

---

EUROPEAN JOURNAL OF  
**ENGINEERING AND  
APPLIED SCIENCES**

---

ISSN:2651-3412. Volume:7    Number: 2

---



# **European Journal of Engineering and Applied Sciences**

Volume: 7      Number: 2      December      2024

**Eur J Eng Appl Sci**

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/ejeas>

email: [ejeas@nku.edu.tr](mailto:ejeas@nku.edu.tr)

**ISSN: 2651-3412**



### Owner



On behalf of Tekirdağ Namık Kemal University,  
 Dean of Çorlu Faculty of Engineering,  
 Prof. Dr. Lokman Hakan TECER

### Editor-in-Chief

Prof. Dr. Gül KAYKIOĞLU

### Vice Editor

Doç. Dr. Ahmet SAYGILI  
 Doç. Dr. Kenan TOKLU  
 Dr. Öğr. Üyesi Rabia KORKMAZ TAN

### Section Editors

Prof. Dr. Hafız ALİSOY	Doç. Dr. Kenan ÇINAR
Prof. Dr. Fevzi HANSU	Doç. Dr. Olcay EKŞİ
Prof. Dr. Yalçın GÜNEŞ	Doç. Dr. Ulviye POLAT
Prof. Dr. Nusret KARAKAYA	Doç. Dr. Serap AKCAN YETGİN
Prof. Dr. Erdiñ UZUN	Doç. Dr. Koray ÇİFTÇİ
Prof. Dr. Aylin YILDIZ	Doç. Dr. Aylin AKYILDIZ
Prof. Dr. Derman VATANSEVER BAYRAMOL	Dr. Öğr. Üyesi Vildan ATALAY AYDIN
Doç. Dr. Koray ÇİFTÇİ	Dr. Öğr. Üyesi Pınar Sezin Öztürk Kardoğan

### Language Editör

Assoc. Prof. Dr. Ufuk ÇETİN	Tekirdağ Namık Kemal University	Turkey
-----------------------------	---------------------------------	--------

### Layout Editor

Research Assistant Nadide Gülşah GÜLENC	Tekirdağ Namık Kemal University	Turkey
---	---------------------------------	--------

### Editorial Board

Prof. Dr. Lokman Hakan Tecer	Tekirdağ Namık Kemal University	Turkey
Prof. Dr. Gülen İskender	Istanbul Technical University	Turkey
Prof. Dr. Aşkın Demirkol	Sakarya University	Turkey
Prof. Dr. Yılmaz Kılıçaslan	Adnan Menderes University	Turkey
Prof. Dr. Oğuzhan Çiçekoğlu	Boğaziçi University	Turkey
Prof. Dr. Gül Kremer	Iowa State University	USA
Prof. Dr. Nevin Çiğdem Gürsoy	Istanbul Technical University	Turkey
Prof. Dr. Rızzvan Erol	Cukurova University	Turkey
Prof. Dr. Gülgün Kayakutlu	Istanbul Technical University	Turkey
Prof. Dr. Emine Çokgör	Istanbul Technical University	Turkey
Assoc. Prof. Dr. Feride Şermin Utku	Boğaziçi University	Turkey
Assoc. Prof. Dr. Kristina Uzuneanu	"Dunarea de Jos" University of Galati	Romania
Asst. Prof. Dr. İsmail Faik Başkaya	Yeditepe University	Turkey
Dr. Giusy Lofrano	University of Salerno	Italy

### Correspondance Address

T.N.K.Ü. Çorlu Mühendislik Fakültesi Dekanlığı Silahtarağa Mahallesi Üniversite 1. Sokak No:13 59860  
 Çorlu / Tekirdağ, TURKEY  
 e-mail: [ejeas@nku.edu.tr](mailto:ejeas@nku.edu.tr)  
 Tel: +90 282 2502300  
 Fax: +90 282 2509924

Front & Back Pages Designed by Abdurrahman Özdemir



## CONTENT

### Research Articles

1. *Aysun Sağbaşı , Elanur Isık* 54-60  
**İş Analitiği ve Kurumsal İş Zekası Raporlama Sistemlerine Dayalı Performans Analizi**
2. *Ayşe Türkteş Ali , Gonca Yıldız Pabuşçu , Timur Atik , Fatma Goktepe* 61-64  
**Bobinleme İşleminde Kullanılan Farklı Parafinlerin İplik Özelliklerine Etkisi**
3. *Birgül Sir , İbrahim Feda Aral* 65-76  
**Applied Studies in Çorlu (Tekirdağ) District According to Real Estate Valuation Methods**
4. *Nadir Subaşı* 77-83  
**Comprehensive Analysis of Grid and Randomized Search on Dataset Performance**
5. *Gülizar Alisoy , Hasan Demir , Hafız Alisoy* 84-87  
**Analysis of the Formation of Material Structures with Axial Symmetry by Strong Electric Field**
6. *Elif Ayyüce Kılınç , Asude Hanedar , Aysegül Tanık , Erdem Görgün* 88-97  
**İki Farklı Konum ve Özellikteki Otelde Yağmur Suyu Hasadı Üzerine Fizibilite Çalışması**
7. *Barış Özden , Erol Çalik* 98-102  
**A Test Method to Determine the Optimum Position for the Wi-Fi Module in a Smart TV**
8. *Taner Mustafa Cengiz* 103-113  
**Meriç-Ergene Havzasında 1970-2020 Dönemi Bölgesel Yağışın Yüzde Ağırlıklı Poligon Yöntemiyle Belirlenmesi**
10. *Ertugrul Ordu* 119-125  
**Hamzadere Barajının Geoteknik İncelemesi**
11. *Arif Kivanc Ustun , Meltem Apaydın Üstün , Reşat Mutlu* 126-134  
**A Liénard Oscillator Circuit with a Memristive Bridge Rectifier**
12. *Esmâ Türk , Erkan Özhan* 135-142  
**Analyzing Factors Influencing Vocational High School IT Program Students' University Choices Using Association Rule Mining**
13. *Samira Akbarova* 143-149  
**Actual Scientific Research Directions On Smart Villages In the Web of Science Database Publications**



14. *Ercan Ulutay , Metin Yurtsever , Avşin Öztaş , Uğur Akyol , Reşat Mutlu* **150-158**  
**A Water Absorption Chamber Design for Cable Capacitance Measurement Tests**
15. *Hafız Alisoy , Hasan Demir , Gülizar Alisoy* **159-163**  
**Dynamics of Charging of Dielectric Liquid Drops in a Corona Discharge Field**
- Review**
9. *Beste Nur Karakaya, Tuba Öztürk* **114-118**  
**Farmasötikler ve Ekosistem Üzerindeki Potansiyel Etkileri**

## İş Analitiği ve Kurumsal İş Zekası Raporlama Sistemlerine Dayalı Performans Analizi

Aysun Sağbaş<sup>1</sup> , Elanur Işık<sup>2,\*</sup> 

<sup>1,2</sup> Endüstri Mühendisliği, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye  
<sup>1</sup>[asagbas@nku.edu.tr](mailto:asagbas@nku.edu.tr), <sup>2</sup>[elanurisk@gmail.com](mailto:elanurisk@gmail.com)

Geliş: 20.03.2024

Kabul: 30.07.2024

DOI: 10.55581/ejeas.1456036

**Öz.** Üretim ve hizmet işletmeleri başta olmak üzere; tüm kurum ve kuruluşlarda doğru ve etkin kararların alınabilmesi için; performans ölçüm sistemleri, faaliyetlerin optimizasyonu ve mevcut verilerin analiz edilerek geleceğe yönelik çıkarımlar yapılması büyük önem taşımaktadır. Verilerin işlenmesi, görselleştirilmesi ve gösterge panellerinin oluşturulması, şirket yönetimi için mevcut durumun analiz edilmesinde önemli olduğu kadar, hedeflerin belirlenmesi, stratejik kararların alınması ve verimli bir süreç yönetimi için de oldukça kritiktir. Son yıllarda, verilerin dönüştürülmesinde, anahtar verilerin görüntülenmesinde, kuruluşların değerlendirilmesi ve anahtar performans göstergelerinin sunulmasında iş zekası araçları ve teknolojileri yoğun olarak kullanılmaktadır. İş zekası, uzun vadeli stratejik planların oluşturulmasını, raporlamaların daha kısa sürede, verilere dayanılarak elde edilmesini sağlamaktadır. Bu çalışmada, telekomünikasyon alanında hizmet veren bir işletmede, yeni bir ürün tasarımı sürecinde kalite güvence ekibinin performansını değerlendirmek, iş süreçlerini optimize etmek ve operasyonel verimliliği artırmak için, haftalık olarak oluşturulan raporların, gösterge paneline entegre edilmesi gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, veriler iş zekası portalında DAX programlama dili ve Power Query ile işlenerek, karar destek süreçleri oluşturulmuştur. Sonuçta, mevcut verilerin görselleştirilerek daha kolay ve hızlı okunması, iş yükünde azalma, verinin anlık olarak gerçek zamanlı alınması ve raporlama sürecinin anlık takip edilerek dijitalleşmesi hedeflenmiştir.

**Anahtar kelimeler:** İş Analitiği, İş Zekası, Raporlama, Performans Analizi

### Performance Analysis Based on Business Analytics and Enterprise Business Intelligence Reporting Systems

**Abstract:** In order for accurate and effective decisions to be made in all types of organizations, particularly in manufacturing and service businesses, the implementation of performance measurement systems, optimization of activities and analysis of existing data to make future-oriented insights are of great importance. Processing, visualizing and creating dashboards for data, not only play a significant role in analyzing the current state of the company for management but also are crucial for setting objectives, making strategic decisions and managing efficient processes. In recent years, business intelligence tools and technologies have been commonly utilized in transforming data, displaying key metrics and presenting key performance indicators for organizations to evaluate. Business intelligence facilitate the creation of long-term strategic plans and enable reporting to be obtained more quickly and based on healthier data. In this study, within a telecommunications business, as part of a new product design process, the integration of a weekly report into a dashboard was carried out to evaluate the performance of the quality assurance team, optimize business processes and enhance operational efficiency. For this purpose, data was processed using the DAX programming language and Power Query in the business intelligence portal, leading to the establishment of decision support processes. As a result, the visualization of existing data for easier and faster readability, reduction in workload, real-time acquisition of data and digitization of the reporting process through real-time monitoring have been aimed for.

**Keywords:** Business Analytics, Business Intelligence, Reporting, Performance Analysis

\*Sorumlu yazar

E-mail adresi: [elanurisk@gmail.com](mailto:elanurisk@gmail.com) (E. Işık)

## 1. Giriş

Hayatın tüm alanlarında olduğu gibi, iş dünyasında da sürekli üretilen veriler; doğru ve stratejik kararların alınması, işletmelerin performansının ölçülmesi, müşteri ihtiyaçlarının tam ve zamanında karşılanması ve trendlerin belirlenmesi vb. gibi pek çok alanda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu durum, şirketlere rekabet üstünlüğü sağlamak ve sürdürülebilir büyümenin teşvik edilmesinde önemli avantajlar sunmaktadır. Büyük hacimli yapılandırılmamış verilerin işlenmesi, analizi, görselleştirilmesi ve verilerin bir araya getirilmesi amacıyla, son yıllarda iş zekâsı araçları ve teknolojilerinin kullanımı,

büyük önem arz etmektedir. İş zekâsı sistemlerinde; farklı analitik araçlar ve teknolojiler ile verilerin bilgiye dönüştürülerek karar verme sürecine yardımcı olmaları sağlanmaktadır. İş zekâsı sistemleri, planlayıcılar ve karar vericilere karmaşık ve rekabetçi bilgi sunmak amacıyla; veri toplama, veri depolama ve bilgi yönetimini birleştirmektedir [1]. İş zekâsı metodolojisi; analiz, dizayn, ilerleme, dağıtım ve evrim olarak beş aşamalı bir yaşam döngüsünden oluşmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. İş Zekâsı Bileşenleri [2]

İş zekâsı, karar alma sürecini desteklemek için tasarlanmış sistemlerin doğal bir sonucudur. Bir depo olarak veri ambarının ortaya çıkışı, veri temizleme araçlarındaki ilerlemeler, donanım ve yazılımın daha büyük yetenekleri, kullanıcı arayüzünü sağlayan internet teknolojilerindeki gelişmeler, zengin bir iş zekâsı ortamı yaratmıştır [3]. İş zekâsı sistemleri; çevrimiçi analitik işleme (OLAP), çevrimiçi işlem yürütme (OLTP), veriyi çekme, dönüştürme ve yükleme (ETL), veri madenciliği ve veri depoları gibi bileşenleri sayesinde verinin işletme hedeflerine uygun bir şekilde işlenmesini depolanmasını, ayrıştırılmasını ve gerektiğinde raporlanmasını sağlamaktadır. Sadece çok uluslu şirketler değil, orta ve küçük ölçekli işletmeler de, işletmenin iç ve dış ortamı ile ilgili verileri ve göstergeleri ekseninde oluşturulan tahminleri ve çıkarımları yoğun olarak kullanmaya başlamıştır. Bu kapsamda, iş zekâsı; etkin ve proaktif olarak kullanılmakta, işletmelere mevcut ve gelecek için iş kararları almada iyi bir bilgilendirme ve rekabetçi olma avantajı sağlamaktadır. Günümüz işletmelerinde tam, doğru ve zamanında bilgiye erişimi ve otomasyonu sağlayarak, bilgi akışının sürekliliğini mümkün kılan bir sistem ve teknoloji olarak kullanılan iş zekâsının temel amacı; zamanında ve kaliteli bilgi sağlanması ve iş sürecinin geliştirilmesidir. İş zekâsı kavramı, tarihte ilk kez Hans Peter Luhn [4] tarafından 1958 yılında kullanılmıştır. Luhn'a göre iş zekâsı, istenen bir hedefe ulaşmak için mevcut bilgilerin ilişkilerini anlamlandırma yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Moss ve Atre [5] ise iş zekâsını, işletme çalışanlarının işle alakalı verilere kolaylıkla erişebilmesi için kullanılan veri tabanları, bütünlük işlemler ve karar destek sistemlerinden bir araya gelen yazılım mimarisi şeklinde tanımlamıştır. Sabanovic ve Soilen'e göre [6] iş zekâsı, bir şirketin organizasyonel çevresini ve ortamını daha iyi anlamak için etkili bir raporlama ve analiz aracı olarak kullanılmakta ve yöneticilere karar

vermek için temel veriler sağlamaktadır. Adelman ve arkadaşları [7] iş zekâsını, bir şirketin kullanıcılarının daha iyi iş kararları vermesi amacıyla bilgileri toplamak, birleştirmek, analiz etmek ve bilgiye erişim sağlamak için çok çeşitli analitik yazılım ve çözümleri kapsayan bir terim olarak tanımlamaktadır. Rick ve Lans [8] iş zekâsını ham verileri anlamlı ve kullanışlı bilgilere dönüştüren metodolojiler, süreçler, mimariler ve teknolojilerin bir kümesi şeklinde betimlemiş ve bu bilgilerin daha etkili stratejik, taktik ve operasyonel görüşler ile karar alma süreçlerini desteklemek için kullanıldığını dile getirmiştir. İş zekâsı 1.0; yönetim bilişim sistemleri ve karar destek sistemlerinin, temel istatistiksel yöntemler ve basit veri madenciliği tekniklerinin yaygın olarak kullanıldığı 1970-1980'li yıllarda ortaya çıkan ilk çağ iş zekâsı sistemleridir. OLAP, veri madenciliği, internet ve web teknolojisinin iş zekâsı sistemleri ile kullanılmaya başlandığı dönem; iş zekâsının ikinci çağı (1990-2005) olarak adlandırılmaktadır. İş zekâsı 3.0 ise; mobil cihazlar, RFID (radyofrekans tanımlama), barkod, sensörler gibi ileri teknolojik ürünlerin devreye girdiği dönemdir. İş zekâsı sistemleri, bu yeni ürünler ile daha güçlü hale gelmiştir. Bulut iş zekâsı sistemleri ise; düşük maliyet, esneklik ve hızlı kullanım gibi üstün özellikleri sayesinde, yazılım ve donanımlara minimum çaba ile erişim sağlayabilmektedir [9]. Çetin ve Tanrıöver [10], personel memnuniyetinin ölçülmesi amacıyla, bir devlet kurumunda personel verilerini yönetmek için veri madenciliği tekniklerini ve iş zekâsı sistemlerini kullanmışlardır. Çalışmada kümeleme analizi ve ilişki kuralları algoritmalarını kullanarak personel memnuniyet analizi yapılmış ve farklı personel gruplarını inceleyerek, personel eksenli özel ihtiyaçları ele alınmıştır. Elde edilen bulgular, anlamlı bilgilere dayalı olarak personel için karar verme ve planlama faaliyetlerinde etkili olmuş ve çok önemli katkı sağlamıştır. Pazarçeviren ve arkadaşları [1] bir tekstil

firmasında satış birimleriyle ilgili süreç yönetiminin, iş zekâsı uygulamasıyla ne şekilde ilerlediğini araştırmıştır. Çalışmanın sonucunda iş zekâsı sisteminde ihtiyaç duyulan başlıca bileşenler OLAP, veri madenciliği, veri depoları ve ETL araçları olarak sınıflandırılmıştır. İşletmede kurumsallaşma ve karmaşık üretim süreçleri gibi nedenlerle, bilgi akış süreçlerinin karmaşıklığını değerlendirmişler, şu anki teknolojik gelişmeler sayesinde, veri yığınlarından elde edilen bilgiler ve belirlenen parametreler çerçevesinde raporlama yapıldığını belirtmişlerdir. Köklü [11] tarafından yapılan çalışmada, iş zekâsının önemi ve amacı üzerinde durulmuştur. İş zekâsı uygulamalarının iş sonuçlarını daha iyi, daha hızlı ve daha kolay analiz edebildiği, aynı zamanda verilerin görsel olarak anlaşılır olduğu ve farklı görevlerdeki insanların da bu verileri rahatlıkla anlayabildiği belirtilmiştir. Koyuncugil, ve Özgülbaş [12] çalışmasında, veri madenciliğinin sağlık sektöründe karar verme sürecindeki başarısını incelemiştir.

Çalışmada veri madenciliği uygulamaları ve yöntemlerinin iş zekâsıyla ilişkisi ve karar verme süreçlerine etkisi anlatılmıştır. Türk [13] numune üretim atölyesinde gerçekleştirdiği iş zekâsı çalışmasında, raporlama, analiz ve süreç takibinin yönetildiği bir gösterge paneli oluşturmuş ve yapılan uygulama öncesi işletmenin mevcut durumu analiz edilmiş ve iş zekâsı uygulaması sonrası gerçekleştirilen toplantılarda %60 oranında bir iyileşme gözlemlenmiştir. Veri analizinin kolaylığı ve tüm süreçlerin iş zekâsına dahil edilmesiyle önemli iyileştirmeler olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışmada; bir telekomünikasyon şirketinin kalite güvence biriminde, iş zekâsı uygulaması yapılmış ve büyük hacimli verinin görselleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Günlük ve haftalık olarak yapılan işlemlerde süreç ve performansın iyileştirilmesi, iş takibi, iş güncellenmesi vb. gibi hedefler için bir gösterge paneli oluşturulmuştur. Bu amaçla, günlük işlerin durumu, sayısı, birimlerin verimliliğinin günlük ve aylık olarak görüntülenebilmesi sağlanmış ve oluşturulan gösterge paneli ile üst yönetime sunulan raporların manuel sistemden otomasyona dönüşmesi ve bu sayede rapor oluşturulması için harcanan adam/saat oranının minimize edilmesi mümkün olmuştur. Sonuçta; verilerin anlık güncellenmesi, istenilen zaman periyodunda link üzerinden kontrollerin yapılıp, kararların daha kolay ve daha hızlı alınması gerçekleştirilmiş olup, işgücü ve zaman tasarrufu sağlanmıştır.

## 2. İş Zekâsı Mimarisi ve Metodolojisi

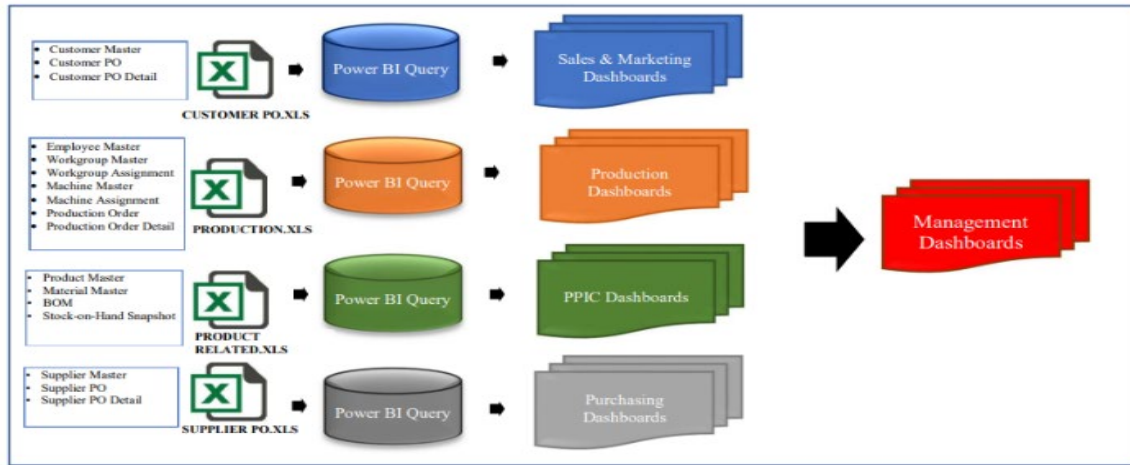
Veri analizi, istatistiksel bir süreçtir ve toplanan verilerin özetlenmesi, modellenmesi, keşfedilmesi, dönüştürülmesi, organize edilmesi ve yorumlanmasını içermektedir. Veri kaynaklarından elde edilen bilginin daha anlamlı hale getirilerek problem çözüme veya karar verme amaçlarıyla kullanılması da, veri analizinin işlevleri arasındadır. Verilerin doğruluğunu ve güvenilirliğini sağlamak için, dikkatli bir şekilde veri temizleme, dönüştürme ve ölçekleme işlemleri gerçekleştirilmelidir. Derinlemesine incelenen ve modellenen veriler sayesinde sonuçlar çıkartılırken, görselleştirme ile daha anlamlı hale gelmeleri de sağlanmaktadır. İş zekâsı uygulamaları doğru bilgiye ulaşabilmek için verilerin analizini, dönüştürülmesini, görselleştirilerek veri yorumlanmasını ve organizasyondaki her kullanıcının doğru bilgiye kolay ulaşmasını sağlamaktadır. Anlık olarak ulaşılabilen temiz veriler şirket içindeki çalışanların,

yöneticilerin her faktörü daha kapsamlı değerlendirmesini, daha hızlı ve sağlıklı sonuçlar almasını sağlamaktadır. Ayrıca iş zekâsı, birçok kaynaktan alınan verilerin analizinin birden çok birim tarafından birlikte değerlendirilmesini sağlayan ve bu kapsamda karar verme süreçlerinde anlamlı raporların oluşturulmasında kullanılan çok önemli bir metodolojidir. İş zekâsı ya da kurumsal zeka; en basit anlamı ile ham verinin, analiz ve karar destek amacı ile anlamlı ve yararlı bilgiye dönüştürülmesi işlemidir. Bu işlemi en kısa sürede yapmak için de iş zekâsı sistemleri, çok büyük miktarda veriyi işleyip, karar vericilerin kolayca algılayabileceği görsellere, raporlara, grafiklere, sunumlara dönüştürmekle yükümlüdürler. Bu şekilde iş zekâsı sistemi, kullanıcısının doğru karar verebilme yetkinliğini arttıran bir karar destek sistemidir. İş zekâsı, karar vermeyi destekleyen ve bilgi teknolojilerini temel alan bütün süreçler, teknikler ve araçlar için genel anlamda kullanılan bir terimdir. İş zekâsı genellikle veri madenciliği, veri analizi, raporlama ve veri görselleştirme teknikleri kullanılarak gerçekleştirilir. İş zekâsı potansiyeli açısından ele alındığında; veriyi anlamlı hale getirme, özetleri görselleştirme, alternatif senaryoları modelleme ve tahmin modelleri gibi bileşenleriyle kullanıcıların verilerle olan etkileşimini artırıcı özelliklere sahiptir. Bir yönetim paneli üzerinden ilerleyen süreçle birlikte kullanılan tüm bileşenler, karar destek sürecinin sağlanabilmesi amacıyla, veri kümelerini analiz edilebilir, yorumlanabilir ve çıkarım yapılabilir hale getirmektedir [14,15]. İş zekâsı uygulamaları içerisinde; veri depolama ve yönetimi araçları, veri görselleştirme araçları, raporlama araçları, veri analizi araçları ve yapay zeka ve makine öğrenimi araçları yaygın olarak kullanılmaktadır. İş zekâsı araçları ile işletmelerde, performans yönetimi, pazarlama analizi, finansal yönetim, operasyonel verimlilik, rekabet analizi ve müşteri ilişkileri yönetimi vb. gibi uygulamalar gerçekleştirilebilmektedir. İşletme performansının ölçülmesiyle; iş süreçleri hakkında bilgiler sağlanabilir, pazarlama analizi ile pazar trendleri ve müşteri davranışları hakkında bilgiler elde edilebilir. İşletmelerin rekabet stratejilerinde, etkinlik, verimlilik ve sürdürülebilirliğin ölçülebilmesi için iş zekâsı stratejik bir girişimdir. İş zekâsı sistemlerinin faydaları sadece rekabet üstünlüğü sağlamak değildir. Bu faydanın yanı sıra maliyet tasarrufu sağlamak, pazar analizi yaparak işletme gelirlerini arttırmak, problemleri tespit etmek, müşteri memnuniyetini arttırmak, kurum içi süreçlerin iyileştirilmesini sağlamak da mümkündür [16]. İş zekâsı araçları kullanmadan önce, işletmeler analizlerinin çoğunu manuel yapmak zorunda iken, iş zekâsı araçları ile birçok sürecin otomasyona çevirilip kurumların zaman ve iş gücünden tasarruf sağlaması mümkün olmaktadır. İş zekâsı uygulamalarında, verilerden elde edilen bilginin daha kolay yorumlanması amacıyla; veri toplama, analiz ve görselleştirme, nihai karar verme adımları takip edilmektedir. İş planları ve işletme raporları temelde; tepe ve faaliyet yöneticilerinin karar alma süreçlerine önemli destek sağlamak amacıyla oluşturulmaktadır. Rapor üretim süreçleri; işletmelerin günümüzde giderek daha kurumsal yapılar haline gelmesi nedeniyle karmaşık bilgi sistemlerinin kullanılmasını gerektirmektedir. Dolayısıyla işletmeler mümkün olduğunca hızlı ve en iyi kararları alabilmek amacıyla, ihtiyaç duyulan çok sayıda bilginin elde edilebilmesi için karar alma sürecini geliştiren çözümlerden biri olan iş zekâsını kullanmaktadırlar [17]. Yapılan çalışmada kullanılan Power BI uygulaması,



Microsoft firması tarafından 2013 yılında geliştirilmiş, bulut tabanlı bir iş çözümleri hizmetidir. Power BI kullanılarak, operasyonel panolar aracılığıyla kurumların anlık durumları incelenebilmekte ve görsel raporları ile kurum verileri derinlemesine araştırılabilmektedir. Power BI, birçok dosya uzantısını destekleyen bir yelpazeye sahip ve çeşitli veri kaynaklarını destekleyen ve bu kaynaklardan elde edilen verilerin analiz edilip görselleştirilmesine olanak sağlayan Microsoft Office tabanlı iş zekası aracıdır. Kullanıcıların dinamik gösterge panelleri ve raporlar oluşturmasını mümkün kılan veri görselleştirme, veri temizleme ve veri dönüştürme araçları sağlamaktadır. Organizasyonlarda iş süreçlerine ilişkin anlık bilgiler sağlayan yönetici gösterge panel uygulamaları oluşturulabilmektedir. Genel olarak Power BI,

organizasyonlarda verileri analiz edip görselleştirmek için kullanımı kolay araçlar ile, yönetici raporlarının gerçek bilgiye dayalı, sade, net bilgiler veren sunumlara olanak sağlamaktadır. Power BI ile kullanıcılar, bulut tabanlı veritabanları, Excel elektronik tabloları ve web tabanlı hizmetler dahil olmak üzere çok çeşitli veri kaynaklarına bağlanabilmekte, özel raporlar ve panolar oluşturmak için verileri dönüştürerek modelleyebilmektedir. Veri modelleme araçları sayesinde veri hazırlığına harcanan zamandan tasarruf edilmektedir. Power BI ile, verileri, detaylı olarak inceleyip bu veriler arasındaki ilişkileri keşfetmek, hızlı analizler, veri gruplama, tahmin yapma ve veri kümeleme mümkündür. Power BI veri modeli Şekil 2.'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Power BI Veri Modeli [18]

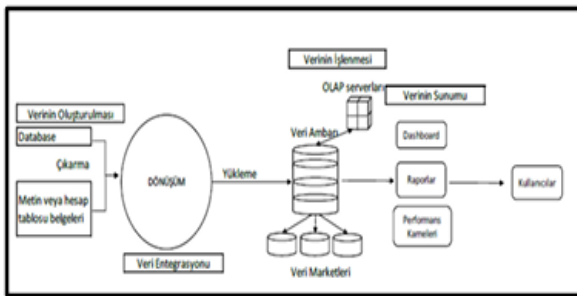
Veri entegrasyonu, kurumların işlerini yürütmeleri için tek bir sistem veya veri kaynağının yetersiz olduğunun fark etmeleri ile ortaya çıkmıştır. Veri entegrasyonu ile kurumlar birçok farklı veri kaynağını birlikte kullanabilmektedir. Veri ambarları da raporlama ve analitik ihtiyaçları desteklemek için veri entegrasyon tekniklerini sıklıkla kullanmaktadır. Veri entegrasyonu, işlenmesi ve sunumu süreçleri Şekil 3. de verilmiştir.

bileşenlerini içermektedir. Verinin sunumu ve analizi her alanda çok önemli bir yere sahiptir. Verinin sunumu, grafikler, tablolar, haritalar ve diğer görsel metotları içermektedir. Verinin sunumunda gösterge panelleri, yönetim araçları, kurumsal karneler önemli bir yere sahiptir ve verinin anlaşılabilir olmasını sağlamaktadır [20,21].

### 3. İş Zekası Modelinin Oluşturulması

#### 3.1. Mevcut Durum Analizi

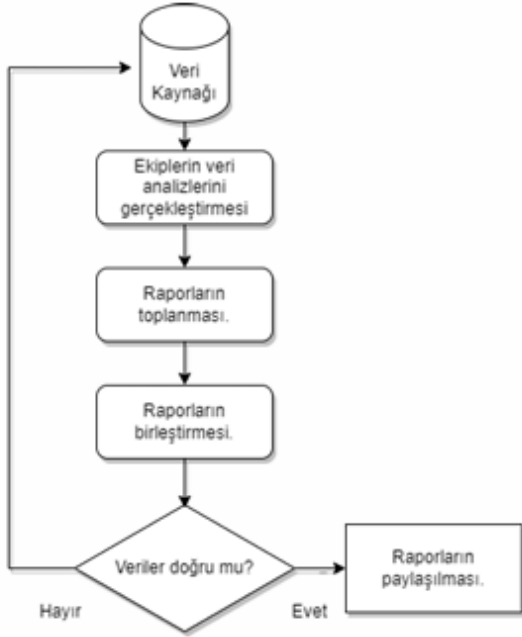
Uygulamanın yapıldığı telekomünikasyon şirketinde müşteri için yeni bir ürünün kullanıcıya sunulması sürecinde; verinin bilgiye dönüştürülerek raporlanması ve bu raporlar ekseninde karar almanın daha hızlı ve etkin yapılabilmesi amacıyla iş zekası araçları kullanılmış ve sürecin performansı değerlendirilmiştir. Mevcut durumda, işletmenin kalite güvence biriminde toplam 9 ekip görev yapmakta ve günlük olarak 3 ayrı Microsoft Excel tablosu şeklinde otomatik mail olarak gönderilen verilerin işlenmesi, 9 ekip tarafından manuel yapılarak, üst yönetime raporlanmaktadır. Veri gönderme süreci hafta, ay ve yıl bazında düşünüldüğünde; veriler hem veri depolama alanında çok fazla yer kaplamakta, hem de ulaşılması ve takibi zorlaştırmaktadır. Ayrıca, gelen Excel tablolarında veriler temizlenmemiş durumdadır ve kullanılmayan sütunların çok fazla olduğu ve periyotların üst üste bindiği görülmektedir. Bu sebeple, çalışan personelin veriyi bilgiye dönüştürüp rapor sunma sürecinde, zaman ve



Şekil 3. Verinin Entegrasyonu, İşlenmesi ve Sunumu [19]

Burada veri ambarları ve veri marketleri kullanılarak farklı mimari yaklaşımlar gösterilmektedir. Veri işleme aşamasında bütün araçlar öncelikle verinin değerlendirilmesi ve analizinden sorumludurlar. Bu süreç veri modelini belirlemek için çevrimiçi analitik işleme ve veri madenciliğini

işgücü kaybı oluşmakta ve gecikmeler yaşanmaktadır. Mevcut durumda yöneticiler açısından verileri değerlendirme, doğru yorumlama ve etkin karar alma süreci verimli olmamaktadır. Ayrıca, kişi bazlı ve ekip bazlı performans değerlendirmelerinin etkin olarak yapılamaması da önemli bir problemdir. Mevcut durum iş akışı Şekil 4.'de verilmiştir.



Şekil 4. Mevcut Durum İş Akışı

Yapılan çalışmada; iş süreçlerini optimize etmek, operasyonel verimliliği artırmak, dijital süreçler için temel oluşturmak ve verileri görsel hale getirmek amacıyla Power BI uygulaması yapılarak yeni bir süreç tasarlanmış ve elde edilen kazanımlar değerlendirilmiştir.

### 3.2. Geliştirilen Karar Destek Sistemi

Mevcut süreçte işgücü, zaman ve kalite optimizasyonu sağlamak amacıyla Power BI uygulaması ile bir karar destek sistemi oluşturulmuştur. Kullanılan veri kaynağına, ilgili personellerin daha kolay ve hızlı erişebilmesi için ortak alanda bir klasör oluşturulmuş ve geliştirilen bir robot yardımıyla bu veriler oluşturulan klasöre aktarılmıştır. Oluşturulan robot, günlük olarak gelen Excel tablolarını içeren mailleri belli bir saat aralığında ortak alandaki klasöre aktarmaktadır. Power BI'da oluşturulacak rapor için veri, bu ortak klasörden alınmaktadır. Power BI'da oluşturulan raporun iş akışı Şekil 5.'de verilmiştir.

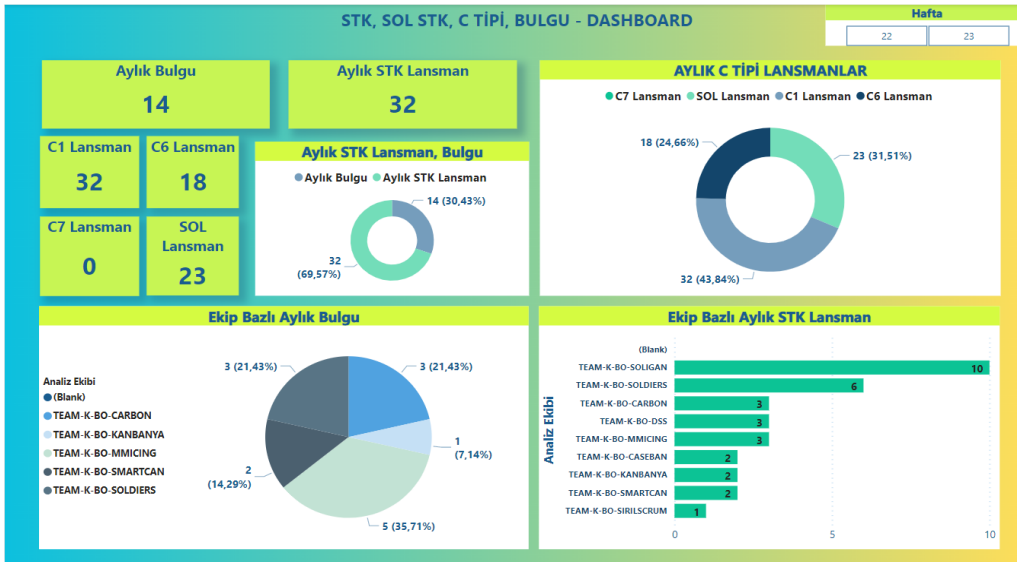
Power BI içerisinde veri dönüştürme ve veri hazırlama aracı olarak Power Query kullanılmıştır. Power Query, kullanıcıların elektronik tablolardan, veri tabanlarından, web sayfalarından ve diğer dosya formatlarından veri bağlantısı, birleştirme ve düzenleme yapmalarına olanak sağlamaktadır. Power Query ile kullanıcılar filtreleme, sıralama, gruplama, pivotlama, bölme ve birleştirme gibi bir dizi veri dönüştürme görevini gerçekleştirebilmektedirler. Ayrıca, tekrarlayan değerleri kaldırma, null değerleri değiştirme ve veri tiplerini

dönüştürme gibi veri temizleme ve dönüştürme işlemleri de yapılabilmektedir.



Şekil 5. Oluşturulan Rapor İş Akışı

Genel olarak, Power Query, veri hazırlama ve dönüştürme için güçlü bir araçtır ve manuel veri manipülasyonu ile karşılaştırıldığında, zaman ve işgücü tasarrufu sağlamaktadır. Çalışmanın veri analizi kısmında; çok boyutlu veri modellerindeki tablolardan ve ilişkilerden değerler olarak veri analizi işlemleri yapmakta kullanılan Power BI Data Analysis Expressions (DAX) uygulanmıştır. DAX, özellikle büyük veri kümeleri üzerinde çalışırken, veri analizi sürecini hızlandırmaya yardımcı olmaktadır. Ayrıca, DAX formülleri, çeşitli veri kaynakları arasında ilişki kurmak için kullanılan öğeler ve analiz sonuçlarının görselleştirilmesi için kullanılan ölçüler ve grafikler gibi birçok farklı özellikle birlikte kullanılabilir. DAX, karmaşık veri modelleri ve hesaplamalar için oldukça güçlü bir araçtır ve Power BI raporlarında etkileşimli görselleştirmeler, filtreler ve ölçüler gibi birçok özelliğin kullanılmasını da sağlamaktadır. Power BI uygulamasında performans değerlendirmede kullanılan verileri daha anlamlı hale getirmek için oldukça faydalıdır. Yeni ürün tasarım sürecinde; lansman sayısı, müşteri şikayeti, ücretlendirme hatası vb. gibi hedef ve fonksiyonların değerlendirilmesi aşamasında gerekli hesaplamaların (Toplam, ortalama değer, yüzdeler vb.gibi) yapılmasında, etkileşimli grafiklerin, gösterge panelinin ve raporlamaların oluşturulmasında etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Çalışmada, Power BI uygulaması ile, raporlama sisteminin etkinliğini sağlamak amacıyla bir yönetici/gösterge paneli oluşturulmuş olup, oluşturulan gösterge panelinin, veri güncellemeleri ekseninde günlük olarak otomatik yenilenmesi sağlanmış ve günlük Excel tablolarında sorgu yapılması yerine, haftalık ve aylık performans göstergelerinin etkin şekilde takip edilebilmesi sağlanmıştır. Oluşturulan performans göstergeleri ve hedef değer rapor ekranı Şekil 6.'da verilmiştir.

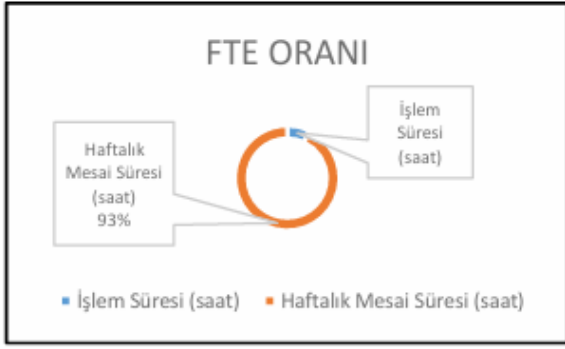


**Şekil 6.** Geliştirilen Performans Göstergeleri ve Hedef Değer Rapor Ekranı

Oluşturulan gösterge panelleri ile karmaşık veri setleri görselleştirilerek, anlaşılır bir şekilde sunulmakta ve hangi iş sürecinden ne kadar işlem yapıldığı, iş süreçlerinin oranları, ekip bazlı iş süreçlerinin kıyaslaması vb. gibi performans ve hedef değerleri görüntülenebilmektedir. Mevcut durumda günlük Excel tablosu olarak gelen ve haftalık olarak raporlaştırılarak takip edilen performans ve hedef değerleri, geliştirilen sistemde, anlık takip edilmekte ve belirlenen hedeflere uygunluk bir sayfa rapor ekranı üzerinden izlenebilmektedir. Böylelikle, belirlenen hedeflere uygunluk günlük izlenebilmekte, iş birimlerinin performansı daha hızlı takip edilebilmektedir. Bu sayede, verileri daha iyi analiz edilmesi, eğilimlerin tespit edilebilmesi ve kritik iş performans göstergelerinin izlenebilmesi mümkün olmaktadır. Uygulama sürecinde oluşturulan gösterge panelleri, ayarlanan saat diliminde günlük otomatik olarak güncellenmektedir. Bu şekilde uygulama öncesinde haftalık olarak oluşturulan rapora, günlük ulaşılması mümkün olmaktadır. Anlık olarak durum analizi sağlanabileceği için karar sürecinde anlık veriye dayalı kararların alınması sağlanmakta ve güncelleme yapılması mümkün olmaktadır. Geliştirilen raporlama sistemi ile; manuel olarak haftalık rapor oluşturulması için harcanan süre (adam/saat) ortadan kaldırılmaktadır. Ayrıca insan faktörünün otomasyona evrilmesiyle, işgücü ve zaman kazanımına ilaveten, iş süreçlerindeki hata oranı da azalmış ve kalitenin iyileştirilmesi sağlanmıştır. İş zekası uygulaması ile, verilerin analizi kolaylıkla yapılabilmekte, tek bir seferde yapılan veri analizi, kaynağa aynı formatta yeni veri yüklendiği zaman, yenilenebilmektedir. Bu şekilde tek bir seferde yapılan analiz tekrarlanmadan kendini sürekli yenilemekte ve tekrarlı işler ve işlem süreleri ortadan kalkmaktadır. Mevcut süreçte kalite güvence bölümündeki 9 ekip ayrı ayrı kendi insan kaynakları ile verileri analiz etmekte ve ekipte raporu düzenleyen personele aktarmakta, her bir ekipteki rapor sunucu ise (toplam 9 kişi) kendi birim raporlarını, yöneticiye özet raporu sunacak olan diğer personele aktarmaktadır. Geliştirilen yeni sistem, çalışan iş yükü, personel maliyetleri, karar verme ve performans sisteminin etkinliği açılarından değerlendirildiğinde, raporun derlenmesi ve özetlenmesinden sorumlu 9 personelin iş yükünün minimize edildiği görülmektedir. İş yükü sayısal olarak incelendiğinde; her

ekibin kendi raporunu hazırlama süresi 15-20 dakika, toplam rapor hazırlık süresi ortalama 157,5 dakika olmaktadır. Rapor hazırlık sürelerine, raporların toplanma süreleri de eklendiğinde; raporların karar vericiye iletilmesi için ortalama 3 saat zaman harcanmaktadır. Önerilen sistemin yaratacağı katma değer (kazanımlar ve faydalar); personel planlaması, bütçeleme ve iş yükü tahmini gibi alanlarda kullanılan ve çalışanın tam zamanlı çalışma süresine göre ölçülen Full Time Equivalent (FTE) ekseninde de değerlendirilmiştir. Bir şirketin toplam FTE sayısı, personel ihtiyaçlarını belirlemek veya bütçe oluşturmak için kullanılabilir. Ayrıca, bir projenin veya departmanın iş yükü FTE cinsinden hesaplanarak, kaynak tahsisini ve zaman çizelgesini yönetmek için de oldukça faydalıdır. FTE, çalışanların iş gücü planlamasında ve kaynak yönetiminde kullanılan standart bir ölçüdür ve işgücü yönetiminde önemli bir rol oynamaktadır. Genellikle haftada 40 saatlik çalışma süresi tam zamanlı olarak kabul edildiğinden, FTE değerlendirmesi için bu çalışmada haftalık 40 saatlik çalışma süresi uygulandığı kabul edilmiştir. (Standart farklı ülkeler veya sektörler arasında kısmen değişebilmektedir). FTE hesaplaması, çalışanın gerçek çalışma saatlerinin tam zamanlı çalışma saatine oranlanmasıyla yapılmaktadır. Bu çalışmada 9 personel tarafından yapılan raporlama işleminde; toplam işlem süresi 0,26 saat kabul edildiğinde; rapor hazırlamak için aylık yaklaşık 12 saat iş gücü harcaması gerektiği belirlenmiştir. Geliştirilen iş zekası modeli ile, 9 ekibin rapor hazırlamadan sorumlu her bir çalışanı için, günlük 3 saatlik işgücü tasarrufu sağlanması mümkün olmaktadır. (Şekil 7).

Yapılan çalışma, hızlı karar verme, performans izleme sisteminin etkinliği açısından önemli kazanımlar sağlamaktadır. Mevcut durumda hazırlanan rapor 9 ekipten ayrı ayrı alınıp haftalık olarak birleştirilmekte ve rapor sayfa sayısı ortalama 18-19 sayfa olmaktadır. İşletmede karar verici, iş bazlı sonuçları görebilmek için yaklaşık 19 sayfalık raporu gözden geçirmek durumunda kalmaktadır. Yapılan çalışma kapsamında oluşturulan gösterge paneli ile, tek bir sayfada sunulan rapor; ekip, iş, müşteri, ücret vb. performans ve hedef değerleri açısından çok kısa bir zamanda irdelenebilmektedir.



Şekil 7. FTE Performans Değerleri

Günlük olarak güncellenen veriler sayesinde de verilerin takibi haftalık yerine günlük de yapılabilmekte olup, veri analiz sürecinde eklenen filtreler ile aylık ve haftalık olarak iş birimlerinin takibi hızlı ve etkin olarak yürütülebilmektedir. Rapor takibin hızlanması ve kolaylaşması ile beraber, işlerin başlangıç-termin süreleri, iş birimlerinin performansı, belirlenen hedeflere uygunluk vb. gibi göstergeler yönetim tarafından daha hızlı takip edilmekte ve iş süreçleri ile ilgili kararların daha hızlı alınabilmesi mümkün olmaktadır.

#### 4. Sonuç ve Öneriler

İş zekası, verileri anlamlı bilgilere dönüştürerek, işletmelere daha bilinçli ve veriler ekseninde kararlar alma yeteneği kazandırmaktadır. Bu süreç, işletme yöneticilerinin, gerçek zamanlı ve ayrıntılı verilere erişerek, pazardaki eğilimleri, müşteri davranışlarını ve işletme performansını daha iyi anlamasına katkı sağlamaktadır. İş zekası, işletmelerin operasyonel süreçlerini optimize etmelerine de yardımcı olmaktadır. Verilerin analiz edilmesi ve görselleştirilmesi sayesinde işletmeler, kaynaklarını daha etkili bir şekilde kullanabilmekte, iş süreçlerindeki verimsizlikleri belirleyerek, iyileştirme fırsatlarını tespit edebilmekte, stratejik kararların daha hızlı ve veriye dayalı bir şekilde alınabilmesi mümkün olmaktadır. Yapılan çalışmada, bir telekomünikasyon şirketinde, verinin bilgiye dönüştürülerek raporlanması ve bu raporlar ekseninde karar almanın daha hızlı ve etkin yapılabilmesi amacıyla, iş zekası araçlarından Power BI uygulaması yapılmış ve sürecin performansı değerlendirilmiştir. Bu kapsamda oluşturulan modelin; hızlı sorgulama, kullanım ve veri okuma kolaylığı, veri güncelliği, bilgi doğruluğu, içerdiği bilginin önemi, işletmeye katkı vb gibi performans göstergeleri açısından verimlilik eksenli değerlendirmesi yapılmış ve karar alma süreçlerinde önemli kazanımları olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Oluşturulan gösterge panelleri ile, verilerin anlamlı bir şekilde görselleştirilmesi sağlanmış olup, verilerin anlık olarak güncellenmesi, işletme yöneticilerinin gerçek zamanlı olarak işletme performansını takip etmelerine olanak tanımaktadır. Yapılan çalışmada, manuel iş süreçlerinin otomasyona evrilmesi sonucunda; iş süreçlerinin optimize edildiği, operasyonel verimliliğin ve kalitenin arttığı ve çalışan iş yükünde azalma olduğu, dijital dönüşüme geçiş için bir ilerleme sağlandığı belirlenmiştir. İç ve dış çevreden gelen verileri bilgiye dönüştürerek, analiz ederek, kurumsal hafızayı oluşturarak çevik bir işletme yapısına sahip olma ve veriye dayalı karar verme hedefinde olan işletmelerin, iş zekası

sistemlerini kullanmaları ve bu sistemlere yatırım yapmaları bir zorunluluk olarak görülmektedir.

#### Yazar Katkısı

Veri iyileştirme -Aysun Sağbaş (AS); Biçimsel analiz - AS; Araştırma - AS; Deneysel performans - AS; Veri toplama-Elanur Işık (AI); Veri işleme - AI; Veri Analiz - AI-AS Literatür taraması - AI; Yazan - AS; İnceleme ve düzenleme - AS.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve yayınlaması ile ilgili herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemiştir.

#### Kaynaklar

- [1] Pazarçeviren, S., Zor Ü., Gürbüz F. (Ocak 2015), "İş Zekası: Kavramsal Çerçeve, Bileşenler Ve İşleyiş". Siyaset, Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi 3/1, 75-91.
- [2] Çankal, O. (2018). İnşaat Proje Yönetiminde İş Zekası Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Üniversitesi.
- [3] Solomon Negash (2004). Business Intelligence, Communications of the Association for Information Systems. 13:177-195.
- [4] Luhn, H.P. (1958). A Business Intelligence System. IBM Journal of Research and Development, 2:314-319.
- [5] Moss, L.T., Atre, S. (2003). Business Intelligence Roadmap: The Complete Project Lifecycle for Decision Support Applications. Addison-Wesley Professional.
- [6] Sabanovic A., Soilen K. Customers' Expectations and Needs in the Business Intelligence Software Market, Journal of Intelligence Studies in Business 2 (2012): 5-20.
- [7] Adelman, S., Moss, L., Barbusinski, L. (2002). I found several definitions of BI. DM Review, 5700-1.
- [8] Lans, R. (2012). Data Virtualization for Business Intelligence Systems. 3:27-57.
- [9] Olszak C. M. (2016). "Toward Better Understanding and Use of Business Intelligence in Organizations", Information Systems Management. 33/2:105-123.
- [10] Çetin, G., Tanrıöver, Ö. (2020). Personel İş Zekası Sistemi ve Veri Madenciliği ile Personel Memnuniyetinin Ölçülmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 2:323-334.
- [11] Köklü, K. (2018). İş Analizi, İş Analistliği ve İş Zekası. Lectio Socialis, 2(2): 121-142.
- [12] Koyuncugil, A., Özgülbaş, N. (2010). Veri Madenciliği: Tıp ve Sağlık Hizmetlerinde Kullanımı ve Uygulamaları. Bilişim Teknolojileri Dergisi, 2(2): 57-63.
- [13] Türk, A. (2020), Numune Üretimi Atölyesinde İş Zekası Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- [14] Chaudhuri, S., Dayal, U., Narasayya, V. (2011). An Overview of Business Intelligence Communications of the ACM. 54(8): 88-98.

## Araştırma Makalesi

# Bobinleme İşleminde Kullanılan Farklı Parafinlerin İplik Özelliklerine Etkisi

Ayşe TÜRKTAŞ ALI<sup>1,\*</sup> , Gonca YILDIZ PABUŞÇU<sup>1</sup> , Timur ATİK<sup>1</sup> , Fatma GÖKTEPE<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Gülle Entegre Tekstil İşletmeleri Eml. Dan. San. ve Tic. A. Ş. Tasarım Merkezi, Tekirdağ, Türkiye, 59870

<sup>2</sup> Tekstil Mühendisliği Bölümü, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 59860

<sup>1</sup> [ayse.turktas@gulletekstil.com.tr](mailto:ayse.turktas@gulletekstil.com.tr), <sup>1</sup> [yildiz58gonca@gmail.com](mailto:yildiz58gonca@gmail.com), <sup>1</sup> [tumur.atik@gulletekstil.com.tr](mailto:tumur.atik@gulletekstil.com.tr), <sup>2</sup> [fgoktepe@nku.edu.tr](mailto:fgoktepe@nku.edu.tr)

Received: 01.04.2024

Accepted: 18.11.2024

DOI: 10.55581/ejeas.1462811

**Öz:** Parafinleme, örme işleminde iplik ve başta iğne olmak üzere örme makinası elemanları arasındaki sürtünmeyi azaltmak için uygulanması gerekli olan bir işlemdir. İplik işletmelerinde parafin kaynaklı sorunlar nedeniyle örme esnasında kopuşlar artabilmekte, dolayısıyla üretim randımanı düşmekte, ortamda normalden fazla toz ve uçuntu oluşabilmektedir. Söz konusu sorunların çözümü için uygun parafin türünün kullanılması önemli olmaktadır. Bu çalışmada bobinleme işleminde farklı parafinler uygulayarak iki farklı ring-siro iplik türü (%100 pamuk, penye ve %100 melanj pamuk, penye) üretilmiştir. Bu amaçla çalışma kapsamında 5 farklı ticari katı parafin çeşidi tedarik edilmiş ve aynı iplikler üzerinde, aynı makina ayarlarında ve aynı bobinleme makinasında çalışma yapılmıştır. Üretilen ipliklerin parafin alma oranı ve iplik sürtünme katsayısı özellikleri karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Ayrıca üretilen ipliklerin özellikleri, fikse işlemi öncesi ve fikse işlemi sonrası karşılaştırılarak analiz edilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Parafin, İplik parafinleme işlemi, İplik sürtünme katsayısı, Bobinleme

## The Effect of Different Paraffin-Waxes Used in Winding Process on Yarn Properties

**Abstract:** Paraffin-waxing is a process that must be applied in knitting process to reduce the friction among knitting machine elements, especially between the yarn and needle. In knitting mills, yarn breaks may increase during knitting due to paraffin-related problems, thus production efficiency decreases while more dust and fly formation may occur in the environment. Therefore, it is important to use the appropriate paraffin-wax to solve these problems. In this study, two different types of ring-siro yarns (as combed and melange yarns containing 100% cotton fibers) were produced by applying different types of paraffin-waxes in winding process. For this purpose, 5 different commercial paraffin-waxes were supplied within the scope of the study and applied on the same yarns by using the same machine settings and same winding machine. Yarn properties, especially in terms of paraffin-wax uptake ratio and yarn friction coefficients, were compared and analysed. The properties of the yarns produced in the study were also discussed by comparing their performance before and after the heat-setting process.

**Keywords:** Paraffin-wax, Yarn paraffin-waxing process, Yarn friction coefficient, Yarn winding

### 1. Giriş

Kısa-ştafel iplik sektöründe ipliklerin sürtünme (friksiyon) özelliği ve buna bağlı olarak örme işlemi gibi sonraki prosesler esnasında olabildiğince az uçuntu oluşturması önemli bir yer tutmaktadır. Tekstil proseslerinde iplikler, kılavuz vb. amaçlı silindirler üzerinde kayarken oluşan sürtünme, temelde ipliğin özelliklerine (özellikle yüzey özellikleri); ipliğin temas ettiği

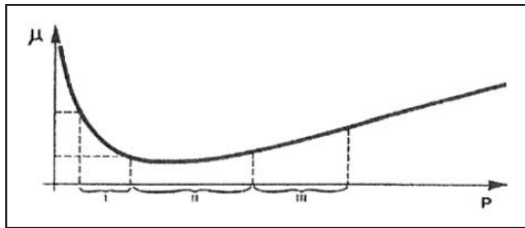
kılavuz yüzey özelliklerine (pürüzsüzlüğü veya sertliği gibi) ve iplik sevk hızına bağlıdır. Söz konusu kılavuzlar ile iplikler arasında oluşan friksiyon ise uygun yağlayıcıların kullanılması veya statik ve dinamik sürtünme katsayısının kontrol edilmesiyle azaltılabilmektedir [1]. Bu anlamda parafinleme işlemi, örme işleminde iplik ve başta iğne olmak üzere örme makinası elemanları arasındaki sürtünmeyi azaltmak için uygulanması gerekli olan bir işlem olup, bilindiği üzere eğirme

\* Sorumlu yazar

E-mail adresi: [ayse.turktas@gulletekstil.com.tr](mailto:ayse.turktas@gulletekstil.com.tr) (A. Türktaş Ali)

sonrası bobinleme adımında yapılan parafinleme işlemi bu tür iplikler için rutin bir uygulamadır. Örme işleminde parafinlemenin sürtünme ve buna bağlı iplik tansiyonunun azalmasına yol açarak uçuntu oluşumunu azaltıcı etkisi bilinmekle birlikte zaman zaman parafinleme işlemi kaynaklı sorunlar nedeniyle örme esnasında iplik kopuşları artarak üretim randımanı düşebilmekte, ortamda normalden fazla toz ve uçuntu oluşabilmektedir. Dolayısıyla, kısa-şapeli iplik sektöründe örme iplikleri için uygun miktarda parafin uygulanması önemli olmaktadır.

Bir işletmede, bir noktadan diğerine kılavuz bir yüzey üzerinden temasla sevk halindeki ipliklerin maruz kaldığı sürtünme seviyesi ve temas açısı dikkate alındığında ( $T_2 = T_1 e^{\mu\theta}$ ), iplik sürtünme katsayısının azaltılmasının iplik tansiyonu açısından ne denli önemli olduğu bilinmektedir [2]. Öte yandan metal malzemelere kıyasla yağlamanın lifler üzerindeki etkisinin daha sınırlı olduğu ve sürtünme katsayısının belli bir değerin altına inmediği bilinmektedir. Bu durum yağlayıcı malzemenin lif yüzeyinin tamamını kaplayamaması ile izah edilmekte olup, yağlayıcı malzeme için önemli nokta, temas noktalarında mono-katman şeklinde yüzeyi kaplayabilmesi ve malzemeler arasında temas alanını azaltması olmaktadır [2]. Şapeli ipliklerin parafinlenmesi durumunda ise ideal durum için parafin maddesinin iplik gövdesinden sarkan lifler üzerinde noktasal olarak yer alması, ancak iplik içerisine nüfuz etmemesi arzu edilir. Böylelikle ipliklerin orijinal uzama ve elastisite özellikleri korunmuş olur. Parafinin fazla olması durumunda ise sürtünme etkisiyle lokal ısı sonucu yumuşaması, ardından istenmeyen yağlı film tabaka oluşturması ve böylelikle tam zıttı yönde etki yaparak friksiyonu artırma yönünde rol oynaması mümkündür. Bu doğrultuda parafin alma oranında bir limit değerin göz önünde bulundurulması gerektiği ve yüksek oranda parafin miktarının örme işleminde uçuntu miktarının artmasına olumsuz etkiye sahip olduğu yapılan bazı çalışmalarla ortaya konmuştur [3]. Nitekim parafin içeriği ile sürtünme katsayısı arasında Şekil 1 ile gösterilen kalitatif ilişkinin varlığı çok iyi bilinmekte olup [4], örme işleminde kullanılacak şapeli iplikler için uygun parafin miktarının çok dikkatli seçilmesi gerektiği açıktır.



**Şekil 1.** Şapeli ipliklerde sürtünme katsayısı ile parafin içeriği arasındaki ilişki. P: Parafin içeriği;  $\mu$ : Sürtünme katsayısı. I: Sürtünme katsayısının önemli derecede (yaklaşık %50) azaldığı bölge; II: Pratik olarak sürtünme katsayısının sabit olduğu bölge; III: Sürtünme katsayısının önemli derecede arttığı bölge [4].

Tekstil proseslerinde sürtünmeyi azaltmaya yönelik çok farklı yağlayıcı malzeme (lubricant) kullanılmakta olup bunlar 3 sınıfa ayrılabilir: Akışkan-film yağlayıcılar; sıvı/katı kombinasyonu yağlayıcılar ve katı yağlayıcılar. Yağlayıcı malzemeler çok sayıda farklı kimyasal gruplar içerebilmektedir. Zayıf ısı iletme özellikleri nedeniyle dikiş

işlemi esnasında ortaya çıkan ısıdan koruma fonksiyonu görecelik friksiyonu azaltması nedeniyle dikiş ipliklerinde kullanılan yağlayıcı malzemelerin çoğunlukla silikon içerdiği bilinmektedir [1]. Dolayısıyla kullanılan parafin türü davranışı belirleyen önemli bir etkidir. Kısa-şapeli iplik sektöründe kullanılan çok farklı parafin türü mevcut olup, bunların gerek içerik gerekse yumuşama ve erime noktaları bakımından farklılıklar içerdiği gözlenmektedir. Bu doğrultuda sunulan çalışma, pamuklu iplik işletmelerinde yaygın kullanılan farklı parafin türlerinin iplik özellikleri ve fikse performansına etkisinin analiz edilerek irdelenmesini amaçlamaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

Çalışma kapsamında 5 farklı ticari katı parafin çeşidi farklı firmalardan tedarik edilmiş olup, görselleri Şekil 2'de yer almaktadır.



**Şekil 2.** Çalışmada kullanılan katı parafinler

Yağlayıcı maddelerde viskozite derecesinin çok önemli olduğu bilinmektedir. Dikiş iplikleri için düşük viskoziteye sahip bir yağlayıcı malzeme yüksek oranda kullanılsa dahi, viskozitesi yüksek olan yağlayıcı malzemenin etkisine ulaşamadığı; yüksek viskozitedeki silikon içerikli yağlayıcı malzemenin ise dikiş iğnesinin termik enerjisini optimal biçimde kontrol altına alabildiği belirtilmektedir [5]. Bu nedenle çalışmada öncelikle kullanılan parafinlerin viskozite değerleri araştırılmış olup, erime sıcaklıkları ve ulaşılabilen viskozite değerleri Tablo 1'de verilmektedir.

**Tablo 1.** Çalışmada kullanılan parafinlerin özellikleri

Parafin kodu	Erime Sıcaklığı (C)	Viskozite
A	60-65 °C	3-6 mm <sup>2</sup> /s (100°C)
B	65-67 °C	Üretici firmadan veri elde edilemedi
C	59-61 °C	Üretici firmadan veri elde edilemedi
D	60- 62 °C	4-5,7 mm <sup>2</sup> /s (100 °C)
E	60- 62 °C	4-5,7 mm <sup>2</sup> /s (100 °C)

**Tablo 2.** Çalışmada kullanılan iplikler ile bobinleme ve fikse işlemine ait çalışma parametreleri

İplik kodu	İpl. No	Elyaf içeriği	Büküm (t/m)	İplik türü	Bbn. hızı (m/dk)	Prf. hızı (d/dk)	Fikse
P1	Ne 30	%100 pamuk (Ham pamuk; Penye)	740	Kompakt, Ring-siro	1200	8	52 °C, 40 dak., 120 mbar, (vakum)
P2	Ne 30	%100 pamuk (Melanj; Penye)	820	Konvans., Ring-siro			

Söz konusu parafin çeşitleri, Murata-ProEx bobinleme makinasında Tablo 3'de detayları yer alan ipliklerin

bobinleme işlemlerinde kullanılmıştır. Bobinleme sonrası fikse işlemi ise Xorella AG makinasında gerçekleştirilmiş olup, fikse koşulları Tablo 2’de verilmiştir.

Çalışma kapsamında üretilen ipliklerin düzgünsüzlük ve tüylülüğü Uster düzgünsüzlük test cihazında (UT 6), her bir iplik türünden 10 adet bobini teste tabi tutarak 400 m/dak. test hızında; iplik mukavemet özellikleri ise Tensojet 4 test cihazında belirlenmiştir. Üretilen ipliklerin bobinleme işlemi sonrasında ve fikse işlemi sonrasında sürtünme özellikleri Zweigle G-534 sürtünme test cihazında 200 m/dk test hızında her bir iplik türünden 5 adet bobin test edilerek tayin edilmiştir.

### 3. Bulgular ve Tartışma

#### 3.1. İplik Özellikleri ve Parafin Alma Oranları

Çalışma konusu iki iplik türü öncelikle parafinsiz halde üretilmiş ve parafin uygulanmamış halde iplik özellikleri bakımından test edilmiş olup, elde edilen sonuçlar Tablo 3’de verilmiştir:

**Tablo 3.** Parafin uygulanmamış halde iplik düzgünsüzlük, tüylülük, mukavemet ve sürtünme katsayısı test sonuçları

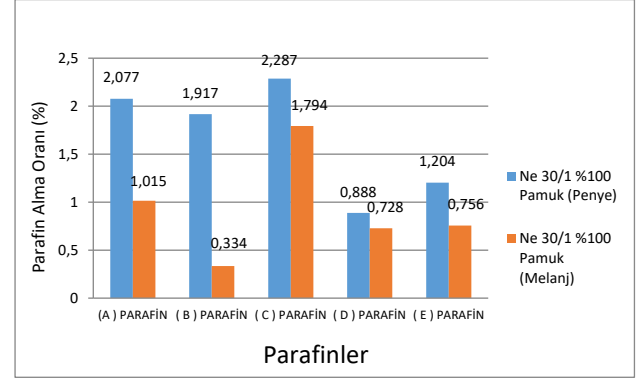
%100 Pamuk İplik (Ne 30/1)										
P1 (Parafin uygulanmamış halde)	CVm (%)	İnce yer -50%	Kalın yer +50%	Neps 140%	Neps 200%	H	S3	Mukavemet (cN/tex)	Kopma uzama (%)	Sürt. kats. (μ)
	9,5	0	1,5	37	7	3,9	4755	21,3	5,2	0,15
%100 Pamuk Melanj İplik (Ne 30/1)										
P2 (Parafin uygulanmamış halde)	CVm (%)	İnce yer -50%	Kalın yer +50%	Neps 140%	Neps 200%	H	S3	Mukavemet (cN/tex)	Kopma uzama (%)	Sürt. kats. (μ)
	10,1	0	3,4	52	12	4	5350	20,1	4,4	0,22

Daha sonra yukarıda belirtilen 5 farklı ticari parafin çeşidi kullanılarak üretimler gerçekleştirilmiştir. Parafinli haldeki ipliklerin düzgünsüzlük, tüylülük, mukavemet ve iplik sürtünme katsayısı ile ilgili test sonuçları Tablo 4’de verilmektedir.

**Tablo 4.** Parafin uygulanmış ipliğin düzgünsüzlük, tüylülük, mukavemet ve sürtünme katsayısı test sonuçları

%100 Pamuk İplik (Parafinli)										
Parafin	CVm (%)	İnce yer -50%	Kalın yer +50%	Neps 140%	Neps 200%	H	S3	Mukavemet (cN/tex)	Kopma uzama (%)	Sürtünme kats. (μ)
A	10,1	0	6	82	19	4,3	5183	20,8	5,3	0,120
B	9,8	0	4	81	15	4,2	4625	21,9	5,4	0,110
C	9,9	0	4	81	18	4,4	6123	20,0	5,0	0,108
D	10,0	0	3	80	16	4,3	5085	21,3	5,6	0,120
E	9,8	0	5	79	13	4,4	6045	19,8	5,0	0,110
%100 Pamuk Melanj İplik (Parafinli)										
Parafin	CVm (%)	İnce yer -50%	Kalın yer +50%	Neps 140%	Neps 200%	H	S3	Mukavemet (cN/tex)	Kopma uzama (%)	Sürtünme kats. (μ)
A	10,1	0	3	57	8	4,8	6696	20,1	4,5	0,118
B	10,3	0	3,8	65	11	4,4	5553	21,3	5,3	0,124
C	10,1	0	3,2	61	9	4,6	6250	19,0	6,0	0,106
D	9,99	0	2,8	55	6	4,8	6750	18,1	6,3	0,114
E	10,0	0	3,0	56	8	4,7	6335	18,1	5,2	0,112

Ayrıca çalışmada üretilen ipliklerin parafin alma oranları da belirlenmiş olup, elde edilen sonuçlar Şekil 3’de yer almaktadır. Bu sonuçlar incelendiğinde ipliklerin parafin alma oranlarının %0,3 ile %2,3 arasında değiştiği, P2 (%100 pamuk, melanj, penye) ipliklerin parafin alma oranının P1 (%100 pamuk, penye) ipliklere kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir. Melanj ipliklerin parafin alma oranının daha düşük olmasının muhtemel nedeni ise elyaf boyalı iplikte, boyama işlemi esnasında elyaf vaksının elimine edilmiş olmasına ilave olarak boyanmış ipliğin parafini almasının zor olmasından kaynaklıdır. Bir diğer nokta olarak tablodaki sonuçlara bakıldığında C parafini için parafin alma oranının en yüksek olduğu görülmektedir.

