish with English Abstract)," *The Journal of Food*, vol. 35, no. 4, pp. 289–296, 2010.
- [33] A. H. Dinçoğlu and M. Ardiç, "The Importance of Whey on Nutrition and Use Possibilities," *Harran Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, vol. 1, no. 1, pp. 54–60, 2012.
- [34] M. Üçüncü, *Süt ve mamulleri teknolojisi*. Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, 2005.
- [35] M. Metin, "Sütün Yapısı ve Özellikleri," in *Süt Teknolojisi*, İzmir: Ege Üniversitesi Basımevi, 2009, pp. 7–10.
- [36] TGK, *Türk Gıda Kodeksi Takviye Edici Gıdalar Tebliği*, Ankara. 2013.
- [37] Y. Gao, Z. Luo, N. He, and M. K. Wang, "Metallic nanoparticle production and consumption in China between 2000 and 2010 and associative aquatic environmental risk assessment," *Journal of Nanoparticle Research*, vol. 15, no. 6, p. 1681, Jun. 2013, doi: 10.1007/s11051-013-1681-7.
- [38] A. El-Nasr, H. M. El-Hennawy, A. M. H. El-Kereamy, A. Abou El-Yazied, and T. A. Salah Eldin, "Effect of Magnetite Nanoparticles (Fe_3O_4) as Nutritive Supplement on Pear Saplings 1," *Middle East J. Appl. Sci*, vol. 5, no. 3, pp. 777–785, 2015.
- [39] N. Abbaspour, R. Hurrell, and R. Kelishadi, "Review on iron and its importance for human health," *J Res Med Sci*, vol. 19, no. 2, p. 164, 2014, Accessed: Nov. 10, 2022. [Online]. Available: /pmc/articles/PMC3999603/
- [40] O. Sadak, A. K. Sundramoorthy, and S. Gunasekaran, "Highly selective colorimetric and electrochemical sensing of iron (III) using Nile red functionalized graphene film," *Biosens Bioelectron*, vol. 89, pp. 430–436, Mar. 2017, doi: 10.1016/j.bios.2016.04.073.



Research Article

Experimental Study of Unconfined Twin Propeller Jet Scour

Amina Suljevic¹ *, Erdal Kesgin¹

¹ Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, Istanbul Technical University, 34000, Maslak, İstanbul, Türkiye

* Correspondence: suljevic22@itu.edu.tr

Received: 7 May 2024; Accepted: 15 May 2024; Published: 30 June 2024

Abstract: The propeller jet flow caused to significant erosion and sedimentation near port structures, in front of quay walls, and around pile structures. Additionally, shallow water depths increase the amount of erosion caused by the propeller jet. If these problems are not considered during the design phase, serious erosion at the foundation of port structures and consequent significant stability issues may occur. In this study, the effect of erosion under twin propeller jet influence was investigated by examining the distance between propellers and the seabed, propeller propeller speed, and the distance between propellers, and the results were compared. It was found that as the propeller speed increases, the maximum erosion increases, as the distance between propellers increases, the maximum erosion decreases, and as the distance between the propeller and the seabed increases, the maximum erosion decreases. The obtained maximum erosion results were found to be consistent with the literature.

Keywords: Twin propeller, scour, sediment transport.

Araştırma Makalesi

Yapı ile Sınırlanmamış Çift Pervane Jet Etkisinde Oyulmanın Deneysel Olarak Araştırılması

Öz: Pervane jet akımı, liman yapılarının yakınlarında, rıhtım duvarları önünde ve kazıklı yapıların etrafında ciddi oyulma ve birikmelere neden olmaktadır. Ayrıca sığ su derinlikleri de pervane jeti oyulma miktarını artırmaktadır. Bu problemler projelendirme sırasında dikkate alınmadığı takdirde liman yapılarının temelinde ciddi oyulmalar ve buna bağlı önemli stabilite sorunları meydana getirmektedir. Bu çalışmada çift pervane jet etkisindeki oyulmaya, pervaneler ile taban arasındaki mesafe, pervane dönüş hızı ve pervaneler arası mesafenin etkisi incelenmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen verilerden yola çıkarak dönüş hızı arttığında maksimum oyulmanın arttığı, pervaneler arası mesafe arttığında maksimum oyulmanın azaldığı ve pervane ile taban arasındaki mesafe arttığında maksimum oyulmanın azaldığı tespit edilmiştir. Elde edilen maksimum oyulma sonuçlarının literatür ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çift pervane, oyulma, katı madde taşınımı.

Citation: A. Suljevic and E. Kesgin, "Experimental Study of Unconfined Twin Propeller Jet Scour", *Journal of Studies in Advanced Technologies*, vol. 2, no. 1, pp. 33-41, Jun 2024, doi: 10.63063/jsat.1480029

1. Giriş

Gemilerde bulunan pervanelerin ileri-geri hareketleri, yanaşma ve ayrılma sırasında deniz tabanında önemli ölçüde oyulma ve yığılma meydana getirmektedir. Bu oyulma ve yığılmalar yapıların stabilitelelerinin bozulmasına neden olduğundan projelendirme esnasında yapıların etrafında korunma önlemleri alınmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, deniz yapıları tasarlanırken veya mevcut yapıların performansı değerlendirilirken pervane kaynaklı oyulmanın dikkate alınması gerekmektedir. Özellikle kazıklı platformlar, palpları perdeleri, yer çekimi tipi yapılar ve rip-rap korumalı şevlere sahip açık platform tipi yapılar gibi yatay ve dikey yüklere karşı tasarlanmış bir taban seviyesi ile desteklenenler olmak üzere her tür deniz yapısının pervane kaynaklı oyulmadan zarar görebileceğini belirtmiştir [1].

Pervane jeti etkisinde oluşan oyulma ve yığılma, kazıklı yapıların etrafında, rıhtım duvarları önünde, liman yapılarında ciddi sorunlara sebep olmaktadır. Pervane jeti etkisinin neden olduğu oyulma ve yığılmayı belirlemek amacıyla literatürde yapılmış deneysel ve sayısal birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalardan bazılarında [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11] herhangi bir yapı kullanmadan tekil pervane jetinin tabana etkisi incelenmiş, bazılarında [8], [9], [10], [12], [13], [14] tekil pervane jet akımının önüne kazık veya rıhtım duvarı gibi yapılar yerleştirilmiş ve pervane jet akımının tabana etkisi incelenmiş, bazılarında ise [15], [16], [17], [18], [19] çift pervane jet akımının tabana etkisi incelenmiştir.

Diğer taraftan, pervane jeti kaynaklı oyulmaya etki eden parametreler birçok çalışmada benzerlik gösterirken, çalışmanın mahiyetine göre de birtakım farklılıklar gösterebilmektedir. Özellikle çift pervane çalışmalarında tekil pervaneye ek olarak pervaneler arası mesafe ve pervanelerin dönüş yönleri de oyulmaya etki eden önemli parametreler olarak öne çıkmaktadır. Çalışma kapsamındaki oyulmaya etki eden boyutlu parametrelerin birim ve boyutları Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Oyulmaya Etki Eden Parametreler

	Sembol	Birim	Boyut
Akışkanın özgül kütlesi	ρ	kg/m ³	ML ⁻³
Akışkanın dinamik viskozitesi	μ	Ns/m ²	ML ⁻¹ T ⁻¹
Dışarı akış hızı	U_0	m/s	LT ⁻¹
Pervane çapı	D_p	m	L
Su derinliği	h	m	L
Taban malzemesinin boyutu	d_{50}	m	L
Taban malzemesinin özgül kütlesi	ρ_s	kg/m ³	ML ⁻³
Pervane merkezi ile taban arasındaki mesafe	G	m	L
Yer çekimi ivmesi	g	m/s ²	LT ⁻²
Pervane eksenleri arasındaki mesafe	a_p	m	L
Dönüş hızı	n	r/s	T ⁻¹
Pervane uzunluğu	L_m	m	L

Densimetrik Froude sayısı (Fr_d) ve boşluk oranı (G/D_p), oyulma oluşumunu etkileyen boyutsuz parametrelerdir. Bu parametreler oyulma başlangıcının belirlenebilmesi için kullanılmaktadır. Tan [10], maksimum oyulma derinliği için şu denklemi önermiştir:

$$Fr_{dc} = 2.1 \frac{G}{D_p}$$

$$\frac{S_{max}}{D_p} = 0.57(Fr_d - Fr_{dc})^{0.33} \left(\frac{G}{D_p}\right)^{-1.1} ; 2.82 \leq Fr_d \leq 15.01$$

Fr_{dc} kritik yoğunluk densimetrik sayısını, S_{max} denge durumundaki maksimum oyulma derinliğini, G pervane eksenleri ile taban malzemesi arasındaki mesafesini ve D_p pervane çapını temsil etmektedir.

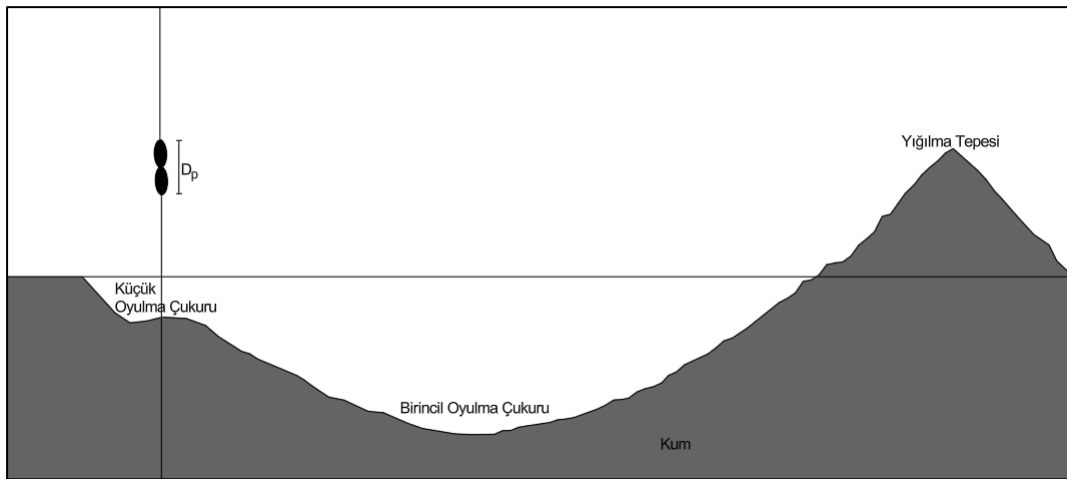
Aynı zamanda, pervane jet akışı için taban malzemesinin boyutunu (d_{50}) dikkate alarak $\frac{S_{max}}{D_p}$ ve $\frac{G}{D_p}$ arasındaki ilişkiye de dikkat edilmiştir.

Pervane, zeminle etkileşime girecek mesafede olduğunda tabanda jet akımından kaynaklanan oyulma ve birikmeler gözlemlenir. Bu oyulma ve birikmelerden meydana gelen taban profili üç farklı bölümden oluşmaktadır. Bunlar; pervanenin altındaki küçük oyulma çukuru, küçük oyulma çukurunun mansabındaki

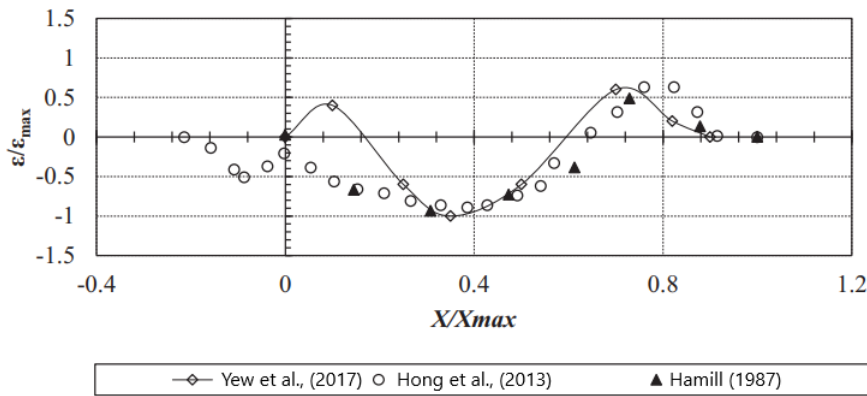
birincil oyulma çukuru ve birincil oyulma çukurunun mansabındaki yığılma tepesidir [9], [20]. Ayrıca, deneysel gözlemlere dayanarak, serbest pervane jeti tarafından oluşan oyulma formunun jet merkez çizgisi boyunca neredeyse simetrik olduğu, ancak yan yığılmaların hafif bir asimetri sergilediği anlaşılmıştır [9], [10].

Pervane jet etkisi altındaki tipik bir oyulma profili Şekil 1’de verilmiştir.

Yapılan çift pervaneli deney çalışmasında, oyulma profilinin zamanla geliştiği görülmüş ve çift pervanenin neden olduğu oyulma dört farklı aşama ile ifade edilmiştir [15]. Çift pervane jeti etkisinin incelendiği bu çalışmanın sonuçlarına bakıldığında, tek pervaneli çalışmalardan elde edilen sonuçlarla büyük oranda benzerlik taşıdığı görülmüştür. Şekil 2’de de verildiği gibi çift pervane çalışmasından elde edilen oyulma profillerinin, tek pervane çalışmasından elde edilen oyulma profilleriyle benzer olduğu saptanmıştır [9].



Şekil 1. Pervanenin Tabanda Oluşturduğu Oyulma ve Birikme Bölgeleri

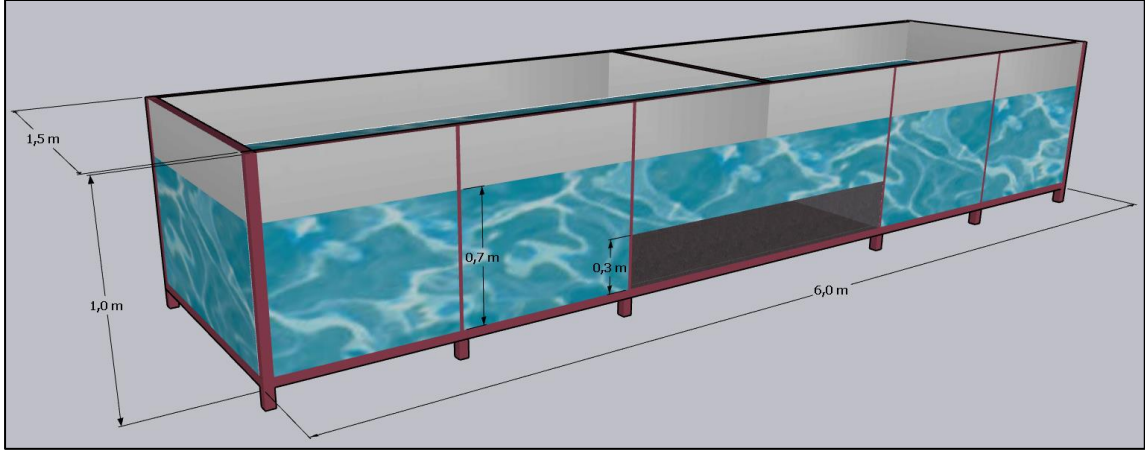


Şekil 2. Yew Oyulma Modelinin Hong vd. ve Hamill Modelleri ile Karşılaştırılması [15].

2. Materyal ve Metot

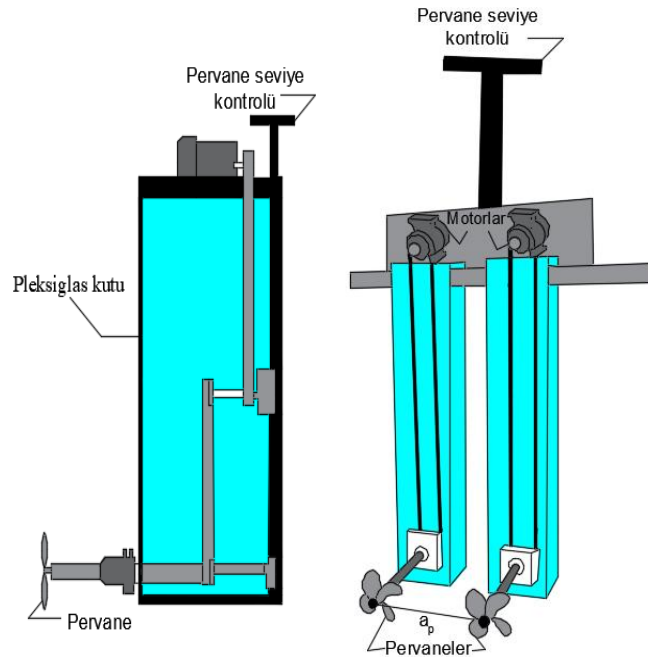
Literatürde tek pervane jeti etkisinde meydana gelen oyulmayı kazıklı yapı etrafında, rıhtım duvarı önünde ve yapı olmayan durumda inceleyen birçok çalışma bulunurken, çift pervane jeti etkisinde oluşan oyulmayı inceleyen çalışma oldukça azdır. Çalışmanın amacı, literatürdeki çift pervane jeti etkisinde oluşan oyulmanın incelenmesi ve özellikle pervaneler arası mesafenin (a_p) oyulmaya etkisine dair eksikliği gidermektir.

Çalışma kapsamında kullanılan deney sistemi 6 m uzunluğunda, 1,5 m genişliğinde ve 1 m yüksekliğindedir (Şekil 3). Su seviyesi 0,7 m ve taban malzemesinin kalınlığı 0,3 m olarak belirlenmiştir. Bu kanal sonunda ve başında kapalı bir sistem olup içerisindeki pompalar sayesinde deneyler başlamadan su doldurulmakta ve her deneyin sonunda boşaltılmaktadır.



Şekil 3. Deney Düzeneği

Pervane sistemi, bu çalışmaya özgü geliştirilmiş çift pervaneli motor sistemini içermektedir. Pleksiglas kutu sisteminin üst kısımlarına motor takılarak pervaneler kayış sistemi ile çalışır hale getirilmiştir. Pervaneler, ayarlanabilir bir sistem (kontrol kutusu) yardımıyla yukarıya ve aşağıya kolayca hareket ettirilerek pervane merkezinden tabana olan mesafe (G) ayarlanabilmektedir. Ayrıca, benzer bir ayarlanabilir sistem, pervanelerin sağa ve sola doğru hareket ettirilebilmesinde de mevcut olup, pervaneler arasındaki mesafe (a_p) bu şekilde ayarlanabilmektedir. Ayrıca sistem alt tarafından bağlı bir mil yardımıyla dönmekte olup, milin ucundaki bağlantı parçalarını değiştirmek suretiyle farklı pervanelerin sistemde kullanılmasına olanak sağlamaktadır (Şekil 4).



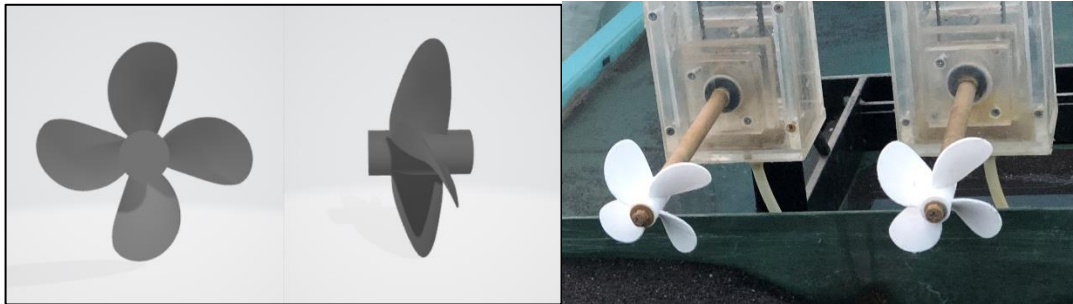
Şekil 4. Çift Pervane Sistemi

Deney çalışmalarında PLA (Polilaktik asit) malzemesi kullanılarak üç boyutlu yazıcı ile üretilen 10 cm çapa sahip pervaneler kullanılmıştır (Şekil 5).

