



Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi
Journal of Sustainable Engineering Applications and Technological Developments
2024, 7(1)

Editör: Dr. Öğretim Üyesi Hakan ÇAĞLAR

HAZİRAN-2024 7(1)

ISSN: 2651-3544

İçindekiler

	Makale Adı
1	Jeotermal Enerji Kaynaklı Organik Rankine Güç Santralinin Termodinamik Analizi İsmail Arpa & Arzu Şencan Şahin
2	Orta Ölçekli Futbol Sahasına Ait Aydınlatma Tasarımı Muhammed Maşuk Doğanay
3	İklim Projeksiyonları Kapsamında Samsun İlinde Standart Yağış İndisi Metodu İle Kuraklık Analizi Selçuk Kurtoğlu & Aslı Ülke Keskin
4	Design and implementation of a Web-Based Remote laboratory for Embedded Systems Course Experiments Jalal Miladi & Halil İbrahim Akyüz
5	Baraj Rezervuarlarında Sedimentasyon İle Mücadele Yöntemleri Abdulkadir Ünüştü & Aslı Ülke Keskin
6	Çevre Dostu Mimarlık İçin Ahşap Malzemede Bitkisel Emprenye Çözümleri Üzerine Bir Araştırma Z. Sevgen Perker & Habibe Öztürk
7	Modern Hastaneler: İnovatif Malzemelerle Sağlık ve Sürdürülebilirlik Arzu Çimen & Selçuk Çimen

Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi uluslararası bilimsel hakemli bir dergidir.

Haziran ve Aralık Aylarında yılda 2 defa çevrimiçi olarak yayınlanır.

Taranmakta olunan indeks:



Baş Editör:

Dr. Öğretim Üyesi Hakan ÇAĞLAR

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Editör:

Dr. Çağrı AVAN

Dr. Gökhan EKİNCİOĞLU

Dr. Şerife ÖZATA

Kastamonu Ölçme Değerlendirme Merkezi

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Editör Kurulu:

Prof. Dr. Uğur ÖZCAN

Prof. Dr. Bahattin AYDINLI

Prof. Dr. Mustafa KURT

Prof. Dr. Hüseyin GÜNERHAN

Prof. Dr. Savaş CANBULAT

Prof. Dr. Serkan URANBEY

Prof. Dr. Yunus PAMUKOĞLU

Doç. Dr. Abdullah CANDAN

Doç. Dr. Ahmet BEYÇİOĞLU

Doç. Dr. Ali SAYGIN

Doç. Dr. Arzuhan Burcu GULTEKİN

Doç. Dr. Burak ARICAK

Doç. Dr. Cennet YAMAN

Doç. Dr. Gizem KARAKAN GÜNAYDIN

Doç. Dr. Gökhan SURUCU

Doç. Dr. Hüseyin Turan ARAT

Doç. Dr. Lenka KOUŘIMSKÁ

Doç. Dr. Arch. Milena Nanova

Doç. Dr. Arch. Panayot SAVOV

Doç. Dr. Arch. Sonia PARVANOVA-YONCHEVA

Doç. Dr. Selçuk Kürşat İŞLEYEN

Doç. Dr. Süleyman GÖKÇE

Doç. Dr. Yasin ERDOĞAN

Doç. Dr. Zeynel BAŞIBÜYÜK

Dr. Öğretim Üyesi Adem AHISKALI

Dr. Öğretim Üyesi Ali Kemal ÇAKIR

Dr. Öğretim Üyesi Asude ÇAVUŞ

Dr. Öğretim Üyesi Arzu ÇAĞLAR

Dr. Öğretim Üyesi Behçet DÜNDAR

Dr. Öğretim Üyesi Emin Sertaç ARI

Dr. Guang-jie Zhao

Dr. Öğretim Üyesi Melis ALPASLAN TAKAN

Dr. Mohamad Mazen HAMOUD-AGHA

Dr. Öğretim Üyesi Reza ABDİ

Dr. Öğretim Üyesi Tahir AKGÜL

Gazi Üniversitesi

Kastamonu Üniversitesi

Marmara Üniversitesi

Ege Üniversitesi

Kastamonu Üniversitesi

Ankara Üniversitesi

Süleyman Demirel Üniversitesi

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Adana Bilim ve Teknoloji Üniversitesi

Gazi Üniversitesi

Gazi Üniversitesi

Bursa Teknik Üniversitesi

Yozgat Bozok Üniversitesi

Pamukkale Üniversitesi

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Sinop Üniversitesi

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

University of Architecture Civil Eng. and Geodesy

University of Architecture Civil Eng. and Geodesy

University of Architecture Civil Eng. and Geodesy

Gazi Üniversitesi

Bayburt Üniversitesi

İskenderun Teknik Üniversitesi

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Kastamonu Üniversitesi

Aydın Adnan Menderes Üniversitesi

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi

Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi

Beijing Forestry University

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi

Institute Polytechnique UnilaSalle

University of Bonab

Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Sayı Hakemleri:

Dr. Abdulkadir KARACI

Dr. Arzu ÇAĞLAR

Dr. Deniz BEDİRHAN

Dr. Erkan DİKMEN

Fevzi ÇAKMAK

Dr. Gonca ÖZER

Dr. Kader ÖZTÜRK

Dr. Jafar Sadegh SAFARI

Dr. Mustafa ERDEMİR

Dr. Mustafa GÜNGÖR

Dr. Müjdat ÖZTÜRK

Dr. Olcay Türkan YURDUGÜZEL

Dr. Osman Tuğrul BAKI

Dr. Ramazan KAYABAŞI

Turgut KARADEMİR

Dr. Utku ZEYBEKOĞLU

Dr. Vahdettin DEMİR

Dr. Ömer CAN

SAMSUN ÜNİVERSİTESİ

KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ

MARDİN ARTUKLU ÜNİVERSİTESİ

BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ

ARDAHAN ÜNİVERSİTESİ

YAŞAR ÜNİVERSİTESİ

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ

MARDİN ARTUKLU ÜNİVERSİTESİ

KIRŞEHİR AHİ EVRAN ÜNİVERSİTESİ

BOZOK ÜNİVERSİTESİ

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

KAYSERİ ÜNİVERSİTESİ

İZMİR DEMOKRASİ ÜNİVERSİTESİ

SİNOP ÜNİVERSİTESİ

KTO KARATAY ÜNİVERSİTESİ

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ



Jeotermal Enerji Kaynaklı Organik Rankine Güç Santralinin

Termodinamik Analizi

Thermodynamic Analysis of Geothermal Energy Sourced Organic

Rankine Power Plant

İsmail Arpa ^{1*}, Arzu Şencan Şahin ²

^{1*} Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

² Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

ÖZET

Sürdürülebilir enerji türü olarak jeotermal kaynaklardan elektrik üretimi ülkemizde gittikçe yaygınlaşmaktadır. İkili (binary) jeotermal enerji santrali, jeotermal akışkan ısısından Organik Rankine Çevrimi (ORC) yardımı ile elektrik üreten sistemlerdir. Çevrimin ve çevrimi oluşturan her bir sistem elemanının enerji ve ekserji analizleri ayrıntılı bir şekilde yapılmıştır. Bu analizler için Engineering Equation Solver (EES) yazılımı kullanılmıştır. ORC sisteminde iş akışkanı olarak n-pentan kullanılmıştır. Hesaplamalar sonucunda tüm sistemin enerji verimi %6, ekserji verimi ise %45 olarak bulunmuştur. Sistemin farklı çalışma parametrelerine göre verimlerdeki değişimler grafikler aracılığıyla ortaya konmuştur. Santralde en yüksek ekserji kaybının 6.12 MW (tüm ekserji kaybının %26'sı) ile hava soğutmalı kondenser 2'de olduğu tespit edilmiştir. Çalışmada son olarak ekserji kayıplarının azaltılması ve sistem verimliliğinin iyileştirilmesi için çeşitli öneriler ve tavsiyelerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal enerji, Organik rankine çevrimi, Enerji verimliliği, Ekserji analizi.

ABSTRACT

Geothermal energy from geothermal sources is becoming increasingly popular as a sustainable energy source for electricity generation in our country. Binary geothermal power plants are systems that generate electricity with the help of Organic Rankine Cycle (ORC) using geothermal fluid temperature. Energy and exergy analyses of the cycle and each system component that constitutes the cycle are performed in detail. Engineering Equation Solver (EES) software is used for these analyses. N-pentane is used as the working fluid in the ORC system. As a result of the calculations, the overall energy efficiency of the system is found to be 6% and the exergy efficiency is found to be 45%. Changes in efficiencies according to different operating parameters of the system are presented through graphs. It is determined that the highest exergy loss in the power plant is 6.12 MW (26% of the total exergy loss) in air-cooled condenser 2. Finally, various suggestions and recommendations are made in the study to reduce exergy losses and improve system efficiency.

Keywords: Geothermal energy, Organic rankine cycle, Energy efficiency, Exergy analysis.

Başvuru: 05.12.2023 Revizyon Talebi: 05.02.2024 Son Revizyon: 21.02.2024 Kabul: 04.04.2024

Doi: 10.51764/smutgd.1397480

^{1*}Sorumlu yazar: Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye; E-mail: arpa.ismail@gmail.com; ORCID: 0000-0002-1160-3793

² E-mail: arzusencan@isparta.edu.tr; ORCID: 0000-0001-8519-4788

1. GİRİŞ

Artan sanayileşme ve dünya nüfusunun yükselişi, enerji tüketiminin hızlı bir şekilde artmasına yol açmaktadır. Birincil enerji kaynaklarının sınırlı olması ve artan maliyetler, enerji üretim maliyetlerini ve sıkıntılarını artırmaktadır. Bu sıkıntılar, enerji bağımlılığının enerji güvenliğine risk oluşturması, hava kirliliği ve iklim değişikliği gibi çevresel etkiler, sürdürülebilirlik ve yenilenebilir enerji teknolojilerinin yaygınlaşmasındaki teknolojik engeller gibi çeşitli alanlarda kendini göstermektedir. Bu nedenle, alternatif enerji kaynaklarına yönelik araştırmalar ve mevcut kaynakların daha verimli kullanımı için tasarruf tedbirleri alınması hayati bir önem taşımaktadır. Ülkemiz enerji ihtiyacının büyük bir çoğunluğunu dış ülkelere ithal etmektedir (Yılankırkan ve Doğan, 2020). Enerji ithalatının büyük bir çoğunluğunu fosil kökenli-yenilenemeyen enerji kaynakları oluşturmaktadır. Fosil kökenli-yenilenemeyen enerji kaynaklarıyla yapılan faaliyetlerin çevreye olan zararı bilinmektedir. Bu yüzden dünyadaki birçok ülke enerji ihtiyacını temin edebilmek üzere yenilebilir enerji kaynaklarına yönelmiştir.

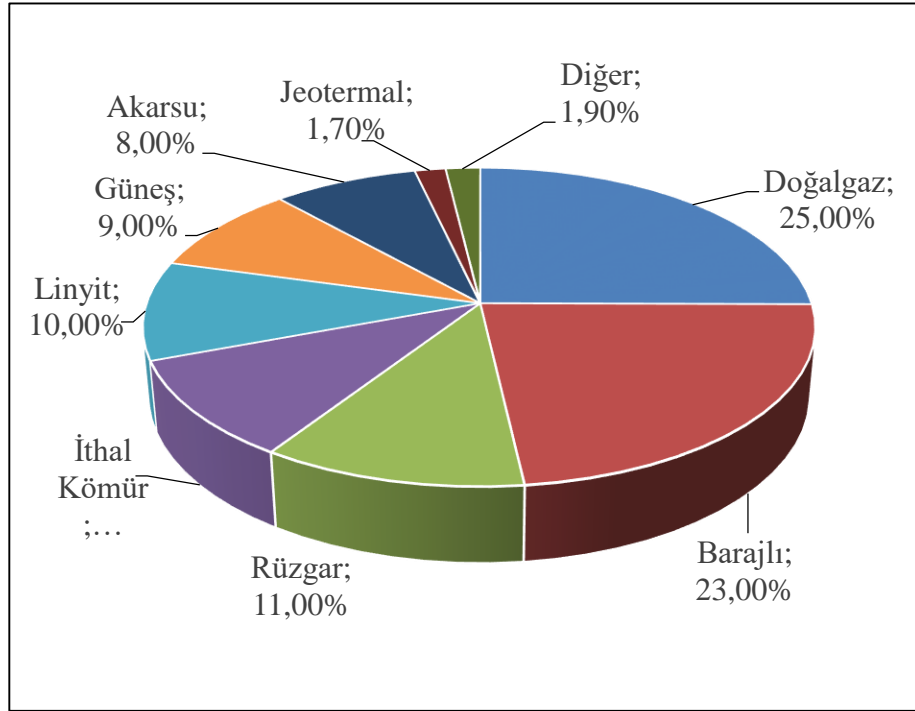
Gelişmiş ülkelerin öncelikli ihtiyaçları arasında elektrik enerjisi önemli bir yer tutmaktadır. Günümüzde teknolojinin ilerlemesiyle birlikte, elektronik cihazların kullanımı ve dolayısıyla elektrik tüketimi de sürekli olarak artmaktadır. Çağımızda elektrik üretimi için birçok model ve sistem bulunmaktadır. Bu sistemler içinde en yaygın kullanılanlardan biri termik santrallerdir. Bu santrallerde kömür, doğalgaz vb. yakıtların yakılıp çıkan ısı enerjisinin bir akışkana iletilmesi ve elde edilen buharın türbini hareket ettirmesiyle elektrik üretimi yapılmaktadır. Tablo 1’de ortaya koyulan Global Energy Monitor verilerine bakıldığında elektrik enerjisi üretiminde termik santrallerin üretim güçleri paylaşılmıştır. 2023 senesinde yapılmış bu çalışmada, ülkelere göre termik santrallerin kurulu güç kapasiteleri ve kapatılan santrallere dair veriler yer almaktadır.

Tablo1. Ülkeler bazında termik santrallerin kurulu güç kapasiteleri (Global Energy Monitor, 2023)

ÜLKE	2023 AKTİF SANTRAL ÜRETİM GÜCÜ (MW)	2000 - 2023 KAPATILAN SANTRAL ÜRETİM GÜCÜ (MW)
ALMANYA	40515	25181
İNGİLTERE	4140	30623
İTALYA	6166	4194
FRANSA	2507	6619
İSPANYA	2210	10892
HOLLANDA	4152	3665
ÇİN	1092889	119268
HİNDİSTAN	234256	15651
ABD	212042	148514
AVUSTURYA	0	1993
PORTEKİZ	0	2028

Tablo 1’de 2023 yılında bazı Avrupa ülkeleri ile ABD, Çin ve Hindistan’ın aktif santral üretim gücü ve 2000-2023 yılları arasında kapatılan santral üretim gücü ile ilgili veriler görülmektedir. 2023 yılında, aktif santral üretim gücü açısından Çin’in ilk sırada yer aldığı, onu Hindistan ve ABD’nin takip ettiği görülmektedir. Avrupa ülkeleri arasında

da Almanya'nın en yüksek aktif santral üretim gücüne sahip ülke olduğu görülmektedir. 2000-2023 yılları arasında kapatılan santral üretim gücü açısından ABD, Çin ve İngiltere ilk sıralarda yer almaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına olan geçiş ve karbon salınımı azaltma çabaları, kapatılan geleneksel enerji santral sayısının artmasına sebep olduğu düşünülmektedir. Fosil kaynakların zamanla tükenmesi göz önüne alındığında, ülkemizin de sürdürülebilir, modern ve temiz kaynakları dikkate alması gerekmektedir. Bu nedenle, elektrik üretimi için yeni modeller ve sistemlere geçen birçok ülke gibi ülkemiz de bu yönde adımlar atmalıdır. Temiz ve sürdürülebilir enerji kaynakları arayışında olduğumuzda, ilk olarak akla yenilenebilir enerji kaynakları gelmektedir. Şekil 1'de enerji kaynaklarına göre ülkemizdeki kurulu güç yüzdeleri görülmektedir. Enerji üretiminin yaklaşık %56'sı fosil yakıtlardan (doğalgaz, linyit, ithal kömür), yaklaşık %44'ü de yenilenebilir kaynaklardan (hidroelektrik, rüzgar, güneş, akarsu, jeotermal) oluşmaktadır. Ülkemizde fosil yakıtlar hala önemli bir rol oynarken yenilenebilir kaynakların payının da zaman içinde artması beklenmektedir. Ülkemiz, birden fazla iklimin bir arada bulunmasından dolayı, güneş ve sürekli rüzgâr alan bölgelerin sayısı oldukça fazladır. Özellikle Alp-Himalaya kuşağı üzerindeki coğrafi konumumuz, yüksek jeotermal enerji potansiyeline sahip olmamızı sağlamaktadır.



Şekil 1. Ülkemizdeki kaynaklara göre kurulu güç yüzdeleri (TEİAŞ Kurulu Güç Raporu, 2022)

Tablo 2 enerji üretim teknolojilerine göre santral emisyon değerlerini göstermektedir (World Nuclear Association Report, 2011). Bu değerler, farklı enerji kaynaklarının çevreye olan etkilerini GWh başına ton CO₂ eşdeğeri üzerinden karşılaştırmaktadır. Bu çerçevede, jeotermal enerji üretimi çevre dostu bir seçenek olarak öne çıkmaktadır.

Tablo 2. Enerji tiplerine göre santral emisyon değerleri (World Nuclear Association Report, 2011)

Teknoloji	Emisyon (ton CO₂e/GWh)
Linyit	1054
Kömür	888
Benzin	733
Doğal Gaz	499
Güneş (Fotovoltaik)	85
Jeotermal	88
Biokütle	45
Nükleer	29
Hidroelektrik	26
Rüzgâr	26

Günümüzde ORC sistemi ilkelerine uygun şekilde işleyen elektrik üretim santralleri, düşük sıcaklıktaki rezervlerden elektrik üretimi için önemli aşamalar kaydetmiştir. Bu sistemde ısı rezervi olarak jeotermal kaynaklar kullanıldığında, sistem ya da çevrim ikili (binary) ismini almıştır. Ülkemizde ikili çevrim prensibine dayanarak faaliyet gösteren enerji santralleri 2008 senesinden itibaren yaygınlaşmaya başlamıştır.

Bu santrallerin üretime başlamadan önce termodinamik ve termoekonomik analizlerinin yapılabilmesi oldukça önemlidir. Halihazırda faaliyette olan santrallerde ise bu analizlerin gerçekleştirilmesi santralin performansına bu suretle de elde edilen elektriğin miktarına direkt olarak katkı sağlayacaktır. Çağımızda bu tip enerji üretim sistemlerinin etüdü yapılırken kullanılan metodlar sıklıkla enerji ve ekserji analizleridir. Bu analizler sistemin performans, kayıp değerleri ve iyileştirilmesi gereken noktaları açığa çıkartır.

Literatürde jeotermal kaynaklı ORC sistemlerinin analizi ile ilgili bazı çalışmalar mevcuttur. Zhou C. vd. (2013) yaptıkları çalışmada bağımsız jeotermal enerji santrallerinin karşılaştığı bir sorun olan günlük sıcaklık değişiminin hava soğutmalı kondenserler üzerindeki olumsuz etkilerini ele almışlardır. Araştırma, güç çıkışını artırmak ve günlük sıcaklık değişiminin etkisini hafifletmek için hibrid güneş-jeotermal enerji santrallerinin potansiyelini değerlendirmektedir. Hibrid sistemlerin güç çıkışı ve elektrik maliyetleri, bağımsız güneş ve jeotermal santrallerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca, hibrid sistemin performansını etkileyen çeşitli parametreler incelenmiştir. Sonuçlar, hibrid santrallerin enerji verimliliğini artırabileceğini ve maliyetleri azaltabileceğini göstermektedir. Bao ve Zhao (2013) çalışmalarında ORC için çalışma akışkanları ve türbin seçimi ile ilgili bir inceleme sunmuşlardır. Çalışma akışkanlarının termodinamik ve fiziksel özelliklerinin ORC performansına etkisi incelenmiştir. Verimli bir ORC sistemi tasarımı için optimum çalışma akışkanı ve uygun türbin seçiminin oldukça önemli olduğu vurgulanmıştır. Nasruddin vd. (2020), çalışmalarında Ampallas bölgesindeki iki farklı jeotermal ikili çevrim güç santralinin optimizasyonunu yapmışlardır. Organik Rankine çevrimi ve Kalina çevrimleriyle çalışan sistemler karşılaştırılmıştır. Optimizasyon için MATLAB ve EES yazılımı kullanılmıştır. Sonuç olarak, ORC sisteminin Ampallas bölgesindeki jeotermal atık ısının geri kazanılması için daha iyi bir seçenek olduğu görülmüştür. Lebbihiat vd. (2021), Cezayir'deki jeotermal enerjinin tarihini, mevcut kullanımını, uygulamalarını ve potansiyelini tartışmıştır. Cezayir'in jeotermal kaynaklarının mevcut durumunu incelemekte ve jeotermal enerji gelişimini artırmaya yönelik bir yol haritası ve önlemler sunmaktadır. Jeotermal enerji kullanımı ve dünya genelindeki en son teknolojiler de özetlenmektedir. Yılmaz (2021) çalışmasında ısıtma, soğutma, güç, sıcak su ve hidrojen üretimi için yeni tasarlanmış jeotermal enerji destekli entegre bir tesis önermiştir. Modellenen sistem, n-pentan ile çalışan ORC-1 ve n-bütan ile çalışan ORC-2 olmak üzere iki organik Rankine çevrimine (ORC) sahiptir. İncelenen sistemin toplam

enerji ve ekserji performansları sırasıyla %63,28 ve %55,99 olarak bulunmuştur. Ayrıca önerilen modeller, enerji üretimini karşılamak için yenilenemeyen enerji bazlı yakıtların kullanılması sonucunda sera gazlarının etkisini tanımlamak için çevresel etki değerlendirmesi yapılmıştır. Nemati vd., (2017) çalışmasında, CGAM kojenerasyon sisteminde atık ısının geri kazanılması için organik Rankine çevrimi ve Kalina çevrimlerinin termodinamik modellemesini ve optimizasyonunu yapmıştır. Birleşik sistemlerin enerji ve ekserji verimliliği ile türbin boyutu üzerindeki etkilerini incelemiştir. ORC'nin daha basit yapılandırması, daha yüksek net güç ve süper ısınmış türbin çıkış akışı gibi avantajları vardır. Kalina çevriminin türbin boyut parametresi, ORC'den daha düşüktür. Ancak, yapılan kapsamlı karşılaştırmada ORC'nin atık ısı geri kazanımı için önemli avantajlara sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Abdolalipouradl vd. (2020) yaptıkları çalışmada Sabalan jeotermal alanında yer alan iki kuyudan güç üretmek için dört yenilikçi konfigürasyonu araştırmıştır. Konfigürasyonlar termodinamik ve eksergo-ekonomi açısından değerlendirilmiştir. ORC konfigürasyonlarında çeşitli çalışma akışkanları kullanılmıştır. DF1-ORC'nin sırasıyla SF-ORC, DF2-ORC ve TF-ORC'den %4.03, %1.32 ve %1.2 daha fazla enerji ürettiği görülmüştür. R123 çalışma akışkanının kullanıldığı SF-ORC'nin maksimum ekonomik performans sağladığı görülmüştür. Drescher ve Brüggemann (2007) tarafından yapılan bir çalışmada, küçük katı biyokütle enerji tesislerinde ORC'nin kojenerasyon için kullanıldığı belirtilmektedir. Çalışmada biyokütle enerji tesislerinde ORC için termodinamik açıdan uygun akışkanların bulunması için bir yazılım geliştirildiği vurgulanmaktadır. Çalışmada alkilbenzen ailesinin en yüksek verimlilik değerlerine sahip olduğu belirtilmektedir. Tchanche vd. (2011) araştırmalarında, organik çalışma sıvılarının düşük sıcaklıkta su buharından daha uygun olduğunu vurgulamışlardır. Çevrimin performansının seçilen çalışma sıvısına bağlı olduğundan bahsetmişlerdir. Saleh vd. (2007) ORC sistemlerinde kullanılan 31 farklı çalışma akışkanının bir taramasını yapmıştır. Daha yüksek kritik sıcaklığa sahip çalışma akışkanıyla çalışan ideal bir ORC çevriminin termal verimliliğinin genellikle daha iyi olduğunu vurgulamışlardır. Quoilin vd. (2011) çalışmalarında enerji üretimi için düşük maliyetli bir güneş enerjili organik Rankine çevriminin performans ve tasarım optimizasyonu ortaya koymuşlardır. Kanoglu ve Bolatturk (2008) çalışmalarında ikili bir jeotermal enerji santralinin enerji ve ekserji analizini ortaya koymuşlardır. Enerji ve ekserji verimlilikleri, sırasıyla %10,2 ve %33,5 olarak bulunmuştur. Türbin giriş basıncı ve sıcaklığı ile yoğunlaştırıcı basıncının; ekserji ve enerji verimliliğine, net güç çıkışına etkileri incelenmiştir. Cammarata vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada, jeotermal kaynaklardan enerji dönüşümü için organik Rankine çevrimleri üzerinde termodinamik bir analiz yapılmıştır. Çalışmada, termodinamik değişkenlerin değerlerini hesaplamak için bir sayısal akış şeması kullanılmıştır. Tesisin farklı bileşenleri, denge denklemleriyle birbirine bağlı bloklar şeklinde açıklanmıştır. İki çalışma akışkanı (izopentan ve izobütan) dikkate alınarak, çeşitli işletme parametreleri için sonuçlar elde edilmiştir. Bu parametreler arasında çalışma akışkanının buharlaşma ve kondensasyon basınçları, jeotermal akışkanın kütle akış hızı ve soğutma suyu sıcaklığı bulunmaktadır. Elde edilen sonuçlar, T-S diyagramında termodinamik çevrimler oluşturularak incelenmiş ve araştırılan işlevsel senaryolara ilişkin etkinlik ve enerji faydası nicelendirilmiştir. Yari (2010), çalışmasında farklı jeotermal enerji santrali konseptlerini ekserji analizi temelinde karşılaştırmıştır. Çalışmada, basit ORC, ilave ısı değiştiricili ORC, rejeneratif ORC, ilave ısı değiştiricili rejeneratif ORC, tek basınçlı, çift basınçlı ve ikili-flaş jeotermal enerji santralleri gibi çevrimler ele alınmıştır. Sonuçlar, dahili ısı değiştiricili ORC çevrimin en yüksek birinci yasa verimliliğine sahip olduğunu (%7.65) gösterirken, enerji girişine dayalı olarak hesaplanan birinci yasa verimliliğinde rejeneratif ORC ve dahili ısı değiştiricili ikili çevrimin en yüksek verimliliğe sahip olduğu (%15.35) saptanmıştır. Ayrıca, R123 çalışma akışkanıyla ikili-flaş çevrimin en yüksek birinci yasa verimliliğine sahip olduğu (%11.81) bulunmuştur. Yari'nin çalışması, jeotermal enerji santrali performansını ekserji analiziyle değerlendirmenin önemini vurgulayarak, farklı çevrim konfigürasyonlarının karşılaştırılmasına katkı sağlamaktadır. Hu vd. (2022) çalışmalarında ORC sisteminin matematiksel ve fiziksel modelini oluşturarak beş farklı organik çalışma sıvısı seçmişlerdir. Sistemde maksimum net güç ile performansı etkileyen çeşitli parametreler analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar R245fa'nın en iyi uygun çalışma sıvısı olduğunu göstermiştir. Alghamdi vd. (2023) çalışma akışkanı olarak zeotropik akışkan kullanılan kombine çift flaşlı jeotermal kaynaklı ORC sistemin modellemesini ve termodinamik analizini yapmışlardır. Analiz, termodinamiğin birinci ve ikinci yasaları temel alınarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada üç akışkan hekzan, siklohekzan ve izohekzan- kullanılmıştır. Sistemin birinci ve ikinci yasa verimi, üretilen net güç ve ekserji yıkımı miktarı hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Zhao vd. (2024) çalışmalarında organik Rankine çevrimine dayalı bir jeotermal enerji santralinin yaşam döngüsü analizini yapmışlardır. Organik çalışma akışkanının ve reküperatif çevrimin CO₂ emisyonları üzerindeki etkisi analiz edilmiştir.

Yapılan literatür araştırmalarında görüldüğü gibi, farklı ülkelerde hem teorik hem de gerçek jeotermal enerji kaynaklı ORC santralleriyle ilgili birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada literatürden farklı olarak ülkemizdeki gerçek bir jeotermal enerji kaynaklı ORC çevriminin enerji ve ekserji analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir (Arpa, 2023).

2. MATERYAL VE METOT

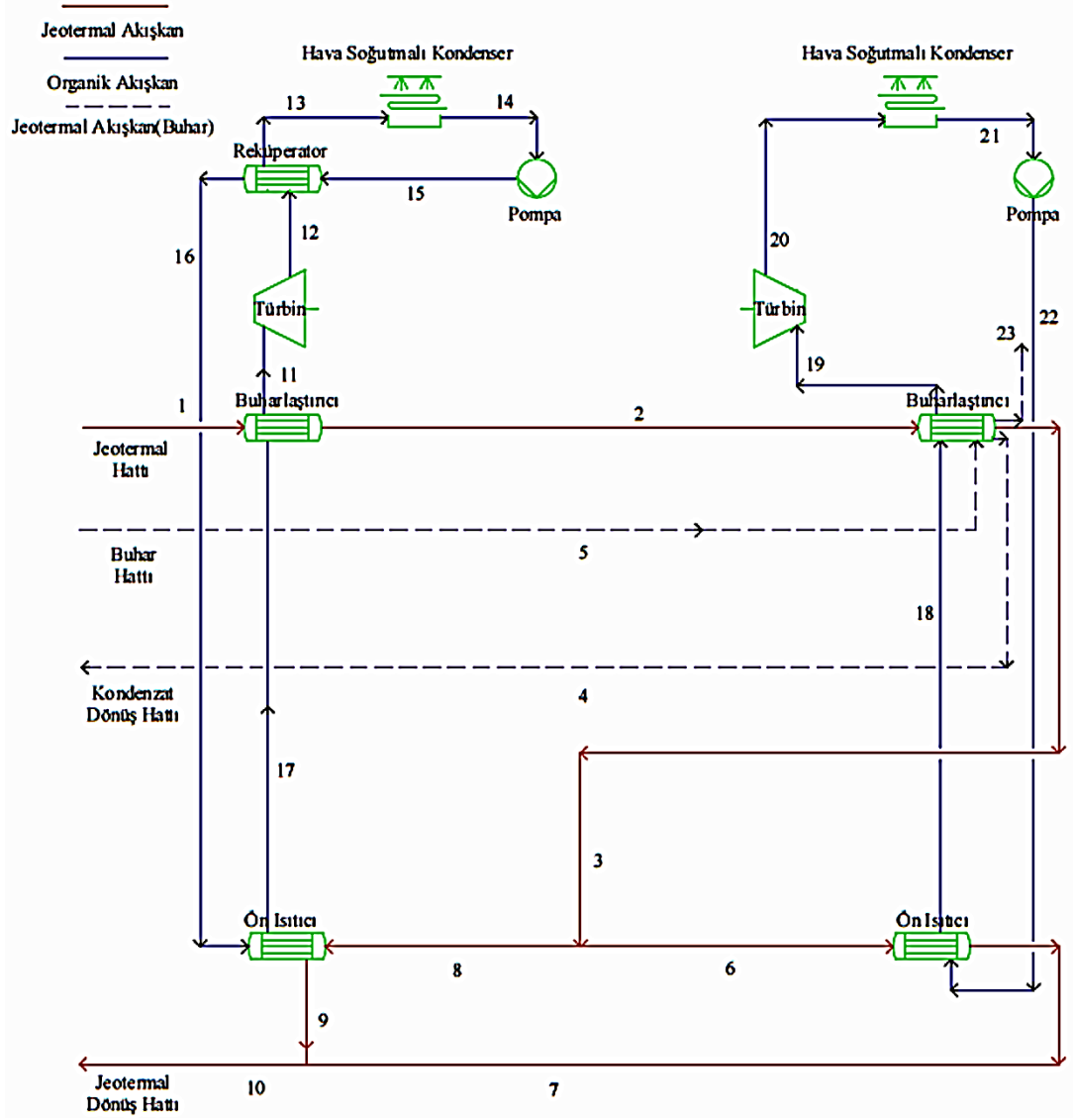
2.1. Sistem Tanımı

Analizi yapılan sistemde çalışma akışkanı olarak kullanılan n-pentan akışkanının termodinamik ve termofiziksel özellikleri Tablo 3'de gösterilmiştir. Hidrokarbon grubu olan bu soğutkanlar yanıcı özellikte olmalarına karşın, çevreye sundukları olumlu etkilerinden dolayı çevreci olarak nitelendirilebilir özelliktedirler. Bu çalışmada, Şekil 2'de şematik olarak verilen ikili çevrim jeotermal güç santralinin enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Santrali oluşturan her bir sistem elemanının ayrı ayrı termodinamik analizleri yapılmıştır.

Tablo 3. n-pentan'ın termofiziksel ve termodinamiksel özellikleri

Parametreler	Değerler
Kritik Sıcaklık (°C)	196.6
Kritik Basınç (kPa)	3370
Kaynama Noktası Sıcaklığı (°C)	36.1
Molar Kütle (g/mol)	72.15
Ozon Delme Potansiyeli (ODP)	0

Şekil 2'de gösterilen ikili çevrim jeotermal santralde, rezervuardan sıvı-buhar karışımı olarak çıktıktan sonra seperatörde fazlarına ayrıştırılarak 1 noktasından jeotermal sıvı olarak, 5 noktasından ise kızgın buhar olarak santrale giriş yapar. Burada 1 ve 5 noktasından giriş yapan jeotermal akışkan ve kızgın buhar, n-pentan gazını kızgın buhar fazına erişmesini sağlamak için çevrimde iki adet bulunan buharlaştırıcıda ısılarını aktarırlar. Daha sonrasında tamamen kızgın buhar fazına geçen n-pentan akışkanı türbine vurdurulur ve jeneratör yardımıyla elektrik üretimi gerçekleşir. 12 Noktasından çıkan organik akışkan, 15 noktasından gelen organik akışkana reküperatör aracılığıyla ısını vererek ön ısıtıcıya girmeden ek bir ön ısıtma yapar. Ayrıca bu işlemle, 13 noktasında hava soğutmalı kondensere girmeden önce akışkanın ısı kaybetmesinden dolayı fanlarda harcanacak olan elektrik enerjisinin düşürülmesi nedeniyle verimin arttırılmasına fayda sağlanmaktadır. 14 noktasına gelindiğinde, organik akışkan kayda değer miktarda basınç kaybettiğinden, döngüde istenilen basınçlandırmayı elde etmek için bir pompa aracılığıyla basınçlandırma yapılır. Daha sonrasında ön ısıtıcı yardımıyla ısı transferleri gerçekleşir ve buharlaştırıcıya girerek türbinden önceki son ısıtmayı tamamlar ve sürekli döngüsüne devam eder.



Şekil 3. İkili çevrim jeotermal santralin şematik gösterimi

2.2. Termodinamik Analiz

Termodinamik analiz yapılırken enerji ve ekserji metotları ele alınmış ve yazılım olarak Engineering Equation Solver (EES) programı kullanılmıştır. Sistem bileşenlerini, donanım donanım ayırarak her birine ayrı ayrı termodinamik denge denklemleri uygulanmış ve elde edilen güç üretimleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada organik akışkan olarak n-pentan akışkanı kullanılmıştır. Sistemin yapılan kabuller aşağıdaki gibi sıralanmıştır;

- Sistem sürekli akışlı açık sistem koşulları altında çalışmaktadır.
- Kinetik ve potansiyel enerjiler ihmal edilmiştir.
- Jeotermal akışkan olarak saf su ele alınmıştır.
- Pompa verimi %80 olarak kabul edilmiştir.
- Çevre sıcaklığı 20 °C'dir.
- Çevre basıncı 101.325 kPa'dır.

Kütle dengesi (Boles ve Cengel, 2014):

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_c \quad (1)$$

Enerji dengesi (Boles ve Cengel, 2014):

$$\sum \dot{m}_g h_g + \sum \dot{W}_g + \sum \dot{Q}_g = \sum \dot{m}_c h_c + \sum \dot{W}_c + \sum \dot{Q}_c \quad (2)$$

Entropi dengesi (Boles ve Cengel, 2014):

$$\sum \dot{m}_g s_g + \sum \left(\frac{\dot{Q}}{T} \right)_g + \dot{S}_{\text{üretim}} = \sum \dot{m}_c s_c + \sum \left(\frac{\dot{Q}}{T} \right)_c \quad (3)$$

Ekserji dengesi (Boles ve Cengel, 2014):

$$\sum \dot{m}_g ex_g + \sum \dot{E}x^w_g + \sum \dot{E}x^Q_g = \sum \dot{m}_c ex_c + \sum \dot{E}x^w_c + \sum \dot{E}x^Q_c + \dot{E}x_{\text{yıkım}} \quad (4)$$

Sunulan denklemlerdeki kullanılan “g” ve “ç” indisleri giren ve çıkan ifadeleri göstermektedir. \dot{Q} , \dot{W} , h ve s ifadeleri sırasıyla; ısı transfer hızı, güç, özgül entalpi ve özgül entropi değerlerini ifade etmektedir. Denklem (4)’teki $\dot{E}x_{\text{yıkım}}$, $\dot{E}x^Q$ ve $\dot{E}x^W$ ifadeleri ise sırasıyla ekserji yıkımı, ısının ekserjisini ve işin ekserjisini göstermekte olup aşağıdaki gibi yazılabilir (Boles ve Cengel, 2014):

$$\dot{E}x_{\text{yıkım}} = \dot{S}_{\text{üretim}} T_0 \quad (5)$$

$$\dot{E}x^Q = \dot{Q} \left(\frac{T - T_0}{T} \right) \quad (6)$$

$$\dot{E}x^W = \dot{W} \quad (7)$$

Her bir sistem elemanının kütle, enerji, entropi ve ekserji bağıntıları ile sistemin enerji ve ekserji verimleri kısımlara ayrılmış ve EES yazılımı yardımıyla analizler gerçekleştirilmiştir. Sistemdeki özgül akış ekserjisi ise aşağıdaki denklem ile hesaplanır (Boles ve Cengel, 2014):

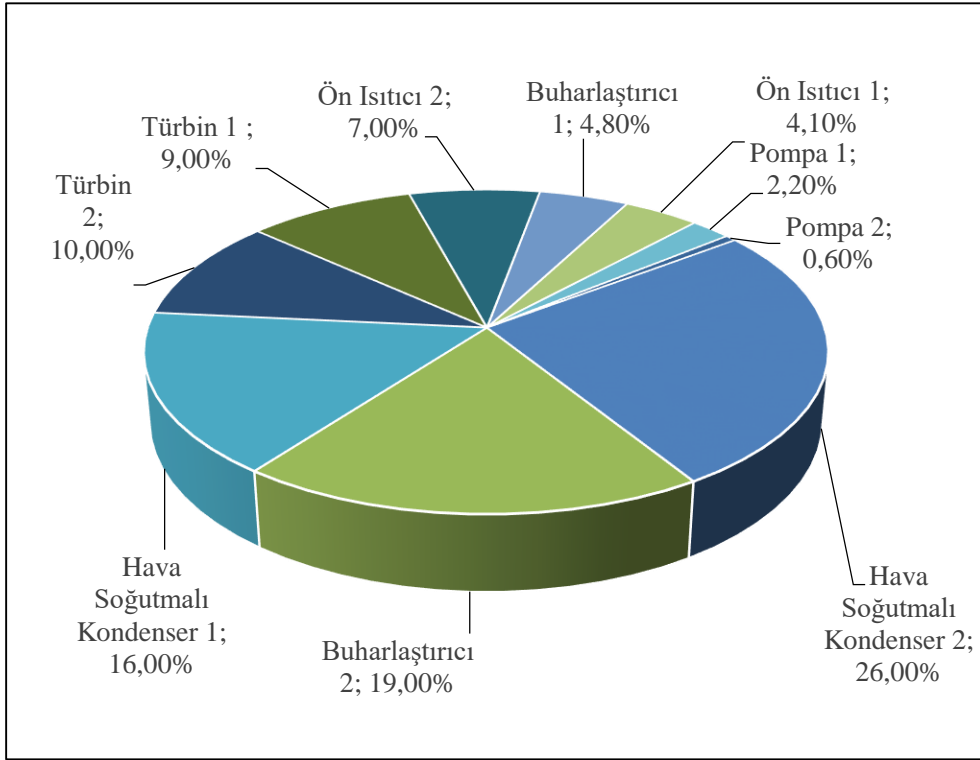
$$ex = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (8)$$

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Her bir sistem elemanına ait enerji, ekserji değerleri ile verimleri hesaplanmış ve Tablo 4’te verilmiştir. Ayrıca Şekil 4’te sistem elemanlarının ekserji kayıplarının oranları görülmektedir. En yüksek ekserji kaybı hava soğutmalı kondenser 2’de meydana gelmiştir. Bu yüzden birçok santral veya işletme dizayn aşamasında daha verimli olan su soğutmalı kondenserleri tercih etme amacındadır.