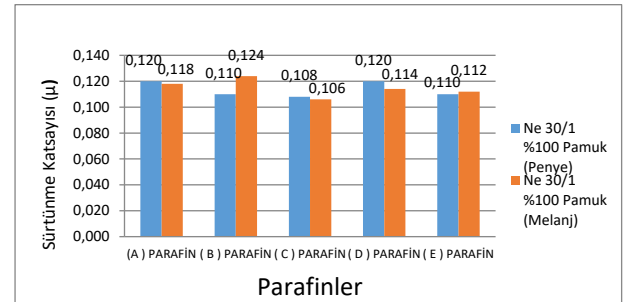


**Şekil 3.** Çalışmada üretilen ipliklerin parafin alma oranları

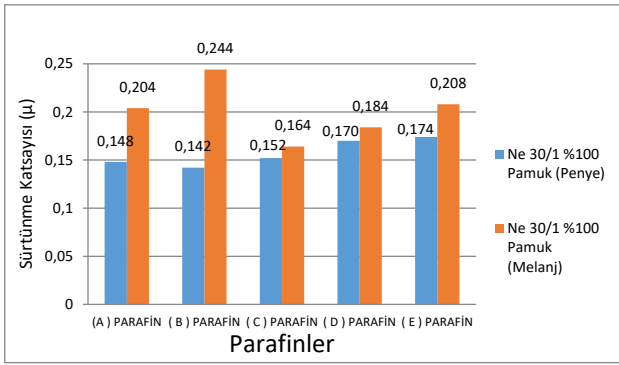
Yukarıda yer alan sonuçlar analiz edildiğinde her iki iplik türü için de C parafini kullanıldığında parafin alma oranının en yüksek olduğu görülmektedir. Benzer şekilde hem P1 hem de P2 kodlu iplikler için C parafini kullanılması durumunda en düşük sürtünme katsayısı değerinin elde edildiği görülmektedir. Bu durum C parafini ile işlem gören ipliklerin bir sonraki örme işlemi aşamasında daha pürüzsüz ve rahat çalışma imkanı sağlayacağını göstermektedir. Bununla birlikte esas önemli husus parafinli ipliklerin fikse işlemi sonrası performansı olup, aşağıdaki bölümde fikse işleminin etkisi incelenmiştir.

#### 3.2. Fikse İşleminin Etkisi

Bobinleme adımından sonra ipliklere Tablo 2’de belirtilen koşullarda fikse işlemi uygulanmıştır. Kullanılan parafinlerin fikse işlemindeki performansını irdelemek üzere ipliklerin fikse işlemi öncesi ve fikse işlemi sonrası iplik sürtünme katsayısı değerleri belirlenmiştir. Her iki iplik türü için işlem öncesi ve sonrasına ait değerler sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5’de verilmektedir.

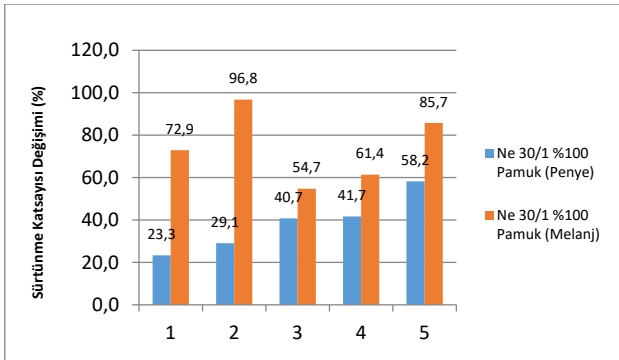


**Şekil 4.** Fikse işlemi öncesi iplik sürtünme katsayısı değerleri



**Şekil 5.** Fikse işlemi sonrası iplik sürtünme katsayısı değerleri

Fikse işlemi öncesi (Şekil 4) ve sonrası (Şekil 5) elde edilen iplik sürtünme katsayısına ait değişim oranları ise Şekil 6'da yer almaktadır. Bu sonuçlara göre ipliklerin 5 farklı parafin kullanma durumunda sürtünme katsayısı değişim oranları %20 ila %97 gibi geniş bir aralıkta değişim göstermektedir. En düşük değişim oranı A Parafini ile elde edilirken, en yüksek değişim ise B Parafini ile elde edilmiştir. Bu durumda ilk bakışta A Parafininin tercih edilmesinin doğru olacağı söylenebilir. Ancak parafin alma oranı, diğer bir ifade ile tüketim miktarı ve elde edilen diğer sonuçlara bakıldığında P1 ipliği (%100 pamuk, penye) için B Parafininin daha az tüketim bakımından yakın sonuç verdiği görülmektedir. Öte yandan P2 ipliğinde (%100 pamuk, melanj) B parafininin en yüksek değişimle sonuçlandığı görülmektedir. Erime noktası nispeten daha düşük olan parafinin, işletme şartlarında daha yumuşak olacağından iplik yüzeyine daha iyi yerleşebildiği, ancak fikse işlemi sonrasında homojen dağılımın bozulduğu değerlendirilmiştir. Yani işletme şartlarında erime noktası daha düşük ve daha yumuşak olan C Parafini ipliğe daha iyi nüfuz etmekte ve fikse işlemi sonrasında melanj ipliklerdeki performansı daha iyi olmaktadır. Dolayısıyla melanj iplikler için gerek parafin alma oranı, gerekse fikse öncesi/sonrası iplik sürtünme katsayısındaki değişim bakımından C parafininin daha olumlu etkiye sahip olduğu görülmektedir. Ham halde %100 pamuk elyaf (P1) içeren iplik için ise A parafini kullanılması durumunda sürtünme katsayısı değişim oranı en düşük olmasına rağmen fikse sonrası sürtünme katsayısı değerleri dikkate alındığında B parafini öne çıkmaktadır.



**Şekil 6.** Fikse işlemi sonrası iplik sürtünme katsayısı değerlerindeki değişim oranları

#### 4. Sonuç

Bilindiği üzere kısa-şapeli iplik sektöründe ipliklerin sürtünme (friksiyon) özelliğine bağlı olarak örme işlemi esnasında ortaya çıkacak kopuş, uçuntu oluşumu vb. problemlere karşı bobinleme adımında parafin uygulaması rutin işlemlerdir. Ancak örme işleminde kullanılacak şapeli ipliklerde uygun parafinin ve parafin miktarının çok dikkatli seçilmesi gerekmektedir. Sektörde çok farklı ticari parafinler mevcut olup, bu parafinler gerek içerik, gerekse yumuşama ve erime noktaları bakımından farklılıklar içermektedir. Bu kapsamda sunulan çalışma ile pamuklu iplik işletmelerinde kullanılan farklı katı parafinlerin iplik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla %100 pamuk (penye) ve %100 pamuk (penye, melanj) olmak üzere iki farklı iplik türü üzerinde 5 farklı ticari parafin türünün etkisi incelenmiştir. Söz konusu parafinlerin esnasında bobinleme prosesini takiben uygulanan fikse işlemi sonrası performansları önemli olup, çalışma kapsamında parafin alma oranları ve fikse öncesi/sonrası iplik sürtünme katsayılarındaki değişim incelenmiştir. Yapılan test ve analiz sonuçları bekleneceği üzere elyaf boyama işlemine tabi tutulan pamuk elyafı içeren melanj ipliklerin parafin karşısındaki davranışının ham haldeki pamuk lifleri içeren ipliğe kıyasla bariz farklı olduğunu göstermektedir. Ayrıca elde edilen sonuçlar parafinlerin erime noktasının da etkili olabileceğini işaret etmektedir. Ancak bu konuda ilave çalışmaların yapılmasına ihtiyaç bulunmaktadır.

#### Yazar Katkısı

Literatür taraması – G.Y.B. ve F.G.; Araştırma – A.T.A., G.Y.B., T.A. ve F.G.; Deneysel performans – A.T.A., G.Y.B., T.A. ve F.G.; Yazan – F.G. ve G.Y.B.; İnceleme ve düzenleme – G.Y.B., A.T.A. ve F.G.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve/veya yayınlanması ile ilgili olarak herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemiştir.

#### Kaynaklar

- [1] Gürarda A., Yükseltan E., Meric Kaplangiray B. and Kanik M. (2013). The effects of various lubricants on the friction properties of sewing threads. *Textile Research Journal*, 83 (12), 1273-1282.
- [2] Morton W. E. and Hearle J. W. S. (1993). *Physical properties of textile fibres*. The Textile Institute, 1993, pp. 720.
- [3] Koo, Y. S. (2008). Waxing effect on lint contamination in the knitting process. *Textile Research Journal*, 78(2), 168-173.
- [4] Bamberg M. (1995). *Knitting demands on yarns (in Circular knitting: Technology, process, structures, yarns and quality)*. Meisenbach GmBH, Germany, pp. 219-221.
- [5] Gürarda A., Meric Kaplangiray B. ve Kanik M. (2011). Yağlama işleminin dikiş ipliklerinin özellikleri ve dikiş performansı üzerine etkileri. *Tekstil ve Mühendis*, 18(82), 19-25.



## Araştırma Makalesi

# Gayrimenkul Değerleme Yöntemleri ve Çorlu (Tekirdağ) Uygulamalı Örnek Çalışması

Birgül Sır<sup>1</sup> , İbrahim Fedâ Aral<sup>2,\*</sup> 

<sup>1</sup> Çorlu Mühendislik Fakültesi Dekanlığı, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 59860

<sup>2</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 59860

<sup>1</sup>[bsir@nku.edu.tr](mailto:bsir@nku.edu.tr), <sup>2</sup>[iaral@nku.edu.tr](mailto:iaral@nku.edu.tr)

Geliş: 20.09.2024

Kabul: 14.11.2024

DOI: 10.55581/ejeas.1553772

**Öz.** Bu çalışmanın amacı, uluslararası değerlendirme standartlarında belirtilen gayrimenkul değerlendirme yöntemleri olan emsal karşılaştırma, maliyet ve gelir kapitalizasyonu yöntemleri kullanılarak yapılacak çeşitli uygulamalar ile konutlara değer biçmek, kıyas yapmak ve elde edilen veriler doğrultusunda gayrimenkulün iyi bir yatırım aracı olduğunu kanıtlamaktır. Çalışmada gayrimenkul değerlemesinde yaygın olarak kullanılan 3 farklı değerlendirme yöntemi açıklanarak Tekirdağ ili Çorlu ilçesinde bulunan örnekler üzerinde değerlendirme yapılmıştır. İlk olarak emsal karşılaştırma yöntemine göre Hürriyet Mahallesi Vizyon Konutları'nda bulunan bir konutun değerlendirilmesi yapılmış, ikinci olarak gelirlerin kapitalizasyonu yöntemine göre Esentepe Mahallesi Ergene Vadisi Sitesi'nde bulunan 1+1, 2+1 ve 3+1 konutların ortalama birim fiyatları tespit edilerek kira getirileri üzerinden kapitalizasyon oranları, amorti süreleri tespit edilmiş, son olarak maliyet yöntemine göre Yenice Mahallesi'nde bulunan dubleks bir villanın değer tespiti yapılmıştır. Sonuç olarak gayrimenkul yatırımının diğer geleneksel yatırım araçlarına göre 3 kat daha fazla getiri sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Gayrimenkul Değerlemesi, Satışların Karşılaştırılması Yöntemi, Maliyet Yöntemi, Gelirlerin Kapitalizasyonu Yöntemi.

## Applied Studies in Çorlu (Tekirdağ) District According to Real Estate Valuation Methods

**Abstract:** The purpose of this study is to evaluate and compare houses with various applications using the real estate valuation methods specified in international valuation standards, namely the comparable comparison, cost and income capitalization methods, and to prove that real estate is a good investment tool in line with the obtained data. Three different valuation methods commonly used in real estate valuation were introduced and an evaluation was made on examples located in Çorlu district of Tekirdağ province. First, a house located in Vizyon Residences in Hürriyet neighborhood was evaluated according to the comparable comparison method, secondly, the average unit prices of 1+1, 2+1 and 3+1 houses located in Ergene Valley Site in Esentepe neighborhood were determined according to the income capitalization method and capitalization rates and amortization periods were determined based on rental incomes, and finally, a duplex villa located in Yenice neighborhood was valued according to the cost method. As a result, it was concluded that real estate investment provides 3 times more income compared to other traditional investment tools.

**Keywords:** Real Estate Valuation, Sales Comparison Method, Cost Method, Capitalization of Income Method.

## 1. Giriş

Gayrimenkul, ülkemizde hane halkları tarafından tasarrufların değerlendirildiği bir yatırım aracıdır. Gayrimenkul değerlendirilmesi, gelişmiş ülkelerde hem akademik alanda hem de

uygulama alanında önemli bir geçmişe sahiptir. Ülkemizde de bu alanda tüm gelişmiş ülkelerde olduğu gibi hızla önem kazanmaktadır. Ülkemizde gayrimenkul değerlendirilmesi, gerekli koşulları sağlayan ve Sermaye Piyasası Kurumu tarafından

\*Sorumlu yazar

E-mail Adresi: [iaral@nku.edu.tr](mailto:iaral@nku.edu.tr) (İ. F. Aral)

yetkilendirilen uzmanlar tarafından yapılmaktadır. Değerleme süreci, gayrimenkul değerlendirme uzmanının kişisel yargılarına açık olduğundan olabildiğince nesnel ölçütlere dayandırılmalıdır. Gayrimenkul değerlendirme, tarafsız ve bağımsız uzmanlar aracılığıyla, ilgili gayrimenkulün belirli bir tarihteki muhtemel değer takdirinin, objektif ölçütlere dayalı olarak gerçekleştirilmesidir. Diğer bir tanımla, gayrimenkul değerlendirme süreci, bir gayrimenkul projesinin veya bu gayrimenkule bağlı hak ve faydaların, belirli yasa ve yönetmelikler çerçevesinde, en uygun değerlendirme yöntemi tespit edilerek ilgili mülkün değerinin takdir edilmesi ve raporunun hazırlanması işlemidir. Taşınmaz malın üç temel özelliği vardır: fiziksel özellikler, ekonomik özellikler ve hukuki özellikler. Konut gayrimenkulleri en yaygın kategoriyi temsil etse de, değerlendirme uzmanları tarafından değerlendirilen ve belgelenen ek gayrimenkul türleri vardır. Bunlar beş ana kategoride sınıflandırılabilir: konut, tarımsal, ticari, endüstriyel ve özel amaçlı gayrimenkuller. Bu kategorilere örnek olarak sırasıyla özel konutlar, tarım arazileri, oteller, ofisler, fabrikalar, üretim tesisleri, okullar ve hastaneler verilebilir [1]. Ayrıca gayrimenkul hem fiziksel hem de ekonomik niteliklere sahip ikili bir yapı sergilemektedir. Fiziksel ön, binaların, arazinin ve doğal kaynakların somut unsurlarını kapsarken, ekonomik yön, kira geliri, sermaye kazancı ve gelişme veya iyileştirme potansiyeli gibi mali yönleri kapsamaktadır. Bu ikilik, gayrimenkul değerlendirme faaliyetinin de karmaşıklaşmasına neden olmaktadır. Bu nedenle de piyasa etkenlerinin yasal çerçevelerin ve ekonomik faktörlerin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını gerektirmektedir

[2].

## 2. Gayrimenkul Değerleme Yöntemleri

Gayrimenkulün değerini tespit edebilmek için temelde üç yöntem kullanılır. Bunlar; satışların karşılaştırılması, maliyet ve gelirlerin kapitalizasyonu yöntemidir.

Satışların Karşılaştırması Yöntemi, tespiti yapılacak olan gayrimenkulle benzer özellikler taşıyan yakın zamanda satışı yapılmış gayrimenkuller mevcut ise en pratik, en yararlı yöntemdir. Gelir getirmeyen, sahibi tarafından kullanılması planlanan konut amaçlı gayrimenkuller ve küçük ticari amaçlı gayrimenkuller bu kapsamda değerlendirilebilir.

Maliyet yöntemi, karşılaştırılabilecek mevcut satışı yapılan veri bulunmadığında, gelir getirmeyen ve sık alım satımı yapılmayan özel amaçlı gayrimenkullerin değer tespitinde kullanılır.

Gelir Kapitalizasyonu yöntemi ise; gelecekte gayrimenkulden elde edilebilecek gelirler göz önünde bulundurularak bugünkü değerine indirgenmesi yöntemi ile tespit edilir. En doğru rayiç bedelini tespit etmenin ilk ve en önemli kuralı doğru değerlendirme yönteminin seçimidir. Bu da değerlemenin amacına göredir. Hangi değerlendirme yönteminin hangi gayrimenkul cinsine daha uygun olabileceğine dair Türkiye Değerleme Uzmanları Birliği'nin (TUGDES) Türkiye Değerleme Standartları Çalışması'ndan yararlanılabilir. Tablo 1' de konu ile ilgili yöntemler verilmiştir.

**Tablo 1.** Değerleme çalışmasında gayrimenkul cinslerine göre uygulanması önerilen yöntemler [3].

	Konut	İşyeri (Ofis, Dükkan)	Cins Tashihi Bina	Arsa	Tarım Alanı	Akaryakıt İstasyonu	Üretim Tesisleri (Fabrika)	Ticari Gayrimenkul (Avm, Hastane, Otel)
Satışların Karşı.	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xx	xxx
Maliyet	x	x	xxx	-	-	xxx	xxx	xxx
Gelir Kap.	xx	xx	xx	xxx	xx	x	x	xx
xxx = Kullanılması zorunlu olup yöntemler içerisinde öncelikle tercih edilmelidir. xx = Karar destek amaçlı kullanılması önerilir, x = Değerleme uzmanının inisiyatifinde olup değerlemeye esas ana yöntem değildir.								

### 2.1. Satışların (Emsallerin) Karşılaştırılması Yöntemi

Değerleme için kullanılan en kolay ve en sistematik yöntemdir. Satışların karşılaştırılması yöntemi, yakın zamanda gerçekleşmiş, şeffaf ve yeteri kadar emsal değeri bulunduğu durumlarda kullanılmalıdır. Değerleme uzmanı, bu yöntemi kullanarak konu gayrimenkul ile benzer gayrimenkulleri karşılaştırarak bir değer göstergesi yaratır. Karşılaştırılabilir olan gayrimenkullerin satışlarındaki fiyat aralığı, ilgili taşınmazın satış fiyatı üzerine bir görüş oluşturabilir. Bu yöntemde bir gayrimenkulün piyasa değerinin benzerleri ile yakın bir ilişki olduğu üzerinedir. Özellikle konutlarda değerlendirmelerde, elektronik ortamdan çok rahatlıkla ulaşılabileceğinden tercih edilen bir yöntemdir [4].

### 2.2. Maliyet Yöntemi

Maliyet Yaklaşımı, karşılaştırılabilir özelliklere sahip olmayan

mülklerin, özel amaçlı mülklerin, ayrı arsa ve bina değerlerinin değerlendirilmesinde kullanılır. Ancak, bu yaklaşımın sınırlamaları arasında profesyonel uzmanlık gerektirmesi, tam olarak piyasa değerini yansıtmaması ve eski binalar için uygun olmaması bulunur. Fabrika, ofis binaları, idari yapılar ve kira gelirinin bilinmediği gayrimenkullerin değerlendirilmesinde, gelir veya karşılaştırmalı yaklaşımların uygulanmadığı durumlarda Maliyet Yaklaşımı önerilir [5].

### 2.3. Gelir Kapitalizasyonu Yöntemi

Gelir kapitalizasyonu süreci, bir mülkün kalan ekonomik ömrü boyunca bir yatırımcı veya kullanıcı için oluşturabileceği potansiyel net gelir akışının yakından incelenmesini içerir. Bu potansiyel gelir akışı daha sonra benzer mülklerin ürettiği gelir akışlarıyla karşılaştırılır. Bu karşılaştırma, mülkün göreceli kazanç kapasitesi hakkında kapsamlı bir anlayış sunmayı ve böylece potansiyel yatırımcılar için karar verme sürecine

yardımcı olmayı amaçlamaktadır. Gelir Kapitalizasyonu Yaklaşımının önemli bir yönü, özellikle kiralama sözleşmelerini içeren senaryolarda çeşitli fiziksel, işlevsel ve ekonomik faktörleri dikkate alınabilmesidir. Bu faktörler, mülkün değerinin çok yönlü bir görünümünü sunarak ve gelir yaklaşımını gayrimenkul değerlendirmesi için çok yönlü bir araç haline getirerek mülkün gelir potansiyeline ve genel değerine katkıda bulunur [6]. Net gelir bir gayrimenkulün yıllık işletme bütüt getirisinden, gayrimenkulün kullanılmaması sonucu oluşan gelirdeki kayıp ve işletme giderlerinin düşülmesi ile hesaplanır. İşletme giderlerinin; emlak vergisi, sigortalama, yönetsel gider, onarım ve bakım amortisman ve reklam giderleri sayılabilir. İşletmenin net getirisi, bu yöntem içerisindeki temel değişkendir. Kapsam karşılaştırılmaya açık olmayıp, detayların belirlenmesi şarttır [7].

### 3. Gayrimenkul Değerleme Yöntemlerine Göre Çorlu (Tekirdağ) Çalışması

Projenin uygulama aşamasında yapım yılı olarak 5-10 yıllık emsal konut fiyatlarına sahibinden.com internet sitesinden ve bölgesel birim fiyatlarına ve bu fiyatların 1 yıllık değişim grafiğine ulaşmak için endeksa verilerinden yararlanılmıştır.

#### 3.1. Satışların Karşılaştırması Yöntemine Göre Değer Tespiti; Vizyon Konutları Örneği

Satışların Karşılaştırılması Yöntemi gayrimenkul değerlemesi alanında en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Yöntem her ne kadar benzer özellikleri olan gayrimenkullerin karşılaştırılmasına dayansa da aslında her bir gayrimenkul kendi içinde benzersizdir. Her gayrimenkulün kendine has özellikleri, artıları ve eksileri vardır. Gayrimenkulün katı, cephesi, m<sup>2</sup>'si, kullanılan malzemelerin kalitesi, yapıya sonradan yapılan eklemeler, gayrimenkulün bulunduğu sosyal ve kültürel çevre, güvenlik, sosyal olanaklar (Havuz, spor salonu vs.) sonsuz sayıda etken her bir gayrimenkulü eşsiz kılmaktadır. Her ne kadar değerlemesini yapacağımız mülke en yakın özellikteki yapıları seçecek de olsak, sonunda farklılıkları matematiksel olarak düzeltmek durumunda kalmaktayız.

##### 3.1.1. Değerleme Konusu Gayrimenkul'ün Çevresi ve Konumu

Değerleme Konusu Gayrimenkul; Tekirdağ İli, Çorlu İlçesi, Hürriyet Mahallesi, Çamlıbel Caddesi, Kılıçoğlu Danış Vizyon Konutları 4C Blok Kat:2 Daire:21 posta adresinde konumlandır. Taşınmazın yakın çevresinde; Zübeyde Hanım Anaokulu, Şehit Hamza Çavuş İlkokulu, Ticaret ve Sanayi Odası İlkokulu, Şahinler Ortaokulu, Abdülhamit Han Ortaokulu, Furtuni ve İsak Pinhas Ortaokulu, Çorlu Bahçeşehir Koleji, Çorlu Mektebim Koleji, Emlak Konutları Aile Sağlığı Merkezi, Ağız ve Diş Sağlığı Hastanesi, Nazım Hikmet Ran Parkı bulunmaktadır.

##### 3.1.2. Değerleme Konusu Gayrimenkul'ün Bulunduğu Sitenin Özellikleri

Değerlemeye konu taşınmazın bulunduğu ana gayrimenkul 2040 ada 5 parsel olarak kayıtlı, 9511,3 m<sup>3</sup> alanlı arsa üzerinde, betonarme karkas inşaat tarzında 4' lü A, B, C, D ve 3' lü A, B, C bloklar olmak üzere toplam 7 blok halinde inşa

edilmiştir. Değerleme konusu taşınmaz 4'lü C Blok bünyesinde konumlandır. Ana gayrimenkul, kat irtifak listesine göre; bodrum, zemin ve 9 normal kat olmak üzere 11 kattan oluşmaktadır. Bodrum katında, A, B, C ve D bloklar ortak otopark ve sığınak hacimleri, zemin katta 14 adet dükkân ve bina girişi, normal katların her birinde 6 adet mesken olmak üzere 54 adet bağımsız bölüm bulunmaktadır. Bina dış cephesi mantolamalı ve dış cephe boyası ile boyalı, giriş kapıları şifre ile açılabilir. Bina giriş ve merdivenler mermer kaplı, merdiven korkulukları alüminyum doğramadır. Binada doğalgaz tesisatı mevcuttur. Her blokta iki asansör ve yangın merdiveni mevcuttur. Site tel çit ile çevrili olup, peyzaj düzenlenmesi yapılmıştır. Site içerisinde çocuk oyun alanı ve basketbol sahası bulunmaktadır.

##### 3.1.3. Değerleme Konusu Gayrimenkul'ün Konut Özellikleri

Değerleme konusu bağımsız bölüm C blok 2. kat doğu ve kuzey cephelidir. Konu taşınmaz projesinde 108 m<sup>2</sup> olup; 2 oda, salon, mutfak, antre, 2 adet banyo+ wc ve balkondan oluşmaktadır. Mahallinde yapılan incelemede taşınmazın, salon ve odalarının zeminlerinin laminant parke, mutfak, antre ve banyo zemininin granit kaplı olduğu, iç cephe boyasının saten boya olduğu görülmüştür. Mutfak dolapları MDF den mamul lake kaplı, mutfak tezgahı granittir. Taşınmazın iç kapıları ahşap panel, dış kapısı çelik kapı, pencereleri PVC doğramadır. Taşınmazda bir adet 9000 BTU klima bulunmakta olup ısıtma doğalgazlı merkezi pay ölçer ile sağlanmaktadır.

##### 3.1.4. Değerleme Konusu Gayrimenkul'ün Değerini Etkileyen Faktörler

Kılıçoğlu Danış Vizyon Konutlarına ait taşınmazların değerlerini etkileyen 2 faktörden bahsedilmiştir. Bunlar olumlu ve olumsuz etkenler olarak aşağıda tanımlanmıştır.

##### Olumlu Etkenler:

- Lokasyon açısından konutun tercih edilen bir bölgede olması
- Kapalı otoparkının bulunması
- Yapı Kullanma İzin Belgesinin olması
- Kat mülkiyetinin alınmış olması
- Çocuk oyun alanlarının olması
- Ara katta konumlu olması
- 7/24 Güvenlik görevlisinin olması
- Jeneratörün binadaki taşınmazları da beslemesi
- Bölgede yeşil alan, park ve okulların bulunması
- Önü kapanmayacak bir mevkide bulunması

##### Olumsuz Etkenler:

- Bölge çok tercih edildiğinden nüfusun hızla artışı
- Site içerisinde yeşil alanların azlığı
- Açık havuzunun olmaması

##### 3.1.5. Değerleme Konusu Gayrimenkul'e Ait Resmî Belgeler ve Görseller

Hürriyet Mahallesi Çamlıbel Caddesi üzerinde bulunan 3 yol ağzının her iki yanında konumlanmış bir tarafı 4 blok diğer tarafı 3 blokta oluşan sitemiz Emlak Konutları'nın hemen arka sokağında bulunmakta olup, lokasyon açısından oldukça değerli bir bölgede bulunmaktadır. Konu taşınmaza ait uydu

görüntüsü ve tapu bilgileri Şekil 1.' de, sitenin ve konu taşınmazın dış mekân görselleri ise Şekil 2' de bulunmaktadır.

İl	TEKİRDAĞ	İlçe	ÇORLU
Mahalle/Köy	NUSRATİYE	Taşınmaz Tipi	Kat Mülkiyeti
Ada	2040	Parsel	5
Bağımsız Bölüm Numarası	21	Blok	C
Kat	2	Giriş	-
Nitelik	MESKEN	Yüzölçümü (m2)	9511.3
Arsa Pay	21	Arsa Payda	4668
Cilt No	85	Sayfa No	8354
Taşınmaz Numarası	78048006		



Şekil 1. Taşınmazın bulunduğu sitenin uydu görüntüsü ve tapu bilgileri.



Şekil 2. Konu taşınmaza ait görseller (taşınmazın dış görünümü).

### 3.1.6. Değerleme Konusu Gayrimenkul' ün Aynı Yöredeki Emsallere Göre Değer Tespiti

Bu yöntemde taşınmazın yakın çevresinde, benzer özellikler taşıyan taşınmazların satış değerleri (Şekil 3.) tespit edilerek söz konusu taşınmazın değeri, piyasa değerine etki eden

kriterler çerçevesinde değerlendirilerek gerekli fiyat ayarlamaları yapılarak belirlenmiştir.

Emsallerin Aritmetik Ortalaması (m<sup>2</sup>): 27.475 TL/m<sup>2</sup>, Konu Taşınmazın Değeri: 27.475\* 108m<sup>2</sup>: 2.967.300 TL, Düzeltilmiş Değer: 3.000.000 TL, Düzeltilmiş Birim Fiyat: 3.000.000 TL/108 m<sup>2</sup>: 27.777 TL/m<sup>2</sup>

	ÇORLU HÜRRİYET MAH.VADİ EVLERİNDE SATILIK 2+1 DAİRE	100	2+1	2.850.000 TL	10 Kasım 2023	Hürriyet Mh.
	UYGUN FİYATLI LÜX 2+1 daire	103	2+1	2.830.000 TL	09 Kasım 2023	Hürriyet Mh.
	Hürriyette Havuzlu site Venerada arakat 2+1 satılık daire	135	2+1	3.350.000 TL	08 Kasım 2023	Hürriyet Mh.
	REMAX LAND'DEN ÇORLU VİZYON KONAKLARI'NDA SATILIK 2+1 DAİRE	120	2+1	2.850.000 TL	08 Kasım 2023	Hürriyet Mh.
	FLORA KONAKLARINDA İÇİ ÖZEL YAPILI 2+1 4.KAT DAİRE	85	2+1	2.500.000 TL	07 Kasım 2023	Hürriyet Mh.
	ÇETİN EMLAK'TAN   TRİO PARK'TA   2+1   ARA KAT   HAVUZ CEPHE	120	2+1	3.261.000 TL	05 Kasım 2023	Hürriyet Mh.

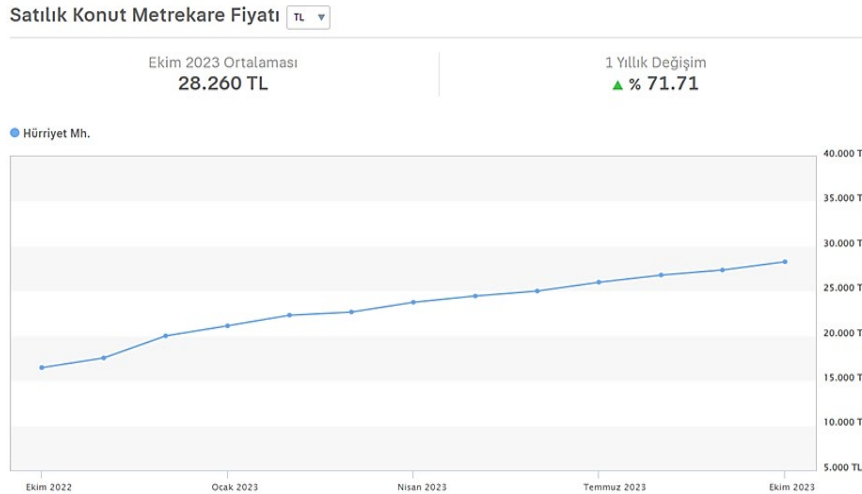
**Şekil 3.** Satışların karşılaştırılması yöntemine göre Hürriyet Mahallesi'nde bulunan 2+1 emsaller ve satış fiyatları [8].

### 3.1.7. Değerleme Konusu Gayrimenkul'ün (Vizyon Konutlarındaki konut) Endeksa (Veri Analiz Yöntemi) Verilerine Göre Değerlendirilmesi

Konu taşınmazın (Vizyon Konutlarındaki konut) aynı muhitteki benzer gayrimenkuller ile karşılaştırılması sonucu tespit etmiş olduğumuz 3.000.000 TL değeri ve 108 m<sup>2</sup> alanı

göz önünde bulundurduğumuzda birim m<sup>2</sup> değeri 27.777 TL (3.000.000 TL/108 m<sup>2</sup>)'dir.

Tekirdağ İli, Çorlu İlçesi, Hürriyet Mahallesi'nde bulunan konutların Ekim 2023 Endeksa verisine göre m<sup>2</sup> fiyatı ortalama 28.260 TL olduğu ve konu taşınmazın değer tespitinin gerçek değere en yakın şekilde tespit edilmiş olduğu görülmektedir (Şekil 4).



**Şekil 4.** Endeksa verilerine göre Tekirdağ ili Çorlu ilçesi Hürriyet Mah. Ekim 2023 ortalama konut birim fiyatları ve 1 yıllık değişim grafiği [9].

### 3.2. Gelirlerin Kapitalizasyonu Yöntemi Uygulamalı Değer Tespitleri

Gelirlerin kapitalizasyonu yöntemi, mülkten gelecekte elde edilecek olan gelirlerin değer biçme anına indirgenmesi şeklinde uygulanmaktadır. Bu yöntem genellikle gelir getiren

mülkler için kullanılır. Gayrimenkulün belirli bir süre işletilmesi ya da kiralanması ilerde oluşabilecek olan potansiyel getirinin ve bu hesaplardan oluşacak giderlerin düşülmesi ve günümüzün ekonomik durumuna uygun bir şekilde hesaplanması, hesaplama gününe uyarlanması ve bu şekilde değerinin oluşturulması işlemidir. Ülkemizde

kapitalizasyon oranları genellikle konutlar için bölgeden bölgeye değişim göstermekle birlikte %7 ile %9 arasında değişmektedir. Bu oran ofisler için %10, oteller ve alışveriş merkezleri için %12 olarak belirlenmiştir.

### 3.2.1. Ergene Vadisi Sitesi 1+1 Konutların Değer Tespiti

Ergene Vadisi Sitesi 1+1 satılık konut fiyatları (Şekil 5) ve kiralık konut fiyatları (Şekil 6)' de yer almaktadır. Ergene Vadisi Satılık 1+1 Emsallerin Ortalama Birim Fiyatı:2.118.571 TL/65 m<sup>2</sup>: 32.593 TL/m<sup>2</sup> Ergene Vadisi Kiralık 1+1 Emsallerin Ortalama Fiyatı:13.142 TL'dir.

	İlan Başlığı	m <sup>2</sup> (Brüt)	Oda Sayısı	Fiyat	İlan Tarihi	Mahalle
	ÇORLU ERGENE VADİSİ 68m <sup>2</sup> 1+1 SATILIK DAİRE 	68	1+1	1.970.000 TL	07 Kasım 2023	Esentepe Mah.
	Çorlu Ergene Vadisi Sitesi Satılık 1+1 	65	1+1	2.100.000 TL	29 Ekim 2023	Esentepe Mah.
	ERGENE VADİSİNDE BU DAİRE KAÇMAZ:) 	80	1+1	2.250.000 TL	26 Ekim 2023	Esentepe Mah.
	Sahibinden Çorlu Ergene Vadisi Satılık 1+1 	65	1+1	2.200.000 TL	24 Ekim 2023	Esentepe Mah.
	ERGENE VADİSİNDE 1+1 GÜNEY DOĞU CEPHE 2.KAT 	65	1+1	1.985.000 TL	21 Ekim 2023	Esentepe Mah.
	ERGENE VADİSİNDE 1+1,66 m2,4.KAT,FULL EŞYALI, HAVUZ MANZARALI 	65	1+1	2.350.000 TL	18 Ekim 2023	Esentepe Mah.
	ERGENE VADİSİNDE ÇOK TEMİZ VE YENİ EŞYALI 1+1 KUZAY BATI 	65	1+1	1.975.000 TL	19 Ekim 2023	Esentepe Mah.

Şekil 5. Gelirlerin kapitalizasyonu yöntemine göre Esentepe Mahallesi'nde bulunan 1+1 konutların satış fiyatları [8].

	İlan Başlığı	m <sup>2</sup> (Brüt)	Oda Sayısı	Fiyat	İlan Tarihi	Mahalle
	ERGENE VADİSİN'DE ARA KAT 1+1 KİRALIK DAİRE 	66	1+1	11.000 TL	14 Kasım 2023	Esentepe Mah.
	ÇORLU ESENTEPE ERGENE VADİSİN'DE ARA KAT 1+1 KİRALIK DAİRE 	66	1+1	11.000 TL	14 Kasım 2023	Esentepe Mah.
	ERGENE VADİSİNDE 1+1 EŞYALI KUZAY DOĞU VE HAVUZ CEPHE 65 M2 	65	1+1	14.000 TL	13 Kasım 2023	Esentepe Mah.
	ÇORLU ERGENE VADİSİ FULL EŞYALI GÜNEY ARA KAT 1+1 KİRALIK DAİRE 	66	1+1	13.500 TL	13 Kasım 2023	Esentepe Mah.
	Ergene vadisinde havuz manzaralı full eşyalı 1 + 1 kiralık daire 	68	1+1	13.500 TL	10 Kasım 2023	Esentepe Mah.
	VİZYON'DAN ERGENE VADİSİNDE KİRALIK 1+1 EŞYALI DAİRE 	60	1+1	14.000 TL	06 Kasım 2023	Esentepe Mah.
	ERGENE VADİSİNDE 1+1 EŞYALI GÜNEY VE HAVUZ CEPHE 65 M2 	65	1+1	15.000 TL	02 Kasım 2023	Esentepe Mah.

Şekil 6. Gelirlerin Kapitalizasyonu Yöntemine göre Esentepe Mahaltesinde bulunan 1+1 konutların kiralık fiyatları [8].

### 3.2.2. Ergene Vadisi Sitesi 2+1 Konutların Değer Tespiti

Ergene Vadisi Sitesi 2+1 satılık konut fiyatları (Şekil 7.) ve kiralık fiyatları (Şekil 8.) aşağıda yer almaktadır. Ergene

Vadisi Satılık 2+1 Emsallerin Ortalama Birim Fiyatı: 2.915.000 TL/90 m<sup>2</sup>=32.388 TL/m<sup>2</sup>, Ergene Vadisi Kiralık 2+1 Emsallerin Toplamı (Ortalama Fiyatı):17.300 TL'dir.

	İlan Başlığı	m <sup>2</sup> (Brüt)	Oda Sayısı	Fiyat	İlan Tarihi	Mahalle
	ESENTEPE MAH ERGENE VADİSİ 2+1 EŞYALI ARA KAT SATILIK DAİRE	85	2+1	2.720.000 TL	11 Kasım 2023	Esentepe Mah.
	ÇORLU ERGENE VADİSİN'DE KAPALI MUTFAK KUZEY BATI ÇEPHE 2+1 DAİRE	95	2+1	2.900.000 TL	05 Kasım 2023	Esentepe Mah.
	ERGENE VADİSİNDE KAPALI MUTFAK 2+1 G/B CEPHE 90 M2	90	2+1	2.870.000 TL	18 Ekim 2023	Esentepe Mah.
	ERGENE VADİSİNDE 2+1 AMERİKAN 78 M2 YOLA CEPHE	78	2+1	2.650.000 TL	18 Ekim 2023	Esentepe Mah.
	ERGENE VADİSİNDE 2+1 ÖZEL TASARIM GÜNEY CEPHE 78 M2	78	2+1	2.800.000 TL	18 Ekim 2023	Esentepe Mah.
	ERGENE VADİSİNDE KAPALI MUTFAK 2+1 G/D CEPHE 90 m2 5.KAT	96	2+1	3.550.000 TL	18 Ekim 2023	Esentepe Mah.

Şekil 7. Gelirlerin Kapitalizasyonu Yöntemine göre Esentepe Mahallesinde bulunan 2+1 konutların satış fiyatları [8].

	İlan Başlığı	m <sup>2</sup> (Brüt)	Oda Sayısı	Fiyat	İlan Tarihi	Mahalle
	GOZDE DEN ÇORLUNUN EN GOZDE SEMTİ EMLAKLAR DA ERGENE VADİSİNDE	90	2+1	14.500 TL	11 Kasım 2023	Esentepe Mah.
	ergene vadisinde kiralık daire	90	2+1	14.500 TL	29 Ekim 2023	Esentepe Mah.
	ERGENE VADİSİNDE 2+1 90 M2 KAPALI MUTFAK KİRALIK DAİRE	90	2+1	16.000 TL	24 Ekim 2023	Esentepe Mah.
	ÖZEL TASARIM 2+1 KAPALI MUTFAK 90 M2 FULL EŞYALI	90	2+1	24.500 TL	19 Ekim 2023	Esentepe Mah.
	ERGENE VADİSİ 2+1 KAPALI MUTFAK EŞYALI	90	2+1	17.000 TL	19 Ekim 2023	Esentepe Mah.

Şekil 8. Gelirlerin Kapitalizasyonu Yöntemine göre Esentepe mahallesinde bulunan 2+1 konutların kiralık fiyatları [8]

### 3.2.3. Ergene Vadisi Sitesi 3+1 Konutların Değer Tespiti

Ergene Vadisi Sitesi 3+1 konut fiyatları (Şekil 9.), kiralık fiyatları (Şekil 10.)' da yer almaktadır.

	İlan Başlığı	m <sup>2</sup> (Brüt)	Oda Sayısı	Fiyat	İlan Tarihi	Mahalle
	ERGENE VADİSİNDE SATILIK 3+1 10.KAT MASRAFSIZ DAİRE	133	3+1	3.550.000 TL	14 Kasım 2023	Esentepe Mah.
	ÇORLU ERGENE VADİSİ ÖN CD CEPHE 5.KAT BOŞ 3+1 SATILIK DAİRE	140	3+1	4.290.000 TL	03 Kasım 2023	Esentepe Mah.
	ACİL ACİL !!!	145	3+1	3.950.000 TL	15 Ekim 2023	Esentepe Mah.
	ERGENE VADİSİ EN İYİ KONUMDA BAHÇE VE HAVUZ CEPHELİ 3+1 DAİRE	133	3+1	4.350.000 TL	18 Ekim 2023	Esentepe Mah.
	ERGENE VADİSİ EN İYİ KONUMUNDA BAHÇE VE HAVUZ CEPHELİ 3+1 DAİRE	140	3+1	4.500.000 TL	13 Eylül 2023	Esentepe Mah.

Şekil 9. Gelirlerin Kapitalizasyonu Yöntemine göre Esentepe Mahallesi'nde bulunan 3+1 konutların satış fiyatları [8].

	İlan Başlığı	m <sup>2</sup> (Brüt)	Oda Sayısı	Fiyat	İlan Tarihi	Mahalle
	ÇORLU ERGENE VADİSİ HAVUZLU SİTEDE 3+1 ARAKATKİRALIK DAİRE	140	3+1	18.000 TL	06 Kasım 2023	Esentepe Mah.
	MARŞ YAPI GAYRİMENKULDEN ERGENE VADİSİNİN DE KİRALIK 3+1 DAİRE	138	3+1	18.000 TL	18 Ekim 2023	Esentepe Mah.
	SAHİBİNDEN ERGENE VADİSİNDE 3+1 KLİMALI KİRALIK DAİRE	138	3+1	18.000 TL	03 Ekim 2023	Esentepe Mah.

Şekil 10. Gelirlerin Kapitalizasyonu Yöntemine göre Esentepe Mahaltesinde bulunan 3+1 konutların kiralık fiyatları [8].

Ergene Vadisi Satılık 3+1 Emsallerin Ortalama Birim Fiyatı: 4.128.000 TL/138 m<sup>2</sup>=29.913 TL/m<sup>2</sup>, Ergene Vadisi Kiralık 3+1 Emsallerin Toplamı (Ortalama Fiyatı): 18.000 TL.

### 3.2.4. Gelirlerin Kapitalizasyonu Yöntemine Göre Ergene Vadisi Sitesi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Gelirlerin kapitalizasyon yöntemine göre Tekirdağ ili Çorlu ilçesi Esentepe Mahaltesinde bulunan büyük bir sitede (Ergene Vadisi) yapılan incelemeler sonucu;

-1+1 evlerin (Ergene Vadisi) aylık kapitalizasyon faiz oranının 0.0062, yıllık kapitalizasyon faiz oranının 0.074 (%7,4) ve amorti süresinin 13 yıl,

-2+1 evlerin (Ergene Vadisi) kapitalizasyon faiz oranının 0.0059, yıllık kapitalizasyon faiz oranının 0.070 (%7) ve amorti süresinin 14 yıl,

-3+1 evlerin (Ergene Vadisi) kapitalizasyon faiz oranının 0.0043, yıllık kapitalizasyon faiz oranının 0.051 (%5) ve amorti süresinin 19 yıl olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

-Endeksa verilerine göre Türkiye'deki satılık konutların yıllık kapitalizasyon faiz oranı ortalaması (%6,36) ve amorti süresinin 17 yıl'dır.

-Endeksa verilerine göre Tekirdağ'daki (il bazında) satılık konutların yıllık kapitalizasyon faiz oranı ortalaması (%6,82) ve amorti süresinin 16 yıl'dır.

-Endeksa verilerine göre Tekirdağ İli Çorlu İlçesi'ndeki satılık konutların yıllık kapitalizasyon faiz oranı ortalaması (%8,72) ve amorti süresinin 13 yıl'dır.

yapılan araştırma sonucuna göre yatırım amaçlı yani gelir elde etmek amacıyla tercih edilen evlerin daha küçük metrekareye sahip, oda sayısı en az, dolayısıyla amorti süresi en kısa veya kapitalizasyon faiz oranı en yüksek olanının tercih edilmesinin daha avantajlı olacağı tespit edilmiştir.

### 3.3. Maliyet Yöntemine Göre Tekirdağ İli Çorlu İlçesi Yenice Mahaltesinde Örnek Bir Uygulama

Tekirdağ ili, Çorlu ilçesi, Yenice Mahaltesinde bulunan 8.000.000 TL değerinde dubleks bir villanın maliyet yöntemine göre değerlemesi yapılmış olup, emlak firması ile



yapılan görüşme sonucuna göre 50.000 TL gibi az bir pazarlık payı ile satışa sunulduğu bilgisine ulaşılmıştır. 575 m<sup>2</sup> bir arsa içerisinde yer alan konu taşınmaz villa 2 kat (3. Kat teras) olarak inşa edilmiş olup, toplam 275 m<sup>2</sup> kullanım alanına

sahiptir. Konu taşınmazın maliyet yöntemine göre değerinin tespit edilmesi amacıyla Yenice mahallesinde bulunan arsaların satış fiyatları (Şekil 11.)’ de bulunmaktadır.


İlan Başlığı	m <sup>2</sup>	Fiyat	m <sup>2</sup> Fiyatı	İlan Tarihi	Mahalle
 ÇORLU YENİCE MAHALLESİ SATILIK 316 M2 KONUT İMARLI ARSA I	316	2.250.000 TL	7.120 TL/m <sup>2</sup>	28 Kasım 2023	Yenice Mh.
 ÇORLU YENİCE MAHALLESİ SATILIK 316 M2 KONUT İMARLI ARSA I	316	2.480.000 TL	7.848 TL/m <sup>2</sup>	28 Kasım 2023	Yenice Mh.
 YENİCE SATILIK UYGUN ARSA YOLA CEPHE DENİZE 2 DK	356	2.000.000 TL	5.618 TL/m <sup>2</sup>	28 Kasım 2023	Yenice Mh.
 ÇORLU YENİCE SAHİLDE...İYİ KONUMDA ARSA (358 m2)	358	2.325.000 TL	6.494 TL/m <sup>2</sup>	25 Kasım 2023	Yenice Mh.
 Deniz manzaralı	340	1.950.000 TL	5.735 TL/m <sup>2</sup>	23 Kasım 2023	Yenice Mh.
 Yenice İki Kat İmarlı Villa Arsası	299	1.950.000 TL	6.522 TL/m <sup>2</sup>	22 Kasım 2023	Yenice Mh.
 TEKİRDAĞ ÇORLU YENİCE MAH. SATILIK 382m <sup>2</sup> ARSA	382	2.900.000 TL	7.592 TL/m <sup>2</sup>	24 Kasım 2023	Yenice Mh.

Şekil 11. Maliyet Yöntemine göre Yenice mahallesinde bulunan arsaların satılık fiyatları [8].

Maliyet yöntemine göre değerlemesini yaptığımız konu taşınmaz villanın (Şekil 12) 575 m<sup>2</sup> arazi içerisinde bulunduğunu göz önünde bulundurduğumuzda tespit etmiş olduğumuz ortalama arsa birim fiyatı üzerinden 6704 TL/m<sup>2</sup> x 575 m<sup>2</sup> = 3.854.800 TL toplam arsa bedeli tespit edilmiştir. Şekil 13’de görseli bulunan konu taşınmaz villanın Çevre, Şehircilik ve İklim Bakanlığı’ nın ‘Mimarlık ve Mühendislik Hizmet Bedellerinin


Hesabında Kullanılacak 2023/2 Yılı Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri Hakkında Tebliğ’ [10] esasına göre konu taşınmaz villa 4B yapı sınıfında değerlendirilmiş olup, 12. Maddeye göre yapı birim maliyeti 12.050 TL/m<sup>2</sup> olarak hesaba alınmış olup, yapı bedeli 3.313.750 TL olarak tespit edilmiştir. Şerefiye payı (Çevre düzeni, manzara, otopark vs.) %11 olarak hesaplanmıştır. Konu ile ilgili tüm hesaplamalar Tablo 2’de verilmiştir.

#1128174083





8.000.000 TL  Kredi Teklifleri






Tekirdağ / Çorlu / Yenice Mh.

İlan No: 1128174083  
İlan Tarihi: 27 Kasım 2023  
Emlak Tipi: Satılık Villa  
m<sup>2</sup> (Brüt): 575  
m<sup>2</sup> (Net): 275  
Açık Alan m<sup>2</sup>: Belirtilmemiş  
Oda Sayısı: 3+1  
Bina Yaşı: 0  
Kat Sayısı: 2  
Isıtma: Yerden Isıtma  
Banyo Sayısı: 3  
Otopark: Belirtilmemiş  
Eşyalı: Hayır  
Kullanım Durumu: Boş  
Site İçerisinde: Hayır  
Aidat (TL): Belirtilmemiş  
Site Adı: Belirtilmemiş  
Krediye Uygun: Hayır  
Tapu Durumu: Kat Mülkiyetli  
Kimden: Emlak Ofisinden  
Takas: Evet



BURÇAK

Büyük Fotoğraf  İlan Klipi  yeni Video  Sanal Tür  yeni

4/38 Fotoğraf     

Şekil 12. Yenice mahallesinde bulunan konu taşınmaz villanın görseli ve özellikleri [8].

Tablo 2. Maliyet Yöntemine göre Yenice Mahallesinde bulunan konu taşınmaz villanın değerlendirilmesi [10].

YASAL VE MEVCUT DURUM DEĞERİ								
SIRA NO	GAYRİMENKUL NİTELİK/ŞEREFİYE	KAT	YASAL/MEVCUT ALAN (M <sup>2</sup> )	YAPI SINIFI*	YASAL/MEVCUT BİRİM DEĞER (TL/M <sup>2</sup> )	AMORTİSMAN ORANI*	YASAL/MEVCUT (AMORTİSMAN UYGULANMIŞ) BİRİM DEĞER (TL/M <sup>2</sup> )	YASAL/MEVCUT TOPLAM DEĞER (TL)
1	ARSA	-	575,00	-	6.700,00	-	6.700,00	3.852.500,00
2	KONUT (DUBLEKS VİLLA)	ZEMİN + 1.NORMAL KAT	275,00	4B	12.050,00	0,00%	12.050,00	3.313.750,00
ARA TOPLAM (ARSA + BİNA/YAPI)			275,00					7.166.250,00
ŞEREFİYE (ÇEVRE DÜZENİ + MANZARA + OTO PARK ALANI) = %11								788.287,50
GENEL TOPLAM (ARSA+BİNA/YAPI+ŞEREFİYE)			275,00		28.925,59			7.954.537,50
GENEL TOPLAM (ARSA+BİNA/YAPI+ŞEREFİYE) (YUVARLATILMIŞ DEĞER)			275,00		28.909,09			7.950.000,00

#### Açıklamalar:

##### Amortisman Oranı:

Emlak Vergisine Matrah Olacak Vergi Değerlerinin Takdirine İlişkin Tüzük' ün Bazı Maddelerinin Değiştirilmesine ve Bu Tüzük' e Bir Ek Madde Eklenmesine İlişkin Tüzük, 02 Aralık 1982 Tarihli Resmi Gazete, Sayı: 17886, Aşınma Paylarına İlişkin Oranları Gösterir Cetvel esas alınmıştır. Taşınmaz yeni bina olup, inşası yeni tamamlanmış ve iskan edilmiş olduğundan, 0-3 yaş kabul edilmiş ve oturma başlamamış olduğundan amortisman oranı % 0 kabul edilmiştir.

##### Yapı Sınıfı Ve Yapı Birim Maliyet:

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 'Mimarlık Ve Mühendislik Hizmet Bedellerinin Hesabında Kullanılacak 2023/2 Yılı Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri Hakkında Tebliğ' esas alınmıştır. Taşınmaz 4B Yapı Sınıfında değerlendirilmiş olup, Ayrık nizam müstakil villadır. Tabloya göre 4B, (12.madde); Müstakil veya İkiz konutlar (bağımsız bölüm brüt alanı 151m<sup>2</sup>-600m<sup>2</sup> villalar, teras evleri, dağ evleri, kaymakam evi ve benzeri olarak kabul edilmiştir.

### 3.4. Gayrimenkul Yatırımı ile Diğer Yatırım Araçlarının Karşılaştırılması

Satışların Karşılaştırılması (Emsal) Yöntemine göre değer tespiti yapılmış olan Tekirdağ İli, Çorlu İlçesi, Hürriyet Mahallesi, Çamlıbel Caddesi, Kılıçoğlu Danış Vizyon Konutları'nda bulunan konu taşınmazın satın alınmış olduğu Kasım 2012 tarihindeki değeri, değerlendirme tarihi olan Kasım 2023 tarihindeki tespit edilen değeri ve diğer yatırım araçları ile kıyaslaması aşağıdaki gibidir;

- 15 Kasım 2012 Konu Taşınmaz Değeri: 110.000 TL
- 15 Kasım 2023 Konu Taşınmaz Değeri: 3.000.000 TL
- Konu taşınmazın 11 yıldaki değer artışı=3.000.000 TL/110.000 TL=27.27 kat
- 15 Kasım 2012 Dolar Kuru: 1.8005 TL
- 15 Kasım 2023 Dolar Kuru: 28.6679 TL
- Dolar'ın 11 yıldaki değer artışı=28.6679 TL/1.8005 TL=15.92 kat
- 15 Kasım 2012 Euro Kuru: 2.2969 TL
- 15 Kasım 2023 Euro Kuru: 31.1486 TL
- Euro'nun 11 yıldaki değer artışı=31.1486 TL/2.2969 TL=13.56 kat.
- 15 Kasım 2012 gr. Altın: 98.99 TL
- 15 Kasım 2023 gr. Altın: 1859 TL
- Gr altın'ın 11 yıldaki değer artışı=1859 TL/98.99 TL=18.78 kat
- 15 Kasım 2012 gr. Gümüş: 1.78 TL
- 15 Kasım 2023 gr. Gümüş: 22.87 TL
- Gr gümüş'ün 11 yıldaki değer artışı=22.87 TL/1.78 TL=12.85 kat

Tekirdağ İli, Çorlu İlçesi Ergene Vadisi Konutlarında tespit etmiş olduğumuz, aynı muhitte bulunan 2+1 konutların yıllık kapitalizasyon faiz oranı %7 ve amorti süresinin 14 yıl olduğu göz önünde bulundurulduğunda, konu taşınmazın yatırım amaçlı alınmış olması ve 11 yılda elde etmiş olduğu kira getirisi de dahil edildiğinde; %7x11 yıl=%77 (11 yılda kiradan sağlanan getirisi) dir.

Yıllık ortalama ev vergisi ve diğer giderler (yıpranma, tadilat, kiracı sirkülasyonu vs.) yıllık ortalama tarafımızca verilen %1 oranı düşürüldüğünde, 11 yılda %77-%11=%66'lık bir kira getirisi sağlamaktadır.

$3.000.000 \text{ TL} \times 1.66 = 4.980.000 \text{ TL}$  (Kira getirisi+ Konu Taşınmazın ulaştığı Kasım 2023 tarihli değer), Konu taşınmazın 11 yıldaki artış katsayısı=  $4.980.000 \text{ TL} / 110.000 \text{ TL} = 45,27$  kat.

### 4. Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında değerlendirilen konut fiyatlandırmaları kaynaklar dahilinde verilmeye çalışılmıştır. Buradaki fiyatlar üzerinde mutlaka bir pazarlık payı olabileceği düşünülmektedir. Dolayısıyla çizelge değerlerimiz üzerinde az da olsa değişim olacağı, ancak genel ortalama değerlerimizi koruduğumuzu düşünüyoruz.

Satışların karşılaştırılması (emsallerin) yöntemine göre Tekirdağ İli Çorlu İlçesi Hürriyet Mahallesi Vizyon Konutları'nda bulunan 2+1 konutun yine Hürriyet Mahallesi'nde

bulunan emsallerine göre değer tespiti yapılmıştır. Konu taşınmazına göre emsallerin artıları ve eksileri göz önünde bulundurularak konu taşınmazın 3.000.000 TL değer biçilmiştir. Tüm bu karşılaştırmalar sonucu konu taşınmaz için tespit edilmiş olan 27.777 TL/m<sup>2</sup> Hürriyet Mahallesi ortalaması olan (Endeksa verileri) 28.260 TL/m<sup>2</sup> ile karşılaştırılmış konu taşınmazın değer tespitinin gerçek değere en yakın şekilde tespit edilmiştir. Gelirlerin kapitalizasyonu yöntemine göre Tekirdağ İli Çorlu İlçesi Esentepe Mahallesi'nde bulunan Ergene Vadisi Sitesinde 1+1, 2+1, 3+1 konutlar üzerinde değer tespitleri yapılmış, konutun oda sayısı ve metrekaresi büyüdükçe birim fiyatının azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Yatırım amaçlı alınması planlanan konutların birim metrekaresi fiyatı yüksek olmasına rağmen küçük metrekaresi ve az oda sayısına sahip olan konutların tercih edilmesinin daha avantajlı olacağı tespit edilmiştir. Maliyet yöntemine göre Tekirdağ İli Çorlu İlçesi Yenice Mahallesi'nde 575 m<sup>2</sup> bir arsa içerisinde yer alan, toplam 275 m<sup>2</sup> kullanım alanına sahip, 8.000.000 TL satış bedeli bulunan dubleks bir villanın değerlendirilmesi yapılmıştır. Bunun için öncelikle Yenice Mahallesi'nde bulunan emsal arsaların ortalama birim metrekaresi satış fiyatı tespit edilmiş, tespit edilen birim fiyat, değerlendirilmesi yapılacak olan villanın satış fiyatından çıkartılarak yapı bedeline ulaşılmıştır. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın '*Mimarlık Ve Mühendislik Hizmet Bedellerinin Hesabında Kullanılacak 2023/2 Yılı Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri Hakkında Tebliğ*' e göre 4B Yapı Sınıfı 12. maddeye göre [10] (12.050 TL/m<sup>2</sup>) değerlendiren dubleks villa yapı (maliyeti+ arsa bedeli+ şerefiye payı-pazarlık payı) hesabıyla 7.950.000 TL satış fiyatına ulaşılmış olup, satışa sunulmuş olduğu 8.000.000 TL (pazarlık payı dahil) olan satış fiyatının maliyet hesabına göre uygun olduğu tespit edilmiştir. Son olarak Satışların Karşılaştırılması (Emsal) Yöntemine Göre Değer Tespiti yapılmış olan Tekirdağ İli, Çorlu İlçesi, Hürriyet Mahallesi Vizyon Konutlarında bulunan konu taşınmazın satın alınmış olduğu Kasım 2012 tarihindeki değeri ve değerlendirme tarihi olan Kasım 2023 tarihindeki tespit edilen değeri karşılaştırılarak 11 yılda 27,27 kat arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Bu konutun yatırım amaçlı alınmış ve kiraya verilmiş olması durumunda ise tüm amortisman bedelleri düşülmüş haliyle 45.27 katlık bir artış sağlamış olacağı tespit edilmiştir. Ulaşılmış olan bu getiri katsayısı geleneksel diğer yatırım araçları katsayıları ile karşılaştırılmış, 11 yılda Dolar 15,92 kat, Euro 13,56 kat, Gram Altın 18,78 kat ve Gram Gümüş 12,85 kat artış gösterdiği tespit edilmiştir. Dolayısıyla konutun diğer geleneksel yatırım araçlarına oranla neredeyse 3 katlık daha fazla bir getiri oranına sahip olduğu tespit edilmiştir.

### Yazar Katkısı

Veri iyileştirme-B.S.; Biçimsel analiz – İ.F.A.; Araştırma – B.S.; Veri toplama – B.S.; Veri işleme – B.S.; Literatür taraması – B.S.; Yazan – B.S.; İnceleme ve düzenleme – İ.F.A.

### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve/veya yayınlanması ile ilgili olarak herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemiştir.

### Kaynaklar

[1] Köktürk, E., ve Köktürk, E., (2022), Taşınmaz

Değerlemesi, 5. Baskı, Seçkin Yayıncılık, İstanbul.

[2] Wyatt, P., (2023). *Property valuation*, Third edition, Wiley-Blackwell.

[3] Türkiye Değerleme Uzmanları Birliği, (Eylül 2011), TUGDES Türkiye değerlendirme standartları çalışması, 1.versiyon.

[4] Afşar, A., (2018), Emlak Finans ve Emlak Değerleme, *Anadolu Üniversitesi Yayını*, Eskişehir, 104-126.

[5] Kocabıyık, İ., ve Öktem R., (2021), Gayrimenkul Değerlemesinde Çok Boyutlu Yaklaşımlar, *Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 6(1), 160–177.

[6] Ayan, E., (2010), Gayrimenkul Değerlemesinde Gelir İndirgeme Yaklaşımı Ve Yaklaşımın Türkiye Koşullarında Uygulanabilirliği (Kocaeli Uygulaması), *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 19(1), 382–

397.

[7] Karakuş, H., H., Özdemir, T., ve Turabi, A., (2011). Kentsel Alanlarda Gayrimenkul Değerlemesi ve Balıkesir İl Merkezinde Bölgesel Kapitalizasyon Oranlarının Belirlenmesi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(2), 112–119.

[8] <https://www.sahibinden.com/> [Erişim tarihi: 14 Kasım 2023-27 Kasım 2023].

[9] <https://www.endeksa.com/tr/> [Erişim tarihi: 15 Kasım 2023-27 Kasım 2023].

[10] Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı' nın 'Mimarlık Ve Mühendislik Hizmet Bedellerinin Hesabında Kullanılacak 2023/2 Yılı Yapı Yaklaşık Birim Maliyetleri Hakkında Tebliğ', 12.08.2023 tarih ve 32277 sayılı Resmi Gazete, Ankara.

## Research Article

# Comprehensive Analysis of Grid and Randomized Search on Dataset Performance

Nadir Subaşı<sup>1,\*</sup> 

<sup>1</sup>Department of Computer Programming, Vocational School of Technical Sciences, Kırklareli University, Kırklareli, Türkiye, 39100

[nadir.subasi@klu.edu.tr](mailto:nadir.subasi@klu.edu.tr)

Geliş: 08.11.2024

Kabul: 28.11.2024

DOI: 10.55581/ejeas.1581494

**Abstract:** This paper presents a comprehensive comparison of grid search and randomized search, the two main hyperparameter search methods used in machine learning. The paper analyses the performance of these two methods in terms of efficiency, scalability and applicability on different machine learning models and datasets. In the paper, it is emphasized that grid search provides a comprehensive search since it searches all hyperparameter combinations on a regular grid, but it creates high computational cost. On the other hand, while random search provides faster results by selecting random samples from the hyperparameter space, it has the disadvantage of not providing complete coverage. Practical suggestions and decision-making processes are also presented for which search method should be preferred in real-world applications. In conclusion, the paper summarizes the situations where grid search and random search can be advantageous according to factors such as the complexity of the model, the size of the hyperparameter space and the available computational resources and aims to provide a comprehensive guide for practitioners.

**Keywords:** Dataset, Grid Search, Hyperparameter Optimization, Machine Learning, Model Performance, Random Search.

## Veri Kümesi Performansı Üzerinde Izgara ve Rastgele Aramanın Kapsamlı Analizi

**Öz.** Bu makale, makine öğreniminde kullanılan iki ana hiperparametre arama yöntemi olan ızgara arama ve rastgele arama yöntemlerinin kapsamlı bir karşılaştırmasını sunmaktadır. Makale, bu iki yöntemin performansını verimlilik, ölçeklenebilirlik ve farklı makine öğrenimi modelleri ve veri kümeleri üzerinde uygulanabilirlik açısından analiz etmektedir. Makalede, ızgara aramanın düzenli bir ızgara üzerinde tüm hiperparametre kombinasyonlarını aradığı için kapsamlı bir arama sağladığı, ancak yüksek hesaplama maliyeti yarattığı vurgulanmaktadır. Öte yandan, rastgele arama hiperparametre uzayından rastgele örnekler seçerek daha hızlı sonuçlar sağlarken, tam kapsam sağlamama dezavantajına sahiptir. Gerçek dünya uygulamalarında hangi arama yönteminin tercih edilmesi gerektiğine dair pratik öneriler ve karar verme süreçleri de sunulmuştur. Sonuç olarak makale, modelin karmaşıklığı, hiperparametre uzayının büyüklüğü ve mevcut hesaplama kaynakları gibi faktörlere göre grid arama ve rastgele aramanın avantajlı olabileceği durumları özetlemekte ve uygulayıcılar için kapsamlı bir rehber sunmayı amaçlamaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Veri Kümesi, Izgara Arama, Hiperparametre Optimizasyonu, Makine Öğrenmesi, Model Performansı, Rastgele Arama,.

## 1. Introduction

Hyperparameter optimization plays a critical role in the performance of machine learning models by improving the

accuracy and generalization capability of algorithms. Correct tuning of hyperparameters such as learning rate and regularization power allows the model to perform optimally on unseen data. The most common methods for this optimization

\*Corresponding author

E-mail address: [nadir.subasi@klu.edu.tr](mailto:nadir.subasi@klu.edu.tr) (N. Subaşı)

are grid search and random search, which follow different strategies [1].

Grid search guarantees the best result by evaluating all possible combinations of hyperparameters; however, the computational cost increases rapidly as the number of

hyperparameters increases. This method has been a fundamental tool for many years, especially in models such as support vector machines and decision trees with limited hyperparameters but has become less effective in complex models such as deep neural networks [2], [3].

In contrast, random search takes a more probabilistic approach by randomly sampling hyperparameter values from predefined ranges. Instead of evaluating every possible combination, randomized search randomly selects a subset of hyperparameters to be evaluated. Although it may seem counterintuitive, Bergstra and Bengio showed that random search often outperforms grid search in high-dimensional spaces, especially when only a few hyperparameters are important [4]. This is because randomized search avoids wasting computational effort exploring irrelevant parts of the hyperparameter space.

Random search, developed by Bergstra and Bengio in 2012, aims to explore a large space at a lower cost by taking random samples from the hyperparameter space. This method has emerged as a more advantageous option when working with large hyperparameter spaces or limited resources and has become widely used in machine learning libraries such as Scikit-learn.

This paper aims to present a comprehensive comparison of grid search and randomized search in terms of efficiency, scalability and applicability in machine learning models. We will examine the advantages and disadvantages of the methods, evaluate their performance on benchmark datasets and discuss the reasons for their preference over real-world applications. At the end of the paper, clear guidelines on which method is more appropriate depending on model complexity, size of the hyperparameter space and computational resources will be presented.

### 1.1. Hyperparameter Optimization

Hyperparameter optimization is a critical process to improve model performance and avoid under- or over-fitting problems. Grid search, a widely used method, has high computational cost while systematically evaluating all possible combinations of hyperparameters. In contrast, random search offers a faster and more efficient alternative by randomly sampling hyperparameters in the search space, but at the risk of missing optimal regions. Understanding the advantages and disadvantages of these methods is a fundamental requirement for choosing the optimization technique that suits the requirements of the model.

#### 1.1.1. Grid Search

Grid search is a traditional method in hyperparameter optimization as it systematically evaluates all possible combinations. For example, for three hyperparameters with three potential values (learning rate, chunk size and regularization power), a total of 27 combinations are tested and

the best performing combination is guaranteed to be found.

This method is effective in low-dimensional spaces, but as the number of hyperparameters increases, the combinations increase exponentially, and the computational cost rises rapidly. This is known as the curse of dimensionality and makes grid search inefficient, especially for complex models. Furthermore, in high-dimensional spaces where only a few hyperparameters contribute significantly to performance, grid search often wastes computational resources by working on unnecessary combinations.

#### 1.1.2. Random Search

Bergstra and Bengio proposed randomized search to overcome the limitations of grid search. Random search works faster and more efficiently in high-dimensional spaces by sampling hyperparameters from specific distributions. Unlike grid search, instead of giving the same importance to every hyperparameter, it enables faster selection of important parameters. This is particularly advantageous when performance depends on several hyperparameters.

Mathematically, the random search complexity is limited to a certain number of iterations ( $N$ ), which can be adjusted according to resources or time. This flexibility can provide good results even with a low number of iterations. However, randomized search may not discover specific areas, and since the results depend on the sampling distributions used, important areas may be missed if the distributions are inadequate.

## 2. Summary of Real-World Applications and Case Studies

The theoretical comparisons between grid search and random search can be better understood through the performance of these hyperparameter optimization techniques on real-world problems. Case studies in areas such as deep learning and natural language processing (NLP) demonstrate the effectiveness of these methods [1].

In deep learning, especially in complex models such as Convolutional Neural Networks (CNN), random search offers a significant advantage. In a study on the CIFAR-10 dataset, grid search evaluated 729 combinations, while random search achieved similar accuracy with only 100 combinations. Random search also halved the optimization time [5]. In an optimization study for transducer models in NLP, random search achieved 92.5% accuracy with 100 combinations, while grid search achieved 92.7% accuracy with 500 combinations. Randomized search saves time by providing similar results even though fewer configurations are evaluated [6]. Automated Machine Learning (AutoML) systems favor random search to deal with large hyperparameter spaces. In the H2O.ai AutoML framework, optimization with random search resulted in faster training times and better accuracy results. [7]. In the financial sector, training times were reduced by 40% using random search for fraud detection. This emphasises the ability of randomized search for rapid tuning and large-scale deployment in high-risk environments [8]. Studies show that random search is more efficient in high-dimensional spaces and should be preferred especially in areas such as deep learning and NLP. Grid search can be useful in small-scale

tasks, but random search is generally a better choice for more complex and large data sets.

### 2.1. Challenges and Limitations

Although grid search and random search are effective methods for hyperparameter optimization, they both have various challenges and limitations. Understanding these limitations is critical to choosing the right optimization technique.