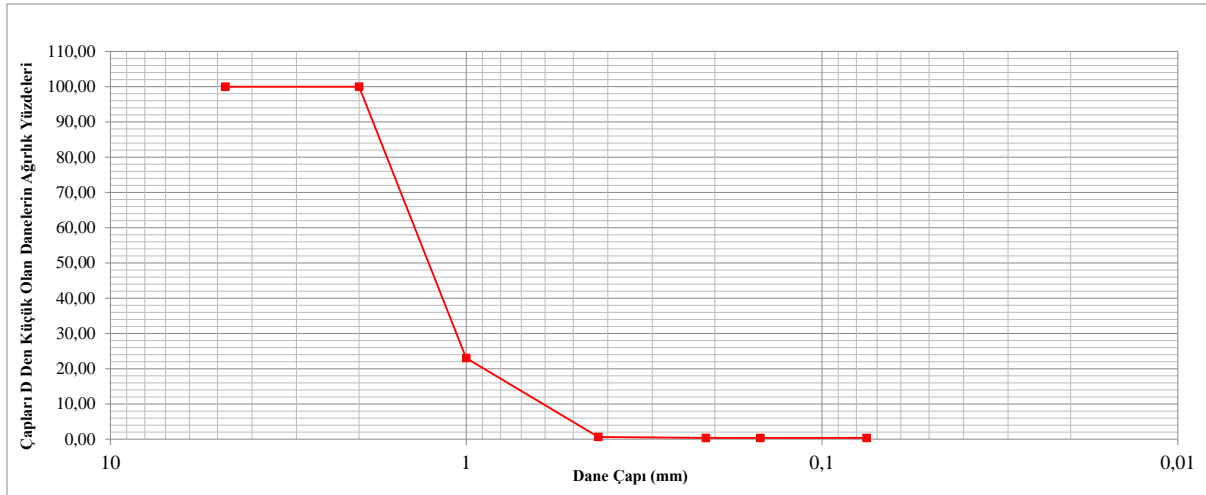
Pervanelerin çalışma hızı 30 Hertz ve 40 Hertz olarak ayarlanarak, yaklaşık 355 rpm ve 470 rpm dönüş hızları elde edilmiştir. Pervane özellikleri ise Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Pervane Özellikleri

Pervane çapı	10 cm
Pervane tipi	Wageningen B serisi
Kanat sayısı (N)	4
Hatve (P)	140 mm
Hatve/çap oranı	1,4
Pervanelerin taradığı alan (A_E)	52 cm ²
Pervane disk alanı (A_0)	78,54 cm ²
Kanat alanı oranı (BAR)	0,7
C_T (Pervane itme katsayısı)	0,61

**Şekil 5.** Çalışmada Kullanılan 4 Kanatlı Pervane Modeli

Deneylerde kullanılan malzemeye ait granülometri eğrisini belirlemek için İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Geoteknik Laboratuvarı'nda elek analizi yapılmıştır (Şekil 6). Elek sonucunda malzemenin %50'sinin geçtiği elek çapının (d_{50}) 1,2 mm, uniformluk katsısının (σ_g) 1,5 mm, malzemenin %16'sının geçtiği elek çapının (d_{16}) 0,8 mm ve malzemenin %84'ünün geçtiği elek çapının (d_{84}) 1,8 mm olduğu tespit edilmiştir (Tablo 3).

**Şekil 6.** Granülometri Eğrisi**Tablo 3.** Malzeme Dane Büyüklüğüne Uniformluk Katsayısı

d_{16} (mm)	d_{50} (mm)	d_{84} (mm)	$\sigma_g = (d_{84}/d_{16})^{1/2}$
0,8	1,2	1,8	1,5

2.1. Deney Metodolojisi

Literatürde çift pervane kullanarak pervaneler arasındaki mesafeye odaklanan çalışma yok denecek kadar azdır. Bu yüzden çalışma kapsamında pervaneler arası mesafenin oyulmaya etkisi detaylı olarak ele alınmıştır. Çift pervane jetin oyulmaya etkisini anlamak amacıyla toplamda 16 adet deney gerçekleştirilmiştir. Bu

deneylerde su seviyesi 70 cm, pervane çapı $D_p=10$ cm, pervane ile taban arasındaki mesafe (G) 10 cm ve 15 cm, pervaneler arası mesafe (a_p) $2D_p$ ve $3D_p$, dönüş hızı 30 hertz (~ 355 rpm) ve 40 hertz (~ 470 rpm) olarak belirlenmiştir.

Tabanda meydana gelen değişimlerin ölçülmesi için deney kanalının üzerinde kanal boyunca hareket eden raylı sistem yer almaktadır. Raylı sistemin üzerindeki limnometre ile pervanelerin ortasından (pervanelerin merkezinden) ölçüm yapılabilmektedir. Her deneyin sonunda oyulma profil oluşumları denge aşamasına geldiklerinde 1 cm ara ile yaklaşık 120-130 noktada limnometre kullanılarak ölçüm yapılmıştır. Pervaneler dönmeye başladıktan sonra oyulma profilleri belli bir süre içerisinde dengeye ulaşmaktadır (Şekil 7).



Şekil 7. Pervaneler Dönmeye Başladıktan Sonra Oyulma ve Yığılma Bölgelerinin Oluşumu

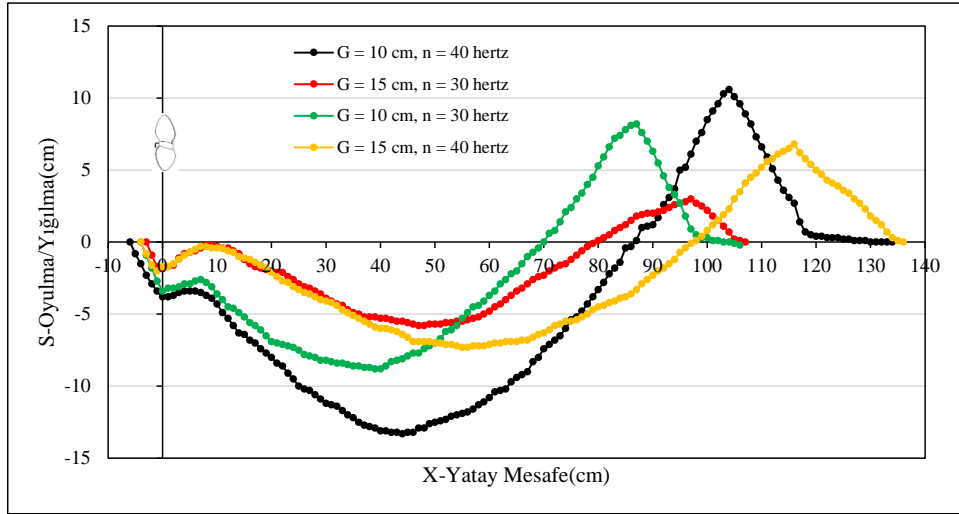
3. Bulgular ve Tartışma

Deneyler için öncelikle kum taban düzeltilerek her noktanın aynı seviyede olması sağlanmıştır. Oyulma öncesi ve sonrası ölçümler limnometre ile alınmış, deney koşullarına göre deneylerden önce pervanenin tabandan yüksekliği (G), pervaneler arası mesafe (a_p) ve dönüş hızı (n) ayarlanmıştır.

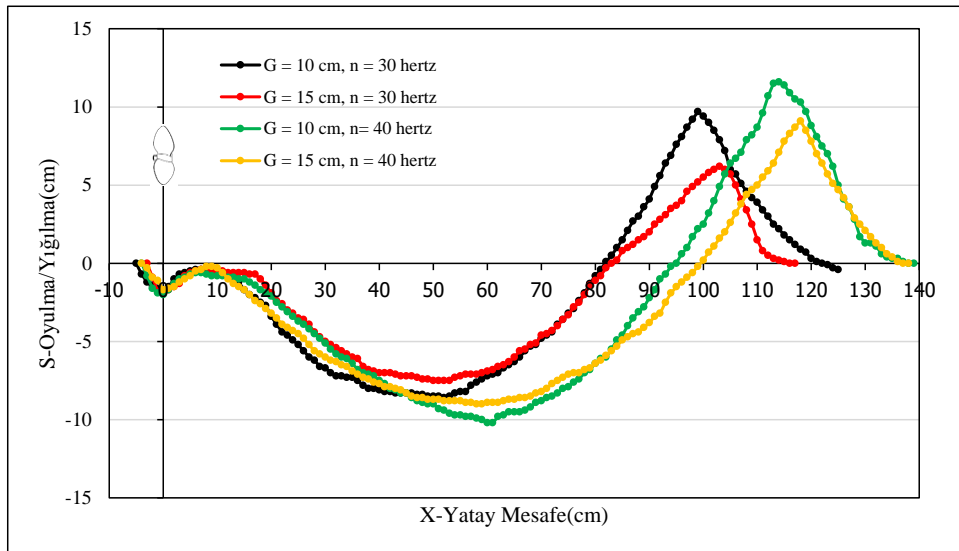
Pervane ile taban arasındaki mesafe (G) 10 cm ve 15 cm, dönüş hızı (n) 30 hertz (~ 355 rpm) ve 40 hertz (~ 470 rpm), pervaneler arası mesafe (a_p) $2D_p$ ve $3D_p$ olarak ayarlanmıştır. Bu koşullarda gerçekleştirilen deney sonuçlarında maksimum oyulmaya (S_{max}), maksimum yığılmaya (h_r), maksimum oyulmanın pervaneden uzaklığına (X_{max}), maksimum yığılmanın pervaneden uzaklığına (X_c), oyulma çukurunun genişliğine ve uzunluğuna dikkat edilmiştir (Tablo 4). Ayrıca deneylerden elde edilen oyulma profillerinin karşılaştırması yapılmıştır (Şekil 8, Şekil 9, Şekil 10).

Tablo 4. Deney Sonuçları

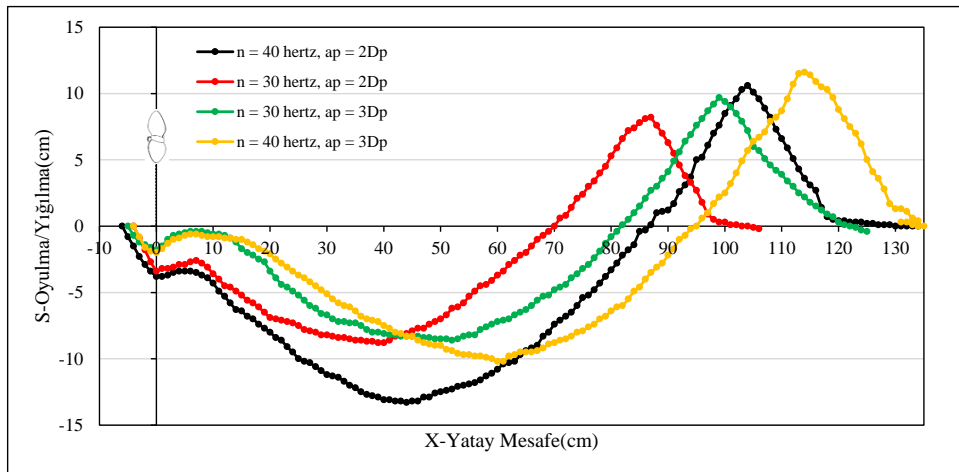
G (cm)	n (hertz)	a_p	S_{max} (cm)	h_r (cm)	X_{max} (cm)	X_c (cm)	B_{smax} (cm)	L_{smax} (cm)
10	40	$2D_p$	13,3	10,6	40	100	96	95
15	30	$2D_p$	5,8	3	40	90	70	90
10	30	$2D_p$	8,8	8,2	33	81	83	90
15	40	$2D_p$	7,3	6,8	49	110	92	109
10	30	$3D_p$	8,6	9,7	47	94	70	91
15	30	$3D_p$	7,5	6,2	43	96	70,5	94
10	40	$3D_p$	10,2	11,6	54	108	81,5	104
15	40	$3D_p$	9	9,1	40	110	83	105
10	40	$2D_p$	13,3	10,6	40	100	96	95
10	30	$2D_p$	8,8	8,2	33	81	83	90
10	30	$3D_p$	8,6	9,7	47	94	70	91
10	40	$3D_p$	10,2	9,1	50	110	81,5	104



Şekil 8. Pervaneler Arası Mesafenin (a_p) $2D_p$ Olduğu Durumlarda Oluşan Oyulma Profilleri



Şekil 9. Pervaneler Arası Mesafenin (a_p) $3D_p$ Olduğu Durumlarda Oluşan Oyulma Profilleri

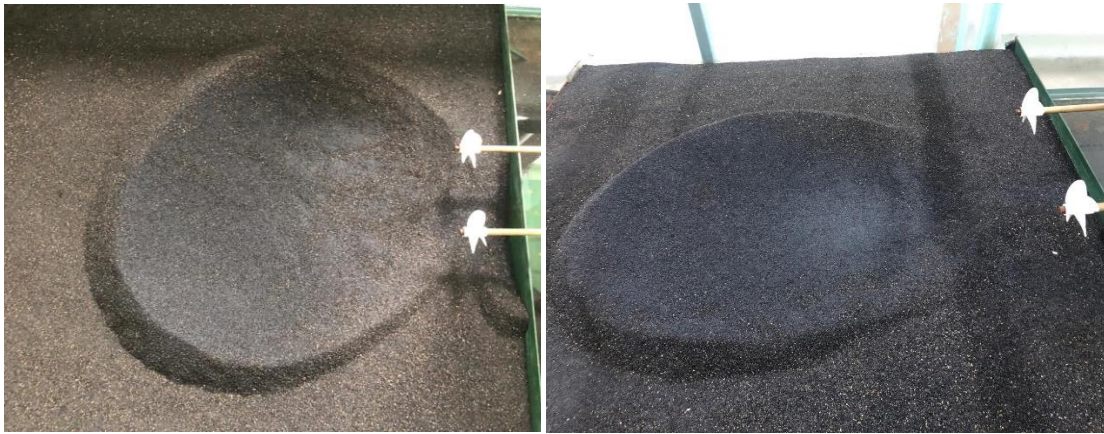


Şekil 10. Pervane ile Taban Arasındaki Mesafenin (G) 10 Cm Olduğu Durumlarda Oluşan Oyulma Profilleri

Pervaneler arası mesafenin oyulmaya etkisini anlamak amacıyla aynı koşullar altında gerçekleştirilen deneylerin oyulma çukurları Şekil 11’de verilmiştir. Görüldüğü üzere pervanelerin altında küçük oyulma çukuru, küçük oyulma çukurunun mansabında birincil oyulma çukuru ve birincil oyulma çukurunun mansabında yığılma tepesi oluşmuştur.

Çift pervane ile yapılan çalışmada dönüş hızının (n) artmasıyla maksimum oyulmanın da arttığı anlaşılmıştır [15]. Mevcut çalışmada yapılan deneylerde dönüş hızının oyulmaya etkisine bakıldığında, dönüş hızının artmasıyla maksimum oyulmanın arttığı sonucuna varılmıştır.

Dairesel jet etrafındaki oyulmanın incelenmesi için yapılan çalışmada pervane ile taban arasındaki mesafenin artmasıyla (G) maksimum oyulmanın azaldığı belirtilmiştir [6]. Pervane ile taban arasındaki mesafenin oyulmaya etkisine bakıldığında, pervane ile taban arasındaki mesafenin artmasıyla maksimum oyulmanın azaldığı görülmüştür.



Şekil 11. Aynı Koşullar Altında Pervaneler Arası Mesafenin (a_p) $2D_p$ ve $3D_p$ Olduğu Durumlarda Oluşan Oyulma Çukurları

4. Sonuçlar

Çift pervane etkisinin oyulmaya ve yığılmaya etkisinin incelenmesi maksadıyla farklı koşullar ile deneyler gerçekleştirilmiş ve farklılıkların ortaya çıkartılması hedeflenmiştir. Mevcut çalışmada dönüş hızının (n) maksimum oyulma ile doğru orantılı, pervane ile taban arasındaki mesafenin (G) ise maksimum oyulma ile ters orantılı olduğu sonucuna varılmış ve sonuçların literatür ile uyumlu olduğu anlaşılmıştır.

Gerçekleştirilen çalışmada pervaneler arası mesafe (a_p) hariç aynı koşullarda gerçekleştirilen iki deneyin oyulma profili karşılaştırıldığında, pervaneler arası mesafenin artmasıyla maksimum oyulmanın azaldığı görülmüştür. Pervaneler arası mesafe (a_p) $2D_p$ ve $3D_p$ seçilerek gerçekleştirilen deneylerin sonuçlarında oyulma çukurlarının tek çukur şeklinde olduğu ve simetrik olduğu tespit edilmiştir. Aynı zamanda, pervaneler arası açıklığın oyulma çukurunun geometrisi üzerinde de etkili olduğu anlaşılmıştır. Dikkate alınan pervaneler arası açıklıklar için geometrik olarak farklılar olsa da oyulma çukurlarının genel hatlarıyla tek pervane oyulma çukurlarıyla benzerlik taşıdığı gözlenmiştir. Bu durumdan dolayı, daha büyük pervaneler arası açıklık için oyulma çukurlarının nasıl olacağı ile ilgili çalışmaların yapılması önerilmektedir. Ayrıca, çift pervane jet etkisinde oyulmanın daha iyi anlaşılabilmesi için farklı pervane çaplarının kullanımı ve yapı ile sınırlandırılmış durumlar için de deneysel ve numerik çalışmaların yapılması tavsiye edilmektedir.

Kaynakça

- [1] G. P. Tsinker, *Marine Structures Engineering: Specialized Applications*, Chapman and Hallan International Thomson Publishing Company, New York, 1995.
- [2] B. Westrich and H. Kobus, "Erosion of a uniform sand bed by continuous and pulsating jets," 1973.