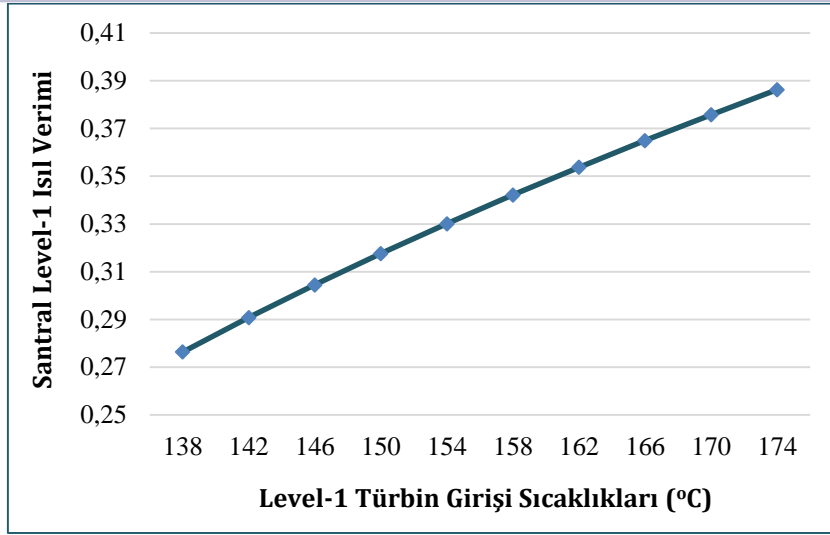
Tablo 4. Ekserji kayıpları, ekserji verimi ve enerji transferi miktarı

Ekipman	Enerji Miktarı (MW)	Ekserji Kayıpları (MW)	Enerji Verimi (%)	Ekserji Verimi (%)
Buharlaştırıcı 1	49.39	1.13	98	92
Buharlaştırıcı 2	56.82	4.46	90	76
Türbin 1	11.32	2.13	87.3	84
Türbin 2	9.73	2.45	86.2	80
Hava Soğutmalı Kondenser 1	60.51	3.78	54.29	57.4
Hava Soğutmalı Kondenser 2	79.15	6.12	70.86	93.1



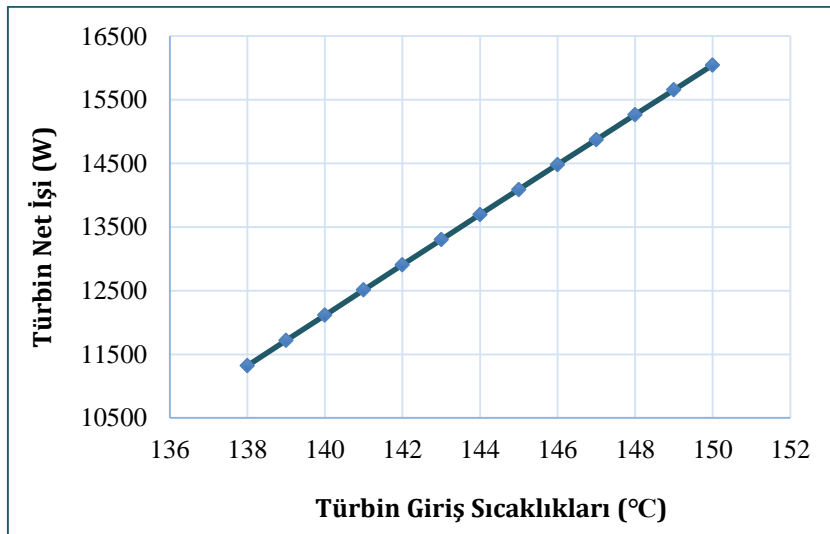
Şekil 4. Sistem elemanlarının ekserji kayıplarının yüzdesel olarak dağılımı

Ayrıca ikili jeotermal enerji santralinde çevre sıcaklığı, jeotermal su sıcaklığı ve türbin giriş sıcaklıkları gibi önemli parametrelere bağlı olarak net güç ve verim değişimleri incelenmiştir. Şekil 5'te Level-1 türbin giriş sıcaklık değişimlerine göre santral level-1'in ısı verim değişimleri görülmektedir. Türbine giren akışkan sıcaklığının artmasıyla santralin veriminin de aynı oranda arttığı görülmektedir. Her 4 °C sıcaklık artışında ortalama %1.22'lik bir verim artışı olduğu gözlemlenmektedir. Daha yüksek türbin giriş sıcaklığının, daha yüksek enerji dönüşüm verimine ve daha fazla elektrik üretimine olanak sağladığı gözlemlenmiştir.



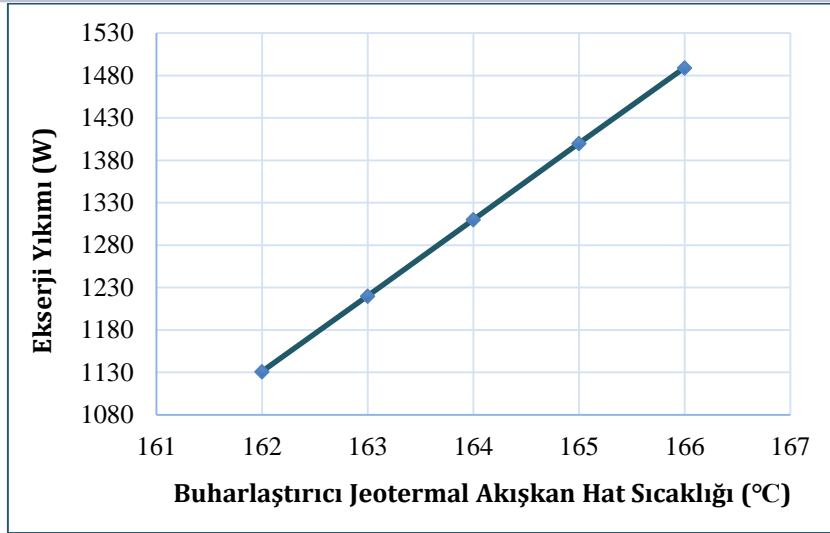
Şekil 5. Level-1 türbin girişi sıcaklık değişimine göre santral level-1 ısıl verimi değişimi

Şekil 6'da sunulan grafik, türbine giren organik akışkanın sıcaklık değişimi ile türbin net işi arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Organik akışkanın türbine giriş sıcaklığının artmasıyla elde edilen net türbin işinin de aynı oranda arttığı görülmektedir. Her 4 °C sıcaklık artışında ortalama %3.93'lük net iş artışı olduğu gözlemlenmiştir. Bu bulgu, sistemdeki enerji dönüşümünün sıcaklık değişimleriyle doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Türbine giren organik akışkanın sıcaklığının yükselmesi, enerji taşıyan akışkanın içerdiği termal enerji miktarının artması anlamına gelir. Dolayısıyla, daha yüksek sıcaklıklarda türbine giren organik akışkan, türbin rotoruna daha fazla enerji aktaracak ve sonuç olarak elde edilen net türbin işi miktarı artacaktır.



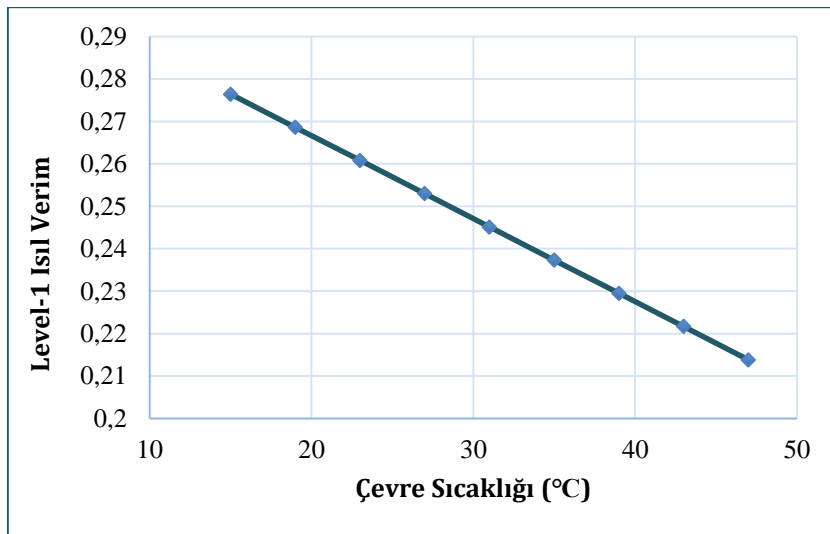
Şekil 6. Türbin giriş sıcaklıklarına göre türbin net işi değişimi

Şekil 7'deki grafikte buharlaştırıcı-1 elemanına giren jeotermal akışkanın hat sıcaklığındaki değişimine bağlı olarak ekserji yıkımının nasıl değiştiği gözlemlenmiştir. Sistemdeki temel giriş sıcaklığı 162 °C olarak belirlenmiştir. Bu donanımın ürettiği ekserji yıkımının, sıcaklık değeri ile doğru orantılı olarak arttığı tespit edilmiştir. Jeotermal rezervlerden gelen sıcaklığın ne kadar yüksek olursa, çevrim verimindeki artışın da buna bağlı olarak gerçekleşeceği bilinse de, büyük ekserji yıkımı değerleri dikkate alındığında, ikili çevrim teknolojisindeki buharlaştırıcı bileşenlerinin hala gelişime ihtiyaç duyduğu görülmektedir.



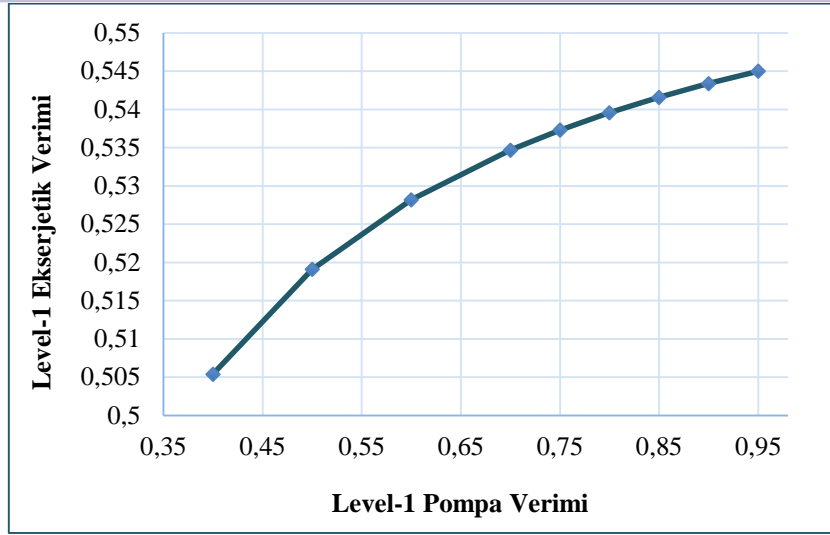
Şekil 7. Jeotermal akışkanın hat sıcaklığının değişimine göre buharlaştırıcıdaki ekserji yıkımı değişimi

Şekil 8'deki grafik, çevre sıcaklığının santral verimi ile ilgili olan ilişkisini ortaya koymaktadır. Bu doğrultuda hava soğutmalı kondenserlerin çevre havayı kullanarak soğutma yaptığı göz önünde bulundurulduğunda çevre sıcaklığının etkisi gözle görülür şekilde büyük olmaktadır. Hava sıcaklığı arttıkça santral veriminde düşüş olduğu açık bir şekilde gözlemlenmiştir. Her 4 °C sıcaklık artışında ortalama %1 verim düşüşü olduğu gözlemlenmiştir. Bu bulgular, jeotermal enerji santrallerinin tasarım ve işletme stratejilerinde önemli bir faktör olarak çevre sıcaklığının göz önünde bulundurulması gerektiğini vurgulamaktadır. Sıcak iklim bölgelerinde hava soğutmalı kondenserlerin kullanılması, enerji üretimini etkileyen faktörler arasında dikkate alınmalı ve enerji verimliliğini artırmak için alternatif soğutma yöntemleri araştırılmalıdır.



Şekil 8. Çevre sıcaklığının değişimine göre santral level-1 ısı verimi değişimi

Şekil 9'da, pompa veriminin jeotermal enerji santralinin ekserjetik verimine etkisi görülmektedir. Pompa veriminin artmasıyla ekserjetik verimin arttığı görülmektedir. Her % 10 pompa verim artışı için yaklaşık %0,6'lık bir verim artışı olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar şunu ortaya koymaktadır ki jeotermal enerji santralleri için doğru pompa seçimi, optimal hız kontrolü, boru hatları ve vanalar gibi sistem dirençlerini minimize etmek, verimli motor kullanımı, optimal işletme noktasını belirleme, pompa ve motor bakımı, doğru boru boyutlandırması, eğitim ve personel bilinci bu doğrultuda altın niteliğinde konulardır.



Şekil 9. Level-1 pompa verimine göre level-1 ekserjetik verim değişimi

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu araştırma kapsamında, mevcut bir jeotermal ORC santralinin enerji ve ekserji analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda sunulmuştur.

- Enerji analizi sonuçlarına göre santral donanımlarından buharlaştırıcı 1 ve 2 'de jeotermal akışkandan organik akışkana sırasıyla 49.39 ve 56.82 MW enerji transferi, %92 ve %76 verim ile yapılmıştır. Organik türbin 1 ve 2'de üretilen güç miktarları sırasıyla 11.32 MW ve 9.73 MW'dır. Türbin 1 ve türbin 2 için enerji verimleri %84 ve %80 olarak hesaplanmıştır. Santralde en düşük enerji verimliliğine sahip donanımlar ise hava soğutmalı kondenser 1 ve 2 (%54.29 ve %70.86) olarak ortaya koyulmuştur. Ekserji analizi sonuçlarına göre; santralde en yüksek ekserji kaybı, 6.12 MW (tüm ekserji kaybının %26'sı olarak) ile hava soğutmalı kondenser 2'de tespit edilmiştir. Ardından 4.46 MW (%19) ile buharlaştırıcı 2, 3.78 MW (%16) ile hava soğutmalı kondenser 1 ve 2.45 MW (%11) ile organik türbin 2'de meydana gelmiştir. Hava soğutmalı kondenserler, en yüksek ekserji kayıplarına sebep olan bileşenlerdir. Bu kayıpların ana sebepleri, kondenserlerin eski teknolojiyle üretilmiş olması ve sıcak ortamlarda çalıştırılmasıdır. Sıcak hava, kondenserlerin ısıyı dışarı atmasını zorlaştırmakta ve bu da kayıpları arttırmaktadır. Buharlaştırıcı donanımlarında ekserjetik kaybın nedeni, ekipmana giren enerjinin büyüklüğü ve yoğunlaştırulamayan gazlardan kaynaklanmaktadır.
- Sistemin önemli bileşenlerinden olan ön ısıtıcı ve reküperatörde nispeten daha düşük ekserji kayıpları bulunmuştur (0.95 MW ve 1.2 MW). Bu bileşenlerin, sistemin verimliliğine olumlu katkı sağladığı ve sistemin kullanılabilirliğini arttırdığı sonucuna varılmıştır.
- Yapılan değerlendirmeler sonucunda, santralin enerji ve ekserji verimleri referans sıcaklık olan 20 °C baz alınarak hesaplanmıştır. Buna göre, enerji verimi %6 ve ekserji verimi %45 olarak tespit edilmiştir.
- Santralin performansını etkileyen iki önemli parametre olan çevre sıcaklığı ve organik akışkanın sıcaklığının verim üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan araştırmalar neticesinde, çevre sıcaklığında her 4 °C'lik artışla veriminin ortalama %1 düştüğü gözlemlenmiştir. Türbine giren organik akışkan sıcaklığının her 4 °C artışıyla ortalama %1.22'lik bir verim artışı olduğu gözlemlenmiştir.

Çalışmadan elde edilen bu sonuçlara göre santralde yapılabilecek iyileştirmeler için aşağıdaki öneriler sunulmuştur:

- Santraldeki en büyük enerji kaybı hava soğutmalı kondenserlerin sahip olduğu fanlar tarafından oluşturulmaktadır. Bu ekipmanın sahip olduğu fanlar, organik akışkanı soğutmak için toplamda yaklaşık 550 kW fan gücü tüketmektedir. Sistem tarafından üretilen elektrikten sağlanan bu güç hem kondenserin hem de sistem genelindeki kayıpların artmasına neden olmaktadır. Bu durumda hem

kondenserin hem de sistemin verimliliği düşmektedir. Bu nedenle çevre sıcaklığının çok düştüğü günlerde çalışan fanlardan birkaçı kapatılarak tasarruf sağlanabilir.

- Ülkemizde kurulan birçok jeotermal enerji sistemlerinin kuyu uygulamaları ne yazık ki eksik, hatalı veya gecikmeli yapılmaktadır. Bunlardan biri kuyu ve kuyubaşı birleşim borularının, kuyubaşı flanşlarının ve yatay üretim hatlarının yalıtımsız bırakılmasıdır. Sonuçlar kısmında açıkça gösterilmiştir ki jeotermal akışkanın sıcaklığı, verim değerlerine doğrudan etki etmektedir. Yüzey sıcaklığı 60°C'nin üzerinde olan tüm yüzeyler, vana, flanş, boru tutucu ve destek elemanları dahil olmak üzere yalıtılmalıdır. Benzer şekilde, 50°C'nin üzerinde sıcaklığı olan yüzeylerin çoğu da aynı şekilde yalıtılmalıdır.
- Jeotermal santralde yüksek sıcaklıkta (84.5°C) ve yüksek debide (432 kg/s) jeotermal su, re-enjekte edilmek üzere hiçbir yerde kullanılmadan enjeksiyon kuyusuna gönderilmektedir. Ancak bu suyun yeniden kullanılması, köyde kurulacak olan bir sağlık merkezi veya turizm tesisi gibi amaçlar için büyük bir fırsat sunmaktadır. Bu şekilde, mevcut kaynak daha etkili bir şekilde kullanılabilir.
- Santrallerde önemli enerji harcayan donanımlardan bir tanesi de jeotermal akışkanı transfer eden pompalardır. Jeotermal enerji santrallerinde pompa veriminin artırılması, sistem performansını etkileyen bir dizi kritik faktöre odaklanmayı gerektirir. Bu bağlamda, doğru pompa seçimi, optimal hız kontrolü, sistem dirençlerinin minimize edilmesi, verimli motor kullanımı, işletme noktasının belirlenmesi, düzenli bakım uygulamaları, doğru boru boyutlandırması ve personel eğitimi, santralin etkin ve verimli bir şekilde işletilmesi için hayati öneme sahiptir. Optimal hız kontrolü, enerji tasarrufunu maksimize ederek pompa verimliliğini artırabilir. Sistem dirençlerinin minimize edilmesi, boru hatları ve vanalar gibi unsurları düzenleyerek enerji kayıplarını en aza indirir. Verimli motor kullanımı, enerji etiketlerini kontrol ederek seçilen motorun performansını artırır. İşletme noktasının belirlenmesi, pompa sistemini en verimli çalışma noktasına ayarlamak anlamına gelir. Pompa ve motor bakımı, sistemdeki aksamaları en aza indirir ve uzun vadeli verimliliği destekler. Doğru boru boyutlandırması, enerji kayıplarını minimize eder ve sistem verimliliğini artırır. Eğitim ve personel bilinci, operatörlerin ve bakım personelinin en iyi uygulamalara hâkim olmasını sağlar, böylece sistem optimal performans sergiler.
- Bu tür sistemlerin ülkemizde yaygınlaştırılması, düşük sıcaklıklı kaynakların daha etkin bir şekilde kullanılmasını sağlayacaktır. Bu sayede enerji açısından dışa bağımlılık azaltılacak ve yerli kaynakların kullanımı arttırılacaktır. Bu gelişme, ülkemiz için önemli bir adım olacak ve sürdürülebilir bir enerji politikasına katkı sağlayacaktır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı Beyanı

Yazar-1: Fikir, Orijinal Taslak Oluşturma, Yazım, Revize, Metot Oluşturma, Verilerin Düzenlenmesi, Sonuç ve Tartışma

Yazar-2: Revize, Verilerin Düzenlenmesi, Sonuç ve Tartışma

KAYNAKLAR

Abdolalipouradl, M., Mohammadkhani, F., & Khalilarya, S. (2020). A comparative analysis of novel combined flash-binary cycles for Sabalan geothermal wells: Thermodynamic and exergoeconomic viewpoints. *Energy*, 209, 118235.

Alghamdi, M., Al-Kharsan, I., Shahab, S., Albaker, A., Alayi, R., Kumar, L., & El Haj Assad, M. (2023). Investigation of Energy and Exergy of Geothermal Organic Rankine Cycle. *Energies*, 16(5), 2222.

Arpa, İ. (2023). Jeotermal enerji kaynaklı organik rankine güç santralinin termodinamik analizi, Yüksek Lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta.

Bao, J., & Zhao, L. (2013). A review of working fluid and expander selections for organic Rankine cycle. *Renewable and sustainable energy reviews*, 24, 325-342.

Boles, M., & Cengel, Y. (2014). *An Engineering Approach*. New York: McGraw-Hill Education.

Cammarata, G., Cammarata, L., & Petrone, G. (2014). Thermodynamic analysis of ORC for energy production from geothermal resources. *Energy Procedia*, 45, 1337-1343.

Drescher, U., & Brüggemann, D. (2007). Fluid selection for the Organic Rankine Cycle (ORC) in biomass power and heat plants. *Applied thermal engineering*, 27(1), 223-228.

Global Energy Monitor, (2023). <https://globalenergymonitor.org/>

Hu, B., Guo, J., Yang, Y., & Shao, Y. (2022). Selection of working fluid for organic Rankine cycle used in low temperature geothermal power plant. *Energy Reports*, 8, 179-186.

Kanoglu, M., & Bolatturk, A. (2008). Performance and parametric investigation of a binary geothermal power plant by exergy. *Renewable Energy*, 33(11), 2366-2374.

Lebbihiat, N., Atia, A., Arıcı, M., & Meneceur, N. (2021). Geothermal energy use in Algeria: A review on the current status compared to the worldwide, utilization opportunities and countermeasures. *Journal of Cleaner Production*, 302, 126950.

Nasruddin, N., Saputra, I. D., Mentari, T., Bardow, A., Marcelina, O., & Berlin, S. (2020). Exergy, exergoeconomic, and exergoenvironmental optimization of the geothermal binary cycle power plant at Ampallas, West Sulawesi, Indonesia. *Thermal Science and Engineering Progress*, 19, 100625.

Nemati, A., Nami, H., Ranjbar, F., & Yari, M. (2017). A comparative thermodynamic analysis of ORC and Kalina cycles for waste heat recovery: A case study for CGAM cogeneration system. *Case Studies in Thermal Engineering*, 9, 1-13.

Quoilin, S., Orosz, M., Hemond, H., & Lemort, V. (2011). Performance and design optimization of a low-cost solar organic Rankine cycle for remote power generation. *Solar energy*, 85(5), 955-966.

Saleh, B., Koglbauer, G., Wendland, M., & Fischer, J. (2007). Working fluids for low-temperature organic Rankine cycles. *Energy*, 32(7), 1210-1221.

Tchance, B. F., Lambrinos, G., Frangoudakis, A., & Papadakis, G. (2011). Low-grade heat conversion into power using organic Rankine cycles—A review of various applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 3963-3979.

TEİAŞ Kurulu Güç Raporu, (2022). <https://www.teias.gov.tr/kurulu-guc-raporlari>

World Nuclear Association Report, (2011). Comparison of Lifecycle Greenhouse Gas Emissions of Various Electricity Generation Sources, https://www.world-nuclear.org/uploadedfiles/org/wna/publications/working_group_reports/comparison_of_lifecycle.pdf

Yılankırkan, N., & Doğan, H. (2020). Türkiye'nin enerji görünümü ve 2023 yılı birincil enerji arz projeksiyonu. *Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 10(2), 77-92.

Yılmaz, F. (2021). Performance and environmental impact assessment of a geothermal-assisted combined plant for multi-generation products. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 46, 101291.

Zhao, Y., Shi, L., Zhang, X., Gao, J., Luo, G., Ye, C., & Tang, Y. (2024). Life cycle CO2 emission assessment of an organic Rankine cycle based geothermal power plant. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 19, 149-156.

Zhou, C., Doroodchi, E., & Moghtaderi, B. (2013). An in-depth assessment of hybrid solar-geothermal power generation. *Energy conversion and management*, 74, 88-101.

Orta Ölçekli Futbol Sahasına Ait Aydınlatma Tasarımı**Lighting Design for Medium-Sized Football Field**Muhammed Maşuk Doğanay^{1*}^{1*} Dicle Elektrik A.Ş, Elektrik Elektronik Mühendisi, Diyarbakır, Türkiye**ÖZET**

Aydınlatma, insanın görme duyusu için önemli bir faktör olup, insanların bulunduğu ortamda en rahat şekilde çalışabilmesi, dinlenebilmesi ya da yaşamını sürdürebilmesi için gerekli olmaktadır. Çalışma ortamlarında, görme duyusuna bağlı olan işlemler için insanın göz işlevini rahatsız etmeyecek biçimde ortamın aydınlatılması çok önemlidir. Bu sebeple, çalışma ortamı aydınlatmasının önemi ve aydınlatma tekniği kavramlarının açıklanması gerekmektedir. Burada, orta ölçekli bir spor tesisinin bilgisayar destekli dialux simülasyonu ve aydınlatma tasarımının gerçekleştirilmesine yönelik çalışmalar açıklanmıştır. Öncelikle çalışmanın gerçekleştirileceği spor tesisi bilgisayar destekli olarak modellenerek aydınlatma tasarımı için hazır hale getirilmiştir. Sonrasında ise, ortamın geometrik ölçüleri, gerekli aydınlık düzeyleri ve tercih edilen armatür/lambalar esas alınarak aydınlatma hesapları ve tasarımları gerçekleştirilmiştir. Tasarımda elde edilen mimari yerleşke, armatür/lamba konumlandırmaları ve aydınlatma değerleri çalışma içerisinde izah edilmiştir. Bu çalışma kapsamında bir spor tesisinin ölçekli olarak tasarımı ve gerekli aydınlatma seviyesinin hesap ağı değer aralıklarının analizi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Aydınlatma Tasarımı, Spor tesisi, Geometrik simülasyon**ABSTRACT**

Lighting is an important factor for human vision and is necessary for people to work, rest or live in the most comfortable way in their environment. In working environments, it is very important to illuminate the environment in a way that does not disturb the human eye function for operations that depend on the sense of vision. For this reason, the importance of working environment lighting and lighting technique concepts need to be explained. Here, studies on computer-aided dialux simulation and lighting design of a medium-sized sports facility are explained. First of all, the sports facility where the study will be carried out was modeled with computer aid and made ready for lighting design. Afterwards, lighting calculations and designs were carried out based on the geometric measurements of the environment, required light levels and preferred fixtures/lamps. The architectural campus, fixture/lamp positioning and lighting values obtained in the design are explained in the study. Within the scope of this study, the scale design of a sports facility and the analysis of the calculation network value ranges of the required lighting level were made.

Keywords: Lighting Design, Sports facility, Geometric simulation

1. GİRİŞ

İnsanın nesnelere görebilmesi için ışık kaynağı çok önemli bir ihtiyaçtır. Çevremizde bulunan canlıları, nesnelere ve diğer varlıkları beş temel duyumumuz ile algılayarak tanımlayabiliriz. Fakat bu algılama ve tanımlamanın çok detaylı ve kapsamlı olabilmesi için görme duyusu ile tamamlanması gerekir. Görme duyusu işlevinin gerçekleşebilmesi için ışık kaynağına ve ışığın yansımış olduğu nesne ve yüzeylerin olmasına ihtiyaç vardır. Bu sebeple insanların yaşamış olduğu ya da bulunduğu ortamda rahat hareket etmesi ve nesnelere algılayabilmesi için ortamın ışıklandırılması önemli bir husustur. Aynı zamanda, ortam için yapılan ışıklandırma miktarının belirli bir seviyede olması da önemlidir (İmal. vd. ,2016). Aksi durumda ışığın istenilen seviyeden düşük olması veya yüksek olması durumunda, insanın görme duyusu bakımından olumsuz sonuçlar doğurabilir. Bu sebeple çevrenin ya da ortamın hesaplı ve doğru bir biçimde aydınlatılması insan için, psikolojik ve fizyolojik açıdan görsel konfora uygun şartlar sağlanmalıdır.

Spor tesisleri bakımından aydınlatma ele alındığında; ortalama aydınlatma düzeylerinin yeterli olması, aydınlatma dağılım katsayıları U1 ve U2'nin limit değerlerin altına düşmemeleri, ekonomikliği ve bakım giderlerinin düşüklüğü istenilen faktörlerdir.

Spor tesislerinin belirtilen standartlarda uygun bir biçimde yapılması kozmetik açıdan tasarlanması, yapılan spor için temel ihtiyaç ve doğal aydınlatmaya alternatif olarak kullanılan yapay aydınlatma yönteminin doğal aydınlatma ile etkili bir biçimde entegrasyonu sağlanarak spor müsabakasını izleyen ve spor müsabakasında oynayan sporcular için modernize edilmiş spor tesisi tasarlanmalıdır (Ünlü. vd. , 2021)

Geçmişten günümüze kadar giderek artan spor ve spor müsabakaları için yapılan spor tesislerinin belirtilen standartlara uygun bir biçimde yapılması sürdürülebilir, konfor, kalite, kozmetik, ekonomik ve enerji tasarrufunun sağlanması müsabakayı izleyen ve müsabakada oynayan sporcular için ergonomik, etkili ve verimli bir şekilde aydınlatmanın yapılması, yeni verilerin ve araştırmaların ortaya konulması planlamanın ve tasarımın doğru yapılması için önem arz etmektedir.

2. ELEKTRİKSEL AYDINLATMA VE SPOR

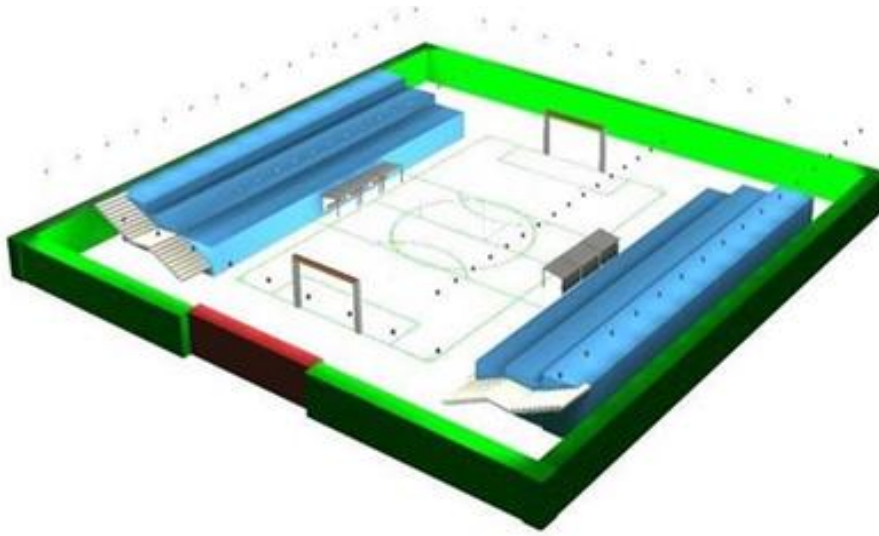
Yapay ışıklar ile yapılacak olan aydınlatma uygulaması standartlara uygun bir biçimde yapılmadığı takdirde bazı olumsuz durumların meydana gelmesine neden olacaktır. Bunlar ise insanda görme duyusuna etki edeceğinden ve buna bağlı olarak insan üzerinde yorulma, uyuşma, görmede zorluk ve algılamada seçicilik gibi olumsuzluklara meydan vereceğinden, yapılan işlerde veya işlemlerde yanlış yapılmasına ya da verimin düşmesine neden olmaktadır.(Doğanay, 2021). Aydınlatma düzeyinin aşırı olması da insan gözünün kamaşmasına neden olacağından çevresindeki nesnelere geçici olarak görme yetisi azalabilir ya da göremeyebilir, işin yapılamaz hale gelmesine ya da iş kazalarına neden olabilir. Yapay olarak aşırı aydınlatma yapılması aynı zamanda fazla enerji tüketiminin fazla olması (Balcı. vd. , 2014), aydınlatma seviyesinin yetersiz olması durumunda ise belli bir süre sonra gözün yorulmasına neden olacağından kişide baş ağrısı, görme bulanıklığı, göz kuruluğu, göz yaşarması, göz tahrişi, göz kaşıntısı gibi olumsuzluklara bağlı olarak verimin düşmesi ve iş kazalarına sebebiyet verecektir (Üçüncü).

Futbol sahası için etkili bir aydınlatmanın yapılması futbolcular ve seyirciler için hızlı hareket eden futbol topunun futbolcular ve seyircilerin daha iyi takip edebilmesi için yapılan diğer aydınlatma uygulamaları için futbol sahası için yapılacak olan aydınlatma için bazı farklılıklar arz etmektedir. Bunlar;

- Saha için yapılacak olan aydınlatmanın mümkün olduğunca homojen bir şekilde uygulanması
- Yatay aydınlatma düzeyi $150Lx < E < 500Lx$ aralığında olması gerekir. Antrenmanlar için yaklaşık olarak $E \cong 200Lx$ alınması gerekir (European Committee).
- Saha için yapılacak olan aydınlatma seviyesi ve işlemi için TV çekimleri için gerekli olan aydınlatma düzeyi yapılmalıdır.
- Aydınlatma için kullanılacak olan direk yüksekliği ve armatür açısı doğru şekilde yapılarak aydınlatma ışını engelleyerek oluşabilecek olan göz kamaşmaları engellenmelidir.

3. ORTA ÖLÇEKLİ BİR SPOR TESİSİNİN AYDINLATMA TASARIMI VE ANALİZİ

Spor müsabakasının oynanacağı tesis için ideal bir aydınlatma yapılması görüş mesafesi, açısı ve müsabakanın iyi oynanabilmesi ve yönetilebilmesi için önem arz etmektedir. Etkili ve doğru bir biçimde aydınlatmanın yapılması için kullanılacak araç ve gereçler için kaliteli ve standartlara uygun seçilmelidir. Aksi halde doğru şekilde yapılmayan aydınlatma uygulamasından kaynaklı kamaşma ya da yansıma sebebiyle gözde bozulmalar yaşanacağından dolayı hızlı hareket eden oyuncuların birbirlerine çarpması sonucu sakatlıkların yaşanmasına vb. gibi oluşabilecek kötü sonuçlara neden olabilmektedir. (Aydınoğlu, 2007).



Şekil 1. Çalışmada esas alınan saha modeli

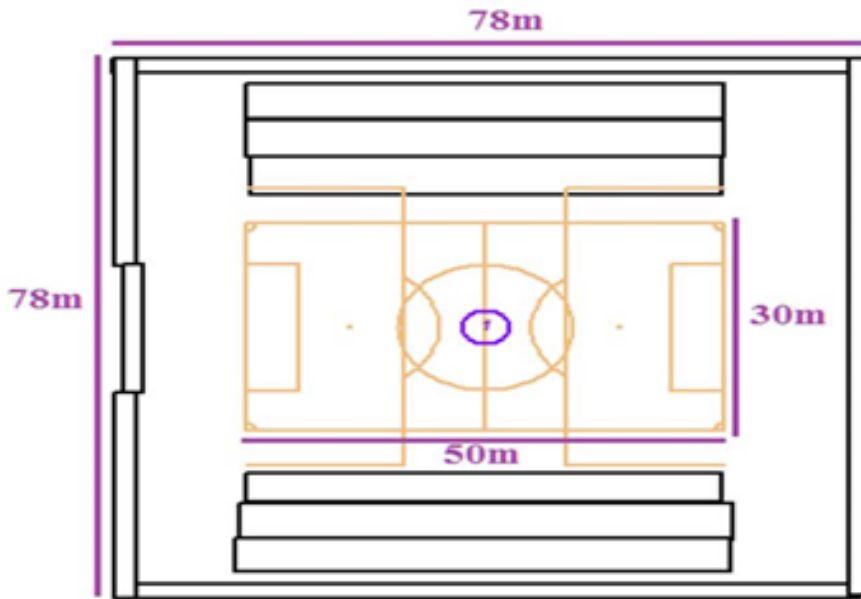
Spor tesisinin kapasitesine bağlı olarak, farklı oyun seviyelerinin çeşitli ihtiyaçları ve farklı izleme mesafeleri dikkate alınarak üç aydınlatma sınıfı (AS) tanımlanmıştır (European Committee);

Aydınlatma sınıfı I (Uluslararası Yarışmalar): Yüksek seyirci kapasitesine ve geniş görüş açısına sahip, ulusal ve uluslararası maçları içermektedir.

Aydınlatma sınıfı II (Ulusal Yarışmalar): Orta seyirci kapasitesine ve orta düzeyde görüş açısına sahip, bölgesel ve yerel maçları içermektedir.

Aydınlatma sınıfı III (Antrenman): Düşük seviyeli maçları, yerel veya küçük kulüp maçlarını, genellikle seyirci içermeyen ya da az sayıda seyircili müsabakaları, genel antrenmanları, okul sporları ve eğlence faaliyetlerini içermektedir. Aydınlık düzeyinin 75 Lux değerinden düşük olmaması gerekir.

Futbol müsabakasının oynatılacağı tesisin aydınlık seviyesi $150\text{lx} < E < 500\text{lx}$ olması tavsiye edilmiştir (European Committee). Sahanın yatay ve dikey noktalarından alınan hesaplamalar için aydınlatma seviyesi minimum $E=150\text{lx}$, ortalama $E=300\text{lx}$ maximum olarak $E=500\text{lx}$ olması gerekir (Aydınoğlu, 2007).

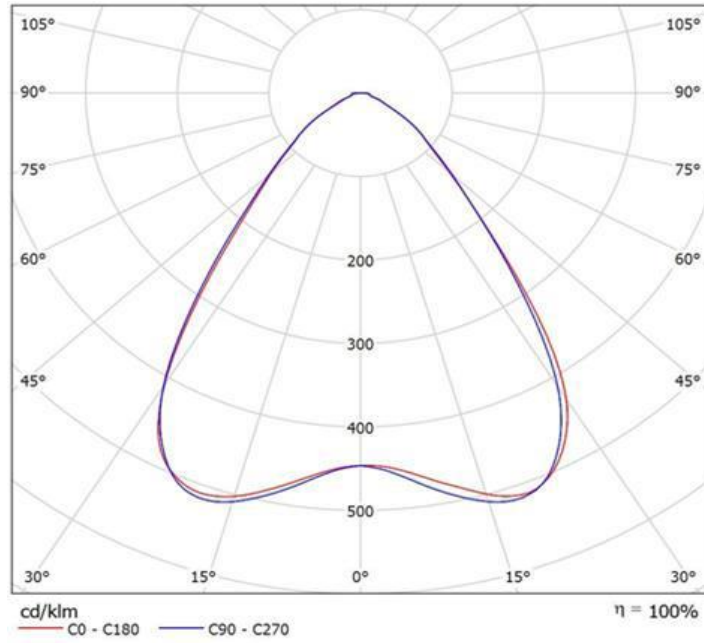


Şekil 2. Futbol sahası durum planı

Futbol sahasına ait plan durumu ve saha modeli DIALux lighting design software aydınlatma uygulamasında modelleme ve tasarımlar gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda saha modeli ve ölçüleri belirlenerek aydınlatma analizleri yapılmıştır.

4. ORTA ÖLÇEKLİ BİR SPOR TESİSİNİN DIALux UYGULAMASI İLE TASARIMI

Futbol sahası için kullanılacak aydınlatma armatürü uygun açıyla yerleştirilerek sporcunun gözleri kamaşmaması için önem arz etmektedir. Bu sebeple armatür direkleri sahanın iki yanına eşit oranda homojen ve eşit sayıda armatür yerleştirilerek bilgisayar destekli simülasyon uygulamasında saha için aydınlatma işlemi gerçekleştirilerek çıktı hesapları alınmıştır.



