Mühendislik Bilimlerinde

Modern Araştırmalar-2024



LIVRE DE LYON

2024

Mühendislik Bilimleri

Mühendislik Bilimlerinde Modern Araştırmalar-2024

Editörler

Yeliz AŞÇI & Alper POLAT

LIVRE DE LYON

Lyon 2024

Mühendislik Bilimlerinde Modern Araştırmalar-2024

Editörler

Yeliz AŞÇI & Alper POLAT

LIVRE DE LYON

Lyon 2024

Mühendislik Bilimlerinde Modern Araştırmalar-2024

Editors • Prof. Dr. Yeliz AŞÇI • ORCID: 0000-0001-5618-058X
Assoc. Prof. Dr. Alper POLAT• ORCID: 0000-0002-6368-5276

Cover Design • Motion Graphics
Book Layout • Motion Graphics

First Published • July 2024, Lyon

e-ISBN: 978-2-38236-687-5

DOI Number: 10.5281/zenodo.12667457

copyright © 2024 by Livre de Lyon

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by an means, electronic, mechanical, photocopying, recording, or otherwise, without prior written permission from the Publisher.



Publisher • Livre de Lyon
Address • 37 rue marietton, 69009, Lyon France
website • http://www.livredelyon.com
e-mail • livredelyon@gmail.com



ÖNSÖZ

“Mühendislik Bilimlerinde Modern Araştırmalar-2024” isimli bu kitap farklı disiplinlerden çalışma konularını bir araya getirmektedir. Bu amaçla bu kitapta 12 farklı bölüm bulunmakta ve her bir bölüm kendi içerisinde önemli sonuçlar ortaya koymaktadır. Bu nedenle bu kitabın çalışan tüm araştırmacılara ve bilim dünyasına ışık tutacağına gönülden inanmaktayız.

Eserin hayata geçirilmesinde emeği geçen tüm bölüm yazarlarına, zaman ayırıp değerli görüşlerini sunan tüm hakemlere ve saygı değer yayın ekibine teşekkürlerimizi sunmakla beraber çalışmamızın mühendislik ve bilim dünyasına önemli katkılar sağlamasını dileriz.

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ I

BÖLÜM I. ADA BAZLI KENTSEL DÖNÜŞÜM UYGULAMALARINDA BETON YAPI ATIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ: "MAKASBAŞI MEVKİİ ÖRNEĞİ" 1
Alican GÜÇ & Rüveyda KÖMÜRLÜ

BÖLÜM II. ZEMİN KAT KOMŞU DIŞ CEPHELERDEKİ DOLGU DUVARLARIN YAPISAL DAVRANIŞA ETKİSİ 21
Muhammet Zeki ÖZYURT

BÖLÜM III. UÇUCU KÜL HARÇ KARIŞIMLARINDA PETROL KOKU İLAVESİNİN HARÇ POR YAPISI VE MİKRO YAPI ÖZELLİKLERİNE OLAN ETKİSİ 33
Levent BOSTANCI

BÖLÜM IV. SİLİKA AEROJEL KATKILI PETROL KOKU İÇERİKLİ UÇUCU KÜL HARÇLARININ POR YAPISI VE MİKRO YAPI ÖZELLİKLERİ 49
Levent BOSTANCI

BÖLÜM V. ORTAÖĞRETİM ÖĞRENCİLERİNİN SÜNGER ŞEHİR KONSEPTİ BİLGİ DÜZEYLERİNİN ARAŞTIRILMASI 65
Alime Kevser ÇETİNER & Selma TUNCER & Mehmet Anıl KIZILASLAN

BÖLÜM VI. ORTAÖĞRETİM ÖĞRENCİLERİNİN YEŞİL BİNA BİLGİ DÜZEYLERİNİN ARAŞTIRILMASI 81
Mehmet Sadık TOPRAK & Berk Oğulcan SAĞIROĞLU & Yunus ARSU & Mehmet Anıl KIZILASLAN

BÖLÜM VII. BİYOKÜTLENİN YAKIT KARAKTERİ 95
Betül ŞAHİN

BÖLÜM VIII. POLİMERLERDE DEGRADASYON 109
Zekiye AKDAĞ & İlyas KARTAL

BÖLÜM IX. PORSELEN KARO ÜRETİMİNDE PİROFİLLİT KULLANIMI 125

Furkan ÖZATA & Münire CEBECİ CEYLANTEKİN & Eda TAŞÇI & Rasim CEYLANTEKİN

BÖLÜM X. RÜZGÂR TÜRBİNİ VE KULLANIMI 137
Muzaffer ATEŞ & Yüksel ASLAN

BÖLÜM XI. İNSAN BİLGİSAYAR ETKİLEŞİMİ 157
Aykut Şükrü IŞIK

BÖLÜM XII. GÜNEY AVRUPA MUTFAK KÜLTÜRÜNDE YER ALAN ÖZEL GIDALARIN İNCELENMESİ 187
Fatma GÜLTEKİN & Dilek DÜLGER ALTINER

BÖLÜM I

ADA BAZLI KENTSEL DÖNÜŞÜM UYGULAMALARINDA BETON YAPI ATIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ: "MAKASBAŞI MEVKİİ ÖRNEĞİ"

Assessment of Concrete Waste Utilization in Block-Based Urban Renewal Projects: "The Case of Makasbasi Area"

ALICAN GÜÇ[1] & RÜVEYDA KÖMÜRLÜ[2]

[1](Y.L. Öğrencisi), Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, İzmit, Kocaeli
E-mail: alicanguc@gmail.com
ORCID: 0009-0000-4676-99051

[2](Doç. Dr.), Kocaeli Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü, İzmit, Kocaeli
E-mail: ruveydakomurlu@gmail.com
ORCID: 0000-0002-0665-481X

1. Giriş

Kentsel dönüşüm; yerel ekonomiye ait dinamikleri harekete geçirerek fiziksel ve sosyal yönlerden çöküntüye uğrayan kentsel alanları yeniden yaşanabilir kılmayı ve kenti tekrar canlandırmayı hedefleyen bir koruma ve planlama yaklaşımıdır (Görün ve Kara, 2010: 144). Aydınlı ve Kaya (2013: 451) yaptıkları çalışmada kentsel dönüşümü; kentlerin ekonomik, mekânsal ve toplumsal yönlerden değerlendirilerek, istenmeyen kent dokularının çağdaş şehircilik ilkeleri ve planlama esasları doğrultusunda dönüştürülmesi süreci olarak tanımlamışlardır. Kentsel dönüşümün amaçları, uygulama yapılacak bölgenin fiziki, ekonomik, sosyal ve kültürel koşulları gözetilerek belirlenir.

Kentsel dönüşüme dair yapılan tanımlardan yola çıkarak kentsel dönüşümün amaçları:

- Bölgeyi kentin genel dokusuna uygun hale getirmek,
- Bölgenin ulaşım ve altyapısını uzun süreli hizmet verecek şekilde tasarlamak,
- Bölgeyi ve bölgedeki yapıları maksimum enerji verimliliği sağlayacak şekilde yapılandırmak,
- Bölgede bulunan yapıları dayanıklı hale getirmektir.

TÜİK'in (2021) verilerine göre; ülkemizdeki yapım yılı bilgisi belli olan yapı stokunun (toplam yapı stokunun yaklaşık yüzde 91'i) yaklaşık yüzde 57'sini 2000 yılı öncesi yapılar meydana getirmektedir (URL 1). Yakut ve Binici (2023: 222) yaptıkları çalışmada; 2000 yılı civarında yapı tasarımı, malzemesi ve inşaatı açısından önemli değişikliklerin yapıldığını, değişen yeni yönetmeliklere göre inşa edilen yapıların deprem risklerinin önemli ölçüde azaldığını belirtmişlerdir. Ülkemizdeki il merkezlerinin % 43'ü I. derece, % 27'si ise II. derece deprem bölgesi olarak belirlenmiştir (Özmen, 2000: 5). Doğal afetler ve/veya çeşitli sebeplerden ötürü yıpranmış, servis ömrünü tamamlamış, mevcut yönetmelikleri ve günümüz ihtiyaçlarını karşılayamayan yapı stokunun, her bölgesi deprem tehdidi altında bulunan ülkemizde fazlaca olmasından kaynaklı olarak; kentsel dönüşüm zorunlu bir hale gelmiştir.

Eski, yıpranmış, doğal afet sonucu hasar görmüş, teknolojik ihtiyaçları karşılayamayan ve servis ömrünü doldurmuş binaların yıkılarak yerine yenilerinin yapılması dünya genelinde sıklıkla karşımıza çıkan bir durumdur. Türkiye'de de kentsel dönüşüm uygulamalarının büyük bir kısmı kentsel yenileme (urban renewal) şeklinde yapılmaktadır. Keleş (1998), Kentbilim Terimleri Sözlüğü'nde kentsel yenilemeyi; "Yaşama ve sağlık koşullarının iyileştirilmesi ihtimali bulunmayan bölgelerdeki binaların tamamının ya da bir kısmının kaldırılarak yeniden inşa edilmesidir" ifadeleriyle tanımlamıştır. Kentsel yenileme bölgesinde, mevcut yapıların tamamı yıkılır ve yerine yeni bir kentsel çevre inşa edilir (Koçak ve Tolanlar, 2008: 406).

Ülkemizde kentsel dönüşümün ilk uygulaması 2004 yılında Kuzey Ankara Girişi Kentsel Dönüşüm Projesi Kanunu'nun yürürlüğe girmesiyle başlamış; 2012 yılında yürürlüğe giren 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun ile hız kazanmıştır. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın (ÇŞİDB) 2023 yılı verilerine göre; Türkiye'de 2012 yılından beri, rezerv yapı alanları ve riskli yapı olarak toplam 1 milyon 918 bin 855 bağımsız birim kentsel dönüşüm kapsamına alınmış, 977 bin 874 bağımsız

birimin yıkımı gerçekleştirilmiş ve 2 milyon 44 bin 964 bağımsız birimin de yapımı tamamlanmıştır (URL 2). Bu durum, yıkılması gereken yapıların ne kadar çok olduğunu göstermekle birlikte; bu yapılardan arta kalan yapı atıklarının nasıl değerlendirileceği konusunu da gündeme getirmektedir.

Günümüzde en çok kullanılan yapı malzemesi betondur. Beton, içeriği itibarı ile tamamen doğal kaynaklar kullanılarak üretilir. Yapı üretiminde en sık kullanılan malzemelerden biri olan beton, günümüzde doğal kaynaklara karşı ciddi bir tehdit haline gelmiştir. Yapı atıkları arasında en fazla orana sahip olanı da kuşkusuz beton yapı atıklarıdır.

Yapıların yıkımı sonucu ortaya çıkan beton yapı atıkları, bir diğer adıyla molozlar, makine yardımı ile kırılıp elenerek tekrar beton üretiminde kullanılabilmektedir. Dünya genelinde son yıllarda beton yapı atıklarının geri dönüşümü oldukça yaygın bir uygulama olarak görülmektedir. Demir (2010) yaptığı çalışmada, yapı atıklarının %92 oranında geri kazanıldığını ve toplamda %63 oranında maliyet tasarrufu sağlandığını göstermiştir. Uluslararası alandaki istatistikler, inşaat işlerinin tüm katı atıkların %44'ünü oluşturduğunu ve bu atıkların ortalama %35'inin depolama sahalarında sonlandığını göstermektedir (Ajayi ve Oyedele, 2017). BAE'nin Dubai kentinde, yapı atığı yönetimi etkili bir şekilde uygulanmaktadır. Ukrayna'da savaş sonrası oluşan beton atıkların geri dönüşümü için araştırma çalışmaları yapılmaktadır. Avrupa'da birçok ülkede, beton yapı atıklarından üretilen betonun standartlarını belirlemeye dair çalışmalar yapılmakta; geri dönüşümden elde edilen betona olan güvenin artması sağlanmaya çalışılmaktadır. Almanya'da inşaat ve yıkıntı atıklarının büyük bir kısmı geri dönüştürülmekte, bu atıkların kullanımı Devlet Atık Derneği'nin düzenlemelerine tabi tutulmaktadır (Weil ve diğerleri, 2006: 197). Türkiye'de yapı atıklarının kontrolü ve yönetimi; Çevre ve Orman Bakanlığı (ÇOB) tarafından 2004 yılında hazırlanan Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği uyarınca yapılmaktadır. Ülkemizde beton yapı atıkları zaman zaman dolgu malzemesi olarak kullanılmakla beraber; çoğunlukla atık depolama alanlarına nakledilir.

Bu çalışma; kentsel dönüşüm projeleri kapsamında ortaya çıkan beton yapı atıklarının sistematik bir şekilde geri dönüştürülerek ekonomiye kazandırılmasına ve doğal kaynakların korunmasına ön ayak olacak veriler ve öneriler sunmayı amaçlar. Çalışma alanı olarak; Kocaeli ili, Derince ilçesi, Deniz Mahallesi sınırları içerisinde kalan, kentsel dönüşüm kapsamında yıkımı gerçekleşen Makasbaşı Mevkii seçilmiştir. Çalışma alanından çıkan beton yapı atığı miktarının tayini yapılırken, alanda yıkımı gerçekleştiren müteahhidin ve Derince Belediyesi (DB) Etüt Proje Müdürlüğü'nün resmi kayıtlarından elde

edilen bilgiler kullanılmıştır. Beton malzeme atıklarının geri dönüşümünden elde edilen malzemenin, beton üretiminde kullanılmasının verimliliğine dair veriler; çeşitli ülkelerde daha önce yapılan araştırma sonuçlarından elde edilmiştir. Bu çalışma kapsamında; Makasbaşı Mevkii baz alınarak tespitler yapılmış, beton yapı atıklarının geri dönüştürülmesine dair öneriler sunulmuştur.

2. Yıkım

Binaların Yıkılması Hakkında Yönetmelik (ÇŞİDB, 2021)'in 1. Bölüm 4. Maddesi'nde yapılan tanıma göre; yapıların, tekniğine göre kısmen veya tamamen ortadan kaldırılması veya söküm faaliyetlerine yıkım denir. Yapıların yıkılması kavramıyla ilgili bir başka tanım, ÇOB (2004) tarafından şu şekilde yapılmıştır: "Seçici Yıkım; Konut, bina, köprü, yol ve benzeri alt ve üst yapıların yıkımı öncesinde ve sırasında içindeki yabancı ve geri kazanımı mümkün olmayan maddelerden ayıklanması ve yıkımın belirli ölçülerde ve kontrollü olarak yapılmasını ifade eder" (Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, 2004). Bir yapının yıkımı; yıkılacak yapının özellikleri, yapıyı oluşturan elemanlar, yapıyı oluşturan malzemelerin tekrar kullanılabilirliği ve çevre koşulları gözetilerek belirlenen tekniklerle, yapının bir kısmını veya tamamını ortadan kaldırma işlemidir.

Ada bazlı kentsel dönüşüm uygulamalarında birkaç tekniğin bir arada kullanılmasıyla gerçekleştirilen yıkım işi, aşamalı olarak yapılır. İlk aşama, yapı üzerinde bulunan demirbaşların demontajıdır. Söz konusu demirbaşlar; doğramalar, her türlü demir çelik malzeme, sökülüp tekrar kullanılabilen inşaat, elektrik ve mekanik malzemelerinden (kiremit, laminat parke, aydınlatma armatürü, WC tesisatı, kapılar vb.) oluşur. Yapıya dahil, sökülebilen bir yapı elemanı (çelik çapraz, çelik kolon vb.) varsa; sökümün statik hesaplar gözetilerek yapılması gerekmektedir.

İkinci aşama, yapının tamamen ortadan kaldırılması için kullanılacak olan yıkım tekniğinin uygulandığı aşamadır. Eğer yapı betonarme ise; sökülebilen malzemeler söküldükten sonra yapıdan geriye kalanın büyük bir kısmını yapı elemanları oluşturur. Yıkım tekniğine karar verilirken; yapının taşıyıcı sistemi, malzeme özellikleri, hasar durumu ve yüksekliği gibi özellikleri ile yapının çevresinde yıkımdan etkilenebilecek diğer unsurlar ve toplam maliyetler göz önünde bulundurulur. Ülkemizde yapı yıkımları, Yapıların Tam ve Kısmi Yıkımı İçin Uygulama Kuralları Standardı (TS 13633) ve Binaların Yıkılması Hakkında Yönetmelik (ÇŞİDB, 2021) uyarınca yapılır.

Yıkım teknikleri: elle yıkım, makine ile yıkım, delme ve testere ile kesme, kimyasal maddeler kullanılarak yıkım ve patlayıcıyla yıkım olmak üzere beşe ayrılır (Yürek, C. 2013: 34).

Fazilet (2014: 17) yaptığı çalışmalarda yıkım tekniklerini dört ana başlığa ayırmıştır: "Makineler yardımı ile yıkım, El ile yıkım, Kimyasallar yardımı ile yıkım, Yüksek basınçlı su jeti ile yıkım".

Tercih edilen yıkım tekniği, yıkım sonrası oluşacak yapı atığının fiziksel ve kimyasal durumuna da etki etmektedir. Ülkemizdeki yapıların yıkımında çoğunlukla makine yardımı ile yıkım teknikleri kullanılmaktadır.

3. Yapı Atıkları

İnşaat ve yıkım atıkları; binalar, yollar ve köprüler de dahil olmak üzere herhangi bir yapı inşasının, yeniden yapılanmasından veya yıkılmasından kaynaklanan atık malzemedir (Ganiron Jr., 2015: 7). İnşaat ve yıkıntı atıkları, inşaat yapım tekniğine ve kullanılan malzemelere bağlı olarak değişkenlik göstermekle birlikte; betonarme, beton, sıva, tuğla, briket, tahta, cam, alçı, kartonpiyer, metal parçaları, kiremit, plastik, elektrik malzemeleri, borular ve asfalt gibi malzemelerdir (Ölmez ve Yıldız, 2008). Herhangi bir yapının tamamen ya da kısmen yıkımı, tadilatı, güçlendirilmesi veya restorasyonu sonucu ortaya çıkan tüm malzemeler yapı atığı olarak nitelendirilmektedir. Yapı atıkları, dünyadaki atık üretiminin ciddi bir kısmını oluşturur. Eurostat'ın (2020) verilerine göre Avrupa genelinde yıllık toplam atık miktarının %37,5'i yapıların yapımı veya yıkımından kaynaklanmaktadır (URL 3). Dubai'de 2010 yılında ortaya çıkan 120 milyon ton atığın %75'i inşaat ve yıkım atıklarıdır (Saeed ve Yas, 2023: 268).

Ülkemizde hızla artan ada bazlı kentsel dönüşüm uygulamalarında, alanın tamamının yıkılması sonucu ciddi miktarda yapı atığı ortaya çıkmaktadır. Alanın tamamının dönüştürülmesi, sadece yapıların değil, alan içerisinde kalan diğer inşaat birimlerinin (yol, elektrik trafosu, hafriyat toprağı, su terfi merkezi, taş duvar, vb.) de yıkımı anlamına gelir. Yapısal atıklar; yapı malzemesi üretim faaliyeti veya yapıların yapım, yenileme, onarım ve yıkım faaliyetleri sonucu meydana gelen yapı bileşenleridir (Onal, 2009: 1). Ganiron Jr.'a (2015: 8) göre; tipik atık bileşenleri arasında Portland çimento betonu, asfalt betonu, ahşap, alçı levhası, asfalt kiremitleri, metal, karton, plastik ve toprak bulunmaktadır. B. Salgın ve diğerleri (2021: 534), yapmış olduğu çalışmada yapı atıklarını; beton, plastik, cam, ahşap, demir içeren metal, demir içermeyen metal, tuğla ve alçı

atıkları olmak üzere 8 ana kategoriye ayırmıştır. Tüm katı atıkların içinde en büyük yüzdeye sahip olanlar; beton, tuğla, alçı, ahşap, cam, metaller, plastikler, asbest ve hafriyat malzemesidir (Coşkun ve Öztürk, 2012: 300).

Yapılan literatür taraması sonucunda, yapı atıklarının 14 ana başlıkta incelenebileceği görülmektedir. Bunlar:

- Beton yapı atıkları
- Taş ve tuğla malzeme atıkları
- Ahşap malzeme atıkları
- Metal malzeme atıkları
- Plastik malzeme atıkları
- Cam malzeme atıkları
- Toprak ve dolgu malzemeleri (Hafriyat malzemeleri)
- Seramik malzeme atıkları
- Kompozit malzeme atıkları
- Kauçuk malzeme atıkları
- Yalıtım malzeme atıkları
- Kablo atıkları
- Asfalt atıkları
- Tehlikeli atıklar

3.1. Beton Yapı Atıkları

Ucuz maliyet, kolay üretim ve uzun süreli servis ömrü gibi avantajları sayesinde beton, en çok tercih edilen yapı malzemesidir. Dünya çapında en sık kullanılan ikinci malzeme olup, suyun ardından gelir (Saeed ve Yas, 2023: 272). TÜİK'in 2020 yılı verilerine göre Türkiye'deki binaların %97'si betonarme sistem ile üretilmektedir (Salgın ve diğerleri, 2021: 528). Beton yapı atıkları, diğer adıyla molozlar, beton ve betonarme yapıların taşıyıcı elemanlarının (kolon, kiriş, döşeme, perde duvar, yapı temeli, istinat duvarı vb.) yıkımı sonucu oluşur. Farklı boyutlarda olan bu molozların içeriği, yapının türüne göre değişebilir. Örneğin; donatısız yığma binaların yıkımı sonucu oluşan molozlarda donatı demiri bulunmaz. Ancak; günümüzde taşıyıcı olarak tasarlanan beton elemanların çoğu donatı demiri içerir. Yıkım tamamlandıktan sonra donatı demirleri, molozların el veya makine yardımı ile kırılması sonucu atık betondan ayrışır.

Betonu oluşturan ana malzemeler su, çimento ve agregadır. Beton üretiminde ağırlıkça yaklaşık % 75 agrega, % 8 su ve % 12 çimento kullanılmaktadır

(Sefidehkhan ve Şimşek, 2018). Su ve agrega başlı başına birer doğal kaynak iken; çimentoyu oluşturan ham maddeler de büyük oranda doğal kaynaklardan elde edilmektedir. Yılda 12.6 milyar ton ham madde kullanan beton endüstrisi, dünyadaki doğal kaynakların en büyük kullanıcısıdır (Mehta, 2002: 24). Beton üretimi yaklaşık olarak 27 milyar ton hammadde tüketir ve bu, her yıl kişi başına ortalama 4 ton beton kullanımına denk gelir (Nicoara ve diğerleri, 2020: 2). Bu iki araştırma arasında geçen 18 yılda, dünyada yıllık beton kullanımının 2 kattan daha fazla bir artış gösterdiği görülmektedir. Altyapı planlamasındaki ve ihtiyaçlarındaki değişiklikler, Hindistan, Avrupa, ABD ve Japonya'da her yıl tahmini 900 milyon ton inşaat ve yıkım atığı oluşturmaktadır (Yahdu ve Aiswarya Devi, 2015: 1). Dünya nüfusundaki sürekli artış, yapıların çeşitli sebeplerle yıpranması, yeni yapılaşma ihtiyacı, kentlerin ve içinde bulundurdukları yapısal unsurların günümüz ihtiyaçlarına cevap verememesi gibi etkenler göz önünde bulundurulduğunda; beton üretiminin, dolayısıyla doğal kaynakların tüketiminin önümüzdeki yıllarda daha da artacağı beklenmektedir.

3.1.1. Beton Yapı Atıklarının Geri Dönüşümü

Geri dönüşüm; çöpe atılacak malzemelerin toplanıp işlenmesi ve bunların yeni ürünlere dönüştürülmesi sürecidir (URL 4). Atıkları kaynak olarak geri kazanma yöntemi, atık ürünlerin toplanmasını ve sıklıkla işlemden geçirilmesini içerir ve bu yöntem, üretim sürecinde ham maddenin tamamının veya bir kısmının yerine kullanılmak üzere atık ürünlerin değerlendirilmesini sağlar (Garechana ve diğerleri, 2012: 251). Teknik bir bakış açısından geri dönüşüm; geri dönüştürülebilir tüketim malzemeleri ve endüstriyel malzemelerin toplanması, toplanan malzemelerin ayrıştırması ve işlenmesi ile bu malzemelerin yeni ürünlere dönüştürülmesi için üretilmesi süreçlerini içerir (Jorgensen, 2019: 6). Bu tanımlardan yola çıkarak geri dönüşüm; türlü sebeplerden ötürü kullanımından vazgeçilen ya da kullanılamaz hale gelen herhangi bir şeyin; kendisini oluşturan malzemelerine ayrıştırılması, ayrışan malzemelerin çeşitli aşamalardan geçirilmesiyle tekrar kullanılabilir hale getirilmesi ve bu malzemelerin ham madde olarak kullanılmasıyla piyasada karşılığı olan bir şey oluşturulması süreçlerinin bütünüdür. Geri dönüşüm, doğa-insan ilişkisinde kazan-kazan yaklaşımı ve sürdürülebilirlik kavramıyla en çok örtüşen uygulamalardan biri olmakla birlikte; hızla artan nüfus ve tükenmekte olan doğal kaynakların durumu da göz önünde bulundurulduğunda, yaşadığımız dünyanın korunması için en gerçekçi çözüm önerilerinden biridir. Geri dönüşümün amacı; insanın üretim ve tüketim faaliyetlerinin çevreye verdiği zararı minimize etmektir.

İnşaat atıklarının yeniden kullanımını daha yaygın hale getirmek için üç temel anlayışa dayalı hareket edilmesi gereklidir: (1) güvenlik ve kalitenin sağlanması, (2) çevresel etkinin azaltılması ve (3) inşaatın maliyet etkinliğinin artırılması (Dosho, 2007: 27). Bu üç temel anlayıştan birincisi ve en önemlisi olan güvenlik ve kalitenin sağlanması; beton atıkların dönüşümüyle üretilen betonun dayanım değerlerinin ve servis ömrünün, doğal kaynaklarla üretilen betonun dayanım değerleri ve servis ömrüyle benzer seviyelerde olması olarak ifade edilebilir. Yahdu ve Aiswarya (2015: 2), yaptıkları deneyler sonucunda beton yapı atıklarından elde edilen beton ile doğal kaynaklarla üretilen betonun 28 günlük dayanım değerlerinin hemen hemen aynı olduğunu göstermiştir. Halahla ve diğerleri (2019: 549), geri dönüştürülmüş agrega betonunun, doğal agrega betonu ile karşılaştırıldığında; nihai basınç dayanımı, başlangıç elastik modulü ve yarılma çekme dayanımı açısından biraz daha düşük değerlere sahip olduğunu ancak bu farkların, başlangıç elastik modülü hariç, %5'i aşmadığı için ihmal edilebilir olduğunu yaptıkları testler sonucunda göstermişlerdir. Aiyewalahinmi ve Adeoye (2016: 190) yaptıkları çalışmalar sonucunda, doğal agrega ile üretilen beton ile elenmiş/geri dönüştürülmüş agregadan üretilen betonun neredeyse aynı su emme kapasitesi oranına ve basınç dayanımı kalitesine ulaştığını deneylerle belirlemişlerdir. Beton yapı atıklarından üretilen betonun, normal agregalı beton ile kıyaslandığında işlenebilirlik ve dayanım açısından hemen hemen aynı değerlere sahip olması; inşaat betonu üretiminde, geri dönüştürülmüş beton agregasının, ana agrega olarak kullanabileceğini göstermiştir (Döndüren ve Şişik, 2016: 136).

Yapı atıkları arasında en yüksek orana sahip olan beton yapı atıkları; atık depolama alanlarında çok fazla yer kaplamakta, depolama alanlarında bekletilmesi veya dolgu malzemesi olarak kullanılması halinde ise karbon salınımı yapmaya devam ettiği için havayı, toprağı ve yeraltı sularını kirletmektedir. Beton atıkların geri dönüşüme katılması halinde, hem atık depolama alanları rahatlayacak hem de atık betonlardan kaynaklanan karbon salınımının önüne geçilmiş olacaktır. Bu avantajların dışında; atık betonun geri dönüştürülerek beton üretiminde kullanılması, doğanın ve doğal kaynakların korunmasını sağlayacağı için, ikinci temel anlayış olan çevresel etkinin azaltılmasına katkıda bulunacak bir uygulama olacaktır.

Üç temel anlayışın sonuncusu olan inşaat maliyet etkinliğinin artırılması, karar vericilerin en çok üzerinde durduğu konudur. Sefidehkhan ve Şimşek (2018: 84) yaptıkları çalışmada, 1 m^3 hazır beton üretim maliyetinin yaklaşık %14›ünü iri agreganın oluşturduğunu, bu oranın taş unuyla birlikte %20

civarında olduğunu ifade etmişlerdir. Beton karışımının %75'ini oluşturan iri ve ince agrega ile taş unu gibi malzemelerin atık betonun geri dönüşümünden elde edildiği düşünüldüğünde; ekonomik açıdan %35 ila %40 arasında bir tasarruf sağlanacağı öngörülmektedir.

Atıkların nakliye maliyeti projenin konumuna göre değişiklik göstermektedir. Kentsel dönüşümün yerinde dönüşüm olarak uygulandığı senaryolarda; geri dönüşüm de yerinde yapılabilir. Bu koşulun sağlanabildiği durumlarda, atıkların bertarafı konusunda yüksek bir paya sahip olan nakliye maliyetinin tamamen ortadan kalkması sağlanmış olur. Ayrıca bu durum, kamyonların trafikteki dolaşımını azaltacağından; trafiğin hafiflemesini ve hava kirliliğinin bir nebze olsun azalmasını sağlar. Ülkemizde ada bazlı kentsel dönüşüm uygulamalarının çoğunlukla yerinde dönüşüm olarak uygulandığı göz önünde bulundurulduğunda; yerinde yapılan geri dönüşümün inşaat maliyet etkinliğine olan potansiyel katkısı, yadsınamayacak büyüklükte olabileceği tahmin edilmektedir.

4. Kentsel Dönüşüm Sonrası Oluşan Beton Atıkların Değerlendirilmesi: "Makasbaşı Mevkii Örneği"

Çalışma alanı olarak seçilen, Kocaeli ili, Derince ilçesi, Deniz Mahallesi sınırları içerisinde kalan, 2,88 hektarlık alana sahip Makasbaşı Mevkii'nde 26'sı betonarme, 40'ı yığma olmak üzere toplam 66 adet yapı bulunmaktadır. Söz konusu alan içerisinde kalan yapıların fizibilite ve matematiksel model raporu ile riskli yapı tespit raporları DB ve iş ortakları tarafından hazırlanmıştır. Hazırlanan raporlar neticesinde, alanda bulunan yapıların ağırlıklı olarak 1955-1985 yılları arasında inşa edildiği ve olası bir doğal afet durumunda can ve mal kaybına neden olacak riskler teşkil ettiği görülmüştür. Bahse konu kentsel dönüşüm alanı Cumhurbaşkanlığı tarafından 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkındaki Kanun'un 2. Maddesi gereğince riskli alan ilan edilmiştir.



Fotoğraf 1. Deniz Mahallesi 1. Etap Kentsel Dönüşüm Alanı, Makasbaşı Mevkii (DB, Basın Yayın Müdürlüğü, 2023)

Kentsel dönüşüm alanında yapılan yıkım çalışmaları, DB tarafından ihale edilerek; DB Etüt Proje Müdürlüğü kontrolünde, ihaleyi kazanan yüklenici firma tarafından gerçekleştirilmiştir. İhale konusu yıkım işi kapsamında; öncelikle yapılara dahil olan demirbaşların (doğramalar, her türlü demir çelik malzeme, sökülüp tekrar kullanılabilen inşaat, elektrik ve mekanik malzemeleri, vb.) yüklenici marifetiyle sökümü yapılmıştır. Yapı yıkımının ilk aşaması olan söküm işi bitirildikten sonra alanda bulunan yapılar, yüklenici sorumluluğunda iş makineleri yardımıyla yıkılmıştır.



Fotoğraf 2. Deniz Mahallesi 1. Etap, Makasbaşı Mevkii Yıkım Çalışmaları (DB, Etüt Proje Müdürlüğü, 2023)



Fotoğraf 3. Deniz Mahallesi 1. Etap, Makasbaşı Mevkii Yıkım Çalışmaları (DB, Basın Yayın Müdürlüğü, 2023)



Fotoğraf 4. Deniz Mahallesi 1. Etap, Makasbaşı Mevkii Yıkım Çalışmaları (DB, Basın Yayın Müdürlüğü, 2023)

Makasbaşı Mevkii'nde, kentsel yenileme uygulaması kapsamında yıkımı gerçekleştirilen yapıların değer analizleri DB ve iş ortakları tarafından yapılmıştır. Yıkım sonrası ortaya çıkan yapı atıklarının metraj verileri; değer analizi raporlarında bulunan yapıların metrajına dair veriler ile yüklenici firmanın resmi kayıtlarından elde edilen veriler kullanılarak tayin edilmiştir. Yıkım işi ve yıkım sonrası oluşan yapı atıklarının alandan tahliye edilmesi işlerinin maliyetleri ÇŞİDB'nin 2022 yılı birim fiyatları ile DB Etüt Proje Müdürlüğü tarafından yapılan piyasa araştırması verileri kullanılarak hesaplanmıştır. Söz konusu yapı atıklarının atık değeri tayin edilirken Makine Kimya Endüstrisi A.Ş.'nin (2022: II. 6 Aylık Dönem) Hurda Malzeme ve Madeni Talaş Alım Fiyat Listesi ile DB Etüt Proje Müdürlüğü tarafından yapılan piyasa araştırma verileri kullanılmıştır.

Tablo 1. Deniz Mahallesi 1. Etap, Makasbaşı Mevkii Yıkım İhalesi Muhammen Bedel Tablosu (DB, Etüt Proje Müdürlüğü, 2023)

DENİZ MAHALLESİ KENTSEL DÖNÜŞÜM ALANINDAKİ YIKILACAK BİNALARIN MUHAMMEN BEDEL TABLOSU

Yapının Cinsi	Yapı Sayısı	Bağımsız Birim Sayısı	Bağımsız Birim Toplam (m²)	Yıkım Sonrası Moloz Mik. (M³)	Çalışacak İş Mak. (Gün)	Moloz Taşıma Kamyon Seferi	Binalardan Çıkacak Mlz.Kg./M²	Binalardaki İnşaat Demiri	Binalardan Çıkacak Korkuluk Kapı Pvc v.b. 10 Kg./M²
Betonarme Bina	26	90	8.353	5.010	25	415	19	158.700	8.000
Yığma Bina	40	83	8.140	4.880	25	405	6	48.800	8.000
Müştelimat Bahçe Duvarı v.b.	0	0	4.032	2.420	10	200	6	24.200	-
Genel Toplam	**66**	**173**	**20.525**	**12.310**	**60**	**1020**		**231.700**	16.000

YAKLAŞIK MALİYETLER				
1	60 GÜN	6.700 ₺	402.000 ₺	Çalışacak İşmakinesi toplam maliyeti KDV Hariç
2	1.020 Sefer	640 ₺	652.800 ₺	Moloz taşımanın toplam maliyeti KDV Hariç
3	60 GÜN	1.000 ₺	60.000 ₺	Şantiye yemek v.b. Giderleri
		Genel Toplam	**1.114.800**	

BİNALARDAN ÇIKACAK MUHTELİF MALZEMELERİN YAKLAŞIK DEĞERİ		
231.700 Kg x 6,18 TL. =	**1.431.906**	**Çıkacak inşaat demiri + K.D.V**
16.000 Kg x 7,00 TL. =	**112.000**	**Çıkacak demir kapı, korkuluk, pvc v.b. Malzemeler + K.D.V**
	Genel Toplam	**1.543.906**

Yıkım işini yapan yüklenici firmanın resmi kayıtları incelenmiş olup; yıkımdan sonra yaklaşık 11.500 m³ moloz ortaya çıktığı görülmüştür. Molozlar, şantiye alanı içerisinde makine yardımı ile kırılmış ve ayıklanmıştır. Bu atıkların alandan tahliyesi için 956 sefer yapılmıştır. Makasbaşı Mevkii'nde gerçekleştirilen yıkım işi sonrası ortaya çıkan beton atıkların tamamı, Kocaeli ili sınırları içerisinde bulunan, alanın yıkımı esnasında temel aşamasında olan 4 ayrı fabrika yapısının temel dolgularında kullanılmıştır.



Fotoğraf 4. Deniz Mahallesi 1. Etap, Makasbaşı Mevkii Yıkım Çalışmaları (DB, Basın Yayın Müdürlüğü, 2023)

5. Sonuç ve Öneriler

Kent yaratma alışkanlığının, insanlık tarihinin çok eski zamanlarına dayandığı günümüzde tespit edilmiş bir gerçektir. Kentlerin konumlarını belirleyen birçok faktör varmış gibi gözükse de, eski çağlardan beri en belirleyici ve ana faktörün coğrafi yapı olduğu anlaşılmaktadır. Ancak kentlerin yapılarını belirleyen faktörler için aynı şeyi söylemek mümkün değildir. Kentlerin yapıları; toplumların ihtiyaçlarına ve içinde bulundukları dönemin ham maddesine bağlı olarak tarih boyunca değişim göstermiştir.

Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü'nün (OECD) verilerine göre 2024 yılının ilk çeyreğinde dünyada büyüme hızı en yüksek ülke Türkiye'dir. (URL 5). Ticaret hacminin artması, dış göçler, nüfus artışı ve iç göçlerin kent merkezlerine doğru olması gibi etkenler; ülkemizde yeni yapı üretimine olan talebi artırmaktadır. Ülkemizde 31 milyonu konut, 5 milyonu ticarethane olmak üzere yaklaşık 36 milyon bağımsız birim bulunmakta olup; bunların 6 milyona yakın bir kısmı riskli yapı statüsünde değerlendirilmektedir (URL 6). Kent merkezlerinde eski yapı stokunun fazla olması, bu yapıları riskli kılmakta; bu durum, deprem tehdidi altında bulunan şehirlerimizde can ve mal güvenliği açısından ciddi bir problem yaratmaktadır. Ayrıca ülkemizdeki eski yerleşim yerleri, hızla gelişen teknoloji ve çağa uygun şehircilik ilkelerinin gereklilikleri karşısında yetersiz kalmaktadır. Tüm bu sebeplerden ötürü; ülkemizde kentsel yenileme uygulamalarının son yıllarda hızlı bir artış gösterdiği görülmektedir.

Ülkemizde yenilenme ihtiyacı duyan kentsel alanlarda sıklıkla uygulanan yöntemlerden biri de ada bazlı kentsel dönüşümdür. Bu uygulama kapsamında, kentin afet riski taşıyan ve/veya yenilenme ihtiyacı duyan bir bölgesindeki tüm yapılar yıkılmakta, bölgedeki tüm unsurlar (yeşil alanlar, konut yapıları, ticarethaneler, vb.) yeniden tasarlanmaktadır. Uygulama alanı sınırları içerisinde bulunan tüm yapıların yıkılması, yüksek miktarda yapı atığı oluşmasına sebep olmaktadır. Beton yapı atıkları, yıkım sonrası oluşan yapı atıkları arasında hacimce en büyük olanıdır. Katı atık kategorisinde değerlendirilen beton yapı atıkları, atık depolama alanlarında çok yer kaplamaktadır. Betonun kullanım ömrü boyunca da devam eden karbon salınımı, büyük beton kütlelerinde yavaş gerçekleşirken; yıkım sonucu ortaya çıkan beton yapı atıklarında, havayla temas eden yüzeyin artması nedeniyle, önemli ölçüde hızlanmaktadır. (Orhon ve Altın, 2012: 294). Bu durum, atık depolama alanlarında bekletilen beton yapı atıklarının, karbon salınımını artırarak çevreye zarar vermesine sebep olmaktadır.

Beton yapı atıkları, farklı şekillerde değerlendirilebilir. Ülkemizde en sık değerlendirilme yöntemlerinde biri, dolgu malzemesi olarak kullanılması yöntemidir. Bu yöntem bir geri dönüşüm değil, yeniden kullanım yöntemidir. Bu yöntem ile ekonomiye kazandırılan beton yapı atıkları, eğer dört tarafı kapalı bir temel dolgusu için kullanılmıyorsa, toprak ile açık temasta olduğu için yaptığı salınım ile toprağa ve suya zarar vermektedir.

Makasbaşı Mevkii'nde, kentsel dönüşüm kapsamında yapılan yıkım çalışmaları sonucu ortaya çıkan 11.500 m^3 moloz, müteahhit marifetiyle alandan tahliye edilmiştir. Molozların alandan bertarafının maliyeti hesaplanırken DB Etüt Proje Müdürlüğü'nün yıkım ihalesi için hazırlamış olduğu Muhammen Bedel Tablosu'ndaki sefer birim fiyatından yararlanılmıştır. Bu hesaplama sonucunda, nakliye maliyetinin, 2022 yılı fiyatlarına göre 611.840 TL olduğu görülmüştür. Aynı tabloya göre; molozların yaklaşık %41'ini betonarme yapılar, %39'unu yığma yapılar, %20'sini bahçe duvarı, müştemilat, vb. oluşturmaktadır (DB, Etüt Proje Müdürlüğü, 2023).

Makasbaşı Mevkii'nde ortaya çıkan molozlar yeniden kullanım yöntemiyle değerlendirilmiştir. Bu atıklar, toplamda 8.000 m^2 yüz ölçümüne sahip ve ortalama 1,50 m yükseklikteki fabrika temellerinin dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır. Makasbaşı Mevkii'ndeki molozların değerlendirilme şekli, dört tarafı perde duvarlarla çevrili olan temel sistemlerinin dolgusunda kullanıldığı için; çevreye zararı minimize edilmiştir. Ayrıca basit ve ucuz bir yöntem olması, bu yöntemi uygulanabilir ve tercih edilebilir kılmaktadır.

Ancak; yeniden kullanım yönteminin sürekliliği ve garantisi yoktur. Çalışma alanı olan Makasbaşı Mevkii'nde yıkım işinin kontrolünü yapan DB Etüt Proje Müdürlüğü'nden alınan bilgilere göre; molozların şantiye alanından bertarafı, sözleşme süresinin son günlerinde gerçekleştirilmiştir. Bu durumun sebebi; proje alanı ve çevresinde, molozların yeniden kullanımı için gerekli ihtiyacın oluşmamış olmasıdır. Müteahhit firmanın, molozların yeniden kullanımı için bir alan bulamadığı senaryoda; molozlar atık depolama alanlarına gönderilecektir. Bu durum, toplam maliyetler hesaplanırken atık yönetim maliyeti gibi yüksek bir maliyetin hesaba katılmasına sebep olmaktadır. ÇŞİDB'nin 2017 yılı birim fiyatları baz alınarak hesaplanan 1 ton atığın atık yönetim maliyeti, 208.995,00 TL'dir (Yarımçam ve Parlak Biçer, 2020: 115).

Beton yapı atıklarının bir diğer değerlendirilme şekli ise geri dönüşümdür. Büyük moloz kütlelerinin kırılıp ayıklanarak agrega boyutuna getirilmesi ve belirli işlemlerden geçirilmesi sonucu beton yapı atıkları, beton ve asfalt üretiminde kullanılabilir hale gelmektedir. Beton yapı atıklarının geri dönüştürülerek beton üretiminde kullanılması, betonun doğal kaynaklara olan ilgisini azaltacaktır. Doğal agrega; kum ocaklarından, dere yataklarından ya da deniz kıyısından elde edilirken; yapay agrega ise taşların, bu iş için üretilmiş makineler (konkasör) yardımı ile kırılması sonucu elde edilmektedir (Özinan, 2010: 5). Nehir ve dere yataklarından doğal agrega temin edilirken, su yataklarının uzun vadede göreceği zararlar hesaba katılmamaktadır. Doğal agrega üretimi için dağlar oyulmakta, doğanın yapı taşları törpülenmektedir. Beton yapı atıklarının geri dönüştürülerek beton üretiminde kullanılması, doğanın ve doğal kaynakların korunumu açısından oldukça faydalı olacaktır.

Birçok ülke, yapıların yıkımı sonucu ortaya çıkan beton yapı atıklarını farklı alanlarda değerlendirmek için çalışmalar yürütmektedir. 1995 yılından bu yana, sadece büyük depremlerin yarattığı molozların miktarı yaklaşık 320 milyon tondur (Kaplan ve Soyluk, 2024: 142). Amerika Birleşik Devletleri'nde her yıl yaklaşık 1199 ton beton yapı atığı geri dönüştürülerek agrega üretiminde kullanılmaktadır (Yarımçam ve Parlak Biçer, 2020: 105). Türkiye'de inşaat atıklarının kontrolü ve yönetimi; Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği uyarınca yapılmaktadır. Yapılan literatür taraması sonucunda, mevcut yönetmeliğin yetersiz kaldığına dair vurgular yapıldığı tespit edilmiştir. Coşkun ve Öztürk (2012: 309) yaptıkları çalışma kapsamında; belediyeler, yapı denetim kuruluşları ve yüklenici firmalar ile anketler yapmış; bu anketler sonucunda tarafların yeterince bilgi ve farkındalığa sahip olmadıklarını,

Yönetmelik maddelerinin uygulanmasında aksaklıklar yaşandığını, en önemlisi çevre duyarlılığı ve geri dönüşüm konusunda yasal düzenlemelerin yetersiz olduğunu ortaya koymuşlardır.

Ülkemizde beton yapı atığı geri dönüşümünün yaygın olmamasının sebeplerinden biri de tesis yetersizliğidir. Sabit bir geri dönüşüm tesisi, iyi konumlandırılmalıdır. Ancak ne kadar iyi bir konuma sahip olsa da; atıkların nakliye maliyetini sürekli hale getirecektir. Atıkların depolama alanlarında durmasındansa, geri dönüşüm tesislerinde işletilmesi elbette ki daha iyi bir senaryodur. Ancak tesislerin kurulum maliyetleri, sektörde çekinceler yaratmaktadır. Kısa vadeli maliyet hesaplamalarında önemli bir paya sahip olan kurulum maliyetleri, geri dönüşüm tesislerini sayıca yetersiz kılmaktadır. Günümüz dünyasında geri dönüşüm; mali çekincelere yenik düşecek kadar önemsiz bir konu değildir. Bu çekinceleri ortadan kaldırmak için;

- Yasal düzenlemelerin yeterli hale getirilmesi,
- Sektörün aktörlerinin bu konuda bilgilendirilmesi ve teşvik edilmesi,
- Kamu kurumlarının beton yapı atıklarının geri dönüşümüne öncülük ederek sektöre yön vermesi gerekmektedir.

Bunların dışında; sabit geri dönüşüm tesislerinin doğrudan maliyetleri artırmasından dolayı, mobil geri dönüşüm tesisleri diğer bir alternatif olarak düşünülebilir. Ada bazlı kentsel dönüşümün yerinde yapıldığı uygulamalarda, yapıların yıkılması sonucu ortaya çıkan beton yapı atıkları, şantiye alanı içerisinde kurulan bir mobil tesiste kırılıp ayrıştırılarak; alanda inşa edilecek yeni yapıların üretiminde kullanılabilir. Bu uygulama ile beton yapı atıklarının nakliye maliyeti tamamen ortadan kalkmış olacaktır. Ayrıca kamyonların trafikte olmaması trafiği rahatlatacak, enerji kullanımını ve hava kirliliğini azaltacaktır. Özellikle yapı stokunun fazla, uygulama alanının büyük olduğu kentsel dönüşüm uygulamalarında, geri dönüşüm tesislerinin ve beton üretim tesislerinin şantiye alanı içerisinde kurulması; maliyet etkinliğini artıracak, sürdürülebilirliği sağlayacak, doğanın ve doğal kaynakların korunmasına katkıda bulunacaktır.

Makasbaşı Mevkii, Türkiye genelinde yapılan ada bazlı kentsel dönüşüm uygulamaları arasında küçük ölçekli bir proje olarak gözükmektedir. Ancak küçük ölçekli olmasına rağmen ülke genelinde yapılan kentsel dönüşüm uygulamalarının çoğuyla aynı biçim ve nitelikleri taşıması sebebiyle; Makasbaşı Mevkii özelinde yapılan tespitlerin, gelecekte yapılacak kentsel dönüşüm uygulamalarına ışık tutması hedeflenmektedir.

Kaynaklar

Ajayi, S. ve Oyedele, L. (2017). Policy Imperatives For Diverting Construction Waste From Landfill: Experts' Recommendations For UK Policy Expansion. Journal of Cleaner Production (147), ss. 57-65.

Akça, K. (2014). Kentsel Dönüşüm Sürecinde İnşaat Atık Molozlarının Geri Kazanılması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Aiyewalehinmi, E. ve Adeoye, T. (2016). Recycling Of Concrete Waste Material From Construction Demolition. American Journal Of Engineering Research (5:4), ss. 182-191.

Aydınlı, H. ve Kaya, A. (2013). Yargı Kararları Örnekleri İle Türkiye'de Kentsel Dönüşüm Uygulamalarının Sorun Alanları. Afyon Kocatepe Üni, İİBF Dergisi (C. XV, S. II), ss. 449-468.

Coşkun, H. ve Öztürk, M. (2012). Katı Atık Yönetimi Konusunda İnşaat Sektörü Paydaşlarının Algılamaları: Hatay İli Örneği. New World Science Academy 7(1), ss.299-310.

ÇOB - Çevre Ve Orman Bakanlığı (2004). Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği (18.03.2004, 25406), Madde 4.

ÇŞİDB - Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı (2021). Binaların Yıkılması Hakkında Yönetmelik (13.10.2021, 31627), Madde 4

Demir, İ. (2010). İnşaat Yıkıntı Atıklarının Beton Üretiminde Kullanımı ve Beton Özelliklerine Etkisi. AKÜ Fen Bilimleri Dergisi (2009: 02), ss. 105-14.

DB – Derince Belediyersi Etüt Proje Müdürlüğü (2023). Derince ilçesi, Deniz Mahallesi, 3426, 3427, 3433, 3434, 3435, 3436, 3437 no'lu adalarda yapılacak Kentsel Dönüşüm çalışmaları Yıkım İhalesi, Muhammen Bedel Tablosu.

Dosho, Y. (2007). Development of a Sustainable Concrete Waste Recycling System. Journal Of Advanced Concrete Technology (Vol. 5, No. 1), ss. 27-42.

Döndüren, S. ve Şişik, Ö. (2016) Geri dönüştürülmüş Agregalarla Üretilen Betonun Özellikleri. Selçuk Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Teknik-Online Dergi (15:2), ss. 125-137.

Fazilet, M. (2014). Yıkım Projesi Yönetimi Kapsamında Metot Seçimi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, DOI: 501111116

Garechana, G.; Rio-Belver, R.; Cilleruelo, E.; Gavilanes-Trapote, J. (2012). Capturing Waste Recycling Science. Technological Forecasting & Social Change (81), ss. 250-258.

Ganiron Jr., T. (2015). Recycling Concrete Debris from Construction and Demolition. Waste, International Journal of Advanced Science and Technology (77), ss. 7-24.

Görün, M. ve Kara, M. (2010). Kentsel Dönüşüm Ve Sosyal Girişimcilik Bağlamında Türkiye'de Kentsel Yaşam Kalitesinin Artırılması. Yönetim Bilimleri Dergisi (8:2), ss.141-164.

Halahla, A.; Akhtar, M.; Almasri, A. (2019). Utilization of Demolished Waste as Coarse Aggregate in Concrete. Civil Engineering Journal (5:3), ss. 540-551.

Jorgensen, F. (2019). The MIT Press Essential Knowledge Series (1. Baskı). ABD: MIT. URL'si: https://books.google.com.tr/books?hl=tr&lr=&id=NC-C4DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR7&dq=what+is+recycling&ots=OtU3LZQY-Bu&sig=8Y1CInVl0QG8t50XR68TWlQpBOE&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false

Kaplan, E. ve Soyluk, A. (2024). Journal of Architectural Science and Applications (9), ss. 140-162.

Keleş, R. (1998). Kentbilim Terimleri Sözlüğü (3. Baskı). Ankara: İmge.

Kılıç, N. (2012). Kentsel Dönüşümde Geri Dönüşüm Atağı. Ar&Ge Bülten (2012, Aralık - Sektörel), ss. 12-20.

Koçak, H. ve Tolanlar, M. (2008). Kentsel Dönüşüm Uygulamaları (Aydın ve Afyonkarahisar Örnekleri). Afyon Kocatepe Üniversitesi, İ.İ.B.F. Dergisi (C.X ,S II), ss. 397-41.

Mehta, P. (2002). Greening of the Concrete Industry for Sustainable Development. Concrete International (July 2002), ss. 23-28.

Nicoara, A.; Stoica, A.; Vrabec, M.; Rogan, N.; Sturm, S.; Ow-Yang, C.; Gülgün, M.; Bundur, Z.; Ciuca, I.; Vasile, B. (2020). End-of-Life Materials Used as Supplementary. Cementitious Materials in the Concrete Industry. Materials Journal (13:1954), ss. 1-20.

Onal, M. (2009). Yapısal Atıkları Azaltma Yönünde Türkiye Koşullarına Uygun Yıkım Yönetim Sisteminin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü.

Orhon, A. ve Altın, M. (2012). Beton Yapıların Karbon Ayak İzi. Sürdürülebilir Yapı Tasarımı Ulusal Konferansı, Bornova, 12-13 (2012).

Ölmez, E. ve Yıldız, Ş., (2008). "İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Yönetimi ve Planlanan İstanbul Modeli", Kent Yönetimi İnsan ve Çevre Sorunları'08 Sempozyumu, 2-6 Kasım 2008, İstanbul.

Özinan, İ. (2010). Silex ve Tras Katkılı Harç Ve Beton Karışımlarının Mekanik Ve Fiziksel Özelliklerinin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Özmen, B. (2000). 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depremi'nin Hasar Durumu, Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi. Türkiye Deprem Vakfı (DR 010-53).

Saeed, M. Ve Yas, H. (2023). Impact Of Concrete Waste Management By Using Life Cycle Assessment, Journal of Future Sustainability (3), ss. 267–276.

Salgın, B.; İpekçi, C; Coşgun, N.; Karadayı, T. (2021). Enerji Ve Ham Madde Korunumu Açısından Yapısal Atıkların Yeniden Kullanımına/Geri Dönüşümüne Yönelik Bir Değerlendirme. Mimarlık Bilimleri Ve Uygulamaları Dergisi, 6 (2), ss.526-537.

Sefidehkhan, H. ve Şimşek, O. (2018). Farklı Oranlarda Geri Dönüşüm Agregası Kullanılarak Üretilen Betonun Bazı Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması. Politeknik Dergisi 21(1), ss. 83-91.

Weil, M.; Jeske, U.; Schebek, L. (2006). Closed-loop Recycling of Construction and Demolition Waste in Germany in View of Stricter Enviromental Threshold Values. Waste Management Research 2006 (24), ss.197-206.

Yahdu, G. ve Aiswarya Devi, S. (2015). An Innovative Study On Reuse Of Demolished Concrete Waste, Journal of Civil and Environmental Engineering (5:5). DOI: 10.4172/2165-784X.1000185.

Yakut, A. ve Binici, B. (2023). Ülkemizde Riskli Yapıların Genel Özellikleri ve Deprem Performansı. Çevre, Şehircilik ve İklim Dergisi (2:4), ss. 220-237.

Yarımçam, Ş. ve Biçer, Z. (2020). Kentsel Dönüşümle Oluşan İnşaat Atıklarının Maliyet Analizi: "Kayseri Küçükali Mahallesi Örneği". Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi (36:1), 2020, ss. 102-118.

Yürek, C. (2013). Kentsel Dönüşüm Uygulamaları – Hukuki, İdari Ve Teknik Altyapısı, Türkiye Mühendislik Haberleri (478), ss. 28-38.

İnternet Kaynakları

URL-1:https://nip.tuik.gov.tr/?value=BinaIstatistikleri Erişim Tarihi: 29/06/2024, 21:40

URL-2:https://www.csb.gov.tr/bakan-ozhaseki-sayin-cumhurbaskanimizin-ortaya-koydugu-vizyonla-81-ilimizde-sagliksiz-yapi-stokunu-yeniliyoruz-bakanlik-faaliyetleri-38705 Erişim Tarihi: 01/05/2024, 23:09

URL-3:https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Waste_generation_by_economic_activities_and_households,_2020_(%25_share_of_total_waste_)_25-05-2023.png Erişim Tarihi: 09/05/2024, 14:29

URL-4:https://www.epa.gov/recycle/recycling-basics-and-benefits#:~:text=Recycling%20is%20the%20process%20of,cannot%20be%20reduced%20or%20reused. Erişim Tarihi: 21.05.2024, 17:08

URL-5:https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/turkiye-buyumede-oecdde-birinci-g20de-ikinci/3236475 Erişim Tarihi: 30.06.2024, 00:28

URL-6:https://www.aa.com.tr/tr/gundem/bakan-ozhaseki-turkiye-genelinde-2-milyon-200-bin-bagimsiz-bolumun-donusumunu-tamamladik/3049691# Erişim Tarihi: 39.06.2024, 02:56

BÖLÜM II

ZEMİN KAT KOMŞU DIŞ CEPHELERDEKİ DOLGU DUVARLARIN YAPISAL DAVRANIŞA ETKİSİ

The Effect of Filling Walls on Ground Floor Neighboring Exterior Facade on Structural Behavior

MUHAMMET ZEKI ÖZYURT

(Doç. Dr.), Sakarya University, Sakarya, Turkey
E-mail: ozyurt@sakarya.edu.tr
ORCID: 0000-0002-1593-4581

1. Giriş

Yapı mühendisliğinde, güvenliğin sağlanması en önemli amaçlardan biridir. Bu bakımdan, birçok parametrenin yanı sıra taşıyıcı sistem tasarımı da önem arz etmektedir. Depreme dayanıklı yapı tasarımının temel ilkeleri açısından, deprem yönetmelikleri belirleyicidir. Bunlar: dayanım, uygun geometri, rijitlik, kararlılık, süneklik ve sönüm olarak sıralanabilir. Dayanım ve süneklik kadar, yatay ötelenme rijitliği de betonarme yapıların deprem güvenliği açısından dikkate alınması gereken bir hususdur. Yapıda düzensizliklerin önlenmesi bu hususla doğrudan ilintilidir. Yapısal davranışın doğru tahmin edilebilmesi için, teorik olarak yalnızca yük olarak analize katılan dolgu duvarların da taşıyıcı sistemle birlikte çalıştığı dikkate alınmalı ve düşey ve yatay yükler altında analize katılmalıdır. Dolgu duvarların kirişlere sadece yük olarak aktarılmasından ibaret olan analizlerde, gerçek yapısal davranışın modellenmemiş olacaktır. Çalışmada, dolgu duvarların taşıyıcı sistemle birlikte tanımlanması ile birlikte, işyeri olarak kullanılan yapılarda zemin katta vitrin oluşturmak amacıyla komşu dış cephelerde dolgu duvarların kaldırılmasının yapısal davranışı nasıl etkilediği araştırılmıştır.

Klasik olarak yapılan hesaplarda, betonarme yapılarda dolgu duvarların yapısal davranış üzerindeki etkisi, duvarı taşıyıcı elemanlar gibi tanımlamak yerine, ana taşıyıcılardan kirişlere düşey yük olarak aktarılarak dikkate alınır. Ancak, bilindiği üzere dolgu duvarlar rijitlik artışına sebep olmaktadır. Bununla birlikte, olumsuz durumlarla karşılaşmamak için, modele katılarak hesaplarda dikkate alınması daha uygun olacaktır. Ayrıca, simetrik taşıyıcı sistemli yapılarda, dolgu duvar asimetrik olması rijitlik dağılımını değiştirecek ve ek burulma etkileri oluşturacaktır. Bu bakımdan, yapısal analizlerde dolgu duvarların etkilerinin dikkate alınması, gerçek davranışın modele aktarılması bakımından mühimdir. Bu çalışmada; dolgu duvarın modele yansıtıldığı betonarme çerçeveli yapıda, farklı zemin kat yükseklikleri için zemin kata ait komşu cephelerde dolgu duvarların kaldırılmasının yapısal davranışı nasıl etkilediği araştırılmıştır.

2. Araştırma ve Bulgular

Bu çalışmada, doğrusal hesap yöntemlerinden biri olan eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılmıştır. Söz konusu yöntem, Türk Deprem Yönetmeliğinde de tanımlanmıştır.

2.1. Yöntem

Uygulanan deprem doğrultusunda, binaya etkiyen deprem kuvveti, $V_{tE}^{(X)}$ aşağıdaki gibi belirlenecektir:

$$V_{tE}^{(X)} = m_t\, S_{aR}\,(T_D^{(X)}) \geq 0{,}04\, m_t\, I\, S_{Ds}\, g \qquad \textbf{(1)}$$

i'inci kat döşemesinin toplam kütlesi olmak üzere, toplam bina kütlesi m_t olarak gösterilmiştir (2):

$$m_t = \sum_{i=1}^{N} m_i \qquad \textbf{(2)}$$

Taban kesme kuvveti, binaya etkiyen eşdeğer deprem yüklerin toplamıdır (3):

$$V_{tE}^{(X)} = \Delta F_{NE}^{(X)} + \sum_{i=1}^{N} F_{iE}^{(X)} \qquad \textbf{(3)}$$

Binanın tepe noktasına etkiyen ek eşdeğer deprem yükü ise 4 eşitliğinde verilmiştir:

$$\Delta F_{NE}^{(X)} = 0.0075\, N V_{tE}^{(X)} \qquad \textbf{(4)}$$

Taban kesme kuvvetinin $\Delta F_{NE}^{(X)}$ çıktıktan sonra kalan kısmı, en üst kat da dahil olmak üzere, katlara şu şekilde dağıtılacaktır (5):

$$F_{iE}^{(X)} = (V_{tE}^{(X)} - \Delta F_{NE}^{(X)}) \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^{N} m_j H_j} \quad \textbf{(5)}$$

Uygulanan deprem doğrultusunda bina doğal titreşim periyodu $Tp^{(X)}$ yaklaşık olarak şu şekilde hesaplanır (6):

$$T_p^{(X)} = 2\pi \left(\frac{\Sigma_{i=1}^{N} m_i d_{fi}^{(X)2}}{\Sigma_{i=1}^{N} F_{fi}^{(X)} d_{fi}^{(X)}} \right)^{1/2} \quad \textbf{(6)}$$

Bu bağlamda, rijitlik düzensizliği katsayısı (ηki) denklem 7 ile gösterilmiştir:

$$[\eta_{ki} = (\Delta_i^{(x)} / h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1}^{(x)} / h_{i+1})_{ort}|$$

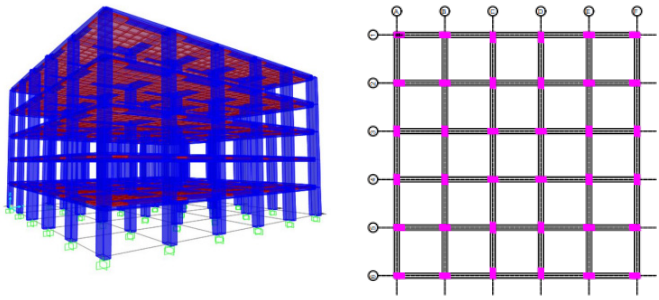
veya

$$\eta_{ki} = (\Delta_i^{(x)} / h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1}^{(x)} / h_{i-1})_{ort}] \quad \textbf{(7)}$$

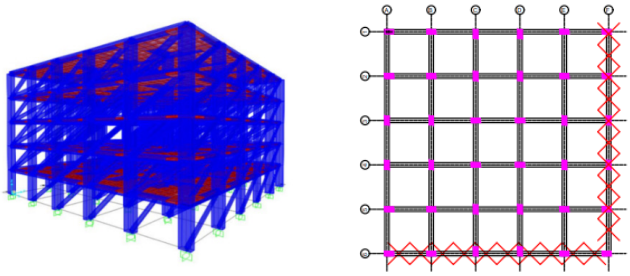
2.2 Modelleme

2.2.a. Model Tipleri ve Sabitler

Bu çalışmada, taşıyıcı sistem malzemesi C25 / B420C, duvar malzemesi ytong olarak belirlenmiştir. Zemin katta planda duvar yerleşimi bakımından 2 farklı yapı tipi irdelenmiştir: R tipinde duvarlar kirişlerde yük olarak tanımlanmış olup, D1A tipinde vitrin oluşturmak amacıyla zemin katta 1- 1 ve A-A akslarındaki duvarlar kaldırılmıştır. Bu tipte, zemin katın diğer akslarında ve diğer katlarda duvarlar basınç çubuğu olarak tanımlanmıştır. Zemin parametreleri için; yapı konumu Serdivan Belediye Binası mevkii seçilmiştir. Konut ve işyeri olarak kullanılan 5 katlı yapı kirişli döşeme sistemli olan betonarme taşıyıcı sistemli bir yapıdır.