- [3] H. Kobus, P. Leister, and B. Westrich, "Flow field and scouring effects of steady and pulsating jets impinging on a movable bed," *Journal of Hydraulic Research*, vol. 17, no. 3, pp. 175-192, 1979.
- [4] D. P. J. Stewart, "Characteristics of a ships screw wash and the influence of Quay wall proximity," Ph.D. dissertation, Queen's University of Belfast, 1992.
- [5] G. A. Hamill and J. A. McGarvey, "Designing for propeller action in harbours," in *Coastal Engineering 1996*, pp. 4451-4463.
- [6] Y. M. Chiew and S. Y. Lim, "Local scour by a deeply submerged horizontal circular jet," *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 122, no. 9, pp. 529-532, 1996.
- [7] A. Yüksel, Y. Çelikoğlu, E. Çevik, and Y. Yüksel, "Jet scour around vertical piles and pile groups," *Ocean Engineering*, vol. 32, no. 3-4, pp. 349-362, 2005.
- [8] A. Yüksel, "Batık duvar jeti etkisinde kazık ve taban etkileşiminin modellenmesi," Ph.D. dissertation, Yıldız Technical University, 2007.
- [9] J. H. Hong, Y. M. Chiew, and N. S. Cheng, "Scour caused by a propeller jet," *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 139, no. 9, pp. 1003-1012, 2013.
- [10] R. İ. Tan, "Propeller jet induced erosion around pile supported berth structures," Ph.D. dissertation, Istanbul Technical University, 2019.
- [11] N. Penna, F. D'Alessandro, R. Gaudio, and G. R. Tomasicchio, "Three dimensional analysis of local scouring induced by a rotating ship propeller," *Ocean Engineering*, vol. 188, p. 106294, 2019.
- [12] R. Qurraïn, "Influence of the sea bed geometry and berth geometry on the hydrodynamics of the wash from a ship propeller," Ph.D. dissertation, Queen's University of Belfast, 1994.
- [13] G. A. Hamill, H. T. Johnston, and D. P. Stewart, "Propeller wash scour near quay walls," *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, vol. 125, no. 4, pp. 170-175, 1999.
- [14] M. Wei and Y. M. Chiew, "Influence of toe clearance on propeller scour around an open-type quay," *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 143, no. 7, p. 04017012, 2017.
- [15] Yew, W. T., Hashim, R., Ng, K. C., (2017). "Experimental Investigation of Scour Induced by Twin-Propeller Wash", *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 143 (4): 04017006.
- [16] A. Mujal-Colilles, X. Gironella, A. J. C. Crespo, and A. Sanchez-Arcilla, "Study of the bed velocity induced by twin propellers," *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, vol. 143, no. 5, p. 04017013, 2017.
- [17] Y. Cui, W. H. Lam, Z. C. Ong, L. Ling, C. L. Siow, D. Robinson, and G. Hamill, "Experimental scours by impinging twin-propeller jets at quay wall," *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 8, no. 11, p. 872, 2020.
- [18] T. Llull, A. Mujal-Colilles, and X. Gironella, "Twin propeller time-dependent scouring processes. Physical experiments," *Ocean Engineering*, vol. 236, p. 109461, 2021.
- [19] G. Curulli, T. Llull, N. Penna, A. Mujal-Colilles, X. Gironella, A. Sanchez-Arcilla, and R. Gaudio, "Relationship between eroded volume and main scour hole dimensions near quay walls caused by internal counter-rotating twin-propellers," *Ocean Engineering*, vol. 259, p. 111744, 2022.
- [20] G. A. Hamill, "Characteristics of the Screw Wash of Manoeuvring Ship and the Resulting Bed Scour," Ph.D. dissertation, Queen's University of Belfast, Northern Ireland, UK, 1987.
- [21] R. İ. Tan and Y. Yüksel, "Seabed scour induced by a propeller jet," *Ocean Engineering*, vol. 160, pp. 132-142, 2018.



Research Article

Development and Evaluation of a Design Framework for Preparing Infographic Forms for Scholarly Publications

Daha Orhan¹ *, Serkan Yıldırım²

¹ Department of Computer Technologies, Pasinler Vocational School, Atatürk University, Erzurum, Türkiye

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

* Correspondence: tahaorhan@atauni.edu.tr

Received: 6 April 2024; Accepted: 16 May 2024; Published: 30 June 2024

Abstract: In this study, it is aimed to develop a design framework for the preparation of info graphics for scholarly articles and to evaluate the developed design framework in accordance with expert opinions. Qualitative research method was preferred in the study and the applications were evaluated as cases. In this direction, the study was carried out with the formative research technique, which is a derivative of design-based research. The study group was determined according to the typical case sampling method, purposive sampling method. During the course of the study, two interview forms were developed and implemented on the basis of current literature on the topic, and expert opinions. The data were analyzed by content analysis method. As a result of this study, it has been shown that infographics are an effective material for presenting academic publications. Findings have suggested that infographic designs provide various advantages for authors, readers, publishers and publications per se. Therefore, it is considered that the frequency of using such materials in scholarly publications will increase and academicians with a visual design understanding will have more positive perspective on infographics.

Keywords: Infographics, visual literacy, creating infographics, qualitative research, presentation of academic data with infographics.

Araştırma Makalesi

Akademik Yayınlar Ait Bilgi Grafik Formlarının Hazırlanmasına Yönelik Bir Tasarım Çerçevesinin Geliştirilmesi ve Değerlendirilmesi

Öz: Bu çalışmada bilimsel amaçla hazırlanmış akademik yayınların bilgi grafik formunda hazırlanmasına yönelik bir tasarım çerçevesinin geliştirilmesi ve geliştirilen tasarım çerçevesinin uzman görüşleri doğrultusunda değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada nitel araştırma yöntemi tercih edilmiş ve uygulamalar durum olarak değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda çalışma, tasarım tabanlı araştırmanın türevlerinden olan biçimlendirici araştırma tekniği ile sürdürülmüştür. Çalışma gurubu, amaçlı örnekleme yöntemlerinden tipik durum örneklemesine göre belirlenmiştir. Çalışma sürecinde alanyazın ve uzman görüşleri temel alınarak iki adet görüşme formu geliştirilmiş ve uygulanmıştır. Veriler içerik analizi yöntemi ile analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda bilgi grafiklerinin akademik yayınları sunmak için etkili bir materyal olduğu ortaya konmuştur. Bulgular ışığında bilgi grafik tasarımlarının yazar, okuyucu, yayıncı ve yayın açısından çeşitli avantajlar sağladığı belirlenmiştir. Bununla birlikte gelecekte akademik yayınlara yönelik bu tarz materyallerin kullanım sıklığının artacağı ve görsel tasarım anlayışına sahip akademisyenlerin bilgi grafiklere yönelik daha olumlu bir bakış açılarının olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Akademik verilerin bilgi grafiklerle sunumu, bilgi grafikler, bilgi grafik tasarlama, görsel okuryazarlık, nitel araştırma.

Citation: D. Orhan and S. Yıldırım, "Development and Evaluation of a Design Framework for Preparing Infographic Forms for Scholarly Publications", *Journal of Studies in Advanced Technologies*, vol. 2, no. 1, pp. 42-63, Jun 2024, doi: 10.63063/jsat.1466174

1. Introduction

We can say that in today's world, where information is constantly growing, it is as much important to perceive the information in the easiest way as to reach it the fastest. In such a situation, it may be necessary to filter the existing information, that is, remove redundant or unwanted information from the existing information. Nowadays, the use of visuals is becoming widespread, which can transfer several information at once more easily, alongside text-based information sources. Visual symbols taking place in individuals' learning activities provide positive effects on their learning, development and culture levels [1]. Visuals are expressed as components that positively affect readers' learning motivation [2].

It can be said that the sources of information that are boring and difficult to understand, that is, low in readability, need to be enriched. Due to this situation, many studies have been carried out in different fields aimed at understanding the researches and at increasing the frequency of reading [3]. On the other hand, it is stated that in order for academic publications prepared for scientific purposes to reach their aim of writing, all sections (abstract, main text, tables, etc.) should be comprehended by the readers in a good way and the articles focused on this topic should be arranged in such a manner so as to be understandable and readable [4]. Additionally, when scholarly articles are evaluated according to the criteria such as teaching, explaining, and disseminating the subject matter, the use of pictures, signs, tables, and so on is stated to be an indispensable practice in these publications [5]. Besides, Hart [6] stated that human are vision intense creatures and that visuals can arouse feelings that dull word groups cannot.

Infographics are defined as visualization of complex information in a way that the audience can easily understand and consume quickly [7]. It is stated that the analysis of inter-related information, and the easy comprehension of the information can be provided through infographics [7]. In other words, infographics can be explained as the transmittance of information in an easily understandable form with the help of visuals and graphics, freeing it from complexity, annoyance and incomprehensibility.

It is clear that there are many scholarly publications today and these publications are accessible in a variety of ways and media. Academic publications are generally published in scientific journals and can be reviewed by scientists who have access to these journals. In addition, academic publications prepared as text-based are long and time-consuming texts to read. The fact that articles that only appeal to academics and which require long periods of time to read and to elicit the core idea are not presented in a way to appeal to a larger mass of audience can be seen as a problem in terms of the spread of science. Infographics can be an effective solution to eliminate this problem and to ensure that academic publications are quickly perceived by also the general reader audience. In this context, the idea of benefiting from the effective nature of infographics by bringing a different perspective to the presentation of academic publications has emerged. In this study, through the potentials of ensuring the presentation of academic publications in a form that can be examined quickly, being able to appeal to a larger reader audience, and making academic publications more visible; it is aimed to reveal the views of academicians over conversion of academic publications into an infographics form. At this point, the effects of presentation of academic publications in the form of infographics on the intelligibility of the publication, sharing, access, retention of information it bears and other such qualities of the publication was kept on focus.

2. Literature Review

2.1. Visual Literacy

The perception of visuals used in infographics and the ability to discover what they mean and for what purpose they are used depends on the level of visual literacy of the reader [8]. The concept of visual reading, first dealt with by Jhon Debes in 1968, is defined as a group of learning skills that individuals can develop along with other experiences of seeing and other perceptions (Debes, 1968. Act. [9]). Moore [10] stated that the concept of visual literacy is developed from ideas adopted from many other fields such as philosophy, art, linguistics, perceptual psychology, and imagination theory and communication research. Çelik [11] defined the concept of visual literacy as the ability of an individual, by taking advantage of the innovations brought by the informatics, to interpret the messages given through visuals, and to produce new messages with visuals. To Elkins [12], the concept of visual literacy is if they understand how people perceive objects, what they see, and what they learn from them. This concept, which began to manifest itself in the mid-1960s and shaped in

by various definitions, commonly focused on the concepts of understanding, and explaining [13]. From this point of view, it is possible to define the concept of visual literacy as a communication process, with the aid of information technologies, in which the individual is both a recipient and a source.

In order to become individuals with visual literacy skills that involve complex processes, guidance is needed and this skill should be evaluated as an educational process [9]. As with written texts, visual messages also have a designer and designers have created their messages for a readership [14]. In order to design products that are suitable for their purpose, it is important to know some design principles along with visual literacy skills. The prominent of these principles are: information processing theory, gestalt theory and dual-coding theory. It is thought that individuals with this knowledge will have better skills in reading and designing infographics.

2.2. Information Processing Theory

When the model of Atkinson and Shiffrin [15], which are among the pioneers of the theory, is examined, three types of memory are mentioned, which are sensory memory, short-term memory, and long-term memory. In addition, Schunk [16], by stating that cognitive processes in the theory of information processing are a dimension that affects the learning of the individual, put forward the elements of cognitive process as attention, perception, storage, coding and retrieval.

2.3. Gestalt Theory

Gestalt, a German word translates as form, shape, or configuration, was first introduced in 1886 [17]. Senemoğlu [18] stated that Gestalt psychologists deal with perception and problem solving processes and in addition, they base their views on learning upon the studies they conducted on perception. According to Smith-Gratto and Fisher [19], the Laws of Perception developed by Gestalt psychologists can help students interpret and remember the materials presented to them. The most important issue in perception is that the human mind tends to perceive the simplest ones first [20]. Altun and Çolak [21] grouped these perception laws under five topics; Figure-Ground relationship (aka Multi-stability), Similarity (aka Invariance), Proximity (aka Emergence), Closure (aka Reification), and Continuation.

2.4. Dual-Coding Theory

The theory was hypothesized by Allan Paivio, one of the founders of the theory who approached behaviorism in a critical way in the 1960s. According to Jared, Poh and Paivio [22], Dual-coding theory, unlike cognitive theories that operate on a single channel, is hypothesized aiming at stimulating various propositions, semantic representations, and explanations related to computational processes, and more abstract mental representations of suchlike. According to dual coding theory, it is stated that individuals have separate information processing systems for visual and verbal information [23]. In addition, Sezgin [24] states that the subsystems shown as symbolic in dual coding theory are not a fixed and clear system, but a system which is dynamic, and functioning in accordance with the probabilities.

2.5. Infographics

According to Hart [6], infographics aim to show the relations between the elements in a map, to schematically convey the relations between parts of a whole, or to numerically transmit information in a network diagram. Infographics are visual representations of data or information designed to enable the reader to understand and absorb the data or information clearly and quickly [25]. Davidson [26] states that infographics has incorporated art into the stationary world of digital information. Lamb and Johnson [27] expressed infographics as a graphical presentation that helps users visualize the “big picture” of an idea that might otherwise be difficult to comprehend.

Stating that there is no recognized classification of infographics, Dalton and Design [25] has grouped different infographic types under three topics as static, interactive and motion (dynamic by Borucu [28], Topçu Özçelik [29]). Lankow, Ritchie, and Crooks [30] also state that static infographics can be used in some cases as exploratory, or at best be used to describe a topic. The static infographics, which also has a rapid impact on the reader, conveys the information to the reader as a whole, and at once [29]. Krum [31] expresses that the static info graphic type, which does not require a special application or browser extension and is the most suitable format for online sharing, is the simplest and most common infographic type in terms of infographic

design. On the other hand, the ability to be created easier and faster compared to the interactive and dynamic ones, and being able to provide visual content for time-sensitive information make static infographics the most suitable choice for many applications [30].

Dynamic infographics are generally used to convey invariant information. Since the output is animated or motion, such as a video, it is best for explanation of a topic or subject [30]. As for Interactive infographics are types of which are open to intervention or interaction of the reader and can dynamically respond accordingly as per user needs or actions [8].

An infographic is a claim that conveys its message through visual metaphors, and reasonable selection and arrangement thanks to the original relationships created by the designer [32]. However, the message that the designer wants to convey should not be created in such a way as to cause an image pollution by random use of images or other alternative media formats. In this respect, infographics design should be prepared according to certain rules and attention should be paid to the proper use of visuals. In order to use infographics as an aid in the communication process, when performing designs, it is useful to model the thinking process about text and images as well as the issues on focus [33].

Davidson [26] mentions five features that infographics should have, which are given below.

- A good infographic tells a story or presents an idea.
- Title of the infographic should be striking and appropriate to the content.
- Texts on the infographics should be legible and be in contrast to the background.
- Visuals used in infographics should be clear, relevant and original or copyright free.
- Fonts, shapes and colors used in infographics should be consistent throughout the whole design.

Krauss [34] mentioned five simple steps to be followed in designing infographics:

- Step one: Getting an idea,
- Step two: Drafting,
- Step three: Collecting data,
- Step four: Developing evidence of concepts,
- Step five: Placing elements in designs.

3. Method

3.1. Study Group

The study group of this study was determined according to the typical case sampling method, which is one of purposeful sampling methods. Purposeful sampling focuses on information-rich situations that will shed light on the questions sought [35]. While Yıldırım and Şimşek [4] express that purposeful sampling methods would be useful in revealing and clarifying cases and events, they define typical case sampling as the studying of researcher on the most typical one or more of a series of cases for introducing an innovation or novelty. In accordance with the purpose of the research, the researcher can determine the clusters, groups and units as he deems appropriate [36]. In this respect, the study group consists of 8 academicians employed at Atatürk University, which has been selected by considering the expertness of those who have conducted courses or researches in the fields of visual learning, material development and multimedia design. Demographic information of academics is given in Table-1. In the A1 stage, 7 academicians were included in the study process and in the A2 stage, the study was carried out with the whole study group.

Table 1: Participants' Academic Backgrounds

Title	Male	Female	Graduated Program	The Number of Participants
Prof. Dr.	1		Faculty of Economics and Administrative Sciences	1
Assoc. Dr.	1		Faculty of Education	1
Assoc. Dr.	1		Faculty of Economics and Administrative Sciences	1
Dr. Lecturer	2	1	Faculty of Education	3
Dr. Lecturer		1	Faculty of Communication	1
Lecturer		1	Faculty of Education	1
Total				8

3.2. Data Collection Tools

The data sources of this study are infographics and semi-structured interview forms prepared during the study process. Semi-structured interview forms have such a structure that allowed the interview questions prepared by the researcher, by giving some flexibility to the subjects during the interview, to be discussed and rearranged before being presented [37]. In this context, semi-structured interview form (IF 1) used in A1 stage was prepared with 9 questions and is intended to elicit expert opinions on designing an academic publication as an infographic. The semi-structured interview form (IF 2), consisting of 8 questions, used in A2 stage was prepared for evaluation of the design framework created in accordance with the findings and results of IF 1 as well as the information reported in the literature, and of the infographics prepared using this framework by field experts.

3.3. Analysis of Data

The data obtained in the study were analyzed by content analysis method. Yıldırım and Şimşek [4] explained main purpose of a content analysis as obtaining concepts and data that could explain the collected data. Open-ended questions are used to obtain as much detail as possible and make it easier for informers to express their thoughts more freely by enabling them to respond from their own reference frameworks rather than being limited to the structure of pre-arranged questions [38]. The data obtained by semi-structured interview forms (GF 1, GF 2) containing open-ended questions were analyzed by content analysis. The meaningful fragmentation by reviewing the set of textualized notes and maintaining the integrity of the relationships between the parts thereof constitutes the essence of coding analysis [39]. Each data was tagged in the computer environment by the researcher and basic code structures were created. The existing codes should then be put under categories that form a pattern; and categories should be collected under themes in a way that they will be related to each other [40]. In this respect, the interrelated codes were categorized. With the answers given to the questions, the data obtained were conceptualized to create appropriate themes that we could establish more comprehensible and open relationships. In this context, in the A1 stage of the study, 50 pages of data were obtained by transcribing 165 minutes of audio recording, and in stage A2, 72 pages of data were obtained by transcribing 190 minutes of audio recording, which were then all transferred to a computer.

3.4. Design Framework Development and Implementation Process

Step 1 (Selection of Academic Publication): As the first step of the application process, academic publications, for which infographics can be designed, were tried to be determined. In this respect, three criteria have been taken into consideration in the selection of publications that will form the publication repository. The first of these criteria is that the studies are conducted in different fields, the second is that the studies are conducted with different research designs, and the third is to include the publications of the experts in the study group. The implementation process for the selection of academic publications to be converted into infographics is schematized in Figure 1. According to the determined criteria, a total of 28 publications were randomly selected and added to the publication repository. The aim of these criteria was to ensure diversity in the publications repository. According to the results of the A1 stage, during which participatory views on infographics production were focused on and necessary criteria for the production of infographics were

determined, academic publications conducted using procedures that base on quantitative methods were decided to be selected. While selecting the mentioned publications, the participants' own publications were included in order to be able to get in-depth information, and to present their opinions on preparation of their publications in a different form. Moreover, a qualitative study was decided to be converted into an infographic form in order to constitute a control case. The aim of stage A1 of this study was to determine which of the types of academic publications would be more appropriate to be converted into infographics. Thus, according to expert opinions, the publications in the publication repository that would be more appropriate to convert into infographics were determined. Each publication in the publication repository was numbered and tagged. According to the expert opinions, 8 studies were selected and the process of determining the publications to be converted into infographics was completed.