#### Challenges of Grid Search

- **Computational Cost:** As the hyperparameter space expands, grid search becomes computationally inefficient. For example, in an optimization with three hyperparameters, the number of possible combinations increases exponentially and becomes difficult to manage in large models.
- **The Curse of Dimensionality:** As the number of hyperparameters increases, the number of combinations also increases exponentially, which reduces the chance of reaching the optimal combination. Grid search often wastes time and resources by evaluating sub-optimal points.
- **Lack of Flexibility:** Since a fixed hyperparameter values work on a grid search, there is a risk of missing the optimum values. This is especially problematic for hyperparameters that take continuous values.

#### Challenges of Randomized Search

- **Stochastic Structure:** Randomized search shows variability as the results depend on the random seed. Without enough iterations, sub-optimal results can be obtained.
- **Risk of Inadequate Exploration:** Under-exploration may occur in lower dimensional spaces. If very few iterations are performed, better results can be obtained due to the exhaustive nature of grid search.
- **Dependence on Hyperparameter Distributions:** Randomized search is dependent on predefined distributions. Poorly chosen intervals can lead to missing important hyperparameter values.

#### Limitations of Both Methods

- **Lack of Adaptability:** Both grid and random search are static methods. New sets of hyperparameters are determined independently of previous results, which can lead to wasted computations.
- **Scalability Issues in Large Models:** In large models such as deep neural networks with millions of parameters, both methods struggle to find the optimal hyperparameters.

As a result, grid search is computationally expensive and ineffective in high-dimensional spaces, while randomized search offers a more efficient alternative but carries the risk of under-exploration. Both methods lack adaptability and may have difficulty in dealing with large, complex models.

## 3. Material and Method

This section describes the methodology used to compare grid

search and random search for hyperparameter optimization. The aim is to evaluate the efficiency, scalability and accuracy of these methods on different machine learning models and datasets.

1. **Experimental Setup:** The objective of the experiment was to evaluate the efficacy of grid search and random search techniques using the most commonly employed datasets (MNIST (5000x784), Iris (150x4)) and machine learning models, comprising support vector machines (SVM), neural networks (NN), and random forest (RF). Among the datasets used in the study, the MNIST dataset contains 5000 samples, each with 784 feature vectors of 28x28 pixels. On the other hand, the IRIS dataset consists of 150 samples and has 4 features for each sample [9][10].
2. **Hyperparameter Space:** The impact of hyperparameters on model performance should be assessed in terms of accuracy, generalizability and computational cost. For example, while higher parameter numbers generally lead to better performance, they can also increase computational cost and risk over-learning. For each model, an attempt is made to balance the number of parameters. Each model has its own hyperparameters and search space. For SVM, parameters such as gamma, regularization parameter C, kernel type and kernel coefficient were determined. For NN, the hidden layer size, activation function, L2 regularization term (Alpha), learning rate parameters are selected. For Random Forest (RF), the learning coefficient, number of trees and depth parameters are selected.
3. **Implementation:** Both methods are implemented with the GridSearchCV and RandomisedSearchCV functions of the Scikit-learn library. Performance is evaluated by k- fold cross-validation and compared on metrics such as accuracy and computational cost.
4. **Evaluation Criteria:** Performance is evaluated based on training time as a and calculation cost and verification accuracy.
5. **Scalability Test:** The scalability of all methods was tested with hyperparameter spaces of different dimensions.
6. **Stopping Criteria:** For random search, stopping criteria were determined using a certain number of iterations and performance threshold.

The performance and practical applications of this methodology between grid search and random search are extensively analyzed.

## 4. Main Results and Performance Indicators

### 4.1. Performance Comparison

The performance of grid search and random search in hyperparameter optimization is evaluated based on key factors such as efficiency, scalability and effectiveness in finding optimal hyperparameters. In this section, we present the results of both methods using different machine learning models and datasets. We will focus on training time, validation accuracy (or model performance) and computational cost as metrics. It is shown in Table 1.

**Table 1** Comparison of performance and computational cost of models

Dataset	Model	Search Algorithms	Accuracy (%)	Duration (sec)
MNIST	SVM	GRID SEARCH	92.440%	3349.189
		RANDOM SEARCH	90.500%	2581.997
	NN	GRID SEARCH	92.400%	1395.008
		RANDOM SEARCH	93.080%	776.624
	RF	GRID SEARCH	93.660%	2149.913
		<b>RANDOM SEARCH</b>	<b>93.460%</b>	<b>516.123</b>
IRIS	SVM	GRID SEARCH	97.333%	5.810
		<b>RANDOM SEARCH</b>	<b>97.333%</b>	<b>0.648</b>
	NN	GRID SEARCH	97.333%	54.176
		RANDOM SEARCH	96.667%	17.266
	RF	GRID SEARCH	96.667%	164.022
		RANDOM SEARCH	96.667%	42.972

Evaluations on the MNIST dataset show that the RF algorithm is ahead in terms of accuracy. However, the RandomSearch method stands out by achieving a 4.16-fold reduction in computational cost for only a 0.2% reduction in accuracy. In the IRIS dataset, SVM achieves a high accuracy rate due to the low number of features, whereas the RandomSearch method achieves the same accuracy rate but reduces the computational cost by 9.5 times in the hyperparameter selection process.

Table 1 emphasizes that various algorithms should be preferred for different datasets. However, when the hyperparameter selection process is considered, the RandomSearch method stands out as a viable option that offers a significant computational cost advantage with an acceptable loss of accuracy.

#### 4.2. Efficiency and Computational Cost in Hyperparameter Space

While grid search evaluates each hyperparameter combination in a systematic way, random search explores the hyperparameter space more efficiently by randomly sampling these values. For example, in our experiment using Support Vector Machine (SVM), the SVM hyperparameter pool offers 32 different options. With the cross-validation value defined as 5, the grid search evaluated 160 models, while the random search worked with only 100 combinations.

Although both methods achieved similar validation accuracy, the random search completed the optimization process in less time than the grid search. The other model parameter pools are detailed in Table 2.

**Table 2** Model Parameters Pool

	SVM	NN	RF
PARAMETERS	32	48	108
CROSS-VALIDATION	5	5	5
GRID SEARCH CANDIDATES	160	240	540
RANDOM SEARCH CANDIDATES	100	100	100
CANDIDATE DROPOUT RATE %	62,5	41,6	18,5

Grid search leads to high computational costs due to its exhaustive nature, as it evaluates all possible combinations. For example, a random forest model with three

hyperparameters may need to evaluate hundreds or thousands of configurations. Randomized search can work with fewer combinations and perform fewer evaluations, making it a more time and resource efficient option. In the experiments on the MNIST dataset, random search is limited to 100 combinations and evaluated, while grid search works with 540 combinations by trying all possibilities. This is presented in Table 2.

As can be seen from Table 1, in terms of computational cost (time), random search is only inferior to the random forest model, and the success rate is only 0.2% lower against this requirement, as mentioned in the previous table.

#### 4.3. Practical Considerations

Practitioners should consider the balance of computational cost and efficiency when choosing between grid search and randomized search. Grid search is generally more suitable for small hyperparameter spaces, but random search is a better choice in high dimensional spaces. Especially for scenarios where time and resources are limited, random search offers a more practical approach for complex models such as deep learning.

As a result, random search consistently outperforms grid search in terms of computational efficiency and scalability, while providing similar or near-optimal results in most cases. While the exhaustive approach of grid search may not be suitable for high-dimensional hyperparameter spaces, random search offers a flexible and effective alternative for many machine learning tasks.

For the evaluation, the MNIST (5000x784) dataset, which is frequently used in machine learning studies, was used. At this stage, the dataset was hyperparameter optimized with SVM, NN and RF algorithms using grid search and random search, respectively, and the graphs of success rates and computational costs (time) are presented in Figure 1, Figure 2 and Figure 3.

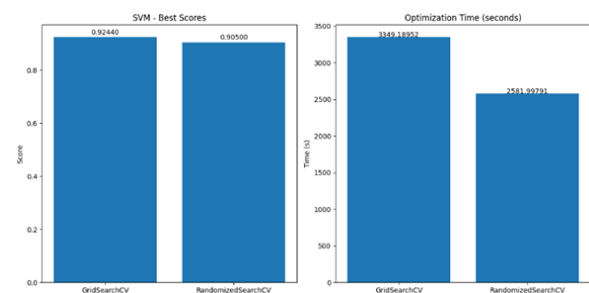
**Figure 1.** SVM performance for MNIST Dataset

Figure 1 shows the accuracy and computational cost of the SVM algorithm for the MNIST dataset. GridSearch calculates it in 3349 seconds with 92.44% accuracy. The same dataset and algorithm with RandomSearch can compute in 2581 seconds with 90.5% accuracy. Thus, the 1.94% accuracy decrease was realized 23% more rapidly.



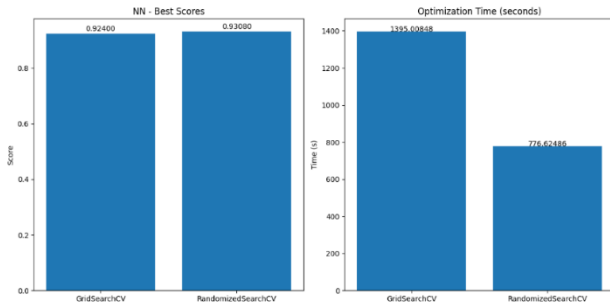


Figure 2. NN performance for MNIST Dataset

Figure 2 shows the accuracy and computational cost of the NN algorithm for the MNIST dataset. GridSearch calculates it in 1395 seconds with 92,4% accuracy. The same dataset and algorithm with RandomSearch can compute in 776 seconds with 93% accuracy. In this calculation, Random Search achieved both better accuracy (0.6%) and 44% quicker.

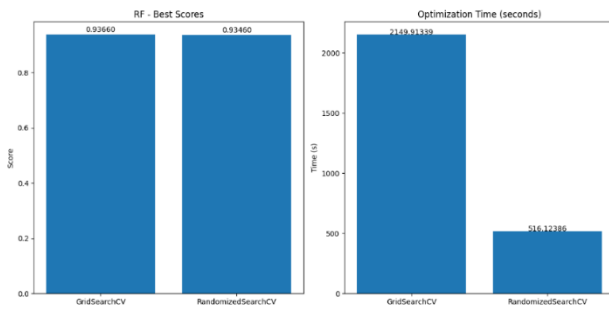


Figure 3. RF performance for MNIST Dataset

Figure 3 shows the accuracy and computational cost of the RF algorithm for the MNIST dataset. GridSearch calculates it in 20149 seconds with 93,6% accuracy. The same dataset and algorithm with RandomSearch can compute in 516 seconds with 93,4% accuracy. Thus, the 0,2% accuracy decrease was realized 76% more rapidly.

Figure 4 shows a box plot of the cross-validation values for the performance comparison of these algorithms. This box plot compares the cross-validation scores of SVM, NN and RF models. SVM models exhibit a wider distribution of performance compared to the other models. In some cases, very low scores (outliers around 0.2) were obtained, indicating that SVM may be inadequate in certain scenarios. The NN models are quite consistent in terms of performance, with scores generally concentrated between 0.8 and 0.9. This shows that NN has a stable performance. RF models, on the other hand, are as consistent and high performing as NN, but with slightly less variance. Overall, NN and RF models show similarly high performance, but RF may be a step ahead in terms of stability. On the other hand, SVM performs poorly compared to the other models with its low median value and high variance.

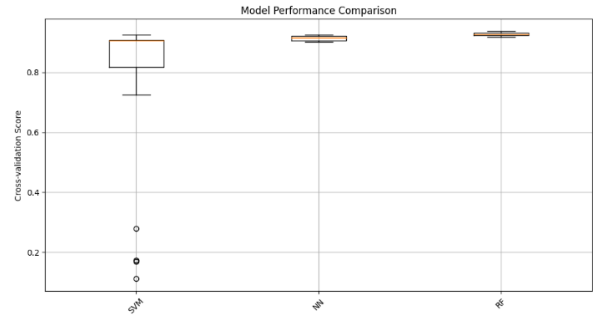


Figure 3. Performance comparison of Algorithms for MNIST Dataset

While continuing the evaluation, another dataset frequently used in machine learning studies, IRIS (150x4) dataset was also tested.

At this stage, the dataset was hyperparameter optimized with SVM, NN and RF algorithms using grid search and random search respectively and the graphs of success rates and computational costs (time) are presented in Figure 5, Figure 6 and Figure 7.

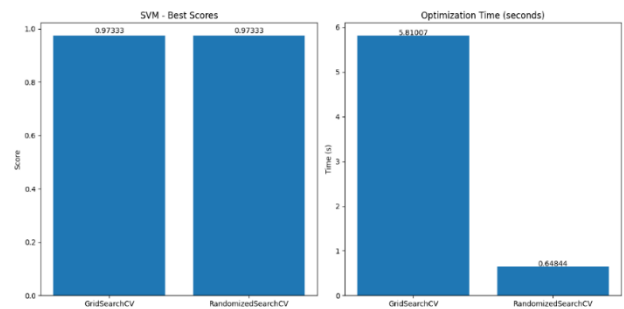


Figure 4. SVM performance for IRIS Dataset

Figure 5 shows the accuracy and computational cost of the SVM algorithm for the IRIS dataset. GridSearch calculates it in 5,8 seconds with 97,33% accuracy. The same dataset and algorithm with RandomSearch can compute in 0,64 seconds with the same accuracy. Even though the accuracy is the same, it is 89% faster in terms of time.

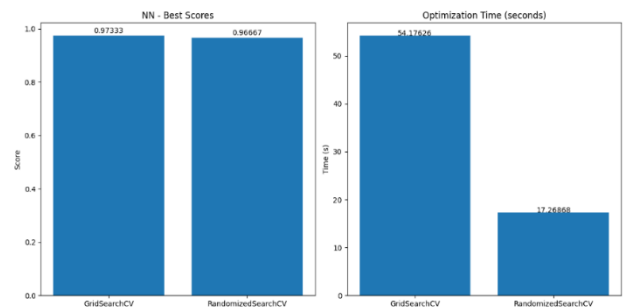
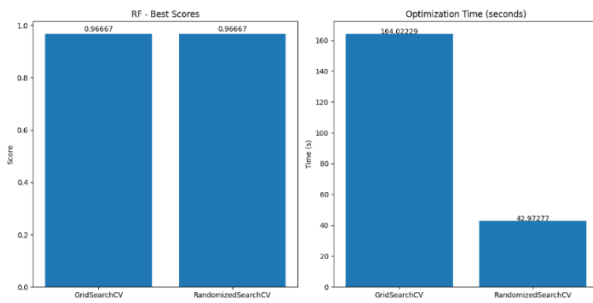


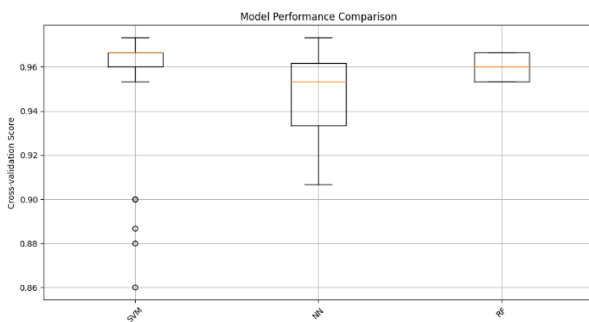
Figure 5. NN performance for IRIS Dataset

Figure 6 shows the accuracy and computational cost of the NN algorithm for the IRIS dataset. GridSearch calculates it in 54,17 seconds with 97,33% accuracy. The same dataset and algorithm with RandomSearch can compute in 17,26 seconds with 96,66% accuracy. In this calculation, Thus, the 0,67% accuracy decrease was realized 68% more rapidly.



**Figure 6.** RF performance for IRIS Dataset

Figure 7 shows the accuracy and computational cost of the RF algorithm for the IRIS dataset. GridSearch calculates it in 20149 seconds with 93,6% accuracy. The same dataset and algorithm with RandomSearch can compute in 516 seconds with 93,4% accuracy. Even though the accuracy is the same, it is 74% faster in terms of time.



**Figure 7.** Performance comparison of Algorithms for IRIS Dataset

Figure 8 shows a box plot of the cross-validation values for the performance comparison of these algorithms. Box plot compares the cross-validation scores of SVM, NN and RF models. SVM models exhibit a wider distribution of performance compared to the other models. In some cases, very low scores (outliers around 0.2) were obtained, indicating that SVM may be inadequate in certain scenarios. The NN models are quite consistent in terms of performance, with scores generally concentrated between 0.8 and 0.9. This shows that NN has a stable performance. RF models, on the other hand, are as consistent and high performing as NN, but with slightly less variance. Overall, NN and RF models show similarly high performance, but RF may be a step ahead in terms of stability. On the other hand, SVM performs poorly compared to the other models with its low median value and high variance.

## 5. Future Directions and Improvements

As the complexity of machine learning models increases and datasets grow, more sophisticated techniques for hyperparameter optimization are needed. In this chapter, advanced approaches such as Bayesian optimization, adaptive search techniques, automated machine learning (AutoML) systems and hybrid methods will be reviewed and their potential on hyperparameter tuning efficiency will be discussed.

Bayesian optimization is a method that guides hyperparameter search using past performance information. Builds a surrogate

model (usually a Gaussian process) and establishes a balance between exploration and exploitation [11].

- **Efficiency:** It provides a more efficient search by focusing on the regions of the hyperparameter space containing the best solution.
- **Adaptability:** It becomes adaptive with further evaluation.
- **Scalability:** Works well for models with less than 20 hyperparameters, but complexity increases as the number increases.

Adaptive randomized search techniques become more effective by dynamically adjusting the search process based on previous results. Methods such as Hyperband terminate low-performing configurations early, directing resources to more promising configurations. This is particularly efficient for large hyperparameter spaces.

Evolutionary algorithms, such as genetic algorithms, optimize hyperparameter configurations by simulating the process of natural selection. In each generation the best configurations are selected and improved over time. This method offers the ability to effectively explore large and complex spaces [12].

AutoML systems automate processes such as model selection and hyperparameter optimization. By integrating advanced search techniques, it becomes useful for non-experts with user-friendly interfaces. It also provides more efficient optimization by automatically adapting to the characteristics of data sets.

Hybrid methods combine the strengths of more than one optimization technique. For example, they can start with a broad random search and continue with Bayesian optimization around promising regions. These methods strike a balance between exploration and exploitation, resulting in more robust results.

## 6. Conclusion

The development of advanced hyperparameter optimization techniques such as Bayesian optimization, adaptive search methods and evolutionary algorithms reflects the growing need for more efficient and scalable solutions in machine learning. While grid search and randomized search continue to be widely used, these new methods offer significant improvements in computational efficiency, adaptability and scalability. As machine learning continues to evolve, hybrid approaches and AutoML systems will likely play an increasingly important role in simplifying and automating the hyperparameter optimization process. In this paper, we show that when random search is compared to grid search, random search offers a high gain in computational cost over grid search, with a modest performance degradation when using the same hyperparameter spaces, but a high computational cost gain.

### Author Contribution

Formal analysis – Nadir Subaşı (NS); Investigation – NS; Experimental Performance – NS; Collection – NS; Processing – NS; Literature review – NS; Writing – NS; Review and editing – NS.

### Declaration of Competing Interest

The authors declared no conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

## References

- [1] Mekonnen, T. (2019). Random vs. Directed Search for Scarce Resources. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 269-278.
- [2] Lawrence, J. P., & Steiglitz, K. (1972). Randomized Pattern Search. *IEEE Transactions on Computers*, 21(4), 382–385.
- [3] Vincent, P., & Rubin, I. (2004). Cooperative search versus random search using UAV swarms. *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 37(8), 944–949.
- [4] Bergstra, J., Ca, J. B., & Ca, Y. B. (2012). Random search for hyper-parameter optimization. *The Journal of Machine Learning Research*, 13, 281–305.
- [5] Aszemi, N. M., & Dominic, P. D. D. (2019). Hyperparameter Optimization in Convolutional Neural Network using Genetic Algorithms. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 10(6).
- [6] Sudhakaran, P., & Baitalik, S. (2022). XGBoost Optimized by Adaptive Tree Parzen Estimators for Credit Risk Analysis. *2022 IEEE 2nd Mysore Sub Section International Conference (MysuruCon)*, (pp. 1-6). *IEEE*.
- [7] Japa, L., Serqueira, M., Mendonca, I., Aritsugi, M., Bezerra, E., & Gonzalez, P. H. (2023). A Population-Based Hybrid Approach for Hyperparameter Optimization of Neural Networks. *IEEE Access*, 11, 50752–50768.
- [8] Zhao, Z., & Bai, T. (2022). Financial Fraud Detection and Prediction in Listed Companies Using SMOTE and Machine Learning Algorithms. *Entropy*, 24(8), 1157.
- [9] Y Lecun, Y., Bottou, L., Bengio, Y., & Haffner, P. (1998). Gradient-based learning applied to document recognition. *Proceedings of the IEEE*, 86(11), 2278–2324.
- [10] Unwin, A., & Kleinman, K. (2021). The Iris Data Set: In Search of the Source of Virginica. *Significance*, 18(6), 26–29.
- [11] Snoek, J., Larochelle, H., & Adams, R. P. (2012). Practical bayesian optimization of machine learning algorithms. *Advances in neural information processing systems*, 25.
- [12] Stanley, K. O., & Miikkulainen, R. (2002). Evolving neural networks through augmenting topologies. *Evolutionary computation*, 10(2), 99-127

## Research Article

# Analysis of the Formation of Material Structures with Axial Symmetry by Strong Electric Field

Gülizar Alisoy<sup>1</sup> , Hasan Demir<sup>2</sup> , Hafız Alisoy<sup>2,\*</sup> 

<sup>1</sup> Department of Arts and Science, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Türkiye, 59860

<sup>2</sup> Department of Electronics and Telecommunication Engineering, Corlu Engineering Faculty, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Türkiye, 59860

<sup>1</sup>[galisoy@nku.edu.tr](mailto:galisoy@nku.edu.tr), <sup>2</sup>[hdemir@nku.edu.tr](mailto:hdemir@nku.edu.tr), <sup>2</sup>[halisoy@nku.edu.tr](mailto:halisoy@nku.edu.tr)

Received: 19.09.2024

Accepted: 12.11.2024

DOI: 10.55581/ejeas.1552347

**Abstract:** To solve various technical problems, technologies are needed that allow creating new types of functionally graded anisotropic composite materials with directional properties. The formation of such structures based on additive technologies continues to retain its relevance every day. In this context, this paper proposes a new approach to creating a structure with axial symmetry and electrical or mechanical properties. In this case, the possibility of controlling the movement and direction of particles using strong electric fields is used. Taking into account the presence of a strong electric field in a condensed medium located in the interelectrode space, a mathematical model for the formation of a structure with axial symmetry is proposed, based on the analysis of the forces acting on the particles in the medium. For this model, as a result of some simplifications, analytical solutions were found. According to the results obtained, it is believed that a strong electric field also allows forming certain structures of materials and products with certain properties from microparticles, similar to polymer chemistry.

**Keywords:** Gravity force, Archimedes force, Environment resistance, Nanosized particle, Bouguer–Lambert–Beer law, Strong electric field

## Güçlü Elektrik Alanı ile Eksenel Simetriye Sahip Malzeme Yapılarının Oluşumunun Analizi

**Öz.** Çeşitli teknik sorunları çözmek için, yönlü özelliklere sahip yeni türde işlevsel olarak derecelendirilmiş anizotropik kompozit malzemeler oluşturmayı mümkün kılan teknolojilere ihtiyaç duyulmaktadır. Additive (eklemeli) teknolojilere dayalı bu tür yapıların oluşumu her geçen gün güncelliğini korumaya devam ediyor. Bu bağlamda, bu çalışmada, eksenel simetriye ve elektriksel veya mekanik özelliklere sahip bir yapı oluşturmaya yönelik yeni bir yaklaşım önerilmektedir. Bu durumda, parçacıkların hareketini ve yönünü kuvvetli elektrik alanları ile kontrol etme özelliği kullanılmaktadır. Elektrotlar arası boşlukta bulunan yoğunlaştırılmış bir ortamda kuvvetli bir elektrik alanının varlığı da dikkate alınarak, ortamdaki parçacıklar üzerine etki eden kuvvetlerin analizine dayanarak, eksenel simetriye sahip bir yapının oluşumunun matematiksel bir modeli önerilmiştir. Bu model için bir takım basitleştirmeler sonucunda analitik çözümler bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre, kuvvetli elektrik alanının da, polimer kimyasına benzer bir şekilde mikropartiküllerden belirli özelliklere sahip bazı malzeme ve ürün yapılarının oluşumuna olanak sağladığı düşünülmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Yerçekimi kuvveti, Arşimet kuvveti, Çevre direnci, Nano boyutlu parçacık, Bouguer–Lambert–Beer yasası, Kuvvetli elektrik alanı

## 1. Introduction

To solve various technical problems, technologies are needed that make it possible to create anisotropic materials with

properties specified as to directions.

At present, these properties are possessed by composite materials, the creation of which uses mechanically aligned

\*Corresponding author  
E-mail address: [halisoy@nku.edu.tr](mailto:halisoy@nku.edu.tr) (H. Alisoy)

structures. An example of such structures are composites made by gluing (sintering) fibers or woven materials.

The initial threads, for mechanically built structures, have a natural thickness limit, which is tens of micrometers. Reducing the thickness of the threads leads to a sharp increase in the cost of the process and deterioration in the degree of orderliness of structures.

At the same time, it is clear that the smaller the size of the aligned particles and the higher the degree of order, the better the properties of the materials.

In this regard, it seems relevant to develop methods free from these shortcomings for creating materials with electrical, magnetic, or mechanical properties specified as to directions.

One of the possible ways to solve this problem is to use the control of the motion and orientation of particles by strong electric fields.

The processes of directional motion, orientation, stretching and sedimentation of particles under the action of Coulomb forces are quite effective for micro and nanoparticles [1-11].

The behavior of particles under the action of an electric field in gases has been studied in sufficient detail, which led to the creation of a number of industrial technologies [3-5].

At the same time, a significant part of modern materials is created using various kinds of chemical reactions initially in liquid or powder medium.

## 2. Statement of the problem

The use of controlling the movement and orientation of particles by strong electric fields, similar to polymer chemistry, creates materials with predetermined properties.

## 3. Mathematical Model of Formation of Structure with Axial Symmetry

In condensed media, the particles in the interelectrode gap are affected by the following main forces [3, 4, 11,12].

- gravity ( $\vec{F}_g = m\vec{g}$ ),
- the action of the electric field on the charge of the particle ( $\vec{F}_q = (Q_+ - Q_-)\vec{E}$ ),
- action on the electric dipole moment ( $\vec{F}_{dipol} = \frac{Ql}{|E|}\nabla E^2$ ),
- environment resistance ( $\vec{F}_D = -6\pi\mu R\vec{v}$ ),
- Archimedes ( $\vec{F}_A = Sl(\rho_m - \rho_p)\vec{v}$ ),

here  $g = 9.81 \frac{m}{s^2}$  is the free fall acceleration,  $Q_+$ ,  $Q_-$ , are positive and negative charges on the particle, respectively,  $\vec{E}$ - is the electric field strength,  $Q = \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 2}\epsilon_0 SE$  -is the induced charge,  $l$  -is the particle length,  $S$  - is the surface area of particle,  $\epsilon_0$  and  $\epsilon_r$  are the permittivity of free space and relative permittivities,  $\eta$ - is the viscosity of the medium,  $R$ - is the transverse particle size,  $\rho_m$  and  $\rho_p$  are the density of the medium and matter of the particle. With steady motion, the particles move uniformly, i.e. the sum of the forces is zero:

$$\vec{F}_g + \vec{F}_q + \vec{F}_{dipol} + \vec{F}_D + \vec{F}_A = 0 \quad (1)$$

Whence, taking into account the expressions for the forces, we obtain:

$$m\vec{g} + (Q_+ - Q_-)\vec{E} + \frac{Ql}{|E|}\nabla E^2 - 6\pi\eta R\vec{v} +$$

$$Sl(\rho_m - \rho_p)\vec{v} = 0 \quad (2)$$

When the electric field is oriented along the force of gravity, the speed of its directed movement will be:

$$v \approx \frac{1}{6\pi\eta R} [mg + (Q_+ - Q_-)E + (\rho_m - \rho_p)gSl] + \frac{lR}{3\eta} \epsilon_0 E \left( \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r + 2} \right) grad|E| \quad (3)$$

In a uniform electric field, the force acting on the electric dipole moment after the particle rotates along the field turns to zero, therefore:

$$v \approx \frac{1}{6\pi\eta R} [mg + (Q_+ - Q_-)E + (\rho_m - \rho_p)gSl] \quad (4)$$

Taking into account the fact that the particle mass  $m = \rho_p Sl$  and its cross-sectional area  $S \approx \pi R^2$ , from (4) we obtain:

$$v \approx \frac{1}{6\pi\eta R} [g\rho_p Sl + (Q_+ - Q_-)E + (\rho_m - \rho_p)gSl] = \frac{1}{6\pi\eta R} [gm_m + (Q_+ - Q_-)E] \quad (5)$$

where  $m_m = \rho_m Sl$  is the mass of the medium displaced by the body. It can be seen from expression (5) that the drift velocity is inversely proportional to  $\eta$  and  $R$ .

In order for the force acting on the particle to become much greater than the Archimedes force, the particle must acquire a charge  $\gg Q_p = \frac{mg}{E}$ , which for  $\rho_m - \rho_p = 5 \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3}$ ,  $S = 10^{-12} m^2$ ,  $l = 10^{-5} m$  ( $M = 5 \cdot 10^{-14} kg$ ) at  $E = 10^6 \frac{V}{m}$  is  $Q_p = \frac{mg}{E} = \frac{5 \cdot 10^{-14} \times 9.81}{10^6} \approx 5 \cdot 10^{-19} C$ .

By choosing  $Q = 5 \cdot 10^{-8} C$  and the filling factor of the medium  $k = 0.1$ , we obtain that the specific volume charge in the medium is:  $Q_m = \frac{Q}{Sl} \cdot k = 5 \cdot 10^{-2} \frac{C}{m^3}$

For a sample with a size of  $1 \times 1 \times 1 cm^3$ , the required charge will be  $Q = 5 \times 10^{-8} C$ .

Such a charge is provided by a current with a density of  $10^{-7} A/cm^2$  in a time of 0.5 seconds. Taking into account the filling factor of the medium  $k = 0.1$ , the time of current flow until the particles are charged will be 5 ... 10 seconds.

## 4. Results and Discussion

Until recently, the use of shortwave radiation in industrial technologies has been limited by the low capabilities of emitters. Modern LEDs and semiconductor lasers make it possible to obtain intense ultraviolet radiation in the wavelength range up to 200 nm.

Source of ionizing radiation intensity  $I$  with photon energy  $\epsilon_f$  provides the charge density in the conduction band equal to:

$$n = \frac{\gamma I}{\epsilon_f} \tau \quad (6)$$

where  $\gamma$  - is the probability of an electron being ejected by a

photon into the conduction band,  $\tau$  – is the lifetime of charges in the conduction band. In this case, the current density  $j$  will be:

$$j = n\mu E e = \frac{\gamma I}{\epsilon_f} \tau \mu E e \tag{7}$$

where  $\mu$ - is the mobility of charge carriers,  $e = 1.6 \times 10^{-19} C$  is the electron charge.

From (7) we find the required intensity:

$$I = \frac{j \epsilon_f}{\gamma \mu \tau e} \tag{8}$$

For estimates, we will assume [3, 10, 14]:  $j = 10^{-7} A/cm^2$ ,  $\epsilon_f = 5 eV$ ,  $\gamma = 0.01$ ,

$\tau = 10^{-8} s$ ,  $\mu = 0.1 cm^2/Vs$ ,  $E = 10^4 V/cm$ , which gives:

$$I = \frac{10^{-7} \cdot 5 \cdot 1.6 \cdot 10^{-19}}{0.01 \cdot 10^4 \cdot 0.1 \cdot 10^{-8} \cdot 1.6 \cdot 10^{-9}} = 5 \frac{W}{cm^2} \tag{9}$$

The resulting value is quite realizable using modern LEDs. Let's outline the main steps necessary for the implementation of the proposed technology on the example of the formation of a structure with axial symmetry. Suppose you need a cylindrical sample material with stiffness increasing in the axial direction along the radius.

In other words, the rigidity of the material in the axial direction near the axis is significantly less than near its boundary. To do this, we choose a filler in the form of rigid elongated micro or nanosized particles and place them in a compound with low conductivity.

The technology of mixing and degassing the mixture will not be considered here.

Let us present the main steps of developing the technology of the process. After preparing the mixture, we measure its transmission spectrum.

In order for the radiation penetration depth to be optimal, theoretical calculations of the radiation penetration depth into the sample were made using the Bouguer–Lambert–Beer law, which is responsible for the qualitative part of the spectrophotometric analysis, which states that the intensity of radiation passing through the medium decreases exponentially with distance [13]:

$$I(z) = I_0 \exp(-\alpha \cdot d) \tag{10}$$

where  $I_0$  is the initial intensity of incident radiation;  $I(z)$  is the radiation intensity at depth  $z$ ;  $\alpha$  is the absorption coefficient;  $z$  is the radiation penetration depth, [cm];  $d$  is the width of the absorbing layer.

Let us choose the radiation wavelength such that the radiation path length in the mixture is less than the sample radius. Let's choose the type of emitter according to the wavelength.

Let's make a mold from a segment of a quartz tube, fill it with a mixture. We will place it in a flat inter electrode gap. Let us place the emitters so that the surface of the sample is illuminated fairly uniformly (see fig.1).

Apply voltage to the gap and turn on the emitters. At the same time, the filler particles will acquire a charge, line up like iron

filings in a magnetic field, and begin to move along the electric field. A schematic illustration of the formation of a structure with axial symmetry is shown in Fig. 2.

In the inner part of the sample, the radiation intensity is low and the effect of the field on the particles is much weaker. To prevent the deposition of particles, after they line up, the voltage from the gap must be removed.

During the curing of the compound, the alignment procedure must be repeated using voltage pulses of alternating polarity.

After curing the compound, the particles in the outer layers of the sample will be oriented strictly parallel to the axis, and as the axis is approached, the proportion of oriented particles will decrease, as will the rigidity in the axial direction.

When sufficiently transparent and liquid components are used, the displacement of particles to the outer part of the sample is possible due to the radial repulsion of like charges.

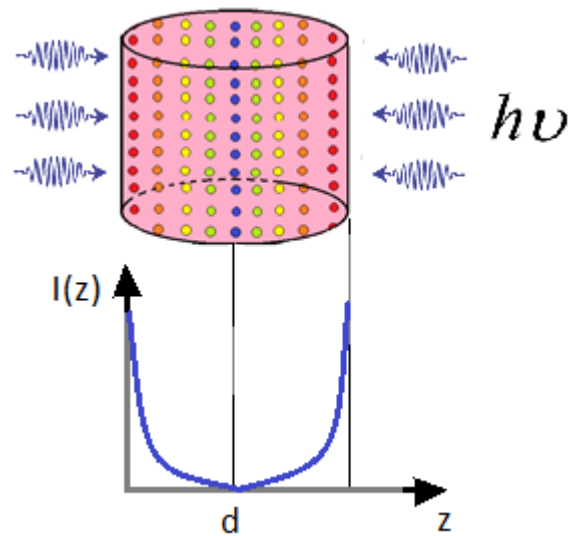


Figure 1. Schematic illustration for determining the path length of radiation in a mixture.

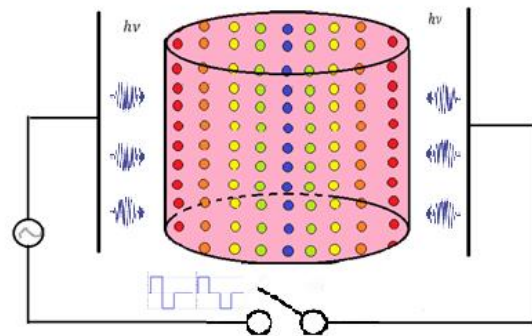


Figure 2. Schematic illustration of the formation of a structure with axial symmetry

**5. Conclusion**

In the case under consideration, the formation of materials with axial symmetry in a strong electric field can be interpreted as percolation theory, i.e. regular movement in a random environment. Note that from a mathematician's point of view,

percolation theory should be classified as probability theory on graphs. From a physicist's point of view, percolation is a geometric phase transition. From a practitioner's point of view, it is a simple but powerful tool that allows one to easily solve a wide variety of life problems.

Based on the analysis of the task set, this study shows that, similar to polymer chemistry, which constructs molecular structures with specified properties, an electric field is also capable of constructing certain structures of materials and products from micro particles. It is believed that the current level of development of the element base and high-voltage technology allows us to move on to the practical implementation of such technologies.

#### Author Contribution

Data curation – Gülizar Alisoy (GA), Hasan Demir (HD), Hafız Alisoy (HA); Formal analysis – (HA); investigation – (GA, HD); Experimental Performance –(HD, HA); Data Collection – (GA,HD);, Processing – (HA); Literature review – (GA, HD); Writing – (GA, HD); review and editing – (HA)

#### Declaration of Competing Interest

The authors declared no conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

#### References

- [1] Levich, V. G. (1962). *Physicochemical Hydrodynamics*. Prentice Hall.
- [2] Sow, S (1971). *Hydrodynamics of Multiphase Systems* (Mir, Moscow)
- [3] I.P. Vereshchagin, V.I. Levitov, G.Z. Mirzabekyan, M.M. Pashin. (1974). *Fundamentals of Electrogasdynamics of Disperse Systems*. M.: Energy.
- [4] Mednikov E. P. (1981). *Turbulent transfer and sedimentation of aerosols*. M.: Nauka
- [5] Nigmatulin R.I.( 1987). *Dynamics of multiphase media. Part 1*. M.: Nauka.

[6] Masuda, S., Washizu, M. (1979). Corona charging of a spherical particle having an extremely high resistivity. *Charge Storage, Charge Transport and Electrostatics, with their Applications, Elsevier, Amsterdam*, 35-39.

[7] Coulson, J., Richardson, J., Backhurst, J., & Harker, J. (1991). *Vol. 2: Particle technology and separation processes*. Oxford [etc.]: Butterworth-Heinemann.

[8] Alisoy, H. Z., Alisoy, G. T., Hamamci, S. E., & Koseoglu, M. (2004). Combined kinetic charging of particles on the precipitating electrode in a corona field. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 37(10), 1459.

[9] Alisoy, H. Z., Alisoy, G. T., & Koseoglu, M. (2005). Charging kinetics of spherical dielectric particles in a unipolar corona field. *Journal of Electrostatics*, 63(12), 1095-1103.

[10] Alisoy, H. Z., Alagoz, S., Alisoy, G. H., & Alagoz, B. B. (2012). A numerical method for the analysis of polydisperse aerosol particles charging in a coaxial electrode system. *Journal of Electrostatics*, 70(1), 111-116.

[11] Alisoy, G., Öntürk, N., Alisoy, H. (2021). The Mathematical Modeling of the Charging and Deposition of Aerosol Particles in a Corona Field. *European Journal of Engineering and Applied Sciences*, 4(2), 57-60.

[12] Gündüz, G. Ş., Göktepe, F., Alisoy, H., Göktepe, Ö. (2023). An Investigation of the Effect of Collector Plate Material and Thickness on Electrospun Fiber Fineness Including a Theoretical Analysis. *International Journal of Engineering and Innovativ Research*, 5(3), 223-236.

[13] A.E. Pushkareva. (2008). *Methods of Mathematical Modeling in Biotissue Optics*: Textbook SPbSU ITMO

[14] I. M. Bortnik, A. A. Beloglovsky, I. P. Vereshchagin, Yu. N. Vershinin, A. V. Kalinin, G. V. Kuchinsky, V. P. Larionov, A. E. Monastyrsky, A. V. Orlov, A. G. Temnikov, Yu. S. Pintal, Yu. G. Sergeev, M. V. Sokolova, S. I. Khrenov, L. A. Daryan. (2018). *Electrophysical foundations of high voltage technology*. M.: MPEI Publishing House

## Research Article

# İki Farklı Konum ve Özellikteki Otelde Yağmur Suyu Hasadı Üzerine Fizibilite Çalışması

Elif Ayyüce Kılınç<sup>1</sup> , Asude Hanedar<sup>2,\*</sup> , Ayşegül Tanık<sup>1</sup> , Erdem Görgün<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Department of Environmental Engineering, Faculty of Civil Engineering, Istanbul Technical University, İstanbul, Türkiye, 34469

<sup>2</sup> Department of Environmental Engineering, Çorlu Faculty of Engineering, Namık Kemal University, Tekirdağ, Türkiye, 59860

<sup>1</sup>[kilinc21@itu.edu.tr](mailto:kilinc21@itu.edu.tr), <sup>2</sup>[ahanedar@nku.edu.tr](mailto:ahanedar@nku.edu.tr), <sup>1</sup>[tanika@itu.edu.tr](mailto:tanika@itu.edu.tr), <sup>1</sup>[gorgune@itu.edu.tr](mailto:gorgune@itu.edu.tr)

Geliş: 27.02.2024

Kabul: 24.09.2024

DOI: 10.55581/ejeas.1443606

**Öz.** Kısıtlı su kaynaklarının korunması ve alternatif su kaynaklarının değerlendirilmesi günümüzün önemli konuları arasında olup, ülkemizde 2023 yılında Su Verimliliği Seferberliği ilan edilmiştir. Bu bağlamda kentsel doğa temelli çözümler ve yeşil altyapı uygulamaları arasında kabul gören alternatif seçeneklerden yağmur suyu hasadı ile binalarda şebeke suyundan su tasarrufu sağlanırken doğal su kaynaklarımızın da korunmasına katkı verilebilecektir. Bu çalışmada, Antalya ve İzmir illerimizdeki 2 farklı otel kompleksinin çatılarından toplanacak yağmur suyunun tesis içerisinde özellikle sifon suyu ve yeşil alan sulamaları ile elde edilecek tasarruf oranlarının yanı sıra, yatırım ve işletme maliyetleri detaylı olarak çalışılmış ve geri ödeme süreleri hesaplanmıştır. Her 2 otel örneği de gerçek vakalar olup, İzmir'deki otel planlama aşamasındaki çok katlı tek bir bina iken Antalya'daki otel bir tatil köyü niteliğinde olup, yatayda yayılmış mevcut ve faaliyetteki bir oteldir. Antalya'daki kompleksteki çatılardan toplanabilen suyun tamamen sifon suyu olarak kullanılması düşünülmüştür. Bu durumda sifon suyundan %20, toplam su tüketiminde %3 tasarruf yapılabileceği ve geri ödeme süresinin 16 yıl olduğu bulunmuştur. İzmir'deki otelde ise planlanma aşamasındaki aynı binanın faaliyette olması durumu da incelenmiş olup, geri ödeme süreleri sırasıyla 9 yıl ve 18 yıl olarak hesaplanmıştır. Bu oteldeki su tasarrufu ise %12 olmaktadır. Fizibiliteleri yapılmış bu örnekler çoğaltılabilmek için birçok bina tipolojisinde uygulanabilir; hatta grisu geri kullanımı alternatifini ile birlikte değerlendirildiğinde daha fazla su tasarrufunun yanı sıra daha kısa geri ödeme süreleri söz konusu olabilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Alternatif su kaynakları, Otel, Geri ödeme periyodu, Yağmur suyu hasadı, Su tasarrufu.

## Feasibility Study on Rainwater Harvesting of Two Hotels in Different Locations and Features

**Abstract:** Protecting limited water resources and evaluating alternative water resources are among the important issues of today, as such, Water Efficiency Campaign has been declared in our country in 2023. In this context, rainwater harvesting, one of the accepted alternative options among urban nature-based solutions and green infrastructure applications that can save water from municipal lines in buildings, contribute to the protection of our natural water resources. In this study, the saving rates that may be obtained from the rainwater collected from the roofs of two different hotel complexes in Antalya and Izmir, especially through flush water and green area irrigation, as well as investment and operating costs, were studied in detail and payback periods were calculated. Both hotel examples are real cases; while the hotel in Izmir is a single multi-storey building at the planning stage whereas the hotel in Antalya is a holiday village and is an existing hotel spreading horizontally. The water collected from the roofs of the complex in Antalya was intended to be used entirely as flush water. In this case, it was found that 20% of flush water and 3% of total water consumption could be saved with a payback period of 16 years. In the Izmir Hotel, the situation of the same building both at the planning stage and under operation cases were also examined, and the payback periods were calculated as 9 years and 18 years, respectively. The water saving in this hotel is 12%. These feasible examples can be increased and applied to many building typologies; in fact, when evaluated together with the greywater reuse alternative, shorter payback periods may be possible as well as more water savings.

**Keywords:** Alternative water sources, Payback period, Hotel, Water conservation, Rainwater harvesting.

\* Sorumlu yazar

E-mail adresi: [ahanedar@nku.edu.tr](mailto:ahanedar@nku.edu.tr) (A. Hanedar)



## 1. Giriş

Hızlı nüfus artışı, kentleşme ve sanayileşme suya olan talebi artırırken, aynı zamanda çevre kirliliği ve iklim değişikliği etkileri de su kaynaklarını miktar ve kalite açısından baskıya maruz bırakmaktadır. Ülkemizde su kaynaklarının ilerleyen süreçte iklim değişikliğinin olumsuz etkilerine daha fazla maruz kalacağı kabul edilmekte olup; su kullanan ile suya bağlı olan pek çok sektör de doğrudan ve dolaylı olarak iklim değişikliğinden etkilenecektir. İklim değişikliği etkilerinin kısa vadede engellenemeyeceği gerçeği, iklim değişikliğine uyum faaliyetlerinin önemini arttırmaktadır. Küresel ölçekte kent ölçeğine kadar tüm sistemlerin değişen iklime uyum sağlaması ve dirençli hale gelmesi sürdürülebilir bir gelecek için en önemli adımlardan biridir. AB Yeşil Mutabakat (YM) Politikası kapsamında iklim değişikliğine uyumun en önemli stratejisi olarak tanımlanan "Döngüsel Ekonomi"ye geçişte "suyun döngüselliklerinin" sağlanması zorunlu hale gelmiştir [1].

İklim değişikliğine uyum stratejileri olarak kentsel doğa temelli çözümler ve yeşil altyapı olarak tatmin edici uygulamalar arasında yağmur suyu hasadı (YSH) [2,3,4,5], gri suyun yeniden kullanımı (GSK) [6,7,8,9], arıtılmış atık suyun yeniden kullanımı [10,11,12] ve deniz suyunun tuzdan arındırılması ile tatlı su temini [13,14,15] yaygın alternatif su kaynakları olarak öne çıkmaktadır. Su kaynaklarının mevcut potansiyelinin ve kalitesinin korunumunun sağlanması için söz konusu bu alternatif su kaynaklarına yönelim tüm dünyada, özellikle su kıtlığı ve stresi yaşayan ülkelerde hızlanmıştır. Bu alternatif kullanımlar, Novotny (2013) [16] ve Eslamian (2016) [17] tarafından da vurgulandığı üzere, iklim değişikliğinin mevcut su kaynakları üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle daha da uygulanabilir ve dikkat çekici hale gelmiştir.

Gelecek yıllarda su stresi ve kıtlığı önde gelen çevre sorunları arasında yer alacağından, su tüketimine ilişkin sürdürülebilir çözüm yollarının günümüze nazaran daha fazla ilgi görecektir. Birleşmiş Milletler (BM) Sürdürülebilir Kalkınma Hedeflerinden (SKH) No: 6 (temiz su ve sanitasyon), No: 11 (sürdürülebilir şehirler ve toplumlar), No: 12 (sorumlu tüketim ve üretim) ve No: 13'ün (iklim eylemi) bu konuya odaklanması ile su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimine kamuoyunun ilgisi daha da artmış durumdadır [18]. Suyun yeniden kullanımının mantığını destekleyen bir diğer husus; yüksek su kalitesi gerektirmeyen kullanım alanları için kullanım amacına uygun kalitede su kullanmak ve enerji israfından kaçınmaktır. Eysel su kullanımının bileşenlerine baktığımızda; kullanımın en az %34'ünün (%30 sifon suyu, %4 bahçe sulama) içilebilir kalitede su gerektirmediği görülmektedir. Bununla birlikte, evsel su kullanımının %16'sına karşılık gelen çamaşırhaneler ve temizlik işlerinde de arıtma ihtiyacı ve gerekli su kalitesi sağlanarak grisu/yağmur suyunun tercih edilebilir olduğu bilinmektedir [19].

Alternatif su kullanımı uygulamaları arasında bilinen en eski teknoloji yağmur suyunu hasat ederek yağışın depolanması ve daha sonra içme, yemek pişirme dahil birçok evsel ihtiyaç için yeniden kullanılmasıdır [20,21]. YSH ile yağışların geçirimsiz yüzeylerden akışa geçmesi engellenerek toprağa sızdırılması, yeraltı suyuna beslenmesi veya yeniden kullanılmak üzere depolanması mümkündür. YSH sistemleri kolay yönetimi

sayesinde günümüzde giderek yaygınlaşmakta ve temelde basit ve uygulanabilir teknolojilere dayanmaktadır. Kolay kurulum, düşük enerji gereksinimi ve ucuz bakım gibi faktörler, kentsel ve kırsal sakinlerin YSH sistemlerini kurmaları için teşvik edici unsurlardır.

Yağmur suyunun geçirimsiz yüzeylerden tutulması yağışlı dönemlerde yaşanabilen sel ve erozyon risklerini de azaltmaktadır. Ayrıca, akışa geçen yağış sularıyla beraber taşınan kirlilik yüklerinin nehir, göl, dere gibi su kaynaklarına girişini engelleyerek su kaynaklarının kalitesinin korunumunu destekler. YSH, bireylerin şebeke suyuna bağımlılığını azaltır ve şebeke suyu kullanımından azaltım sağlayarak bireylerin su faturalarından tasarruf etmelerine yardımcı olur. Bireysel ölçeğin yanı sıra tüm toplumda şebeke ve genel su idaresi hizmetlerinin maliyetini önemli ölçüde azaltabilir. Yağışlı günlerde kanalizasyona giden yüzey akışının atıksu arıtma tesislerinin debisini artırmasıyla yaşanabilecek işletim problemlerinin de önüne geçilir. Bir toplulukta kayda değer bir nüfusun YSH sistemini kullanmasıyla, yağmur suyunun tahliyesi için tasarlanan yağmur suyu kanallarına olan gereksinim azalır [22].

YSH, tarımsal ve kentsel olmak üzere farklı kullanım amaçları için uygulanabilmektedir. YSH teknikleri kullanım alanı, toplama havzası alanı ve büyüklüğü gibi özelliklere göre sınıflandırılır [23]. Pamuk ve Akkuzu (2008) [24]'in belirttiğine göre su hasadı teknikleri 4 ayrı grup ile sınıflandırılmaktadır:

- Mikro havza su hasadı
- Makro havza su hasadı
- Taşkın hasadı
- Çatı yüzeyinden su hasadı

YSH uygulamalarında, binanın çatısına düşen suya herhangi bir taşıma maliyeti olmaksızın erişilebilmektedir. Yağmur suyu kullanımı ücretsiz, yatırım maliyeti ise düşüktür. Çatı, insan müdahalesinden arındırılmış yüzeysel bir ortam olup, çatı yüzeyi dışında çok fazla fazla kirlilik kaynağı bulunmamaktadır. Tokuş ve Özdemir (2017) [25]'in belirttiği üzere; yağmur suyu, kalsiyum, magnezyum, karbonat gibi sertlik yapan iyonları içermediği için çamaşır yıkama ve yemek pişirme için kaliteli bir su yapısına sahiptir. Doğal tatlı sular içinde en az tuz oranına sahip sudur ve bu nedenle bitkiler için faydalıdır [26]. Bu nedenlerden dolayı, sürdürülebilir su güvenliği için entegre su yönetimi yaklaşımının bir parçası olarak YSH sistemleri oldukça verimli uygulamalardır.

Çalışma kapsamında 2 farklı konum ve özellikteki otelde çatı/çatlardan YSH fizibilitesi yapılmıştır. İzmir ilinde seçilen otel projelendirme aşamasında olup, inşaatı başlamamış alandır (Otel A). Antalya İlinde seçilen otel ise mevcut ve faaliyettedir (Otel B). Analiz çalışmalarında İzmir'deki otelin mevcut durumda kullanılan binalar olması durumu da ilave senaryo olarak çalışılmıştır (Otel C). Bu durumda binalarda muhtemel tesisat değişiklikleri ile oluşabilecek kırım ve yapım maliyetleri göz önüne alınmıştır. Yapıların proje aşamasında ve kullanım aşamasında olduğu durumlardaki uygulanabilirlikleri, yatırımların geri ödeme süreleri üzerinden incelenmiştir. Çalışılan senaryo ile YSH sistemlerinin yapılara inşa edilmeden önce tasarlanmasının mali avantajı ortaya konulmuştur.

### 1.1. Yağmur Suyu Kalitesi Gereksinimi

Yağmur suyunun arıtma ihtiyacı, kullanılacağı alandaki su kalitesi gereksinimine göre belirlenir. Çamaşır ve bulaşık makinesinde sert su kullanılması bu makinelerin ömürlerini kısaltmakta ve deterjan tüketimini arttırmaktadır [27]. Suyun sert olmasını sağlayan kalsiyum ve magnezyum iyonlarının konsantrasyonu yağmur suyunda ve çamaşır yıkamak için uygundur [28]. Toplanan yağmur sularının tuvalet rezervuarlarında sifon suyu olarak yeniden kullanımında yaprak, böcek vb. maddelerin sisteme girerek sistemin tıkanmasını önlemek için basit bir filtrasyon ve/veya ilave klorlama yeterli görülmektedir.

**Tablo 1** Toplanmış yağmur suyunun yeniden kullanımı ile ilgili sınır değerler [29]

Parametre	Sınır Değerler	Sistem Tipi
Kullanım amacı	Basınçlı yıkama ve bahçe fiskiyeleri	Bahçe sulama ve WC rezervuar
Escherichia Koli sayısı/100 mL	1	250
Toplam koliform sayısı/100 mL		
Legionella sayısı/L		
Bağırsak enterokoku sayısı/100 mL		
Depolanan arıtılmış suda çözünmüş oksijen	>10 % doygunluk veya >1 mg/L oksijen	
Askıda katı madde	Tüm kullanımlar için görsel olarak berrak ve askıda madde olmamalı	
Serbest klor	<0.5 mg/L bahçe sulamada; <2 mg/L diğer tüm kullanımlarda	
Serbest bromür	<0.5 mg/L bahçe sulamada; <2 mg/L diğer tüm kullanımlarda	
Renk	Gözlenmemeli	
Bulanıklık	<10 NTU (UV dezenfeksiyonu için)	
pH	5-9	
		Tek bölge ve ortak ev sistemleri
		Tek bölge ve ortak ev sistemleri
		Risk değerlendirilmesine bağlı olarak analiz gerektiğinde
		Tek bölge ve ortak ev sistemleri
		Tüm sistemler
		Tüm sistemler
		Tüm sistemler, kullanıldığı durumda
		Tüm sistemler, kullanıldığı durumda
		Tüm sistemler
		Tek bölge ve ortak ev sistemleri

### 1.2. Ulusal Mevzuat

Ülkemizde yağmur suyu ile ilgili ilk yasal mevzuat 23.06.2017 tarihli ve 30105 sayılı Resmî Gazete ile yayımlanarak yürürlüğe giren “Yağmursuyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmelik”tir [30]. Bu yönetmelik, halk sağlığını ve güvenliğini, çevrenin korunmasını, sistemin sürdürülebilir olmasını, içme suyu kaynaklarının suyla taşınan kirliliklerden korunmasını esas alarak yağmur suyu toplama, depolama ve deşarj sistemlerinin planlanmasına, tasarımına, projelendirilmesine, yapımına ve işletilmesine ilişkin usul ve esasları kapsamaktadır.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı’nın (ÇŞİDB) “Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği”nde 23.01.2021 tarihinde değişiklik yapılmış ve 2.000 m<sup>2</sup>’den büyük parsellerde yapılacak binaların çatılarından toplanan yağmur sularının gerekmesi halinde filtre edilerek yeniden kullanılmak üzere tabii zemin altında bir depoda toplanması amacıyla “Yağmur suyu toplama sistemi” yapılması belirtilmiştir. Daha sonra 11.07.2021 tarihinde bahsi geçen yönetmeliğin kapsamının artırılması için değişiklik yapılmış; toplanan yağmur sularının bina tuvalet sifonlarında kullanılması, ihtiyaçtan fazla olan kısmının bahçe veya diğer ortak alanlarda kullanılması gerektiği ifade edilmiştir [31].

Bu yönetmelikte belirtilen hükümler doğrultusunda, ilgili idarelere yağmur suyu toplama sistemlerinin küçük parsellerde

Bu kapsamda yağmur suyu kalitesi, bölgelerin coğrafi konumu, topoğrafik yapıları, mevsim dönemleri ve su tutma yüzeyinin yapısı gibi birçok faktör ile değişiklik göstermektedir. Yağmur suyu kalite ihtiyacı ise suyun kullanılacağı alana göre değişmektedir. Ülkemizde yağmur suyunun kullanımına yönelik belirlenmiş kalite standartları bulunmamaktadır. ABD’nin Ulusal Çevre Ajansı (EPA) tarafından yayınlanmış olan rehber dokümanda, yağmur suyunun yeniden kullanımında dikkate alınması gereken parametre ve sınır değerleri Tablo 1’de verilmiştir [29].

kurulması, toplama tankı hacminin hesaplanması yöntemi ve ek kullanım alanlarına ilişkin zorunlulukları belirleme yetkisi verilmiştir. Bunun üzerine birçok büyükşehir belediyesi (BŞB) tarafından imar yönetmeliklerinde değişiklik yapılmış ve YSH sistemlerinin uygulanmasına ilişkin zorunluluklar getirilmiştir.

### 2. Kullanılan Veri ve Yöntem

Fayda-maliyet analizlerinden önce sistemin uygulanacağı yapıya ve yapının bulunduğu bölgeye ait gerekli veriler temin edilmiştir. Bu kapsamda İzmir ve Antalya illerinin nüfus, arazi kullanımı, su birim fiyatı, su arz ve talebi ve mevsim normalleri bakımından mevcut durumu incelenerek sistemlerin uygulanabilirliğine olan etkisi değerlendirilmiştir [32]. Benzer şekilde seçilen yapıların çatı planları, kat planları ve sıhhi tesisat projeleri incelenerek gerekli bilgiler çıkarılmış ve hesapları yapılmıştır. Seçilen alanlarda toplanabilir yağmur suyu miktarı, alternatif kullanım alanlarında ihtiyaç duyulan su miktarları, sistemlerin uygulanması halinde potansiyel su tasarrufu ve ekonomik kazanım hesaplanmıştır.

Seçilen bina tipolojisi projelendirme aşamasında olan inşaatı başlanmamış alan (Otel A) için su tüketimi değerleri bulunmamaktadır. Bu durumda; oteli kullanacak kişilerin/ziyaretçilerin sayısı, binanın kullanıldığı gün sayısı gibi değerler için belirli kabuller yapılarak ihtiyaç duyulan su miktarları hesaplanmıştır. Yağmur suyunda su tutma yüzeyi sadece çatı olarak belirlenmiştir. Yağmur suyu sisteminde

arıtma amaçlı vorteks filtre kullanılacağı kabulü yapılmıştır.

Sistemlerin uygulanması için gereken yatırım maliyet kalemlerinin tümü çıkarılarak keşif-metraj cetveli oluşturulmuş, gerekli tüm ekipman ve donanımlar için yerel piyasa fiyatlarına göre birim maliyetleri çıkarılmıştır. Antalya ve İzmir iline yakın bulunan firmalardan teklifler alınarak yapılan araştırmalar ile ortalama birim bedellere ulaşılmıştır. İşletme maliyeti kapsamında elektrik maliyeti ve bakım-onarım maliyeti esas alınmıştır. Elektrik maliyeti, sistemde çalışan pompanın enerji sarfiyatına göre illerdeki dağıtım şirketlerinin kwh başına birim fiyatları kullanılarak hesaplanmıştır. Bakım-onarım maliyeti için bakım servisliği ve sistem tedariki yapan firmaların önerdiği ortalama fiyatlar değerlendirilmiştir [32].

Sistemlerin kazandırabileceği faydalar ve gerektirdiği yatırım-işletme bedelleri hesaplandıktan sonra gereken yatırımın, kazanılan faydalar sayesinde kaç yılda geri ödenebileceği hesaplanmıştır. Fayda kısmında şebeke suyu yerine yağmur suyu kullanımı ile su faturasından yapılacak tasarruf esas alınmıştır. Buna göre yapılan fizibilite analizinde sistemlerin ekonomik açıdan uygulanabilirliği hesaplanan geri ödeme süreleri üzerinden değerlendirilmiştir.

Fayda-maliyet analizleri kapsamında hesaplanan geri ödeme süresi, yatırımın değerlendirilmesinde önemli bir ölçüt olarak ele alınmaktadır. Uygulanacak olan YSH sisteminin geri ödeme süresinin hesaplanması ve karlılığının analiz edilmesi için Net Bugünkü Değer (NBD) ölçütü kullanılmıştır.

NBD, YSH sistemi yatırımının ekonomik ömrü boyunca sağladığı getirinin bugünkü değerinden, yatırım giderlerinin düşülmesi ile elde edilen farkı ifade etmektedir. Bugünkü değer, sermaye maliyetini gösteren belli bir iskonto üzerinden hesaplanmaktadır. Çalışmada iskonto oranı %5 alınmıştır. Yıllık net faydalar bulunarak sistemin geri ödeme süresi hesaplanmıştır. Geri ödeme süresi, YSH projesi için yapılan yatırımın kaç yılda geri alınabildiğini göstermektedir. NBD'nin pozitif olduğu yıl, geri ödeme süresi olarak belirlenmiştir [33].

İzmir ilinde projelendirilen otel binasına (Otel A) ilişkin bilgiler Tablo 2'de verilmiştir. Otel binası 365 gün hizmet veren 30 oda sayısına sahip bir işletmedir. Kullanım amacı turistik tesis/konaklama olarak belirlenmiştir. Otelde yatak odalarının bulunduğu kat sayısı 3'tür. Yapıda (9 bodrum +1 zemin +2 normal kat) olmak üzere toplamda 12 kat bulunmaktadır. Diğer katlarda restoran, balo salonu, toplantı odaları ve masaj, hamam, fitness salonları bulunmaktadır. Gecelik konaklamalar haricinde, otelde verilen faaliyetlere katılan ziyaretçi sayılarının da hesaplamalarda dikkate alınması için salonlarda ağırlanabilecek ziyaretçi sayıları, salon alanlarında kişi başına düşen m<sup>2</sup> alan hesabıyla bulunmuştur. Buna göre, salonların kişi kapasiteleri Tablo 2'de verilmiştir. Otelde çalışacak olan personel sayısı Türkiye'de oda ve yatak başına düşen personel sayısı referans değerlere göre alınmıştır. Buna göre 30 odası bulunan 4 yıldızlı otelin oda başına düşen personel sayısı 0,76 olarak alınmış ve 23 kişi personel olacağı kabul edilmiştir [34].

Otelin 2022 yılına ait gerçekleşen konaklama sayılarına göre doluluk oranı Tablo 3 ile verilmiştir. Turizm sezonunun açılmasıyla doluluk oranı artan otel, yıllık ortalama %75

doluluk oranına sahiptir. Otelin aylara göre doluluk oranları su ihtiyacı hesaplarında göz önüne alınmıştır.

**Tablo 2** Otel (A)- İzmir binasına ait bilgiler

Kullanılan Parametreler	Değerler
İl	İzmir
Bina tipolojisi (tek bina)	Otel
Personel sayısı	23
Oda sayısı	30
Ziyaretçi sayısı	455
Çatı alanı (m <sup>2</sup> )	800
Çatı malzemesi	Teras çatı
Yeşil alan (m <sup>2</sup> )	300
Araç sayısı	3
Bina kat sayısı	12
Sosyal alanlar toplamı (m <sup>2</sup> ) (Yemek salonu, balo salonu ve spor salonları)	970
Kişi başına düşen alan (m <sup>2</sup> /kişi)	8,5
Kişi sayısı	455
Su tarifi (TL/m <sup>3</sup> )	66,26

**Tablo 3** Otel (A)- İzmir aylara göre doluluk oranları

Tarih (ay)	Doluluk oranı (%)
Ocak	56
Şubat	56
Mart	64
Nisan	59
Mayıs	35
Haziran	100
Temmuz	100
Ağustos	100
Eylül	100
Ekim	100
Kasım	79
Aralık	51
<b>Yıllık ortalama</b>	<b>75</b>

### 2.1. Toplanabilir yağmur suyu miktarının hesabı

Toplanabilir yağmur suyu miktarı hesabında, 800 m<sup>2</sup> teras çatı alanına sahip otel için yüzey akış katsayısı 0,85 olarak belirlenmiştir. Ayrıca kullanılan filtreden kaynaklı su kayıpları için 0,9 filtre etkinlik katsayısı hesaba eklenmiştir. Toplanabilir yağmur suyu miktarının hesabında aşağıdaki eşitlikle (Denklem 1) hesaplanabilir [35].

$$V_y = A \times Y \times e / 1000 \quad (1)$$

Burada:  $V_y$ : Toplanan yağmur suyu miktarı (m<sup>3</sup>);  $A$ : Yağmur suyu toplama alanı (m<sup>2</sup>);  $Y$ : Aylık veya yıllık yağış miktarı (mm);  $e$ : Yağmur suyu toplama yüzeyinin verimlilik katsayısıdır.

Denklem 1'de görüleceği üzere toplanabilir yağmur suyu miktarının hesaplanabilmesi için bölgeye düşen yağış miktarının analiz edilmesi gerekmektedir. YSH sistemlerinin tasarlanmasında yağışın alansal dağılımı ve bölgeye düşen yağış miktarı sistem tasarımında oldukça önemlidir [36]. Bölgenin aldığı yağışın aylık ve yıllık dağılımları, sıra dışı yağış istatistikleri, toplam kar ve yağış miktarları sistem seçimine ve verimine etki eden unsurlardır. Ayrıca bölgeye ait nemlilik, buharlaşma, sıcaklık ve rüzgar gibi diğer

meteorolojik verilerin de incelenmesi yağmur suyu tutma yönteminin çeşidi hakkında verimlilik bilgisi kazandırabilir. Örneğin; buharlaşma oranının yüksek, yağış miktarının düşük veya aylık değişkenliğinin fazla olduğu bir alanda, gölet gibi açık yüzeyli su toplama alanları tasarlamak yerine depo/sarnıç gibi kapalı sistemleri kullanmak, ya da suyu eşyükselti/yönlendirme hendekleriyle bitki diplerine yönlendirerek toprakta tutmak daha etkin bir yöntem olacaktır [25]. Hasat edilebilir yağmur suyu miktarının hesaplanabilmesi için çalışma alanının bulunduğu en yakın meteoroloji istasyonuna ait yağış verilerinden yararlanılarak hesaplama yapılır.

## 2.2. Yağmur suyu kullanım alanlarındaki su ihtiyacı ve depo hacmi

Otel binasına gelen misafir sayısı, otel doluluk oranları göz önüne alınarak yatakların kişi kapasitesi kadar kabul edilmiştir. Sifon suyu kullanım sayılarına ve armatür kapasitelerine göre sifon suyu ihtiyacı (Tablo 4); bitki su ihtiyacına göre yeşil alan sulama suyu miktarı (Tablo 5) hesaplanmıştır. Ayrıca sifon suyu ihtiyacından artı kalan yağmur suyunun değerlendirilebileceği diğer kullanım alanlarındaki su ihtiyacı da hesaplanmıştır.

**Tablo 4** Sifon suyu ihtiyacı hesabı

Su İhtiyacı Unsuru	Değer	Birim
Tuvalet rezervuar hacmi	6	L
Personel Başlı Günlük Sifon Kullanım Sayısı	5	kere
Personel başına sifon suyu ihtiyacı	30	L/kişi.gün
Misafir Başlı Günlük Sifon Kullanım Sayısı	5	kere
Misafir başına sifon suyu ihtiyacı	30	(L/gün.kişi)
Ziyaretçi Başlı Günlük Sifon Kullanım Sayısı	1	kere
Ziyaretçi başına sifon suyu ihtiyacı	6	(L/gün.kişi)
Günlük sifon suyu ihtiyacı (%100 dolu iken)	5,22	(m <sup>3</sup> /gün)
Günlük sifon suyu ihtiyacı (%75 ortalama dolu iken)	4,07	(m <sup>3</sup> /gün)

**Tablo 5** Yeşil alan sulama suyu ihtiyacı hesabı

Su İhtiyacı Unsuru	Değer	Birim
Bitki su ihtiyacı	10	L/m <sup>2</sup> .gün
Yeşil alan büyüklüğü	300	m <sup>2</sup>
Aylık ortalama sulama suyu ihtiyacı	60,9	m <sup>3</sup> /ay
Yıllık toplam sulama suyu ihtiyacı	730,7	m <sup>3</sup> /yıl

Yağmur suyu depo hacminin belirlenmesi için depoya gelebilecek maksimum günlük yağış ve günlük maksimum su ihtiyacı miktarları karşılaştırılmıştır. Günlük su ihtiyacı, yağış miktarından fazla olduğu için gelebilecek tüm yağışın toplanması planlanmıştır. Uzun yıllar yağış rejimine bakıldığında gerçekleşen günlük maksimum yağış miktarı değerleri istisnai durumları temsil etmekte ve deponun bu yaklaşıma göre hesap edilmesiyle sistemin yatırım maliyeti yükselmektedir. Optimum fayda sağlanabilmesi adına; aylık gelen maksimum yağışların uzun yıllar ortalamasına bakılmış ve maksimum yağış alan ayın en az üç gününün depolanabilmesini sağlayacak kapasite “depo hacmi” olarak belirlenmiştir. İzmir otel binası (A) için 10 m<sup>3</sup> kapasiteli prizmatik galvaniz modüler tipte yağmur suyu deposu seçilmiştir (Tablo 6).