Şekil 3. Aydınlatma armatürü ve ışık yayımı

Armatürün özellikleri:

Ürün adı: Panasonic LED Projektör

Ürün Kodu: NNP35939031

Işık kaynağı başına güç tüketimi (W): 240 Güç kaynağı

voltajı (V): 100-240

Giriş gücü frekansı (Hz): 50/60

Işın açısı (derece): 60

Sistem lümen çıkışı (lm): 26400

Renk sıcaklığı (K): 5000

Renk geriverim indeksi: 70

Işık kaynağı ömrü: 50000 saat

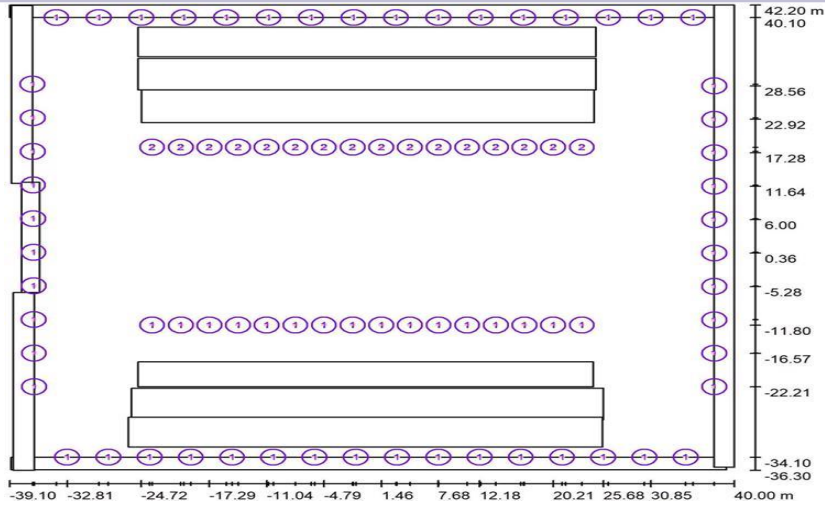
Ağırlık (kg): 9,7

Malzeme tanımları (Gövde): ADC

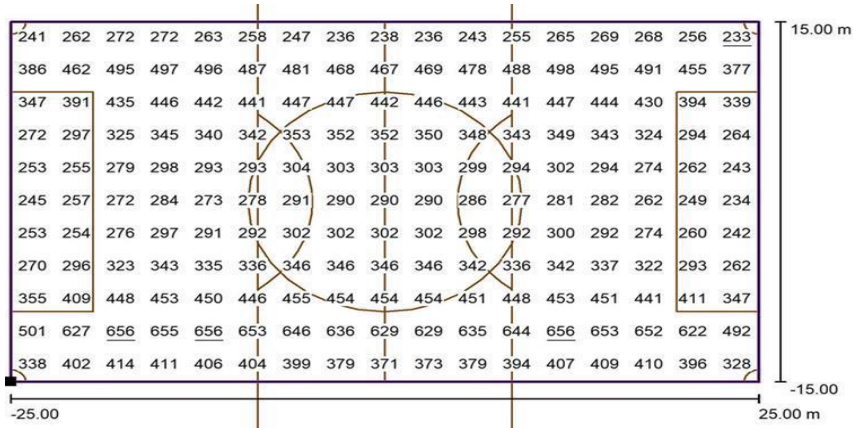
Armatür tipi: Professional Outdoor, Sports _ Light Up Flood Light

Genişliği (mm): 390

Montaj tipi: Sıva Üstü

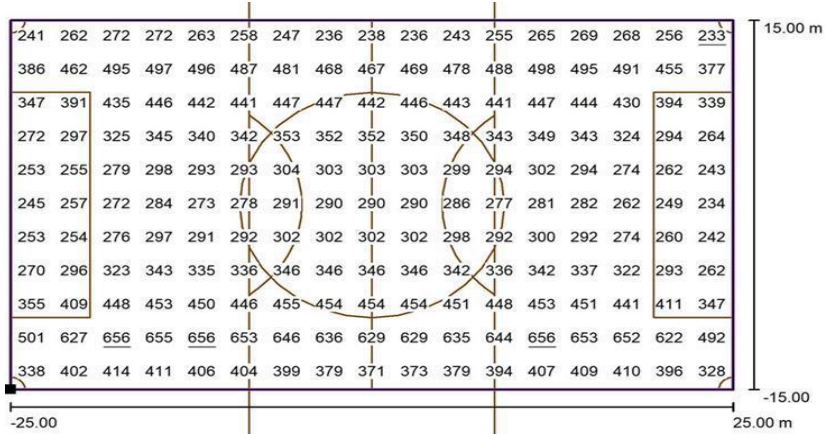


Şekil 4. Armatür konum planları



Şekil 5. Dış çevre futbol alanı hesap ağı değer grafiği (E, dikey)

Em [lx]	Emin [lx]	Emaks [lx]	Emin / Em	Emin / Emaks
372	233	656	0.63	0.35



Şekil 6. Dış çevre futbol alanı hesap ağı değer grafiği (E, yatay)

Em [lx]	Emin [lx]	Emaks [lx]	Emin / Em	Emin / Emaks
372	233	656	0.63	0.35

Dış çevre futbol alanı hesap ağı değer aralıkları belirtilen aralık değerlerinde olduğu ve sahanın tüm noktalarında dikey ve yatay konumundaki lux değerleri belirtilen değer aralığında olup seçilen armatür ve armatür yerleşimi uygun olduğu, aydınlatma armatürü, ışık yayımı ve verimi yaklaşık %100 olduğu gözlemlenmiştir.

5. SONUÇ

Doğal aydınlatmanın yetersiz olduğu durumda yapay olarak yapılan aydınlatma işlemi yaşam ve çalışma ortamı için çok büyük önem arz etmektedir. Bu sebeple aydınlatma işleminin ideal ve etkili bir biçimde yapılması önemlidir. Bu sebeple aydınlatılacak ortam ve alan için gerekli aydınlatma ihtiyacı doğru bir biçimde tespit ederek doğru bir şekilde yapılması, insan için önemli olan görme işlemine büyük bir konfor sağlanması sayesinde çevrede bulunan nesne ve objelerin daha detaylı görülmesi aynı zamanda çalışma ortamında yapılan faaliyetin daha etkili bir biçimde ortaya konulması sayesinde görsel konfor ve görsel ergonomi sağlanmış olur. İç ve dış aydınlatma olarak yapılan aydınlatma uygulamalarında aynı teknikleri uygulamak ise yapılacak olan aydınlatmanın yanlış yapılacağından olumsuz durumların oluşmasına neden olacaktır. Bu sebeple aydınlatmanın yapılacağı alan veya çevre için gerekli olan kriterleri detaylı olarak analiz edip aydınlatma işlemi ona binaen yapılmalıdır. Bu sayede yapılan aydınlatma uygulaması doğru olması çalışma koşulları için görme yetisinin artmasıyla her hususta verimi arttıracaktır. Dış aydınlatma olarak adlandırılan ve dış aydınlatma teknikleri uygulayarak aydınlatma işleminin yapıldığı futbol tesisi için örnek çalışma yapılarak bilgisayar destekli simülasyon programı ile örnek proje çalışması ile saha için gerekli olan aydınlatma yapılmıştır. Bu sayede saha için yapılacak olan aydınlatma hesapları kolay ve rahat bir şekilde hesaplanmıştır. Program ile yapılan örnek saha aydınlatması için programda belirtilen ölçülere göre saha ölçüleri girildi. Daha sonra aydınlatma için gerekli olan projektör değeri seçilerek tek hat şeklinde yerleştirilen armatürler belli aralıklar ile sahanın çevre aydınlatması ve sahanın aydınlatması için armatürler yerleştirildi. Bu yerleşim için aydınlatmanın belirli noktalardaki lüks değerini ölçmek için simülasyonda yatay ve dikey hesap noktaları yerleştirilerek sahanın aydınlatma seviyesi ölçülmüştür.

KAYNAKLAR

Yiğit Ünlü, D, Şahin, N. (2021). Spor Tesislerinin Aydınlatmasında Yüksek Enerji Verimli ve LED'li Aydınlatma Araçları. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 10 (1), 277-286. DOI: 10.17798/bitlisfen.788748

Karadeniz Teknik Üniversitesi ergonomi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü Çevre Faktörleri / Aydınlatma Dr.-Mak.Müh. Kemal Üçüncü

Aydınlatma Sistemleri ve Enerji Verimliliği 2012 Çukurova Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

Balcı, V., & Koçak, F. (2014). Spor ve Rekreasyon Alanlarının Tasarımda ve Kullanımında Çevresel Sürdürülebilirlik. *Spor ve Performans Araştırmaları Dergisi*, 5(2), 46-58.

İmal, N, Taşkan, B. (2016). Yol Aydınlatmasında Flicker Etkisi Esaslı Direk Açıklığı Tespiti. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4 (2), 0-0. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/tr/pub/dubited/issue/24379/258390>

Aydinoğlu, F. (2007). *Resmi kuruluşlarla özel sektöre ait halı sahaların aydınlatma açısından değerlendirilmesi* (Master's thesis).

Elektrik Mühendisleri Odası, www.emo.org.tr

Doğanay, M. M. (2021). Elektriksel aydınlatmanın görsel ergonomi üzerindeki etkisi. *EFIS*, 5, 9-11.

European Committee for Standardization 2007. EN 12193: Light and Lighting, Sports Lighting. <https://shop.bsigroup.com/en/ProductDetail/?pid=00000000030164245>. 18.06.2020).

İklim Projeksiyonları Kapsamında Samsun İlinde Standart Yağış İndeksi Metodu İle Kuraklık Analizi**Drought Analysis With Standardized Precipitation Index Method In Samsun Province Within The Scope Of Climate Projections**Selçuk Erdem KURTOĞLU^{1*}, Aslı ÜLKE KESKİN²^{1*} Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kurupelit, Samsun, Türkiye^{2*} Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kurupelit, Samsun, Türkiye**ÖZET**

Ülkemizin de içerisinde yer aldığı Akdeniz Havzası, küresel iklim değişikliğine karşı yerkürenin en hassas bölgelerinden birisidir. İklim değişikliğine bağlı olarak azalan yağışlı dönemler sonucunda Türkiye'nin yakın gelecekte daha sıcak ve kurak bir iklim yapısına sahip olacağı çalışmalarla ortaya konulmaktadır. Bu çalışmada 1971-2022 yılları arasındaki gözlem yağış verilerine dayanarak oluşturulan iklim projeksiyonları kapsamında şehrin kuraklık analizleri yapılmıştır. Halihazırda bulunan iklim projeksiyonu model ve senaryolarında, öncelikle model ile gözlem verileri arasındaki ilişkileri kıyaslanıp trendler incelendiğinde, gözlenen verinin trendine en yakın iklim modelinin HADGEM2-ES olduğu belirlenmiştir. Belirlenen bu model eşliğinde şehrin, 2080 yılına kadar olan tahmini yağış değerleri çalışmada kullanılmıştır. Buna bağlı olarak belirlenen model ve senaryoların yağış değerleri Standartlaştırılmış Yağış İndeksi yöntemi kullanılarak kuraklık analizleri, bölgenin kuraklık şiddetleri ve bölgeye etkisi ortaya konulmuştur. Standartlaştırılmış yağış indeksinde hem gözlem yağış verilerinin hem de iklim projeksiyonu kapsamındaki yağış değerlerinin, 1 aylık, 3 aylık, 6 aylık ve 12 aylık standartlaştırılmış yağış indeksi grafikleri ortaya konularak kuraklık kategorilerindeki değişimler tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak bölgede normal kurak dönemlerin azaldığı, orta şiddetli kuraklık ve çok yağışlı dönemlerin arttığı saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: "Kuraklık", "Samsun İli", "İklim Projeksiyonu", "Standart Yağış İndeksi"**ABSTRACT**

The Mediterranean Basin, where our country is situated, stands out as one of the regions most susceptible to global climate change. Research indicates that Turkey is expected to experience hotter and drier conditions in the coming years due to reduced rainfall caused by climate change. This study conducted drought analyses for the city based on climate projections derived from observed precipitation data spanning from 1971 to 2022. By comparing model and observation data as well as analyzing trends in existing climate projection models and scenarios, it was found that the climate model HADGEM2-ES closely aligned with the trend of observed data. Using this model, projected precipitation values for the city until 2080 were employed in the study. Consequently, the precipitation values from the determined models and scenarios were evaluated using the Standardised Precipitation Index method, revealing the severity of drought in the region and its impact. The one-month, three-month, six-month, and twelve-month Standardised Precipitation Index graphs for both observed precipitation data and climate projection precipitation values were utilized to identify changes in drought categories. As a result, it was observed that normal dry periods decreased, while moderate drought and heavy rainfall periods increased in the region.

Keywords: "Drought", "Samsun Province", "Climate Projection", "Standard Precipitation Index".

1. GİRİŞ

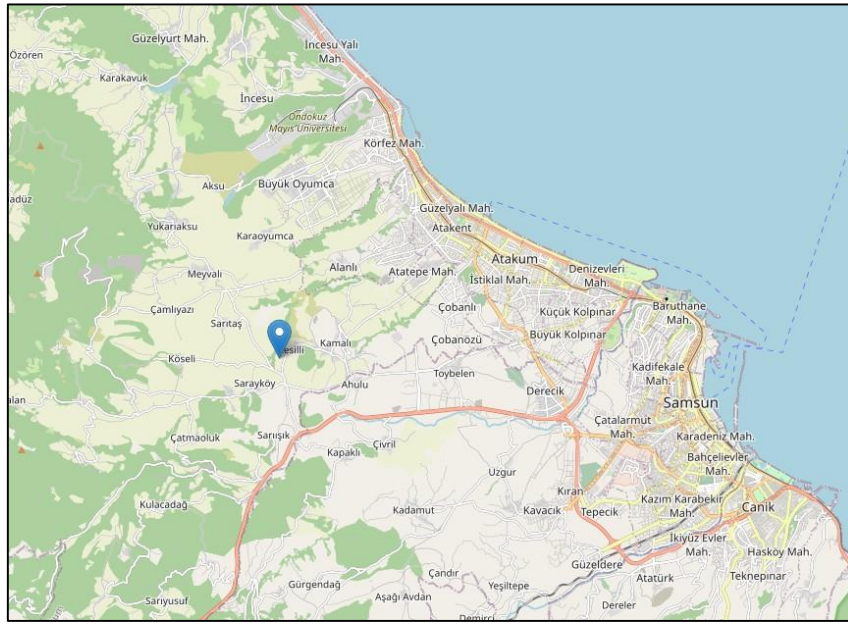
Ülkemizin de içerisinde yer aldığı Akdeniz Havzası, küresel iklim değişikliğine karşı yerkürenin en hassas bölgelerinden birisidir. İklim değişikliği; Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nde (BMİDÇS) "Uzun süre boyunca iklimde gözlenen doğal değişimler ile doğrudan ya da dolaylı olarak insan faaliyetlerinin neticesinde ortaya çıkan ve küresel atmosferin kompozisyonunu bozan değişiklik" olarak tanımlanmaktadır. (Tuğaç, 2022). Bu yüzden iklim değişikliği etkisi sıcaklıklardaki artıştan ibaret olmadığı bilinmektedir. Söz konusu iklim değişikliğine bağlı olarak kuraklık, seller, şiddetli kasırgalar gibi aşırı hava olaylarının sıklığı ve etkisinde artış, okyanus ve deniz suyu seviyelerinde yükselme, okyanusların asit oranlarında artış, buzulların erimesi gibi etkenler sonucunda bitkiler, hayvanlar ve ekosistemlerin yanı sıra insan toplulukları da ciddi risk altındadır. Akdeniz Havzasında gerçekleşecek 2°C'lik bir sıcaklık artışı, beklenmeyen hava olayları, sıcak hava dalgaları, orman yangınlarının sayısında ve etkisinde artış, kuraklık ve dolayısıyla biyolojik çeşitlilik kaybı, turizm gelirlerinde azalma, tarımsal verim kaybı ve en önemlisi kuraklık olarak etkilerini hissettirecektir. Kuraklığı etkileyen bağımlı değişkenler sıcaklık, yağış ve toprak özellikleri sayılabilir (Jenkins ve Warren 2015). Ayrıca Kuraklık, çoklu klimatolojik ve hidrolojik parametrelerle karakterize edilen, hem doğal ortamda hem de insan yaşamında önemli zararlara neden olan ve tekrar eden küresel bir olgudur (Mishra ve Desai, 2005; Adisa vd., 2020). Kuraklık önce yağışların azalmasıyla birlikte meteorolojik kuraklık olarak başlamaktadır. Devamında su kayıpları hidrolojik kuraklığı getirmekte bu da tarımsal kuraklığa sebep olmaktadır (Yetmen, 2013). Kuraklığın meydana gelmesinde hem doğal hem de insan etkisi olarak iki ayrı etmen mevcuttur. Doğal sebepler; iklim şartları, erozyon ve fiziki coğrafya etkenleri olarak sıralayabiliriz. İnsan etkilerinde ise, kaynakların bilinçsiz kullanımı, küresel sıcaklık artışı, orman yangınları, çevre kirliliği ve tarım arazilerinin yanlış kullanımı olarak nitelendirilebilir (Özfidaner, 2020).

Farklı iklim model ve senaryoları ile oluşturulan iklim parametrelerine göre 21. Yüzyıl sonunda sıcaklıklarda hissedilir artışların olacağı tahmin edilmektedir (IPCC, 2001, 2007, 2013, 2019; SYGM, 2016). 2011 yılında yayımlanan İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı'nda (2011-2023), Türkiye'de yıllık ortalama sıcaklığın gelecek yıllarda 2,5°-4°C artacağı, artışın Ege ve Doğu Anadolu Bölgeleri'nde 4°C'yi, iç bölgelerinde ise 5°C'yi bulacağı öngörülmüşken, Türkiye'nin yakın gelecekte daha sıcak ve kurak bir iklim yapısına sahip olacağı ortaya konulmuştur. İklim Değişikliği Eylem Planı, Türkiye'nin özellikle su kaynaklarının azalması, orman yangınları, kuraklık ve çölleşme, bunlara bağlı ekolojik bozulmalar gibi olumsuz etkilerden önemli ölçüde etkileneneğini öngörmektedir (T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, İklim Değişikliği Dairesi, 2012). Ülkemizde kuraklık ve gelecekteki kuraklığa bağlı etkiler hususlarında yapılan bazı çalışmalarda; ülkemizin gelecekte iklim değişikliğinden olumsuz etkilenen ülkeler arasında yer aldığı, sıcaklık artışından dolayı da çölleşmenin görüleceği belirtilmektedir (Üstün, 2008). Dünyada küresel ısınmanın, yağışların azalmasına ve kuraklığın artmasına neden olacağı ve akarsu havzalarındaki yıllık akımlarda oluşabilecek azalma sonucu kentlerde su gereksiniminin artacağı tespit edilmiştir (Karaman ve Gökalp, 2010). İklim projeksiyonları kapsamında ise; 2070-2100 yılları arası tahminine göre 3 °C - 7 °C arasında sıcaklık artışlarının olacağı, ülkemizin yağış klimatolojisi ise -0,8 mm/gün ile 1,2 mm/gün arasında değişiklik göstereceği ön görülmektedir (Turp vd., 2014). Ayrıca bir başka çalışmaya göre ise yüzyılın ikinci yarısında kurak dönemlerin hakim olacağı öngörülmektedir (Yürük, 2017). Aynı bağlamda Türkiye İçin iklim projeksiyonları projesi devlet eli ile RCP4.5 ve RCP8.5 ölçek küçültme yöntemi ile modellenmiştir. Buna göre ülkemizde yıllık ortalama sıcaklık artışının; 2016-2040 yılları arasında 1°C-2°C; 2041-2070 yılları arasında 1.5°C-4°C; 2071-2099 yılları arasında 1.5°C - 5°C sıcaklık yükselmesi beklenmektedir (Demircan vd., 2017). Ülkemizde 21.yüzyılın yarısına doğru bazı kurak bölgelerde %10-%30 arasında su varlıklarının azalacağını, ülkemizin güney bölgelerinde kuraklık şiddetinin, süresinin ve etkilerinin artacağını, kuzey kısımlarında ise taşkınların artacağını belirtilmektedir (Sırdaş ve Şen, 2022). Bir başka çalışmaya göre de Anadolu'nun %25' inin kurak ve yarı kurak iklimde olduğunu ve iklim değişikliğine bağlı olarak gelecekte kuraklıktan en fazla etkilenen alanlarda Türkiye ve Doğu Akdeniz olduğunu öngörülmektedir. Ayrıca Türkiye ölçeğinde kuraklığın ülkemizin tüm alanında geçmişten günümüze salınımlar halinde yaşandığını, iklim senaryolarında da kuraklığının etkisinin kuvvetleneceği belirtilmektedir (Öztürk, 2022). Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yapılan bazı çalışmalarda ise iklim değişikliğinin tüm yerleşim yerlerini etkileyeceği, 2050 yılı itibari ile dünyada ülkelerin yarısının kuraklık yaşayacağı buna bağlı olarak da su stresinin yaşanacağı (Tuğaç, 2022), yakın zamanda kuraklıklarda artış görüleceği ve yağışlarda artış/azalışların olacağı sonucu varılmaktadır (Nacar, 2022). Ülkemizdeki bazı havzalar özelinde yapılan çalışmalarda ise; İç Anadolu, Akdeniz ve Ege bölgeleri kesişim alanında bulunan Akarçay Havzasının iklim senaryoları ile ortalama yağışlarında ciddi azalmalar olacağı sonucu ortaya konulmakta olup yağışların azalmasına karşın da sıcaklık ortalamalarının yükseleceği belirtilmektedir (Dabanlı, 2017). Ayrıca Gediz Havza'sında yer alan Acisu, Selendi, Murat, Medar, Gördes, Ahmetli, Demirci ve Deliiniş alt havzalarının da 2015-2100 yılları arasındaki projeksiyonlarda 2035 yılında kadar havzalarda uzun ve kesintisiz sulak dönemlerin olacağı ve 2050 yılından sonra kuraklıkların 2080 yılına kadar artacağı, 2080 den sonra şiddetli kuraklıkların yaşanacağı tahmin edilmektedir (Çetin, 2023).

Bu çalışmada da mevcut gözlem değerlerine dayanarak oluşturulan iklim projeksiyonlarına bağlı olarak Samsun ilinde 2080 yılına kadar olan periyotta Standart Yağış İndeksi (SYİ) yöntemi ile kuraklık analizleri yapılarak bölgenin kuraklık şiddetleri belirlenecek, bölgeye etkisi ortaya konulmuş olacaktır.

2. MATERYAL VE METOT

Türkiye coğrafyasında Karadeniz Bölgesi'nin Orta Karadeniz Bölümü'nde yer alan Samsun ili, çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Dağları kıyıya paralel uzanır. Başlıca dağları Canik Dağları, Akdağ ve Kocadağ'dır. Samsun, Kızılırmak ve Yeşilirmak akarsularının oluşturduğu deltada kurulan 9.579 km²'lik alanda kurulu bir sahil kentidir. Coğrafi olarak 40°50'-41°51' kuzey enlemleri, 37°08' ve 34°25' doğu boylamları arasında konumlanmaktadır. İlin doğusunda Ordu, batısında Sinop, güneyinde Tokat, Amasya, Çorum ve kuzeyinde Karadeniz yer almaktadır. Samsun ili için toplanan veriler aşağıda Şekil.2.1.'de gösterilen gözlem bölgesinden alınmıştır (Tarım ve Orman Bölge Müdürlüğü Çalışma Raporu, 2019).



Şekil 2.1. Samsun İli, 17030 No'lu Meteoroloji Gözlem İstasyonu, 41.3051 (°K), 36.1870 (°D),
3547 Grid No'lu Ölçüm Bölgesi

2.1. İklim Projeksiyon Modelleri

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, İklim ve Zirai Meteoroloji Dairesi Başkanlığı'nın Samsun'a ait il merkezindeki 1971-2022 yılları arasındaki gözlem yağış değerlerine bağlı olarak HADGEM2-ES, MPI-ESM-MR, GFDL-ESM2M iklim modelleri kullanarak RCP4.5 ve RCP8.5 iklim senaryoları ile 2022-2080 yılları arasındaki yağış değerlerini tahmin etmiştir. Söz konusu iklim modelleri; Birleşik Krallık Meteoroloji Ofisinin Hadley Merkezinin Küresel İklim Modeli (HADGEM2-ES), Almanya Max Plank Enstitüsü'nün modeli (MPI-ESM-MR), Amerika Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA)'ne bağlı Jeofizik Akışkanlar Dinamiği Laboratuvarı (GFDL-Geophysical Fluid Dynamics Laboratory) tarafından geliştirilen GFDL-ESM2M küresel dolaşım modelleridir. Dünya üzerinde bir çok gelişmiş ülkenin farklı kurum ve kuruluşları tarafından gelecekte iklim değişikliğine karşı önlemler almak ve etkilerini ortaya koymak amacıyla farklı iklim projeksiyon modelleri (ABD-CCSM3 modeli, Almanya- ECHAM5/MPI-OM modeli, China- FGOALS modeli, ABD-GFDL, NASA-GISS modeli, Rusya-INM modeli, Fransa- IPSL modeli, Japonya- MRI modeli vs.) geliştirilmiştir (Wang, 2005).

2.1.1. İklim Projeksiyon Modeli Karşılaştırması

Kullanılan modellerin tahmin verileri arasından 2018-2022 yılları arasındaki tahmin değerleri kontrol verisi olarak belirlenmiş, gözlem verileri ile yakınlık ilişkisi incelenmiş, yapılan analizler sonucunda (Korelasyon Analizi, Ortalama Mutlak Hata Analizi, Gözlem-Projeksiyon Saçılım Diyagramı) gerçeğe en yakın iklim modelinin HADGEM2-ES olduğu belirlendi. HADGEM2-ES-RCP4.5 modeli 0,2930 korelasyon katsayısı , 1,37 ortalama mutlak hata değeri ile HADGEM2-ES-RCP8.5 modelinin diğer modellere kıyasla en uygun model olduğu tespit edilmiştir.

(GFDL modeli korelasyon katsayıları: 0,0736-0,2130, GFDL modeli MAE değerleri: 2,02-1,79, MPI modeli Korelasyon Katsayıları: 0,0430-0,0636 ve MPI MAE değerleri: 2,41-2,42)

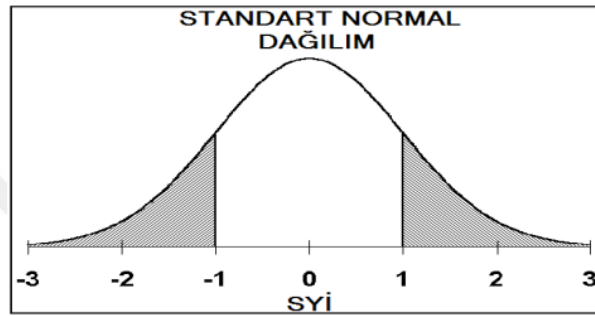
2.1.2. Standart Yağış İndeksi (SYİ)

SYİ, belirli bir zaman diliminde gözlemlenen toplam yağışın uzun vadede ortalamadan sapacağı standart sapmaların sayısı olarak tanımlanmıştır (McKee vd., 1993). Öztürk ve Ünlü 2022 yılında yaptıkları çalışmalarında; Türkiye’de 1943-2021 yılları arasında yapılan 73 yüksek lisans ve doktora tezi, 107 ulusal makale ve 90 adet uluslararası makale incelenmiştir. Çalışmalarda 63 farklı yöntem kullanılmasına rağmen %56’lık kısmında SYİ metodunun kullanıldığı belirlenmiştir (Öztürk ve Ünlü, 2022). Colorado İklim Merkezi, Batı Bölgesel İklim Merkezi ve Ulusal Kuraklık Azaltma Merkezi, ABD’deki kuraklığın analizi için de SYİ yöntemini kullanmaktadır (Edwards and McKee, 1997). Başkaca yapılan kuraklık analizleri çalışmalarında da SYİ yönteminin diğer yöntemlere göre (Normalin Yüzdesi İndisi, Modifiye Fournier İndisi, De Martonne-Gotmann İndisi, Thornthwaite Yöntemi İndisi, Erinç Kuraklık İndisi, Bagnauls-Gaussen İndisi, vs.) en uygun sonuçları verdiği tespit edilmiştir.

Çalışmamızda söz konusu modele ait senaryo verileri ile Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SYİ) yöntemi kullanılarak söz konusu bölgenin kuraklık analizi yapılmıştır. Bu yöntem ile birden fazla zaman ölçeği için uygulanabilmekte olup 1, 2 ve 3 aylık kısa süreli veriler ile analiz yapılabilmekte, farklı atmosferlerde farklı bölgeler arasındaki kıyasa da olanak sağlayabilmektedir. SYİ, ilgilenilen zaman ölçeğinde toplanan yağışların frekans dağılımına, bir olasılık yoğunluk fonksiyonu uydurularak Denklem (2.1.)’deki şekilde hesaplanır.

$$SYI_{ij} = \frac{X_{ij} - \mu_j}{\sigma_j} \quad \text{Denklem 2.1}$$

Burada, X_{ij} herhangi bir ölçüm merkezinde j . ayda gözlenen yağış verisini, μ_j , j . aydaki yağış serisinin beklenen değerini ve σ_j standart sapmayı ifade etmektedir (McKee vd., 1993). SYİ standartlaştırılmış değerlerine ilişkin dağılım eğrisi Şekil 2.2.’de verilmiştir.



Şekil 2.2. Ortalaması 0 ve varyansı 1 olan SYİ değerlerini ifade eden standart normal dağılım eğrisi

Yağış değerleri 1 yıldan daha kısa zaman diliminde normal dağılıma uymadığı için SYİ’lerin normal dağılıma dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlem için en uygun olan dağılım, gamma dağılımıdır (Thom, 1958). Gamma dağılımına ilişkin olasılık yoğunluk fonksiyonu Denklem 2.2.’deki şekilde hesaplanır.

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad \text{Denklem 2.2}$$

Burada $x (> 0)$ yağış miktarını, $\alpha (> 0)$ şekil parametresini, $\beta (> 0)$ ölçek parametresini ve $\Gamma(\alpha)$ gamma fonksiyonunu ifade etmektedir. Herhangi bir aydaki yağış değerinin toplam olasılık yoğunluk fonksiyonu denklem (2.3.)’de verilmiştir (Mishra ve Desai, 2005). Bu metot ile standartlaştırılan yağış verilerinin, negatif ve pozitif değerlere göre kuraklık/nemlilik sınıflandırması Tablo 2.3.’de verilmiştir (McKee vd., 1993).

Tablo 2.3. SYİ Değerleri ve Kuraklık/Nemlilik Sınıflandırması

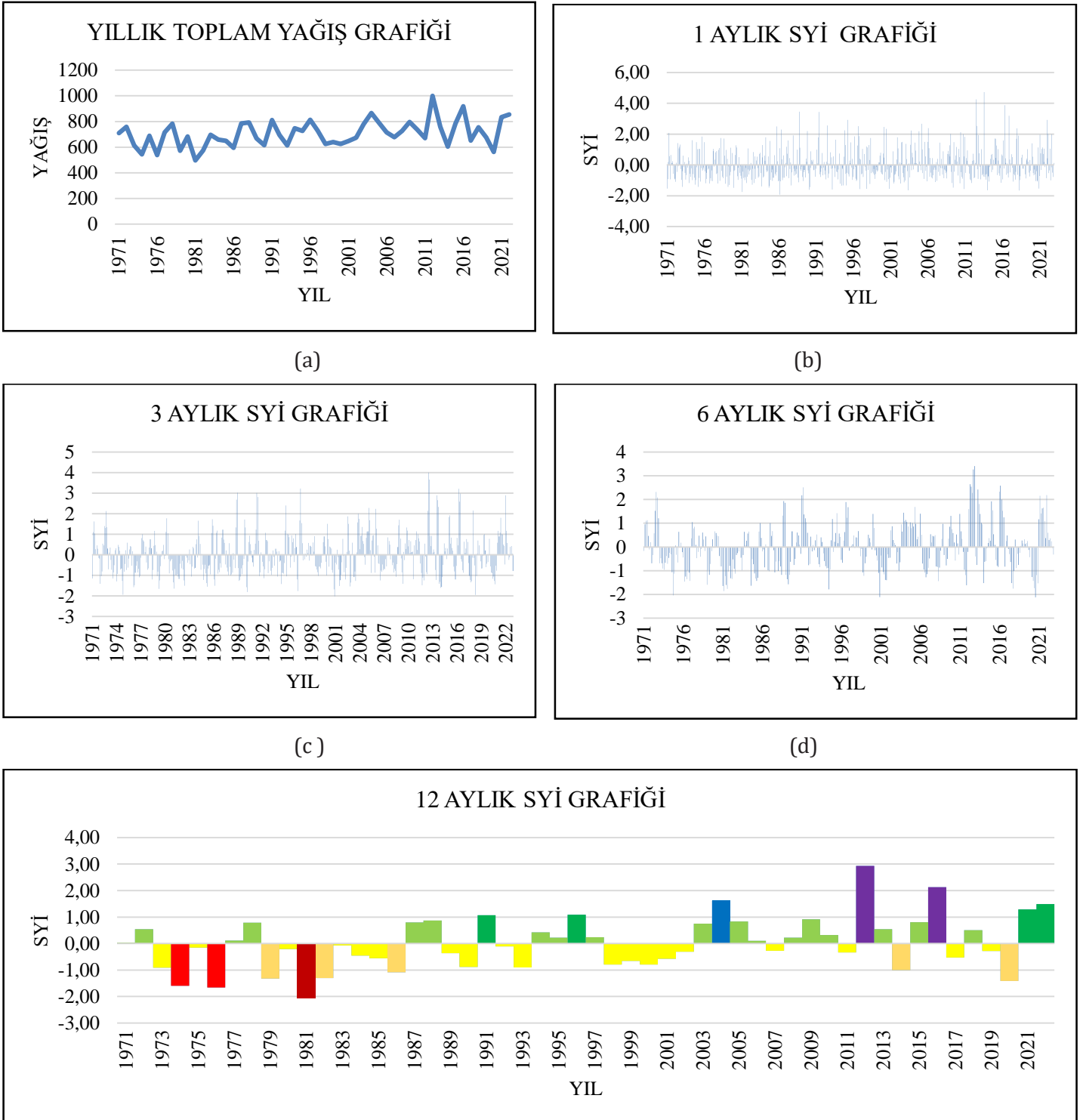
SYİ Değerleri (%)	SYİ	RENK
≥ 2	Çok şiddetli yağışlı	
1.50 ~ 1.99	Çok yağışlı	
1.00 ~ 1.49	Orta şiddetli yağışlı	
0.99 ~ 0	Normal	
0 ~ -0.99	Normale yakın kuraklık	
-1.00 ~ -1.49	Orta şiddetli kuraklık	
-1.50 ~ -1.99	Şiddetli kuraklık	
≤ -2	Çok şiddetli kuraklık	

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Samsun ilinde yağış gözlemlerinden hareketle oluşturulan iklim projeksiyonu senaryolarındaki tahmin değerleri, Standartlaştırılmış Yağış İndisi Yöntemi ile "SYİ Değerleri ve Kuraklık/Nemlilik Sınıflandırması" tablosundaki kategori değerlerine indirgenerek yerine konmuş ve sınıflandırılmıştır. Çalışmamızda yer alan sınıflandırma hem 1971-2022 yılları arası halihazır dönemi hem de 2023-2080 yılları arası gelecek dönemi kapsamaktadır. Sınıflandırılan kuraklık değerleri 1, 3, 6 ve 12 Aylık SYİ dönemlerine göre ayrı ayrı analiz edilmiş, zamansal eğrileri ortaya konmuş, her kategorinin sayısal tekerrürü hazırlanmıştır. Bu bölümde de gelecek senaryolarına bağlı analiz edilen bu değerlerin il bazında kuraklık ve yağış şiddetlerindeki mevcut durumdan farkları ortaya konmuştur.

3.1. Samsun İli, 1971-2022 Gözlem Yağış Değerleri ve 2023-2080 Yılları Arası HADGEM2-ES Modeli Yağış Tahmin Değerleri İle Standartlaştırılmış Yağış İndeksi Analizleri

Samsun ili, gözlem yağış değerleri ile 1971-2022 yılları arası yağış analizi Şekil.3.1.'de gösterilmiştir.



(e)

Şekil 3.1. Samsun İli 1971-2022 Yılları Arası Yağış Miktarı, 1 Aylık, 3 Aylık, 6 Aylık Ve 12 Aylık SYİ Grafikleri

a)Yıllık Toplam Yağış Grafiği b)1 Aylık SYİ grafiği c)3 Aylık SYİ grafiği d)6 Aylık SYİ grafiği e)12 Aylık SYİ grafiği

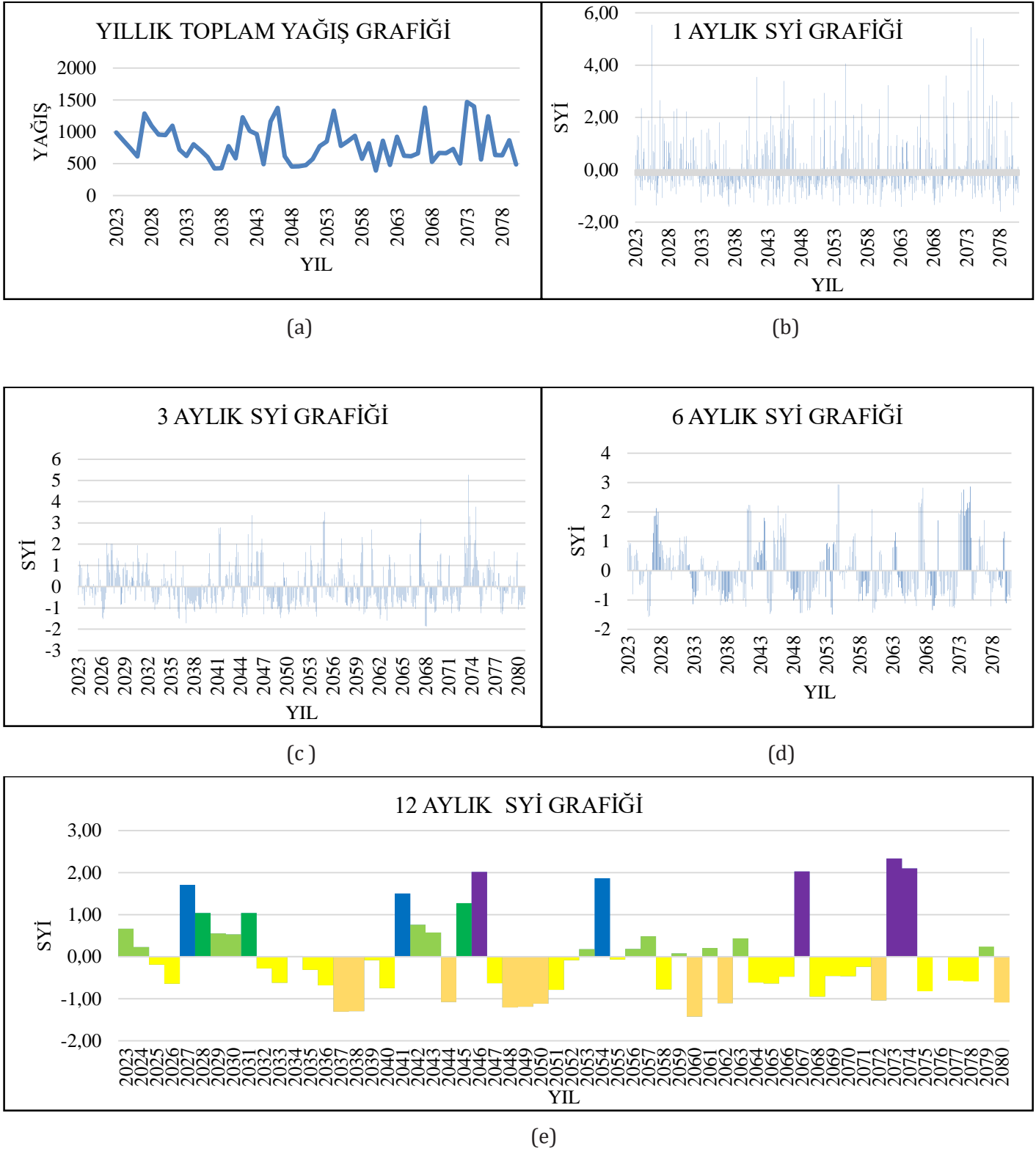
SYİ kuraklık gidiş eğrilerinden; aylık SYİ dağılımına bakıldığında 1971, 1981, 1986, 1990, 1993, 1996-1999 yılları arasında, 2003, 2010, 2014, 2018, 2020 yıllarında şiddetli kuraklık dönemlerine rastlanmıştır. 2012, 2013 yıllarında ise en çok şiddetli yağış dönemleri gözlemlenmiştir. Genel olarak ise normal kuraklık ve normale yakın kuraklık dönemleri hâkimdir. Üç Aylık dağılıma bakıldığında 1971, 1972, 1988, 1991, 1994, 1996, 2003-2006 yılları arası ile 2012-2016 yılları arası çok şiddetli yağışlı ve çok yağışlı dönemler gözlenmektedir. 2000 yılında çok şiddetli kuraklık dönemi gözlenmiş ve art arda giden iki yıl da şiddetli kuraklık döneminin devam ettiği gözlemlenmiştir. Altı aylık gidişlere bakıldığında 1974, 2000, 2020 yıllarında çok şiddetli kuraklık dönemleri gözlemlenmiştir. 1972, 1991, 2012, 2013, 2016, 2021, 2022 yıllarında ise çok şiddetli yağışlı dönemlerin olduğu görülmektedir. Yıllık gidişlere bakıldığında ise 1974, 1976 yıllarında şiddetli kuraklık olduğu, 1981 yılında ise çok şiddetli kuraklık dönemi olduğu görülmüştür. 2012 yılında ve 2016 yıllarında ise çok şiddetli yağış dönemi olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak bakıldığında ise normal ve normale yakın kuraklık kategorisinde olduğu görülmektedir. Yıllık toplam yağış eğrilerine göre de ortalama yağış 704,61 mm olup en fazla yağışlı dönemin 2012 yılında olduğu ve en düşük yağışlı dönemin de 1981 yılında olduğu görülmektedir. Söz konusu şehirde meteorolojik kuraklığa bağlı olarak meydana gelen afetlerden bazıları şu şekildedir; Samsun'da kayıtlara geçen 2012 yılındaki sel felaketindeki 12 vatandaş hayatını kaybetmiş ve 1490 konut ile işyeri zarar görmüştür (Bahadır, 2014), Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün 2016 yılında yaptığı "Meteorolojik Karakterli Doğal Afetler 2016 Yılı Değerlendirme Raporu" çalışmasında da ülke genelinde 2016 yılında en çok yağış artışının Bayburt, Samsun ve Rize illerinin olduğu, Samsun'da sonbaharda doluya bağlı zararların olduğu, kışın ise yoğun kar yağışlarının yaşandığı, buna bağlı köy, mahalle yollarının kapanması, elektrik kesintileri, trafik kazaları ve hastane ile hastalara ulaşımın sağlanamaması hususunda bildiride bulunmuştur (MGM, 2016). Ayrıca Türkes (1990), Karadeniz Bölgesi'nde bulunan Samsun ilinin de dâhil olduğu dört istasyon dizisinde sıralanan yıllık yağış değerlerinde, en kurak geçen senelerin 1957, 1966, 1969, 1974, 1976/77, 1981/82, 1984 ve 1986 yıllarının olduğunu ortaya koymuştur (Türkes, 1990).