Step 2 (Infographics Generation): Publications in the academic publication repository have been converted into infographics by taking into consideration both the results obtained in the A1 stage which yield the answers to the question of how an academic publication should be converted into infographics, and the material design principles such as shape-ground relationship, similarity law, proximity law, color harmony, meaningfulness, balance, and alignment. At the same time, the literature was utilized for detailed information on infographics. With respect to the findings, among different types of infographics, the static infographics which is considered appropriate for the purpose of the study were used. In infographic design process, two different form design concepts were implemented, which are called short forms and long forms. Short form is a kind of infographics that includes the basic parts of academic publications such as title, method, findings, discussion and conclusion. Long form, on the other hand, is a form that contains all parts of academic publications and contains more detailed information than short form. In this regard, of 8 academic publications, randomly selected 4 were produced in short form and the remaining 4 were produced in both short and long forms. As a result, a total of 12 infographics were designed for 8 academic papers selected for use in the study. The designs were evaluated by 2 field experts holding a PhD degree and having experience in infographic design. The infographics were rearranged according to the feedback submitted by the experts and finalized by making the necessary revisions. When producing infographics, piktochart (<https://piktochart.com/>) platform was used. This platform has been preferred because it includes simple and advanced options that every researcher who wants to see their works as infographics. While designing infographics for academic publications, firstly the steps and characteristics of infographics preparation have been thoroughly examined in general terms. The common and non-common items of these steps and characteristics were simplified and prepared as a list. Then, the A1 stage was implemented and the criteria which to be peculiarly considered for academic publications in the infographics design were determined. These criteria were prepared as a list and were suitably incorporated into the infographics preparation steps. The theory of information processing, Gestalt theory and binary coding theory, which were previously mentioned in the theoretical framework section, were implemented in order to produce effective products at the design phase. At the application phase, in addition to above theories, visual design and message design principles reported in the literature have been scrutinized and observed to ensure gains and make general corrections in designs. In this respect, a new design framework was tried to be created by identifying the step suggestions which are thought to be useful to follow in the production of infographics. The procedures and the steps taken accordingly are determined to be as follows:

1. Determining the objective of the academic publication that is intended to be converted into an infographic as the idea to be presented through the infographic, in recognition of that a good infographic should tell a story or convey an idea,

2. Evaluating the level of conformity of the design and content of the academic publication to be converted into an infographic, in the light of the findings obtained in A1 stage,

3. Drafting the idea to be presented in the infographic, and listing the points that should be highlighted by reading, repeatedly and in detail, the academic publication to be converted into infographic,

- Establishing communication with the author where necessary in relation to what to point out in the academic publication to be converted into infographic, in the light of the findings obtained in A1 stage,

4. For the sake of being in compliance with the principle of defining the audience that gives importance to the subject, choosing a common design structure for academics in the scientific community and practitioners interested in the subject of the academic publication,

5. For the purpose of ensuring that the title of the infographic is striking and appropriate to the content, collecting data and developing evidence of concepts; copying the title of the academic publication as it is, and passing it onto the infographic, in a text-based and emphasized manner,

6. With respect to placement of items in designs, to which options or changes to consider for making decisions, and to what issues or topics the readers are interested in; designing the sections of the infographic to be prepared for the academic publications in accordance with the suitability levels, in the light of the findings obtained in A1 stage,

7. With respect to the way of thinking that should be acted on to organize the collected data, the best way to display syntheses in the infographics, and which simulation, visualization, and/or design to be implemented in order to consistently present the whole subject to the audience; considering the design principles pointed out by the experts, in the light of the findings obtained in A1 stage,

8. With respect to the readability of texts on the infographics and their being in contrast with the background; implementation of:

- design principles for instructional messages by [41],
- the finding by [42] that short and left-aligned text are highly readable,
- reflecting the focal points according to the attention component of cognitive processes in the information processing theory,
- designing appropriate visuals according to the retrieving component of the cognitive processes in the information processing theory and adding them to the infographic,
- designing symbols according to shape-ground relationship of the laws of perception specified in Gestalt theory and adding them to infographics,
- presenting in groups the visuals and texts that express the same subject according to the law of similarity of laws of perception specified in the Gestalt theory and arranging the relations within the groups according to the law of proximity,
- reflecting the elements in a certain order which were vertically presented in groups according to the continuity law of perception laws specified in Gestalt theory,
- the simultaneous use of visual elements and text-based expressions to support verbal and non-verbal systems presumed to exist in the human mind as mentioned in the binary coding theory,

9. With respect to the visuals used in the infographics being clear, relevant and original or copyright free; using visuals that are readily present on the platform where infographics were prepared, or that are uploaded by the researcher,

10. For the realization of the principle that requires fonts, shapes, and colors used in infographics be consistent throughout the whole design; creating the designs using ready templates offered on the platform where infographics were prepared,

11. Reviewing and finalizing the completed designs with the necessary arrangements.

In addition, the participant opinions obtained in A1 stage regarding the basic characteristics of the infographics were taken into consideration during the preparation of the infographics. At this point, the process of converting was started with the selection of remarkable designs that are appropriate to the content and type of the academic publication from among the infographic templates. However, the information presented in the academic publication has been summarized and organized in such a way as to enable readers to quickly review it. In addition, in order to increase their persistence in mind, visuals that are capable of evoking the same concept to anyone for terms used in academic publications were attempted to be designed and incorporated into the infographics. In order to increase the readability of the infographics, the designs were presented in a

certain flow and so as to reflect the whole academic publication. Subsequently, designs with intensive information was avoided due to the difficulties that might be experienced in the conversion of academic publications into infographics, on the other hand gaining experience was aimed by having designed infographics on different subjects.

In relation to the conversion structure of infographics specific to academic publications, in all of the infographics designed in vertical form, the title section is located at the very top section. However, in the light of the findings obtained in A1 stage; it was decided that the objective section is reflected concisely and the introduction section is reflected in brief through infographics. On the other hand, since the idea that is prominent in the infographic preparation steps is determined to be the objective of the academic publication, and as the objective statement in academic publications is generally contained in the introduction section, the objective statement which is supported by appropriate visuals were placed just below the title section as text-based. In the continuation of the designs; methods, findings, results and discussion sections are presented through infographics having the level they were represented in the academic publication. In addition to the access address of the academic publication, publishing information and author details were put in an appropriate place in small size near the title section. In some designs, however, sections such as the sample, scale development process, etc. that are desired to be transferred are segmented and reflected on the infographics by communicating with the author.

After the completion of the designs, the aspects of infographics mentioned in the design concept such as color harmony, consistency, concept relations and shape-ground relationship were reviewed according to the findings obtained in A1 stage. Nevertheless, final forms of the designs have been revealed by making the necessary arrangements in the infographics according to the opinions received from experts.

4. Findings

In the study, it is aimed to develop a design framework for the preparation of infographic forms for academic publications prepared for scientific purposes and to evaluate the developed design framework in line with expert opinions. For this purpose, the study was carried out as a two-stage process.

Expert Opinions on the Development of a Design Framework for the Preparation of Infographic Forms for Academic Publications (Stage A1)

In the first stage of the study, data was collected as a result of interviews with experts for the preparation of academic publications in infographic form. Some of the data collected from the experts at stage A1 are as follows:

- - "Giving more messages in less space." (Exp7)
- - "I think it will enable me to make inferences." (Exp4)
- - "For speed reading, of course comprehensibility." (Exp1)
- - "An infographic prepared by a novice may also have distracting elements." (Exp2)

The findings are divided into three themes: key features of knowledge graphs, conversion challenges, and conversion structure. These themes are presented as categories and codes in Table 2.

Table 2. Converting Academic Publications into Infographics

Theme	Category	Code
Key features	Structural features	Knowledge transfer skill
		Remarkable
		Motivating
		Summarizer
		Personal preference
	Instructional structure	Fast reviewability
		Didactic effect
		Legibility
		Memorability
		Reflecting the whole
Conversion challenges	Structure of the content	Concept confusion

	Not all content can be visualized
	Knowledge intensive
Transfer	Bad design
	Wrong transmission
	Experience
	The process of preparing an infographic
Publication type	Quantitative
	Mixed
	Qualitative
	Content and space
Conversion structure	Title
	Method
	Findings
	Conclusion and discussion
	Access address
	Summary
	Purpose
	Research question
	Key words
	Introduction
Design approach	References
	Text design
	Color matching
	Aperture
	Consistency
	Fluency
	Simplicity
	Figure-ground relationship
	Concept relationship
	Structured form
Positional proximity	
Assimilation	

When the findings are analyzed, the opinions of the participants on the creation of infographics are grouped under three themes. The structural features category of the theme identified as key features focused on the impact the infographic would have on readers at first glance. The instructional structure category focused on the effect of the information obtained from the infographic on the reader. In the theme of conversion challenges, the focus was on the visualization of information and the knowledge of the designer. Finally, when we examined the theme regarding the conversion structure, data were obtained on the research method of the publication to be transformed, which sections should be included in the academic publication to be transformed, and the person who will make the conversion decides which design approach to determine.

Evaluation of Infographic Designs Prepared in Line with the Design Framework (A2 Stage)

In line with the main purpose of the study, academic publications were prepared in the form of infographics. Some of the data collected from experts at stage A2 are as follows:

- - "Of course, this is not valid for everyone, but visualization arouses a little more interest, in other words, it makes it more memorable, I think so, and that's why I think I would prefer it more." (Exp8)
- - "I would like to see it, I mean, it attracts more attention, faster, to a wider audience." (Exp3)
- - "For the reader, it is really readable, it is catchy, it is remarkable..." (Exp5)
- - "I would like to see the discussion and conclusion section the most, I mean, okay, something has been done, what has been found or how it has been compared in the literature. I would most like to see that section in detail." (Exp8)

In the process of preparing the infographics, attention was paid to the issues mentioned in the literature and the findings obtained from the first phase of the study. Additionally, the themes, categories and codes obtained from stage a2 are included in Table-3.

Table 3. Academic Publications Prepared in Infographic Form

Theme: Reason for preference	
Category: Infographics	Category: Articles
Remarkable	Examine how information is supported
Memorability	To be able to refer to
Reflecting the whole	Read in detail
Fast and easy comprehension	
Summarizer	
Visual learning disposition	
Theme: Potential advantages and limitations of infographic designs	
Category: Author	Category: Reader
Request	Fast review
Seeing relationships as a whole	Provides convenience
Awareness of the publication	Memorability
Experience	Reduces cognitive load
Cost	Superficial presentation of information
Category: Publisher	Category: Publication
Staff need	Readable
Workload	Reflects the whole
Copyright	It appeals to everyone
Potential benefits	Benefit to society
Availability of the publication	Understandability of the broadcast
They have tendencies	Redirects to article
Publication evaluation process	
Theme: Design recommendations for infographics	
Category: Recommendations for the amount of information	Category: Recommendations for transfer
According to the article	Standard must be ensured
Department based	Important places should be transferred
Short form	The meaning should not be lost
Succinct	Must comply with design principles
Long form	Professional people should design
Category: Recommendations for multimedia assets and infographic types	Advanced design tools
Social media links	Writer and designer should work together
Environment	Category: Importance
Audio and video	Future uses
This situation is enough	
Animation	
Interactive	

Infographics were designed in the light of the information obtained in the first stage of the research and the information obtained from the literature. These infographics were presented to experts and evaluated. The information obtained in this direction was collected under three themes. The first of these themes, the reason for preference, was about the situations in which experts choose infographics or academic publications. In the second theme, the potential advantages and disadvantages of infographics are discussed in terms of author, reader, publisher and publication. Finally, design suggestions for infographics were evaluated.

5. Results and Discussion

5.1. Results Related to Developing a Design Framework for The Preparation of Infographic Forms for Academic Publications (Stage A1)

The results obtained with regards to converting the academic articles prepared for scientific purposes into infographics form are grouped mainly under three categories, which are; key features of infographics, the difficulties/challenges in converting to infographics, and the conversion structure of infographics.

5.1.1. Key Features of Infographics

The basic characteristics of infographics allow for academic publications to be presented in a new form. In this respect, Ay [5] stated that the order in which the subject matter is presented, its emphasis, signs and tables that have been used all of great importance in scientific publications prepared to convey, teach or disseminate a subject. Besides, Beegel [43] emphasized that the power of infographics is due to that they can convey the intended message or information in a short and friendly manner; so much so that rather than a thick book of 50 pages, a three- or four-page infographic (with a few striking sentences) can convey important data. Also, Olfert et al [44] concluded that statistical data were easier to understand with infographics. This situation supports the opinion that academic publications should be enriched and presented with visual supplements such as infographics. In this way, high level ability to transfer information, attention attractiveness and its positive motivation for reading, and offering quick reviewing through presentation of summative information are emphasized as the structural features that are prominent for the use of infographics. This situation may be due to the acceptance of the ability of infographics to transfer persistent information with the help of visualizations, without taking up readers' much time. In addition, effectiveness provided by the use of infographics, such as ability to quickly review articles that might otherwise require long review times, noticing the important points at a glance and assessing the relevance of the article's subject to readers' own focus may have led to this situation. The presentation of these materials with the support of visual elements can also be associated with academic publications being more remarkable and freed from being boring. Fleming and Levie [41] stated that making changes in the organization and presentation of the content would increase interest and motivation by attracting the learner's attention and promote their willingness to learn. Similarly, Duman [45] stated that the use of materials supported by written and visual elements will make the subject more interesting and that the subject will be kept from being boring.

It has been concluded that instructional contribution of infographics is profound in terms of acquiring knowledge presented in academic publications. This can be considered to be related to the basic features of the infographics, such as the fact that the content of the articles transmitted by the infographics is more readable than their presentation in original form and that the information related to the content is reflected as a whole at once. It can also be said that the information conveyed through infographics is kept in mind for a longer time and the perception that these materials supported by visual elements has a high instructive effect. According to the study by Turck et al [46], readers have concluded that the presented data allows faster and more efficient reading with infographics than text-only forms, and also that infographics are more likely to facilitate the long-term retention of data. Smiciklas [7] stated that infographics provide benefits for learning, retaining and remembering information. In parallel with these results, it was determined that teaching activities carried out with incorporation of visual materials had a more significant effect on students' achievement and on retention of their learning compared to traditional teaching activities [47]. Besides, Akengin and İbrahimoglu [48] stated that using visual materials can positively affect students' academic success.

5.1.2. Challenges In Conversion

There are some challenges in converting academic articles prepared for scientific purposes into the form of infographics. These conversional challenges come in two categories: the structure of the content of the academic article and the transference.

While converting academic articles prepared for scientific purposes into infographics form, it is concluded that the difficulty of process is dependent on the content of the article. The difficulties that may arise at this point may be due to the extensive information contained in academic articles or due to that not all information contained is suitable for conversion. However, it can also be said that a situation of contradiction with respect to a failure of retaining the relationship between the visualized information and actual intended expression creates a challenge that in turn requires the conversion process to be carried out more carefully. Similarly, Dursun and Odabaşı [49] stated that the designers, misinterpreting the support of multimedia elements to the instructive content, often make users exposed to products having poor-quality designs. When we consider the issue in this respect, in this study, it turns out that in the results obtained in A1 stage, with regard to the conversion challenges, transference is as important as the structure of the content. This may be related to the fact that the level of the designer having a certain graphic design experience will have an impact on infographics preparation process, and that improper designs can lead to incorrect transfer of content. At the

same time, the designer's awareness of the effective use of design principles to uncover the focal point of the message to be conveyed may be due to the idea that it can eliminate the negativity with regards to transmission. In parallel with this result, Ashman and Patterson [50] mentioned the difficulties in producing infographics, as well as stating how infographics, computer and design skills can greatly help in ensuring the clarity of the message.

The basic structure of the infographics in general and the challenges in conversion were tried to be conveyed in line with the opinions of the participants. The criteria, as the conversion structure, that should be taken into consideration for presenting academic publications in infographic form will be examined in accordance with participants' opinions.

5.1.3. Conversion Structure

In conversion of academic articles into infographics, a certain conversion structure should be employed. In this regard, the issue should be dealt in three categories: publication type, publication chapters and sense of design. At this point, while preparing infographics, it is concluded that the designers should effectively implement the design principles regarding, for example, text design, color harmony, clarity, consistency, fluency, shape-ground relationship and apply these to their designs. The acceptance of the use of infographics in the presentation of academic publications may be due to the fact that the effective use of these design principles is able to yield positive results. The performing of shape-ground placement in the most obvious level is very effective in terms of perception of the content [41]. In parallel with this result, individuals who use materials prepared according to design principles to get information on a certain subject were found to be more successful than individuals who use traditional approaches [51]. Similarly, short and left-aligned texts were found to be highly readable while long and justified paragraphs were intermediate [42]. Additionally, the evaluation and revision of infographic designs by different experts is a general conclusion emphasized in the literature in order for the production of effective infographics and for elimination or minimization of design errors that might be overlooked. This may be attributed to the potential contribution of different perspectives to infographic design. It is also a concern that the designer may experience mental fatigue by working continuously. Producing infographics by making necessary improvements and revisions represents a much more readable, user-friendly and non-threatening view of performed work, allowing for quick interpretation of results [50].

In terms of suitability level of academic publications for being converted into infographics according to their research methodologies, publications for researches conducted with quantitative research methodologies were found to be more suitable for conversion process. This situation may be due to the fact that the rich numerical data presented in quantitative patterns can be more easily reflected in graphs. In this respect, when the literature is reviewed, only one study dealt with the use of infographics for academic publications was spotted. Ashman and Patterson [50], in their study focused on a certain field, aimed to present the academic publications prepared in quantitative design in infographics form, however, they did not specify the reason for choosing quantitative pattern. In addition, it is seen that several information containing numerical data, from survey results to population data, is presented using graphs or SmartArt [52]. This can be attributed to the fact that sections of the quantitative research, such as Findings, are presented more visually.

During the literature review no studies aimed at reflecting parts of academic publications in infographics form were spotted due to the fact that studies similar to the structure of this study is limited. In the A1 stage of the study, it was concluded that the title, and the sections, i.e. methods, findings, results and discussion, of the academic publication are prominent parts that should be present in the infographics. This can be attributed to the idea of conveying the important points of the academic publication in the infographics and encouraging, where necessary, the reader to examine the original version of the publication.

5.2. Results Related to Evaluation of Infographic Designs Prepared According to The Developed Design Framework (Stage A2).

The results obtained with regards to the academic articles prepared in infographics form are grouped mainly under three categories, being the reason for preference, the effects of infographics, and the formal structure.

5.2.1. Results Related to the Preference of Infographics or Articles

At this stage of the study, two different situations were considered. First, it was examined why experts prefer infographics or academic publications. Secondly, opinions on designing long or short infographic forms were discussed. Two main factors have emerged in general in terms of choosing the infographic form for the presentation of academic publication. These two factors that determined the choice of infographics are predisposition to visual learning and characteristics of infographics.

According to the results of the study, participants prefer infographics or original forms of the articles according to certain conditions. The prominent characteristics that come to the fore in terms of the preference for viewing and analyzing information as infographics are inferred to be persistence in mind, noticeability, quick and easy comprehension, seeing the whole structure in glance, and summation of extensive information. This may be due to the presentation of information in a holistic perspective and logical framework by using text-based and visual elements in combination thanks to the design structure of infographics. In addition, the fact that the articles prepared as long texts can be examined in a shorter form, requiring less reading time and presented to the reader by transferring information over both verbal and non-verbal channels might have affected this situation. However, the idea that infographics can provide both a broad overview and the ability to summarize large information owing to their short structure might have had an influence, too. In parallel to this result, Turck et al [46] stated that when the participants had been presented infographics and text-only data, almost all of the participants preferred the data presented in the form of infographics and he associated this situation with participants' preference of efficient reading and with the idea of better retention of information provided through infographics. Similarly, Donofrio [53] states that infographics have a striking structure and are one of the best and most widely used tactics to draw attention to the information to be conveyed. In addition, Vanichvasin [54] states that infographics enable the presentation of catchy content and that the content presented in this way provides quick comprehension and is easy to understand, as well as increase the retention skills of individuals. On the other hand, Martin et al [55] showed that, in the field of medicine, the participants preferred the abstracts presented as infographics to those that are text-only.