Şekil 1. R Tipi Yapı Modeli



Şekil 2. D1A Tipi Yapı Modeli

Not: Taralı akslarda duvar, basınç çubuğu olarak tanımlıdır.

Analizlerde dikkate alınan sabitler Tablo1'de verilmiştir. Betonarme taşıyıcı elemanlarda, deprem yönetmeliğine göre olması gereken minimum donatı tanımlanmıştır.

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Sabitler

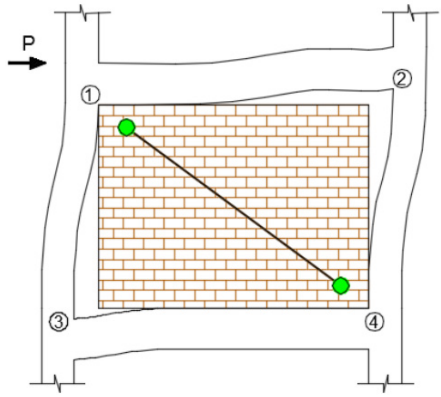
Beton / Donatı	C25 / B420C
Poisson Oranı	0,20
Elastisite Modülü	31000 Mpa
Planda Her İki Yönde Aks Mesafeleri (m / m)	5,1 / 5,1
Bina Önem Katsayısı	1
Kolon Kesiti (mm x mm)	500 x 1000
Kiriş Kesiti (mm x mm)	300 x 500
Zemin Kat Yüksekliği Değerleri	2 m: 2,5 m: 3,0 m: 4,0 m: 5,0 m
Yerel Zemin Sınıfı	ZD
Ss	1,598
S_1	0,438
PGA (En Büyük Yer İvmesi) g	0,650
PGV (En Büyük Yer Hızı) cm/s	52,968

2.2.b. Dolgu Duvarların Modellenmesi

Bu çalışmanın amacının dolgu duvarların yapısal davranışına etkisini araştırmak olması nedeniyle, dolgu duvarların eşdeğer basınç çubuğu ile modellenmesi tercih edilmiştir (Öztürkoğlu, Uçar ve Yeşilce, 2015; Kızıloğlu, 2006).

2.2.c. Eşdeğer Basınç Çubuğu ile Modelleme

Şekil 3'te gösterildiği gibi şekil değiştirmiş olan çerçevede, 2 ve 3 numaralı köşelerde dolgu duvarın çerçeveyle bağlantısı kesilecektir. Temasın gerçekleştiği 1 ve 4 numaralı noktalarda ise, duvar üzerindeki yük aktarımı gerçekleşecektir. Diğer taraftan, dolgu duvarını oluşturan malzemelerin çekme dayanımı sıfıra yakındır. Bu sebeple, eksenel basınç kuvveti taşıyabilen diyagonal bir çubuk yardımıyla dolgu duvar tanımı yapılmaktadır (Öztürkoğlu, Uçar ve Yeşilce, 2015; Kızıloğlu, 2006; Akyürek, Tekeli ve Demir, 2018).



Şekil 3. Deforme Olmuş Çerçevede Dolgu Duvar Tanımlama

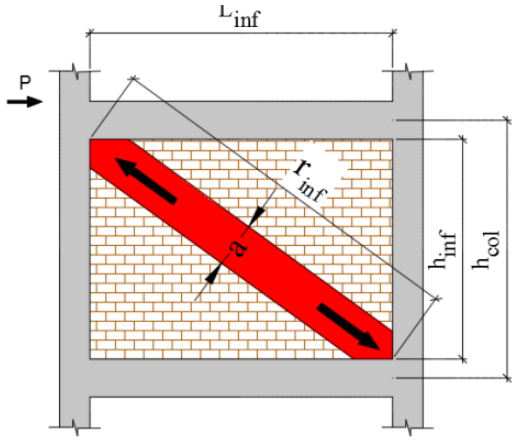
$$\lambda_1 = \left[\frac{E_{me} t_{inf} \sin 2\theta}{4 E_{fe} I_{col} h_{inf}} \right]^{\frac{1}{4}} \quad \textbf{(8)}$$

$$r_{inf} = \sqrt{L_{inf} + h_{inf}} \quad \textbf{(9)}$$

$$a = 0.175 \left(\lambda_1 h_{col} \right)^{-0.4} r_{inf} \quad \textbf{(10)}$$

Yukardaki eşitliklerde; dolgu duvar ile çerçeve elemanlarının elastisite modülü E_{me} ve E_{fe}, eşdeğer basınç çubuğunun kalınlığı t_{inf}, eşdeğer basınç

çubuğunun yatayla yaptığı açı q, kolon eylemsizlik momenti I_{col}, dolgu duvarın yükseklik ve uzunluğu h_{inf} ve L_{inf}, eşdeğer basınç çubuğunun uzunluğu r_{inf}, kiriş orta eksenleri arasındaki kolon yüksekliği h_{col}, dolgu duvar ve çerçeve rijitliği λ_1, eşdeğer basınç çubuğunun genişliğini ise a ile gösterilmiştir. Söz konusu geometrik parametreler Şekil 4'te gösterilmiştir (Öztürkoğlu, Uçar ve Yeşilce, 2015).



Şekil 4. Dolgu Duvar Modeli Genişlik Parametreleri

3. Sayısal Çıktılar

Planda iki farklı dolgu duvar yerleşimine sahip yapı tipleri için, farklı zemin kat yüksekliklerine göre Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile elde edilen analiz sonuçları Tablo 2 ve Tablo 3'te verilmiştir:

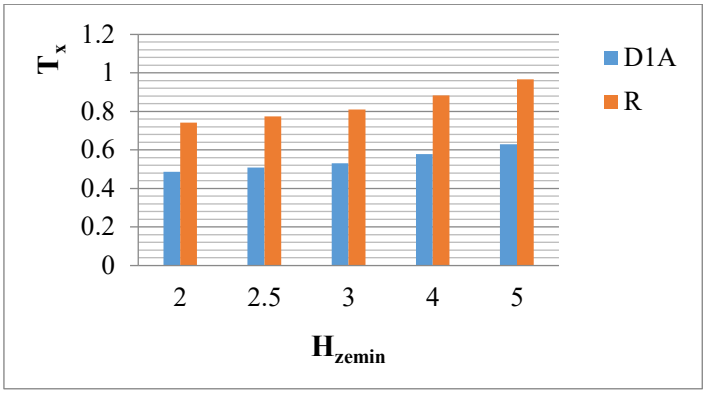
Tablo 2. Analiz Sonuçları (X yönü)

Parametre	TİPLER									
	D1A					R				
H_z (m)	2	2,5	3	4	5	2	2,5	3	4	5
V (kN)	5929.990	5707.330	5492.690	5117.150	4769.430	5164.990	4953.630	4747.490	4406.830	4075.840
Δ (m)	0.064050	0.067980	0.0887	0.0707	0.0741	0.1100	0.10970	0.11430	0.12410	0.13640
H (m)	14.000	14.500	15.000	16.000	17.000	14.000	14.500	15.000	16.000	17.000
W (kN)	28326.7	28438.70	28554.5	29011.4	29472.7	37591.230	37607.7	37719.160	38168.060	38619.5
η_{ki}	1.28992	1.29027	1.29911	1.30732	1.32979	1.20045	1.20455	1.2166	1.2345	1.23902
T (s)	0.4870	0.5080	0.530	0.5780	0.630	0.7420	0.7740	0.810	0.8830	0.9660
V/W	0.20930	0.20070	0.19240	0.17640	0.16180	0.13740	0.13170	0.12590	0.11550	0.10550
Δ/H	0.00460	0.00470	0.00590	0.00440	0.00440	0.00760	0.00760	0.00760	0.00780	0.00800

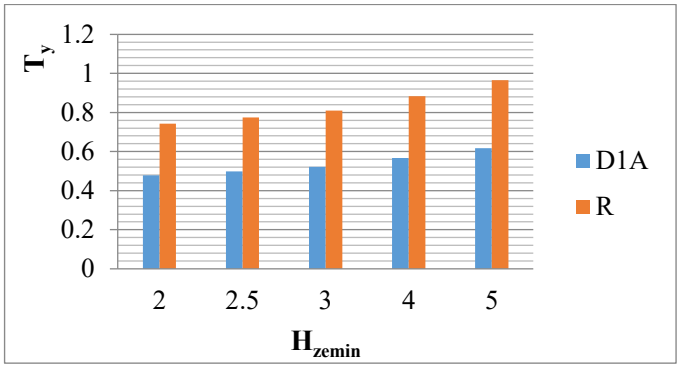
Tablo 3. Analiz Sonuçları (Y yönü)

Parametre	TİPLER									
	R					D1A				
H_z (m)	2	2,5	3	4	5	2	2,5	3	4	5
V (kN)	5164.99	4953.63	4747.49	4406.83	4075.84	6041.64	5810.27	5587.580	5216.42	4862.04
Δ (m)	0.106	0.1097	0.1143	0.1241	0.1364	0.0653	0.06715	0.149150	0.07145	0.0748
H (m)	14.00	14.50	15.00	16.00	17.00	14.00	14.50	15.00	16.00	17.00
W (kN)	37591.2	37607.71	37719.20	38168.06	38619.50	28326.7	28438.7	28554.46	29011.40	29472.70
Π_{ki}	1.200450	1.204550	1.21650	1.23445	1.239020	1.314890	1.32743	1.330280	1.341710	1.359120
T (s)	0.742	0.774	0.81	0.883	0.966	0.478	0.499	0.521	0.567	0.618
V/W	0.1374	0.1317	0.1259	0.1155	0.1055	0.2133	0.2043	0.1957	0.1798	0.1650
Δ/H	0.0076	0.0076	0.0076	0.0078	0.0080	0.0047	0.0046	0.0099	0.0045	0.0044

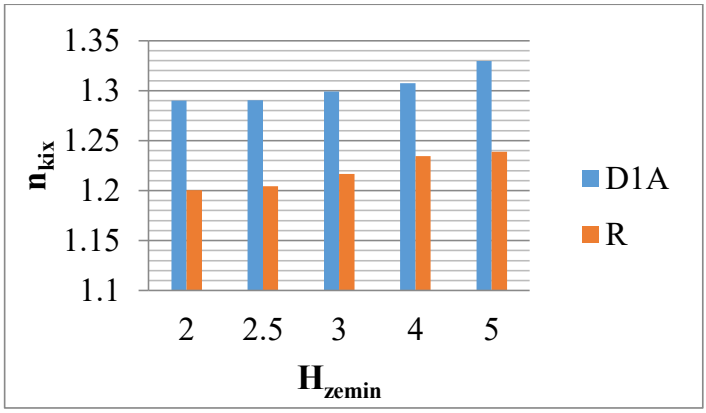
Bu tablolardaki sonuçlar, aşağıda grafik olarak da ifade edilmiştir:



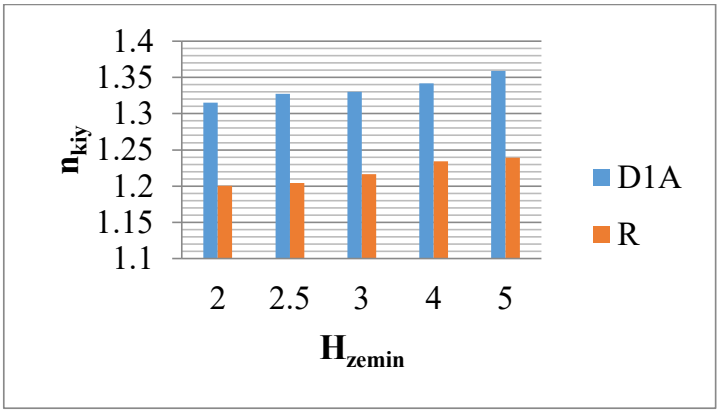
Şekil 5. Zemin Kat Yüksekliği-X Yönü Periyot Değişimi



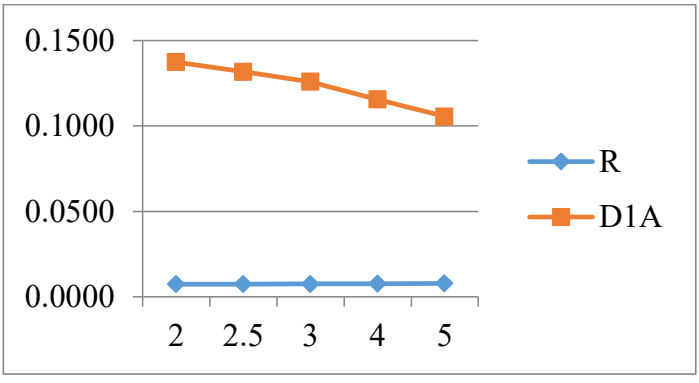
Şekil 6. Zemin Kat Yüksekliği-Y Yönü Periyot Değişimi



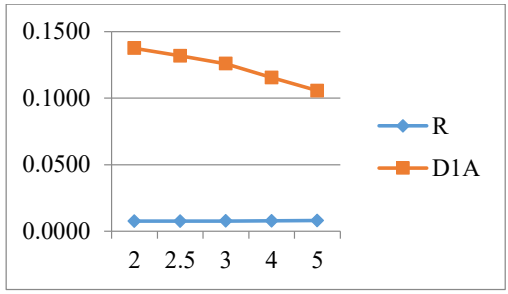
Şekil 7. Zemin Kat Yüksekliği-η_{kiX} Değişimi



Şekil 8. Zemin Kat Yüksekliği- η_{kiY} Değişimi



Şekil 9. X-Yönü Kesme Kuvveti Taşıma Kapasitesi Değişimi



Şekil 10. Y-Yönü Kesme Kuvveti Taşıma Kapasitesi Değişimi

4. Sonuçlar ve Değerlendirme

Bu çalışmada, dolgu duvarların basınç çubuğu olarak tanımlandığı ve vitrin oluşturmak amacıyla dış aksta birbirine dik iki cephede kaldırıldığı durumlar için yapısal davranışı temsil eden değerler irdelenmiştir.

Buna göre;

Zemin kat yüksekliğinin değişimi durumunda:

- Zemin kat yüksekliği arttıkça, hâkim moda ait periyod artmaktadır,
- Zemin kat yüksekliği ile bina ağırlığı da artmakta, ancak periyot artımına bağlı olarak Sae(T) değerinde azalma meydana gelmektedir. Dolayısıyla, taban kesme kuvveti de azalmaktadır. Bu durumda, taban kesme kuvveti/yapı ağırlığına oranı da azalmaktadır,
- Yumuşak kat düzensizliği ηki, zemin kat yüksekliği ile birlikte artmaktadır.

Dış komşu iki cephede dolgu duvarların kaldırılmasının etkisi ise şöyle özetlenebilir:

- Kesme kuvveti taşıma kapasitesi değeri D1A tipinde daha yüksek çıkmaktadır,
- Zemin kat yüksekliği arttıkça D1A tipinde kesme kuvveti taşıma kapasitesi azalmakta, R tipinde ise hemen hemen değişmemektedir,
- Tepe noktası maksimum yer değiştirmeleri R tipinde D1A tipine göre daha yüksek değerlere ulaşmaktadır.

Kaynakça

Zamani A. (2020). Betonarme yüksek bir binanın zamana bağlı davranışının incelenmesi, İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi İzmir.

Öztürkoğlu O., Uçar T., Yeşilce Y. (2015). Kısmi boşluklu dolgu duvarların betonarme binaların deprem davranışına etkisinin incelenmesi, DEÜ, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, Mayıs.

Özer M.N. (2003). Yapı sistemlerinin hesap yöntemlerinin karşılaştırılması ve az katlı betonarme binaların olası deprem davranışları, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Coşkan, S., Yüksel, İ. (2013). Çerçevelerde donatı korozyonunun taşıyıcı sistem davranışına etkileri, Journal of Technological Sicences, Cilt 5, Sayı 3.

Kızıloğlu, M.Y. (2006). Deprem etkisi altında dolgu duvarların betonarme çerçeve yapılar üzerindeki etkisi, YTÜ DSPACE Kurumsal Arşivi, İstanbul.

Mert N., Kasap H., Özyurt M.Z., Küçük U. (2018). Betonarme Yapılarda Perde Yeri Seçiminin Yapısal Davranışa Etkisinin incelenmesi, Natural Hazards and Disaster Management, Sakarya.

Khurram M.K. (2018). Betonarme binalarda kiriş ve döşeme süreksizliğinin yapısal davranışa etkisinin incelenmesi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Yüksel, İ. (2013). Deprem yüklerine maruz betonarme binalarda donatı korozyonunun yapısal davranışa etkileri, 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Hatay.

Aydemir, M. E., Jakayev, S. (2019). Düzenli bir betonarme binada düşey deprem bileşeninin yapısal davranışa etkisi, Afet ve Risk Dergisi, Cilt 2, Sayı 1, İstanbul.

Işık, E., Özdemir, M., Kutanis, M. (2016). Farklı zemin kat yüksekliklerinin yapı performansına etkisi, Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi, Cilt 7, Sayı 3, Diyarbakır.

Akyürek, O., Tekeli H., Demir F. (2018). Plandaki dolgu duvar yerleşiminin bina performansı üzerindeki etkisi, Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, Cilt 10, Sayı 1, Isparta.

Öztürkoğlu, O., Uçar, T., Yeşilce, Y. (2015). Betonarme yapılarda dolgu duvar-çerçeve etkileşiminin incelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt 17, Sayı 5, İzmir.

Demir, F., Korkmaz, A., Gençoğlu, M., Tekeli, H. (2007). Beton basınç dayanımın yapısal davranışa etkisi, 7. Ulusal Beton Kongresi, Isparta.

Işık, E., Öztürk, G. (2017). Betonarme binalarda kat yüksekliğinin yapı performansına etkisi, Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt 7, Sayı 1, Bitlis.

Günaydın, M., Adanur, S., Altunışık, A. C., Ateş Ş., Sevim B. (2012). Yapım aşamalarının betonarme binaların yapısal davranışına etkisi, İnşaat Mühendisliği`nde 100. Yıl Teknik Kongresi, İstanbul.

Bashirli, E. (2017). Betonarme yapılarda kiriş düzensizliğinin yapısal davranışa etkisinin irdelenmesi. Sakarya Üniversitesi Açık Akademik Arşiv Sistemi, Sakarya.

Erdem, H. (2016). Burulma Düzensizliğinin Betonarme Yapı Davranışına Etkileri, Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Dergisi, Cilt 31, Sayı 1, Adana.

BÖLÜM III

UÇUCU KÜL HARÇ KARIŞIMLARINDA PETROL KOKU İLAVESİNİN HARÇ POR YAPISI VE MİKRO YAPI ÖZELLİKLERİNE OLAN ETKİSİ

Pore and Microstructure Properties of Fly Ash Cement Mortar Mixtures Containing Petroleum Coke

LEVENT BOSTANCI

(Doç.Dr.), Beykent Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, İnşaat Teknolojisi Programı, İstanbul, Türkiye
E-posta: leventbostanci@beykent.edu.tr
ORCID: 0000-0002-4686-9102

1. Giriş

Petrol koku, petrol üretimi esnasında oluşan bir yan ürün olup genel olarak yüksek ısıl değeri ve düşük düzeydeki kül içeriği ile bilinmektedir (Wang vd., 2019). Yaklaşık olarak her 1 ton petrol üretimi esnasında 31 kg petrol koku atık olarak açığa çıkmakta ve elde edilen petrol koklarının kimyasal yapıları da %91-99.5 düzeyinde karbon, %0.035-4.0 düzeyinde hidrojen, %0.5-8.0 düzeyinde sülfür ve %1.3-3.8 düzeyinde de diğer metalleri içermektedir (Bayram vd., 1999; Nemenova vd., 2014; Lv vd.,2018). Görünüm olarak siyah renkte ve toz formda olan petrol koku, üretimi esnasındaki 500-600 °C'lik sıcaklık düzeyi sebebiyle oldukça sert, kırılgan ve gözenekli bir yapıya sahip taneciklerden oluşmaktadır (Tripathi vd., 2019). Yıllık üretim miktarı günümüzde global düzeyde 100 milyon metrik tona ulaşan petrol koku rezervinin değerlendirilmesi ise sürdürülebilir bir atık yönetimi açısından oldukça önemlidir (Xiao vd.,2017).

Kimyasal yapısında %90-95 düzeyinde karbon içeren petrol koku düşük maliyeti, yüksek ısıl değeri ve sınırlı düzeydeki kül içeriği gibi özellikleri sayesinde yakıt amaçlı hammadde olarak çelik endüstrisinde,

elektrot imalat sanayinde ve çeşitli kimyasal üretim süreçlerinde bir yan ürün olarak değerlendirilebilmektedir (Shan vd., 2018). Petrol kokunun genel metalürji endüstrilerinde kullanılabilmesi "yüksek kaliteli petrol koku" olarak sınıflandırılmasına bağlı olup kimyasal yapısında nikel ve vanadyum gibi ağır metaller ve yüksek düzeyde sülfür içeren petrol kokları ise "düşük kalitede petrol koku" olarak tasnif edilmektedir (Wu vd., 2018). Düşük kaliteli petrol koklarının kimyasal içeriklerinde yer alan vanadyum konsantrasyonu 1160 ppm düzeyine kadar çıkabilmektedir. Petrol koku kompozisyonunda yüksek düzeydeki vanadyum içeriği, petrol kokunun yakıt olarak değerlendirilmesi durumunda yanma reaksiyonları ile çevre kirliliği, tehlikeli tortu oluşumu gibi ekosistem açısından tehlike oluşturabilecek ciddi problemlere neden olabilmektedir (Li vd., 2017).

Global düzeydeki petrol koku üretiminin %80'ininden fazlasının düşük kalitedeki petrol koku kalitesinde olduğu bilinmekte ve ekolojik kaygılardan ötürü bu tür petrol koklarının yakıt olarak kullanılması da pek mümkün olmamaktadır. Yüksek oranda ağır metal ve sülfür içeren petrol koklarının yakıt amaçlı olarak kullanılması durumunda ayrıca istenmeyen düzeyde tehlikeli gaz emisyonlarını da gerçekleşmektedir (Li vd., 2018). Bu tür petrol kokları yakıt olarak değerlendirildiklerinde linyit kömürüne kıyasla 2.21 kat daha fazla CO_2, 6.15 kat daha fazla CH_4 ve 5.48 kat daha fazla N_2O salınımı gerçekleşebilmektedir (Shan vd.,2018). Emisyon sonuçları değerlendirildiğinde küresel ısınmaya negatif katkı sunan petrol kokunun fonksiyonel olarak yakıt dışı amaçla ve daha geniş bir arz – talep döngüsü ile farklı endüstrilerde kullanım alanı bulması zorunluluğu kaçınılmaz bir ihtiyaç olarak ortaya çıkmaktadır (Santos ve Silva, 2008; Olmeda vd.,2012). Açığa çıkacak gaz salınımları, petrol kokunun bir bakıma doğal haliyle yakıt olarak kullanılması pek mümkün olmayan ve kirli bir yakıt olarak tanımlanabilecek türden bir yakıt olduğunu işaret etmektedir (Xiao vd., 2017).

Yakıt olarak değerlendirilemeyen yüksek sülfür ve ağır meral içerikli petrol kokları için kimyasal yapılarına yönelik bir takım arındırma işlemlerine yönelik farklı bilimsel çabalar günümüzde ön plana çıkmaktadır (Zhang vd., 2015; Wu vd.,2018). Petrol koku bünyesinde yer alan yüksek düzeydeki sülfür, genellikle organik kökenli olması sebebiyle kimyasal yapıdan çeşitli yöntemlerle arındırılmaya müsaittir ancak bu işlem petrol kokunun yüksek karbon içeriği nedeniyle yakıt olarak kullanılabilme özelliğine sahipken ekonomik bir yakıt olarak kullanılabilmesi imkanı ile çelişmektedir (Yanjun vd., 2010). Bununla birlikte; petrol kokunun yakıt teknolojisinde sıvılaştırılmış bulamaç olarak

kullanılması fikri de son 20 yılda üzerine çok sık çalışılan bir araştırma konusu haline gelmiştir (Milenkova vd., 2003; Wu vd., 2015). Petrol kokunun yakıt olarak kullanılmadığı saklama ve depolama koşullarında ise doğal haliyle petrol kokunun insan sağlığını tehdit eden kimyasal içeriğe sahip olduğuna dair kabul edilmiş bilimsel bir durum söz konusu değildir. Petrol koku, kanser oluşumu veya üreme gelişimi gibi insan sağlığı üzerinde probleme yol açan bir madde ihtiva etmemekle birlikte depolanması esnasında olası toz emisyonlarının önlenmesi önem arz etmektedir (Hendryx vd., 2016).

Petrol kokunun fiziksel ve kimyasal özellikleri dikkate alındığında, inşaat ve malzeme endüstrisi için günümüzde sadece çimento fabrikalarında yakıt olarak kullanım alanı bulabilmiş olması, petrol kokunun bir yan ürün olarak daha geniş bir perspektifle değerlendirilebilmesi açısından önemli bir arayışı işaret etmektedir. 2- 5 mm aralığında tane dağılımına sahip olacak şekilde öğütülüp çimento matrisine dahil edilen petrol koku tanecikleri, kalsiyum – silikat yapısının tatmin edici bir akustik yalıtkan karakter kazanmasına katkı sağlayabilmektedir (Frias vd.,2011). Yüksek poroziteli tanecikleri ile petrol koku, kalsiyum – silikat yapısının akustik özeliklerinin yanı sıra aynı zamanda termal yalıtkanlık özelliklerinin de gelişmesine de katkı sunabilmektedir. Olmeda vd. (2013), 0.5 mm tane boyutu altında öğütülen petrol koku içeriğinin ağılıkça %75 düzeyinde çimento pastasına dahil edilmesiyle termal iletkenlik katsayısında kontrol durumuna kıyasla %76 oranında düşüş ile iletkenlik katsayısının petrol koku içeren numunelerde 5 MPa'lık basınç dayanımı için 0.12 W/m.K değerine kadar azaltılabileceği deneysel olarak saptamışlardır.

Kalsiyum – silikat yapısında, petrol koku içeriğinin numunelerin termal iletkenlik katsayısı ve mekanik özelliklerine olan etkisini araştıran önceki deneysel çalışmalar, artan petrol koku içeriğinin genel olarak termal yalıtkanlık özelliklerini geliştirmesine karşın numunelerin mekanik dayanımlarında sebep olduğu dramatik düşüşleri de işaret etmektedir. Öte yandan, mekanik dayanımlardaki dramatik kayıpları sınırlandırabilecek fonksiyonel özellik gösterebilecek alkali aktivatör veya diğer dayanım artışına olanak sağlayacak içeriklerin kalsiyum – silikat yapısına dahil edilmesi durumunda ise kalsiyum – silikat yapısının termal iletkenlik katsayısında istenilenin dışında bir artışa yol açması da olası bir durumdur.

Bu çalışmada sürdürülebilir hibrit uçucu kül harçlarında, harçta kısmı oranda gerçekleştirilen kum ile petrol koku yer değişiminin harç numunelerinin por yapısı özelliklerine olan etkisi detaylı olarak incelenmiştir.

2. Malzeme ve Yöntem

Harç karışımlarında bağlayıcı malzeme olarak CEM I 42.5 R tipi çimento ve uçucu külden oluşan karma bağlayıcı malzeme kullanılmıştır. Endüstriyel atık olarak temin edilmiş petrol koku kısmi oranda kum ile yer değiştirilmek suretiyle kullanılmıştır. Tablo 1'de kullanılan petrol kokuna ait fiziksel ve kimyasal özellikler görülmektedir.

Tablo 1: Kullanılan Petrol Kokuna Ait Fiziksel ve Kimyasal Özellikler

Karbon	> %97
Kül	<%2
Sülfür	<%1
Nem	<%1
0–0.25 mm tane içeriği	>%90

Harç karışımlarında Rilem-Cembureau kumu kullanılmıştır. Karma suyu olarak ise şebeke suyu tercih edilmiştir. Deneysel çalışmalar kapsamında toplam 3 farklı harç karışımı oluşturulmuştur. Karışım oranları Tablo 2'de görülmektedir.

Tablo 2: Karışım Oranları

Numune	**Çimento (g)**	**Uçucu kül (g)**	**Su (ml)**	**Kum (g)**	**Petrol koku (g)**
SP0	225	225	225	1350	0
SP5				1282.5	67.5
SP10				1215	135

Her bir karışımdan üçer adet harç numunesi üretilmiştir. Karışımlardaki kumun petrol koku ile yer değişiminin gerçekleştirildiği karışımlarda petrol koku içeriğinin çimento matrisi ile olan etkileşimini arttırmak amacıyla etkin bir vibrasyon işlemi gerçekleştirilmiştir.

Üretilen harç numuneleri ilk 24 saat kalıpta bekletilmiştir. Ertesi gün ise kalıptan çıkarılarak 28 günlük suda kür işlemine tabi tutulmuştur. Numunelerin suda kür işlemi oda sıcaklığı koşullarında kür havuzuna tamamıyla batırılmaları suretiyle gerçekleştirilmiştir. Kür süresini tamamlayan numuneler kür havuzundan çıkarılarak cıva porozimetresi ve mikro yapı özelliklerinin tespit edileceği testler öncesinde 24 saat etüvde bekletilmiştir.

Numunelerin gözenek yapısı özelliklerinin tayini için numunelere cıva porozimetresi deneyi uygulanmıştır. Ölçüm esnasında Micromeritics marka cihaz kullanılmıştır. Cıva porozimetresi testinin ardından harç numunelerine mikro yapı özelliklerinin tespiti amacıyla SEM analizi testi uygulanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Cıva Porozimetresi Test Sonuçları

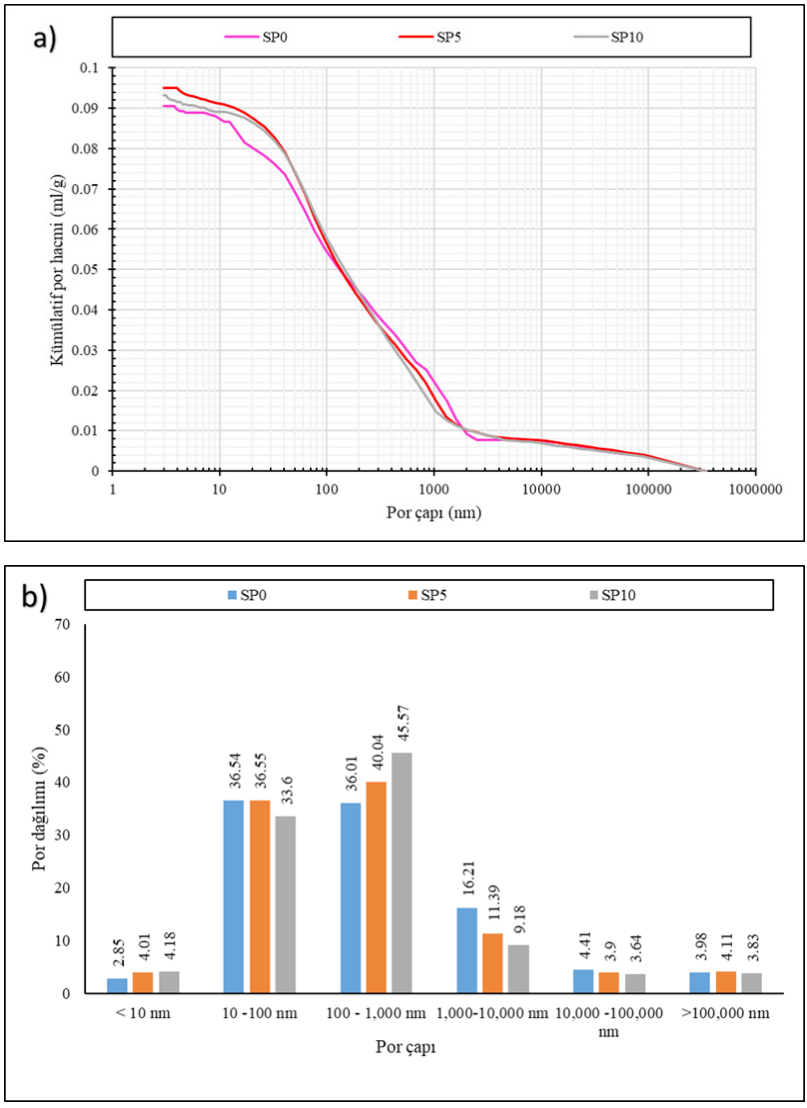
Cıva porozimetresi testi, çimento esaslı malzemelerin gözenek yapısının özelliklerini araştırmak için yaygın olarak kullanılmaktadır (Nguyen vd., 2019). Harç karışımlarında kum ile yer değiştirilmek suretiyle %0, %5 ve %10 düzeyinde petrol koku içeren karma bağlayıcılı uçucu kül harçlarının tespit edilen porozimetre özellikleri aşağıda Tablo 3'de sunulmuştur.

Tablo 3: Porozimetre Testi Sonuçları

Numune	Toplam porozite (%)	Hacimsel medyan por çapı (nm)	Alansal medyan por çapı (nm)	Ortalama por çapı (nm)	Toplam por alanı (m2/g)
SP0	18.13	185.7	14.7	51.6	7.01
SP5	18.86	152	17.2	53.6	7.08
SP10	18.54	176	11.9	50.4	7.39

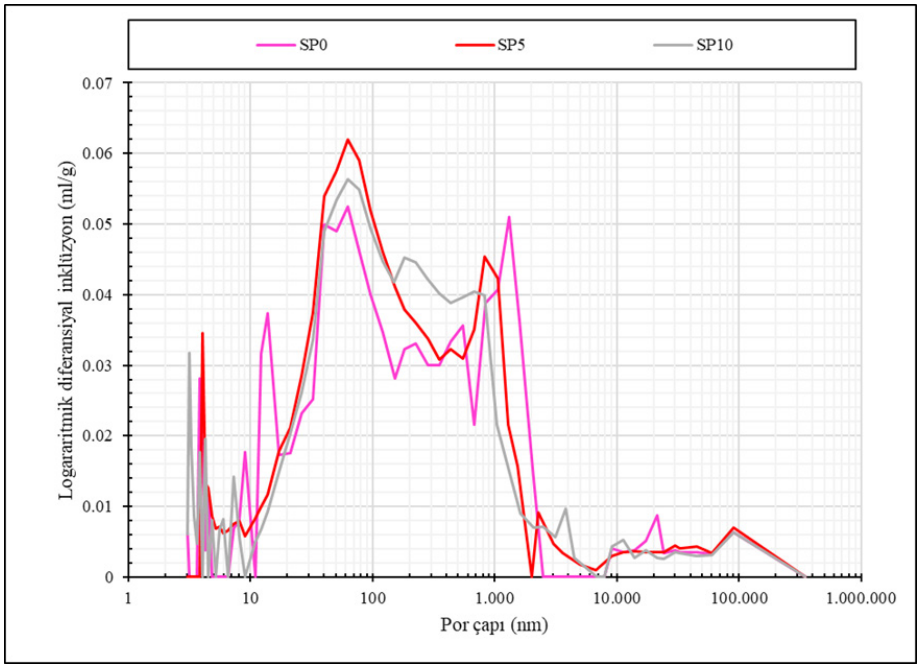
Yukarıda sunulan tabloda karışımlara kısmi düzeyde ilave edilen petrol koku içeriğinin numunelerin gözenek özelliklerine olan etkisi toplam porozite, hacimsel medyan por çapı, alansal medyan por çapı, ortalama por çapı ve toplam por alanı gibi özgün genel porozimetre parametreleri aracılığı ile incelenmiştir. Öncelikli olarak petrol koku içermeyen SP0 kontrol numunesinde toplam por alanı 7.01 m^2/g olarak ölçülmüştür. Karışımlara %5 ve %10 düzeyinde ilave edilen petrol koku içeriğinin SP5 ve SP10 numunelerinde sırasıyla %0.99 ve %5.42 düzeylerinde kısmi olarak ilave gözenek alanı oluşuma neden olduğu görülmektedir. Petrol koku içeriği kaynaklı gözenek artışı aynı zamanda kontrol numunesinde %18.13 düzeyinde ölçülen toplam porozite oranının SP5 ve SP10 numunelerinde sırasıyla %18.86 ve %18.54 düzeylerinde tespit edilmesiyle toplam porozite cinsinden doğrulanmaktadır. Tespit edilen toplam gözenek artışı durumu ortalama por çap karakteristiği açısından incelendiğinde ise SP5 numunesinde ortalama por çapı kısmi düzeyde artarken SP10 numunesinde ise kısmi oranda azalmaktadır. Bu noktada kontrol durumuna kıyasla karışımlara %5 ve %10 düzeyinde ilave edilen petrol koku içeriğinin toplam porozite ve toplam

por alanlarında bir artışa sebep olduğu net olarak gözükse de bu artışı sürekli olarak artan ortalama por çapları ile açıklamak mümkün gözükmemektedir. Artan poroziteye karşın %10 petrol koku içerikli SP10 numunesinde kontrol durumuna kıyasla %19.04 düzeyinde daha küçük alansal medyan por çapı ve %2.32 düzeyinde daha küçük ortalama por çapı oluşumu görülmektedir.



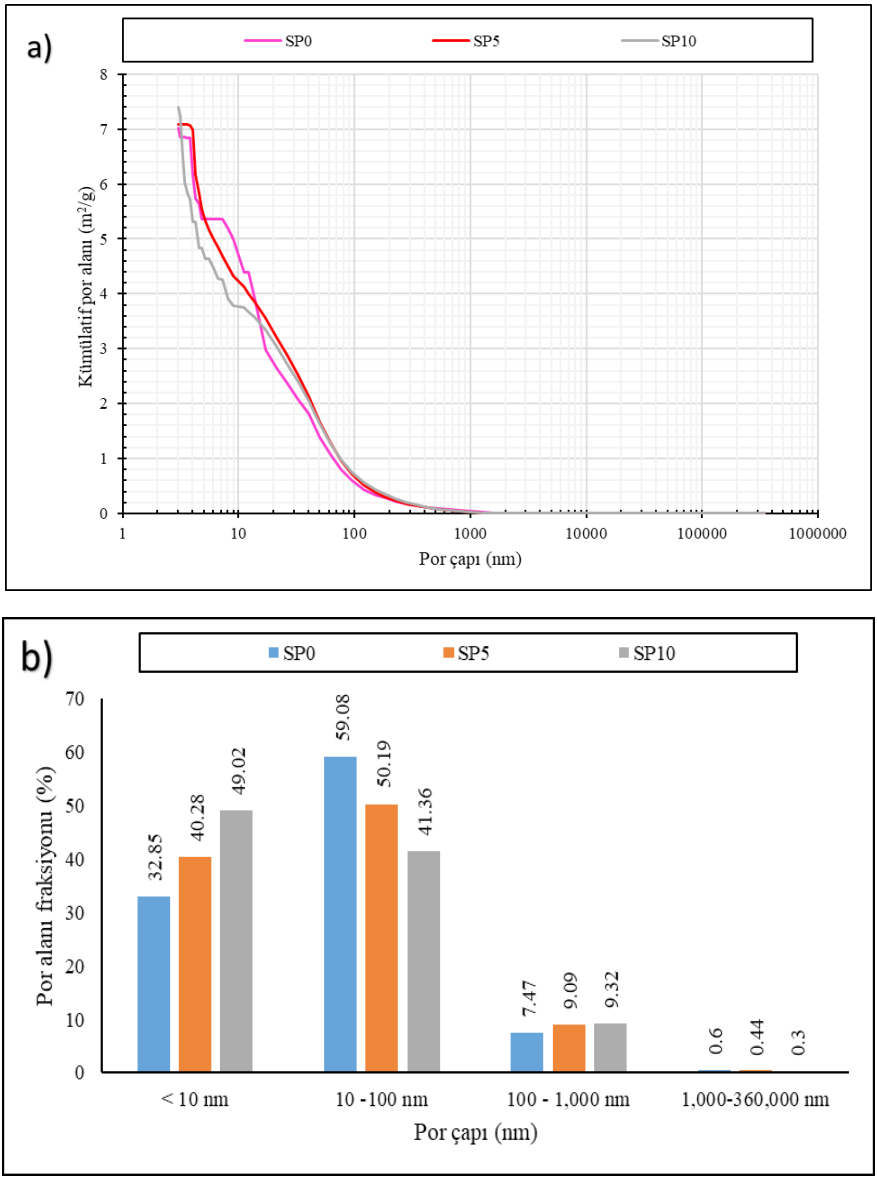
Şekil 1. (a) Numunelerde Kümülatif Por Hacmi – Por Çapı İlişkileri ve (b) Por İçerikleri Dağılımı (%)

Yukarıda bahsedilen petrol koku katkı oranı ile artış eğiliminde olan toplam porozite ve toplam por alanı karakteristiklilerine karşın artış eğiliminin sürekli olarak tespit edilemediği por çapı değişimlerinin izahı için numunelerdeki kümülatif por hacminin por çapları ile olan ilişkileri belirleyici rol üstlenebilmektedir. Şekil 1'de numunelerde tespit edilen kümülatif por hacmi – por çapı ilişkileri görülmektedir. Kümülatif por hacmi – por çapı ilişkileri incelendiğinde 3-100 nm por aralığında petrol koku içermeyen SP0 numunesi daha dar bir por hacmi aralığı için grafikte daha aşağıda seyretmektedir. Durum yaklaşık yöntemle sayısallaştırıldığında ise jel por seviyesindeki gözenek oluşumunun kontrol numunesi için %2.85 düzeyinde iken karışımlara %5 ve %10 düzeyinde ilave edilen petrol koku içeriği ile benzer boyuttaki gözenek oluşumunun SP5 ve SP10 numunelerinde sırasıyla %4.01 ve %4.18 düzeylerine çıktığı görülmektedir. Bu noktada kesin olarak karışımlarda petrol koku ilavesi aracılığı ile daha yüksek miktarda jel por oluşumunun ölçülebildiği görülmektedir. Öte yandan en düşük boyutta kabul edilebilecek 10 – 100 nm aralığındaki kapiler por çapı oluşumlarının karışımlara %5 düzeyinde ilave edilen petrol koku içeriğinden etkilenmediği (%36.54'ten %36.55'e) ancak artan petrol koku içeriği ile bahsedilen düzeydeki por çapı oluşumunun kısmi olarak sınırlandığı (%36.54'ten %33.6'a) görülmektedir. 3 – 10 nm arasındaki por çapı oluşumlarına benzer şekilde 100 – 1000 nm aralığındaki por çap oluşumları da benzer eğilimde seyretmektedir. Kontrol numunesinde %36.01 düzeyinde ölçülen anılan aralıktaki kapiler por oluşumu karışımlara %5 ve %10 düzeyinde ilave edilen petrol koku içeriği ile %40.04 ve %45.57 seviyelerine çıkmaktadır. Yukarıda jel por ve küçük boyuttaki kapiler por çap oluşumları üzerinden izah edilmeye çalışılan durumun bir neticesi olarak 1,000-10,000 nm ve 10,000 – 100,000 nm aralığındaki geniş kapiler ve makro gözenek oluşumları ise durumu daha keskin bir bakış açısıyla ortaya koymaktadır. Kontrol numunesi için %16.21 düzeyinde ölçülen 1,000-10,000 nm aralığındaki kapiler por hacmi SP5 ve SP10 numunelerinde sırasıyla %11.39 ve %9.18 düzeylerinde ve yine kontrol numunesi için %4.41 düzeyinde ölçülen 10,000-100,000 nm aralığındaki makro düzeydeki por hacmi SP5 ve SP10 numunelerinde sırasıyla %3.9 ve %3.64 düzeylerinde ölçülmüştür. Bu noktada kesin olarak karışımlara %5 ve %10 düzeyinde ilave edilen petrol koku içeriğinin anılan çap aralıkları için geniş kapiler ve makro çaplarda dolgu vazifesi üstlenerek bu düzeydeki gözenek oluşumlarını sınırladığı net olarak söylenebilir.



Şekil 2. Numunelerde Logaritmik Diferansiyel İnklüzyon – Por Çapı İlişkileri

Şekil 2'de numunelerde tespit edilen karşılaştırmalı logaritmik diferansiyel inklüzyon – por çapı ilişkileri görülmektedir. Önceki çıkarımlarda karışımlara %5 ve %10 düzeyinde ilave edilen petrol koku içeriğinin geniş kapiler ve makro çaplarda dolgu vazifesi üstlenerek bu düzeydeki gözenek oluşumlarını sınırladığı belirtilmişti. Yukarıdaki grafik incelendiğinde ise bu çıkarım net olarak doğrulanmaktadır. Grafikte karışımlara ilave edilen petrol koku içeriği ile SP5 ve SP10 numunelerinde 3-10 nm aralığı için jel por düzeyinde kaydedilen ve ilave gözenek oluşumunu ortaya koyan pikler dikkat çekicidir. Bu piklerin 3-10 nm aralığında özellikle 3-6 nm aralığında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum %2.18'den %4.18'lere ulaşan ilave jel por oluşumunu ortaya koymaktadır. Öte yandan petrol koku içeriğinin geniş kapiler ve makro düzeydeki por çapları üzerindeki dolgu etkisinin ise yaklaşık 800-2000 nm ve 10,000-360,000 nm aralığında baskın olarak seyrettiği görülmektedir.



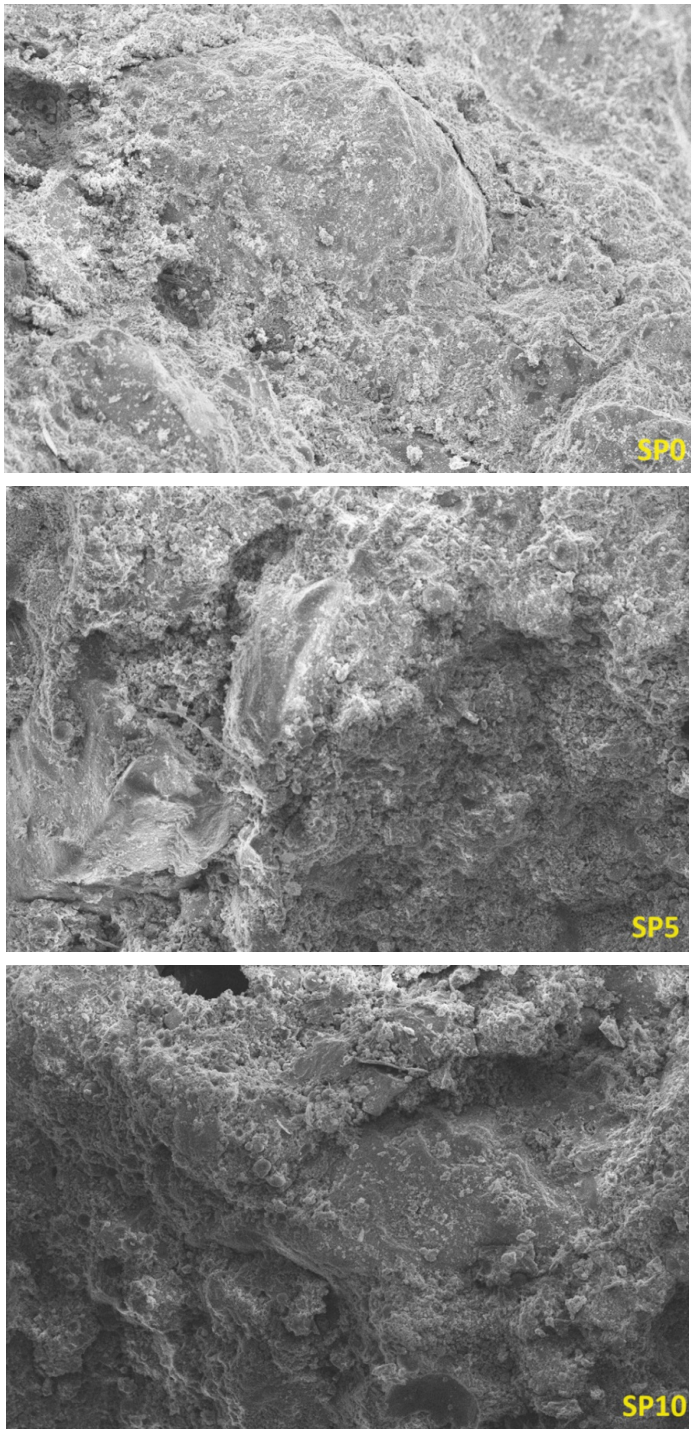
Şekil 3. Numunelerde a) Kümülatif Por Alanı – Por Çapı ve b) Por Alanı Fraksiyonu İlişkileri

Şekil 3' de sunulan numunelerde kümülatif por alanı – por çapı ilişkileri daha önceden tespit edilen SP5 ve SP10 numunelerindeki sırasıyla %0.99 ve %5.42 düzeylerindeki ilave gözenek alanı oluşumu olayının seyrini ortaya koymaktadır. Petrol koku içermeyen kontrol numunesinde tespit edilen 7.01

m^2/g lik toplam por alanı ve bu por alanının ortalama 14.7 nm'lik alansal por çapına sahip gözeneklerden oluştuğu belirtilmişti. Öncelikle karışımlara ilave edilen %5 ve %10 düzeyindeki petrol koku içeriğinin 3-10, 10-100 ve 100-1,000 nm aralıklarındaki alansal por çaplarını istisnasız olarak katkı oranı ile orantılı olarak etkilediği görülmektedir. Buna göre petrol koku içeriğinin dolgu vazifesi 10 -100 nm aralığındaki por alanı için baskın rol üstlenmektedir. SP0 kontrol numunesinde bahsedilen aralıkta %59.08 olarak ölçülen por alanı karışımlara ilave edilen %5 ve %10 düzeyindeki petrol koku içeriği ile SP5 ve SP10 numunelerinde sırasıyla %50.19 ve %41.36 düzeylerine gerilemektedir. Buna karşın 3 -10 nm aralığındaki por alanları ise bahsedilen durumun bağlantılı bir sonucu olarak %32.85'ten %49.02 düzeyine kadar petrol koku içeriği ile artmaktadır. Gözenek doldurma ve ortalama alansal por çapı değerlerinin belirleyici olmasında ise bahsedilen iki farklı aralıktaki davranış için yaklaşık 11 nm düzeyindeki por çapı öncesi ve sonrası için keskin bir dönüm noktası olarak göze çarpmaktadır.

3.2. SEM Analizi

Uçucu kül betonda karışımlarında yaygın bir biçimde mineral katkı maddesi olarak veya çeşitli katkı oranlarında çimento ile harmanlanarak karma olarak kullanılır. Uçucu külün kalsiyum-silikat esaslı malzemelerde kullanılması, çimento klinkeri üretimi için gerekli olan enerji tüketimini ve ilişik olduğu CO_2 emisyonunu azaltır, ekonomik fayda sağlar, dahil olduğu kalsiyum-silikat yapısının özelliklerini iyileştirir (Fanghui vd., 2015). Harç karışımlarında kum ile yer değiştirilmek suretiyle %0, %5 ve %10 düzeyinde petrol koku içeren karma bağlayıcılı uçucu kül harçlarının mikro yapı özellikleri aşağıda Şekil 4'de sunulmuştur.



Şekil 4. Numunelerin SEM Görüntüleri

Çimento kimyasında yapılan çalışmalarda uçucu kül parçacıkları tamamen küresel ve düzensiz parçacıklar olması ve ıslak iken bazı parçacıkların topaklanma eğiliminde olması sebebiyle matriks morfolojisinde kolayca ayırt edilebilmektedir (Nguyen vd., 2018). Numunelere ait SEM görüntülemeleri incelendiğinde öncelikli olarak tüm numunelerin harç bileşimlerinin bağlayıcı malzeme içeriklerinde ağırlıkça %50 düzeyinde uçucu kül yer alması nedeniyle üç numuneye ait mikro yapı görüntülemelerinde de küresel formda uçucu kül tanecikleri kolaylıkla fark edilebilmektedir. Öte yandan cıva porozimetre analizinde karışımlara ilave edilen petrol koku içeriği nedeniyle numunelerin toplam porozite ve toplam por alanlarında kısmi düzeyde artışlar ölçüldüğü önceki bölümde açıklanmıştı. Numunelerin mikro yapı görüntülemeleri de en düşük toplam porozitenin ve en düşük toplam por alanının tespit edildiği SP0 kontrol numunesi için bu ölçümleri destekleyen yoğun, daha az boşluklu bir matris oluşumunu ortaya koymaktadır. Benzer şekilde daha yüksek toplam porozitenin ve daha yüksek toplam por alanının tespit edildiği SP5 ve SP10 numunelerine ait görüntüler de cıva porozimetresi ölçümlerini desteklemektedir. Kontrol durumuna kıyasla %4.11 ile en yüksek makro düzeyde por hacminin ölçüldüğü SP5 numunesine ait görüntülerde kimyasal reaksiyon süreçlerine katılmayan hidrate olmamış durumdaki uçucu kül taneciklerinin agrega-bağlayıcı malzeme ara yüzey geçiş bölgesinde toplanma eğiliminde olduğu görülmektedir. Buna ilaveten %5.42 düzeyinde kısmi olarak ilave gözenek alanı oluşumunun tespit edildiği SP10 numunesine ait görüntüleme de ise bu ölçümü teşvik eden geniş çaplı por alanları görülmektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada üç farklı karışım için bağlayıcı malzeme içeriğinde sabit olarak ağırlıkça eşit miktarda çimento ve uçucu kül içeren harç karışımlarında kum ile yer değiştirilmek suretiyle ağırlıkça %0, %5 ve %10 düzeyinde petrol koku içeren harç numunelerinin gözenek yapısı ve mikroyapı özellikleri incelenmiştir. Çalışmadan aşağıdaki çıkarımlar elde edilmiştir:

- Katkı oranı ile orantılı olarak petrol koku içeriği toplam porozite değerinde sınırlı düzeyde artışa neden olmaktadır.
- Benzer şekilde katkı oranı ile orantılı olarak petrol koku içeriği toplam por alanı değerlerinde de sınırlı düzeyde artışa neden olmaktadır.
- Petrol koku harç karışımlarında belirli düzeydeki por çapları için gözenek doldurucu rol üstlenmektedir. Bu durumun hangi spesifik por çapları

üzerinde etkili olduğu ancak ileri kümülatif por hacmi – por çapı ve logaritmik diferansiyel inklüzyon – por çapı ilişkileri karşılaştırılması ile ortaya konulabilir, karakteristik toplam porozite, por alanı, ortalama por çapı gibi klasik gözenek yapısı parametreleri ile açıklanamaz.

- Petrol koku içeriğinin geniş kapiler ve makro düzeydeki por çapları üzerindeki dolgu etkisini yaklaşık 800-2000 nm ve 10,000-360,000 nm aralığındaki por oluşumları üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir.
- Artan petrol koku içeriği ile hidrate olmamış durumdaki uçucu kül tanecikleri numunelerin gözenek yapısı özelliklerini artan por hacmi ve por alanı karakteristiklileriyle derinden etkilemektedir.

Kaynakça

Bayram, A., Muezzinoglu, A., Seyfioglu, R. (1999). Presence and control of polycyclic aromatic hydrocarbons in petroleum coke drying and calcination plants. Fuel, Processing Technology, vol.60, pp.111–118.

Fanghui, H., Qiang, W., Jingjing, F. (2015). The differences among the roles of ground fly ash in the paste, mortar and concrete. Construction and Building Materials, 93, 172–179.

Frias, M., Jiménez-Mateos, J.M., Pfretzschner, J., Olmeda, J., Rodríguez, R.M., Sánchez de Rojas, M.I. (2011). Development of blended cement mortars with acoustic properties using petroleum coke. Construction and Building Materials, vol.25, pp.1086–1092.

Hendryx, M., Entwhistle, J., Kenny, E., Illyn, P. (2016). Health status among urban residents living in proximity to petroleum coke storage: a first examination. International Journal of Environmental Health Research, vol.26, pp.497-507.

Li, J., Zhao, J., Zhang, L., Dai, X., Fang, Y. (2017). Predicting the vanadium speciation during petroleum coke combustion by thermodynamic equilibrium calculation. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, vol.130, pp.2239-2247.

Li, J., Wang, X., Wang, B., Zhao, J., Fang, Y. (2018). Investigation on the fates of vanadium and nickel during co-gasification of petroleum coke with biomass. Bioresource Technology, 257, 47–53.

Lv, J., Wei, X., Zhang, Y, Zong, Z. (2018). Mild oxidation of Yanshan petroleum coke with aqueous sodium hypochlorite, Fuel, vol. 226, pp.658–664.

Milenkova, K. S., Borrego, A.G., Alvarez, D., Xiberta, J, Menéndez, R. (2003). Devolatilisation behaviour of petroleum coke under pulverised fuel combustion conditions. Fuel, vol.82, pp.1883-1891.

Nemenova, V., Abedini, A., Liliedahl, T., Engvall, K. (2014). Co-gasification of petroleum coke and biomass. Fuel, vol. 117, pp.870–875.

Nguyen, T.B.T., Saengsoy W., Tangtermsirikul, S. (2018). Effect of initial moisture of wet fly ash on the workability and compressive strength of mortar and concrete. Construction and Building Materials, 183, 408–416.

Nguyen, T.B.T., Chatchawan, R., Saengsoy, W., Tangtermsirikul, S., Sugiyama, T. (2019). Influences of different types of fly ash and confinement on performances of expansive mortars and concretes. Construction and Building Materials, 209, 176–186.

Olmeda, J., Frías, M., Olaya, M., Frutos, B., Sánchez de Rojas, M.I. (2012). Recycling petroleum coke in blended cement mortar to produce lightweight material for Impact Noise Reduction. Cement & Concrete Composites, vol.34, pp.1194-1201.

Olmeda, J., Sánchez de Rojas, M.I., Frías, M., Donatello, S., Cheeseman, C.R. (2013). Effect of petroleum (pet) coke addition on the density and thermal conductivity of cement pastes and mortars. Fuel, vol. 107, pp.138–146.

Santos, A.R., Silva, R.J. (2008). Análisis del Consumo de Coque de Petróleo en Algunos Sectores Industriales. Información Tecnológica, vol.19, pp.93-101.

Shan, Y., Guan, D., Meng, J., Liu, Z., Schroeder, H, Liu, J., Mi, Z. (2018). Rapid growth of petroleum coke consumption and its related emissions in China. Applied Energy, vol. 226, pp.494-502.

Tripathi, N., Singh, R. S., Hills, C. D. (2019). Microbial removal of sulphur from petroleum coke (petcoke). Fuel, 235, 1501–1505.

Wang, L., Feng, X., Shen, L., Jiang, S., Gu, H. (2019). Carbon and sulfur conversion of petroleum coke in the chemical looping gasification process. Energy, 179, 1205–1216.

Wu, J, Liu, J., Yu, Y., Wang, R., Zhou, J., Cen, K. (2015). Improving slurryability, rheology, and stability of slurry fuel from blending petroleum coke with lignite. Petroleum Science, vol.12, pp.157-169.

Wu, J., Montes, V., Virla, L. D., Hil, J. M. (2018). Impacts of amount of chemical agent and addition of steam for activation of petroleum coke with KOH or NaOH. Fuel Processing Technology, 181, 53–60.

Xiao, Y., Pudasainee, D., Gupta, R., Xu, Z., Diao, Y. (2017). Bromination of petroleum coke for elemental mercury capture. Journal of Hazardous Materials, 336, 232–239.

Yanjun, Z., Xudong, W., Lishan,C. (2010). Synthesis of ZnS from organic sulfur in petroleum coke and its photocatalysis properties. Petroleum Science, vol.7, pp.268-272.

Zhang, Y., Yao, M., Gao, S., Sun, G., Xu, G. (2015). Reactivity and kinetics for steam gasification of petroleum coke blended with black liquor in a micro fluidized bed. Applied Energy, vol. 160, pp.820–828.