Tablo 3.1. Samsun İli, 1971 - 2022 Yılları Gözlem Verilerine Ait Kuraklık İndis Sayıları

Kuraklık Kategorisi	SAMSUN İLİ			
	1 AYLIK SYİ	3 AYLIK SYİ	6 AYLIK SYİ	12 AYLIK SYİ
Çok şiddetli yağışlı	26	21	14	2
Çok yağışlı	24	17	14	1
Orta şiddetli yağışlı	51	33	29	4
Normal	156	173	114	18
Normale yakın kuraklık	297	202	135	19
Orta şiddetli kuraklık	57	57	41	5
Şiddetli kuraklık	13	16	14	2
Çok şiddetli kuraklık	0	1	3	1

Periyotlara ayrılarak yapılan Tablo3.1.'deki verilere göre; normal ve normale yakın kuraklığın genel olarak hâkim olduğu gözlemlenmiştir.

Samsun ili, HADGEM2-ES – RCP4.5 senaryo modeli ile 2023-2080 yılları arası yağış analizi Şekil 3.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Samsun İli, 2023-2080 Yılı Arası HADGEM2-ES – RCP4.5 Senaryosu Standartlaştırılmış Yağış İndeksi Grafikleri.

a)Yıllık Toplam Yağış Grafiği b)1 Aylık SYİ grafiği c)3 Aylık SYİ grafiği d)6 Aylık SYİ grafiği e)12 Aylık SYİ grafiği

SYİ kuraklık gidiş eğrilerinden; aylık SYİ dağılımına bakıldığında dikkat çeken hususlardan bir tanesi 2023-2080 yılları arasında sadece 2078 yılında şiddetli kuraklık dönemine rastlandığıdır. 2040-2061 yılları arasında ve 2066-2079 arasında çok şiddetli yağışlara sık sık rastlanmıştır. Üç aylık dağılıma bakıldığında 2026, 2036, 2037, 2062, 2063, 2068 yıllarında şiddetli kuraklıklar gözlemlenmiştir. 2026, 2027, 2041, 2043, 2045, 2046, 2054, 2057, 2059,

2061, 2067, 2073, 2074 yıllarında çok şiddetli yağışlara rastlanmıştır. Altı aylık gidişlere bakıldığında 2026 yılında sadece kuraklık dönemine rastlanmıştır. 2041, 2067, 2073, 2074 yıllarında ise uzun öteleme dönemlerinde çok şiddetli yağışlar gözlemlenmiştir.

Yıllık gidişlere bakıldığında çok şiddetli kuraklık ve şiddetli kuraklık dönemlerine rastlanmadığı, 2046, 2067, 2073, 2074 yıllarında çok şiddetli yağışlı dönemlerin olduğu gözlemlenmiştir. Yıllık toplam yağış eğrilerine göre de ortalama yağış 798,55 mm olup en fazla yağışlı dönemin 2073 yılında olduğu ve en düşük yağışlı dönemin de 2060 yılında olduğu görülmektedir.

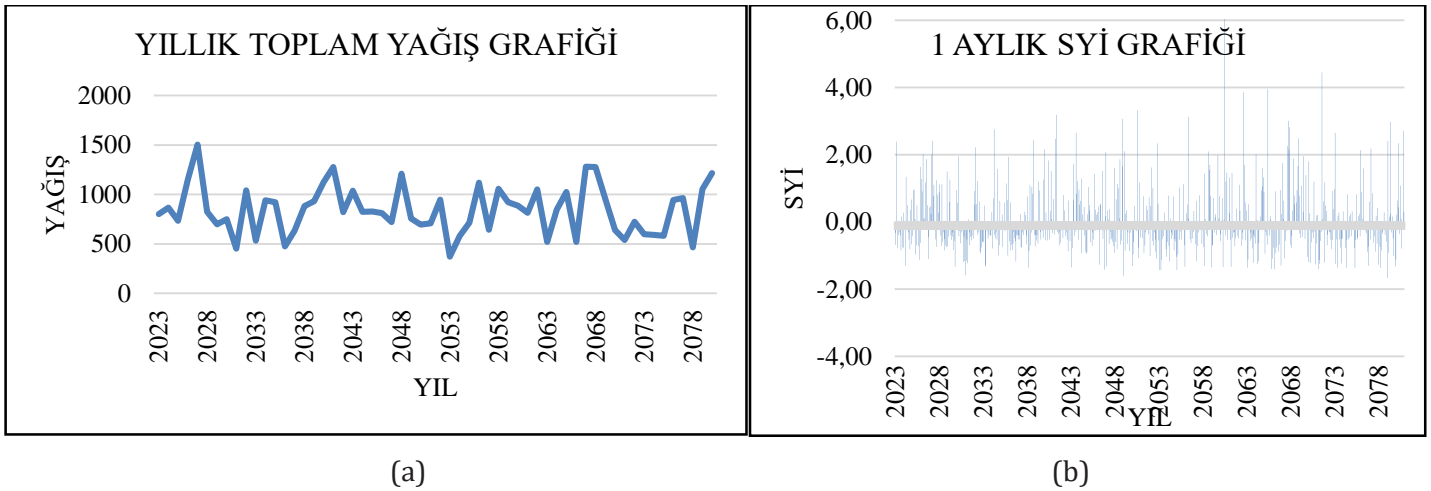
Samsun ili, 2023-2080 yılları HADGEM2-ES – RCP4.5 senaryo modeli tahminlerine ait kuraklık indeks sayıları aşağıda gösterilmiştir.

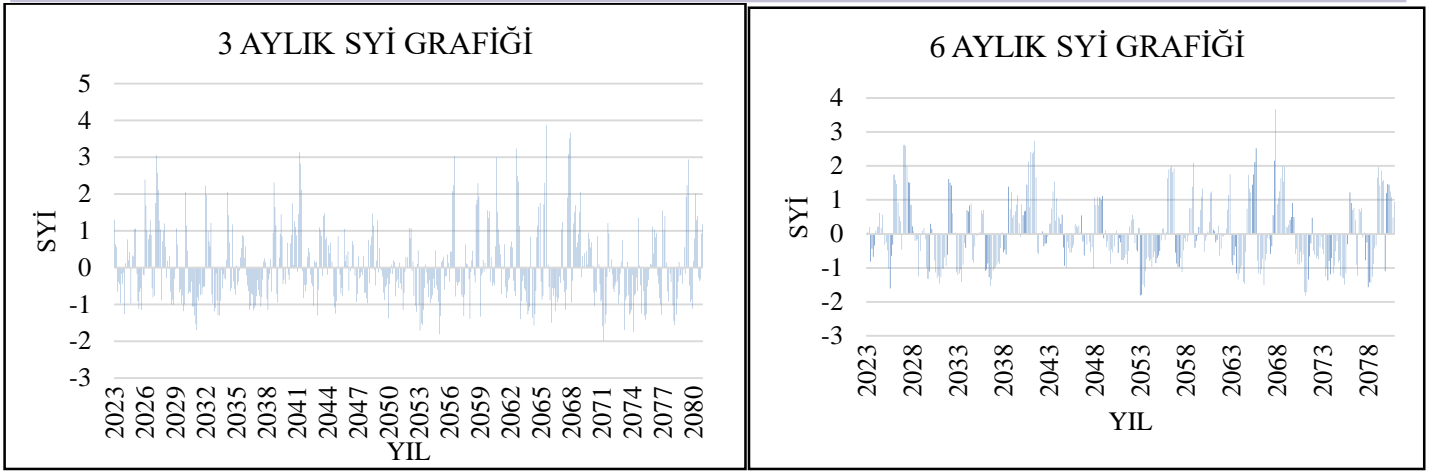
Tablo 3.2. Samsun İli, 2023-2080 Yılları Arası HADGEM2-ES – RCP4.5 Senaryosu SYİ Değerlerine Göre Kuraklık Kategorisi Sayıları

Kuraklık Kategorisi	SAMSUN İLİ			
	1 AYLIK SYİ	3 AYLIK SYİ	6 AYLIK SYİ	12 AYLIK SYİ
Çok şiddetli yağışlı	34	26	25	4
Çok yağışlı	22	27	15	4
Orta şiddetli yağışlı	51	38	25	3
Normal	136	143	104	14
Normale yakın kuraklık	403	288	189	23
Orta şiddetli kuraklık	49	51	46	10
Şiddetli kuraklık	1	7	2	0
Çok şiddetli kuraklık	0	0	0	0

Periyotlara ayrılarak yapılan Tablo 3.2.'deki analizlere göre; normal ve normale yakın kuraklığın genel olarak hâkim olduğu gözlemlenmiştir.

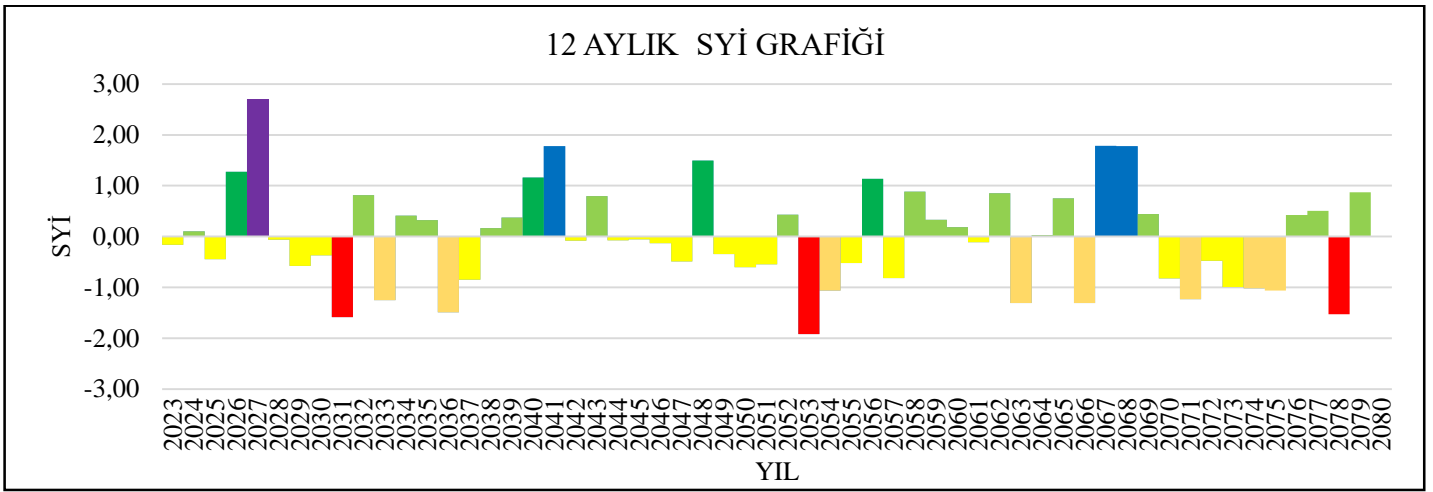
Samsun ili, HADGEM2-ES – RCP8.5 senaryo modeli 2023-2080 yılları arası yağış analizi Şekil3.3.'de gösterilmiştir.





(c)

(d)



(e)

Şekil 3.3. Samsun İli, 2023-2080 Yılı Arası HADGEM2-ES – RCP8.5 Senaryosu Standartlaştırılmış Yağış İndeksi Grafikleri.

a)Yıllık Toplam Yağış Grafiği b)1 Aylık SYİ grafiği c)3 Aylık SYİ grafiği d)6 Aylık SYİ grafiği e)12 Aylık SYİ grafiği

SYİ kuraklık gidiş eğrilerinden; aylık SYİ dağılımına bakıldığında sadece 2031, 2049 ve 2079 yıllarında şiddetli kuraklık gözlemlenmiştir. Genel eğride normal ve normale yakın kuraklıklar gözlenirse de genel anlamda çok şiddetli yağış dönemleri her beş yıllık periyotta en az bir ay da gözlemlenmiştir. Üç Aylık dağılıma bakıldığında 2031, 2053, 2055, 2064, 2071, 2073, 2074 ve 2078 yıllarında şiddetli kuraklıklar gözlemlenmiş ancak çok şiddetli kuraklık dönemine rastlanmamıştır. 2026, 2027, 2030, 2032, 2034, 2038, 2041, 2056, 2058, 2060, 2062, 2065, 2067, 2068, 2079, 2080 yıllarında çok şiddetli kuraklık dönemlerine rastlanmaktadır. Altı aylık gidişlere bakıldığında 2025, 2036, 2053, 2071, 2078 yıllarında şiddetli kuraklık dönemleri gözlemlenmiştir. 2027, 2040, 2041, 2058, 2065, 2067 yıllarında da çok şiddetli kuraklık dönemleri dikkat çekmektedir.

Yıllık gidişlere bakıldığında sadece 2027 yılında şiddetli yağış dönemine rastlanmaktadır. 2031, 2053, 2078 yıllarında da şiddetli kuraklık dönemleri mevcuttur. Yıllık toplam yağış eğrilerine göre de ortalama yağış 841,29 mm olup en fazla yağışlı dönemin 2027 yılında olduğu ve en düşük yağışlı dönemin de 2053 yılında olduğu görülmektedir.

Samsun ili, 2023-2080 yılları HADGEM2-ES – RCP8.5 senaryo modeli tahminlerine ait kuraklık indeks sayıları Tablo.3.3.'de gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Samsun İli, 2023-2080 Yılları Arası HADGEM2-ES – RCP8.5 Senaryosu SYİ Değerlerine Göre Kuraklık Kategorisi Sayıları

Kuraklık Kategorisi	SAMSUN İLİ			
	1 AYLIK SYİ	3 AYLIK SYİ	6 AYLIK SYİ	12 AYLIK SYİ
Çok şiddetli yağışlı	35	28	13	1
Çok yağışlı	26	20	27	4
Orta şiddetli yağışlı	37	42	30	4
Normal	161	151	106	18
Normale yakın kuraklık	367	267	170	20
Orta şiddetli kuraklık	67	59	51	8
Şiddetli kuraklık	3	13	9	3
Çok şiddetli kuraklık	0	0	0	0

Periyotlara ayrılarak yapılan Tablo 3.3.'deki analizlere göre; Normal ve normale yakın kuraklığın genel olarak hâkim olduğu gözlemlenmiştir.

4. SONUÇLAR

Samsun ilindeki gözlem ve iklim modelindeki senaryolardaki yağış değerleri kullanılarak SYİ yöntemi ile kuraklık analizi yapılmıştır. Gözlenen yağış değerlerine göre kuraklık analizi, HADGEM RCP 4.5 modeline göre tahmin edilen yağış değerleri ile kuraklık analizi ve HADGEM RCP 8.5 modeline göre kuraklık analizi yapılarak mevcut kuraklık durumu ile karşılaştırılmıştır. Gözlem - HADGEM2 RCP4.5-8.5 Artış/Azalış yüzdesel ilişkileri aşağıda 4.1. ve 4.2. tablolarında gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Samsun İli, İklim Projeksiyon Değerleri İle Gözlem Değerleri Arası Artış/Azalış Oranları.

Kuraklık Kategorisi	Gözlem - HADGEM2 RCP-4.5 Artış/Azalış Yüzdesel Değerleri			
	1 AYLIK SYİ	3 AYLIK SYİ	6 AYLIK SYİ	12 AYLIK SYİ
Çok şiddetli yağışlı	0,72%	0,44%	2,31%	3,05%
Çok yağışlı	-0,69%	1,39%	-0,15%	4,97%
Orta şiddetli yağışlı	-0,85%	0,21%	-1,81%	-2,52%
Normal	-5,46%	-8,61%	-5,70%	-10,48%
Normale yakın kuraklık	10,31%	10,81%	9,46%	3,12%
Orta şiddetli kuraklık	-2,09%	-2,17%	0,07%	7,63%
Şiddetli kuraklık	-1,94%	-1,87%	-3,35%	-3,85%
Çok şiddetli kuraklık	0,00%	-0,19%	-0,82%	-1,92%
Kuraklık Kategorisi	Gözlem - HADGEM2 RCP-8.5 Artış/Azalış Yüzdesel Değerleri			
	1 AYLIK SYİ	3 AYLIK SYİ	6 AYLIK SYİ	12 AYLIK SYİ
Çok şiddetli yağışlı	0,86%	0,79%	-0,64%	-2,12%
Çok yağışlı	-0,11%	0,18%	2,80%	4,97%
Orta şiddetli yağışlı	-2,86%	0,90%	-0,58%	-0,80%

Normal	-1,87%	-7,23%	-5,21%	-3,58%
Normale yakın kuraklık	5,13%	7,19%	4,78%	-2,06%
Orta şiddetli kuraklık	0,49%	-0,79%	1,30%	4,18%
Şiddetli kuraklık	-1,65%	-0,84%	-1,63%	1,33%
Çok şiddetli kuraklık	0,00%	-0,19%	-0,82%	-1,92 %

- 1 aylık SYİ değerlerine bakıldığında HADGEM RCP 4.5 Senaryosuna (1. Senaryo) göre normal kuraklık azalırken normale yakın kuraklıkta %10,31 artış gözlemlenmiş, HADGEM RCP8.5 (2. Senaryo) senaryosunda ise % 5,13 oranında artış olmuştur.
- 3 aylık SYİ değerlerine bakıldığında ise her iki senaryoda da aylık SYİ değerlerine paralel olarak yine normale yakın kuraklıkta %7-%11 arasında artış gözlemlenmiştir.
- 6 aylık SYİ değerlerine bakıldığında normale yakın kuraklığın her iki senaryoda da %4 ile %10 aralığında arttığını gözlemlemekteyiz.
- 12 aylık SYİ değerlerinde ise 1.Senaryoda çok şiddetli yağışlı dönemlerin %3,05, çok yağışlı dönemin %4,97, normale yakın kuraklığın %3, 12 ve orta şiddetli kuraklığın %7, 63 arttığı görülürken normal dönemlerin %10,48 oranında azaldığı görülmektedir. Buna karşın 2. Senaryoda ise çok yağışlı, orta şiddetli kuraklık ve şiddetli kuraklık dönemlerinde % 1-%5 aralığında artış olmuş ve normal kuraklık döneminde %3, 58 azalma olmuştur.
- Aylık ortalama yağış değerleri kıyaslandığında ise gözlem değerlerinde 1971-2022 yılları arasında 58,91 mm iken 2023-2080 yılı için HADGEM RCP4.5 senaryosunda 66,55 mm, HADGEM RCP8.5 senaryosunda ise 70,11 mm olarak arttığı gözlemlenmiştir. En yüksek yağış değerlerine bakıldığında ise 1971-2022 yılları arasındaki gözlem verilerinde 269,80 mm iken 2023-2080 yılı için HADGEM RCP4.5 senaryosunda 675,10 mm ve HADGEM RCP8.5 senaryosunda 503,10 mm olarak tahmin değeri karşımıza çıkmaktadır.

İklim projeksiyonu kapsamında kullanılan HADGEM2 modeli kapsamındaki senaryolarda, HADGEM2 RCP8.5 senaryosunda çok şiddetli yağışlı dönemler ile orta şiddetli kuraklık dönemlerinin azalmasına karşın şiddetli kuraklık dönemlerinin arttığı gözlemlenmiştir. HADGEM2 RCP8.5 senaryosunun diğer senaryoya göre daha kötümser bir yaklaşım sunduğu tespit edilmiştir. Yapılan bazı çalışmalarda da aynı model ve senaryoya ait analizlerde RCP8.5 senaryosunun olumsuz yönde etki edecek sonuçlara vardığı görülmüştür. Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafınca icra edilen 2016-2099 dönemine ait iklim projeksiyonlarında yıllık ortalama sıcaklıklarda RCP4.5 senaryosunda 1,5-2,5°C iken, RCP8.5 senaryosunda 2,5-3,6°C yükseliş aralığı öngörmüştür (Akçakaya vd., 2015: 67-70). Pekin (2021) yaptığı çalışmasında HADGEM2-ES modeli RCP4.5 ve RCP8.5 senaryoları ve YSA modeli ile 2020-2060 ve 2060-2100 dönemine ait yonca verimi ile ilgili öngörülerde bulunmuştur. Buna göre yüzyılın sonuna doğru sıcaklık artışını RCP4.5 senaryosunda 4°C'ye, RCP8.5 senaryosunda 6°C'ye yükseleceğini tespit etmiştir (Pekin, 2021).

Nihai olarak şehrin küresel iklim modeli ile analiz edilen senaryolarında; ortalama yağışların "SYİ Değerleri ve Kuraklık/Nemlilik Sınıflandırması" tablosundaki kategorilere göre normal kurak dönemlerin azaldığı ve Orta Şiddetli Kuraklık dönemlerine ötelendiği yönünde tespitler sağlanmıştır. Buna karşın ortalama yağış değerleri bölgede artış göstermekte, aylık en yüksek yağış miktarı değerlerinde de artış yönünde değişim gözlemlenmiştir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı Beyanı

Yazarlar makaleye hangi kapsamda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

KAYNAKLAR

- Adisa, O. M., Masinde, M., Botai, J. O., & Botai, C. M. (2020, August 12), *Bibliometric analysis of methods and tools for drought monitoring and prediction in Africa. Sustainability*, 12(16), 6516. <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/16/6516>
- Akçakaya, A., vd., (2015). Yeni Senaryolarla Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği TR2015-CC. *Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yayını*, 149 s.
- Bahadır, M. (2014). Samsun'da Meydana Gelen 4 Temmuz ve 6 Ağustos 2012 Taşkınlarının Klimatik Analizi. *Coğrafya Dergisi*, (29), 28-50. <https://dergipark.org.tr/en/pub/iucografya/issue/25074/264645>.
- Çetin, B., (2023). *Küresel İklim Modelleri İle Havzaların Kuraklık Analizlerinin Yapılması*. (Doktora Tezi. Manisa Celal Bayar Üniversitesi). Yök Tez Arşivi <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>.
- Dabanlı, İ., (2017). *Türkiye'de İklim Değişikliğinin Yağış-Sıcaklığa Etkisi Ve Kuraklık Analizi: Akarçay Örneği*. (Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi). Yök Tez Arşivi <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>.
- Demircan, M., Gürkan, H., Arabacı, H., & Coşkun, M. (2017). Türkiye İçin İklim Değişikliği Projeksiyonları. *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası*, 16, 3-6.
- Demir, İ. (2011). Bölgesel iklim modeli projeksiyonları, ECHAM5-B1 (Regional Climate Model Projections). In: 5th *Atmospheric Science Symposium Proceedings Book: ITU* (pp. 27-29).
- Edwards, D.C. & McKee, T.B. (1997). Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple times scales. *Atmospheric Science Paper*, 634, 1-30.
- IPCC (2001). Climate Change 2001: The scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change [Houghton, J.T., et al. (eds.)]. *Cambridge University Press: Cambridge and New York*.
- IPCC (2007). Climate Change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [Solomon, S., et al. (eds.)]. *Cambridge University Press: Cambridge and New York*.
- IPCC (2013). Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bexand P.M. Midgley (eds.)]. *Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA*.
- IPCC (2019). Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystem [P.R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D. C. Roberts, P. Zhai, R. Slade, S. 234 Connors, R. van Diemen, M. Ferrat, E. Haughey, S. Luz, S. Neogi, M. Pathak, J. Petzold, J. Portugal Pereira, P. Vyas, E. Huntley, K. Kissick, M. Belkacemi, J. Malley, (eds.)]. *Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA*.
- Jenkins, K., Warren, R., (2015). Quantifying the impact of climate change on drought regimes using the Standardised Precipitation Index, *Theor. Appl. Climatol., Cilt. 120*, no. 1-2, s. 41-54. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-014-1143-x>.
- Karaman ve Gökalp, Van Loon, A. F., and Laaha, G. J. J. O. H. (2015). Hydrological drought severity explained by climate and catchment characteristics. *Journal of hydrology*, 526, 3-14.
- Mckee, T.B., N.J. Doesken & J. Kleist (1993 January 17-22), *The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales, Eight Conference on Applied Climatology, Anaheim, California*. <https://climate.colostate.edu/pdfs/relationshipofdroughtfrequency.pdf>
- Mishra, A. K., & Desai, V. R. (2005). Drought forecasting using stochastic models. *Stochastic environmental research and risk assessment*, 19, 326-339.
- Nacar, S., ŞAN, M., Kankal, M., ve Okkan, U. (2022). Farklı iklim değişikliği senaryoları için Doğu Karadeniz bölgesindeki meteorolojik kuraklıkların eğilim analizi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(2), 843-856.
- Özfidaner, M. (2020). *Türkiye Ölçeğinde Yağış ve Akım Kuraklık İndeksi ile Kuraklık Analizi ve Kurak Olma Olasılıklarının Belirlenmesi*. (Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü). Yök Tez Arşivi <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>.

- Öztürk, Y.D., (2022). *Karadeniz Bölgesi'ndeki Kuraklık Koşullarının Spı Ve Yapay Zeka Tabanlı Güncellenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi). Yök Tez Arşivi <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Öztürk, Y. D., ve Ramazan, Ünlü. (2022). Türkiye’de yapılan kuraklık analiz çalışmaları üzerine bir derleme. *Afet ve Risk Dergisi*, 5(2), 669-680.
- Pekin, M.A. (2021). *İklim Değişikliği Projeksiyonlarına Göre Yonca (Medicago Sativa) Bitkisi Veriminde Olası Değişiklikler*. (Yüksek lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.) Yök Tez Arşivi <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>.
- Sırdaş, S., ve Şen, Z. (2002). *Meteorological drought modelling and application to Turkey*. Diss. (PhD Thesis, Istanbul Technical University).
- SYGM, (2016, Haziran 16). *İklim değişikliğinin su kaynaklarına etkisi projesi, proje nihai raporu*. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara. <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/İklim%20de%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Finin%20su%20kaynaklar%C4%B1na%20etkisi/İklimNihaiRapor.pdf>.
- Tarım ve Orman Bölge Müdürlüğü, (2019, Şubat 25). *Tarım ve Orman Bölge Müdürlüğü Çalışma Raporu*. <https://www.tarimorman.gov.tr/SGB/Belgeler/Bakanl%C4%B1kFaaliyetRaporlar%C4%B1/2019%20yili%20faaliyet%20raporu.PDF>
- T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, (2012). Türkiye Cumhuriyeti İklim Değişikliği Eylem Planı 2011 – 2023. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/iklim/banner/banner591.pdf>
- T.C. Meteoroloji Genel Müdürlüğü, (2016). *Meteorolojik Karakterli Doğal Afetler 2016 Yılı Değerlendirme Raporu*. <https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/kitaplar/dogalafet-2016.pdf> T.C.
- Thom, H.C.S. (1958). A note on the Gamma distribution. *Monthly Wheather Review*. Vol. 86, No. 41, pp. 117-122. https://journals.ametsoc.org/view/journals/mwre/86/4/15200493_1958_086_0117_anotgd_2_0_co2.xml
- Tuğaç, Ç. (2022). “İklim Değişikliği Krizi ve Şehirler”, *Çevre, Şehir ve İklim Dergisi*. Yıl: 1. Sayı: 1. ss. 38-60.
- Turp, M. T., Öztürk, T., Türkeş, M., & Kurnaz, M. L. (2014). RegCM4. 3.5 bölgesel iklim modelini kullanarak Türkiye ve çevresi bölgelerin yakın gelecekteki hava sıcaklığı ve yağış klimatolojileri için öngörülen değişikliklerin incelenmesi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 23(1), 1-24.
- Türkeş M. (1990). *Türkiye'de Kurak Bölgeler ve Önemli Kurak Yıllar*. (Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü.) Yök Tez Arşivi <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Üstün, H. G., (2008). *İklim değişiminin su kaynakları üzerine etkisi*. (Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi). Yök Tez Arşivi <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Yetmen, H., (2013). *Türkiye'nin Kuraklık Analizi*, (Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi). Yök Tez Arşivi <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Yürük, C., (2017). *Türkiye İçin Cosmo-Clm (Cclm) İklim Simülasyonları: Performans Değerlendirmesi Ve 21. Yüzyıl İklim Projeksiyonları*. (Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi). Yök Tez Arşivi <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Wang, G. (2005). Agricultural drought in a future climate: results from 15 global climate models participating in the IPCC 4th assessment. *Climate dynamics*, 25, 739-753.

Gömülü Sistemler Ders Deneyleri için Web Tabanlı Uzaktan Laboratuvar Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi**

Design and implementation of a Web-Based Remote laboratory for Embedded Systems Course Experiments**

jalal Miladi^{1*}, Halil İbrahim Akyüz²

^{1*} Kastamonu University, Institute of Science, Kastamonu, Türkiye

² Kastamonu University, Education Faculty, Kastamonu, Türkiye

ABSTRACT

Multiple factors, such as natural disasters, wars, security instability, and the outbreak of serious diseases such as COVID-19, may cause the complete cessation of traditional face-to-face education. Universities have turned to distance learning in order to avoid the difficulty of students being on campus.

Teaching laboratory courses remotely is one of the most difficult challenges facing academic institutions when switching to distance education. Most of the available alternative solutions to the traditional laboratory are ineffective or difficult to implement and may cause a negative impact on student achievement.

This article presents the Web-based remote laboratory system as an alternative technical solution to the traditional laboratory for teaching programming experiments for Arduino boards. In this system, the student can conduct the experiment remotely on devices and equipment located in the university laboratory.

The remote laboratory system is multi-user, scalable, flexible and low cost. The system is implemented using low-cost hardware resources and free and open source software.

The system underwent user acceptance testing based on the Unified Theory of Technology Acceptance and Use approach. The results were encouraging, as participants in the system acceptance test showed a good acceptance rate of 70.75%, which confirms the effectiveness of the system and its ease of use.

Keywords: Remote laboratory, Arduino, Students' Academic Performance.

**This article was produced from the PhD thesis that the 1st author is preparing under the supervision of the 2nd author.

**Bu makale 1. yazarın 2. yazar danışmanlığında hazırlamakta olduğu Doktora tezinden üretilmiştir.

Başvuru: 11.06.2024 Revizyon Talebi: 12.06.2024 Son Revizyon: 13.06.2024 Kabul: 14.06.2024

Doi: 10.51764/smutgd.1499299

^{1*}Sorumlu yazar: Kastamonu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kastamonu, Türkiye; E-mail: jmiladi@gmail.com; ORCID: 0009-0005-9795-8024

² E-mail: hakyuz@kastamonu.edu.tr; ORCID: 0000-0002-1614-3271

1. INTRODUCTION

Engineering education institutions aim to educate an engineer who can adequately use physical and engineering tools and processes. Therefore, theoretical knowledge is insufficient to enter the labor market. Before graduation, emphasis should be placed on students knowing engineering processes and systems that go beyond the boundaries of theoretical knowledge. In other words, educational laboratories play the most crucial role in education, research, and vocational training, especially in engineering courses. (Hardison et al., 2008; Hofstein, 2017).

Education, like all other fields, has recently been based on modern technologies. It has been clearly shown that the use of modern technological equipment and tools increases academic achievement and improves student interaction (Raja & Nagasubramani, 2018).

1.1. Distance Education

For many years and decades, educational institutions have relied on face-to-face classroom education, where professors and students meet at the same place and time to teach students (Al-Masri, 2018).

Valentine (2002) states that distance education started 100 years ago in Europe. It was mainly based on traditional methods of messaging between people. With the advent of radio and television technologies, lectures and educational lessons have been delivered through these technologies. Some educational institutions have also made use of videotapes and compact discs (CDs) to record their lectures.

In the internet age that began in the late twentieth century, advances in communication and information technologies have enabled employees to work from home or elsewhere when certain conditions, such as wars or natural disasters, prevent them from going to work (Ozili & Arun, 2022). These technologies and their applications have entered the work environment and scientific learning process (Morris et al., 2020). A new teaching method based on modern technologies was developed, and the term distance education emerged (Al-Masri, 2018). Thus, many universities and educational institutions have started to offer courses over the Internet to provide distance education to their students, and distance education is expected to grow further, especially in higher education institutions (Kefalis & Drigas, 2019; Morris et al., 2020; Valentine, 2002). Distance education has changed the rules of learning and the way students and teachers participate in the learning process (Farag, 2017).

1.1.1. Remote laboratory

Transitioning to distance laboratory education is a complex project. It requires excellent study and effort, including developing a plan and preliminary study for the proposed system before implementation. Some university courses may be unable to integrate laboratory courses into their distance learning programs. Laboratory courses require students to be in the laboratory to perform experiments, which poses a difficult challenge for teaching lectures and laboratory experiments remotely (Lytvynova & Pinchuk, 2018).

Silva et al. (2016) also state that to implement this technology, each experiment must be redesigned to meet specific technology requirements.

Rossiter et al (2019) recommend the use of the Take Home Laboratory Kit method in teaching laboratory engineering subjects at the University of Sheffield. This method was effective in reducing the time students spent in laboratories. Financially, it is considered cheaper than setting up a private laboratory. The experience has satisfied students and faculty.

One of the commonly used solutions in laboratory distance education is computer simulation programs. A simulation program is software that relies on mathematical models to simulate the behavior of equipment and processes in reality (Haiyan, 2015; Penumadu et al., 2000). The students can enjoy the experience in these programs without using actual equipment. This method can be fully compatible with distance learning programs, as it requires students to have a computer equipped with a simulation program that allows them to simulate laboratory experiments. Thus, the student can perform laboratory experiments at home without being in the laboratory (Chowdhury et al., 2019).

With the growth of the Internet and its applications, Ko et al. (2001) developed a new technology called a Web-Based Laboratory for teaching laboratory courses. Later, it was called a Virtual Laboratory. Thus, students can perform laboratory experiments online from anywhere.

A virtual laboratory is defined as a system that uses software to simulate a laboratory environment and provides an interactive platform where users can engage in a range of activities, such as conducting experiments, accessing learning materials, and submitting reports. Virtual laboratories are often used in laboratories where equipment is expensive or unavailable or to simulate an unsafe environment (Chen et al., 2010).

According to Gustavsson et al. (2008), the use of simulation software in the education process has increased significantly in recent years, especially in engineering faculties.

Typically, simulation programs were stored on laboratory computers. Students would perform experiments directly on these computers. However, with the development of new services provided by the Internet and cloud computing technologies, the student can perform experiments remotely by accessing the computer containing the simulation program over the Internet. This technology provides a virtual environment for natural laboratories (Karadimas & Kostas, 2007).

One of the most critical conditions for a successful remote laboratory is that the student must feel that the laboratory looks natural. This is done by integrating visual, text, and even audio technologies, if possible, and using the webcam to transmit a live feed to closely monitor the actual results of the experiment (Farag & Wael, 2017).

Virtual laboratories can be useful educational tools for teaching laboratory topics. Due to its many advantages, many university administrators and professors are planning to switch to these technologies (Altalbe, 2019). In addition to reducing costs, the virtual laboratory is available 24/7, allowing students to work whenever they want (Evangelista et al., 2017).

Although virtual laboratories offer solutions for distance laboratory education, they have distinct disadvantages. Students do not deal with actual laboratory equipment and processes but with mathematical models that attempt to model and represent reality (Orduña et al., 2018). Another disadvantage of the virtual laboratory is its cost, which can be expensive for students.

The latest development in this field is the possibility for students to access and interact with the physical equipment of laboratories remotely; this technology is known as Remote Laboratory System (RLS). Virtual and remote laboratories are two types of distance laboratory training, but there is a crucial difference between them. In contrast, the virtual laboratory allows experiments to be carried out in a virtual environment or simulation applications, while the remote laboratory allows access and interaction with actual experiments and equipment; this is a significant innovation in the development of remote laboratories (Chen et al., 2010; Karadimas & Kostas, 2007; Kozič et al., 2016).

A remote laboratory is defined as a laboratory that allows experiments to be conducted, monitored, and controlled remotely (Chen et al., 2010; Gustavsson, 2008; Karadimas & Kostas, 2007). De Lima et al. (2016) defined the remote laboratory as a laboratory that gives the student control and observation capabilities of the physical components in the laboratory through computer network techniques.

Kefalis and Drigas (2019) define this educational technology as a system that allows students to use the Internet to access real laboratory devices.

2. MATERIAL AND METHODS

In order to achieve the goal of this article, the researchers followed the following basic steps:

1- Developing and testing a Web-based remote laboratory system dedicated to learning the laboratory aspect of the Microcontroller Systems course, where a web application was developed based on the client-server architecture using the Anvil full-stack framework.

2- Conducting an experimental study at the College of Electronic Technology - Tripoli, Libya, aiming to evaluate the RLS system using User Acceptance Test (UAT) Based on the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT).

3- Conduct a descriptive statistical analysis using the SPSS software system to determine the result of UAT.

2.1. Development of Remote Lab System

The remote laboratory system was created using a combination of iterative and incremental development methodologies. The process began with the basic version of the system, which included only some of the essential functions and services. This version was tested, and any issues were fixed. Once this version was confirmed to be correct, new requirements were added to create the next version with additional functions and services. This process was repeated until the final version met all the requirements and provided all the desired functions and services of the remote laboratory system. Iterative and incremental development methodologies are applicable when a complete list of requirements is unclear from the beginning of system development, it also reduce the risk of failure by focusing on small parts of the system in each iteration, improve quality through continuous testing and refinement, offer greater flexibility for new requirements or modifications, and enable the quick delivery of an initial product containing basic requirements for early customer feedback (Hossain, 2023).

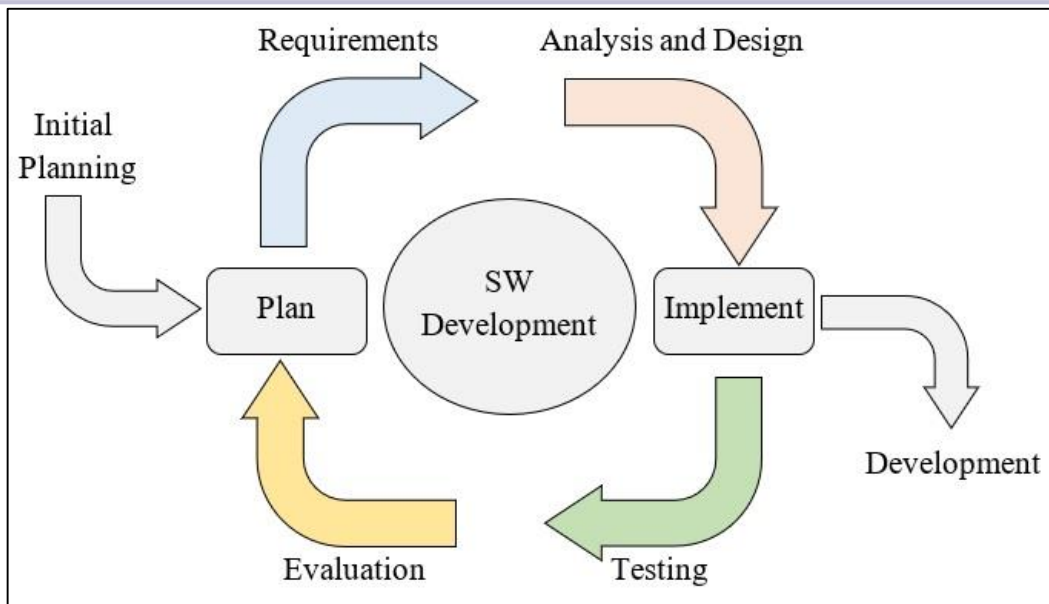


Figure 1. RLS Development Methodology

The Remote Lab System (RLS) is made up of three subsystems: the RLS client, the RLS server, and laboratory workbenches. The Internet serves as the data transfer link between these components, allowing for seamless and uninterrupted transfer of data and commands that are essential for the RLS system to function. Figure 2 illustrates the configuration of the remote lab system.

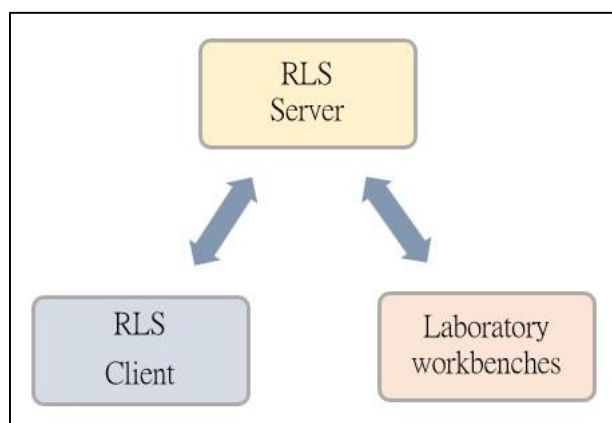


Figure 2. Remote Lab Configuration

2.1.1. Remote lab system hardware

In Figure 3, the client subsystem consists of the student's device (computer, smartphone, or tablet). Students use a web application (frontend app) to connect to the lab and conduct the experiment. The client subsystem also interacts with the lab by watching and tracking the experiment's operation using video streaming technology.

The RLS server is a powerful computer server. It runs the backend application, hosts all system services and data, and ensures reliability and robustness.

At the core of the lab, there are three workbenches connected to a credit card-sized computer called Raspberry Pi, each workbench representing an experiment circuit, which is an Arduino board connected to the experiment hardware. Figure 4 shows how to connect the Raspberry Pi board to the experiment board. The Raspberry Pi functions as a regular computer but has specific characteristics that make it well-suited for this application. It is an open-source single-board computer that can easily communicate with laboratory workbenches, supports wired and wireless internet connections, and is a small, low-cost computer (Jolles, 2021). This computer is utilized in various applications, including web browsing, gaming, and creating and controlling hardware circuits and systems. Furthermore, it is commonly used in educational institutions, from primary to higher education (Jolles, 2021; Kushwah et al., 2023).