**Tablo 6** Yağmur suyu depo kapasitesi hesabı

Parametre	Değer	Birim
Toplanabilecek yağmur miktarı	434,5	m <sup>3</sup> /yıl
Günlük su ihtiyacı	2,98*	m <sup>3</sup> /gün
En yağışlı ayda gelebilecek günlük yağış	0,95**	m <sup>3</sup> /gün
Depo hacmi (üç günlük yağış için)	8,95	m <sup>3</sup>
Seçilen depo hacmi	10	m <sup>3</sup>

\*Sifon, sulama, araç yıkama ve temizlik alanlarındaki toplam su kullanımının en yüksek olduğu aydaki su ihtiyacının 30'a (gün) bölünmesiyle bulunmuştur.

\*\* İzmir için uzun yıllar yağış ortalamasına göre, en fazla yağış Aralık ayında gerçekleşmektedir (146,2 mm). En yağışlı ayda gelebilecek günlük yağış, Aralık ayında toplanabilen yağmur suyu miktarının 30'a (gün) bölünmesiyle bulunmuştur.

## 2.3. Yağmur suyu borulama hattı hesabı

Binanın çatı planı incelenerek, yağmur suyu toplama için iniş borularının 8 adet olmasına karar verilmiştir. Buna göre, yağmur borularının çapı aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Denklem **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**, yağmur borusunun gerekli alanını, denklem **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** yağmur borusu kesitini ve denklem **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.** yağmur borusu çapını vermektedir.

$$S = P \times \frac{0,75 \text{ cm}^2}{1 \text{ m}^2} \quad (2)$$

Burada: P: Çatı alanı, (m<sup>2</sup>); S: Gerekli yağmur borusu alanı, (m<sup>2</sup>)'dir.

$$A = \frac{S}{f} \quad (3)$$

Burada: A: Yağmur borusu kesiti; F: Kullanılan yağmur borusu adedidir.

$$D = 1,33 \times \sqrt{A} \quad (4)$$

Burada: D: Boru çapı (m)'dir.

Yukarıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanan gerekli yağmur suyu inişi ana boru çapı hesabı Tablo 7'de verilmiştir.

**Tablo 7** Yağmur suyu boru çapı hesabı hidrofor sistemi ve pompa özellikleri

Parametre	Değer	Birim
Çatı alanı	800	m <sup>2</sup>
Kullanılan yağmur borusu adedi, f	8	adet
Gerekli yağmur borusu alanı, S	600	cm <sup>2</sup>
Yağmur borusu kesiti, A	75	cm <sup>2</sup>
Boru çapı	100	ø
Pompa basınç çalışma aralığı	65,63 – 80,63	mSS
Pompa kapasitesi	2,09	m <sup>3</sup> /saat
Hidrofor tank kapasitesi	79	L

Sistemde yağmur suyunun depolama tankına geçerken içerisindeki katı partiküllerin ve yaprakların depoya girişinin engellenmesi için filtre kullanılması planlanmıştır. İlave olarak giriş akış düzenleyici, yüzey emiş filtresi ve taşkan savağı konulacaktır. Filtre ve diğer yağmur suyu set ekipmanlarının bedelleri, arıtma maliyeti olarak ilk yatırım maliyetine eklenmiştir.

Yağmur suyu sistemi iletim ve dağıtım hattının boru ihtiyacının belirlenebilmesi için binanın sıhhi tesisat projesi incelenmiştir. Binada, hasat edilen yağmur suyunun tuvalet rezervuarlarına iletimi için yeni bir kolonla boru hattı

çekilecektir. İlave edilecek boru tesisatı, mevcut mekanik tesisat kanalları ve şaftlarından tuvalet rezervuarlarının bulunduğu ıslak hacimlere kadar yapılacaktır.

Toplamda 12 kattan oluşan otel binasının 1. bodrum katı hariç olmak üzere tüm katlarında tuvalet mevcuttur. Binada su deposundan kullanım noktalarına kadar kullanılacak olan uygun çaptaki boruların uzunlukları her klozet için proje üzerinden ayrı ayrı ölçülmüştür. Toplam su ihtiyacı ve katlardaki tuvalet sayıları göz önüne alınarak ana boru, kolon borusu, kat borusu ve bağlantı borularının çapları belirlenmiştir. Döşenecek tesisat borusunda sistemin kontrolünün sağlanabilmesi için kesme vanası, çek vana, basınç şalteri, manometre; bağlantıların yapılabilmesi için kollektör; pompanın tıkanmalara karşı korunması için pislik tutucu yerleştirilmesi planlanmıştır.

Özet olarak YSH sisteminin yatırım maliyeti bileşenleri; borulama, arıtma, depolama, pompa sistemi ve montajlama olarak sıralanmaktadır. Sistem tasarımında kullanılan tüm yatırım bedelleri ve sistemin işletimi için gerekli bedeller, Tablo 8’de detaylı olarak verilmiştir.

**Tablo 8** Yağmur suyu sisteminin maliyet kalemleri ve bedelleri

Maliyet Kalemleri	Metraj (m)	Birim Bedeli	Toplam Bedeli
<b>BORU İHTİYACI</b>			
DN15	50	₺17,00	₺850
DN20	300	₺34,00	₺10.200
DN25	300	₺50,00	₺15.000
DN32	100	₺67,00	₺6.700
PVC70	300	₺34,00	₺10.200
PVC100	300	₺50,00	₺15.000
PVC125	100	₺67,00	₺6.700
Kesme vanası	8	₺83,00	₺664
Kollektör	2	₺415,00	₺830
<b>ARITMA</b>			
Vortex Filtre	1	₺13.300	₺13.300
Giriş akış düzenleyici	1	₺3.700	₺3.700
Taşkan Sifonu	1	₺5.000	₺5.000
Yüzeysel Emiş Filtresi	1	₺4.200	₺4.200
<b>DEPOLAMA</b>			
10 m <sup>3</sup> kapasiteli su deposu	1	₺26.081	₺26.081
<b>POMPA SİSTEMİ</b>			
Pislik tutucu	1	₺830	₺830
İki Pompalı Düşey Tip Paket Hidrofor, 10 m <sup>3</sup> /h - 90 mSS	1	₺30.240	₺30.240
Hidrofor tankı	1	₺6.840	₺6.840
<b>MONTAJ</b>			
DN15	50	₺9,00	₺450
DN20	300	₺17,00	₺5.100
DN25	300	₺25,00	₺7.500
DN32	100	₺34,00	₺3.400
PVC70	300	₺17,00	₺5.100
PVC100	300	₺25,00	₺7.500
PVC125	100	₺34,00	₺3.400
Kesme vanası	8	₺42,00	₺336
Kollektör	2	₺208,00	₺416
Hidrofor tank	1	₺8.300	₺8.300
<b>TOPLAM YATIRIM MALİYETİ</b>			<b>₺197.837</b>
<b>İŞLETME MALİYETİ (yıllık)</b>			<b>₺3.000</b>

İzmir otel binası (Otel A) için çalışılan fayda-maliyet analizinde izlenen metodoloji ve hesapların tümü Antalya otel

binası (Otel B) için de uygulanmıştır. Her iki otel için YSH sistemlerinin uygulanabilirliği kıyaslanmıştır. Antalya’da 600 yatak kapasitesine sahip otel binası (Otel B) için çalışılan çatı üstü YSH sistemi tasarımı ve fizibilite analizi çalışma sonuçları Tablo 9 ile verilmiştir. Otel binası için tasarlanan YSH sistemiyle yağmur suyunun sifon suyu olarak kullanılması öngörülmüştür.

**Tablo 9** Otel Antalya (B) binasına ait bilgiler

Kullanılan Parametreler	Değerler	Birim
İl	Antalya	
Yağış miktarı	794,6	mm
Bina tipolojisi	Otel	
Personel kişi sayısı	320	kişi
Misafir sayısı	1200	kişi
Çatı alanı (birden fazla bina)	4280	m <sup>2</sup>
Çatı malzemesi	Teras çatı	
Su tarifi	30,765	TL/m <sup>3</sup>
Toplanan yağmur suyu miktarı	2477	m <sup>3</sup> /yıl
Seçilen depo kapasitesi	50	m <sup>3</sup>
Sifon suyu ihtiyacı	12264	m <sup>3</sup> /yıl

### 3. Sonuçlar

#### 3.1. Fayda-Maliyet Analizleri

Tablo 6’da verildiği üzere Otel A’da toplanabilir yağmur suyu miktarı 434,5 m<sup>3</sup>/yıl olarak hesaplanmıştır. Su birim fiyatının konut dışı aboneler için 66,26 TL/m<sup>3</sup> olduğu İzmir ilinde yıllık 435,5 m<sup>3</sup> su tasarrufu ile 28.787,24 TL ekonomik tasarruf sağlanabileceği belirlenmiştir.

Yatırım-işletme maliyetleri ile ekonomik tasarruf göz önüne alınarak yatırımın geri ödeme süresini hesaplamada kullanılan NBD ölçütü, Denklem 5’de verilen eşitlikle ifade edilmektedir.

$$NBD = -Y_0 + \sum_{n=1}^n \frac{NF_n}{(1+i)^n} \quad (5)$$

Burada; NBD:Net bugünkü değer; Y<sub>0</sub>: İlk yatırım maliyeti; NF: Net fayda; i: İskonto oranı ve n:yıl’dır. NF (Net Fayda) hesaplanması için Denklem 6’da verilen eşitlik kullanılmaktadır.

$$NF = \{(GK_s \times F_s) + (GK_s \times A_{ksub})\} - IB \quad (6)$$

Burada; GK<sub>s</sub>: Yıllık geri kazanılan su miktarı (m<sup>3</sup>); F<sub>s</sub>: Birim su fiyatı (TL/m<sup>3</sup>); A<sub>ksub</sub>:Birim kullanılmış su uzaklaştırma bedeli (TL/m<sup>3</sup>); IB: Yıllık işletme ve bakım gideri (TL)’dir.

Yukarıda sunulan NBD formülü ile Otel A için hesaplanan fayda-maliyet analizi cetveli Tablo 10 ile verilmektedir. Buna göre; 30 yatak kapasiteli, 365 gün açık olan, 800 m<sup>2</sup> çatı alanına sahip otel binasında uygulanacak olan YSH sisteminin yatırımı 9 yıl sonra geri ödenmektedir.

**Tablo 10** İzmir otel (Otel A) YSH sistemi fayda-maliyet analizi cetveli

Fayda ve Maliyetler	İlk yıl	NBD ile hesaplanan 11.yıl
Yatırım Maliyeti	₺197.837,02	₺188.416,20
İşletme Maliyeti	₺3.000,00	₺6.763,99
Yıllık Fayda	₺28.787,24	₺204.614,57
Yıllık Net Fayda	₺25.787,24	₺12,92

Otel A için çalışılan fayda-maliyet analizinde izlenen metodoloji ve hesapların tümü Antalya Otel (Otel B) için de uygulanmıştır. Yağmur suyu sistemlerinin uygulanabilirliği kıyaslanmıştır.

Antalya'da 600 yatak kapasitesine sahip otel binası için çalışılan çatı üstü YSH sistemi tasarımı ve fizibilite analizi çalışma sonuçları Tablo 11'de verilmiştir. Otel binası için tasarlanan YSH sistemiyle yağmur suyunun sifon suyu olarak kullanılması öngörülmüştür. 4280 m<sup>2</sup> çatı alanı bulunan otel binasında 2.477 m<sup>3</sup>/yıl su hasat edilmesiyle sifon suyu kullanımında %20 su tasarrufu sağlanabilmektedir. Antalya İlinde otel/iş yeri abone tarifesini Temmuz 2022 tarihinde 30,765 TL/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Buna göre yıllık 76.213 TL su faturasından ekonomik tasarruf söz konusudur. İlk yatırım maliyeti 803.559 TL olan sistemin fayda-maliyet analizi sonucunda geri ödeme süresi 16 yıl olarak bulunmuştur (Tablo 11).

**Tablo 11** Antalya Otel (Otel B) YSH sistemi maliyetleri

Fayda ve Maliyetler	Değer	Birim
Sifon suyundan tasarruf potansiyeli	20	(%)
Ekonomik tasarruf (yıllık fayda)	76.213,18	TL/yıl
Yatırım maliyeti	803.558,71	TL
İşletme maliyeti	2.150,00	TL/yıl
Yıllık net fayda	74.063,18	TL/yıl
Geri ödeme süresi	16	yıl

Çalışılan son senaryo ise (Otel C) İzmir'de planlanan otelin (Otel A) faaliyette olduğu kabulü ile mevcut tipolojide fayda-maliyet analizinin tekrarlanması ile planlanan ve mevcut aynı şartlardaki iki otelin YSH yatırım maliyetlerinin ve geri ödeme sürelerinin karşılaştırılmasının yapılmasıdır. Bu seçeneğin sonuçları Tablo 12'de yer almaktadır. Karşılaştırma tablosuna göre Otel A YSH sistemi bina projelendirilirken tasarlandığında geri ödeme süresi 9 yıl olurken, kullanım halindeki otele uygulandığında bu süre iki katına çıkmaktadır. Mevcut binalarda YSH sistemi tasarlanırken kırım-yapım işlemi devreye gireceğinden yatırım maliyetinde bir artış söz konusudur. Şekil 1'de her 2 senaryoda yatırım maliyetlerini oluşturan iş kalemleri arasındaki dağılımından anlaşılacağı üzere, planlanan bir binaya YSH sistemi tasarlamak mevcut binalara YSH sistemi yapılmasından çok daha tercih edilebilmektedir.

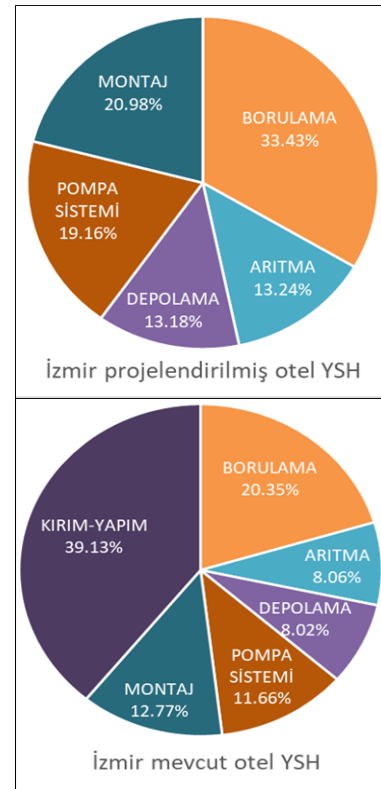
**Tablo 12** İzmir planlanan otelin (Otel A) mevcut ve faaliyette olması durumunda (Otel C) maliyet ve geri ödeme süresi karşılaştırılması

Alanlar	Proje Aşamasında Uygulandığında OTEL A		Faaliyet Aşamasında Uygulandığında OTEL C	
	Yatırım maliyeti (TL)	Geri ödeme süresi (yıl)	Yatırım maliyeti (TL)	Geri ödeme süresi (yıl)
İzmir Otel	197.837,02	9	325.037,02	18

### 3.2. Şebeke Suyu Tasarruf Analizi

YSH sistemlerinin devreye girmesi ile otellerdeki yıllık toplam su tüketimleri tahmin edilmiş ve mevcut toplam su tüketimlerinden tasarruf oranları hesaplanmıştır. Yapılardaki toplam su tüketiminin kullanılmasında, TSE 1258 Temiz Su

Tesisatı Hesap Kuralları kapsamında konutlardaki ve konut dışı yapılarıdaki su ihtiyaçları için belirlenen referans değerler esas alınmıştır [37]. Bu kapsamda su tüketimi hesaplarında kullanılan değerler otel ve benzeri işletmeler için Tablo 13'de verilmiştir. Bu değerler dikkate alınarak her iki otel için hesaplanan toplanan yağmur miktarı ile şebekeden temin edilen su kullanımları ve YSH sisteminin devreye girmesi ile sağlanacak şebeke suyundan tasarruf oranı Tablo 14'de gösterilmektedir. Tek bir binadan oluşan çok katlı Otel A'da YSH sisteminin kurulması ve işletilmesi ile yılda %12'lik bir su tasarrufu söz konusu iken büyük bir tatil köyü niteliğinde olan Otel B'de toplam su tüketimi hayli yüksektir, dolayısıyla oransal olarak tasarruf potansiyeli %3 olsa da YSH ile elde edilen su miktarı azımsanmayacak seviyededir.



**Şekil 1.** İzmir planlanan otelin (Otel A) mevcut ve faaliyette olması durumunda (Otel C) yatırım maliyetlerini oluşturan iş kalemlerinin dağılımı

**Tablo 13** Su tüketimi hesaplarında otel ve bezeri işletmeler için kullanılan değerler (TSE, 1983)

Yapı Tipi	Su İhtiyacı (L/kişi.gün)
Oteller (küvetli)	150
Oteller- personel için	45
İş yerleri/ofisler	45
Lokantalar	7

**Tablo 14** Oteller için hesaplanan toplanan yağmur miktarı ile şebekeden temin edilen su kullanımları ve YSH sisteminin devreye girmesi ile sağlanacak şebeke suyundan tasarruf oranı

Parametre	Birim	Otel A (İzmir)	Otel B (Antalya)
Toplanabilen Yağmur Suyu Miktarı	m <sup>3</sup> /yıl	434,5	2.477,30
Sifon Suyu	m <sup>3</sup> /yıl	732,52	12.264,39
Bahçe Sulama	m <sup>3</sup> /yıl	730,7	-
Araç Yıkama	m <sup>3</sup> /yıl	4,32	-
Temizlik	m <sup>3</sup> /yıl	230,4	-
Su Kullanımı Referans Değeri	L/kişi.gün	150	150
Kişi Sayısı	Otel konuğu	60	1200
Kişi Sayısı*	Personel	23	320
Binadaki Toplam Su Tüketimi	m <sup>3</sup> /yıl	3.662,78	70.956,00
Su Tasarrufu Oranı	%	12	3

\*Otel yapılarında yatak sayılarına ek olarak personellerin su tüketimi de (45 L/personel.gün) toplam su tüketimine ilave edilmiştir.

#### 4. Tartışma

YSH sisteminin çeşitli bina tipolojilerinde uygulanması ile binanın coğrafi konumu, toplanabilen yağmur suyu miktarı ve kullanım alanları ile şebekeden su tasarrufu yadsınmaz. Ortaya konan yatırım maliyetlerinin çalışılan otel örneklerinde olduğu gibi değişken olmakla birlikte genelde 10-15 yıl civarı süreler literatürde fizibl kabul edilmektedir. Ancak daha da önemlisi kurulacak YSH sistemleri ile şebekeden sağlanacak su tasarrufudur.

Dünyadan çeşitli uygulamalara bakıldığında, Kuzeydoğu Meksika'da YSH stratejisinin uygulandığı bir üniversite kampüsünde amortisman süresi 6 yıl olarak bulunmuştur [38]. Hindistan'da YSH sisteminin tasarımı üzerine yapılan bir çalışma, seçilen 19 çatıdan su toplanan bir Güney Hindistan Üniversitesi kampüsünde gerçekleştirilmiştir. Geri ödeme süresi 13 yıl olarak hesaplanan çalışmada sonuç uygulanabilir olarak değerlendirilmiştir [39]. Aybuga ve Isıldar (2017) [40] ise Ankara'da hem YSH hem de GSK sistemlerinin birlikte değerlendirildiği durumda geri ödeme süresini hane düzeyinde yaklaşık 5 yıl hesaplamıştır. Güney Afrika'nın Kwa-Zulu Natal Eyaleti Durban şehrindeki tek ailelik bir evde her iki sistem üzerinde uygulamalı bir vaka çalışması yapılmış ve ilgili geri ödeme süresi 4,39 yıl olarak bulunmuştur [41]. Sonuçlar tatlı suya erişim, suyun fiyatı, suyun kalitesi, iklim değişikliği ve şehrin yağış rejimine bağlı olarak oldukça değişkenlik göstermiştir. Bununla birlikte, çalışmanın genel sonucu, bu tür yeni teknolojilerin ve bunların finansal göstergelerinin, binanın konumu ne olursa olsun uzun vadede fayda sağlayacağı yönündeki yaklaşımın gerçekliğini ortaya koymuştur [42].

Al-Saidi (2021) [43] ve Al-Khatib ve diğ. (2022) [44] yeniden kullanım uygulamalarının sosyal kabulüne ilişkin bilgileri de özetlemiştir. Su kaynağı, teknoloji ve son kullanım unsurları göz önünde bulundurularak, genel yeniden kullanım denemeleri ve suyun yeniden kullanımına yönelik sosyal izolasyonlar hakkında metodik bir bakış açısı sunmaktadır. Bu nedenle, yeniden kullanım uygulamalarından ilham almak

sadece teknolojik ve finansal bir özellik değildir; aynı zamanda ülke çapında yürütülecek yaygınlaştırma faaliyetlerini gerektiren sosyo-ekonomik bir anlayışı da yönetir. Geri ödeme sürelerine ek olarak, tuvalet sifonu, sulama, zemin temizliği ve araba yıkama gibi içme suyu kalitesi gerektirmeyen alanlarda, YSH ve hatta YSH yanı sıra GSK uygulamaları ile sağlanabilen su tasarrufunun önemli düzeyde olduğu görülmüştür.

#### 5. Değerlendirme ve Öneriler

Türkiye'nin önemli turizm kentlerinden olan İzmir ve Antalya illerinde bulunan 2 farklı yapıdaki otel için YSH sistemlerinin fayda-maliyet analizleri bu çalışmanın ana konusu olmuştur. Tasarım hesaplamaları sırasında her iki kompleks için temel tasarım kriterleri dikkate alınmış ve sonuçlar geri ödeme süreleri ve su tasarrufu şeklinde sunulmuştur. Tasarım kriterlerine ve binaların tesisat planlarına dayanarak gerçekçi varsayımlara dayalı olarak yapılan hesaplamalar, amortisman süreleriyle birlikte yatırım ve işletme maliyetlerinin ayrıntılı olarak hazırlanmasını sağlamıştır. Gerçek vakalar üzerinde yürütülen bu çalışma, dünyanın farklı bölgelerinde suyun yeniden kullanımı ile ilgili benzer çabalarla ilgilenen diğer bilim insanları ve uygulayıcılar tarafından takip edilebilecek kapsamlı örnekler ortaya koymuştur.

İncelenen örneklerden çıkarılan dersler, güçlü ve zayıf yönlerine göre değerlendirilebilir. Turizm sektörünün ağırlıkta olduğu ve yılın ayları boyunca büyük nüfus dalgalanmaları yaşayan il ve ilçelerde su kıtlığı sorununa uygun bir çözüm gibi görünmektedir. YSH sisteminin kurulum ve işletim açısından nispeten daha kolay bir su kazanma sistemi olduğu anlaşılmaktadır. Mutlaka yüksek teknik uzmanlık, pahalı ekipman ve teçhizat gerektirmemektedir. Ancak hasat edilen su miktarı, etkin çatı yüzey alanının genişliğine ve bölgenin aldığı yağış miktarına bağlıdır. Bu anlamda, metodolojinin uygulanması kolaydır; ancak su akış hızı mekânsal ve zamansal olarak değişen bir sistem olduğundan YSH sistemlerinin verimi değişken olabilmektedir. Yine nicelikten ziyade nitelik açısından daha güvenli bir sistem olarak değerlendirilmektedir.

İklim değişikliğine uyum faaliyetleri kapsamında uygun görülen alternatif su kaynaklarından biri olarak kabul gören YSH sistemlerinin gerçek uygulama tasarımlarının ve fayda-maliyet analizlerinin çalışılması, su tasarrufu ve ekonomik kazanım potansiyellerinin değerlendirilmesi, sistemlerin uygulanabilirliğinin karşılaştırılması ve öneriler sunulması günümüzde bilim dünyası açısından önemli olduğu kadar, uygulayıcılar açısından da değerli bilgiler üretmektedir. Çeşitli bina tipolojilerinde YSH sistemlerinin yanı sıra GSK sistemlerinin de uygulanması ile su tasarruf oranlarının daha da artacağı beklenmektedir. Bu bağlamda bundan sonraki çalışmalarda YSH ile birlikte GSK alternatiflerinin de birlikte değerlendirilmesi önerilmektedir.

#### Yazar Katkısı

Veri iyileştirme – Elif Ayyüce Kılınc (EAK), Asude Hanedar (AH); Biçimsel analiz – EAK, Ayşegül Tanık (AT); Araştırma – EAK, AH, AT, Erdem Görgün (EG); Deneysel performans – EAK, AT, AH; Veri toplama – EAK, EG; Veri işleme – EAK, EG, AT, AH; Literatür taraması – EAK, AH; Yazan – EAK, AT, AH, EG; İnceleme ve düzenleme – AT, EG, AH.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve/veya yayınlanması ile ilgili olarak herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemiştir.

## Teşekkür

Bu çalışma, Elif Ayyüce Kılınc'ın İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Çevre Bilimleri, Mühendislik ve İşletme Programı'nda hazırladığı Yüksek Lisans Tezi'nin verilerine dayanmaktadır.

## Kaynaklar

- [1] European Commission, A European Green Deal, striving to be the first climate-neutral continent. Priorities 2019-2024 (2019). [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en). (Son erişim tarihi: 05.02.2024).
- [2] Ghaffarian Hoseini, A., Tookey, J., Yusoff, S. M., & Hassan, N. B. (2016). State of the art of rainwater harvesting systems towards promoting green built environments: A review. *Desalination Water Treatment*, 57(1), 1–10.
- [3] Merville-Screvee, R., Ward, S., & Butler, D. (2016). Rainwater harvesting typologies for UK houses: A multi criteria analysis of system configurations. *Water*, 8, 129.
- [4] Campisano, A., Butler, D., Ward, S., Burns Friedler, E., DeBusk, K., & Fisher-Jeffes, L. N. (2017). Urban rainwater harvesting systems research: Implementation and future perspectives. *Water Research*, 115, 195–209.
- [5] Musayev, S., Burgess, E., & Mellor, J. (2018). A global performance assessment of rainwater harvesting under climate change. *Resour. Conservation Recycl.* 132, 62–70.
- [6] Vuppaladadiyam, A. K., Merayo, N., Prinsen, P., Luque, R., Blanco, A., & Zhao, M. (2019). A review on greywater reuse: Quality, risks, barriers and global scenarios. *Rev. Environ. Sci. Bio/Technology*, 18, 77–99.
- [7] Elhegazy, H., & Eid, M. M. M. (2020). A state-of-the-art review on grey water management: A survey from 2000 to 2020s. *Water Sci. Technol.* 82 (12), 2786–2797.
- [8] Anuja, J., Darshan, B., & Meyyappan, N. (2021). Study on reuse of grey water- a review. *Journal of Physics: Conference Series*, 1979 (012004).
- [9] Khajvand, M., Mostafazadeh, A. K., Drogui, P., Tyagi, R. D., & Brien, E. (2022). Greywater characteristics, impacts, treatment, and reclamation using adsorption processes towards the circular economy. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 29, 10966–11003.
- [10] Angelakis, A. N., & Bontoux, L. (2001). Wastewater reclamation and reuse in Eureau countries. *Water Policy*, 3(1), 47–59.
- [11] Mizyed N.R., (2013). Challenges to treated wastewater reuse in arid and semi-arid areas. *Environmental Science and Policy*, 25, 186-195.
- [12] Ofori, S., Puškáčová, A., Růžičková, I., & Wanner, J. (2021). Treated wastewater reuse for irrigation: Pros and cons. *Sci. Total Environ.* 760, 144026.
- [13] Navarro, T. (2018). Water reuse and desalination in Spain-challenges and opportunities. *J. Water Reuse Desalination*, 8 (2), 153–168.
- [14] Zhu, Z., Peng, D., & Wang, H. (2019). Seawater desalination in China: An overview. *J. Water Reuse*

*Desalination*, 9 (2), 115-132.

- [15] Pistocchi, A., Bleninger, T., Breyer, C., Caldera, U., Dorati, C., & Ganora, D., (2020). Can seawater desalination be a win-win fix to our water cycle?, *Water Research*, 182 (1), 115906.
- [16] Novotny, V. (2013). Water-energy nexus: Retrofitting urban areas to achieve zero pollution. *Build. Res. Inf.* 41 (5), 589–604.
- [17] Eslamian, S. (2016). *Urban water reuse handbook*, USA: CRC Press, Taylor and Francis Group.
- [18] United Nations (UN), Sustainable Development Goals. (2022). Available online: <https://unfoundation.org/what-we-do/issues/sustainable-development> (Son erişim tarihi: 23 August 2023).
- [19] Tanık A. (2021). Yapılar ve iç mekânda yağmur suyundan yararlanma yöntemleri, Marmara Belediyeler Birliği. <https://marmara.gov.tr/uploads/old-site/2021/03/Aysegul-Baysal-Tanik.pdf> (Son erişim tarihi: 05.02.2024).
- [20] Okhravi, S., Eslemian, S., & Adamowski, J., Water reuse in rainwater harvesting, In: Urban water reuse handbook. S. Eslemian (eds.), USA: CRC Press, Taylor and Francis Group, pp. 787–804, 2016.
- [21] Poff, N. L., Brown, C. M., Grantham, T. E., Matthews, J. H., Palmer, M. A., & Spence, C. M., (2016). Sustainable water management under future uncertainty with ecoengineering decision scaling. *Nat. Clim. Change*, 6(1), 25–34.
- [22] Kagabika B.M. & Kankuyu O. (2021). Rooftop Rainwater Harvesting for Sustainable Development of Households in City of Kigali: Case of Niboye Sector in Kicukiro-District. *Open Access Library Journal*, 8: e6567.
- [23] Oweis T., Prinz D., & Hachum A. (2001). Water harvesting: indigenous knowledge for the future of the drier environments. *International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, ICARDA 2001* (pp. 40), Aleppo, Syria.
- [24] Pamuk. M.G., & Akkuzu E. (2008). Küresel Su Krizi ve Su Hasadı Teknikleri. *ADÜ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 5 (2), 75-85.
- [25] Tokuş, C. M. & Özdemir, G. ed. (2017). Yağmur Hasadı Uygulamalarına Giriş Rehberi: İklim Değişikliğine Uyum Kapsamında Bir Çözüm Önerisi, *Peyzaj Araştırmaları Derneği*, Ankara. ISBN: 978-605-84032-1-5.
- [26] Lancaster, B. (2008). Rainwater harvesting for drylands and beyond, In: Volume 2: Water-harvesting earthworks, Rainsource Press, 419 p.
- [27] Struk-Sokolowska, J., Gwoździej-Mazur, J., Jadwiszczak, P., Butarewicz, A., Ofman, P., Wdowikowski, M., & Kaźmierczak, B. (2020). The quality of stored rainwater for washing purposes. *Water*, 12(1), 252.
- [28] Campisano, A., & Modica, C. (2012). Optimal sizing of storage tanks for domestic rainwater harvesting in Sicily. *Resources, Conservation and Recycling*, 63, 9- 16.
- [29] EPA (2010). Rainwater and Grey Water: Review of water quality standards and recommendations for the UK Raporu, The Government's Market Transformation Programme (MTP), Environment Agency, UK.
- [30] Resmi Gazete, “Yağmursuyu Toplama, Depolama ve Deşarj Sistemleri Hakkında Yönetmelik”, 23.06.2017-No:30105



- [31] Resmi Gazete, “Planlı Alanlar İmar Yönetmeliği”, 23.01.2021-Değişiklik
- [32] Kılınç, E.A. Türkiye’de Alternatif Su Kaynaklarının Fizibilite Analizleri: Yağmursuyu Hasadı, Grisi Kullanımı (2024), Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- [33] TÜBİTAK-MAM (2014). Türkiye Kıyılarında Yüzme Suyu Profillerinin Belirlenmesi Projesi, Bileşen 2: Turizmde Çevre Dostu Atıksu Yönetim Modelinin Oluşturulması – Fizibilite Raporu, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu Marmara Araştırma Merkezi. Ankara: T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı.
- [34] Ağaoglu, O.K. (1992). İşgücünü Verimli Kullanma Tekniklerinin Turizm Sektörüne Uygulanması. *Verimlilik Dergisi*, Milli Prodüktivite Yayını No: 457, Ankara, ss.114.
- [35] Kantaroğlu, Ö., (2011). Yüksek Performanslı Binalarda Su Stratejileri, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 17(22), 32
- [36] Doğanönül, C., & Doğanönül, Ö. (2009). Küçük ve Orta Ölçekli Yağmursuyu Kullanımı. Ankara: Teknik Yayınevi.
- [37] Türk Standartları Enstitüsü (1983). Temiz Su Tesisatı Hesap Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, TS 1258, Ekim 1983, 46 s.
- [38] Zavala, M. A. L., Vega, R. C., & Miranda, R. A. L. (2016). Potential of rainwater harvesting and greywater reuse for water consumption reduction and wastewater minimization. *Water*, 8 264.
- [39] Anchan, S. S., & Shiva Prasad, H. C. (2021). Feasibility of roof top rainwater harvesting potential-a case study of South Indian University. *Clean. Eng. Technol.* 4, 100206.
- [40] Aybuga, K., & Isıldar, G. Y. (2017). An evaluation of rain water harvesting and grey water reuse potential for Ankara. *Sigma J. Eng. Nat. Sci.*, 8 (3), 209–216.
- [41] Zhang, L., Njepu, A., & Xia, X. (2021). Minimum cost solution to residential energy-water nexus through rainwater harvesting and greywater recycling. *J. Clean. Prod.*, 298, 126742.
- [42]. Stec, A., & Slys, D. (2022). Financial and social factors influencing the use of unconventional water systems in single-family houses in eight European countries. *Resources* 11, 16.
- [43] Al-Saidi, M. (2021). From acceptance snapshots to the social acceptability process: Structuring knowledge on attitudes towards water reuse. *Front. Environ. Sci.* 9, 633841.
- [44] Al-Khatib, I. A., Al Shami, A. A. H. U., Garcia, G. R., & Celik, I. (2022). Social acceptance of greywater reuse in rural areas. *Journal of Environmental Public Health*, 1–11.

## Research Article

# A Test Method to Determine the Optimum Position for the Wi-Fi Module in a Smart TV

Barış Özden<sup>1,\*</sup> , Erol Çalık<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Electronics and Communication Engineering Department, Faculty of Electrical and Electronics, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey

<sup>2</sup> Electronics and Communication Engineering Department, Çorlu Engineering Faculty, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Turkey  
[baris.ozden@arcelik.com](mailto:baris.ozden@arcelik.com), [erol.calik@arcelik.com](mailto:erol.calik@arcelik.com)

Geliş: 21.09.2024

Kabul: 29.11.2024

DOI: 10.55581/ejeas.1553672

**Abstract:** Internal Wi-Fi modules are extensively utilized in Smart LED TV sets, as they are a key component in ensuring reliable wireless connectivity. Interference caused by various electronic components, such as the power supply unit (PSU), system on chip (SoC), LED backlighting circuits, HDMI and USB ports, as well as internal speakers located inside the TV cabinet, needs to be minimized. This minimization is crucial to maintain a robust and uninterrupted Wi-Fi connection between the TV set and the Access Point. This study provides a detailed and comparative analysis of how to properly position Wi-Fi modules for optimal performance and maximum efficiency. The focus is on determining the most suitable location within the TV cabinet to reduce signal interference. Through experiments conducted on nine Android OS-based LED TVs, the areas with minimal signal disruption were identified. Furthermore, the study illustrates how strategic placement of the Wi-Fi module can significantly optimize overall connectivity.

**Keywords:** Wi-Fi Module, Mainboard, PSU, TCON Board, Performance, Comparison, Television, LVDS Cable, Speaker.

## Akıllı TV'de Wi-Fi Modülünün En Uygun Konumunu Belirlemek İçin Bir Test Yöntemi

**Öz.** Akıllı LED TV'lerde yaygın olarak kullanılan dahili Wi-Fi modülü, güvenilir kablosuz bağlantıyı sağlamak için en önemli bileşendir. TV kabininde bulunan güç kaynağı ünitesi (PSU), yongada sistem (SoC), LED arka aydınlatma devreleri, HDMI ve USB portları ile dahili hoparlörler gibi çeşitli elektronik bileşenlerin neden olduğu parazitlerin en aza indirilmesi, TV ile erişim noktası arasında sağlam ve kesintisiz bir Wi-Fi bağlantısı sağlamak için kritik öneme sahiptir. Bu çalışma, Wi-Fi modüllerini doğru şekilde konumlandırarak optimum performans ve maksimum verimliliği sağlama konusundaki ayrıntılı ve karşılaştırmalı bir analizi sunmaktadır. Odak noktası, TV kabini içinde sinyal parazitini azaltacak en uygun yeri belirlemektir. Dokuz Android işletim sistemi tabanlı LED TV üzerinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda, sinyalin en az kesintiye uğradığı alanlar belirlenmiştir. Ayrıca, bu çalışma Wi-Fi modülünün stratejik yerleşimiyle genel bağlantının nasıl optimize edilebileceğini göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Wi-Fi Modülü, Anakart, PSU, TCON Kartı, Performans, Karşılaştırma, Televizyon, LVDS Kablosu, Hoparlör.

### 1. Introduction

With the widespread adoption of Smart TVs and streaming platforms, alongside the increasing video and audio bitrates required for UHD content [1], it has become essential for TVs to maintain a healthy, uninterrupted, and fast wireless network connection. Several factors contribute to ensuring a reliable

wireless network connection in TV sets.

One critical aspect is positioning the Wi-Fi module in an optimal location to ensure better signal reception. This plays a vital role in maintaining a stable and strong connection between the TV and the Wi-Fi router [2, 3]. In addition, the placement of the Wi-Fi module should minimize signal

\*Corresponding author  
E-mail address: [baris.ozden@arcelik.com](mailto:baris.ozden@arcelik.com) (B. Özden)

interference from other internal components, such as the mainboard and other electronic parts within the TV.

Reducing interference helps maintain a cleaner and more reliable Wi-Fi signal [2, 4].

Another key factor is avoiding physical obstructions, such as metal components or densely packed electronics, around the Wi-Fi module. This minimizes signal blockage, allowing for stronger and more consistent Wi-Fi performance [5, 6, 7]. Furthermore, placing the Wi-Fi module at a sufficient distance from potential interference sources helps prevent signal degradation caused by electromagnetic interference (EMI) from other electronic components [4, 8].

Improved signal strength is also crucial for achieving higher data rates, reduced latency, and overall better performance during streaming and other online activities [9]. The strategic routing of cables connected to the Wi-Fi module can further contribute to signal quality, as proper cable management reduces the risk of signal degradation. Additionally, locating the module away from heat-generating areas helps maintain the module's operational efficiency, thus sustaining optimal Wi-Fi performance [10].

If the Wi-Fi module features external antennas, their strategic placement can enhance signal reception by reducing interference [11] and maximizing coverage [12]. Ultimately, each of these considerations contributes to improved Wi-Fi performance, ensuring that the TV provides a seamless streaming experience for users.

This study focuses on optimizing Wi-Fi performance in Smart TVs at the hardware level. While studies such as those by Alam et al. [1] and Mozaffariahrar et al. [2] examine network-level challenges, they do not address the impact of electronic components inside the TV cabinet on the Wi-Fi module. Haider et al. [4] discuss wireless network interference more broadly, while Aileen et al. [5] explore how building materials affect Wi-Fi signal strength. Alper and Döner [12] provide general guidance on the placement of the Wi-Fi module on chassis materials but do not focus on the Smart TV environment. This study presents a detailed test method specifically examining signal degradation caused by internal components such as the mainboard, PSU, and TCON board, to optimize the placement of the Wi-Fi module.

The aim of this study is to determine the optimal location of the Wi-Fi module inside the cabinet during the design phase to prevent Wi-Fi performance issues and connection dropouts in Smart LED TVs. Through experiments conducted on multiple Android OS-based LED TVs, practical solutions for Wi-Fi module placement are offered, and an innovative approach is developed to enhance Wi-Fi performance in Smart TVs. The unique contribution of this study lies in its ability to address the challenges posed by internal components, providing an optimized hardware-level solution for Wi-Fi module placement.

The paper is arranged as follows: In the second section, details on the test method, such as the test environment, test positions for the Wi-Fi module, and test procedure, are provided. In the third section, the experimental results of the study are

presented. The paper concludes with the final section.

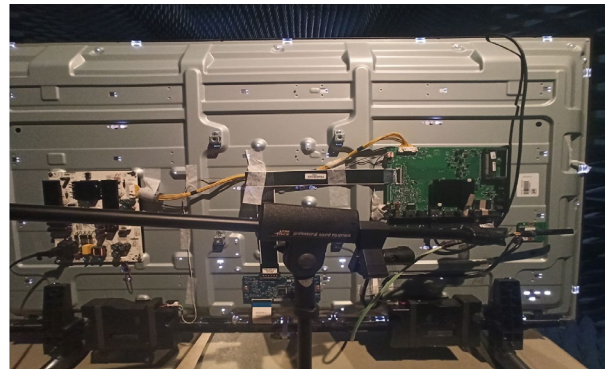
## 2. Test Method

This section provides details of the proposed test method. The test environment, test equipment, possible locations for the Wi-Fi module inside the TV cabinet, and the test procedure are explained. The interior of a typical LED TV cabinet is shown in Figure 1 below.



**Figure 1.** LED TV Back View

Figure 2 below shows the placement of the Wi-Fi module inside the TV cabinet and the position of the Wi-Fi measurement antenna.



**Figure 2.** A View of Wi-Fi Module and Wi-Fi Measurement Antenna

Figure 3 below shows the overall test environment and measurement system.



**Figure 3.** An Overview of the Test Environment and the Measurement System

The test environment consists of an anechoic Wi-Fi test chamber, a control PC, a WLAN test device and an antenna as shown in Figure 4 below. The output operating frequency and

power range of the WLAN Test Device shown in Figure 1 are provided in Table 1 below.

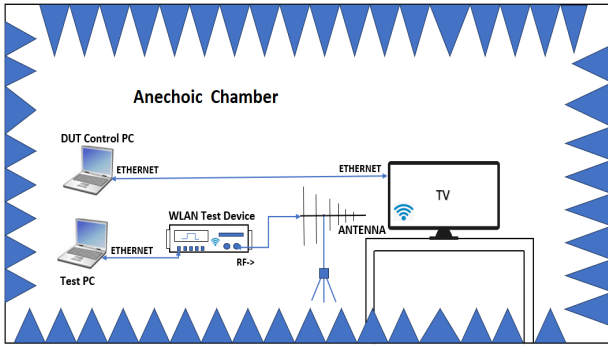


Figure 4. Illustration of the Test Environment

Table 1. Output Frequency and Power Range of the WLAN Test Device

Parameter	Ports	Range
Output Frequency Range	RF1	860 to 1000MHz
		1770 to 2660 MHz
		3300 to 3800 MHz
		4900 to 6000 MHz
Output Power Range (CW)	RF2	+10 to -95 dBm ( $\leq 2600$ MHz)
		0 to -95 dBm ( $> 2600$ MHz)

The test method involves measuring the minimum Wi-Fi Rx signal sensitivity level [13]. First, test points are identified in the two-dimensional plane inside the back cover of the TV. These positions are clustered around the three boards inside the TV (Mainboard, Power Supply, TCON). The determined positions are numbered as shown in Figure 5. The minimum Wi-Fi Rx signal sensitivity level measurement is repeated and noted for each designated position of the Wi-Fi module.

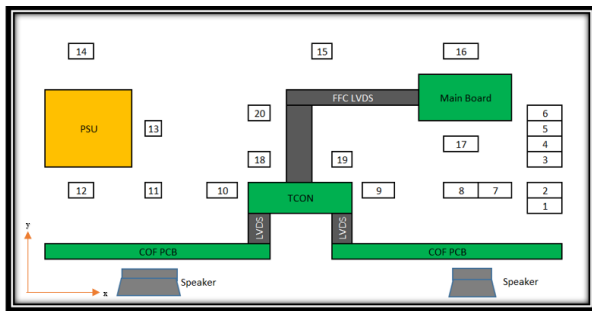


Figure 5. Test Positions of Wi-Fi Module

The test procedure measures the Wi-Fi receiver sensitivity of the DUT (Device Under Test) using the WLAN tester. It determines the packet error rate (PER) by counting the number of acknowledgment (ACK) control frames received from the DUT in response to repeated unicast data packets transmitted by the WLAN tester. No other traffic generation should be enabled during this test. The PER is generally defined as the ratio of packets lost divided by the number of packets transmitted to the DUT [14]. The test procedure is as follows:

1. Connect the Wi-Fi antenna to the RF port of the WLAN test device.
2. Fix the Wi-Fi antenna in close proximity to the antennas of the TV's Wi-Fi module.
3. Establish an Ethernet connection between the WLAN test device and the PC.
4. Set the path loss on the WLAN test device.
5. A waveform (11n, MCS0, 20M) is used as the Wi-Fi test signal in Rx sensitivity [15] measurement. In IEEE 802.11 standards, MCS stands for "Modulation and Coding Scheme." MCS0 specifically refers to the lowest or the basic Modulation and Coding Scheme within a particular Wi-Fi standard. The term is commonly associated with Wi-Fi technologies like 802.11n and 802.11ac [16]. For 802.11n, MCS0 corresponds to BPSK (Binary Phase Shift Keying) modulation with a coding rate of 1/2.
6. Adjust the power level of the Wi-Fi test signal to -80 dBm in the generator section of the WLAN test device.
7. Disable Bluetooth on the Device Under Test (DUT).
8. Decrease the power level of the received Wi-Fi test signal on the DUT until the Packet Error Rate (PER) reaches 10%.
9. Record the last power level, where the PER is less than 10%, as the minimum Receiver (Rx) RF Sensitivity Level in dBm [17].

$$Rx \text{ Sensitivity (dBm)} = 10 \times \log_{10} \left( \frac{P}{1mW} \right) \quad (1)$$

where P is the received signal power, in milliwatts (mW).

10. Compare the measured min. Rx Sensitivity Level value with the specified specification value.

### 3. Experimental Results and Discussion

In this section experimental test results of the study are given. The spec value used in the test is determined with a 4 dB safety margin based on the specification value published by IEEE for MCS0 20MHz (See Table 2), and it is set to -86 dBm.

Table 2. IEEE Specs for Receiver minimum input level sensitivity (IEEE Std 802.11ac-2013)

MCS	Modulation	Code Rate	Minimum Sensitivity [dBm]			
MCS0	BPSK	1/2	-82	-70	-76	-73
MCS1	QPSK	1/2	-79	-76	-73	-70
MCS2	QPSK	3/4	-77	-74	-71	-68
MCS3	16-QAM	1/2	-74	-71	-68	-65
MCS4	16-QAM	3/4	-70	-67	-64	-61
MCS5	64-QAM	2/3	-66	-63	-60	-57
MCS6	64-QAM	3/4	-65	-62	-59	-56
MCS7	64-QAM	5/6	-64	-61	-58	-55
MCS8	256-QAM	3/4	-59	-56	-53	-50
MCS9	256-QAM	5/6	-57	-54	-51	-48

In this study, a total of nine different Android OS-based LED TVs were used for the measurements. Each of these TVs is treated as a separate sample to ensure that the results reflect a range of device configurations and possible variations in hardware. As indicated in Table 2, the term "Sample" refers to

each individual TV unit, and the corresponding sensitivity levels are listed for each of the 20 test points.

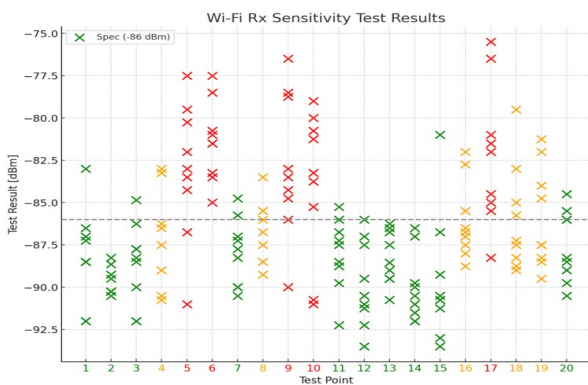
**Table 3.** The Measurement Results of Average Rx Sensitivity Levels for Each Test Point

Test Point	Test Result [dBm]								
	Sample	Sample	Sample	Sample	Sample	Sample	Sample	Sample	Sample
1	-92	-88.5	-92	-86.5	-87	-88.5	-88.5	-87.25	-83
2	-90.25	-90.25	-89.5	-90.25	-90.5	-88.65	-89.25	-90.25	-88.25
3	-84.85	-92	-88.5	-86.25	-90	-87.75	-88.25	-92	-87.75
4	-83.25	-86.5	-87.5	-90.75	-86.25	-83.25	-83	-89	-90.5
5	-80.25	-83	-83.5	-86.75	-77.5	-84.25	-79.5	-91	-82
6	-80.75	-78.5	-83.5	-81	-85	-83.25	-81.5	-81.5	-77.5
7	-87.25	-87.75	-90	-87	-84.75	-90	-85.75	-88.25	-90.5
8	-86.75	-88.5	-88.5	-85.5	-83.5	-85.5	-89.25	-86	-87.5
9	-78.5	-84.75	-78.75	-84.25	-83	-76.5	-86	-90	-83.5
10	-81.25	-85.25	-83.25	-80	-79	-80.75	-83.75	-91	-90.75
11	-92.25	-87.5	-85.25	-89.75	-88.75	-88.5	-86.75	-87.25	-86
12	-91	-87.5	-86	-89.5	-90.5	-92.25	-87	-93.5	-91.25
13	-89.5	-89	-88.55	-86.5	-87.5	-90.75	-86.25	-89.5	-86.75
14	-91	-89.75	-91.5	-87	-86.5	-92	-90.5	-92	-90
15	-93	-90.75	-90.5	-91.25	-86.75	-93.5	-81	-90.75	-89.25
16	-86.75	-87	-87.5	-82	-82.75	-88.75	-85.5	-88	-86.5
17	-76.5	-81	-85.5	-81.5	-82	-84.5	-85	-88.25	-75.5
18	-79.5	-87.5	-87.25	-85.75	-88.75	-88.25	-89	-85	-83
19	-88.25	-89.5	-84.75	-87.5	-88.5	-81.25	-84	-87.5	-82
20	-86	-90.5	-88.25	-88.5	-89.75	-89	-84.5	-86	-85.5

Measurement results of -86 dBm or lower are indicated in blue, while results higher than -86 dBm are shown in yellow. The triple color scale used in the "Test Point" column of the table is explained below:

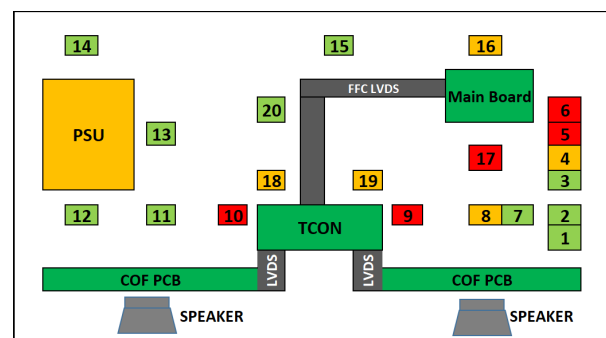
- Green: At most 2 yellow test results
- Orange: 3 to 5 yellow test results
- Red: 6 to 8 yellow test results

Figure 6 below is a graphical representation of the Wi-Fi Rx sensitivity test results.



**Figure 6.** Wi-Fi Rx Sensitivity Test Results

The areas inside the TV cabinet where the Wi-Fi module performs well, areas with moderate issues, and areas with severe performance degradation are visually presented in Figure 7.



**Figure 7.** Test Results Summary

Integrated circuits (ICs) creating electromagnetic interference on the motherboard are located near the bottom right part of the motherboard. Therefore, the worst Wi-Fi Rx Sensitivity Level values around the motherboard are measured at test points 5, 6, and 17. Poor Wi-Fi Rx Sensitivity Level values are observed at test points 9 and 10, which are close to the TCON card. The results of measurements around the power supply

unit (PSU) indicate that the PSU does not significantly negatively impact the Wi-Fi Rx Sensitivity Level performance.

While positions 1, 2, 3, and 7 were determined as generally optimal for the tested devices, the methodology is designed to be adaptable. This adaptability allows for determining the most suitable placement for the Wi-Fi module in specific devices, based on their unique hardware configurations and interference characteristics.

#### 4. Conclusion

This study was conducted with 9 different UHD LED TVs in screen sizes of 43", 50", 55", and 65". The impact of electromagnetic interference generated by the electronic boards inside the cabinet on the TV's Wi-Fi Rx Sensitivity level has been analyzed. The proposed test methodology guides electronic hardware design and mechanical design teams in determining the optimal placement of the Wi-Fi module within the cabinet during the design stage. This method helps prevent potential customer complaints related to TV Wi-Fi connection performance. As a result, it was determined that the areas farthest from the motherboard and TCON card are safe in terms of Wi-Fi Rx performance. The optimum positions for a Wi-Fi module are areas 1, 2, 3 and 7. Other areas (11, 12, 13, 14, 15, 20) are not suitable due to increase in the cable length between the module and the mainboard and cable routing complexity. In addition to determining the generally optimal locations for the Wi-Fi module, this study provides a flexible framework. The proposed methodology allows for identifying device-specific optimal placements, accommodating variations in hardware design and electromagnetic interference patterns. This adaptability ensures the method's utility across different Smart TV models and configurations.

#### Author Contribution

Formal analysis – Barış Özden (BO); Investigation – BO and Erol Çalık (EC); Experimental Performance - BO; Data Collection - EC; Processing – BO and EC; Literature review - EC; Writing - BO; review and editing - BO and EC.

#### Declaration of Competing Interest

The authors declared no conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

#### Acknowledgement

The tests were performed in the Arcelik AS Electronics R&D Performance Test Labs. Therefore, the authors would like to thank Arcelik for the continuous support.

#### References

- [1] Alam, I., Khusro, S., and Naeem, M. (2017). A review of smart TV: Past, present, and future. In *International Conference on Open Source Systems & Technologies (ICOSST) 2017*. doi: 10.1109/ICOSST.2017.8279002.
- [2] Mozaffariahrar, E., Theoleyre, F., & Menth, M. (2022). A

Survey of Wi-Fi 6: Technologies, Advances, and Challenges, *Future Internet*, 14(10), 293.

[3] Noworatzky, D. (2019). Network design strategies for optimal Wi-Fi performance. *TeleDynamics Think Tank*.

[4] Haider, Z., Saleem, M., & Jamal, T. (2018). Analysis of interference in wireless networks. *arXiv preprint arXiv:1810.13164*.

[5] Aileen, A., Suwardi, A., & Prawiranata, F. (2021). WiFi Signal Strength Degradation Over Different Building Materials. *Engineering, Mathematics and Computer Science (EMACS) Journal*, 3, 109-113, doi: 10.21512/emacsjournal.v3i3.7455.

[6] Ofcom. (2019). Wi-Fi Performance Testing of Home Broadband Routers: The Performance of Fixed-Line Broadband Delivered to UK Residential Consumers. Measurement Period: November 2019.

[7] Ofcom. (2019). UK Home Broadband Performance. Retrieved from: <https://www.ofcom.org.uk>.

[8] Mahanti, A., Carlsson, N., Williamson, C., & Arlitt, M. (2010). Ambient Interference Effects in Wi-Fi Networks. *Lecture Notes in Computer Science*, 6091, 160-173, doi: 10.1007/978-3-642-12963-6\_13.

[9] Lo, E. C. C. (2015). An investigation of the impact of signal strength on Wi-Fi link throughput through propagation measurement. *AUT University*.

[10] Cadence PCB Solutions. (2024). PCB Thermal Management Techniques. *All About Circuits*.

[11] Mathur, P., & Raman, S. (2020). Electromagnetic interference (EMI): Measurement and reduction techniques. *Journal of Electronic Materials*, 49, 2975-2998.

[12] Alper, Ö. Z. E. L., & Döner, M. (2019). A Rule of Thumb to Determine the Location of Wi-Fi Module on Plastic or Metal Chassis. *Journal of Scientific Perspectives*, 3(1), 47-58.

[13] MATLAB & Simulink. (n.d.). 802.11ac Receiver Minimum Input Sensitivity Test.

[14] Rohde & Schwarz. (n.d.). 802.11 Packet Error Rate Testing. *Application Note*.

[15] IEEE Standard for Information Technology. (2009). Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 5: Enhancements for Higher Throughput, *IEEE Std 802.11n-2009*, 29 Oct., doi: 10.1109/IEEESTD.2009.5307322.

[16] IEEE Standard for Information Technology. (2013). Enhancements for Very High Throughput for Operation in Bands below 6 GHz, *IEEE Std 802.11ac-2013*, 18 Dec., doi: 10.1109/IEEESTD.2013.6687187.

[17] MetaGeek. (n.d.). Wi-Fi Signal Strength Basics. Retrieved from: <https://www.metageek.com>.

## Araştırma Makalesi

# Meriç-Ergene Havzasında 1970-2020 Dönemi Bölgesel Yağışın Yüzde Ağırlıklı Poligon Yöntemiyle Belirlenmesi

Taner Mustafa CENGİZ<sup>1\*</sup> 

<sup>1</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekirdağ, Türkiye, 59850

<sup>1</sup>[tcengiz@nku.edu.tr](mailto:tcengiz@nku.edu.tr)

Geliş: 02.12.2024

Kabul: 11.12.2024

DOI: 10.55581/ejeas.1595327

**Öz.** Son yıllarda, yağışın mekânsal dağılımını daha doğru bir şekilde yansıtmayı amaçlayan yeni yöntemler geliştirilmektedir. Bu yöntemler, bölgesel yağış hesaplamalarında daha yüksek bir doğruluk sağlamayı hedeflerken, hidrolojik süreçlerin daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunmaktadır. Yüzde Ağırlıklı Poligon yöntemi, belirli bir havza üzerinde bölgesel ortalama yağış hesaplamasında Thiessen yöntemine alternatif olarak geliştirilen yenilikçi bir yöntemdir. Bu yöntemin temel ilkesi, çalışma alanını üç komşu istasyon noktasında ölçülen yağış yüzdelerini baz alarak alt alanlara ayırmaktır. Yüzde Ağırlıklı Poligon yöntemi, alt alanların yalnızca ölçülen yağış miktarına bağımlı olmadığı Thiessen poligon yöntemine kıyasla daha güvenilir, esnek ve dinamik bir yaklaşım sunmaktadır. Bu çalışmada, Yüzde Ağırlıklı Poligon yöntemi ilk kez Türkiye'nin Trakya Bölgesi'nde yer alan Meriç-Ergene Havzası'na uygulanmıştır. Çalışma kapsamında, 7 meteoroloji istasyonuna ait veriler dikkate alınmıştır. Yüzde Ağırlıklı Poligon yöntemi, yüksek yağış değerlerini, Thiessen ve diğer geleneksel yöntemlerden farklı olarak daha küçük alt alanlarla temsil etme özelliğine sahiptir. Elde edilen sonuçlar, Yüzde Ağırlıklı Poligon yönteminin diğer geleneksel yöntemlere kıyasla daha düşük bir bölgesel ortalama yağış değeri sunduğunu göstermektedir. Bu durum, yöntemin yağış dağılımını daha ayrıntılı ve gerçekçi bir şekilde yansıttığını ortaya koymaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Bölgesel ortalama yağış yüksekliği, Meriç-Ergene Havzası, Thiessen poligon yöntemi, Yüzde ağırlıklı poligon yöntemi

## Determination of Regional Precipitation in the Meriç-Ergene Basin for the Period 1970–2020 Using the Weighted Polygon Method

**Abstract:** In recent years, new methods have been developed to more accurately represent the spatial distribution of rainfall. These methods aim to achieve greater accuracy in regional rainfall calculations while contributing to a better understanding of hydrological processes. The Percentage Weighting Polygon method is a new alternative to the Thiessen method for calculating average rainfall over a specific area. This method divides the area into smaller parts based on rainfall percentages recorded at three nearby stations. Unlike the Thiessen method, where subareas depend only on measured rainfall, the Percentage Weighting Polygon method is more reliable, flexible, and dynamic. In this study, the method was used for the first time in the Meriç-Ergene Basin in the Thrace Region of Turkey, using data from seven meteorological stations. The Percentage Weighting Polygon method is unique because it assigns smaller subareas to higher rainfall values compared to Thiessen and other common methods. The analysis showed that this method gives a lower average rainfall value than traditional approaches, making it better at reflecting rainfall distribution accurately and realistically.

**Keywords:** Regional average precipitation depth, Meriç-Ergene Basin, Thiessen polygon method, Weighted polygon method.

\*Sorumlu yazar

E-mail adresi: [tcengiz@nku.edu.tr](mailto:tcengiz@nku.edu.tr) (T. M. Cengiz)

## 1. Giriş

Hidrolojide, yağışın bölgesel ortalama değerinin doğru bir şekilde hesaplanması, su kaynaklarının planlanması ve yönetimi açısından büyük bir önem taşımaktadır. Bölgesel yağış miktarları, baraj tasarımı, taşkın kontrolü, sulama projeleri ve hidrolojik modelleme gibi pek çok alanda temel veri setini oluşturur. Ancak bir havzanın tamamında yağış ölçümünün doğrudan yapılması mümkün olmadığından, yağışın bölgesel ortalamasını belirlemek için farklı yöntemlere başvurulması gerekmektedir. Yağış, hidroklimatolojik parametreler arasında zaman ve mekân açısından en fazla değişkenlik gösterenlerden biridir. Meteoroloji istasyonlarındaki yağış ölçümleri noktasal olarak yapılırken, topoğrafya, sıcaklık farklılıkları, rüzgâr ve buharlaşma gibi faktörler nedeniyle aritmetik ortalama yöntemi her zaman doğru sonuçlar vermez. Özellikle istasyon sayısının yetersiz olduğu ya da veri eksikliğinin yaşandığı durumlarda, alansal yağış hesaplama yöntemlerine ihtiyaç duyulur. Bu gibi durumlarda, noktasal verilere dayanarak alansal tahminler yapmak için genellikle mekânsal interpolasyon yöntemleri kullanılmaktadır.

Yağış verileri, birçok mühendislik uygulamasında temel bir değişken olarak kullanılmaktadır. Bölgesel ortalama alan yağışı; su bütçesi hesaplamaları, tarım, kentsel bölgelerin planlanması, taşkın modellemesi, su kaynaklarının projelendirilmesi, iklim çalışmaları ve yüzey akışının tahmini gibi alanlarda kritik bir öneme sahiptir. Hidrometeorolojinin en önemli sorunlarından biri, bir bölgede düzensiz bir şekilde yerleştirilmiş meteoroloji istasyonlarında ölçülen noktasal yağış değerlerinden bölgesel ortalama alan yağışını tahmin etmektir. Bu tahminin güvenilirliği; meteoroloji istasyonlarının yoğunluğu, konumu, dağılımı, temsil yeteneği ve kullanılan yöntemlere bağlıdır. Özellikle yamaç yağış etkilerinin önemli olduğu dağlık bölgelerde, meteoroloji istasyonları genellikle birbirinden oldukça uzaktadır [2, 3].

Farklı bilim insanlarının [4, 5] vurguladığı gibi, yağış verileri dünyanın herhangi bir bölgesinde belirgin bir mekânsal değişkenlik gösterebilir. Mekânsal değişkenliğin, büyük ölçüde yerel veya bölgesel faktörlerden (örneğin, topoğrafya) ve rüzgâr yönünden etkilenen yağış üreten süreçlerin türü ile ölçüdeki farklılıklardan kaynaklandığı belirtilmiştir [6]. Ancak pratikte, yağış değişkenliği ya belirli bir konuma ya da en azından belirli bir alana bağlı olarak değerlendirilir. Ayrıca, dünyanın pek çok yerinde, her bir yağış ölçer çevresindeki alanı temsil ettiği varsayılır. Mantıksal olarak, her yağış ölçerin belirli bir etki alanı vardır; ancak bu alanın tanımlanması için fiziksel ya da verilere dayalı nesnel bir kriter bulunmamaktadır. Özellikle kısa süreli, şiddetli şaganak yağışların ve kuvvetli rüzgârların görüldüğü fırtınalarda, yağışın mekânsal değişkenliği ile ilgili varsayımlar oldukça sınırlıdır. Genellikle, yağışın yeryüzüne üniform bir şekilde düştüğü kabul edilerek basitleştirme yapılmaktadır. Ancak çeşitli yağış gözlemleri, noktasal yağışın çevresindeki alanların yağışı için her zaman güvenilir bir değer olmadığını göstermiştir [7, 8, 9, 10].

Karmaşık ve çok değişken topografyaya sahip bölgelerde, hidroklimatolojik parametreler ve bunlara bağlı diğer değişkenler, kısa mesafelerde büyük farklılıklar gösterebilir.

Bu nedenle, bu parametrelerin doğru şekilde ölçülmesi için sık aralıklarla yerleştirilmiş ölçüm istasyonlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak, ekonomik ve diğer bazı kısıtlamalar nedeniyle bu durum çoğu zaman mümkün olamamaktadır. Böyle durumlarda, alternatif olarak kullanılan yöntemlerden biri, noktasal gözlem verilerini alansal dağılıma yaklaştıran çeşitli modellemelerdir [11, 12].

Belirli bir dizi noktasal yağış değerinden bölgesel ortalama yağışı tahmin etmek için çeşitli matematiksel ve istatistiksel yöntemler kullanılmaktadır [13, 14, 15]. Ancak bu yöntemlerin güvenilir sonuçlar verebilmesi için bölgede yeterince sık yerleştirilmiş rasat istasyonlarının bulunması ve kullanılan yöntemlerin bölgeye özgü şekilde kalibre edilerek uygulanması gerekmektedir.

Bir başka çalışmada, çeşitli bölgesel ortalama yöntemleri karşılaştırılmış ve mekânsal korelasyon yapısına sahip istatistiksel bir yöntemin, Thiessen poligonları, polinom interpolasyonu ve ters mesafe ağırlıklı yöntemlere kıyasla daha üstün olduğu ifade edilmiştir [16]. Jeostatistik, bir bölgedeki gözlemlenmeyen değişkenlerin değerlerini, gözlemi yapılan değişkenler ve bunların konumları üzerinden tahmin etmeye yarayan bir yöntemdir. Hevesi ve arkadaşları [17], dağlık arazilerde alan yağışı tahmini için çok değişkenli jeostatistiksel tekniklerin kullanılmasını önermiştir. Ancak bu tekniklerin güvenilir tahminler sunması, özellikle istasyonların alandaki dağılımının seyrek olduğu ya da yağış özelliklerinin konumlara göre büyük ölçüde değişiklik gösterdiği durumlarda zorluk oluşturmaktadır. Bu tür durumlar, genellikle düzensiz ve rastgele yağışların sık görüldüğü kurak bölgelerde yaygındır.

Başka bir çalışmada ise uydu görüntüleri ve basit olasılık modelleri kullanılarak, yağış miktarının arttıkça etkilenen alanın küçüldüğünü ortaya koymuştur [18].

Türkiye’de yağışlarla ilgili birçok araştırma gerçekleştirilmiştir. Toros ve arkadaşları [19], 68 farklı istasyondan elde edilen yağış verilerini istatistiksel olarak analiz etmiştir. Çıtakoğlu ve arkadaşları [20], mevsimsel yağışları inceleyerek sonbahar ve yaz aylarında yağışların daha yüksek olduğunu, ancak tüm mevsimlerde yağış dağılımının sağa çarpık bir yapı sergilediğini belirtmiştir. Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde yağış değişkenliği %25’ten fazla iken, en düşük değişkenlik Doğu Karadeniz Bölgesi’nde gözlemlenmiştir [21]. Türkiye’nin karmaşık ve düzensiz topografik yapısı, birbirine yakın noktalarda yağış ölçümünü hem zorlaştırmakta hem de maliyeti artırmaktadır. Bu nedenle, ölçüm yapılmayan bölgelerdeki yağış durumunun daha hassas bir şekilde belirlenmesi gereklidir.

Son yıllarda, ortalama alan yağışını tahmin etmek için basit, nesnel ve esnek bir yöntem olan Yüzdelik Ağırlıklı (YA) Poligon yöntemi Şen [2] tarafından önerilmiştir. YA yöntemi, alt alanların kaydedilen yağış miktarlarından bağımsız olarak sabit kaldığı Thiessen poligon yöntemine göre daha esnek ve güvenilir bir alternatif sunmaktadır [3]. Acar ve Şengül [22], Türkiye’nin Kuzeydoğu Anadolu Bölgesi’ndeki 14 meteoroloji istasyonunun verilerini kullanarak YA yöntemini ilk kez kar yağışı tahmini için uygulamış ve bu yöntemi, havza üzerindeki ortalama bölgesel kar yağışı tahmininde Thiessen yöntemi ile



diğer geleneksel yöntemlere bir alternatif olarak geliştirmiştir. Bayraktar ve Turalioğlu [23], Erzurum şehrinde hava kirlenme konsantrasyon yüzdelilerinin dağılımını belirlemek amacıyla Yüzde Ağırlıklı Poligon yöntemini uygulamış ve bu yöntemle şehrin konsantrasyon dağılımlarını başarılı bir şekilde analiz etmiştir.

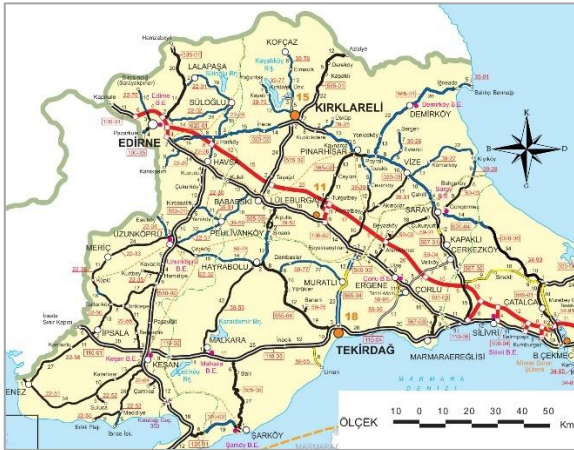
Hwang ve arkadaşları [24], yağış verilerinin bölgesel değerlerini Thiessen poligon yöntemi, Yüzde Ağırlıklı Poligon yöntemi ve Kriging interpolasyon yöntemi kullanarak hesaplamış ve az sayıda istasyona sahip havzalarda yağış hareketinin yönüne bağlı olarak farklılık gösterdiğini bu yöntemler aracılığıyla açıklamıştır.