Another reason for the preference of infographics in reading academic publications is that readers are more apt to visual learning methods. Participants emphasize that they enjoy reading infographics and are more interested in such content. This may be due to the information transmission power of the visual components of the infographics. This may also be a result of the fact that readers prefer to learn, with less effort, through visuals that are more memorable than texts. In addition, having had the opportunity to examine more academic publications, had access to more important information in the same unit of time might have enabled them to prefer infographics and enjoy these contents. Likewise, Siricharoen [56], stated that infographics can quickly transfer the intended message through a limited area. Furthermore, since the information contained in the infographics, in comparison to the whole content, is more precious and important to the readers, it can be said to be this that makes infographics enjoying [56].

The participants whose opinions were received stated that they were pleased to review their publications through infographics. In other words, the authors of the academic articles were concluded to have been satisfied with their publications being presented in the infographics form. While this may be attributed to the fact that participants had conducted studies on this visual learning, it was revealed that the participants were, in general, willing with regard to presentation of academic publications in infographic form, and would prefer reviewing publications in this form. Furthermore, the fact that their publications become more easily accessible or that they can be distributed more effectively may explain their satisfaction. Similarly, Yekta [57] concluded that the reader responses were positive in the study where he examined the use of infographics on websites.

When academic publications are presented with infographics, the preferences of the participants are primarily for infographics. This may be due to personal interests of the participants and the fact that the presentations supported by visuals are more remarkable. Similarly, Soydaş and Yılmaz [58] have revealed that digital stories prepared using visuals were 4 to 5 times more preferred compared to written texts.

There are cases in which participants prefer to use the original presentations of academic publications. With respect to situations that involve the use of articles in their own research, reading in more detail, and citing the publication being examined, the original forms were concluded to be preferred. This can be

explained by the desire to receive in-depth information. Moreover, the conventions of scientific writing and citing rules and styles may have caused this view. On the other hand, the fact that academic article readers do not want to go beyond the forms they are accustomed to in relation to their age status can be seen as one of the possible reasons for this situation. Accordingly, Turck et al [46], in their study comparing the preference of text-only data or infographics according to age groups, concluded that the preference of infographics was lower in the 70-year and older group compared to the other groups. Similarly, Young and Hinesly [59] put forth that traditional text presentation approaches are necessary for details, in their studies which was aimed at testing whether information transmitted through infographics provides superior results in terms of user preferences, comprehension, and reader efficiency compared to a text format.

5.2.2. Results with Regard to Design Recommendations of Infographics

At this stage of the study, results were obtained for the amount of information that should be present on an infographic, the multimedia elements in which they can be supported, and the types of infographics as well as recommendations in terms of transmission of infographics. Regarding the suggestions on the amount of information that should be present on an infographic, it has been concluded that there may be differences depending on the article and that the amount of information may also vary depending on the nature of the article. This situation can be associated with the structure of the process carried out in academic studies and the results obtained from these processes. In addition, among short and long forms of infographics, the short form, in a general sense, that contains the basic information succinctly was found to be more effective. This may be due to the fact that infographics are generally seen as materials that provide a general idea about the subject at first glance. In addition, the idea that the request for more detailed information can be met with the original form of the article may have contributed to this situation. At the same time, due to the nature of infographics, capability of transferring as much information as possible through a limited area can be the focal point of this idea. Supporting this result, in their studies, Meeusah and Tangkijwiat [60] showed that the content of an infographic that was created with a smaller amount of data set was best to understand. Elsen [61] stated in his study that visualization of candidate information booklets with infographics has an important potential and suggested that it would be beneficial to consider the quality and accessibility of the information as well as the amount of information needed to be presented through infographics. Along with these results, instead of designing infographics in two different forms, short or long, separately, suggestions for producing infographics having two different contents, one detailing in different sections (findings, methods, etc.), being for the scientific community and another one being for the practitioners of the results that are obtained from academic publications. In other words, section-based designs of infographics can be created separately for academics and practitioners. Thus, considering the preferences of the target audience, the idea that there will be an increase in the number of views of the publication can be seen as a focal point in the emergence of this result. In this respect, it is inferred that the re-arrangement of step 4 which was given under the design framework proposals created after the A1 stage in accordance with the results obtained in the A2 stage (making separate designs for academicians and practitioners instead of a common design) can help produce more successful designs.

It was concluded that the collaboration of the author and the designer in the conversion of academic publications into infographics would create more effective infographics. This may be related to the fact that it is important to convey the information in the articles and that not to go beyond the point to be emphasized in the article. Also, the idea that the author knows the features of the subject to be conveyed and that the designer has the comprehensive knowledge regarding the use of the design principles may have created the position that the production of effective infographics would be positively affected thereby. In other words, the author's contribution to the designer with respect to the content of the article, and designer's contribution to the author with respect to visualization, attention and the implementation of the design principles in the process of application is deemed to be a crucial collaboration that may have revealed this situation. In this regard, it is inferred that step 3 (collaboration of author and designer) which was given under the design framework proposals created after the A1 stage is affirmed in accordance with the results obtained in the A2 stage. Parallel to this result, Lamb et al. [52] stated that creating their own infographics under the guidance of teachers enables students to create more effective infographics and better learned the dealt information. In addition, Soydaş and Yılmaz [58] stated, in their study, that there are important points to be considered while creating content.

In the A2 stage, it was concluded that the impact levels of the infographics prepared in accordance with the sub-items of the 7th and 8th steps (taking into account the design principles and the theoretical framework pointed out by the experts) given under the design recommendations which were created after the A1 stage were generally high. This can be attributed to the benefit of the theoretical framework to designs. At the same time, the potential advantages of using the remarkable aspects of infographics in the scientific community can be seen as the focal point of this outcome. In this way, the proper use of design principles and the getting the designs shaped by professionals can be considered as an important step in transferring the important points of an academic publication to readers. As a similar conclusion, the colors used in infographics are deemed to be as important and will affect the understanding of the content [60].

It is seen that there are participants' views regarding the careful use of visuals added to the infographic designs and the absence of loss of meaning. While this opinion, in A2, is in line with the step 9 of the suggestions in the design framework created after the A1 stage which suggests the use of texts as they are, in terms of the use of the visuals a result that suggests a limited use has been obtained in A2. This situation can be associated with more than one outcome. The first of these is that since academic publications are prepared for people in the scientific community, the focus of the academic publication may be missed. Secondly, the visuals used in infographics may not contribute to understanding the subject. Third, changes to academic publications may have a negative impact on readers. The fourth one can be considered as moving away from an academic publication that can be benefited from. Aldağ and Sezgin [62], in support of this result, showed that additions and ornaments should be avoided. In their study, Milovanovic and Ivanisevic [63] specifically emphasized that, from a similar perspective, the potential of deception should be prevented by prioritizing the quality of information and honesty, in the infographics used for the marketing.

The results obtained in A2 stage according to the sub-items of step 8 (benefiting from the theoretical framework) given under the design framework created after stage A1 are as follows;

- It has been concluded that the potential advantages of the prepared infographics according to the attention element of cognitive processes addressed in information processing theory are at the highest level. This can be attributed to the elimination of stimuli, present in the introduction section of academic publications, which are outside the focus of the subject, and to highlighting the core information in the infographics. In parallel with this result, Bilginer [64] stated that attention and perception are important for classroom learning and asserted that the cognitive processes constituting the information processing model should be taken into consideration in the learning environment.

- No results could be obtained for perception, coding and storage elements which are related to the individual's previous experiences and internal processes, in the theory of information processing. This situation may be associated with the fact that academic publications, which have been transformed into infographics, are selected from different fields. However, one of the participants expressed that it had been a long time since their study was conducted and opined that the designs aimed for "retrieval" element can be used in the infographic forms.

- The results that suggest that the infographics prepared according to the shape-ground relationship, one of the laws of perception specified in the Gestalt theory, reached their purpose and that the groupings created making use of the similarity law made the subject easier to understand were obtained. This may have originated from the idea that the contents of the chapters can be presented in groups, making it easier to converge on the particular focus. Also, the relations' being arranged according to the law of proximity, within the groups, was accepted by the participants. This can be attributed to the fact that the relationships within the groups create the possibility to be easily observed. Similarly, Koç and Bulut [65] revealed that the shape-ground relationship, similarity law, proximity law and continuity law, which are parts of Gestalt theory, have an effect on map reading and interpretation skills.

- The infographics prepared, by taking into consideration the law of continuity of Gestalt theory, in a vertical direction and representing a certain flow were accepted by all participants. This situation is thought to be caused by the habit of reading academic publications in a certain order. In addition, it may be associated with the presentation of the chapters in a certain order that provides the opportunity to explore the publication fluently by arousing curiosity on the reader.

- As mentioned in the dual coding theory, the use of visual elements and text-based expressions to support verbal and non-verbal systems that are assumed to exist in the human mind was welcomed by majority of the participants. This can be attributed to the fact that the participants thought that the use of text and visual elements together supports the understandability of the subject. In addition, close and simultaneous presentation of related texts and images may be the focal point of this situation. Aldağ and Sezgin [62] concluded that the explanations about an image in the page should be given above or below the image and that it should be presented simultaneously.

The use of the static type of infographics in academic publications was accepted by all participants. This situation can be associated with the situation assessment peculiar to academic publications and to the fact that the static infographics type is deemed to be sufficient for this subject. The idea that it is easier to prepare and share static infographic type compared to other types may have caused this situation. Additionally, high level of similarity between static infographics and academic publications may also justify this match. Krum [31] stated that static infographics type is the most suitable format for online sharing, for it does not require a special application or browser extension, and is the simplest and most common type in terms of infographic design. However, some participants emphasized that it would be more effective to use different kinds of multimedia components, in combinations and at reasonable levels, in infographics in order to prepare different types of infographics such as motion or interactive whenever deemed necessary. This may be due to the attitude of intending to meet the expectations of each reader by presenting the content of academic publications with easier and alternative multimedia components. Beegel [43] stated that for some subjects, static infographics may have limitations that may harm the reader's understanding of the subject, which can be overcome by making an effective use of interactive or motion infographics.

The results suggest that the use of such materials in academic publications will increase in the future and young generation academicians will have a more positive perspective on the use of infographics. This may be due to the fact that many expressions are conveyed through visual elements in today's world and that such elements are very frequently used in social media platforms. In addition, the fact that individuals in the Z generation prefer content based on multimedia components may have developed this view. In parallel with this result, Young and Hinesly [59] openly assert that the popularity of infographics will increase.

List of Results Related to Potential Advantages and Limitations of Infographic Designs

In the A1 stage of the study, infographics of academic publications were prepared in accordance with the design framework. In this respect, the results obtained from A2 stage regarding the potential advantages and limitations of infographic designs on the authors, readers, publishers and others are as follows;

- When academic publications are presented with infographics, the preferences of the participants are, in first place, for infographics.
 - a. Prominent features, in the point of preference of infographics, are; persistence in mind, strikingness, quick and easy comprehension, seeing the whole structure at a glance and presenting extensive information in summary.
 - b. Another reason for opting for infographics in reading academic publications is the personal interest of the readers.
 - c. Participants are pleased to review their publications in infographics form.
 - Participants prefer to have academic publications in their original form in order to make detailed readings and cite in the references in their academic publications.
 - The potential advantages of infographic designs are regarded to be; for the author, ensuring the recognition of the publication; for the publisher, increasing the accessibility of the publication; and for the publication per se, being useful to the general public by addressing not only academics but everyone.
 - Although preparing academic publications in the form of infographics is likely to create a workload for the publisher, it is believed that publishers in different fields have a tendency to use infographics-like presentations.
 - Infographic designs allow the author to see the relationships related to his research as a whole.

- Some advantages are provided in terms of the potential advantages of infographic designs for readers.
 - a. Infographics can increase the retention in mind by reducing the cognitive burden on readers.
 - b. Even though information provided through the infographics may be superficial and may cause loss of depth, Infographics can still please the reader as they present the academic publication in a more readable format.
- There may be differences in the amount of information that should be available on an infographic depending on the article, but in general the short form containing basic information is thought to be more effective.
- According to the participants' opinions, there are some suggestions in terms of the transferring of academic publications into infographics.
 - a. It should be prepared in accordance with the principles of infographics design in order to convey the important points of the information contained in the academic publications and to avoid losing meaning.
 - b. The collaboration of the author and the designer in the conversion of academic publications into infographics may provide more effective infographics.
 - c. Infographics for academic publications should be prepared by professionals.
- It is sufficient to use the static type of infographics in academic publications.
 - a. In some cases, multimedia components can be used meaningfully in infographics and, if necessary, different types of info graphics, such as motion or interactive, can be prepared.
- It is considered that the frequency of using such materials for academic publications will increase in the future and young generation academicians will have a more positive perspective on infographics.

5.3. Implications for Practice

In this study, it is aimed to develop a design framework for the preparation of infographic forms for academic publications prepared for scientific purposes and to assess the developed design framework in accordance with expert opinions. In this context, important results were obtained regarding the reasons for preference of infographics, and for the potential advantages and limitations of infographic designs over readers, writers, publishers and publications per se. In this respect, suggestions to the authors, publishers and designers who want to prepare academic publications in infographics format are as follows;

- Before starting designing an infographic, it may be useful to determine the level of appropriateness of the academic publication for being presented in the infographic form with regards to the content, research design, sections, structure, and purpose.
- It is considered that if a draft form is created by the designer by imbibing the content of the academic publication beforehand, and then this draft is reviewed by the author will be useful in terms of reflecting the important points.
- It is thought that the disaggregation of content of the sections of academic publication that are functional for the scientific community or for the practitioners will facilitate the preparation of separate designs.
- Selection of the tools that can practically be used by the designer in order to minimize the hitches that might be encountered during the design process and knowing design principles at a level sufficient for implementation are important both in terms of presentation and productivity in the preparation process.
- It is considered that it would be beneficial to review the designs and get them assessed by alternative experts for different perspectives.

5.4. Future Research

When the results obtained in the study are taken into consideration, various suggestions have been made to the researchers for further studies on designing academic publications as infographics. These recommendations are as follows;

- Quantitative researches can be conducted by bringing the categories that emerged in this study into a questionnaire.
- A study can be conducted to examine the views of designers and readers for the preparation of academic publications as infographics.
- A similar study can be conducted on academic publications with regards to the use of motion or interactive type infographics.

6. Conclusion

The idea, in this study, of presenting academic publications in the form of infographics was generally accepted. In addition, it was concluded that the process of converting academic publications into infographics form would be more effective when carried out in accordance with a design framework. Thus, a design framework was developed to prepare academic publications in the form of infographics.

The deficiencies and the arrangements made within the developed design framework and re-listed here in order to constitute a reference for further use. Accordingly, the design framework, which is thought to be beneficial, is as follows;

1. Determining the objective of the academic publication that is intended to be converted into an infographic as the idea to be presented through the infographic,
2. Evaluating the level of conformity of the design and content of the academic publication to be converted into an infographic,
3. Drafting the idea to be presented in the infographic, and listing the points that should be highlighted by reading, repeatedly and in detail, the academic publication to be converted into infographic,
 - Establishing communication with the author where necessary in relation to what to point out in the academic publication,
4. Creation of separate, section-based, short-form designs with separate content for academics in the scientific community and for practitioners interested in the subject of the academic publication (eg: findings section for academicians, results section for practitioners),
5. Copying the title of the academic publication as it is, and passing it onto the infographic, in a text-based and emphasized manner,
6. Designing the sections of the infographic to be prepared for the academic publications in accordance with the suitability levels,
7. Considering design principles such as text design, color harmony, clarity, consistency, fluency, simplicity, shape-ground relationship, and concept relationship,
8. Utilizing the theoretical framework;
 - design principles for instructional messages by Fleming and Levie [41],
 - the finding by Yılmaz and Topaktaş [42] that short and left-aligned text are highly readable,
 - reflecting the focal points according to the attention component of cognitive processes in the information processing theory,
 - designing appropriate visuals according to the retrieving component of the cognitive processes in the information processing theory and adding them to the infographic,
 - designing symbols according to shape-ground relationship of the laws of perception specified in Gestalt theory and adding them to infographic,
 - presenting in groups the visuals and texts that express the same subject according to the law of similarity of laws of perception specified in the Gestalt theory and arranging the relations within the groups according to the law of proximity,

- reflecting the elements in a certain order which were vertically presented in groups according to the continuity law of perception laws specified in Gestalt theory,
 - the simultaneous use of visual elements and text-based expressions to support verbal and non-verbal systems presumed to exist in the human mind as mentioned in the binary coding theory.
9. Giving the prime importance to the relevancy of the visuals used in the infographic designs to the subject and keep them limited in number, and paying attention not to include any visuals in the design other than those used for conveying the message,
 10. Creating the designs using ready templates offered on the platform where infographics were prepared,
 11. Reviewing and finalizing the completed designs with the necessary arrangements.

References

- [1] İ. İpek, "Bilgisayarlar, görsel tasarım ve görsel öğrenme stratejileri," *Turkish Online Journal of Educational Technology Dergisi*, no. 2, pp. 68-76, 2003.
- [2] D. Günay, "Görsel okuryazarlık ve imgenin anlamlandırılması," *Süleyman Demirel Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Hakemli Dergisi*, no. 01, pp. 1-29, 2008.
- [3] A. Çoban, "Okunabilirlik kavramına yönelik bir derleme çalışması," *Dil ve Edebiyat Eğitimi Dergisi*, no. 9, pp. 96-111, 2014.
- [4] A. Yıldırım and H. Şimşek, *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri*, 8th ed., Ankara: Seçkin Yayıncılık, 2011.
- [5] Ö. Ay, "Öğretme ve Öğrenme Açısından Bilimsel Araştırma Yayınlarında İşaretlerden ve Tablolardan Yararlanma," *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, vol. 3, pp. 139-148, 1999. [Online]. Available: <http://acikerisim.aku.edu.tr/xmlui/bitstream/handle/11630/3076/139-148.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Accessed: 16-Jul-2019].
- [6] G. Hart, "Effective infographics: telling stories in the technical communication context," 2013. [Online]. Available: <http://techwhirl.com/effectiveinfographics-tellingstories-in-the-technical-communication-context/>. [Accessed: 7-Jul-2017].
- [7] M. Smiciklas, *The power of infographics: Using pictures to communicate and connect with your audiences*, Indianapolis: Que Publishing, 2012..
- [8] K. K. Öztürk, "Ulusal basında bilginin sunumu: infografik ve illüstrasyonlar," M.S. thesis, Mustafa Kemal University, Social Sciences Institute, Hatay, Turkey, 2012..
- [9] S. Özkubat, "Görsel farkındalık eğitim programının 5-6 yaş çocuklarının görsel okuryazarlıklarına etkisinin incelenmesi," Ph.D. dissertation, Gazi University, Institute of Educational Sciences, Ankara, Turkey, 2015..
- [10] D. M. Moore, *Visual literacy: A spectrum of visual learning*, Englewood Cliffs, NJ: Educational Technology Publications, 1994.
- [11] G. Çelik, "Türkçe derslerinde görsel okuryazarlık yoluyla okuma becerilerinin geliştirilmesi: Bir karma yöntem çalışması," Ph.D. dissertation, Çanakkale Onsekiz Mart University, Institute of Educational Sciences, Çanakkale, Turkey, 2017.
- [12] J. Elkins, "Introduction: The concept of visual literacy, and its limitations," in *Visual literacy*, 1st ed., J. Elkins, Ed. New York: Routledge, 2009, pp. 9-18.
- [13] S. Tüzel, "Görsel okuryazarlık," *Türklük Bilimi Araştırmaları Dergisi*, no. 27, pp. 691-705, 2010.
- [14] S. M. Ford, "Visual Literacy: How Do They Do It?," 2010.