BÖLÜM IV

SİLİKA AEROJEL KATKILI PETROL KOKU İÇERİKLİ UÇUCU KÜL HARÇLARININ POR YAPISI VE MİKRO YAPI ÖZELLİKLERİ

Pore and Microstructure Properties of Silica Aerogel incorporated- Fly Ash Cement Mortars Containing Petroleum Coke

LEVENT BOSTANCI

(Doç.Dr.), Beykent Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu,
İnşaat Teknolojisi Programı, İstanbul, Türkiye
E-posta:leventbostanci@beykent.edu.tr
ORCID: 0000-0002-4686-9102

1. Giriş

Çimento esaslı malzemeler başta beton, harç ve çimento hamuru gibi formlarda olmak üzere global çapta inşaat ve yapı ürünlerinde en yaygın olarak kullanılan malzemelerdir (Zhang vd., 2025). Global çapta kolay ulaşılabilirliği, yüksek mekanik ve durabilite özellikleri ve ekonomik oluşu gibi özellikleri ile çimento esaslı malzemeler modern dünyanın inşasında önemli bir rol oynamaktadır (Zhang vd., 2023). Bununla birlikte çimento esaslı malzemelerin üretiminde kullanılan geleneksel Portland çimentosunun üretim süreci, açığa çıkan devasa CO_2 emisyonları sebebiyle iklim değişikliğinin şiddetini arttırmakta; dünyada sudan sonra en çok tüketilen ikinci malzeme konumunda olan betonun üretimi de bu nedenle toplam antropojenik CO_2 salınımının yaklaşık %8'ine tek başına sebep olmaktadır (Lyu vd., 2023). İlaveten beton üretim sürecinde kullanılan doğal agregaların beton üretim sürecinde doğal hammadde olarak kullanılması da toplam CO_2 emisyonlarının %1'ine sebep olmaktadır. Günümüzde yıllık 25 milyar ton beton üretimi için, doğal ince agreganın kullanımı ile dünyaya 4,1-10,8 milyon

ton CO_2 emisyonunun gerçekleştiği bilinmektedir (Aggarwal vd., 2023). Yukarıda sıralanan sürdürülebilirlik anlayışı ile uyuşmayan sakıncalardan ötürü araştırmacılar, çimentonun üretimini sınırlamak ve çimentonun kısmi bir ikamesi olarak tamamlayıcı çimentolu malzemeleri kullanarak bu küresel sorunu hafifletmek için yenilikçi yollar arayışına girmişlerdir. Çimento alternatifi sürdürülebilir malzemelerin kullanımının yaygınlaşması sadece çimento üretimi ve kullanımıyla ilişkili çevresel ve ekonomik etkileri azaltmak açısından değerli olmayıp aynı zamanda dahil oldukları çimento esaslı karışımların fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özelliklerini de iyileştirdiği bilinmektedir (Oyebisi vd., 2023).

Sürdürülebilirlik genel anlamda mevcut kaynakların bilinçli kullanılması, tanıtılması, enerji tüketiminin en aza indirilmesi ve çevrenin korunması gayesini taşır ve bu gerekliliğin bir sonucu olarak diğer tüm sektörlerde olduğu gibi inşaat işleri de doğal kaynakların kullanımını sürdürülebilir kılacak şekilde tasarlanmalıdır (Müller, 2023). İnşaat sektöründe son zamanlarda bu anlayışla doğal kaynakların israfından uzaklaşılıp atık malzemelerin geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanılmasına doğru bir geçiş trendi gözlemlenebilmektedir (Paruthi vd., 2023). Hidrolik veya çoğunlukla puzolanik karakterleri ile çimento yerine kullanılabilme potansiyeline sahip olan endüstriyel atık esaslı malzemeler sahip oldukları alümina silikat esaslı karakterleri ile su ile temas ettiklerinde kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girebilmekte ve bu sayede katılaşmış yeni formları ile üstün mekanik özellikler sergileyebilen malzemelere bağlayıcı malzeme olabilmektedirler (Ulusu vd., 2023). Sürdürülebilir bir karakterle çimento alternatifi olarak kullanılabilen bu malzemeler, puzolanik karaktere sahiptir ve bu nedenle çimento esaslı karışımlarda farklı oranlarda çimentonun yerini almaya uygundur, böylece enerji tüketimi ile CO_2 emisyonlarını azaltılmasına katkı sunarlar ve çevre dostu beton elde etmek için daha fazla maliyet tasarrufu sağlanabilmektedir. Çimento alternatifi malzemelerin kullanımının arttırılmasıyla yüksek miktardaki çimento üretimi önemli ölçüde azaltılabilir ve bunun bir sonucu olarak atık miktarını azalttığı için çevreye başka faydalar da sağlar, çevre kirliliğini ve beton üretimi kaynaklı insan sağlığını tehdit eden risk faktörlerini azaltır (Hamada vd., 2023).

Sürdürülebilir çimento üretiminde kullanılan malzemeler denilince genellikle silis dumanı, uçucu kül, kireçtaşı, metakaolin, yüksek fırın cürufu, pirinç kabuğu külü gibi çimento ile kısmi oranda hatta tamamıyla yer değiştirebilen malzemeler akla gelmektedir (Sathiparan vd., 2022). Uçucu kül, enerji santrallerindeki üretim faaliyetlerinden kaynaklanan bir tür endüstriyel

yan üründür ve yaygın kullanımla çimento alternatifi malzeme görevi görür. Uçucu külün çimento yerine kullanılması sadece karbondioksit emisyonunu azaltmakla kalmaz, aynı zamanda uçucu kül ve çimentodan oluşan kompozit yapı, salt çimentolu duruma kıyasla üstün özelliklere sahip bir malzemeye dönüşebilir (Sun ve Lee, 2020). Uçucu kül partikülleri ağırlıklı olarak küresel şekilli (katı veya içi boş), çoğunlukla camsı ve ten rengi, gri veya siyah olan amorf ince tozdan oluşur. Genel olarak, elde edildiği kömür kaynağı esas alınırsa uçucu külünün rengi ne kadar açık olursa, kompozisyonundaki karbon içeriği de o kadar düşük olmaktadır. Küresel formdaki uçucu kül partiküllerinin boyutları 0,5 μm ile 100 μm arasında değişmektedir (Teara ve Ing, 2020). Küresel formdaki partikülleri ile çimentonun su ihtiyacını azaltmakla kalmayıp aynı zamanda taze betonun akışkanlığını arttırmakta ve aynı koşullar altındaki işlenebilirlik özelliklerinin gelişimine katkı sunabilmektedir. Hidratasyon esnasındaki toplam ısı potansiyelini azaltmakla beraber iç ve dış sıcaklık değişimlerinden kaynaklanan ısıl çatlak oluşumunu da sınırlayabilmektedir. İlaveten uçucu kül oluşacak matrisin kompaktlığını arttırır, su ihtiyacını azaltarak gözenek yapısını iyileştirir, böylece artan geçirimsizlik sayesinde donatılandırılmış yapıda çelik çubuğu da korozyondan korur (Wang vd., 2020).

İnşaat sektörünün sürdürülebilirlikle alakalı dikkate alması gereken hususlardan birisi de hiç şüphesiz günümüzdeki hızlı nüfus artışı, kentsel ve endüstriyel faaliyetlerin artması ve bu durumun beraberinde getirdiği artan enerji talebi ve mevcut enerji stoğunun verimli kullanımı gayesidir. Bu noktada binalardaki yerinde etkili ısı yalıtımı, binadaki enerji talebinin azaltılmasında önemli bir paya sahiptir. Özellikle enerji tasarrufu sağlayan teknolojik yalıtım malzemeleri yapılardaki enerji tasarrufu planlamasında öne çıkmaktadır (Mercan ve Yilmazer, 2022). Isı yalıtımı konusunda teknolojik karakteriyle yapı malzemesi sektöründe hızla artan kullanıma sahip malzemeler arasında aerojeller önemli bir yer tutmaktadır. Mezo gözenekli ağ yapılarından dolayı, gaz iletkenliği Knudsen etkisi tarafından güçlü bir şekilde baskılanır ve bu da önemli ölçüde düşük toplam termal iletkenlik değerlerine yol açar; tipik olarak 25 °C›de ve atmosferik basınçta 0,013–0,020 W/m.K düzeyinde iletkenliğe sahiptirler. Aerojeller silikadan, karbondan, organik malzemelerden veya organik-inorganik kompozitlerden yararlanılarak farklı kaynaklardan üretilebilirler (Zhu vd., 2019). Aerojeller genellikle öncül hidrojel sistemlerinden dondurarak kurutma yoluyla elde edilen düşük yoğunluklu ve yüksek gözenekliliğe sahip sentetik malzemeler olarak tanımlanır. Yapıldıkları malzemeye bağlı olarak yumuşak ve poroziteli bir yapıya, yüksek yüzey alanına, düşük ısı ve elektrik iletkenliğine

sahiptirler (Pinelli vd., 2022). Aerojeller, nano gözenekli yapıya sahiptir. Yüksek düzeyde boşluk içerir ve gözeneklilik oranı %94-99 aralığında değişebilmektedir. Aerojeller yüksek gözeneklilik ve düşük yoğunluklarından dolayı hafif beton ve yalıtımlı beton üretiminde kullanıma uygundur (Rong vd., 2023).

İnşaat sektöründe sürdürülebilirlikle alakalı yürütülen çalışmalarda son yıllarda ilgi çekici bir atık ürün olarak petrol koku içeriği de dikkat çekmeye başlamıştır. Petrol koku, kimyasal bileşiminde %91-99,5 aralığında karbon içeren, küresel ölçekte yıllık 100-150 milyon ton aralığında üretim kapasitesine sahip, görünür en düşük yoğunluğu 0,7 g/cm^3 civarında iken %50 daha fazla petek desenli gözenekliliği nedeniyle ısı yalıtımı açısından önemli bir avantaja sahip olan, kristal olmayan ağ yapısı nedeniyle termal izolasyona katkı sağlayan, çimento esaslı karışımlarda ikame malzeme olarak yer alabilen değerli bir atık üründür (Aygormez, 2022). Çimento esaslı karışımlara petrol koku ilavesi hem doğası gereği düşük yoğunluk hem de karıştırma sırasında hava sürükleyici bir madde olarak hareket etme yeteneği nedeniyle numune yoğunluğunu azaltır. Bu sebeple basınç dayanımlarında düşüşlere sebep olsa da dahil oldukları karışımlarda aynı zamanda ciddi düzeyde iletkenlik düşüşlerine de olanak sağlamaktadırlar. Özellikle ciddi düzeydeki yalıtkanlık artışı sebebiyle petrol koku dahil edilmiş çimento esaslı malzemeler, gerek petrol koku gibi bir atığın değerlendirilmesi gerekse elde edilen yalıtkanlık artışının eşdeğer yalıtkanlık kazancına sebep olacak alternatif malzemelerin maliyeti nedeniyle sürdürülebilirlik açısından günümüzde önemli bir potansiyeli temsil etmektedir (Olmeda vd., 2013).

Bu çalışmada günümüzdeki sürdürülebilir çimento esaslı malzeme üretimi hedefleri ile uyumlu olarak sürdürülebilir bir harç tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sürdürülebilir harç tasarımında bağlayıcı malzeme olarak ağırlıkça yarı oranda çimentodan vazgeçilerek uçucu kül kullanılmış, ağırlıkça %10 oranında kaynakları sınırlı olan doğal kum yerine petrol koku ikamesi gerçekleşmiş ve elde edilen harç tasarımında yalıtkanlık amacıyla tercih edilen silika aerojel dahil edilmiş bağlayıcı malzeme matrisi tasarlanmıştır.

2. Malzeme ve Yöntem

Harç karışımlarında bağlayıcı malzeme olarak CEM I 42.5 R tipi çimento ve uçucu külden oluşan karma bağlayıcı malzeme tercih edilmiştir. Karışımlarda kum olarak ticari paketlenmiş formdaki RILEM Cembureau kumu kullanılmıştır. Karma suyu olarak şebeke suyu tercih edilmiştir. Karışımlarda sipariş üzerine özel olarak üretilmiş olan toz formdaki silika aerojel kullanılmıştır. İlaveten endüstriyel atık olarak temin edilmiş, sülfür oranı düşük petrol koku da karışımlarda yer almıştır.

Deneysel çalışmalar kapsamında toplam 3 farklı harç karışımı oluşturulmuştur. Karışımlarda bağlayıcı malzeme olarak ağırlıkça eşit oranda çimento ve uçucu külden oluşan karma bağlayıcılı bir hibrit bağlayıcı malzeme tercih edilmiştir. Tüm karışım numuneleri bağlayıcı malzeme ağırlığınca sabit dozajda aerojel içermektedir. Karışımlar sabit su/bağlayıcı malzeme oranında hazırlanmıştır. Sabit dozajda aerojel içeren karma bağlayıcılı karışımlarda kum- petrol koku yer değişiminin numuneler üzerindeki etkisi incelendiğinden karışımlarda ağırlıkça %0, %5 ve %10 oranlarında kum- petrol koku yer değişimi tasarlanmıştır. Numune isimlendirmeleri karışımlardaki petrol koku içeriğinden yararlanılarak etiketlenmiştir. Tablo 1'de oluşturulan harç karışım oranları görülmektedir.

Tablo 1: Karışım Oranları

Numune	Çimento (g)	Uçucu kül (g)	Aerojel (g)	Su (ml)	Kum (g)	Petrol koku (g)
AP0	225	225	1.35	225	1350	0
AP5					1282.5	67.5
AP10					1215	135

Deneysel çalışmalar kapsamında 40 x 40 x160 mm'lik kalıplar vasıtasıyla her bir karışımdan 3'er adet harç numunesi üretilmiştir. Karışımlarda kum ile belirli oranlarda yer değiştirilen petrol koku partiküllerinin bağlayıcı malzeme matrisi ile olan temasını arttırmak amacıyla verimli bir vibrasyon süreci gerçekleştirilmiştir. Harç numuneleri ilk 24 saat kalıpta bekletilmiştir. Ertesi gün kalıptan çıkarılan 28 gün boyunca suda kür işlemine tabi tutulmuştur. Suda kür süreci, oda sıcaklığı altında numunelerin kür havuzuna tamamen batırılmaları şeklinde gerçekleştirilmiştir. Harç numuneleri, numune por karakteristiği özelliklerinin belirlenmesi amacıyla cıva porozimetresi testine tabi tutulmuşlardır. Cıva Porozimetresi deneyi, Micromeritics marka cihaz ile gerçekleştirilmiştir. Harç numunelerinin mikro yapı özelliklerinin saptanması için LEO 1430 VP model SEM cihazı ile SEM analizleri gerçekleştirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

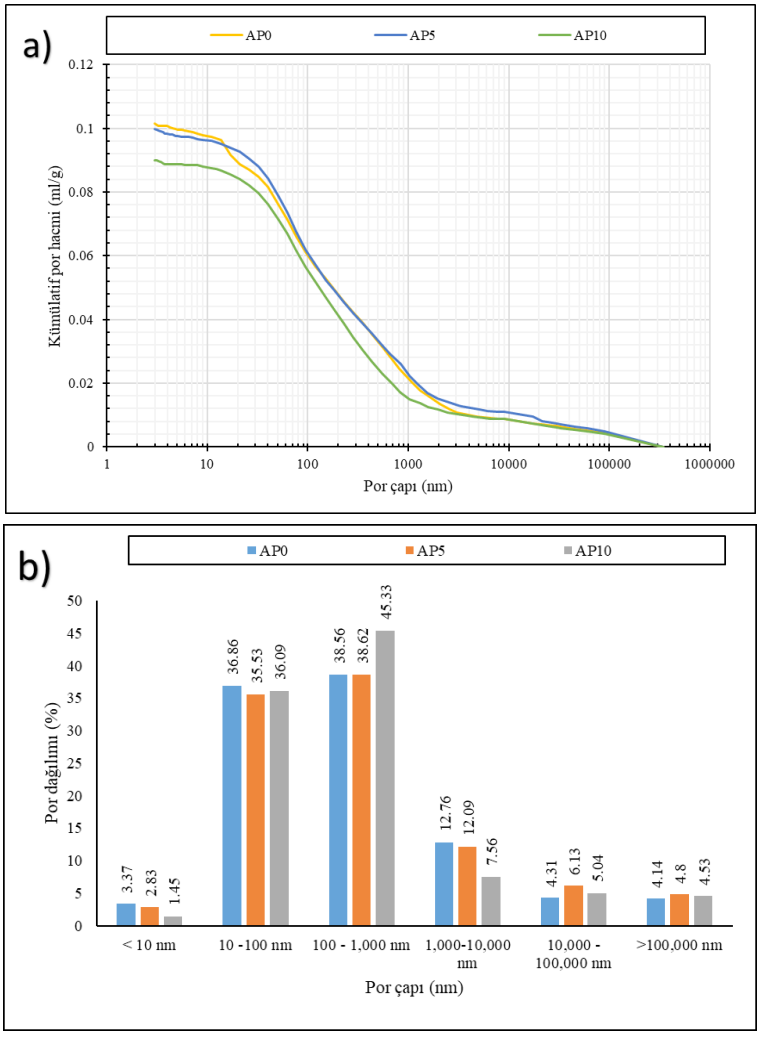
3.1. Cıva Porozimetresi Test Sonuçları

Çimento ağırlığınca sabit dozajda aerojel katkısı içeren harç numuneleri için karışımlarda yer değiştirilen kum ve petrol koku neticesinde değişen numune por yapısı özellikleri Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2: Porozimetre Test Sonuçları

Numune	Toplam porozite (%)	Alansal por çapı (nm)	Ortalama por çapı (nm)	Toplam por alanı (m^2/g)
AP0	20.09	15.9	48.5	8.37
AP5	19.58	15.5	54.1	7.37
AP10	17.97	22.7	60.6	5.93

Numunelere ait por yapısı özellikleri incelendiğinde çimento ağırlığınca sabit katkı oranında aerojel içeren harç karışımlarında gerçekleştirilen kum – petrol koku yer değişimi neticesinde artan petrol koku içeriği ile toplam porozite özelliklerinde düzenli bir düşüş kaydedildiği görülmektedir. %100 Rilem kumu içeren kontrol numunesinde ölçülen toplam porozite %20.09 iken karışımlara giren ve artan petrol koku içeriği ile toplam porozite değerleri AP5 ve AP10 numunelerinde sırasıyla %19.58 ve %17.97 olarak ölçüldüğü görülmektedir. Bu ölçüme benzer şekilde AP0 kontrol numunesinde 8.37 m^2/g olarak ölçülen toplam por alanı AP5 ve AP10 numunelerinde %11.94 ve %29.15 olarak tespit edilen düşüşlerle sırasıyla 7.37 ve 5.93 m^2/g olarak saptanmıştır. Alansal por çapları cinsinden ise petrol koku içeriğinin özellikle %10 düzeyindeki içeriğinde %15.9'dan %22.7'e varan belirgin bir değişim görülmektedir. Toplam porozite ve toplam por alanı cinsinden tespit edilen düşüşler, sabit katkı oranında aerojel içeren harç karışımlarında gerçekleştirilen kum – petrol koku yer değişiminin numunelerin por yapısı özelliklerini derinden etkilediğini ve tespit edilen düşüşler neticesinde petrol koku içeriğinin katkı oranı ile orantılı olarak dolgu vazifesi üstlendiğini işaret etmektedir. Bununla birlikte; daha düşük toplam porozite ve toplam por alanı tespit edilen AP5 ve AP10 numunelerinde ortalama por çaplarının AP0 kontrol numunesine kıyasla sırasıyla %11.54 ve %24.94 düzeylerinde arttığı saptanmıştır. Bu noktada ölçümlenen por yapısı özellikleri, karışımlarda artan petrol koku içeriği ile toplam porozite- toplam por alanı ve ortalama por çapı cinsinden katkı oranı dozajı cinsinden sürekli orantılı ancak farklı por yapısı parametreleri cinsinden kontrast bir por yapısı değişikliğini ortaya çıkarmaktadır. Daha basit bir tespitle, azalan toplam porozite ve toplam por alanı AP5 ve AP10 numunelerinde aynı zamanda bu azalışın daha geniş por çaplarıyla gerçekleştiğini işaret etmektedir.

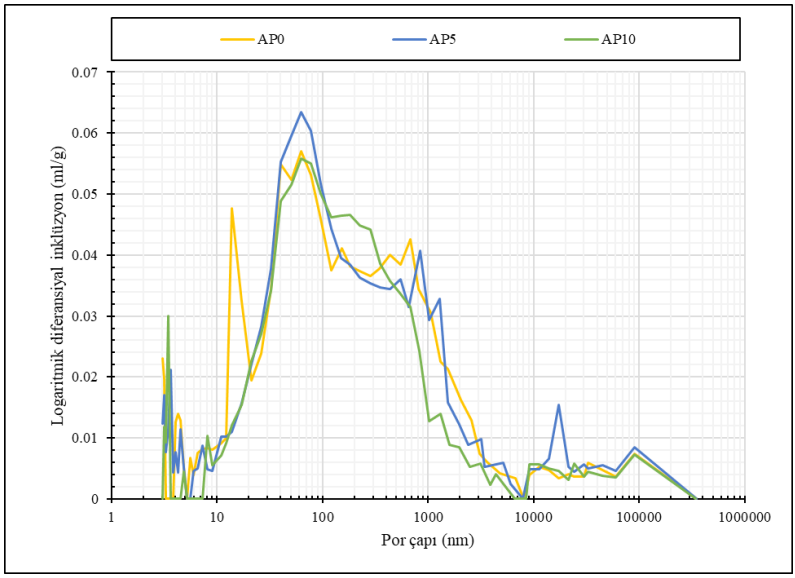


Şekil 1. Numunelerde Artan Petrol Koku İçeriğinin
(a) Kümülatif Por Hacmi – Por Çapı ve
(b) Por İçerikleri Dağılımına (%) Olan Etkisi

Şekil 1' de harç karışımlarında artan petrol koku içeriğinin numune por yapısındaki kümülatif por hacmi – por çapı ve por içerikleri dağılımına olan etkisi görülmektedir. Numunelerde tespit edilen toplam porozite sonuçları ile uyumlu olarak kümülatif por hacmi – por çapı ilişkisinde AP0 kontrol numunesinin AP5 ve AP10 numunelerine kıyasla rölatif olarak daha yüksek bir por hacmi davranışının genel olarak grafik boyunca seyrettiği ve yine toplam porozite

açısından birbirine rölatif olarak daha yakın olan %0 ve %5 petrol koku içerikli AP0 ve AP5 numunelerinin grafik boyunca birbirine oldukça yakın davranış sergilediği görülmektedir. Bu yakın davranışın AP0 ve AP5 numuneleri için özellikle başlangıç okumasının yapıldığı 3 nm ile 2000 nm aralığında özellikle daha çok örtüştüğü de dikkat çekmektedir. 2000 nm ve daha geniş por çaplarındaki davranış ise AP0 ve AP10 numunelerinde eğrilerin üst üste binmesiyle AP5 numunesine kıyasla rölatif olarak birbirine daha benzer bir noktaya gelmektedir. Öncelikle 3-10 nm aralığındaki jel por düzeyinde boşluk dağılımının artan petrol koku içeriği ile azaldığı söylenebilir. Bu noktada çimento ağırlığınca sabit katkı oranında aerojel içeren harç karışımlarında gerçekleştirilen kum – petrol koku yer değişimi jel por gelişimini derinden etkilediği söylenebilir. Buna karşın 10 – 100 nm aralığındaki por oluşumu esasen birbirinden çok ayrışmamakta ve numunelerde %35.53-36.86 aralığında saptanmaktadır. Yine de sınırlı değişimin yaşandığı bu aralıkta maksimum düzeydeki küçük kapiler çap oluşumunun petrol koku içermeyen AP0 numunesinde saptanması kayda değerdir. 100-1000 nm aralığı için ise kümülatif por hacmi – por çapı ilişkisinde neredeyse üst üste binmiş olan AP0 ve AP5 numune eğrileri için bu durumun bir yansıması olarak %38.56-%38.62 gibi birbirine oldukça yakın düzeyde sayılabilecek orta ölçekteki boyutlarda kapiler çap oluşumları gözlemlenmektedir. Karışımlarda %5'ten %10 seviyesinde gerçekleşen petrol koku – kum yer değişimi ise bu noktada orta ölçekteki kapiler çap oluşumunu derinden etkileyerek %45.33 düzeyine çıkarmaktadır. Öte yandan artan petrol koku içeriğinin 100 -1000 nm aralığındaki kapiler çap oluşumları üzerindeki etkisinin tam tersinin 1000-10,000 nm çap aralığındaki kapiler çaplar da da etkisini hissettirdiği görülmektedir. Yine birbirine yakın düzeyde toplam poroziteye sahip olan AP0 ve AP5 numunelerinde sırasıyla %12.76 ve %12.09 gibi benzer düzeyde geniş kapiler çap oluşumları gözlemlenirken karışımlarda %10 seviyesine çıkan petrol koku içeriği ile benzer seviyedeki çap oluşumu AP10 numunesinde %7.56'ya gerilemektedir. Bu noktada özellikle 100 -1000 nm ve 1000-10,000 nm çap aralığındaki kapiler çap oluşumlarının gelişimi üzerinde durulması önem arz etmektedir. Genel porozimetre sonuçlarından bahsedilirken çimento ağırlığınca sabit katkı oranında aerojel içeren harç karışımlarında gerçekleştirilen kum – petrol koku yer değişimi neticesinde artan petrol koku içeriği ile toplam porozite özelliklerinde düzenli bir düşüş kaydedildiğinden ve ilişik olarak tespit edilen düşüşler neticesinde petrol koku içeriğinin katkı oranı ile orantılı olarak dolgu vazifesi üstlendiğinden daha önceden bahsedilmişti. Söz konusu durum üzerinde 100 -1000 nm ve 1000-10,000 nm çap aralığındaki kapiler çap oluşumlarının belirleyici olduğu ve petrol koku içeriğinin dolgu vazifesinin 1000-10,000 nm çap

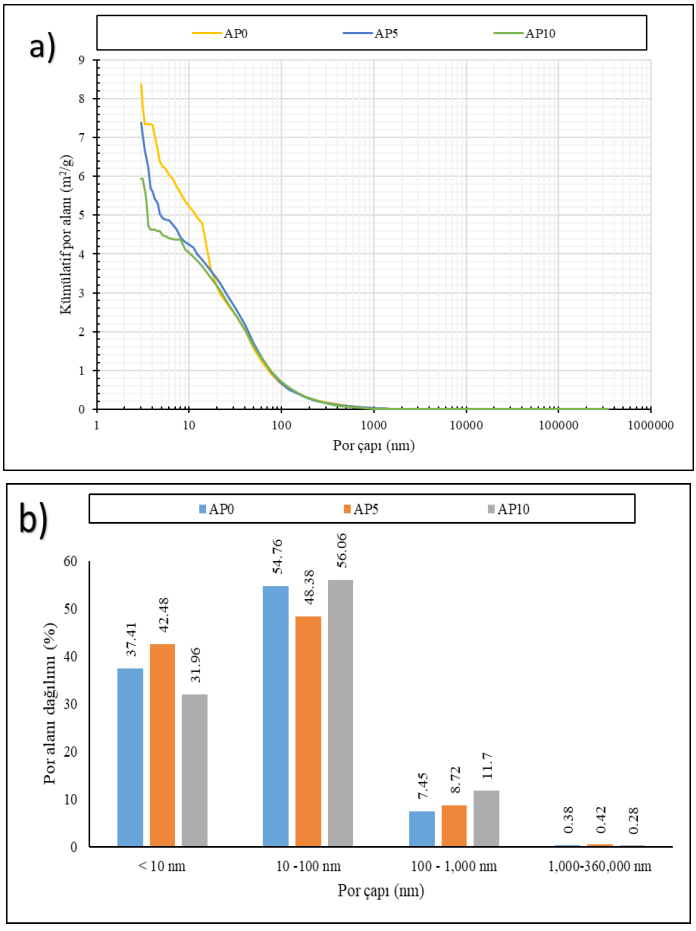
aralığında gerçekleştiği net olarak söylenebilir. İlaveten 10,000 nm ve üzerindeki çap oluşumlarının petrol koku içermeyen AP0 numunesinde minimum düzeyde olduğu ve bu düzeydeki çap oluşumları için petrol koku içeriği vasıtasıyla hayati bir değişim tespit edilmese de daha düşük seviyede ölçülen toplam porozite ve toplam por alanı değerlerine rağmen bu aralıkta AP5 ve AP10 numunelerinde daha yüksek oranda makro por oluşumu saptanması önem arz etmektedir.



Şekil 2. Logaritmik Diferansiyel İnklüzyon – Por Çapı İlişkileri

Şekil 2'de harç karışımlarında artan petrol koku içeriğinin numunelerde tespit edilen logaritmik diferansiyel inklüzyon – por çapı ilişkisine olan etkisi görülmektedir. Jel por düzeyindeki boşluk oluşumları için artan petrol koku içeriğinin jel por oluşumunu azalttığı daha önceden belirtilmişti. Bu noktada AP0 numunesinin sahip olduğu maksimum düzeydeki jel por oluşumunu 3-10 nm aralığı boyunca sürekli olarak koruduğu ve minimum düzeyde jel gözenek oluşumu gözlemlenen AP10 numunesinde ise 5-7 nm aralığı için neredeyse gözenek oluşmadığı gözlemlenmektedir. 10-100 nm aralığı için birbirine çok yakın düzeyde de olsa %35.53-36.86 aralığında saptanan ve yine sınırlı değişim aralığında maksimum düzeyde gözenek oluşumunun tespit edildiği AP0 numunesinin bu değere daha çok 10-12 nm aralığındaki por oluşumu ile sahip olduğu görülmektedir. AP0 ve AP5 numunelerine kıyasla 100-1000 nm aralığındaki kapiler çap oluşumları için AP10 numunesinde kaydedilen gözenek hacmi artışının daha çok 100-600 nm aralığındaki oluşum kökenli olduğu da net olarak görülmektedir. Petrol koku içeriğinin dolgu vazifesinin 1000-10,000

nm çap aralığında gerçekleştiği daha önceden belirtilmişti. Özellikle maksimum düzeyde petrol koku içeren AP10 numunesi için logaritmik diferansiyel inklüzyon – por çapı ilişkisi incelendiğinde esasen 500-10,000 nm aralığındaki gözeneklerin bu durumdan büyük bir ölçüde etkilendiği görülmektedir. 500-10,000 nm aralığındaki gözlemlenen davranış bu noktada petrol koku içeriğinin dolgu vazifesini ifade eden sayısal bir eğilim olarak dikkat çekmektedir. Yine makro düzeyde kabul edilebilecek 10,000 nm ve üzerindeki por çaplarının petrol koku içeriğinden net olarak etkilenmediği diferansiyel inklüzyon – por çapı ilişkisinden doğrulanmaktadır. Bu noktada numunelerin por yapısı özelliklerinde meydana gelen değişimin daha çok orta ve geniş ölçekteki kapiler çap oluşum miktarındaki değişim ile alakalı olduğu çıkarımı kendini doğrulamaktadır.

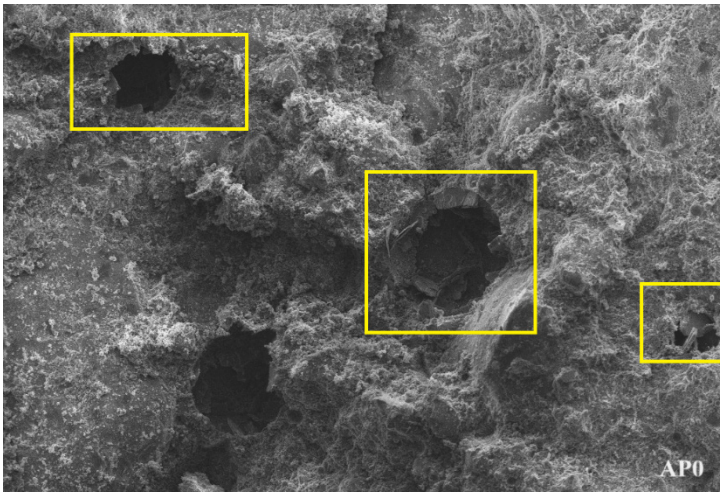


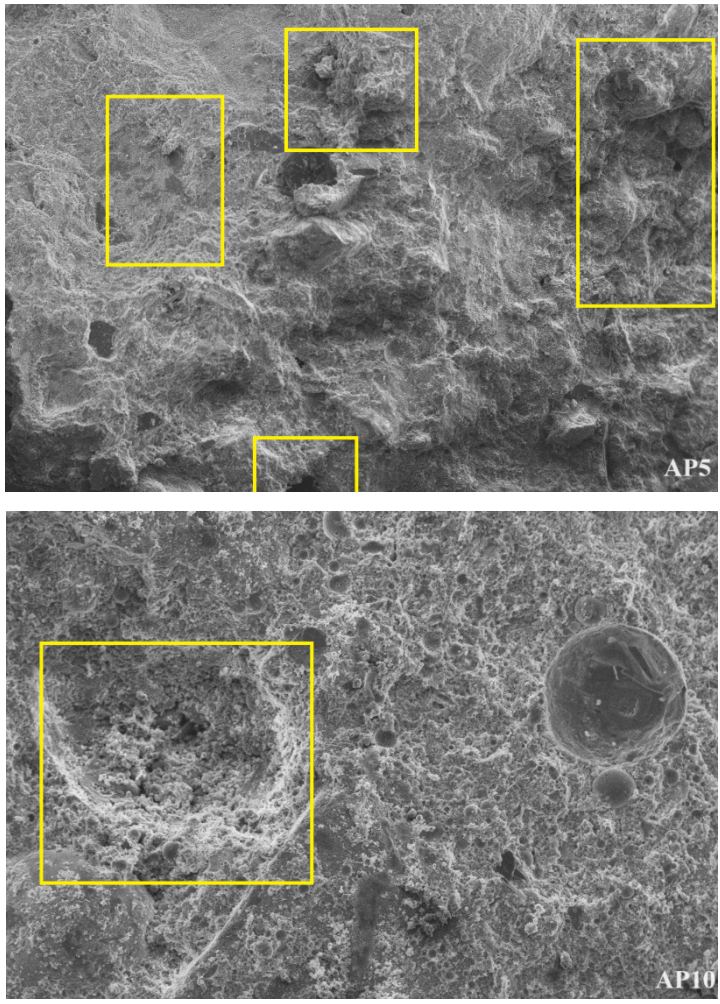
Şekil 3. Numunelerde Artan Petrol Koku İçeriğinin
a) Kümülatif Por Alanı – Por Çapı ve b) Por Alanı Dağılımına Olan Etkisi.

Şekil 3'te harç karışımlarında artan petrol koku içeriğinin numunelerde tespit edilen kümülatif por alanı – por çapı ilişkisine olan etkisi görülmektedir. Önceki bölümde karışımlarında artan petrol koku içeriğinin numunelerin toplam gözenek alanında küçültücü bir etkiye sahip olduğu ve AP0 kontrol numunesinde 8.37 m^2/g olarak ölçülen toplam por alanının AP5 ve AP10 numunelerinde %11.94 ve %29.15 olarak tespit edilen düşüşlerle sırasıyla 7.37 ve 5.93 m2/g olarak ölçüldüğü belirtilmişti. Öncelikle por alanı davranışları üzerinde genel davranışın 3-100 nm aralığında ve özellikle 3-11 nm aralığında şekillendiği görülmektedir. AP5 ve AP10 numunelerine kıyasla yüksek por alanına sahip olan AP0 kontrol numunesinde 3-11 nm aralığında oldukça yüksek bir por içeriği görülmektedir. 3-100 nm aralığı bir bütün olarak değerlendirilirse AP0, AP5 ve AP10 numunelerinde sırasıyla %92.17, %90.86 ve %88.02 düzeylerinde por alanı fraksiyonları görülmektedir. Öte yandan gerek 10-100 nm gerekse 100-1000 nm aralığındaki por fraksiyonları değişimi, anılan her iki aralık için maksimum içeriğinin tespit edildiği AP10 numunesinde diğer iki duruma kıyasla 15 nm seviyelerinden 22 nm seviyelerine çıkmış olan ortalama alansal por çapı oluşumunu net olarak ortaya koymaktadır. Özellikle AP0 ve AP5 numunelerinde sırasıyla 15.9 ve 15.5 nm olarak ölçülen ortalama alansal por çapı oluşumu birbirine oldukça yakın düzeyde seyretmiş olan 100-1000 nm aralığındaki por fraksiyonları ile alakalıdır.

3.2. SEM Analizi

Şekil 4' de harç karışımlarında artan petrol koku içeriğinin numunelerin mikro yapı özelliklerine olan etkisi görülmektedir.





Şekil 4. Artan Petrol Koku İçeriğinin Sırasıyla AP0, AP5 ve AP10 Numunelerinin Mikro Yapı Özelliklerine Olan Etkisi

Numunelere ait mikro yapı görüntülemeleri incelendiğinde tespit edilen por yapısı özelliklerinin büyük oranda mikro yapı özellikleri üzerinde de belirleyici olduğu görülmektedir. Daha önceden açıklandığı üzere petrol koku içermeyen AP0 kontrol numunesinde diğer petrol koku içeren karışım numunelerine kıyasla maksimum düzeyde toplam porozite (%20.09), maksimum düzeyde toplam por alanı (8.37 m^2/g) ve minimum düzeyde ortalama por çapı (48.5 nm) tespit edilmişti. İlan edilen karakteristik por yapısı parametreleri ile orantılı olarak AP0 kontrol numunesinin mikroyapı görüntülemesinde toplam por alanını ve poroziteyi maksimum düzeye çıkarabilecek zayıf bağ yapısı –

boşluk etkileşimleri görüntülenmektedir. % 5 düzeyinde kum – petrol koku yer değişiminin gerçekleştirildiği AP5 numunesinde ise görüntülenen matris yoğunluğu toplam por alanının daha düşük bir düzeyde ölçümünü doğrulayacak nitelikte görüntülenebilmiştir. Yine elde edilen görüntülemede benzer düzeydeki toplam porozite için kısmi oranda ortalama por çaplarının artışını destekleyen bir bağ yapısı – boşluk oluşumu etkileşimi görülebilmektedir. Öte yandan maksimum düzeyde kum – petrol koku yer değişiminin gerçekleştirildiği AP10 numunesinde ise minimum düzeyde toplam porozite (%17.97), minimum düzeyde toplam por alanı (5.93 m^2/g) ve maksimum düzeyde ortalama por çapı (60.6 nm) tespit edilmişti. Öncelikle ilan edilen minimum toplam porozite ve por alanı karakteristikleri ile uyumlu olarak AP10 numunesinde diğer iki numuneye kıyasla en sıkı denebilecek düzeyde net olarak matris yoğunluğu görülmektedir. İlaveten matris üzerindeki bazı bölgelerde kümeleşmiş haldeki gözenekli yapı da görüntülemenin elde edildiği matris için ortalama por çapının 60.6 nm düzeyinde tespit edilebilmesine referans olabilmiştir. Öte yandan çalışmaya konu olan numunelerdeki bağlayıcı malzemenin tüm numuneler için ağırlıkça yarı düzeyde uçucu kül içermesi sebebiyle ayırt edici olmayan bir özellik olarak mikro yapı görüntülemelerinde küresel uçucu kül tanecikleri dikkat çekmektedir. Yine karışımlarda miktarca artan ve hidratasyona katılmayan petrol koku partiküllerinin ise artan katkı oranı ile matriste hapsolmuş hava miktarını arttırıcı bir etkiye sebep olduğu görülmektedir.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada çimento ağırlığınca sabit dozajda aerojel katkısı içeren karma bağlayıcılı uçucu kül harç numuneleri için karışımlarda yer değiştirilen kum ve petrol koku neticesinde değişen numune por yapısı ve mikro yapı özellikleri incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Çimento ağırlığınca sabit dozajda aerojel katkısı içeren karma bağlayıcılı uçucu kül harç karışımlarında gerçekleştirilen kum – petrol koku yer değişimi numunelerin toplam porozite ve toplam por alanı karakteristiklerinde düşüşlere yol açarken yoğunlaşan matris üzerinde ortalama por çaplarını arttırıcı bir etkiye neden olmaktadır.
- Artan petrol koku içeriği ile toplam porozite ve toplam por alanı cinsinden tespit edilen düşüşler, sabit katkı oranında aerojel içeren harç karışımlarında gerçekleştirilen kum – petrol koku yer değişiminin numunelerin por yapısı özelliklerini derinden etkilediğini ve tespit edilen düşüşler neticesinde

petrol koku içeriğinin katkı oranı ile orantılı olarak dolgu vazifesi üstlendiğini işaret etmektedir.

- Yukarıda bahsedilen durum üzerinde 100 -1000 nm ve 1000-10,000 nm çap aralığındaki kapiler çap oluşumlarının belirleyici olduğu ve petrol koku içeriğinin daha çok dolgu vazifesinin 1000-10,000 nm çap aralığında gerçekleştiği net olarak söylenebilir.
- Karışımlarda miktarca artan ve hidratasyona katılmayan petrol koku partiküllerinin ise matriste hapsolmuş hava miktarını arttırıcı bir etkiye sebep olduğu görülmektedir.

Kaynakça

Aggarwal, J., Goyal, S., Kumar, M. (2023). Sustainable utilization of industrial by-products spent foundry sand and cement kiln dust in controlled low strength materials (CLSM). Construction and Building Materials, 404, Article 133315.

Aygormez, Y. (2022). Performance of different binders doped Portland Cement-based mortars using volcanic slag, petroleum coke and EPS foam aggregates. Construction and Building Materials, 336, Article 127538.

Hamada, H.M., Abed, F., Beddu, S., Humada, A., Majdi, A. (2023). Effect of Volcanic Ash and Natural Pozzolana on mechanical properties of sustainable cement concrete: A comprehensive review. Case Studies in Construction Materials, 19, Article e02425.

Lyu, H., Hao, L., Li, L., Zhang, S., Poon, C.S. (2023). The development of sustainable cement pastes enhanced by the synergistic effects of glass powder and carbonation curing. Journal of Cleaner Production, 418, Article 138237.

Mercan, E., Yilmazer, S. (2022). Study of physical and mechanical properties of aerogel-modified expanded perlite aggregate and clay (AEP/C) board. Construction and Building Materials, 361, Article 129602.

Müller, C. (2023). How standards support sustainability of cement and concrete in Europe. Cement and Concrete Research, 173, Article 107288.

Olmeda, J., Sánchez de Rojas, M.I., Frías, M., Donatello, S., Cheeseman, C.R. (2013). Effect of petroleum (pet) coke addition on the density and thermal conductivity of cement pastes and mortars. Fuel, 107, 138–146.

Oyebisi, S., Olutoge, F., Raheem, A., Dike, D., Bankole, F. (2023). Sustainability assessment of cement concrete modified with bagasse ash and calcite powder. Materials Today: Proceedings, 86, 1–6.

Paruthi, S., Khan, A.H., Kumar, A., Kumar, F., Hasan, M. A., Magbool, H. M., Manzar, M. S. (2023). Sustainable cement replacement using waste

eggshells: A review on mechanical properties of eggshell concrete and strength prediction using artificial neural network. Case Studies in Construction Materials, 18, Article e02160.

Pinelli, F., Piras, C., Rossi, F. (2022). A perspective on graphene based aerogels and their environmental applications. FlatChem, 36, Article 100449.

Rong, X., Zhang, X., Zhang, J., Xu, W., Zhang, Z. (2023). Study on mechanical and thermal properties of alkali-excited fly ash aerogel foam concrete. Construction and Building Materials, 408, Article 133770.

Sathiparan, N., Jaasim, J.H.M., Banujan, B. (2022). Sustainable production of cement masonry blocks with the combined use of fly ash and quarry waste. Materialia, 26, Article 101621.

Sun, Y., Lee, H. (2020). Research on properties evolution of ultrafine fly ash and cement composite. Construction and Building Materials, 261, Article 119935.

Teara, A., Ing, D.S. (2020). Mechanical properties of high strength concrete that replace cement partly by using fly ash and eggshell powder. Physics and Chemistry of the Earth, 120, Article 102942.

Ulusu, H., Aruntaş, H. Y., Gültekin, A. B., Dayı, M., Çavuş, M., Kaplan, G. (2023). Mechanical, durability and microstructural characteristics of Portland pozzolan cement (PPC) produced with high volume pumice: Green, cleaner and sustainable cement development. Construction and Building Materials, 378, Article 131070.

Wang, J., Liu, M., Wang, Y., Zhou, Z., Xu, D., Du, P., Cheng, X. (2020). Synergistic effects of nano-silica and fly ash on properties of cement-based composites. Construction and Building Materials, 262, Article 120737.

Zhang, Z., Gao, Y., Qin, F., Sun, F., Huang, Y. (2023). Mechanical properties of sustainable high strength ECC with substitution of cement by limestone powder. Case Studies in Construction Materials, 19, Article e02434.

Zhang, C., Huang, F., Wang, B., Ganguly, P., Pillai, S.C., Chu, H., Huang, H., Xiong, X., Wang, D. (2025). Fostering a sustainable future: Unlocking the potential of photocatalytic cement-based materials for water purification. Separation and Purification Technology, 353, Article 128312.

Zhu, P., Brunner, S., Zhao, S., Griffa, M., Leemann, A., Toropovs, N., Malekos, A., Koebel, M.M., Lura, P. (2019). Study of physical properties and microstructure of aerogel-cement mortars for improving the fire safety of high-performance concrete linings in tunnels. Cement and Concrete Composites, 104, Article 103414.

BÖLÜM V

ORTAÖĞRETİM ÖĞRENCİLERİNİN SÜNGER ŞEHİR KONSEPTİ BİLGİ DÜZEYLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Investigating the Level of Sponge City Consept Knowledge of Secondary School Students

ALIME KEVSER ÇETİNER[1] & SELMA TUNCER[2] & MEHMET ANIL KIZILASLAN[3]

[1](Lisans Öğrencisi) Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çanakkale, Türkiye
E-mail: kcetiner1830@gmail.com
ORCID- 0009-0003-0582-8595

[2](Önlisans Öğrencisi) Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Çanakkale, Türkiye
E-mail: tuncerselma962@gmail.com
ORCID- 0009-0009-4465-6144

[3](Dr. Öğr. Üyesi) Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Çanakkale, Türkiye
E-mail: makizilaslan@comu.edu.tr
ORCID- 0000-0002-0621-4646

1. Giriş

Dünyada yaşanan iklim değişikliği ile meydana gelen birçok doğal afet sonucunda şehirlerimiz zarar görüyor; suyla ilgili birçok sorun yaşamamıza sebep oluyor. Sel felaketleri, aşırı hava olayları, su kıtlığı ve su kirliliği bunlardan sadece birkaçı olarak belirtilmektedir (Nguyen vd., 2018). Sünger Şehir konsepti, şehirlerdeki ekolojik sürdürülebilirlik ilkesini

vurgulayarak su birikintisi ve taşkınlara karşı yağmur suyunun esnek bir şekilde kontrol edilmesini içerir. Konsept, yağmur suyunun depolanmasına, yer altı sularına karışmasına ve arıtılmasına izin veren; çevresel, sosyal ve ekonomik amaçlara yönelik çeşitli ekosistem hizmetleri sağlayan bir şehir geliştirme modeli elde etmeyi amaçlamaktadır (The General Office of the State Council, 2015). Sünger Şehir konseptinin ana hedefi, yeşil (temiz su) ve gri (pis su) altyapıların birleşimiyle hem yapısal hem de yapısal olmayan önlemleri uygulayarak doğal su döngüsünü ve ekolojik işlevlerini eski haline getirmektir. Geleneksel şehir planlamasında gri altyapı suyu bir atık olarak ele alırken, yeşil altyapıda yağmur suları bir kaynak olarak ele alınmaktadır. Yeşil altyapı yaklaşımında şehirlerin kaybettiği nehirleri, sulak alanları, ormanları, makro ve mikro ölçekteki kentsel boşlukları su ve biyoçeşitlilik unsurlarını gözeterek sosyal anlamda kapsayıcı mekanlara dönüştürmeyi amaçlamaktadır (Eşbah Tunçay, 2022). Özellikle şehirlerde geçirgen olmayan yüzeylerin fazla olması sel ve su taşkınlıklarının artışına zemin hazırlamaktadır. Günümüzde de bu durumla ilgili Sünger Şehir çalışmaları başlatılmış ve bu konuyla ilgili farklı çözüm yolları aranmaya devam edilmiştir (Tuğaç, 2022).

İlk olarak 2013 yılında giderek artan sel felaketleri ile baş edebilmek için Çin'de öneri olarak sunulan Sünger Şehirler konsepti içerisinde kentsel su havzalarının korunması, su kalitesinin iyileştirilmesi ve su hasadı konularını içermektedir. Sünger şehirler konseptine göre su, şehirlerden kanallar, barajlar ve mazgallarla koparılmaz ve şehre entegre edilerek, şehir tarafından tekrar kullanılmak üzere alınır ve şehirlere geri verilir. Sünger Şehir konsepti, aşırı yağışlar, taşkınlar, kuraklık ve su sıkıntısı gibi su ile ilgili sorunlarla başa çıkmak için geliştirilmiştir. Bu yaklaşım, şehirlerin su yönetimi sorunlarını çözmek ve çevresel sürdürülebilirliği artırmak amacıyla tasarlanmıştır (Zevenbergen vd., 2018).

Bu çalışmanın iki araştırma sorusu bulunmaktadır. Bunlardan ilki "Geleceğin mühendis ve mimar adayları olan ortaöğretim öğrencilerinin sünger şehir konsepti hakkındaki bilgi düzeyleri nedir?", ikincisi "Mevcut bilgi düzeylerinde bir artış sağlanabilmesi için hangi uygulamalar gerçekleştirilebilir?" sorularıdır.

Bu soruların ortaya çıkmasının ana motivasyon kaynağı Yüksek Öğretim Kurumunun E-34249659-050.04.04-68068 sayılı "Su Verimliliği Seferberliği" hakkındaki yazıdır. İlgili yazıda;

- Su verimliliği konusunda farkındalık ve eğitim faaliyetlerinin yapılması, ilgili kamu kurumları ve Sivil Toplum Kuruluşları ile iş birliği yapılması, ortak projeler üretilmesi, su verimliliği temalı panel, konferans gibi etkinliklerin düzenlenmesi,
- Su verimliliğinin kentsel, tarımsal ve endüstriyel alanlarda artırılmasına yönelik teknik, teknoloji, model vb. çalışmaların üniversitelerde yaygınlaştırılması, bu bağlamda projeler yapılmasının teşvik edilmesi hususlarına değinilmiştir.

Bu bağlamda çalışmanın ana motivasyonu şu şekilde belirlenmiştir. Çanakkale ili Merkez ilçede bulunan İbrahim Bodur Anadolu Lisesi Çevre Koruma Kulübü üyesi 24 öğrenci ile "Kontrol grupsuz ön test-son test" modeli kullanılarak bir araştırma gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Araştırmada, öğrencilere sünger şehir konsepti üzerine eğitim verilmesinin; bu eğitimin sünger şehir ve geleneksel şehir konsepti farkını daha açık bir şekilde tanımlayabilmeleri adına araştırmacılar tarafından geliştirilmiş maket simülasyonu ile desteklenmesinin bu öğrencilerin "Sünger Şehir Konsepti" bilgi düzeylerini artıracağı öngörülmüştür. Öğrencilere uygulanacak ön test ve son test 10 sorudan oluşan, 5 seçenekli çoktan seçmeli bir başarı testi olarak araştırmacılar tarafından tasarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar MATLAB sayısal hesaplama yazılımı kullanılarak değerlendirilmiş ve öğrencilerin başarı testi sonuçlarının normal dağılıma uyduğu saptanmıştır. Ön test ile son test sonuçları değerlendirildiğinde aralarında anlamlı fark olduğu yine bu sayısal hesaplama yazılımı kullanılarak kanıtlanmıştır.

Literatürde sünger şehir konsepti farkındalığı üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, belirtilen çalışmaların öne çıktığı gözlemlenmiştir. Karcı Demirkol ve Birişçi (2020) yapmış oldukları çalışmada Ege Üniversitesi yerleşkesinde çalışan akademik personelin sürdürülebilir yerleşke ve çevresel sürdürülebilirlik konusundaki bilgi, görüş ve farkındalıklarını inceleyebilmek adına 215 akademik personel ile yüz yüze görüşme ve anket uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlar katılımcıların büyük bir kısmının sürdürülebilir yerleşke hakkında bilgi sahibi olduğunu, sürdürülebilir yerleşke uygulamalarını desteklediklerini ve bu uygulamaların insan ve çevre için faydalı olduğunu düşündüklerini, yeşil yerleşkelerde çalışmanın çalışma verimini artıracağını düşündüklerini kanıtlamaktadır. Katılımcıların sürdürülebilir yerleşke hakkındaki bilgi düzeyleri ve farkındalıkları, yerleşkenin sürdürülebilirlik

çalışmalarının artırılması için daha fazla eğitim ve bilinçlendirme gerektiğini göstermiştir. Bu bağlamda sürdürülebilirlik uygulamalarını yaygınlaştırmak için, yerleşke içinde çevre dostu uygulamaların teşvik edilmesi gerektiği ve akademik personelin sürdürülebilirlik konularında daha fazla bilinçlendirilmesi ve eğitilmesi gerektiği çalışmada vurgulanmaktadır.

Wang ve Palazzo (2021) çalışmalarında Çin'deki Sünger Şehir programlarının sosyal eşitlik perspektifinden nasıl performans gösterdiğini değerlendirerek yağmur suyu yönetimi projelerinin ürettiği sosyal etkiler hakkındaki anlayışı artırmayı amaçlamışlardır. Sonuçlar Baicheng'deki Sünger Şehir programının dağıtımsal eşitliği önemli ölçüde artırdığını göstermektedir. Ancak, tanınma eşitliği ve prosedür eşitliğinin hala iyileştirilmesi ve halkın katılımını destekleyecek mekanizmaların geliştirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır.

Luo vd. (2022) çalışmalarında sünger şehir projesi kapsamında yaşayan ve proje kapsamı dışındaki şehirlerde yaşayan bireylerin duygu düşünceleri, bilinç düzeylerini bu kapsamda hazırlanmış dört spesifik soru ile ölçmeyi amaçlamışlardır. Bu sorular, kentsel su baskınlığı sıklığı, yeşil bölge oranından memnuniyet, yaşam konforu ve yağmurlu hava da seyahat kolaylığı şeklinde sorular olarak belirlenmiş ve sonuçlara göre sünger şehrin farkındalığının ön plana çıkarılması amaçlanmıştır. Bölge sakinleri arasındaki farklılıkları ölçmek için tek yönlü ANOVA'yı kullanmışlardır. Sonuçlar, sünger şehir projesinden sonra taşkın, yağmurlu havada seyahat sıkıntısı gibi birçok problemin ortadan nerdeyse kalktığını, halkın bu durumdan büyük oranda memnun kaldığını, sünger şehir projesinden sonra kentlerde estetik görünümün artması ile birlikte yaşam alanın güzelleşmesinin de olumlu sonuçlar arasında olduğunu vurgulamaktadır.

Özkaplan Yörüklü (2021) yaptığı çalışmada şehirlerin yeşil enerji ve sünger şehir politikaları oluşturması ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım yapması gerektiğini; Sünger Şehir yaklaşımının, şehirlerde yaşanabilirliği artırabileceğini ve yağmur suyu sorunlarına çözüm sunabileceğini, yeşil alanların, doğal ekosistemleri yeniden canlandırarak ve insanların yaşam kalitesini artırarak bu çabada önemli bir rol oynayacağını, Yeşil Yeni Düzenin, şehirlerin sürdürülebilirliğini artırmak ve iklim değişikliği ile başa çıkmak için önemli bir fırsat olduğunu vurgulamıştır.

Literatürde yapılan çalışmalar, geleceğin mühendis ve mimar adayları olan ortaöğretim öğrencilerinde "Sünger Şehir Konsepti" bilgi düzeylerini ölçmeye yönelik bir çalışma olmadığını göstermektedir. Bu bağlamda gerçekleştirilecek çalışmalar özgün bir nitelik taşımaktadır.

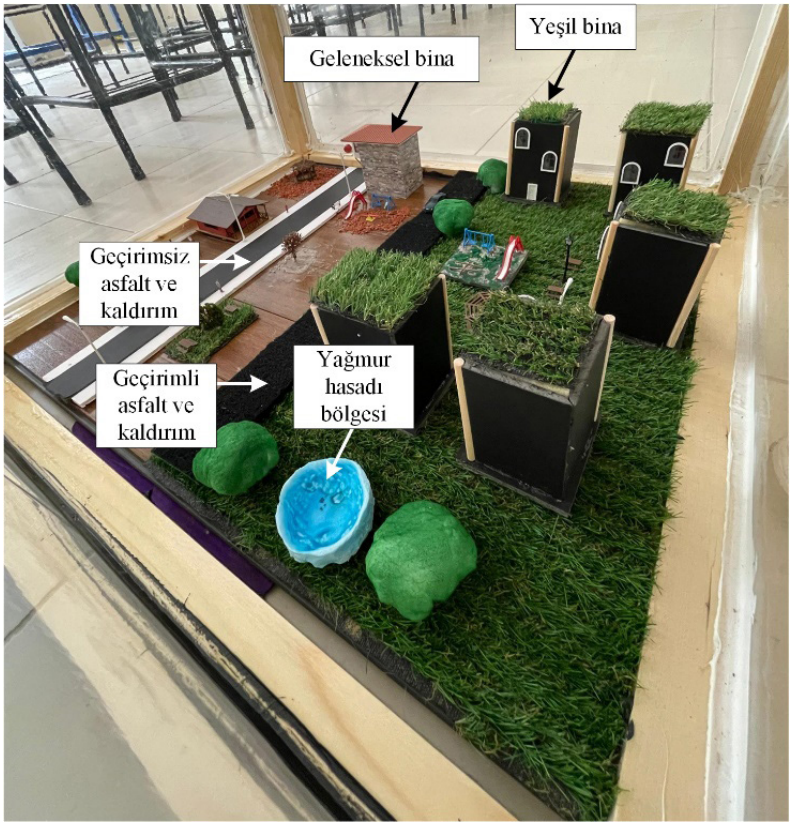
2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada ortaöğretim öğrencilerinin Sünger Şehir Konsepti bilgi düzeylerini artırmaya yönelik bir eğitim ve maket simülasyonu yapılması amaçlanmıştır. Araştırmanın uygulaması, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Rektörlüğü Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Etik Kurulu tarafından 04.04.2024 tarih ve 05/51 sayılı kararı ile Etik Komisyon ilkelerine uygun olduğuna oy birliği ile karar verilmesi sonrası başlanmıştır (Ek-1). Eğitimde araştırmacılar küresel iklim krizi, küresel iklim krizi sürecinde Türkiye, yağmur sularının etkili bir şekilde biriktirilmesi, su ayak izi, mavi, yeşil ve gri sular, sanal su, yeşil bina, sünger şehir konsepti ve sünger şehir konseptinde kullanılan çevreci uygulamalar üzerine bilgilendirme sunumu gerçekleştirmişlerdir. Maket simülasyonu için araştırmacılar tarafından geliştirilen maket, motor bağlantılı bir sulama sistemine sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Sulama sistemi ile geleneksel ve sünger şehir konseptine sahip iki maket üzerine yağmur suyunun düşürülmesi benzetimi yapılmıştır. Ortaöğretim öğrencilerinde sünger şehir bilgi düzeyini artırmaya yönelik bu simülasyon ile araştırmacılar Tablo 1'de verilen kazanımların aktarılmasını hedeflemişlerdir.

Tablo 1: Maket Simülasyonu Uygulamasının Beklenen Kazanımları

Tasarım Elemanı	Geleneksel Şehir	Sünger Şehir	Kazanım
Bina	Geleneksel Bina	Yeşil Bina	Yeşil binalar, yağmur suyunu etkili bir şekilde tutar, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanır, inşasında çevre dostu malzemeler kullanırlar.
Yağmur hasadı bölgesi	Bulunmamakta	Mevcut	Yağmur hasadı bölgeleri ile sünger şehirlerde yağmur suları etkili bir şekilde biriktirilir.
Geçirimli asfalt ve geçirimli kaldırım	Bulunmamakta	Mevcut	Geçirimli asfalt ve kaldırımlar sayesi sünger şehirlerde yağmur suyu altyapı sistemine rahat bir şekilde iletilirler.

Araştırmada kullanılan makete ilişkin yapım aşamasında ve nihai aşamadaki görseller Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Sünger şehir ve geleneksel şehir maketi.

Deneysel türde yapılan bu araştırmada kontrol grupsuz ön test-son test modeli kullanılmıştır. Çanakkale ili Merkez ilçede bulunan İbrahim Bodur Anadolu Lisesi Çevre Koruma Kulübü üyesi 24 öğrenciye herhangi bir eğitim ve maket simülasyonu yapılmadan Ek-2'de sunulan "Sünger Şehir Konsepti Başarı Testi" ön test olarak uygulanmıştır. Ardından araştırmacılar tarafından bir ders saati süresince Sünger Şehir Konsepti eğitimi ve maket simülasyonu gerçekleştirilmiş; öğrencilerin konu ile ilgili soruları yanıtlanmıştır. Alınan eğitim ve gerçekleştirilen maket simülasyonu sonrası öğrencilere "Sünger Şehir Konsepti Başarı Testi" bu kez son test olarak uygulanmıştır. Şekil 2'de eğitim ve maket simülasyonu görselleri verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 2. Araştırma kapsamında yapılan uygulamalar: (a) Sünger şehir eğitimi (b) Maket simülasyonu.

Araştırma kapsamında ön-test ve son-testlerden elde edilen sonuçlar MATLAB sayısal hesaplama yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. fitdist komutu kullanılarak α=0.05 anlamlılık düzeyinde sonuçların normal dağılıma uyup uymadıkları kontrol edilmiştir. Tüm veriler için bu komut ile ortalama ve standart sapma değerleri hesaplatılmıştır. ttest2 komutu ile ön test ve son test sonuçları arasında anlamlı fark olup olmadığı kontrol edilmiştir. Aşağıda uygulanan koda ilişkin notasyon ve karşılığında ifade ettiği durumlar değerlendirilmiştir.

>> [h,p]=ttest2(ss1,ss2)

Burada h, elde edilen sonuçlar arasında anlamlı fark olup olmadığını ifade eden hipotez testi, p, bu hipoteze ilişkin istatistik değeri, ss1, Sünger Şehir Konsepti Başarı Testi Ön Test Sonuçları ve ss2, Sünger Şehir Konsepti Başarı Testi Son Test Sonuçları olarak tanımlanmaktadır. MATLAB'ın ortalamalar

arasında anlamlı fark olup olmadığını araştırdığı hipotezlerde H0 hipotezi ortalamalar arasında anlamlı fark olmadığı, H1 hipotezi ise ortalamalar arasında anlamlı fark olduğunu göstermektedir. Verilen bu kod satırı çalıştırıldığında elde sonuç aşağıdaki şekildedir.