Bu çalışmanın temel amacı, Yüzde Ağırlıklı Poligon yönteminin güvenilirlik ve esneklik düzeyini, aritmetik ortalama, Thiessen poligonları ve izohiyet haritaları gibi geleneksel yöntemlere kıyasla karşılaştırmalı olarak değerlendirmektir. Çalışmada Meriç-Ergene havzasında seçilen yedi yağış istasyonuna ait 1970-2020 aylık toplam yağışın ortalamaları ve yıllık yağış toplamının ortalama verileri kullanılarak bölgesel ortalama yağış uygulaması yapılmıştır.

## 2. Materyal ve Yöntem

### 2.1. Yüzde Ağırlıklı Poligon Yöntemi

Bölgede, Meriç-Ergene havzasında, bulunan yedi istasyonun 1970-2020 yağış verileri DSİ tarafından temin edilmiştir (Ek; Tablo1). Ayrıca bu istasyonlara komşu olan Kıyıköy, Tekirdağ, Gelibolu ve Yeşilköy istasyonları yağış veri değerleri de kullanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının haritası.

Hidrolojide, bir bölgedeki farklı noktalar üzerinde ölçülen yağış miktarlarının, bölgenin tamamını temsil eden bir ortalama değerle ifade edilmesine "bölgesel ortalama yağış yüksekliği" denir. Bu değer, özellikle bir havzanın yağış rejimini analiz etmek, su bütçesi hesaplamaları yapmak ve akış tahminlerinde kullanılmak için büyük öneme sahiptir. Bir bölgede yağış genellikle homojen dağılmadığı için, bölgesel ortalama yağışı hesaplamak için kullanılan yöntemler, yağış ölçüm istasyonlarının sayısına, yerleşimine ve bölgenin topoğrafik özelliklerine bağlı olarak değişir. Bölgesel ortalama yağış yüksekliğini hesaplamak için dört ana yöntem bulunmaktadır: (1) aritmetik ortalama, (2) Thiessen poligonları, (3) izohiyet haritalama yöntemleri ve (4) enterpolasyon teknikleri [25].

Enterpolasyon teknikleri, özellikle yağış ölçüm verileri eksik olduğunda veya istasyonlar arası mesafenin fazla olduğu durumlarda bilgisayar destekli tekniklerle kullanılır.

Aritmetik ortalama yöntemi, bir bölgedeki yağışın ortalama değerini basitçe hesaplamak için kullanılan temel bir yöntemdir. Bu yöntemde, bölgedeki tüm yağış istasyonlarından elde edilen yağış verileri toplanır ve istasyon sayısına bölünerek ortalama bulunur. Aritmetik ortalama yöntemi, hesaplama kolaylığı ve tüm istasyonlara eşit ağırlık vermesi nedeniyle pratik bir yaklaşımdır. Ancak, istasyonlar arasındaki mesafe ve konumsal farklılıkları dikkate almadığı için homojen dağılmamış istasyon ağlarında hata payı artabilir. Bu nedenle, homojen dağılıma sahip bölgelerde yeterli bir yöntem olsa da, daha kesin sonuçlar için diğer yöntemlerle karşılaştırmalı analiz yapılması önerilir.

Bu hesaplamalar içinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biri Thiessen [26] poligon yöntemidir. Thiessen yöntemi, tüm havza alanını daha küçük poligon alt alanlara bölerken, bireysel istasyonlarda kaydedilen alan yağışı miktarlarını dikkate almaz. Bu nedenle, mevcut yağış ölçer ağı yapılandırmasına dayalı olarak poligonlar belirlendiğinde, meteoroloji istasyonlarının konumları değişmediği veya ek istasyonlar kurulmadığı sürece bu poligonlar aynı kalır. Ancak, alt alanların yağışın mekansal değişimine göre değişmesi gerektiği düşünülmektedir. Başka bir deyişle, bu bölme işlemi yalnızca yağış ölçer ağı yapısına değil, aynı zamanda istasyonlarda kaydedilen yağış miktarlarına da dayanmalıdır.

Yüzdelik Ağırlıklı Poligon (YA) yönteminin uygulanması, bitişik yağış istasyonlarını birleştirerek bir dizi üçgen oluşturmayı içerir. En yakın istasyonlar her zaman birleştirilmeli ve üçgen mümkün olduğunca eş açılı bir şekil olarak korunmalıdır. Üçgenler belirlendikten sonra, YAP yönteminin oluşturulabilmesi için çalışma alanının poligonlara bölünmesi için aşağıdaki prosedür uygulanır: Eğer yağış değerlerinin bulunduğu üçgenin üç tepe noktası A, B ve C ise, bu noktaların yüzdeleri şu şekilde hesaplanır:

$$R_A = \frac{100 \cdot A}{(A+B+C)} \quad (1)$$

$$R_B = \frac{100 \cdot B}{(A+B+C)} \quad (2)$$

$$R_C = \frac{100 \cdot C}{(A+B+C)} \quad (3)$$

burada sırasıyla, her üçgen için sabit toplamların üç değişkenli yüzde verileri bulunabilir. Üç değişkenin iki boyutlu bir grafiği, bir üçgen grafiği üzerinde bir nokta olarak gösterilebilir. Bu tür grafikler, yer bilimlerinde yaygın olarak kullanılan araçlardandır [27].

Yöntemi daha açık bir şekilde göstermek için, bilgisayar ortamında uygulanabilir adım adım bir algoritma aşağıda verilmiştir (Şekil 2):

1. Her bir yağış istasyonu ile diğer istasyon çifti arasında çizgiler çizilir. Böylece, çalışma alanını kapsayan bir üçgenler seti oluşturulur.
2. Her üçgen için, Eşitlikler (1) – (3)'e göre köşelerdeki yağış yüzdesi hesaplanır. Her köşe için, köşe değeri

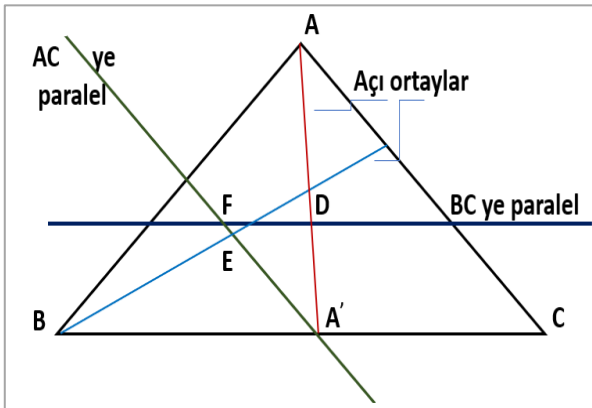
%100, karşı kenar değeri ise %0 olarak kabul edilir.

3. Bir köşeden karşı kenarın orta noktasına uzanan açıortayı belirler ve bu açıortayı 100 eşit parçaya bölünür.
4. Adım 2'de hesaplanan yağış yüzdesinden biri kullanılarak, karşı kenardan köşeye doğru, uygun açıortay üzerinde bir işaret konulur.
5. Adım 4'te işaretlenen noktadan, karşı köşeye ait kenara paralel bir çizgi çizilir.
6. Adım 4 ve 5'i diğer yağış yüzdesi için tekrar edilir ve bu sefer başka bir karşı kenara paralel bir çizgi bulunur.
7. Bu iki çizginin kesişim noktası, ilgili üçgen için anahtar noktayı tanımlar.
8. Bu anahtar noktanın doğruluğunu kontrol etmek için, kalan üçüncü yağış yüzdesi değeri için adım 4 ve 5'i tekrar edilir. Eğer paralel çizgi, daha önce belirlenen anahtar noktadan geçiyorsa işlem tamamlanmıştır. Aksi takdirde, yağış yüzdesi hesaplamalarında ya da açıortaylar üzerindeki işaretleme noktalarında bir hata vardır.
9. Adım 2'ye dönerek, adım 1'de oluşturulan üçgenler için işlemi tekrarlanır. Bu şekilde her üçgenin bir anahtar noktası olacaktır. Bu noktanın üçgen içindeki yeri, üç köşedeki yağış miktarlarının yüzdesine bağlıdır. Bir köşedeki yağış yüzdesi ne kadar yüksekse, nokta o köşeye o kadar yakın olacaktır.
10. Komşu üçgenlerdeki anahtar noktalar birleştirilerek, her biri bir yağış istasyonunu kapsayan poligonlar oluşturulur.
11. Havza çevresindeki poligon sınırları, anahtar noktalardan üçgen kenarlarına dik çizgiler çizilerek tanımlanır. Böylece, tüm havza alanı alt alanlara ayrılmış olur [3].

Son olarak, her bir istasyondaki yağış miktarı ( $R_i$ ) için, karşılık gelen bir alt alan ( $A_i$ ) belirlenir. Bu, **YA yöntemi** ile Alansal ortalama yağış hesaplamasında kullanılır.

$$(R) = \frac{R_1 * A_1 + R_2 * A_2 + R_3 * A_3 + \dots + R_n * A_n}{A_1 + A_2 + A_3} \quad (4)$$

Burada R, Bölgesel ortalama yağış miktarını, n ise istasyon sayısını ifade eder.



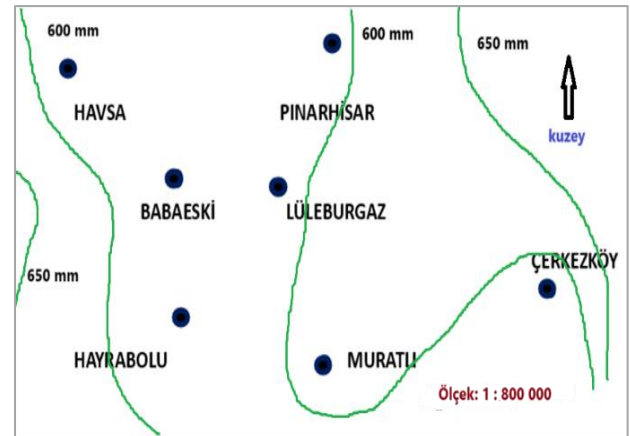
Şekil 2. Üçgen alanın alt bölümlere ayrılması.

### 3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, 7 farklı meteoroloji istasyonundan alınan aylık ortalama ve yıllık ortalama verilerle bölgesel ortalama yağış yüksekliğini belirlemek amacıyla, Meriç -Ergene için Yüzde Ağırlıklı Poligon yöntemi ve diğer geleneksel yöntemler (eşyağış harita tekniği, aritmetik ortalama, Thiessen poligonu,) uygulanmıştır. Bu istasyonların 1970-2020 yılına ait toplam aylık ve yıllık toplam ortalama yağış değerleri kullanılmış ve Ekte bulunan Tablo 1'de sunulmuştur. Ayrıca yardımcı istasyonlar olarak Kıyıköy, Tekirdağ, Gelibolu ve Yeşilköy istasyonlarının yağış rasatları da çalışmada kullanılmıştır. Farklı yöntemlerin karşılaştırılması için tüm sonuçlar topluca Tablo 5'de sunulmuştur.

1/800 000 ölçekli haritalar kullanılarak alt alanlar çizilmiş ve poligon alanları planimetri yöntemiyle ölçülmüştür. Her yöntem için bölgesel ortalama yağış yükseklik değerleri hesaplanmıştır (Şekil 3). İzohiyet (eşyağış) yönteminde, bir yağış sırasında yağış miktarının farklı bölgelerdeki dağılımını göstermek için eş yağış eğrileri çizilir. Bu eğriler, yağışın merkezinden uzaklaştıkça miktarın azaldığını gösterir. Azalma oranı, yağışın süresiyle ters orantılıdır. Başka bir deyişle, kısa süreli bir yağış, mekânsal olarak daha büyük farklılıklar gösterirken, uzun süreli bir yağışta bu farklılıklar daha az belirgin olur.

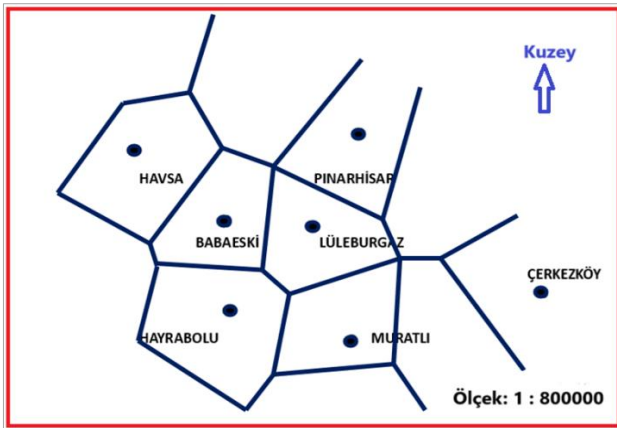
Thiessen Yönteminde, yakın konumdaki istasyonlar birer doğru parçası ile birleştirilir. Bu doğruların orta noktalarından dik çizgiler (orta dikmeler) çizilerek her bir istasyon için bir çokgen oluşturulur. Bu çokgenlere "Thiessen Çokgeni" adı verilir. Thiessen yöntemi uygulama haritası ve Thiessen poligonlarının alan değerleri, meteoroloji istasyonları değişmediği sürece ana noktaların aynı kalması nedeniyle yalnızca Şekil 4'te verilmiştir. Bu çalışmanın ana odağı olan yağışın Yüzde Ağırlıklı Poligon yönteminde, alt üçgenleri oluşturan üç komşu istasyon için yağış ve yüzde ağırlık değerleri hesaplanmıştır. Uygulama sırasında, alt alanların belirlenmesi için Denklem (1) – (3) göz önünde bulundurularak hesaplanan yüzde ağırlıklı yağış değerleri kullanılmıştır. Yağışın Yüzde Ağırlıklı Poligon yönteminde alt alan değerleri Şekil 5'de gösterilmiştir. Yağışın yüzde ağırlıklı poligon ile ilgili hesaplama değerleri Tablo 3 ve Tablo 4'te gösterilmiştir.



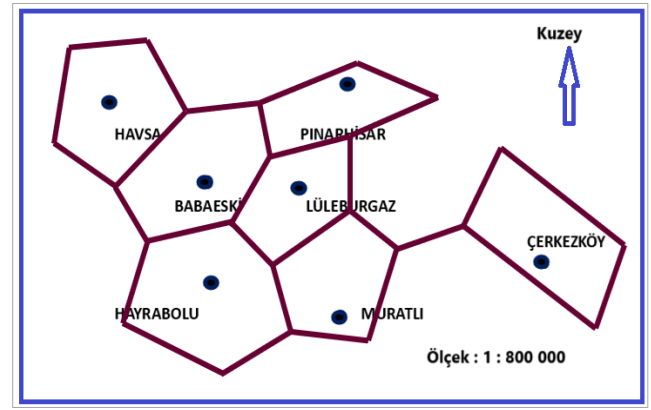
Şekil 3. Eşyağış yöntemine göre yağışlar.

Ekte bulunan Tablo 5'te görüldüğü gibi nisan ayında yağış değerleri, bölgesel anlamda önemli bir farklılık göstermemektedir. Bu durum, çalışma alanının benzer bir topografyaya sahip olması, meteoroloji istasyonlarının birbirine oldukça yakın konumlanması ve yağışların aynı hava sistemi üzerinden geçiş yapmasından kaynaklanmaktadır. Nisan ayında, Havsa istasyonuna ait poligon yağış hacmi Thiessen yöntemiyle  $44.878,27 \times 10^3 \text{ m}^3$  olarak hesaplanırken, Yüzde Ağırlıklı Poligon yöntemiyle bu değer  $32.624,27 \times 10^3 \text{ m}^3$  olarak belirlenmiştir. Bu durum, meteoroloji istasyonunun daha küçük bir alt alanla temsil edilmesinin, yağış çeşitliliği dikkate alındığında havzanın bölgesel ortalama yağış değerinin daha düşük hesaplanmasına neden olduğunu göstermektedir.

Nisan ayı için Havsa istasyonu baz alınarak yapılan aylık bölgesel ortalama yağış hesaplamaları şu şekildedir: Aritmetik ortalama yöntemiyle 45,80 mm, izohiyet harita yöntemiyle 48,95 mm, Thiessen poligon yöntemiyle 46,98 mm ve Yüzde Ağırlıklı Poligon yöntemiyle 45,49 mm. Yüzde Ağırlıklı Poligon yöntemine kıyasla, aritmetik ortalama yöntemi % 0,68, izohiyet harita yöntemi %0,76, Thiessen poligon yöntemi ise %0,33 oranında daha yüksek yağış değerleri sunmaktadır. Bu sonuçlar, Yüzde Ağırlıklı Poligon yöntemiyle elde edilen değerden daha büyük olarak dikkat çekmektedir. Yüzde Ağırlıklı Poligon yöntemiyle hesaplanan bölgesel ortalama yağış değerlerinin yıllık ortalaması, diğer yöntemlerle kıyaslandığında daha düşük bulunmuştur. Bu yöntemle elde edilen değerler, aritmetik ortalama yöntemine göre %0,96, izohiyet harita yöntemine göre %4,30 ve Thiessen poligon yöntemine göre %3,56 oranında daha düşük bir sonuç vermiştir. Genel olarak, yıllık ortalama yağış değerlerinde %2,94 oranında bir azalma kaydedildiği görülmektedir. Ancak bölgenin homojen ve küçük bir coğrafyada olması sebebiyle farklar oldukça az yağış değerleri olarak karşımıza çıkmaktadırlar.



Şekil 4. Thiessen Yöntemine göre poligonlar.



Şekil 5. Yağışın yüzde ağırlıklı poligon yönteme göre çizilen poligonlar.

#### 4. Sonuçlar

Bölgesel ortalama yağışın tahmini için basit, objektif ve esnek bir Yüzde Ağırlıklı Poligon yöntemi geliştirilmiştir. Bu yöntem, Thiessen poligon tekniği ile üçgenleme yönteminin avantajlarını birleştirerek daha etkin ve güvenilir bir çözüm sunar. Alt alanlar, yalnızca yağış istasyonlarının coğrafi konumlarına göre değil, aynı zamanda üç komşu istasyondaki yağış miktarlarının göreceli oranlarına dayalı olarak dinamik şekilde belirlenir. Bu doğrultuda, poligonlar, toplam havza alanını ve yağış istasyonu verilerini esas alarak üçgen koordinat sistemiyle bölümlendirilmiştir.

Geliştirilen Yüzde Ağırlıklı Poligon yöntemi, özellikle topoğrafik farklılıkların belirgin olduğu bölgelerde veya yağış miktarlarının mekânsal olarak değişkenlik gösterdiği durumlarda, geleneksel yöntemlere kıyasla daha üstün performans göstermektedir. Geleneksel yöntemler arasında Thiessen poligon yöntemi, aritmetik ortalama yöntemi ve izohiyet harita tekniği yer almaktadır. Bununla birlikte, Bayraktar [1] tarafından da vurgulandığı üzere, Yüzde Ağırlıklı Poligon yöntemi, bu yöntemlere kıyasla hem doğruluk hem de uygulama esnekliği açısından önemli avantajlar sunmaktadır.

Sonuç olarak, bu yöntem, yağış tahmini çalışmaları ve hidrolojik modelleme uygulamaları için bölgesel ölçekte etkili bir araç olarak öne çıkmaktadır. Özellikle havza yönetimi, su kaynaklarının planlanması ve iklim değişkenliklerinin analizinde sunduğu doğruluk ve esneklik sayesinde, karar destek sistemlerine önemli katkılar sağlamaktadır. Bu çalışmada, Meriç-Ergene Havzası'nda bölgesel ortalama yağış tahmini için Yüzde Ağırlıklı Poligon yöntemi, aritmetik ortalama, Thiessen poligon ve izohiyet harita teknikleri birlikte değerlendirilmiştir. Detaylı hesaplamalar verilmemekle birlikte, karşılaştırma amacıyla sonuçlar Tablo 5'de sunulmuştur. Bu uygulama, YA yönteminin, yağış miktarlarının bölgesel değişkenliğini daha iyi yansıttığını ve bu sayede daha düşük ve güvenilir bölgesel ortalama yağış değerleri sağladığını göstermektedir.

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve/veya yayınlanması ile ilgili olarak herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemiştir.

## Teşekkür

Bu çalışmayı, üzerimde büyük emeği olan ve bilimsel gelişimime yön veren merhum hocam Prof. Dr. Mustafa Ersin'in aziz hatırasına ithaf ediyorum. Kendisi, sadece bir öğretmen değil, aynı zamanda ilham kaynağı ve rehber olmuştur. Hayat boyu bilime ve insanlığa olan katkılarını saygıyla anıyor, kendisine sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Ruhun şad olsun.

## Kaynaklar

- [1] Bayraktar, H., Turalioglu, F. S., & Şen, Z. (2005). The estimation of average areal rainfall by percentage weighting polygon method in Southeastern Anatolia Region, Turkey. *Atmospheric research*, 73(1-2), 149-160.
- [2] Şen, Z., Habib, Z., (2000). Spatial precipitation assessment with elevation by using Point Cumulative Semivariogram Technique. *Water Resour. Manag.* 14, 311 – 325.
- [3] Şen, Z., Habib, Z. (1998). Point cumulative semivariogram of areal precipitation in mountainous regions. *J. Hydrol.* 205, 81 – 91.
- [4] Mark, N., Todd, M., Hulme, M., Jones, P. (2001). Precipitation measurements and trends in the twentieth century. *Int. J. Climatol.* 21 (15), 1899 – 1922.
- [5] Liu, X., Yin, Z.Y. (2001). Spatial and temporal variation of summer precipitation over the Eastern Tibetan Plateau and the North Atlantic Oscillation. *J. Climate* 14 (13), 2896 – 2909
- [6] Wilson, J.W., Atwater, M.A. (1972). Storm rainfall variability over Connecticut. *J. Geophys. Res.* 77 (21), 3950 – 3956.
- [7] Sumner, G. N. (1988). Precipitation: process and analysis. (*No Title*).
- [8] Clinton, E.W., Robert, A.M., Kenneth, W.H. (1999). Summertime convective storm environments in Central Arizona: local observations. *Weather Forecast.* 14 (6), 994 – 1007.
- [9] Brian, A.K., Mathew, J.B., Mark, R.H., Josiah, N.C. (2003). Severe convective windstorms over the Northern High Plains of the United States. *Weather Forecast.* Boston 18 (3), 502 – 518.
- [10] David, A., Christopher, R.W. (2003). Anatomy of a convective storm. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 84 (1), 13 – 15.
- [11] Daly C., Neilson R.P., Phillips D. (1994). A Statistical topographical Model for Mapping Climatological Precipitation Over Mountainous Terrain. *Journal of Applied Meteorology*, 33(2): 140-158.
- [12] Güler M., Kara T. (2007). Alansal Dağılım Özelliği Gösteren İklim Parametrelerinin Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Belirlenmesi ve Kullanım Alanları; Genel Bir Bakış. *OMÜ Zir. Fak. Dergisi*, 22(3): 322-328
- [13] Bayraktar, H. (1994). Noktasal verilerin Alansal

Değerlere Dönüştürülmesinde Kullanılan Metotlar ve Karşılaştırılması. *License thesis, ITU, Istanbul (in Turkish)*.

- [14] Christakos, G. (1998). Spatiotemporal information systems in soil and environmental sciences. *Geoderma* 85, 141 – 179.
- [15] Haas, T.C. (2002). New systems for modeling, estimating, and predicting a multivariate spatio-temporal process. *Environmetrics* 13, 311 – 332.
- [16] Tabios III, G.O. Salas, J.D., (1985). A comparative analysis of techniques for spatial interpolation of precipitation. *Water Resour. Bull.* 21, 365 – 380.
- [17] Hevesi, J.A., Istok, J.D., Flint, A.L. (1992). Precipitation estimation in mountainous terrain using multivariate geostatistics: Part 1. Structural analysis. *J. Appl. Meteorol.* 31, 661 – 676
- [18] Kedem, B., Chiu, L.S., Karni, Z. (1990). An analysis of the threshold method for measuring area-average rainfall. *J. Appl. Meteorol.* 29, 3 – 20.
- [19] Toros H., Karan H., Deniz A. (1994). Batı Anadolu Yağışlarının Gruplama (Cluster) Analizi. 1. *Ulusal Hidrometeoroloji Semp.* 23-25 Mart 1994, İstanbul, 220-230.
- [20] Çitakoğlu H., Çetin M., Çobaner M., Haktanır T. (2017). Mevsimsel Yağışların Jeostatistiksel Yöntemle Modellenmesi ve Gözlemi Olmayan Noktalarda Tahmin Edilmesi. *İMO Teknik Dergi*, 2017, 28 (1), 7725 - 7745.
- [21] Ölgen M.K. (2010). Türkiye’de Yıllık ve Mevsimsel Yağış Değişkenliğinin Alansal Dağılımı. *Ege Coğrafya Dergisi*, 19/1 (2010), 85-95, İzmir.
- [22] Acar, R., & Sengul, S. (2012). The estimation of average areal snowfall by conventional methods and the percentage weighting polygon method in the Northeast Anatolia region, Turkey. *Energy Educ. Sci. Technol. Part A-Energy Sci. Res.* 29, 11-22.
- [23] Bayraktar, H., & Turalioglu, F. S. (2005). Average areal sulphur dioxide concentration estimation by percentage weighting polygon method in Erzurum urban centre, Turkey. *Atmospheric Environment*, 39(32), 5991-5999.
- [24] Hwang, S. H., Kim, K. B., & Han, D. (2020). Comparison of methods to estimate areal means of short duration rainfalls in small catchments, using rain gauge and radar data. *Journal of Hydrology*, 588, 125084.
- [25] Fiedler, F.R. (2003). Simple, practical method for determining station weights using Thiessen polygons and isohyetal maps. *J. Hydrol. Eng.* 8 (4), 219 – 221.
- [26] Thiessen, A.H. (1911). Precipitation averages for large areas. *Mon. Weather Rev.* 39, 1082 – 1084.
- [27] Koch, G.S., Link, R.E. Statistical Analysis of Geological Data, vols. I and II. Dower Publications, New York, N.Y, 1971.

## EKLER

**Tablo 1.** Yağış İstasyonlarının aylık ve yıllık toplam rasat değerleri (mm)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Havsa	62,44	51,66	55,43	51,46	49,43	39,76	23,80	17,90	39,76	50,24	65,80	86,24	593,92
Pınarhisar	72,71	56,34	50,14	48,41	46,37	47,70	26,54	15,36	32,54	53,39	61,02	86,34	596,87
Babaeski	88,88	72,00	55,43	45,36	35,09	29,09	16,78	14,85	31,02	45,46	68,34	97,83	600,12
Lüleburgaz	74,24	56,34	52,17	43,32	46,37	47,70	24,51	16,37	27,46	55,53	78,82	73,12	595,95
Çerkezköy	81,66	57,79	46,82	42,21	28,11	19,17	14,29	16,96	42,21	42,31	61,39	92,63	545,55
Hayrabolu	78,53	65,99	60,09	47,01	37,05	18,99	14,01	17,05	22,49	42,12	59,54	82,58	545,46
Muratlı	58,71	48,48	53,27	42,86	42,95	38,90	20,09	15,48	28,39	48,30	88,11	108,85	594,40

**Tablo 2.** Thiessen yöntemine göre poligon alanları (km<sup>2</sup>) aylık ve yıllık yağış hacimleri (\*10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>) miktarları ile bölgesel ortalama yağış sonuçları (mm).

	Poligon Alanı km <sup>2</sup>	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Havsa	872,10	54453,92	45052,69	48340,50	44878,27	43107,90	34674,7	20755,98	15610,59	34674,70	43814,3	57384,18	75209,9	517957,6
Pınarhisar	800,30	58189,81	45088,90	40127,04	38742,52	37109,91	38174,31	21239,96	12292,61	26041,76	42728,02	48834,31	69097,9	477675,1
Babaeski	656,60	58358,61	47275,20	36395,34	29783,38	23040,09	19100,49	11017,75	9750,51	20367,73	29849,04	44872,04	64235,18	394038,8
Lüleburgaz	661,00	49072,64	37240,74	34484,37	28634,52	30650,57	31529,7	16201,11	10820,57	18151,06	36705,33	52100,02	48332,32	393923,0
Çerkezköy	567,40	46333,88	32790,05	26565,67	23949,95	15949,61	10877,06	8108,146	9623,10	23949,95	24006,69	34832,69	52558,26	309545,1
Hayrabolu	937,60	73629,73	61872,22	56340,38	44076,58	34738,08	17805,02	13135,78	15986,08	21086,62	39491,71	55824,7	77427,01	511423,3
Muratlı	648,00	38044,08	31415,04	34518,96	27773,28	27831,60	25207,20	13018,32	10031,04	18396,72	31298,4	57095,28	70534,8	385171,2
Toplam	5143,00	378082,70	300734,80	276772,3	237838,5	212427,80	177368,50	103477	84114,50	162668,50	247893,5	350943,2	457395,4	2989734
Ortalama (mm)	-	73,51	58,47	53,82	46,25	41,30	34,49	20,12	16,36	31,63	48,20	68,24	88,94	581,32

**Tablo 3.** Yüzdesel Alan Metoduna göre seçilmiş istasyon yağış Poligon alanları (km2)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Toplam
Havsa	63,00	52,00	56,00	52,00	50,50	40,50	23,80	17,90	39,76	50,24	65,80	86,24	597,74
Pınarhisar	72,71	58,34	50,14	48,41	46,37	47,70	26,54	15,36	34,54	53,39	63,02	86,34	602,86
Babaeski	98,88	72,00	55,43	45,36	37,09	29,09	16,78	15,85	33,02	45,46	68,34	97,83	615,13
Lüleburgaz	74,24	56,34	52,52	43,32	46,37	48,70	26,51	16,80	29,46	55,53	78,82	77,12	605,73
Çerkezköy	81,66	57,79	46,82	45,21	33,11	25,17	15,29	19,96	42,21	42,31	61,39	92,63	563,55
Hayrabolu	78,53	66,90	62,09	47,01	37,80	19,90	16,01	18,05	26,80	43,25	59,54	82,58	558,46
Muratlı	59,71	50,48	54,27	44,86	42,95	40,48	20,09	15,48	28,39	48,30	88,11	108,85	601,97
Toplam	528,73	413,85	377,27	326,17	294,19	251,54	145,02	119,40	234,18	338,48	485,02	631,59	4145,44

**Tablo 4.** Yüzdesel Alan Metoduna göre Yağış Hacimleri (\*10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Havsa	38707,2	33375,16	38282,72	32624,28	30215,16	25222,19	13896,11	10830,57	21901,8	33890,4	44805,19	55368,67	399654,9
Pınarhisar	31671,75	23547,77	20401,97	18719,66	19698,44	17746,79	11151,84	8157,85	13828,09	23652,3	29526,76	34317,56	273167,9
Babaeski	61294,72	45977,04	40060,37	34695,41	31298,03	25225,39	14321,39	13558,09	23889,64	37927,73	51482,57	63751,9	454870,2
Lüleburgaz	36941,82	28240,99	27469,01	22465,32	21457,25	18915,57	13045,84	8324,232	14784,21	25963,61	35532,84	44434,23	297680
Çerkezköy	32771,79	29290,28	20494,05	17764,82	16061	12364,51	6928,205	8429,308	16264,78	19815,04	27698,55	37905,12	245696,5
Hayrabolu	55832,47	46674,79	46439,59	39759,65	34015,46	24882,16	15464,54	14574,47	27156,71	39827,63	60905,25	73564,74	502440,9
Muratlı	41428,59	32001,8	31984,57	26192,41	24589,3	20532,67	12428,28	9074,066	15378,86	29596,31	39737,61	52193,58	338608,1
Toplam	298648,4	239107,8	225132,3	192221,5	177334,6	144889,3	87236,2	72948,59	133204,1	210673	289688,8	361535,8	2512119



**Tablo 5.** Çalışılan 4 Yönteme göre bölgesel yağış yüksekliği ortalaması (mm)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
YA	73,28	57,94	53,39	45,49	40,33	31,40	19,39	16,53	31,55	46,46	66,01	87,10	576,20
Thiessen Metodu	75,86	59,93	54,8	46,98	41,68	35,03	20,38	16,74	32,82	49,27	70,93	92,34	596,76
Aritmetik ortalama	73,88	58,37	53,34	45,8	40,77	34,47	20	16,28	31,98	48,19	69	89,66	581,74
İzohiyet Metodu	75,44	58,96	56,04	48,95	45,32	32,69	21,68	17,95	35,81	48,75	68,34	91,03	600,96

## Derleme Makalesi

# Farmasötikler ve Ekosistem Üzerindeki Potansiyel Etkileri

Beste Nur Karakaya<sup>1</sup> , Tuba Öztürk<sup>2,\*</sup> 

<sup>1</sup>Çevre Mühendisliği Bölümü, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 59860

<sup>1</sup>[bestenurkarakaya@gmail.com](mailto:bestenurkarakaya@gmail.com), <sup>2</sup>[tubaozturk@nku.edu.tr](mailto:tubaozturk@nku.edu.tr)

Geliş: 24.11.2024

Kabul: 17.12.2024

DOI: 10.55581/ejeas.1590698

**Öz.** Sağlık sektörü, insan sağlığı ve hayatıyla ilişkili temel faaliyet alanlarına bağlı olarak tüm dünyada en aktif, kapsamlı ve hızlı büyüyen sektörlerden birisidir. Günümüz dünyasında her geçen gün daha da önem kazanan ve genişleyen sektörün en önemli çalışma konusu aynı zamanda en önemli bileşeni de olan farmasötiklerdir. Kullanım alanları ve amaçları ile ilgili çok farklı özelliklere sahip oldukça kapsamlı bir ürün grubunu temsil eden farmasötikler genel olarak hastalıkların önlenmesi, teşhisi ve tedavisinde kullanılmak üzere biyolojik sistemlerle etkileşime girecek şekilde tasarlanan ve üretilen, karmaşık yapısal özelliklere sahip, katma değeri yüksek kimyasallar olarak tanımlanmaktadır. Ürünlerin fonksiyonları buna bağlı olarak da söz konusu özellikleri, üretim süreçlerinin çok adımlı ve zorlu olmasına yol açmaktadır. Çoğunlukla doğal kaynaklar üzerinde oluşturdukları baskı ve yoğun kirletici etkileri ile karakteriz edilen bir prosesin nihai ürünleri olan farmasötikler, sektörün çevresel sürdürülebilirlik çalışmaları açısından büyük önem taşımaktadır. Bu durum büyük ölçüde farmasötik kaynaklı kirliliğin üretim sonrasında da gerek ürünlerin kullanımı, gerekse kullanım dışı kalan formlarıyla devam etmesinden ileri gelmektedir. Doğrudan veya dolaylı pek çok kaynaktan çevreye yayılan farmasötikler, günümüzde özellikleri, kalıcılıkları ve yayılma eğilimleri ile endişe verici yeni bir kirletici grubu olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada farmasötiklerin çevresel etkileri dahil oldukları sektörel yapı, üretim, ürün özellikleri ve biyotransformasyon süreçleriyle birlikte ele alınarak değerlendirilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Ekosistem, Farmasötik, Metabolit, Kirletici, Sağlık sektörü.

## Pharmaceuticals and Their Potential Impact on Ecosystems

**Abstract:** The health sector is one of the most active, comprehensive and fast-growing sectors in the world, based on its main areas of activity related to human health and life. In today's world, the most important working subject of the sector, which is gaining more importance and expanding every day, is pharmaceuticals, which are also its most important component. Pharmaceuticals, which represent a very comprehensive product group with very different properties regarding their areas of use and purposes, are generally defined as high value-added chemicals with complex structural properties, designed and produced to interact with biological systems for use in the prevention, diagnosis and treatment of diseases. The functions of the products and their features accordingly cause the production processes to be multi-step and difficult. Pharmaceuticals, which are the end products of a process often characterized by the pressure they create on natural resources and their intense polluting effects, are of great importance in terms of the environmental sustainability efforts of the sector. This situation is largely due to the fact that pharmaceutical pollution continues after production, both through the use of the products and in their unused forms. Pharmaceuticals, which diffuse into the environment from many direct or indirect sources, are now considered a new group of pollutants of concern due to their properties, persistence and dispersal tendencies. In this study, the environmental impacts of pharmaceuticals were evaluated by considering them together with the sectoral structure they are involved in, production, product characteristics and biotransformation processes.

**Keywords:** Ecosystem, Pharmaceutical, Metabolite, Pollutant, Healthcare sector.

\*Sorumlu yazar

E-posta adresi: [tubaozturk@nku.edu.tr](mailto:tubaozturk@nku.edu.tr) (T. Öztürk)

## 1. Giriş

Dünya genelinde insanların gündelik hayatları ile ilişkili ihtiyaçlarını karşılamaya yönelik pek çok sektör tanımlanmaktadır. Zamanla değişen koşullar ve ihtiyaçlara bağlı olarak, bu sektörlerin bir kısmı giderek etkinliğini kaybederken, bir kısmı daha da güçlenerek varlığını sürdürmektedir. Özellikle zaman ve koşullardan bağımsız olarak değişmeyen temel ihtiyaçlara dayalı sektörler tüm dünyada sürekli ve istikrarlı bir şekilde büyümeye devam etmektedir. Bunların başında, doğrudan veya dolaylı olarak insan sağlığının korunması ve iyileştirilmesine yönelik faaliyetleri kapsayan sağlık sektörü gelmekte ve her geçen gün daha da önem kazanarak gelişmektedir. Sağlık sektörü genel olarak bireylere tıbbi bakım ve destek sağlayan kurum ve hizmetlerin bütünüdür ifade etmektedir [1]. Buna bağlı olarak, insanların hayatlarını kurtarmaya ve uzatmaya yardımcı olan çeşitli modeller, dijital sağlık teknolojileri, farmasötikler, cihazlar, destek hizmetleri, klinik araştırmalar ve sağlık hizmetleri ile sektörden bir şekilde etkilenecek veya etkileyerek sisteme dahil olan tüm çalışma alanları, iş kolları bu başlık altında toplanmaktadır. Oldukça geniş çerçeveli bir sektör olarak, bir taraftan sağlığa dijitalleşme, kişiselleştirilmiş tıp, uzaktan sağlık hizmetleri gibi yeni yaklaşımlarla çağın gereklerini karşılayarak gelişirken, diğer taraftan da sağlık maliyetlerinin artması, sağlık hizmetlerine erişim imkanları, küresel nüfusun yaşlanması, yeni kronik hastalıkların artması gibi sorunlarla tartışmaların merkezinde yer almaktadır [1,2]. Bununla birlikte yapılan araştırmalarda küresel sağlık sektörü pazarında gerek hizmet alanı ve biçiminin gelişmesi, gerekse ekonomik dinamiklerdeki değişimlerle son yıllarda yaşanan hızlı büyümenin devam edeceği öngörülmektedir. 2022 yılı verilerine göre OECD ülkelerinde kişi başına düşen ortalama sağlık harcamalarının yaklaşık 5.000 dolar olduğu, bu değer tüm dünyada söz konusu sektör açısından en büyük pazar olan ABD’de 12.555 dolar, İsviçre ve Almanya’da ise yaklaşık 8.000 dolar seviyelerinde gerçekleştiği belirtilmektedir [3].

Sağlık sektörü içerisinde yer alan en önemli alt sektörlerden birisi de farmasötik sektördür. İlaç ve tıbbi ürünlerle ilgili her türlü Ar-Ge çalışması, üretim, pazarlama ve dağıtım faaliyetleri ile ilişkili olarak sektör, çoğunlukla büyük ve çok uluslu şirketlerle ifade edilmektedir. Ekonomik açıdan oldukça önemli bir dizi süreci barındıran farmasötik sektörü, küresel ilaç tüketiminin giderek artmasına bağlı olarak oldukça önemli bir endüstriyel üretim alanı konumundadır [4,5]. Özellikle Asya ve Latin Amerika ülkeleri gibi gelişen ekonomilerde artan ilaç kullanımını, farmasötik endüstrisi için belirleyici olarak değerlendirilmektedir. Bu durum temel olarak Çin, Hindistan, Brezilya ve Endonezya gibi dünya nüfusunun yaklaşık yarısını oluşturan ülkelerde kişi başına günlük ilaç tüketiminin bir dozu aşmasından kaynaklanmaktadır. Dünya Sağlık Örgütü tarafından da ilan edilen küresel anlamda kişi başına tanımlanmış günlük doz miktarındaki sürekli artış eğilimi, farmasötik üretiminde de sürekli artış anlamına gelmektedir [5,6]. Sektörün geleceğine yönelik söz konusu göstergeler, farmasötik üretiminin enerji, kaynak ve emek yoğun bir süreç olduğu gerçeği ile birlikte değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır [4,5,7].

Yüksek katma değerli ürünler olarak tanımlanan

farmasötiklerin üretimi kullanılan hammaddeye, işlem yöntemine ve ürüne göre değişiklik gösteren çok adımlı ve zorlu bir süreçtir. Bu özelliklerinin yanı sıra farmasötik endüstrisi, ciddi ve karmaşık çevresel etkileri nedeniyle kirlilik yoğun bir sanayi kolu olarak değerlendirilmektedir [4,5]. Sektörün ekosistem üzerindeki potansiyel zararlı etkileri, farmasötiklerin üretimlerinden sonra hem kullanımları hem de kullanım dışı kalan formları ile devam etmektedir [4,5,7]. Bu nedenle, tüm form ve etki kategorilerini kapsayacak şekilde detaylı çalışmalar ve bütünsel sürdürülebilirlik analizlerinin yapılması, söz konusu endüstrinin geleceği açısından büyük önem taşımaktadır.

## 2. Farmasötiklerin Üretimi ve Özellikleri

Farmasötik üretimi genel olarak birincil ve ikincil üretim olarak tanımlanan temel iki aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalardan ilki terapötik değere sahip bileşiklerin üretimini, ikincisi ise bunların işlenerek kullanıma uygun ilaç formunda nihai ürünlere dönüştürülmesini içermektedir [8,9].

Birincil farmasötik üretimi, ilaçların etken maddesi olan ve ilacın amaçlanan sağlık etkilerini oluşturan aktif farmasötik bileşenlerin (API) üretimini ifade etmektedir. Aktif farmasötik bileşenler, ilaçlardaki ana kimyasallar olarak farklı fizikokimyasal, biyolojik özelliklere ve işlevlere sahip moleküllerdir. Bu karmaşık kimyasallar kesin ve doğrulanmış koşullar altında bir dizi birim reaksiyon içeren çok adımlı bir süreçle sentezlenmektedirler [9-11]. Doğal veya sentetik kimyasal bazlı maddeler olan aktif farmasötik bileşenlerin tipik molekül ağırlığı 200-1000 dalton arasında değişmektedir [10,11]. Günümüzde aktif bileşiklerin üretimi, çoğunlukla kimyasal sentez (parasetamol, asetilsalisilik asit vs.), fermantasyon (penisilin, insülin gibi antibiyotikler, hormonlar vs.), enzimatik reaksiyonlar (antikolar vs.), doğal maddelerden ekstraksiyon (morfin, heparin vs.) yoluyla veya bu yöntemlerin çeşitli kombinasyonları (moksilisilin) ile yapılmaktadır [8,9].

Ürün ve uygulamalara bağlı olarak sürekli geliştirilen farmasötik prosesinde ikincil farmasötik üretimi, aktif bileşenlerin inaktif maddeler kullanılarak farmasötik bir dozaj formuna dönüştürülmesi işlemidir. Bu süreçte aktif bileşenlerin, farmasötik ürünlerin nihai fiziksel özelliklerini belirleyen inert maddelerle birleştirilerek, biyolojik sistemler tarafından daha kolay ve etkili bir şekilde alınmaları sağlanmaktadır. Eksipiyen olarak da ifade edilen ve diğer bileşen grubunu oluşturan bu yardımcı maddeler koruyucu, bağlayıcı, tatlandırıcı, renklendirici ve hacim verici maddeler olarak ilaç üretiminde önemli bir girdi konumundadır [9,11,12]. Tüm bu süreçlerin sonucunda farmasötik bir formülasyon olarak nitelendirilen ilaçların %80’den fazlası katı (tablet, toz vs.) olmak üzere sıvı (şurup, solüsyon vs.), yarı katı (merhem, jel vs.) ve parenteral (enjeksiyon, steril sıvı vs.) gibi farklı dozaj formlarında üretilmektedir [8,12]

Farmasötikler insan ve hayvanların biyolojik sistemlerindeki fizyolojik süreçlerle etkileşime girerek, yapısını veya herhangi bir fonksiyonunu etkileyen oldukça karmaşık yapısal özelliklere sahip kimyasal maddeler olarak tanımlanmaktadır [10,13]. Hastalık hali ise, vücudun bir kısmı veya tamamını etkileyen bir grup belirti, semptom ve laboratuvar bulgusu ile bağlantılı anormal patofizyolojik bir durumu ifade etmektedir.

Söz konusu kimyasallar, fiziksel veya zihinsel olarak bu durumun önlenmesi, teşhis edilmesi, tedavisi veya hafifletilmesi, hastanın klinik durumuna ait bir veya daha fazla semptomun iyileştirilmesi amacıyla tasarlanmaktadır [13,14].

Farklı ve geniş bir bileşik grubunu temsil eden farmasötikler kimyasal yapıları, hedef sistemleri, farmakolojik özellikleri, faaliyet alanları, etki mekanizmaları, fizikokimyasal özellikleri, kaynakları, aktiviteleri vs. gibi çeşitli kriterlere göre sınıflandırılarak değerlendirilmektedir. Ancak bunların dışında ilaçlar dağıtımlarını ve hastalara ulaşmalarını düzenleyecek şekilde reçetesiz, reçeteli ve kontrollü ilaçlar olarak da ayrılmaktadır. Bu sınıflandırma doğrudan insanların farmasötiklere erişimleri, böylelikle de tüketimleri üzerinde oldukça belirleyici olmaktadır [13].

### 3. Farmasötik Kirleticiler ve Etki Mekanizmaları

Farmasötikler, üretimlerinin hemen hemen her aşamasında kirleticilerin açığa çıktığı, oldukça yüksek çevresel ayak izine sahip endüstriyel ürünler arasında yer almaktadır [4,6,10,15]. Üretimlerinin ardından nihai ürün olarak da gerek kullanımları sırasında ve sonrasında, gerekse artan veya son kullanma tarihi geçerek kullanım dışı kalan formları ile ekosistem üzerinde ciddi bir tehdit oluşturmaktadırlar [4,5]. Dünya genelinde her geçen gün artan tüketim miktarlarına bağlı olarak doğrudan farmasötiklere, metabolize olmuş formlarına veya dönüşüm ürünlerine buzullar ve sedimentler de dahil olmak üzere hemen hemen her çevresel alan ve matrikste rastlanmaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmalar ve değerlendirmelerde etkileri, özellikleri, kalıcılıkları ve yayılma eğilimleri ile farmasötikler, küresel ölçekte önemli ve endişe verici yeni bir kirletici grubu olarak değerlendirilmektedir [4,6,11,16]. Ancak farmasötikler molekül ağırlıkları, yapıları, işlevsellikleri, tuz formları, hidrofobiklik/hidrofiliklik özellikleri, suda çözünürlükleri ve uçuculukları bakımından büyük farklılıklar gösteren heterojen bir bileşik grubunu temsil etmektedir. Bu durum kirletici olarak da tek bir başlık altında değerlendirilmelerini zorlaştırmaktadır. Bunun temel nedeni farklılıklarını oluşturan özelliklerinin doğal çevrede bulunma oranları, davranışları, biyolojik sistemler üzerindeki toksikolojik etkileri, metabolitleri, yarılanma süreleri üzerinde de doğrudan belirleyici olmasıdır [6,17].

Farmasötik kirleticiler insan aktiviteleri ile bağlantılı doğrudan veya dolaylı pek çok kaynaktan çevreye yayılmaktadır. Bunlar genel olarak aşağıdaki başlıklar altında toplanabilirler;

- Üretim faaliyetinin bir sonucu olarak birincil ve ikincil üretimin çeşitli aşamaları,
- Kullanımları sırasında veya sonrasında başta hastaneler olmak üzere çeşitli sağlık tesisleri, besi çiftlikleri, evler,
- Kullanılmamış veya son kullanma tarihi geçmiş ilaçların kontrolsüz şekilde elden çıkarılmaları [5,6].

Günümüzde farmasötik endüstrisi yıllık üretimleri yüzlerce tonu aşan yaklaşık 4000 farklı aktif farmasötik bileşenle faaliyet göstermektedir [6,10]. Endüstrinin sahip olduğu bu geniş kimyasal girdi profili, farmasötik kirleticiler ve onların toprak, hava, su ortamlarındaki hareketleri, davranışları, etkileri, enzimatik metabolizma süreçleri, akıbetleri hakkındaki belirsizliklerle birlikte değerlendirildiğinde, sorunun boyutlarını ortaya koymaktadır. Bugüne kadar yapılan

çalışmalarla sucul ekosistemde 600'den fazla aktif farmasötik bileşenin varlığı tespit edilmiştir [15]. Su ortamlarında ng- $\mu$ g/L aralığında bulunan bu mikro kirleticiler, tüm yaşam formları için ciddi bir tehdit oluşturmaktadır [15,16].

Yeraltı veya yüzey suları başta olmak üzere doğal çevreye farmasötik kirleticilerin büyük ölçüde atıksularla ulaştığı bilinmektedir. Farmasötik endüstrisi atıksuları en yüksek kirletici konsantrasyonuna sahip atıksular olarak, bu kirlilikten birinci derecede sorumlu sulardır. Proses atıksularını, ikinci en yüksek konsantrasyonda buldukları evsel atıksular izlemektedir. Bu durum ilaçların çoğunlukla vücuttan farmakokinetik süreçler sonucunda metabolitlerine dönüşerek ya da değişmeden atılmasından kaynaklanmaktadır. Ancak artan veya tarihi geçen ilaçların, tüketiciler tarafından doğrudan atıksu kanallarına boşaltılması da evsel atıksuların kirlilik yükünü arttırmaktadır. Bunların yanı sıra farmasötik kirleticilerin taşınması ile ilgili en önemli atıksu formu arıtma tesisi çıkış sularıdır [4,6]. Geleneksel atıksu arıtma tesisleri çoğunlukla makro kirleticilerin giderimi esas alınarak tasarlanmaktadır. Bu nedenle mevcut arıtma tesisleri biyolojik olarak aktif, suda yüksek çözünürlüğe sahip, biyolojik parçalanmaya dirençli, atıksu ortamında stabil kompleksler oluşturabilen, birden fazla iyonizasyon bölgesi ile iyonlaşabilen ve kimyasal açıdan karmaşık yapıya maddeler olan farmasötik kirleticilerin gideriminde etkisiz kalmaktadır [5,17,18]. Son yıllarda gerek gelişmiş gerekse gelişmekte olan ülkeler için arıtma tesisi çıkış sularının tarımsal sulamada kullanılması özellikle su kıtlığı olan bölgelerde giderek daha fazla kabul görmeye başlayan bir uygulamadır. Küresel su tüketiminin yaklaşık %70'ine karşılık gelen sulama suyu ihtiyacı, tarımsal üretimin sürdürülebilirliği için arıtma tesisi çıkış sularının sulamada kullanılmasının desteklenmesine neden olmaktadır. Dünya genelinde evsel atıksu arıtma tesisi çıkış sularının %1,6-6,3'ünün tarımsal sulamada kullanıldığı, küresel nüfusun %10'dan fazlasının atıksularla sulanmış tarım ürünlerini tükettiği bildirilmektedir [6,19]. Tarım alanlarının arıtılmış atıksularla sulanması veya arıtma çamurları ve biyo-katıların toprakta kullanılması ile ilgili uygulamalar temel olarak, farmasötik kirleticilerin toprak ve su kaynaklarına aktarımını sağlamaktadır. Kirlenmiş toprakta yetişen bitkiler kökleri vasıtasıyla bu maddeleri alarak, dokularında depolamaktadır. Böylelikle biyolojik birikime uğrayan ve besin zincirine giren farmasötikler, biyoaktif yapıları nedeniyle ulaştıkları çoğu biyolojik sistemde bozucu etkiler göstermektedir [6,16,19]. Literatürde kimyasal yapıları, farmakolojik etkileri, hedef sistemleri ve etki mekanizmalarına bağlı olarak farmasötiklerin, buldukları ortamda yaşayan canlıların endokrin sistemlerini bozarak diyabet, obezite, üreme bozuklukları ve kansere yol açabildikleri, hormonlarını taklit ederek biyolojik işlevlere müdahale edebildikleri, DNA'larına zarar verdikleri, hücrelerin yenilenmesini engelledikleri ve diğer organik kirleticilerle sinerjik toksik etkiler oluşturabildikleri ifade edilmektedir [6,16].

Farmasötik kirleticilerin insan ve çevre sağlığı üzerindeki potansiyel zararlı etkileri, bu kompleks bileşiklerin yapısal özelliklerinin yanında vücutta geçirdikleri süreçler ve yapısal değişimlerle birlikte değerlendirilmelidir. Genel olarak farmasötikler vücuda uygulandıktan sonra emilim (absorpsiyon), dağılım (distribüsyon), metabolizma

(biyotransformasyon) ve atılım (eliminasyon) olmak üzere bazı aşamalardan geçmektedir. Vücut sisteminin özelliklerinden de yoğun şekilde etkilenen bu aşamalardan emilim, bir ilacın uygulama yerinden dolaşım sistemine geçene kadar ki sürecini ifade etmektedir. Bu süreçte ilaçların sistemik dolaşıma ulaşma oranları önemli bir farmakokinetik özellik olarak ilaca ve uygulama şekline bağlıdır. Dağılım, ilacın kan dolaşımı yoluyla vücuda yayılması, doku ve organlara ulaşmasıdır. İlacın polaritesi, boyutu ve bağlanma yetenekleri süreç üzerinde etkilidir. Metabolizma, ilacın vücut tarafından daha kolay atılabilir formlara dönüştürülmesi için kimyasal yapısının değiştirilmesidir. Genel olarak lipofilik bileşiklerin hidrofilik metabolitlere dönüştürülmesi için iki temel süreçle ifade edilmektedir:

- Faz I reaksiyonları, farmasötiklerin oksidasyon, indirgenme ve hidroliz yoluyla kimyasal yapılarında değişiklik yaparak daha küçük ve suda daha yüksek çözünürlüğe sahip metabolitlerine dönüşmesini sağlamaktadır.
- Faz II reaksiyonları, vücuttan atılımı kolaylaştırmak için ana bileşik veya faz I metabolitine glukoronik asit, sülfat ve glutatyon gibi suda çözünen bir endojen molekülünün bağlanması ile gerçekleşmektedir.

Metabolizma aşaması farmasötiklerin kimyasal yapısı ve farmakokinetik özelliklerine doğrudan bağlıdır. Bu nedenle bazı farmasötikler hiç metabolize olmadan vücuttan atılabilirken, bazıları kısmen ya da tamamen metabolize olarak aktif ve inaktif metabolitlere dönüşebilmektedirler. Atılım ise, doğrudan ilacın kendisi ve metabolitleri da dahil olmak üzere ilaçla ilgili tüm maddelerin vücuttan atılarak, temizlendiği süreci tanımlamaktadır [20,21].

Farmasötik kirlilik, farmasötiklerin kendileri, vücutta biyotransformasyon sonucu oluşan metabolitleri ve atılım sonrasında doğal çevre veya arıtma tesislerinde biyotik ya da abiyotik süreçlerle meydana gelen dönüşüm ürünleri kaynaklı tüm kirlilik kategorilerini kapsamaktadır. Yapılan çalışmalar metabolit veya dönüşüm ürünlerinin fizikokimyasal, farmakolojik ve toksikolojik özelliklerinin genellikle orijinal farmasötikten farklılaştığını göstermektedir. Bu durum farmasötiklerin, metabolit ve dönüşüm ürünlerinin kirlenici olarak bakteriler, mantarlar, hedef alınan veya alınmayan yüksek canlılar üzerindeki etkilerinin, kalıcılıklarının ve içinde buldukları ortam şartlarının birlikte değerlendirilmesini gerektirmektedir [10].

Farmasötik kirleniciler açısından en önemli ortamlardan birisi su yollarıdır. Bu alanlarda tespit edilen farmasötikler başta anti-inflamatuarlar ve analjezikler ile antibiyotikler olmak üzere, anti-epileptikler, lipid düşürücü ajanlar, antihistaminikler,  $\beta$ -blokerler olarak gruplandırılmaktadır.

Antibiyotikler tüm farmasötik grupları içerisinde en çok talep edilen ve tüketilen reçeteli ilaçlardır. Son yıllarda tüketimlerinin %30 oranında arttığı bildirilen antimikrobiyal ilaçlar, bakteri ve mantar gibi mikroorganizmalardan kaynaklanan hastalıkların önlenmesi veya tedavisi amacıyla insan ve hayvanlarda kullanılmaktadır [6]. Besi hayvancılığı, su ürünleri yetiştiriciliği, arıcılık, meyve yetiştiriciliği gibi oldukça geniş kullanım alanına sahip olan bu ilaçlar, kimyasal

yapıları ve inhibisyon mekanizmalarına göre sınıflandırılmaktadır [10]. Farklı coğrafyalarda tüketim alışkanlıkları, sosyoekonomik koşullar, su kullanım düzeni ve iklime bağlı olarak değişimle birlikte sefalosporinler, kinolonlar, makrolidler, tetrasiklinler, penisilinler, linkomisinler ve sülfonamidler en yaygın kullanılan antibiyotiklerdir [6,16]. Genel olarak Asya ve Afrika ülkelerinin arıtma tesislerinde tespit edilen ortalama antibiyotik konsantrasyonları, bu bölgelerdeki tüketimlerine paralel olarak Avrupa ve Kuzey Amerika'ya göre çok daha yüksek olmaktadır [16]. Geline nokta yüksek antibiyotik tüketimi, insanların kullandığı antibiyotiklerin %70-90'ının vücutta herhangi bir değişikliğe uğramadan atıldıkları gerçeği ve gelişmesi muhtemel antibiyotik direnci nedeniyle küresel bir halk sağlığı problemi haline gelmiştir [6,16,22].

Anti-inflamatuarlar ve analjezikler atıksularda bulunan bir diğer önemli farmasötik gruplarından. Vücutta iltihap ve ağrıya karşı kullanılan anti-inflamatuarlar steroid ve steroid olmayan anti-inflamatuarlar olarak ayrılmaktadır. Diklofenak, ibuprofen, naproksen en yaygın kullanım alanı bulan anti-inflamatuar ilaçlardır. Dünya genelinde steroid olmayan anti-inflamatuar ilaçların günde 30 milyon dozun üstünde tüketildiği bildirilmektedir. Parasetamol, ibuprofen yine ağrı kesici olarak en çok tüketilen analjeziklerdir [6,13]. Yapılan çalışmalar analjeziklerin atıksu arıtma tesislerindeki ortalama konsantrasyonlarının Asya ve Kuzey Amerika'da sırasıyla 4  $\mu\text{g/L}$  ve 5.7  $\mu\text{g/L}$  seviyelerinde iken Afrika ve Avrupa'da kullanıma bağlı olarak sırasıyla 39  $\mu\text{g/L}$  43  $\mu\text{g/L}$  seviyelerine çıktığını göstermektedir [6,16]. Farmasötik kirliliğin gelinen noktada boyutlarını gösteren tüm bu çalışmalar aynı zamanda sektörel sürdürülebilirlik için çevresel sürdürülebilirliğin anlamını ve önemini de açıkça ortaya koymaktadır. Bu nedenle sürdürülebilirlik çalışmalarının odağında yeşil üretimin teşvik edilmesi, yeşil tedarik zincirleri, biyolojik esaslı farmasötik üretimi, farmasötik tasarımında erken klinik öncesi aşamaların detaylı değerlendirilmesi, aşırı ilaç kullanımı ile mücadele, ilaçlara ulaşım ve reçete sistemleri ile ilgili düzenlemeler ve atıksu arıtma teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik araştırmalar yer almaktadır [23].

#### 4. Sonuçlar

Farmasötikler genel anlamda kimyasal yapıları, hedef sistemleri, faaliyet alanları, etki mekanizmaları, fizikokimyasal özelliklerine göre farklılık gösteren bir kimyasal madde sınıfıdır. Bu kimyasallar vücuda verildikten sonra bir dizi aşamadan geçerek kısmen veya tamamen metabolize olarak veya hiç değişmeden vücuttan atılırlar. Günümüzde her geçen gün artan tüketim miktarlarına bağlı olarak farmasötiklerin doğrudan kendileri, metabolize olmuş formları veya dönüşüm ürünleri hemen hemen tüm çevresel alanlarda tespit edilmektedir. Su ortamları başta olmak üzere doğal çevreye farmasötik kirlenicilerin taşınımı büyük ölçüde atıksular vasıtasıyla olmaktadır. Bunun başlıca nedeni geleneksel atıksu arıtma tesislerinin farmasötik kirlenicilerin gideriminde yetersiz kalmasıdır. Bunun yanı sıra son yıllarda özellikle kurak bölgelerde arıtma tesisi çıkış sularının tarımsal sulamada kullanılmasına yönelik giderek artan uygulamalar sorunu başka bir boyuta taşımaktadır.

## Yazar Katkısı

Araştırma - Beste Nur Karakaya (BNK) ve Tuba Öztürk (TÖ);  
Literatür taraması – TÖ; Yazan – TÖ; İnceleme ve düzenleme –TÖ.

## Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve/veya yayınlanması ile ilgili olarak herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemiştir.

## Kaynaklar

- [1] Virtue, T., & Rainey, J. (2015). *HCISPP study guide*. Elsevier.
- [2] Sapra, R., & Dhaliwal, P. (2021). A blockchain solution for the privacy of patients' medical data. In *Machine Learning, Big Data, and IoT for Medical Informatics* (pp. 327-347). Academic Press.
- [3] OECD. (2023). *Health at a glance 2023: OECD indicators*. OECD Publishing.
- [4] Chen, Z., Lian, J. Z., Zhu, H., Zhang, J., Zhang, Y., Xiang, X., Huang, D., Tjokkro, K., Barbarossa, V., Cucurachi, S., & Dong, B. (2024). Application of life cycle assesment in the pharmaceutical industry: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 459, 142550.
- [5] Etit, D., Meramo, S., Ögmundarson, O., Jensen, M. K., & Sukumara, S. (2024). Can biotechnology lead the way toward a sustainable pharmaceutical industry? *Current Opinion in Biotechnology*, 87, 103100.
- [6] Mosharaf, M. K., Gomes, R. L., Cook, S., Alam, M. S., & Rasmussen, A. (2024). Wastewater reuse and pharmaceutical pollution in agriculture: Uptake, transport, accumulation and metabolism of pharmaceutical pollutants within plants. *Chemosphere*, 364, 143055.
- [7] Xu, M., Liu, X., & Li, O. (2024). Can intelligent manufacturing drive green development in China's pharmaceutical industry?-Evidence from listed enterprises. *Energy*, 308, 132953.
- [8] World Bank Group. (2007). *Environmental, health, and safety guidelines for pharmaceuticals and biotechnology manufacturing*. International Finance Corporation.
- [9] Menezes, J., Ferreira, A. P., Rodrigues, L. O., Bras, L. P., Alves, T. P., Chemometrics role within the PAT Context: Examples from primary pharmaceutical manufacturing, In: *Comprehensive chemometrics*, S. D. Brown, R. T. Tauler, B. Walczak (eds), Elsevier, pp. 313-355, 2009.
- [10] Kümmerer, K., Parent compounds, metabolites and transformation products, In: *Pharmaceuticals in the environment sources, fate, effect and risks*, K. Kümmerer (eds), Springer, pp. 3-21, 2008.
- [11] Kumar, V., Bansal, V., Madhavan A., Kumar, M., & Sindhu, R. (2022). Activated pharmaceutical ingredient (API) chemicals: a crical review of current biotechnological

approach. *Bioengineered*, 13(2), 4309-4327.

- [12] Sarantopoulos, P. D., Cognac, H., Altiok, T., & Elsayed, E. A. (1995). Trends and perspectives manufacturing in the pharmaceutical industry. *Journal of Manufacturing Systems*, 14(6), 452-467.
- [13] Hejaz, H. A., Karaman, R., Drug overview, In: *Commonly used drug -uses, side effects, bioavailability and approaches to improve it*, R. Karaman (eds), Nova Science Publishers, New York, pp. 1-38, 2015.
- [14] FD&C Act. (2018). *Food and drugs: Federal Food, Drug, and Cosmetic Act. Sec. 321*. U.S. Food & Drug Administration.
- [15] Ghazal, H., Koumaki, E., Hoslett, J., Malamis, S., Katsou, E., Barcelo, D., & Jouhara, H. (2022). Insights into current physical, chemical and hybrid Technologies used for the treatment of wastewater contaminated with pharmaceuticals. *Journal of Cleaner Production*, 361, 132079.
- [16] Majumder, A. Gupta, B., & Gupta, A. K. (2019). Pharmaceutically active compounds in aqueous environment: A status, toxicity and insights of remediation. *Environmental Research*, 176, 108542.
- [17] Cunningham, V. L., Special characteristics of pharmaceuticals related to environmental fate, In: *Pharmaceuticals in the environment sources, fate, effect and risks*, K. Kümmerer (eds), Springer, pp. 23-34, 2008.
- [18] Hosse, M. A., Sattar, G. S., & Mostafa, M. G. (2024). Factors affecting the performance of a pharmaceutical wastewater treatment plant: Characterization of effluent and environmental risk. *Heliyon*, 10, e29165.
- [19] Mishra, A., Kumar, R., & Kumar, M. (2023). Use of treatment sewage or wastewater as an irrigation water for agricultural purposes- Environmental, health, and economic impacts. *Total Environmental Research Themes*, 6, 100051.
- [20] Benedetti, M. S., Whomsley, R., Poggesi, I., Cawello, W., Mathy, F. X., Delporte, M. L., Papeleu, P., & Watelet, J. B. (2009). Drug metabolism and pharmacokinetics. *Drug metabolism Review*, 41(3), 344-390.
- [21] Bereda, G. (2022). What the body does to a drug: Pharmacokinetics. *Journal Clinical Endocrinology and Metabolism*, 1(2), 1-9.
- [22] Gildemeister, D., Moermond, C. T. A., Berg, C., Bergstrom, U., Bielska, L., Evandri, M. G., Franceschin, M., & Kolar, B. (2023). Improving the regulatory environmental risk assessment of human pharmaceuticals: Required changes in the new legislation. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 142, 105437.
- [23] Riikonen, A., Timonen, J. & Sikanen, T. (2024). Environmental considerations along the life cycle of pharmaceuticals: Interview study on views rearding environmental challenges, concerns, strategies, and prospects within the pharmaceutical industry. *European Journal of Pharmaceutical Science*, 196, 106743.

## Araştırma Makalesi

# Hamzadere Barajının Geoteknik İncelemesi

Ertuğrul Ordu<sup>1,\*</sup> , Mustafa Yıldırım<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> İnşaat Mühendisliği, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ, Türkiye, 59850

<sup>2</sup> İnşaat Mühendisliği, İnşaat Fakültesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 34220

<sup>1</sup>[eordu@nku.edu.tr](mailto:eordu@nku.edu.tr), <sup>2</sup>[yildir@yildiz.edu.tr](mailto:yildir@yildiz.edu.tr)

Geliş: 06.12.2024

Kabul: 17.12.2024

DOI: 10.55581/ejeas.1597255

**Öz.** Bu çalışmada, homojen toprak dolgu tipinde tasarlanan Hamzadere Barajı'nın jeolojik özellikleri incelenmiştir. Baraj gövdesini oluşturacak dolgu malzemesinin geoteknik açıdan uygunluğu çeşitli deneylerle araştırılmıştır. Bu kapsamda malzeme alanı olarak iki yer belirlenmiştir ve zeminlerin özelliklerini belirlemek amacıyla testler yapılmıştır. Toprak dolgu barajlar, önemli mühendislik projeleri olup büyük yatırım gerektiren yapılardır. Bu tür projelerde, ön incelemelerin yapılması, hem ekonomik verimlilik hem de yapı güvenliği açısından kritik bir rol oynamaktadır. Yanlış baraj yeri seçimi ve inşaat aşamasında uygun şekilde tasarlanmayan kil çekirdekleri, birçok mühendislik sorununa yol açabilir. Bu tür problemler, inşaat sürecinde veya barajın ömrü boyunca etkili olabilecek ciddi riskler oluşturabilmektedir. Bu yüzden yapılan bu çalışmayla, dolgu baraj inşasında zemin etütlerinin önemi gösterilmek istenmiştir. Bu çalışmayla Hamzadere Barajının mühendislik jeolojisine değinilmekte, dolgu sahalarından alınan malzemeler üzerinde yapılan deneysel çalışmalar anlatılmakta ve sonuçları belirtilmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Baraj, Baraj göçmesi, Dolgu barajların tasarım esasları, Toprak dolgu baraj, Zemin etüdü.

## Geotechnical Investigation of Hamzadere Dam

**Abstract:** In this study, the geological characteristics of the Hamzadere Dam, designed as a homogeneous earth fill type, were examined. The geotechnical suitability of the fill material that will form the dam body was investigated through various tests. In this context, two locations were identified as material areas, and tests were conducted to determine the properties of the soils. Earth fill dams are significant engineering projects that require substantial investment. In such projects, preliminary investigations play a critical role in both economic efficiency and structural safety. Incorrect dam site selection and improperly designed clay cores during the construction phase can lead to numerous engineering problems. These issues can pose serious risks that may affect the construction process or the lifespan of the dam. Therefore, this study aims to demonstrate the importance of soil investigations in the construction of earth fill dams. This study addresses the engineering geology of the Hamzadere Dam, describes the experimental studies conducted on materials taken from the fill sites, and presents the results.