- [15] R. C. Atkinson and R. M. Shiffrin, "Human memory: A proposed system and its control processes," in *Psychology of learning and motivation*, 2nd ed., K.W. Spence and J.T. Spence, Eds. New York: Academic Press, 1968, pp. 89-195..
- [16] D. H. Schunk, *Eğitimsel bir bakışla öğrenme teorileri*, 2nd ed., M. Şahin, Ed., M. Y. Demir et al., Translators. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık, 2011.
- [17] G. Westheimer, "Gestalt theory reconfigured: Max Wertheimer's anticipation of recent developments in visual neuroscience," *Perception*, vol. 28, no. 1, pp. 5-15, 1999.
- [18] N. Senemoğlu, *Gelişim öğrenme ve öğretim kuramdan uygulamaya*, 1st ed., Ankara: Gazi Kitapevi, 2003.
- [19] K. Smith-Gratto and M. M. Fisher, "Gestalt theory: a foundation for instructional screen design," *Journal of educational technology systems*, vol. 27, no. 4, pp. 361-371, 1999.
- [20] S. Özengin Kuş, "Güzel sanatlar eğitimi bölümlerinde grafik tasarım dersi eğitimine Gestalt kuramı ve ilkelerinin yansımaları," M.S. thesis, Ondokuz Mayıs University, Institute of Educational Sciences, Samsun, Turkey, 2013.
- [21] S. Altun and E. Çolak, "Öğrenme Kuramları," in *Öğrenme öğretme kuram ve yaklaşımları*, S. Fer, Ed. Ankara: Anı Yayıncılık, 2011, pp. 17-65.
- [22] D. Jared, R. P. Y. Poh, and A. Paivio, "L1 and L2 picture naming in Mandarin-English bilinguals: A test of bilingual dual coding theory," *Bilingualism: Language and Cognition*, vol. 16, no. 2, pp. 383-396, 2013.
- [23] B. Pekdağ, "Kimya öğreniminde alternatif yollar: animasyon, simülasyon, video ve multimedya ile öğrenme," *Türk Fen Eğitimi Dergisi*, vol. 7, no. 2, pp. 79-110, 2010.
- [24] M. E. Sezgin, "İkili kodlama kuramına dayalı olarak hazırlanan multimedya ders yazılımının fen bilgisi öğretimindeki akademik başarıya, öğrenme düzeylerine ve kalıcılığa etkisi," M.S. thesis, Çukurova University, Social Sciences Institute, Adana, Turkey, 2002.
- [25] J. Dalton and W. Design, "A Brief Guide to Producing Compelling Infographics," 2014.
- [26] R. Davidson, "Using infographics in the science classroom," *The Science Teacher*, vol. 81, no. 3, pp. 34, 2014.
- [27] A. Lamb and L. Johnson, "Infographics part 1: Invitations to inquiry," *Teacher Librarian*, no. 4, pp. 54, 2014.
- [28] A. Borucu, "Güzel sanatlar liselerinde grafik dersinin işlenişinde infografik'in, öğretme yöntemine katkısı," M.S. thesis, Süleyman Demirel University, Institute of Fine Arts, Isparta, Turkey, 2015.
- [29] D. Topçu Özçelik, "Türk basımında haberin fotoğraf ve infografikle anlatımının okunabilirliğinin karşılaştırılması," M.S. thesis, İstanbul Arel University, Institute of Social Sciences, İstanbul, Turkey, 2017.
- [30] J. Lankow, J. Ritchie, and R. Crooks, *Infographics: The power of visual storytelling*, NJ: John Wiley & Sons, 2012.
- [31] R. Krum, *Cool infographics: Effective communication with data visualization and design*, John Wiley & Sons, 2013.
- [32] D. Abilock and C. Williams, "Recipe for an infographic," *Knowledge Quest*, vol. 43, no. 2, pp. 46-55, 2014.
- [33] M. Davis and D. Quinn, "Visualizing text: The new literacy of infographics," *Reading Today*, vol. 31, no. 3, pp. 16-18, 2013.
- [34] J. Krauss, "Infographics: More than words can say," *Learning & Leading with Technology*, vol. 39, no. 5, pp. 10-14, 2012.
- [35] M. Q. Patton, *Nitel çalışma ve değerlendirme yöntemleri*, 3rd ed., Ankara: Pegem Yayıncılık, 2014.

- [36] A. Koçak and A. Özgür, "İçerik analizi çalışmalarında örneklem sorunu," *Selçuk Üniversitesi İletişim Fakültesi Akademik Dergisi*, vol. 4, no. 3, pp. 21-28, 2006.
- [37] S. Çiftçi, "The opinions of the teachers in upper primary classes concerning the student performance tasks," *Elementary Education Online*, vol. 9, no. 3, pp. 934-951, 2010.
- [38] R. Bogdan and S. K. Biklen, *Qualitative research for education*, Boston, MA: Allyn & Bacon, 1997.
- [39] M. B. Miles and A. M. Huberman, *Genişletilmiş bir kaynak kitap: Nitel veri analizi*, 2nd ed., S. Akbaba Altun and A. Ersoy, Eds., Ankara: Pegem Akademi, 2016.
- [40] M. Özdemir, "Nitel veri analizi: Sosyal bilimlerde yöntembilim sorunsalı üzerine bir çalışma," *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, vol. 11, no. 1, pp. 323-343, 2010.
- [41] M. L. Fleming and W. H. Levie, *Instructional message design: Principles from the behavioral sciences*, New Jersey: Educational Technology, 1978.
- [42] M. Yılmaz and E. Topaktaş, "Tipografik özellikler açısından bilimsel dergi makalelerinin okunaklılık düzeyleri ile ilgili akademisyenlerin görüşleri," *Electronic Journal of Social Sciences*, vol. 13, no. 48, 2014.
- [43] J. Beegel, *Infographics for dummies*, New Jersey: John Wiley & Sons, 2014.
- [44] M. D. Olfert, R. L. Hagedorn, M. L. Barr, S. E. Colby, K. K. Kattelman, L. Franzen-Castle, and A. A. White, "Dissemination using infographic reports depicting program impact of a community-based research program: eB4CAST in iCook 4-H," *Journal of nutrition education and behavior*, vol. 51, no. 3, pp. S52-S59, 2019.
- [45] G. B. Duman, "Türkçenin yabancı dil olarak öğretiminde materyal geliştirme ve materyallerin etkin kullanımı," *Ana Dili Eğitimi Dergisi*, vol. 1, no. 2, pp. 1-8, 2013.
- [46] C. J. Turck, M. A. Silva, S. R. Tremblay, and S. L. Sachse, "A preliminary study of health care professionals' preferences for infographics versus conventional abstracts for communicating the results of clinical research," *Journal of Continuing Education in the Health Professions*, vol. 34, pp. S36-S38, 2014.
- [47] S. Şengül and E. Körükcü, "Tam sayılar konusunun görsel materyal ile öğretiminin altıncı sınıf öğrencilerinin matematik başarıları ve kalıcılık düzeylerine etkisi," *International Online Journal of Educational Sciences*, vol. 4, no. 2, 2012.
- [48] H. Akengin and Z. İbrahimoğlu, "Sosyal bilgiler dersinde karikatür kullanımının öğrencilerin akademik başarısına ve derse ilişkin görüşlerine etkisi," *Ondokuz Mayıs University Journal of Education*, vol. 29, no. 2, 2010.
- [49] Ö. Ö. Dursun and H. F. Odabaşı, *Çoklu ortam tasarımı*, Ankara: Pegem Akademi, 2017.
- [50] R. Ashman and A. Patterson, "Seeing the big picture in services marketing research: infographics, SEM and data visualisation," *Journal of Services Marketing*, vol. 29, no. 6/7, pp. 613-621, 2015.
- [51] S. B. Kert and M. Tekdal, "Alanyazındaki tasarım ilkelerine uygun olarak geliştirilmiş çokluortam ders yazılımının lise düzeyi fizik öğretiminde akademik başarıya ve kalıcılığa etkisi," *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, vol. 23, no. 23, pp. 120-131, 2008.
- [52] G. R. Lamb, J. L. Polman, A. Newman, and C. G. Smith, "Science news infographics: Teaching students to gather, interpret, and present information graphically," *The Science Teacher*, vol. 81, no. 3, pp. 25, 2014.
- [53] K. Donofrio, "Content Marketing Enhances Public Relations Strategies through Social Media to Increase Market Shares for Businesses," 2014.
- [54] P. Vanichvasin, "Enhancing the quality of learning through the use of infographics as visual communication tool and learning tool," in *Proceedings ICQA 2013 international conference on QA culture: Cooperation or competition*, 2013, p. 135.

- [55] L. J. Martin, A. Turnquist, B. Groot, S. Y. Huang, E. Kok, B. Thoma, and J. J. van Merriënboer, "Exploring the role of infographics for summarizing medical literature," *Health Professions Education*, vol. 5, no. 1, pp. 48-57, 2019.
- [56] W. V. Siricharoen, "Infographics: the new communication tools in digital age," in *The international conference on e-technologies and business on the web (ebw2013)*, Bangkok, Thailand, 2013.
- [57] N. J. Yekta, "Online Infographics," *IJBPAS*, vol. 5, no. 7, pp. 1698-1706, 2016.
- [58] N. Soydaş and B. Yılmaz, "Yeni medya ortamlarında içerik oluşturma aracı olarak dijital/görsel hikayecilik anlatımı," in *2.Uluslararası Medya Çalışmaları Kongresi*, Antalya, Turkey, 2016.
- [59] A. Young and M. Hinesly, "Infographics as a business communication tool: An empirical investigation of user preference. Comprehension & efficiency," 2014. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2548559>.
- [60] N. Meeusah and U. Tangkijviwat, "Effect of data set and hue on a content understanding of infographic," 2013. [Online]. Available: <http://www.repository.rmutt.ac.th/xmlui/handle/123456789/1263>.
- [61] D. P. N. Elsen, "I wouldn't chuck this out!—Applying Infographic Design and Information Shortcuts to Local Election Candidate Booklets," 2010.
- [62] H. Aldağ and M. E. Sezgin, "Çok ortamlı öğrenmede ikili kodlama kuramı ve bilişsel model," *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, vol. 11, no. 11, pp. 121–135, 2003.
- [63] D. Milovanovic and L. Ivanisevic, "Infographic as a marketing communication tool," in *2014 New Business Models and Sustainable Competition Symposium Proceedings*, 2014, pp. 266-273.
- [64] O. Bilginer, "Türkçenin ana dili olarak öğretiminde bilgi işleme süreci," *Mersin Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, vol. 8, no. 1, pp. 96-113, 2012.
- [65] H. Koç and İ. Bulut, "Gestalt kuramının öğrencilerin harita okuma ve yorumlama beceri düzeyleri üzerine etkisini belirlemeye yönelik bir inceleme," *Marmara Coğrafya Dergisi*, vol. 30, no. 1, pp. 1-19, 2014. Özdemir, M. (2010). Nitel veri analizi: Sosyal bilimlerde yöntem bilim sorunsalı üzerine bir çalışma. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(1), 323-343.



Research Article

Simulation of Inverted Planar Perovskite Solar Cell Using SCAPS-1D Software

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: 15 May 2024; Accepted: 4 June 2024; Published: 30 June 2024

Abstract: Solar energy stands out as one of the most preferred renewable sources in electricity production. Harnessing photovoltaic technology not only meets increasing energy needs but also plays a vital role in combating global climate change by reducing dependence on fossil fuels. Perovskite solar cells have garnered immense interest in recent years due to their optoelectronics properties, high efficiency and low production costs. Numerical simulation is a powerful tool used to model complex systems and predict their behavior in various fields of science and engineering. Solar cell capacitance simulator in one dimension (SCAPS-1D) is used in the modeling and simulation of photovoltaic devices. The simulation performed by SCAPS-1D plays an important role in evaluating and improving the performance of various types of perovskite solar cells. In this study, the perovskite solar cell was designed in the inverted planar p-i-n structure containing $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{3-x}\text{Cl}_x$ as the absorber perovskite layer, NiO_x as the hole conduction layer and PCBM as the electron conduction layer. The photovoltaic parameters of the designed inverted planar perovskite solar cells were obtained through current-voltage characteristics under illumination (AM-1.5G 100 mW/cm^2) using SCAPS-1D software. Optimization of the thickness of all layers in the structure was performed, and the impact of varying operating temperatures on the power conversion efficiency and other photovoltaic parameters of inverted planar perovskite solar cells was investigated through simulation.

Keywords: SCAPS-1D, perovskite solar cell, p-i-n structure.

Araştırma Makalesi

SCAPS-1D Yazılımını Kullanarak Tersine Çevrilmiş Düzlemsel Perovskit Güneş Hücrelerinin Simülasyonu

Öz: Güneş enerjisi, elektrik üretiminde en çok tercih edilen yenilenebilir kaynaklardan biri olarak öne çıkmaktadır. Fotovoltaik teknolojiden yararlanmak, artan enerji ihtiyacını karşılamaya yanı sıra, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltarak küresel iklim değişikliğiyle mücadelede de hayati bir rol oynamaktadır. Perovskit güneş hücreleri, optoelektronik özellikleri, yüksek verimleri ve düşük üretim maliyetleri nedeniyle son yıllarda büyük ilgi toplamıştır. Sayısal simülasyon, karmaşık sistemleri modellemek ve bilim ve mühendisliğin çeşitli alanlarındaki davranışlarını tahmin etmek için kullanılan güçlü bir araçtır. Fotovoltaik cihazların modellenmesinde ve simülasyonunda genellikle tek boyutlu güneş hücresi kapasitans simülatörü (SCAPS-1D) kullanılmaktadır. SCAPS-1D tarafından gerçekleştirilen simülasyon, çeşitli perovskit güneş hücrelerinin performansının değerlendirilmesinde ve iyileştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, perovskit güneş hücresinde soğurucu perovskit katmanı olarak $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{3-x}\text{Cl}_x$, deşik iletim katmanı olarak NiO_x ve elektron iletim katmanı olarak PCBM içeren tersine çevrilmiş düzlemsel (p-i-n) yapısında tasarlandı. Tasarlanan tersine çevrilmiş düzlemsel perovskit güneş hücresinin fotovoltaik parametreleri, SCAPS-1D yazılımı kullanılarak aydınlatma altındaki (AM 1.5G 100 mW/cm^2) akım-gerilim karakteristiklerinden elde edilmiştir. Perovskit güneş hücresindeki tüm katmanların kalınlığı simülasyon programı kullanılarak optimize edilmiştir ve değişen çalışma sıcaklıklarının ters düzlemsel perovskit güneş hücrelerinin güç dönüşüm verimliliği ve diğer fotovoltaik parametreleri üzerindeki etkisi simülasyon yoluyla araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: SCAPS-1D, perovskit güneş hücresi, p-i-n yapısı.

Citation: F. Ongül, "Simulation of Inverted Planar Perovskite Solar Cell Using SCAPS-1D Software", *Journal of Studies in Advanced Technologies*, vol. 2, no. 1, pp. 64-73, Jun 2024, doi: 10.63063/jsat.1484940

1. Giriş

Mevcut fosil yakıt rezervlerinin yakın gelecekte tükenecek olması ve fosil yakıta dayalı enerji üretimi ile artan çevresel riskler, temiz ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına olan ilginin artmasında etken olmuştur. Bu nedenle alternatif enerji kaynağı olarak uzun ömürlü doğal kaynak olan güneşten yararlanılmaktadır. Güneş ışığının kullanılmasında ve elektriğe dönüştürülmesinde güneş hücrelerinin kullanılması en etkili yöntemlerden biridir [1], [2]. Sayısal simülasyon, karmaşık sistemleri modellemek, bilim ve mühendisliğin çeşitli alanlarındaki davranışlarını tahmin etmek için kullanılan güçlü bir araçtır. SCAPS (Güneş Hücre Kapasite Simülatörü), Belçika Gent Üniversitesi Elektronik ve Bilgi Sistemleri Bölümü'nde (ELIS) geliştirilen tek boyutlu bir güneş hücresi simülasyon programıdır. Güneş hücrelerinin modellenmesinde ve simülasyonunda genellikle SCAPS-1D programı kullanılmaktadır. SCAPS-1D programı tarafından gerçekleştirilen simülasyon, çeşitli güneş hücrelerinin performansının değerlendirilmesinde ve iyileştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. SCAPS 1D simülasyonu, Poisson denklemi, elektronlar ve deşikler için süreklilik denklemi ve yük taşıma denklemi gibi temel yarıiletken denklemlerin çözümüne dayanmaktadır. Bir fotovoltaiik hücredeki tabakaların, kalınlık, elektron ilgisi, enerji bant genişliği, optik soğurma, kusur yoğunluğu, arayüz kusur yoğunluğu, katkı konsantrasyonları (N_D ve N_A), yük taşıyıcı hareketliliği, rekombinasyon gibi çeşitli parametrelerin etkisini incelemek ve optimize etmek için kullanılır. SCAPS-1D simülatörü, fotovoltaiik hücredeki tabakaların çeşitli parametrelerinin ve çalışma sıcaklığı gibi çeşitli değişkenlerin etkisinin akım-voltaj, kuantum verimliliği, kapasitans-frekansı ve kapasitans-voltaj gibi farklı karakterizasyonlarının analiz edilmesine olanak sağlar [3], [4], [5].