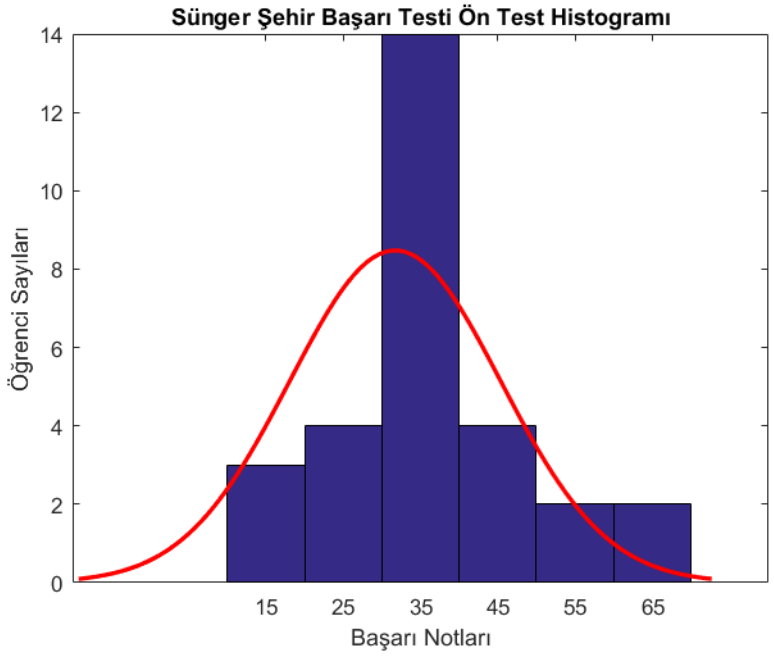
>> h=1

>>p=7.8476e-9

MATLAB sayısal hesaplama yazılımı "Yardım Merkezi" dokümanında ttest2 komutu çıktıları için şu ifade verilmektedir. "h=1 mantıksal değeri H0 hipotezinin varsayılan 0.05 anlamlılık düzeyinde reddedildiğini gösterir. Testin p değeri oldukça küçüktür. Ortalamalar arasında anlamlı fark olduğu bu iki durum değerlendirildiğinde tanımlamak için yeterlidir."

3. Bulgular

Çanakkale ili Merkez ilçede bulunan İbrahim Bodur Anadolu Lisesi Çevre Koruma Kulübü üyesi 29 öğrenciye uygulanan "Sünger Şehir Konsepti Başarı Testi" sonucunda ön test sonuçlarından elde edilen histogram grafiği Şekil 3'te verilmiştir.



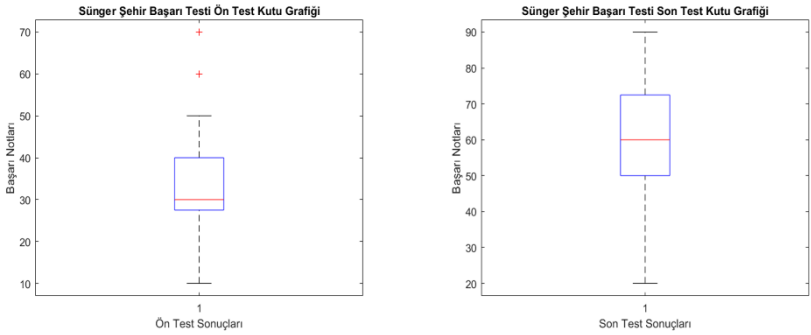
Şekil 3. Sünger Şehir Konsepti Testi ön test histogramı.

Şekil 3'te görüldüğü üzere histogram yaklaşık olarak normal dağılım eğrisine uymaktadır. fitdist komutu ile elde edilen sonuçlar da yine 0.05 anlamlılık düzeyinde sonuçların normal dağılıma uyduğunu göstermektedir. Tablo 2'de "Sünger Şehir Konsepti Başarı Testi" ön test ve son testlerinden elde edilen ortalama ve standart sapma değerleri verilmiştir.

Tablo 2: "Sünger Şehir Konsepti Başarı Testi" Ön Test Ve Son Test Sonuçları

Test	μ	σ	α=0.05 anlamlılık düzeyinde aralıkları
Ön Test	31.7241	13.6458	μ → [26.5336, 36.9147] σ → [10.829, 18.4552]
Son Test	60.6897	18.5031	μ → [53.6515, 67.7279] σ → [14.6837, 25.0245]

Tablo 2'de görüldüğü üzere ön test sonuçları ile son test sonuçlarının ortalamaları arasında pozitif yönde bir fark belirlenmiştir. Verilen eğitim ve gerçekleştirilen maket simülasyonları uygulamaya katılan 29 öğrencinin Sünger Şehir Konsepti bilgi düzeylerinde bir artış yaşandığını kanıtlamaktadır. Başarı testi sonuçlarının en düşük, en yüksek ve ortalama değerlerinin farklarının daha anlaşılır bir şekilde gösterimi Şekil 4'te kutu grafikleri kullanılarak verilmiştir.



(a) (b)

Şekil 4. Yeşil Bina Başarı Testi kutu grafikleri: (a) Ön test sonuçları, (b) Son test sonuçları.

Şekil 4a'da verilen kutu grafiğinden ön testte en yüksek başarı notunun 50, en düşük başarı notunun ise 10 olduğu gözlenmektedir. Kırmızı çizgi ile belirtilen ortalama değeri ise 30 mertebesindedir. Aynı zamanda kutu grafiğinin kırmızı çizgisinin alt bölüme yakın bulunması öğrencilerin büyük çoğunluğunun 30'a yakın notlar aldığını göstermektedir. Şekil 4b'de verilen kutu grafiğinden

ise son testte en yüksek başarı notunun 90, en düşük başarı notunun ise 20 olduğu gözlenmektedir. Kırmızı çizgi ile belirtilen ortalama değeri ise 60 mertebesindedir. Kutu grafiği 60 ortalama değerinin elde edilmesinde öğrencilerin 70 ile 50 notları arasında notlar aldığını kanıtlamaktadır. Bu durum, ortalama notun dengeli bir şekilde 60 değerini aldığını kanıtlamaktadır.

4. Sonuç ve Öneriler

Sünger şehirler, Çin tarafından geliştirilmiş yeni nesil bir kentsel yağmur suyu yönetimi konseptidir. Çin'deki sünger kentlerin pilot projeleri ile kentsel arazi kullanım yapısının optimize edilmesi ile sünger şehirler sayesinde yeni bir kent planlama anlayışını geliştirmiştir (Ji ve Bai, 2021). Sünger şehirlerin, kentsel su ekolojisinin ve su ekonomisinin, çevrenin, kaynakların, güvenliğin ve sistemin faydalarını artırmayı amaçlayan, kentin yeşil, gri ve mavi sistemlerinin optimize eden bir yapı oluşturduğu düşünülmektedir (Jia, vd., 2022). Sünger kentler hem ekolojik gelişim projesidir hem de önemli bir kamu yönetimi politikasıdır (Gu ve Cui, 2017). Geçirimli yüzey sistemleri oluşturan sünger şehirlerin temel amaçları, toplam akışı kontrol etmek, yağmur suyu kullanımını ve kirlilik kontrolünü sağlanmaktır (Wang, vd., 2021).

Bu kapsamda, Çanakkale ili Merkez ilçede bulunan İbrahim Bodur Anadolu Lisesi Çevre Koruma Kulübü üyesi 29 öğrenci ile "Kontrol grupsuz ön test-son test" modeli kullanılarak bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın uygulaması, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Rektörlüğü Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Etik Kurulu tarafından 04.04.2024 tarih ve 05/51 sayılı kararı ile Etik Komisyon ilkelerine uygun olduğuna oy birliği ile karar verilmesi sonrası başlanmıştır (Ek-1). Araştırmada, öğrencilere sünger şehir konsepti üzerine eğitim verilmiş; öğrencilerin sünger şehir konsepti ve geleneksel şehir konsepti farkını daha açık bir şekilde tanımlayabilmeleri adına maket simülasyonu ile eğitim desteklenmiştir. Araştırma kapsamında ön-test ve son-testlerden elde edilen sonuçlar MATLAB sayısal hesaplama yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, α=0.05 anlamlılık düzeyinde başarı testi ortalamaları arasında pozitif yönde bir fark olduğunu göstermiştir. Verilen eğitim ve gerçekleştirilen maket simülasyonları, uygulamaya katılan 29 öğrencinin sünger şehir konsepti bilgi düzeylerinde bir artış yaşandığını kanıtlamaktadır. Araştırma sonuçları, farklı ortaöğretim kurumlarında bu çalışmaya benzer uygulamaların yapılmasının gelecekte çevreci çözümler üretmekte zorlanmayacak mühendis ve mimarların ülkemizde yetişeceğini öngörmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı (BİDEB) tarafından yürütülen, 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı 2023 yılı 2. dönem kapsamında desteklenmeye hak kazanmış 1919B012320245 numaralı "Ortaöğretim Öğrencilerinin Sünger Şehir Konsepti Bilgi Düzeylerinin Araştırılması» başlıklı projeden üretilmiştir.

Kaynakça

Eşbah Tunçay, H. (2022), Sünger Şehirler, *Çevre, İklim ve Sürdürülebilirlik*, 23(2) 99–108

General Office of the State Council (GOSC). 2015. "The guiding opinions on promoting the construction of sponge city" China.

Ji, M., Bai, X. (2021) Construction of the sponge city regulatory detailed planning index system based on the SWMM model, *Environmental Technology & Innovation*, 23, 101645.

Jia, B., Huang, M., Li, H. E., Lv, P., Li, J. (2022), Benefit of Sponge City monetization based on "water footprint theory: cases of Xi'an and Guyuan, *Environmental Science and Pollution Research*, 1-16.

Karcı Demirkol, A., Birişçi, T. (2020) Sürdürülebilir Yerleşke Kavramı Farkındalığının Ege Üniversitesi Yerleşkesi Örneğinde İrdelenmesi, *Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 57(3), 367-379.

Luo P., Zheng Y., Wang Y., Zhang S., Yu W., Zhu X., Huo A., WANG Z., HE B., NOVER D. (2022) Comparative Assessment of Sponge City Constructing in Public Awareness, Xi'an, China, *Sustainability*, 14(18),11653.

Nguyen, T.T., Ngo H.H., Guo W., Wang X.C., Ren N., Li G., Ding J., LIANG H. (2019) Implementation of a specific urban water management - Sponge City, *Science of The Total Environment*, 652, 147-162.

Özkaplan Yörüklü, N. (2021) İklim Değişikliği Ve Küresel Isınma İçin Peyzaj Mimarlığı Stratejileri: İklim Değişikliği Politikaları Peyzaj Beyanı, *PEYZAJ - Eğitim, Bilim, Kültür ve Sanat Dergisi*, 3(1), 43-55.

Tuğaç, Ç. (2022) İklim Değişikliği Krizi ve Şehirler, *Çevre, Şehir ve İklim Dergisi*, 1(1), 38-60.

Wang, S., Palazzo, E. (2021) Sponge City and social equity: Impact assessment of urban stormwater management in Baicheng City, China, *Urban Climate*, 37, 100829.

Zevenbergen, C., Fu, D., Pathirana, A. (2018) Transitioning to Sponge Cities: Challenges and Opportunities to Address Urban Water Problems in China, *Water*, 10, 1-13.

Ek-1 Etik Kurul İzin Belgesi

T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Etik Kurulu
Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği

Sayı : E-84026528-050.99-2400097336 05.04.2024
Konu : Başvuru İncelenmesi

Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Anıl KIZILASLAN

Yürütücülüğünüzü yapmış olduğunuz 2024-YÖNP-0261 nolu projeniz ile ilgili Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Komisyonu'nun almış olduğu 04.04.2024 tarih ve 05/51 sayılı kararı aşağıdadır.

Bilgilerinize rica ederim.

KARAR 51- Danışmanlığını **Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Anıl KIZILASLAN**'ın yaptığı ve yürütücülüğünü **Alime Kevser ÇETİNER** tarafından gerçekleştirildiği **TÜBİTAK 2209-A** "Ortaöğretim Öğrencilerinin Sünger Şehir Konsepti Bilgi Düzeylerinin Araştırılması" başlıklı araştırmanın, ilgili **taahhüt edilen izinlerin alınması** ve Yayın Etiği Komisyonuna sunulması koşulu ile Etik Komisyon ilkelerine **uygun** olduğuna oy birliği ile karar verilmiştir.

Doç. Dr. Derya GİRGİN
Kurul Başkanı

Ek 2- Sünger Şehir Konsepti Başarı Testi

Soru 1. Sünger şehir konsepti ile ilgili aşağıda verilen bilgilerden hangisi yanlıştır?

a) Sünger şehir konsepti ile birlikte yağmur suyu etkili bir şekilde depolanması sağlanmış olur.

b) Sünger şehir konsepti şehirlerin ekolojik sürdürülebilirliğine katkı sağlar.

c) Sünger şehir konsepti sayesinde şehirlerde yaşanan taşkın sayılarında düşüş yaşanması beklenir.

d) Sünger şehir konsepti ilk kez Avrupa'da uygulanmaya başlanmıştır.

e) Sünger şehir konsepti hem çevresel, hem ekonomik hem de sosyal amaçlara yönelik çeşitli ekosistem hizmetleri sağlayan bir şehir geliştirme modelidir.

Soru 2. I. Geçirimli kaldırımlar ve asfaltlar
II. Yeşil çatılar
III. Yağmur hasadı bölgeleri
IV. Biyolojik hendekler

Yukarıda belirtilen unsurlardan hangisi ya da hangileri bir sünger şehirde bulunabilir?

(a) I ve II (b) II ve III (c) II, III ve IV (d) I, II ve III (e) I, II, III ve IV

Soru 3. Yağmur sularının etkili bir şekilde biriktirilmesi ile elde edilen aşağıdaki sonuçlardan hangisi yanlıştır?

a) Küresel iklim krizi ile karşı karşıya olan ülkemizin yağmur suları farklı alanlarda kullanılabilir hale gelir.

b) Gri (pis) su olarak tanımlanan yağmur suları yeşil (temiz) su olarak tanımlanabilir.

c) Ülkemize yağan yağmur suyu miktarı artışa geçer.

d) Yağmur suyunun mümkün olduğunca düştüğü alanda toplanarak taşkın oluşturma riski azalır.

e) Sokak ve yollarda oluşan yüzey akışı azaltılarak mevcut altyapı sistemleri rahatlatılır.

Soru 4. Su ayak izi için yapılan aşağıdaki tanımlamalardan hangisi doğrudur?

a) Bir kişinin, ürünün, sektörün, havzanın veya ülkenin birim zamanda üretim süreçlerinde harcadığı ve/veya kirlettiği toplam temiz su miktarıdır.

b) Bir kişinin, ürünün, sektörün, havzanın veya ülkenin birim zamanda üretim süreçlerinde harcadığı ve/veya kirlettiği toplam su miktarıdır.

c) Bir kişinin, ürünün, sektörün, havzanın veya ülkenin bir yılda üretim süreçlerinde harcadığı ve/veya kirlettiği toplam temiz su miktarıdır.

d) Bir kişinin, ürünün, sektörün, havzanın veya ülkenin bir yılda üretim süreçlerinde harcadığı ve/veya kirlettiği toplam su miktarıdır.

e) Hiçbiri

Soru 5. "Su kıtlığı olan ülkelerde su yoğun malların üretimini ithalat yoluyla temin ederek, yerel su kaynakları üzerindeki baskıyı hafifletmek" hangi tip su kullanımında artışa yol açacaktır?

(a) Gri su (b) Yeşil su (c) Yağmur suyu (d) Sanal su (e) Mavi su

Soru 6. I. Nüfus artışı
II. Evsel, endüstriyel ve tarımsal su ihtiyacının artması
III. Dünya'da yaşanan küresel iklim krizi
IV. Ekonomik büyüme

Küresel su kaynaklarının geleceğini etkileyen faktörler aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

(a) Yalnız III (b) II ve III (c) I, II ve III (d) II, III ve IV (e) I, II, III ve IV

Soru 7. Sünger kent …… bir sistem oluşturarak suyun zeminden süzülmesine ve yağmur suyunu emen ve daha sonra toprak tarafından doğal olarak filtrelenen belirli bir kent dokusunu tanımlamaktadır.

Yukarıdaki cümlede boş bırakılan bölüme hangi ifade getirilmelidir?

(a) geçirimsiz (b) geçirimli (c)akışkan (d) akmayan (e) Hiçbiri

Soru 8. Aşağıdakilerden hangisi sünger şehrin faydalarından biri değildir?

a) Şehir için daha fazla temiz su sağlar
b) Sel risklerini azaltır
c) Biyolojik çeşitliliği azaltır
d) Daha temiz yeraltı suyu sağlar
e) Daha yeşil bir şehir meydana getirir

Soru 9. "Küresel iklim krizi sürecinde dünyada ortalama sıcaklık artışını 1,5°C ile sınırlamak ve 2°C'nin altında tutmak için çaba sarf etmek" ifadesi aşağıdaki anlaşmalardan hangisinde geçmektedir?

a) Paris b) Kyoto c) Tokyo d) İstanbul e) Şanghay

Soru 10. Şehirdeki ortalama hava sıcaklığı değerlerinin kırsal alanlara göre daha yüksek olması …….. etkisi olarak tanımlanır.

Yukarıdaki cümlede boş bırakılan bölüme hangi ifade getirilmelidir?

a) kentsel iklim
b) kentsel ısı adası
c) küresel iklim
d) küresel ısı adası
e) kentsel değişim

BÖLÜM VI

ORTAÖĞRETİM ÖĞRENCİLERİNİN YEŞİL BİNA BİLGİ DÜZEYLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Investigating the Level of Green Building Knowledge of Secondary School Students

MEHMET SADIK TOPRAK[1] & BERK OĞULCAN SAĞIROĞLU[2] & YUNUS ARSU[3] & MEHMET ANIL KIZILASLAN[4]

[1](Önlisans Öğrencisi) Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Çanakkale, Türkiye
E-mail: mehmet-toprak111@hotmail.com
ORCID- 0009-0006-2558-6177

[2](Önlisans Öğrencisi) Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Çanakkale, Türkiye
E-mail: berkogulcansagiroglu@outlook.com
ORCID- 0009-0004-1443-4835

[3](Önlisans Öğrencisi) Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Çanakkale, Türkiye
E-mail: yunusarsu50@gmail.com
ORCID- 0009-0005-2370-2472

[3](Dr. Öğr. Üyesi) Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İnşaat Bölümü, Çanakkale, Türkiye
E-mail: makizilaslan@comu.edu.tr
ORCID- 0000-0002-0621-4646

1. Giriş

Yeşil binalar, enerjinin aktif kullanımı, doğal kaynakların düzenli ve verimli kullanımı, çevreye olumsuz etkileri olan atık emisyonlarının ortadan kaldırılmasını veya azaltılmasını sağlayarak; insanların sağlıklı ve konforlu bina ve ortamlarda yaşamasını amaçlamaktadır (Bayat ve Küçükali, 2021).

Sürdürülebilir (yeşil) binaların ana hedefleri şu şekilde sıralanabilir:

- Doğal enerji kaynaklarının aktif ve verimli kullanılması,
- Sağlık ve güvenlik riskinim minimum seviyeye indirilmesi,
- Atığın azaltılması,
- Değişen koşullara kolaylıkla adapte olabilen, uzun ömürlü bina tasarımlarının geliştirilmesi,
- İç mekân hava kalitesinin sağlıklı bir biçimde sağlanması,
- Temiz su kaynaklarının korunması,
- Tehlikeli ve zararlı maddeleri etkili bir şekilde uzaklaştırılması,
- Biyolojik çeşitliliğin korunması (Voinov ve Smith,1994).

Yeşil bina konseptinde yapılabilecek inşaat uygulamalarından elde edilen kazanımlardan bazıları şu şekilde sıralanabilir;

- Enerji tüketim miktarları azdır. Fosil yakıtları daha az kullanırlar, daha çok yenilenebilir enerji kaynaklarını tercih ederler. Çatı, duvar, pencere yalıtımını son derece gelişmiştir, böylece ısıtma, soğutma ve aydınlatma giderlerinde tasarrufludurlar.
- Gri su kullanımları yüksektir, yağmur suyunu etkili bir şekilde biriktirirler ve su arıtımına önem verirler, sulama için gerekli su miktarları azdır ve tesisat yapıları düşük tüketimlidir.
- İç mekan kaliteleri yüksektir insan sağlığını önemseyerek tasarlanırlar. Hava kaliteleri, aydınlatma sistemleri ve bina akustiği yüksek seviyededir. Üretimlerinde insan sağlığına zararlı yapı kimyasalları kullanılmazlar.
- Tasarımlarında arazi en uygun şekilde değerlendirilir. Kentsel ısı adası etkisi oluşturmayan, ekolojik dengeyi koruyan malzemeler tercih ederler. Dönüşebilen ve geri kazanılabilen malzemeleri kullanarak, katı atık yönetimi çerçevesinde çevre dostu malzemelerden yapılırlar (ECOBUILD, 2023).

Bu çalışmanın iki araştırma sorusu bulunmaktadır. Bunlardan ilki "Geleceğin mühendis ve mimar adayları olan ortaöğretim öğrencilerinin yeşil bina konsepti hakkındaki bilgi düzeyleri nedir?", ikincisi "Mevcut bilgi düzeylerinde bir artış sağlanabilmesi için hangi uygulamalar gerçekleştirilebilir?" sorularıdır.

Bu soruların ortaya çıkmasının ana motivasyon kaynağı Yüksek Öğretim Kurumunun E-34249659-050.04.04-68068 sayılı "Su Verimliliği Seferberliği" hakkındaki yazıdır. İlgili yazıda;

- Su verimliliği konusunda farkındalık ve eğitim faaliyetlerinin yapılması, ilgili kamu kurumları ve Sivil Toplum Kuruluşları ile iş birliği yapılması, ortak projeler üretilmesi, su verimliliği temalı panel, konferans gibi etkinliklerin düzenlenmesi,
- Su verimliliğinin kentsel, tarımsal ve endüstriyel alanlarda artırılmasına yönelik teknik, teknoloji, model vb. çalışmaların üniversitelerde yaygınlaştırılması, bu bağlamda projeler yapılmasının teşvik edilmesi hususlarına değinilmiştir.

üzerine görüş bildirilmiştir. Bu bağlamda çalışmanın ana motivasyonu şu şekilde belirlenmiştir. Çanakkale ili Merkez ilçede bulunan İbrahim Bodur Anadolu Lisesi Çevre Koruma Kulübü üyesi 24 öğrenci ile "Kontrol grupsuz ön test-son test" modeli kullanılarak bir araştırma gerçekleştirilmesi planlanmıştır. Araştırmada, öğrencilere yeşil bina üzerine eğitim verilmesinin; bu eğitimin yeşil bina ve geleneksel bina farkını daha açık bir şekilde tanımlayabilmeleri adına araştırmacılar tarafından geliştirilmiş maket simülasyonu ile desteklenmesinin bu öğrencilerin "Yeşil Bina» bilgi düzeylerini artıracağı öngörülmüştür. Öğrencilere uygulanacak ön test ve son test 10 sorudan oluşan, 5 seçenekli çoktan seçmeli bir başarı testi olarak araştırmacılar tarafından tasarlanmıştır. Elde edilen sonuçlar MATLAB sayısal hesaplama yazılımı kullanılarak değerlendirilmiş ve öğrencilerin başarı testi sonuçlarının normal dağılıma uyduğu saptanmıştır. Ön test ile son test sonuçları değerlendirildiğinde aralarında anlamlı fark olduğu yine bu sayısal hesaplama yazılımı kullanılarak kanıtlanmıştır.

Literatürde yeşil bina farkındalığı üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, belirtilen çalışmaların öne çıktığı gözlemlenmiştir. Mansur ve Korkmaz (2020) betimsel araştırma yöntemini kullanarak sağlık hizmeti kullanıcılarının yeşil hastane farkındalık düzeylerini belirlemek amacıyla 439 katılımcıya online anket uygulamışlardır. Araştırmada; katılımcıların yeşil hastane farkındalıkları, enerji ve su verimliliği, iç mekan kalitesi, materyal ve kaynaklar, sürdürülebilir site planlaması ve yönetimi boyutları ele alınarak incelenmiştir. Araştırmanın sonuçları sağlık hizmeti kullanıcılarının, hastanelerin iç çevre kalitesi, materyal ve kaynaklar ile site planlaması yönetiminin sürdürülebilirliği konusunda farkındalık düzeylerinin diğer boyutlara nazaran daha yüksek olduğu göstermiştir.

Keleş vd. (2022) çalışmalarında Türkiye'de enerji belgeli ve belgesiz binalarda yaşayan 252 apartman sakinine anket uygulayarak yeşil binalara yönelik farkındalık düzeylerini ölçmeyi amaçlamıştır. Sonuçlar, sürdürülebilir kalkınma ve enerji tasarrufu kavramının bilincinin ancak toplumun büyük bir bölümü tarafından kabul edilmesi durumunda oluşturulabileceğini göstermektedir. Katılımcıların büyük çoğunluğunun binalarının özellikleri hakkında bilgi sahibi olmadığının belirlendiği çalışmada; benzer konularda daha fazla eğitim sağlanması gerekliliği belirtilmektedir.

Alotaibi vd. (2023) çalışmalarında Kano Eyaletindeki sürdürülebilir yeşil bina farkındalığını değerlendirmeyi amaçlamışlardır. 251 anketin değerlendirildiği çalışmada farklı ülkelerin yeşil bina farkındalığı üzerine durumları değerlendirilmiştir.

Gökçen ve Perker (2022) çalışmalarında yeşil bina danışmanlarının sertifikasyon sistemleri hakkındaki algılarının ve yeşil bina oluşturma deneyimlerinin araştırılmasını amaçlamışlardır. Araştırma fenomenoloji deseniyle tasarlanmış ve on yeşil bina danışmanı katılımcı olarak yer almıştır. Araştırmanın sonuçları; yeşil bina danışmanlarının sertifikasyon sistemlerine yönelik algılarının ve yeşil bina oluşturma deneyimlerinin özünü oluşturan temalar şu şekilde sıralandığı göstermiştir; çevreci bina yapmayı öğrenme ve sektörün buna dayanan değişimi, disiplinler arası - ortak çalışma ve entegre proje yönetimi, meslek saygınlığında artış, yüklenici firma kalitesinde artış, kullanıcı konforu, pazarlama, maliyet.

Anzagira vd. (2021) çalışmalarında Gana İnşaat Sektörü paydaşları arasında yeşil bina konsepti farkındalığını ve uygulamasını araştırmaktadır. Araştırmanın verileri 292 paydaşın katıldığı anket çalışmasıyla; katılanların %88,4'ünün yeşil bina konsepti hakkında önceden bilgi sahibi olduğunu ve %69,2'sinin yeşil binanın çevre dostu olduğunu belirttiğini göstermektedir.

Aksu ve Yücebalkan (2020) yapmış oldukları çalışmada, üniversite öğrencilerinden oluşan gelecekteki potansiyel yeşil yakalı çalışanların ve liderlerin çevresel duyarlılık ve farkındalık düzeylerini tespit etmek amacıyla bir anket uygulamışlardır. Sonuçlar, cinsiyet ile çevre bilinci arasında bir bağlantı olmadığını, yaşanılan şehirlerin yüz ölçümünün çevre bilinci bakımından bir farklılık oluşturmadığını kanıtlarken; çevre farkındalığı konusunda farklı örnekler ve farklı çalışmaların çoğalması ile çevre duyarlılığının artacağı vurgulanmaktadır.

Çillioğlu Karademir ve Dağ (2021) çalışmalarında literatürde sürdürülebilirlik ve sürdürülebilirlik yönetimi kavramlarını, yeşil binalar ve sertifikasyon süreçlerini incelemeyi hedeflemişlerdir. LEED (Leadership in Energy and Environmental Design)'in değerlendirme ve süreç detayları

açıklanırken Türkiye'deki mevcut uygulama durumu ortaya konulmuştur. Sonuçlar, Türkiye'de 428 LEED sertifikası almış proje bulunduğunu, LEED sertifikasyonunu kullanan 167 ülke arasında Türkiye ilk on ülke içerisinde olduğunu, uygulamaların 34 şehirde olduğu belirlemiştir.

Literatürde yapılan çalışmalar, geleceğin mühendis ve mimar adayları olan ortaöğretim öğrencilerinde "Yeşil Bina" bilgi düzeylerini ölçmeye yönelik bir çalışma olmadığını göstermektedir. Bu bağlamda gerçekleştirilecek çalışmalar özgün bir nitelik taşımaktadır.

2. Materyal ve Metot

Bu çalışmada ortaöğretim öğrencilerinin Yeşil Bina bilgi düzeylerini artırmaya yönelik bir eğitim ve maket simülasyonu yapılması amaçlanmıştır. Araştırmanın uygulaması, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Rektörlüğü Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Etik Kurulu tarafından 04.04.2024 tarih ve 05/50 sayılı kararı ile Etik Komisyon ilkelerine uygun olduğuna oy birliği ile karar verilmesi sonrası başlanmıştır (Ek-1). Eğitimde araştırmacılar küresel iklim krizi, küresel iklim krizi sürecinde Türkiye, yağmur sularının etkili bir şekilde biriktirilmesi, su ayak izi, mavi, yeşil ve gri sular, sanal su, yenilenebilir enerji, yeşil bina, yeşil bina sertifikasyon sistemi ve yeşil binalarda kullanılan çevreci yapı malzemeleri üzerine bilgilendirme sunumu gerçekleştirmişlerdir. Maket simülasyonu için araştırmacılar tarafından geliştirilen maket, motor bağlantılı bir sulama sistemine sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Sulama sistemi ile geleneksel ve yeşil bina konseptine sahip iki maket bina üzerine yağmur suyunun düşürülmesi benzetimi yapılmıştır. Ortaöğretim öğrencilerinde yeşil bina bilgi düzeyini artırmaya yönelik bu simülasyon ile araştırmacılar Tablo 1'de verilen kazanımların aktarılmasını hedeflemişlerdir.

Tablo 1: Maket Simülasyonu Uygulamasının Beklenen Kazanımları

Tasarım Elemanı	Geleneksel Bina	Yeşil Bina	Kazanım
Çatı	Geleneksel Çatı	Yeşil Çatı	Yeşil çatı sayesinde yağmur sularının efektif bir şekilde suyu depolayarak binanın istenilen yerinde bu suyun kullanılabilir.
Ev tipi rüzgar türbini	Bulunmamakta	Mevcut	Ev tipi rüzgar türbini sayesinde elde edilen yenilenebilir enerji bina içerisinde kullanılabilir.
Güneş paneli	Bulunmamakta	Mevcut	Çatıya yerleştirilen güneş paneli sayesinde elde edilen yenilenebilir enerji bina içerisinde kullanılabilir.

Araştırmada kullanılan makete ilişkin yapım aşamasında ve nihai aşamadaki görseller Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Yeşil bina ve geleneksel bina maketleri (a) yapım aşaması (b) nihai aşama.

Deneysel türde yapılan bu araştırmada kontrol grupsuz ön test-son test modeli kullanılmıştır. Çanakkale ili Merkez ilçede bulunan İbrahim Bodur Anadolu Lisesi Çevre Koruma Kulübü üyesi 24 öğrenciye herhangi bir eğitim ve maket simülasyonu yapılmadan Ek-2'de sunulan "Yeşil Bina Başarı Testi" ön test olarak uygulanmıştır. Ardından araştırmacılar tarafından bir ders saati süresince Yeşil Bina eğitimi ve maket simülasyonu gerçekleştirilmiş; öğrencilerin konu ile ilgili soruları yanıtlanmıştır. Alınan eğitim ve gerçekleştirilen maket simülasyonu sonrası öğrencilere "Yeşil Bina Başarı Testi" bu kez son test olarak uygulanmıştır. Şekil 2'de eğitim ve maket simülasyonu görselleri verilmiştir.



Şekil 2. Araştırma kapsamında yapılan uygulamalar: (a) Yeşil bina eğitimi (b) Maket simülasyonu.

Araştırma kapsamında ön-test ve son-testlerden elde edilen sonuçlar MATLAB sayısal hesaplama yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. fitdist komutu kullanılarak α=0.05 anlamlılık düzeyinde sonuçların normal dağılıma uyup uymadıkları kontrol edilmiştir. Tüm veriler için bu komut ile ortalama ve standart sapma değerleri hesaplatılmıştır. ttest2 komutu ile ön test ve son test sonuçları arasında anlamlı fark olup olmadığı kontrol edilmiştir. Aşağıda uygulanan koda ilişkin notasyon ve karşılığında ifade ettiği durumlar değerlendirilmiştir.

>> [h,p]=ttest2(yb1,yb2)

Burada h, elde edilen sonuçlar arasında anlamlı fark olup olmadığını ifade eden hipotez testi, p, bu hipoteze ilişkin istatistik değeri, yb1, Yeşil Bina Başarı Testi Ön Test Sonuçları ve yb2, Yeşil Bina Başarı Testi Son Test Sonuçları olarak tanımlanmaktadır. MATLAB'ın ortalamalar arasında anlamlı fark olup olmadığını araştırdığı hipotezlerde H0 hipotezi ortalamalar arasında anlamlı fark olmadığı, H1 hipotezi ise ortalamalar arasında anlamlı fark olduğunu göstermektedir. Verilen bu kod satırı çalıştırıldığında elde sonuç aşağıdaki şekildedir.

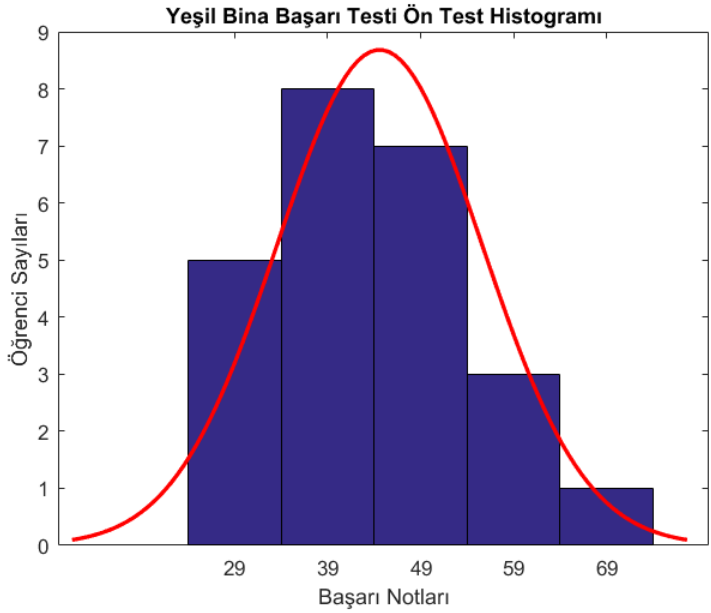
>> h=1

>>p=7.7097e-11

MATLAB sayısal hesaplama yazılımı "Yardım Merkezi" dokümanında ttest2 komutu çıktıları için şu ifade verilmektedir. "h=1 mantıksal değeri H0 hipotezinin varsayılan 0.05 anlamlılık düzeyinde reddedildiğini gösterir. Testin p değeri oldukça küçüktür. Ortalamalar arasında anlamlı fark olduğu bu iki durum değerlendirildiğinde tanımlamak için yeterlidir."

2. Bulgular

Çanakkale ili Merkez ilçede bulunan İbrahim Bodur Anadolu Lisesi Çevre Koruma Kulübü üyesi 24 öğrenciye uygulanan "Yeşil Bina Başarı Testi" sonucunda ön test sonuçlarından elde edilen histogram grafiği Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Yeşil Bina Başarı Testi ön test histogramı.

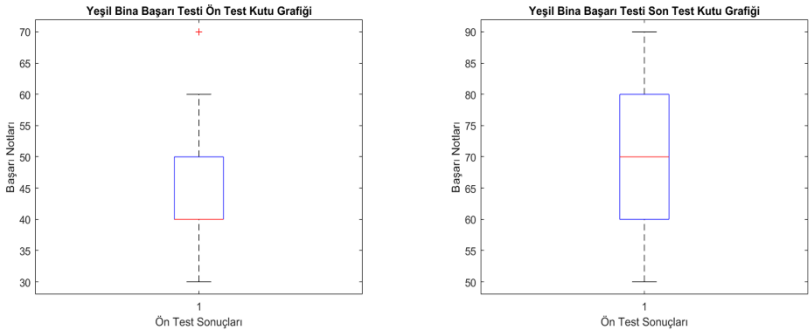
Şekil 3'te görüldüğü üzere histogram yaklaşık olarak normal dağılım eğrisine uymaktadır. *fitdist* komutu ile elde edilen sonuçlar da yine 0.05 anlamlılık düzeyinde sonuçların normal dağılıma uyduğunu göstermektedir. Tablo 2'de "Yeşil Bina Başarı Testi" ön test ve son testlerinden elde edilen ortalama ve standart sapma değerleri verilmiştir.

Tablo 2: "Yeşil Bina Başarı Testi" Ön Test Ve Son Test Sonuçları

Test	μ	σ	α=0.05 anlamlılık düzeyinde aralıkları
Ön Test	44.5833	11.0253	μ → [39.9277, 49.2389] σ → [8.56904, 15.4659]
Son Test	69.5833	9.54585	μ → [65.5525, 73.6142] σ → [7.41916, 13.3905]

Tablo 2'de görüldüğü üzere ön test sonuçları ile son test sonuçlarının ortalamaları arasında pozitif yönde bir fark belirlenmiştir. Verilen eğitim ve gerçekleştirilen maket simülasyonları uygulamaya katılan 24 öğrencinin Yeşil Bina bilgi düzeylerinde bir artış yaşandığını kanıtlamaktadır. Başarı testi

sonuçlarının en düşük, en yüksek ve ortalama değerlerinin farklarının daha anlaşılır bir şekilde gösterimi Şekil 4'te kutu grafikleri kullanılarak verilmiştir.



(a) (b)

Şekil 4. Yeşil Bina Başarı Testi kutu grafikleri:
(a) Ön test sonuçları, (b) Son test sonuçları.

Şekil 4a'da verilen kutu grafiğinden ön testte en yüksek başarı notunun 60, en düşük başarı notunun ise 30 olduğu gözlenmektedir. Kırmızı çizgi ile belirtilen ortalama değeri ise 45 mertebesindedir. Aynı zamanda kutu grafiğinin alt bölümünde herhangi bir mavi çizgi olmaması öğrencilerin büyük çoğunluğunun 40'a yakın notlar aldığını göstermektedir. Şekil 4b'de verilen kutu grafiğinden ise son testte en yüksek başarı notunun 90, en düşük başarı notunun ise 50 olduğu gözlenmektedir. Kırmızı çizgi ile belirtilen ortalama değeri ise 70 mertebesindedir. Kutu grafiği 70 ortalama değerinin elde edilmesinde öğrencilerin 80 ile 60 notları arasında notlar aldığını kanıtlamaktadır. Bu durum, ortalama notun dengeli bir şekilde 70 değerini aldığını kanıtlamaktadır.

3. Sonuç ve Öneriler

Sürdürülebilir kalkınma kavramının her geçen gün öneminin artmasıyla birlikte çevre dostu bina, yeşil bina, akıllı bina gibi yeni kavramlar ortaya çıkmıştır. Yeşil binalar genellikle çevre dostu ve ekolojik binalar olarak tanımlanmaktadır (Özbalta ve Çakmanus, 2008). Sosyal ve çevresel faktörler gözeterek tasarlanan, iklim koşulları ve bölgeye özgü koşullar dahilinde verimli tüketim gösteren, daha çok yenilenebilir enerji kaynakları kullanan, atık üretimini en alt seviyede tutan malzemelerin kullanıldığı, çevreye dostu sürdürülebilir binalar olarak tanımlanan yeşil binalar; geleneksel binaların sağlayamayacağı pek çok avantaja sahiptirler. Bunlar, yeşil binalarda iç ortam kalitesinin yüksek olması, enerji ve

su tasarrufu sağlaması, işletme ve bakım faaliyetlerinde düşük maliyetlerinin olması ve atık miktarında azalma gerçekleştirmesi olarak sıralanabilir (Güzelkokar ve Gelişen, 2019). Bu bağlamda küresel iklim krizi nedeniyle pek çok çevreci çözüm üretmemiz gereken bir zaman diliminde bulunmaktayız. Geleceğin mühendis ve mimar adayları olan ortaöğretim öğrencilerinin "Yeşil Bina Bilgi Düzeyleri"nde yaşanacak bir artış, onların profesyonel hayatlarında bu bilgi birikimini kullanmalarını kolaylaştıracaktır.

Bu kapsamda, Çanakkale ili Merkez ilçede bulunan İbrahim Bodur Anadolu Lisesi Çevre Koruma Kulübü üyesi 24 öğrenci ile "Kontrol grupsuz ön test-son test" modeli kullanılarak bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın uygulaması, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Rektörlüğü Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Etik Kurulu tarafından 04.04.2024 tarih ve 05/50 sayılı kararı ile Etik Komisyon ilkelerine uygun olduğuna oy birliği ile karar verilmesi sonrası başlanmıştır (Ek-1). Araştırmada, öğrencilere yeşil bina üzerine eğitim verilmiş; öğrencilerin yeşil bina ve geleneksel bina farkını daha açık bir şekilde tanımlayabilmeleri adına maket simülasyonu ile eğitim desteklenmiştir. Araştırma kapsamında ön-test ve son-testlerden elde edilen sonuçlar MATLAB sayısal hesaplama yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuçlar, $\alpha=0.05$ anlamlılık düzeyinde başarı testi ortalamaları arasında pozitif yönde bir fark olduğunu göstermiştir. Verilen eğitim ve gerçekleştirilen maket simülasyonları, uygulamaya katılan 24 öğrencinin Yeşil Bina bilgi düzeylerinde bir artış yaşandığını kanıtlamaktadır. Araştırma sonuçları, farklı ortaöğretim kurumlarında bu çalışmaya benzer uygulamaların yapılmasının gelecekte çevreci çözümler üretmekte zorlanmayacak mühendis ve mimarların ülkemizde yetişeceğini öngörmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK Bilim İnsanı Destek Programları Başkanlığı (BİDEB) tarafından yürütülen, 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı 2023 yılı 2. dönem kapsamında desteklenmeye hak kazanmış 1919B012319809 numaralı ""Ortaöğretim Öğrencilerinin Yeşil Bina Bilgi Düzeylerinin Araştırılması" başlıklı projeden üretilmiştir.

Kaynakça

Aksu, B., Yücebalkan, B. (2020), Potansiyel Yeşil Yakalıların Yeşil Farkındalıklarına Yönelik Bir Araştırma, *BMIJ*, 8(4), 857-874.

Alotaibi B.S., Yahuza M.S., Ozden O., Abuhussain M.A., Dodo Y.A., Usman A.G., Usman J., Abba S.I. (2023), Sustainable Green Building Awareness: A Case Study of Kano Integrated with a Representative Comparison of Saudi Arabian Green Construction *Buildings*, 13(9), 2387.

Anzagıra, L.F., Duah, D.Y., Badu, E. (2021), Awareness and Application of Green Building Concepts by Construction Industry Stakeholders of Sub-Saharan African Countries, *Journal of Sustainable Development Studies*, 14(2).

Bayat, F., Küçükali, U.F. (2021), Sürdürülebilirlik bağlamında yeşil binaların ulusal ve uluslararası örnekler üzerinden incelenmesi, *ABMYO Dergisi*, 16 (64), 321 – 347.

Çillioğlu Karademir, A., Dağ, A. (2021), Sürdürülebilirlik Uygulaması Olarak Yeşil Bina ve LEED Sertifikasyonu Üzerine Türkiye İnşaat Sektöründe Bir Çalışma, *Akademia Doğa ve İnsan Bilimleri Dergisi*, 7(1), 63-83.

Ecobuild, (2023), https://www.ecobuild.com.tr/ Erişim tarihi: 11.11.2023

Gökçen, T., Perker, Z.S. (2022), Yeşil Bina Oluşturma Deneyimi Üzerine Fenomenolojik Bir Araştırma, *Mimarlık ve Yaşam Dergisi*, 7(2), 449-465.

Güzelkokar, O., Gelişen, G. (2019), Mevcut Yapıların Sürdürülebilir Yeşil Binalara Dönüştürülmesi, *Ulusal Çevre Bilimleri Araştırma Dergisi*, 2(2), 76–90.

Keleş, A.E., Önen, E., Goreckı, J. (2022), Determination of Green Building Awareness: A Study in Turkey, *Sustainability*, 14, 11943.

Mansur, F. Korkmaz, S. (2020), Sağlık Hizmeti Kullanıcılarının Yeşil Hastane Farkındalık Düzeylerini Belirlemeye Yönelik Bir Çalışma, *Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 22(3), 827-850.

Özbalta, T., Çakmanus, İ. (2008), Binalarda Sürdürülebilirlik: Ömür boyu maliyete ilişkin yaklaşımlar, *Doğa Sektörel Yayınları*, İstanbul.

Voinov, A., Smith C. (1994), Dimensions of sustainability. 1st International Symposium of Ecosystem Health & Medicine. Ottawa, Canada.

Ek-1 Etik Kurul İzin Belgesi

T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Etik Kurulu
Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği

Sayı : E-84026528-050.99-2400097323 05.04.2024
Konu : Başvuru İncelenmesi

Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Anıl KIZILASLAN

Yürütücülüğünüzü yapmış olduğunuz 2024-YÖNP-0262 nolu projeniz ile ilgili Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Komisyonu'nun almış olduğu 04.04.2024 tarih ve 05/50 sayılı kararı aşağıdadır.

Bilgilerinize rica ederim.

KARAR 50- Danışmanlığını **Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Anıl KIZILASLAN**'ın yaptığı ve yürütücülüğünü **Mehmet Sadık TOPRAK** tarafından gerçekleştirildiği **TÜBİTAK 2209-A** "Ortaöğretim Öğrencilerinin Yeşil Bina Bilgi Düzeylerinin Araştırılması" başlıklı araştırmanın, ilgili **taahhüt edilen izinlerin alınması** ve Yayın Etiği Komisyonuna sunulması koşulu ile Etik Komisyon ilkelerine **uygun** olduğuna oy birliği ile karar verilmiştir.

Doç. Dr. Derya GİRGİN
Kurul Başkanı

Ek 2- Yeşil Bina Başarı Testi

Soru 1. I. Biyoçeşitliliği ve ekosistemleri korur ve geliştirir
II. Doğal kaynakları korur ve yeniler
III. Havanın ve suyun kalitesini artırır
IV. Atıkları azaltır

Yeşil binalar ile ilgili verilen yukarıdaki bilgilerden hangileri doğrudur?
(a) I ve II (b) II ve III (c) II, III ve IV (d) I, II ve III (e) I, II, III ve IV

Soru 2. "Yeşil binalar sakinlerin konforunu ve sağlık durumunu olumlu yönde etkiler; yaşam kalitesini bütünüyle yükseltir. Yerel sistem üzerindeki baskıyı en az seviyeye indirir."

Yukarıda verilen bilgi yeşil binaların hangi yararını vurgulamaktadır?
(a) Ekonomik (b) Çevresel (c) Sosyal (d) Küresel (e) Hiçbiri

Soru 3. Yeşil binaların temel hedefleri arasında aşağıda verilen bilgilerden hangisi bulunmaz?

a) Kullanıcılar ve doğa için binalarda güvenli, sağlıklı, konforlu, dayanıklı ve ekonomik olanı uygulamak
b) Atıkları binalardan uzaklaştırmak
c) Hammaddelerin tekrar kullanımını sağlamak
d) Enerjide yenilenebilir olanı tercih etmek
e) Çevreyi daha az kirleten çözümlere yönelmek

Soru 4. "Yeşil binalar daha az enerji tüketirler, fosil yakıtları daha az kullanırlar ve daha fazla …… enerji tüketirler."

Yukarıdaki cümlede boş bırakılan bölüme hangi ifade getirilmelidir?
(a) yenilenebilir (b) klasik (c) ucuz (d) birincil (e) temel

Soru 5. "Su kıtlığı olan ülkelerde su yoğun malların üretimini ithalat yoluyla temin ederek, yerel su kaynakları üzerindeki baskıyı hafifletmek" hangi tip su kullanımında artışa yol açacaktır?
(a) Gri su (b) Yeşil su (c) Yağmur suyu (d) Sanal su (e) Mavi su

Soru 6. I. Nüfus artışı
II. Evsel, endüstriyel ve tarımsal su ihtiyacının artması
III. Dünya'da yaşanan küresel iklim krizi
IV. Ekonomik büyüme

Küresel su kaynaklarının geleceğini etkileyen faktörler aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmiştir?

(a) Yalnız III (b) II ve III (c) I, II ve III (d) II, III ve IV (e) I, II, III ve IV

Soru 7. Bir binanın performansını sürdürülebilir ve çevresel bir mercekten değerlendirmek için formüle edilmiş, binanın çevresel etkisini ve kaynak verimliliğini değerlendirmek için araçlar ve yöntemler sağlama işlemine ne denir?

a) Performans Analizi Sistemi
b) Bina Değerlendirme Sistemi
c) Yeşil Bina Sertifikasyon Sistemi
d) Sürdürülebilirlik Analizi Sistemi
e) Hiçbiri

Soru 8. Bir yapı malzemesinin "yeşil" olması aşağıdaki kriterlerden hangisine bağlı değildir?

a) Malzemeyi üretmek için gereken enerji miktarı
b) Hızlı yenilenebilir olup olmadığı
c) Geri dönüştürülebilir / yeniden kullanılabilir olup olmadığı
d) Doğal yollarla elde edilmiş olması
e) Toksik madde içerip içermediği

Soru 9. "Küresel iklim krizi sürecinde dünyada ortalama sıcaklık artışını 1,5°C ile sınırlamak ve 2°C'nin altında tutmak için çaba sarf etmek" ifadesi aşağıdaki anlaşmalardan hangisinde geçmektedir?

(a) Paris (b) Kyoto (c) Tokyo (d) İstanbul (e) Şanghay

Soru 10. Şehirdeki ortalama hava sıcaklığı değerlerinin kırsal alanlara göre daha yüksek olması …….. etkisi olarak tanımlanır.

Yukarıdaki cümlede boş bırakılan bölüme hangi ifade getirilmelidir?

a) kentsel iklim
b) kentsel ısı adası
c) küresel iklim
d) küresel ısı adası
e) kentsel değişim

BÖLÜM VII

BİYOKÜTLENİN YAKIT KARAKTERİ

Fuel Characteristics of Biomass

BETÜL ŞAHİN

(Öğr. Gör. Dr.), Trabzon Üniversitesi,
Beşikdüzü Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü,
E-mail: btlturan@gmail.com,
ORCID: 0000-0003-0882-594X

1. Giriş

Dünyanın yaşam kaynağı olan enerji, hala büyük oranda fosil yakıtlardan sağlanmaktadır. Ancak araştırmacılar fosil yakıtların birkaç yüzyıl içerisinde tükeneceğini öngörmektedir. Bunun yanında fosil yakıt kullanımı sera gazı etkisi ve iklim değişimi başta olmak üzere dünyaya geri dönüşü olmayan zararlar vermektedir (Doğanay & Coşkun; 2020, Kademli; 2020). Bu nedenle alternatif enerji kaynakları, dünyamızın enerji geleceğidir. Alternatif enerji kaynakları içerisinde geri dönüştürülebilirliği ve tükenmezliğiyle yenilenebilir enerji kaynakları gelecekte dünyanın en kıymetli enerji paydaşlarından biri olacaktır. Güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, biyokütle enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerji, vb. yenilenebilir enerji kaynaklarındandır (Akova; 2008, Öztürk; 2013).

1.1. Biyokütle

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan biyokütle enerjisi her türlü organik bileşen olarak tanımlanabilir. Bu bileşenler, yakın zamanda ölmüş ya da canlı olabilirler. Yüzyıldan fazla süredir ölmüş halde olan organizmalar fosilleştiği için biyokütle sınıfına girmezler. Bu sebeple biyokütleler için fosilleşmemiş organik maddelerdir de denilebilir (Saraçoğlu; 2018).

Biyokütle enerjisi, tarihin başından beri süregelen, ısınma-pişirme gibi en temel ihtiyaçlarımızı karşılayan orman atıkları, bitki atıkları, hayvan dışkıları

ile geleneksel enerji bitkilerinin yetiştirildiği enerji ormancılığı gibi alanlar ile de profesyonel anlamda var olmaktadır (Öztürk; 2012). Denizden karaya birçok farklı çeşit ve türde biyokütle bulunmaktadır. Biyokütle çeşitlerinin başında su yosunları, algler, orman atıkları, tarım atıkları, şehir atıkları, hayvansal atıklar, enerji bitkileri, endüstriyel atıklar gelmektedir (Yaman; 2007, Yarımkaya; 2021).

Biyokütle enerjisi, güneşin var olduğu sürece var olacağından tükenmez diyebileceğimiz bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Bitkiler, güneşten aldıkları enerjiyi bünyelerinde depolarlar. Kullanıldıklarında ise bünyelerindeki enerjiyi salarlar. Dolayısıyla karbon döngüsünü nötrlemiş olurlar. Ancak tüm yanmalarda olduğu gibi doğru yanma şartları oluşturulamazsa zararlıları artar, çevreye zarar verici hale gelirler (Öztürk; 2012).

Biyokütle doğru şartlar altında yakıldığında ise karbon döngüsünü nötrlediğinden değerli bir yakıt türüdür. Emisyon oranları makul seviyededir. Fosil yakıtlar ile kıyaslandığında kükürt içeriği düşüktür. Biyokütlenin yanması sonucu açığa çıkan kül tarlalarda kullanılabilir. Böylece biyokütle enerjisi kullanımı çevresel düzeni ve temizliği de desteklemektedir. Bu oldukça faydalı bir dönüşümdür (Güler & Şen; 2013).

2. Biyokütlenin Özellikleri

Biyokütle çok kısa bir zaman önce ölmüş ya da canlı her tür organizmaya verilen isimdir. Biyokütle, neredeyse ateşin bulunmasından bu yana kullanılmaktadır. Hayvan dışkılarının kuru bitki atıklarıyla (çok kez samanla) karılması sonrası kurutularak yakacak olarak kullanılması bunun yanında çoğunlukla evsel ısınmalarda orman ve bitki atıklarının kullanımı hala devam etmektedir (Öztürk; 2012).

Biyokütlenin yakıt olarak değerlendirilmesi öncelikle biyokütlenin hangi türe ait olduğuna göre değişir. Biyokütleler, denizlerde alglerden karada enerji ormanlarına, tarım ve insan atıklarına kadar uzanan çok geniş bir çeşitliliğe sahiptir. Bu sebeple biyokütlenin yakıt özelliklerinden kısaca bahsetmek oldukça zordur (Akova; 2008).

Sanayi devriminden sonra katlanarak günümüze ulaşan fosil yakıt kullanımının en büyük sebebi fosil yakıtların kısa zamanda çokça enerji verebiliyor olmasıdır. Biyokütle yapısı incelendiğinde fosil yakıtlara en çok benzeyen yenilenebilir enerji kaynağı olduğu görülmektedir. Bu sebeple enerji santrallerinde kullanılan düşük kaliteli kömürlerle birlikte kullanımında oldukça başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Biyokütleler fizikokimyasal olarak su ve katı madde olmak üzere ikiye ayrılırlar. Biyokütlenin katı maddesi organik ve inorganik yapının birleşiminden

oluşur. Organik madde uçucu katılar ve sabit karbon içerirken, inorganik yapı küle dönüşür. Biyokütle, doğrudan kullanılabileceği gibi termo ve biyo kimyasal işlemli süreçlerle sıvı-katı-gaz olarak da kullanılır (Öztürk; 2012). Tablo 1' de biyokütle dönüşüm teknolojileri görülmektedir.

Tablo 1: Biyokütle Dönüşüm Teknolojileri

Biyokütle			
Fiziksel	**Termokimyasal**	**Biyokimyasal**	**Kimyasal**
Kırma/öğütme Kurutma Peletleme Briketleme	Yakma Gazlaştırma Torefikasyon Piroliz Sıvılaştırma	Hidroliz Fermantasyon Aneorobik sindirim	Trans-esterifikasyon

Kaynak: Kayişoğlu & Aktaş; 2023

Biyokütle fiziksel, kimyasal ve termokimyasal süreçlerden geçirilerek kimyasal ve yakıt olarak kullanılır hale getirilmektedir (Kayişoğlu & Aktaş; 2023).

Fiziksel İşlemler: Biyokütleler yapıları itibari ile yüksek neme sahip olabilirler. Bu sebeple uzun süreli dayanımları için kurutulurlar. Ayrıca kuru biyokütlenin yakacak değeri daha yüksektir (Kayişoğlu & Aktaş; 2023). Biyokütleler genellikle yığın halinde düzensiz ve dengesiz bir dağılıma sahiptirler. Bu durum yükleme ve nakil kısmında oldukça zorluk çıkarır. Kırma, öğütme, eleme işlemlerinden geçirilerek biyokütleler küçük boyutlara getirilirler. Akabinde yapıştırıcı kullanarak veya yapıştırıcısız bir şekilde sıkıştırılarak briketlenirler (Dahiloğlu; 2008). Taşımayı kolaylaştıran bu işlem ayrıca biyokütlenin yüzey alanını büyüttüğünden tutuşma hızını ve yanmadaki etkinliğini de pozitif etkiler.

Kimyasal İşlemler: Yaş biyokütle oksijensiz ortamda mikrobiyolojik faaliyetlerle parçalanır, fermantasyon gerçekleşir. Böylece biyogaz elde edilir. Yüksek oranda şeker içeren biyokütleler ile biyoetanol üretimi gerçekleştirilir. Bitkisel ve hayvansal atık ve yağlarından ise biyodizel üretilir (Kayişoğlu & Aktaş; 2023, Alma vd.; 2021).

Termokimyasal İşlemler: Termokimyasal işlemler yakma, piroliz ve gazlaştırma gibi farklı şekillerde gerçekleştirilebilmektedir.

Yakma: Biyokütlenin en eski kullanımının başında direk yakılarak ısınma ve pişirme işlemleri için kullanımı vardır. Günümüzdeki gelişkin teknolojiyle doğru şartlarda yakılan biyokütleden maksimum verim minimum emisyon elde edilebilir. Biyokütlenin oksijen ile girdiği bu reaksiyon sonrası ısı ve ışık açığa çıkar (Kayişoğlu & Aktaş; 2023).

Piroliz: Biyokütlenin havasız bir ortam içerisinde termal bozunmaya uğratılmasıdır. Böylece sentetik gazlar olan hidrojen, uçucu organik bileşikler ve karbon monoksit karışımı gaz üretimi gerçekleştirilir. Aynı işlem farklı basamaklarla yürütüldüğünde biyokömür eldesi ve dizel benzeri karbonca zengin bir sıvı yakıt elde etmek imkân dâhilindedir.

Gazlaştırma: Biyokütle, kısmi oksidasyon yöntemi ile 800-900 °C'de termokimyasal olarak dönüşerek gazlaştırma işlemi gerçekleştirilir (Kayişoğlu & Aktaş; 2023, Alma vd.; 2021). Piroliz ve gazlaştırma işlemleri biyokütlenin en önemli problemi olan taşınma işlemini aştığı için büyük önem taşır. Biyokütlenin bünyesindeki büyük moleküller küçük moleküllere uygun katalizörlerle dönüştürülürler böylece biyokütle sıvılaştırma gerçekleştirilir (Alma vd.; 2021).

3. Biyokütlenin Yakıt Karakterinin Belirlenmesi

Bir maddenin yakacak olarak değerlendirilmesinde genel kriterler, içeriğindeki karbon miktarı, nem miktarı, kükürt gibi elementlerin varlığına göre değişkenlik gösterir. Her yakacak gibi biyokütlenin de kullanım şartları önemlidir. Örneğin yetersiz oksijen kullanımı ile reaksiyonların kendini tamamlayamaması emisyon değerlerini yükseltecektir. Bu sebeple biyokütle kullanımından önce biyokütleye birçok fiziksel, termokimyasal, biyokimyasal ve kimyasal işlemler uygulanmaktadır (Öztürk; 2016). Örneğin; kömür zenginleştirmedeki nem alma işlemi biyokütleye de uygulanmaktadır. Biyokütleden uzaklaşan nem ile yanma kalitesi ve verimi oldukça yükselir. Bunun yanında biyokütlenin küçültülerek yüzey alanının artırılmasıyla hem taşımada kolaylık sağlanabilir hem de tutuşma hızında ve yanmada verim artışı söz konusu olur. Ayrıca biyokütleye uygulanan termokimyasal ve biyokimyasal işlemlerle enerji değeri yükseltilebilir. Biyokimyasal işlemler termokimyasal işlemlere göre daha yavaş gerçekleşirler. Termokimyasal işlemler ise saniyeler içerisinde gerçekleşirler. Bu işlemler sonucunda biyokütleler katı, sıvı, gaz yakıtlara dönüştürülürler (Meteoğlu; 2006).

Bir yakacağın değerini belirlemek için çeşitli analizler yapılmaktadır, bu analizler aşağıdaki şekilde adlandırılmaktadır;

- Kısa (proximate) analiz,
- Elemental (ultimate) analiz,
- Isıl değer analizidir.

Kısa analizde nem içeriği, uçucu madde miktarı, sabit karbon miktarı ve kül miktarı belirlenir. Elemental analizde yakacağın yüzdesel bazda karbon, hidrojen, oksijen, azot ve kükürt miktarı belirlenir. Isıl değer analizi ise bir yakacağın değerini gösteren en önemli çıktıdır.

3.1. Kısa (Proximate) Analiz:

Bir biyokütlenin kısa analizi; uçucu madde, nem, kül, sabit karbon bileşenlerinin tespiti ile yapılır. ASTM (American Society for Testing and Materials) standartlarına göre yapılan bu analizler oldukça basittir ve biyokütlenin değerini gösteren önemli parametrelerdir. İşlem odunsu biyokütlelerde E-870-06 standardı ile gerçekleştirilir.

Kısa analiz uçucu madde (Volatile matter), nem (Moisture), sabit karbon (Fixed carbon) ve kül (Ash) toplamından oluşan yüzdelik bir hesaptır. Şu şekilde gösterilir;

$$V\,M + F\,C + M + A = \%\,100$$

Uçucu Madde: Bir yakıta (biyokütleye) ısıl işlem uygulandığında ortaya gaz ve buhardan oluşan bir karışım çıkar. Yakıttan açığa çıkan bu miktar verilen sıcaklık miktarına, hızına en önemlisi de yakıta bağlıdır. Biyokütlenin cinsine göre uçucu madde belirleme standardı değişiklik gösterir. Biyokütle, önce fiziksel bir işlemden geçirilerek 1 mm'den küçük oluncaya kadar öğütülür ve kurutulur. İşlem sırasında hava ile teması kesilir. Bu kapalı ortamda kontrollü olarak biyokütleye ısı verilir. Açığa çıkan uçucuların tespiti alev parlaklığına göre gerçekleştirilir (Alma vd.; 2021).