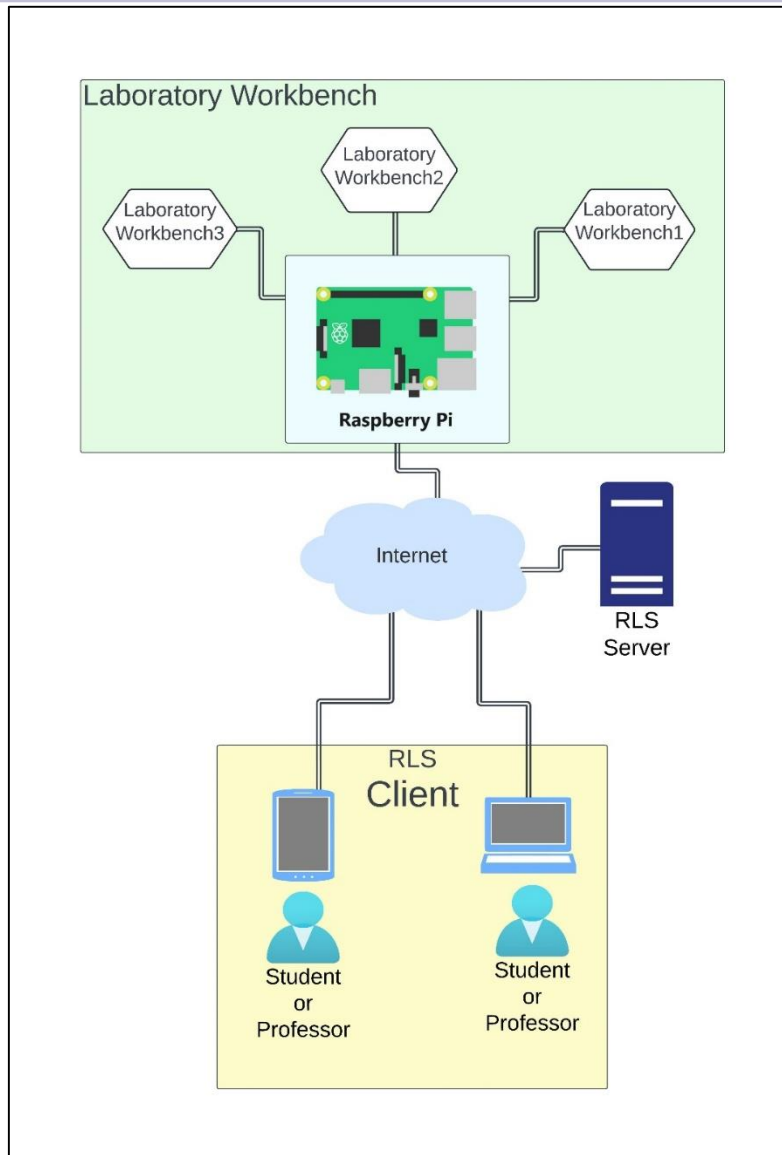


Figure 3. Remote Lab Architecture

The Raspberry Pi 4-B model is an advanced single-board computer with four USB ports. Three of these ports are used in this system to establish connections with three separate experimental workbenches through USB cables. The USB connector is also utilized for uploading students' program code to the Arduino board.

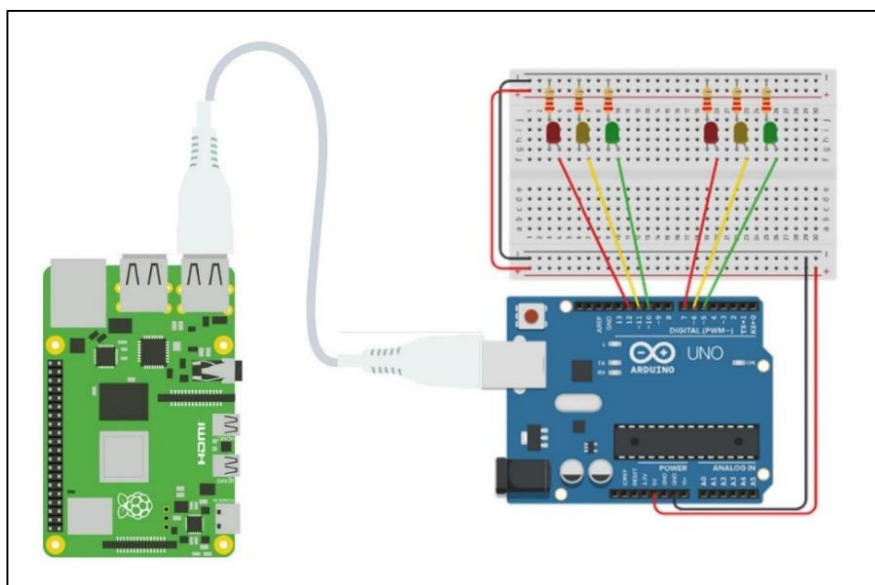


Figure 4. Connecting the experiment board to the Raspberry Pi board

2.1.2. Remote Lab System Software

The RLS software application was developed using the Anvil framework. This web-based development environment simplifies building the backend and front end, including the database, using only Python. This framework was chosen for its ease of use and ability to streamline development.

As shown in Figure 5, the RLS system software is conveniently built on the robust client-server model. It comprises the server (Backend) part, a program that operates on the RLS server, and the client (Frontend) part, a web application that students run on their devices to access the laboratory remotely.

The last program is the workbench program. This small program runs on a Raspberry Pi board and remotely connects the laboratory workbenches to the laboratory application.

The backend and frontend applications were developed using the Anvil framework, while the workbench program was programmed using an open-source Python IDE.

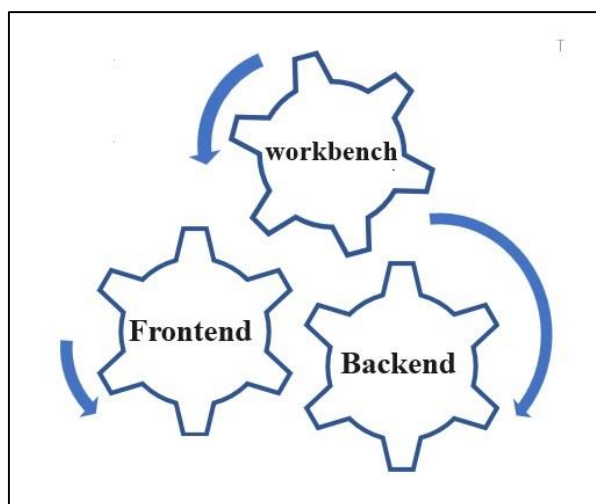


Figure 5. Remote Lab Software System Architecture

More description about these three software are described as follows:

1. Workbench Software

The workbench software for the Raspberry Pi board is programmed using Python 3.9. It serves students by enabling them to perform various tasks and functions, including:

Establishing a reliable connection between the experimental board and the RLS server using the ANVIL platform's Uplink service ensures data communication over the Internet.

Testing the validity of the student program and checking for errors.

Upload the student code to the Arduino board using the reliable Arduino command library, which verifies and uploads the Arduino sketch into the Arduino board.

Running the experiment and broadcasting a video stream so the student can watch it remotely, using the Daily video stream API service.

2. Backend Software

The backend software of the RLS systems was carefully designed to handle user requests, manage user authentication, store user files and host databases, and establish a seamless connection between users and the workbench system. The ANVIL framework supports designing and building a database table using a simple integrated Graphic User Interface (GUI) tool. The RLS database stores experiments, students, and lab application settings information. The RLS database consists of 6 entities (Tables):

User Table: This table stores student information such as name, registration number, and student group.

Experiments Table: This table contains data about laboratory experiments, such as the experiment's number, title, and date.

Workbench Table: This table stores workbench information, such as the workbench number, connected experiment number, and availability status of the workbench.

Experiment Schedule Table: In this table, the appointments students can book to carry out laboratory experiments

are stored.

Setting Table: It contains a variety of variables that control the operation of RLS. The administrator can change the setting values to give the system more flexibility.

User Log Table: This table stores all student system activities, such as login and logout operations, including the date and time of each operation. This table gives the system administrator the ability to monitor the system and verify operations that occurred in the laboratory system.

3. Frontend Software

The Frontend Software, also known as the user or client side of the RLS, is an application that runs on a student's device. It enables students to conduct experiments and communicate remotely with the server and workbench software. Figure 6 shows the home page of the RLS Frontend software.



Figure 6. The Home Page of RLS

Through the Frontend application, students can perform various tasks such as:

- 1- Log in
- 2- Booking an appointment.
- 3- Editing experiment code
- 4- Compiling experiment code.
- 5- Running the experiment.
- 6- Download the lab manual.

The professor can function as a system administrator through the system's front end. The system allows professors to carry out a range of tasks, such as:

- 1- Log in
- 2- Managing student profiles.
- 3- Adjusting system settings.
- 4- Scheduling laboratory experiments.
- 5- Overseeing the system while tracking and controlling student activity.

2.2. Remote Laboratory System Evaluating

RLS's User Acceptance Testing (UAT) examines the factors influencing user acceptance of a system identified by the Unified Theory of Acceptance and Use of Technology (UTAUT). According to theory, four important metrics significantly affect user acceptance: expected performance, predictability of effort, social influence, and facilitating conditions (Venkatesh et al., 2003).

Eighteen people participated in this study and were given a copy of the remote laboratory system manual. This document defined the RLS system, explained its function, and provided a step-by-step guide for conducting experiments. Armed with this resource, participants conducted two remote laboratory experiments.

Study data were collected through a questionnaire; questions were directed to participants who had previously tested in the remote laboratory. The questionnaire was prepared based on the UTAUT theory and aims to measure the four main factors that most influence user acceptance of the system, as the theory concludes.

2.2.1. User Acceptance Test Factors

The four main factors that measure user acceptance of the remote laboratory system and the associated constructors (interview statements) are shown in Figure 7, and described as follows:

1. Performance expectancy: This measure is determined by obtaining information from the user about the importance and benefit of using the system in his work, whether the system increases productivity and speeds up tasks, and whether it is possible to use the system to obtain a reward or advantage for the user over his colleagues.

2. Effort expectancy: This scale is determined by a set of indicators: clarity and understanding of how to deal with the system, ease of using the system, and ease of becoming skilled at using the system.

3. Social influence: The measure of social influence depends on multiple indicators, such as the extent to which he believes that those in charge of his work or those who influence his behavior need to use the system, as well as the amount of support and assistance of the organization and senior management when using the system.

4. Facilitating conditions: Facilitating the conditions can be determined by answering the following questions:

- Does the participant have the necessary resources and information to use the system?
- Is the system compatible with other systems?
- Is the support team available when needed?

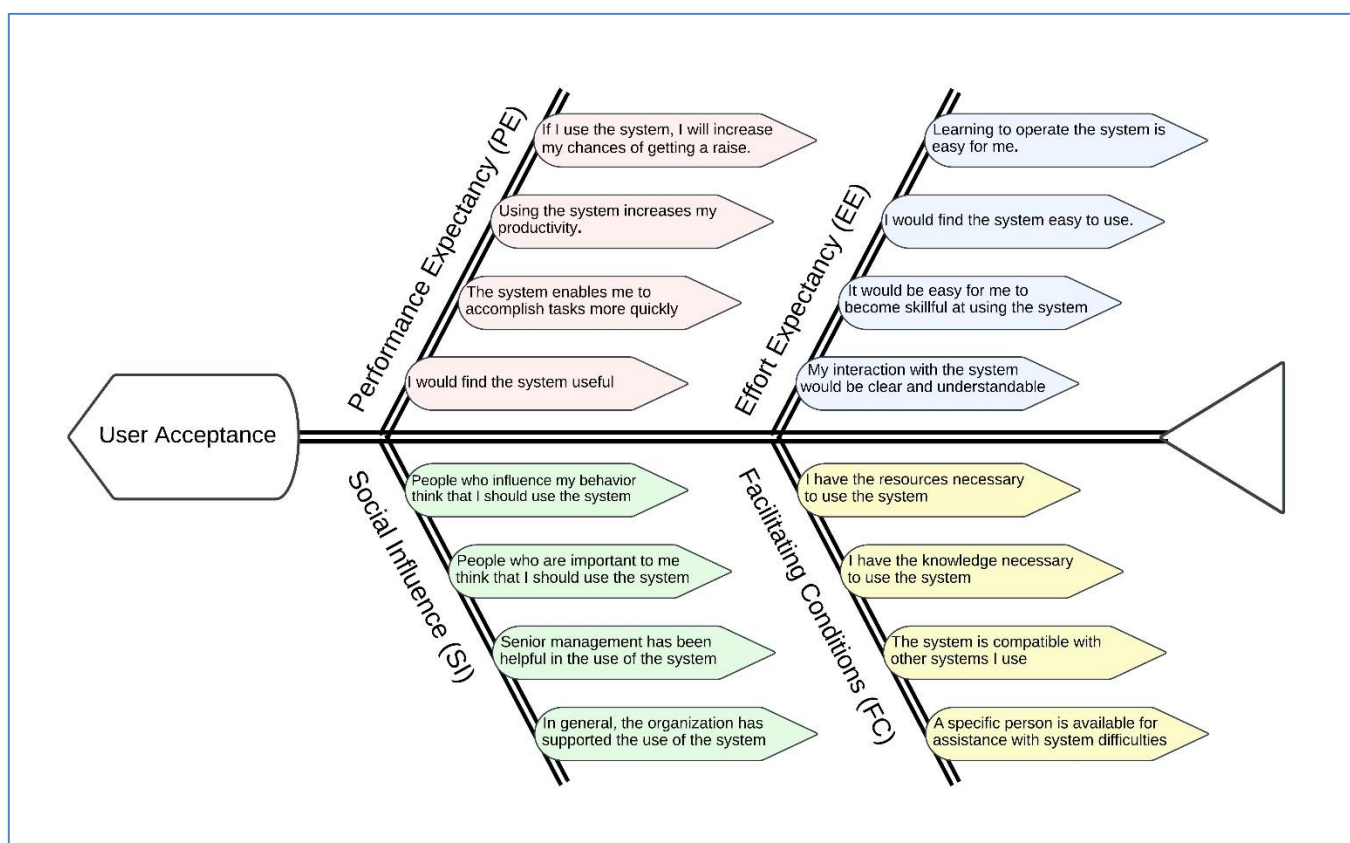


Figure 7. User Acceptance Factors

3. Data Analyses And Results

The data was collected quantitatively. A simplified questionnaire was designed based on 16 questionnaire statements, each containing four questions for one of the four factors identified by the UTAUT theory.

A 5-point Likert scale, weighted from 0 to 4, was used for questionnaire responses, where four is given to “strongly agree,” and 0 is given to “strongly disagree.”

A total of 18 people participated in the study, including students and professors in Tripoli City, Libya. Data were descriptively analyzed using the SPSS system.

Table 1. and Figure 8 shows the distribution of study participants' age groups.

Table 1. Participant Age Group Distribution

Age Group	Frequency	Percent
< 25	12	66.67%
25 – 35	3	16.67%
<35	3	16.67%

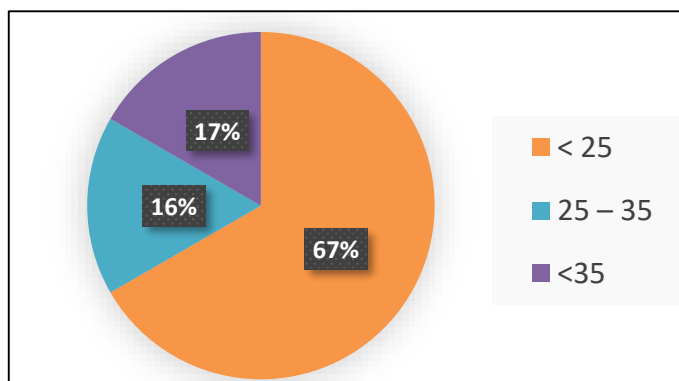


Figure 8. Participant Age Groups Distribution

The educational level of the participants varied: As shown in Table 2 and Figure 9, the majority are bachelor's degree students: 13 (72%), 3 (17%) are engineers with a bachelor's degree, and 2 (11%) are college professors with scientific specializations related to programming microcontrollers. Thus, helpful feedback could be obtained that may contribute to improving the RLS.

Table 2. Participant Job Role Distribution

Participant Job Role	Frequency	Percent
Student	13	72.22%
Engineer	3	16.67%
Lecturer	2	11.11%

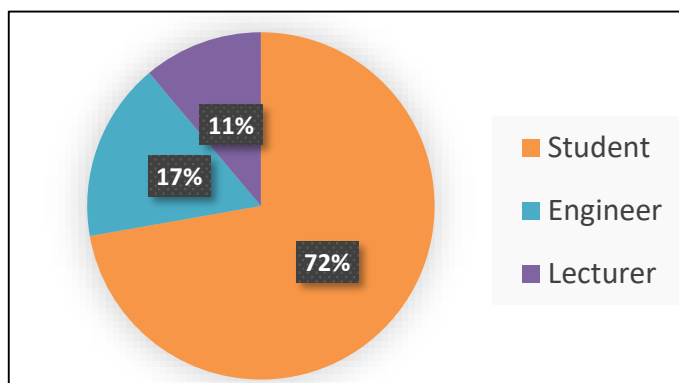


Figure 9. Participant Job Role Distribution

Also, the analysis shows that 7 (39%) of the participants are beginners, 9 (50%) intermediate, and 2 (11%) are experts. Table 5.3 and Figure 10, shows the frequencies of each experience level for study participants.

Table 3. Participant Experience Level Distribution

Experience Level	Frequency	Percent
Beginner	9	50%
Intermediate	7	38.89%
Expert	2	11.11%

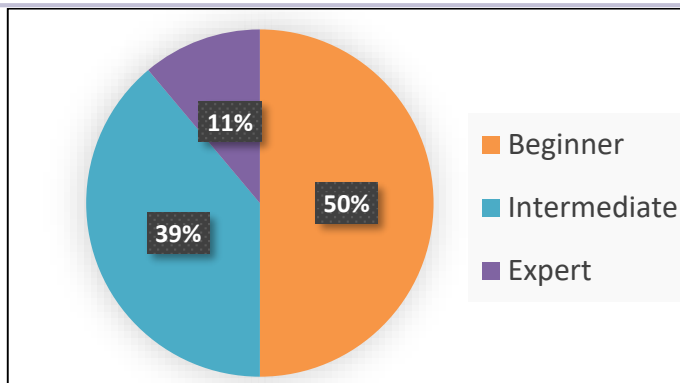


Figure 10. Participant Experience Level Distribution

Additionally, the preliminary results from data analysis indicated that 15 of the participants (83.33%) answered that the RLS is easy to use and that it is possible to become skilled at using it. Also, among the preliminary statistics, 13 out of 18 participants (72.22%) answered that the RLS is helpful in laboratory learning and conducting experiments to program Arduino boards.

As shown in Table 4 and Figure 11, the statistical analysis further supports the RLS's user-friendly nature. Effort Expectancy (EE) scored the highest acceptance rate. The mean EE was 3.33 (83.3%), indicating that the RLS is straightforward, easy to use, and quick to learn.

According to the participants, the second highest acceptance factor Was the availability of Facilitating Conditions (FC) to operate the RLS, with a score of 3.08. This indicates a strong consensus on the system's practicality and user-friendliness.

Third was Performance Expectancy, where FE=2.54 (63.5%). Participants differed slightly regarding their expectations of the system's capabilities and desired gains.

Finally, the Social Influence (SI) factor was the lowest factor that received acceptance from participants, and the mean SI was 2.38 (59.5%).

The statistical analysis concluded that most participants accepted the RLS, with an acceptance rate of 2.83 (70.75%).

Table 4 Acceptance Analysis Results

System Acceptance Factors	Min	Max	Mean
Performance Expectancy	0.67	4.00	2.54
Effort Expectancy	1.00	4.00	3.33
Social Influence	1.25	3.50	2.38
Facilitating Conditions	1.25	3.75	3.08
Overall	1.60	3.69	2.83

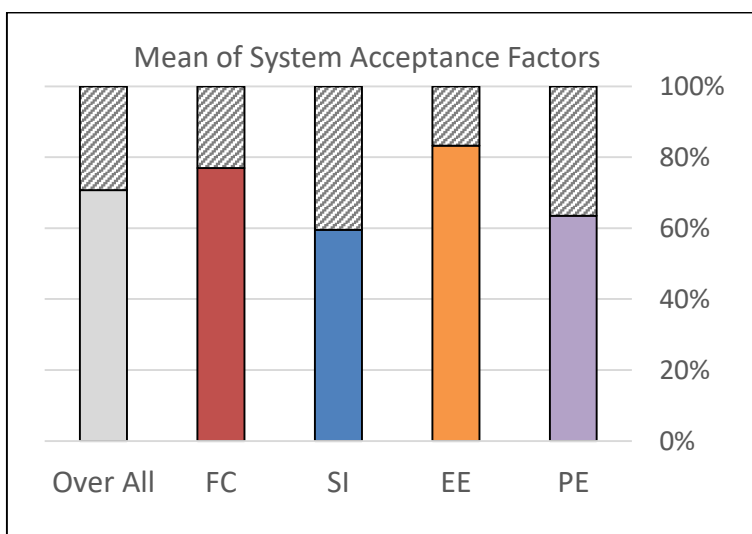


Figure 11. Acceptance Analysis Results

4 CONCLUSIONS

The digital transformation towards distance education has become a more critical need, especially in regions that suffer from several factors that cause the cessation of traditional studies, such as the spread of the COVID-19 pandemic, security conditions, earthquakes, and other natural disasters.

By studying the different solutions for integrating laboratory courses into distance education, remote laboratory technology is considered an appropriate solution for distance learning laboratory courses.

This paper presented the development of a remote laboratory system the authors built. The system allows the student to carry out his transactions remotely. It gives him the flexibility to choose the appropriate time from any place without the need to be present in the specified laboratory at a specific time.

The most advantageous feature of the designed system was its multiuser capability, which meant multiple users could carry out different experiments simultaneously. It was also characterized by a cost-effective, expandable design. It supports an increase in the number of users working simultaneously without the need for expensive additional equipment, and it offers flexibility in managing the system and following up on students' work.

The system's acceptance was tested with 18 participants, most of whom were bachelor's degree students, two professors, and three engineers. The test results were overwhelmingly positive, with 83.33% of participants expressing the ease of using the system and the speed of learning how to operate it. 72.22% confirmed the possibility of relying on the system in conducting Laboratory experiments for microcontroller boards. The statistical analysis found that the mean acceptance rate is 70.75%. This result indicates that the participants' answers instilled confidence in the effectiveness of the system and its ease of use and that it can be used to learn programming microcontrollers.

Acknowledgments

The authors express their thanks to all who contributed to this research. They have positively influenced the completion of this study, both at Kastamonu University in Kastamonu, Turkey, and the College of Electronic Technologies in Tripoli, Libya.

REFERENCES:

- Al-Masri, Eyhab. (2018). Lab-as-a-Service (LaaS): A Middleware Approach for Internet-Accessible Laboratories. 1-5. 10.1109/FIE.2018.8658702.
- Altalbe, Ali. (2019). Performance Impact of Simulation-Based Virtual Laboratory on Engineering Students: A Case Study of Australia Virtual System. IEEE Access. 7. 1-1.10.1109/ACCESS.2019.2957726.
- Chen, Xuemin & Song, Gangbing & Zhang, Yongpeng. (2010). Virtual and Remote Laboratory Development: A Review. 10.1061/41096(366)368.
- Chowdhury, Harun & Alam, Firoz & Mustary, Israt. (2019). Development of an innovative technique for teaching and learning of laboratory experiments for engineering courses. Energy Procedia. 160. 806-811. 10.1016/j.egypro.2019.02.154.
- de Lima, João Paulo & Mellos Carlos, Lucas & Schardosim Simão, José & Pereira, Josiel & Mafra, Paulo & Silva, Juarez. (2016). Design and implementation of a remote lab for teaching programming and robotics. IFAC-PapersOnLine. 49. 10.1016/j.ifacol.2016.11.133.
- Evangelista, Ignacio & Farina, Juan & Pozzo, María & DOBBOLETTA, ELSA & Alves, Gustavo & Garcia-Zubia, Javier & Hernandez, Unai & Marchisio, Susana & Concari, Sonia & Gustavsson, Ingvar. (2017). Science education at high school: A VISIR remote lab implementation. 13-17. 10.1109/EXPAT.2017.7984378. et al., 2017).
- Farag, Wael. (2017). An Innovative Remote-Lab Framework for Educational Experimentation. International Journal of Online Engineering (IJOE). 13. 68.10.3991/ijoe.v13i02.6609.
- Gustavsson, Ingvar & Zackrisson, Johan & Nilsson, Kristian & Garcia-Zubia, Javier & Håkansson, Lars & Claesson, I. & Lagö, Thomas. (2008). A Flexible Instructional Electronics Laboratory with Local and Remote Lab Workbenches in a Grid.
- Haiyan, Wang. (2015). Virtual Laboratory Construction of College Computer Hardware Course Group. The Open Automation and Control Systems Journal. 7. 1237-1242. 10.2174/1874444301507011237.
- Hardison, James & DeLong, Kimberly & Bailey, Philip & Harward, Judson. (2008). Deploying interactive remote labs using the iLab Shared Architecture. S2A-1 . 10.1109/FIE.2008.4720536.

- Hofstein, Avi. (2017). The Role of Laboratory in Science Teaching and Learning. 10.1007/978-94-6300-749-8_26.
- Hossain, Mohammad. (2023). Software Development Life Cycle (SDLC) Methodologies for Information Systems Project Management. 10.36948/ijfmr.2023.v05i05.6223.).
- Jolles, Jolle. (2021). Broad-scale Applications of the Raspberry Pi : A Review and Guide for Biologists. *Methods in Ecology and Evolution*. 12. 1-18. 10.1111/2041-210X.13652.
- Karadimas, Dimitris & Kostas, Efstathiou. (2007). An Integrated Educational Platform Implementing Real, Remote Lab-Experiments for Electrical Engineering Courses. *Journal of Computers*. 2. 10.4304/jcp.2.2.3744.
- Kefalis, Chrysovalantis & Drigas, Athanasios. (2019). Web Based and Online Applications in STEM Education. 10.3991/ijep.v9i4.10691.
- Ko, C.C. & Chen, Ben & Chen, Jianping & Zhuang, YA & Tan, Kay. (2001). Development of a Web-Based Laboratory for Control Experiments on a Coupled Tank Apparatus. *Education, IEEE Transactions on*. 44. 76 - 86. 10.1109/13.912713.
- Kozič, Antoni & Macerauskas, Eugenijus & Sakalys, Paulius. (2016). Remote Laboratory As Conceptual Model Of Blended Learning. *Society. Integration. Education. Proceedings of the International Scientific Conference*. 2. 549. 10.17770/sie2016vol2.1421.
- Kushwah, Ajay & Yadav, Rashmi & Chowdhury, Manojit & Harsha Nag, Ramineni & Carpenter, Gopal. (2023). Harnessing Innovation: Arduino and Raspberry Pi in Agricultural Engineering. 3. 2897-2901. 10.5281/zenodo.10141945.
- Lytvynova, Svitlana & Pinchuk, Olga. (2018). The Evolution of Teaching Methods of Students in Electronic Social Networks.
- Morris, Neil & Ivancheva, Mariya & Coop, Taryn & Jancic Mogliacci, Rada & Swinnerton, Bronwen. (2020). Negotiating growth of online education in higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*. 17. 10.1186/s41239-020-00227-w.
- Orduña, Pablo & Garcia-Zubia, Javier & Rodriguez-Gil, Luis & Angulo, Ignacio & Hernandez, Unai & Dziabenko, O. & López-de-Ipiña, Diego. (2018). The WebLab-Deusto Remote Laboratory Management System Architecture: Achieving Scalability, Interoperability, and Federation of Remote Experimentation. 10.1007/978-3-319-76935-6_2.
- Ozili, T.G. Arun, "Spillover of COVID- 19: Impact on the Global Economy", *SSRN Electronic Journal*.
- Penumadu, Dayakar & Zhao, Rongda & Frost, J.. (2000). Virtual geotechnical laboratory experiments using a simulator. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*. 24. 439 - 451. 10.1002/(SICI)1096-9853(20000425)24:5<439::AID-NAG74>3.0.CO;2-G.
- Raja, R. & Nagasubramani, P.(2018). Impact of modern technology in education. *Journal of Applied and Advanced Research*. 3. 33. 10.21839/jaar.2018.v3iS1.165.
- Rossiter, J. & Pope, S. & Jones, B. & Hedengren, John. (2019). Evaluation and demonstration of take home laboratory kit.
- Silva, Juarez & Schardosim Simão, José & Cristiano, Marta & Cadorin Nicolete, Priscila & Heck, Carine & dos Santos Coelho, Karine. (2016). A DC electric panel remote lab. *International Journal of Online Engineering (ijOE)*. 12. 30. 10.3991/ijoe.v12i04.5096.
- Valentine, Doug. (2002). Distance Learning: Promises, Problems, and Possibilities. *Online Journal of Distance Learning Administration*. 5.
- Venkatesh, Viswanath & Morris, Michael & Davis, Gordon & Davis, Fred. (2003). User Acceptance of Information Technology: Toward a Unified View. *MIS Quarterly*. 27. 425-478. 10.2307/30036540.

Baraj Rezervuarlarında Sedimentasyon ile Mücadele Yöntemleri

Methods to Combat Sedimentation in Dam Reservoirs

Abdulkadir ÜNÜŞTÜ^{1*}, Doç. Dr. Ash ÜLKE KESKİN²

^{1*}19 Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Fakültesi, Samsun, Türkiye

^{2*}19 Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Samsun, Türkiye

ÖZET

Sedimentasyon, Dünya üzerindeki su kaynaklarının güvenliğini tehlikeye sokan ve süreklilik arz eden bir olgudur. Sedimentasyonla mücadele, hem su kaynaklarının ve su üzerindeki yapıların hem de akarsu havzasındaki ekolojik dengenin korunması açısından çok büyük öneme sahiptir. Bu çalışmada sedimentasyonla mücadele dört ana başlığa ayrılarak incelenmiştir. Bu başlıklardan üç tanesi baraj rezervuarı ve bulunduğu havzada alınabilecek önlemlere odaklanırken diğer başlık ise havzanın sediment potansiyeline uygun baraj rezervuarının adaptasyon stratejilerine odaklanmaktadır. Başlıklar altında değinilecek mücadele yöntemleri kapsamlı bir şekilde irdelenmiş ve diğer yöntemlerle kıyaslama yapılmak suretiyle stratejiler arası farklar ortaya konmuştur. Sedimentasyonla mücadele yöntemlerine Dünya üzerinden örnekler de sunulmuştur. Bu çalışma ile bir akarsu havzasının, çevresel şartlarına bağlı olarak uygun sediment mücadele yöntemlerinin tekil ya da kombine şekilde kullanılarak su yapılarının aktif işletme ömrünün uzatılması adına yardımcı rehber niteliği taşıması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: "Baraj ekonomik ömrü, Rezervuar koruma yöntemleri, Sedimentasyonla mücadele, Sediment savakları"

ABSTRACT

Sedimentation is an ongoing phenomenon that endangers the security of water resources on Earth. Combating sedimentation is of great importance in terms of protecting both water resources and structures on water, as well as the ecological balance in the river basin. In this study, combating sedimentation was examined under four main headings. Three of these titles focus on the dam reservoir and the measures that can be taken in the basin in which it is located, while the other title focuses on the adaptation strategies of the dam reservoir suitable for the sediment potential of the basin. The struggle methods to be mentioned under the headings have been examined comprehensively and the differences between the strategies have been revealed by comparing them with other methods. Examples from around the world of methods to combat sedimentation are also presented. This study aims to serve as a helpful guide to extend the active operational life of water structures by using appropriate sediment control methods individually or in combination, depending on the environmental conditions of a river basin.

Keywords: "Dam economic life, Reservoir protection methods, Combating sedimentation, Sediment weirs"

Başvuru: 20.05.2024 Revizyon Talebi: 12.06.2024 Son Revizyon: 13.06.2024 Kabul: 13.06.2024

Doi: 10.51764/smutgd.1486082

^{1*}Sorumlu 19 Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Fakültesi, Samsun, Türkiye,; E-mail: kadirunustu@gmail.com;

ORCID:0009-0001-6961-2705

^{22*}19 Mayıs Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Samsun, Türkiye; E-mail: asli.ulke@omu.edu.tr;

ORCID: 0000-0002-9676-8377

1. GİRİŞ

Barajlar gibi büyük rezervuarlara sahip su yapıları, Dünya'daki sediment taşınımının kesilip, biriktirildiği büyük havuzları oluşturmaktadır. Bu durum akarsu havzalarında, barajların ekonomik ömrünün kısalması, Hidroelektrik santrallerinin türlü biçimde hasar görmesi, su kaynağı yapılarının, görevini yerine getiremeyecek duruma gelmesi gibi anlık veya uzun vadede olumsuz etkilerinin yanında verimli toprakların kaybı ve ekolojik dengenin bozulması gibi türlü sıkıntılara da yol açmaktadır. Konu güncel olarak ele alındığında rezervuarlar, küresel malzeme taşınımının yüzde 26'sına denk gelen 100 milyar metreküpten ton dan fazla malzemeyi tutmaktadır (Syvitski vd., 2005).

Sediment taşınımı, ülkeler için yüksek maliyetli yatırımlar olan baraj gibi yapıların aktif işletme ömrünü hızla tüketmektedir. Yapılan araştırmalar neticesinde, sedimantasyondan dolayı birçok baraj rezervuarında sediment doluluğuna 100 yıl olmadan ulaşacağı ön görülmektedir. (Wisser, D. vd., 2013) Bu durum araştırmacıları, akarsu havzalarındaki sediment yükünün azaltılması veya taşınım hızının yavaşlatılması çalışmalarına yönlendirmiştir.

Önceki çalışmalarda sedimentin kaynakları irdelendiğinde, oransal olarak en büyük payın erozyon kaynaklı sedimantasyona ait olduğu görülmektedir. Erozyonun yavaşlatılabileceği lakin hiçbir zaman tamamiyle önüne geçilemeyeceği gerçeği karşısında, bir akarsu havzasındaki barajın, sediment giriş ve çıkış dengesinin sağlanması, baraj mansabında bulunan delta ovalarının geleceği açısından da çok önemlidir. Bu durum ekolojik denge hususunda, barajları sediment kontrolü açısından da önemli bir noktaya taşımaktadır. Akarsularda tasınan sediment ya da diğer bir deyişle katı madde problemi erozyonun tabii bir sonucu olarak su problemleri arasına girmiştir. Akarsu üzerinde kurulacak depolama tesisleri ve diğer su kontrol yapılarının projelendirilmesinde, akarsuyun tasıdığı sediment miktarının bilinmesine ihtiyaç vardır (Ülke, 2010).

Ülkemizde sediment birikiminin baraj rezervuarlarına etkisi türlü çalışmalara konu olmuş ve incelemeler yapılmıştır. Örnek olarak, Demirköprü Barajı'nın rezervuarına gelen sedimentin hacimsel etkisini tespit etmek adına sediment haritaları ve sediment gözlem istasyonu verileri kullanılmış ve söz konusu baraj rezervuar hacminin %33'ünün kaybedildiği tespit edilmiştir. (Kökpınar, vd., 2010)

Bu durumla ilgili olarak, baraj tasarımı yapılırken, rezervuar ömrü kavramından yola çıkılarak öncelikle hayati boyutlandırmalar yapılması gerekmektedir. Rezervuar ömrü diğer bir karşılığıyla barajın ekonomik ömrü, üzerinde kurulu olmuş olduğu akarsuyun sediment potansiyeline bağlıdır. Barajın ekonomik ömrü, ölü hacmin dolacağı süreye göre tayin edilir. Bu süreç planlanırken 50 yıldan 100 yıla kadar çeşitli süreler, tasarımda konu edinilir. Baraj rezervuarında ölü hacim hesabına ilişkin 2003 yılında yapılan bir çalışmada, Kayseri'de bulunan Yamula Barajı ölü hacim hesabı yapılmış, belirlenen ekonomik ömrün zamanla oluşacak zeminsel hareketlenmelerden ötürü sediment birikimi ile beklenenden daha az süre işletme görebilecek görülmüştür. (Latifoğlu, 2003)

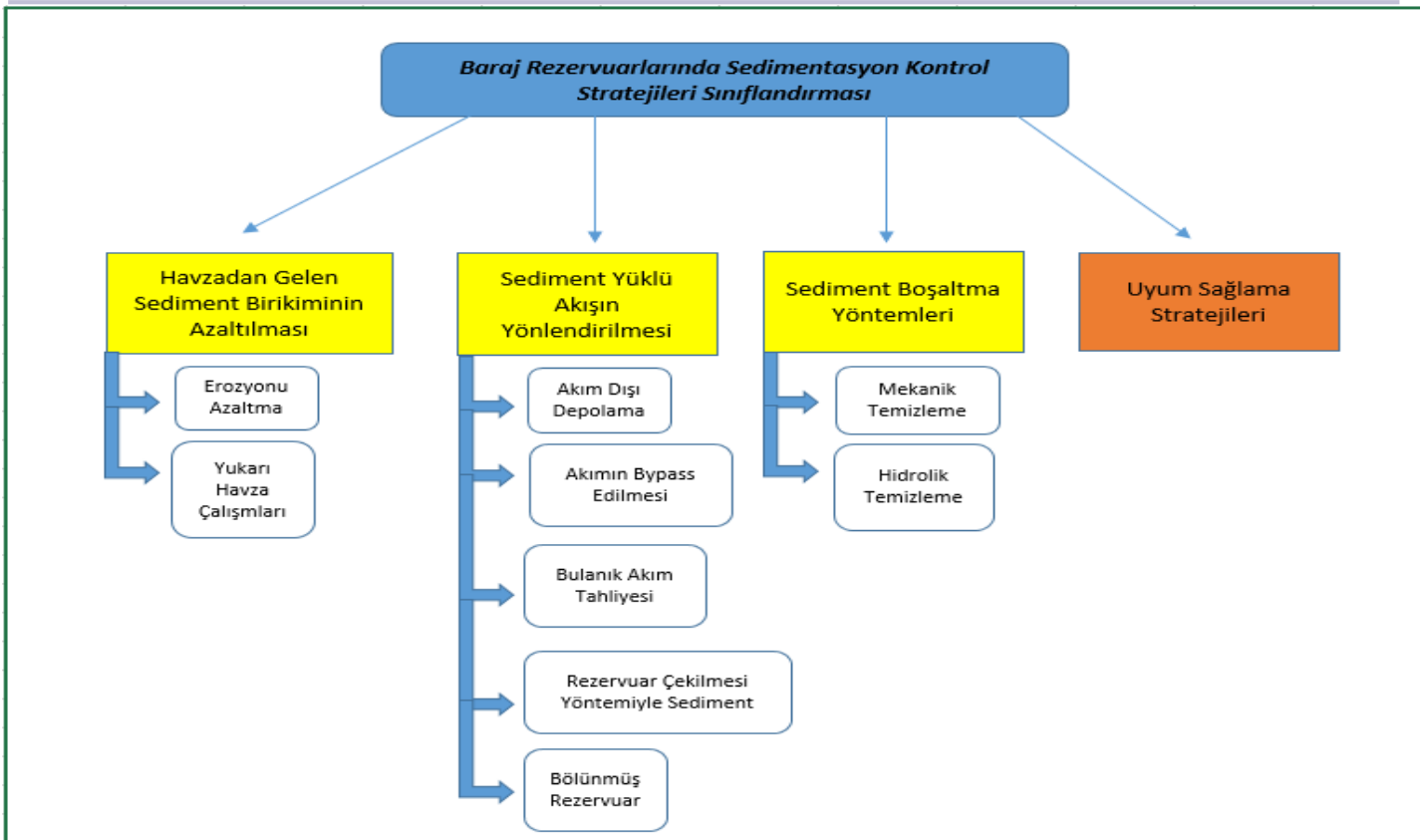
Barajlar, diğer mühendislik yapıları gibi belirli bir ömre sahip olduğundan işletme ve bakım süreçleri çok önemlidir. İşletme ve bakım süreçleri ne kadar bir barajın ömrünü uzatabilirse, bir o kadar da gelecek aşırı bir yağış, heyelan veya aşırı erozyonda bu duruma denk olarak yapının ömrünü hızlı bir şekilde tüketecektir. Bununla birlikte işletme bakım konusunda Morris ve Fan bu konu hakkında şöyle bir tespitte bulunmuşlardır: Yirminci yüzyıl yeni barajların inşasına odaklanırken, yirmi birinci yüzyıl zorunlu olarak mevcut altyapının ömrünü uzatmak için sedimantasyonla mücadeleye odaklanacaktır. (Morris ve Fan,1998)

Geçmişte ve günümüzde yapılan çalışmalar; baraj rezervuar işletmelerinin, uygun sediment yönetimi olmadan fonksiyonlarını tam anlamıyla sürdüremeyeceğini ortaya koymuştur. Makale içerisinde konu edinilen sediment yönetimi stratejilerinin, her bir baraj rezervuarında, içinde bulunduğu hidrolojik, jeolojik ve diğer şartlar ele alınarak değerlendirilmesi gerekliliği belirtilmiştir. Bu doğrultuda, makalenin içermiş olduğu sediment yönetim stratejileri itibarıyla, bir baraj planlamasında ve ön tetkiklerinde, sediment kontrolü sağlanması amacıyla bir rehber niteliğinde olması amaçlanmıştır. Makale kapsamında, rezervuarlarda sediment kontrolü yöntemleri genel anlamda irdelenecek, çalışma prensibi hakkında detay bilgiler verilecek ve güncel uygulama örnekleri sunulacaktır.