Perovskitler, kalsiyum titanyum oksit minerali ($CaTiO_3$) ile aynı kristal yapıya sahip, tipik olarak organik-inorganik hibrit kurşun veya kalay halojenür bazı malzemelerden oluşan bir malzeme sınıfını tanımlamaktadır. Perovskitlerin, ayarlanabilir bant aralığı, yüksek soğurma katsayısı, uzun elektron ve deşik difüzyon uzunlukları, yük taşıyıcı hareketliliği ve düşük rekombinasyon oranları gibi optik ve elektriksel özelliklerinden dolayı güneş hücre üretiminde büyük ilgi görmüştür [6], [7]. Perovskit güneş hücresinin temel yapısı elektron iletim katmanı (ETL), ışık soğurucu perovskit katmanı, deşik iletim katmanı (HTL), anot ve katottan oluşmaktadır. Perovskit güneş hücreleri genel olarak aygıt yapısına göre mezoskopik ve düzlemsel olmak üzere ikiye ayrılır, ayrıca elektron ve deşiklerin elektrotlara iletim yönüne bağlı olarak kendi içerisinde de geleneksel (n-i-p) ve tersine çevrilmiş (p-i-n) yapı olarak ikiye ayrılır. Geleneksel n-i-p yapısında ışığın geldiği ilk katman elektron iletim tabakası iken, tersine çevrilmiş p-i-n yapısında ise ilk katman deşik iletim tabakasıdır. Mezoskopik yapı yüksek verimli perovskit güneş hücrelerin üretilebilmesine olanak sağlar fakat mezoskopik tabakanın kristalleşmesi için yüksek sıcaklık gerektirmesi ve esnek altlıklarda kullanılamaması gibi dezavantajlara sahiptir. Perovskit güneş hücrelerinin p-i-n yapısı, yüksek verimlilik, daha düşük sıcaklıkta işleme, esneklik ve ayrıca ihmal edilebilir histerezis gibi avantajlar sunmaktadır [8]. Perovskitler ilk olarak boya duyarlı güneş hücrelerinde (DSSC) 2009 yılında Miyasaka vd. tarafından kullanıldı ve nanokristal TiO_2 yüzeyine metilamonyum kurşun iyodür ($MAPbI_3$) perovskitin kaplanmasıyla oluşturulan yapıyla %3.8 verim elde edilmiştir [9]. Perovskitler ile yapılan yoğun araştırma ve geliştirme sonucunda 2024 yılına gelindiğinde bu alanda verim %26,1'e ulaşmış durumdadır [10]. Metal oksit malzemeler geniş bant aralıkları, yüksek optik geçirgenlikleri, yüksek iş fonksiyonları, yüksek mobiliteleri ve stabiliteleri nedeniyle perovskit bazı güneş hücrelerinde deşik taşıma katmanları olarak kullanılmaktadır. Perovskit bazı güneş hücrelerinde metal oksit olarak en yaygın nikeloksit (NiO_x) deşik taşıma tabakası olarak kullanılmıştır [11]. Hibrit perovskit malzemeler, özellikle $CH_3NH_3PbX_3$ ($X=Cl, Br, I$), solar spektrumdan ideal optik soğurmaya uygun ve ayarlanabilir bant aralığı, yüksek soğurma katsayısı, yük taşıyıcı difüzyon uzunluğu ve kimyasal kusurlara karşı yüksek tolerans avantajlarına sahiptir. Karışık halojenür perovskitlerin $CH_3NH_3PbI_{3-x}Cl_x$ yük taşıyıcı difüzyon uzunluğu ve yük taşıyıcı ömrü $CH_3NH_3PbI_3$ perovskitlerden daha iyidir, verim değerleri daha yüksek ve daha stabildir [12], [13]. PCBM ([6,6]-fenil C61 bütirik asit metil ester) gibi fulleren türevi, tersine çevrilmiş perovskit güneş hücrelerinde elektron taşıma tabakası (ETL) olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır [14]. Bu çalışmada p-i-n yapıda deşik iletim tabakası olarak NiO_x , perovskit tabakası olarak $CH_3NH_3PbI_{3-x}Cl_x$ ve elektron iletim tabakası olarak PCBM katmanlarından oluşan tersine çevrilmiş güneş hücresi tasarlanmış ve SCAPS 1D programıyla fotovoltaiik parametreleri analiz edilmiştir.

2. Teori ve Yöntemler

SCAPS-1D simülasyon programı, Poisson denklemi, elektronlar ve deşikler için süreklilik denklemi ve yük taşınım denklemi gibi temel yarıiletken denklemlerin çözümüne dayanmaktadır. Poisson denklemi hücre içindeki iç elektrik alan ve potansiyel dağılımını elde etmek için kullanılır. Süreklilik denklemi, taşıyıcıların (elektronlar ve deşikler) konsantrasyonundaki değişim oranını tanımlar. Yük taşınım denklemi, elektronların ve deşiğin hücre yapısında sürüklenme ve difüzyon akımı hakkında bilgi sağlar.

Poisson denklemi,

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} = -\frac{\partial E}{\partial x} = -\frac{q}{\epsilon}(p - n + N_D^+ - N_A^-) \quad (1)$$

süreklilik denklemleri,

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{1}{q} \frac{\partial J_n}{\partial x} + G - R \quad (2)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{1}{q} \frac{\partial J_p}{\partial x} + G - R \quad (3)$$

elektron ve deşikler için akım yoğunluğu denklemleri;

$$J_n = qn\mu_n E + qD_n \frac{\partial n}{\partial x} \quad (4)$$

$$J_p = qp\mu_p E - qD_p \frac{\partial p}{\partial x} \quad (5)$$

Poisson, süreklilik ve akım yoğunluğu denklemlerindeki, ψ elektrostatik potansiyel, E elektrik alan, q elektron yükü, ϵ elektriksel geçirgenliği, n elektronların yoğunluğudur, p deşiklerin yoğunluğu, N_D iyonize donör konsantrasyonu ve N_A iyonize akseptör konsantrasyonu, J_n elektron akım yoğunluğu, J_p deşik akım yoğunluğu, R net rekombinasyon oranı, G taşıyıcı yük üretim oranı, μ_n elektronların mobilitesi, μ_p deşiklerin mobilitesi, D_n elektron difüzyon katsayısı ve D_p deşik difüzyon katsayısı olarak tanımlanır [15].

SCAPS-1D yazılımı ile güneş hücre yapılarının bant diyagramı, üretim ve rekombinasyon oranları, dış kuantum verimliliği, hücre akım yoğunlukları, J-V karakteristiği ile de açık devre voltajı, dolum faktörü ve güç dönüşüm verimliliği gibi temel özellikleri belirlenebilir.

$$J = J_o \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - J_{ph} \quad (6)$$

$$FF = \frac{V_{mpp} \cdot J_{mpp}}{V_{oc} \cdot J_{sc}} \quad (7)$$

$$PCE (\%) = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100 = \frac{FF \cdot V_{oc} \cdot J_{sc}}{P_{in}} \times 100 \quad (8)$$

$$V_{oc} = \frac{nkT}{q} \ln\left(1 + \frac{J_{sc}}{J_o}\right) \quad (9)$$

J_o diyot doyma akım yoğunluğudur, A kalite faktörüdür, J_{ph} fotoakım yoğunluğudur, k Boltzmann sabitidir ve T sıcaklıktır. (kT/q) termal voltaj, J_o doyma akım yoğunluğu ve J_{sc} kısa devre akım yoğunluğudur [16]. Güneş hücresinin kuantum verimliliği (QE), üretilen serbest yük taşıyıcı sayısının gelen foton sayısına oranıdır. QE, güneş hücresinin güneş spektrumunun belirli dalgaboylarına verdiği tepkiyle ilgilidir ve enerji veya dalgaboyu fonksiyonu olarak ifade edilebilir. Perovskit güneş hücresinin güneş spektrumuna tepkisini incelemek için kuantum verimlilik ölçümleri kullanıldı; QE aşağıdaki denklem ile tanımlanır,

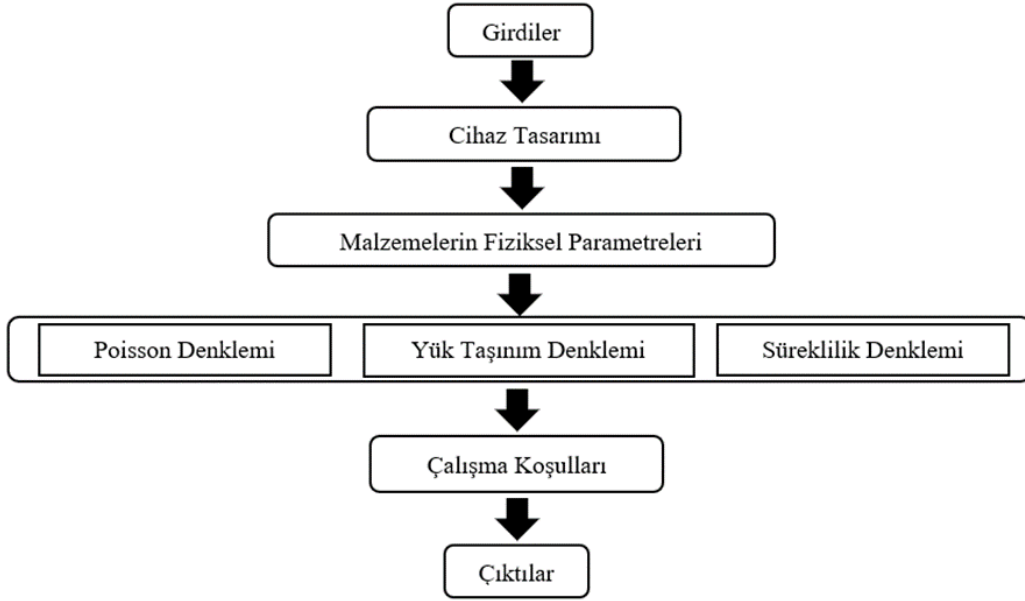
$$QE(\lambda) = \frac{I(\lambda)}{q\varphi_{p(\lambda)}} \quad (10)$$

burada q temel elektrik yükünü temsil eder, $I(\lambda)$ üretilen foto akımı temsil eder ve $\varphi_{p(\lambda)}$ foton akısını temsil eder [17]. Optik absorpsiyon sabiti α , denklemde gösterilen optik absorpsiyon modeli denkleminde hesaplanır,

$$\alpha(\lambda) = \left(A + \frac{B}{h\nu}\right) (h\nu - E_g)^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

A ve B model parametreleri olmak üzere, h Planck sabiti, ν frekans ve E_g malzemenin yasak bant aralığıdır [18].

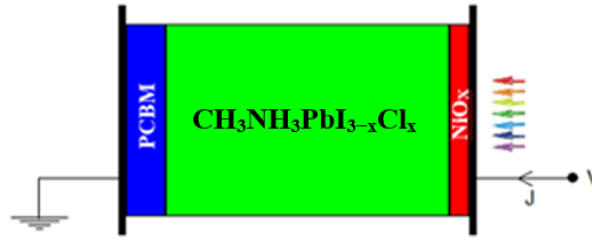
SCAPS 1D simülasyon programı Poisson, süreklilik ve yük taşınım gibi yarıiletkenlerdeki temel denklemlerin çözümüne dayanmaktadır, tasarlanan güneş hücre yapısındaki tabakaların kalınlığı, bant aralığı, elektron ilgisi, dielektrik geçirgenliği, iletkenlik bandın etkin durum yoğunluğu, değerlik bandın etkin durum yoğunluğu, elektron mobilitesi, deşik mobilitesi, sığ donör yoğunluğu, sığ akseptör yoğunluğu ve kusur yoğunluğu gibi fiziksel parametre değerleri ile bu denklemler çözümlenerek çeşitli çalışma şartlarında simülasyonları yapılabilmektedir. SCAPS-1D simülatörünün basitleştirilmiş akış şeması Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. SCAPS-1D simülatörünün basitleştirilmiş akış şeması

SCAPS-1D programında güneş hücrelerinin güç dönüşüm verimi hesaplamalarında Shockley ve Quiser limitine uygun sonuçlar için kusur yoğunluğu ve rekombinasyon mekanizmalarının seçimi önem arz etmektedir. William Shockley ve Hans-Joachim Queisser tarafından p-n eklemenden oluşan tek kristal silisyum güneş hücresinde teorik olarak ulaşılabilecek verim ilk kez 1961 yılında hesaplanmıştır. Güneş hücrelerinde ulaşılabilecek potansiyel maksimum verim Shockley ve Quiser (SQ) limiti olarak tanımlanır. SQ limitinin temel konsepti, güneş hücrelerinde yarıiletkenin bant aralığı enerjisinden daha düşük enerjiye sahip fotonlar prensipte soğurulmaz ve elektron-deşik çiftleri oluşturamaz ancak yarıiletkenin bant aralığı enerjisinden daha büyük enerjilere sahip fotonlar elektron-deşik çiftleri oluşturabilir, elektron-deşik çiftlerinin fotonlardan aldığı ekstra enerji, yarıiletkenine ısı olarak salınır. Güneş spektrumundaki fotonların enerji dağılımı ile yarıiletken malzemenin bant aralığı arasındaki spektral uyumsuzlukla ilgilidir. Güneş hücresinin çevresi ile termal dengede olacağı için oda sıcaklığında (300 K) kara cisim ışınımından radyasyon yayacaktır, bu nedenle yarıiletkeninde elektron-deşik çiftlerinin rekombinasyon olasılığı artacak, ters doyma akımının artmasıyla açık devre gerilimi ve dolayısıyla hücre verimi de düşecektir. SCAPS-1D simülasyonunda Shockley ve Quiser limiti göz önünde bulundurulmaktadır [19], [20].

Bu çalışmada p-i-n yapıda deşik iletim tabakası olarak NiO_x , perovskit tabaka olarak $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{3-x}\text{Cl}_x$ ve elektron iletim tabakası olarak PCBM katmanlarının oluşan tersine çevrilmiş düzlemsel perovskit güneş hücresi tasarlanmıştır. Tersine çevrilmiş düzlemsel perovskit güneş hücresinin şematik gösterimi Şekil 2'de verilmiştir. SCAP 1D simülasyonu için tasarlanan tersine çevrilmiş düzlemsel perovskit güneş hücresindeki katmanların fiziksel parametreleri Tablo 1'de verilmiştir [21], [22], [23], [24], [25], [26]. Perovskit güneş hücre yapısındaki değişen katman kalınlıklarının ve değişen çalışma sıcaklıklarının hücre verimliliğine etkisi incelenmiştir.



Şekil 2. p-i-n yapısının şematik gösterimi.

Tablo 1. p-i-n yapısındaki perovskit güneş hücresinde kullanılan malzemelerin fiziksel parametreleri

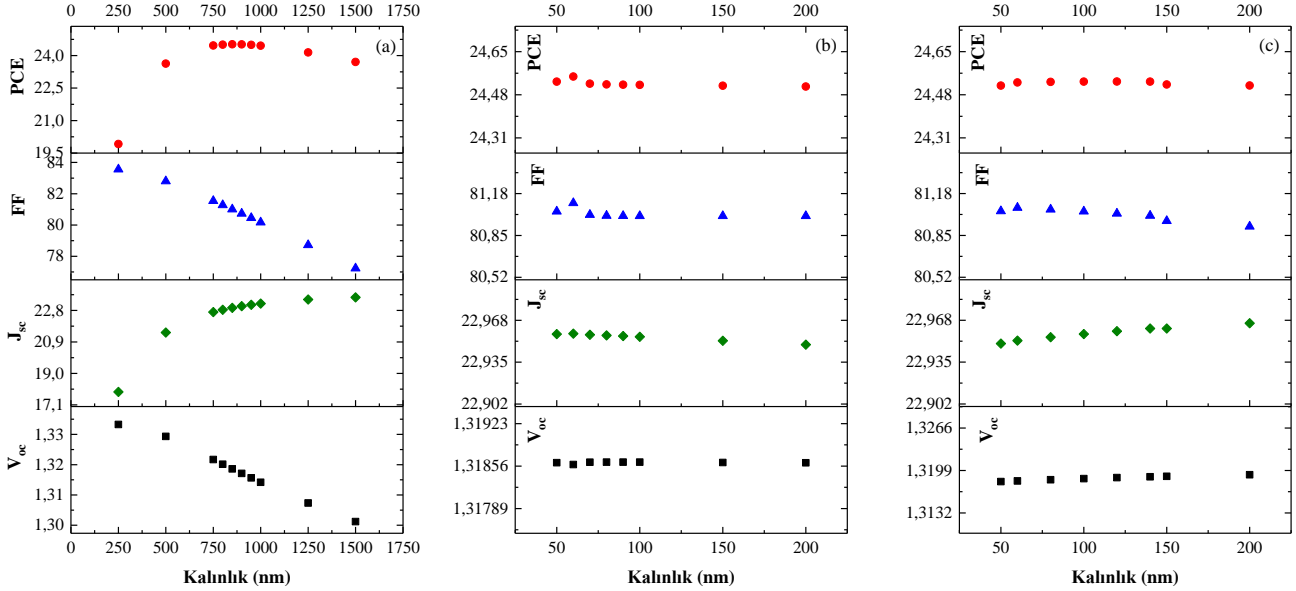
Parametreler	NiO _x	Perovskite	PCBM
Kalınlık (nm)	50-200	750-1500	50-200
Bant aralığı (eV)	3.7	1.55	1.8
Elektron ilgisi (eV)	2.1	3.9	4.2
Dielektrik geçirgenlik	10.7	6.5	4
CB etkin durum yoğunluğu (1/cm ³)	2.8 10 ¹⁹	2.2 10 ¹⁷	1.0 10 ²¹
VB etkin durum yoğunluğu (1/cm ³)	1.0 10 ¹⁹	1.8 10 ¹⁹	2.0 10 ²⁰
Elektron mobilitesi (cm ² /Vs)	12	2	1.0 10 ⁻³
Deşik mobilitesi (cm ² /Vs)	2.8	2	2.0 10 ⁻³
N _D siğ donör yoğunluğu (1/cm ³)	0	1.0 10 ¹⁷	1.0 10 ¹⁷
N _A siğ akseptör yoğunluğu (1/cm ³)	1.0 10 ¹⁷	1.0 10 ¹⁷	0
N _t toplam kusur yoğunluğu (1/cm ³)	1.0 10 ¹⁴	1.0 10 ¹³	1.0 10 ¹⁴

3. Bulgular ve Tartışma

Perovskit katmanı olarak CH₃NH₃PbI_{3-x}Cl_x, deşik iletim katmanı olarak NiO_x ve elektron iletim katmanı olarak PCBM katmanlarını içeren p-i-n yapısında perovskit güneş hücresi tasarlandı ve SCAPS-1D yazılımında simüle edildi. Tasarlanan perovskit güneş hücresinin fotovoltaiik parametreleri, açık devre gerilimi (V_{oc}), kısa devre akım yoğunluğu (J_{sc}), dolum faktörü (FF) ve güç dönüşüm verimi (PCE), aydınlatma altında (AM 1.5G 100 mW/cm²) akım-gerilim karakteristikleri kullanılarak elde edilmiştir. SCAPS-1D yazılımı kullanılarak yapıdaki tüm katmanların kalınlığının optimizasyonu gerçekleştirilmiş ve farklı çalışma sıcaklıklarında ters düzlemsel perovskit güneş hücrelerinin güç dönüşüm verimliliği ve diğer fotovoltaiik parametreleri üzerindeki etkisi simülasyon yoluyla araştırılmıştır.