**Keywords:** Dam, Dam failure, Design principles of embankment dams, Earthfill dam, Soil investigation.

## 1. Giriş

Barajlar, su kaynaklarının yönetimi, tarımsal sulama, içme ve kullanma suyu temini, enerji üretimi, taşkın kontrolü gibi birçok avantaj sunan önemli mühendislik yapılarıdır. Barajların güvenli, maliyet açısından etkin, çevresel açıdan uygun ve deprem dayanımı yüksek olan yapılar olarak inşa

edilmesi, kurulacak alanlarda doğal yaşamın korunmasına yönelik tasarım ilkelerine uyulması büyük önem taşımaktadır. Barajların yapımı esnasında, yerel topoğrafya, jeoloji ve meteoroloji koşullarının detaylı bir şekilde araştırılması önemlidir. Bu değerlendirmeler, zemin etütleri ile güçlendirilmelidir ve temelin uygunluğunun belirlenmesi için geoteknik ve jeofizik etütler yapılmalıdır [1, 2]. Baraj

\*Sorumlu yazar

E-posta adresi: [eordu@nku.edu.tr](mailto:eordu@nku.edu.tr) (E. Ordu)

gövdesinde tercih edilen malzemenin kalitesi ve uygunluğu, barajın uzun ömürlü olması ve performansını doğrudan etkileyen unsurlar arasında bulunmaktadır [3, 4].

Baraj mühendisliği, modern altyapı projelerinin en önemli ve dikkatli çalışma alanlarından birini temsil etmektedir. Barajların güvenli, sürdürülebilir ve çevreye duyarlı bir şekilde inşa edilmesi, ulusal su yönetimi stratejilerinin önemli bir parçasını oluşturur. Bu çerçevede, zemin mekaniği ve geoteknik özelliklerin kapsamlı incelenmesi, barajın etkinliği ve emniyeti açısından kritik bir faktördür [5, 6].

Toprak dolgu barajları, dünya genelinde en yaygın baraj türlerinden biridir ve Türkiye'de de barajların %71'ini oluşturmaktadır [7]. Bu barajların güvenli bir şekilde inşa edilmesi, zemin özelliklerinin doğru bir şekilde analiz edilmesi ile mümkün olmaktadır. Zemin etütleri, barajların stabilitesini ve performansını etkileyen en kritik unsurlardandır [8, 9]. Dolayısıyla, zemin özelliklerinin detaylı bir şekilde incelenmesi, barajların güvenli inşası için temel bir gereklilik olarak ortaya çıkmaktadır.

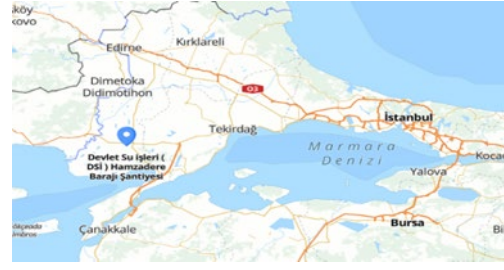
Baraj güvenliği açısından kritik risk faktörleri detaylı olarak incelendiğinde, yapısal bütünlüğü tehdit eden unsurlar net bir şekilde görülmektedir. Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu (ICOLD) tarafından 1973 yılında yayımlanan bir rapora göre, baraj yıkılmalarının %38'i dolusavak kapasitesinin yetersizliği nedeniyle suyun barajı aşması veya aşırı yağışlardan kaynaklanan su baskınları sonucu gerçekleşmektedir [10]. Yıkılan barajların %33'ü ise borulama veya sızmalar nedeniyle yıkılmaktadır [11, 12]. Diğer yandan, yıkılmaların %23'lük kısmı temel problemleri, heyelanlar, şev kaymaları ve deprem gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır [13-16].

Tarihsel örnekler, geoteknik parametrelerin önemini açıkça ortaya koymaktadır. 71 metre yüksekliğindeki Gouhou Barajı içsel erozyon nedeniyle çökmüş, 93 metre yüksekliğindeki Teton Barajı ise borulama sonucu yıkılmıştır. Bu vakalar, sadece Teton Barajı örneğinde bile 200'den fazla aileyi etkilemiş ve maddi zararları 400 milyon ile 1 milyar dolar arasında değişen sonuçlar doğurmuştur [17]. Bu olaylar, barajların güvenliğini sağlamak için gerekli olan geoteknik incelemelerin önemini bir kez daha gözler önüne sermektedir [18-20].

Modern baraj mühendisliği, zeminin detaylı geoteknik karakterizasyonunu gerektirmektedir. Bu süreç;

- Topoğrafik analizler
- Jeolojik etütler
- Meteorolojik değerlendirmeler
- Sismik risk incelemeleri
- Malzeme özellikleri testlerini kapsamaktadır [21].

Hamzadere Barajı, Edirne İli İpsala İlçesi'nin 29 km güneyinde, Koyuntepe Köyü'nün doğusunda yer almaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. İnceleme alanının haritası

İnceleme alanı, mevcut litolojik koşullardan kaynaklanan az engebeli bir topografyada konumlanmakta ve çevresindeki dağlar ile birlikte doğal bir koruma sağlamaktadır [22]. Bölgenin jeolojik yapısı, Kırklareli kireçtaşı, Korudağ Keşan, Yenimuhacir, Danişmen formasyonları ve Hisarlıdağ volkanitleri ile karakterize edilmektedir. Üst katmanlarda alüvyon birikimi gözlenmektedir [23]. Bu jeolojik çeşitlilik, baraj inşaat sürecinde detaylı zemin etütlerini zorunlu kılmaktadır. Hamzadere Barajı, 47.7 metre gövde yüksekliği ve 210 milyon m<sup>3</sup> su depolama hacmi ile 273.350 dekar tarım arazisini sulayarak bölgesel tarımsal üretkenliği arttırmaktadır [24-25].

Baraj gövdesinde kullanılan dolgu malzemelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, hem yapının stabilitesi hem de uzun dönemli performansı açısından kritik bir öneme sahiptir. Hamzadere Barajı'nın geoteknik özellikleri ve malzeme analizi, bu çalışmanın temel odak noktası olacaktır. Bu bağlamda, laboratuvar çalışmaları ve yerinde incelemelerle baraj temeli ve dolgu malzemelerinin uygunluğu değerlendirilmiştir. Çalışma, Hamzadere Barajı'nın geoteknik performansına katkı sağlamak amacıyla yapılan kapsamlı bir araştırmayı sunmaktadır.

## 2. Materyal ve Metot

Hamzadere barajı gövdesinde kullanılan dolgu malzemelerinin özelliklerinin belirlenmesi amacıyla laboratuvarda deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu doğrultuda dane çapı dağılımı, kıvam limitleri, özgül ağırlık, permeabilite, geçirimsizlik, kompaksiyon, kayma mukavemeti, serbest basınç, sıkışabilirlik, şişme parametreleri testleri yapılmıştır.

Dane çapı dağılımı, zeminler hakkında genel bir değerlendirme yapmayı sağlar. Bu dağılım, zeminlerin su geçirgenliği, sıkışabilirliği, dayanıklılığı gibi çeşitli özelliklerinin belirlenmesinde yardımcı olur. Dolgu malzemelerinin dane çapları açısından sınıflandırılması için ilk aşamada 200 numaralı elekten ıslak eleme işlemi uygulanmıştır. Elek üzerinde kalan malzeme, kurutulup elenerek daneler birbirinden ayrılmıştır. 200 numaralı elekten geçen parçacıklar ise, süspansiyon haline getirilerek hidrometre deneyi yapılmıştır. İnce taneli zeminlerdeki su içeriği, zeminin mühendislik özellikleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Özellikle killi zeminlerde su miktarı artırılarak, zeminin kıvamı katıdan akışkan bir hale getirilebilir. Kohezyonlu zeminlerde, suyun artışı ile birlikte, tanecikler arasındaki bağlar zayıflar ve bu durum zeminin sıvı gibi davranma eğilimini artırır. Bu değişim, zeminin mukavemet, sıkışma ve yük altında deformasyon gibi mühendislik özelliklerinde önemli değişikliklere yol açabilir [26]. Killerin



kıvamında su muhtevasına bağlı olarak meydana gelen değişimleri deneysel olarak belirleyebilmek için kıvam limitleri tanımlanmıştır [27]. Kıvam limitleri, ince daneli zeminlerin değişik su muhtevalarındaki mukavemetlerinin bir göstergesidir [28]. Zeminlerin doğal su içeriği ile kıvam limitlerinin karşılaştırılması, zeminlerin gerilme geçmişi hakkında fikir verir. Eğer bir zeminin doğal su içeriği plastik limit (PL) seviyelerine yakınsa, bu, zemin için aşırı konsolide olduğunu gösterir. Öte yandan, likit limit (LL) değerine yakın bir su içeriği ise zemin için normal konsolide bir durumun göstergesidir [29]. Kıvam limitleri, zeminlerin plastisite düzeylerine göre sınıflandırılmasına olanak tanır. Ayrıca, bu limitler zeminlerin su geçirgenlik özelliklerini, çeşitli inşaat uygulamaları için uygunluklarını, yük altındaki sıkışma ve şişme potansiyellerini değerlendirmek için önemli ön bilgiler sunar [30].

Permeabilite, kohezyonlu zeminlerde sızma, oturma ve stabilite gibi önemli zemin mühendisliği problemleriyle doğrudan ilişkilidir ve zeminin temel parametrelerinden biridir. Özellikle dolgu barajlarında iç kısımlardan veya temellerden sızan sular, yapıdaki çökmeler, konsolidasyon sonrası dolgularda meydana gelen mukavemet artışları gibi pek çok sorunda permeabilite kritik bir rol oynamaktadır [31]. Baraj dolgusunda kullanılacak malzemeler kohezyonlu zemin olduklarından laboratuvarında bunların permeabilite katsayılarının bulunmasında, düşen seviyeli permeabilite deneyi yapılmıştır.

Zeminler, genellikle İnşaat Mühendisliği açısından doğrudan kullanım için uygun olmayabilir. Bu nedenle, temel zemini veya baraj gibi yapılarda dolgu malzemesi olarak kullanılacak zeminlerin özelliklerinin iyileştirilmesi gerekmektedir [32]. Bu amaçla, zeminlerin mühendislik özelliklerini iyileştirmek için kullanılan yöntemlerden biri de kompaksiyondur. Kompaksiyon, zemindeki tanelerin birbirlerine yaklaşmasını sağlayarak, aralarındaki boşlukların azalmasına yol açan bir işlemdir. Dolgu malzemelerinin kompaksiyonu için gerekli optimum su muhtevaları Standart Proktor Deneyi ile bulunmuştur.

Zeminlerin kayma direncini ölçmek amacıyla yapılan kesme kutusu deneyinde, numune üzerine belirli bir normal gerilme uygulanır. Bu sayede, zemin kesilmeden önce konsolide olabilmekte ve kesme işlemi sırasında normal gerilmeler kontrol altında tutulabilmektedir. Optimum su muhtevalarının %2 ıslak tarafında Standart Proktor aletiyle 3 tabaka halinde

sıkıştırılarak hazırlanan deney malzemelerinde kesme kutusu deneyi yapılmıştır.

Serbest basınç deneyinde dolgu malzemelerinden Standart Proktor kalıbında üç tabaka halinde optimum, optimumun %2 ıslak ve %2 kuru tarafında 2 tekrarlı olarak hazırlanmış numuneler üzerinde yapılmıştır. Hazırlanan numuneler, biri sabit diğeri düşey yönde hareket ettirilebilen iki plaka arasına yerleştirilerek aksel yönde düşey olarak yüklemeye tabi tutulmuştur. Drenaj koşullarının çok iyi kontrol edilebilme olanağı bulunan ve en çok kullanılan bir laboratuvar deneyi olan Üç eksensli basınç deneyi de yapılmıştır.

Hamzadere Dolgu barajının inşasında dolgu malzemesi olarak kullanılan zeminlerin değişik su muhtevaları ve farklı basınçların sonrasında meydana gelecek oturmaların incelenmesi ve inşaatın çeşitli aşamalarında ne kadar oturma yapacaklarının saptanması amacıyla standart ödometre (bir boyutlu konsolidasyon) deneyleri yapılmıştır. Bu deneyde numuneler optimum su muhtevasının %2 kuru tarafında, optimum su muhtevasında ve optimum su muhtevasının %2 ıslak tarafında Standart Proktor kabında sıkıştırılarak hazırlanmıştır.

Baraj gölünde su birikmeye başladıktan sonra, baraj gövdesinin altında bulunan, suya doymun olmayan yüksek plastisiteli siltli ve killi zeminler zamanla suya doymun hale gelir. Bu zeminler, su içeriğinin artmasıyla hacimsel olarak genişler ve buna bağlı olarak şişme basınçları oluşabilir. Baraj dolgusu bu tür zeminler üzerine inşa edildiğinde, dolgu altındaki bazı bölgeler kilin şişme özelliklerinden ötürü büyük kaldırma kuvvetlerine maruz kalabilir. Su etkisiyle oluşan şişme ve kabarmalar, baraj gölünden suyun kaçmasına yol açabilir. Ayrıca, farklı etmenlerin birleşmesiyle bazı dolgu barajlar işlevsiz hale gelebilir ya da ciddi hasarlara yol açarak yıkılabilir [31].

### 3. Bulgular

Dolgu malzemelerinin endeks özellikleri, standart laboratuvar deney sonuçlarına bağlı olarak Tablo 1'de verilmektedir. Dolgu malzemeleri ince daneli zeminlerden oluşmakta ve plastisite abağında A hattı üzerine rastlamaktadır. A dolgu malzemesi düşük plastisiteli inorganik ve killi siltler (ML), B dolgu malzemesi yüksek plastisiteli inorganik ve killi siltler (CH) grubu zeminlerden oluşmaktadır.

**Tablo 1** Dolgu Malzemelerinin Endeks Özellikleri

Malzeme	Çakıl (%)	Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)	Plastisite İndisi (%)	Rötre Limiti (%)	Lineer Rötre	Özgül Ağırlık (%)	Zemin Tanımlaması
A		15	67,20	8,90	17,2	17,1	14,68	2,59	ML
B		30	58,33	11,7	32	10,5	15,04	2,68	CH

Permeabilite değerleri A malzemesinde  $3.67 \times 10^{-7}$  cm/sn, B malzemesinde  $3.76 \times 10^{-8}$  cm/sn olduğu elde edilmiştir.

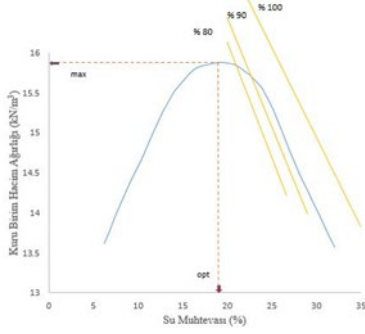
Kompaksiyon deney sonuçları A malzemesi için Şekil 2'de verilmiştir. Zeminlerdeki boşlukların hangi oranda su ile dolu olduklarını yansıtan, kayma direnci ve sıkışabilirlik gibi

önemli zemin özelliklerine etkiyen doymunluk derecelerinin bilinmesi, zemin özelliklerinin değerlendirilmesinde büyük faydalar sağlamaktadır. Doymunluk eğrileri, sıkışma eğrilerinin tepe noktalarında doymunluk durumunun öğrenilmesine yardımcı olmaktadır. Şekil 2'de aynı zamanda

bu dolgu malzemeleri suya doygunluk eğrileri de gösterilmektedir. Her iki malzeme için kompaksiyon deney sonuçları Tablo 2’de verilmiştir.

**Tablo 2** Kompaksiyon Deney Sonuçları

Malzeme	Max kuru birim hacim ağırlık (kN/m <sup>3</sup> )	Optimum su muhtevası (%)
A	15,85	19,20
B	15,27	20,50

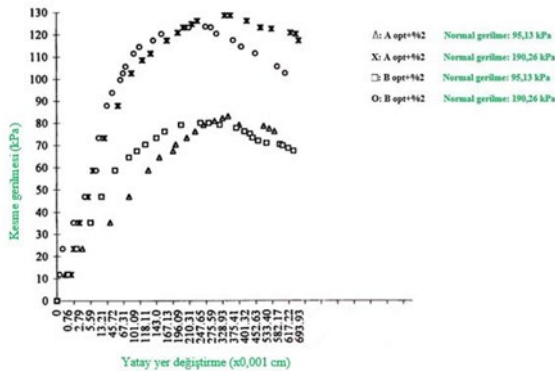


**Şekil 2.** A Malzemesi kompaksiyon deney sonuçları

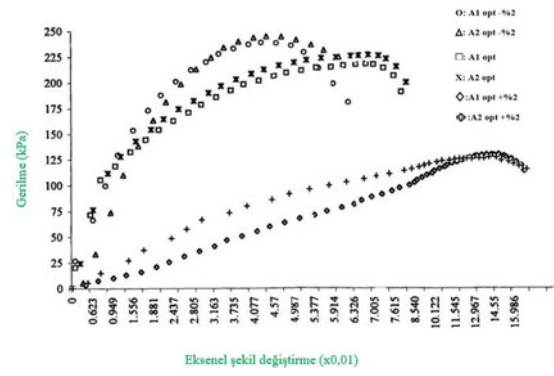
Kesme kutusu deneyi sonucunda Tablo 3’de verilen kayma mukavemeti parametreleri bulunmuştur. Kesme kuvveti ile meydana gelen yatay ve düşey yer değiştirmeler deformasyon saatlerinden ölçülerek kesme kuvvetinin yatay yer değiştirmelere göre değişimleri ve yatay yer değiştirmeler ve hacim değişimleri arasındaki ilişkiler Şekil 3 ve 4’de gösterilmiştir.

**Tablo 3** Kayma Mukavemeti Değerleri

Malzeme	Kohezyon (c <sub>cu</sub> , kPa)	İçsel Sürtünme Açısı (φ <sub>cu</sub> , °)
A- ω <sub>opt</sub> + %2	38,2	30
B- ω <sub>opt</sub> + %2	37,2	28,7



**Şekil 3.** Dolgu malzemelerinin kesme gerilme ve yatay yer değiştirmeleri

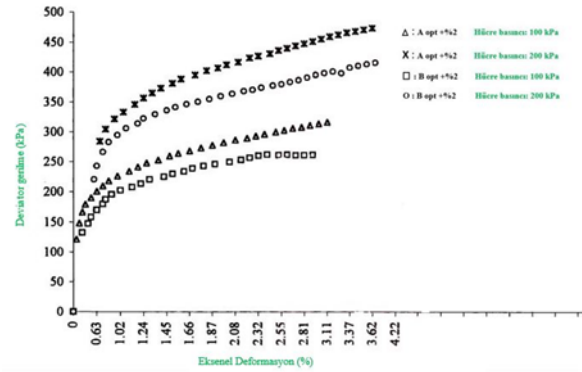


**Şekil 4.** Dolgu malzemelerin düşey ve yatay yer değiştirmeleri

Serbest basınç deneyi sonucunda, eksenel yük artışları altında meydana gelen boy kısaltmaları ölçülüp gerilme-şekil değiştirme eğrileri elde edilmiştir (Şekil 5). Eğrilerden elde edilen en büyük kayma direnci değerleri dolgu malzemelerin serbest basınç dirençleri olarak Tablo 4’de verilmektedir.

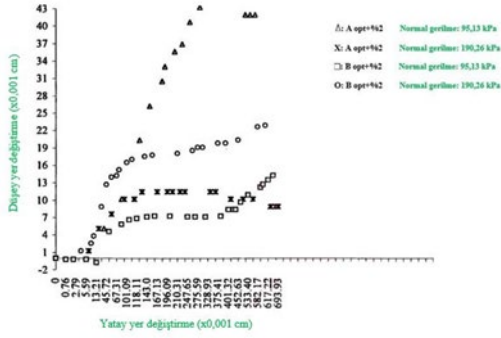
**Tablo 4** Dolgu Malzemelerin Serbest Basınç Dirençleri

Malzeme	Serbest Basınç Direnci (q <sub>cu</sub> , kPa)
A- ω <sub>opt</sub> - %2	241,47
A- ω <sub>opt</sub>	222,19
A- ω <sub>opt</sub> + %2	128,00
B- ω <sub>opt</sub> - %2	225,38
B- ω <sub>opt</sub>	186,77
B- ω <sub>opt</sub> + %2	154,44



**Şekil 5.** A Malzemesi serbest basınç deney sonuçları

Üç eksenli basınç deneyleri sonucunda belirlenen dolgu malzemelerinin kayma mukavemeti parametreleri Tablo 5’de verilmiştir. Şekil 6’da numunelerin deviator gerilme ile eksenel şekil değiştirmesi arasındaki ilişki gösterilmiştir.

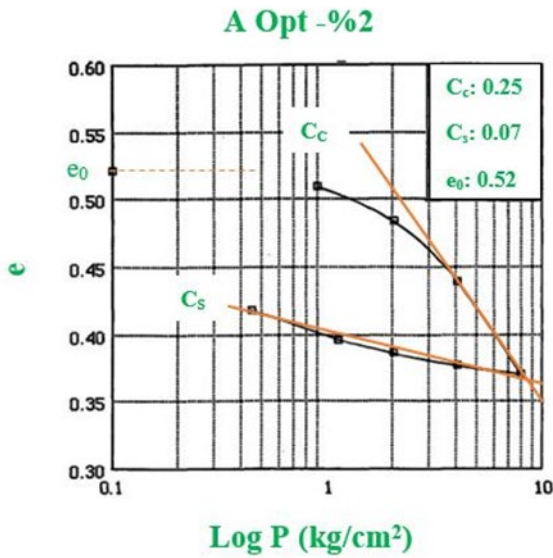


**Şekil 6.** Dolgu malzemelerin üç eksenlide aksenal deformasyon-deviator gerilme ilişkisi

**Tablo 5** Üç Eksenli Basınç Deneyinden Bulunan Kayma Mukavemeti Değerleri

Malzeme	Kohezyon ( $c_{cu}$ , kPa)	İçsel Sürtünme Açısı ( $\phi_{cu}$ , °)
A- $\omega_{opt} + \%2$	49,02	30
B- $\omega_{opt} + \%2$	38,46	28

Toplam 6 adet ödometre deneyinden elde edilen veriler değerlendirilerek belirlenen konsolidasyon deney sonuçları Tablo 6'da verilmiştir. Bu değerlere bağlı olarak konsolidasyon oturmasının hesaplanması açısından büyük önem taşıyan e-log P eğrileri çizilmiştir (Şekil 7).



**Şekil 7.** Optimum su muhtevasının %2 kuru tarafında sıkıştırılmış dolgu malzemelerin e-Log P eğrileri

Dolgu malzemelerinin şişme basınçlarını ve serbest şişmelerini elde etmek için tek eksenli konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. Optimum su muhtevasında (A ve B malzemeleri), optimum su muhtevasının kuru tarafında (B malzemesi) ve optimum su muhtevasının ıslak tarafında (B malzemesi) hazırlanan numuneler üzerinde deneyler yapılmıştır. Deney sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.

**Tablo 6** Hamzadere Barajı Dolgu Malzemelerinin Konsolidasyon Özellikleri

Malzeme	Şişme Parametreleri		Sıkıştırma İndisi ( $C_c$ )	Şişme İndisi ( $C_s$ )	Başlangıç Boşluk Oranı ( $e_0$ )
	Serbest Şişme (%)	Şişme Basıncı ( $kN/m^2$ )			
A- $\omega_{opt} - \%2$			0,25	0,07	0,52
A- $\omega_{opt}$		77,87	0,09	0,07	0,47
A- $\omega_{opt} + \%2$			0,15	0,07	0,61
B- $\omega_{opt} - \%2$	1,92		0,19	0,10	0,64
B- $\omega_{opt}$	1,20	80,91	0,20	0,09	0,58
B- $\omega_{opt} + \%2$	0,21		0,25	0,10	0,72

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışma, Hamzadere Barajı gövde dolgusunda kullanılacak zemin malzemelerinin geoteknik özelliklerini inceleyerek, dolgu barajı projelerinde zemin etütlerinin önemini vurgulamayı amaçlamaktadır. A ve B malzeme sahalarından alınan örselenmiş numuneler üzerinde laboratuvar deneyleri sonucunda elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir:

A dolgu malzemesi, yaygın, üniformluk katsayısı ( $C_u$ ) 10.56 ve derecelenme katsayısı ( $C_c$ ) 0.82 ile daha ince taneli ve düşük plastisiteli bir yapı sergilemektedir. Bu malzeme, Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sisteminde düşük plastisiteli inorganik siltler ve killi siltler (ML) grubuna girmektedir. Öte yandan, B dolgu malzemesi, yaygın, üniformluk katsayısı ( $C_u$ ) 90 ve derecelenme katsayısı ( $C_c$ ) 3.025 ile yüksek plastisiteli bir yapı göstermekte olup, yüksek plastisiteli inorganik siltler ve killi siltler (CH) grubuna dahil edilmektedir. A malzemesi %8.9, B malzemesi ise %11.67 oranında 200 numaralı elek altından oluşmaktadır.

Casagrande ve Konik Penetrometre yöntemleri ile elde edilen likit limit değerleri benzer sonuçlar vermekte, ancak Casagrande aleti ile bulunan değerler A malzemesi için %1.03 ve B malzemesi için %1.72 daha büyük çıkmaktadır. Kompaksiyon deneyleri sonucunda, A malzemesinin optimum su muhtevasına karşılık gelen doygunluk derecesi %82.5, B malzemesinin ise %80 olarak belirlenmiştir. Her iki malzemenin kompaksiyon eğrisi %100 doygunluk eğrisini kesmemekte, bu da dolgu malzemelerinin sıkıştırılması sırasında boşluklardaki su ve hava karışımının tamamen dışarı atılmasının mümkün olmadığını göstermektedir.

Optimum su muhtevalarında sıkıştırılan malzemelerin geçirgenlikleri üzerinde yapılan deneylerde, A malzemesinde  $3.67 \times 10^{-7}$  cm/sn, B malzemesinde ise  $3.76 \times 10^{-8}$  cm/sn olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar, A malzemesinin geçirimsizliğinin çok düşük, B malzemesinin ise pratik olarak geçirimsiz olduğunu ortaya koymaktadır. Permeabilite katsayılarının dikkate alınmasıyla, A malzemesinin mansap, B malzemesinin ise memba kısmına yerleştirilmesi, baraj gövde dolgusunun düşük permeabilite değerine sahip olmasını sağlayacaktır.

Serbest basınç deneyleri, sıkıştırma su muhtevasının optimum, optimumun ıslak ve kuru tarafında uygulandığında, malzemelerin su muhtevaları arttıkça serbest basınç

mukavemet değerlerinin azaldığını ve eksenel şekil değiştirmenin arttığını göstermektedir. Kompaksiyon eğrilerinin kuru tarafında sıkıştırılan numuneler, ıslak tarafta sıkıştırılanlardan daha yüksek drenajsız kayma mukavemeti değerlerine sahip olmaktadır. Bu durum, malzemelerin serbest basınç mukavemetlerinin kompaksiyon su muhtevaları ile doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır.

Üç eksenli deneyler sonucunda, her iki numunede göçme meydana geldikten sonra bile uygulanan yükü taşımaya devam ettikleri ve eğrilerin biçimlerinin birbirlerinden farklı olduğu gözlemlenmiştir. A malzemesinin kırılma anındaki kayma mukavemeti parametre değerleri, B malzemesine göre daha yüksek bulunmuştur. Bu durum, A malzemesinin daha sağlam ve sert bir yapı kazanmasından kaynaklanmaktadır. Malzemelerin içsel sürtünme açısı ve kohezyon değerleri de bu bulguları desteklemektedir.

Kesme deneyleri, her iki malzemede yük artışı ile orantılı olarak kesme kuvveti değerlerinin arttığını göstermektedir. Yük arttıkça, numuneler düşey yönde daha iyi yerleşmekte ve dolayısıyla kesme kuvvetlerine karşı gösterilen dirençleri artmaktadır. Malzemelerin kesme gerilmeleri ile eksenel yer değişimleri arasındaki ilişkiler benzeşim göstermekte, ancak kırılma anındaki kayma gerilmeleri A malzemesinde B malzemesine göre daha yüksek çıkmaktadır. Bu durum, dolgu malzemelerinin iç yapısına ve minerolojik özelliklerine bağlı olarak açıklanabilir.

Konsolidasyon deneyleri sonucunda, A malzemesinde en büyük oturma, optimum su muhtevalarının %2 kuru tarafında sıkıştırılmış numunede %0.025 iken, optimum su muhtevalarında ve %2 ıslak tarafında hazırlanan numunelerde %0.001 civarındadır. B malzemesinde ise en büyük oturma, optimum %2 ıslak tarafında sıkıştırılmış numunede %0.03, optimumda %0.02 ve %2 kuru tarafında %0.01 civarındadır. Konsolidasyon süresine ilişkin düşey konsolidasyon katsayıları ( $C_v$ ), A malzemesinde 0.005-0.053 cm<sup>2</sup>/dak aralığında, B malzemesinde ise 0.002-0.194 cm<sup>2</sup>/dak arasında değişmektedir.

Her iki malzeme için optimum su muhtevalarının %2 ıslak tarafında sıkıştırılmış numunelerdeki boşluk oranı ( $e$ ) değerleri, optimum su muhtevalarında sıkıştırılmış numunelerdeki boşluk oranı değerlerinden belirgin şekilde yüksektir. A malzemesi numunelerinin konsolidasyonunu tamamlama süresi yaklaşık 1440 dakika iken, B malzemesi numunelerinde bu süre 1500 ile 3100 dakika arasında değişmektedir. Bu durum, B malzemesinin düşük geçirgenliği ve yüksek plastisiteli yapısından kaynaklanmaktadır. Konsolidasyon deneyleri, A ve B malzemelerinin farklı sıkışma ve oturma karakteristiklerine sahip olduğunu göstermiştir. A malzemesi daha hızlı konsolidasyon süreci sergilerken, B malzemesi daha yavaş ve uzun süreli konsolidasyon davranışı göstermiştir.

Sonuç olarak, Hamzadere Barajı'nda kullanılacak dolgu malzemelerinin ıslanma ile çökebilene türden olmadığı, A malzemesinin optimum su muhtevalarının %2 kuru tarafında hazırlanan numunesinde gerilme seviyesinin 0.90 kg/cm<sup>2</sup> altında, B malzemesinin ise 2 kg/cm<sup>2</sup>'den daha az olması durumunda şişme olayına yol açtığı gözlemlenmiştir. Bu

bulgular, barajın güvenli ve dayanıklı bir şekilde inşa edilmesi için gerekli olan geoteknik bilgileri sağlamakta olup Hamzadere Barajı gövdesinde kullanılacak malzemelerin mühendislik davranışlarının dolgu tasarımında dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Şişme potansiyeli analizleri, her iki malzemenin de belirli gerilme koşulları altında şişme eğilimi gösterebileceğini ortaya koymuştur. Bu durum, dolgu malzemelerinin seçimi ve yerleştirilmesinde dikkat edilmesi gereken önemli bir parametre olarak değerlendirilmiştir.

Sonuç olarak, çalışma kapsamında incelenen A ve B dolgu malzemeleri, Hamzadere Barajı'nın inşaatında kullanılabilir nitelikte bulunmuştur. Ancak, her bir malzemenin kendine özgü mekanik ve hidrolik özellikleri dikkate alınarak, barajın memba ve mansap kısımlarına yerleştirilmesinde optimize bir yaklaşım benimsenmelidir. Özellikle B malzemesinin düşük geçirgenliği ve A malzemesinin mekanik dayanımı, dolgu tasarımında stratejik olarak değerlendirilmelidir.

#### Yazar Katkısı

Veri iyileştirme - (EO, MY); Biçimsel analiz - (EO, MY); Araştırma - (EO, MY); Deneysel performans - (EO, MY); Veri toplama - (EO, MY); Veri işleme - (EO, MY); Literatür taraması - (EO, MY); Yazan - (EO, MY); İnceleme ve düzenleme - (EO, MY).

#### Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar, bu makalenin araştırılması, yazarlığı ve/veya yayınlanması ile ilgili olarak herhangi bir çıkar çatışması beyan etmemiştir.

#### Kaynaklar

- [1] Srivastava, H., Tiwari, R.P., Kumar, V., & Singh, D. (2021). A review on various geotechnical and geophysical investigations for a dam rehabilitation project. In Indian Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Conference (pp. 83-93). Springer Nature, Singapore.
- [2] Tabwassah, C.A., & Obiefuna, G.I. (2012). Geophysical and geotechnical investigation of Cham failed dam project, NE Nigeria. Research Journal of Recent Sciences.
- [3] Wang, G. (2017). Recent advances in geotechnical engineering of dams and embankments. In Proceedings of the 19th international conference on soil mechanics and geotechnical engineering, Seoul.
- [4] Flores-Berrones, R., & López-Acosta, N. P. (2019). Geotechnical engineering applied on earth and rock-fill dams. In Hydraulic Structures-Theory and Applications.
- [5] Talukdar, P., & Dey, A. (2019). Hydraulic failures of earthen dams and embankments. Innovative Infrastructure Solutions, 4, 1-20.
- [6] Yardımcı, E., Toprak dolgu barajların tasarım esasları–Boğazköy barajı örneği, (2019), Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- [7] Çalamak, M., Arıcı Y., & Yanmaz A.M. (2013). Türkiye'de baraj mühendisliğinin gelişimi üzerine bir değerlendirme. 3rd Hydraulic Structures Symposium. Ankara.
- [8] Belazouz, L., Bouzelha, K., Hammoum, H., Amiri, O., & Khelil, N. (2024). Reliability analysis of the slope stability of omogeneous earth dam under seismic loading. Periodica

Polytechnica Civil Engineering, 68(1), 107-121.

[9] Chaudhary, N., & Venkatesh, K. (2024). Slope stability analysis of earthen dam under seismic loading. *National Academy Science Letters*, 1-5.

[10] Bozkuş, Z. (2004). Afet yönetimi için baraj yıkılma analizleri. *Teknik Dergi*, 74, 3335-3350.

[11] Adamo, N., Al-Ansari, N., Sissakian, V., Laue, J., & Knutsson, S. (2020). Dam safety: general considerations. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, 10(6), 1-21.

[12] Adamo, N., Al-Ansari, N., Sissakian, V., Laue, J., & Knutsson, S. (2020). Dam safety and earthquakes. *Journal of Earth Sciences and Geotechnical Engineering*, 10(6), 79-132.

[13] Imbrogno, D. F. Analysis of dam failures and development of a dam safety evaluation program, (2014), Master's thesis, The Ohio State University.

[14] Zhang, L. M., Xu, Y., & Jia, J. S. (2009). Analysis of earth dam failures: A database approach. *Georisk*, 3(3), 184-189.

[15] Ellingwood, B., Corotis, R. B., Boland, J., & Jones, N. P. (1993). Assessing cost of dam failure. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 119(1), 64-82.

[16] Warren, A. L. (2011). Investigation of dam incidents and failures. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Forensic Engineering*, 164(1), 33-41.

[17] Teton Dam Failure Review Group (US). (1977). Failure of Teton Dam: a report of findings. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Engineering and Research Center.

[18] Sivapriya, S. V., & Anne Sherin, A. (2022). Causes and consequences of dam failures—case study. In *Sustainable Practices and Innovations in Civil Engineering: Select Proceedings of Spice 2021*, 155-159.

[19] Jiang, X., Wei, Y., Wu, L., & Lei, Y. (2018). Experimental investigation of failure modes and breaching characteristics of natural dams. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 9(1), 33-48.

[20] Foster, M., Fell, R., & Spannagle, M. (2000). The statistics of embankment dam failures and accidents. *Canadian*

*Geotechnical Journal*, 37(5), 1000-1024.

[21] Collin, J. G., Leshchinsky, D., Hung, C. J., & Brinckerhoff, P. (2005). Soil slope and embankment design reference manual. National Highway Institute (US).

[22] Edil, T. B., & Berilgen, M. M. (2009). Construction of earth dams on soft ground: Principles and Examples. In *Advances in Ground Improvement: Research to Practice in the United States and China*, 298-307.

[23] Ozaydın, K., Berilgen, M., Kilic, H., & Edil, T. (2007). Hamzadere Dam Foundation Improvement, Rept. to State Waterworks Directorate XI. District, Edirne, Turkey.

[24] Çebi, U., Özer, S., Öztürk, O., Özcan, C., Tok, E., Şengörür, B., & Ahi, Y. (2019). Edirne ili barajlarının bazı fiziko-kimyasal özellikleri ve sulama suyu kalite sınıfları. *Toprak Su Dergisi*, 8(2), 96-106.

[25] Ordu, E., Hamzadere-Koyuntepe Barajının mühendislik jeolojisi ve geoteknik incelemesi, (1996), Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

[26] Bowles, J.E. (1978). Engineering properties of soil and their measurement. 2nd Ed, McGraw-Hill Book Co., New York.

[27] Casagrande, A. (1948). Classification and identification of Soils. *Trans. ASCE*, 113, 901-932.

[28] Wasti, Y., Özkan, Y. & Yüksel, S. (1994). Laboratuvar koni penetrometre deneyleri ile drenajsız kayma dayanımı tayini. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 5. Ulusal Kongresi*, ODTÜ, Ankara.

[29] Wroht, C.P., & Wood, D.M. (1978). The correlation of index properties with some basic engineering properties of soils. *Canadian Geotechnical Journal*, 15, 137-145.

[30] Bentley, P.S. (1991). Correlations of soil properties. Pentech Press, London, UK.

[31] Floyd, R. (1987). Design of small dams. U.S. Bureau of Reclamation, Denver.

[32] Özaydın, K. (1989). Zemin mekaniği ders kitabı. Medya Matbaacılık ve Yayıncılık, İstanbul.

## Research Article

# A Liénard Oscillator Circuit with a Memristive Bridge Rectifier

Arif Kıvanç Üstün<sup>1,\*</sup> , Meltem Apaydın Üstün<sup>1</sup> , Reşat Mutlu<sup>1</sup> 

<sup>1</sup> Department of Electrical-Electronics Engineering, Corlu Faculty of Engineering, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Türkiye, 59850

[akustun@nku.edu.tr](mailto:akustun@nku.edu.tr), [mapaydin@nku.edu.tr](mailto:mapaydin@nku.edu.tr), [rmutlu@nkue.edu.tr](mailto:rmutlu@nkue.edu.tr)

Geliş: 15.12.2024

Kabul: 27.12.2024

DOI: 10.55581/ejeas.1602019

**Abstract:** A novel Liénard oscillator design incorporating a bridge rectifier with an R-L-C output filter and negative resistance converter is presented. The bridge rectifier exhibits memristive behavior and provides the even nonlinear resistance required for Liénard oscillation in the periodic steady state. The circuit's mathematical model, including state-space equations and analysis of its nonlinear characteristics, is developed. LTSpice simulations demonstrate that at higher frequencies, the memristive bridge functions as a nonlinear resistor, enabling the circuit to operate as a Liénard oscillator. The simulation results show periodic waveforms and limit cycles characteristic of Liénard systems, though with notable deviations from ideal sinusoidal behavior due to the Schottky diodes' threshold effects and second harmonic generation. While the proposed oscillator has more state variables than traditional two-variable Liénard systems, it successfully achieves sustained oscillations using readily available components: Schottky diodes, passive elements, and an operational amplifier. The circuit's behavior is analyzed through voltage-current characteristics, limit cycles, and phase portraits, confirming its operation as a Liénard-type oscillator. This work opens new possibilities for implementing Liénard oscillators using semiconductor elements and suggests directions for future research in parametric analysis and analytical solutions.

**Keywords:** Liénard Oscillator, Schottky Diode Bridge Rectifier, R-L-C Filter, Limit Cycle, Circuit Dynamics.

## Memristif Köprü Doğrultucu Bir Liénard Osilatör Devresi

**Öz.** Bu çalışmada köprü doğrultucu ve R-L-C çıkış filtresi ile negatif direnç dönüştürücü içeren yeni bir Liénard osilatör tasarımı önerilmiştir. Köprü doğrultucu, memristif davranış sergilemekte ve periyodik kararlı durumda Liénard salınımı için gerekli olan çift doğrusal olmayan direnci sağlamaktadır. Devrenin matematiksel modeli, durum-uzay denklemleri ve doğrusal olmayan özelliklerinin analizi dahil olmak üzere geliştirilmiştir. LTSpice simülasyonları, daha yüksek frekanslarda memristif köprü'nün doğrusal olmayan bir direnç olarak işlev gördüğünü ve devrenin bir Liénard osilatörü olarak çalışmasını sağladığını göstermektedir. Simülasyon sonuçları, Liénard sistemlerine özgü periyodik dalga formları ve limit döngüleri göstermektedir, ancak Schottky diyotlarının eşik etkileri ve ikinci harmonik üretimi nedeniyle ideal sinüzoidal davranıştan kayda değer sapmalar görülmektedir. Önerilen osilatör, geleneksel iki değişkenli Liénard sistemlerinden daha fazla durum değişkenine sahip olmasına rağmen, kolayca temin edilebilen bileşenler kullanarak (Schottky diyotları, pasif elemanlar ve bir işlemsel yükselteç) sürekli salınımları başarıyla elde etmektedir. Devrenin davranışı, gerilim-akım karakteristikleri, limit döngüleri ve faz portreleri aracılığıyla analiz edilmiş, Liénard tipi bir osilatör olarak çalıştığı doğrulanmıştır. Bu çalışma, Liénard osilatörlerinin yarı iletken elemanlar kullanılarak uygulanması için yeni olanaklar sunmakta ve parametrik analiz ve analitik çözümler konusunda gelecekteki araştırmalar için farklı bakış açıları önermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Liénard Osilatörü, Schottky Diyot Köprü Doğrultucu, R-L-C Filtresi, Limit Döngüsü, Devre Dinamikleri

\*Corresponding author

E-mail address: [akustun@nku.edu.tr](mailto:akustun@nku.edu.tr) (A. K. Üstün)

## 1. Introduction

The Van Der Pol Oscillator (VDPO), first created in 1920 with a triode vacuum tube, is a well-known and extensively studied oscillator [1]. The stable oscillations discovered in the triode circuit are known as relaxation oscillations, a concept introduced by Van der Pol [2]. This circuit also demonstrates frequency de-multiplication, an example of deterministic chaos [3]. The discovery of this oscillator significantly contributed to the development of nonlinear oscillator theory [4]. French physicist Alfred-Marie Liénard introduced equations to model oscillating circuits [5]. The Van der Pol Oscillator is described by the Van der Pol equation, which is a special case of the Liénard equations. Many studies have been conducted on the Liénard Oscillator and Liénard equations, which have been applied across diverse fields such as electronic oscillators, radio engineering, chemical reactions, optoelectronic systems, lasers, predator-prey studies, population studies, biological studies, and vibration modeling [6-9]. The dynamics of coupled Van der Pol oscillators are commonly studied [10-12]. The synchronization of such oscillators is an important research area in natural sciences and engineering [13-19]. Van der Pol or Liénard's oscillators are used to examine chaos phenomenon [20-24].

Although semiconductor circuit elements were not available when these oscillators were first developed, modern Liénard Oscillators can be built using various semiconductor components [25–27]. For instance, an optoelectronic integrated circuit with a resonant tunneling diode and an optical communications laser diode operates as a voltage-controlled oscillator as described by Liénard's equation [25]. The nonlinear memristor element can also be used in Liénard systems, exhibiting complex behaviors such as hidden attractors and mixed-mode oscillations [11]. A reverse-parallel Schottky diode array-based VDPO has been developed, with its differential equation and waveforms examined through simulations using Simulink and LTspice programs [27]. In [28], a Liénard Oscillator which makes use of a Chua diode combining of a JFET and Schottky diode bridge has been made, and it was shown to behave as a Liénard Oscillator analytically and with simulations. In [29], it is shown that a cheap microcontroller such as Arduino Nano Klon V3.0 can be used to make a Liénard Oscillator.

Memristors are newly found nonlinear circuit elements [30-32]. Nonlinear resistors with a state-variable dependency are also called memristive systems [33]. Memristors have specific features known as the three fingerprints [33, 34]. Memristor can be used in oscillators [35, 36]. Most of the memristor-based oscillators studies are of chaotic nature [35, 37, 38]. Since it has been claimed that the memristor-based Liénard systems or oscillators show very rich dynamics [39], it is imperative to examine them. For example, in [40], it has been shown that a Liénard Oscillator with a memristor emulator with a cubic characteristic shows mixed-mode oscillations with simulations and experiments. In [41], it has been shown that, in some of its operation region, a rectifier with an R-L-C circuit at its output behaves as if a memristive system. Corinto and Ascoli [41] demonstrated that the electronic system they

designed using only passive components behaved like a memristor. They showed through PSpice simulations that an RLC filter circuit powered by a full-wave rectifier exhibited memristive properties and should have a pinched hysteresis curve with zero-crossing. Inspired by this study, other researchers used an RC filter instead of an RLC filter to obtain a hysteresis curve with fewer circuit elements, and they used such an emulator in the construction of a chaos circuit [42]. The memristive circuit given in [41] can also provide an even memristance function in the periodic steady state. In the literature, this property has not been used to make a Liénard Oscillator yet. In this study, a rectifier with an R-L-C circuit at its output has been used to make a Liénard Oscillator for the first time in the literature. Its analytical model has been given. The simulations and the experimental results have been used to prove that the rectifier-based oscillator circuit operates as a Liénard oscillator in the steady-state. In [43], it has been shown that two anti-parallel memristors sold in the market [44] can be employed to make a Liénard Oscillator. since it provides an even memristance function in the periodic steady state. A rectifier is shown to behave as a time-variant nonlinear resistor or as a memristor in some of its operation region, its state-space equations are given, and simulation and experimental results of proof of concept are given in [41]. The bridge rectifier has also been used to make chaotic generators [42]. Employing the memristive bridge is cheaper than using two memristors in an application [45]. Such a circuit can also provide an even memristance function in the periodic steady state. To the best of our knowledge, such a bridge rectifier has not been used to make a non-chaotic oscillator or a Liénard Oscillator yet.

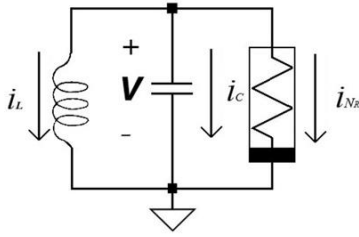
In this study, the nonlinear circuit element required for the Liénard Oscillator is made by connecting a rectifier-based nonlinear resistor, a negative resistance converter, an inductor, and a capacitor in parallel. This Liénard Oscillator is implemented with off-the shelves components. The circuit uses a diode bridge rectifier, 4 LTI resistors, 2 LTI inductors, 2 LTI capacitors, and an op-amp. In this study, it is also to be shown that the diode bridge with an R-L-C filter has a nonlinear resistance function, which is an even function in the steady-state, and allows the circuit to operate as a Liénard Oscillator. The state-space equations of the Liénard Oscillator are given, and its simulations are made in LTSpice design program.

This study is organized in the following order. In the second section, basic information on Liénard Equation and Liénard Systems is given, the new Liénard Oscillator circuit topology is introduced, its operation principles are explained, and its dynamic model is given. In the third section, the simulation results of the circuit obtained with a SPICE based circuit design program are presented, and it is proven that this oscillator is a Liénard-like oscillator using circuit simulations. The paper concludes with the last section.

## 2. Generic Liénard Oscillator Circuit and the Bridge Rectifier-Based Liénard Oscillator

In this section, the generic Liénard Oscillator is firstly summarized, and then the Liénard Oscillator circuit proposed

in this study is introduced. A Liénard Oscillator is made of a nonlinear resistor that may take negative and positive values, a capacitor, and an inductor. The structure of its nonlinear resistor and the new oscillator are explained in the following subsections. The circuit of the generic Liénard Oscillator circuit is shown in Figure 1 [27].



**Figure 1.** The generic Liénard Oscillator [27]

### 2.1. The Negative Resistance Converter Circuit

Negative impedance or negative resistance converter refers to circuits used to create negative resistance. The op-amp-based negative resistance converter employing three resistors,  $R_1$ ,  $R_2$ , and  $R_3$ , used in this study is shown in Figure 2. Based on the theoretical perspective:

The input current of the negative resistance converter circuit is given as

$$i_{Neg} = g_N v(t) = -\frac{R_2}{R_1 R_3} v(t) \quad (1)$$

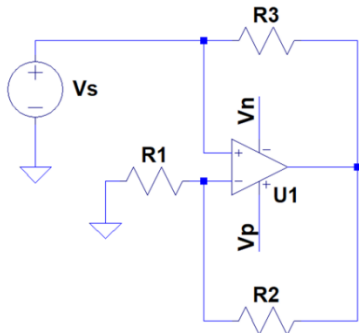
If  $R_3 = R_2$ , this current turns into

$$i_{Neg} = g_N v(t) = -\frac{v(t)}{R_1} \quad (2)$$

The conductance of the negative resistance converter is given as

$$g_N = v(t)/i_{Neg} = -\frac{R_2}{R_1 R_3} = -\frac{1}{R_1} \quad (3)$$

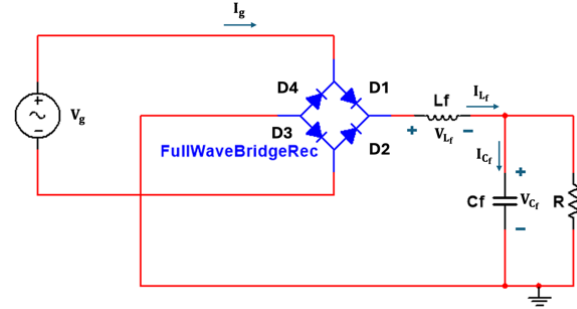
The negative resistance converter is a key to sustaining oscillations by compensating for losses in the LC tank circuit so that it is appropriate to use that an operational amplifier. It should be added to the circuit in parallel with the LC tank circuit for compensation of losses.



**Figure 2.** A schematic for an op-amp based negative resistance converter circuit proposed and used in the Liénard Oscillator

### 2.2. Memristive-Model of the Rectifier with R-L-C Load

In this section, the memristive model of a rectifier presented in [41] is summarized. The rectifier circuit is with R-L-C filter shown in Figure 3. Such a circuit behaves as a memristive system [41], and its equations are given as follows. In this circuit,  $V_g$  is the source voltage and  $I_g$  is the instantaneous rectifier input current. In Figure 3, all the diodes, D1-D4, are chosen as 1N5817, a Schottky diode, which has practically the voltage drop of  $\sim 0.45V$ .



**Figure 3.** The Rectifier circuit with RLC filter

The source current, which is the same as the rectifier current, can be expressed as:

$$I_g = (I_{Lf} + 2I_S) \cdot \tanh\left(\frac{V_g}{2nV_T}\right) \quad (4)$$

In this equation,  $I_{Lf}$  represents the inductor current,  $I_S$  is the leakage current of the diode,  $V_T$  is the thermal voltage of the diodes,  $n$  is the ideality factor of the diode, and  $V_g$  is the source voltage.

$I_g$  can be expressed as follows by applying the Taylor series expansion of the hyperbolic tangent function in the equation above.

$$I_g(t) = G(V_{Cf}, I_{Lf}, V_g, t) V_g(t) \quad (5)$$

where  $(V_{Cf}, I_{Lf}, V_g, t)$  represents the equivalent conductance of the diode bridge, and it is defined as:

$$G(V_{Cf}, I_{Lf}, V_g, t) = (I_{Lf} + 2I_S) \left( \frac{\sum_{m=0}^{\infty} \left(\frac{V_g}{2nV_T}\right)^{2m} / (2m+1)!}{\sum_{m=0}^{\infty} \left(\frac{V_g}{2nV_T}\right)^{2m} / (2m)!} \right) \quad (6)$$

The state variables of the rectifier are the inductor current  $I_{Lf}$  and the capacitor voltage  $V_{Cf}$ . The rate of change of them are given respectively as

$$\frac{dI_{Lf}}{dt} = \frac{V_g}{L_f} - \frac{V_{Cf}}{L_f} - \frac{2 \cdot n \cdot V_T}{L_f} \ln \left( \frac{I_{Lf} + 2I_S}{2 \cdot I_S \cdot \exp(-V_g / 2nV_T) \cdot \cosh(V_g / 2nV_T)} \right) \quad (7)$$

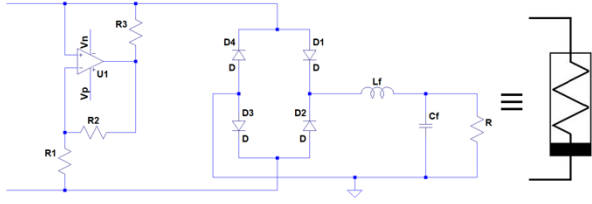
and



$$\frac{dV_{C_f}}{dt} = \frac{I_{L_f}}{C_f} - \frac{V_{C_f}}{RC_f} \quad (8)$$

### 2.3. The Nonlinear Resistor of the Liénard Oscillator Circuit

A nonlinear resistor must be used in the Liénard Oscillator. The Liénard Oscillator examined in this study is made of the memristive rectifier with an R-L-C load behaving as a nonlinear resistor, whose nonlinear resistance is an even function of voltage, and the negative resistor converter circuit as shown in Figure 4.



**Figure 4.** The nonlinear resistor circuit of the Liénard Oscillator consisting of the bridge rectifier with the R-L-C load and the opamp-based negative resistance converter

Since the bridge rectifier and the negative resistance converter are connected in parallel, the terminal equation of the Liénard Oscillator is found as

$$I_{NR} = I_g + I_{neg} = (G(V_{C_f}, I_{L_f}, V_g, t) - g_N)V_g \quad (9)$$

$$= \left( (I_{L_f} + 2I_S) \frac{\sum_{m=0}^{\infty} \left( \frac{V_g}{2nV_T} \right)^{2m} / (2m+1)!}{\sum_{m=0}^{\infty} \left( \frac{V_g}{2nV_T} \right)^{2m} / (2m)!} - g_N \right) V_g = g_{eq} V_g \quad (10)$$

where  $g_{eq}$  is the equivalent resistance of the nonlinear resistor of the Liénard Oscillator and equal to

$$\left( \left( (I_{L_f} + 2I_S) \frac{\sum_{m=0}^{\infty} \left( \frac{V_g}{2nV_T} \right)^{2m} / (2m+1)!}{\sum_{m=0}^{\infty} \left( \frac{V_g}{2nV_T} \right)^{2m} / (2m)!} \right) - g_N \right)$$

The resistance of the bridge rectifier can be found as

$$R(V_{C_f}, I_{L_f}, V_g, t) = \frac{1}{g_{eq}} = \frac{1}{\left( \left( (I_{L_f} + 2I_S) \frac{\sum_{m=0}^{\infty} \left( \frac{V_g}{2nV_T} \right)^{2m} / (2m+1)!}{\sum_{m=0}^{\infty} \left( \frac{V_g}{2nV_T} \right)^{2m} / (2m)!} \right) - g_N \right)} \quad (11)$$

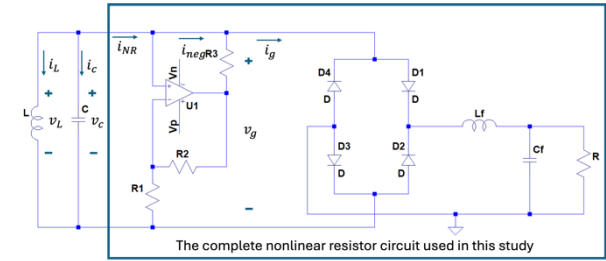
$R(V_{C_f}, I_{L_f}, V_g, t)$  is a two variable function and it is an even function with respect to  $V_g$ :

$$R(V_{C_f}, I_{L_f}, V_g, t) = R(V_{C_f}, I_{L_f}, -V_g, t) \quad (12)$$

In this circuit, it is always true;  $I_{L_f} \geq 0$ .

### 2.4. The New Liénard Oscillator Circuit and Its State-space Model

By incorporating this nonlinear resistance shown in Figure 4 into the generic Liénard Oscillator shown in Figure 1, the Liénard Oscillator proposed in this study is obtained, which is shown in Figure 5. The bridge rectifier is used to achieve the even resistance function and the half-wave symmetry needed in the voltage of a Liénard Oscillator.



**Figure 5.** The bridge rectifier-based Liénard Oscillator rectifier

If Kirchoff's Current Law is used for this oscillator:

$$i_L + i_C + i_{NR} = 0 \quad (13)$$

$$i_L + C \frac{dv_C}{dt} + (G(V_{C_f}, I_{L_f}, v_C, t) - g_N)v_C = 0 \quad (14)$$

$$i_L + C \frac{dv_L}{dt} + (G(V_{C_f}, I_{L_f}, v_C, t) - g_N)v_C = 0 \quad (15)$$

$$i_L + LC \frac{d^2 i_L}{dt^2} + \left( \left( (I_{L_f} + 2I_S) \frac{\sum_{m=0}^{\infty} \left( \frac{v_C}{2nV_T} \right)^{2m} / (2m+1)!}{\sum_{m=0}^{\infty} \left( \frac{v_C}{2nV_T} \right)^{2m} / (2m)!} \right) - g_N \right) v_C = 0 \quad (16)$$

The following state-space equations describe the oscillator and its dynamics:

$$i_L + LC \frac{d^2 i_L}{dt^2} + \left( \left( (I_{L_f} + 2I_S) \frac{\sum_{m=0}^{\infty} \left( \frac{v_C}{2nV_T} \right)^{2m} / (2m+1)!}{\sum_{m=0}^{\infty} \left( \frac{v_C}{2nV_T} \right)^{2m} / (2m)!} \right) - g_N \right) v_C = 0 \quad (17)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{v_C}{L} \tag{18}$$

$$\frac{dI_{L_f}}{dt} = \frac{v_C}{L_f} - \frac{V_{C_f}}{L_f} - \frac{2nV_T}{L_f} \ln \left( \frac{I_{L_f} + 2I_s}{2I_s \cdot \exp(-v_C/2nV_T) \cdot \cosh(v_C/2nV_T)} \right) \tag{19}$$

and

$$\frac{dV_{C_f}}{dt} = \frac{I_{L_f}}{C_f} - \frac{V_{C_f}}{RC_f} \tag{20}$$

Liénard's equation is expressed as

$$\frac{d^2x}{dt^2} + f(x) \frac{dx}{dt} + g(x) = 0 \tag{21}$$

where  $x(t)$  is the state variable of the Liénard Oscillator,  $f(x)$  is an even function, and  $g(x)$  is an odd function.

Considering the periodic steady state,  $v_C(t) = -v_C(t + T/2)$  and  $I_L(t) = I_L(t + T/2)$ , where  $v_C$  is the capacitor voltage and  $I_L$  is the inductor current. In the positive half-period ( $0 < t < T/2$ ), if the bridge rectifier conductance is  $G(V_{C_f}, I_{L_f}, v_C, t)$ , then in the negative half-period ( $T/2 > t > T$ ), it becomes  $G(V_{C_f}, I_{L_f}, -v_C, t)$  as stated below.

$$G(V_{C_f}, I_{L_f}, v_C(t + T/2), t) = G(V_{C_f}, I_{L_f}, -v_C(t), t) \tag{22}$$

Therefore, in the steady state, the resistance of the rectifier circuit is an even function, and this proves that the oscillator operates as an extended Liénard Oscillator.

At high frequencies, since the bridge rectifier with R-L-C load behaves as a nonlinear resistor with an even resistance function, the circuit behaves as a Liénard Oscillator for high frequencies. However, at low frequencies, it is going to show

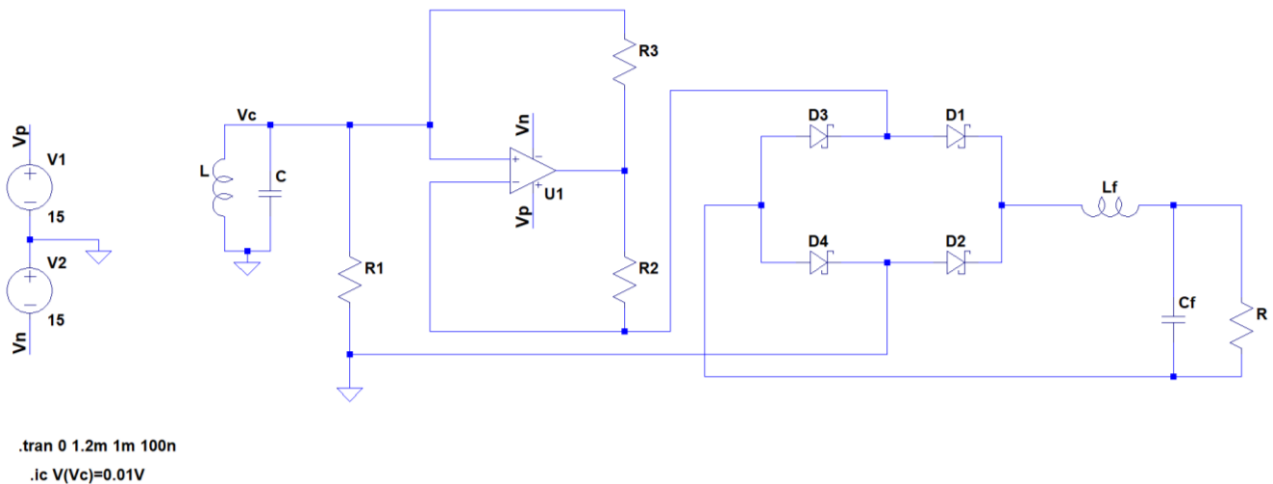
more complex behavior. Perhaps, it is going to behave as an extended Liénard Oscillator. Its simulation is to be carried out in the next section.

### 3. Simulation of the New Liénard Oscillator

The Van der Pol equation does not have any solutions [46, 47]. However, it has some approximate solutions [48, 49]. That is why simulations are commonly used to study it. The bridge rectifier-based Liénard Oscillator proposed in this study shown in Figure 5 is simulated with the LTSpice circuit design program in this section. The circuit diagram of the Liénard Oscillator is shown in Figure 6. The parameters used in the simulation are given in Table 1. The values of the resistors  $R_2$  and  $R_3$  are taken as equal to obtain “- $R_1$ ” resistance value. The use of Schottky diodes is motivated by their common preference in the high-speed oscillator design, owing to their low threshold voltages and fast switching capabilities. The 1N5817 Schottky diodes and the Opamp LM741 are employed in this work. The simulation results of the circuit are given in Figures 7 to 15.

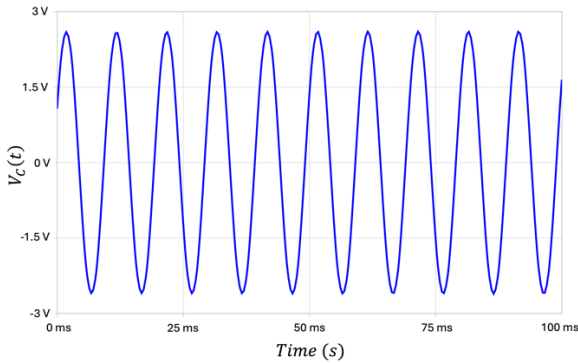
**Table 1** Parameters of the Liénard Oscillator Circuit and the Characteristics of Schottky Diodes

Parameter	Value
C	100 $\mu$ F
L	25 mH
$R_1$	2 k $\Omega$
$R_2$	8 k $\Omega$
$R_3$	8 k $\Omega$
$I_s$ (Saturation Current)	31.7 $\mu$ A
$R_s$ (Series Resistance)	0.051 $\Omega$
n (Ideality Factor)	1.373
$V_T$ (Thermal Voltage)	26 mV @ Room Temperature.



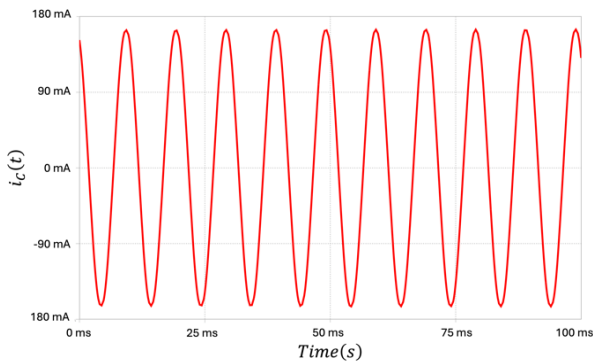
**Figure 6.** LTSpice modeling of rectifier based Liénard Oscillator circuit

The voltage waveform of the circuit in the periodic steady state, as shown in Figure 7, resembles an almost sinusoidal wave. However, the peaks of the waveform are sharper compared to those of an ideal sinusoidal wave, highlighting the nonlinear nature of the oscillator. The circuit oscillates at roughly 100 Hz (~100.7Hz) and the voltage has an amplitude of 2.6 V.



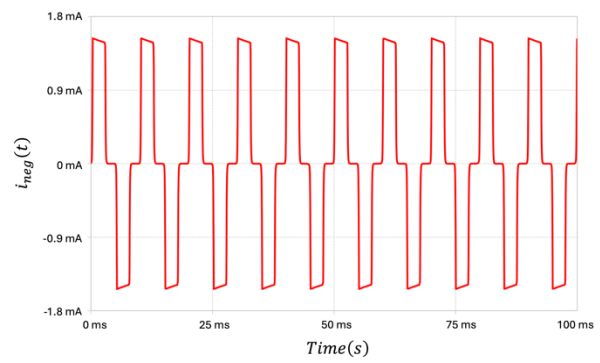
**Figure 7.** The oscillator voltage in the periodic steady state.

The current of the circuit capacitor at the periodic steady state is not a perfect sinusoidal waveform as expected from the voltage observed earlier in Figure 7 and the current is shown in Figure 8.



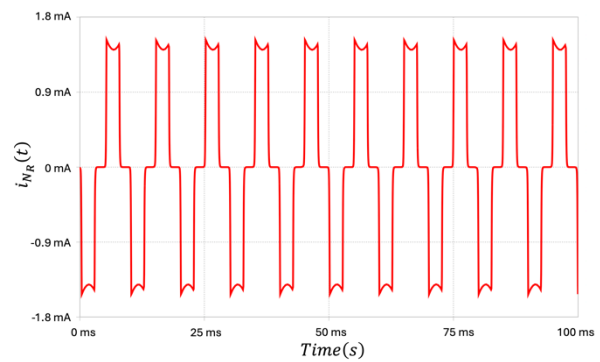
**Figure 8.** The current of the circuit capacitor at periodic steady state

Figure 9 illustrates the impact of the Schottky diodes' threshold voltage on the bridge rectifier's input current in the periodic steady state. This effect manifests as zero-crossing distortion, which is evident when the current transitions through zero. The distortion occurs because Schottky diodes require a small forward voltage to conduct and create a non-linear response. This characteristic results in a slight deviation from ideal behavior, where the current waveform exhibits a small flat or distorted region as it changes polarity, rather than smoothly transitioning through zero.



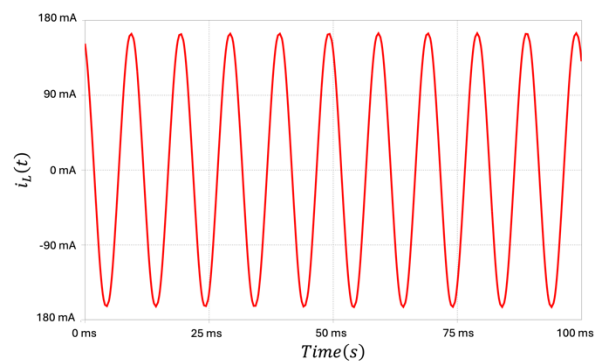
**Figure 9.** The input current of the bridge rectifier in the periodic steady state.

It can be seen in Figure 10 that a large harmonic content does exist in the equivalent nonlinear resistor current in the periodic steady state. The diode's ability to produce harmonic distortion contributes to the complex non-linear behavior essential for chaotic circuits. Due to this feature, such a circuit can also be used as a Chua diode to build a chaotic oscillator circuit such as the one presented in [20].



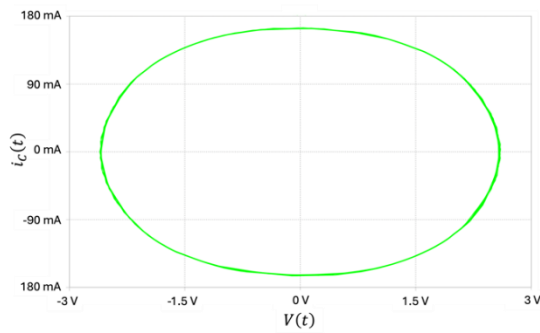
**Figure 10.** The current of the nonlinear resistor in the periodic steady state.

The waveform of the inductor current, as depicted in Figure 11, deviates from an ideal sinusoidal shape in the periodic steady state. Notably, the signal exhibits a similar characteristic to the capacitor current shown in Figure 8.



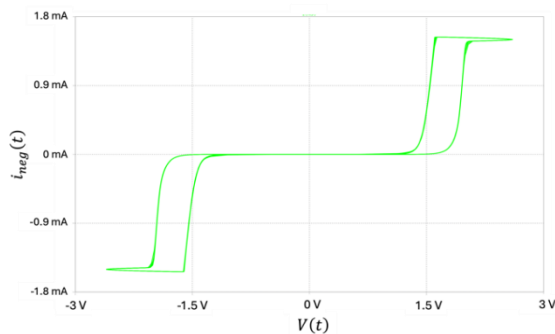
**Figure 11.** The current of the circuit inductor in the periodic steady state.

The limit cycle of the capacitor is shown in Figure 12, which resembles an ellipse.



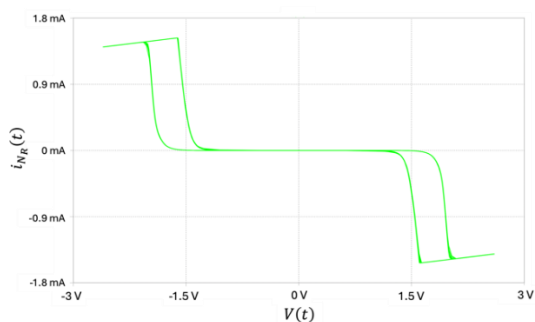
**Figure 12.** Limit cycle of the circuit capacitor

Figure 13 illustrates the memristive rectifier’s voltage-current relationship in the periodic steady state. The v-i curve of the rectifier has an odd function symmetry, and it is confined to the first and the third quadrants. The graph reveals the impact of the Schottky diode thresholds near the origin and the memristive behavior of the hysteresis curve of the bridge rectifier with the R-L-C load.