Kül: Bir biyokütlede organik ve inorganik bileşenler vardır. Yanma sırasında inorganik maddeler yanmazlar. Yanma sonrası yanmayan bu inorganik atıklara kül denir. İnorganik bileşenden kasıt; silisyum, kalsiyum, alüminyum, magnezyum, potasyum, vs.dir. Odunsu biyokütlelerin kül tespiti için ASTM D-1102 iken geriye kalan biyokütlelerin kül tespiti için E-1755-01 standartları kullanılır. Kül analizinde halojenür, alkali metal içeriği, vb. var ise bu içerik yanma gerçekleştirilen endüstriyel kazanlarında korozyon, kir, topaklanma gibi sorunlara yol açabilir (Alma vd.; 2021). Biyokütleler organik içerikli olduğu için fosil yakıtlara kıyasla yüksek miktarda kül içermezler.

Nem: Biyokütleler karadan denize birçok farklı noktada bulunmaktadırlar. İçerikleri büyük oranda organiktir. Dolayısıyla birçoğunda yüksek miktarda nem bulunur. Bitkisel biyokütleler, kılcal kanallarla suyu köklerden yapraklara kadar taşırlar. Bu sebeple yapraklarda köklerden daha çok miktarda nem bulunur. Biyokütlenin bünyesinde bulunan iç nem, nem uzaklaştırma işlemleri ile bünyesinden ayrılmaz. Ancak hasat sonrası kaldığı yerde bünyesine eklenen dış nem, nem uzaklaştırma işlemleri ile uzaklaştırılabilir (Kayişoğlu & Aktaş; 2023, Alma vd.; 2021).

Tarım atıkları dediğimiz üretim sonrası domates, biber yaprakları, fındık, fıstık züruflarında yüksek miktarda nem bulunur. Bir de bu atıklar bulundukları yerin nemini emdiğinden içeriklerindeki nem miktarı atık olarak kaldıkları her

an yükselir. Bu durum özellikle Karadeniz'de yetiştirilen fındık atıklarında görülür (Bakisgan vd; 2009, Şahin; 2021).

Yakıt olarak biyokütle kullanacak bir kazanın tasarımında en önemli parametrelerden biri nem miktarıdır. Zira sadece yanmayı geciktirmekle kalmaz yüksek nem korozyona da sebep olur. Bu nedenle kazan tasarımı ve kullanılacak malzemeler buna göre seçilir. Ayrıca nem alma gibi ön işlemlerin yapılıp yapılmamasına da yine bu orana bakılarak karar verilir. Yanma, gazlaştırma, piroliz uygulanacak biyokütlelerde yüzde kırkın üzerinde olan nem miktarı tercih edilmez. Şayet fermantasyon, sindirim gibi biyokimyasal işlemler uygulanacak ise biyokütlenin bünyesindeki nem miktarı sorun oluşturmaz (Öztürk; 2012).

Sabit Karbon: Sabit karbon miktarı biyokütledeki en önemli değerlerden biridir. Sabit karbon biyokütlede mevcut olan tüm uçucular uzaklaştırıldıktan sonra biyokütlede geriye kalan karbon miktarını ifade eder. Bir biyokütlenin sabit karbonu nem içeriği (Moisture), uçucu madde içeriği (Volatile matter), kül içeriği (Ash) ile hesaplanabilir (Jameel vd.; 2010).

Formül olarak bu hesap aşağıdaki şekilde gerçekleştirilir;

$$F\,C = 1 - (M + V\,M + A)$$

Tablo 2'de bazı biyokütlelerin kısa analizleri görülmektedir.

Tablo 2: Biyokütlelerin Kısa Analizleri

Biyokütle	Uçucu madde	Kül	Sabit karbon
Şeker kamışı	74	11	15
Arpa sapı	46	6	18
Pamuk sapı	71	7	20
Mısır tahıl	87	1	12
Mısır koçanı	75	6	19
Köknar	73	1	26
Çam iğneleri	72	2	26
Kontrplak	82	2	16
Kavak	82	1	16
Çeltik sapı	69	13	17
Dallı darı	81	4	15
Buğday sapı	59	4	21

Kaynak: Jameel vd.; 2010

3.2. Elemental (Ultimate) Analiz

Elemental analizde yakacağın yüzdesel bazda karbon, hidrojen, oksijen, azot ve kükürt miktarı belirlenir. Karbon, hidrojen ve oksijen bakımından

biyokütlelerin kimyasal bileşenleri genellikle benzerdir. Ancak azot ve kül içeriği gibi önemli diğer değişkenler farklılık gösterirler (Kayişoğlu & Aktaş; 2023, Alma vd.; 2021).

Elemental analiz karbon, hidrojen, oksijen, azot, kükürt, nem ve külün toplamından oluşan yüzdelik bir hesaptır. Şu şekilde gösterilir;

$$C + H + O + N + S + M + A = \% 100$$

Sülfür miktarı biyokütlelerde fosil yakıtlara kıyasla daha azdır. Tablo 3'de biyokütlelerin yüzdesel olarak elemental analizleri verilmiştir.

Tablo 3: Biyokütlelerin Yüzdesel Olarak Elemental Analizleri

Biyokütle	C	H	O	N	S	Kül
Ladin ağacı	49,3	6,3	43,3	0,15	0,01	0,9
Kayın ağacı	48,2	6,3	44,0	0,23	0,02	1,2
Kavak ağacı	47,5	6,2	44,1	0,42	0,03	1,8
Söğüt ağacı	47,1	6,1	44,3	0,54	0,05	2,0
Çavdar sapı	46,6	6,0	42,1	0,55	0,09	4,8
Buğday sapı	45,6	5,8	42,4	0,48	0,08	5,7
Tritikale sapı	43,9	5,9	43,8	0,42	0,06	5,9
Arpa sapı	47,5	5,8	41,4	0,46	0,09	4,8
Kolza sapı	47,1	5,9	40,0	0,84	0,27	6,2
Mısır sapı	45,7	5,3	41,7	0,65	0,12	6,7
Mısır koçanı	43,7	5,6	43,3	0,61	0,01	6,3
Ayçiçeği sapı	42,5	5,1	39,1	1,11	0,15	12,2
Kenevir sapı	46,1	5,9	42,5	0,74	0,10	4,8

Kaynak: Kayişoğlu & Aktaş; 2023

Karbon (C): Biyokütlenin karbon içeriği % 42-70 arasında değişim gösterir. En yüksek karbon içeriği hayvansal biyokütlededir. Sonra sırasıyla odun ve odunsu biyokütleler, diğer atıklar, otsu ve tarımsal biyokütleler, samanlar ve otlar gelir (Öztürk; 2016).

Oksijen (O_2): Biyokütlelerin oksijen içerikleri ortalama olarak % 16-49 arlığında değişmektedir. Otların oksijen içeriği diğer biyokütlelere oranla en yüksektir. Sonra sırasıyla; samanlar, otsu ve tarımsal biyokütleler, diğer atıklar, odun ve odunsu biyokütleler, bulaşık biyokütleler ve en düşük seviyede de hayvansal biyokütlelerde oksijen içeriği görülür (Öztürk; 2016).

Hidrojen (H): Biyokütle hidrojen içerikleri % 3-11 arasında değişiklik gösterir. En yüksek hidrojen miktarı; hayvansal biyokütlelerdedir. Sonra sırasıyla; bulaşık biyokütleler, diğer atıklar, odun ve odunsu biyokütleler, otsu ve tarımsal biyokütleler, otlar ve samanlar gelmektedir (Öztürk; 2016).

Azot (N): Biyokütlelelerin azot içerikleri % 0.1-12 arasında değişiklik göstermektedir. En yüksek azot içeriği hayvansal biyokütlelerdedir. Sonra sırasıyla bulaşık biyokütleler, diğer atıklar, otsu ve tarımsal biyokütleler, samanlar, otlar ve en az da odun ve odunsu biyokütleler gelmektedir (Öztürk; 2016).

Kükürt (S): Biyokütlelelerin kükürt içerikleri % 0.01-2.3 arasında değişiklik göstermektedir. En yüksek kükürt içeriği hayvansal biyokütlelerdedir. Sonra sırasıyla bulaşık biyokütleler, diğer atıklar, otsu ve tarımsal biyokütleler, samanlar, otlar ve en az miktarda odun ve odunsu biyokütleler gelmektedir (Öztürk; 2016). Biyokütlelerde azot ve kükürt miktarı en çok hayvansal biyokütlelerde olup devamındaki sıralama birbirine benzer şekilde azalmaktadır (Öztürk; 2016).

3.3. Isıl Değer

Biyokütlenin en önemli özelliği içerdiği ısıl değer miktarıdır. Biyokütlenin ısıl değeri, yakıldığı zaman birim kütle başına açığa çıkan ısı miktarına denir. Isıl değer genellikle kilo joule bölü gram (kJ/g), mega joule bölü kg (MJ/kg) olarak ifade edilir. Isıl değer için önce biyokütleden uçabilen nem miktarı uzaklaştırılır. Bu değer HHV olarak geçer ve üst ısıl değer olarak adlandırılır. Biyokütleden nem uzaklaştırılmadan önceki haline ise alt ısıl değer (LHV) denir. Katı biyoyakıtlar için ısıl değer EN 14918 (2009) standartları ile belirlenir (Demirbaş; 1997, Kayişoğlu & Aktaş; 2023, Alma vd.; 2021). Tablo 4'de odunsu birkaç biyokütlenin üst ve alt ısıl değerleri görülmektedir.

Tablo 4: Odunsu Bazı Biyokütlelerin Alt ve Üst Isıl Değerleri

Biyokütle	LHV (MJ/kg)	HHV (MJ/kg)
Ladin ağacı	18,9	20,2
Kayın ağacı	18,1	19,5
Kavak ağacı	18,5	19,8
Söğüt ağacı	18,4	19,7
Çavdar sapı	17,4	18,5
Buğday sapı	17,2	18,5
Tritikale sapı	17,1	18,3
Arpa sapı	17,5	18,5
Kolza sapı	17,1	18,1
Mısır sapı	17,7	18,9
Mısır koçanı	16,1	17,7
Ayçiçeği sapı	15,8	16,9
Kenevir sapı	17,0	18,2

Kaynak: Kayişoğlu & Aktaş; 2023, Jameel vd.; 2010

4. Biyokütle Yanması ve Yanma Kademeleri

İnsanların orman atıklarını kullanarak pişirme ve ısınmada kullanması ateşin bulunuşu kadar eski bir tarihe dayanır. Dolayısıyla ilk enerji kaynaklarının başında biyokütle vardır diyebiliriz (Kayişoğlu & Aktaş; 2023).

Biyokütlenin yanması, genel olarak;

$$(C_6H_{10}O_5)_n + 6nO_2 \text{ ----- } 6nCO_2 + 5nH_2O$$

şeklinde ifade edilebilir (Turan; 2009).

Katı bir yakıta ısı verildiğinde önce sıvı sonra gaz haline dönerek yanmaya başlar. Biyokütleler genellikle nem miktarı yüksek yakıtlardır. Şayet biyokütleye kurutulma işlemi de yapılmamışsa bu aşamada nemin kurutulması bir zaman ve enerji açığına sebep olacaktır. Fosil yakıtlara kıyasla uçucu madde bakımından zengin olan biyokütleler yanma sırasında en yüksek uçucu madde çıkışını görürler. Artan sıcaklık ile hemiselüloz ve devamında selüloz parçalanması gözlenir ve böylece biyokütle yanması sürer (Turan; 2009).

Biyokütlenin yanması biyokütle kaynağı ile oksijenin reaksiyona girerek ısı, ışık, enerji açığa çıkarmasıyla gerçekleşir. Her yanmada olduğu gibi biyokütle yakarken de istenilen yanmanın stokiometrik şartlar altında gelişiyor olması gereklidir. Stokiometrik yanmada su, karbondioksit ve diğer yanma ürünleri tam bir şekilde çıkar. Eksik yanma oluşmaz. Her ne kadar biyokütle için fosil yakıtlar ile kıyaslandığında daha temiz bir yanma işlemi gerçekleştiği düşünülse de yanlış yanma sonucunda çıkan eksik yanma ürünleri doğaya zarar verecektir. Bu sebeple sağlıklı bir çevre için biyokütle kullanmak kadar doğru şartlar altında kullanıyor olmak da önemlidir. Bu durum biyokütle yakan sistemlerin geliştirilmesinin de öneminin altını çizmektedir (Kayişoğlu & Aktaş; 2023, Alma vd.; 2021, Demirbaş; 2005).

Şayet yanma normal şartlara bırakılırsa birçok yanmada olduğu gibi tam bir yanma gerçekleşemeyebilecektir. Bu sebeple doğru şartlar oluşturularak uygun hava miktarı ile yanma gerçekleştirilmelidir. Özellikle havanın azlığı eksik yanmaya sebep olacağından hesap edilenden fazla hava gönderilerek tam yanmanın gerçekleşmesi hedeflenmektedir. Ancak gereğinden fazla gönderilen hava ve biyokütlenin nem fazlası, yanmanın alev sıcaklığının düşmesine sebep olabilir. Bu sebeple yanmada yakacağın nem seviyesinin düşük olması, hava fazlalık katsayısının ise uygun ölçüde tutulması istenmektedir (Meteoğlu; 2006).

Bir yanmada alev içerisindeki sıcaklık; tepkime süresinin, yanma hızının, alev hızının ve çevreye olan enerjinin bir fonksiyonudur. Kontrol altında tutulan koşullar altında asetilen, benzin, hidrojen ve doğal gazın hava ile yakılması

sonucunda ölçülen alev sıcaklıkları sırasıyla 2592, 2583, 2318 ve 2151 K'dir (Özgür; 2014, Meteoğlu; 2006).

Bir biyokütle yakıldığında öncelikle bünyesindeki nem buharlaşır. 423-473 K arasında biyokütle ısıl olarak parçalanır. Uçucu maddeler açığa çıkar. Biyokütlenin kalan kısmı ise 673-1073 K veya daha yüksek sıcaklıklar altında oksijenin yüzeye difüzyonu sonucunda yanar. Yakma sistemin giren taze hava ve kuru yakıtlarla bu sıcaklık 1773 K'e kadar çıkabilir. Bir biyokütlenin organik yapısında selüloz, hemiselüloz, lignin, suberin, çitin gibi biyopolimerler bulunmaktadır. Bu biyopolimerlerin büyük kısmını selüloz ve lignin oluşturmaktadır. Bu nedenle biyokütlenin en önemli basamakları selüloz ve liginin yanma kademeleridir (Kayişoğlu & Aktaş; 2023, Alma vd.; 2021).

Selülozun yanmasının birinci aşaması, 573 K sıcaklığın altında gerçekleşmektedir. Bu basamağı; suyun-nemin uzaklaştırılması, depolimerizasyon, parçalanma tepkimeleri ve kok oluşumuna öncülük eden oksidasyon takip eder. İkinci aşamada ise 573 K'dan yüksek sıcaklıklarda meydana gelen yapısal parçalanma ile birlikte katran benzeri anhidro şekerler meydana gelir. Uçucu maddeler açığa çıkar (Özgür; 2014, Meteoğlu; 2006).

Ligninin yanması sonucunda ise coumarly, vanillyl, syringyl yapılar ortaya çıkmaktadır. Kısacası lignin ve selülozun yanması sonucunda fenolikler, alifatik, oksijenlenmiş bileşik, reçine ve polimerler oluşur (Özgür; 2014, Meteoğlu; 2006).

4.1. Biyokütle Yakma Teknolojileri

Izgaralı Fırın: 20MW_e'den düşük tesislerde kullanılır. Uygun yatırım ve işletme maliyetine sahiptir. Baca gazında düşük miktarda toz görülür. Cüruflaşmaya karşı daha duyarlı bir sistemdir. Otsu ve odunsu bitkiler karıştırılamaz. NO_X giderimi için özel teknolojiye ihtiyaç duyar. Yanma koşulları heterojendir (Kayişoğlu & Aktaş; 2023, Alma vd.; 2021).

Alttan Beslemeli Yakma Sistemi: 6MW_e'den düşük tesislerde kullanılır, dolayısıyla yatırım maliyeti düşüktür. Fırındaki düşük miktarda ki yakıt kontrol gücünü artırır. Emisyon miktarı düşüktür. Ergime problemi söz konusu olacağından düşük kül ve yüksek ergime noktasına sahip yakıtlar kullanılabilir (Kayişoğlu & Aktaş; 2023, Alma vd.; 2021).

Kabarcıklı Akışkan Yatak Yakma Sistemi: Kademeli hava gönderme sistemine sahip olduğundan düşük NO_x emisyonu görülür. Nem toleransı yüksektir. Biyokütle çeşitliliği için uygundur. Verimliliği oldukça yüksektir. Ancak işletme masrafları yüksektir. Tanecik boyutu 80 mm'den düşük olması gibi bir zorunluluğu vardır. Baca gazında çok miktarda toz çıkışı görülür (Kayişoğlu & Aktaş; 2023, Alma vd.; 2021).

Dolaşımlı Akışkan Yatak Yakma Sistemi: Aynen kabarcıklı akışkan yatak yakma sisteminde olduğu gibi kademeli hava gönderme sistemine sahip olduğundan düşük NO_x emisyonu görülür. Yine nem miktarı toleransı ve biyokütle çeşitliliğine izin vermesi bakımından kabarcıklı akışkan yatak yakma sistemine benzerdir. Birden fazla yakıt besleme sistemine sahiptir. Türbülansı yüksek olduğundan yüksek ısı transferi aktarımı gerçekleşir. Ancak cüruflaşmaya karşı çok duyarlıdır. Çok fazla külü olduğundan yatak malzemesi kaybı görülür. Baca gazında yüksek miktarda kül görülür (Alma vd.; 2021).

Toz Yakıt Yakma Sistemi: Kademeli olarak hava beslemesi yapıldığından NO_x emisyonu düşüktür. Yük kontrolü rahatça ve hızlıca yapılabilir. Ancak yakıtın tanecik boyutu 10-20 mm'den küçük olmalıdır. İzolasyonu çabuk yıpranabilir. Bazı durumlarda ek ateşleyici gerekebilir (Kayişoğlu & Aktaş; 2023, Alma vd.; 2021, Quaak vd.; 1999, Turan; 2009).

5. Sonuç

Dünya nüfusu her geçen gün artmaktadır. Sanayi ve endüstri hızla gelişmektedir. Büyüyen nüfus ve teknoloji enerji talebinde doğrudan bir artışa sebep olmuştur. Bunun yanında fosil yakıt kullanımı sera gazı etkisi ve iklim değişimi başta olmak üzere dünyaya geri dönüşü olmayan zararlar vermiştir. Dünyaya verdiği zararlarla birlikte fosil yakıtların birkaç yüzyıl içerisinde tükeneceği öngörüsü ve enerji talebindeki artış bilim insanlarını alternatif enerji kaynaklarını araştırmaya yöneltmiştir.

Yenilenebilir ve sürdürülebilir olması, fosil yakıtlara nazaran daha az emisyona sahip olması, dünya üstünde fosil yakıtlara göre daha eşit dağılımı ve ulaşılabilirliğiyle yenilenebilir enerji kaynakları bu arayışların gözdesi olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde fosil yakıtlara en çok benzeyen biyokütle enerjisidir. Biyokütle enerjisi, fosil yakıt kullanan endüstriyel kazanlarda, evsel ısınmalarda, sanayi kullanımında kısacası fosil yakıtların kullanıldığı tüm alanlarda kullanılabilmesiyle enerji dönüşümünü destekleyen en popüler yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir.

Biyokütle, fosilleşmemiş biyolojik her tür varlığa denilebilir. Yeni ölmüş veya hala yaşayan biyolojik tüm varlıklar biyokütle enerjisi olarak kullanılabilirler. Denizde alglerden, karada tarım atıklarına, hayvansal atıklara, enerji ormanlarına, evsel atıklara, şehir atıklarına varıncaya çok geniş bir alanda tanımlanmaktadırlar. Yapılarına göre çeşitli fiziksel, kimyasal, biyolojik dönüşüm süreçlerinden geçmektedirler. Böylece farklı sahalarda kullanılabilir yakıtlar haline dönüştürülmektedirler. Bu çalışmada biyokütlenin özelliklerine değinilmiş, yakacak olarak genel bir değerlendirilmesi yapılmıştır.

Kaynakça

Akova, İ. (2008). Yenilenebilir Enerji Kaynakları. Ankara: Nobel Yayınları.

Alma M.H., Salan T., Altıkat A., Altıkat S., (2021). Biyokütlenin Termokimyasal Dönüşüm Süreçleri ve Reaktörler, İstanbul: Nobel Yayınevi.

Bakisgan C., Dumanlı A.G., Yürüm Y., (2009). Trace Elements in Turkish Biomass Fuels: Ashes of Wheat Straw, Olive Bagasse and Hazelnut Shell, *Fuel,* 88, 1842 - 1851.

Dahiloğlu E., (2008). Kömür Biyokütle Karışımlarının Briketlenmesi. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Demirbaş A., (1997). Calculation of Higher Heating Values of Biomass Fuels, *Fuel,* 76 (5), 431 - 434.

Demirbaş A., (2005). Potential Applications of Renewable Energy Sources, Biomass Combustion Problems in Boiler Power Systems and Combustion Related Environmental Issues, *Progress in Energy and Combustion Science,* 31, 171 – 192.

Doğanay H., Coşkun O. (2020). Enerji Kaynakları. Ankara: Pegem Akademi.

Güler C., Şen S., (2013). Fındık Kabuğunun (Hazelnut Shell) Sıkıştırılmış Yakıt Olarak Değerlendirilmesi, *Düzce Üniversitesi Orman Fakültesi Ormancılık Dergisi,* 9 (2), 111 - 116.

Jameel H., Keshwani D.R., Carter S.F., Treasure T.H., (2010). Thermochemical Conversion of Biomass to Power and Fuels, *Biomass to Renewable Energy Process,* Taylar & Francis Group, London, UK, 437-490.

Kademli M. (2020). Temel Enerji Kaynakları. Ankara: Nobel Yayınevi.

Kayişoğlu B., Aktaş T., (2023). Biyokütle Enerjisi Dönüşüm Teknolojileri. İstanbul: Nobel Yayınevi.

Meteoğlu M., (2006). Çeşitli Biyokütle Numunelerinin Yanma Özelliklerinin İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü, 39.

Özgür E., (2014). Combustion Performance of Oil Shale and Biomass Fuels and Their Blends, Yayımlanmamış Doktora Tezi. Ankara: Ortadoğu Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Öztürk H. (2012). Enerji Bitkileri ve Biyoyakıt Üretimi. İstanbul: Hasad Yayıncılık.

Öztürk, H. (2013). Yenilenebilir Enerji Kaynakları. İstanbul: Birsen Yayınevi.

Öztürk H. (2016). Biyoyakıt Üretimi. Kocaeli: Umuttepe Yayınları.

Quaak P., Knoef H., Stassen H. (1999). Energy from Biomass: A Review of Combustion and Gasification Technologies, *World Bank Technical Paper*, 422, Washington.

Saraçoğlu N. (2018). Küresel İklim Değişimi Biyoenerji Enerji Ormancılığı ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları. İstanbul: Efil Yayınevi.

Şahin B. (2021). Bir Biyokütle Değeri Olarak Fındık Kabuğu, *12th International Congress on Mathematic, Engineering and Natural Sciences*, 1, 357-364.

Turan A. Z. (2009). Linyit Biyokütle Karışımlarının Oksijen Ortamında Yakılması. Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yaman Y., (2007). Enerji Tasarrufu ve Yenilebilir Enerji Kaynakları. İstanbul: Birsen Yayınevi.

Yarımkaya D. (2021). Alternatif Enerji Kaynakları. Ankara: Nobel Yayınevi.

BÖLÜM VIII

POLİMERLERDE DEGRADASYON

Degradation in Polymers

ZEKIYE AKDAĞ[1,2] & İLYAS KARTAL[3]

[1] Nanoteknoloji Biyomalzemeler Uygulama ve Araştırma Merkezi (NBUAM), Marmara Üniversitesi, İstanbul 34722, Türkiye
E-mail: zekiyeakdag@marun.edu.tr
ORCID: 0000-0001-5828-3929

[2] Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, 34722, İstanbul/Türkiye

[3] (Doç. Dr.) Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 34722, İstanbul/Türkiye
E-mail: ilyaskartal@marmara.edu.tr
ORCID: 0000-0001-9677-477X

1. Giriş

1. Polimer Nedir?

Polimer terimi Yunanca poly (çok) ve meros (parça) köklerinden gelmektedir. Bu nedenle kelime "birçok parça" anlamına gelir ve mer adı verilen daha basit bir birimin tekrarlanmasıyla oluşan bir molekülü belirtir. Polimerler, küçük monomer birimlerinin tekrarlı bir şekilde bağlanmasıyla oluşan büyük moleküllerdir. Polimerler büyük bir molekülde binlerce ila milyonlarca atom içerir; bunlara makromoleküller de denir (Chanda n.d.). Doğal (örneğin, selüloz, jelatin, keratin ve proteinler) ve sentetik (örneğin, plastikler ve sentetik kauçuklar) çeşitleri bulunur. Polimerizasyon süreci, monomerlerin kimyasal reaksiyonlarla zincir oluşturmasıdır. Polimerlerin dallanma, çapraz bağlanma ve zincir uzunluğu gibi moleküler yapıları, onların fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirler. Bu özellikler, polimerlerin mekanik dayanıklılığı, esnekliği, termal ve kimyasal direnci gibi niteliklerini etkiler (Abd Al Fattah Amara 2022).

1.1. Polimerlerin Önemi ve Kullanım Alanları

Polimerler hafiflikleri, dayanıklılıkları ve çeşitli kimyasal özellikleri sayesinde birçok endüstride geniş kullanım alanına sahiptir. Ambalaj malzemeleri, tıbbi cihazlar, tekstil ürünleri, otomotiv parçaları, aolarak kullanılırlar (Lenz ve ark. 2015). Örneğin, polietilen (PE) ve polipropilen (PP) ambalaj sektöründe yaygın olarak kullanılırken, poliamid (naylon) ve politetrafloroetilen (PTFE) gibi polimerler, yüksek performans gerektiren uygulamalarda tercih edilir (de Leon ve ark. 2021). Polimerlerin özelliklerinin optimize edilmesi, endüstriyel uygulamalarda kritik bir rol oynar (Lenz ve ark. 2015).

1.2. Polimer Degradasyonunun Tanımı ve Önemi

Polimer degradasyonu fiziksel, kimyasal veya biyolojik etkenler nedeniyle polimerlerin yapısal bütünlüğünü kaybetme sürecidir. Bu süreç, polimerlerin performansını ve kullanım ömrünü etkiler. Polimerlerin kullanım süresi boyunca maruz kaldıkları çevresel faktörler (ışık, ısı, kimyasallar vb.) degradasyonu hızlandırabilir. Degradasyonun kontrolü, polimerlerin daha uzun süre dayanmasını sağlamak ve çevresel etkilerini minimize etmek açısından önemlidir (Mierzwa-Hersztek, Gondek, ve Kopeć 2019).

Polimerlerin degradasyonunun önemi hem çevresel hem de endüstriyel açıdan büyük bir etkiye sahiptir. Çevresel perspektiften bakıldığında, geleneksel plastiklerin biyolojik olarak parçalanmaması nedeniyle doğada birikerek ciddi kirlilik sorunlarına neden olduğu görülmektedir. Biyolojik olarak parçalanabilen polimerler, bu kirliliği azaltarak çevrenin korunmasına katkıda bulunur. Mikro plastiklerin çevresel ve biyolojik sistemlerde oluşturduğu tehditler göz önüne alındığında, bu tür polimerler mikro plastik kirliliğini önleyebilir. Ayrıca, doğal ekosistemlerin korunmasında önemli rol oynayarak biyolojik çeşitliliğin devamlılığını sağlarlar (Mierzwa-Hersztek ve ark. 2019).

Endüstriyel ve teknolojik açıdan, polimerlerin kontrollü bir şekilde degradasyona uğraması, ürünlerin kullanım süresini optimize eder ve atık yönetimini iyileştirir (Law ve Narayan 2021). Biyolojik olarak parçalanabilen polimerlerin yenilenebilir kaynaklardan üretilmesi, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltır ve daha sürdürülebilir bir üretim sürecine katkıda bulunur. Bu polimerler, geri dönüşüm süreçlerini kolaylaştırarak döngüsel ekonomiye destek sağlar ve endüstriyel atık yönetimini geliştirir (Zhu, Romain, ve Williams 2016).

Sağlık ve güvenlik açısından ise, bazı polimerlerin degradasyonu sırasında toksik maddelerin salınımı kontrol altına alınabilir, bu da çevre ve insan

sağlığı için büyük bir avantajdır. Biyolojik olarak parçalanabilen polimerler, tıbbi alanda dikiş iplikleri, ilaç salınım sistemleri ve doku mühendisliği gibi uygulamalarda kullanılarak, vücutta istenmeyen kalıntıların kalmasını önler ve böylece hastaların sağlığını korur (Sharma ve ark. 2021).

Sonuç olarak, polimerlerin degradasyonu, çevresel sürdürülebilirlik, atık yönetimi, sağlık ve endüstriyel süreçler açısından büyük bir önem taşımaktadır. Biyolojik olarak parçalanabilen polimerlerin geliştirilmesi ve yaygın kullanımı, çevresel ve ekonomik açıdan faydalar sağlayarak daha sürdürülebilir bir geleceğe önemli katkılar sunar.

2. Polimer Degradasyonunun Temel Prensipleri

2.1. Degradasyon Mekanizmaları

2.1.1. Fiziksel Degradasyon

Fiziksel degradasyon, polimerlerin mekanik kuvvetler nedeniyle bozulmasıdır. Bu süreç, aşınma, yıpranma ve mekanik stresler sonucu gerçekleşir. Örneğin, sürtünme nedeniyle polimer yüzeyinde oluşan aşınma ve çatlaklar fiziksel degradasyonun tipik örnekleridir. Mekanik stresler, polimer zincirlerinin kırılmasına ve malzemenin zayıflamasına yol açabilir. Polimerlerin mekanik aşınmaya karşı dayanıklılığı, yüzey sertliği, elastikiyet ve malzemenin kristalin yapısı gibi faktörlerle ilişkilidir (Brebu 2020).

2.1.2. Kimyasal Degradasyon

Kimyasal degradasyon, polimerlerin kimyasal reaksiyonlar sonucu yapısal değişikliğe uğramasıdır. Kimyasal degradasyon, polimerlerin kimyasal bağlarını kırarak malzemenin mekanik ve kimyasal özelliklerini zayıflatır (Ray ve Cooney 2018). Örneğin, poliüretanlar (PU), nemli ortamda hidroliz olabilirken, PP UV ışığına maruz kaldığında oksidatif degradasyon yaşayabilir (Scholz ve ark. 2019) (Silva ve ark. 2023). Kimyasal degradasyonun kontrolü, polimerlerin ömrünü uzatmak için önemlidir. Bu süreç, hidroliz, oksidasyon ve fotodegradasyon gibi reaksiyonlarla gerçekleşir (Ray ve Cooney 2018).

- **Hidroliz**

Hidroliz, polimer zincirlerinin su molekülleri tarafından kırılmasıdır. Bu süreç, ester, amid veya karbonat gibi hidrolize duyarlı bağları içeren polimerlerde yaygındır (Okada 2002). Örneğin, polilaktik asit (PLA) (Rajeshkumar ve ark. 2021) gibi biyobozunur polimerler, su ile reaksiyona girerek monomerlerine

ayrışır. Hidroliz hızı, pH, sıcaklık ve nem oranı gibi faktörlerle değişir. Örneğin, alkalin koşullarda hidroliz hızı artarken, düşük sıcaklıklarda bu süreç yavaşlar. Polimerlerin hidroliz dayanıklılığını artırmak için, suya duyarlı bağların sayısını azaltan modifikasyonlar yapılabilir (Elsawy ve ark. 2017).

- **Oksidasyon**

Oksidasyon, polimerlerin oksijen veya diğer oksidatif maddelerle reaksiyona girerek zincir kırılmalarına veya çapraz bağlanmalara yol açmasıdır. Oksidasyon, özellikle termoplastik polimerlerde yaygındır ve malzemenin mekanik özelliklerini zayıflatır. Antioksidanlar, oksidatif degradasyonu yavaşlatmak için kullanılır (Kornacka n.d.). Örneğin, PP ve PE gibi polimerler, oksijenle temas ettiğinde serbest radikal reaksiyonları başlar ve bu da polimer zincirlerinin kırılmasına yol açar. Oksidatif degradasyonun kontrolü, polimerlerin uzun ömürlü olmasını sağlamak için kritiktir (Ainali, Bikiaris, ve Lambropoulou 2021).

- **Fotodegradasyon**

Fotodegradasyon, UV ışığı ve diğer ışık kaynaklarının polimer zincirlerini kırarak malzemenin bozulmasına neden olmasıdır. Fotodegradasyon, polimerlerin renk değişimine, çatlamasına ve mekanik özelliklerinin kaybına yol açar. UV stabilizatörler ve koruyucu kaplamalar, fotodegradasyonu azaltmak için kullanılır. Örneğin, polistiren (PS) (Yousif ve ark. 2018) ve polikarbonat (PC) gibi polimerler, UV ışığına maruz kaldığında fotodegradasyon yaşayabilir. Bu süreçte, polimer zincirlerinin enerjisi artar ve kırılmalar meydana gelir. Fotodegradasyonu önlemek için UV absorplayıcı katkı maddeleri kullanılır (Yousif ve ark. 2023).

2.1.3. Termal Degradasyon

Polimerlerin termal degradasyonu, malzemenin yüksek sıcaklık ve oksijenle temas sonucu bozulmasıdır. Bu süreçte, polimer zincirleri koparak moleküler ağırlıkları azalır ve malzemenin mekanik dayanıklılığı azalır. Termal degradasyonun olası nedenleri arasında sıcaklık değişimleri, oksidasyon, ısıtma veya soğutma döngüleri gibi faktörler bulunur. Bu tür degradasyon, özellikle geri dönüşüm süreçlerinde karşılaşılabilir ve malzemenin yeniden kullanılabilirliğini etkileyebilir (Ray ve Cooney 2018).

- **Termal Oksidatif Degradasyon**

Termal oksidatif degradasyon, yüksek sıcaklıklarda polimerlerin oksijen ile reaksiyona girerek bozulmasıdır. Bu süreç, polimer zincirlerinin kırılmasına

ve malzemenin mekanik ve kimyasal özelliklerinin bozulmasına yol açar. Termal stabilizatörler, termal oksidatif degradasyonu yavaşlatmak için kullanılır. Örneğin, polivinil klorür (PVC) yüksek sıcaklıklara maruz kaldığında hidroklorik asit (HCl) gazı açığa çıkar ve bu da polimerin hızlı bir şekilde bozunmasına neden olur. Termal stabilizatörler, bu süreci yavaşlatmak ve polimerin ömrünü uzatmak için eklenir (Ray ve Cooney 2018).

- **Piroliz**

Piroliz, polimerlerin oksijensiz ortamda yüksek sıcaklıklarda termal olarak parçalanmasıdır. Bu süreç, polimerlerin monomerlerine veya diğer küçük moleküllere ayrışmasına neden olur (Ray ve Cooney 2018). Piroliz, geri dönüşüm ve enerji geri kazanımı gibi uygulamalarda kullanılır (Hasan ve ark. 2021). Örneğin, atık plastiklerin piroliz yöntemiyle işlenmesi, hidrokarbon yakıtlar ve kimyasal hammadde elde edilmesine olanak tanır (Jahirul ve ark. 2022). Piroliz süreci, sıcaklık, basınç ve katalizör kullanımı gibi faktörlerle optimize edilir. Bu yöntem, polimer atıklarının çevresel etkilerini azaltmak için önemli bir geri dönüşüm teknolojisidir (Chen ve ark. 2023)

2.1.4. Biyolojik Degradasyon

- **Mikroorganizmalar ile Degradasyon**

Mikroorganizmalar, polimer zincirlerini hidroliz veya oksidasyon yoluyla parçalayabilir. Biyobozunur polimerler, çevresel mikroorganizmalar tarafından biyolojik olarak parçalanabilir. Örneğin, bakteriler, mantarlar ve algler, polimerlerin biyolojik degradasyonunda rol oynar. Mikroorganizmalar, polimer yüzeyine yapışarak enzimler salgılar ve bu enzimler polimer zincirlerini kırar. PLA ve polihidroksialkanoatlar (PHA) (Meereboer, Misra, ve Mohanty 2020) gibi biyobozunur polimerler, mikroorganizmalar tarafından kolayca parçalanabilir. Bu tür polimerlerin biyolojik degradasyon süreci, toprak, su ve kompost ortamlarında farklılık gösterebilir (Lucas ve ark. 2008).

- **Enzimatik Degradasyon**

Enzimlerin polimer yapılarına saldırarak onları parçalamasıdır. Enzimatik degradasyon, özellikle biyolojik olarak aktif polimerlerde (örneğin, proteinler, polisakkaritler) önemlidir. Enzimler, spesifik bağları kırarak polimer zincirlerini kısa parçalara ayırır (Azevedo ve Reis 2005). Örneğin, protein bazlı polimerler (örneğin, jelatin) proteaz enzimleri tarafından parçalanabilirken, nişasta bazlı polimerler amilaz enzimleri tarafından hidrolize edilebilir (Falua ve ark. 2022). Enzimatik degradasyonun hızı ve verimliliği, enzim konsantrasyonu, sıcaklık,

pH ve polimerin kimyasal yapısı gibi faktörlere bağlıdır. Bu süreç, biyomedikal ve çevresel uygulamalarda önemli bir rol oynar (Azevedo ve Reis 2004).

- **Biyopolimerlerin Degradasyonu**

Biyopolimerler, çevre dostu olmaları nedeniyle önemlidir ve mikroorganizmalar tarafından biyolojik olarak geri dönüştürülebilirler. Selüloz, doğada en yaygın bulunan biyopolimerlerden biridir ve selülaz enzimleri tarafından parçalanabilir. Proteinler, proteolitik enzimler tarafından hidrolize edilir. Biyopolimerlerin degradasyonu, toprak mikroorganizmaları, su ekosistemleri ve kompostlama süreçlerinde doğal olarak gerçekleşir. Bu süreçler, biyopolimerlerin çevresel sürdürülebilirliğini artırır (Nair ve ark. 2017).

2.2. Degradasyonu Etkileyen Faktörler

2.2.1. Çevresel Faktörler

Polimerlerin degradasyonunu etkileyen başlıca çevresel faktörler arasında ısı, ışık, nem, oksijen ve kimyasal maddeler bulunur. Yüksek sıcaklıklar polimerlerin termal stabilitesini azaltır, UV ışığı fotodegradasyona neden olur, nem hidroliz reaksiyonlarını hızlandırır, oksijen oksidasyon süreçlerini başlatır ve çeşitli kimyasallar polimerlerin kimyasal yapısını bozar. Örneğin, dış mekan uygulamalarında kullanılan polimerler, güneş ışığına ve hava koşullarına maruz kaldığında daha hızlı degradasyona uğrar (Takada 2019).

2.2.2. Polimer Yapısı ve Özellikleri

Polimerlerin moleküler yapısı, degradasyon süreçlerini belirleyici bir rol oynar. Yüksek moleküler ağırlıklı polimerler genellikle daha dayanıklıdır. Kristalin polimerler, amorf polimerlere göre daha yavaş degradasyona uğrar. Çapraz bağlanma, polimerin termal ve kimyasal dayanıklılığını artırırken, dallanma yapısı polimerin mekanik özelliklerini etkiler (Choi ve ark. 2019). Örneğin, PE yüksek yoğunluklu (HDPE) ve düşük yoğunluklu (LDPE) formları, farklı degradasyon özelliklerine sahiptir. HDPE, daha kristalin bir yapıya sahip olduğu için termal ve kimyasal olarak daha stabildir (Kumar Sen ve Raut 2015).

2.3. Degradasyonun Önlenmesi ve Kontrolü

2.3.1. Stabilizatörler ve Katkı Maddeleri

Stabilizatörler, polimerlerin oksidatif, termal ve UV degradasyonuna karşı direncini artırır. Antioksidanlar, polimerlerde serbest radikal reaksiyonlarını engelleyerek oksidatif degradasyonu yavaşlatır. UV stabilizatörleri, polimerlerin UV ışığına maruz kaldığında fotodegradasyonunu engeller. Termal

stabilizatörler, yüksek sıcaklıklarda polimerlerin termal bozulmasını önler. Örneğin, PVC üretiminde kullanılan stabilizatörler, polimerin termal ve UV dayanıklılığını artırır (Gijsman 2018).

2.3.2. Polimer Modifikasyon Teknikleri

Çapraz bağlanma, polimerin termal ve kimyasal dayanıklılığını artırır. Kopolimerizasyon, farklı monomerlerin birlikte polimerize edilmesiyle polimerin özelliklerini optimize eder. Polimer karışımları (blendler), iki veya daha fazla polimerin bir araya getirilmesiyle elde edilir ve bu karışımlar, polimerlerin mekanik ve kimyasal özelliklerini iyileştirir. Örneğin, yüksek performanslı polimerler, farklı monomerlerin kopolimerizasyonu ile elde edilebilir ve bu da polimerlerin spesifik uygulamalar için özelleştirilmesine olanak tanır (Wang ve ark. 2015).

2.3.3. Koruyucu Kaplamalar

Polimer yüzeylerine uygulanan koruyucu kaplamalar, çevresel etmenlere karşı bir bariyer oluşturarak degradasyonu azaltır. Koruyucu kaplamalar, UV ışığı, oksijen, nem ve kimyasallar gibi etkenlere karşı polimerleri korur. Örneğin, dış mekan uygulamalarında kullanılan polimerlere uygulanan UV koruyucu kaplamalar, fotodegradasyonu önler. Antioksidan kaplamalar, oksidatif bozulmayı engellerken, su geçirmez kaplamalar polimerlerin hidrolize karşı direncini artırır. Kaplama teknolojileri, polimerlerin kullanım ömrünü uzatmak için kritik öneme sahiptir (Riahinezhad, Hallman, ve Masson 2021).

2.3.4. İşleme ve Depolama Koşulları

Polimerlerin uygun koşullarda işlenmesi ve saklanması, degradasyonu azaltmanın önemli bir yoludur. İşleme sırasında uygun sıcaklık ve basınç koşullarının sağlanması, polimerlerin yapısal bütünlüğünü korur. Aşırı ısınma veya mekanik stres, polimerlerin yapısal bozulmasına yol açabilir. Ayrıca, uygun depolama koşulları (örneğin, düşük sıcaklık, düşük nem) polimerlerin ömrünü uzatır. Polimerlerin hava, ışık ve kimyasal maddelerden korunması, depolama süresince degradasyonun minimize edilmesi için önemlidir (Hawkins 1984).

2.4. Degradasyonun Karakterizasyonu ve Test Yöntemleri

2.4.1. Fiziksel ve Kimyasal Analizler

Polimerlerin degradasyonunu ölçmek için temel analiz yöntemleri kullanılır. Diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC), polimerlerin erime noktası, camsı geçiş sıcaklığı ve termal stabilitesini belirler (Menczel ve Prime 2008).

Termogravimetrik analiz (TGA), polimerlerin sıcaklığa bağlı olarak kütle kaybını ölçer ve termal degradasyon profillerini sağlar. Bu yöntemler, polimerlerin termal özelliklerini ve degradasyon davranışlarını anlamak için kullanılır. Örneğin, polimerlerin farklı sıcaklıklarda nasıl bozulduğunu belirlemek için TGA kullanılır (Loganathan ve ark. 2017).

2.4.2. Spektroskopik Yöntemler

Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), polimerlerin kimyasal yapısını ve degradasyon ürünlerini analiz eder. FTIR, polimer zincirlerinde meydana gelen kimyasal değişiklikleri belirlemek için kullanılır (Veerasingam ve ark. 2021). Nükleer manyetik rezonans (NMR) spektroskopisi, polimerlerin moleküler yapısını ve zincir hareketliliğini inceler (Spiess 2004). Raman spektroskopisi, polimerlerin kimyasal bağlarını ve yapısal değişikliklerini analiz eder. Bu yöntemler, polimerlerin kimyasal degradasyonunu ve oluşan yan ürünleri detaylı bir şekilde incelemek için kullanılır (Lenz ve ark. 2015).

2.4.3. Mekanik Testler

Polimerlerin mekanik dayanıklılığını belirlemek için çeşitli testler uygulanmaktadır. Çekme testi, polimerlerin gerilme dayanımı ve elastikiyet modülünü ölçerek malzemenin ne kadar dayanıklı olduğunu ortaya koyar. Eğilme testi, polimerlerin esnekliğini ve kırılma dayanıklılığını değerlendirir. Sertlik testi ise polimerlerin yüzey sertliğini belirler. Bu testler, polimerlerin mekanik özelliklerinin degradasyon sürecinde nasıl değiştiğini anlamak için kullanılır. Örneğin, çekme testi ile polimerlerin gerilme dayanımı ölçülerek, malzemenin degradasyonun etkisi altında nasıl değiştiği incelenebilir (Ang ve ark. 2017).

2.4.4. Mikroskopik Teknikler

Tarama elektron mikroskobu (SEM) ve geçirimli elektron mikroskobu (TEM), polimerlerin yüzey morfolojisi ve iç yapısını incelemek için kullanılır. SEM, polimer yüzeyindeki çatlaklar, delaminasyon ve diğer bozulma belirtilerini gözlemlemek amacıyla kullanılırken, TEM polimerlerin iç yapısını ve nanometre ölçeğindeki bozulmaları analiz eder (Michler ve Lebek 2016). Atomik kuvvet mikroskobu (AFM), polimerlerin yüzey topografisini ve mekanik özelliklerini yüksek çözünürlükte değerlendirir. Bu teknikler, polimerlerin degradasyon sürecindeki mikroskobik değişiklikleri incelemek için kullanılır (Rydz, Šišková, ve Andicsová Eckstein 2019).

2.5. Uygulamalar ve Gelecek Yönelimler

2.5.1. Biyobozunur Polimerler

Biyobozunur polimerler, çevresel sürdürülebilirlik açısından büyük öneme sahiptir. Bu polimerler biyolojik olarak parçalanabilir ve çevreye zarar vermeden doğal döngüye katılabilirler (Haider ve ark. 2019). Örnek olarak PLA, PHA ve nişasta bazlı polimerler verilebilir. Biyobozunur polimerler, ambalaj malzemeleri, tarım, tıbbi cihazlar ve tek kullanımlık ürünler gibi çeşitli alanlarda kullanılır. Bu polimerlerin geliştirilmesi, plastik kirliliğinin azaltılması ve sürdürülebilir malzeme kullanımının artırılması açısından büyük bir potansiyele sahiptir (Patwary, Surid, ve Gafur 2020).

2.5.2. Geri Dönüşümlü Polimerler

Geri dönüşümlü polimerler, çevre dostu uygulamalar açısından önemlidir. Geri dönüşüm, polimer atıklarının yeniden işlenerek hammadde veya yeni ürünler elde edilmesini sağlar. Yaygın olarak geri dönüştürülen polimerler arasında polietilen tereftalat (PET) ve PE bulunmaktadır. Geri dönüşüm süreçleri, polimerlerin fiziksel olarak işlenmesini içeren mekanik geri dönüşüm ve polimerlerin kimyasal olarak monomerlerine ayrılmasını içeren kimyasal geri dönüşüm olarak ikiye ayrılır. Geri dönüşümlü polimerlerin kullanımı, doğal kaynakların korunması ve atık miktarının azaltılması açısından kritik öneme sahiptir (Al-Salem, Lettieri, ve Baeyens 2009).

2.5.3. Akıllı Polimerler

Akıllı polimerler, çevresel değişikliklere tepki verebilen ve uyum sağlayabilen malzemelerdir. Bu polimerler sıcaklık, pH, ışık veya elektrik alan gibi dış etkenlere duyarlıdır ve bu etkenlere yanıt olarak fiziksel veya kimyasal özelliklerini değiştirir. Akıllı polimerler tıp, biyomedikal mühendislik, çevre teknolojileri ve elektronik gibi alanlarda kullanılmaktadır. Örneğin, sıcaklık duyarlı polimerler, ilaç salım sistemlerinde kontrollü ilaç salımı sağlamak için kullanılabilir. Bu tür polimerlerin geliştirilmesi, yeni nesil malzemelerin ve teknolojilerin önünü açmaktadır (Aguilar ve San Román 2019).

2.5.4. Polimer Degradasyonunda İleri Araştırmalar

Polimer degradasyonunun anlaşılması ve kontrol altına alınması için yapılan ileri araştırmalar, bu malzemelerin ömrünü uzatmak ve performansını artırmak için yeni stratejiler geliştirilmesini sağlar. Degradasyon mekanizmalarının detaylı olarak incelenmesi, polimerlerin dayanıklılığını artırmak için önemlidir.

Gelişmiş analiz ve karakterizasyon teknikleri, polimerlerin degradasyon süreçlerini daha iyi anlamamıza olanak tanır. Ayrıca, yeni nesil stabilizatörler, antioksidanlar ve UV koruyucuların geliştirilmesi, polimerlerin çevresel etkenlere karşı dayanıklılığını artırır. İleri araştırmalar, polimer biliminde yenilikçi çözümler sunarak sürdürülebilir ve yüksek performanslı malzemelerin tasarlanmasına katkıda bulunmaktadır (Chanda n.d.).

1. Sonuç

Sonuç olarak, polimerler modern dünyamızın pek çok sektörde vazgeçilmez malzemeleri haline gelmiştir. Hem doğal hem de sentetik çeşitleri bulunan polimerler, monomer adı verilen küçük birimlerin birleşmesiyle oluşur ve bu yapılar, hafiflikleri, dayanıklılıkları ve esneklikleri sayesinde ambalaj, tıp, otomotiv ve tekstil gibi geniş bir uygulama yelpazesinde tercih edilirler. Ancak, polimerlerin kullanım ömrü boyunca maruz kaldığı fiziksel, kimyasal ve biyolojik etkenler, polimerlerin bozunmasına neden olabilir ve bu da performanslarını ve dayanıklılıklarını olumsuz etkileyebilir.

Bozunma mekanizmalarının detaylı bir şekilde anlaşılması, bu süreçlerin kontrol altına alınması açısından büyük önem taşır. Polimerlerin fiziksel bozunması mekanik kuvvetlerle, kimyasal bozunması çeşitli kimyasal reaksiyonlarla, biyolojik bozunması ise mikroorganizmalar ve enzimlerin etkisiyle gerçekleşir. Bu süreçleri etkileyen faktörler arasında çevresel koşullar, polimerin kimyasal yapısı ve kullanılan katkı maddeleri yer alır. Özellikle stabilizatörler ve katkı maddeleri, polimerlerin oksidatif, termal ve UV ışınlarına karşı dayanıklılığını artırarak bozunma süreçlerini yavaşlatmada kritik bir rol oynar.

Bu bilgiler ışığında, polimerlerin uzun ömürlü ve çevresel açıdan sürdürülebilir olabilmesi için bozunma süreçlerinin etkin bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir. Polimerlerin dayanıklılığını artırmak ve çevresel etkilerini en aza indirmek için uygun stabilizatörler ve katkı maddelerinin kullanılması büyük önem taşır. Sonuç olarak, polimer biliminin temel prensiplerinin anlaşılması ve uygulanması, gelecekte daha dayanıklı, verimli ve çevre dostu polimer malzemelerin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır. Bu sayede, polimerlerin endüstriyel uygulamalardaki verimliliği artırılırken, çevresel sürdürülebilirlikleri de sağlanmış olacaktır.

Kaynakça

Abd Al Fattah Amara, Amro. 2022. “Natural Polymer Types and Applications.” *Biomolecules from Natural Sources: Advances and Applications* 31–81.

Aguilar, María Rosa, and Julio San Román. 2019. “Smart Polymers and Their Applications.” *Smart Polymers and Their Applications* 1–687.

Ainali, Nina Maria, Dimitrios N. Bikiaris, and Dimitra A. Lambropoulou. 2021. “Aging Effects on Low- and High-Density Polyethylene, Polypropylene and Polystyrene under UV Irradiation: An Insight into Decomposition Mechanism by Py-GC/MS for Microplastic Analysis.” *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 158(May):105207.

Al-Salem, S. M., P. Lettieri, and J. Baeyens. 2009. “Recycling and Recovery Routes of Plastic Solid Waste (PSW): A Review.” *Waste Management* 29(10):2625–43.

Ang, Hui Ying, Ying Ying Huang, Soo Teik Lim, Philip Wong, Michael Joner, and Nicolas Foin. 2017. “Mechanical Behavior of Polymer-Based vs. Metallic-Based Bioresorbable Stents.” *Journal of Thoracic Disease* 9(Suppl 9):S923.

Azevedo, Helena S., and Rui L. Reis. 2004. “Understanding the Enzymatic Degradation of Biodegradable Polymers and Strategies to Control Their Degradation Rate.” *Biodegradable Systems in Tissue Engineering and Regenerative Medicine* 177–202.

Azevedo, Helena S., and Rui L. Reis. 2005. “2 Understanding the Enzymatic Degradation of Biodegradable Polymers and Strategies to Control Their Degradation Rate.”

Brebu, Mihai. 2020. “Environmental Degradation of Plastic Composites with Natural Fillers-a Review.” *Polymers* 12(1).

Chanda, Manas. n.d. “Introduction to Polymer Science and Chemistry A Problem-Solving Approach.”

Chen, Wei Hsin, Partha Pratim Biswas, Eilhann E. Kwon, Young Kwon Park, Saravanan Rajendran, Lalitha Gnanasekaran, and Jo Shu Chang. 2023. “Optimization of the Process Parameters of Catalytic Plastic Pyrolysis for Oil Production Using Design of Experiment Approaches: A Review.” *Chemical Engineering Journal* 471:144695.

Choi, Joonhyeong, Wansun Kim, Donguk Kim, Seonha Kim, Junsu Chae, Siyoung Q. Choi, Felix Sunjoo Kim, Taek Soo Kim, and Bumjoon J. Kim. 2019. “Importance of Critical Molecular Weight of Semicrystalline N-Type Polymers for Mechanically Robust, Efficient Electroactive Thin Films.” *Chemistry of Materials* 31(9):3163–73.

Elsawy, Moataz A., Ki Hyun Kim, Jae Woo Park, and Akash Deep. 2017. “Hydrolytic Degradation of Polylactic Acid (PLA) and Its Composites.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 79(June 2016):1346–52.

Falua, Kehinde James, Anamol Pokharel, Amin Babaei-Ghazvini, Yongfeng Ai, and Bishnu Acharya. 2022. "Valorization of Starch to Biobased Materials: A Review." *Polymers* 14(11):1–44.

Gijsman, Pieter. 2018. "Polymer Stabilization." *Handbook of Environmental Degradation Of Materials: Third Edition* 369–95.

Haider, Tobias P., Carolin Völker, Johanna Kramm, Katharina Landfester, and Frederik R. Wurm. 2019. "Plastics of the Future? The Impact of Biodegradable Polymers on the Environment and on Society." *Angewandte Chemie International Edition* 58(1):50–62.

Hasan, M. M., M. G. Rasul, M. M. K. Khan, N. Ashwath, and M. I. Jahirul. 2021. "Energy Recovery from Municipal Solid Waste Using Pyrolysis Technology: A Review on Current Status and Developments." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 145:111073.

Hawkins, W. Lincoln. 1984. "Polymer Degradation and Stabilization." 8.

Jahirul, M. I., M. G. Rasul, D. Schaller, M. M. K. Khan, M. M. Hasan, and M. A. Hazrat. 2022. "Transport Fuel from Waste Plastics Pyrolysis – A Review on Technologies, Challenges and Opportunities." *Energy Conversion and Management* 258:115451.

Kornacka, Ewa M. n.d. "Radiation-Induced Oxidation of Polymers."

Kumar Sen, Sudip, and Sangeeta Raut. 2015. "Microbial Degradation of Low Density Polyethylene (LDPE): A Review." *Journal of Environmental Chemical Engineering* 3(1):462–73.

Law, Kara Lavender, and Ramani Narayan. 2021. "Reducing Environmental Plastic Pollution by Designing Polymer Materials for Managed End-of-Life." *Nature Reviews Materials 2021 7:2* 7(2):104–16.

Lenz, Robin, Kristina Enders, Colin A. Stedmon, David M. A. MacKenzie, and Torkel Gissel Nielsen. 2015. "A Critical Assessment of Visual Identification of Marine Microplastic Using Raman Spectroscopy for Analysis Improvement." *Marine Pollution Bulletin* 100(1):82–91.

de Leon, Al Christopher C., Ítalo G. M. da Silva, Katrina D. Pangilinan, Qiyi Chen, Eugene B. Caldona, and Rigoberto C. Advincula. 2021. "High Performance Polymers for Oil and Gas Applications." *Reactive and Functional Polymers* 162(March).

Loganathan, Sravanthi, Ravi Babu Valapa, Raghvendra Kumar Mishra, G. Pugazhenthi, and Sabu Thomas. 2017. "Thermogravimetric Analysis for Characterization of Nanomaterials." *Thermal and Rheological Measurement Techniques for Nanomaterials Characterization* 3:67–108.

Lucas, Nathalie, Christophe Bienaime, Christian Belloy, Michèle Queneudec, Françoise Silvestre, and José Edmundo Nava-Saucedo. 2008. "Polymer Biodegradation: Mechanisms and Estimation Techniques – A Review." *Chemosphere* 73(4):429–42.

Meereboer, Kjeld W., Manjusri Misra, and Amar K. Mohanty. 2020. "Review of Recent Advances in the Biodegradability of Polyhydroxyalkanoate (PHA) Bioplastics and Their Composites." *Green Chemistry* 22(17):5519–58.

Menczel, Joseph D., and R. Bruce Prime. 2008. "Thermal Analysis of Polymers: Fundamentals and Applications." *Thermal Analysis of Polymers: Fundamentals and Applications* 1–688.

Michler, Goerg H., and Werner Lebek. 2016. "Electron Microscopy of Polymers." *Polymer Morphology: Principles, Characterization, and Processing* 37–53.

Mierzwa-Hersztek, M., K. Gondek, and M. Kopeć. 2019. "Degradation of Polyethylene and Biocomponent-Derived Polymer Materials: An Overview." *Journal of Polymers and the Environment* 27(3):600–611.

Nair, N. R., V. C. Sekhar, K. M. Nampoothiri, and A. Pandey. 2017. "Biodegradation of Biopolymers." *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering: Production, Isolation and Purification of Industrial Products* 739–55.

Okada, Masahiko. 2002. "Chemical Syntheses of Biodegradable Polymers." *Progress in Polymer Science* 27(1):87–133.

Patwary, M. A. Sayed, S. M. Surid, and M. A. Gafur. 2020. "Properties and Applications of Biodegradable Polymers." *Journal of Research Updates in Polymer Science* 9:32–41.

Rajeshkumar, G., S. Arvindh Seshadri, G. L. Devnani, M. R. Sanjay, Suchart Siengchin, J. Prakash Maran, Naif Abdullah Al-Dhabi, Ponmurugan Karuppiah, Valan Arasu Mariadhas, N. Sivarajasekar, and A. Ronaldo Anuf. 2021. "Environment Friendly, Renewable and Sustainable Poly Lactic Acid (PLA) Based Natural Fiber Reinforced Composites – A Comprehensive Review." *Journal of Cleaner Production* 310(January):127483.

Rana, K. Iqbal. 2019. "Usage of Potential Micro-Organisms for Degradation of Plastics." *Open Journal of Environmental Biology* 007–015.

Ray, Sudip, and Ralph P. Cooney. 2018. "Thermal Degradation of Polymer and Polymer Composites." *Handbook of Environmental Degradation Of Materials: Third Edition* 185–206.

Riahinezhad, Marzieh, Madeleine Hallman, and J. F. Masson. 2021. "Critical Review of Polymeric Building Envelope Materials: Degradation, Durability and Service Life Prediction." *Buildings 2021, Vol. 11, Page 299* 11(7):299.

Rydz, Joanna, Alena Šišková, and Anita Andicsová Eckstein. 2019. "Scanning Electron Microscopy and Atomic Force Microscopy: Topographic and Dynamical Surface Studies of Blends, Composites, and Hybrid Functional Materials for Sustainable Future." *Advances in Materials Science and Engineering* 2019(1):6871785.

Scholz, Philipp, Volker Wachtendorf, Ulrich Panne, and Steffen M. Weidner. 2019. "Degradation of MDI-Based Polyether and Polyester-Polyurethanes in Various Environments - Effects on Molecular Mass and Crosslinking." *Polymer Testing* 77:105881.

Sharma, Shubham, P. Sudhakara, Jujhar Singh, R. A. Ilyas, M. R. M. Asyraf, and M. R. Razman. 2021. "Critical Review of Biodegradable and Bioactive Polymer Composites for Bone Tissue Engineering and Drug Delivery Applications." *Polymers*.

Silva, Rafael Resende Assis, Clara Suprani Marques, Tarsila Rodrigues Arruda, Samiris Cocco Teixeira, and Taíla Veloso de Oliveira. 2023. "Biodegradation of Polymers: Stages, Measurement, Standards and Prospects." *Macromol* 3(2):371–99.

Spiess, Hans Wolfgang. 2004. "Advanced Solid-State Nuclear Magnetic Resonance for Polymer Science." *Journal of Polymer Science, Part A: Polymer Chemistry* 42(20):5031–44.

Takada, Hideshige. 2019. *Hazardous Chemicals Associated with Plastics in the Marine Environment*. Vol. 78.

Veerasingam, S., M. Ranjani, R. Venkatachalapathy, Andrei Bagaev, Vladimir Mukhanov, Daria Litvinyuk, M. Mugilarasan, K. Gurumoorthi, L. Guganathan, V. M. Aboobacker, and P. Vethamony. 2021. "Contributions of Fourier Transform Infrared Spectroscopy in Microplastic Pollution Research: A Review." *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 51(22):2681–2743.

Wang, Yong, Shujuan Wang, Cheng Bian, Yuhu Zhong, and Xinli Jing. 2015. "Effect of Chemical Structure and Cross-Link Density on the Heat Resistance of Phenolic Resin." *Polymer Degradation and Stability* 111:239–46.

Yousif, E., D. Ahmed, K. Zainulabdeen, and A. Jawad. 2023. "Photo-Physical and Morphological Study of Polymers: A Review." *Physical Chemistry Research* 11(2):409–24.

Yousif, Emad, Dina S. Ahmed, Gamal A. El-Hiti, Mohammad Hayal Alotaibi, Hassan Hashim, Ayad S. Hameed, and Ahmed Ahmed. 2018. "Fabrication of Novel Ball-Like Polystyrene Films Containing Schiff Base Microspheres as Photostabilizers." *Polymers 2018, Vol. 10, Page 1185* 10(11):1185.

Zhu, Yunqing, Charles Romain, and Charlotte K. Williams. 2016. "Sustainable Polymers from Renewable Resources." *Nature* 540(7633):354–62.