2. YÖNTEM VE BULGULAR

2.1 Baraj Rezervuarları İçin Sediment Yönetim Stratejileri Sınıflandırılması

Uygun ve sürdürülebilir sediment yönetimi, çevresel zararı minimize etmenin yanı sıra içme-kullanma veya sulama amaçlı yapılan barajların ve hidroelektrik santralleri gibi su yapılarının uzun dönem faydasının sürekliliğini hedeflemektedir. Uygun sediment yönetimi, bir baraj rezervuarına giren ve çıkan sedimentin, memba-mansap birikme dengesinin kurulmasında da önemli bir rol oynamaktadır. Sediment yönetim stratejileri, genel anlamda dört başlık olarak incelenecektir. İlk üç başlık, rezervuarlarda sedimantasyonu önleme niteliğinde olup bunlar;



Şekil 1. Baraj rezervuarlarında sedimentasyon kontrol stratejilerinin sınıflandırılması

Havzadan gelen sediment birikiminin azaltılması, Sediment yüklü akışın yönlendirilmesi, Sediment boşaltma yöntemleridir. Son başlık ise baraj rezervuarının sediment potansiyeline uyum sağlama yöntemleridir.

Bir baraj rezervuarına uygulanacak uygun strateji belirlenirken, barajın içinde bulunduğu teknik, hidrolik, çevresel ve mevzuata uygunluk gibi şartlarına dikkat edilmesi gerekmektedir. Yukarıda sıralanan yöntemler kısmi veya gereken durumlarda kombine şekilde uygulanabilir. Bunun için öncelikle barajın içinde bulunduğu tüm koşulları kapsayacak nitelikte bir su-rezervuar koruma planı yapılmalıdır.

2.1.1. Havzadan gelen sediment birikiminin azaltılması

a) Erozyonun önlenmesi

Verimli arazilerin kaybına sebebiyet veren, doğal yaşamı oldukça olumsuz yönde etkileyen erozyon, gittikçe artan küresel bir sorun haline gelmiştir. Öyle ki, yirmi birinci yüzyılın ortalarına doğru, Dünya'da ekilebilir alanların yaklaşık %30'unun yitirilmiş durumda olacağı düşünülmektedir (Pimentel, D., vd., 1995). Avrupa Birliği ülkelerinde erozyon tehlikesinin, 12 milyon ha'lık ekilebilir alanın şiddetli erozyon ile karşı karşıya kalması ve mevcut alanların yıllık %0.43'nin kaybına sebebiyet vermesi şeklinde kendini göstermesi beklenmektedir. (Panagos, vd., 2018)

Yukarıda verilen istatistikî bilgiler doğrultusunda, erozyonu önlemek amacıyla öncelikle bir havza ele alınırken yereldeki yağış şartları, havza üzerinde bulunan su yapıları ve en önemlisi ekim ve dikim işi ile uğraşan tarımsal etkenler ile dikkate alınmalıdır. Bununla birlikte ortaya konacak çalışma planı erozyonun yoğun olarak gerçekleştiği havzanın kısımlarını belirgin olarak göstermeli ve uzun vadede tarımsal faaliyet sonucu kendi kendine idame edebilen bir erozyon kontrol planını ortaya koymalıdır. Erozyon kontrol planını oluşturmak adına SWAT (Soil and Water Assessment Tool) ve benzeri paket programlar kullanılarak hedef planlar oluşturulabilmektedir. SWAT, arazi yönetim pratiklerinin farklı toprak türü, arazi kullanımı ve yönetimi koşullarında, su, sediment, zemin üzerindeki uzun sürelerde etkisini tahmin etmek için geliştirilmiş bir havza modelidir (Arnold vd. 1998). Örneğin; Karas (2005), Sakarya Havzası'nda yer alan, ülkemiz şartlarında uzun sayılabilecek sürede verileri elde edilen ve seri düzeyinde toprak etütleri yapmış, toprak, topoğrafya, iklim ve arazi kullanım özellikleri mevcut bir su toplama havzasında SWAT, USLE (Üniversal Toprak Kayıpları Denklemi) ve RUSLE (Revize Üniversal Toprak Kayıpları Denklemi) modellerinin sonuçlarını araştırmıştır. Çalışmada Güvenç Havzası'nın su ve sediment verimleri, dağınık parametrelili bir model olan SWAT kullanılarak tahmin etmiştir. Havzadan akışla ve su erozyonu ile gelebilecek sedimente kaynaklık eden potansiyel toprak kayıplarının havzadaki konumu ve miktarı USLE ve RUSLE modeli CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) ile entegre edilerek tahmin edilmiş ve sonuçta havzaların sürdürülebilir bir yönetimi için alınması gereken toprak koruma önlemlerinin sonuçlarının ve etkinliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Başka

bir örnekte ise; Kuzey Etiyopya da bulunan Debre Yacob Bölgesi'nin yayla olarak kullanılan yüksek kısımlarında geleneksel otlama ve bilinçsiz ekim neticesinde zarar gördüğü ve bu durumun mevcut tarımsal alanın kaybına sebebiyet verdiği tespit edilmiştir. Bu bölgede hayata geçirilen kapsamlı erozyon odaklı planlar oluşturmak amacıyla paket programlarına, alana özgü şartlar tanımlanarak çıktılar alınmış ve neticesinde söz konusu bölge, şu an kendi içinde toprak kaybı olmadan otlama ve ekim yapılabilen verimli tarım alanına dönüştürülmüştür. (Morris, L., 2020)

b)Yukarı havza çalışmaları

En etkili yöntemlerden biri de sedimentin, baraj rezervuarının memba kısmına ulaşmadan yukarı havzada yapılacak sediment tutucu havuzlarda tutulması ya da sedimentin baraj rezervuarına gelişini yavaşlatacak önlemler alınarak zaman kazanılmasıdır. Yukarı havza depolaması, baraj yapımının fazla olduğu bölgelerde sediment verimini sınırlayan temel bir faktördür ve bölgesel sedimantasyon modellemesinde dikkate alınmalıdır (Minear ve Kondolf,2009). Yukarı havza çalışmalarının Dünya genelindeki örnekleri incelendiğinde, ABD'de yaygın olarak karşılaşılan, hem içme-kullanma suyu olarak kullanılabilen hem de sediment biriktirme alanı olarak kullanılan sediment çökeltme havuzlarıdır. (Mekonnen, M. vd. 2015). En az 2,6 milyon sediment tutucu havuz, ABD'nin toplam drenaj alanının %21'inden akışı yakalar ve bu da toplam tabaka ve dere erozyonunun %25'ini temsil etmektedir. (Renwick, W.H. vd. 2005). Bu küçük ölçekli yapılar membada suyun tutulmasını ve erozyon ve benzeri kaynaklı yerinden sökülen malzemenin tutulması veya akışının gecikmesini sağlayan yapılardır. Yaygın olarak, Çin'de de kullanılan bu yapılar, Çin'in Yellow River Nehri'ndeki son derece aşınmaya müsait olan lös eteklerinde, aynı anda toprak erozyonunu kontrol etmek ve verimli tarım arazileri oluşturmak için çeşitli büyüklükte kontrol barajları olarak karşımıza çıkmaktadır. Kontrol barajları, sürüklenen toprak alanları, verimli tarım arazilerine dönüştürmek amacıyla toprağı ve aşırı konsantre akışları hapsetmek için tasarlanmıştır. 1950'lerden bu yana, kontrol barajı niteliğinde farklı ölçeklerde büyüklüğe sahip 110.000'den fazla barajın inşa edildiği, toplamda 210 milyar ton silt tutulduğu ve geniş tarım arazilerinin geri kazanıldığı bildirilmektedir (Hu, C. Vd. 2004).

2.1.2. Sediment yüklü akışın yönlendirilmesi sediment yüklü akışın yönlendirilmesi

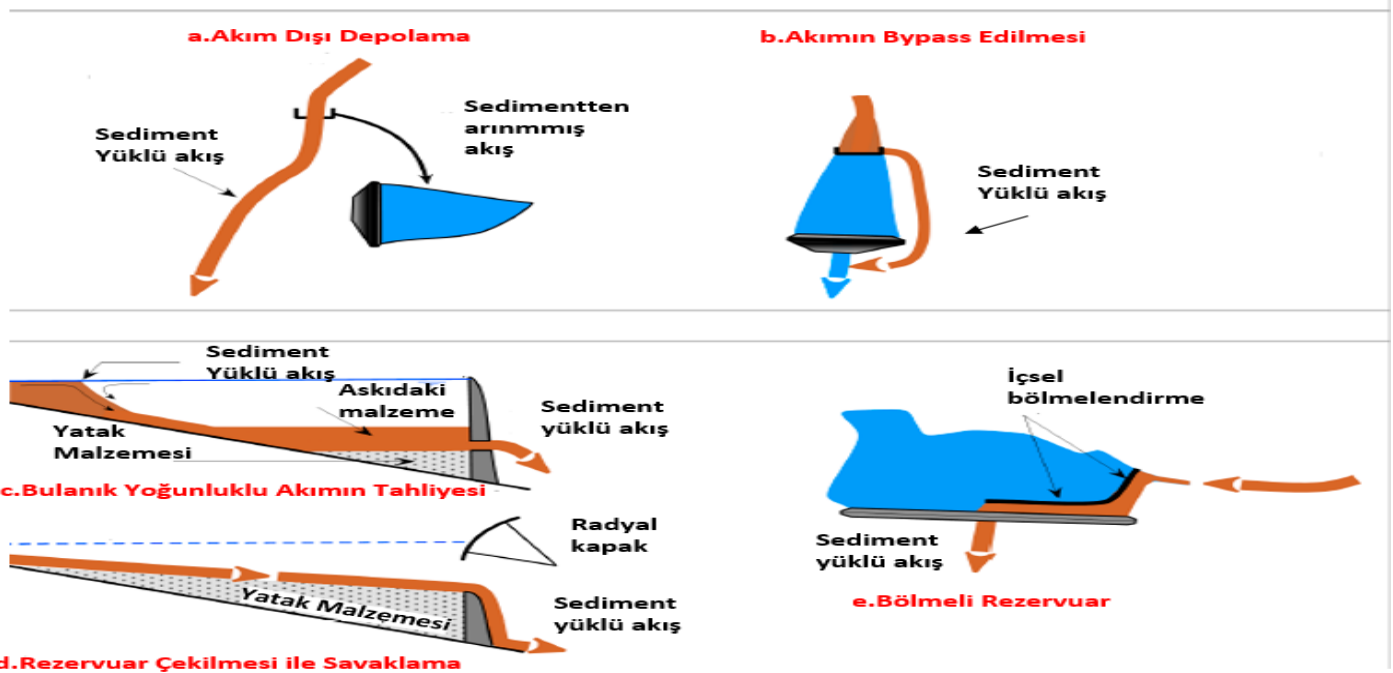
Dünya üzerindeki tüm akarsular taşıdıkları sediment yükü itibariyle farklı zaman aralıklarında değişken miktarlarda sedimenti, akarsu havzasında eğimin az olduğu bölgede biriktirirler. Her ne kadar planlamaya tabi ölçümler sonucu yaklaşık akarsu sediment potansiyelleri ölçülse de bazı durumlarda kısa bir zaman aralığında oldukça yüklü bir sediment taşınımı, akarsu üzerinde bulunan baraj rezervuarının ömrünü çok önceden tüketebilir.

Bölgeye özgü yağış yüksekliği eşiklerini aşan aşırı yağışlar, kapsamlı eğimsel kaymalar başlatabilir (Bogaard, T. vd. 2018) Örneğin, Nepal'deki yoğun 1993 musonu, 85 milyon m³'lük Kulekhani Rezervuarı'nın üzerinde bulunduğu havza yamaçlarında kütle hareketini başlatmış ve "normal" hidrolojik koşullar için yaklaşık 100 yıllık sedimantasyona eşdeğer bir depolama kaybına neden olmuştur. Olaydan üç yıl sonra, sediment verimleri olay öncesi seviyelerine geri dönmüştür. (Shrestha, H.S. 2012). Benzer şekilde, Porto Riko'daki 55 milyon m³'lük Caonillas Rezervuarı'nda, Hortense (1996) ve Georges (1998) kasırgaları, ilk 50 yıllık su tutmaya eşit bir kapasite kaybına neden olmuştur. (Soler-López, L.R. 2001).

Tablo 1. Sediment yönlendirme stratejileri ve yönetim şekilleri

<i>Strateji</i>	<i>Yönetim Şekli</i>
Sedimentin Bypass Edilmesi	
(a) Akım Dışı Depolama	Temiz su depolamaya yönlendirilir.
(b) Akımın Bypass Edilmesi	Sediment yüklü akım, sediment tüneli yardımıyla atılır.
Sedimeti Akıştan Ayırma Yöntemleri	
(c) Bulanık Akım Tahliyesi	Yoğunluk farkı sayesinde çökelmiş malzeme akışkandan ayrılır.
(d) Rezervuar Çekilmesi Yöntemiyle Sediment Savaklama	Taşkın dönemlerindedeki rezervuardaki su seviyesinin azaltılmasıyla dipsavaktan atılım sağlanır.
(e) Bölünmüş Rezervuar	Rezervuar içinde oluşturulacak bölümler ile yoğunluk ve su seviyesi farkı yardımıyla malzeme ve su farklı bölümlere yönlendirilir.

Yukarıda bahsi geçen örneklere karşın; sediment yönlendirme stratejileri, kısaca sediment yüklü akışın minimum biriktirme ile depolama alanını boyunca veya çevresinden akmasını sağlamak böylece temiz akışın depolama alanına yönlendirilirken, sedimentin, akış güzergâhına devam etmesini sağlamak olarak nitelendirilebilir. Beş temel yönlendirme stratejisi ve çalışma görselleri Tablo 1’de belirtilmiştir.



Şekil 2. Sediment yönlendirme yöntemleri temsili gösterimleri

a) Akım Dışı Depolama (Offstream Reservoir)

Akım dışı depolama, bir akarsu havzasının memba tarafında, ana akışın dışında konumlandırılacak şekilde sedimentten ayrılmış suyu biriktirmek amacıyla yapılmış küçük rezervuarlar vasıtasıyla elde edilir. Yerçekimi veya pompaj sayesinde ayrılmış temiz su depolama alanına yönlendirilirken sediment yüklü akış akarsu vasıtasıyla güzergâh boyunca akmaya devam eder. Günlük kullanımda sık karşılaşılan bu depolama şekli, Porto Riko’da inşa edilen Rio Fajardo ve Rio Blanco Akım Dışı Depolamaları ile yerel halkın temiz su ihtiyacı karşılanırken, bu sayede sedimentin %90’nını temizlediği tespit edilmiştir (Morris, 2010).

Ayrıca bazı HES yapılarında büyük ebatlı sedimentin tribünlere zarar vermemesi amacıyla da akım dışı depolama şekli kullanıldığı bilinmektedir. Kolombiya’da San Fransisco, Şili’de Tinguiririca ve Bolivya’daki Hidro San Jose bunlardan birkaçıdır.

Akım dışı depolama, büyük çapta sedimenti rezervuarda depolamak yerine akarsu yatağında bırakarak hem depolama yapısının ekonomik ömrünü tüketmemekte hem de delta ovalarının korunması ile birlikte ekolojik dengeye de katkıda bulunmaktadır. Bu şekilde hem ekonomik anlamda bir avantaj sağlanırken hem de sediment kaynaklı ekolojik deformasyon riskide önlenmiş olmaktadır.

b) Akımın Bypass Edilmesi (Sediment Bypass Tüneli (SBT))

Akımın Bypass edilmesi, depolama yapısının altından bir tünel vasıtasıyla sediment yüklü akışın, biriktirme yapmadan geçişine izin verilmesiyle sağlanır. Bypass sistemli barajlarda tipik olarak sediment bypass tüneli (SBT) bulunur ve bu tüneller, çoğunlukla Güney Afrika’daki Nagle Rezervuarı’ndaki gibi yüksek kapasiteli şekilde inşa edilmektedir. Bypass sisteminde, gelen yatak malzemesini veya askıdaki malzemeyi yönlendirmek amacıyla yönlendirme savağı ve kılavuz kanal yapıları bulunmaktadır.

Bypass tüneli bulunan barajlara örnek olarak Dünya’da 30’a yakın yapı olmakla birlikte günümüzde bu yapılara ilgi artmaktadır. Barajların rehabilitesinde dahi kullanılmaya başlanan bu tünel sistemi, suyun maksimum hızına göre tasarlanmakta ve günümüzde uzunluğu 4.3 km’ye varan örneklerine rastlanmaktadır. En eski sediment bypass tüneli örneği, 1905’te inşa edilen Karasuhara (Japonya) depolamasıdır (Reed, O., 1931).

Akımın barajlarda bypass edilmesi, yönlendirme savağının konumu ve yönlendirilen malzeme itibarıyla günümüzde üç tip şekilde bulunmaktadır. Şekil 2.'de gösterilen bu tiplerden, en yaygın olarak kullanılan şekli Tip-A'dır(Onda, C., vd., 2018).

Tip-A sediment bypass tüneli sisteminde, yönlendirme savağı rezervuarın en memba tarafına konumlandırılır ve yüksek akımda batık duruma gelen savak hem taşınım halinde olan yatak malzemesini hem de askıdaki malzemeyi tünele yönlendirir. Akım hızı yavaşladıkça büyük çaptaki malzeme ayrılarak çökler. Bu durum, rezervuarın membasında bulunan tünelin girişinde diğer bir yüksek debili akıma kadar yatak malzemesini oluşturur. Böylelikle anlık yüklenmeden ötürü oluşabilecek taşkın da önlenmiş olur. (Sumi, T., vd., 2016).

İkinci konfigürasyonda gösterilmiş olan Tip-B'de ise Tünelin girişi daha çok rezervuarın dipsavak kısmına yakın teşkil edilerek tünelin boyu kısaltılmış olur. Bu tip SBT'de sürekli yatak malzemesinin taşınımı tünel vasıtasıyla sağlanmış belirli seviyedeki askıdaki malzemenin ise serbest dolaşımına izin verilmektedir. Bu tip SBT örneği ise The Solis Hidroelektrik Santrali (İsviçre)'de görülmektedir. (Auel, C. vd. 2020)

Son olarak Tip-C'de ise yönlendirme savağı iptal edilerek yatak malzemesinin tünel girişine kadar birikmesine izin verilir dipsavaktan atılımı sağlanır. Bu tip bir sonraki başlık konusu olan bulanık yoğunluklu akımların tahliyesine örnek olacak olan Tayland'da bulunan Shihmen Rezervuarında görülmektedir(Morris, L., 2020).

	Yatak malzemesi	Yatak Yükü ve Delta kontrolü	Minimum işletme kotu altına kadar çekilme var mı?	Yatak yükü ayrılıyor mu?	Malzeme salınım stratejisi
Tip-A	Sediment Bypass Tüneli Saptırma Savağı Yatak malzemesi SBT ile atılır	Yatak yükü rezervuarın membada ayrılır.	Bypass için çekilmeye gerek yoktur.	Evet	Yatak ve askıdaki malzeme SBT ile yıkanır.
Tip-B	İşletme kotu SBT ile yıkama kotu Yatak malzemesi	Delta kontrolü saptırma savağı ile sağlanır.	Proje tasarımına bağlı olarak değişir.	Hayır	Yatak ve askıdaki malzeme SBT ile yıkanır.
Tip-C	Yatak profili yıkama vasıyasıyla kontrol altındadır. Yatak malzemesi yıkama ile atılır	Yatak yükü ve delta oluşumu yıkama ile kontrol altına alınır.	Bypass için çekilmeye gerek yoktur.	Evet	Askıdaki malzeme SBT ile savaklanırken, Yatak malzemesi dipsavak ile atılır.

Şekil 3. Akımın bypass edilme türleri (Tip A, Tip B ve Tip C)

c) Bulanık Akım Tahliyesi

Bulanık akımın tahliyesi, bulanıklığı oluşturan askıdaki malzemenin su ile oluşacak yoğunluk farkından dolayı rezervuarın tabanına çökmesi ardından gerçekleşir. Yukarıdan bakıldığında çamurlu bir suyun ilerlemesi şeklinde görülen bulanık akımlar uygun koşullar altında kilometrelerce ilerleyebilir. Akımın hızı ve sıcaklık koşulları ile birlikte hızı azalan sediment malzemesi rezervuar tabanına çökecektir. Tabanda çökelen malzeme, rezervuar zemininde yayılır. Yayılan bu malzeme kılavuz kanal vasıtasıyla barajın dipsavağından atılır. Kılavuz kanalın eğriliğinden ötürü fil hortumu olarak da adlandırılır. Tayvan'da bulunan Zengwen Rezervuarı bu tip tahliye ye örnektir(Chiun-Chau, S., 2019)

d) Rezervuar Çekilmesi Yöntemiyle Sediment Savaklama

Rezervuar çekilmesi yöntemiyle sediment savaklama, taşkın sırasındaki sediment taşınımının gölet rezervuarında birikme yapmamasına odaklanmaktadır. Rezervuardaki su seviyesi azaltılarak akış hızı artırılır ve sedimentin mansaba bırakılması sağlanır. Bu sayede sediment tutulumu ve sediment sıkışması önlenmiş olur. Rezervuar Çekilmesi Yöntemiyle Sediment Savaklama yöntemi başka bir strateji ile mukayese edildiğinde taşkın durumlarında, sedimentin bypass edilmesi stratejisi de uygun olabilir. İki sistem arasındaki fark, bypass sisteminde sediment yüklü akış, temiz akıştan ayrılırken, rezervuar çekilmesinde tüm akış mansaba bırakılması olarak

karşımıza çıkmaktadır. (Morris, L., 2020).

Savaklama olayı, hidrolojik anlamda küçük depolamalı barajlarda en etkin yöntemlerden biri olmakla birlikte mevcut Japonya'daki beton barajlarda kapakların taşkın sırasında açılması yardımıyla bu yöntem efektif olarak kullanılır. Sedimentin rezervuar çekilmesi yöntemiyle savaklanması her ne kadar az da olsa rezervuardaki daha önce depolanmış sedimenti temizlese de, sediment yıkama yönteminde işleneceği gibi tümüyle temizlemeyi hedeflemez. Asıl hedef giren sedimentin, çıkan sedimentle dengesini koruyarak herhangi bir birikmeyi önlemektir. Savaklama ve yıkama yöntemi arasındaki farklar aşağıda belirtilmiştir.

Tablo 2. Savaklama ve yıkama yöntemleri arasındaki farklar

Parametre	Savaklama	Yıkama
Zamanlama	Taşkın zamanları çalışır.	Taşkına gerek yoktur. Planlanmış bir tarihte gerçekleşebilir.
Dipsavak Kapasitesi	Minimum su ile büyük taşkınları atabilir.	Dipsavak kapasitesi kadar akış gerekmektedir.
Sediment Deşarjı	Sediment girişi yaklaşık olarak çıkışına eşit miktardadır.	Sediment çıkışı, sediment girişinden fazladır.
Kaybedilen Kapasitenin Geri Kazanılması	Yıllık sediment birikimi devam eder.	İşlem sonucunda kapasite artar.
Mansap Kanalındaki Biriktirme	Büyük taşkınlar sonucu kanalda birikmeler olabilir	İhtiyaç duyulduğu takdirde yıkama sonrası temiz su ile yıkama olacağından birikme olmaz.
Sediment Yoğunluğunun Ani Artışı	Ani bir şekilde aşırı sediment yoğunluğu oluşmaz.	Su seviyesi düştükçe sediment yoğunluğu, hızlı bir şekilde pik seviyeye ulaşır.

e) Bölmeli Rezervuar

Bazı durumlarda, depolama yapısına giren sediment yüklü akışı düzenlemek adına, rezervuarın, inşa edilecek içsel bir bariyer yardımıyla tek rezervuarda iki ayrı depolama davranışı göstermesi mümkün kılınabilir. Elde edilen bölme sayesinde daha düşük kotlarda bulunan sediment çökerek yönlendirme sağlanacak ve sedimentten arınmış suyun farklı bölmeye aktarılması sağlanacaktır. Bu yapı örneği, Endonezya'da bulunan Wonogiri Depolması'nda



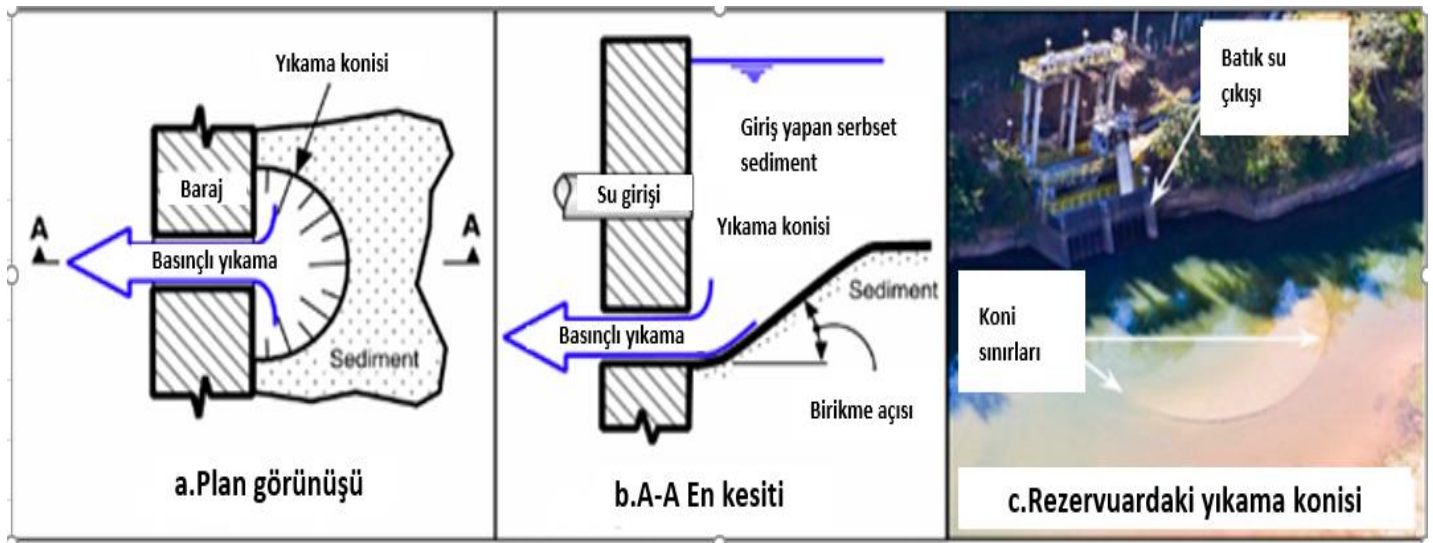
Şekil 3. Bölmeli rezervuar örneği

mevcuttur. Şekil 3'de bölmeli rezervuar tatbiki örnek olarak uydu görüntüsü verilen baraj, 1981 yılında, faaliyete geçtikten kısa bir süre sonra hızla sediment dolmaya başlamış, topografyasının da müsait olmasıyla inşa edilen içsel bariyer sayesinde sediment birikimi önlenmiştir. İçsel bariyere ilaveten teşkil edilen iki adet dolusavak çıkışı söz konusu akarsu üzerinde sediment kontrolünü sağlamıştır. (Jayadi, R. 2018)

2.1.3.Sediment boşaltma yöntemleri

a) Basınçlı sediment yıkama yöntemi

Kavramsal olarak yıkama yöntemi, daha önceden depolanmış olan malzemenin, oluşacak hidrolik yıkama kanalı ile temizlenmesi anlamına gelmektedir. (Morris L., 2020).Basınçlı yıkama ise rezervuar su seviyesinin yüksek olması durumunda dipsavak veya benzeri bir alt kot çıkışının açılması vasıtasıyla oluşacak hidrolik yıkama kanalı vasıtasıyla rezervuardan uzaklaştırılmasıdır. Yıkama aşamaları aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 4. Basınçlı yıkama sistematiği

b) Boşaltma yapılarak yıkama

Boşaltma yapılarak yıkama veya daha temel anlamıyla yıkama işlemi, rezervuar dipsavağının açılıp sonrasında nehir akışı marifetiyle boşaltılması yardımıyla sırasıyla askıdaki malzemenin ve çökelen malzemenin uzaklaştırılmasıdır. Yıkama işlemi üç aşamadan oluşur.(Morris ve Fan, 1998)

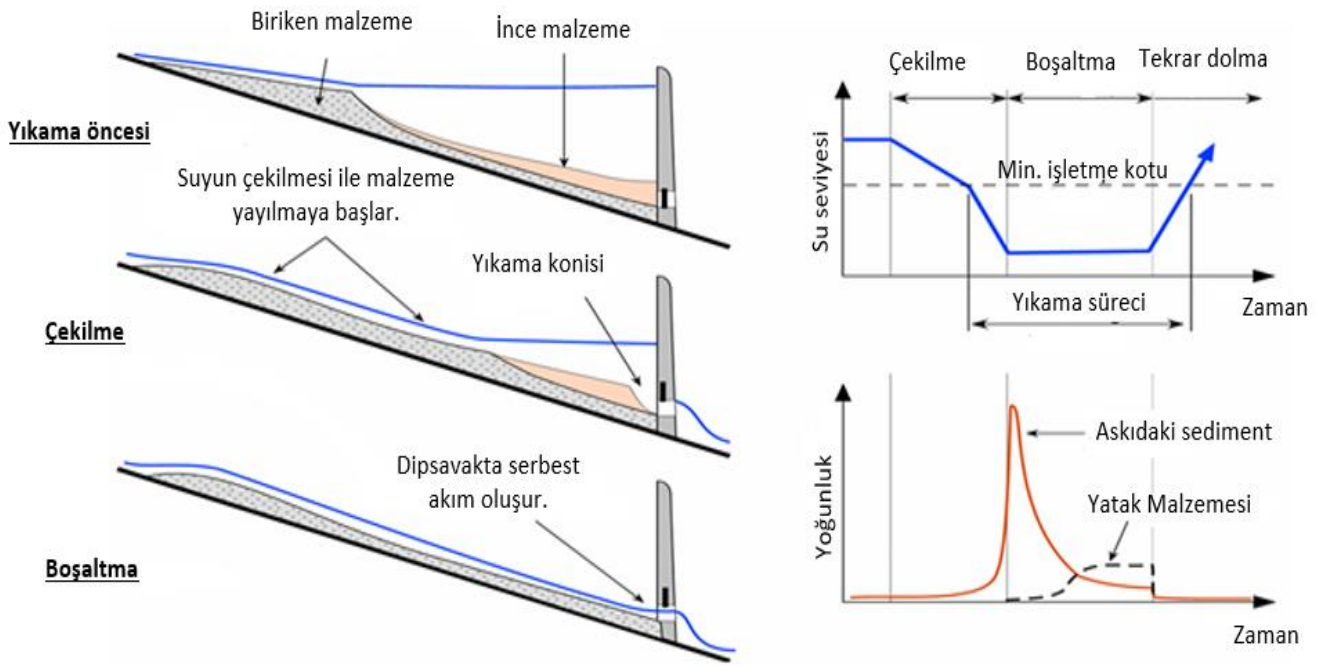
1.Çekilme: Dipsavak kapağının veya vanasının açılması ile suyun tahliyesi başlar. Bu etapta malzemenin tahliyesi yavaş ve miktarı azdır. Sediment, nehir akışının yardımıyla dipsavağın orada toplanmaya ve az da olsa oluşan hidrolik akımla meydana gelen yıkama konisi yardımıyla atılmaya başlanır.

2.Boşaltma: Aşağıdaki Şekil 5'te gösterildiği gibi akım serbest akış seviyesine iner, malzemenin tamamen tahliyesi tamamlanır.

3.Tekrar Doldurma: Rezervuar tekrar doldurulmaya başlandığı evredir. Burada dikkat edilmesi gereken tekrar gelecek malzemenin kontrollü bir şekilde birikimi sağlanmalı, gerekirse dipsavak kademeli olarak kapatılır.

Yıkama işleminin yapılacağı mevsim belirli planlamaya göre yapılmalıdır. Akışın azaldığı mevsimler yerine akış yüksek olduğu dönemlerde daha efektif sonuçlar elde edilecektir. Bir diğer husus da yörede bulunan canlı yaşamı ve ekolojik denge olup aynı nehir üzerinde bulunan diğer su yapılarının da etkileneceği düşünülerek daha kapsamlı bir yıkama planı oluşturulmalıdır.

Sonuç olarak yıkama ve savaklamada benzer yöntemler gibi görünse de içerdiği farklı teknikler, bıraktığı su ve malzeme miktarı yönünden ayrılmaktadır. En önemli fark ise savaklama olup, yüksek yoğunluklu sedimente sahip akışları yönetmede yıkama yöntemi kadar başarılı değildir.



Şekil 5. Boşaltma yapılarak yıkama sistematığı

c) Kazma İşlemi

Daha çok kuru mevsimlerde tercih edilen bu yöntem, rezervuar suyunun çekilmesi ile mümkün olabileceğinden, yağış olmayan kurak mevsimler tercih edilir. Düşük su kotlarında özellikle büyük çapta sediment türlü hafriyat araçları ile yerinden sökülerek uygun depo sahalarına taşınır. Yeterli drenaj sağlanmadığı takdirde bu işlem sırasında ince malzemenin rezervuar alanından uzaklaştırılması güçleşir.

d) Tarama İşlemi

Tarama işlemi, su içerisinde askıda veya yüzen malzemenin belirli teçhizatlarla alınması işlemidir. İki tip tarama işlemi yapılmaktadır. Bunlardan ilki mekanik sistemlerle tarama ikincisi ise hidrolik sistemlerle yapılan tarama işlemidir.

Mekanik sistemlerle tarama işlemi salma olarak da tabir edilen makinelerin ucunda asılı olan sepeti su içerisine daldırması ile yapılan tarama ve temizleme işlemidir.

Hidrolik sistemlerle tarama işlemi ise su ile karışık olan sedimentin borulu sistemler vasıtası ve piyezometrik seviye yardımıyla bir sifon yapısına çekilip ayrıştırılmasıdır. Çoğu rezervuarda tarama işlemi hidrolik sistemlerle yapılır. Bu sistemde, su kaybı veya rezervuarı işletme kesintisine uğratmadan sifon veya hidrolik pompaj sistemi ile suyun malzemeden ayrılması sağlanır (Hotchkiss,1995).

Tarama sonrasında ortaya çıkan susuzlaştırılmış malzeme uygun bir yerde depolanarak ticari gelir elde etmede veya bol miktarda içerdiği mineral sayesinde verimli tarım arazileri olarak kullanılmaktadır. Örneğin; ABD'deki Springfield Gölü'nden elde edilen susuzlaştırılmış çökeltiler daha sonra tarım arazisi olarak kullanılmıştır. (Morris ve Fan,1998).



Şekil 6. Melet Irmağı temizleme çalışmalarından bir kesit (DSİ, 2020)



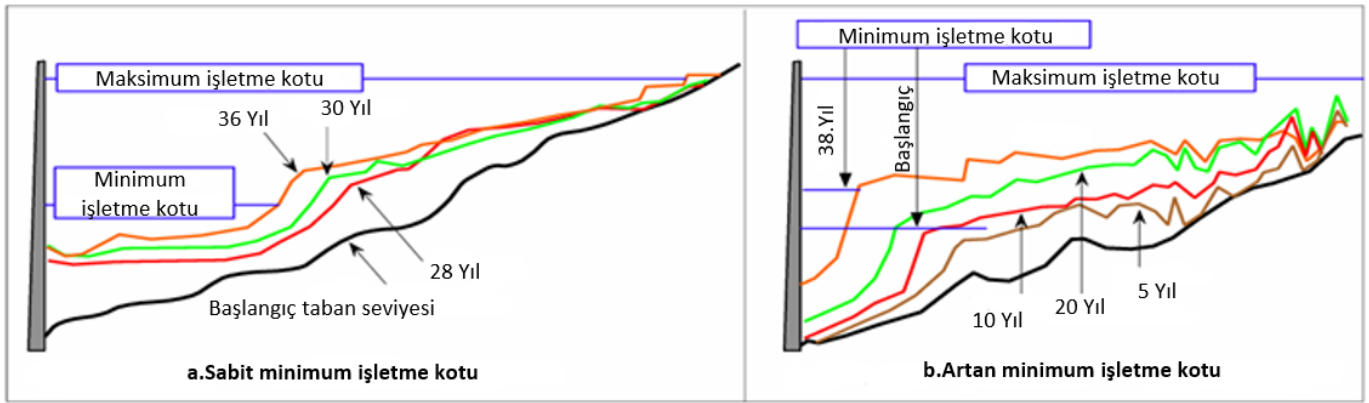
Şekil 7. Hidrolik yıkama sistemleri örneği

2.1.4.Uyum sağlama stratejileri

Uyum sağlama stratejileri, sediment dengesini sağlamak yerine daha çok sedimentin bir rezervuardaki etkilerini azaltmayı hedeflemekte olup, beş başlık altında incelenebilir.

a) Sediment dağılımını düzenlemek

Bir barajın işletilmesi sırasında belirlenen minimum işletme seviyesi sedimentin rezervuar alanındaki yerleşimi açısından önemlidir. Belirlenen minimum işletme kotuna kadar çekilen rezervuarda sediment her sene düzenli olarak yeniden yerleşim sağlayarak ertesi sene gelecek akımlarla mevcut sedimentin nispeten zayıf olanlarının sökülüp tekrar yerleştirilmesi ile kümülatif olarak artacaktır. Bu durumun aksine seçilecek daha yüksek bir minimum işletme kotu, kot yükseldikçe artan alandan ötürü sedimentin daha geniş alana daha düzenli bir şekilde yerleşmesini sağlayacak ve işletme ömrünü uzatacaktır (Morris, L., 2020). Uygulama örneği Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. İşletme kotu farklılığının etkisinin grafiksel gösterimi, Tarbela Rezervuarı, Pakistan)

b) Depolama kapasitesinin artırılması

Alt yapısı veya topografyası müsait olan rezervuarlarda aynı akarsu üzerine inşa edilebilecek bir depolama yapısı ile tutulacak malzeme ile mevcut barajın ömrü uzatılabilir.

c) İşletme planını geliştirmek

Eğimin fazla olduğu yörelerde, mevcut baraj rezervuarlarındaki sedimentasyonu azaltmak amacıyla yapılmış olan regülatör, bent gibi su tutucu havuzlarda işletme limitleri, başka bir deyişle tutulacak veya geçişine izin verilecek malzeme miktarları tekrar gözden geçirilerek, söz konusu baraj rezervuarlarındaki sediment kontrolü sağlanabilir. Örneğin, bir baraj membağında bulunan taşkın kontrol havuzunda tutulan malzeme miktarı, aynı barajın mansabında bulunan başka su tutucu yapıdaki malzeme miktarından genellikle çok olacaktır. Bu durum baraja gelen sediment tutulumunu azaltacağı için rezervuar hacmi daha hızlı dolacaktır. Aksi durumda membadaki su tutucu havuzun kontrollü bir şekilde kullanılıp mansaba aktarılması durumunda havuzlar arası eşit dağılım olacağından barajın rezervuarı daha geç dolacak ve ekonomik ömrü uzayacaktır. Mevcut barajların ve su tutucu havuzların işletme planları gözden geçirilerek daha ucuz maliyetli sediment kontrolü yapılabilecektir (Kantoush, S.A., 2017)

d) Baraj ekipmanlarının modifiyesi

Sedimentin bazı durumlarda kontrol altına alınmadığı takdirde su alma yapılarına, dolusavaklara, ızgaralı geçişlere veya HES'lerdeki birçok ekipmana zarar verebilir. İnce malzeme çoğunlukla kabul edilebilir olsa da daha büyük çaptaki malzeme aşındırıcı etkiye sahip olmakla birlikte özellikle bir hidroelektrik santralde bulunan tribün yapısına zarar verebilir. Çözüm olarak ise gelen sedimente maruz kalacak yapılar aşındırma dirençli kaplamalar yapılabilir ve yahut su alma yapıları belirli seviye yükseltilerek en azından gelen malzemenin ilk giriş hızı düşürülerek aşındırma etkisi azaltılabilir.

e)Su kullanımının düzenlenmesi

Rezervuar kapasitelerinin azalması en genel anlamda suya erişimin tehlikeye ya da su menşei ekonomik faaliyetlerin sekteye uğramasına sebep olmaktadır. Su odaklı ekonomilerde suyun korunması adına tüm paydaşların bilinçli davranması gerekmektedir. Örneğin yeraltı suyu kullanımı, ülkemizde olduğu gibi bir mevzuata sahip olması bilinçsiz tüketiminin önüne geçerek yeraltı sularının korunmasını sağlamaktadır. Öte yandan suyun kısıtlı olduğu alanlarda, su ihtiyacının fazla olduğu ürünlerden ziyade az su ile daha çok getiri sağlanacak ürünlere teşvik yapılabilir.

3.SONUÇ

Bu çalışmada incelenen sedimentasyonla mücadele stratejileri, tekli veya kombine şekilde farklı durumlar için kullanılabilir. Hangi stratejinin hangi havzada daha uygun olacağı, geniş bir irdeleme ve alanının özelliklerini içeren tanımlama ile mümkün olabilecektir. Bir havzada bulunan akarsu, barajların sayısı ve kapasitesi, kullanımda bulunan su miktarı, hava sıcaklıkları vb. şartlar tanımlandıktan sonra uygun strateji veya stratejiler rezervuara uygunlanmalıdır. Oluşan şartları daha iyi tanımlayabilmek için SWAT gibi uygun paket programlarda kullanılabilir. Sonrasında bir baraj rezervuarını veya bir akarsu boyunca bulunan tüm su tutan rezervuar yapılarını etkileyen sedimentasyonun, giriş ve çıkış arası dengeyi sağlayabilmek adına çalışma yapılarak hem ekolojik denge sağlanabilir hemde yüksek maliyetli çalışmalardan ülkeler ekonomik olarak kaçınılabilir.