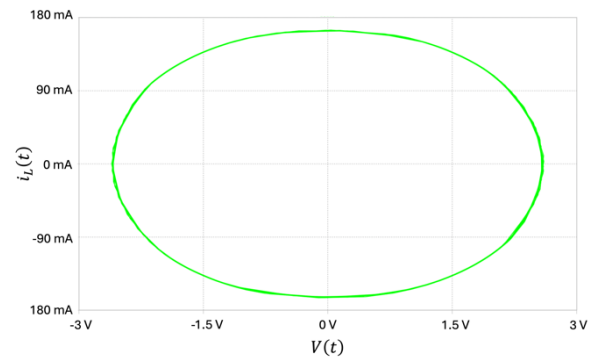
**Figure 13.** The V-I characteristic of the memristor based rectifier in the periodic steady state.

The v-i characteristic of the circuit's nonlinear resistor, as illustrated in Figure 14, demonstrates also an odd symmetry and shows a negative resistance feature, which is confined to the second and fourth quadrants. Furthermore, the graph appears to capture the influence of the diodes' threshold voltage on the Chua diode's v-i characteristic. This effect is discernible in the subtle nuances of the curve shown in Figure 14, adding another layer of complexity to the nonlinear behavior of the circuit.



**Figure 14.** The V-I characteristics of the nonlinear resistor in the circuit in the periodic steady state.

The limit cycle of the inductor in Figure 15 resembles an ellipse as the limit cycle of the capacitor also does as in Figure 12.



**Figure 15.** Limit cycle of the circuit inductor

#### 4. Conclusion

This study presents the development of a Liénard Oscillator incorporating a bridge rectifier and an R-L-C output filter. The rectifier circuit exhibits memristive characteristics, and the system's mathematical model has been formulated. LTSpice simulations were employed to analyze the oscillator's behavior, yielding limit cycles, current, and voltage waveforms. The simulation results demonstrate that the proposed circuit functions as a Liénard Oscillator, evidenced by its periodic waveforms and limit cycles.

At low oscillation frequencies such as 100 Hz, the memristive bridge acts as a nonlinear resistor, enabling the circuit to operate as a Liénard Oscillator. The memristive bridge rectifier is shown to provide the even nonlinear resistance necessary for a Liénard Oscillator in the periodic steady state. However, it's noted that this oscillator possesses more than two state variables, unlike the traditional two-variable Liénard system. The nonlinear capacitive junction currents may also need to be included in the oscillator model for accuracy in high frequency operation and we suggest it as future work.

This design opens possibilities for future variants using different semiconductor elements. While most Liénard oscillators lack exact analytical solutions, future research could also explore series or approximate solutions for this system. Additionally, a parametric study examining how circuit elements affect oscillator frequency could expand on the current simulations, though such investigations were beyond the scope of this work due to space limitations.

#### Author Contribution

Reşat Mutlu (RM) literature review and modeling, RM, Meltem Apaydın Üstün (MAÜ), Arif Kıvanç Üstün (AKÜ) data collection and preparation of the manuscript, MAÜ, AKÜ simulations, RM, MAÜ, AKÜ design, review and editing.

#### Declaration of Competing Interest

The authors declared no conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

## References



- [1] Van der Pol, B. (1920). theory of the amplitude of frfeE. forced triode vibrations. *Radio review*, 1, 701-710.
- [2] Van der Pol, B. (1926). LXXXVIII. On “relaxation-oscillations”. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 2(11), 978-992.
- [3] Van der Pol, B., & Van Der Mark, J. (1927). Frequency demultiplication. *Nature*, 120(3019), 363-364.
- [4] Van der Pol, B. (1934). The nonlinear theory of electric oscillations. *Proceedings of the Institute of Radio Engineers*, 22(9), 1051-1086.
- [5] Liénard A. (1928). Etude des oscillations entretenues. *Revue Générale de l'électricité*, 23:901-12 and 946–54.
- [6] Nagumo, J., Arimoto, S., & Yoshizawa, S. (1962). An active pulse transmission line simulating nerve axon. *Proceedings of the IRE*, 50(10), 2061-2070.
- [7] Dinh, T. P., Demongeot, J., Baconnier, P., & Benchetrit, G. (1983). Simulation of a biological oscillator: the respiratory system. *Journal of Theoretical Biology*, 103(1), 113-132.
- [8] Atlas, G. M., & Desiderio, M. C. (2006, April). Solutions to the Van der Pol equation: A model of aortic blood flow. In *Proceedings of the IEEE 32nd Annual Northeast Bioengineering Conference* (pp. 143-144). IEEE.
- [9] Mao'an, H. (2017). *Bifurcation theory of limit cycles*. Science press.
- [10] Storti, D. W., & Rand, R. H. (1982). Dynamics of two strongly coupled van der Pol oscillators. *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 17(3), 143-152.
- [11] Rand, R. H., & Holmes, P. J. (1980). Bifurcation of periodic motions in two weakly coupled van der Pol oscillators. *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 15(4-5), 387-399.
- [12] Endo, T., & Mori, S. (1978). Mode analysis of a ring of a large number of mutually coupled van der Pol oscillators. *IEEE Transactions on Circuits* Endo, T., & Mori, S. (1978). Mode analysis of a ring of a large number of mutually coupled van der Pol oscillators. *IEEE Transactions on Circuits and systems*, 25(1), 7-18.
- [13] Low, L. A., Reinhall, P. G., Storti, D. W., & Goldman, E. B. (2006). Coupled van der Pol oscillators as a simplified model for generation of neural patterns for jellyfish locomotion. *Structural Control and Health Monitoring: The Official Journal of the International Association for Structural Control and Monitoring and of the European Association for the Control of Structures*, 13(1), 417-429.
- [14] Menzel, K. O., Arp, O., & Piel, A. (2011). Chain of coupled van der Pol oscillators as model system for density waves in dusty plasmas. *Physical Review E—Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, 84(1), 016405.
- [15] Sinha, M., Dörfler, F., Johnson, B. B., & Dhople, S. V. (2016, July). Synchronization of Liénard-type oscillators in uniform electrical networks. In *2016 American control conference (ACC)* (pp. 4311-4316). IEEE.
- [16] Kpomahou, Y., Midiwanou, C., Agbokpanzo, R., & Adjai, L. H. D. (2022). Nonlinear resonances analysis of a rlc series circuit modeled by a modified van der pol oscillator. *European Journal of Physics*, 43(3), 035204.
- [17] Kpomahou, Y. J. F., Miwadinou, C. H., & Hinvi, L. A. (2018). Mathematical modelling and parametric resonances of a nonlinear RLC series circuit. *International Journal of Nonlinear Dynamics and Control*, 1(2), 133-153.
- [18] Kpomahou, Y. J. F., Miwadinou, C. H., Agbokpanzo, R. G., & Hinvi, L. A. (2021). Nonlinear dynamics of a RLC series circuit modeled by a generalized Van der Pol oscillator. *International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation*, 22(3-4), 479-494.
- [19] Kundu, P. K., & Chatterjee, S. (2024). Limit cycle oscillations in a mechanical system under fractional-order liénard type nonlinear feedback. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 128, 107612.
- [20] Mettin, R., Parlitz, U., & Lauterborn, W. (1993). Bifurcation structure of the driven van der Pol oscillator. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 3(06), 1529-1555.
- [21] Ulonska, S., Omelchenko, I., Zakharova, A., & Schöll, E. (2016). Chimera states in networks of Van der Pol oscillators with hierarchical connectivities. *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 26(9).
- [22] Maccari, A. (2001). Bifurcation analysis of parametrically excited Rayleigh–Liénard oscillators. *Nonlinear Dynamics*, 25(4), 293-316.
- [23] Kpomahou, Y. J. F., Hinvi, L. A., Adéchinan, J. A., & Miwadinou, C. H. (2021). Chaotic Dynamics of a Mixed Rayleigh–Liénard Oscillator Driven by Parametric Periodic Damping and External Excitations. *Complexity*, 2021(1), 6631094.
- [24] Kingston, S. L., & Thamilaran, K. (2017). Bursting oscillations and mixed-mode oscillations in driven Liénard system. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 27(07), 1730025.
- [25] Slight, T. J., Romeira, B., Wang, L., Figueiredo, J. M., Wasige, E., & Ironside, C. N. (2008). A Liénard oscillator resonant tunnelling diode-laser diode hybrid integrated circuit: model and experiment. *IEEE journal of quantum electronics*, 44(12), 1158-1163.
- [26] Kingston, S. L., & Kapitaniak, T. (2021). Rich dynamics of memristor based Liénard systems. In *Mem-elements for Neuromorphic Circuits with Artificial Intelligence Applications* (pp. 125-145). Academic Press.
- [27] Çakır, K., Mutlu, R., & Karakulak, E. (2021). Ters-Paralel Bağlı Schottky Diyot Dizisi Tabanlı Van der Pol Osilatörü Devresinin Modellenmesi ve LTspice ve Simulink Kullanarak Analizi. *EMO Bilimsel Dergi*, 11(21), 81-91.
- [28] Çakır, K., & Mutlu, R. (2022). Modeling and analysis of schottky diode bridge and JFET based liénard oscillator circuit. *Sigma Journal of Engineering and Natural*

*Sciences*, 42(2), 503-515.

- [29] Mevsim, E., & Mutlu, R. (2022). A Microcontroller-based Liénard Oscillator. *European Journal of Engineering and Applied Sciences*, 5(2), 80-85.
- [30] Chua, L. (1971). Memristor-the missing circuit element. *IEEE Transactions on circuit theory*, 18(5), 507-519.
- [31] Strukov, D. B., Snider, G. S., Stewart, D. R., & Williams, R. S. (2008). The missing memristor found. *nature*, 453(7191), 80-83.
- [32] Vongehr, S., & Meng, X. (2015). The missing memristor has not been found. *Scientific reports*, 5(1), 11657.
- [33] Chua, L. O., & Kang, S. M. (1976). Memristive devices and systems. *Proceedings of the IEEE*, 64(2), 209-223.
- [34] Adhikari, S. P., Sah, M. P., Kim, H., & Chua, L. O. (2019). Three fingerprints of memristor. *Handbook of Memristor Networks*, 165-196.
- [35] Pershin, Y. V., Martinez-Rincon, J., & Di Ventra, M. (2011). Memory circuit elements: from systems to applications. *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience*, 8(3), 441-448.
- [36] Pershin, Y. V., & Di Ventra, M. (2010). Practical approach to programmable analog circuits with memristors. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 57(8), 1857-1864.
- [37] Itoh, M., & Chua, L. O. (2008). Memristor oscillators. *International journal of bifurcation and chaos*, 18(11), 3183-3206.
- [38] L. Minati, L. V. Gambuzza, W. J. Thio, J. C. Sprott, & M. Frasca (2020). "A chaotic circuit based on a physical memristor," *Chaos Solitons Fractals*, 138, 109990.
- [39] Kingston S. L., & Kapitaniak T. (2021). Rich dynamics of memristor based Liénard systems, Mem-elements for Neuromorphic Circuits with Artificial Intelligence Applications, 125–145.
- [40] Kingston, S. L., Suresh, K., & Thamilmaran, K. (2018, April). Mixed-mode oscillations in memristor emulator based Liénard system. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1942, No. 1). AIP Publishing.
- [41] F. Corinto, & A. Ascoli, "Memristive Diode Bridge with LCR Filter," *Electronics Letters*, 8(14), 2012.
- [42] Bao, B., Yu, J., Hu, F., & Liu, Z. (2014). Generalized memristor consisting of diode bridge with first order parallel RC filter. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 24(11), 1450143.
- [43] Çakır, K., Memristör Tabanlı Bir Liénard Osilatörü Tasarımı, (2024), Master Thesis, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi.
- [44] Knowm, Self Directed Channel Memristors, Rev. 3.2, October 6, 2019, [https://knowm.org/downloads/Knowm\\_Memristors.pdf,%20Eri%C5%9Fim%20tarihi:%20%20Eyl%C3%BC1%202022](https://knowm.org/downloads/Knowm_Memristors.pdf,%20Eri%C5%9Fim%20tarihi:%20%20Eyl%C3%BC1%202022).
- [45] Dalmış, C., Mutlu, R., & Karakulak, E. (2023). Existence of Capacitive Effects in a Tungsten-based SDC Memristive System. *Electronic Components and Materials*, 53(3), 121-135.
- [46] Panayotounakos, D. E., Panayotounakou, N. D., Vakakis, & A. F. (2003). On the lack of analytic solutions of the Van der Pol oscillator. *Z. Angew. Math. Mech.* 83(9): 611–615.
- [47] D'Alessio, S. (2023). Solutions of the van der pol equation. *The College Mathematics Journal*, 54(2), 90-98.
- [48] Bavinck, H., & Grasman, J. (1974). The method of matched asymptotic expansions for the periodic solution of the Van der Pol equation. *Int. J. Non-Linear Mech.* 9: 421–434.
- [49] Davis, R. T., & Alfriend, K. T. (1967). Solutions to Van der Pol's equation using a perturbation method. *Int. J. Non-Linear Mech.* 2: 153–162.

## Research Article

# Analyzing Factors Influencing Vocational High School IT Program Students' University Choices Using Association Rule Mining

Esma Türk<sup>1</sup> , Erkan Özhan<sup>2,\*</sup> 

<sup>1</sup> Tekirdağ Namık Kemal University, Çorlu Faculty Engineering, Department of Computer Engineering, Tekirdağ, Türkiye, 59860  
<sup>1</sup>[esmaturk5834@gmail.com](mailto:esmaturk5834@gmail.com), <sup>2</sup>[erkanozhan@gmail.com](mailto:erkanozhan@gmail.com)

Received: 24.12.2024

Accepted: 27.12.2024

DOI: 10.55581/ejeas.1606948

**Abstract:** The complex masses of data that have emerged with increasing data generation and storage have increased the need for computers and software with more advanced computing capabilities to process this data. However, extracting meaningful information from complex data remains a challenge. Data mining, particularly in collaboration with artificial intelligence algorithms, works to uncover intricate relationships within data. One of the complex problems to be solved is guiding high school students toward university departments that will optimize their performance. This study investigates the factors influencing the university department preferences of vocational high school information technology students and graduates in the field of computer science. Unlike previous research, has typically focused on academic performance and current educational contexts, this study explores the connections among students' past educational experiences, preferences, habits, and hobbies, tracing these back to primary and secondary education. As a case study, the research centers on the computer engineering department, revealing that students who wish to study or are studying computer engineering show a greater interest in activities related to design and game development, have a preference for the C# programming language, and exhibit a particular interest in chemistry, while demonstrating less affinity for street games. These findings underscore the relationship between students' higher education preferences in computer science and their prior learning experiences and social preferences, offering deeper insights into the decision-making process.

**Keywords:** Artificial intelligence, Association rules, Career, Data mining, University department choice.

## Meslek Lisesi Bilişim Programında Üniversite Bölüm Tercihini Etkileyen Faktörlerin Birliktelik Kuralı ile Analizi

**Öz.** Artan veri üretimi ve depolamasıyla birlikte ortaya çıkan karmaşık veri yığınları, bu verilerin işlenmesi için daha gelişmiş hesaplama yeteneklerine sahip bilgisayarlar ve yazılımlara olan ihtiyacı artırdı. Ancak, karmaşık verilerden anlamlı bilgiler çıkarmak hala bir zorluktur. Veri madenciliği bilimi, özellikle yapay zeka algoritmaları ile iş birliği içinde, verilerdeki karmaşık ilişkileri ortaya çıkarmak için çalışmaktadır. Çözülmesi gereken karmaşık sorunlardan biri de lise öğrencilerinin üniversitede en yüksek verimi sağlayacak bölüme yönlendirilmesidir. Bu çalışma, meslek lisesi bilişim teknolojileri öğrencilerinin ve mezunlarının bilgisayar bilimleri alanındaki üniversite bölüm tercihlerini etkileyen faktörleri araştırmaktadır. Genellikle akademik performans ve mevcut eğitim bağlamlarına odaklanan önceki araştırmalardan farklı olarak bu çalışma, öğrencilerin geçmiş eğitim deneyimleri, tercihleri, alışkanlıkları ve hobileri arasındaki bağlantıları ilk ve orta öğretime kadar izleyerek araştırmaktadır. Bir vaka çalışması olarak bilgisayar mühendisliği bölümüne odaklanan araştırma, bilgisayar mühendisliği okumak isteyen veya okumakta olan öğrencilerin tasarım ve oyun geliştirmeye ilgili faaliyetlere daha fazla ilgi gösterdiğini, C# programlama dilini tercih ettiğini ve kimyaya özel bir ilgi gösterirken sokak oyunlarına daha az yakınlık gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu bulgular, öğrencilerin bilgisayar bilimleri alanındaki yüksek öğrenim tercihleri ile önceki öğrenme deneyimleri ve sosyal tercihleri arasındaki ilişkinin altını çizmekte ve karar verme sürecine dair daha derin bilgiler sunmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Birliktelik kuralları, Kariyer, Üniversite bölüm tercihi, Veri madenciliği, Yapay zeka.

\*Corresponding author

E-mail address: [erkanozhan@gmail.com](mailto:erkanozhan@gmail.com) (E. Özhan)

## 1. Introduction

Vocational high schools are a type of secondary education institution. These schools provide practical training rather than theoretical knowledge and aim to produce skilled workers in various professional fields. Vocational high schools enable students to acquire basic knowledge and skills in a specific occupational field and offer options for both direct participation in the labor force and university transition. Students attending Vocational and Technical Anatolian High Schools (Mesleki ve Teknik Anadolu Liseleri-MTAL) take all the cultural subjects like those in other high schools, while also receiving vocational education related to their chosen field. Vocational high schools enhance students' chances of finding employment by offering practical training and providing opportunities for professional experience through internships. Vocational high schools increase students' chances of finding a job by providing opportunities for professional experience through practical training and internships. In addition, students are also provided with advantages such as being insured according to the social security requirements that are compulsory during the internship and increasing the additional points and multiplier coefficient when they apply to associate degree programs in their fields after graduating from vocational high schools. In addition, focusing intensely on vocational courses can lower students' university exam performance, and the limited number of academic courses can leave students inadequately prepared. On the other hand, vocational high schools aim to provide students with practical knowledge and skills in a specific occupational field. Vocational high schools are designed to provide students with the necessary skills for direct entry into business life and to contribute to the qualified labor force in specific sectors. Accordingly, academic courses have a supporting role in vocational high schools and the focus is on vocational education. Therefore, the aim of vocational high schools is to focus intensely on vocational courses. These schools aim to provide vocational specialization rather than university preparation; therefore, exam success is not the primary goal of these schools. Previously, companies were reluctant to employ uninsured interns and were unwilling to cover internship insurance costs, leading to difficulties in accepting interns and limiting the number of available placements. This situation made it challenging for students to secure internship positions. To address this issue, the government began covering students' insurance costs during internships, allowing students to gain work experience under social security protection and insurance coverage against workplace accidents, while companies were able to employ interns without incurring additional expenses. The rationale behind awarding extra points is that, in Turkey, vocational high schools have fewer academic courses geared toward university entrance exams, which hinders students' preparation for these exams. As a result, many students prefer high schools with a more comprehensive academic curriculum, such as Anatolian high schools, which significantly reduces the preference for vocational schools and makes it difficult for these schools to attract students. In response to the demand for mid-level professionals supplied by vocational high school graduates, the institution responsible for the student selection and placement exams has introduced incentives, such as additional

points and increased multipliers, to encourage enrollment in vocational schools.

Data mining techniques allow educational institutions to forecast student performance and discern correlations between attributes [1]. In recent years, the development of data mining techniques has enabled the creation of more detailed student models, capable of representing and detecting a broader range of student behaviours than was previously feasible [2].

Young people often make the most important and critical decisions of their lives during their high school years. They shape their careers based on the courses they take and the choices they make during this period. The decisions they make can have lifelong consequences. Career choice is one of the significant events that affects a person's life. The process of career planning encompasses a number of key elements, including the determination of career direction and goal, the selection of an appropriate career path, and the formulation of an effective educational plan [3]. When an individual chooses a profession, they also determine a lifestyle and work environment that suits them [4]. A study by Kurt & Fidan [5] revealed that students at a state university often make significant decisions based on short-term considerations, leading to dissatisfaction with their education and career prospects. The researchers recommend that universities prioritize practical training, expand internship opportunities, and support social and career development activities to enhance graduates' employability. They also emphasize the importance of providing career counseling and educational support, as well as collecting feedback from graduates and industry professionals to improve university programs.

As technology advances, students are required to equip themselves with new knowledge in various fields. With the growing prevalence of electronics and computers in industry, there is a significant need for well-trained individuals with high cognitive skills, not only in the usage but also in the production and maintenance stages. MTAL serve as foundational institutions where students first encounter computer science, just as they do for many other fields. In these schools, students explore the deeper workings of computers, going beyond their everyday uses. While some students continue their education in higher institutions or pursue careers in the information technology field after graduation, others may choose different professions that they find more suitable.

This study analyzes which informatics or other departments students in the informatics programs of vocational and technical high schools prefer for their university education after their training, and the factors influencing these choices, using association rules from data mining methods. Additionally, the post-secondary process is examined through the experiences of graduates.

### 1.1. Related Works

Previous studies have highlighted various factors influencing university students' career choices. For instance, [4] conducted a study at Ege University and found that 41.6% of students chose their profession due to positive opinions about the field, while 34.4% felt compelled by a lack of alternatives, and



39.6% believed the profession offered certain advantages. Additionally, 33.5% were influenced by recommendations from others. These findings underscore the complexity of career decision-making processes among students, influenced by personal preferences, external pressures, and perceived benefits.

Wang et al. [6] examined the factors influencing student academic performance by applying association rule mining to analyze student behavioral data. The study found that factors such as consumption level, breakfast frequency, daily online hours, canteen meal frequency, and book borrowing amounts impacted student performance. For instance, low consumption level and high breakfast frequency were found to be associated with good academic performance. While Wang et al. identified behavioral factors affecting academic performance, this study aims to address the issue in a more comprehensive manner by examining the role of both academic habits and extracurricular interests in students' decisions regarding their chosen field of study. Our study attempts to address the issue more thoroughly by investigating the role of both academic habits and extracurricular interests in students' decisions regarding their chosen field of study, even though Wang et al. identified behavioral factors affecting academic performance.

Wang & Bai [7] used the Apriori algorithm to explore factors influencing university students' career choices. Their analysis revealed significant relationships between students' educational attributes and employment decisions. The study concluded that this method improved the accuracy of career guidance by reducing errors and enhancing data mining efficiency, helping to better prepare students for the job market.

Saa [8] explored the relationship between students' personal and social factors and their academic performance. Using data from Ajman University, the study applied data mining techniques like Naïve Bayes and decision trees to predict students' GPA. The results showed that both personal and social factors, along with academic efforts, significantly impact performance. The research highlights the value of regularly analyzing student data to benefit both universities and students.

Kim et al. [9] analyzed students' online class preferences based on gender and school levels using the Apriori algorithm. The study revealed that female students generally preferred hands-on, maker-based classes, where they could engage in creative projects using digital tools, while male students showed a stronger preference for virtual experience-based classes, where they could interact with virtual environments for learning. These findings highlight the importance of offering personalized learning environments that align with students' interests and learning styles. The research suggests that identifying such preferences can help guide students towards the right academic paths, improving both engagement and educational outcomes.

Sodanil et al. [10] aimed to investigate the factors affecting career path selection of students studying in the field of information technology. They utilized an association rule mining approach to analyze students' grades in 25 core courses. The study identified 14 association rules that

potentially influence students' career path choices. These rules can be used to identify factors affecting career path selection and guide students.

The authors [11] analyzed the relationships between users' interests, professional skills and career backgrounds using a large sample of LinkedIn profiles with the aim of investigating their influence on career alignment. The study demonstrated that association rules between interests and skills mirror users' career alignment, and it proposed an association rule-based classifier for career alignment. While Si et al. examined individuals' historical interests, including past hobbies or preferred activities, our study aims to ascertain influential factors in selecting a specific university department by analyzing both past habits and the comprehensive scope of academic life.

In a study published in 2023 [12], developed a model for recommending appropriate elective courses to students using the Apriori algorithm and association rule mining. The study revealed several challenges, including students' limited ability to comprehend the relationship between elective courses and potential career pathways, their difficulty in identifying the skills that can be acquired through these courses, and their lack of sufficient knowledge about the range of career options available to them.

Ahmed et al. [13] using the academic data of 582 students from the Department of Computer Science and Engineering of Bangladesh University of Engineering and Technology, aimed to reveal the hidden information that affects factors such as student performance and retention/retention by association rule mining. In the study, a dataset containing data such as students' personal information, course grades and attendance was analyzed using the Apriori algorithm. The results showed that there are relationships between gender, dormitory residence status and courses taken that affect student achievement. Similarly, students' previous academic experiences and social characteristics could be investigated by extracting attributes associated with their behavior in dropping out of their university programs.

Mashiloane's [14] research involved the analysis of data from first-year computer science students using the Apriori algorithm to identify the optimal combinations of courses that would best support students in both computer science 1 and mathematics 1. His findings revealed a notable correlation between computer science 1 and various other academic fields, including biology, chemistry, psychology, and economics.

Wang et al. [15] conducted a study in which they used a machine learning technique called XGBoost to predict the post-university career choice of university students. Analysing a real-world dataset of 18,000 graduates' education and career choice information, it was found that academic data such as entrance exam score, scholarship amount and especially first semester GPA play an important role in students' career choice. The XGBoost algorithm was able to predict students' career choice with 89.1% accuracy, 85.4% recall rate and 0.872 F1 value. Although Wang et al. 's study shows that data mining methods such as our study can be used on students' career choices, our study focuses on the university department choice of vocational high school IT department students by

using association rules instead of classification and different attributes are used.

In this research, a unique approach is adopted by incorporating factors like students' favorite street games, subjects they enjoyed during primary and secondary education, personal hobbies, and habits, to explore their relationship with career choices. These often-overlooked characteristics may play a significant role in influencing career decisions.

The investigation of the factors that shape students' career decisions represents a pivotal area of inquiry within the field of education. Studies have sought to identify effective factors and determine career choice by examining students' habits and academic performance in their existing educational contexts, using data mining techniques. This study differs from the existing literature in that it examines the impact of students' social and emotional choices, interests, and habits in their previous educational experiences, as well as their academic interests and childhood habits in a holistic manner, on their career choice using association rules.

- This study contributes to the existing literature in the following ways:
- This study addresses a gap in the existing literature by evaluating how students' past educational experiences and social and emotional preferences influence their choice of university department.
- In this study, a dataset containing 20 attributes collected through a survey was used and more and different attributes were included in the analysis compared to previous studies.
- This study contributes to career guidance research by examining how habits and previous academic experiences influence students' academic interests and career choices.

## 2. Materials and Methods

Our study, which examines the factors influencing student career choices, utilizes association rules to analyze the factors that affect student behavior in making career decisions. Association rules are a used method in the literature for understanding student behavior [6].

In this study, a survey was conducted with the participation of current students and graduates from the Information Technology department of a MTAL. Approximately 200 individuals took part in the survey. The data collected from the survey were analyzed using the "Apriori Algorithm" as part of the "Association Rules Analysis," one of the techniques in data mining.

### 2.1 Data Set

The dataset for this study was collected from responses to a 20-question online survey distributed to 217 current and former students of a MTAL in Istanbul. To collect the data, in-class announcements were made, and the survey link was shared in online student groups. The variables in the dataset were determined after discussions and consultations regarding potentially influential characteristics. Association rule mining was used to analyze and compare survey responses, creating models related to university program preferences of MTAL students and graduates. Since standardized scales were not

used in the survey, reliability and validity analyses were not conducted.

The dataset includes responses from a total of 118 high school students and 99 high school graduates to the administered survey. The attributes of the dataset are detailed in Appendix 1.

The dataset comprises a total of 18 attributes. The statistical ratios of the different values for these 18 attributes can be calculated across the entire dataset. Prior to performing these calculations, the records are standardized to ensure consistency, categorized appropriately, and formatted for analysis. Subsequently, the analysis of these standardized records will be conducted using the Apriori algorithm implemented in R Studio.

The Apriori algorithm is characterized by its ability to identify recurring patterns and is used to uncover frequent itemsets in databases containing various types of information [16].

These algorithms perform multiple scans over the entire dataset to detect large itemsets. During the first scan, the support value of each item is calculated and compared against the minimum support threshold defined by the user. It is then determined whether each item's support value meets or exceeds this threshold. In subsequent scans, new itemsets are generated from the data that exceeded the support count in the previous scan. These itemsets are referred to as candidate itemsets. In each subsequent scan, the support values of the itemsets are recalculated, starting from the candidate itemsets determined in the previous scan, until the final combination of items in the database is reached. This process continues until no new candidate itemsets are found [17].

Agrawal & Srikant [18] have described the working principle and pseudo-code of the Apriori algorithm as follows:

- During the first scan of the data, all items are counted to find large itemsets.
- The next scan, let it be the  $k$ -th scan, consists of two steps:
- Using the Apriori-gen function, candidate itemsets ( $C_k$ ) are generated with the itemsets  $L_{\{k-1\}}$  obtained in the  $(k-1)$ -th scan.
- Then, the database is scanned to count the support of the candidates in ( $C_k$ ).
- For a fast count, it is necessary to accurately determine the candidates forming ( $C_k$ ) in a given transaction.

One of the traditional applications of the Apriori algorithm is to identify and define relationships between products sold in markets. Similarly, it can be utilized by manufacturers to optimize products or goods that are consumed or whose stock levels are declining in warehouse systems. Arranging products that are transported together on nearby shelves can reduce warehouse movements and transportation costs. This method can provide benefits such as preparing high-probability ordered items in cafes and restaurants in advance or grouping related products together in the menu.

In this study, the relationship between the vocational fields of MTAL students in the information technology departments,

their preferred university departments, and the courses, hobbies, and habits they are interested in has been revealed using association rule analysis, a data mining method, and the Apriori algorithm.

The primary focus of traditional statistical methods is not on uncovering associations or co-occurrences within data sets. Association rule mining algorithms, on the other hand, are firmly situated within the field of data mining, despite their mathematical and statistical underpinnings. This is due to their emphasis on identifying co-occurring patterns and their confidence levels. These methods have been changed to data mining extract meaningful associations and their support values from data, a task that is generally beyond the scope of traditional statistical approaches.

### 3. Research and Findings

Initially, the dataset was tested using R Studio with the inclusion of libraries specific to the Apriori algorithm. Based on the rules obtained, the top 100 rules with high reliability were listed. No filtering was applied and no attributes were selected during the rule calculation process. The initial 100 rules generally consisted of binary rules. As the number of attributes included in a rule increases, the probability of co-occurrence decreases. Correspondingly, the confidence values of associations with low co-occurrence probabilities also decrease. The fundamental parameters of the Apriori algorithm are support and confidence values. The total number of rules discovered before determining the support and confidence values was calculated to be 8663. The first 10 values of the 100 rules mentioned in Table 1 are listed.

**Table 1** The top 10 rules with the highest confidence

Rule No	Connected Column 1	Connected Column 2	Sup. Ratio	Conf.
1	Type of software liked=Compiler software	Is there a computer at home=Yes	12%	96%
2	Hobby=Reading books	Likes doing puzzles=Yes	13%	93%
3	Hobby=Reading books	Is patient=Yes	12%	90%
4	Hobby=Reading books	Likes regular life=Yes	13%	93%
5	Hobby=Reading books	Is there a computer at home=Yes	13%	93%
6	Favorite science subject=Physics	Is a university student or graduate=No	11%	83%
7	Favorite science subject=Physics	Gender=Male	12%	90%
8	Favorite science subject=Physics	Is there a family member working in IT=No	12%	86%
9	Favorite science subject=Physics	Is there a computer at home=Yes	11%	83%
10	Desired university department=Computer Engineering	Is a high school graduate=No	14%	100%

Continuing with the study, five popular university departments in the field of information technology were selected, and filtering was applied to the data for re-analysis. The selected programs are as follows: Computer Engineering, Computer Programming, Computer Education and Instructional

Technology, Web Design and Programming, and Software Engineering. Considering that these programs fall within the scope of higher education, no distinction was made between undergraduate and graduate levels in the analysis. The proportions of these selected departments in the dataset are presented in Table 2.

**Table 2** Distribution of Students' Preferences for Computer Science-related Departments

Department	Num. of Preferences	Percentage
Computer Engineering	38	17 %
Computer Programming	20	10 %
Computer Education and Instructional Technology	36	16.5 %
Web Design and Coding	20	10 %
Software Engineering	20	10 %

### 3.1 Association Rules for the Computer Engineering Department

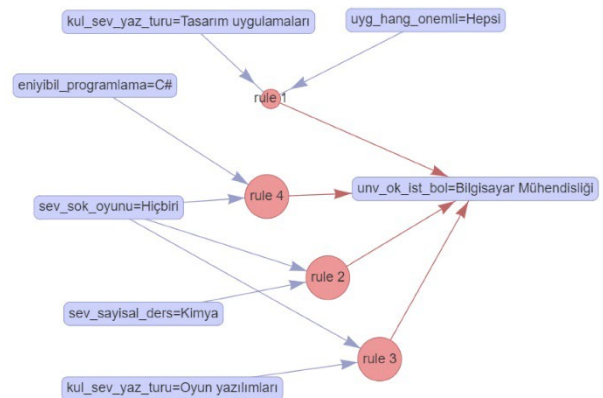
Association rules for students from Vocational and Technical Anatolian High Schools who wish to pursue a degree in Computer Engineering, as well as for participants who have graduated from the department, have been identified. The diagram of the top 4 rules with the highest confidence is presented in Fig. 1. A total of 1,003 rules were identified for the Computer Engineering Department, and the first four of these rules were shown in Fig. 1.

Based on the Apriori algorithm results, we can interpret the tendencies of students who want to study computer engineering as follows:

Interest in design applications and all important aspects: Students who favor design applications and consider all aspects (such as ease of use, functionality, aesthetics) important are highly likely to choose computer engineering. The rule:

$\{Fav\_Software\_Type = Design\ applications, Imp\_Aspect = All\ of\ them\} \Rightarrow \{Univ\_Dept\_Wish = Computer\ Engineering\}$

with a support of 0.0092 and a confidence of 1 suggests that students who prioritize design and its various aspects have a strong inclination toward this field.



**Figure 1.** Rule graph diagram for the Department of Computer Engineering

Chemistry and lack of outdoor games: Students who select chemistry as their favorite science subject and do not engage in outdoor games tend to choose computer engineering. The rule:

$$\{Fav\_Sci\_Subject = Chemistry, Fav\_Outdoor\_Game = None\} \Rightarrow \{Univ\_Dept\_Wish = Computer\ Engineering\}$$

shows a support of 0.0092 and confidence of 1, indicating a clear connection between these interests and the choice of computer engineering.

Game software interest and lack of outdoor activities: Students who are interested in game software and do not play outdoor games show a strong inclination toward computer engineering. The rule:

$$\{Fav\_Software\_Type = Game\ software, Fav\_Outdoor\_Game = None\} = > \{Univ\_Dept\_Wish = Computer\ Engineering\}$$

with a support of 0.0138 and confidence of 1 highlights that students with a passion for game software and minimal outdoor activity are likely to pursue computer engineering.

$$\{Best\_Prog\_Lang = C\#, Fav\_Outdoor\_Game = None\} = > \{Univ\_Dept\_Wish = Computer\ Engineering\}$$

The results reveal a strong association between students' proficiency in the C# programming language and their preference for computer engineering, especially among those who do not participate in outdoor games. This highlights the role of specific programming skills in shaping students' academic choices. The mastery of C# appears to be a significant factor influencing the decision to pursue computer engineering, suggesting that targeted programming education can effectively guide students towards this field.

When examining the rules for students who successfully enrolled in and are currently studying in the computer engineering department, it is observed that those excelling in social sciences and chemistry and preferring design software tend to choose this major. Additionally, female students with strong social sciences backgrounds and family members working in IT are more likely to prefer computer engineering. Students who are proficient in mathematics and have an interest in compiler software, particularly those who do not play chess and have family members in the IT field, also show a tendency to select this major.

When comparing the rules for students who want to study computer engineering with those who are already studying it, some common traits emerge. Both groups highlight students excelling in social sciences and mathematics and having family members in the IT field. However, students who are currently enrolled show a more specific interest in software types (such as design or compiler software). Additionally, the fact that non-chess players stand out among the current students suggests that even hobbies can influence career choices.

It is also possible to obtain similar results for other IT departments using the Apriori algorithm. This algorithm can reveal valuable insights into career choices by identifying

relationships between various factors, such as students' academic success, software preferences, and family backgrounds.

#### 4. Results

This study analyzed the factors influencing the career choices of both students who aspire to study computer engineering and those currently enrolled in the department. The Apriori algorithm-based analysis revealed that students' success in social science subjects, their preferred types of software, and familial factors play a significant role in their career choices. Particularly, students excelling in social sciences and showing an interest in design applications are more likely to choose computer engineering. Moreover, students with family members working in the IT sector and those who do not enjoy playing chess but are interested in compiler software also tend to select computer engineering.

For female students, success in social sciences and having family members in the IT field were observed as key determinants in their choice of computer engineering. For both prospective and current students of computer engineering, family influence, academic success, and personal interests were found to be significant factors in their career decisions. Similar analyses can be conducted for other IT departments using the Apriori algorithm, and these findings can be further expanded.

#### 5. Discussion and Conclusion

When comparing the rules for the two groups of students, it is observed that success in quantitative sciences (especially chemistry and mathematics) and software preferences are prominent for both those who wish to study computer engineering and those already studying in the department. However, family-related factors, particularly the presence of family members in the IT sector, have a stronger influence on current computer engineering students. Moreover, success in social sciences and its effect on female students were more decisive for the current students. In addition, it may be useful for female students who want to study in a field related to computer science but need encouragement to meet with family members working in this field and benefit from their experiences, professional lives and advice.

One distinctive aspect of this study is its focus on elements that have been insufficiently addressed in the existing literature. Specifically, factors such as family structure, hobbies, favorite subjects in elementary and middle school, and social activities have been examined for their impact on career choices. This research is focused on individual preferences and social contexts, with the aim of highlighting how these factors influence career paths. The study emphasizes the significance of personal and social influences in career decisions, thereby contributing to a more comprehensive and enriched understanding of the field. While previous research has often concentrated on broader, more general factors influencing career selection, this study offers a detailed analysis of how personal interests and social contexts affect career decisions. This approach provides a more in-depth and comprehensive understanding compared to earlier studies. Future research could benefit from repeating these analyses with larger datasets and across different fields, which would further enhance our understanding of these dynamics. The influence

of peer pressure, family support, and expectations on career choices could be examined in further research using similar methodologies.

### Acknowledgement

This study is part of the Master of Science thesis by Esma Türk, conducted in the Department of Computer Engineering within the Institute of Natural and Applied Sciences at Tekirdağ Namık Kemal University, under the supervision of thesis advisor Erkan Özhan. The authors would like to thank the Institute for its support and all survey participants for their valuable contributions.

### Declaration of Ethical Standards

The authors declare that they comply with all ethical standards.

### Credit Authorship Contribution Statement

Data curation – Esma Türk (ET), Erkan ÖZHAN (EO); Formal analysis – ET, EO; Investigation – ET, EO; Experimental performance – EO; Data collection – ET, EO; Processing – ET, EO; Literature review – ET, EO; Writing – ET, EO; Visualization – EO; Review and editing – EO; Supervision – EO.

### Declaration of Competing Interest

The authors have no conflicts of interest to declare regarding the content of this article.

### Data Availability Statement

The data used in this study are retained for use in future research and are not currently available for public access. For further information about the data, please contact the authors.

### References

- [1] Alangari, N., & Alturki, R. (2020). Association rule mining in higher education: A case study of computer science students. In R. Mehmood, S. See, I. Katib, & I. Chlamtac (Eds.), *Smart Infrastructure and Applications*, EAI/Springer Innovations in Communication and Computing (pp. 311–328). Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-13705-2\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-030-13705-2_13).
- [2] Baker, R. S. J. D. (2010). Mining data for student models. In R. Nkambou, J. Bourdeau, & R. Mizoguchi (Eds.), *Advances in Intelligent Tutoring Systems*, Studies in Computational Intelligence, vol. 308 (pp. 323–337). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-14363-2\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-642-14363-2_16).
- [3] Nie, L. (2024). College students' career prediction model based on association rule mining algorithm. In Y. Zhang & N. Shah (Eds.), *Application of Big Data, Blockchain, and Internet of Things for Education Informatization*, Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering, vol. 584 (pp. 378–384). Cham: Springer Nature Switzerland. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-63142-9\\_38](https://doi.org/10.1007/978-3-031-63142-9_38).
- [4] Sarıkaya, T., & Khorshid, L. (2009). Üniversite öğrencilerinin meslek seçimini etkileyen etmenlerin incelenmesi: Üniversite öğrencilerinin meslek seçimi. *TEBD*, 7(2), 393–423.
- [5] Kurt, T., & Fidan, T. (2021). University for career construction: Expectations and realities. *Yükseköğretim*

*Dergisi*, 11(2Pt2), 421–437. <https://doi.org/10.2399/yod.20.591001>.

[6] Wang, T., Xiao, B., & Ma, W. (2022). Student behavior data analysis based on association rule mining. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 15(1), 32. <https://doi.org/10.1007/s44196-022-00087-4>.

[7] Wang, L., & Bai, Y. (2022). Research on career guidance course system based on apriori algorithm and computer big data. In *2022 International Conference on Computers, Information Processing and Advanced Education (CIPAE)* (pp. 136–140). Ottawa, ON, Canada: IEEE. <https://doi.org/10.1109/CIPAE55637.2022.00036>.

[8] Saa, A. A. (2016). Educational data mining & students' performance prediction. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 7(5). <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2016.070531>.

[9] Kim, J., Hwang, D., & Lee, S.-S. (2022). An analysis of students' online class preference depending on the gender and levels of school using Apriori Algorithm. *Journal of Digital Convergence*, 20(1), 33–39. <https://doi.org/10.14400/JDC.2022.20.1.033>.

[10] Sodanil, M., Chotirat, S., Poomhira, L., & Viriyapant, K. (2019). Guideline for academic support of student career path using mining algorithm. In *Proceedings of the 2019 3rd International Conference on Natural Language Processing and Information Retrieval* (pp. 133–137). Tokushima Japan: ACM. <https://doi.org/10.1145/3342827.3342841>.

[11] Si, H., Wu, H., Zhou, L., Wan, J., Xiong, N., & Zhang, J. (2020). An industrial analysis technology about occupational adaptability and association rules in social networks. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16(3), 1698–1707. <https://doi.org/10.1109/TII.2019.2926574>.

[12] Concha, C. R. V., & Fabregas, A. C. (2023). Apriori algorithm applied in job forecasting with elective tracking. In *TRANSPORT, ECOLOGY - SUSTAINABLE DEVELOPMENT: EKOVarna2022* (p. 020002). Varna, Bulgaria: AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/5.0162456>.

[13] Ahmed, S., Paul, R., & Hoque, A. S. M. L. (2014). Knowledge discovery from academic data using association rule mining. In *2014 17th International Conference on Computer and Information Technology (ICCIT)* (pp. 314–319). Dhaka, Bangladesh: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICCITechn.2014.7073107>.

[14] Mashiloane, L. (2014). Using association rule mining to find the effect of course selection on academic performance in computer science. In R. Prasath, P. O'Reilly, & T. Kathirvalavakumar (Eds.), *Mining Intelligence and Knowledge Exploration*, Lecture Notes in Computer Science, vol. 8891 (pp. 323–332). Cham: Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-13817-6\\_31](https://doi.org/10.1007/978-3-319-13817-6_31).

[15] Wang, Y., Yang, L., Wu, J., Song, Z., & Shi, L. (2022). Mining campus big data: Prediction of career choice using interpretable machine learning method. *Mathematics*, 10(8), 1289. <https://doi.org/10.3390/math10081289>.

[16] Sözen, E., Bardak, T., Peker, H., & Bardak, S. (2017). Apriori algoritması kullanılarak mobilya seçimde etkili olan faktörlerin analizi. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 6(3), 679–684.

[17] Öztemiz, F. (2017). *Apriori Algoritması ile Müşteri Bazlı Market Sepet Analizi ve Ürün Satış Tahmini* (MSc. Thesis). İnönü University, Malatya, Turkey. Retrieved from [https://avesis.inonu.edu.tr/yonetilen-tez/b6a95449-a644-](https://avesis.inonu.edu.tr/yonetilen-tez/b6a95449-a644-44f5-a254-fb3ddfad0953/apriori-algoritmasi-ile-musteri-bazli-market-sepet-analizi-ve-urun-satis-tahmini)

[44f5-a254-fb3ddfad0953/apriori-algoritmasi-ile-musteri-bazli-market-sepet-analizi-ve-urun-satis-tahmini](https://avesis.inonu.edu.tr/yonetilen-tez/b6a95449-a644-44f5-a254-fb3ddfad0953/apriori-algoritmasi-ile-musteri-bazli-market-sepet-analizi-ve-urun-satis-tahmini).

[18] Agrawal, R., & Srikant, R. (1994). Fast algorithms for mining association rules in large databases. In *Proceedings of the 20th International Conference on Very Large Data Bases (VLDB '94)* (pp. 487–499). San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc.

## Research Article

# Actual Scientific Research Directions On Smart Villages In the Web of Science Database Publications

Samira Akbarova<sup>1,\*</sup> 

<sup>1</sup>Department of Construction of engineering systems and facilities, Water management and Engineering communication systems Faculty, Azerbaijan University of Architecture and Constructon, Baku, Azerbaijan, Az1073

<sup>1</sup>[samira.akbarova@azmiu.edu.az](mailto:samira.akbarova@azmiu.edu.az)

Received: 16.04.2024

Accepted: 24.12.2024

DOI: 10.55581/ejeas.1468475

**Abstract:** In Azerbaijan, large-scale works are currently underway to restore the once-destroyed Karabakh region through the implementation of the popular trend of the current century, the “smart” village concept, which implies the most efficient applience of the available resources of a region through the use of innovative construction technologies and materials, “green” energy, and digitalization of all spheres of human life. The first smart village in Azerbaijan is Agali village. The purpose of this study is to review scientific publications, abstracted in the Web of Science database in the category “Green sustainable scientific technologies” on the subject of smart village and identify areas of current scientific research using the VOSviewer program, which allows to group keywords by frequency of their occurrence in articles and determine the most refereed articles. The program grouped scientific publications into 6 clusters: applying the circular economy to smart villages; the use of renewable energy technologies for energy supply; the impact of innovation on the quality of population life; the environmental impact of smart villages in the Chinese context; the application of efficient management methods; and strategies for ensuring sustainable development. The identified trends in scientific research on the development of smart villages are relevant to Azerbaijan. Some measures to achieve sustainable development of the village indicated in the articles studied have already been implemented, and some are planned to be applied. This study's results will help specify further necessary research on the development of smart villages in Azerbaijan.

**Keywords:** Sustainable development, Renewable energy sources, Circular economy, Efficient management methods, Cluster.

## Web of Science Veritabanı Yayınlarındaki Akıllı Köylere İlişkin Güncel Bilimsel Araştırma Yönergeleri

**Öz.** Azerbaycan'da, bir zamanlar harap olan Karabağ bölgesinin, içinde bulunduğumuz yüzyılın popüler trendi olan ve mevcut kaynakların en verimli şekilde kullanılmasını ifade eden "akıllı" köy konseptinin hayata geçirilmesi yoluyla yeniden ayağa kaldırılmasına yönelik geniş çaplı çalışmalar sürdürülmektedir. Yenilikçi inşaat teknolojileri ve malzemelerinin kullanıldığı, "yeşil" enerjinin kullanıldığı ve insan yaşamının tüm alanlarının dijitalleştirildiği bir bölge. Azerbaycan'ın ilk akıllı köyü Agali köyüdür. Bu çalışmanın amacı Web of Science veritabanında yer alan “Yeşil Sürdürülebilir Bilimsel Teknolojiler” kategorisinde “akıllı” köy konu alanına ilişkin bilimsel yayınları incelemek ve güncel bilimsel araştırma alanlarını VOSviewer programı kullanarak tespit etmektir. anahtar kelimeleri makalelerde bulunma sıklıklarına göre gruplandırmak ve en soyut makaleleri belirlemek. Program bilimsel yayınları 6 kümede gruplandırdı: döngüsel ekonominin akıllı köylere uygulanması; enerji tedarigi için yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanılması; yeniliğin nüfusun yaşam kalitesi üzerindeki etkisi; Çin bağlamında akıllı köylerin çevresel etkisi; verimli yönetim yöntemlerinin uygulanması; akıllı köylerin sürdürülebilir kalkınmasını sağlamaya yönelik stratejiler ve stratejiler. Akıllı köylerin geliştirilmesine yönelik bilimsel araştırmalarda belirlenen eğilimler Azerbaycan'daki akıllı köylerle ilgilidir. İncelenen maddelerde belirtilen köyün sürdürülebilir kalkınmasını sağlamaya yönelik bazı önlemler halihazırda uygulamaya konmuş olup, bazılarının da uygulanması planlanmaktadır. Bu çalışmanın sonuçları, Azerbaycan'da “akıllı” köylerin geliştirilmesine yönelik gerekli araştırmaların belirlenmesine yardımcı olacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Sürdürülebilir kalkınma, Yenilenebilir enerji kaynakları, Döngüsel ekonomi, Etkin yönetim yöntemleri, Kümelene.

\*Corresponding author

E-mail address: [samira.akbarova@azmiu.edu.az](mailto:samira.akbarova@azmiu.edu.az) (S. Akbarova)

## 1. Introduction

In recent decades, global urbanization has reached unprecedented proportions, challenging modern society regarding energy consumption, environmental sustainability, and quality of life. In response to these challenges, smart cities emerged, focused on using information and communication technologies to optimize infrastructure, management, and consumption of resources [1, 2]. However, in parallel with this development, a smart village has become relevant, as a sustainable settlement that integrates modern technologies with the natural environment [3]. In Azerbaijan, large-scale work is currently underway to restore the once-destroyed Karabakh region through the implementation of the smart village concept, the popular trend of the current century [4], which means the most efficient use of the available resources of a particular region through the use of innovative construction technologies, materials, "green energy", and the digitalization of all spheres of human life and infrastructure [5]. The first pilot smart village project implemented in Azerbaijan was Agali village (Fig. 1), rightfully considered as the Azerbaijani analog of the global trend, and that is the first in the post-Soviet space. The key point of the strategy for its creation is self-sufficiency using local resources and innovative technologies in four development areas: green energy; energy efficiency of construction projects; intellectual infrastructure and social services; and full employment of residents [6].

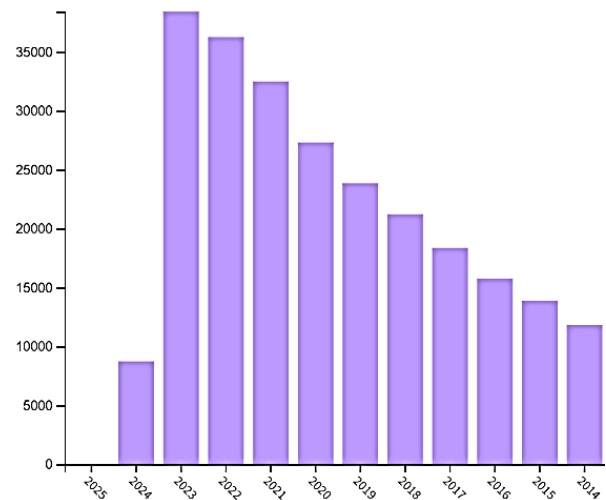
The purpose of this study is to review scientific articles on the "smart village" subject topic, abstracted in Web of Science (WoS) Core Collection database and to identify current scientific research areas using the tools of VOSviewer 1.6.20.



**Figure 1.** Smart Agali village, Azerbaijan, 2023, (<https://caliber.az/print/179595>)

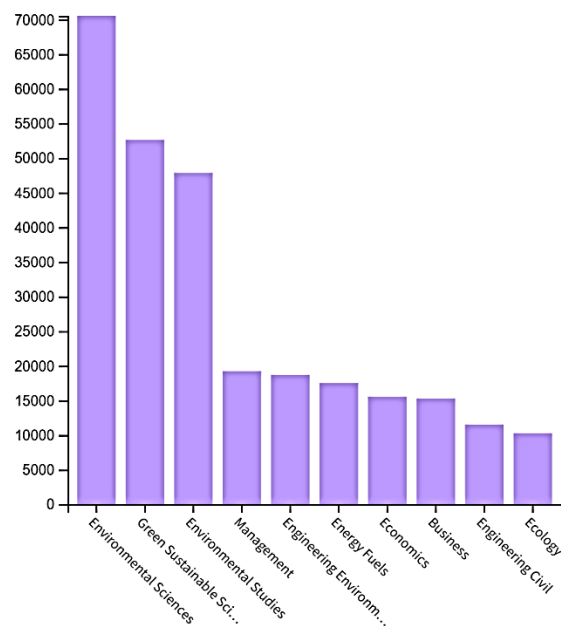
## 2. Materials and Methods

To select the metadata of scientific articles from the database WoS, the query "smart" village was used with the keyword-sustainability [7, 8]. As a result, 319 518 documents were received for the period 1982-2024. Fig. 2 shows a histogram of publications over the past 10 years; the largest number of articles were published in 2023- 38 421, and 8 736- in 2024.



**Figure 2.** Distribution of the publications' number of by subject area "smart village" in WoS (2014-2024)

Fig. 3 shows publications by WoS's categories. The maximum number of articles falls in the Environmental Science category- 76,111. The second category is Green sustainable scientific technologies, and the number of publications is 52 640.



**Figure 3.** Distribution of the publications' number of by categories of WoS (1982-2025)

To narrow the scope of research, scientific articles for the year 2024 were identified from the total number of 319 518, and the category Green Sustainable Scientific Technologies was selected from the WoS Categories section. As a result, 933 publications remained. The found publications were uploaded as a delimited file tabulation in Full record format [9]. Next, in VOSviewer, the data type was selected- Creating a map using bibliographic data. Then the program read the data from the downloaded WoS file. As a type of keyword analysis, the function of their co-occurrences in publications was chosen; the calculation method is "Complete" [10].

From the metadata of the downloaded 933 publications



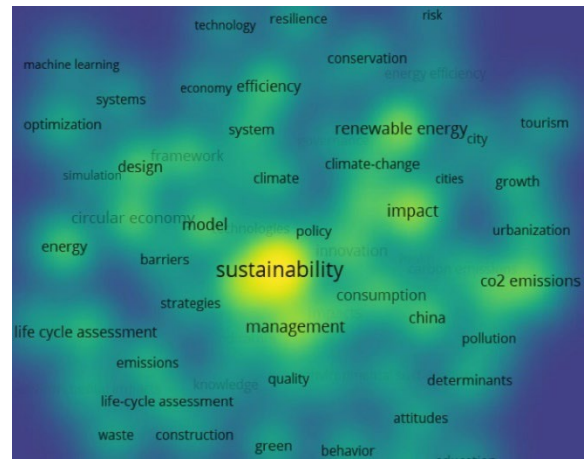
VOSviewer identified 5717 keywords. With a minimum number of co-occurrences keywords of 12, 64 words were involved in constructing the bibliographic map. The 20 most frequently used keywords with the frequency of their co-occurrences and the full degree of connections are shown in Table 1, they are mainly the terms and phrases of the authors themselves [11]. The most frequently used terms in the 933 publications reviewed are smart village, sustainability, circular economy, productivity, renewable energy, impact, governance, carbon emissions, innovation, sustainable development, life cycle assessment, economic growth, energy consumption, system, etc.

**Table 1.** The most frequently occurring top 20 keywords for the subject area “smart village” in WoS (2024), program fragment

Create Map

Selected	Keyword	Occurrences	Total link strength
<input checked="" type="checkbox"/>	sustainability	220	396
<input checked="" type="checkbox"/>	performance	72	159
<input checked="" type="checkbox"/>	impact	66	147
<input checked="" type="checkbox"/>	management	75	144
<input checked="" type="checkbox"/>	renewable energy	60	130
<input checked="" type="checkbox"/>	co2 emissions	29	102
<input checked="" type="checkbox"/>	model	51	93
<input checked="" type="checkbox"/>	circular economy	42	88
<input checked="" type="checkbox"/>	energy	38	86
<input checked="" type="checkbox"/>	innovation	34	84
<input checked="" type="checkbox"/>	design	33	83
<input checked="" type="checkbox"/>	china	32	82
<input checked="" type="checkbox"/>	economic-growth	27	82
<input checked="" type="checkbox"/>	consumption	26	80
<input checked="" type="checkbox"/>	sustainable development	46	80
<input checked="" type="checkbox"/>	efficiency	29	76
<input checked="" type="checkbox"/>	framework	28	76
<input checked="" type="checkbox"/>	impacts	29	71
<input checked="" type="checkbox"/>	life cycle assessment	26	66
<input checked="" type="checkbox"/>	system	24	58

Based on the density of keywords and their occurrence in publications, it can be judged that the main direction of research is related to the sustainability of the development of smart villages [12]. The keyword “sustainability” stands out as the most frequently used keyword (Fig. 4).



**Figure 4.** Graphical representation of the density of keywords according to their occurrence in publications

### 3. Results and Discussion

64 keywords from selected publications were grouped by VOSviewer into 6 clusters and marked in different colors (Fig. 5):

1st cluster- red - 13 terms on adapting the principles of the circular economy for a smart village (Fig. 6, a);

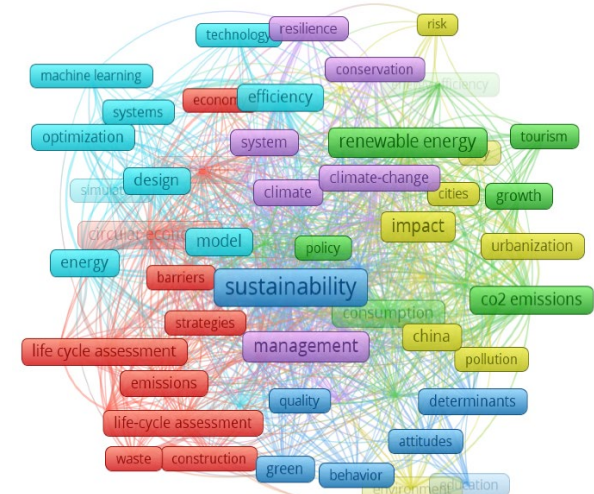
2nd cluster- green - 11 terms regarding the use of renewable energy technologies (Fig. 6, b);

3rd cluster- blue - 10 terms on the impact of innovation on the quality of people life (Fig. 6, c);

4th cluster- yellow - 10 terms on the environmental impact of smart villages in the context of China (Fig. 6, d);

5th cluster- purple - 10 terms on the use of efficient management methods (Fig. 6, e);

6th cluster- blue - 10 terms on strategies for ensuring sustainable development of smart villages (Fig. 6, f).



**Fig. 5.** Clustering of keywords according to their co-occurrence in the WoS database for the “smart village” subject area



processed resources; reducing waste sent to landfills; and reducing the area of landfills and landfills [15]. A circular economy involves sharing, renting, reusing, repairing, upgrading, and recycling existing materials and products. The application of this concept helps to solve problems such as loss of biodiversity, generation and accumulation of waste, and environmental pollution [16].

2. Based on the publications classified in the second cluster, it can be concluded that a smart village, to save energy, should actively use renewable energy sources, such as solar energy, wind energy, biomass energy, and hydropower with the integration of advanced technologies. Biofuels for transportation, including biodiesel, are increasingly being used to reduce greenhouse gas emissions from transport [17]. Due to anaerobic fermentation, wastewater can serve as a source of renewable energy. The use of renewable energy will reduce carbon dioxide emissions and ensure environmental sustainability [18]. Policies to support such initiatives will promote economic growth.

3. In the publications of the third cluster, the smart village is considered based on the principles of sustainability, innovation and ensuring a high quality of population life, and preserving cultural heritage [19]. Innovations in the field of social systems and infrastructure provision shape new relationships and behavior of people [6]. Digitalization and robotization of labor-intensive processes are catalysts for sustainable rural development. The task of digitalization of rural infrastructure is to improve the standard of population live through accessible and high-quality education, medical care, transport connections. In addition that, the transition to smart farming helps to increase production efficiency [20]. Smart farming technologies operate based on Internet of Things technologies and are applied in all aspects of agriculture. In particular, the use of drones simplifies the processes of applying fertilizers and insecticides, irrigation mapping, monitoring the condition of fields, monitoring and managing livestock complexes, and ensuring the protection of territories in hard-to-reach places [21].

4. Publications in the fourth cluster consider the smart village in the context of the modern world, where special attention is paid to the impact of smart villages on the environment [22]. An example is China, where smart villages play a key role in achieving sustainable development goals, and combating pollution and people health risks. The introduction of environmentally friendly and resource-saving technologies for the sustainable use of the environment is necessary to preserve and restore the village ecosystem through a careful study of the specifics of a particular area [23, 24].

5. According to publications highlighted in the fifth cluster, an important aspect of a smart village is a management method using information and communication technologies that can solve problems related to climate change, conservation of natural resources, and sustainable development [25]. The management system of a smart village must be flexible, adaptive, and based on up-to-date data to ensure the efficient functioning of the infrastructure, optimization of resource use, and minimization of negative impacts on the environment [26].

6. According to publications generated in the sixth cluster, it can conclude that a smart village is a model of rural development that uses information and communication technologies, taking into account local resource capabilities [27]. The concept of sustainable village development is associated with intensive economic development and is based on the rational and efficient use of resources, taking into account the needs of future generations. The basis of sustainable development is the balance of economic growth, social and environmental responsibility of the village leadership [28]. An imbalance can lead to negative consequences, for example, extensive development of a territory by covering large areas can disrupt the ecosystem, provoke pollution of water resources, and threaten food security. The essence of the problem of sustainable rural development is to achieve production efficiency in conditions of limited and exhaustible natural and energy resources [29].

#### 4. Conclusions

The topic of smart villages has been researched extensively from 1982 to the present. This article evaluates scientific publications in the subject area of “smart villages” for 2024. Based on the analysis of keywords, the main research areas are identified: adaptation of the principles of the circular economy for a smart village; application of renewable energy technologies; the impact of innovation on the quality of people life; the environmental impact of smart villages in the Chinese context; use of effective management methods; strategies to ensure sustainable development of smart villages.

A smart village is a concept for a sustainable rural community that integrates advanced information and communication technologies and circular economy principles to ensure the minimization of environmental impact and improved quality of life [30]. The goal of a smart village is to create a sustainable innovative environment where renewable energy sources are actively used to supply the population with electricity and heat, and energy consumption itself is optimized using efficient technologies and remote control. One of the key aspects of a smart village is its sustainability through the use of a circular economy, where resources are maximized and waste is minimized through recycling and reuse [31]. Life cycle assessment of materials and products plays an important role in this process, identifying the best ways to manage resources and reduce negative environmental impacts. The economic growth of a smart village is driven not only by increased productivity and resource efficiency but also by stimulating innovation [32]. Innovation plays a key role in the development of smart technologies that improve the quality of life and ensure sustainable development. Incorporating renewable energy into a smart village reduces dependence on fossil fuels and reduces carbon emissions, which is beneficial to the environment and promotes sustainable development. However, to ensure sustainability, it is also necessary to focus on managing energy consumption, introducing innovative technologies, and developing an effective management system that ensures optimal use of resources.

The identified trends in scientific research on the development of smart villages are also relevant to the conditions of Azerbaijan [33]. Some measures to achieve sustainable development indicated in the studied articles have already

been implemented, and some are planned to be applied. This study will help to clarify further directions for the development of smart villages in Azerbaijan and it can be used by researchers to study research trends on this topic [34]. The fact that the keywords- sustainability, circular economy, renewable energy sources, quality of life of the population, effective management methods, carbon dioxide emissions- are most often used in the considered research field, shows its interdisciplinary, therefore interdisciplinary scientific research in this direction is necessary [35].

#### Author Contribution

Data curation – Samira Akbarova (SA); Formal analysis - (SA); investigation - (SA); Experimental Performance - (SA); Data Collection - (SA); Processing - (SA); Literature review - (SA); Writing - (SA); Review and editing - (SA)

#### Declaration of Competing Interest

The authors declared no conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

#### References

- [1] Zhang, X., Zhang, Z. (2020). How do smart villages become a way to achieve sustainable development in rural areas? Smart village planning and practices in China. *Sustainability*, 12 (24).
- [2] Wu, Y., Azmi, A., Ibrahim, R., Ghafar, A. A., & Salih, S. A. (2024). Creating a sustainable urban ecosystem: the Azheke village model. *Smart and Sustainable Built Environment*.
- [3] Jimenez, T., Cuadrado, R., Roji C. (2024). Foundations of land-based turbine winds: current situation and trends. *Construction Reports*, 76 (573), 6443.
- [4] Akbarova, S., Mammadov, N., Rustamov, V. (2022). Evaluation of thermal energy production by solar panels for Karabakh "green" energy zone. *Reliability: theory and applications*, 4(70), 200-206.
- [5] Asriadi, A., Jamaluddin, A., Abdullahi, A. (2021). Village governance in realizing smart village in Tongke-Tongke Village, Sinjai Regency. *International Conference on Environmental Ecology of Food Security (ICEFS)*.
- [6] Aziiza, A., Susanto, T. (2020). The smart village model for rural area, case study: Banyuwangi regency. *3rd International Conference on Engineering Technology for Sustainable Development*, 722.
- [7] Bukar, U., Sayeed, M., Mahmood, R. (2023). A method for analyzing text using VOSviewer. *MethodsX*, 11, 102339.
- [8] Ding, X., Yang, Z. (2022). Knowledge mapping of platform research: a visual analysis using VOSviewer and CiteSpace. *Electronic commerce research*, 22(3), 787-809.
- [9] Li, C., Sun, T., Kelly, K., Zhang, Y. (2012). A compressive sensing and unmixing scheme for hyperspectral data processing. *IEEE Transactions on Image Processing*, 21(3), 1200-1210.
- [10] Van, E. (2010). A comparison of two techniques for bibliometric mapping: multidimensional scaling and VOS. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 61(12), 2405-2416.
- [11] Kirby, A. (2023). Exploratory bibliometrics: using VOSviewer as a preliminary research tool. *Publications*, 11(1).
- [12] Van, E., Waltman L. (2010). Software survey: VOSviewer , a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523-538.
- [13] Harakal'ová, L. (2018). Smart villages - new concept of rural development of the EU. *4th International Conference on European Integration 2018 (ICEI 2018)*, 1-3, 413-421.
- [14] Gonzalez, E., Kandpal, V., Majumdar, S. (2023). A bibliometric analysis of circular economies through sustainable smart cities. *Sustainability*, 15(22).
- [15] Pozas, B., Gamero, I., De Castro, P. (2020). A methodology to improve energy efficiency and comfort conditions with low-cost ICTs in rural public buildings. *Sustainable cities and society*, 60.
- [16] Esmacilpoorarabi, N., Yigitcanlar, T. (2023). User-centric innovation district planning: lessons from Brisbane 's leading innovation districts . *Buildings*, 13(4).
- [17] Crawford R. (2018). Towards the environmentally sustainable smart village. *COSVARD*, 97-106.
- [18] Baidya, A., Saha, A. (2024). Exploring the research trends in climate change and sustainable development: A bibliometric study. *Cleaner engineering and technology*, 18.
- [19] Kemec, A., Altinay, A. (2023). Sustainable energy research trend: a bibliometric analysis using vosviewer, rstudio bibliometrix, and citespace software tools. *Sustainability*, 15 (4)
- [20] Li, W., Han, M. (2023). Mapping renewable energy transition worldwide: gravity trajectory, contribution decomposition and income levels. *Renewable energy*, 206, 1265-1274.
- [21] Liu, W., Shen Y., Razzaq A. (2023). How renewable energy investment, environmental regulations, and financial development derive renewable energy transition: Evidence from G7 countries. *Renewable energy*, 206, 1188-1197.
- [22] Koncalovic, D., Nikolic, J., Aivkovic, D. (2023). Energy cooperatives and just transition in Southeastern Europe. *Energy, sustainability and society*, 13 (1).
- [23] Dong, K., Zhao, J., & Taghizadeh-Hesary, F. (2023). Toward China's green growth through boosting energy transition: the role of energy efficiency. *Energy Efficiency*, 16(5), 43.
- [24] Abbasi, K., Shahbaz, M., Zhang, J., Irfan, M., Alvarado, R. (2022). Analyze the environmental factors of China: The role of fossil fuel energy and renewable energy. *Renewable Energy*, 187.
- [25] Dogan, E., Chishti, M., Alavijeh, N., Tzeremes, P. (2022). The roles of technology and Kyoto Protocol in energy transition towards COP26 targets: evidence from the novel GMM-PVAR approach for G-7 countries. *Technological Forecasting and Social Change*, 181.