BÖLÜM IX

PORSELEN KARO ÜRETİMİNDE PİROFİLLİT KULLANIMI

The Use of Porcelain Tiles in The Manufacture of Porcelain Tiles

FURKAN ÖZATA[1] & MÜNIRE CEBECİ CEYLANTEKİN[2] & EDA TAŞÇI[3] & RASIM CEYLANTEKİN[4]

[1](M.Sc.) Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye
E-mail: furkan.ozata@dpu.edu.tr
ORCID: 0009-0000-8829-9104

[2](M.Sc.) Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye
E-mail: munire.cebeci@dpu.edu.tr
ORCID: 0009-0004-1100-3888

[3](Prof.Dr.) Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye
E-mail: eda.tasci@dpu.edu.tr
ORCID: 0000- 0003-3346-8833

[4](Prof.Dr.) Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Kütahya, Türkiye
E-mail: rasim.ceylantekin@dpu.edu.tr
ORCID: 0000-0002-5561-5008

1. Giriş

Dünyanın önde gelen üretim sektörlerinden biri seramik sektörüdür. Seramik ürünlerin kullanım alanlarındaki artış, seramiğin konut ve konut dışı binalarda yaygın olarak kullanılması, inşaat sektörüne bağımlı olarak değişmektedir. Bu nedenle seramik üreticileri ve ihracatçıları dünya inşaat sektöründeki gelişmeleri yakından takip etmektedir (Kalkınma Bakanlığı (2015)).

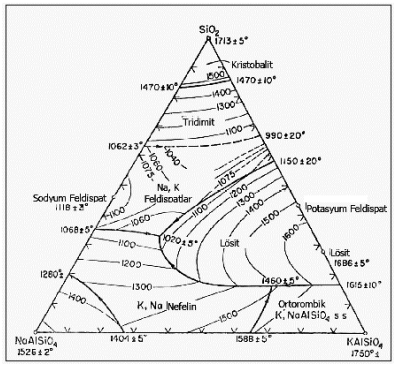
Dünya inşaat sektörü, diğer tüm sektörler gibi yıllar içerisinde meydana gelen küresel ve ekonomik krizlerden etkilenmektedir. Dolayısıyla yıllar bazında ülkelerdeki üretim ve ihracat sıralamaları değişmekte ve Türkiye'nin seramik üretim ve ihracat sıralamaları bazı değişiklikler göstermektedir. Dünyanın en büyük seramik üreticisi olan Çin'i sırasıyla Brezilya, Hindistan ve İran takip ederken; seramik tüketiminde ise Çin'i Brezilya, Hindistan ve Endonezya izlemektedir.

Türkiye ise seramik kaplama malzemeleri üretimi ve ihracatı bakımından hem Avrupa hem de dünya genelinde önemli bir konuma sahiptir. 1990' lardan beri yapılan yatırım ve devlet teşvikleri ile yeni tesislerin kurulması; kurulu tesislerin kapasite artırmalarıyla Türkiye uluslararası değerlendirmede Dünya'da 6. büyük seramik üreticisi ülkelerden biri olmuştur. Seramik kaplama malzemeleri alanında Dünya tüketiminin %3,2' sini, Avrupa tüketiminin ise %11' ini Türkiye karşılamaktadır (Anonim 2008, Giacomini 2008). 2023 yılı genelinde tüm Dünya'da yaşanan olumsuz ekonomik koşullara rağmen seramik sektörü 1,5 milyar dolar ihracat sağlamıştır (Fuat, 2017).

2. Seramik Kaplama Sektörü: Porselen Karo

Seramik kaplama sektöründe yer ve duvar karosu üretiminin yanı sıra porselen karo üretimi yaygın bir üretim ve kullanım alanına sahiptir. Porselen karolar, üretim prosesi esnasında kendilerine kazandırılan üstün teknik özellikleri ile ağırlıklı olarak iç ve dış mekân kullanım alanına sahip kaplama malzemeleri olarak tanımlanabilir. Porselen karoların, ISO 13006 standartlarına göre, düşük su emme (%0,5' ten az), küçük por boyutu (<50 μm) cam fazı içerisine gömülü olarak meydana gelen kristalin esaslı fazlardan oluşan bir yapı oluşturması ile kırılma mukavemetinde artma, dona dayanım özelliğinde artma, aşınma dayanım ve kimyasal dayanım özelliğinde artma gibi teknik özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu özellikler, tüm üretim prosesinde başlangıçta hammadde kalitesi olmak üzere, reçete kompozisyonları, üretim parametreleri, sinterleme parametreleri gibi kademelerin kontrolünü gerektirmektedir (Tarhan, M, 2010).

Porselen karo bünye kompozisyonu, kil veya kaolen (%40-50), kuvars (%10-15) ve feldispat (%35-45) hammaddelerinin üçlü faz karışımından oluşan bir kompozisyondan oluşmaktadır. Burada oluşan amorflaşabilen faz bileşeni Na_2O-K_2O-Al_2O_3-SiO_2 (Sodyum silikatlar-Potasyum silikatlar-Alümina-Silika) sistemine dayanmaktadır (Şekil 1). Üçlü faz diyagramında bazı bileşim alanlarındaki düşük sıcaklıklarda sıvı faz gelişiminde, termodinamik denge noktaları okunabilirken, reaksiyon hızları ve vitrifikasyon zamanı belirlenemez (Anonim 2002).



Şekil 1. Kuvars-Na Feldispat-K Feldispat sistemine ait denge diyagramı (Scharrer ve Geol, 1950)

Porselen karo bünye reçetelerinde mukavemet artırmak amacıyla çeşitli Ar-Ge çalışmaları yapıla gelmektedir. Örneğin kuvars ile alüminanın yer değiştirmesi, feldispat ile nefelin siyenitin yer değiştirmesi ile elde edilen bünye reçeteleri, hammaddelerin kimyasal özellikleri ve prosese bağlı olarak oluşan amorf faz ve kristalin faz oluşumu ve mekanik özellikler etkilemektedir. Başlangıç hammaddelerinin öğütme prosesi ile elde etmiş olduğu tane boyutu yüksek yüzey alanı sağlar. Yüksek yüzey alanına sahip tozlar ile yüksek reaksiyon kabiliyeti elde edilmiş olup 1200 ºC civarındaki hızlı pişirimde yüksek yoğunluk, sinterleme sonrasındaki mukavemet ve mikroyapı karakteristiği üzerindeki etkisi ve minimum su emme elde edilebilmektedir (Brasileiro, C. T. vd. 2021; Elmaghraby, M.S.,2020; Güngör, F. 2021; Montoya, N. 2010; Tarhan, B., 2021).

Porselen karo üretiminde sulu öğütme, homojenizasyon, empürite uzaklaştırması, granülasyon, presleme ve sinterleme aşamaları üretim sürecini oluşturmaktadır. Mikroyapısal gelişimde özellikle pişme sıcaklığı, pişme süresi ve fırın atmosferi kimyasal reaksiyonları etkilemektedir (Tarhan, M, 2010).

Pişme sıcaklığı 1190 °C ve 1220 ºC aralığında, görünür ve kapalı porozite oranına bağlı olarak 60-90 dakika' lık hızdaki optimum aralıkta belirlenir.

3. Porselen Karo Hızlı Pişirim ve Teknik Özellikler İlişkisi

Seramik karo endüstrisinde, hızlı tek pişirme teknolojisinde 60 dakikadan daha kısa sürelere (yaklaşık 25 dk' lara kadar) inen sinterleme süreci, daha büyük ve daha ince porselen karolara olan talep, mikroyapısal düzeyde daha küçük tane boyutlu plastik olmayan hammadde ihtiyacını etkilemiştir. Seramik kaplama sektöründe, özellikle sinterleme sıcaklığı ve ürün boyutları açısından yaşanan teknolojik gelişmeler, reçete bazında hammaddelerin kimyasal bileşimini ve mikroyapı kontrolünü gerekli kılmıştır (Bresciani 2012, Melchiade 2012).

Sinterleme sonrasında camsı faz, kuvars ve müllit kristallerinden oluşan bir mikroyapı elde edilir (Martín-Márquez vd., 2008; Kara vd., 2009; Kayacı vd., 2009). Düşük maliyetli ve yüksek mekanik dayanıma sahip bir porselen karo bünye gelişimi için; alkali oranları, ergitici tercihleri ve kuvars tane boyutu önemlidir (Becker vd., 2000). Yapılan bir çalışmada, farklı sürelerde yapılan öğütme ile elde edilen kuvars ilavesinin porselen karo yapısındaki mikro yapısı incelendiğinde, küçük tane boyutundaki kuvars mikro yapıda daha az gözenekli ve düzgün bir yapı elde edilmesini sağlarken, büyük tane boyutundaki kuvars ise mikro yapıda gözenekler ve heterojen bir yapı oluşumuna sebep olmaktadır (Paganelli ve Sighinolfi 2009).

Isıl işlem sürecinde gözenekliliğin giderek azalması, camsı faz miktarının artışıyla vitrifikasyon meydana gelir. Vitrifikasyon aralığı, bir seramik malzemenin ergimeye başladığı sıcaklık ile seramiğin ergiyerek deforme olmaya başladığı sıcaklık arasındaki sıcaklık aralığıdır (Faieta-Boada 1993). Deformasyon olmadan maksimum yoğunluk veya sıfır gözeneklilik elde edildiğinde vitrifikasyonun tamamlanmış olduğu kabul edilir.

Porselen karo teknik özelliklerinden bir diğeri olan piroplastik deformasyon, karonun pişmesi sırasında yapısında oluşan sıvı faz nedeniyle oluşan bükülme ve kendi ağırlığını taşıyabilme kapasitesi olarak tanımlanabilir. Hammadde ve reçete kompozisyonları sinterleme sürecindeki şekillendirilmiş karoların piroplastik özelliğini etkilemektedir (Bernardin 2006; Sanchez 2019; Melchiades 2012).

Yoğunluk porselen karoların önemli bir teknik özelliğidir. Porselen karoların yüksek ham yoğunluğa sahip olması istenmektedir. Özellikle porselen karo parlatma işlemleri esnasında minimum gözeneklilik ile parlatma sonrasında yüzeyde oluşabilecek hataları (kırılma ve çatlama gibi) azaltacaktır (Griggs, vd.,

1996). Şekillendirme sonrasındaki yüksek paketleme yoğunluğu ve homojen gözeneklilik sinterleme sürecinin kısalmasını sağlamaktadır (Orts, vd., 1993). Böylece pişme sonrasında su emme oranı neredeyse sıfır olan bünyeler elde edilmiş olur.

Ayrıca beyazlığı yüksek, yarı saydamlığa sahip, dekoratif olarak kaliteli, gaz ve sıvıları geçirmeme özelliği olan, sertliği yüksek, ısıya karşı mukavim, mekanik mukavemeti yüksek, termal şoka dayanıklı ve asidik ortamlara karşı yüksek korozif direnç gösteren bünye özellikleri diğer üstün teknik özelliklerdir (Anonim, 2002; Raimondo, vd., 2009).

4. Porselen Karo Üretiminde Kil Kullanımı

Oksitler, organik bileşenler ve amorf materyallerden oluşan killer, seramik porselen reçetesinde kristal fazı oluşturan, şekillendirme esnasında sahip olduğu plastiklik ile kuru mukavemeti arttıran, alüminasilikat esaslı hammaddelerdir ve pişme sonrasında üründe mukavemet sağlarlar. Ayrıca seramik karoların üretimindeki teknik performans ve estetik görünüm açısından ürün kalitesinde artışa neden olmaktadırlar. Porselen karo üretiminde reçete hazırlamada tercih edilen killerin, özellikle seramik yer ve duvar karo üretiminde tercih edilen killere göre, safsızlık oranı ve incelik oranının oldukça az olması, bu ürünlerin dayanıklılığını artırmaktadır.

Porselen karo üretimine uygun killer özellikle şekillendirme sürecindeki etkisinden dolayı, sahip olduğu plastiklik özelliğine, kimyasal ve mineralojik özelliğine göre tercih edilir (Galos 2011; Almeida 2021; Sanchez 2019). İçeriklerindeki feldispatik yapıya bağlı olarak reçetede oluşan sıvı fazın ve müllit kristallerinin oluşumuna, %2' den %8' e kadar değişen orandaki kapalı gözenek oluşumuna, şekillendirme sonrasındaki 8-20 mm arasındaki kalınlık aralığını etkiler. (Biffi 1999; Eren Gultekin 2019). Porselen karo üretmek için yeterli özelliklere sahip plastik kil rezervinde dünya çapında bir azalma vardır. Dünya üzerindeki tahmini toplam 15 milyar ton kaolinin %95' i dört ülkeden temin edildiği ve bu ülkelerin sırasıyla ABD (%53), Brezilya (%28), Ukrayna (%7) ve Hindistan (%7) olduğu belirtilmektedir (Norton 1994).

Porselen karo reçeteleri için kullanılan kil ve kaolen grubu hammaddeler, ülkemizde genellikle bünye içerisinde kullanılmaktadır. Standart özelliklere sahip olan bu hammaddeler genellikle, yurtdışından gelmektedir. Bu durum ise ülkemizin tüm dünya' daki rekabetçiliğini azaltmaktadır. İthalat yolu ile temin edilen kil kaolen hammaddelerinin reçete kompozisyonundaki oranını azaltmak, yurt içinde rezervleri bulunan ve kil kaolen yapısına benzer özellikleri

sağlayabilecek olan hammaddelerin özelliklerini araştırmak, uygun koşullarda olanların özelliklerinin iyileştirme çalışmalarının yapılması gibi çalışmalar hem mühendislik maliyetleri hem de ithalat ve ihracat maliyetleri açısından avantaj sağlar. Seramik ve vitrifiye sektöründe bazı Ar-Ge çalışmalarının konusunu oluşturan pirofillit hammaddesi alternatif bir yerli kil hammaddesidir.

5. Pirofillit Hammaddesi ve Özellikleri

Ülkemiz yüksek miktarda pirofillit ($Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$) hammaddesi rezervine sahiptir. Bu hammaddenin jeolojik oluşum özellikleri ve teknik özellikleri, porselen karo üretim sektöründe kullanım olanakları ve sınırlılıkları literatür çalışmaları esas alınarak anlatılmıştır.

1797 yılında ilk olarak Mitsuishi (Japonya'nın Omotoyoma dağında bulunan) madeninde keşfedilen Pirofillit hammaddesi, 1829' da Hans Rudolph Hermann tarafından yapılan analizler ile alüminyum silikat esaslı bir mineral olarak tanımlanmıştır. Pirofillit ismi "pyro" ateş ve "phyllite" tabakalı kayaç anlamındaki Yunan esaslı sözcüklerden türetilmiştir (Mellor, 1927).

$Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$ formülüne sahip, beyaz, gri ve yeşilimsi gri renklerde bulunan, sertliği ve kristal yapısı ile talka benzetilen pirofillit hammaddesi, nadiren doğada saf olarak bulunsa da genel olarak kuvars, kaolen, diyaspor ve andalusit gibi mineraller ile birlikte bulunan hidrate olmuş alüminyum silikat esaslı bir mineraldir (Ağrılı, vd., 2001). Pirofillit hammaddesi farklı oranlardaki zirkon ilavesi ile birlikte refrakter tuğla ve blok üretiminde kullanılmaktadır. Ayrıca farklı sektörlerde üretime yardımcı malzeme olarak değerlendirilmektedir. Örneğin çimento, boya, yapıştırıcı, seramik, plastik vd. (Harben, 1999; Açıkalın, 1991).

Türkiye' de 20 milyon ton pirofillit rezerv Malatya bölgesindedir (Temur, 2001; Birinci, 2004). Fiziksel olarak talka benzeyen bir yapısı vardır. Ayrıca mika gibi yapraksı kristallere sahiptir. Filosilikatların veya yaprak silikatların bir üyesi olan pirofillitin, silikat katmanı-gibsit katmanı-silikat katmanı şeklinde bir dizilimi vardır (Das, vd., 2009). Şekil 2' de pirofillitin kristal yapısı ve üç farklı makro örneği verilmiştir.



Şekil 2. Pirofillitin kristal yapısı ve makro örnekler

880 °C' de dehidroksilasyonunu tamamlayan, 1100 °C' de ise amorf SiO_2 ve müllit oluşumuna başlayan pirofillit, 1120 °C üzerinde kristobalit şeklinde kristalleşir ve müllit oluşumu başlar. Müllitleşme reaksiyonu 1400-1500 °C' ye kadar sürmekte ve sertlik de 1-2' den 7-8' e yükselmektedir (Cornish, 1983). Pirofillit ateşe dayanıklı bir hammadde olup, ergime sıcaklığı 1600-1700 °C' dir (Uysal, vd., 2015).

Seramik sektöründe pirofillit kullanımı pişme sıcaklığını azaltmakta, şekillendirme esnasında nem oranının azalmasını sağlayarak kuru mukavemet iyileşmesi, küçülme kontrolü gibi etkiler sağlamaktadır (Mutlu, vd., 2007). Ayrıca ısıl genleşmeyi düşürmesi, termal genleşmeyi azaltması, yüksek ısı iletkenliği sağlaması seramik ürünlere sağladığı avantajlarıdır (Cornish, 1983; Bhasin, vd., 2003).

6. Pirofillit Üzerine Yapılmış Araştırma ve Çalışmalar

Kristal yapıdaki pirofillit hammaddesi seramik sektöründe reçete içerisinde feldispat yerine kullanılmaktadır. Bu hammaddenin kullanımı seramik çatlak hatasının azalmasına, ani sıcaklık değişimlerine karşı dayanıklılığa sebep olmaktadır (Mutlu, H. (2020).

Yapılan çalışmalarda, pirofillitin vitrifiye ve sır bünyesine ilavesi tüm fiziksel özelliklerini iyileştirirken pişmiş üründe toplam küçülme değerlerinde bir azalmaya sebep olmuştur (Mutlu ve Erdemoğlu, 2005). Pirofillitin çimentoda kullanımı çok yüksek beyazlık özelliği gösteren çimento üretilebilmesine imkân vermiştir (Uygun ve Solakoğlu (Uygun, vd., 2002). Pirofillitin; yüksek alan şiddetli yaş manyetik ayırma ve flotasyon yöntemiyle yapılan zenginleştirme çalışmaları sonucunda massede beyazlama özelliğinin arttığı, termal genleşme katsayısının kontrol altına alındığı ve massede zirkon ve alümina yerine pirofillitin kullanılabilirliği gösterilmiştir (Erdem ve Bingöl, 1997; Erdem, vd., 2004).

Pirofillitin stoneware reçetesindeki kaolenin yerine farklı oranlarda alternatif olarak kullanılması ile pirofillit artışına bağlı olarak yaş mukavemeti arttırdığı, sıcaklık ve pirofillit oranı arttıkça görünür porozitenin azaldığı ve beyazlık (L) değerinin arttığı görülmüştür. Pirofillit oranına bağlı olarak ayrıca, termal genleşme ve deformasyonun azaldığı, buna bağlı olarak kılcal çatlak oluşumunu azalttığını göstermişlerdir (Ergöz ve Ay (Ergöz, vd., 2007).

Pirofillitin vitrifiye bünyede kullanımının araştırıldığı tez çalışmasında ise pirofillitin kuvars ile kaolenin yerine alternatif olabileceği XRD analizleri ile gösterilmiştir. (Yılmaz (Yılmaz, 2007). Pirofillit hammaddesinin hazırlanan döküm çamurlarında katkı olarak kullanılmasının mümkün olup olamayacağı

araştırılmış ve yüksek silis içeriğinden dolayı pirofillitin, kuvarsa ve kimyasal bileşim bakımından benzer olduğu kaolene alternatif olabileceği yapılan deneysel çalışmalar ile gösterilmiştir.

7. Sonuç

Türkiye' de rezervi bulunan, geniş yelpazede bir kullanım oranına sahip pirofillit hammaddesi, farklı araştırmaların konusunu oluşturmaktadır. Seramik sektöründe kil, kuvars ve feldispat üçlü ana hammaddelerinin reçete içerisindeki etkilerine benzeyen bir özellik göstermesi, alternatif yerli kil hammaddesi olarak araştırmalarda yer alması, özelliklerinin iyileştirilmesi için zenginleştirme çalışmalarının yapılması ve elde edilen Ar-Ge verileri ile üretimde katma değer oluşturacak şekilde kullanım alanı bulması önemlidir. Farklı seramik çeşitlerinde (yer, duvar, porselen karo, vitrifiye bünye, stoneware bünye, düşük sıcaklık bünyeler, sanatsal bünyeler, tuğla kiremit, çimento, refrakter gibi alanlarda), seramik sır reçetelerinde kullanım olanakları araştırmalar ile çeşitlendirilebilir.

Kaynakça

Açıkalın, N., (1991), Dünya'da ve Türkiye'de Pirofillit, MTA Genel Müdürlüğü Fizibilite Etütleri Dairesi, Ankara, 1-22.

Almeida, E.P., Carreiro, M.E.A., Rodrigues, A.M., Ferreira, H.S., Santana, L.N.L., Menezes, R.R., Neves, G.A., (2021), A new eco-friendly mass formulation based on industrial mining residues for the manufacture of ceramic tiles, Ceram. Int., 47 (8) pp. 11340-11348.

Anonim, (2002), Applied ceramic technology, SACMI IMOLA, Italy.

Anonim (2008), T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Dokuzuncu Kalkınma Planı 2007-2013, Taş ve toprağa dayalı sanayiler özel ihtisas komisyonu raporu, Cilt 2, Ankara

Becker, C.R., Misture, S.T., ve Carty, W.M., (2000), The role of flux choice in triaxial whiteware bodies, Ceramic Engineering and Science Proceedings, 21, 15-29.

Bernardin, A. M. Medeiros, D. S., Riella, H. G., (2006), Pyroplasticity in porcelain tiles, Mater. Sci. Eng. 427 (1–2) 316 –319.

Biffi, G., (1999), Porcelain Stoneware: Production Manual and Methods of Use, Tecnica Ceramica, Faenza (Gruppo Editoriale).

Birinci M. ve Sarıkaya M., (2004), Pirofillit Cevherinin Aşındırmalı Yıkama Yöntemi ile Zenginleştirilme Olanakları, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 69-70.

Bhasin, S.S., Amritphale, S., Chandra, N., (2003), Effect of pyrophyllite additions on sintering characteristics of fly ash based ceramic wall tiles, British Ceramics Tranactions, 102(2), 83-86.

Bozkaya, Ö., Yalçın H. ve Başıbüyük, Z., (2003), Pütürge (Malatya) Bölgesindeki Distenli Sulu Al- Silikat (Pirofillit-Kaolin) Yataklarının Minerolojisi ve Petrografisi, XI. Ulusal Kil Sempozyumu, İzmir, s 47-58.

Bresciani, A., Spinelli, B., (2012), Porcelain tile pyroplastic deformation during firing and post - firing variations of planarity, CFI Ceramic Forum International 89 (6–7) E41 –E45.

Brasileiro, C. T., Conte, S., Contartesi, F., Melchiades, F. G., Zanelli, C., Dondi, M., & Boschi, A. O. (2021), Effect of strong mineral fluxes on sintering of porcelain stoneware tiles, Journal of the European Ceramic Society, 41(11), 5755-5767.

Ciullo, P.A. (Ed.) (1996), Industrial Minerals and Their Uses: A Handbook and Formulary, Noyes Publication.

Cornish, B.E., (1983), Pyrophyllite in Industrial Minerals and Rocks, Volume 2, AIME, Newyork.

Das, B., & Mohanty, J.K., (2009), Mineralogical Characterization and Beneficiation Studies of Pyrophyllite from Orissa, India, Journal of Minerals & Materials Characterization & Engineering, s. 329-338.

DPT, (2000), T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı, Doğu Anadolu Projesi (Malatya Yöresi Sağlık Gereçleri Fabrikası) ön fizibilite çalışması, Ankara.

DPT, (2001), Sekizinci beş yıllık kalkınma planı madencilik sektörü sanayi hammaddeleri özel ihtisas komisyonu, endüstri mineralleri alt komisyonu raporu, Yayın No:D.P.T. 2611, O.İ.K, 622, Ankara.

Elmaghraby, M.S., Ismail, A.I.M., Ghabrial, D.S., & Abd El-Shakour Z. A. (2020), Effect of Nepheline Syenite Additives on the Technological Behavior of Ceramics and Porcelain Stoneware Tiles, Silicon 12, 1125–1136.

Erdem, E., Bingöl, A., (1997), Pütürge (Malatya) masifindeki gnaysların petrografik ve petrolojik özellikleri, Selçuk Üniv. Müh. Mim. Fak. 20. Yıl Jeol. Semp. Bild., s 217–227.

Erdemoğlu, M., (2007), "Zeta potential of pyrophyllite in aqueous solutions of alkaline and alkaline earth metal cations and low-molecular-weight organic anions", Journal of Dispersion Science and Technology, 28 (5), 689-695.

Ergöz, F., Ay, N., (2007), The Effect of Pyrophyllite in Earthenware Body, Anadolu University, Dept. of Materials Science & Engineering, Eskisehir, Turkey.

Faieta-Boada, S.M., McColm, I.J., (1993), Preliminary analysis of the thermal behavior of an industrially used Ecuadorian clay, Appl. Clay Sci. 8, 215–230.

Galos, K., (2011), Influence of mineralogical composition of applied ball clays on properties of porcelain tiles Ceram. Int., 37 (3) pp. 851-861.

Giacomini, P., (2008), World production and consumption of ceramic tiles, Ceramic World Review, N. 78, Ağustos-Ekim, 56-74.

Gultekin E. E., (2019), Investigating the effects of heating rate and sintering temperature on the water absorption, open and total porosities of porcelain tiles via experimental design method, NOHU J. Eng. Sci. 8, 538–548.

Güngör, F., & Ay, N. (2018), The effect of particle size of body components on the processing parameters of semi-transparent porcelain, Ceramics International, 44(9), 10611-10620.

Gürlesel, C. F., (2017), Seramik Sektörü Makro Pazar Araştırması Ekonomi ve Strateji Danışmanlık Hizmetleri.

Griggs, J.A., Thompson, J.Y. ve Anusavice, K.J., (1996), "Effects of flaw size and auto-glaze treatment on porcelain strength", J. Dent. Res., 75, 1414-1417.

Harben, P.W., (1999), The Industrial Minerals Handybook, 3. Edit, Londra, s. 296.

Kalkınma Bakanlığı (2015), Onuncu Kalkınma Planı (2014-2018), Seramik Çalışma Grubu Raporu. 1-138.

Kara, A., Kayacı, K., Küçüker, A.S., Bozkurt, V., Uçbaş, Y. ve Özdaman, Ş., (2009), "Use of rhyolite as flux in porcelain tile production", Industrial Ceramics, 29, 71-81.

Kayacı, K., Köstebekçi, N., Küçüker, A.S., Uzun, M. ve Kara, A., (2009), "Mermer kesim ve frit atıklarının porselen karo bünyelerinde beraber kullanımı", Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi, 1-8.

Martín-Márquez, J., Rincón, J.M. ve Romero, M., (2008), "Effect of firing temperature on sintering of porcelain stoneware tiles", Ceramics International, 34, 1867-1873.

Melchiades, F. G., dos Santos, L. R., Nastri, S., Boschi, A. O., (2012), Glazed porcelain tiles produced by the dry route: fluxing raw materials, Bol. Soc. Espanola Ceram. Vidr. 51 (2) 133 –138.

Melchiades, F. C., Dos Santos, L. R., Nastri, S., Boschi, A. O., (2012), Alternatives in the body composition of porcelain tiles produced by the dry route, CFI Ceramic Forum International 89 (1) E39 –E43.

Montoya, N., Serrano, F. J., Reventós, M. M., Amigo, J. M., & Alarcón, J., (2010), Effect of TiO_2 on the mullite formation and mechanical properties of alumina porcelain, Journal of the European Ceramic Society, 30(4), 839-846.

Mutlu, H. (2020). Seramik Sırlarında Pirofillit Kullanımı. İnönü Üniversitesi Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi, 9(2), 555-563.

Norton, G.A., (1994), The determination of quartz using differential scanning calorimetry, Thermochim. Acta. 237, 295–304.

Orts, M.J., Amoros, J.L., Escardino, A. ve Gozalbo, A. (1993), "Kinetic model for the isothermal sintering low porosity floor tiles", Applied Clay Science, 8, 231-245.

Paganelli, M. ve Sighinolfi, D., (2009), "Effect of quartz particle size on porcelain stoneware sintering by means of optical dilatometry", cfi/Ber. DKG, 86, 41-45.

Perez-Maqueda, L. A., Franco, F., Perez-Rodriguez, J. L., (2004), Comparative Study of the Sonication Effect on the Thermal Behaviour of 1:1 and 2:1 Aluminium Phyllosilicate Clays, Journal of the European Ceramic Society 25, 1463–1470

Raimondo, M., Zanelli, C., Guarini, G., Dondi, M., Fabbroni, R. ve Cortesi, T., (2009), "Process of pyroplastic shaping for special-purpose porcelain stonewaare tiles", Ceramics International, 35, 1975-1984.

Sánchez, E., Sanz, V., Cañas, E., Sales, J., Kayacı, K., Taşkıran, M.U., Anıl E. Ü., Türk, Ş., (2019), Revisiting pyroplastic deformation, Application for porcelain stoneware tile bodies, J. Eur. Ceram. Soc., 39 (2–3) pp. 601-609.

Scharrer, J.F. ve Geol, J., (1950), 58, No.5, 514.

Tarhan, B., & Tarhan, M., (2021), Utilization of perlite as an alternative raw material in the production of ceramic sanitaryware, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 1-10.

Tarhan, M., (2010), Porselen karo bünyelerinde sinterleme hızı-kompozisyon ilişkileri. Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 230 s.

Temur, S., (2001), Endüstriyel Hammaddeler, Çizgi Kitapevi Yayınları, Yayın No:34, Konya.

Uygun, A. ve Solakoğlu, E. (2002). Malatya Pütürge Masifindeki Pirofillit Yataklarının Jeolojisi ve Kökeni. M.T.A., 123-124

Yazgan, E., Asutay, J., Gültekin C. M., Poyraz, N., Sirel, E., Yildirim, H., (1987), Malatya Güneydoğusunun Jeolojisi ve Doğu Torosların Jeodinamik Evrimi MTA Raporu, Rapor No: 8272 (Yayımlanmamış).

Yılmaz, R., (2007), Malatya Yöresi Pirofillitinin Karakterizasyonu ve Vitrifiye Bünyede Kullanımının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.

BÖLÜM X

RÜZGÂR TÜRBİNİ VE KULLANIMI

Wind Turbine and Utilization

MUZAFFER ATEŞ[1] & YÜKSEL ASLAN[2]

[1](Prof. Dr.), Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Van Yüzüncü Yıl University, 65080, Van, Turkey
E-mail: ates.muzaffer65@gmail.com.
ORCID: 0000-0002-4394-0815

[2](M.Sc.), Department of Electrical and Electronics Engineering, Faculty of Engineering, Van Yüzüncü Yıl University, 65080, Van, Turkey
E-mail: aslanyuksel662@gmail.com

1. Giriş

Güneş rüzgârdan elde edilen enerjinin ana kaynağı olarak bilinmektedir. Dünya etrafındaki sıcaklığı güneş sağladığından bir kısım alanların daha fazla, bir kısım alanların daha az ısınmasına sebebiyet vermektedir. Havanın ısınmasıyla oluşan alçak basınç, havanın soğuması ile de yüksek basınç alanları oluşur. Yüksek basınçtan alçak basınç kısmı yönünde oluşan akıma rüzgar adı verilir.

Rüzgar çeşitleri alçak ve yüksek basınç alanların ortaya çıkması sonucu oluşmaktadır. Hava hareketinin şiddetine bağlı olarak, rüzgarlar hız açısından çeşitli seviyelerde olabilir; en hafif esintilerden fırtınalara ve daha da güçlü kasırga koşullarına kadar değişebilir. Rüzgârın hızı, rüzgarın etkisiyle dönen anemometre pervanesinin devir sayılarıyla ölçülür ve bu da rüzgarın şiddetini belirlememize yardımcı olur. Rüzgâr enerjisi yenilenebilir, sürekli, kullanılabilir ve yeşil enerji olarak isimlendirilen doğaya elverişli ve süreklik arz eden bir enerji kaynağıdır. Rüzgâr ölçüm cihazları en az 1(bir) sene öncesinden kurulumu yapılması için maksimum değer veren yerlere konumlandırılır.

Rüzgâr enerjisinin bazı özellikleri şu şekilde sıralanır.

1. Az yer kaplarlar.
2. Çevre üzerindeki olumsuz etkisi en düşük seviyededir.
3. Dağlık ücra alanlarda elektrik şebekesi olmayan meskûn mahal bölgelere elektrik sağlar.
4. İşletme maliyeti düşüktür.
5. Yerel ekonomiye katkı sağlar.

Rüzgar enerjisi, Dünya üzerindeki rüzgar hareketlerinden elde edilen potansiyel bir enerji kaynağıdır. Bu rüzgarlar, güneş yüzeyini farklı ısıtarak atmosferde basınç farklılıkları oluşturmasıyla ortaya çıkar. Hava kütleleri, alçak basınçlı bölgelerden yüksek basınçlı bölgelere doğru hareket ederek mekanik enerji taşır. Bu mekanik enerji, rüzgar türbinleri aracılığıyla elektrik enerjisine dönüştürülerek kullanılır. Rüzgar türbinleri genellikle rüzgarın etkisiyle dönen kanatlarla mekanik enerji üretir ve jeneratörler sayesinde bu enerji elektrik enerjisine dönüştürülür. Açığa çıkan elektrik enerjisi, elektrik dağıtım veya iletim şebekelerine entegre edilerek tüketiciye ulaştırılır. Rüzgar enerjisi, doğaya ve sürekliliğe elverişli bir enerji kaynağı olduğu kabul görülmektedir. Fosil yakıtların aksine, rüzgar enerjisi atmosferde doğal olarak mevcut olan rüzgar hareketlerinden elde edildiği için sıfır emisyon salınımı sağlar. Ayrıca, rüzgar enerjisi üretim tesisleri genellikle çevreye minimum düzeyde etki yapar ve enerji bağımsızlığını artırabilir. Dünya genelinde birçok ülke, elektrik üretimi için rüzgar enerjisini önemli bir kaynak olarak kullanmakta ve bu teknolojiyi sürekli olarak geliştirmektedir. Ancak, rüzgarın değişken doğası ve enerji depolama zorlukları gibi teknik ve ekonomik engeller bulunmaktadır. Bu nedenle, rüzgar enerjisi projeleri genellikle uygun rüzgar rejimlerinin bulunduğu bölgelerde planlanır ve uygulanır.

2. Türbin Gücü ile Tehlikeli Bölgeleri

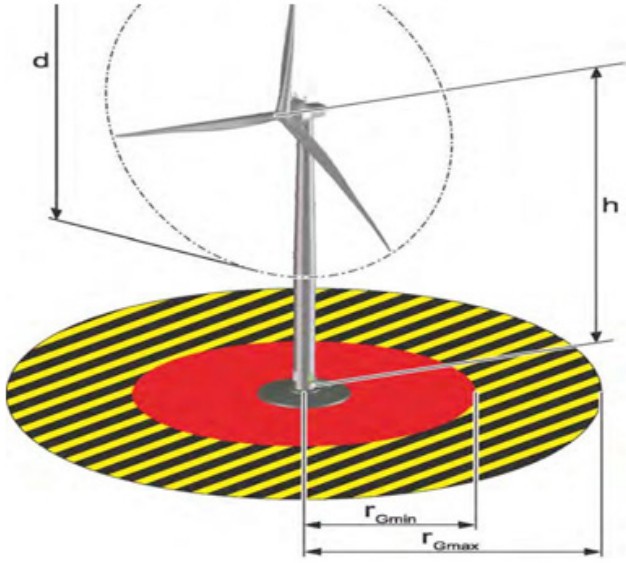
Rüzgâr enerjisinden yararlanmanın iki temel yöntemi vardır. Birincisi, rüzgâr enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürülmesidir; diğeri ise elektrik enerjisine dönüştürülmesidir. Rüzgâr enerjisini elektrik enerjisine çevirmek içinse genellikle türbinler kullanılır. Rüzgâr türbinleri, rüzgârdan aldıkları enerjiyi mekanik güce dönüştürür ve ardından bu gücü jeneratörler aracılığıyla elektrik enerjisine çevirirler. Bu süreç, rüzgâr enerjisinin elektrik şebekelerine entegre edilerek kullanılmasını sağlar.

Rüzgârın avantajları, yerel konum faktörlerine ve dünya yüzeyinin heterojen şekilde sıcaklığa bağlı zaman ve mekânda değişkenlik ortaya çıkarır. Rüzgârın hızı ve yönü, bu değişkenliklerin ana parametreleridir. Rüzgâr hızı genellikle yükseklik arttıkça çoğalır ve güç potansiyeli, rüzgâr hızının üçüncü kuvveti ile aynı oranda artar.

Rüzgâr enerjisinden kaynaklanan elektrik üretimi uygulamaları, bazı dezavantajlara sahip olmasına rağmen genel olarak çeşitli avantajlara da sahiptir. İlk yatırım maliyeti genellikle yüksektir ve kapasite faktörleri düşük olabilir; ayrıca enerji üretimi de değişken olabilir. Ancak rüzgâr enerjisinin üstünlükleri de önemlidir: yenilenebilir bir kaynak olması, sıfır emisyon salınımı, enerji bağımsızlığını artırma potansiyeli, sürdürülebilirlik ve çevresel etkilerin azalması gibi faktörler bu enerji türünü cazip kılar.

Sonuç olarak, rüzgâr enerjisi, dünyanın farklı bölgelerindeki farklılık gösteren rüzgâr rejimlerini kullanarak elektrik üretiminde önemli bir rol oynayabilir, ancak teknolojik ve ekonomik zorluklar da göz önünde bulundurulmalıdır. Rüzgârın taşıdığı enerji miktarı, rüzgâr hızına bağlı olarak değişir. Rüzgâr türbinleri, genellikle eksenlerinin konumlandırılmasına göre iki ana tipe ayrılır: yatay eksenli ve dikey eksenli rüzgâr türbinleri, iki türbin türünden de oluşacak en yüksek güç, çeşitli temel teoremlerle bulunabilmektedir.

Betz yasası, hava akışının türbine doğru yavaşladığı ve enerjinin bir kısmının türbinden çekildiği noktada geçerlidir. Bu yasa, rüzgâr hızının düşürülmesiyle birlikte hava akışının daha geniş bir alana dağılması gerektiğini ortaya koyar. Eğer rüzgâr, türbinin çıkışında durursa, ilave rüzgâr, engellendiği için türbine giremez. Bu nedenle, rüzgâr türbinlerinin yerleştirilmesi ve tasarımı, Betz yasasının prensiplerini dikkate alarak yapılır. Bu yasaların anlaşılması, rüzgâr enerjisi tesislerinin verimliliğini ve güç üretimini optimize etmede önemli bir rol oynar. Yatay eksenli türbinlerin maksimum gücü, Betz teoremi ile hesaplanır. Bu teorem, yatay eksenli türbinlerin ideal güç dönüşüm cihazları olarak kabul edilmesini sağlar. Betz teoremi, türbinin rotoru tarafından süpürülen alanın tamamının ve aradaki rüzgâr hızının (eksen boyunca) homojen olduğunu varsayar. Kanat sayısı ve kaldırma kuvvetinin direnci gibi faktörler bazı temel kabullerle hesaplanır. Rüzgâr türbinlerinde, girişteki ve çıkıştaki kütle akışı sabittir ve kanatlar arasındaki hava akışı boyunca homojen kabul edilir. Bu özellikler, türbinin verimliliği ve güç üretimi potansiyelini belirlemede önemli rol oynar. Türbin dışındaki tehlikeli bölgeleri dikkat çekecek olursak.



Şekil 1. Türbin kanatları ve türbinde tehlikeli bölgeler

h Göbek irtifası

d Rotor çapı

rGmin Minimum tehlike bölgesi yarıçapı = 0,5 x d

rGmaks Maksimum tehlike bölgesi yarıçapı =1,5x (h + d)

Rüzgâr enerjisi türbininin dışındaki tehlike bölgesi, diğer bazı faktörlerin yanı sıra, rüzgâr hızına ve rotor hızına bağlıdır. Bu nedenle tehlike bölgesinin büyüklüğü duruma bağlı olarak değişir.

Rüzgâr enerjisi türbininin minimum tehlike bölgesi Gmin, kulenin merkezde bulunduğu bir yatay daire içinde yer alır. Bu dairenin yarıçapı, rotor çapından, şu formüle dayanarak hesaplanır:

rGmin = 0,5 x d.

Rüzgâr enerjisi türbininin maksimum tehlike bölgesi Gmaks, kulenin merkezde bulunduğu bir yatay daire içinde yer alır. Bu dairenin yarıçapı, aşağıdaki formüle dayanarak, rotor çapından ve göbek irtifasından hesaplanır:

rGmaks = 1,5 x (h + d).

Formül, parçaların (örn. buz parçaları) olası savrulma uzaklığı için tecrübelere dayalı değerleri gösterir.

İşletmeci/sahibi, kurulum yerine özel bir risk değerlendirmesi ile, kurulum yerine özel tehlike bölgesini belirlemelidir. Bu özellikle, olası bir buz atma riski

için geçerlidir. Özellikle, resmi makamların kuralları uyarınca, uyarı bilgileri levhaları koyma zorunluluğu doğabilir.

3. Rüzgar Türbinlerinin Oluşumu ve Bölgeleri

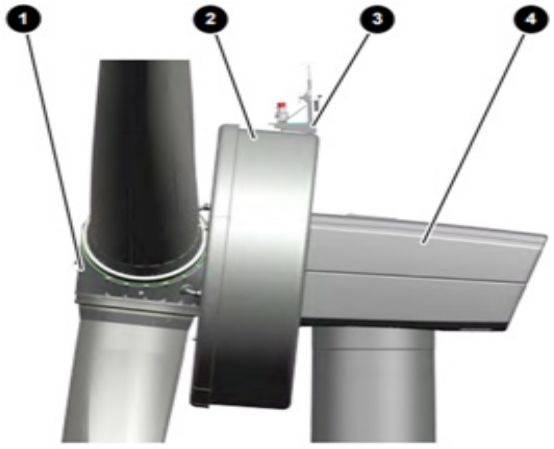
Rüzgâr türbinlerinin tarihinde, ilk olarak faaliyete geçen yel değirmenleri bulunmaktadır. Bu değirmenlerin kanatları, gemi yelkenlerine benzetilerek bezden yapılmıştı. Ancak yelkenli türbinlerin karşılaştığı önemli sorunlardan biri, rüzgârın farklı yönlere esmesi durumunda türbinin faaliyetini durdurmasıydı. Bu sorunu çözmek için, birden fazla kanatlı pervane türbinin arka kısmına eklenerek, rüzgarı farklı yönlere yönlendirmesi durumunda türbinin harekete geçmeye başlayacaktır. Rüzgâr enerjisi geçmişte odun kesimi, su pompalama ve kâğıt yapımı gibi birçok alanda kullanılmıştır. Yüzyıllar boyunca dünya çapında çeşitli enerji kaynakları kullanılmıştır. Rüzgâr enerjisi ayrıca gemilerin hareketinde de kullanılmıştır. 1920 yılları ve 1930 yıllarında Avustralya ve ABD'de rüzgâr gülü jeneratörleri üretilmiştir. Bu dönem, güçlü dizel motorlar ve buhar makineleri geliştirilene kadar rüzgâr enerjisinin kullanımına yönelik bir dönüm noktası olmuştur. Daha sonra dünya genelinde rüzgâr enerji sistemleri geliştirilmiş ve elektrik üretiminde önemli rol oynamaya başlamıştır. 1890 yılında Danimarka'da yapılan ilk elektrik üretiminde kullanılan rüzgâr türbini, o dönemde endüstriyel elektriğin %25'ini sağlıyordu (Freris, 1990). Amerika Birleşik Devletleri'nde ise 1947'de Grandpa's Knab bölgesinde önemli çalışmalar yapılarak rüzgâr enerjisinden elektrik elde edilmiş ve bu, fosil yakıtların alternatifi olarak 30 yıldan uzun süre kullanılmıştır. Bugün ise ABD'de yaklaşık olarak 1750 MW, Almanya'da da 2900 MW rüzgâr enerjisinden elektrik üretmektedir.

Rüzgâr türbinleri, yatay eksenli ve dikey eksenli olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Yatay eksenli türbinler genellikle bir kuleye monte edilir ve kanatlarının sayısı genellikle 3 veya 4'tür. Bu modern türbinlerin kanatları genellikle eğri bir şekle sahiptir ve uçak kanatlarına benzerlik gösterir. Rüzgâr, eğri kanatlı yüzeylere değerek rotoru harekete geçirir. Rotorun hareket etmesiyle birlikte paralel parça aracılığıyla jeneratör çalıştırılır böylelikle elektrik enerjisi üretilir.

Türbin kanatları, kolayca dönebilmeleri için yeterince hafif (tahta, metal, çelik, fiberglas ve karbonfiber) ancak dayanıklı olmalıdır. Bu nedenle çeşitli materyaller kullanılarak üretilir. Günümüzdeki rüzgâr türbinleri uzaktan kontrollü sistemler sayesinde yönetilebilirler. Rüzgâr hızı değiştiğinde, türbin kanatlarının açıları ayarlanarak türbinin performansı optimize edilebilir. Yüksek hızlarda türbinin dönüşü çok hızlı olursa, otomatik fren sistemleri

devreye girerek kanatların kırılma riskini azaltır ve türbinin güvenli bir şekilde çalışmasını sağlar. Bu frenleme sistemleri, kanatların rüzgâr etkisi olmadan durmasını sağlamak için kanatların konum açılarını değiştirir.

Rüzgâr türbinin de ana bileşen rotor diye adlandırılan parçadır. Rotorun tasarımında, kanatların aerodinamik performansı dikkate alınır, kanat açıları belirlenir ve malzeme gerilmesine dayalı olarak kanatların yapısı planlanır. Bir türbinin düzeni ve işleyişi, rüzgâr hızına bağlı olarak belirlenir ve türbinin amacına göre ayarlanır. Rüzgâr türbininin seçimi, rüzgâr hızı ile pervanenin kanat uç hızı arasındaki ilişkiye dayanarak yapılır. Yüksek rüzgâr hızlarında genellikle iki veya üç kanatlı türbinler tercih edilirken, düşük rüzgâr hızlarında su pompalama gibi uygulamalar için daha fazla kanatlı türbinler seçilir.



Şekil 2. Türbin Bölümleri gösterimi

1-Rotor kafası: Rotor kafası, rotor kanatları ve jeneratör rotoru olmadan rüzgâr enerjisi türbininin dönen parçasıdır.

2-Jeneratör: Jeneratör çok kutuplu, harici uyartımlı bir senkron jeneratördür. Jeneratör içinde rüzgâr enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülür. Jeneratör, jeneratör statorundan ve jeneratör rotorundan oluşur.

3-Çatı modülü: Çatı modülü duruş alanı olarak ve örneğin uçak ikaz lambaları, görüş ölçer ve rüzgâr ölçüm cihazı gibi makine dairesi çatısına monte edilmiş olan bileşenler için taşıyıcı olarak kullanılır.

4-Nasel: Makine dairesinin sabit bileşenlerinin büyük bir kısmını içerir

Pratiğinde, türbinin pervane kanat miktarı çoğunlukla pervane kanadının hızı U_0 ile akışa rüzgâr hızı $\lambda_0 = \frac{U_0}{V}$ arasındaki oranla belirlenir. Oran genelde "λ_0" olarak ifade edilir. Pervane kanat sayısı, bu oranın değerine göre seçilir.

$\lambda_0 = 1$ ise rotor kanat sayısı 8 - 24

$\lambda_0 = 2$ ise rotor kanat sayısı 6 - 12

$\lambda_0 = 3$ ise rotor kanat sayısı 3 - 6

$\lambda_0 = 4$ ise rotor kanat sayısı 2 - 4

$\lambda_0 = 5$ ise rotor kanat sayısı 2 - 3 arasında seçilir.

Rotor çapı (D), genellikle elektrik gücü üretim kapasitesi (P) ile rüzgâr hızının üçüncü kuvveti (V^3) arasındaki ilişkiye dayanarak belirlenir. Yavaş çalışan rüzgâr türbinleri için kullanılan bir formülde, güç (P) çapın karesinin (D^2) ve rüzgâr hızının üçüncü kuvvetinin (V^3) çarpımı olarak ifade edilir. Hızlı çalışan türbinler için ise benzer bir formül kullanılır, ancak burada kullanılan katsayılar ve parametreler değişiklik gösterebilir.

4. Rüzgar Türbinlerinin Oluşumu ve Bölgeleri

Hızlı rüzgâr türbinleri, tipik olarak daha yüksek dönme hızlarına sahiptir ve aynı çaplı pervaneler daha yavaş çalışanlardan daha hızlı dönerler. Bu durum, kanat uç hızının rüzgâr hızına oranının yüksek olmasına ve dolayısıyla da kanat sayısının genellikle az olmasına neden olur. Çevresel hız rüzgâr hızının 10 katına kadar yükselebilir. Aynı çap ve rüzgâr hızına sahip yüksek hızlı türbinlerde, dönme momenti yavaş türbinlere göre daha azdır. Bir türbinin optimal performans gösterdiği durumda, $\lambda_0 = 6$ olur. Bu durumda, dönüş hızı $n = 115$ devir/dakika ve güç katsayısı $C_p = 0,4$ olarak hesaplanır. Testler sonucunda türbinlerin en yüksek gücünü belirlemede bu formülün kullanıldığını göstermektedir.

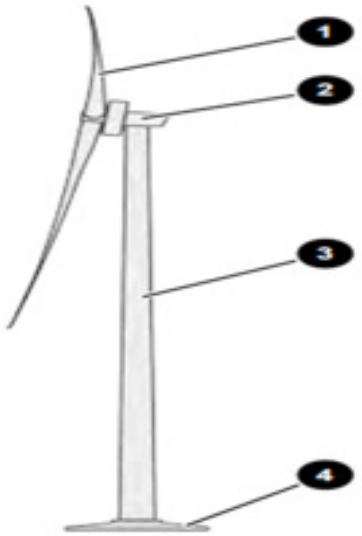
Formül $P_{\max} = 0,2D^2V^3$, burada $P_{\max}$ (Watt) gücü, D (m) rotor çapını ve V (m/s) rüzgâr hızını ifade eder. Ancak sadece bu formülü kullanarak rotor çıkış gücünü hesaplamak yeterli değildir; rüzgâr türbininin kurulumu için kanatların dönme ekseni ile kiriş uzunluğu arasındaki açıların da ayarlanması gereklidir. Benzeri problemlere yanıt bulmak amacıyla çeşitli teoriler öne sürülmüştür.

Hızlı rüzgâr türbinleri, yüksek dönme hızları nedeniyle genellikle 2 ila 3 kanatlı olarak tasarlanır ve bazen maksimum dört kanatlı olabilir. Son zamanlarda ise 3 kanatlı türbinlerin kullanımı daha yaygındır. Bu tür türbinler, aynı çapta olan daha yavaş türbinlere kıyasla genellikle daha ekonomiktir.

Rüzgâr gücünü artırmak ve rüzgârın yoğunluğunu artırmak için türbin kanatlarının önüne yönlendirici kanatlar da eklenebilir (Varol, 2001; Egglesteon, 1987). Türbinler durduğu süre zarfında, başlama sırasında itme kuvvetleri çalışma sırasında olduğundan daha küçük değerde ve başlama anındaki dönme momenti de düşüktür. Rotorun, düşük güçle başlaması önemlidir. Bu zorluk, kanatların eksene yakın konumlandırılması ve uygun bir çalıştırma açısı ile en aza indirilebilir. Hücum açısı, türbin çalışmaya başladığında ve rüzgâr hızı yükseldiğinde maksimum olmalıdır.

Rüzgâr türbinlerinin rotor hızı rüzgar hız dengesinin ve kanatların devinimi ile yakından ilgilidir, bu nedenle bu değerlerin optimal seçimi gereklidir. Tipik olarak, ortalama hız rüzgâr hızının kanat uç hızının oranının 5 ila 12 arasında olduğu aralığı içerir. Rotorun dönüş hızı, jeneratör için gerekli olan hızdan genellikle daha düşüktür. Rüzgâr türbininin önemli bileşenleri rotorun yanı sıra yapı bakımından bileşenler, devinimler elektrik sistemi ve kontrol etme sistemidir.

Rüzgâr türbinindeki bileşenler aşağıdaki gibidir.



Şekil 3. Türbin ana elemanları gösterimi.

1. Rotor kanadı
2. Makine dairesi
3. Kule
4. Temel

1. Rotor kanadı: Rüzgâr rotor kanatlarının etrafından eser ve bu şekilde hidrostatik kaldırma yaratır. Hidrostatik kaldırma rüzgâr enerjisi türbininin rotorunda dönme hareketi oluşturur.

2. Makine dairesi: Makine dairesi aktarma demeti ve çeşitli elektrik ve mekanik bileşenler içermekte ve rüzgâr enerjisi türbininin kulesinde bulunmaktadır.

3. Kule: Kule rüzgâr enerjisi türbininin makine dairesini ve rotor kanatlarını taşımakta ve çeşitli elektrik ve mekanik bileşenler içermektedir.

4. Temel: Temel, rüzgâr enerjisi türbininin taşıyıcı yapısının bir parçasıdır ve ortaya çıkan yükleri toprağa aktarır. Temel, çevresel koşullara ve kule tipine bağlı olarak sığ temelli veya derin temelli olarak gerçekleştirilebilir.

Kuyruk kanadı, genellikle 6 metre çapına kadar olan yavaş rüzgâr türbinlerinde kullanılır. Kuyruk kanadının rotorun dönme düzlemi ile aks oryantasyonu arasındaki mesafe, genellikle 4E olarak kabul edilir, burada E kuyruk kanadı merkezi ile oryantasyon arası mesafeyi ifade eder. Kuyruk kanadının rotor tarafından süpürülen yüzey alanı S ile ilişkisi, çok kanatlı türbinlerde A = 0.10S, iki ya da üç kanatlı türbin için ise A = 0.04S şeklindedir (El Chazly, 1993).

Eğer L, 4E' değeri ile eşit değil ise, gerekmekte olan kuyruk kanat alanı A belirtilen formüllerle hesaplanabilir: Çok kanatlı türbinler için A = 0.40S * (E/L), hızlı türbinler için ise A = 0.16S * (E/L).

Pratikte genellikle L ≈ 0.6D alınır. Yardımcı pervane, bir ya da iki adet şeklinde yapılarak genellikle ana türbin gövdesinin yan kısmına montaj edilir. Harekete yardım eden pervanelerin eksenleri, ana türbinlerin eksenlerine dik olarak konumlandırılır. Eğer ana türbin rüzgâra dönmüyorsa, yardımcı pervanelerden biri hareket ederek ana ekseni kavrar ve sonsuz vida çevrilir. Yardımcı rotor, rüzgâr rotorun eksenine dikey yöne ulaştığı zaman çalışmayı durdurur. Böylelikle yardımcı rüzgâr pervanesi kanatları, ana rüzgar türbinin çevresinde dönme eğilimi gösterecek şekilde gerçek rüzgar yönünde yerleştirilmelidir. Üst ve altında ana bir destekle kullanılan yardımcı rüzgâr pervanesi bu şekilde tanımlanabilir.

5. Rüzgar Türbinleri Bölümleri

Şekil 3'te belirtildiği üzere kanat bölümünü inceleyecek olursak.

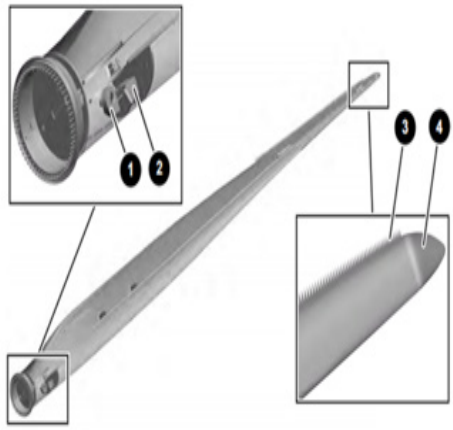


Şekil 4. Türbin rotor kanadı.

1. Rotor kanatları esnektir ve rüzgâr yükü bindiğinde arkaya doğru biraz bükülür. Rotor kanatlarının içi boştur ve içeride döşenmiş omurga ile sağlamlaştırılmışlardır.

2. Rotor kanatlarının yüzeyi kaplamalıdır. Kaplama kirlenmeye ve diğer çevre etkilerine karşı koruma sağlar. Yüzeyde, hava akımını optimize eden ve bu şekilde performans artışına ve daha az gürültü oluşumuna yol açan farklı komponentler takılıdır.

3. Rotor kanadı yansıtma yapmaz. Sivil hava güvenliği kurumlarının, askeri tesislerin ve meteoroloji hizmetlerinin radar sistemlerinde istenmeyen ekstra sinyallere yol açan, yıldırımsavar sisteminin yansıttığı elektromanyetik dalgalar en aza indirilmiştir.



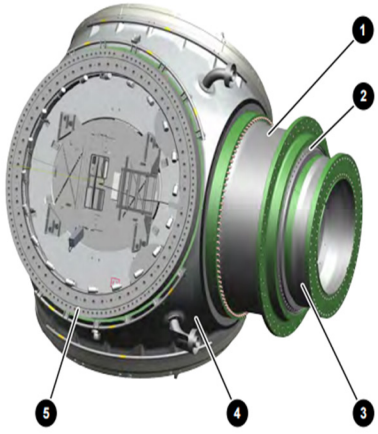
Şekil 5. Rotor kanadı içerisindeki bileşenler

1. Radyal fan: Radyal fan kanat ısıtma sisteminin bir parçasıdır. Radyal fan ısıtma elemanının ısıttığı havayı rotor kanadına sevk eder.

2. Isıtma elemanı: Isıtma elemanı kanat ısıtma sisteminin bir parçasıdır. Isıtma elemanı radyal fanın rotor kanadına sevk ettiği havayı ısıtır.

3. Arka kep tarağı: Trailing Edge Serration (TES) olarak da adlandırılan arka kep tarağı rotor kanadının arka kepindeki (tarafı) pürüzlü profilli çıtadır. Arka kep tarağı daha az gürültü oluşumu sağlar.

4. Tip: Tip kanat ucunun dik açılı bükülmüş parçasıdır. Tip akım optimizasyonu için ve yıldırımsavar sistemi için reseptör olarak kullanılır.



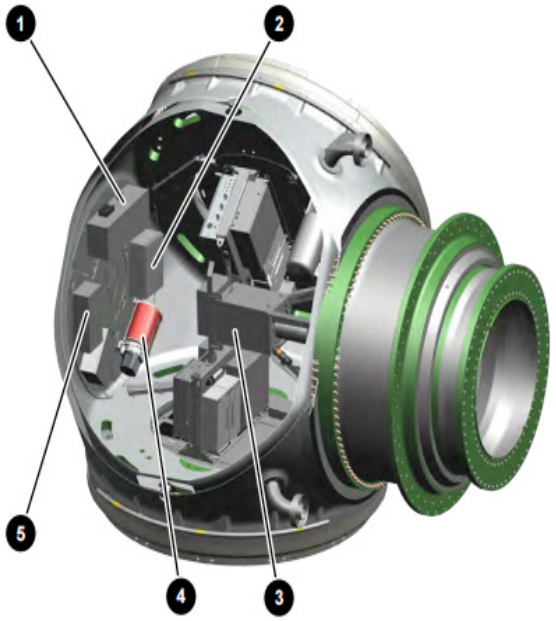
Şekil 6. Rotor kafası içerisindeki bileşenlerRotor taşıyıcısı: Rotor taşıyıcısı rotor göbeği ile jeneratör rotorunu bağlar. Rotor taşıyıcısı aks pinindeki rotor yatağı üzerinde döner.

1. Rotor yatağı: Rotor yatağı üzerinde rüzgâr enerjisi türbininin aks pinindeki dönen parçası döner.

2. Aks pini: Aks pini sabittir ve rüzgâr enerjisi türbininin dönen parçasının tamamını taşır. Dönen parça aks pininde döner.

3. Rotor göbeği: Rotor göbeği rotor ekseninin etrafında döner. Rotor kanatları rotor göbeğine sabitlenmiştir.

4. Kanat flanş yatağı: Kanat flanş yatakları rotor kanatları ile rotor göbeğini bağlar ve rotor kanatlarının kendi uzunlamasına eksenleri etrafında dönmesini sağlar.



Şekil 7. Rotor kafası içerisindeki bileşenler 2

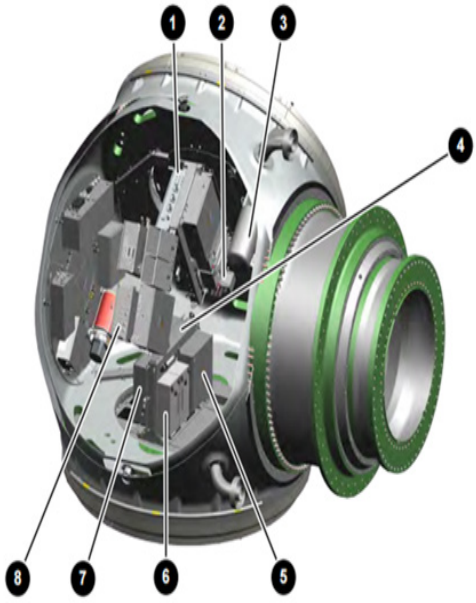
1. Kanat ısıtıcısı kontrol kabini/kutusu: Kanat ısıtma sisteminin kontrolü ve elektrik beslemesi için komponentleri içerir.

2. BladeVision göbek kabini: BladeVision sisteminin kameralarının enerji beslemesi ve korunması ve kamera verilerinin hesaplanması ve değerlendirilmesi için kullanılır.

3. Slip ring ünitesi: Sürtünen kontaklar üzerinden makine dairesinin sabit duran bölümü ile dönen bölümü arasında elektrik enerjisini ve verileri aktarır.

4. Rotor merkezi yağlama sistemi: Rotor kafası içinde yağlanacak çeşitli yerlere yağlama maddesi sağlar.

5. Buzlanma tespit sistemi kontrol kabini: Buz oluşumunun algılanması amacıyla veri toplama ve sensörlerin kontrolü için kullanılır.