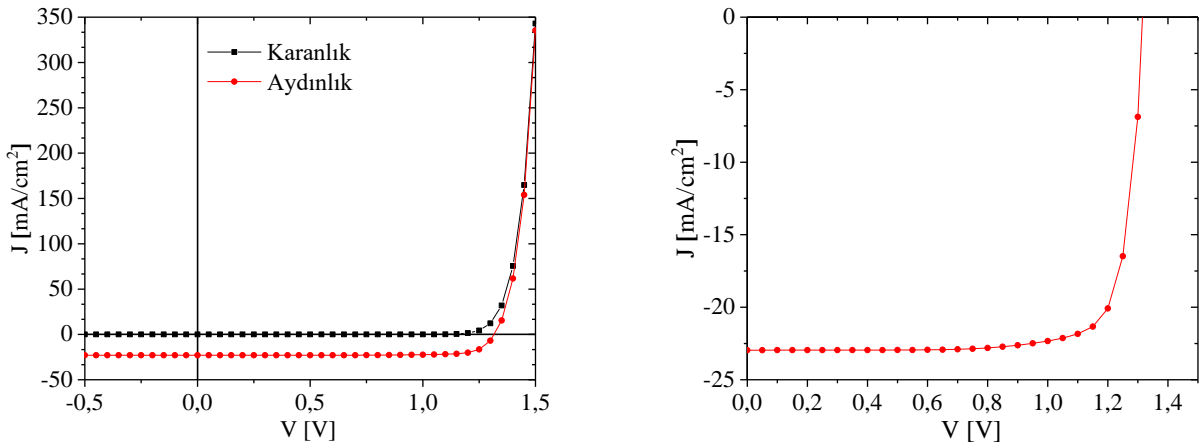
SCAPS-1D yazılımı kullanılarak tasarlanan p-i-n yapısındaki NiO_x kalınlığı, CH₃NH₃PbI_{3-x}Cl_x perovskit kalınlığı ve PCBM kalınlığı değiştirilerek simülasyonları yapıldı ve hücrenin fotovoltaiik parametrelerindeki değişim incelendi. Perovskit foton soğurucu katman, geniş bir dalgaboyu aralığında gelen fotonları verimli bir şekilde soğurmasına ve yük taşıyıcıları oluşturmasına olanak tanıyan yüksek soğurma katsayısına sahiptir. Perovskit katmanının ince olması durumunda foton absorpsiyonu düşük olmasından dolayı taşıyıcı yük üretimi de düşük olur, kalınlığın artması daha fazla fotonun soğrulmasına ve yük taşıyıcı üretiminin artmasına dolayısıyla kısa devre akımının artmasına neden olur fakat kalınlığın çok arttırılması durumunda difüzyon uzunluğundan dolayı üretilen yüklerin rekombinasyon olasılığı artar ve kısa devre akım yoğunluğu azalmaya başlar, ayrıca seri dirençteki artış dolum faktörünü azaltmaktadır. Perovskit katman kalınlığının artmasıyla birlikte rekombinasyon olasılığının artması ters doyma akımının artışına dolayısıyla açık devre geriliminin düşüşüne neden olmaktadır. Perovskit güneş hücresinde elektron iletim tabakası elektronların ve deşik iletim tabakası ise deşiklerin taşınmasında malzemelerin elektriksel özellikleriyle yakından ilişkilidir ve iletim tabakalarının kalınlığının artması direnci arttırmaktadır. Perovskit güneş hücresinde soğurucu perovskit tabakası ve elektrotlar arasında yer alan elektron ve deşik iletim tabakalarının kalınlığının çok arttırılması, ara yüzeylerinde seri direncin artmasına ve dolum faktörünün azalmasına neden olmaktadır [27], [28]. Hücre mimarisinde NiO_x deşik iletim tabakasının kalınlığı 50-200 nm aralığında, perovskit tabakasının kalınlığı 750-

1500 nm ve PCBM elektron iletim tabakasının kalınlığı 50-200 nm aralığında değiştirilerek aydınlatma altında akım-gerilim simülasyonu ile elde edilen fotovoltaik parametrelerinden güç dönüşüm verimleri karşılaştırılmıştır ve Şekil 3'de gösterilmiştir. Perovskit tabanlı güneş hücresinde NiO_x deşik iletim tabakasının kalınlığı 60 nm, perovskit tabakasının kalınlığı 850 nm ve PCBM elektron iletim tabakasının kalınlığı 120 nm optimum kalınlık değerleri elde edilen fotovoltaik parametrelerin karşılaştırılması sonucu belirlenmiştir.

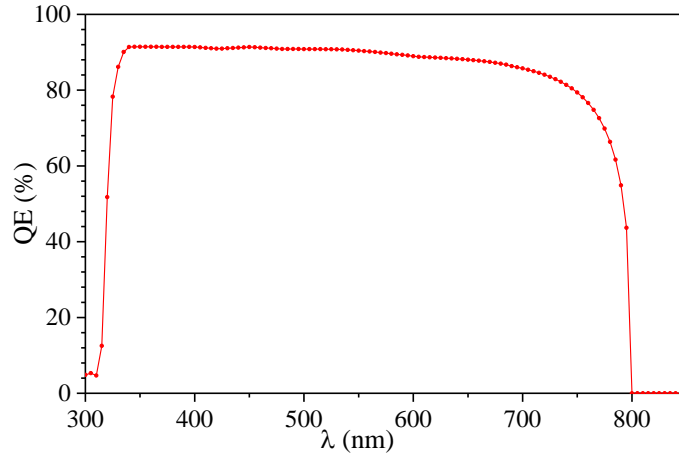


Şekil 3. Perovskit güneş hücresinin fotovoltaik parametrelerinin, p-i-n yapısındaki katmanların a) perovskit CH₃NH₃PbI_{3-x}Cl_x, b) NiO_x ve c) PCBM kalınlıklarına göre değişimi

Perovskit tabanlı güneş hücresindeki katman kalınlıkları optimize edildikten sonra karanlık ve aydınlatma altında (AM 1.5G 100 mW/cm²) akım-voltaj karakterizasyonları yapıldı ve Şekil 4'de gösterildi. Tersine çevrilmiş (p-i-n) düzlemsel yapıdaki perovskit güneş hücresinin fotovoltaik parametreleri V_{oc}=1.32 mV, J_{sc}=22.96 mA/cm², FF=0.81 ve PCE=%24.6 olarak akım-voltaj karakterizasyonlarından belirlenmiştir. Perovskit tabanlı güneş hücrelerinin kuantum verimlik (QE) spektrumu Şekil 5'de gösterilmektedir. Kuantum verimliliği spektrumundan p-i-n yapısında tasarlanan güneş hücresinin 310-800 nm dalgaboyu aralığında spektral duyarlılığa sahip olduğu gözlenmiştir.

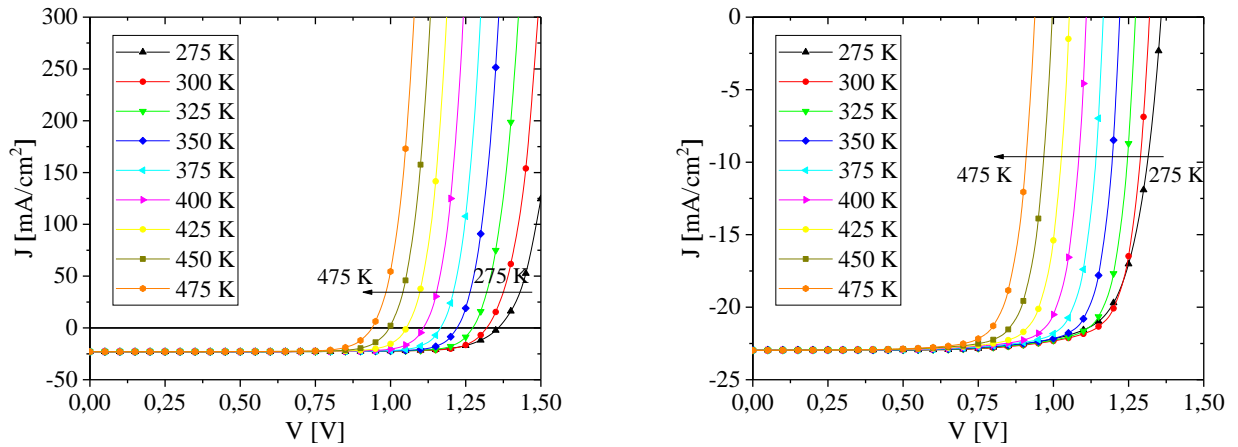


Şekil 4. Optimize edilen perovskit güneş hücresinin karanlıkta ve aydınlatma altında (AM-1.5G-100 mW/cm²) akım yoğunluğu-voltaj karakteristiği

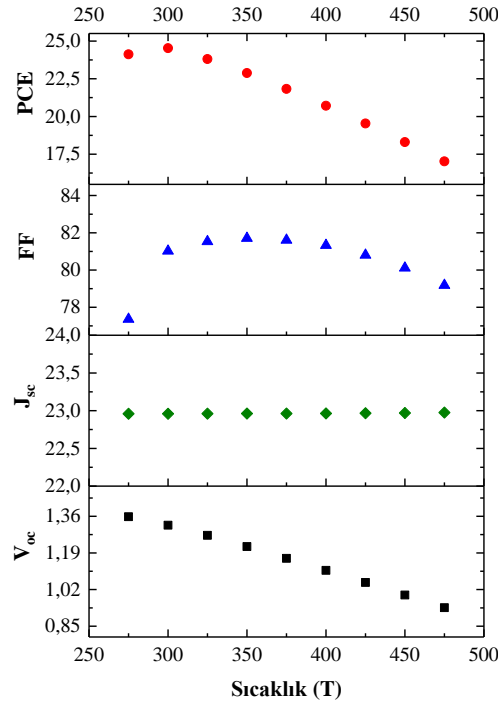


Şekil 5. Optimize edilen perovskit güneş hücresinin kuantum verimliliği spektrumu

Tersine çevrilmiş (p-i-n) düzlemsel yapıdaki perovskit güneş hücresi 275-475 K sıcaklık aralığında akım-voltaj karakterizasyonları aydınlatma altında (AM 1.5G 100 mW/cm²) yapıldı ve Şekil 6'da gösterildi. Tasarlanan perovskit hücresinin 275-475 K sıcaklık aralığındaki akım-voltaj grafiklerinden fotovoltaj parametreleri belirlendi ve Şekil 7'de gösterildi.



Şekil 6. p-i-n yapısında tasarlanan perovskit güneş hücresinin değişen (275-475 K) çalışma sıcaklıklarında aydınlatma altındaki (AM-1.5G-100 mW/cm²) akım yoğunluğu-voltaj karakteristikleri



Şekil 7. Perovskit güneş hücresinin fotovoltaiik parametrelerinin 275-475 K çalışma sıcaklığı aralığındaki değişimi

Sıcaklık arttıkça yarıiletken malzemelerin yasak enerji aralığı azalmaktadır, güneş hücresindeki enerji bant hizalanmasındaki bu değişim sıcaklıkla beraber ters doyma akım yoğunluğunu arttırmaktadır, ters doyma akım yoğunluğunun artışı özellikle güneş hücresindeki açık devre gerilimi üzerinde etkili olmaktadır ve açık devre gerilimini düşürmektedir. Ayrıca sıcaklık artışı, kusur yoğunluğunun artmasına sebebiyet vermekte ve rekombinasyon mekanizmaları daha etkin olmaktadır [29], [30]. Sıcaklığın artışıyla birlikte p-i-n yapıdaki güneş hücresinin fotovoltaiik parametrelerinden özellikle açık devre gerilimi (V_{oc}) keskin azalmıştır, kısa devre akım yoğunluğu (J_{sc}) kısmen sabit kalmıştır, hücrenin dolum faktörü (FF) 350 K sıcaklığına kadar artış göstermiş sonrasında ise sıcaklık artışıyla birlikte azalmıştır. p-i-n yapıdaki güneş hücresinde sıcaklık özellikle açık devre gerilimi ve dolum faktörü üzerinde etkili olmuştur. Sıcaklığın artışı cihazın fotovoltaiik parametrelerden açık devre gerilimini ve dolum faktörünü azalttığından dolayı güç dönüşüm verimini de sıcaklığa bağlı olarak azalmıştır. Tasalanan perovskit güneş hücresinde maksimum verim 300 K'de %24.6 gözlenirken 475 K'de %17.0 olarak gözlenmiştir.

4. Sonuçlar

SCAPS-1D tarafından gerçekleştirilen simülasyon, çeşitli perovskit güneş hücrelerinin performansının değerlendirilmesinde ve iyileştirilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada, tersine çevrilmiş düzlemsel (p-i-n) yapısında, deşik iletim katmanı olarak NiO_x , soğurucu perovskit katmanı olarak $CH_3NH_3PbI_{3-x}Cl_x$ ve elektron iletim katmanı olarak PCBM malzemeleri içeren perovskit tabanlı güneş hücresi tasarlandı. SCAPS-1D yazılımı ile malzemelerin fiziksel parametreleri kullanılarak yapının çeşitli şartlar altındaki simülasyonları yapıldı. Perovskit tabanlı güneş hücresinde katman kalınlıkları değiştirilerek fotovoltaiik parametreleri simülasyon ile elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Perovskit tabanlı güneş hücresinde NiO_x deşik iletim tabakasının kalınlığı 60 nm, perovskit tabakasının kalınlığı 850 nm ve PCBM elektron iletim tabakasının kalınlığı 120 nm olduğunda en iyi fotovoltaiik performans gözlenmiştir. Tersine çevrilmiş (p-i-n) düzlemsel yapıdaki perovskit güneş hücresinde, optimize edilen katman kalınlıkları ile yapılan simülasyon sonucunda hücrenin fotovoltaiik parametreleri $V_{oc}=1.32$ mV, $J_{sc}=22.96$ mA/cm², FF=0.81 ve PCE=%24.6 olarak belirlenmiştir. Perovskit güneş hücresinin kuantum verimliliği spektrumundan 310-800 nm dalgaboyu aralığında spektral duyarlılığa sahip olduğu ve güneş spektrumuna duyarlı olduğu bölgeden yaklaşık %90 oranında dönüşüm sağlayabildiği gözlenmiştir. SCAPS-1D yazılımı kullanılarak tasarlanan tersine çevrilmiş düzlemsel perovskit güneş hücrelerinin sıcaklık altındaki fotovoltaiik parametrelerindeki değişimi

incelenmiştir ve p-i-n yapıdaki güneş hücresinin güç dönüşüm verimliliği sıcaklığın artmasıyla beraber özellikle açık devre geriliminin keskin düşmesine bağlı olarak azaldığı belirlenmiştir. Perovskit güneş hücresinde maksimum verim 300 K'de %24.6 olarak gözlenirken 475 K'de %17.0 olarak gözlenmiştir. SCAPS-1D yazılımı kullanılarak ters düzlemsel perovskit güneş hücresinin katman kalınlıklarının optimizasyonu gerçekleştirilmiş ve farklı çalışma sıcaklıklarının hücrenin güç dönüşüm verimliliğine ve diğer fotovoltaiik parametrelerine etkisi incelenmiştir.

Kaynakça

- [1] S. Lin, T. Zhang, H. Yang, and Y. Li, "Progress and Perspectives of Solar Cells: A Critical Review", *Energy & Fuels* vol. 38 no.2, pp. 761-788, 2024.
- [2] N. Kant, P. Singh, "Review of next generation photovoltaic solar cell technology and comparative materialistic development", *Materials Today: Proceedings*, vol. 56 no. 6, pp. 3460-3470, 2022.
- [3] M. Burgelman, P. Nollet and S. Degraeve, "Modelling polycrystalline semiconductor solar cells", *Thin Solid Films*, vol. 361-362, pp. 527-532, 2000.
- [4] K. Decock, P. Zabierowski and M. Burgelman, "Modeling metastabilities in chalopyrite-based thin film solar cells", *Journal of Applied Physics*, vol. 111 pp. 043703, 2012.
- [5] K. Decock, S. Khelifi and M. Burgelman, "Modelling multivalent defects in thin film solar cells", *Thin Solid Films*, 519, pp. 7481-7484, 2011.
- [6] M. Grätzel, "The light and shade of perovskite solar cells" *Nature Materials*, vol. 13, no.9, pp. 838-842, 2014.
- [7] F. Cao, L. Bian, L. Li, "Perovskite solar cells with high-efficiency exceeding 25%: A review", *Energy Mater. Devices*, vol. 2, pp. 9370018, 2024.
- [8] Z. Song, S.C. Watthage, A.B. Phillips, & 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. 6-2, pp. 22001, 2016.
- [9] 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.
- [10] National Renewable Energy Laboratory (NREL), 2024.
- [11] 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, 2018.
- [12] M. Liu, M.B. Johnston, H. Snaith, "Efficient planar heterojunction perovskite solar cells by vapour deposition", *Nature*, vol. 501, pp. 395-398, 2013.
- [13] Q. Zhou, Z. Jin, H. Li, et al., "Enhancing performance and uniformity of $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{3-x}\text{Cl}_x$ perovskite solar cells by air-heated-oven assisted annealing under various humidities", *Sci. Rep.*, vol. 6, pp. 21257, 2016.
- [14] D. Yang, X. Zhang, K. Wang, C. Wu, R. Yang, Y. Hou, Y. Jiang, S. Liu, and S. Priya, "Stable Efficiency Exceeding 20.6% for Inverted Perovskite Solar Cells through Polymer-Optimized PCBM Electron-Transport Layers", *Nano Letters*, vol. 19 no. 5, pp. 3313-3320, 2019.
- [15] P. Calado, I. Gelmetti, B. Hilton, et al., "Driftfusion: an open source code for simulating ordered semiconductor devices with mixed ionic-electronic conducting materials in one dimension", *J Comput Electron*, vol. 21, pp. 960-991, 2022.
- [16] M. A. Green, "Solar cell fill factors: General graph and empirical expressions", *Solid-State Electronics*, vol. 24, pp. 788-789, 1981.
- [17] H.J. Park, H. Son, B.S. Jeong, "SCAPS-1D Simulation for Device Optimization to Improve Efficiency in Lead-Free CsSnI_3 Perovskite Solar Cells", *Inorganics*, vol. 12, pp. 123, 2024.
- [18] M. Burgelman, "Models for the optical absorption $\alpha(\lambda)$ of materials in SCAPS", University of Gent, 2018, Belgium.
- [19] W. Shockley and H. J. Queisser, "Detailed balance limit of efficiency of p-n junction solar cells", *J. Appl. Phys.*, vol. 32, pp. 510-519, 1961.
- [20] T. Markvart, "Shockley: Queisser detailed balance limit after 60 years", *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, vol. 11(4), pp. 430, 2022.

- [21] E. Raza, Z. Ahmad, F. Aziz, M. Asif, A. Ahmed, K. Riaz, J. Bhadra, N. J. Al-Thani, "Numerical simulation analysis towards the effect of charge transport layers electrical properties on cesium based ternary cation perovskite solar cells performance", *Solar Energy*, vol. 225, pp. 842-850, 2021.
- [22] S. Mehmood, Y. Xia, F. Qu, M. He, "Investigating the Performance of Efficient and Stable Planer Perovskite Solar Cell with an Effective Inorganic Carrier Transport Layer Using SCAPS-1D Simulation", *Energies*, vol. 16, no. 21, pp. 7438, 2023.
- [23] M. Alla, V. Manjunath, N. Chawki, D. Singh, S. C. Yadav, M. Rouchdi, F. Boubker, "Optimized $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_{3-x}\text{Cl}_x$ based perovskite solar cell with theoretical efficiency exceeding 30%", *Optical Materials*, vol. 124, pp. 112044, 2022.
- [24] M. Ayad, M. Fathi, A. Mellit, "Study and performance analysis of Perovskite solar cell structure based on organic and inorganic thin films", *Optik*, vol. 233, pp. 166619, 2021.
- [25] S.Z. Haider, H. Anwar, S. Manzoor, A.G. Ismail, M. Wang, "A theoretical study for high-performance inverted p-i-n architecture perovskite solar cells with cuprous iodide as hole transport material", *Current Applied Physics*, vol. 20, no. 9, pp. 1080-1089, 2020.
- [26] D.Araújo, V. Helene and Nogueira, A.F. Tristão, J.C. Santos, L José, "Fullerene-C60 and PCBM as interlayers in regular and inverted lead-free PSCs using $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{SnI}_3$: an analysis of device performance and defect density dependence by SCAPS-1D", *RSC Adv.*, vol. 14, no. 16, pp. 10930-10941, 2024.
- [27] T. Kirchartz, L. Krückemeier, E.L. Unger, "Research Update: Recombination and open-circuit voltage in lead-halide perovskites", *APL Mater.*, vol. 6(10), pp. 100702, 2018.
- [28] E.A Nyiekaa, T.A. Aika, E. Danladi, et al. "Simulation and optimization of 30.17% high performance N-type TCO-free inverted perovskite solar cell using inorganic transport materials", *Sci Rep*, vol. 14, pp. 12024, 2024.
- [29] S. Valizadeh, A. Shokri, A. S.-Dodaran, N. Fough, F. M.-Sukki, "Investigation of efficiency and temperature dependence in RbGeBr_3 -based perovskite solar cell structures", *Results in Physics*, vol. 57, pp. 107351, 2024.
- [30] G. Siefer and A.W. Bett, "Analysis of temperature coefficients for III–V multi junction concentrator cells" *Prog. Photovolt: Res. Appl.*, vol. 22, pp. 515–524, 2014.