- [26] Dutta, A., Bouri, E., Rothovius, T., Uddin, G. (2023). Climate risk and green investments: new evidence. *Energy*, 265.
- [27] Ren, X., Li, J., He, F., Lucey, B. (2023). Impact of climate policy uncertainty on traditional energy and green markets: evidence from time-varying granger tests. *Renewable and sustainable energy reviews*, 173.
- [28] Mehmet, A., Samuel, A. (2019). Investigation of environmental Kuznets curve for ecological footprint: the role of energy and financial development. *Science of the total environment*, 650 (2), 2483-2489.
- [29] Xiao, L., Pan, L., Maoyuan, F., Sarah, M., Lei, C., Bo, M., Jie, C., Kang, X., Weibo, L. (2024). Energy transition paradox: solar and wind growth can hinder decarbonization. *Renewable and sustainable energy reviews*, 192, 114220.
- [30] Einecker, R., Kirby, A. (2020). Climate change: a bibliometric study of adaptation, mitigation and resilience. *Sustainability*, 12(17).
- [31] Guo, Y., Huang, Z., Nkeli, M. (2019). Bibliometric analysis on smart cities research. *Sustainability*, 11(13).
- [32] Munoz-Villamizar, A., Santos, J. (2021). Integration of lean and green management: a bibliometric analysis. *International journal of innovation and sustainable development*, 15 (3), 336-351.
- [33] Mammadov, N., Akbarova, S. (2022). Analysis of the possibilities of applying modern information technologies in energy efficient urban development. *Reliability: theory and applications*, 4 (70), 361-366.
- [34] Gomis, K., Kahandawa, R., Jayasinghe, R. (2023). Scientometric analysis of the global scientific literature on circularity indicators in the construction and built environment sector. *Sustainability*, 15(1).
- [35] Ali, M., Prakash, K., Pota, R. (2021). Intelligent energy management: evolving developments, current challenges, and research directions for sustainable future. *Journal of cleaner production*, 314.
- [36]

## Research Article

# A Water Absorption Chamber Design for Cable Capacitance Measurement Tests

Ercan Ulutay<sup>1,a</sup>, Metin Yurtsever<sup>1,b</sup>, Avşin Öztaş<sup>1,c</sup>, Uğur Akyol<sup>2,d</sup>, Reşat Mutlu<sup>3,e,\*</sup>

<sup>1</sup> Ünika Üniversal Kablo Sanayi ve Tic. A.Ş.. Veliköy Sanayi Bölgesi Çerkezköy - Tekirdağ, Turkey, 59500

<sup>2</sup>Mechanical Engineering, Corlu Faculty of Engineering, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Turkey, 59860

<sup>3</sup>Electrical-Electronics Engineering, Corlu Faculty of Engineering, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Turkey, 59860

<sup>a</sup>[ercan.ulutay@unika.com.tr](mailto:ercan.ulutay@unika.com.tr), <sup>b</sup>[metin.yurtsever@unika.com.tr](mailto:metin.yurtsever@unika.com.tr), <sup>c</sup>[avsin.oztas@unika.com.tr](mailto:avsin.oztas@unika.com.tr), <sup>d</sup>[uakyol@nku.edu.tr](mailto:uakyol@nku.edu.tr), <sup>e</sup>[rmutlu@nku.edu.tr](mailto:rmutlu@nku.edu.tr)

Received: 08.12.2024

Accepted: 27.12.2024

DOI: 10.55581/ejeas.1598086

**Abstract:** XLPO cables used in ships should be tested for water absorption. Test standards require the cables be submerged in a water absorption chamber and kept at 75 °C for 14 days. Once every 7 days, the cables within the chamber are tested by applying high voltage, and their capacitance, dissipation factor, stability factor, and relative Permittivity are measured. In this study, a water absorption chamber used in the experiments is designed using fiberglass material and controlled with an ENDA ET 4420 temperature controller. It is experimentally shown that the water absorption chamber performs well.

**Keywords:** Power Cables, Water Absorption Test, Cable Tests, Thermal Design, Heater Design.

## Kablo Kapasitans Ölçüm Testleri için Su Emme Odası Tasarımı

**Öz.** Gemilerde kullanılan XLPO kablolar su emme açısından test edilmelidir. Test standartları, kabloların su emme odasına batırılıp 75 °C'de 14 gün saklanması gerektirmektedir. Her 7 günde bir, oda içerisindeki kablolar yüksek gerilim uygulanarak test edilerek kapasite, kayıp faktörü, stabilite faktörü ve bağıl geçirgenlik ölçümleri yapılır. Bu çalışmada deneylerde kullanılan bir su emme odası fiberglas malzeme kullanılarak tasarlanmış ve bir ENDA ET 4420 sıcaklık kontrolörü kullanarak kontrol edilmiştir. Deneysel olarak su emme odasının iyi başarımla çalıştığı gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Güç Kabloları, Su Emme Testi, Kablo Testleri, Termal Tasarım, Isıtıcı Tasarımı

### 1. Introduction

Cables, which are an important part of electrical systems, should be tested according to standards [1-4]. Marine cables are an important cable type, and their market share is ever-increasing [5, 6]. Marine cables also age due to water trees occurring within [7, 8]. Marine cables are tested according to IEEE 1580-2021, NEMA WC 53, and NEMA WC 57 to make sure that they operate without failure [9-11]. The Accelerated Water Absorption test is defined in the IEEE 1580:2021 standard [9]. The electrical and mechanical tests are performed on the insulation material of the cable after removing its sheath according to Table 13 given in IEEE 1580-2021 standard. All

the values measured are used to calculate the dielectric constant, capacitance increase, and stability factor and the calculated cable parameters are compared to the standard values given in Table 13 of the IEEE 1580-2021 standard [10]. After the comparison, it can be decided whether the test is successful or not. The note at the bottom of Table 13 refers to Section 6.14 of the standard NEMA WC 57 for the test procedure [11]. Information about the cables to be tested is given in the NEMA WC 57 standard, and, therein, it is stated that the test can be done in two different methods which are the electrical and gravimetric methods. The electrical method is defined in the IEEE 1580-2021 standard for testing. NEMA WC 57 standard tests and calculations direct us to the NEMA

\* Corresponding author  
E-mail address: [rmutlu@nku.edu.tr](mailto:rmutlu@nku.edu.tr) (R. Mutlu)

WC 53 standard (Section 2.6 of NEMA WC 53) [10]. The tests specified in the IEEE 1580-2021, Table 13 Accelerated Water Absorption section of the NEMA WC 53 standard are explained and how the calculations can be made is stated. A low-voltage XLPO cable is tested using an accelerated water absorption test [12].

A water chamber should be used during the testing of marine cables according to IEEE 1580-2021. Such a water chamber must be designed to keep the water temperature at 75 °C [9, 12]. A water heater design needs a good experience [12]. The electrical heaters can be controlled using several different techniques [13-15]. In [16-20], a PLC is used for this purpose. A PID controller is preferred in [18, 19, 21]. A microcontroller is used to design an intelligent bath water heater [22]. The temperature of a water heater must be sensed with an accurate temperature sensor [14, 23]. The temperature of electrical heaters can be monitored with a transmitter [24]. The effect of several parameters on a heater is studied to increase its efficiency [25]. Such a water chamber must be designed using good heat insulators and good controllers [26]. Choosing a bad material may result in a failed operation [27]. In this study, a water test absorption chamber is designed to be used in the tests. Fiberglass is used to make the chamber due to its low thermal conductivity [28]. The temperature controller shown to perform well in the polymerization process is used to control its water temperature [29, 30]. The heat transfer model of the chamber is also made. The performance of the chamber is tested experimentally.

This paper is ordered as follows. In the second section, the water absorption bath mechanical system is introduced. In the third section, the water absorption bath electrical system is briefly described. In the fourth section, the heat transfer model of the system is given. In the fifth section, the simulation results are given. In the sixth section, the experimental results are given. The study is finished with the conclusion section.

## 2. Water Absorption Bath Mechanical System

A sketch of the water absorption test chamber can be seen in Figure 2. It is made of a box, a lid, and an internal grid. All the parts of the box are fiberglass which is chosen due to its low thermal conductivity and thermal endurance [28]. It can stand temperatures more than 100 °C. The lid has also two holes for guiding the cable ends in and out. The grid is used to prevent direct contact of the heater resistance to the power cable and its damage. The box has two holes. The heater resistance is placed in one of them and the thermocouple in the other. The controller circuit is placed onto the front side of the box. A photograph of the designed device is given in Figure 2.

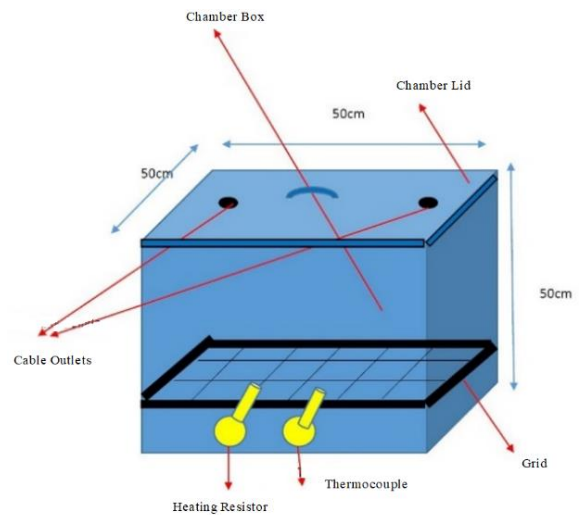


Figure 1. A Drawing of the Water Absorption Bath.



Figure 2. A Photograph of the device made.

## 3. Water Absorption Bath Electrical Circuit

The schematic of the Water Absorption Bath electric circuit is shown in Figure 3. It operates at 220 Volt and dissipates power up to 2000 Watt. The electrical system of the device consists of a water heater resistance, a solid-state relay ISISO ISS-100-3, a 25 A W-automat fuse, a 0/1 rotary power switch with a signal LED, a Fe-Const J Tipi thermocouple, and an ENDA ET 4420 temperature controller [29]. A 220 V 2000 W water heater resistance is used to heat water within the chamber. The components of the circuit are shown in Figure 4.

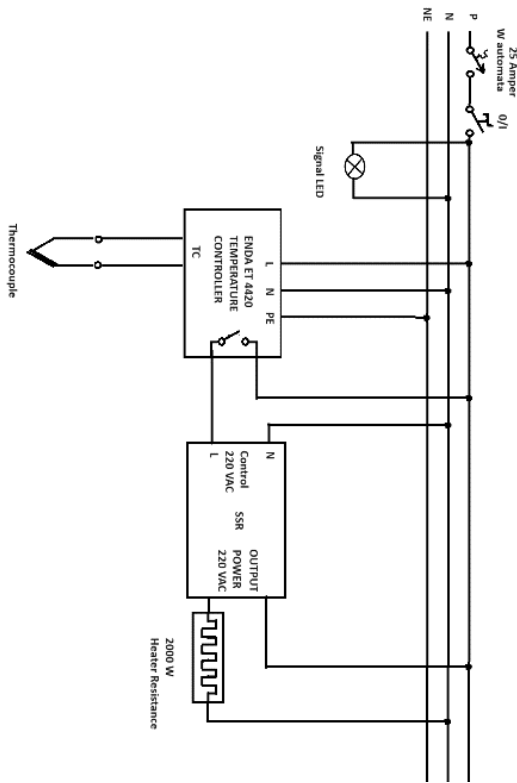


Figure 3. Electrical Circuit of the Device.

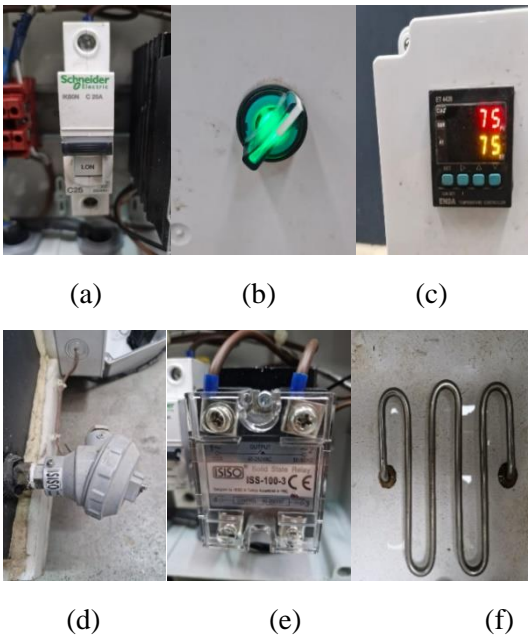


Figure 4. The electrical components: a) a 25 A W-automat fuse (Schneider IK60N C 25A), b) a 0/1 rotary power switch with a signal LED, c) ENDA ET 4420 temperature controller, d) a Fe-Const J Tipi Thermocouple with a 25 cm long measurement probe with a diameter of 8 mm, e) the solid-state relay (SSR) ISISO ISS-100-3, and f) a 220V-2000W 18 Ohm heater resistance.

The accuracy of a Fe-Const J Tipi thermocouple can vary depending on several factors, including the quality of the thermocouple, the measurement conditions, and the calibration. Generally, the accuracy of a Type J thermocouple is around  $\pm 2.2^{\circ}\text{C}$  or  $\pm 0.75\%$  of the reading, whichever is greater. Such accuracy is good enough for the test purposes.

#### 4. On the Control of the System

A PID controller is used to control the water absorption chamber as shown in Figure 5. The PID controller parameters used in the design are given in Table 1.

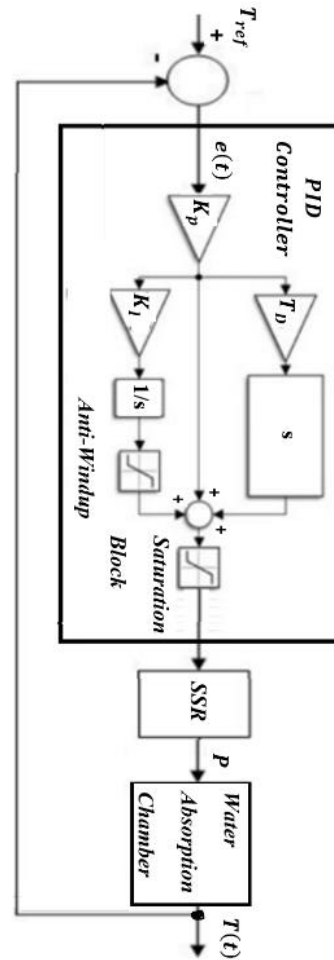


Figure 5. PID temperature control of the water absorption chamber.

Table 1. The PID controller parameters

The PID Parameter	Its Value
$K_p = P_b$	4
$T_I$	4.0 s
$T_D$	1.0 s
$K_I = K_p/T_I$	$1 \text{ s}^{-1}$
$K_D = K_p T_D$	4 s

The reference water temperature is set to  $75^{\circ}\text{C}$  degrees with ENDA ET 4420. The controller uses a hysteresis controller. When the power switch is turned on, its green LED starts illuminating and indicates that the device is energized. ENDA ET 4420 temperature controller measures the temperature using a Fe-Const J type thermocouple with a 25 cm long measurement probe with a diameter of 8 mm placed within the chamber in contact with the water. If the measured temperature is under the upper-temperature reference, the ENDA ET 4420



turns on and turns off the solid-state relay (SSR) ISISO ISS-100-3, which connects the heater resistance to the utility. The heater resistance starts heating the water and the water temperature increases. If the measured temperature reaches the upper-temperature reference, the ENDA ET 4420 turns off the solid-state relay (SSR) ISISO ISS-100-3 and the heater resistance is disconnected from the utility. The water temperature starts decreasing. When it falls to the lower-temperature reference, the ENDA ET 4420 turns on the solid-state relay (SSR) ISISO ISS-100-3 and, therefore, the heater resistance again. This operation cycle continues, and the average water temperature is kept at the set temperature of 75 °C.

The instantaneous temperature error fed to the input of the PID controller is calculated as:

$$e(t) = T(t) - T_{ref} \quad (1)$$

where  $T(t)$  is the instantaneous measured water temperature and  $T_{ref}$  is the reference temperature.

The controller output  $PID_{out}$  can be expressed as:

$$PID_{out} = K_p e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (2)$$

Where  $K_p$ ,  $K_I$ , and  $K_D$  is the proportional, the integral, and the derivative constants of the PID controller, respectively.

The controller output  $PID_{out}$ , is equal to the duty ratio of the heater power:

$$D = PID_{out} \quad (3)$$

where  $D$  is the duty ratio.

When the heater resistance is fed by the utility, the power consumed by the heater resistance is given as

$$P_{heater} = R_{AC} I_{rms}^2 \quad (4)$$

or

$$P_{heater} = V_{rms}^2 / R_{AC}(T) \quad (5)$$

where  $I_{rms}$  is the rms current of the heater resistance,  $V_{rms}$  is the rms voltage of the utility, and  $R_{AC}(T)$  is the temperature dependent heater resistance.

The average power of the heater is given as

$$p = DP = R_{AC} I_{rms}^2 = DV_{rms}^2 / R_{AC}(T) \quad (6)$$

## 5. Heat Transfer Model of the System

In this section, a simplified thermal circuit model of the circuit is provided. The geometry of the chamber in the study consists of four vertical walls and two horizontal walls as shown in Figure 6. It is assumed that the heat transfer between the water chamber with a certain amount of water inside and a certain amount of air above the water surface and the external environment is realized by heat conduction in the solid material, while the heat transfer between the solid surfaces and the fluid interfaces is realized by the effect of natural convection mechanisms, and the radiation heat transfer is neglected since the temperature differences are not high in the system.

Equations 7-11 contain the steps of the method used in the heat convection coefficient calculations used in the model, whose value range is given in Table 2. Heat transfer relations in natural convection are based on experimental studies except for some simple cases. The simple empirical relation for the mean Nusselt number  $\overline{Nu}_L$  in natural convection is as follows:

$$\overline{Nu}_L = \frac{hL}{k} = C \cdot Ra_L^n \quad (7)$$

where  $h$  is the heat convection coefficient (W/m<sup>2</sup>K),  $L$  is the length of the geometry (m),  $k$  is the heat conductivity (W/m·K),  $C$  is a constant coefficient,  $Ra_L$  is the Rayleigh number which is the product of Grashoff ( $Gr_L$ ) and Prandtl ( $Pr$ ) numbers, and  $n$  is a constant exponent. They are given as:

$$Ra_L = Gr_L \cdot Pr = \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty) \cdot L^3}{\nu \cdot \alpha} \quad (8)$$

$$Gr_L \equiv \frac{g \cdot \beta \cdot (T_s - T_\infty) \cdot L^3}{\nu^2} \quad (9)$$

where  $g$  is the acceleration of gravity (m/s<sup>2</sup>),  $\beta$  is the coefficient of volumetric expansion (1/°K) and can be expressed as  $\beta=1/T$  for ideal gases,  $T_s$  is the surface temperature (°C),  $T_\infty$  is the fluid temperature far enough from the surface (°C),  $\nu$  is the kinematic viscosity of the fluid (m<sup>2</sup>/s) and  $\alpha$  is the thermal diffusivity of the fluid (m<sup>2</sup>/s).

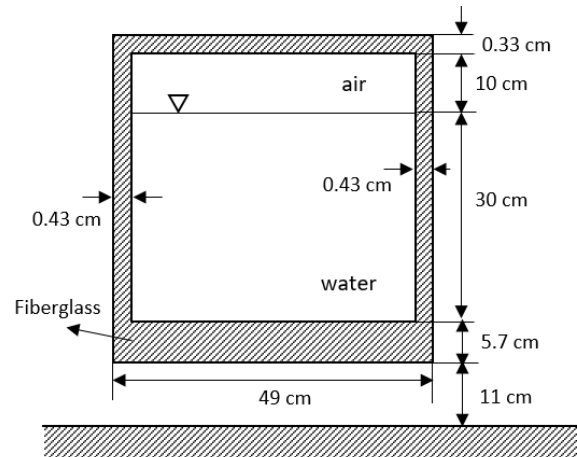


Figure 6. Schematic view of the geometry of the container.

The Nusselt number for the vertical walls can be expressed by the following relation:

$$\overline{Nu}_L = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 \cdot Ra_L^{1/6}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{8/27}} \right\}^2 \quad (10)$$

For the horizontal top cover or horizontal bottom base, the appropriate one of the following relations is used to determine the Nusselt number:

$$\begin{aligned} \overline{Nu}_L &= 0.54 \cdot Ra_L^{1/4} \quad (10^4 \leq Ra_L \leq 10^7) \\ \overline{Nu}_L &= 0.15 \cdot Ra_L^{1/3} \quad (10^7 \leq Ra_L \leq 10^{11}) \\ \overline{Nu}_L &= 0.27 \cdot Ra_L^{1/4} \quad (10^5 \leq Ra_L \leq 10^{10}) \end{aligned} \quad (11)$$

After the  $\overline{Nu}_L$  number was calculated with the help of the relations given above, the heat convection coefficients ( $h$ ) on the surfaces were calculated using Eq. (7). The range of heat

convection coefficient values calculated by this method is given in Table 2.

In this study, the thermal resistance model is used, and this concept is based on the analogy between electric current and heat dissipation. The relationship between electrical resistance and transmitted electric current is analogous to the relationship between thermal resistance and transmitted heat power. Resistance is defined as the ratio of a potential difference to current while thermal resistance is defined as the ratio of the temperature difference to the heat power transmitted. Equivalent thermal circuits can also be used for complex systems such as mixed walls. When the layers of such walls are composed of different materials, they can contain many series and parallel thermal resistances. The schematic of the thermal resistance circuit of the device in the steady-state for the geometry in the study is shown in Figure 7.a. The thermal circuit consists of the side thermal resistances and the thermal capacitances of the fiberglass box, water and the still air, Combining the series and parallel thermal resistances, their equivalent circuit shown in Figure 7.b is obtained.

By adding a thermal capacitance to the equivalent thermal resistor in parallel to model thermal dynamics, the transient thermal circuit model shown in Figure 7.c is obtained. For the device, the side thermal resistance components of the box, the bottom thermal resistance of the box, and the top thermal resistance of the box, are, respectively, given as

$$R_{con-inner} = \frac{1}{h_{inner}A_{side}} \tag{12}$$

$$R_{THwall} = \frac{d_{wall}}{k_{fg}A_{side}} \tag{13}$$

$$R_{con-outer} = \frac{1}{h_{outer}A_{side}} \tag{14}$$

and

$$R_{THdown} = R_{THup} = \frac{d}{k_{fg}A_{down}} \tag{15}$$

where  $d_{wall}$  is the thickness of the glass fiber,  $h_{outer}$  is the wall-to-air heat convection constant,  $h_{inner}$  is the water-to-wall heat convection constant, and  $k_{fg}$  is the thermal conductivity of the glass fiber,  $A_{side}$  is the side (wall) area which is the vertical surface area (m<sup>2</sup>) where heat transfer takes place, and  $A_{down}$  is the base or ceiling area.

Since they are four side thermal resistances, and one cover thermal resistance, and one base thermal resistance, their equivalent thermal resistance of the device is given as

$$R_{TH} = (R_{con}/4) // (R_{THdown}/2) \tag{16}$$

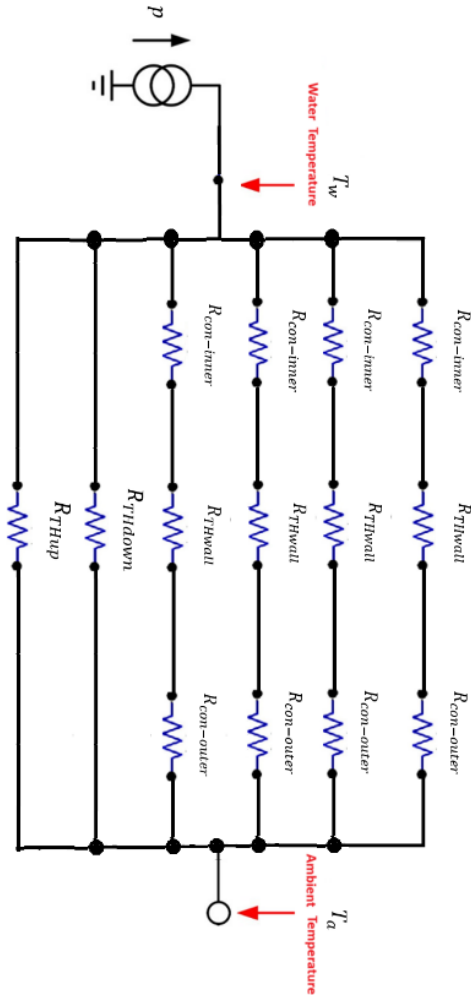
$$R_{TH} = \frac{R_{con} R_{THdown}}{8 \left( \frac{R_{con}}{4} + \frac{R_{THdown}}{2} \right)} \tag{17}$$

where  $R_{con} = R_{con-inner} + R_{THwall} + R_{con-outer}$ ,

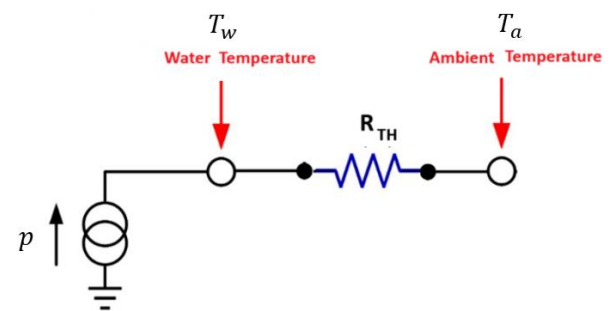
The heat power transferred to the environment in the steady-state can be expressed using the thermal resistance method as follows:

$$p = \frac{\Delta T}{R_{TH}} = \frac{(T_w - T_a)}{R_{TH}} \tag{18}$$

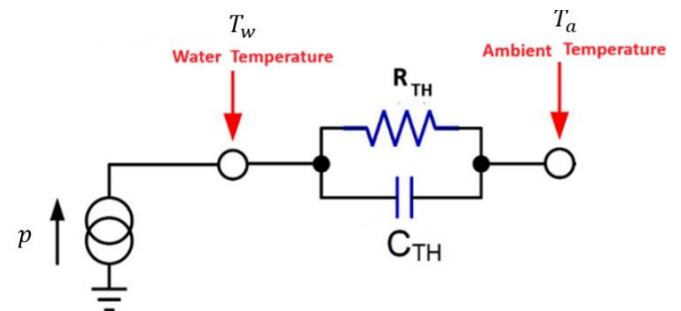
where  $T_w$  is the water temperature and assumed to be the measured water temperature  $T(t)$ .



(a)



(b)



(c)

**Figure 7.** a) The steady-state thermal circuit of the chamber, b) the steady-state equivalent thermal circuit of the chamber, and c) the transient thermal circuit model of the chamber.

Heat convection coefficient values were calculated for the outer, inner, top, and bottom surfaces of the container side walls. The equivalent thermal resistance is calculated as 0.0243 W/K with the parameters given in Table 2.

**Table 2.** The thermal parameters.

Parameter	Symbol	Value
The ambient temperature	$T_A$ [°C]	25
The set water temperature	$T_{ref}$ [°C]	75
Heat convection coefficient	$h$ [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	4.95-5.81
Heat conductivity of fiberglass	$k_{fg}$ [W/(m·K)]	0.040
Heat conductivity of air	$k_a$ [W/(m·K)]	0.026-0,030
Heat conductivity of water	$k_w$ [W/(m·K)]	0.613-0,688
Specific heat of water	$C$ [J/kg°C]	4186
Kinematic viscosity of air	$\nu_{air}$ [m <sup>2</sup> /s]	$18.45 \times 10^{-6}$
Kinematic viscosity of water	$\nu_w$ [m <sup>2</sup> /s]	$6 \times 10^{-7}$
Prandtl number for air	$Pr_{air}$	0.7
Prandtl number for water	$Pr_w$	4.0

The thermal capacitance of water is found as

$$C = mc \tag{18}$$

where m is the mass of water and c is the specific heat of water.

The mass of water within the chamber is approximately 100 kg, The thermal capacitance of the water (C) or the device ignoring the mass of other sections is calculated to be 418740 J/°C. In the transient, the heat transfer model of the device can be modeled as

$$p = DV_{rms}^2/R_{AC}(T) = mc \frac{d(T_W - T_A)}{dt} + \frac{T_W - T_A}{R_{eq}} \tag{19}$$

where  $T_A$  the ambient temperature,  $T_W$  is the water temperature,  $m$  is the water mass, and  $c$  is the specific heat of water.

In the steady-state, since the temperature of the device is not varying with time and the water temperature is 75 °C, the power consumption of the device can be modeled as

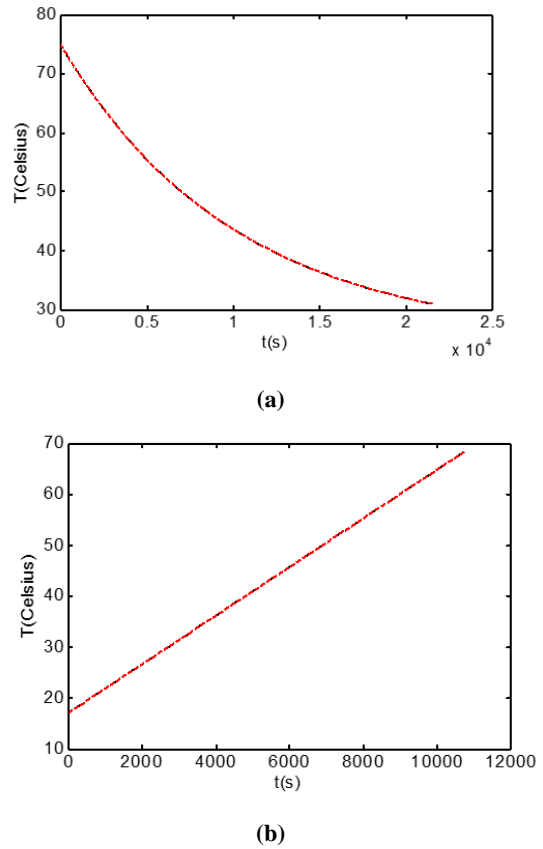
$$p = DR_{AC}(T_W)I_{rms}^2 = DV_{rms}^2/R_{AC}(T_W) = \frac{T_W - T_A}{R_{eq}} \tag{20}$$

where  $I_{rms}$  is the rms current of the heater resistance and  $R_{AC}(T)$  is the temperature dependent heater resistance.

### 6. Simulation Results

The system simulations are performed in Matlab program. The system is simulated under heating conditions when the full electrical power 2000 W is applied to the device, and the water temperature during the heating process is shown in Figure 8.a. The simulated water temperature is almost a ramp in this case. The system is simulated under natural cooling conditions, and

the water temperature during the cooling process is shown in Figure 8.b. The simulated temperature falls exponentially when simulated for 6 hours.



**Figure 8.** Simulated temperature vs. time during a) the natural cooling of the device and b) the heating process.

### 7. Experimental Results

The water absorption test on a marine power cable is made to ascertain the quantity of water absorbed by the insulation when it comes into contact with water. To be able to use the device in such a test, the device’s performance must be examined. In this study, experiments are done to see the performance of the water absorption chamber designed. Before starting the test, the device is filled with tap water. The water chamber is placed in the test room for protection purposes during high voltage experiments. As a result, there is neither forced nor natural cooling of the device during the test. In the test, a 4,5 meter long 0.6/1 kV Volt rated marine cable after removing the outer TPO sheath and armoring is placed within the chamber as shown in Figure 9 and the device is turned on. Its temperature is read from the controller display shown in Figure 10 and recorded with respect to time. Two thermal experiments were conducted on the device. The first experiment was performed during the heating of the device, and the other during its natural cooling. In the first experiment, the device was turned on at room temperature, and the water temperature was read every few minutes until it reached 75 °C. The heating duration or the setting time of the device can be assumed to be almost 3 hours. After this time, its resistor is turned on and off to compensate for the ambient power loss. The time and temperature data were recorded and plotted. In the second experiment, the water temperature was at 75 °C, and the device

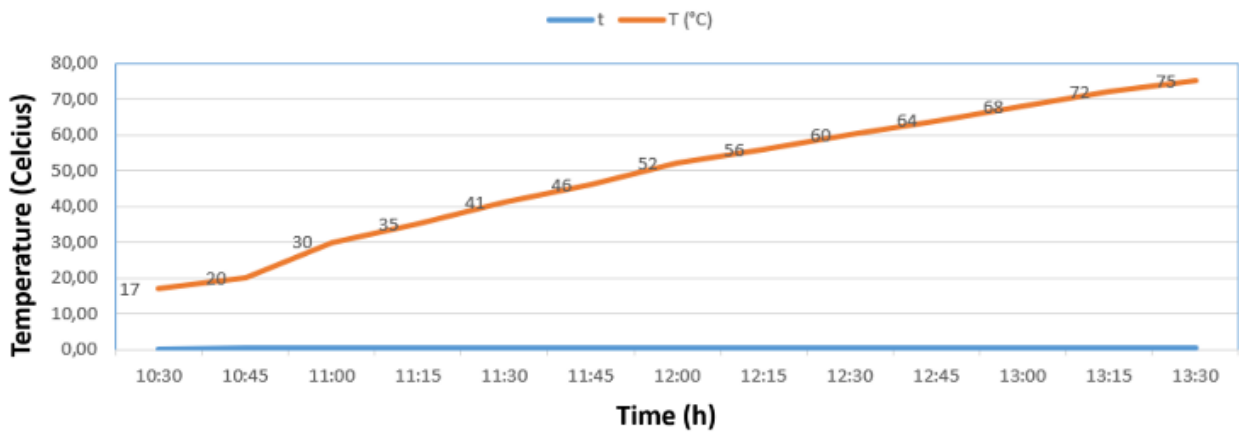
was in the thermal steady-state when it was turned off. As the device cooled, the temperature and time data were also recorded. The graphs showing the temperature as a function of time from these experiments are shown in Figure 11.



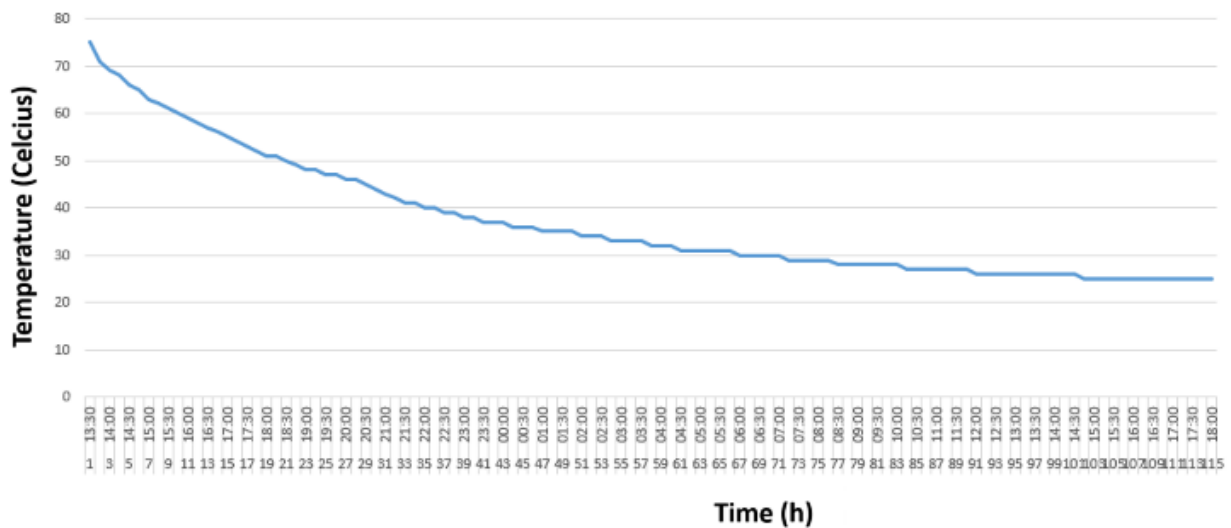
Figure 9. A photograph of the water absorption test from the laboratory



Figure 10. The appearance of the device monitor during the experiment in the steady-state.



(a)



(b)

Figure 11. Temperature vs. time during a) the heating process and b) the natural cooling of the device.

The experiment shows that the device performs well. When the utility voltage is 220 Volt, the water temperature reaches from 18 °C to 75 °C, i.e., to the thermal steady-state in almost 3 hours. When the device is turned off, the water temperature falls to the ambient temperature in almost 5,5 hours as seen in Figure 11.b. The specific heat capacitance of the model is found to be  $4.026e+05 \text{ J/}^\circ\text{C}$  which gives an acceptable error of just -3.99%. The error of the thermal resistance is found to be much higher than the calculated value. The decay of the temperature is not exponential enough. Therefore, the thermal dynamics are more complex than the behavior of the simplified model. This means the thermal model of the device should be modified. Heat transfer equation can be solved in Cartesian coordinates with proper boundary conditions using finite difference or finite element method to improve the heat transfer model of the circuit. Also, an experiment with multiple temperature sensors can be done to measure the thermal conductivity of the insulator material to check its accuracy. However, the device operates well performing its duty during the tests without any problem.

## 8. Conclusion

In this study, a water absorption chamber is designed using fiberglass and it is controlled with a cheap industrial controller by sensing its temperature with a thermocouple. It is tested using a power cable inside. It has been found that it operates well and it is usable to make the tests described in IEEE 1580-2021, NEMA WC 53, and NEMA WC 57 standards.

As future work, we suggest using a fuzzy logic controller to reduce the power consumption of the device. Such a system could benefit from user experience and consider ambient temperature and its derivative as additional inputs. This approach can decrease the setting time and provide tighter temperature error control [31]. The system can also be improved by incorporating IoT for monitoring [32]. IoT can make tracking the water temperature easier and can also be used to stop the experiment if something goes wrong with the operation. The proposed device can be easily modified for larger-scale industrial applications. For instance, using a higher power heater can reduce the heating duration. A larger version of this device can be made for medium voltage cables. The heater power should also be increased accordingly in this case. Additionally, the device is already suitable for mass production due to its simplicity and robustness. Such a chamber can also be combined with a high-voltage generator for better control and monitoring of the experiments.

As another future work, the thermal model of the system can be improved with the methods suggested in the experimental results section.

## Author Contribution

Formal analysis – Ercan Ulutay (EU), Reşat Mutlu (RM), Uğur Akyol (UA), Metin Yurtsever (MY); Investigation – RM, UA, MY; Experiments – Avşin Öztaş (AÖ), EU; Processing – MY, EU, RM, AÖ; Literature review – RM, AÖ; Writing – MY, EU, RM, UA, AÖ; Review and editing – RM, UA, MY, AÖ, EU.

## Declaration of Competing Interest

The authors declared no conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

## Acknowledgements

This study has been supported through the project UPN -2402 funded by the research and development center of Ünika Üniversal Kablo Sanayi ve Tic. A.Ş. The researchers are thankful to Samet Sarı, Fatih Yerişenoğlu, and Sedef Özcan for their assistance.

## References

- [1] Moore, G. F. (Ed.) (1997). *Electric cables handbook*, Blackwell Science, UK.
- [2] Thue, W. A. (Ed.) (2017). *Electrical power cable engineering*, CRC Press, Boca Raton.
- [3] Tan, R. K., Önder, K., Yerişenoğlu, F., & Mutlu, R. (2023). Usage of an Excel spreadsheet for a thermal endurance test report. *European Journal of Engineering and Applied Sciences*, 6(2), 91-97.
- [4] Yurtsever M., Öztaş A., & Mutlu, R. (2024). Assessing the relationship between color change and tensile strength in Thermoplastic Polyolefin outer sheaths of low-voltage power cables. *Trakya University Journal of Engineering Sciences*, 25(1), 11-19.
- [5] Georgallis, G. (2021). *Submarine cables. The global cable industry: materials, markets, products*, Wiley Online Library.
- [6] Worzyk, T., *Submarine power cables: design, installation, repair, environmental aspects*. Springer Science & Business Media, pp. 291-310. 2009.
- [7] Karhan, M., Çakır, M. F., & Uğur, M. (2021). A new approach to the analysis of water treeing using feature extraction of vented type water tree images. *Journal of Electrical Engineering & Technology*, 16, 1241-1252.
- [8] Karhan, M., Çakır, M. F., & Uğur, M. (2020). Analysis of electric field and potential distribution of experimental setup for initiating and growing vented type water trees using finite element method. *Journal of Science and Arts*, 20(3), 755-766.
- [9] Standard, IEEE. (2021). IEEE 1580-2021. *IEEE Recommended practice for marine cable for use on shipboard and fixed or floating facilities*. IEEE. <https://standards.ieee.org/ieee/1580/7228/>. (Access date; March 28, 2022).
- [10] NEMA WC 53 standard, <https://webstore.ansi.org/standards/nema/ansinemawc53icea275812020>. (Access date; March 15, 2022).
- [11] NEMA WC 57 standard, <https://webstore.ansi.org/standards/nema/ansinemawc57icea735322021>. (Access date; March 15, 2022).
- [12] Badmera, V., & Patel, R. R. (2017). Electrical characterization of XLPE cable using accelerated water absorption test on medium voltage power cable and partial discharge test on power cable with termination defects. In

2017 *Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT)* (pp. 1-7). IEEE.

[13] Brain, M., & Elliott, S. A. R. A. (2006). How water heaters work. (Access date; December 26, 2023)

[14] Duff, C. A., Design of a temperature controllable demand water heater, (2012), PhD, University of Johannesburg, Johannesburg, South Africa.

[15] Biddle, R., Wetzel, J. R., & Cech, R. (1997). Design and performance of low-wattage electrical heater probe. In *38th Annual Meeting of the Institute of Nuclear Materials Management* (pp. 20-24). Los Alamos National Lab.

[16] Cheng, C., Lin, J., Zhang, H., Wang, Q., Xi, L., Wang, L., & Luo, C. (2023). Design and research of power battery temperature control by PLC. *Frontiers in Computing and Intelligent Systems*, 4(1), 63-66.

[17] Abdurahman, A., Sunardi, S., Sugeng, S., Setiawan, J., & Syukur, A. M. (2022). Design of PLC based temperature control system for food stability test chamber. *Sebatik*, 26(2), 482-488.

[18] Ghafourian, J., Avashbeigi, S., Hedayatnia, A., & Rezvanijalal, J. (2023). Implementation of PID controller for sequential control of flow, level and temperature in Festo MPS PA compact workstation by PLC. In *7th International Conference on Electrical, Computer and Mechanical Engineering* (pp. 1-10).

[19] Rahmadini, V. F., Ma'arif, A., & Abu, N. S. (2023). Design of water heater temperature control system using PID control. *Control Systems and Optimization Letters*, 1(2), 111-117.

[20] Zhao, J., & Wang, W. (2022). Application and study of kiln temperature control system based on PLC. *Journal of Physics: Conference Series*, 2378(1), p. 012021.

[21] Rahmadini, V. F., Ma'arif, A., & Abu, N. S. (2023). Design of water heater temperature control system using PID control. *Control Systems and Optimization Letters*, 1(2), 111-117.

[22] Khairunnas, M. D., Ariyanto, E., & Prabowo, S. (2018). Design and implementation of smart bath water heater using Arduino. In *2018 6th International Conference on Information*

*and Communication Technology (ICoICT)* (pp. 184-188). IEEE.

[23] Harvey, M. E. (1968), Precision temperature-controlled water bath. *Review of Scientific Instruments*, 39(1), 13-18.

[24] Chakraborty, S., Bera, S. K., Bera, S. C., & Mandal, N. (2018). Design of a simple temperature transmitter circuit of an electric heater operated water bath. *IEEE Sensors Journal*, 18(8), 3140-3151.

[25] Rashidmardani, A., & Hamzei, M. (2013). Effect of various parameters on indirect fired water bath heaters' efficiency to reduce energy losses. *International Journal of Science and Engineering Investigations*, 2(12), 17-25.

[26] Liang, Z., Zheng, Y., Zhou, N., & Liu, S. (2019). User research-based design strategy for an electric water heater and its application. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 573(1), p. 012052.

[27] Shabanian, S., Ashrafizadeh, F., Saeidi, N., & Ashrafi, A. (2016). Failure analysis of carbon steel components in a water bath heater and the influence of ethylene glycol concentration. *Engineering Failure Analysis*, 66, 533-543.

[28] Tinianov, B., Nakagawa, M., & Muñoz, D. (2005). Prediction of the thermal conductivity of fiberglass insulation using propagation constant: A technique overview. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 117(4\_Supplement), 2555-2555.

[29] <https://enda.com/automation/temperature-controllers/et4420/etx420.pdf>, (Access date; December 26, 2024)

[30] Salmaz, E., Kaplan, B., Akkuş, G., Zorlu, S., & Özdaş, D. Ö. (2023). Farklı ışık kaynakları polimerizasyonda ne kadar ısı oluşturur?. *Selcuk Dental Journal*, 10(4), 300-305.

[31] Juang, C. F., & Chen, J. S. (2006). Water bath temperature control by a recurrent fuzzy controller and its FPGA implementation. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 53(3), 941-949.

[32] Yener, T., Yener, Ş. Ç., & Mutlu, R. (2019). An IoT-based PDCS system. In *International Informatics and Software Engineering Conference (UBMYK)*, (pp. 1-4). IEEE.

## Research Article

# Dynamics of Charging of Dielectric Liquid Drops in a Corona Discharge Field

Hafız Alisoy<sup>1</sup> , HasanDemir<sup>1</sup> , Gülizar Alisoy<sup>2,\*</sup> 

<sup>1</sup> Department of Electronics and Telecommunication Engineering, Corlu Engineering Faculty, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Türkiye, 59860

<sup>2</sup> Department of Arts and Science, Tekirdağ Namık Kemal University, Tekirdağ, Türkiye, 59860

<sup>1</sup>[halisoy@nku.edu.tr](mailto:halisoy@nku.edu.tr), <sup>1</sup>[hdemir@nku.edu.tr](mailto:hdemir@nku.edu.tr), <sup>2</sup>[galisoy@nku.edu.tr](mailto:galisoy@nku.edu.tr)

Geliş: 20.11.2024

Kabul: 23.12.2024

DOI: 10.55581/ejeas.1588810

**Abstract:** The development of innovative electrojet technologies based on the formation of sequential flows of monodisperse droplets in the working environment remains among the current problems today. In this study, it has been determined that in the “needle-plane” electrode system where corona discharge occurs. The charging kinetics of spherical particles are investigated in this system. These particles were created under equal conditions for various dielectric liquids. The spherical particles had different radii and different relative dielectric permittivities. The study determined that the charging kinetics of these particles differ. This difference depends on the polarity of the small radius electrode. In particular, the effective ionization coefficient in an electronegative gas environment (e.g. in air) where corona discharge occurs, it has been shown that when the needle electrode has a negative polarity, the amount of charge accumulated on the spherical particle is higher compared to the positive polarity case.

**Keywords:** Attachment coefficient, Corona discharge, Townsend ionization coefficient,

## Korona Deşarj Alanında Dielektrik Sıvı Damlacıklarının Yüklenme Dinamiği

**Öz.** Çalışma ortamının monodispers damlacıklarının ardışık akışlarının oluşumuna dayanan yenilikçi elektrojet teknolojilerinin geliştirilmesi günümüzde güncelliğini koruyan problemler arasında yer almaktadır. Bu çalışmada, korona boşalmasının gerçekleştirildiği “iğne- düzlem” elektrot sisteminde, küçük yarıçaplı elektrotun polaritesine bağlı olarak, incelenen dielektrik sıvılar için eşit koşullarda oluşturulan farklı yarıçaplara ve farklı bağlı dielektrik geçirgenliklere sahip küresel parçacıkların yüklenme kinetiğinin farklılık gösterdiği tespit edilmiştir. Özel durumunda, korona deşarjının gerçekleştirildiği bir elektronegatif gaz ortamında (örneğin hava ortamında) etkin iyonlaşma katsayısının da dikkate alınmasıyla, iğne elektrotun negatif polariteye sahip olması durumunda küresel parçacık üzerinde biriken yük miktarının pozitif polarite durumuna göre daha yüksek olduğu gösterilmiştir.

**Anahtar kelimeler:** Bağlanma katsayısı, Corona boşalması, Townsend iyonlaşma katsayısı.

## 1. Introduction

Electro-droplet equipment and technologies are based [1,2,5,9] on the creation (using microprocessors or microcomputers) of a linear sequence of a flow of monodisperse drops of working fluid.

Up to a hundred thousand of such drops per second can be formed on one nozzle, and of the same diameter - about tens, hundreds of micrometers, located at the same distance from each other. In this case, it is possible to communicate a given value of electric charge of one sign or another to a drop of working fluid and, thus, to deflect this drop in an electric field

\*Corresponding author

E-mail address: [galisoy@nku.edu.tr](mailto:galisoy@nku.edu.tr) (G. Alisoy)

to a given point, determined by the technological process.

The characteristic features and advantages of electro-droplet jet technologies are:

- absence of moving mechanical elements moving with friction in the devices implementing them;
- microprogram control of the processes of obtaining a linear flow of monodisperse drops of working fluid with the same distance between the drops, the message controlled both by the magnitude and by the sign of the electric charge of the drops, their deviation in the electric field, which ensures flexibility of control;
- contactless application of working fluids, charged and uncharged, to objects with any surface shape made of various materials (chemical threads, fabrics, plastics, glass, metal, ceramics, paper, etc., etc.).

The article examines the process of imparting an electric charge to drops of dielectric working fluids in the electric field of a corona discharge. This method [5,7] is based on the phenomenon of the emergence of a unipolar ion flow in the outer zone of a corona discharge, which occurs in electronegative gases and their mixtures (such as air) in a sharply non-uniform electric field.

The aim of this work is to investigate the dynamics of charging of droplets of different sizes for dielectric liquids with different relative permittivity in the field of negative and positive corona discharge.

Based on Poterier's formula for the electric charge imparted to a drop of dielectric liquid in a corona discharge field, a simple expression for the rate of field charging of a spherical particle is derived. It should be emphasized that with a decrease in the radius of curvature of the corona-forming needle electrode, the corona discharge used to impart an electric charge to drops of dielectric liquids occurs at a lower voltage on the electrodes.

## 2. Theory

A corona discharge in gases occurs at a certain, so-called initial, electric field strength  $E_{cn}$  in the immediate vicinity of a needle electrode when high voltage is applied to needle-plane type electrodes.

The initial electric field strength  $E_{ci}$  of a corona discharge is found from the condition of the self-sufficiency of a corona discharge in electronegative gases and their mixtures [2,3,4,6]

$$\int_0^{l_k} \alpha_{eff} dx = \ln \left[ \frac{(1+\gamma_i)}{\gamma_i} \right] \cong K = Const \quad (1)$$

when the inequality is satisfied in the inner region of the corona discharge

$$\alpha_{eff} = \alpha - \eta \quad (2)$$

Here  $\alpha_{eff}$  is the effective impact ionization coefficient, which determines the process of electron multiplication in the corona layer during impact ionization;

$\alpha$  is the coefficient of impact ionization by electrons (the first Townsend ionization coefficient), which determines the number of ionizations by electrons per unit path during their movement in an electric field along the lines of force.

Numerically, this coefficient is equal to the product of the number of collisions per unit path of an electron with gas molecules and the probability that these collisions will end in ionization and depends on the ratio of the electric field strength  $E$  to the gas pressure  $p$  [3,4].  $\eta$  is the attachment coefficient, which characterizes the process of formation of stable negative ions in the corona layer due to the addition of an extra electron by gas atoms and molecules, which already loses the ability to ionize [2,5,6].

$\gamma_i$  is the generalized secondary ionization coefficient, which characterizes the average number of electrons formed within the corona layer as a result of secondary ionization processes;

$l_k$  is the length of the lines of force within the corona layer;  $x$  is the path from the cathode of the electron avalanche.

Fulfillment of condition (2) corresponds to the so-called threshold value  $(E/p)_{cr} = b$ , and, consequently, a self-sustained discharge in a gas is possible only at  $E/p \geq b$  [2-6].

When implementing the method of imparting a unipolar electric charge to drops of dielectric liquids in a corona discharge field, the distances  $h$  between the needle-plane type electrodes are relatively small (no more than tens of mm), and the radius of curvature of the needle electrode  $r_0$  is from  $5 \cdot 10^{-2}$  to  $10 \cdot 10^{-2}$  mm.

Based on the studies conducted for the applications considered in the work, a formula was obtained for the initial electric field strength of the occurrence of a corona discharge  $E_{ci}$  which gives good agreement between the calculation results and the experimental results in the above-mentioned range of changes in  $h$  and  $r_0$ , the fundamental difference of which from the known ones is that it takes into account the dependence of  $E_{ci}$  on the distance  $h$  between the electrodes [2-6].

$$E_{ci} = A\delta_0 + B \cdot \left( \frac{h\delta_0}{r_0} \right)^{0,5} \quad (3)$$

where,  $A = \frac{bp_0T}{T_0}$  ;  $b = \left( \frac{K}{ab_1\delta_0} \right)^{0,5}$

The coefficients  $a$  and  $b$  are found from the expression  $\frac{\alpha_{eff}}{p} = a [(E/p) - b]^2$  near the threshold value  $(E/p)_a$ , at which the condition (2) of the corona discharge independence is satisfied. The relative density  $\delta_0$  of gas (air) is characterized by the expression  $\delta_0 = \frac{p T_0}{p_0 T}$  where  $p, p_0$  are the absolute current pressure and the pressure of gas (air), respectively, under normal atmospheric conditions ( $p_0 = 101,3$  kPa,  $T_0 = 293$  K );  $T, T_0$  are the absolute temperatures of gas (air) at  $p$  and  $p_0$ , respectively. The coefficients  $a, b$  are found experimentally for a given type of gas, electrode configuration and the nature of the voltage on them.

The coefficient  $K$  is determined from the condition (1) of the independent corona discharge in air;  $b_1$  is an empirical coefficient characterizing the distance from the electrode with a small radius of curvature  $r_0$ , within which, before the moment of occurrence of the corona discharge, the electric field near the threshold value  $E/p$  has a pronounced non-uniformity along the length of the interelectrode gap (maximum gain).



Therefore, this influence can be neglected. For coaxial electrodes, formula (3) can be rewritten as [1-6].

$$E_{ci} = A\delta_0 + B \cdot \sqrt{[(R/r_0) - 1]\delta_0} \quad (4)$$

where  $R$  is the radius of curvature of the non-corona electrode.

Calculations of  $E_{ci}$  using expression (4), obtained from (3), most accurately coincide with experimental data in the entire range of possible curvature radii  $r_0 = (5 - 10) \cdot 10^{-2}$  mm of corona electrodes for coaxial cylinders at such small interelectrode distances when the internal region of the corona discharge, where  $\alpha_{eff} > 0$ , becomes commensurate with the distance between the electrodes [6].

Calculations using the formulas of Pick, Townsend, Lesch, Alexandrov, Engel and Steenbeck, which do not take into account the dependence of  $E_{ci}$  on the distance between the electrodes at such small interelectrode gaps, give large discrepancies with the experimental data [6].

The value of the initial corona voltage  $U_{ci}$  for coaxial electrodes is determined from (4) using the formula

$$U_{ci} = E_{ci} r_0 \ln(R/r) \quad (5)$$

Based on Potenier's formula for the electric charge communicated to a drop of dielectric liquid in a corona discharge field, we obtain [ 7-14]

$$q(t) = \frac{12\pi\epsilon_0\epsilon_1\epsilon_2r^2en_0\mu E_c}{(4\epsilon_0+en\mu t)(\epsilon_1+2\epsilon_2)} t \quad (6)$$

where  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  F/m is the vacuum permittivity (electric constant);  $\epsilon_1$  is the relative permittivity of the liquid;  $\epsilon_2$  is the relative permittivity of the medium surrounding the dielectric liquid droplet (for gases  $\epsilon_2 = 1$ );  $r$  is the radius of the dielectric working fluid droplet, m;  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  C is the electron charge;  $n_0$  is the average ion concentration over the entire interelectrode gap;  $\mu$  is the ion mobility,  $m^2/(V \cdot s)$ ;  $E_{ca}$  is the average electric field strength in the interelectrode gap during corona discharge,  $V/m$ ;  $n$  is the electron concentration in the corona discharge field;  $t$  is the time the dielectric liquid droplet remains in the corona discharge field.

Expression (6) can be rewritten as

$$q(t) = \frac{en_0\mu t}{(4\epsilon_0+en\mu t)} \cdot q_{max} \quad (7)$$

where

$$q_{max} = \frac{12\pi\epsilon_0\epsilon_1\epsilon_2r^2E_{cr}}{(\epsilon_1+2\epsilon_2)} \quad (8)$$

– maximum electric charge of a drop of dielectric working fluid in a corona discharge field.

Based on the Potenier formula, the dynamics of the electrification of dielectric liquid droplets of different diameters and different permittivity was investigated. The corresponding dependences of the electric charge imparted in the field of a corona discharge to a drop of dielectric liquid as a function of the radius of the drop, the dielectric constant of the liquid, the mobility of unipolar ions with negative and positive corona, as well as the average electric field strength in the interelectrode gap are obtained.

All dependencies are obtained for the most realistic case of

imparting an electric charge to drops of dielectric working fluids when implementing electro-droplet technologies, when a corona discharge occurs in the air between needle-plane type electrodes.

In this case, the average concentration of ions across the entire interelectrode gap during a corona discharge in accordance with [1-3] will be  $n_0 = 10^{14}$  ion/ $m^3$ . Therefore, as a first approximation, taking in (6)  $n_0 = n = 10^{14}$  ion/ $m^3$ , we rewrite the expression for air as

$$q(t) = \frac{533,82 \cdot 10^{-17} \cdot \epsilon_1 \cdot r^2 \cdot \mu \cdot E_{cr}}{(35,4 \cdot 10^{-12} + 1,6 \cdot 10^{-5} \cdot \mu \cdot t)(\epsilon_1 + 2)} t \quad (9)$$

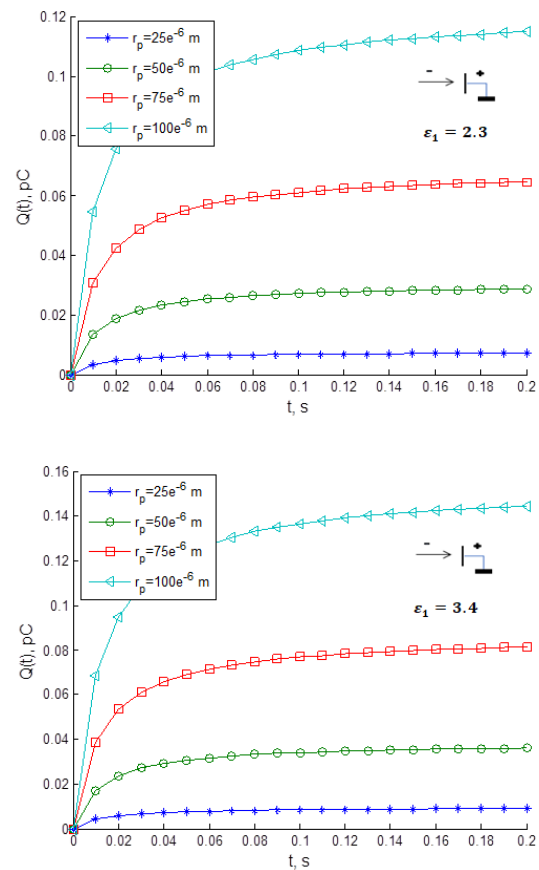
Let us consider a method of imparting a negative electric charge to the drops at a negative potential of the needle electrode. In this case, a unipolar flow of negative ions will arise in the outer region of the corona discharge. The mobility of negative ions in air [3]  $\mu^- = 1,8 \cdot 10^{-4}$   $m^2/V \cdot s$ .

Then expression (10) is rewritten as

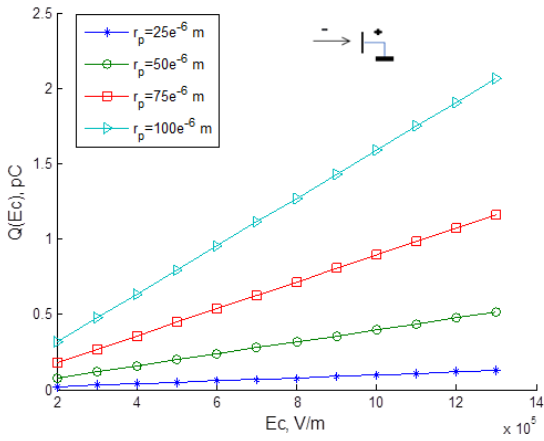
$$q(t) = \frac{960,87 \cdot 10^{-21} \cdot \epsilon_1 \cdot r^2 \cdot \mu \cdot E_{cr}}{(35,4 \cdot 10^{-12} + 2,88 \cdot 10^{-9} \cdot t)(\epsilon_1 + 2)} t \quad (10)$$

### 3. Results and Discussions

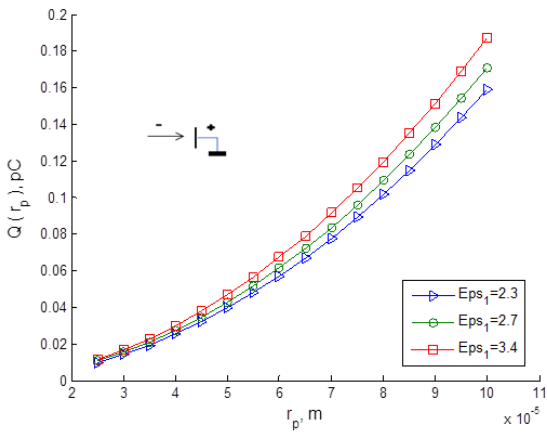
Figures 1–3 show the results of studies of imparting a negative electric charge to droplets, that is, in the field of a negative corona discharge in air.



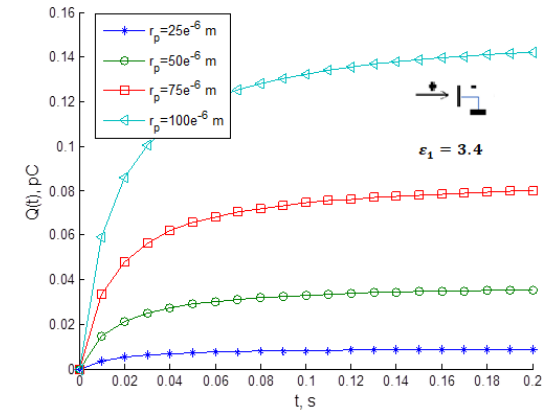
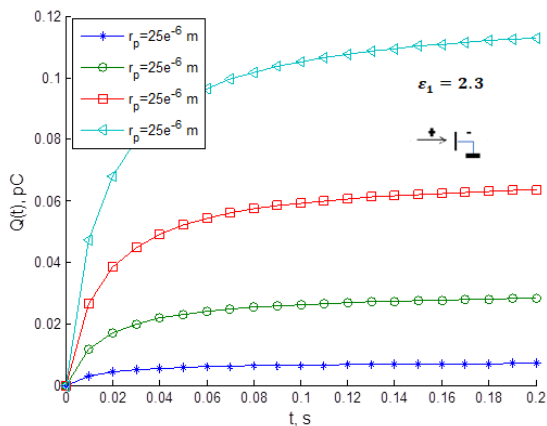
**Figure 1.** The charging dynamics of droplets of different sizes in the field of a negative corona discharge with a relative permittivity of dielectric liquids of  $\epsilon_1 = 2, 3 ; \epsilon_1 = 3, 4 ; E_c = 10^5$  V/m



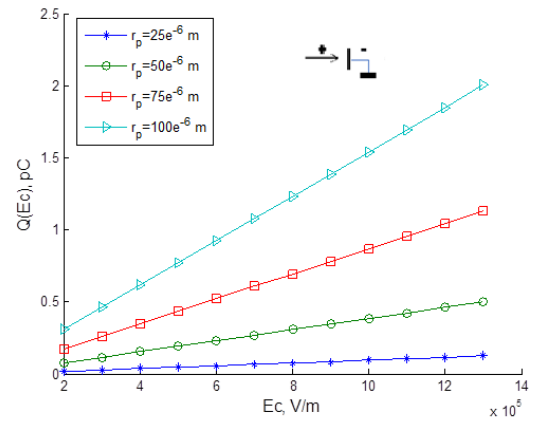
**Figure 2.** Effect of the negative corona discharge field strength on the droplet charge at  $t = 0,1s$  and  $\epsilon_1 = 2,3$



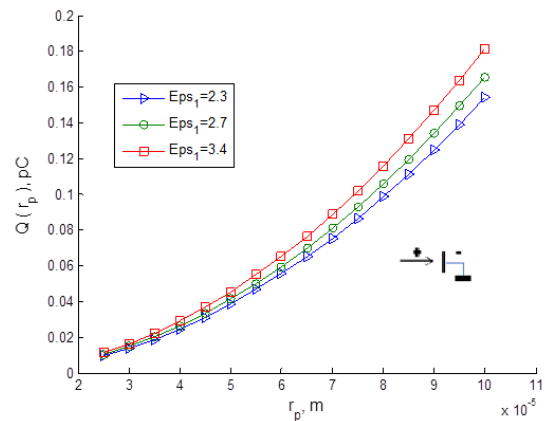
**Figure 3.** The influence of the droplet radius and dielectric constant on their charge in the field of a negative corona discharge at  $t = 0,1s$ ,  $E_c = 10^5 V/m$



**Figure 4.** The charging dynamics of droplets of different sizes in the field of a positive corona discharge with a relative permittivity of dielectric liquids of  $\epsilon_1 = 2,3$ ;  $\epsilon_1 = 3,4$ ;  $E_c = 10^5 V/m$



**Figure 5.** Effect of positive corona discharge field strength on droplet charge at  $t = 0,1s$  and  $\epsilon_1 = 2,3$



**Figure 6.** The influence of the droplet radius and the dielectric constant of liquids on the charge of drops in the field of a positive corona discharge at  $t = 0.1s$ ,  $E_c = 10^5 V/m$

To impart a positive electric charge to the drops, a positive potential is applied to the needle electrode. The mobility of

positive ions in air  $\mu^+ = 1,4 \cdot 10^{-4} \frac{m^2}{V} \cdot s$  [2,3] Then expression (10) is rewritten as

$$q(t) = \frac{747,35 \cdot 10^{-21} \cdot \epsilon_1 \cdot r^2 \cdot \mu \cdot E_{cr}}{(35,4 \cdot 10^{-12} + 2,24 \cdot 10^{-9} \cdot t)(\epsilon_1 + 2)} t \quad (12)$$

In Figs. 4–6, in accordance with (12), the results of studies of imparting a positive electric charge to drops are presented.

#### 4. Conclusions

Based on the results obtained within of the statement problem, the following conclusions can be drawn:

–regardless of the polarity of the unipolar ion flow created in the outer region of the corona discharge (the polarity of the tip), drops of various diameters acquire an electric charge equal to 95% of their maximum value during a time of (0,12–0,15)s in the corona discharge field. Consequently, when implementing electro-droplet jet technologies (liquids), the length of the interelectrode gap should be selected accordingly;

– it is possible to easily regulate the sign and magnitude of the electric charge imparted to the drops by changing the polarity of the corona-forming sharp electrode and the voltage value on the electrodes, and the larger the drop diameter, the greater the electric charge imparted to it;

–with a negative corona for the selected type of dielectric liquid, a drop of the same diameter at the same electric field strength acquires an electric charge greater in magnitude than with a positive corona. At the same time, the range of voltage variation on the electrodes up to the spark breakdown of the interelectrode gap expands (at the selected distances between the corona electrodes);

– the greater the relative permittivity of the working dielectric liquid, the greater the magnitude of the electric charge imparted to the droplet at the same voltage and polarity on the electrodes and the selected interelectrode gap.

#### Author Contribution

Data curation - Hafiz Alisoy (HA), Hasan Demir (HD), Gülizar Alisoy (GA); Formal analysis - (HA, HD, GA); investigation - (HA, HD, GA); Experimental Performance - (HA, HD, GA); Data Collection - (HA, HD, GA); Processing - (HA, HD, GA); Literature review - (HA, HD, GA); Writing - (HA, HD, GA); Review and editing - (HA, HD, GA)

#### Declaration of Competing Interest

The authors declared no conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

#### References

[1] Vereshchagin, I. P., Levitov, V. I., Mirzabekyan, G. Z., & Pashin, M. M. (1974). Fundamentals of Electrogasdynamics of Disperse Systems. *Energiya, Moscow*, 478.

[2] Razevig, D. V., & Sokolova, M. V. (1977). Analysis of Onset and Breakdown Voltages of Gas Gaps. *Energiya, Moscow*.

[3] Juvarli, C. M., Gorin, Y. V., & Mekhtizade, R. N. (1988). Corona discharge in electronegative gases. *Elm, Baku, Azerbaijan*, 143.

[4] Bortnik, I. M., Vereshchagin, I. P., & Vershinin, Y. N. (1993). Electrophysical Fundamentals of High Voltage Technique.

[5] Vasilyak, L. M., Vereshchagin, I. P., Glazkov, V. V., Kononov, I. G. E., et al., (2003). Investigation of electric discharges in the vicinity of a charged aerosol cloud and their interaction with a laser-induced spark. *High temperature*, 41, 166-175p.

[6] Alisoy, H. Z., Yesil, A., Koseoglu, M., & Unal, I. (2011). An approach for unipolar corona discharge in N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> gas mixture by considering townsend conditions. *Journal of Electrostatics*, 69(4), 284-290.

[7] Alisoy, G., Öntürk, N., & Alisoy, H. (2021). The Mathematical Modeling of the Charging and Deposition of Aerosol Particles in a Corona Field. *European Journal of Engineering and Applied Sciences*, 4(2), 57-60.

[8] Alisoy, H. Z., Alisoy, G. T., Hamamci, S. E., & Koseoglu, Murat (2004). Combined kinetic charging of particles on the precipitating electrode in a corona field. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 37(10), 1459.

[9] Gündüz, G. Ş., Göktepe, F., Alisoy, H., & Göktepe, Ö. (2023). An Investigation of The Effect of Collector Plate Material and Thickness on Electrospun Fiber Fineness Including A Theoretical Analysis. *International Journal of Engineering and Innovative Research*, 5(3), 223-236.

[10] Alisoy, H. Z., Alagoz, S., Alisoy, G. H., & Alagoz, B. B. (2012). A numerical method for the analysis of polydisperse aerosol particles charging in a coaxial electrode system. *Journal of Electrostatics*, 70(1), 111-116.

[11] Alisoy, H. Z., Alisoy, G. T., & Koseoglu, M. U. R. A. T. (2005). Charging kinetics of spherical dielectric particles in a unipolar corona field. *Journal of electrostatics*, 63(12), 1095-1103.

[12] Alisoy, H. Z., Alagoz, B. B., & Alisoy, G. H. (2010). An analysis of corona field charging kinetics for polydisperse aerosol particles by considering concentration and mobility. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 43(36), 365205.

[13] Koseoglu, M., & Alisoy, H. Z. (2011). The analysis of the charge on a cylindrical dielectric particle in unipolar corona field. *Journal of Electrostatics*, 69(3), 176-179.

[14] Zheng, C., Chang, Q., Lu, Q., Yang, Z., Gao, X., & Cen, K. (2016). Developments in unipolar charging of airborne particles: Theories, simulations and measurements. *Aerosol and Air Quality Research*, 16(12), 3037-3054.