Şekil 8. Rotor kafası içerisindeki bileşenler 3

1. Kanat güvenlik sistemi kabini: Güvenlik kontrol sistemi bileşenlerini içerir. Güvenlik kontrol sistemi örneğin hız izleme sistemi, kanat yükü sınırlaması, maksimum veya minimum kanat açısının aşılmasına karşı koruma ve rüzgâr enerjisi türbininin acil-stop fonksiyonu gibi güvenlik fonksiyonlarını izler.

2. Rotor aydınlatma alt dağıtım sistemi: Rotor kafası, rotor kanatları ve jeneratör rotoru alanındaki aydınlatma için alt dağıtım sistemi olarak kullanılır.

3. Kanat açısı kontrol sürücüsü: Bir hatve motoru ile kanat açısı ayarı dişli kutusundan oluşur. Kanat açısı kontrol sürücüleri, kanat açısını değiştirmek için rotor kanatlarını çevirir.

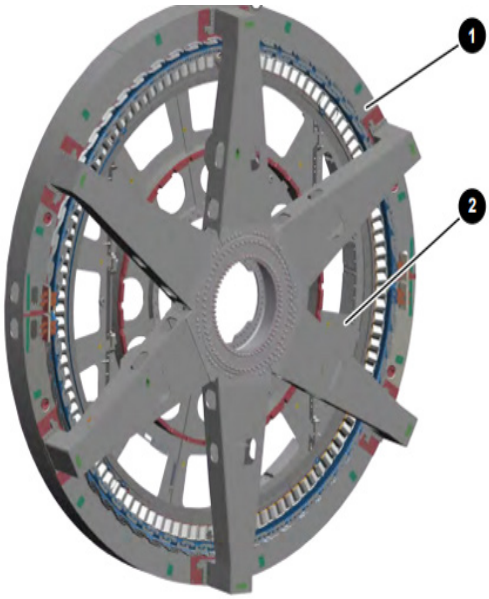
4. Kanat açı ayarı trafosu: Slip ring ünitesinden verilen gerilimi kanat açısı kontrol sürücülerinin ihtiyaç duyduğu gerilime dönüştürür.

5. Kanat röle kutusu: Kanat açısı kontrol ünitesi beslemesinin acil kanat açısı ayarı durumunda kanat açısı kontrol kutularından rotor kondansatör ünitelerine dönüştürüldüğü kontaktörler içerir.

6. Rotor kondansatör ünitesi: Rotor kondansatör üniteleri kanat açısı kontrol ünitesinin acil güç jeneratörü olarak kullanılır.

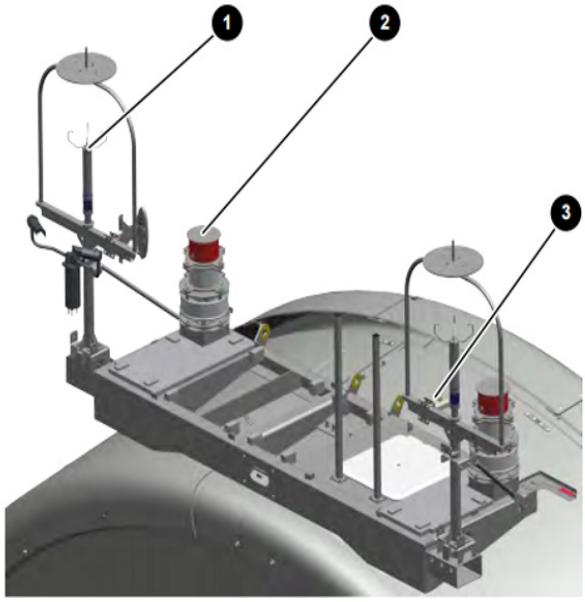
7. Kanat açısı kontrol kutuları: kanat açısı kontrol ünitesinin bir parçasıdır ve kanat açısının kontrolü için bileşenleri, kanat açısı kontrol ünitesi elektrik beslemesi için doğrultucuları ve kanat açısı kontrol sürücüleri için güç bileşenlerini içerir.

Rotor altı dağıtım sistemi: Rotor altı dağıtım sistemi kullanılarak slip ring ünitesi kontrol kabloları kanat açısı kontrol kutularına ve kanat röle kutularına aktarılır. Rotor altı dağıtım sistemi rotor kafası içindeki çeşitli sensörleri kanat açısı kontrol kutularına bağlar.



Şekil 9. Jeneratör içerisindeki bileşenler

1. Jeneratör statoru: Jeneratörün sabit parçasıdır. Jeneratör statoru içinde elektrik gerilimi indüklenir. Jeneratör statoru stator taşıyıcısı üzerinden stator taşıyıcı kollarına ve stator yıldızı üzerinden ana taşıyıcıya sabitlenmiştir. Ayrıca stator taşıyıcı kolları diğer bileşenler için taşıyıcı olarak da kullanılır.
2. Jeneratör rotoru: Jeneratörün dönen parçasıdır. Jeneratör rotoru elektrik üretimi için gereken manyetik alan için yapılmıştır.



Şekil 10. Çatı modülü komponentleri

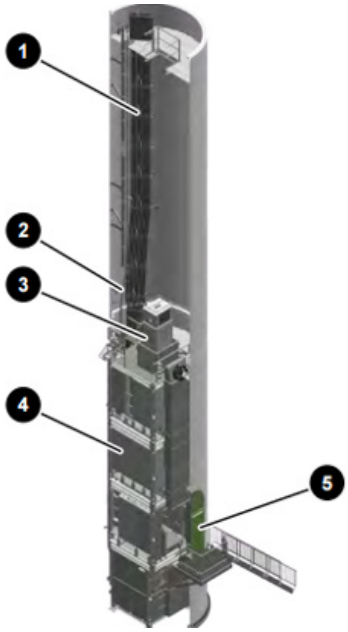
1. Rüzgâr ölçüm cihazı: Rüzgâr ölçüm cihazları ultrasonik rüzgâr ölçerlerdir. Ultrasonik rüzgâr ölçerler sürekli rüzgâr hızını ve rüzgâr yönünü ölçer ve ölçüm sonuçlarını birbirleri ile karşılaştırır.

2. Uçak ikaz lambası: Uçak ikaz lambaları rüzgâr enerjisi türbininin hava trafiği engeli olarak

İşaretlenmesi için kullanılır.

3. Görüş ölçer: Görüş ölçer uçak ikaz düzenlemesi için kullanılır. Görüş ölçer iyi görüş koşulları ölçtüğünde ışık emisyonu nedeniyle çevrenin olumsuz etkilenmesini azaltmak ve enerji tasarrufu sağlamak için uçak ikaz ışık yeğinliği azaltılır.

Kule: Rüzgâr enerjisi türbini için hazır beton kule ve çeşitli çelik kuleler bulunmaktadır. Hazır beton kule beton segmentlerinden ve çelik seksiyonlardan oluşmaktadır. Çelik kuleler kapsamında çelik kule, modüler çelik kule ve hibrit çelik kule bulunmaktadır. Çelik kule boru şeklinde çelik seksiyonlardan oluşmaktadır, modüler çelik kule kıvrılmış çelik seksiyon saclarından oluşmaktadır ve hibrit çelik kule kıvrılmış çelik seksiyon saclarından ve boru şeklinde çelik seksiyonlardan oluşmaktadır.



Şekil 11. Kule içerisindeki bileşenler

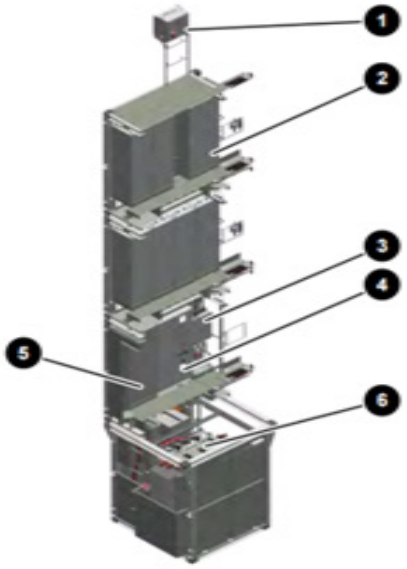
1. Kule kabloları: üretilen akımı makine dairesinden kule tabanına iletir. Ayrıca kule kabloları elektrik şebekesi akımının makine dairesine sağlanması ve ölçüm, düzenleme ve diğer verilerin kule tabanı ile makine dairesi arasında aktarılması için kullanılır.

2. Emniyetli tırmanma merdiveni: Kule içinde çıkıp aşağı inilmesi için kullanılır. Emniyetli tırmanma merdiveni kule tabanından makine dairesine geçişten önceki son kule tabanına kadar gider.

3. Servis asansörü: Merdiven veya halat kılavuzludur ve kule tabanı ile nasel arasında insan ve malzeme taşınması için kullanılır. Servis asansörü gergin bir tel halattaki vinç yardımıyla aşağı ve yukarı hareket eder ve kule tabanından makine dairesine geçişten önceki son kule tabanına kadar gider.

4. E-Modül: Elektrik akımının hazırlanması ve rüzgâr enerjisi türbininin kumanda sistemi için elektrikli bileşenlerin büyük bir kısmını içerir.

5. Giriş kapısı: Rüzgâr enerjisi türbinine giriş için kullanılır.



Şekil 12. Kule içerisindeki bileşenler 2

1. Aydınlatma merkezi: Kule iç aydınlatması ve e-modülün aydınlatması için besleme ve kontrol ünitesidir. Aydınlatma merkezi içine, kule iç aydınlatmasının acil güç jeneratörü entegre edilmiştir.

2. Soğutma bileşenleri kabini: Soğutma bileşenleri kabini içinde kule tabanı su soğutma sisteminin çeşitli bileşenleri, örneğin sirkülasyon pompası, dengeleme kabı, ölçüm sensörleri, ayar ve kapatma valfleri ve kontrol kabini için arabirim bulunmaktadır.

3. Rüzgâr enerjisi türbini elektrik ana beslemesi elektrik kabini/kutusu: Kule tabanı ve kule içindeki çeşitli bileşenlerin örneğin prizlerin, aydınlatma merkezinin ve servis asansörünün gerilim beslemesini sağlar. Rüzgâr enerjisi türbini elektrik ana beslemesi elektrik kabini/kutusu ayrıca motor koruma şalteri üzerinden bu bileşenlerden bazılarının emniyetini sağlar.

4. Kontrol kabini: Rüzgar enerjisi türbininin kumanda sistemi için merkezi bileşenleri içermektedir. Kontrol kabini içinde rüzgâr enerjisi türbininin sensör verileri algılanmakta ve değerlendirilmektedir. Kontrol kabinindeki bir kontrol paneli kullanılarak belli fonksiyonlar ve sistemler manuel olarak kullanılabilir.

5. Rüzgâr enerjisi türbini ana dağıtım sistemi: Rüzgâr enerjisi türbini ana dağıtım sistemi, kule tabanı içindeki, makine dairesi içindeki ve kontrol sisteminin tamamındaki cihazların yedek sigortalarını ve akım dağılımını

içermektedir. Ayrıca rüzgâr enerjisi türbini ana dağıtım sistemi şebeke beslemesi ile acil güç jeneratörü arasında anahtarlama yapmak için şebeke değiştirici içermektedir.

6. Trafo: Rüzgâr enerjisi türbini içinde üretilen gerilimi akım beslemesinin yapıldığı akım şebekesi düzeyine dönüştürür.

6. Sonuçlar

Günümüzde, sınırlı ve tükenmekte olan enerji kaynaklarıyla karşılanamayan artan elektrik talebi, yenilenebilir enerji kaynaklarının keşfedilmesini ve geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, rüzgar santrallerinin ülkemizde çoğalması enerji sıkıntılarıyla boğuşan ülkemiz için umut verici bir çözüm olabilir. Türkiye'nin pek çok bölgesinde rüzgâr enerjisi potansiyeli mevcut olduğundan, aktif olarak üretim aşamasında olan ve kurulumu devam eden rüzgâr enerji santralleri sayısı hızla artmaktadır.

"2024'te yatırımları devam eden Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanı (YEKA) projelerinin, hibrit santrallerin ve elektrik depolama başvurularından gelen ek yatırımların bir kısmının 2024'te devreye girmesi bekleniyor. Aynı şekilde, güneş enerjisi santrallerinin de maliyet avantajı sebebiyle devreye girmeye devam edeceği tahmin ediliyor. Yenilenebilir enerji santrallerinin toplam kapasitedeki payı arttıkça elektrik üretiminde dışa bağımlılığın azalma eğiliminde olduğunu görüyoruz. Türkiye'deki yenilenebilir enerji potansiyelinin önümüzdeki süreçte de temiz enerji dönüşümünde kaldıraç olma özelliğini devam ettirmesini bekliyoruz. Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik sistemine entegrasyonu konusunda, elektrik depolama sistemlerinin de faydalı olacağını düşünüyoruz. Bu sistemlerin bir kısmının 2024'te devreye girebileceğini düşünüyoruz."

Karbonsuzlaşma çalışmalarının maliyetleri yüksek olan yenilenemeyen enerji projelerinin azalmasını sağlayabileceğine de değinen Hakyemez, "Hem enerji arz güvenliği kaygısı hem de maliyet avantajı nedeniyle yenilenebilir enerji finansmanının ve dolayısıyla temiz enerji dönüşümünün bu çerçevede pozitif bir şekilde ayrışabileceği tahmin ediliyor. Sistemde bu yatırımları destekleyen Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması (YEKDEM) ve YEKA gibi mekanizmaların, öngörülebilirliği artırması nedeniyle yenilenebilir enerji finansmanını destekleyeceğini söyleyebiliriz." değerlendirmesinde bulundu. Türkiye'nin toplam elektrik üretiminin yaklaşık %9,84'üne denk gelen rüzgar enerjisi sektöründe, 129 yatırımcı ve 232 şirket tarafından işletilen toplam 273 santral bulunmaktadır. Bu rüzgar enerjisi santralleri, yılda yaklaşık

30,900 gigavatsaatlik elektrik üretim kapasitesine sahiptir. İnşa halinde olan rüzgar enerjisi projeleri Türkiye›de 803 MW kurulu güce sahip 20 projeyi içermektedir. Bu projeler, 13 yatırımcı ve 19 firma tarafından yürütülmektedir. Türkerler Grubu›na ait RT Enerji›nin 297 MW, Ataseven Enerji›nin 100 MW, RHG Enertürk Enerji›nin 96 MW, Enerjisa Enerji Üretim›in 68 MW, Kıvanç Enerji›nin 66 MW gibi güçlerle en büyük projeler arasında yer almaktadır. Sanko Enerji 54,20 MW, Eni Enerji 28,50 MW, Caba Group 19,20 MW, Dere Grubu 19,20 MW, Vres Enerji 19,20 MW, Flaş Tekstil 1t MW, Alares Elektrik 14,40 MW ve Güral Enerji 3,68 MW ile diğer önemli yatırımcılar arasındadır.

Toprak ve su, yaşam için elzemse, enerji de ekonomik kalkınma adına önemlidir. Ülkemiz sosyal ve ekonomik gelişimini tamamlamak adına çalışmalarını sürdürmektedir. Bahse konu olan çabaların başarısını sağlayacak en önemli faktör enerjidir. Fakat enerji piyasası incelendiğinde birincil enerji kaynakları ve elektriğe olan yüksek talep arzı göze çarpmaktadır. Enerji kaynaklarının temininde yüzde yetmişin üzerinde bir oranda dışa bağımlı konumdayız. Elektriğin üretiminde ise dışa bağımlı enerji kaynaklarımız da yaklaşık yüzde elli sekiz seviyesindedir. Enerji sektörümüzün belirgin özellikleri arasında dışa bağımlılık, ani talep artışı ve büyük yatırım gereksinimleri bulunmaktadır.

Rüzgar enerjisi üretimi, teknolojinin gelişmesine bağlı ilerlemelerle ekonomik açıdan kıymetlenmekte ve aynı zamanda ekolojik dengeyi korurken pozitif yarar sağlar. İklim ile çevre değişikliği hususunda, küresel ısınmanın iki derece yükselmemesi amacıyla gerçekleştirilmesi gereken teknik kriterler bulunmaktadır. Dolayısıyla enerji üretimi kadar enerji tasarrufu da önem arz etmektedir. %70'e varan dışa bağımlılığımızla, artan enerji talebini karşılamak için enerji sektöründe yatırımlar yapılırken, enerji yoğunluğunu azaltmaya yönelik çözümler de öncelik kazanmaktadır.

Türkiye'nin rüzgâr kaynakları açısından en verimli bölgeleri, yıllık ortalama değerler baz alındığında kıyı şeritleri, yüksek tepeler ve dağ zirveleri ile açık alanların yakınında yer almaktadır. En yüksek ortalama senelik bazda rüzgâr hızı genellikle Türkiye'nin batı kıyı bölgelerince Marmara Denizi etrafı ve Antakya yakınlarında gözlemlenmektedir. Ortalama değer hızına sahip bölgeler ve rüzgâr potansiyeli, ülkemizin iç kesimlerinde yoğunlaşmaktadır. Marmara Bölgesi şehirlerinde Çanakkale, İstanbul, Balıkesir; Ege Bölgesi şehirlerimizde Manisa, Aydın, İzmir; Doğu Akdeniz bölgesi etrafında ise Hatay, rüzgâr enerji santrallerinin çok sayıda bulunduğu iller arasındadır. Türkiye Rüzgâr Santralleri Atlas'ına göre, Ege, Marmara ve Doğu Akdeniz bölgeleri, 50 m yükseklikteki

rüzgâr potansiyeli açısından öne çıkmaktadır ve 7 m/s üzerindeki rüzgâr hızlarıyla 48.000 MW'lik güce sahip rüzgâr enerji potansiyeli barındırır. Ülkemizdeki ciddi rüzgâr potansiyeli, sadece rüzgâr enerjisi yatırımlarla kalmamakla beraber, aynı zamanda rüzgâr sanayisindeki gelişimini desteklememiz gerektiğini göstermektedir. Türkiye, şu anda 11 GW›lık mevcut proje stokuyla ve 2023 yılına kadar ulusal hedefi 20 GW olan rüzgâr enerjisi kapasitesiyle Avrupa›daki önemli bir rüzgâr ticareti konumundadır. Ülkemizin bölgesel bir enerji merkezi haline gelmesi, ülkedeki yatırım fırsatlarını şekillendirme sürecinde kritik bir rol oynayacağı ön görülmektedir.

Rüzgâr elektrik santrallerinden enerji üretimi, ilerleyen teknolojik süreçlerle ekonomik katkı sağlaması yalnızca enerji piyasasına değil bununla birlikte dünya üzerinde yaşamsal dengenin korunmasına pozitif etki yaratmaktadır.

Rüzgâr enerji santralleri, ham madde eksikliği yaşamayan, yabancı ülkelere bağlı kalmayan ve çevre ile canlı sağlığı üzerinde negatif etkileri minimum düzeyde olan tesislerdir. Rüzgâr enerjisiyle üretilen elektrik, Kyoto Protokolü çerçevesinde elektrik enerjisi ihracatı için bir platform sunarak yenilenebilir enerji kategorisine katkı sağlamıştır.

KAYNAKLAR

Egglesteon, D. M., and Stoddard, F. S., (1987). *Wind Turbine Engineering Design*, Printed by Van Nostrand Reinhold, USA.

El Chazly, N. M. (1993). Static and dynamic analysis of wind turbine blades using the finite element method. *Renewable Energy*, 3(6–7), 705–724. https://doi.org/10.1016/0960-1481(93)90078-u

Gouriéres, D. L. (1982). Wind Power Plants Theory and Design, Pergamon Press, Oxford.

https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-ruzgar

https://tureb.com.tr/eng/kurumsal/neden-ruzgar-enerjisi/3

https://www.dunya.com/surdurulebilir-dunya/2024-ruzgar-ve-yenilenebilir-enerjide-yatirim-yili-olabilir-haberi-716230

https://www.enercon.de/en

https://www.enercon.de/en/turbines/e-138-ep3

https://yesilhaber.net/turkiyenin-en-buyuk-bes-ruzgar-santrali-yatirimcisi/

Varol, A., İlkılıç, C., & Varol, Y. (2001). Increasing the efficiency of wind turbines. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 89(9), 809–815. https://doi.org/10.1016/s0167-6105(01)00069-1

BÖLÜM XI

İNSAN BİLGİSAYAR ETKİLEŞİMİ

Human Computer Interaction

AYKUT ŞÜKRÜ IŞIK

(Öğrenci) Endüstri Mühendisliği (Yüksek Lisans)
Maltepe Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
E-mail: isik.aykut@gmail.com,
ORCID: 0009-0007-2243-145X

1. Giriş

Teknolojinin hızla gelişmesi ve dijital dönüşümün hayatımızın her alanına nüfuz etmesiyle birlikte, İnsan Bilgisayar Etkileşimi (İBE) alanı giderek daha fazla önem kazanmaktadır. İBE, insanların bilgisayarlarla olan etkileşimlerini inceleyen ve bu etkileşimi daha verimli, etkili ve kullanıcı dostu hale getirmeyi amaçlayan multidisipliner bir çalışma alanıdır. Bu alan, bilgisayar bilimi, psikoloji, ergonomi, sosyoloji ve tasarım gibi çeşitli disiplinlerin kesişim noktasında yer alır.

İBE›nin temel amacı, kullanıcıların bilgisayar sistemleri ile daha sezgisel ve doğal bir şekilde etkileşimde bulunmalarını sağlamaktır. Bu doğrultuda, kullanıcı arayüzlerinin tasarımı, kullanılabilirlik testleri, kullanıcı deneyimi (UX) tasarımı ve erişilebilirlik gibi konular, İBE çalışmalarının ana odak noktalarını oluşturur. Özellikle, dijital cihazların günlük yaşamımızda bu denli yaygınlaşmasıyla, kullanıcı deneyimini optimize etmek, kullanıcıların teknolojiye olan adaptasyonunu ve memnuniyetini artırmak açısından kritik bir rol oynamaktadır.

İBE›nin teorik temelleri ve pratik uygulamaları arasındaki bağı güçlendirmeyi hedefleyen bu çalışma hem akademik hem de endüstriyel açıdan değerli katkılar sunmayı amaçlamaktadır. Kullanıcı merkezli tasarım anlayışının, teknolojinin daha erişilebilir, kapsayıcı ve tatmin edici olmasına nasıl katkıda bulunduğu örnek olay incelemeleri ve vaka çalışmaları ile desteklenecektir.

2. İnsan Bilgisayar Etkileşiminin Önemi

Günümüz teknoloji çağında, bilgisayarlar ve dijital cihazlar günlük yaşamımızın ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir. İnsan-Bilgisayar etkileşimi ise (**İBE**), insanlar ve bilgisayar sistemleri arasındaki etkileşime ve birbirlerini etkiledikleri noktalara odaklanan disiplinler arası bir bilim alanıdır. (Karahoca vd., 2008) Bu cihazlarla etkileşimimizin niteliği ve verimliliği, kullanıcı deneyimi alanında giderek daha fazla önem kazanmaktadır.

İBE, bilgisayarlarla insanlar arasındaki etkileşimleri inceleyen ve bu etkileşimleri daha etkili, verimli ve kullanıcı dostu hale getirmeyi amaçlayan bir disiplindir. Bu disiplinin önemi, bir dizi faktörden kaynaklanmaktadır. İnsan Bilgisayar Etkileşimi çalışma alanı, insan ve bilgisayar arasındaki etkileşimi konu edinmesinden dolayı insan davranışı, psikoloji, bilişsel bilimler, bilgisayar teknolojileri ve yazılım mühendisliği yanında ergonomi, grafik ve endüstriyel tasarım, sosyoloji, antropoloji ve eğitim bilimleri gibi alanlarla da ilişkili bir çalışma alanıdır. (Çağatay K, 2005)

İBE kullanıcı deneyimini geliştirmeye odaklanır. Kullanıcıların bilgisayarlarla etkileşimlerini daha etkili ve tatmin edici hale getirmek için tasarım ve geliştirme süreçlerine odaklanır. Kullanıcı dostu arayüzler ve kullanıcı deneyimini artıran teknolojilerin geliştirilmesi İBE›nin ana hedeflerindendir. Ayrıca, teknolojik gelişmelere paralel olarak yürütülen İBE çalışmaları teknolojik yaygınlığı da artırmaktadır. İBE, bu teknolojilerin insanlarla etkileşimini daha verimli ve etkili hale getirerek günlük yaşamı kolaylaştırmayı hedefler. Bu tür etkileşimler, istatistiksel ve mekanik etkileşimler gibi biçimlerde ortaya çıkabilir ancak temelde hepsi kullanıcıların hedeflerine ve amaçlarına odaklanır (Hornbæk ve Oulasvirta, 2017)

İBE›nin bir diğer önemli yönü, hataların azaltılması ve kullanıcıların daha iyi bir deneyim yaşamasını sağlamaktır. Kullanıcıların hatalarını azaltmayı ve sistemlerle olan etkileşimlerini daha doğal hale getirmeyi amaçlayarak, İBE kullanıcıların daha az stres yaşamasını sağlar, daha hızlı öğrenmelerine destek olur ve verimliliklerini artırır. Ayrıca, kişiselleştirilmiş deneyimler sunma konusundaki yeteneği ile İBE, kullanıcıların tercihlerine, alışkanlıklarına ve ihtiyaçlarına uygun deneyimler sunar. Bu da kullanıcıların daha memnun olmasını sağlar ve uzun vadeli kullanımı teşvik eder.

Sağlık ve güvenlik açısından da İBE son derece önemlidir. Bilgisayarların kullanımı sırasında ortaya çıkabilecek sağlık sorunlarını azaltmayı ve kullanıcıların güvenliğini sağlamayı amaçlar. Bu da kullanıcıların teknolojiyi daha güvenli ve sağlıklı bir şekilde kullanmalarını sağlar. İBE yeni teknolojilerin

keşfi ve uygulanması açısından da kritik bir role sahiptir. Yapay zeka, artırılmış gerçeklik gibi yeni teknolojilerin kullanıcılarla etkileşimini inceleyerek, bu teknolojilerin kullanıcı dostu ve etkili bir şekilde uygulanmasını mümkün hale getirir.

İnsan Bilgisayar Etkileşimi, bilgisayarların kullanıcılarla etkileşimini daha etkili, verimli ve kullanıcı dostu hale getirerek teknolojiyi günlük yaşamımıza daha entegre bir şekilde sunmayı hedefler. Bu da hem bireylerin hem de toplumun teknolojiyi daha etkin bir şekilde kullanmalarını sağlar.

3. İnsan Bilgisayar Etkileşiminin Dünyadaki ve Ülkemizde ki tarihçesi

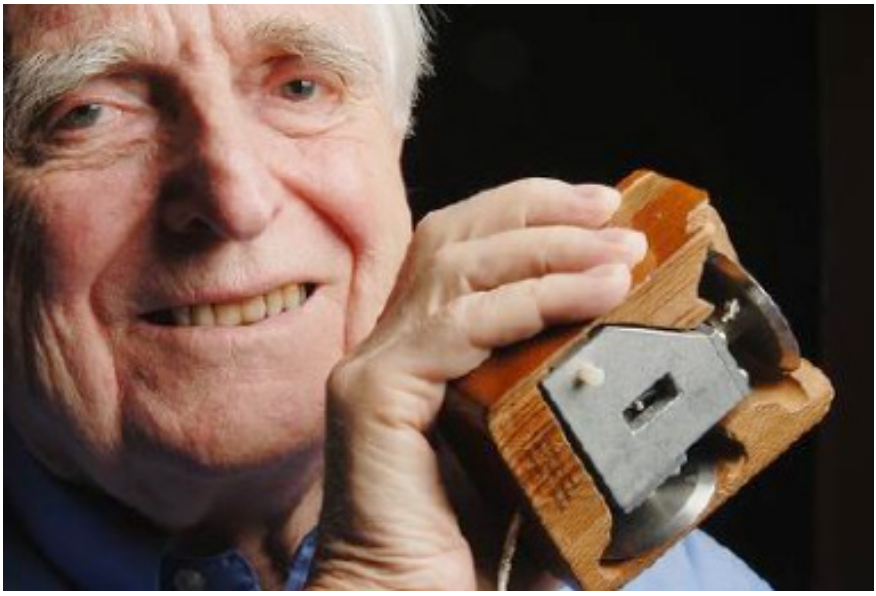
İnsan-Bilgisayar Etkileşimi (İBE); insanların kullanımına yönelik teknolojilerin ve bu teknolojilerde kullanılan yazılımların kullanılabilirlik açısından tasarımı, değerlendirilmesi, geliştirilmesi ve uygulanmasıyla ilgili bir disiplindir ve İBE'nin tarihçesi, bilgisayarların ortaya çıkışıyla birlikte başlar ve teknolojik gelişmelere paralel olarak evrimleşir. Preece (1944), Human Control Integration yani İnsan Bilgisayar Etkileşiminin (İBE) araştırma alanının psikoloji, insan davranışı, grafik ve endüstriyel tasarım, bilgisayar teknolojisi, antropoloji ve sosyoloji gibi çeşitli alanlarla ilgili olduğunu, araştırma alanının bilgisayarlar ve insanlar olduğunu savunmaktadır. Bu alan aynı zamanda kullanıcıların talimatlarını onaylamak, bilgiye erişim kolaylığı sağlamak ve kuvvetli iletişim şekli oluşturmak için modern etkileşim yöntemlerini de içermektedir.

a. Dünya Genelinde İBE'nin Tarihçesi:

İBE›nin kökenleri, bilgisayarların ortaya çıkışına kadar uzanır. İlk bilgisayarlar, genellikle bilim insanları ve mühendisler tarafından kullanıldığı için etkileşim basit ve teknikti. Ancak, 20. yüzyılın ortalarında bilgisayarların daha geniş bir kitleye ulaşmasıyla birlikte, insan bilgisayar etkileşimi daha fazla önem kazanmaya başladı.

1950'ler ve 1960'lar, bilgisayarların ilk kullanıcı arabirimlerinin (UI) geliştirildiği dönemlerdir. Bu dönemde, bilgisayarlar genellikle komut satırı arabirimleri ile yönetiliyordu ve kullanımı sınırlıydı. Ancak, 1970'ler ve 1980'lerde, grafiksel kullanıcı arabirimleri (GUI) popüler hale geldi ve bilgisayarların kullanımı daha erişilebilir hale geldi. 1990'lar ve 2000'ler, İBE'nin hızla geliştiği dönemlerdir. İnternetin yaygınlaşmasıyla birlikte, web tabanlı kullanıcı arabirimleri ortaya çıktı ve bu da kullanıcı deneyimini önemli ölçüde değiştirdi. Artık kullanıcılar, bilgisayarlarla etkileşim kurarken daha fazla görsel ve interaktif deneyimler yaşayabiliyorlar.

Gerçek anlamda etkili bir kullanıcı grafik ara yüzüne sahip bilgisayarların gelişimi ise 1968'de Stanford Araştırma Enstitüsü'nde Douglas Engelbart'ın çabalarıyla olabilmiştir. Bu çabaların bir sonucu olarak bilgisayara bağlı fare (mouse) adını verdiği aletle bilgisayardaki işlemlerin yönlendirilmesinde daha rahat bir çalışma ortamı sağlanmıştır.



Resim 1. Douglas Engelbart ve 1968 de icad edilmiş ilk mouse

Günümüzde, yapay zeka, artırılmış gerçeklik ve sesli asistanlar gibi yeni teknolojiler, İBE alanında yeni olanaklar sunmaktadır. Kullanıcılar artık daha kişiselleştirilmiş deneyimler yaşayabiliyor ve bilgisayarlarla daha doğal bir şekilde etkileşim kurabiliyorlar.

b. Ülkemizde İBE›nin Tarihçesi:

Türkiye'de İBE çalışmaları, genellikle bilgisayar bilimleri, mühendislik ve iletişim fakültelerinde yürütülmektedir. İlk dönemlerde, ülkemizde İBE çalışmaları genellikle dünya genelindeki gelişmelere paralel olarak ilerlemiştir. 1980'ler ve 1990'lar, Türkiye'de bilgisayar kullanımının yaygınlaşmaya başladığı dönemlerdir. Bu dönemde, üniversiteler ve araştırma kuruluşları İBE konusunda bazı çalışmalar yapmış olsa da, bu çalışmalar genellikle sınırlı kalmıştır.

2000'li yıllarla birlikte, Türkiye'de İBE çalışmaları daha da artmış ve çeşitlenmiştir. Özellikle üniversitelerin bilişim ve mühendislik bölümlerinde açılan yeni lisans ve lisansüstü programlar, İBE alanında yapılan araştırmaların sayısını artırmıştır. Özellikle 2006 yılında Tübitak-BAP destekli bir proje olarak faaliyete geçen Orta Doğu Üniversitesi İBE laboratuvarı 2012 itibarıyle Türk Standartları Enstitü 'sünün (TSE) "TS EN ISO/IEC 17025 Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Akreditasyonu" standardına uygun olarak, "TS EN ISO/IEC 9241-151 İnsan Sistem Etkileşiminin Ergonomisi, Bölüm 151: Dünya Geneli Arayüzleri Kılavuzu" kapsamında ürün belgelendirme çalışmalarının yürütüleceği, TSE'nin Türkiye'deki ilk akredite laboratuvarı olarak yetkilendirilerek hizmet vermeye başlamıştır.



Resim 2. Ortadoğu Teknik Üniversitesi İBE Laboratuvarı

Özel ve devlet üniversitelerimizde de benzer laboratuvarlar kurularak insan bilgisayar etkileşimi üzerine üst seviye çalışmalar yürütülmeye başlanmıştır. Ülkemizdeki araştırmacılar hem ulusal hem de uluslararası düzeyde İBE konusundaki gelişmeleri takip etmekte ve bu alanda yeni katkılar sağlamaktadırlar. Fakat sanayi ve hizmet alanında çalışmalar yürüten özel sektör firmalarında erken başlamasına rağmen bu konuda yürütülen çalışmalar maalesef kısıtlı kalmaktadır.



Resim 3. İstanbul Üniversitesi İBE Laboratuvarı açılışı - 2016

Bugün, Türkiye'deki İBE araştırmaları genellikle kullanıcı deneyimi, kullanıcı arayüzü tasarımı, etkileşim teknikleri ve mobil uygulamalar gibi alanlarda yoğunlaşmaktadır. Ülkemizdeki araştırmacılar hem ulusal hem de uluslararası düzeyde İBE konusundaki gelişmeleri takip etmekte ve bu alanda yeni katkılar sağlamaktadırlar.

4. Temel İnsan Bilgisayar Etkileşimi Prensipleri

İnsan Bilgisayar Etkileşimi (İBE), bilgisayarlarla insanlar arasındaki etkileşimleri inceleyen ve bu etkileşimleri daha etkili, verimli ve kullanıcı dostu hale getirmeyi amaçlayan önemli bir disiplindir. İBE›nin temel prensipleri, kullanıcıların bilgisayarlarla daha etkili bir şekilde etkileşim kurmalarını sağlamak için tasarlanmıştır. İBE›nin temel prensiplerinden biri, kullanıcı merkezli tasarım yaklaşımıdır. Bu yaklaşım, kullanıcıların ihtiyaçlarına, yeteneklerine ve tercihlerine odaklanarak, kullanıcıların bilgisayarlarla etkileşim kurmalarını kolaylaştırmayı amaçlar. Kullanıcı merkezli tasarım, kullanıcı deneyimini geliştirmek için önemli bir temeldir ve etkileşim tasarımında dikkate alınması gereken birinci önceliktir.

İBE çalışmalarında belli başlı arayüz türleri aşağıdaki gibidir;

Tablo 1. Temel Bilgisayar Etkileşim Arayüzleri

1	Komut Tabanlı Kullanıcı Arayüzü
2	Grafiksel Kullanıcı Arayüzü (GUI)
3	Sanal Gerçeklik Arayüzü
4	Bilgi Görselleştirme
5	Web
6	Biyometrik Kullanıcı Tanıma Arayüzü
7	Mobil Kullanıcı Arayüzü
8	Sesli Kullanıcı Arayüzü
9	Pen Tabanlı Kullanıcı Arayüzü
10	Dokunsal Arayüz
11	Hareket Algılama Arayüzü
12	Duygu Tanıma Arayüzü
13	Çoklu Dokunmatik Arayüz
14	Göz İzleme Arayüzü
15	Tepkisel
16	Artırılmış Gerçeklik Arayüzü
17	Giyilebilir Kullanıcı Arayüzü
18	Robotik
19	Beyin-Bilgisayar Arayüzü (BCI)
20	Doğal Dil İşleme Arayüzü
21	3D Kullanıcı Arayüzü
22	Otomatik Konuşma Tanıma Arayüzü

Paylaşılan 22 farklı arayüz çeşitleri dört ana başlıkta değerlendirilerek açıklamaları aşağıda paylaşılmıştır.

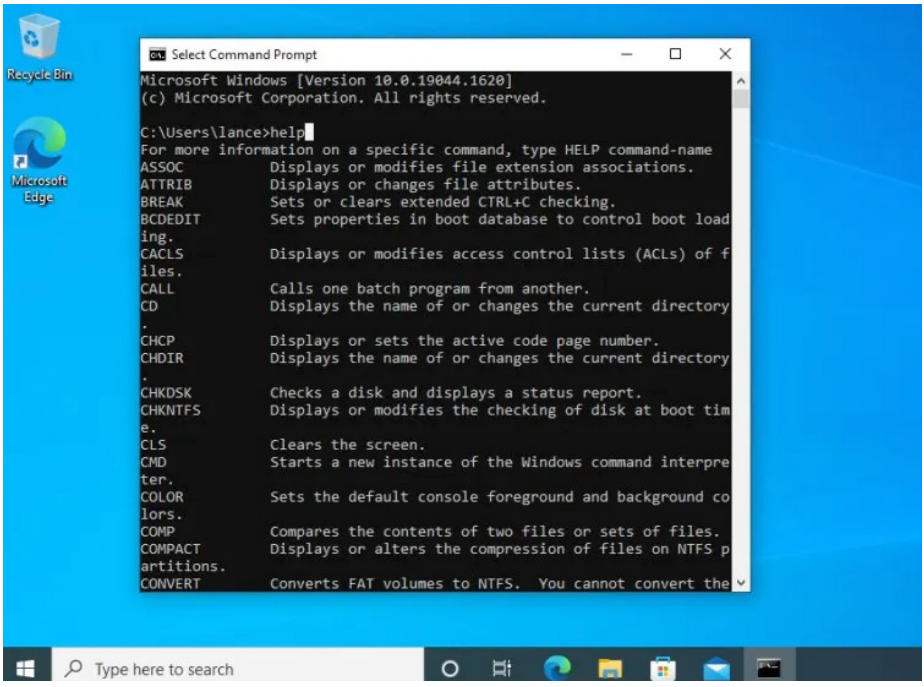
Tablo 2. Daraltılmış Bilgisayar Etkileşim Arayüzleri

ARAYÜZ	İÇERİK
Komut Tabanlı Kullanıcı Arayüzü	Komut ve Metin tabanlı arayüzler
Grafiksel Kullanıcı Arayüzü (GUI)	Grafik User Interface, veri görselleştirme, multimedya ekranlı web, artırılmış ve karışık gerçeklik
Dokunsal Arayüz	Dokunmatik ekranlar, paylaşımlı veya çoklu , artırılmış ve karışık gerçeklik, tüketici elektronikleri, mobil, tepkisel , Dijital kalem, donanımlar,
Doğal Arayüz	Beyin-bilgisayar etkileşimi, Konuşma, hareket ve işaret tabanlı, artırılmış ve karışık gerçeklik, robotik arayüzler veya sensörler

a. Komut tabanlı kullanıcı arayüzleri

Komut tabanlı arayüzler, genellikle minimalist bir tasarıma sahiptir ve kullanıcıların komutları girebileceği bir metin alanıyla birlikte, imlecin konumunu belirten bir işaretçi içerirler. Günümüzün modern teknolojik cihazları, kökenlerindeki gibi komutlarla çalışmalarına rağmen, bu komutlar genellikle grafik tabanlı arayüzlerin altına saklanmıştır. Aslında herhangi bir yazılımda bir sonraki sayfaya geçerken, bir belgeyi yazdırırken veya bir dosyayı kaydederken belirli dil işlemleri gerçekleştirilir. Ancak, bu komut işlemleri genellikle otomatik olarak gerçekleştirilir ve kullanıcıların doğrudan metin girmeleri gerekmez.

Komut tabanlı arayüzler, bilgisayarların erken dönemlerinde yaygın olarak kullanılmıştır; ancak günümüzde, sıklıkla uzman yazılımcılar ve bazen grafik tabanlı arayüzlerle erişimi kısıtlanmış engelliler tarafından tercih edilmektedir. Uzmanlar, işletim sistemleri veya güvenlikle ilgili sorunlara hızlı müdahale edebilmek için komutları kullanma eğilimindedirler. Bu arayüzler, daha fazla kontrol ve hız sağlama potansiyeline sahip olmalarıyla bilinirler, ancak genel kullanıcılar için öğrenme eğrisi daha dik olabilir.



Resim 4. Microsoft İşletim Sistemi komut ekranı

Dosya ve Dizin İşlemleri; komut satırı, dosya ve dizin işlemlerini yönetmek için hızlı ve etkili bir araç sağlar. Kullanıcılar, "mkdir" gibi komutlar aracılığıyla yeni dizinler oluşturabilir, dosyaları kopyalayabilir, taşıyabilir veya silebilirler. Bu, işlemlerin doğrudan bir komutla gerçekleştirilmesini sağlar ve arayüz kullanımına göre daha hızlıdır.

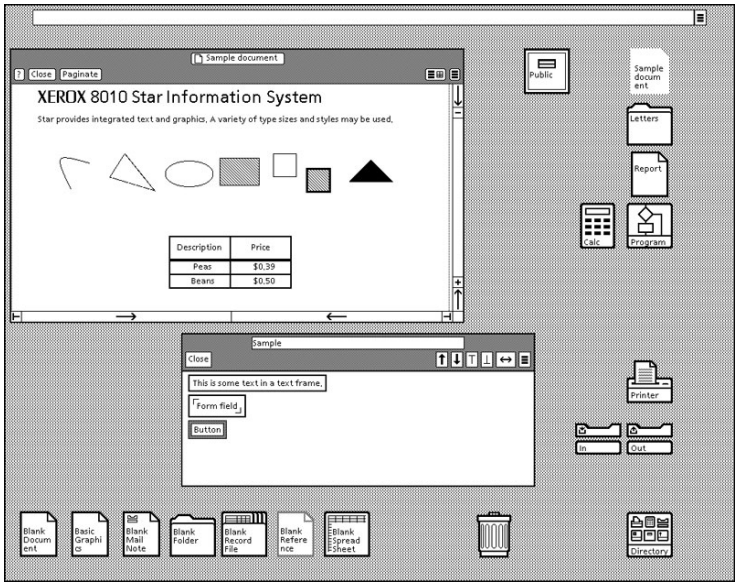
Dosya İçeriğini Görüntüleme ve Düzenleme ise komut satırı, dosya içeriğini görüntülemek ve düzenlemek için kullanılabilir. "type" komutuyla dosya içeriği görüntülenebilirken, "edit" komutuyla dosya içeriği düzenlenebilir. Bu yöntem, belirli dosyaları hızlı bir şekilde kontrol etmeyi veya düzenlemeyi sağlar.

Aynı zamanda komut satırı, ağ bağlantılarını yönetmek için kullanışlıdır. "ipconfig" komutuyla ağ yapılandırması hakkında bilgi alınabilir. Bu, ağ bağlantılarının durumuyla ilgili hızlı bir gözlem yapılmasını sağlar.

Komut satırı, sistem hakkında bilgi almak için kullanılabilir. "systeminfo" komutu, sistem yapılandırması ve donanımı hakkında kapsamlı bilgiler sağlar. Bu bilgiler, sistem yöneticileri veya kullanıcılar için önemli olabilir. Çalışan işlemleri listeleme, başlatma veya sonlandırma gibi işlemleri gerçekleştirmek için kullanılabilir. "tasklist" komutuyla çalışan işlemler listelenirken, "taskkill" komutuyla belirli bir işlem sonlandırılabilir. Bu, sistem yöneticilerinin veya kullanıcıların sistem kaynaklarını daha etkin bir şekilde yönetmelerini sağlar.

b. Grafik tabanlı kullanıcı arayüzleri

Bilgisayarlar, ortaya çıkışıyla birlikte öncelikle doğrudan donanımlarla işletilmekteydi ve daha sonra özel metinler olan komutlar aracılığıyla insan-bilgisayar etkileşimi sağlanmıştır. Fakat 1970'lerin başında yaşanan ilerlemelerle birlikte Xerox Alto adı verilen bilgisayar, ilk grafik tabanlı arayüzüyle hayatımıza girdi. Xerox Alto, fare ile kontrol edilen ilk grafik tabanlı arayüzü sunarak, günümüz işletim sistemlerinde kullanılan 'masaüstü' kavramını tanıttı. 1981'de ticari olarak Xerox Star piyasaya sürüldü ve pencereler, ikonlar, menüler, işaret araçları gibi Microsoft arayüzlerinin ve grafik kullanıcı arayüzü (GUI WIMP) terimlerinin yaygınlaşmasına öncülük etti.



Resim 5. Xerox 8010 İlk arayüz

Doksanlı yıllar, bilgisayar teknolojisinin hızla evrildiği ve kullanıcı arayüzlerinin giderek daha önemli hale geldiği bir dönemdir. Windows 95'in piyasaya sürülmesi, İnternet'in halka açılması ve web tarayıcılarının yaygınlaşması gibi olaylar GUI' lerin gelişiminde önemli bir rol oynamıştır. Özellikle Windows 95'in piyasaya sürülmesi, doksanlı yıllarda grafik tabanlı arayüzlerin evriminde dönüm noktası olmuştur. Windows 95, kullanıcı dostu bir arayüz sunarak masaüstü bilgisayar kullanımını daha erişilebilir hale getirmiştir. Bu dönemde, İnternet'in halka açılması ve web tarayıcılarının yaygınlaşması da GUI'lerin gelişimini etkilemiştir. Web tarayıcıları, kullanıcıların web tabanlı grafik arayüzlerle etkileşime geçmelerini sağlayarak internet kullanımını kolaylaştırmıştır.

İkibinli yıllar, teknolojik gelişmelerin hız kazandığı ve bilgisayarların günlük yaşamın merkezine yerleştiği bir dönemi temsil eder. Bu dönemde, insan bilgisayar etkileşimi (İBE), bilgisayar bilimleri ve kullanıcı deneyimi tasarımı alanlarında önemli gelişmeler yaşanmıştır. Özellikle web teknolojilerindeki hızlı ilerleme insan bilgisayar etkileşimini etkileyen en önemli faktörlerden biri olmuştur. İnteraktif grafiklerin ve zengin medya içeriğinin kullanımı, kullanıcıların internet üzerinde daha etkileşimli deneyimler yaşamasını sağlamıştır. Flash teknolojisinin yükselişi, web sitelerindeki etkileşimli öğelerin artmasına ve kullanıcıların daha zengin deneyimler yaşamasına imkan tanımıştır.

İkibinli yılların başlarında, akıllı telefonların ve tablet bilgisayarların yaygınlaşması, insan bilgisayar etkileşiminde devrim niteliğinde bir değişime yol açmıştır. Kullanıcılar artık her an her yerde internete erişebilme imkanına sahip olmuşlardır. Bu durum, kullanıcıların cihazlar arasında geçiş yaparken tutarlı bir deneyim yaşamalarını sağlamak için kullanıcı arayüzü tasarımında yeni yaklaşımların benimsenmesini gerektirmiştir. Akıllı telefonlar ve tabletler gibi cihazlarda yaygınlaşan dokunmatik ekranlar, kullanıcıların doğrudan etkileşim kurmasını sağlamış ve kullanıcı deneyimini önemli ölçüde iyileştirmiştir. Bu durum, kullanıcı arayüzü tasarımında daha sezgisel ve dokunmaya duyarlı yaklaşımların benimsenmesine yol açmıştır.

Yapay zeka ve makine öğrenimi alanındaki ilerlemeler, insan bilgisayar etkileşimindeki gelişmeleri hızlandırmıştır. Kullanıcıların davranışlarını analiz etme ve anlama yeteneği, kişiselleştirilmiş deneyimler sunma ve kullanıcı ihtiyaçlarını öngörme konusunda önemli bir rol oynamıştır. Sesli asistanlar, öneri sistemleri ve duygu analizi gibi uygulamalar, kullanıcıların bilgisayarlarla daha doğal ve etkileşimli bir şekilde iletişim kurmalarını sağlamıştır.

Yaygın olarak kullanılan çağdaş arayüzlerde hala Microsoft çözümü olarak pencereler, ikonlar, menüler, işaretçiler (WIMP) temel yapısı mevcuttur. Ancak, artan grafik işleme yeteneğiyle birlikte çeşitli yeni form araçları geliştirilmiş ve basit ikonların yerini 3 boyutlu animasyonlarla desteklenmiş ikonlar almıştır. Geleneksel menüler de sesli menülere dönüşmüş ve Microsoft arayüzlerinde bulunmayan yeni grafik öğeleri arayüzlere entegre edilmiştir. Geldiğimiz noktada internet sayfaları, cep telefonu uygulama arayüzleri ve artırılmış gerçeklik uygulamalarının bazıları, hala benzer görsel unsurlardan oluşmaktadır.

Etkileşim ilkesi kullanıcıların bilgisayarlarla nasıl etkileşim kurduklarını ve bu etkileşimin nasıl optimize edilebileceğini inceler. İyi tasarlanmış bir etkileşim, kullanıcıların işlemleri hızlı ve verimli bir şekilde gerçekleştirmelerini sağlar ve kullanıcı deneyimini önemli ölçüde artırır. Geri bildirim ve yanıt mekanizmaları da İBE'nin temel prensiplerinden biridir. Kullanıcıların etkileşimlerinin bilgisayar tarafından nasıl yanıtlandığı ve kullanıcılara hangi geri bildirimlerin sağlandığı, etkileşim deneyimini büyük ölçüde etkiler. Kullanıcılara geri bildirimde bulunmak, kullanıcıların yaptıkları eylemlerin doğru bir şekilde algılandığını ve işlendiğini hissetmelerini sağlar. Tutumluluk ve kullanılabilirlik prensipleri de İBE'nin önemli bir parçasını oluşturur. Bu prensipler, kullanıcı arayüzlerinin basit, anlaşılır ve kullanılabilir olmasını gerektirir. Kullanıcıların bilgisayarları etkilemek için minimum çaba harcamaları ve işlevleri hızlı bir şekilde bulabilmeleri sağlanmalıdır. Bu da kullanıcı deneyimini önemli

ölçüde artırır ve kullanıcıların memnuniyetini sağlar. Son olarak, etkileşim ve etkileşim yönetimi prensibi, İBE'nin temel prensiplerinden biridir. Bu prensip, kullanıcıların farklı durumlarda nasıl etkileşime geçtiklerini ve bu etkileşimlerin nasıl yönetileceğini inceler. İyi bir etkileşim yönetimi, kullanıcıların etkileşimlerinin akışını ve işlemlerini doğru bir şekilde yönlendirir ve kullanıcı deneyimini olumlu yönde etkiler.

İnsan Bilgisayar Etkileşimi›nin temel prensipleri, kullanıcıların bilgisayarlarla daha etkili bir şekilde etkileşim kurmalarını sağlamak için tasarlanmıştır. Bu prensipler, kullanıcı deneyimini iyileştirmek ve kullanıcıların memnuniyetini artırmak için önemli bir rol oynar ve etkileşim tasarımının temel taşlarını oluşturur.

c. Dokunsal (temas tabanlı) Kullanıcı Arayüzleri

Dokunsal kullanıcı arayüzleri, kullanıcıların etkileşimde bulunmak için dokunma ve hareket etme gibi fiziksel eylemlerini temel alan bir teknoloji ve tasarım disiplinidir. İlk bilgisayar olarak bilinen ENIAC ile etkileşime geçmek, genellikle donanıma doğrudan ya da harici mekanik cihazlarla müdahale ederek gerçekleşmekteydi. Dokunsal arayüzlerin ilk örnekleri ilk bilgisayarlar olarak değerlendirilmektedir.



Resim 6. ENIAC Donanım Arayüz

Günümüzde kullanılan birçok ufak elektronik cihazlarda donanım tabanlı arayüzler kullanılmaktadır. TV ve klima kumandası, hesap makinası gibi cihazlarla etkileşim temasın fiziksel olarak gerçekleştirildiği arayüzlerdir. Bu

arayüzler, dokunma algısını ve hareketi izleyen sensörler, özellikle dokunmatik ekranlar, dokunmatik pedler ve diğer benzeri cihazlar aracılığıyla kullanıcının girişini algılar. Kullanıcılar, dokunarak, kaydırarak, sıkıştırarak veya diğer dokunsal eylemleri gerçekleştirerek cihazlarla etkileşime geçebilirler.

Dokunsal kullanıcı arayüzleri, mobil cihazlar, tabletler, akıllı saatler, giyilebilir teknolojiler ve hatta ev otomasyon sistemleri gibi birçok farklı platformda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu arayüzler, kullanıcıların sezgisel bir şekilde etkileşime girmesine ve cihazlarla doğal bir bağ kurmasına olanak tanır. Örneğin, bir kullanıcı dokunmatik bir ekranda parmaklarını kaydırarak bir web sayfasını gezinebilir veya bir uygulamayı kullanabilir.

d. Doğal Kullanıcı Arayüzleri

Doğal kullanıcı arayüzleri, insanların iletişim kurma biçimlerine dayanan, kullanıcı dostu ve sezgisel bir etkileşim deneyimi sunan bir teknoloji ve tasarım yaklaşımıdır. Bu arayüzler, insanların ses, hareket, jest, göz izleme ve hatta düşünce gibi doğal yeteneklerini kullanarak bilgisayarlarla veya diğer dijital cihazlarla etkileşim kurmalarına izin verir. Sesli komutlar, hareket algılama teknolojisi, yapay zeka ve makine öğrenimi gibi ileri teknolojiler, doğal kullanıcı arayüzlerinin gelişiminde önemli rol oynamaktadır. Örneğin, sanal ses asistanları (örneğin, Siri, Alexa, Google Assistant), kullanıcıların sesli komutlarla cihazlarını kontrol etmelerine olanak tanır. Benzer şekilde, hareket algılama teknolojisi, kullanıcıların jest ve hareketleriyle etkileşimde bulunmalarına olanak tanır, özellikle oyun konsollarında ve sanal gerçeklik sistemlerinde yaygın olarak kullanılır.

Doğal kullanıcı arayüzleri, kullanıcıların teknolojiyle etkileşim kurma deneyimini zenginleştirirken, aynı zamanda erişilebilirlik ve kullanılabilirlik açısından da önemli avantajlar sunar. Bu arayüzler, kullanıcıların bilgisayarları daha hızlı ve verimli bir şekilde kullanmalarını sağlayarak üretkenliği artırabilir ve teknolojiye erişimde engelleri azaltabilir.

Doğal kullanıcı arayüzleri, kullanıcıların teknolojiyle etkileşim kurma deneyimini zenginleştirirken, aynı zamanda erişilebilirlik ve kullanılabilirlik açısından da önemli avantajlar sunar. Bu arayüzler, kullanıcıların bilgisayarları daha hızlı ve verimli bir şekilde kullanmalarını sağlayarak üretkenliği artırabilir ve teknolojiye erişimde engelleri azaltabilir.

El, kol ve baş hareketlerinin algılanması ve komutlara dönüştürülmesi, hareket tabanlı arayüzlerin temel prensibini oluşturur. Bu arayüzler genellikle karmaşık algoritmalar ve yapay zeka tekniklerini içerir. Elde edilen hareket

verileri işlenir, analiz edilir ve belirli komutlara veya eylemlere dönüştürülür. Bu tür arayüzler genellikle bir dizi sensör ve algoritma kullanılarak gerçekleştirilir. Hareket tabanlı arayüzlerin gelişimi, kullanıcıların dijital ortamlarla daha organik bir şekilde etkileşime girmelerini sağlayarak, teknoloji deneyimlerini daha duyarlı ve doğal hale getirmeyi amaçlar.

Bu tür arayüzlerin öncelikli kullanım alanlarından biri, oyun konsollarıdır. Örneğin, Microsoft'un Xbox konsollarında Kinect gibi hareket algılama sensörleri kullanılarak oyuncuların fiziksel hareketleri izlenir ve bu hareketler oyun içindeki karakterlerin kontrolünde kullanılır. Bu geleneksel oyun deneyimlerine daha fazla etkileşim ve gerçekçilik katmak için tasarlanmıştır.



Resim 7. Xbox Kinect hareket sensörlü oyun konsolu

Hareket tabanlı arayüzler ayrıca sağlık sektöründe de kullanılır. Örneğin, rehabilitasyon süreçlerinde hasta hareketlerini izlemek ve tedavi sürecini iyileştirmek için kullanılabilirler.



Resim 8. ALS hastasının bilgisayar ile etkileşim kurması (BCI)

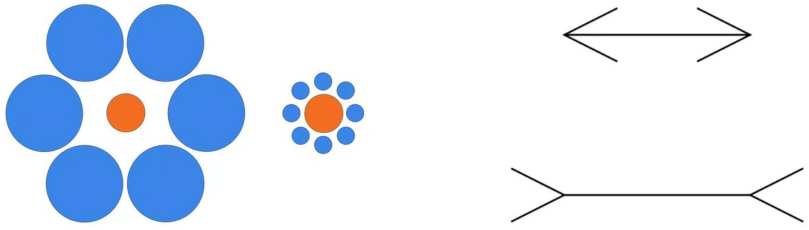
Hareket tabanlı arayüzler ayrıca sanal gerçeklik uygulamalarında da kullanılırlar, bu da kullanıcıların sanal ortam aracılığı ile gerçek dünya ile etkileşime girmelerini sağlar.

5. Kullanıcı Merkezli Tasarımın Rolü

İnsan Bilgisayar Etkileşimi (İBE) alanında, kullanıcı odaklı tasarım prensibi, tasarım sürecinde kullanıcıların taleplerini, beklentilerini ve yeteneklerini öncelikli olarak ele almayı önemser.

İnsanların bilişsel süreçlerinde sınırlı kapasiteye sahip olmaları, tasarımı doğrudan etkileyen bir durumdur. Bilgi giriş kanalları aracılığıyla alınırken, tepki çıkış kanallarıyla ifade edilir. Bilgisayar kullanıcılarıyla etkileşimde bulunulduğunda, bilgisayar tarafından sunulan çıktılar kullanıcılar için girdi niteliği taşır ve kullanıcıların yanıtı, geri bildirimi veya tepkisiyle birlikte bilgisayara girdi sağlanmış olur.

İnsanlar için girdi algı organları aracılığıyla alınırken, çıktı ise motor kontrolüyle gerçekleştirilir. Beş duyu organımız bulunmaktadır: görme, işitme, dokunma, tat alma ve koku alma. Bu duyulardan, görme, işitme ve dokunma insan-bilgisayar etkileşimi açısından önemlidir. Bir bilgisayarla etkileşim, klavyede yazma veya fareyle kontrol ederek gerçekleştirilirken, tıklama sesiyle birlikte göz, vücut ve baş hareketleri de eşlik eder.



Resim 9. Aynı boyutta olmasına rağmen farklı algılanan görseller

Kullanıcı odaklı tasarımın rolü, bilgisayar kullanıcı arayüzlerinin geliştirilmesinde ve kullanıcı deneyiminin geliştirilmesinde hayati bir rol oynar ve bir tasarım süreci, başlangıcından sonuna kadar kullanıcıların bakış açısını dikkate alır. Tasarımcılar, kullanıcıların ihtiyaçlarını anlamak için kullanıcı araştırmaları yaparlar ve bu bilgiyi tasarımın her aşamasında kullanırlar. Bu, kullanıcıların ürünü veya hizmeti daha kolay anlamalarını, kullanmalarını ve

etkileşime girmelerini sağlar. Her konu için farklı kullanıcı tipleri ve kullanım alışkanlıklarını göz önünde bulundurmak zorundadır. Bir tamirhane veya üretim ortamında çalışan tarafından kullanılmak üzere planlanmış bir ekran ile bir perakende mağazasının müşterilerinin kullanımına sunduğu ekran arasında göz önünde bulundurulması gereken parametreler sebebiyle tasarım açısından büyük farklılıklar olacaktır.

Kullanıcı odaklı tasarımın en önemli yönlerinden biri, tasarım sürecinin kullanıcı geri bildirimine dayalı olarak tekrar tekrar gelişmesidir. Tasarımın farklı aşamalarında kullanıcılarla etkileşime geçilir ve geri bildirimler alınır. Bu geri bildirimler, tasarımın geliştirilmesi için değerli ipuçları sağlar. Bir diğer önemli yönü, kullanıcıların çeşitliliğini ve değişen ihtiyaçlarını göz önünde bulundurmaktır. Her kullanıcının farklı talepleri, yetenekleri ve tercihleri vardır ve tasarım bu farklılıkları karşılamak için esnek olmalıdır. Bu, erişilebilirlik, kişiselleştirme ve kullanıcı dostu arayüzlerin geliştirilmesi gibi alanlarda önemli bir rol oynar.

Kullanıcı odaklı tasarımın rolü, yalnızca bilgisayar kullanıcı arayüzlerinin geliştirilmesiyle sınırlı değildir, aynı zamanda dijital ürünlerin ve hizmetlerin her türlü kullanıcı etkileşiminde temel bir rol oynar. Web siteleri, mobil uygulamalar, etkileşimli medya ve diğer dijital araçlar, kullanıcı odaklı tasarım ilkelerine dayalı olarak geliştirilir ve kullanıcıların taleplerine uygun hale getirilir. Tasarım sürecinde kullanıcı taleplerine odaklanmak, daha etkili, kullanıcı dostu ve tatmin edici ürünlerin ve hizmetlerin geliştirilmesine olanak tanır. Bu, kullanıcı memnuniyetini artırmanın yanı sıra ürünün veya hizmetin başarısını da destekler.”

6. Kullanılabilirlik ve Kullanıcı Deneyimi Arasındaki Farklar

İnsan Bilgisayar Etkileşimi (İBE) alanında, kullanılabilirlik ve kullanıcı deneyimi kavramları öne çıkar. Kullanılabilirlik, bir kullanıcının bir ürünü belirli bir hedefe ulaşmak için ne kadar etkili bir şekilde kullanabileceğini tanımlar. Kullanıcı deneyimi ise, bir ürünle ilgili olan tüm kullanıcı deneyimini kapsar- sadece ürünün işlevselliğini değil, aynı zamanda beklentilerini, kullanım deneyimlerini ve genel olarak şirket hakkındaki izlenimlerini de içerir.

a. Kullanılabilirlik

Kullanılabilirlik, bir müşterinin belirli bir hedefe ulaşmak için bir ürünü kolayca öğrenebilme ve kullanabilme yeteneğini ifade eder. Bir ürünün

kullanılabilir olması, kullanıcıların hızlı bir şekilde işlevleri bulmalarını, anlamalarını ve kullanmalarını sağlayan bir kullanıcı arayüzüne sahip olması anlamına gelir. Kullanılabilirlik, kullanıcıların ürünle etkileşimini kolaylaştırmak ve hızlandırmak için tasarımın bir parçası olarak dikkate alınır.