Ancak, jeolojik devrim hiçbir zaman durmayacağı gibi bu sebepli malzeme taşınımında hiçbir zaman durmayacaktır. Özellikle makalenin başında bahsi geçen ülkelere büyük kayıplar yaşatan erozyon insan yaşamıyla birlikte sürekli var olacaktır. Bu sebepten ötürüdür ki bir sedimentin taşınımının önlenmesinden ziyade bahse konu olacak akarsu havzada memba ve mansap sediment dengesinin korunması daha gerçekçi ve uygulanabilir bir yöntem olacaktır. Sonuç olarak; bir baraj tasarımı planlanırken, sedimentin planlamamasının yapılması hayati önem taşımaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı Beyanı

Makale yazarları, makaleye eşit miktarda katkı sağlamışlardır.

KAYNAKLAR

- Auel, C., Berchtold, T., & Boes, R. (2010). Sediment management in the Solis reservoir using a bypass tunnel. In Proceedings of the 8th ICOLD European Club Symposium, 22–23 September 2010, Innsbruck, Austria (pp. 438–443). Retrieved from <https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/27077>
- Bogaard, T., & Greco, R. (2018). Invited perspectives: Hydrological perspectives on precipitation intensity-duration thresholds for landslide initiation: Proposing hydro-meteorological thresholds. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18, 31–39. *environment, Science*, 314, 1442–1445, doi:10.1126/science.1132027.
- Chiun-Chau, S., Chun-Shen, C., & Chun-Hung, C. (2019). Analysis of turbidity currents movement in Tzengwen Reservoir (Taiwan). In Proceedings of the 3rd International Workshop on Sediment Bypass Tunnels, Taipei, Taiwan, 9–12 April 2019. Taipei, Taiwan: National Taiwan University.
- Hu, C., Wu, D., Jayakumar, R., & Ajisawa, S. (2004). *Warping Dams Construction and its Effects on Environment, Economy, and Society in Loess Plateau Region of China*. Beijing, China: International Research and Training Center on Erosion and Sedimentation.
- J.G. Arnold, R. Srinivasan, R.S. Muttiah, J.R. Williams, Large area hydrologic modeling and assessment. Part I: Model development. *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 34 (1) (1998)73–89.doi:10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x
- Jayadi, R.; Istiarto; Pradipta, A.G. Impact of sedimentation counter measure on the performance of flood control: A case study of Wonogiri reservoir. *Appl. Mech. Mater.* 2018, 881, 78–85.
- Karaş, E. (2005). Küçükalmalı ve Güvenç Havzalarının Su ve Sediment Verimlerine Göre Sürdürülebilir Yönetimi. *Tarımsal Yapılar ve Sulama Anabilim Dalı*, Ankara.

- Kantoush, S.A.; Sumi, T. The aging of Japan's dams: Innovative technologies for improving dams water and sediment management. In *River Sedimentation, Proceedings of the 13th International Symposium on River Sedimentation, ISRS 2016, Stuttgart, Germany, 19-22 September 2016*; CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 2017; pp. 1030-1037, ISBN 978-1-317-22531-7.
- Kokpinar, M. A., Kumcu, S. Y., AltanSakarya, A. B., Gogus, M., 2010. Reservoir Sedimentation in the Demirkopru Dam, Turkey, *Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics, River Flow 2010, Braunschweig, 2*, 1125-1130.
- Latifoğlu, L. (2003), Barajlarda ölü hacim hesabı ve Yamula Barajı örneği, Erciyes Üniversitesi, Kayseri.
- Mekonnen, M., Keesstra, S.D., Stroosnijder, L., Baartman, J.E.M., & Maroulis, J. (2015). Soil Conservation Through Sediment Trapping: A Review. *Land Degradation & Development*, 26, 544-556.
- Minear, J.T., & Kondolf, G.M. (2009). Estimating reservoir sedimentation rates at large spatial and temporal scales: A case study of California: Technical note. *Water Resources Research*, 45.
- Morris, G.L. (2010). Offstream Reservoirs for Sustainable Water Supply in Puerto Rico. In *Proceedings of the American Water Resources Association: 2010 AWRA Summer Specialty Conference, 30 August-1 September 2010, San Juan, PR, USA*.
- Morris, G.L., & Fan, J. (1998). *Reservoir sedimentation handbook*. New York, NY, USA: McGraw-Hill Book, Co
- Morris, G.L. (2020). Classification of Management Alternatives to Combat Reservoir Sedimentation. GLM Engineering PSC, San Juan, PR 00907, USA. Email: gmorris@glmengineers.com. Received: 9 January 2020; Accepted: 13 March 2020; Published: 19 March 2020.
- Onda, C.; Sumi, T.; Asahi, T. Planning and analysis of sedimentation countermeasures in hydropower dams considering properties of reservoir sedimentation. *J. Disaster Res.* 2018, 13, 702-708.
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saouri, R., (1995). Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science*, 267, 1117-1123.
- Reed, O. Swiss methods of avoiding silt deposits in reservoirs. *Eng. News Rec.* 1931, 8, 289-290.
- Renwick, W.H., Smith, S.V., Bartley, J.D., & Buddemeier, R.W. (2005). The role of impoundments in the sediment budget of the conterminous United States. *Geomorphology*, 71, 99-111.
- Shrestha, H.S. (2012). *Sedimentation and Sediment Handling in Himalayan Reservoirs*. Trondheim, Norway: Norwegian University of Science & Technology.
- Soler-López, L.R. (2001). *Sedimentation Survey of Lago Caonillas, Puerto Rico, February 2000*. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Map 3368. San Juan, PR, USA.
- Sumi, T.; Yoshimura, T.; Asazaki, K.; Sato, T. Retrofitting and Change in Operations of Cascade Dams to Facilitate Sediment Sluicing in the Mimikawa River Basin; ICOLD Congress: Stavanger, Norway, June 2015; Volume Q99-R45, pp. 597-611; International Congress on Large Dams: Paris, France, 2015.
- Syvitski, J.P.M., Vörösmarty, C.J., Kettner, A.J., & Green, P. (2005). Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. *Science*, 308, 376-380. [CrossRef] [PubMed]
- Ülke, A. (2010). Ege Bölgesi doğal akarsularında kati madde taşınımı için ampirik, regresyon ve yapay zeka yöntemlerinin uygulanması [Doktora tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik-Hidroloji ve Su Kaynakları Anabilim Dalı].
- Wisser, D., Frohling, S., Hagen, S., & Bierkens, M.F.P. (2013). Beyond peak reservoir storage? A global estimate of declining water storage capacity in large reservoirs. *Water Resources Research*, 49, 5732-5739. [CrossRef]Goswami, B. N., V. Venugopal, D. Sengupta, M. S. Madhusoodan, and P. K. Xavier (2006), Increasing trends of extreme rain events over India in a warming environment, *Science*, 314, 1442-1445, doi:10.1126/science.1132027.

Çevre Dostu Mimarlık İçin Ahşap Malzemede Bitkisel Emprenye Çözümleri Üzerine Bir Araştırma A Research on Plant-Based Impregnation Solutions to Wooden Materials for Eco-Friendly Architecture

Z. Sevgen PERKER^{1*}, Habibe ÖZTÜRK²

^{1*} Doç. Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Görükle Kampüsü, Bursa, Türkiye
² Y. Mimar, Bursa, Türkiye

ÖZET

Geleneksel mimarlığın başlıca yapı malzemelerinden biri olan ahşap, küresel çevresel sorunlar karşısında, sürdürülebilir mimarinin ve geleceğin yapı malzemesi olarak da öne çıkmaktadır. Üstün özelliklerine karşın, çeşitli etkenler ile bozulmaya uğradığı bilinen ahşabın kullanım ömrünün uzatılması, yaygın önleyici koruma uygulaması olarak bilinen emprenye ile olanaklıdır. Ahşap malzemenin kullanım ömrünün uzatılması, sürdürülebilirlik açısından kaynak verimliliğinin sağlanması yönüyle önemli olmakla birlikte, tek başına yeterli değildir. Emprenye işleminde kullanılan koruyucu kimyasallara alternatif oluşturacak bitkisel çözümlerin araştırılması, elde edilen bulguların ilgi gruplarına aktarılması ve uygulamaya geçirilmesi, çevre dostu mimarlık açısından büyük önem taşımaktadır. İlgili literatürde ahşabın korunmasında kullanılabilen doğal maddeler üzerine çeşitli araştırmalar olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte, ahşap malzeme ile tasarım ve uygulama yapan mimarların çevre dostu malzeme seçimlerini kolaylaştıracak, ahşap malzemede bitkisel emprenye çözümlerini bütüncül olarak ele alan bir rehberle karşılaşmamıştır. Bu bağlamda bu araştırmanın amacı, bitkisel maddeler ile emprenye konusunda deneysel incelemeler içeren Türkiye merkezli çalışmaları analiz ederek, başta mimarlar olmak üzere tüm ilgi grupları için, rehber niteliğinde bir çerçeve sunmaktır. Araştırma sonucunda, ahşap malzemenin çeşitli mekanik ve fiziksel özellikleri ile biyolojik dayanımını olumlu yönde etkileyen bitkisel emprenye çözümlerini içeren beş adet rehber şemadan oluşan bir çerçeveye ulaşılmış ve gelecek araştırmalara yönelik öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Çevre dostu, Mimarlık, Ahşap, Malzeme, Emprenye.

ABSTRACT

Wood, one of the primary building materials of traditional architecture, also stands out as the building material of sustainable architecture and the future in the face of global environmental problems. Extending the lifespan of wood, which is known to deteriorate due to various factors despite its superior properties, is possible with impregnation, which is known as a common protection application. Although extending the lifespan of wooden materials is essential to ensure resource efficiency in terms of sustainability, it is not sufficient. Researching herbal solutions that will provide alternatives to the protective chemicals used in the impregnation process, transferring the findings to interest groups, and putting them into practice are of great importance in terms of environmentally friendly architecture. It is known that there are various studies in the relevant literature on natural substances that can be used in the protection of wood. However, no guide holistically addresses herbal impregnation solutions in wood, facilitating environmentally friendly material selection for architects who design and implement wood materials. In this context, this research aims to guide all interest groups, especially architects, by analyzing Turkey-based studies containing experimental investigations on impregnation with plant materials. As a result of the research, a framework consisting of five guide schemes containing herbal impregnation solutions that positively affect the mechanical and physical properties and biological strength of wooden materials was reached, and suggestions for future research were presented.

Keywords: Eco-Friendly, Architecture, Wood, Material, Impregnation.

Başvuru: 29.04.2023 Revizyon Talebi: 05.06.2023 Son Revizyon: 16.06.2023 Kabul: 18.06.2023
Doi: 10.51764/smutgd.1475525

^{1*}Sorumlu yazar: Doç. Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Görükle Kampüsü, Bursa, Türkiye; E-mail: zsparker@uludag.edu.tr; ORCID: 0000-0002-6640-111X

² Y. Mimar, E-mail: habibeeoztrk@gmail.com; ORCID: 0009-0001-6769-0486

1. GİRİŞ

Mimarlık kültürünün en önemli yapı malzemelerinden biri olan ahşap, kaynağı yenilenebilen, karbon depolama kapasitesi yüksek, gömülü enerjisi az, çevresel kirlilik oluşturmeyen, geri dönüştürülebilir, insan ve çevre sağlığını tehdit etmeyen, çevre dostu bir malzeme olması ile yapı malzemesi alternatifleri içinde öne çıkarmaktadır.

Diğer yapı malzemelerine oranla üstün özelliklere sahip olmasına karşın, ahşap malzemenin fiziksel, kimyasal, mekanik, biyolojik ve insan kaynaklı nedenlerle bozulmaya uğradığı da bilinmektedir (Perker, 2004; Perker ve Akıncı, 2006). Ahşap malzemenin, karşı karşıya kalabileceği olumsuz koşullar karşısında dayanıklı olması, hem hammadde kaynaklarının verimli kullanılmasını sağlayacağından hem de malzemenin ömrünü uzatarak mimari yapı ömrüne de olumlu katkı sunacağından büyük önem taşımaktadır. Ahşap malzemenin çeşitli koruma uygulamaları ile geliştirilmesi ve karşı karşıya kalacağı olumsuz etkiler karşısındaki dayanımının artırılması olanaklıdır. Bu anlamda en yaygın uygulama empenye uygulamasıdır (Bozkurt, Göker ve Erdin, 1993).

Ahşap malzeme ile üretilmiş yapı elemanları, mimari yapılarındaki yerlerine yerleştirilmeden önce, kendilerinden beklenen performanslar dikkate alınarak, farklı amaçlarla empenye edilebilmektedir. Benzer şekilde, mevcut yapılarındaki ahşap elemanlar da, yapıdaki yerlerinde veya detay tasarımlarının elverdiği ölçüde, yapıdaki yerlerinden geçici süre ile sökülerek, empenye edilebilmekte ve empenye sonrası yapıdaki yerlerine yeniden yerleştirilebilmektedir. Ahşap malzemenin empenyesinde kullanılan maddeler ve empenye yöntemleri çok büyük bir çeşitlilik göstermekle birlikte, yaygın olarak kullanılan empenye maddeleri kimyasal içeriklidir. Sürdürülebilir mimarlık açısından, yapı malzemelerinin kendileri kadar korunmaları konusunda da çevre dostu uygulamalar öncelikli tercih olmaktadır. Bu nedenle ahşap korumada empenye maddesi olarak çevre dostu, bitkisel kökenli maddelerin kullanılıp kullanılmayacağına belirlenmesi için, sözü edilen maddelerin ahşap malzemenin karşı karşıya olduğu olumsuz etkenler karşısındaki performanslarının araştırılması gerekmektedir.

Literatürde doğal maddeler ile ahşap malzeme empenyesi konusunda çeşitli deneysel çalışmalar olduğu bilinmektedir. Ağaç kabukları ve meyveleri, ağaç ve diğer bitkilerin yaprakları, tanenler, bitkisel kökenli yağlar vb. bitkisel maddelerin empenye etkililiği üzerine deneysel araştırmalar yapılmaktadır (Baysal, 2003; Şen ve Hafızoğlu, 2008; Ulusoy ve Peker, 2020). Bununla birlikte, ahşap malzemenin empenyesinde bitkisel kökenli maddelerin kullanımına ilişkin deneysel çalışmaların sonuçlarını bütüncül bir şekilde ortaya koyan sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (Dizman Tomak ve Yıldız, 2012). Diğer yandan, ilgili literatürde konu ile ilgili Türkiye merkezli deneysel çalışmalara bütüncül olarak odaklanan herhangi bir araştırmaya rastlanmamıştır. Bu bağlamda nitel yöntemi benimseyen bu araştırmanın amacı, ahşap malzeme ile çevre dostu mimarlık için, ahşap malzemede bitkisel maddeler ile empenye konusunda deneysel uygulamalar içeren çalışmalarını analiz etmek ve söz konusu çalışmalardan elde edilen olumlu sonuçlardan yararlanarak, başta mimarlar olmak üzere, ilgi grupları için rehber niteliğinde bir çerçeve sunmaktır.

2. ARAŞTIRMANIN ÖNEMİ

Ahşap malzemenin hizmet ömrünün uzatılması, çevresel sürdürülebilirlikte kaynakların verimli kullanımı ilkesi açısından önem taşımaktadır. Ancak ahşap ile çevre dostu mimarlık için, ahşap yapı malzemesinin yalnızca hizmet ömrünün uzatılması yeterli değildir. Ahşap malzemenin korunmasında başlıca yöntemlerden biri olan empenye uygulamalarında çeşitli kimyasalların yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir. Kimyasal maddelerin kullanılması, ahşaba uzun bir kullanım ömrü sunsa da, çevresel sürdürülebilirlik açısından, sözü edilen maddelere alternatif olabilecek çevre dostu yeni maddelerin keşfedilmesine yönelik araştırmalar önem taşımaktadır. İlgili literatürde çeşitli bitki ve ağaç özlerinin, uçucu yağların, ağaç kabuğundan elde edilen mumlar, reçineler ve bitkisel yağların ahşap korumada kullanılabilirliği üzerine bazı araştırmalar bulunmaktadır (Dizman Tomak ve Yıldız, 2012; González-Laredo, Rosales-Castro, Rocha-Guzmán, Gallegos-Infante, Moreno-Jiménez ve Karchesy, 2015; Hülagü, 2021; Teaca, Roşu, Mustață, Rusu, Roşu, Roşca, ve Varganici, 2019). Bununla birlikte, ilgili literatürde konuyu bütüncül olarak ele alan ve başta mimarlar olmak üzere ahşap yapı tasarımı, uygulaması ve korunmasında aktif rol alan ilgi grupları için yol gösterici nitelikte bir rehber rastlanmamıştır. Oysa ahşap malzemenin korunmasında yaygın olarak kullanılan empenye uygulamalarında, ahşap malzemenin elde edildiği ağaçların tür ve özellikleri, empenyenin yapılma amaçları ve empenye yöntemleri bakımından büyük bir çeşitlilik söz konusudur. Bu çeşitlilik içerisinde, mimarların çevre dostu empenyeli ahşap seçimi için, konunun bütüncül bir bakış açısıyla ele alınması önem taşımaktadır. Ahşap malzeme ile çevre dostu mimarlık için, bitkisel kökenli maddeler ile empenye uygulamaları üzerine deneysel incelemeler içeren araştırmaların bütüncül olarak analiz edilmesinin konu ile ilgili literatüre ve ülkemiz mimarlık ortamı başta olmak üzere çeşitli coğrafyalardaki sürdürülebilir mimarlık uygulamalarına katkısı olacağına inanılmaktadır. Sürdürülebilir mimarlık anlayışının en önemli ilkelerinden bir tanesi, çevre kirliliğine ve enerji sarfiyatına neden olmadan, yerel-bölgesel hammadde kaynaklarının verimli bir şekilde değerlendirilmesidir. Bu nedenle hammaddelere ilişkin araştırmalar, yerel-bölgesel kaynaklara öncelik

verilerek yürütülmektedir. Bu bağlamda bu çalışma kapsamında Türkiye merkezli makaleler ele alınmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Günümüzde pek çok disiplinin araştırma yöntemi olarak benimsediği görülen yöntemlerden bir tanesi nitel araştırma yöntemidir. Nitel araştırma yöntemi, araştırma konusunun detaylı biçimde ele alınmasına, derinlemesine incelenmesine ve betimlenmesine olanak veren bir yapıya sahiptir. Nitel araştırmalarda, toplanan verilerin analizi için çeşitli teknikler kullanılabilir. Araştırılması hedeflenen konuya ilişkin bilgi içeren yazılı materyallerin analizini kapsayan doküman analizi ise nitel araştırmalarda yaygın olarak kullanılan tekniklerden bir tanesidir (Yıldırım & Şimşek, 2016). Doküman analizi, ilgili konu hakkında anlam(lar)a ulaşmak, kavramsal bir çerçeve çizmek, bilgi elde etmek ve onu geliştirmek üzere yazılı belgelerin içeriğini özenli ve sistematik olarak analiz etmek şeklinde uygulanmaktadır (Corbin & Strauss, 2008; Kırıl, 2020; Wach, 2013). Bu araştırma bir nitel yöntem araştırması olup doküman analizi yöntemi ile yürütülmüştür.

Nitel araştırmalarda, araştırmanın özelliği ve araştırmacının yaklaşımına göre farklı doküman analiz süreçleri işletilebilmektedir. Bu araştırma kapsamında, Forster'ın doküman analiz süreci esas alınmıştır. Forster'ın doküman analiz süreci; dokümanlara ulaşma, orijinalliğini kontrol etme, dokümanları anlama, veriyi analiz etme ve veriyi kullanma aşamalarından oluşmaktadır (Yıldırım & Şimşek, 2016).

Araştırma kapsamında doküman analizi sürecine dokümanlara ulaşma ve orijinalliğini kontrol etme aşaması ile başlanmıştır. Bu çalışmanın materyalini oluşturan dokümanlar, ahşap malzemenin bitkisel kökenli maddeler ile emprenye edilmesine ilişkin deneysel araştırma içeren Türkiye merkezli makalelerdir. Türkiye merkezli makaleleri geniş kapsamlı olarak içeren en büyük veritabanı "DergiPark" olduğundan, makalelere erişim amaçlı tarama "DergiPark" üzerinden yürütülmüştür. Çalışma materyalinin elde edilmesi için, ilgili veritabanında öncelikle "emprenye" anahtar kelimesi ile tarama yapılmıştır. Tarama sonucunda listelenen makalelerin özetleri okunmuş, doğal ahşap numuneler üzerinde bitkisel kökenli maddeler ile emprenye işlemine odaklanan deneysel içerikli makaleler filtrelenmiştir. Böylelikle elde edilen 10 adet makale, bu araştırmanın materyalini oluşturmuştur (Tablo 1).

Tablo 1. Veri setini oluşturan makalelere ilişkin bilgiler

Dergi	Yazar, Yıl
Ağaç ve Orman	Özkan, Arpacı, Dizman Tomak ve Yıldırım, 2020
Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi	Ulusoy ve Peker, 2020
Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi	Şen ve Hafızoğlu, 2008 Alkan, Şen, Fidan ve Yaşar, 2018
Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi	Baysal, 2003
İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi	Yaşar, Yaşar, Fidan, Ertaş ve Altınok, 2017
Kastamonu Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi	Atılğan, Ersen ve Peker, 2013
Türkiye Ormanlık Dergisi	Var, 2001 Var ve Özkan, 2018 Can ve Sivrikaya, 2019

Doküman analiz sürecinin ikinci aşamasında dokümanları anlama ve veriyi analiz etme işlemleri yürütülmüştür. Bu kapsamda araştırmanın materyalini oluşturan makaleler okunmuş ve makalelerde yer alan içeriklerden yola çıkılarak ağaç / ahşap türü, emprenye maddesi, emprenye yöntemi, emprenyenin ahşap malzeme özelliklerine etkisi ve elde edilen olumlu sonuçlar olmak üzere beş farklı kategori oluşturulmuştur. Ardından makaleler, sözü edilen kategoriler içerisinde yer alan bilgiler bakımından sistematik olarak analiz edilmiştir. Doküman analiz sürecinin son aşaması olan veriyi kullanma aşaması kapsamında ise makalelerde yer alan bitkisel emprenye maddelerine ilişkin olumlu sonuçlar değerlendirilerek şematize edilmiş ve rehber şemalara ulaşılmıştır.

4. BULGULAR

Araştırma bulguları; ağaç türleri, emprenye madde ve yöntemlerine ilişkin bulgular, mekanik özellik geliştiren bitkisel emprenye çözümlerine ilişkin bulgular, fiziksel özellik geliştiren bitkisel emprenye çözümlerine ilişkin bulgular ve biyolojik dayanım geliştiren bitkisel emprenye çözümlerine ilişkin bulgular olmak üzere dört alt başlık halinde ele alınmıştır.

4.1 Ağaç Türleri, Emprenye Madde ve Yöntemlerine İlişkin Bulgular

Araştırma kapsamında ele alınan çalışmalarda kullanılan örneklerin farklı ağaç türlerinden elde edildiği belirlenmiştir. Çalışmalarda, iğne yapraklı ağaç türlerinden sarıçam, karaçam, sedir, göknar, doğu ladini ve melezin

bulunduğu tespit edilmiştir. Geniş yapraklı ağaç türlerinden ise doğu kayını, kavak, karakavak, kayın, iroko ve kızılgağ gibi ağaç türlerine yer verilmiştir (Alkan vd., 2018; Atılgan vd., 2013; Baysal, 2003; Can ve Sivrikaya, 2019; Özkan vd.,2020; Şen ve Hafizoğlu, 2008; Ulusoy ve Peker, 2020; Var, 2001; Var ve Özkan, 2018; Yaşar vd., 2017) (Tablo 2).

Tablo 2. Çalışmalarda kullanılan ağaç türleri
(Yazarlar tarafından, Tablo 1’de yer alan kaynaklardan yararlanılarak hazırlanmıştır.)

AHSAP TÜRLERİ			MAKALELER											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
DOĞAL AHSAP	İĞNE YAPRAKLI	Sarıçam	■	■	■	■			■	■				
		Karaçam				■								
		Sedir					■							
		Gök nar											■	
		Doğu Ladini	■		■								■	
		Melez				■								
	YAPRAKLI	Doğu Kayını			■									
		Kavak				■								
		Karakavak						■						
		Kayın	■									■	■	
		İroko				■								
		Kızılgağ	■		■									

Çalışmalarda bitkisel kökenli emprenye maddesi olarak; meşe palamudu taneni, çirişotu, çam ekstratı, keten yağı, mazı meşesinin meyveleri, bezir yağı, çam taneni, nar ve ceviz meyvesi kabukları, ayva yaprağı, kızılçam kabuğu, sumak ekstratı, sumak yaprağı, tall yağı, tara çözültisi, çay bitki ekstratı, mazı ekstratı, palamut ekstratı (valeks), atık ayçiçek yağı kullanılmıştır (Alkan vd., 2018; Atılgan vd., 2013; Baysal, 2003; Can & Sivrikaya, 2019; Özkan vd.,2020; Şen & Hafizoğlu, 2008; Ulusoy & Peker, 2020; Var, 2001; Var & Özkan, 2018; Yaşar vd., 2017) (Tablo 3).

Tablo 3. Çalışmalarda kullanılan bitkisel kökenli emprenye maddeleri
(Yazarlar tarafından, Tablo 1’de yer alan kaynaklardan yararlanılarak hazırlanmıştır.)

BİTKİSEL KÖKENLİ EMPRENYE MADDELERİ	MAKALELER									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Meşe palamudu taneni					■					
Çirişotu									■	
Çam ekstratı			■							
Keten yağı								■		
Mazı meşesinin meyveleri		■								
Bezir yağı	■									
Çam taneni					■					
Nar meyvesi kabukları						■				
Ceviz meyvesi kabukları						■				
Ayva yaprağı						■				
Kızılçam kabuğu		■								
Sumak ekstratı		■	■							
Sumak yaprağı		■								
Tall yağı								■		
Tara çözültisi							■			
Çay Bitki Ekstratı				■						
Mazı ekstratı			■							
Palamut ekstratı (valeks)		■	■							
Atık ayçiçek yağı										■

Araştırma kapsamında ele alınan çalışmalarda basınç uygulanan ve basınç uygulanmayan yöntemler olmak üzere iki farklı emprenye yönteminin kullanıldığı saptanmıştır. Basınç uygulanmayan yöntemler arasında püskürtme, daldırma ve sıcak-soğuk banyo yöntemlerinin; basınç uygulanan yöntemler arasında ise dolu hücre ve vakum yöntemlerinin tercih edildiği belirlenmiştir (Alkan vd., 2018; Atılğan vd., 2013; Baysal, 2003; Can & Sivrikaya, 2019; Özkan vd.,2020; Şen & Hafizoğlu, 2008; Ulusoy & Peker, 2020; Var, 2001; Var & Özkan, 2018; Yaşar vd., 2017) (Tablo 4).

Tablo 4. Çalışmalarda kullanılan emprenye yöntemleri
(Yazarlar tarafından, Tablo 1’de yer alan kaynaklardan yararlanılarak hazırlanmıştır.)

EMPRENYE YÖNTEMLERİ		MAKALELER											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
BASINÇSIZ	Püskürtme												
	Daldırma												
	Sıcak-Soğuk Banyo												
BASINÇLI	Dolu hücre												
	Vakum												

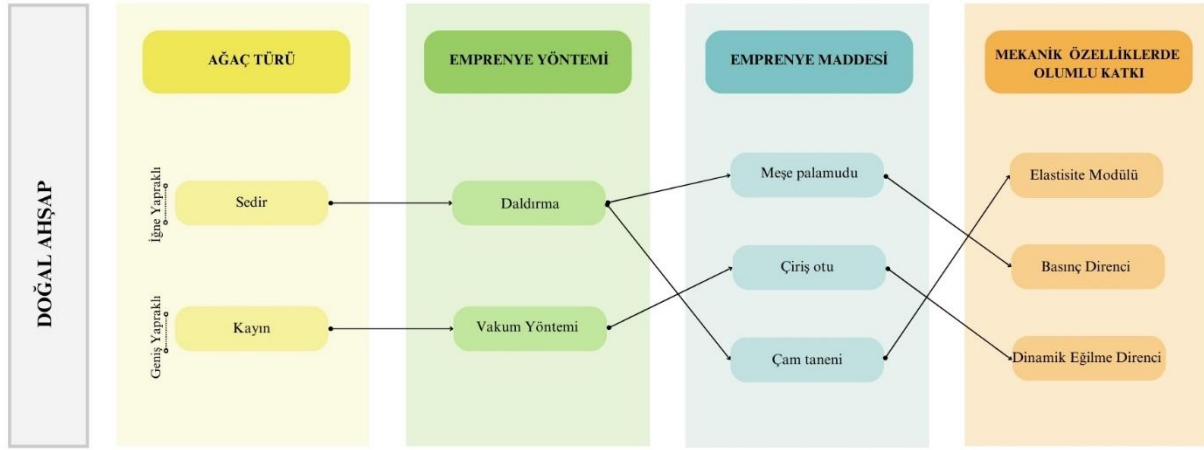
Araştırma kapsamına alınan çalışmalarda, bitkisel kökenli maddeler ile uygulanan emprenye işleminin ahşap malzemenin mekanik özelliklerinden; elastisite modülünde, basınç ve dinamik eğilme direnci üzerindeki etkisi konusunda deneysel incelemeler yapıldığı tespit edilmiştir. Çalışmalarda ayrıca bitkisel kökenli maddeler ile uygulanan emprenye işleminin ahşap malzemenin fiziksel özelliklerinden nem, yoğunluk ve retensiyon değeri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ele alınan çalışmalarda fiziksel ve mekanik özelliklerin yanı sıra bitkisel kökenli maddeler ile uygulanan emprenye işleminin ahşap malzemenin biyolojik dayanımına etkisi konusunda da incelemeler yapılmıştır (Alkan vd., 2018; Atılğan vd., 2013; Baysal, 2003; Can & Sivrikaya, 2019; Özkan vd.,2020; Şen & Hafizoğlu, 2008; Ulusoy & Peker, 2020; Var, 2001; Var & Özkan, 2018; Yaşar vd., 2017) (Tablo 5).

Tablo 5. Çalışmalarda incelenen etkiler
(Yazarlar tarafından, Tablo 1’de yer alan kaynaklardan yararlanılarak hazırlanmıştır.)

EMPRENYENİN AHŞAP MALZEMEYE ETKİSİ		MAKALELER											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
MEKANİK ÖZELLİKLER	Elastisite Modülü												
	Basınç Direnci												
	Dinamik Eğilme Direnci												
FİZİKSEL ÖZELLİKLER	Nem ve Çalışma												
	Yoğunluk												
	Retensiyon Değeri												
BIYOLOJİK DAYANIM													

4.2 Mekanik Özellik Geliştiren Bitkisel Emprenye Çözümlerine İlişkin Bulgular

Çam taneni ve meşe palamudu taneninin kullanıldığı çalışmada emprenye işleminin ahşap malzemenin (sedir) elastisite modülüne olumlu yönde ettiği görülmüştür. Aynı çalışmada çam taneni ve meşe palamudu taneni ile emprenye edilen ahşap malzemenin (sedir) liflere paralel basınç direncinin kontrol örneklerinden daha yüksek çıktığı ifade edilmiştir (Yaşar vd., 2017). Çiriş otunun kullanıldığı çalışmada ise ahşap malzemenin (kayın) dinamik eğilme direncinin olumlu yönde etkilendiği belirtilmiştir (Ulusoy & Peker, 2020). Bitkisel kökenli maddeler ile gerçekleştirilen emprenye işleminin ahşap malzemenin mekanik özelliklerine olumlu katkıları Şekil 1’de görülmektedir.



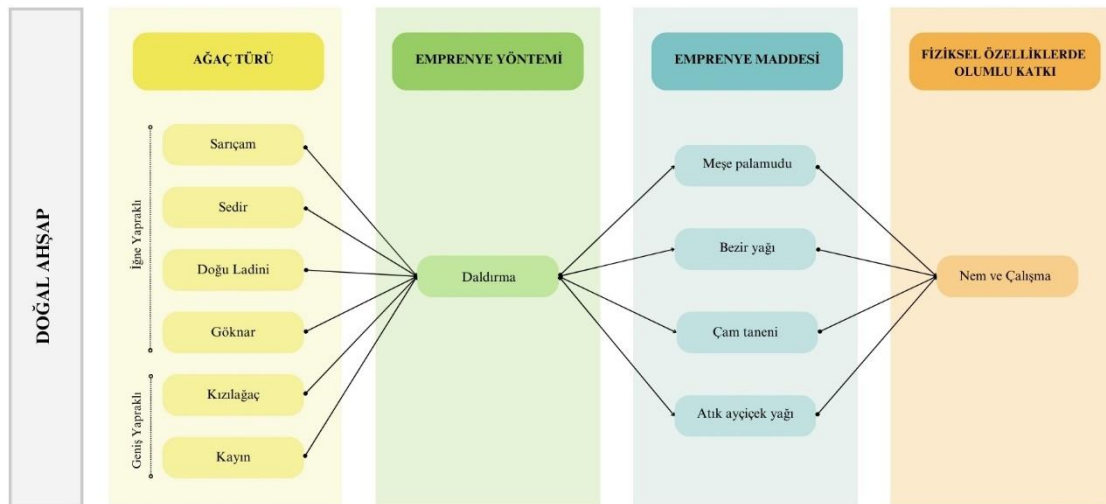
Şekil 1. Bitkisel kökenli maddeler ile emprenye işleminin ahşap malzemenin mekanik özelliklerine olumlu katkısına ilişkin şema (Yazarlar tarafından, Ulusoy & Peker, 2020; Yaşar vd., 2017'den yararlanılarak hazırlanmıştır.)

4.3 Fiziksel Özellik Geliştiren Bitkisel Emprenye Çözümlerine İlişkin Bulgular

Ahşap malzemenin fiziksel özelliklerini geliştiren bitkisel emprenye çözümlerine ilişkin bulgular; nem ve çalışma özelliklerine ilişkin bulgular, yoğunluk özelliğine ilişkin bulgular ve retensiyon değerine ilişkin bulgular olmak üzere üç alt başlık altında sunulmuştur.

4.3.1 Nem ve Çalışma Özelliklerine İlişkin Bulgular

Bezir yağının emprenye maddesi olarak kullanıldığı çalışmada emprenye işleminin ahşap malzemenin (ladin, sarıçam, kayın, kızılğaç) suya dayanımının arttığı tespit edilmiştir. Yine bezir yağının parafin vaks ile karışım halinde kullanıldığı çalışmada bu karışımın ahşap malzemenin (ladin, sarıçam, kayın, kızılğaç) su almasını önemli ölçüde önlediği belirtilmiştir (Var, 2001). Atık yağın emprenye maddesi olarak kullanıldığı çalışmada, ahşap malzemenin (doğu ladini, göknar, kayın) su alma oranlarını azalttığı ve su itici etkinliği artırarak fiziksel özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür (Özkan vd., 2020). Meşe palamudu taneni ve çam taneni gibi maddeler ile emprenye işleminin yapıldığı çalışmada, işlem sonrası ahşap malzemenin (sedir) nem değerlerindeki gelişmenin kimyasal emprenye maddeleri ile yapılan emprenyeye benzer değerlerde olduğu tespit edilmiştir (Yaşar vd., 2017). Bitkisel kökenli maddeler ile emprenye işleminin ahşap malzemenin nem karşısındaki davranışına katkısına ilişkin şema Şekil 2'de görülmektedir.

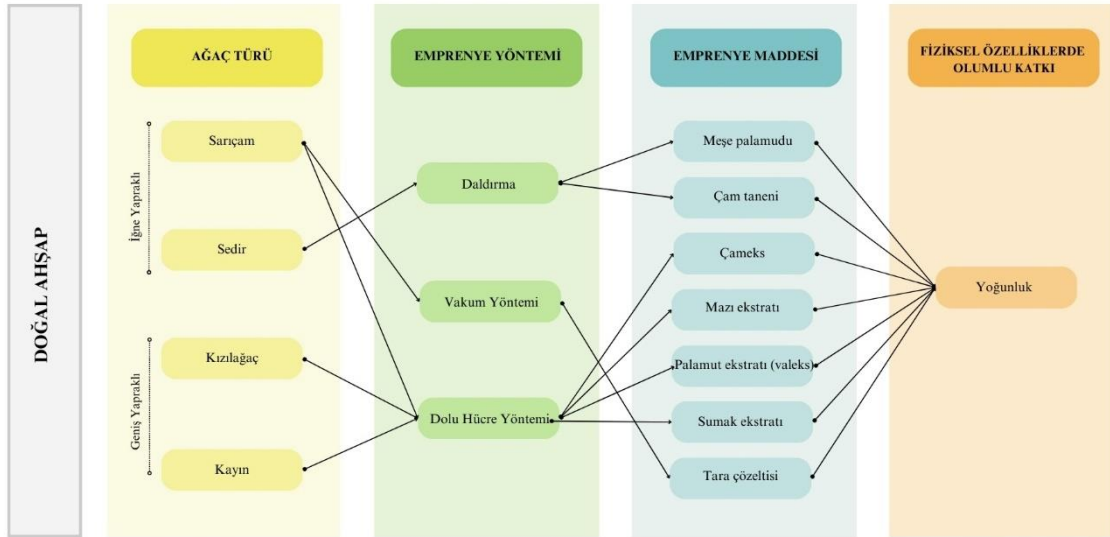


Şekil 2. Bitkisel kökenli maddeler ile emprenye işleminin ahşap malzemenin nem karşısındaki davranışına katkısına ilişkin şema (Yazarlar tarafından, Özkan vd.,2020; Var, 2001; Yaşar vd., 2017'den yararlanılarak hazırlanmıştır.)

4.3.2 Yoğunluk Özelliğine İlişkin Bulgular

Meşe palamudu taneni ve çam taneni gibi bitkisel kökenli emprenye maddeleri ile kimyasal emprenye maddelerinin etkinliklerinin karşılaştırıldığı çalışmada, bitkisel kökenli emprenye maddeleri ile yapılan emprenye

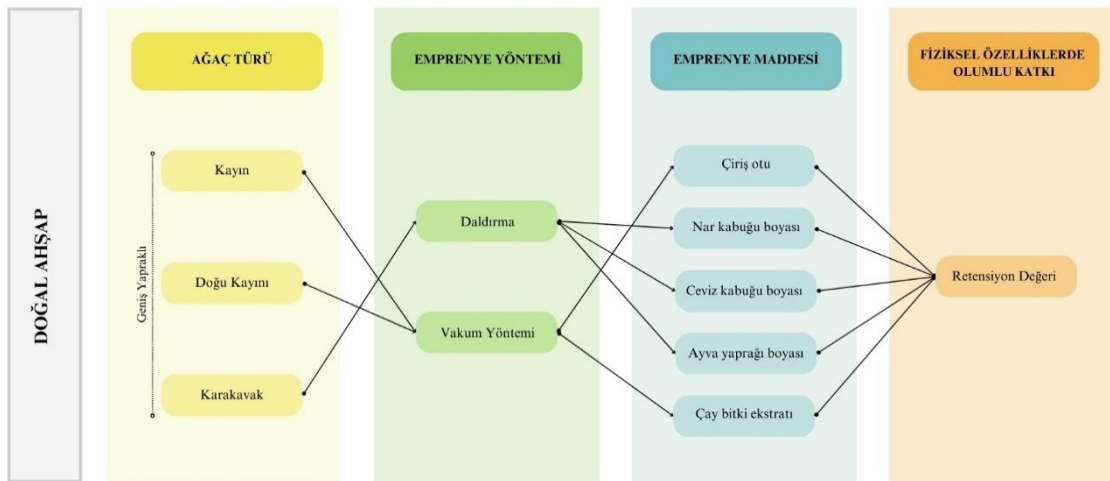
işlemi sonrası ahşap malzemenin (sedir) hava kurusu yoğunluk ve tam kuru yoğunluk değerlerinin, yaygın kullanılan emprenye maddelerinin verdiği değerlere çok yakın olduğu tespit edilmiştir (Yaşar vd., 2017). İçeriğinde bol miktarda tanen bulunan % 5'lik tara çözeltisi kullanılan çalışmada ise emprenye işlemi sonrası yoğunluk artışı tespit edilmiştir. Emprenye işlemi sonrası yoğunluk artışı, emprenye maddesinin ahşap (sarıçam) bünyesine nüfuz ettiğini gösterdiğinden, söz konusu artışlar olumlu etki olarak değerlendirilmiştir (Alkan vd.,2018). Diğer yandan, palamut, kızılçam, mazı ve sumak ekstratlarının emprenye maddesi olarak kullanıldığı çalışmada, emprenye işlemi sonrası açık havada biyolojik etkilere maruz kalan emprenyeli ahşap malzemelerde (sarıçam, kayın, kızılğaç), biyolojik etkilerden kaynaklı yoğunluk azalışının, emprenye edilmemiş örneklerle göre azaldığı görülmüştür. Bitkisel içerikli emprenye maddelerinin biyolojik zararlılara karşı başarılı olduğu tespit edilmiştir (Şen & Hafızoğlu, 2008). Bitkisel kökenli maddeler ile emprenye işleminin ahşap malzemenin yoğunluk değerlerine olumlu katkısına ilişkin şema Şekil 3'te görülmektedir.



Şekil 3. Bitkisel kökenli maddeler ile emprenye işleminin ahşap malzemenin yoğunluk değerlerine olumlu katkısına ilişkin şema (Yazarlar tarafından, Alkan vd.,2018; Şen & Hafızoğlu, 2008; Yaşar vd., 2017'den yararlanılarak hazırlanmıştır).

4.3.3 Retensiyon Değerine İlişkin Bulgular

Çiriş otu ve çay bitki ekstratının kullanıldığı çalışmalarda ahşap malzemede (kayın, doğu kayını) retensiyon değerlerinin yüksek olduğu saptanmıştır (Atılğan vd., 2013; Ulusoy & Peker, 2020). Benzer şekilde nar ve ceviz meyvesi kabukları ile ayva yaprağından oluşan maddelerin kullanıldığı çalışmada da, bu maddelerin ahşap malzemenin (karakavak) retensiyon değerini olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir (Var & Özkan, 2018). Bitkisel kökenli maddeler ile gerçekleştirilen emprenye işleminin ahşap malzemenin retensiyon miktarına olumlu katkıları Şekil 4'te görülmektedir.

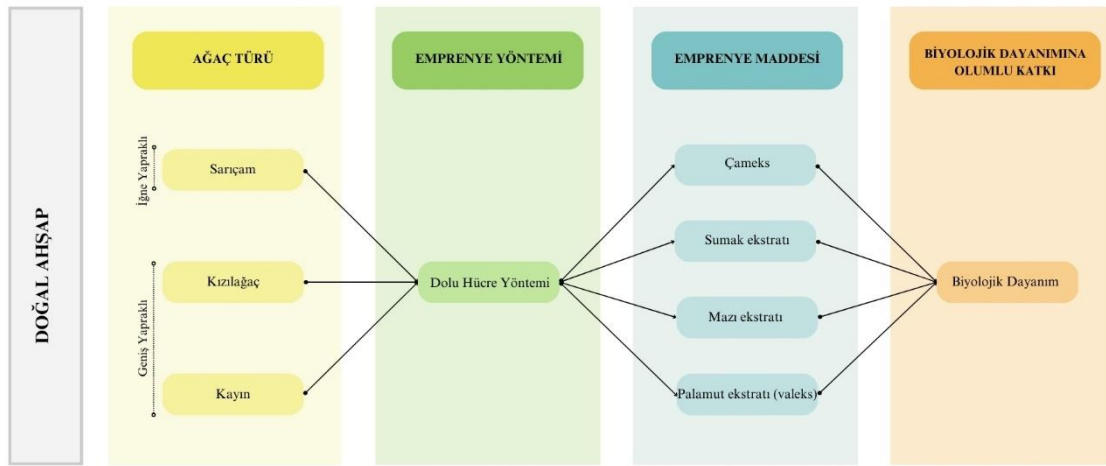


Şekil 4. Bitkisel kökenli maddeler ile emprenye işleminin ahşap malzemenin retensiyon değerine olumlu katkısına ilişkin şema (Yazarlar tarafından, Var & Özkan, 2018; Atılğan vd., 2013; Ulusoy & Peker, 2020'den yararlanılarak hazırlanmıştır).

katkısına ilişkin şema (Yazarlar tarafından, Atılğan vd., 2013; Ulusoy & Peker, 2020; Var & Özkan, 2018'den yararlanılarak hazırlanmıştır).

4.4 Biyolojik Dayanım Geliştiren Bitkisel Emprenye Çözümlerine İlişkin Bulgular

Meşe mazısı, meşe palamudu, sumak yaprakları ve kızılçam kabuklarından elde edilen ekstratların emprenye maddesi olarak kullanıldığı çalışmada emprenye işlemi sonucunda ahşap malzemenin (sarıçam, kızılçam, kayın) biyolojik etkilere karşı doğal dayanıklılığının arttığı tespit edilmiştir. Ancak bitkisel kökenli emprenye maddelerinin özellikle açık hava koşullarına maruz kalacak ahşap malzemede kullanılması halinde, iklimsel koşullara bağlı olarak yıkanmaları artmaktadır. Bu nedenle söz konusu emprenye maddelerinin ahşap malzemede tutunmasını kolaylaştıracak gereksinim duyulduğu da belirtilmektedir (Şen & Hafizoğlu, 2008). Toprak ile temasın ele alındığı çalışmada belirtilen sonuç, bu tür bir uygulama ile ahşap malzemenin hizmet ömrünün özellikle mantar ve böcek etkileri karşısında uzayabileceği şeklinde yorumlanmıştır. Bitkisel kökenli maddeler ile gerçekleştirilen emprenye işleminin ahşap malzemenin biyolojik dayanımına olumlu katkısı Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 5. Bitkisel kökenli maddeler ile gerçekleştirilen emprenye işleminin ahşap malzemenin biyolojik dayanımına olumlu katkısı (Şen & Hafizoğlu, 2008'den yararlanılarak hazırlanmıştır.)

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Mimarlık kültürünün en önemli yapı malzemelerinden biri olan ahşap, kaynağı yenilenebilir, karbon depolama kapasitesi yüksek, gömülü enerjisi az, çevresel kirlilik oluşturmeyen, geri dönüştürülebilir, insan ve çevre sağlığını tehdit etmeyen, çevre dostu bir malzeme olması ile yapı malzemesi alternatifleri içinde önemli bir yere sahiptir. Malzemenin kendisi kadar, malzemeye ilişkin koruma uygulamalarının da çevre dostu olması önem taşımaktadır. Çevre dostu mimarlık için, ahşap malzeme korumada bitkisel emprenye çözümlerine odaklanan ve başta mimarlar olmak üzere, ilgi gruplarına yol gösterici bir çerçeve sunmak amacıyla gerçekleştirilen bu çalışmada, Türkiye merkezli literatürde yer alan konu ile ilgili 10 adet makale ele alınmıştır. Dergipark veri tabanından elde edilen makaleler; ahşap / ağaç türü, emprenye maddesi, emprenye yöntemi, emprenye işleminin ahşap malzemenin özelliklerine etkisi yönünden analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, çizelgeler ve şemalar ile desteklenerek okuyucuya sunulmuştur.

Araştırma kapsamına alınan çalışmalarda, bitkisel emprenye maddesi olarak, meşe palamudu, çirişotu, çam ekstratı, keten yağı, mazı meşesinin meyveleri, bezir yağı, çam taneni, nar ve ceviz meyvesi kabukları, ayva yaprağı, kızılçam kabuğu, sumak ekstratı, sumak yaprağı, tall yağı, tara çözültisi, çay bitki ekstratı, mazı ekstratı, palamut ekstratı (valeks), atık ayçiçek yağı gibi maddelerin incelendiği tespit edilmiştir. Analiz edilen çalışmalarda emprenye yöntemi olarak ise hem basınç uygulanmayan hem de basınç uygulanan emprenye yöntemlerine yer verildiği saptanmıştır.

Araştırma kapsamında ele alınan çalışmaların bir kısmında bitkisel kökenli maddeler ile emprenye işleminin ahşap malzemenin elastisite modülü, basınç ve dinamik eğilme direnci gibi mekanik özelliklerine etkisinin incelendiği görülmüştür. Söz konusu çalışmaların bazılarında ise bitkisel kökenli maddeler ile emprenye işleminin ahşap malzemenin nem ve çalışma, yoğunluk ve retensiyon değeri gibi fiziksel özelliklerine etkisinin ele alındığı saptanmıştır.

Araştırma kapsamında elde edilen bulguların değerlendirilmesi ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Doğal ahşap malzemenin mekanik özelliklerinin geliştirilmesine yönelik bitkisel emprenye çözümleri olarak meşe palamudu taneni, çam taneni ve çiriş otu öne çıkmaktadır.
- Doğal ahşap malzemenin nem karşısındaki davranışının geliştirilmesine yönelik bitkisel emprenye çözümleri olarak meşe palamudu, bezir yağı, çam taneni ve atık ayçiçek yağı öne çıkmaktadır.
- Doğal ahşap malzemenin yoğunluk değerine olumlu etki ederek malzemenin hizmet süresini uzatma potansiyeline sahip bitkisel emprenye çözümleri olarak meşe palamudu taneni, çam taneni, çam ekstratı, mazı ekstratı, palamut ekstratı, sumak ekstratı ve tara çözümleri öne çıkmaktadır.
- Doğal ahşap malzemenin retensiyon değerine olumlu etki ederek malzemenin hizmet süresini uzatma potansiyeline sahip bitkisel emprenye çözümleri olarak çiriş otu, nar kabuğu boyası, ceviz kabuğu boyası, ayva yaprağı boyası ve çay bitki ekstratı öne çıkmaktadır.
- Doğal ahşap malzemenin biyolojik dayanımının geliştirilmesine yönelik bitkisel emprenye çözümleri olarak çam ekstratı, mazı ekstratı, palamut ekstratı, sumak ekstratı öne çıkmaktadır.
- Araştırma kapsamında ele alınan makalelerde toplam 19 farklı, bitkisel kökenli emprenye maddesi incelenmiştir. Bunlardan 3 adedi araştırılan mekanik özellikler bakımından, 14 adedi araştırılan fiziksel özellikler bakımından, 4 adedi ise biyolojik dayanım bakımından olumlu etki göstermiştir. Bitkisel kökenli emprenye alternatiflerinin sayısı, konu ile ilgili araştırma sayısından fazla olup elde edilen olumlu sonuç oranı da çevre dostu mimarlık adına sevindiricidir. Gelecek araştırmalarda bitkisel kökenli farklı emprenye maddesi alternatifleri üzerinde deneysel incelemeler yapılması alanın gelişmesi açısından önemli görülmektedir.
- Araştırma kapsamında ele alınan makalelerde sedir, kayın, ladin, köknar, sarıçam, kızılğaç gibi türler üzerinde deneysel incelemeler yapıldığı tespit edilmiştir. Analiz edilen makalelerde yer almayan veya sınırlı sayıda makalede ele alınan, ancak mevcut ahşap yapı stokunda önemli bir yere sahip olan ve yapı malzemesi olarak kullanım potansiyeli bulunan kızılçam, karaçam, kayın gibi ağaç türleri başta olmak üzere, farklı ağaç türleri üzerinde konuya ilgili deneysel incelemelerin yapılması / arttırılması önem taşımaktadır.
- Araştırma kapsamında ele alınan makalelerde ahşabın bitkisel kökenli emprenye maddesi ile emprenye edilmesinin, malzemenin elastisite modülü, basınç direnci ve dinamik eğilme direnci gibi mekanik özellikleri üzerine etkilerine odaklanılmıştır. Gelecek çalışmalarda, bitkisel emprenye maddelerinin, ahşap malzemenin diğer mekanik özellikleri üzerindeki etkilerinin araştırılmasında fayda olacaktır.
- Araştırma kapsamında ele alınan makalelerde ahşabın bitkisel kökenli emprenye maddesi ile emprenye edilmesinin, malzemenin fiziksel özelliklerinden nem ve çalışma, yoğunluk, retensiyon değeri gibi özelliklerine etkisine odaklanılmıştır. Gelecek çalışmalarda, bitkisel emprenye maddelerinin, ahşap malzemenin diğer fiziksel özellikleri (termal, elektriksel, akustik, görsel özellikler vb.) üzerindeki etkilerinin araştırılması ilgili alana katkı sunacaktır.
- Araştırma kapsamında ele alınan sınırlı sayıda makalede ahşabın bitkisel kökenli emprenye maddesi ile emprenye edilmesinin, malzemenin doğrudan biyolojik etkiler karşısındaki dayanımına sağladığı katkı üzerinde durulmuştur. Ahşap malzemenin bakteri, mantar, böcek ve kurtlardan olumsuz yönde fazlasıyla etkilendiği bilinmektedir. Bu nedenle gelecek çalışmalarda, malzemenin özellikle biyolojik etkiler karşısındaki dayanımının arttırılmasına odaklanacak bitkisel emprenye alternatifleri üzerine deneysel incelemeler yapılması fayda sağlayacaktır.
- Araştırma kapsamında, elde edilen bulgulardan yararlanılarak, bitkisel kökenli emprenye maddelerinin ahşap malzemenin mekanik ve fiziksel özellikleri ile biyolojik dayanımına olumlu yönde katkısını gösteren şemalar oluşturulmuştur. Oluşturulan şemaların, ahşap yapı tasarımı, uygulaması ve korumasında rol alacak mimarlar başta olmak üzere, tüm ilgi gruplarına, çevre dostu emprenye alternatiflerini sunmalarının yararlı olduğuna inanılmaktadır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Yazar Katkısı Beyanı

Yazar 1 Katkısı: Fikir, Orijinal Taslak Oluşturma, Metot Oluşturma, Verilerin Yorumlanması, Yazım, Revize, Sonuç ve Öneri

Yazar 2 Katkısı: Verilerin Düzenlenmesi, Verilerin Yorumlanması, Verilerin Görselleştirilmesi, Yazım.

KAYNAKLAR

Alkan, E., Şen, S., Fidan, M. S., Yaşar, Ş. Ş. (2018). Tara ve Farklı Borlu Bileşikler ile Emprenye Edilen Sarıçam (Pinus

sylvestris L.) Odununun Vida Tutma Direncinin Belirlenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 6(2), 525-531.

- Atılğan, A., Ersen, N., & Peker, H. (2013). Çay Bitki Ekstraktı İle Muamele Edilen Odun Türlerinde Retensiyon Değerleri. *Kastamonu University Journal of Forestry Faculty*, 13(2), 278-286.
- Baysal, E. (2003). Borlu Bileşikler ve Doğal Sepi Maddeleriyle Emprenye Edilen Sarıçam Odununun Yanma Özellikleri. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 19(1), 59-69.
- Bozkurt, A., Göker, Y., Erdin, N. (1993) Emprenye tekniği. *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları*.
- Corbin, J. & Strauss, A. (2008). *Basics of Qualitative Research: Techniques and Procedures for Developing Grounded Theory*. Sage Publications.
- Dizman Tomak, E., & Yıldız, Ü. (2012). Bitkisel Yağların Ahşap Koruyucu Bir Madde Olarak Kullanılabilirliği. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 13(1), 142-157.
- González-Laredo, R. F., Rosales-Castro, M., Rocha-Guzmán, N. E., Gallegos-Infante, J. A., Moreno-Jiménez, M. R., & Karchesy, J. J. (2015). Wood preservation using natural products. *Madera y bosques*, 21(SPE), 63-76.
- Hülagü, B. (2021). Ahşap yapı malzemesinin korunmasında çevreci yaklaşım: bitkisel yağların kullanılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, İstanbul.
- Özkan, E., Arpacı, S. S., Dizman Tomak, E., Yıldırım, N. (2020). Atık Yağ ile Emprenye İşleminin Ahşap Malzemenin Fiziksel Özelliklerine Etkisi. *Ağaç ve Orman*, 1(1), 36-41.
- Perker, Z. S. (2004). Geleneksel ahşap yapılarımızda kullanım sürecinde oluşan yapı elemanı bozulmalarının Cumalıkızık örneğinde incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Anabilim Dalı, Bursa.
- Perker, Z. S., & Akıncıtürk, N. (2006). Cumalıkızık'da Ahşap Yapı Elemanı Bozulmaları. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 11(2). <https://doi.org/10.17482/uujfe.61527>
- Şen, S., & Hafızoğlu, H. (2008). Bazı Bitkisel Ekstraktların Toprakla Temasta Odun Koruyucu Etkinliklerinin Belirlenmesi. *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi*, 4(1-2), 69-82.
- Teaca, C. A., Roşu, D., Mustaţă, F., Rusu, T., Roşu, L., Roşca, I., & Varganici, C. D. (2019). Natural bio-based products for wood coating and protection against degradation: A Review. *BioResources*, 14(2), 4873-4901. Erişim adresi https://bioresources.cnr.ncsu.edu/wp-content/uploads/2019/02/BioRes_14_2_Review_Teaca_RMRRRV_Natural_Bio_Products_Wood_Protec_Degradation_14953-1.pdf
- Ulusoy, H., & Peker, H. (2020). Tıbbi Aromatik Bitki Çirişotu (*Asphodeline taurica*) Özüünün Kayın Odununda Emprenye Edilebilme Yeteneği ve Bazı Teknolojik Özelliklere Etkisi. *Avrupa Bilim Ve Teknoloji Dergisi* 199-203. <https://doi.org/10.31590/ejosat.779692>
- Var, A. (2001). Ahşap Malzemedede Su Alımının Parafin Vaks / Bezir Yağı Karışımıyla Azaltılması. *Turkish Journal of Forestry*, 2(1), 97-110. <https://doi.org/10.18182/tjf.30704>
- Var, A. A., & Özkan, M. (2018). Bitki boyası ve doğal mineralli su muamelesinin karakavak (*Populus nigra* L.) odununda absorpsiyon, retensiyon ve yoğunluk değerleri üzerine etkisi. *Turkish Journal of Forestry*, 19(4), 435-441. <https://doi.org/10.18182/tjf.449895>
- Wach, E. (2013). Learning about qualitative document analysis.
- Yaşar, M., Yaşar, Ş., Fidan, M. S., Ertaş, M., vd. (2017). Doğal ve Kimyasal Emprenye Maddeleri ile Emprenye Edilen Sedir (*Cedrus libani* A.Rich.) Odununun Direnç Özelliklerinin Tespiti. *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 6(3), 463-470.
- Yıldırım, A. & Şimşek, H. (2016). *Sosyal Bilimlerde Nitel Araştırma Yöntemleri*, Seçkin Yayınevi, Ankara.

Modern Hastaneler: İnovatif Malzemelerle Sağlık ve Sürdürülebilirlik

Modern Hospitals: Health and Sustainability with Innovative Materials

Arzu ÇİMEN^{1*}, Selçuk ÇİMEN^{2*}

^{1*} Bayburt Üniversitesi, Aydıntepe Meslek Yüksek Okulu, Bayburt, Türkiye

^{2*} İçişleri Bakanlığı, Bayburt, Türkiye

ÖZET

Bu çalışma ile, sağlık kurumlarından olan hastanelerde kullanılan inovatif yapı malzemelerinin önemini, sağladığı faydaları ve uygulama alanları detaylı bir şekilde incelenmektedir. Gelişen teknolojiler ile birlikte, yapı alanında kullanılan malzemelerde de yeniliklere gidilmiş, bu yenilikler hastanelerin daha sürdürülebilir, enerji verimli ve içerisindeki bireylere sağlıklı ortam sunması ile dikkat çekilmektedir. Geri dönüştürülmüş malzemeler, fotovoltaik paneller, antimikrobiyal zemin kaplamalar ile düşük VOC içeren boyalar gibi yenilikçi malzemeler, yapının enerji verimliliğini artırmakta ve içerisinde oluşan enfeksiyon oranının azaltmasında etkindir. Türkiye’de son yıllarda yaygınlaşan şehir hastaneleri projeleri ve çeşitli özel hastaneler ile ABD, İsveç, Avustralya, Singapur ve Bileşik Arap Emirlikleri’ndeki hastanelerindeki uygulama örnekleri, kullanılan yapı malzemelerinin sağlık ve çevre üzerindeki olumlu etkilerini sergilemektedir. Gerçekleştirilen çalışma ile, hastanelerin daha sürdürülebilir ve sağlıklı bir çevre oluşturması için bilgiler sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: “İnovatif yapı malzemeleri”, “hastaneler”, “sağlık”, “sürdürülebilirlik”.

ABSTRACT

This study examines in detail the importance, benefits, and application areas of innovative building materials used in hospitals, which are integral components of healthcare institutions. With the advancement of technology, innovations in construction materials have emerged, making hospitals more sustainable, energy-efficient, and capable of providing a healthy environment for their occupants. Innovative materials such as recycled materials, photovoltaic panels, antimicrobial flooring, and low-VOC paints enhance the building's energy efficiency and effectively reduce infection rates within the facilities. Examples from city hospital projects and various private hospitals that have proliferated in Turkey in recent years, as well as hospitals in the USA, Sweden, Australia, Singapore, and the United Arab Emirates, demonstrate the positive impacts of these building materials on health and the environment. This study aims to provide insights into how hospitals can create a more sustainable and healthy environment.

Keywords: "Innovative building materials", "hospitals", "health", "sustainability".

1. GİRİŞ

İnşaat sektörü geçmişten günümüze kadar sürekli gelişen teknoloji ve yenilikçi malzemeler sayesinde, sürdürülebilir ve insan sağlığına önem veren çözümler sunarak büyük bir dönüşüm geçirmiştir. Bu dönüşüm, özellikle sağlık kurumlarında, yapı malzemelerinin hastanın iyileşme sürecine doğrudan etki eden kritik unsurlar arasında yer alması ile yeni bir boyuta taşınmıştır (Terekli, & Bayın, 2013).

Hastane inşasında kullanılan yapı malzemeleri, yapının fiziksel dayanıklılığı ve estetik özellikleri ile sınırlı kalmamakta, bunun yanında hava kalitesini, akustik konforu ile enerji verimliliği gibi unsurları da içermektedir. Örneğin yapıda kullanılan fotovoltaiik paneller enerji tasarrufu sağlarken, antimikrobiyal zemin kaplamaları ise hastane yapılarında mikroorganizma yayılımını azaltarak hasta güvenliğini olumlu yönde etkilemektedir. Benzer şekilde geri dönüştürülebilir doğal taş malzemeler, çevresel sürdürülebilirliğin yanında hastanenin hava kalitesini de iyileştirerek hastalar ile sağlık personellerinin sağlıklı ortamda bulunmasına imkân sağlamaktadır (Norstone, 2020).

Günümüzde teknolojinin gelişimi ile meydana gelen yenilikçi yapı malzemeleri, sağlık sektöründe yaygınlaşmaktadır. Yeni nesil yalıtım malzemeleri ve ses sistemleri, hasta konforunu artırırken aynı zamanda enerji tüketiminin düşmesini de sağlamaktadır. Yoğun bakım ünitelerinde hasta konforunun araştırılması üzerine gerçekleştirilen çalışmalardan bir tanesinde, hasta kulak tıkacı ve göz maskesi kullanarak, çevresel gürültü ve ışık etkilerinden korunmak istenmektedir. Hastanelerde hasta konforunun artırılması, sağlık hizmetlerinin kalitesinin yükseltilmesinde büyük önem taşımaktadır (Balcı Akpınar, Aksoy, & Kant, 2022). Gerçekleştirilen bir başka araştırmada ise hastanelerin fiziksel koşullarının, sağlık çalışanlarının yaşam doyumunu artırabileceğini ve dolayısıyla hasta bakım standartlarının artırılmasında önemli olduğu vurgulanmıştır (Karahana, Şimşekli Bakırhan, & Öztürk, 2022). Bir diğer çalışmada ise, kanser tedavisi gören bireylerin uyku kalitesinin artırılmasının öneminden bahsedilmiştir (Kabak, Solak, & Avşar, 2022).

Türkiye’de özellikle son yıllarda gündeme gelen şehir hastaneleri projeleri dikkat çekmektedir. Bu projelerde, sürdürülebilirlik ve enerji verimliliği ön planda tutulmakta, inovatif malzemelerin yaygın olarak kullanıldığı gözlenmiştir. Dünya genelinde ise birçok gelişmiş ülkedeki hastanelerde benzer uygulamalar gözlenmektedir (Çolak & Çolak, 2015).

Genel olarak değerlendirildiğinde, inovatif yapı malzemelerinin yaygınlaşması, hastanelerde hasta ve sağlık personellerinin sağlığını olumlu yönde etkileyen unsurların olmasının yanında çevresel sürdürülebilirliği de etkileyen önemli unsurlardandır. Bu çalışma, hastane inşasında uygulanabilecek yenilikçi yapı malzemelerini ele alırken, bu uygulamaların sağlık üzerinde ki faydalarını detaylandırmayı ve bu alanda literatüre katkı sağlamayı hedeflemektedir. Bu sayede, gelecekte bu yapı malzemelerinin kullanımı yaygınlaşabilecek ve sağlık hizmetinin kalitesi ve verimliliği artırılacaktır.

2. İNOVATİF YAPI MALZEMELERİ

İnovatif yapı malzemeleri, geleneksel yapı malzemelerinden farklı olarak, yüksek performans, enerji verimliliği, sürdürülebilirlik sağlayan ayrıca kullanıldığı alandaki bireylerin sağlığını olumlu yönde etkileyen malzemelerdir. Bu malzemeler, ileri mühendislik teknolojileri, nanoteknoloji ve biyoteknoloji kullanılarak geliştirilir ve çevre dostu bir özelliğe sahiptirler (Yılmaz, 2023).

Hastanelerde uygulanan inovatif yapı malzemeleri birçok avantaj sağlamaktadır. Anti-bakteriyel yüzeyler sayesinde mikroorganizma yayılma oranı %60'lara kadar azaldığı, bu durumda hastane ortamında daha sağlıklı bir atmosfer oluşturur. Aynı şekilde, bakteri ve virüs dirençli zemin kaplamaları, toksisite potansiyelini %64 oranında düşürerek, sağlık hizmeti verilen alanlarda enfeksiyon riskini kayda değer ölçüde azaltır (Rey-Álvarez vd., 2024). Enerji verimli malzemeler, sağlık kurumlarının enerji tüketimini azaltmakta ve çevresel sürdürülebilirliği artırmaktadır (Terekli, & Bayın, 2013).

2.1 Teknolojik Gelişmeler

Teknolojik gelişmeler beraberinde yeni nesil yalıtım malzemelerini gündeme getirmiştir. Kendini onaran beton, 3D baskılı beton ve fotokatalitik beton gibi yenilikçi teknolojiler, sürdürülebilir beton uygulamalarında önemli gelişmeler sağlamıştır. Bu gelişmelerle birlikte enerji verimliliği %30'lara varan bir artış gösterirken, çevresel etkiler de %25 oranında azalış izlemiştir (Nilimaa, 2023). Dijital teknolojiler, pencere sistemleri sayesinde enerji verimliliğinin %20 arttığını ve ışık geçirgenliğini de optimize ettiğini göstermektedir (Rowan, 2024). Bina Bilgi Modelleme sistemi, ses yalıtım malzemelerinin etkinliğini artıran bir sistem olarak karşımıza çıkmakta ve bu malzemeler sayesinde ses yalıtım performansı %30'lara kadar iyileştirilmektedir (Chen & Laokhongthavorn, 2024).

Bir diğer teknolojik gelişmede akıllı şehir sağlık sistemlerinde meydana gelmektedir. Geliştirilen yapı malzemeleri ve uygulanan teknolojiler sayesinde, sağlık hizmetlerinin etkinliğinin %30 oranında arttığı gözlenmiştir (Ahmad vd., 2022; Hassani vd., 2020).

Karbon fiber takviyeli polimerler ile güçlendirilmiş duvar panellerinin yapının sismik performansını incelenmesi için gerçekleştirildiği çalışmada, güçlendirilmiş panellerin dayanıklılığında önemli bir oranda artırdığını göstermektedir. Çalışma, yapıların sismik dayanıklılığını artırma konusundaki önemli bulgulara katkı sağlamaktadır (Can, 2021).

Atık yapı malzemelerinin sürdürülebilirlik konularının iyileştirilmesinde, enerji verimliliğini artırma ile çevresel etkilerin azaltılmasında güncel birçok araştırma yapıldığı ve olumlu sonuçlar alındığı gözlenmiştir (Tezel vd., 2020; Çimen vd., 2020; Çağlar vd., 2018).

2.2 Hastanelerde Kullanım Alanları

İnovatif yapı malzemeleri, hastanelerde birçok alanda kullanımı yaygındır. Bu uygulamalardan bir tanesi Antimikrobiyal kaplamalardır. Hastanelerde önemli bir role sahip bu malzemeler, mikroorganizmaların büyümesini önemli oranda önler ve enfeksiyon kontrolünde etkin bir rol oynamaktadır (Chin, 2021). Benzer şekilde bir başka çalışmada, düşük VOC, toksik olmayan ve çevre dostu boyaların iç mekan hava kalitesini %40 iyileştirdiğini ve hasta memnuniyetini %30 artırdığını belirtmektedir (Sarah, 2020). Bir diğer boyaların etkisinin belirlenmesi için yapılan çalışmada, iç mekan su bazlı boyalar için antifungal katkı maddesi olarak kullanılan nanopartiküllerin, enfeksiyon yayılımını %95 oranında kontrol ettiğini belirlenmiştir (Bellotti vd., 2015).

Bir diğer kullanım alanı da zemin ve tavan kaplamaları ile döşemelerdir. Kaplamaların, hastanelerdeki hijyen ve güvenlik açısından önemi büyüktür. Tavan kaplamaları genellikle akustik konforu artırmakta etkindir. Yüksek performanslı tavan sistemlerinin akustik özellikleri iyileştirerek gürültü kirliliğini önemli oranda azalttığını ve daha sakin bir ortam sunduğunu belirtmektedir (Madaras, 2020).

2.2 Sağlık Üzerindeki Etkileri

Hastanelerde kullanılan inovatif yapı malzemeleri, sağlık ve çevre üzerindeki olumlu etkileri nedeniyle önemli bir yere sahiptir. Bu konunun tespiti için gerçekleştirilen çalışmalar bize, nanoteknoloji, akustik malzemeler, geri dönüştürülebilir malzemeler ve fotokatalitik malzemeler gibi çeşitli inovatif malzemelerin sağlık üzerindeki olumlu etkilerini vurgulamaktadır (Terekli, & Bayın, 2013).

Mays, Karatchodjoukova ve Hardy (2024) tarafından yapılan bir çalışmada, nano-malzemelerin geliştirilmesi ve uygulanması süreçlerinde güvenlik ve sürdürülebilirliğin hedeflendiği ve bu malzemelerin doğru yönetilmesi durumunda sağlık üzerindeki olumsuz etkilerin %70 oranında azaltılabileceği bulunmuştur (Mays vd., 2024). Dünya Sağlık Örgütü tarafından yapılan bir çalışmada, tüberkülozun kontrolü için kullanılan bakır alaşım malzemelerin, bakteriyel yükü %80 oranında azalttığı ve enfeksiyon oranlarında %60'a varan düşüşler sağladığı belirtilmiştir (WHO, 2020).

3. İNOVATİF YAPI MALZEMELERİNİN HASTANELERDE UYGULAMALARI

3.1 Türkiye'deki Hastaneler

Türkiye'deki hastaneler incelendiğinde, 2010'lu yıllardan itibaren inovatif yapı malzemelerin yaygın olarak kullanılmaya başlandığı göze çarpmaktadır (Kılıç, & Güdük, 2018).

İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Atatürk Eğitim ve Araştırma Hastanesi'nde, gıda atıkları ve sürdürülebilirlik boyutlarına odaklanılarak yapılan çalışmada, gıda atıklarının miktarı azaltılmış ve geri dönüşüm teknikleri uygulanarak %30 oranında gıda atığının azaltıldığı bildirilmiştir (Çatar, Dural, Serin ve Eminsoy, 2023). İstanbul Medipol Mega Üniversite Hastanesi'nde sürdürülebilir sağlık hizmetlerine yönelik inovatif uygulamaların araştırıldığı çalışmada, enerji tasarrufu sağlayan yapı malzemeleri kullanımı ile enerji tüketiminde %20 azalma sağlanmış, ayrıca bu uygulamaların hastanenin karbon ayak izini önemli ölçüde azalttığı belirtilmiştir (Karaca, Atılğan, & Zekioglu, 2022).

Mersin Şehir Hastanesi'nde, kamu özel ortaklığı modeli çerçevesinde şehir hastaneleri uygulaması ve bu bağlamda inovatif yapı malzemelerinin kullanımı üzerine detaylı analizler yapılmıştır. Çalışmada, inovatif yapı malzemelerinin performansı ve hastane verimliliğine katkıları analiz edilmiştir (Özdede, 2022). İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Hastanesi'nde, kurumsal inovasyon sonuçlarının değerlendirildiği çalışmada, sağlık personellerinin %25'lere varan oranda memnuniyet artışı yaşandığını belirtilmiştir (Atılan, 2022).

Ege Üniversitesi Hastanesi ve Acıbadem Hastanesinde iç mekan hava kalitesinin artırılması için inovatif uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Bilkent Şehir Hastanesi'nde ise gürültü seviyesinin azaltılması ve enerji tasarrufu

için akustik panel uygulamaları ile yeşil çatı sistemleri kullanmıştır (Acıbadem Hastanesi, 2019; Sağlık Bakanlığı, 2020).

3.2 Dünyadaki Hastaneler

ABD'deki Cleveland Clinic ve İsveç'teki Karolinska University Hospital, yeşil çatı sistemleri ve düşük VOC içeren boyalar kullanarak enerji tüketimini azaltmış ve iç mekândaki hava sıcaklığı iyileştirilmiştir (Cleveland Clinic, 2020; Karolinska University Hospital, 2019). Geri dönüştürülebilir özellikler ve gelişmiş kamera sistemleri kullanılarak hareket etkinliğinin azaltıldığı ve enerji verimliliği sağlanan bir diğer sağlık kurumları ise Avustralya'daki Royal Adelaide Hospital ile Singapore General Hospital'dır (Royal Adelaide Hospital, 2017; Singapore General Hospital, 2018). Bileşik Arap Emirlikleri'ndeki Sheikh Khalifa Medical City ise Antimikrobiyal kaplamalar ve geri dönüştürülebilir malzemeler kullanarak enfeksiyon oranlarını önemli oranda düşürmüştür (Sheikh Khalifa Medical City, 2019).

4. SONUÇLAR

Bu çalışma, hastanelerde kullanılan inovatif yapı malzemelerinin önemini, sağladığı faydaları ve uygulama alanlarını detaylı bir şekilde incelemiştir. Gelişen teknolojiler ile, yapı malzemelerinde yenilikleri beraberinde getirmiş, bu yeniliklerin uygulandığı alanlardan bir tanesi de sağlık kurumlarının en etkin olduğu hastanelerdir. Hastanelerin daha sürdürülebilir, enerji verimli ve yaşam kalitesinin artırıldığı sağlıklı ortamlar sunmasına olanak tanımaktadır.

Yenilikçi yapı malzemeleri, enerji verimliliği, iç mekan hava kalitesi, akustik konfor gibi çeşitli alanlarda özellikler sunmaktadır. Fotovoltaik paneller enerji tüketimini ve karbon ayak izini azaltırken, antimikrobiyal kaplamalar ve yapısında düşük oranda VOC içeren boyalar, hastalar ile sağlık personellerinin korunmasında etkindirler. Ayrıca, geri dönüştürülebilir malzemelerin kullanımı sağlanarak sürdürülebilir çözümler sayesinde sağlık sistemlerinin sürdürülebilirliğini artırmaktadır.

Sonuç olarak, yenilikçi yapı malzemelerinin sağlık sektöründe kullanımı, hem hastaların iyileşme süreçlerini olumlu yönde etkilemekte hem de büyümenin sürdürülebilirliğini sağlamaktadır. Bu bilgilerin, sağlık ortamında etkin bir şekilde devam ettirilebilmesi için inşaat sektöründe kullanılan yapı malzemelerinin etkilerinin iyi anlaşılması gerekmektedir. Gelecekte, bu tür hastanelerin yaygınlaşması adına disiplinler arası işbirliklerinin geliştirilmesine önem verilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Acıbadem Hastanesi. (2019). <https://www.acibadem.com.tr/> adresinden alınmıştır.

Ahmad, K. A. B., Khujamatov, H., Akhmedov, N., Bajuri, M. Y., Ahmad, M. N., & Ahmadian, A. (2022). Emerging trends and evolutions for smart city healthcare systems. *Sustainable Cities and Society*, 80, 103695. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103695>

Atılan, M. (2022). *İşletmelerde Kurumsal İnovasyon Sistemi: Bir Uygulama Örneği*. [Yüksek lisans tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi]. Yök Tez Arşivi <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>

Balci Akpınar, R., Aksoy, M., & Kant, E. (2022). Effect of earplug and eye mask on sleep and delirium in intensive care patients. *Nursing in Critical Care*, 27(4), e1535. <https://doi.org/10.1111/nicc.12741>

Bellotti, N., Romagnoli, R., Quintero, C., Domínguez-Wong, C., Ruiz, F., & Deyá, C. (2015). Nanoparticles as antifungal additives for indoor water borne paints. *Progress in Organic Coatings*, 86, 33-40. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2015.03.006>

Can, Ö. (2021). Investigation of seismic performance of in-plane aligned masonry panels strengthened with Carbon Fiber Reinforced Polymer. *Construction and Building Materials*, 123, 456-469.

Chen, J., & Laokhongthavorn, L. (2024). Exploring the knowledge system in building information modeling (BIM) technology for medical construction projects (MCPS): A bibliometric analysis and prospective direction. *Ain Shams Engineering Journal*. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2024.102897>

Chin, F., (2021). HVAC Antimicrobial Coating Technology for Healthier Living. Retrieved from <https://uniceminc.com/antimicrobial-coatings/hvac-antimicrobial-coating-technology-for-healthier-living/>

Cleveland Kliniği. (2020). <https://my.clevelandclinic.org/> adresinden alındı

Çağlar, H., Çimen, S., & Çağlar, A. (2018, October 4-6). *Determination of amount of capillary water absorption of perlite and boron waste additive produced brick building material*. Paper presented at the 1st International Architecture Symposium, Dicle University, Diyarbakir, Turkey.

Çatar, D., Dural, N., Serin, R., & Eminsoy, İ. O. (2023). Sağlık Kurumlarında Gıda Atıkları ve Sürdürülebilirliğin Boyutları. *İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 8(1), 45-60.

Çimen, S., Çağlar, H., Çağlar, A., & Can, Ö. (2020). Effect of boron wastes on the engineering properties of perlite based brick. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 9(2), 50-56.

Çolak M., & Çolak L, (2015). Is Hospitals Ready for Energy Management and Green Building Health Managers Opinions in Turkey. DOI: 10.1007/978-3-319-16901-9_26

Hassani, F. A., Shi, Q., Wen, F., He, T., Haroun, A., Yang, Y., Feng, Y., & Lee, C. (2020). Smart materials for smart healthcare– moving from sensors and actuators to self-sustained nanoenergy nanosystems. *Smart Materials in Medicine*, 1, 92-124. <https://doi.org/10.1016/j.smaim.2020.07.005>

Kabak, T., Solak, Ü., & Avşar, G. (2022). Kanserli Bireylerde Uyku Kalitesini Artırmaya Yönelik Yapılan Hemşirelik Girişimleri: *Sistemik Derleme*. *Güncel Hemşirelik Araştırmaları Dergisi*, 2(1), 19-29.

Karaca, P. Ö., Atılğan, E., & Zekioğlu, A. (2022). Sağlık Hizmetlerinde Sürdürülebilirlik Bağlamında İnovatif Bir Uygulama: Yeşil Hastaneler. *Electronic Journal of Vocational Colleges*, 12(3), 78-92.

Karahan, TF, Şimşekli Bakırhan, D., & Öztürk, K. (2022). Sağlık Çalışanlarında Toplulukçu Yeterlilik Düzeyleri ile Yaşam Doyumu Arasındaki İlişkilerin İncelenmesi. *Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 42, 785-816. <https://doi.org/10.14520/adyusbd.1169864>

Karolinska University Hospital. (2019). <https://www.karolinska.se/> adresinden alındı.

Kılıç, C. H., & Güdük, Ö. (2018). Yeşil Hastane Kavramı ve Türkiye'deki Son Kullanıcıların Beklentileri Üzerine Bir Hastane Örneği. *Gümüşhane Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi*, 7(1), 164-174.

Madaras, G., (2020). Ceiling systems for high-performing healthcare facilities. <https://www.constructionspecifier.com/ceiling-systems-for-high-performing-healthcare-facilities/>

Mays, C., Karatchodjoukova, F., & Hardy, S. (2024). Safe and Sustainable by Design: Topline results of a SAbYNA survey. SAbYNA

Nilimaa, J. (2023). Smart materials and technologies for sustainable concrete construction. *Developments in the Built Environment*, 15, 100177. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100177>

Norstone. (2020). Natural Stone for Indoor Air Quality. Retrieved from <https://www.norstoneusa.com/blog/natural-stone-for-indoor-air-quality/>

Özdere, V. (2022). *Türkiye'de kamu özel birleştirme modeli çerçeve şehir hastaneleri uygulaması ve Mersin Şehir Hastanesi örneği*. [Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi]. Yök Tez Arşivi <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>

Rey-Álvarez, B., Silvestre, J., García-Martínez, A., & Sánchez-Montañés, B. (2024). A comparative approach to evaluate the toxicity of building materials through life cycle assessment. *Science of The Total Environment*, 912, 168897.

Rowan, N. J. (2024). Digital technologies to unlock safe and sustainable opportunities for medical device and healthcare sectors with a focus on the combined use of digital twin and extended reality applications: A review. *Science of The Total Environment*, 926, 171672. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.171672>

Royal Adelaide Hospital. (2017). Retrieved from <https://www.rah.sa.gov.au/>

Sağlık Bakanlığı. (2020). <https://www.saglik.gov.tr/> adresinden alınmıştır.

- Sarah, B., (2020). How Healthcare Facilities Use Paint To Enhance Services. Retrieved from <https://refabpro.com/how-healthcare-facilities-use-paint-to-enhance-services/>
- Sheikh Khalifa Medical City. (2019). Retrieved from <https://www.skmc.gov.ae/>
- Singapore General Hospital. (2018). Retrieved from <https://www.sgh.com.sg/>
- Terekli, G., Özkan, O. ve Bayın, G. (2013). Çevre dostu hastaneler: hastanede yeşil tedavi. *Ankara Sağlık Hizmetleri Dergisi*, 12(2), 37-54. https://doi.org/10.1501/Ashd_0000000090
- Tezel, H., Çağlar, H., Çağlar, A., Can, Ö., & Çimen, S. (2020). Effects of boric acid additive to pumice aggregate lightweight concrete properties. *International Journal of Scientific and Technological Research*, 6(9), 1-10.
- World Health Organization. (2020). National strategic plan for ending TB 2020-2024. WHO.
- Yılmaz, K. (2023). Biyomimetrik Yapı Malzemeleri ile Post Pandemi Döneme Hazırlık.