Örneğin, bir ziyaretçinin e-ticaret sitenizde ödeme işlemini sorunsuz bir şekilde yapabilmesi veya blogunuzda belirli bir yazıyı bulabilmesi gerekmektedir.

Kullanılabilirlik testleri, ürünün genel etkinliği ve kullanıcı memnuniyeti hakkında geri bildirim toplamak için gereklidir. Bir kullanılabilirlik testi sırasında, bir moderatör genellikle katılımcılardan belirli görevleri tamamlamalarını ister. Diğer ekip üyeleri, kullanıcıların bu görevleri tamamlarken karşılaştığı sorunları gözlemleyecek ve not alacaktır, böylece ürünü kullanırken karşılaşılan zorlukları belirleyebilirler.

Bu sürecin bir kısmını otomatikleştirmeye yardımcı olabilecek birçok kullanılabilirlik testi aracı mevcuttur, ya da uzak bir şekilde gerçekleştirilebilir. Örneğin, Hotjar gibi araçlar, ısı haritaları, ziyaretçi kayıtları, dönüşüm hunileri, geri bildirim anketleri ve daha fazlasını içeren tüm bir analiz ve geri bildirim yazılımı sunar. Bu araçlar, web sitenizin veya ürününüzün kullanılabilirliğini artırmak için önemli içgörüler sağlayabilir. Gezinme yapısını değiştirebilir, anlaşılması zor simgeleri tanımlayabilir veya düğme metinlerini bu sonuçlara göre ayarlayabilirsiniz.

b. Kullanıcı Deneyimi

Kullanıcı deneyimi (UX), kullanıcıların bir ürün veya hizmetle etkileşimlerinin subjektif bir değerlendirmesidir. Bu değerlendirme, kullanıcının ürünü veya hizmeti kullanırken yaşadığı duyguları, algıları, memnuniyeti ve genel deneyimini içerir. Kullanıcı deneyimi, kullanıcının ürünle olan etkileşimlerinin tüm yönlerini kapsar; sadece ürünün kullanım kolaylığı ile sınırlı değildir. Kullanıcı deneyimi, ürünün tasarımı, performansı, erişilebilirliği, estetiği ve kullanıcı beklentilerine ne kadar uygun olduğu gibi faktörlerle de ilgilidir. Kullanıcı deneyimi, kullanıcıların ürünle etkileşimleri sırasında yaşadıkları duygusal deneyimleri içerir. Kullanıcıların ürünle ilgili olarak ne hissettikleri ne düşündükleri ve bu deneyimlerin sonucunda ne tür davranışlar sergiledikleri önemli bir değerlendirme unsuru olarak kabul edilir. Kullanıcı deneyimi, kullanıcıların ürünle olan algılarını ve memnuniyet düzeylerini içerir. Kullanıcıların ürünü nasıl algıladıkları, beklentilerine ne kadar uygun buldukları ve ürünle ilgili olarak ne kadar tatmin oldukları kullanıcı deneyiminin temel unsurlarıdır.

Kullanıcı deneyimi, birçok farklı faktörün birleşimiyle oluşur. Bu faktörler arasında ürünün tasarımı, performansı, erişilebilirliği, estetiği ve kullanıcı beklentilerine ne kadar uygun olduğu gibi unsurlar bulunur. Kullanıcı deneyimi, bu faktörlerin bir araya gelmesiyle belirlenen kompleks bir kavramdır.

Kullanıcı deneyimi, bir ürünün veya hizmetin kullanıcılar üzerindeki genel etkisini ve algısını ifade eder. Kullanıcıların ürünle etkileşimleri sonucunda oluşan genel izlenim ve değerlendirme, kullanıcı deneyiminin temelini oluşturur.

c. Farklar ve Benzerlikler

Kullanılabilirlik ve kullanıcı deneyimi arasındaki en temel fark, kapsam ve odak noktasıdır. Kullanılabilirlik, belirli görevleri gerçekleştirme kolaylığına ve hızına odaklanırken, kullanıcı deneyimi, bu görevlerin ötesine geçerek kullanıcının deneyimini daha geniş bir şekilde ele alır. Ancak, her iki kavram da bir ürünün veya sistemin kullanıcıların ihtiyaçlarını karşılaması ve memnuniyet sağlaması açısından önemlidir. Kullanılabilirliğin kullanıcı deneyimini net bir şekilde etkilediği açıktır, ancak tüm deneyim bu kavramla sınırlı değildir.

Örneğin, bir web sitesinin kullanılabilirliği, kullanıcıların kolayca istedikleri bilgilere ulaşabilmesini sağlamakla ilgilidir. Ancak, kullanıcı deneyimi, siteye ilk girişlerinden son çıkışlarına kadar olan süreçte yaşadıkları her türlü duygu, düşünce ve deneyimi içerir. Kullanılabilirlik, daha teknik ve somut bir ölçüt sağlarken, kullanıcı deneyimi daha subjektif ve geniş bir perspektife sahiptir.

Kullanılabilirlik ve kullanıcı deneyimi, İnsan Bilgisayar Etkileşimi alanında önemli kavramlardır ve birbirlerini tamamlayan yönleri bulunmaktadır. Bir ürünün veya sistemin başarılı olması için hem kullanılabilirlik hem de kullanıcı deneyimi göz önünde bulundurulmalı ve tasarım sürecinin her aşamasında dikkate alınmalıdır. Kullanılabilirlik, bir ürünün işlevsel ve kullanıcı dostu olmasını sağlarken, kullanıcı deneyimi, kullanıcıların ürünle olan etkileşimlerini daha derinlemesine anlamak ve iyileştirmek için önemli bir araçtır.

Temel Farklar;

Kapsam ve Odaklanma; genellikle bir ürünün veya hizmetin belirli bir görevi ne kadar etkili bir şekilde gerçekleştirebildiğini ölçerken, kullanıcı deneyimi daha geniş bir perspektife sahiptir ve kullanıcıların ürünle olan tüm etkileşimlerini kapsar.

Ölçülebilirlik; belirli ölçülebilir kriterlere dayanarak değerlendirilebilirken, kullanıcı deneyimi daha subjektif bir değerlendirme sürecine dayanır ve belirli ölçütlerle sınırlı değildir.

Kullanıcı Memnuniyeti ve Duygusal Bağ; kullanıcı deneyimi, kullanıcıların ürünle olan duygusal deneyimlerini ve memnuniyetini içerirken, kullanılabilirlik daha çok kullanıcıların belirli görevleri gerçekleştirme sürecindeki pratik deneyimlerini vurgular.

Genişlik ve Derinlik; kullanılabilirlik, genellikle belirli bir arayüz veya işlevin kullanılabilirliğine odaklanırken, kullanıcı deneyimi daha geniş bir bakış açısına sahiptir ve ürünün veya hizmetin kullanıcılar üzerindeki genel etkisini değerlendirir.

Temel Benzerlikler;

Kullanıcı Odağı; hem kullanıcı deneyimi hem de kullanılabilirlik, kullanıcıların ihtiyaçlarına, beklentilerine ve davranışlarına odaklanır. Her iki kavram da kullanıcı merkezlidir ve kullanıcıların ürün veya hizmetle olan etkileşimlerini temel alır.

Ürün Tasarımı; kullanıcı deneyimi ve kullanılabilirlik, bir ürünün veya hizmetin tasarım sürecinde önemli rol oynarlar. Her iki kavram da ürün veya hizmetin kullanıcılar tarafından nasıl algılanacağını ve kullanılacağını dikkate alarak tasarım kararlarına katkı sağlarlar.

Kullanıcı Memnuniyeti hem kullanıcı deneyimi hem de kullanılabilirlik, kullanıcıların memnuniyetini artırmayı ve olumlu deneyimler sağlamayı hedeflerler. Her iki kavram da kullanıcıların ürün veya hizmetle olan etkileşimlerinden tatmin olmalarını ve olumlu duygular yaşamalarını amaçlarlar.

Ürün veya Hizmetin Etkin Kullanımı; kullanıcı deneyimi ve kullanılabilirlik, bir ürünün veya hizmetin etkin bir şekilde kullanılmasını sağlamayı amaçlarlar. Her iki kavram da kullanıcıların belirli görevleri veya işlevleri gerçekleştirmelerini kolaylaştırmayı ve engelleri azaltmayı hedeflerler.

Kalite Yaklaşımı; hem kullanıcı deneyimi hem de kullanılabilirlik, bir ürünün veya hizmetin kalitesini artırmayı hedeflerler. Her iki kavram da kullanıcıların ürün veya hizmetle olan etkileşimlerinin daha olumlu, etkili ve verimli olmasını sağlayarak kaliteyi artırmayı amaçlarlar.

7. İnsan Bilgisayar Etkileşimi Alanında Kullanılan Araçlar, Yöntemler ve Tasarım

Etkileşim tasarımı, insan bilgisayar etkileşimi (İBE) alanında ürünlerin veya sistemlerin kullanıcılarla etkileşimini optimize etmek için kullanılan önemli bir süreçtir. Bu süreç, kullanıcı odaklı bir yaklaşımı benimseyerek, kullanıcıların ihtiyaçlarını, beklentilerini ve deneyimlerini merkeze alır. Etkileşim tasarımı

sürecinde, tasarımın her aşamasında kullanıcı geri bildirimleri ve testler önemli bir rol oynar.

İBE alanında kullanılan temel araç ve yöntemler aşağıdaki gibidir.

a. Kullanıcı Araştırmaları ve Analizi

İBE çalışmalarının temelini, kullanıcıların ihtiyaçlarını, beklentilerini ve davranışlarını anlamak amacıyla yapılan araştırmalar oluşturur. Kullanıcı araştırmaları, odak grupları, anketler, kullanılabilirlik testleri ve gözlem gibi çeşitli teknikler kullanılarak gerçekleştirilir. Bu araştırmalar, tasarım sürecinin başlangıcında kullanıcı gereksinimleri belirlenmesine ve ürünlerin kullanıcı dostu olmasına yardımcı olur.

b. Prototipleme ve Tasarım Araçları

Prototipleme, tasarım sürecinin önemli bir aşamasını oluşturur ve kullanıcıların geri bildirimlerine dayalı olarak tasarımın iteratif olarak geliştirilmesini sağlar. Bu amaçla, çeşitli prototip araçları kullanılır. Sketch, Adobe XD, Figma gibi dijital araçlarla prototip oluşturulabilirken, kağıt prototipler de hızlı ve etkili bir şekilde tasarımların test edilmesine olanak tanır.

c. Kullanılabilirlik Testleri

Kullanılabilirlik testleri, tasarımın kullanıcılar tarafından ne kadar etkili ve kullanıcı dostu olduğunu değerlendirmek için yapılan deneylerdir. Bu testler genellikle laboratuvar ortamında gerçekleştirilir ve kullanıcıların ürünle etkileşimini gözlemleyen araştırmacılar tarafından yönlendirilir. Ayrıca, göz takip sistemleri ve kullanıcı deneyimini ölçen yazılımlar da kullanılabilir. Kullanılabilirlik testleri sonucunda elde edilen geri bildirimler doğrultusunda, tasarım iyileştirilir ve yeniden değerlendirilir. Bu aşamada, kullanıcı geri bildirimlerinin dikkate alınması ve tasarımın kullanıcı deneyimini artıracak şekilde revize edilmesi önemlidir.

d. Etkileşim Tasarımı ve Kullanıcı Arabirimleri

Etkileşim tasarımı, kullanıcıların bilgisayarlarla etkileşimini optimize etmek için tasarımın önemli bir unsuru olarak kabul edilir. Bu bağlamda, kullanıcı arayüzleri (UI) ve kullanıcı deneyimi (UX) tasarımı büyük önem taşır. Basit ve anlaşılır kullanıcı arabirimleri tasarlamak, kullanıcıların ürünü daha kolay kullanmasını sağlar ve genel kullanıcı memnuniyetini artırır.

e. Veri Analitiği ve Makine Öğrenimi

Büyük veri ve makine öğrenimi teknikleri, İBE alanında da giderek daha fazla kullanılmaktadır. Kullanıcıların davranışlarını analiz etmek ve kullanıcı deneyimini kişiselleştirmek için veri analitiği ve makine öğrenimi algoritmaları kullanılır. En temel maddeler halinde paylaşılan araçlar sayesinde kullanıcıların tercihleri ve ihtiyaçları daha iyi anlaşılır ve ürünler buna göre optimize edilebilir.

Etkileşim tasarımı süreci, kullanıcıların ihtiyaçlarını ve beklentilerini merkeze alan bir yaklaşımı benimseyerek, ürünlerin veya sistemlerin kullanıcı deneyimini optimize etmeyi amaçlar. Bu süreç, tasarımın her aşamasında kullanıcı geri bildirimlerinin dikkate alınmasını ve tasarımın iteratif olarak geliştirilmesini sağlar. Sonuç olarak, etkileşim tasarımı süreci, kullanıcı merkezli tasarımın temelini oluşturur ve ürünlerin kullanıcıların ihtiyaçlarına uygun olmasını sağlar.

8. Mevcut Durum ve Güncel İnsan Bilgisayar Etkileşimi Trendleri

Günümüzde, insan bilgisayar etkileşimi alanında birçok önemli gelişme yaşanmaktadır. Mobil cihazlar, akıllı ev sistemleri, sanal gerçeklik ve artırılmış gerçeklik gibi yeni teknolojiler, İBE'nin daha da önemli hale gelmesine neden olmuştur. Kullanıcı deneyimi ve kullanılabilirlik, ürün ve sistem tasarımının merkezine yerleşmiş ve tasarımcılar tarafından büyük bir önem verilen kavramlar haline gelmiştir.

a. Güncel İnsan Bilgisayar Etkileşimi Trendleri:

Artırılmış Gerçeklik (AR) ve Sanal Gerçeklik (VR) teknolojileri, kullanıcıların gerçek dünya ile sanal ortam arasında etkileşim kurmalarını sağlayarak, yeni ve heyecan verici deneyimler sunar. Bu teknolojilerin İBE üzerindeki etkisi giderek artmaktadır ve kullanıcıların dijital içerikle etkileşimini daha derin ve etkileyici hale getirir. AR, gerçek dünyayı sanal öğelerle genişleten bir teknoloji türüdür. Kullanıcılar, AR uygulamaları aracılığıyla gerçek dünya ortamını görerek üzerine eklenmiş dijital içerikleri deneyimleyebilirler. Örneğin, AR tabanlı harita uygulamaları, kullanıcılara gerçek zamanlı navigasyon ve konum bazlı bilgiler sunabilir. Ayrıca, AR ile artırılmış gerçeklik deneyimleri sağlayan oyunlar, eğitim uygulamaları ve satış destek araçları da yaygın olarak kullanılmaktadır.

VR, kullanıcıları tamamen sanal bir ortama taşıyan bir teknolojidir. Kullanıcılar, VR başlıkları ve kontrol cihazları aracılığıyla sanal dünyayı

keşfedebilir, etkileşime girebilir ve deneyimleyebilirler. VR uygulamaları, oyun endüstrisinden eğitim, sağlık ve simülasyon alanlarına kadar geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Örneğin, cerrahi eğitim simülasyonları, VR teknolojisi kullanılarak gerçekçi cerrahi deneyimler sunabilir. Ayrıca, VR tabanlı oyunlar ve eğlence uygulamaları da popülerdir. AR ve VR, endüstriyel ve ticari alanlarda da yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle mimari, mühendislik, inşaat ve perakende sektörlerinde, AR ve VR teknolojileri kullanılarak ürün prototipleri oluşturulabilir, simülasyonlar yapılabilir ve müşterilere interaktif deneyimler sunulabilir. Örneğin, AR ile artırılmış gerçeklik kullanılarak mobilya mağazaları müşterilere mobilya ürünlerini ev ortamlarında deneme imkânı sunabilir.

AR ve VR, eğitim ve öğrenme alanında da büyük bir potansiyele sahiptir. Özellikle karmaşık konseptlerin görselleştirilmesi ve interaktif olarak deneyimlenmesi için kullanılabilirler. VR, tarih dersleri, bilimsel simülasyonlar ve sanal laboratuvarlar gibi alanlarda öğrencilerin katılımını artırabilirken, AR, gerçek dünya ortamında canlandırılmış içeriklerle öğrenme deneyimini zenginleştirebilir.

AR ve VR, kullanıcıları sosyal etkileşimler için bir araya getiren ve eğlenceli deneyimler sunan uygulamalar için de kullanılabilir. Özellikle sosyal medya platformları, AR efektleri kullanarak kullanıcıların içerik oluşturmasını ve paylaşmasını teşvik edebilir. VR, çok oyunculu oyunlar ve sanal etkinlikler aracılığıyla kullanıcıların bir araya gelmesini sağlayabilir ve ortak deneyimler yaşamalarını mümkün kılabilir.

b. Yapay Zeka ve Makine Öğrenimi:

Yapay Zeka, insan benzeri zeka ve düşünme yeteneklerine sahip bilgisayar sistemlerinin tasarımı ve geliştirilmesini ifade eder. Bu, genellikle karmaşık problem çözme, doğal dil anlama, görüntü tanıma ve otonom karar verme gibi alanları içerir. İBE bağlamında, yapay zeka sistemleri, kullanıcıların taleplerini anlama, yanıt verme ve kişiselleştirilmiş deneyimler sunma konularında kullanılır. Örneğin, sesli asistanlar gibi yapay zeka destekli arayüzler, kullanıcıların sesli komutlarını anlayarak istedikleri bilgileri sunabilir veya görevleri yerine getirebilir. Makine Öğrenimi ise, bilgisayar sistemlerinin verilerden öğrenme ve bu verilere dayanarak gelecekteki kararlar alabilme yeteneğini ifade eder. İBE bağlamında, makine öğrenimi algoritmaları, kullanıcıların davranışlarını analiz ederek daha iyi kullanıcı deneyimleri sağlamak için kullanılabilir. Örneğin, bir e-ticaret web sitesi, kullanıcıların geçmiş alışveriş tercihlerine dayanarak kişiselleştirilmiş ürün önerileri sunabilir veya kullanıcıların gezinme

alışkanlıklarını analiz ederek daha iyi bir kullanıcı arayüzü tasarlayabilir. Yapay Zeka ve Makine Öğrenimi, İnsan Bilgisayar Etkileşimi alanında önemli bir role sahiptir ve kullanıcı deneyimini iyileştirmek için potansiyel sunar. Gelecekte, bu teknolojilerin daha da geliştirilmesi ve İBE araştırmalarına daha fazla entegre edilmesi beklenmektedir.

c. Duygu Tanıma Teknolojileri:

Kullanıcıların duygusal durumlarını algılamak ve anlamak için duygu tanıma teknolojileri giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bu teknolojiler, kullanıcıların duygusal tepkilerini analiz ederek, ürün ve sistem tasarımını daha duyarlı hale getirir ve kullanıcı deneyimini iyileştirir. Duygusal ve sosyal robotlar, insanlarla duygusal bağlar kurabilme yeteneğine sahiptirler. Bu robotlar genellikle insan benzeri davranışlar sergileyerek, kullanıcılarla duygusal etkileşimler kurarlar. Örneğin, yüz ifadeleri, jestler, ses tonu ve hatta bazen yapay zeka destekli konuşma yetenekleri aracılığıyla duygusal tepkileri yansıtabilirler.

Duygusal ve sosyal robotlar, insanlarla doğal bir şekilde etkileşim kurabilir ve iletişimde bulunabilirler. Bu robotlar, kullanıcılarla konuşarak, soruları yanıtlayarak, hikayeler anlatarak veya görevleri tamamlayarak sosyal etkileşimlerde bulunabilirler. Bu tür robotlar, genellikle yaşlı bakımı, çocuk terapisi, otizm spektrum bozukluğu gibi alanlarda sosyal etkileşim ve iletişim becerilerini geliştirmeye yardımcı olmak amacıyla kullanılır. Duygusal ve sosyal robotlar, insanlarla doğal bir şekilde etkileşim kurabilir ve iletişimde bulunabilirler. Bu robotlar, kullanıcılarla konuşarak, soruları yanıtlayarak, hikayeler anlatarak veya görevleri tamamlayarak sosyal etkileşimlerde bulunabilirler. Bu tür robotlar, genellikle yaşlı bakımı, çocuk terapisi, otizm spektrum bozukluğu gibi alanlarda sosyal etkileşim ve iletişim becerilerini geliştirmeye yardımcı olmak amacıyla kullanılır.

Duygusal ve sosyal robotlar, eğitim ve terapi alanlarında kullanılan önemli araçlardır. Özellikle çocukların duygusal ve sosyal becerilerini geliştirmelerine yardımcı olmak için eğitim amaçlı olarak kullanılabilirler. Ayrıca, terapi oturumlarında kullanılarak kullanıcıların duygusal iyilik hallerini artırabilir ve psikolojik destek sağlayabilirler.

d. Çoklu Cihaz ve Faktör Etkileşimi:

Kullanıcıların farklı cihazlar arasında sorunsuz bir şekilde etkileşim kurmalarını sağlayan çoklu cihaz etkileşimi, giderek daha fazla önem

kazanmaktadır. Bu trend, IoT (Nesnelerin İnterneti) ve akıllı ev sistemleri gibi alanlarda özellikle belirgin bir şekilde görülmektedir. Çoklu cihaz etkileşimi, kullanıcıların farklı cihazlar arasında sorunsuz bir şekilde geçiş yapabilmesini ve bu cihazlar arasında tutarlı bir deneyim yaşamasını sağlayan bir kavramdır. Günümüzde insanlar, masaüstü bilgisayarlar, dizüstü bilgisayarlar, tabletler, akıllı telefonlar, akıllı saatler ve diğer akıllı cihazlar gibi çeşitli cihazları kullanarak dijital dünyayla etkileşim kurarlar. Çoklu cihaz etkileşimi, bu farklı cihazlar arasında geçiş yaparken kullanıcı deneyiminin sürekliliğini ve bütünlüğünü sağlamak için tasarlanmıştır. Çoklu cihaz etkileşimi, kullanıcıların farklı cihazlar arasında tutarlı bir deneyim yaşamasını sağlar. Örneğin, bir kullanıcı bir web sitesini dizüstü bilgisayarında ziyaret ettiğinde, daha sonra aynı web sitesini akıllı telefonunda açtığında, benzer bir kullanıcı arayüzü ve işlevsellik bekler. Ek olarak kullanıcıların farklı cihazlarda yaptıkları işlemleri senkronize etmelerini sağlar. Örneğin, bir kullanıcı bir metin belgesini tabletinde oluşturduğunda, bu belgeye daha sonra dizüstü bilgisayarında erişebilir ve üzerinde çalışmaya devam edebilir. Çoklu cihaz etkileşimi, kullanıcılara farklı cihazları kullanarak işlerini yapma esnekliği sağlar. Örneğin, bir kullanıcı bir belgeyi dizüstü bilgisayarında oluşturduktan sonra, aynı belgeyi akıllı telefonunda düzenleyebilir veya paylaşabilir.

Çoklu faktörlerin birleşimi, kullanıcıların çeşitli etkileşim faktörlerinin bir araya gelerek deneyimlerini etkilemesi anlamına gelir. Bu faktörler, kullanıcının fiziksel çevresi, sosyal bağlamı, duygusal durumu, tercihleri, alışkanlıkları ve daha birçok değişkeni içerebilir. İnsan bilgisayar etkileşimi, bu faktörlerin birleşimini anlayarak daha kişiselleştirilmiş ve etkili kullanıcı deneyimleri sağlamak için bu faktörleri dikkate alır. Örneğin, bir alışveriş uygulaması, kullanıcının geçmiş alışveriş tercihlerini, konumunu ve duygusal durumunu dikkate alarak öneriler sunabilir. Çoklu faktörlerin birleşimi, kullanıcının duygusal durumunu ve sosyal bağlamını dikkate alarak deneyimi şekillendirebilir. Örneğin, bir dijital asistan, kullanıcının stresli olduğunu algıladığında, rahatlatıcı müzik önerileri sunabilir veya nefes egzersizleri önerebilir. Çoklu faktörlerin birleşimi, kullanıcının fiziksel çevresini (örneğin, ışık, gürültü, sıcaklık) ve etkileşim ortamını dikkate alarak deneyimi optimize edebilir. Örneğin, bir akıllı ev sistemleri, kullanıcının evdeki ışıkları ve sıcaklığı kontrol etmesine olanak tanırken, aynı zamanda kullanıcının konumunu ve hareketini de algılayabilir ve bu bilgileri evin otomasyonunu optimize etmek için kullanabilir.

e. Uygulama Tasarımı ve Kullanıcı Arabirimleri:

Kullanıcı deneyimi tasarımı ve kullanıcı arabirimleri, İBE alanında sürekli olarak gelişen ve değişen bir trenddir. Minimalist tasarım, karanlık mod, sesli etkileşim ve dokunmatik kontroller gibi yeni ve yenilikçi yaklaşımlar, kullanıcıların ürünlerle daha etkili bir şekilde etkileşim kurmasını sağlar.

Minimalist tasarım, karmaşık olmayan ve gereksiz detaylardan arındırılmış bir kullanıcı arabirimi tasarımı yaklaşımıdır. Temiz ve basit bir tasarım anlayışını benimseyerek, kullanıcıların ürünle olan etkileşimini daha anlaşılır ve kullanıcı dostu hale getirir. Minimalist tasarım, kullanıcıların ürünü daha hızlı anlamalarını ve istedikleri işlevlere daha kolay erişmelerini sağlar. Karanlık mod, kullanıcıların uygulama veya web sitelerini karanlık renk paletiyle görüntülemelerine olanak tanıyan bir tasarım trendidir. Bu mod, özellikle düşük ışıkta veya gece kullanımda göz yorgunluğunu azaltır ve kullanıcıların daha rahat bir deneyim yaşamalarını sağlar. Ayrıca, karanlık mod enerji tasarrufu sağlayarak cihazın pil ömrünü uzatabilir. Sesli etkileşim, kullanıcıların sesli komutlar vererek uygulamalarla etkileşim kurmalarını sağlayan bir teknolojidir. Bu yaklaşım, kullanıcıların eller serbest bir şekilde etkileşime geçmelerine olanak tanır ve özellikle sürüş sırasında veya diğer ellerinin meşgul olduğu durumlarda kullanışlıdır. Sesli etkileşim, yapay zeka ve doğal dil işleme teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte daha yaygın hale gelmiştir. Dokunmatik kontroller, kullanıcıların dokunma ve hareketlerini kullanarak uygulamalarla etkileşim kurmalarını sağlayan bir arayüz tasarımıdır. Akıllı telefonlar, tabletler ve dokunmatik ekranlı diğer cihazlarla birlikte popüler hale gelen bu kontrol yöntemi, kullanıcıların doğal ve sezgisel bir şekilde etkileşime girmelerini sağlar. Dokunmatik kontroller, kullanıcıların uygulamaları hızlı ve verimli bir şekilde kullanmalarını sağlar.

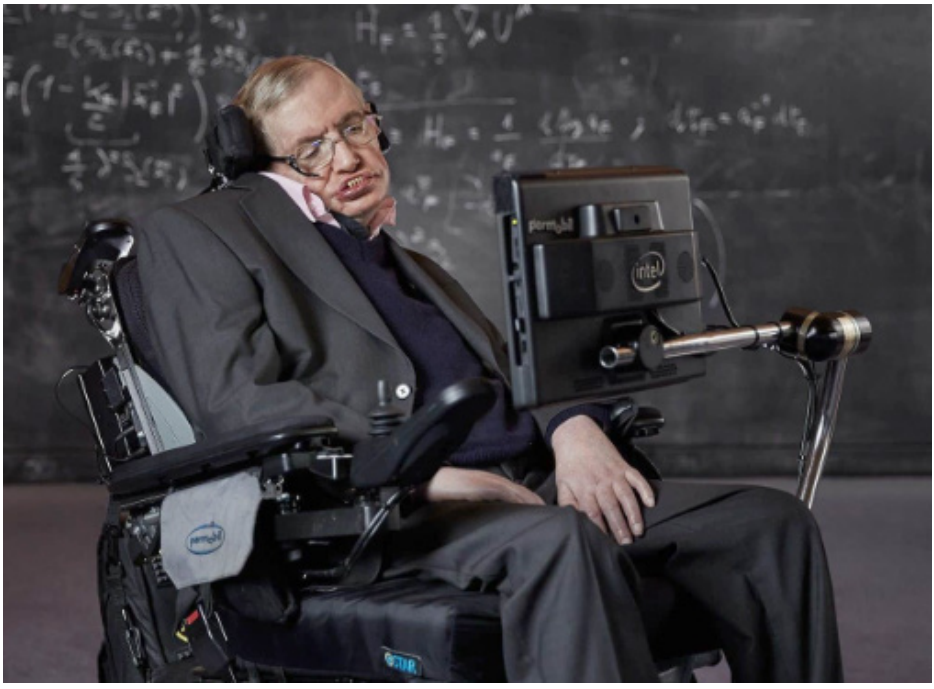
İnsan bilgisayar etkileşimi mevcut durum ve güncel trendler, teknolojinin hızlı bir şekilde evrim geçirdiği bir dönemde, kullanıcı deneyiminin merkezine yerleşmiş olduğunu göstermektedir. AR, VR, yapay zeka, duygu tanıma teknolojileri, çoklu cihaz etkileşimi ve uygulama tasarımı gibi trendler, İBE alanında gelecekteki çalışmaları şekillendirecek ve kullanıcıların dijital dünyayla etkileşimini daha da zenginleştirecektir. Bu nedenle, İBE alanında çalışan araştırmacılar ve tasarımcılar, bu trendleri dikkatle takip etmeli ve kullanıcı deneyimini sürekli olarak iyileştirmek için yeni ve yenilikçi yaklaşımlar geliştirmelidirler.

9. Ülkemizde ve Dünyada İnsan Bilgisayar Etkileşimi Gelişim Öngörüleri

Teknolojinin hızla ilerlemesiyle birlikte, insan bilgisayar etkileşimi (İBE) alanında da önemli değişiklikler ve gelişmeler beklenmektedir.

Gelecekte, bilgisayarlar insan duygularını daha iyi anlayabilecek ve duygusal etkileşim kurabilecek hale gelecektir. Yapay zeka ve duygu tanıma teknolojilerindeki ilerlemeler, bilgisayarların insan duygularını algılamasını ve buna göre tepki vermesini sağlayacaktır. Bu da kullanıcı deneyimini daha kişisel ve etkileyici hale getirecektir.

Fizikçi , evren bilimci ve astronom olarak tanınan 1942 doğumlu Stephen Hawking 2018 yılında vefat edene kadar ömrünün büyük bir bölümünü ALS hastası olarak geçirdi. Son dönemlerinde ise sadece sağ yanak kaslarından birisini kullanabiliyordu. Tekerlekli sandalyesine monte edilmiş özel tablet bilgisayarı ve gözlüğüne monte edilmiş küçük bir alet üzerinden kızılötesi yardımıyla "kelime tahmin algoritması" içeren EZ Keys uygulamasını kullanıyordu. Bu uygulama Mouse tıklaması işlemlerini ve kelime seçmesini sağlıyor, seçtiği kelimeler ile oluşan metnin seslendirilmesini yapabiliyordu. Bu sayede sayısız eser ve teori ortaya koyabildi.



Resim 10. Stephen Hawking

Benzer teknolojiler ile farklı hastalıklara özel çözümler geliştirilmeye devam edilecek hastanın hayatını kolaylaştırmak ve ömrünü uzatmak mümkün olabilecektir.

Artırılmış gerçeklik (AR) ve sanal gerçeklik (VR) teknolojileri, gelecekte daha yaygın hale gelecek ve hayatın birçok alanında kullanılacaktır. AR ve VR teknolojileri, kullanıcıların gerçek dünya ile sanal ortam arasında sorunsuz bir şekilde geçiş yapmalarını sağlayacak ve yeni deneyimler sunacaktır. Özellikle satış ve eğitim alanında mevcutta yapılan bazı örnek sayıları hızla artacak ve daha geniş bir alanda kullanılacaktır.

Beyin-bilgisayar arayüzleri, insan beyniyle doğrudan etkileşime geçerek bilgisayarların kontrol edilmesini sağlar. Gelecekte, BCI teknolojilerindeki ilerlemeler sayesinde, düşüncelerimizi doğrudan bilgisayarlara aktarmak mümkün olabilir. Bu da engelliler için yeni olanaklar sunarken, bilgisayarlarla etkileşimi daha hızlı ve doğal hale getirecektir.

Gelecekte, yapay zeka ve büyük veri analitiği sayesinde, kullanıcı deneyimi daha da kişiselleştirilmiş hale gelecektir. Bilgisayarlar, kullanıcıların tercihlerini, alışkanlıklarını ve ihtiyaçlarını daha iyi anlayacak ve buna göre içerik ve hizmetler sunacaktır. Bu da kullanıcıların daha tatmin edici ve özelleştirilmiş deneyimler yaşamasını sağlayacaktır.

Gelecekte, sesli komutlar, jestler, göz takibi ve duygusal ifadeler gibi daha doğal ve etkileşimli arabirimler kullanılacaktır. Bu arabirimler, kullanıcıların bilgisayarlarla daha rahat ve doğal bir şekilde etkileşim kurmalarını sağlayacak ve dijital dünya ile gerçek dünya arasındaki sınırları daha da azaltacaktır.

Ülkemizin ise İBE alanında diğer ülkelere göre birtakım avantajları bulunmaktadır. Türkiye, genç ve dinamik bir nüfusa sahiptir. Bu, İBE alanında çalışacak genç ve yetenekli insan kaynağının bol olmasını sağlar. Üniversitelerin ve teknoloji odaklı kurumların artan ilgisiyle birlikte, Türkiye›de İBE konusunda uzmanlaşmış bireylerin sayısının artması beklenmektedir. Ayrıca son yıllarda teknoloji altyapısını geliştirmeye büyük yatırımlar yapılmıştır.

Geniş bant internet erişimi, mobil teknolojilerin yaygınlaşması ve dijitalleşme sürecinde kaydedilen ilerlemeler, İBE alanında çalışmalar için uygun bir ortam oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra Ülkemiz girişimcilik ve inovasyon konusunda hızla büyüyen bir ekosisteme sahiptir. Yenilikçi fikirleri destekleyen ve geliştirmeye teşvik eden bir kültür, İBE alanında yeni çözümlerin ortaya çıkmasını sağlayacağından gelişime pozitif etki beklenmektedir.

Ülkemizdeki üniversiteler ve endüstriyel kuruluşlar arasındaki iş birlikleri, İBE alanında araştırma ve geliştirme çalışmalarının yapılmasını teşvik etmektedir. Akademik kurumlar ve endüstriyel firmalar arasındaki iş birlikleri,

teorik bilginin pratik uygulamaya dönüştürülmesini ve yeni teknolojilerin geliştirilmesini sağlayan birçok örnekle doludur, ileride bu örneklerin artarak devam etmesi beklenmektedir.

Son olarak ülkemiz Avrupa ile Asya arasında köprü konumundadır. Bu stratejik konum, farklı kültürlerden gelen kullanıcıların ihtiyaçlarını anlama ve çeşitli pazarlara erişim açısından avantajlar sunar. Ayrıca, farklı coğrafi bölgelerdeki kullanıcıların davranışlarını ve tercihlerini anlama konusunda zengin bir veri sağlayacaktır.

10. Sonuç

İnsan bilgisayar etkileşimi (İBE) alanındaki gelişmeler, hem ülkemizde hem de dünyada büyük bir hızla ilerlemektedir. Teknolojik yenilikler, bilgisayarların insan duygularını daha iyi anlayabilmesi, artırılmış ve sanal gerçeklik uygulamalarının yaygınlaşması, beyin-bilgisayar arayüzleri ve daha doğal etkileşim yöntemlerinin geliştirilmesi gibi alanlarda önemli ilerlemeler vaat etmektedir.

Ülkemizin genç ve dinamik nüfusu, artan teknoloji altyapısı ve üniversiteler ile endüstriyel kuruluşlar arasındaki iş birlikleri, İBE alanında büyük fırsatlar sunmaktadır. Türkiye›nin stratejik konumu ve girişimcilik ekosisteminin hızla büyümesi, yenilikçi çözümler ve yeni teknolojilerin geliştirilmesi için elverişli bir ortam yaratmaktadır.

Gelecekte, İBE alanındaki bu gelişmeler, kullanıcı deneyimini daha kişisel ve etkileyici hale getirerek dijital ve fiziksel dünya arasındaki etkileşimi daha da artıracaktır. Bu gelişmeler, hayatımızın her alanında daha doğal, verimli ve tatmin edici etkileşimler sağlamayı hedeflemektedir. Ülkemiz, bu alandaki potansiyelini en iyi şekilde kullanarak, küresel düzeyde önemli bir aktör olma yolunda ilerlemektedir.

KAYNAKÇA

(Ariyana Y., Wuryandari A. I., (2012, September). Basic 3D Interaction Techniques in Augmented Reality, International Conference on System Engineering and Technology, Bandung, Indonesia, 11-12 Eylül 2012)

Batukan, B. & Kaya, B (2023). El hareketleri ile mutfak gereçlerinin temassız kontrolü: Sanal ocak üzerine bir uygulama arayüzü. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, 46(2023), 116-125

Çagıltay, K. E-dönüsümü Kullanabilmek? İnsan Bilgisayar Etkilesimi, Kullanılabilirlik ve e-Devlet Projeleri. Bilisim, 91, 2005, pp 16-17.

Gates, B. (1995). The Road Ahead. New York: Penguin Books.

Hornbæk, K. ve Oulasvirta, A. (2017). What is interaction? In Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 5040-5052.

Johnson, S. (2002). Interface Culture: How New Technology Transforms the Way We Create and Communicate. New York: HarperCollins.

Karahoca, D., Karahoca, A., & Güngör, A. (2008). Assessing effectiveness of the cognitive abilities and individual differences on e-learning portal usability evaluation. In Proceedings of the 9th International Conference on Computer Systems and Technologies and Workshop for PhD Students in Computing, 57

Norman D., Jakob N., The Definition of User Experience (UX), Norman Nielsen Group, https://www.nngroup.com/articles/definition-user-experience/

(Ziyaret tarihi: 2 Nisan 2024).

Preece J., Rogers Y., Sharp H., Interfaces

Preece J., Rogers Y., Sharp H., Interaction Design: Beyond Human-Computer Interaction, 3rd ed., John Wiley & Sons, UK, 2011.

Shneiderman, B. (1998). Designing the User Interface: Strategies for Effective Human-Computer Interaction. Reading, MA: Addison-Wesley.

BÖLÜM XII

GÜNEY AVRUPA MUTFAK KÜLTÜRÜNDE YER ALAN ÖZEL GIDALARIN İNCELENMESİ

Examination of Special Foods in Southern Europan Culinary Culture

FATMA GÜLTEKİN[1,2] & DILEK DÜLGER ALTINER[2]

[1,2] (Arş. Gör.), İstanbul Galata Üniversitesi, Sanat ve Sosyal Bilimler Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü,
E-mail: fatma.gultekin@galata.edu.tr,
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2893-852X

[2] (Doç. Dr.), Kocaeli Üniversitesi, Turizm Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, Kartepe/Kocaeli
E-mail: dilek.dulger@kocaeli.edu.tr,
ORCİD: http://orcid.org/0000-0002-7043-2883

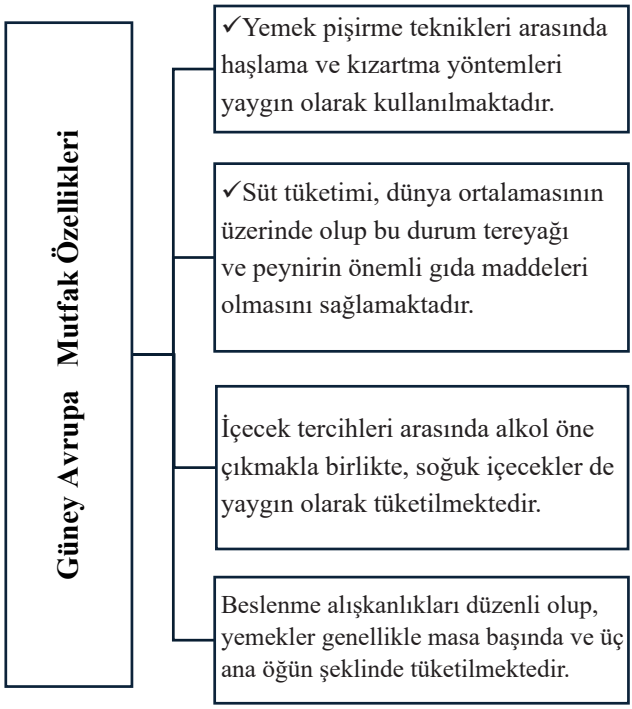
1. Giriş

Gıda, insan yaşamında hem biyolojik hem de kültürel bir öneme sahiptir. Beslenme, sağlık ve zevk arasında karmaşık bir denge oluşturan gıdalar, tarih boyunca insanların yaşamını şekillendirmiş ve toplumların kültürel kimliğinin önemli bir parçası haline gelmiştir (Potter ve Hotchkiss, 2012). Bu bağlamda gıda bilimi insan yaşamında önemli bir rol oynamaktadır. Gıda bilimi, gıdanın üretiminden tüketimine kadar olan süreçte, gıdanın fiziksel, biyolojik ve kimyasal özelliklerini inceleyen ve anlamaya çalışan disiplinler arası bir alandır. Bu disiplin, gıdanın üretimi, saklanması, işlenmesi ve tüketilmesiyle ilgili karmaşık süreçlerin yanı sıra, gıdanın içerdiği bileşenlerin etkileşimlerini de araştırmaktadır. Gıda bilimi, besin değeri, güvenliği, kalitesi ve sürdürülebilirliği gibi konuları ele alarak, gıda endüstrisindeki yenilikçi ve

iyileştirici uygulamaların geliştirilmesine katkıda bulunmaktadır (Dikme, 2024). Gıda biliminde önemli bir yeri olan özel gıdalar da bu yenilikçi ve iyileştirici uygulamalardan faydalanmaktadır.

Günümüzde gıdalarla şekillenen mutfak kültürleri önemli bir yere sahiptir. Güney Avrupa mutfağı, tarih boyunca çeşitli medeniyetlerin etkisiyle şekillenmiş ve bu zengin kültürel birikimi yansıtan benzersiz bir gastronomi geleneğine sahiptir. Bu mutfağın temel özellikleri arasında zeytinyağı, taze sebze ve meyveler, deniz ürünleri ve tahılların yoğun kullanımı öne çıkmaktadır. Akdeniz ikliminin sunduğu verimli topraklarda yetişen ürünler, bu mutfakta sıklıkla kullanılarak yemeklere doğallık ve tazelik katmaktadır (Albala, 2000).

Genel hatlarıyla incelendiğinde Güney Avrupa Mutfak Kültürüne Ait Genel Özellikler Şekil 1'de verilmiştir (Yaman, 2019).



Şekil 1. Güney Avrupa Mutfak Kültürüne Ait Genel Özellikler
Özdemir Kaynak: (Yaman, 2019)

Bu bölümde Güney Avrupa mutfak kültürüne ait yemekler ve özel gıdalar hakkında bilgi verilmiştir. Bölümün amacı; Güney Avrupa'nın uzun yıllardan

beri üretilen ve geçmişten gelen bilgi ve tekniklerle günümüze kadar ulaşan özel gıdaları araştırmak, bu ürünlerin üretimine ilişkin bilgileri elde etmektir. Ayrıca literatür incelendiğinde Güney Avrupa'ya ait özel gıdalar ile ilgili herhangi bir derleme çalışmaya rastlanılamamıştır. Dolayısıyla bu çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı öngörülmüştür.

2. Özel Gıda Kavramı

Özel gıda, kendine ait özellikleri ve üretim teknolojileri ile diğer gıdalardan ayrılan, aynı zamanda coğrafi kökene de işaret eden gıdalar olarak tanımlanır (Onurlubaş ve Taştan, 2017). Türkiye de ve dünyada birçok özel gıda ve bu gıdaların farklı teknolojileri mevcuttur.

Şeker, çay, kahve, çikolata, kakao, şarap, pekmez, helva, lokum, baharat gibi gıdaların teknoloji bunlara örnek verilebilir. Bu bölümde özel gıdaların teknolojilerinden bahsedilmiştir. Şeker teknolojisi, yalnızca rafine şeker üretimini değil diğer şekerleme ürünlerini de kapsayan bir teknolojidir. İnsan tüketimi için iki ana sakaroz (şeker) kaynağı şeker kamışı ve şeker pancarıdır. Dünya şeker üretiminin yaklaşık dörtte biri şeker pancarından sağlanmaktadır. Türkiye de ise şeker üretimi yalnızca şeker pancarından sağlanmaktadır (Bilişli, 2013; Erdal vd., 2007).

Çay, dünyada suyun ardından en yaygın tüketilen ikinci içecektir ve *Camellia sinensis* adı verilen bitkinin üst tomurcuğu ve yapraklarının işlenmesiyle elde edilmektedir. Ticari amaçlar için çay bitkisinden üç ana çeşit çay üretilmektedir. Bunlar; yeşil çay (işlenmemiş, fermentasyona uğramamış), oolong çayı (kısmen işlenmiş, yarı fermante edilmiş) ve siyah çay (tamamen işlenmiş, fermante edilmiş) olarak sınıflandırılmaktadır (Taşkın vd., 2016).

Yüzyıllardır tüketilen ve yüksek seviyede rağbet gören bir içecek olan kahve hem günlük yaşamın hem de kültürün ayrılmaz bir parçası olmuştur. Sosyal etkileşimden ticarete kadar geniş bir yelpazede önemli bir rol oynamaktadır (Kefeli vd., 2020). Kahve, Rubiacae ailesine ait bir bitkiden gelmektedir ve mevcut olarak üç ana türü bulunmaktadır: *Arabica, Robusta* ve *Liberica.* Kahve meyvesi olgunlaştıktan sonra toplanmakta ve içindeki çekirdekler çıkarılmaktadır. Bu çekirdekler, özel işlemlerden geçirilerek temizlenmektedir. Güneşte kurutulduktan sonra dış zarları soyulup saf kahve çekirdekleri elde edilmektedir. İşleme yöntemine bağlı olarak, bu kahveler genellikle kavrulmuş kahve, çekilmiş kahve ve kafeinsiz kahve olarak adlandırılmaktadır (Bayramova, 2019).

"*Theobroma cacao*" ağacının meyvesinden kakao çekirdekleri elde edilmektedir. Bu çekirdekler, olgun ve etli meyvelerden çıkarıldıktan sonra birkaç gün fermantasyona tabi tutulmakta ve güneşte kurutulmaktadır. Daha sonra temizleme ve kavrulma işlemlerinden geçtikten sonra işlenmeye hazır hale gelmektedir. Son olarak çekirdekler öğütülerek kakao kitlesi elde edilmektedir. Bu da çikolata üretiminin hammaddesini oluşturmaktadır. Çikolata kültürü, Güney Amerika'da başlamış olup Mayalar ve Aztekler tarafından ilk olarak kullanılmıştır. İspanyol kaşiflerin Amerika kıtasını keşfiyle de tüm Avrupa'ya yayılmış ve bu yayılma, çikolatanın gelişiminde önemli bir rol oynamıştır (Yıldırım, 2016).

Şarap, taze üzüm şırasının fermantasyonu sonucu elde edilen alkollü bir içecek olarak tanımlanmaktadır. Tarih boyunca birçok toplumda önemli bir yer edinen şarap, ekonomik ve kültürel açıdan değerli bir içecek olarak kabul edilmiştir (Teyin, 2023). Şarap genel olarak kırmızı, beyaz, roze, blush ve likör şarapları olmak üzere çeşitli türlere ayrılmaktadır. Bununla birlikte, suni köpüren, suni yarı köpüren, doğal köpüren ve doğal yarı köpüren gibi çeşitler, şampanya üretim sürecine tabi tutulmuş şaraplar arasında yer almaktadır (Kaya, 2017).

Pekmez, üzüm suyunun evaporasyon süreciyle yoğunlaştırılması ve %70 suda çözünür kuru madde oranına ulaştırılmasıyla elde edilmektedir. Yüksek şeker içeriği nedeniyle, pekmez önemli bir karbonhidrat ve enerji kaynağı olarak kabul edilmekte ve ülkemizde üretilen temel geleneksel gıdalardan biri olmaktadır (Batu vd., 2007).

Helva; şeker, su, sitrik asit veya tartarik asit, şeker şurubu ve çöven ekstraktı eklenerek hazırlanan şeker ağdasının özel bir yoğurma işlemiyle karıştırılması sonucunda elde edilmektedir. Uygun tekniklerle yoğrulup ihtiyaç olması halinde katkı ve çeşni maddelerinin ilavesiyle hazırlanmakta ve katı, homojen ve ince lifli yapıya sahiptir (Batu ve Elyıldırım, 2009).

Lokum, şeker ve nişasta temel hammaddelerinden oluşan ve Orta Doğu'nun geleneksel tatlıları arasında yer alan bir lezzet ürünüdür. "Rahat ulhuküm" olarak da bilinen lokum, Osmanlı İmparatorluğu döneminde 15. yüzyıldan itibaren Anadolu ve çevresinde bilinmekte ve tüketilmektedir. Geleneksel lokum yapımı, özenle seçilmiş hammaddelerin karıştırılması, pişirilmesi ve soğutulması gibi belirli adımları içermektedir. Şeker ve nişasta, temel bileşenler olarak kullanılırken, un ve çeşitli aroma vericiler (örneğin, gül suyu, portakal çiçeği suyu gibi) eklenerek tat ve koku profili zenginleştirilir, ekstra olarak asit de ilave edilmektedir (Batu ve Kırmacı ,2006). Ortadoğu olarak bilinen ticaret merkezinde, baharatın yaklaşık 7.000 yıllık bir tarihe dayandığı bilinmektedir.

Baharatlar genellikle çeşitli yiyecek ve içeceklere katılan aromatik bitkilerdir ve farklı amaçlara hizmet etmektedir. Yüzyıllardır gıdaların daha çekici görünmesi, daha lezzetli olması, daha hoş koku vermesi ve tüketici tarafından daha iyi kabul edilmesi gibi nedenlerle kullanılmaktadır (Yıldırım, 2015).

3. Güney Avrupa Mutfağına Ait Özel Gıdalar

Güney Avrupa mutfağı, Portekiz'den Bulgaristan'a kadar birçok ülkeyi kapsamaktadır. Bu geniş coğrafi alan, farklı iklim koşulları ve coğrafi özelliklere sahiptir. Bu çeşitlilik, mutfak kültürlerine de yansımış ve her bir bölgenin kendine özgü gastronomik kimliğini oluşturmasına katkıda bulunmuştur. Ayrıca, bu bölgeler tarih boyunca çeşitli medeniyetlerin etkisi altında kalmış, farklı kültürler ve dinler bir arada yaşamış ve bu durum, Güney Avrupa mutfağının çok kültürlü yapısını güçlendirmiştir. Akdeniz mutfağının özelliklerinden olan , zeytinyağı, çeşitli sebze ve meyveler ile deniz ürünlerinin yoğun olarak tüketilmesiyle ön plana çıkmaktadır (Özdemir Yaman, 2019). Güney Avrupa Mutfağında bulunan ülkelerin sınıflandırılması Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Güney Avrupa Mutfağının Sınıflandırılması
(Kaynak:Mavink.com, 2024)

Bu bölümde İspanya, İtalya, Portekiz, Yunanistan, Bulgaristan, Kosova, Makedonya, Bosna Hersek ve Hırvatistan ülkeleri incelenmiştir.

3.1. İspanya Mutfağı

İspanyollar, Fenikelilerden zeytini ve hayvancılığı, Endülüslerden badem, şekerkamışı, narenciye, pirinç ve çeşitli baklagilleri, Kartacalılardan şarabı ve Romalılardan zeytinyağını öğrenmişlerdir. Bu geniş kültürel miras, İspanya›nın çeşitli bölgelerinde yemeklerin farklılık göstermesine neden olmuştur. Akdeniz iklimine sahip bölgelerinde incir, üzüm ve zeytinyağı gibi ürünler ön plandayken, iç bölgelere gidildikçe deniz ürünleri ve tahıl bakımından zenginleşen mutfak kültürü etkili olmuştur (Yıldız vd., 2018).

Aynı zamanda İspanya, denizcilikte kendilerini geliştirerek Amerika'dan domates, mısır gibi birçok ürünü Avrupa'ya tanıtıp ve bu ürünlerin yayılması sağlamıştır. Avrupa mutfağına kıyasla daha acılı yemekleriyle göz önündedir (Hass, 2019).

İspanya'da ki öğünlerden kahvaltılar, hızlı ve hafiftir. Öğlen yemeği, saat 14.00'de yenilmektedir. 21.00 den sonra akşam yemekleri yenilmekte ve öğlen yemeklerine göre daha hafiftir. Uzun öğün araları nedeniyle İspanyol mutfak kültüründe ara öğünler önemlidir (Hass,2019).

İspanya mutfağı, oldukça fazla yemek çeşitliliğine sahiptir. Bu yemeğin en bilinenleri arasında Paella adı verilen İspanyolların 'arroz bomba' adını verdikleri bir tür pirinçten yapılan ve içerisinde çeşitli deniz ürünlerinin kullanıldığı safranlı bir yemek türü bulunmaktadır. Bu yemek İspanya'nın Valensiya şehrine aittir ve içerisine et konularak karışık yapılan paellalar mevcuttur (Flores vd., 2017). Tapa(s), Tortilla, Gazpacho, Churro(s), Flan dünyaca bilinen yemekleri arasındadır.

3.1.1. İspanya Mutfağına Ait Özel Gıdalar

Pimentón de La Vera: Yerli biber çeşitlerinin (*Capsicum annuum* L.) kurutulmasıyla elde edilmektedir. Bu biberlerin ince perikarpları, geleneksel ve zahmetli kurutma işlemine uygun hale gelmek için meşe veya pırnal ağacının ısı kaynağı olarak yakılmasını gerektirmektedir. Bu yerel yöntemler, yavaş kuruma ve tütsüleme işlemleriyle La Vera kırmızı biberini diğer kırmızı biber türlerinden ayıran özellikler göstermektedir (Lami vd., 2023).

Orujo: Fermente üzüm artıklarının şarap yapımında preslendikten sonra damıtılmasıyla elde edilen bir üründür. Alkol içeriği %30 ila %60 arasında

değişmektedir. İçeceğin bazı çeşitleri birkaç yıldır fıçıda yaşlandırılmıştır, bazıları aromatik bitkiler, bal, baharatlar veya kahve çekirdekleri ile aşılanmaktadır (Silva vd., 2000; Taste Atlas, 2024).

Turron de Jijona: Badem, şeker, bal ve yumurta akı gibi temel olarak yüksek kaliteli doğal malzemelerin bir karışımıdır. Biberiye ve kekik gibi şifalı otların ve zencefil ve kakule gibi baharatların aromasına sahiptir. İçeriğinde genellikle bitkisel yağlar, karbonhidratlar ve proteinler öne çıkmaktadır, oldukça önemli mikro besinler de bulunmkatadır. Bu mikro besin ögeleri arasında mineral maddeler, A ve E gibi yağda çözünen vitaminler bulunmaktadır (Aballan vd., 1997).

Andalusian Olive Oil: Güney İspanya bölgesi olan Endülüs, ülkedeki en önemli zeytin yetiştirme alanıdır (Parra-López, vd., 2015). Endülüs bölgesinde birçok menşeili zeytinyağı vardır. Sıerra Segura, Campınas de Jaen, Montoro Adamuz gibi yağlar örnek verilmektedir (Arjona-Fuentes vd., 2017).

Cava: İspanyol köpüklü şarabıdır, ikinci bir fermantasyonun kapalı şişelerde gerçekleştirildiği ve en az 9 ay boyunca maya tortuları ile temas halinde olacak şekilde olgunlaşma süreci içeren geleneksel yöntemle üretilmektedir. Bu, yasal olarak belirlenmiş minimum süre olarak belirtilmiştir (Riu-Aumatell vd, 2006).

Safran: Safran, dünya çapında en pahalı baharatlardan biri olarak bilinmektedir ve hasat edilmesi son derece zahmetlidir, bu nedenle fiyatı altın fiyatını bile geçebilmektedir. İspanya'da, Castilla-La Mancha özerk topluluğunda yetiştirilen Azafrán de la Mancha, Crocus Sativus L. bitkisinin çiçek tepelerinden elde edilen nadir bir baharattır. Bu baharat, çiçeksi ve hafif acı bir tat profiline sahiptir ve pişirildiğinde yemeklere parlak altın sarısı bir renk katmaktadır (TasteAtlas, 2024).

Cortado: Cortado, küçük bir cam bardağa dökülen bir miktar espresso ile hazırlanan ve ardından acı tadı nötralize etmek için eşit miktarda buharla ısıtılmış süt ile kesilerek yapılan geleneksel bir İspanyol içeceğidir. İsmi, hazırlık sürecini ifade eden İspanyolca "cortar" kelimesinden gelmektedir. Espresso ile süt arasındaki dengeli oran, içeceğin karakteristik tadını oluştururken, buharla ısıtılmış sütün dokusu ise içkinin son dokunuşunda kadifemsi bir zenginlik sunmaktadır. Cortado, genellikle hareket halindeyken değil, daha ziyade kahve barlarında içilmek üzere tasarlanmıştır (TasteAtlas, 2024).

Miel de Granada: "Miel de Granada", altı tek çiçekli bal ve iki çok çiçekli balı içeren, korunan menşei belirtilmiş yüksek kaliteli bir üründür (De Alda-Garcilope vd., 2012).

3.2. Portekiz Mutfağı

Portekiz mutfağında, çeşitli çorba türleri bolca bulunmakta, şarküteri ürünleri sıkça kullanılmakta ve tatlılar genellikle yumurtalı ve çok şekerli yapılmaktadır. Deniz mahsulleri önemli bir yer tutmaktadır (Alpaslan, 2019)

Portekiz öğün düzenleri, genellikle üç ana öğünden oluşmaktadır. Portekiz'de kahvaltı genellikle hafif geçiştirilmektedir. Bazı insanlar sadece bir fincan kahve veya çay içerek güne başlamaktadır. Günün en büyük ve en önemli öğünü öğlen yemeğidir, genellikle aile ve arkadaşlar arasında paylaşılan bir sosyal etkinliktir. Akşam yemeği, genellikle öğle yemeğine kıyasla daha hafif geçirilmektedir. Portekiz'de akşam yemeği, öğle yemeğine göre daha erken saatlerde yenmektedir(Altaş, 2017).

Portekiz mutfağı, çeşitli deniz ürünleri ve balık yemekleriyle zenginleşmektedir. Öne çıkan yemekler arasında, kişniş ve haşlanmış yumurta ile hazırlanan deniz ürünleri çorbası açorda; patates, tavuk ve kıvırcık lahana ile yapılan caldo verde çorbası; kızartılmış kedibalığı, sebzeli mercan balığı; ızgara sardalye ve barbun, salamura deniz ürünleri ve kalamar yahni yer almaktadır. Ayrıca, limon ve nane ile hazırlanan tuzlu domuz paçası ve genç şalgam sürgünleri ile sunulan canja; Portekiz'in ulusal balığı morina (bacalhau); sarapatel yahni gibi lezzetler bulunmaktadır. Tatlılar arasında ise pastéis de nata ve ovos-moles gibi ünlü tatlılar ön plana çıkmaktadır (Doğan, 2020).

3.2.1. Portekiz Mutfağına Ait Özel Gıdalar

Ginjinha: Portekiz'e özgü Ginja vişnelerinden (*Prunus cerasus* L. Rosaceae) üretilen geleneksel bir vişne likörüdür. Bu vişnelerin sapları ve yaprakları Ginjinha üretim hattının ön yan ürünleridir (Demiray vd., 2011).

Alentejo Balı: 1996'dan beri Avrupa Birliği (AB) tarafından korunan Menşe adına sahip Portekiz menşeli bir üründür (Wikipedia, 2017). Évora, Beja ve Portalegre bölgelerindeki arı kovanlarından toplanan Alentejo balı, lavanta, biberiye, okaliptüs ve portakal çiçeklerinden toplanan nektar kullanılarak elde edilmektedir (Taste Atlas, 2024).

Dom Rotrigo: Portekiz'in güneyine özgü, yumurta sarısı ve şekerden oluşan, üzerine biraz badem serpilmiş geleneksel bir tatlıdır (Lisbon.vip, 2024).

Lousa Balı (Mel da Serra da Lousã): Yerel *Apis mellifera* (sp. iberica) arıları tarafından üretilen bir baldır. Kahverengi tonlarda, çok koyu ve çok yapışkandır (Taste Atlas, 2024).

Port Wine: Porto şarabı, yüzyıllardır üretilmektedir. Geleneksel yöntemlere dayanan şarap yapım prosedürleri, üzüm sirkesi ekleyerek mayalanmayı durdurmayı, istendiğinde çok sayıda şarap üretmeyi ve onları şişede veya ahşap fıçılarda olgunlaştırmayı içermektedir (Moreira, 2011).

Galao: Bir kahve çeşididir. 1/4 espressoyu 3/4 köpüklü veya buharlanmış sütle birleştirilmekte ve genellikle uzun bir bardakta servis edilmektedir. Galão zengin ve kremsidir, ancak kahve tadı çok baskın değildir (Taste Atlas, 2024).

3.3. İtalyan Mutfağı

İtalyan Mutfağı, Avrupa'nın en eski ve köklü mutfaklarından biridir. Ve tarih boyunca farklı topluluklardan etkilenmiştir. Zeytinyağı, şarap ve peynir gibi ürünler, İtalyan kültür ve gelenekleri ile sıkı bir şekilde ilişkilendirilmiştir. İtalyan mutfağı, coğrafi bölgelere göre önemli ölçüde çeşitlilik göstermektedir (Sert, 2017).

İtalyan mutfağında, yemeklerin genellikle basit ve hızlı bir şekilde hazırlanmasıyla birlikte, önemli olan unsur malzemelerin kalitesidir. İtalyan şefler, özellikle bu kaliteye odaklanarak gurur duymaktadırlar (Şahin, 2020).

İtalyan mutfağı, oldukça çeşitlilik gösteren bir kültüre sahiptir. İtalya›nın yirmi bölgesinden oluşan coğrafyasında, her bölgenin kendine has bir mutfak kültürüne sahiptir. İtalyan yemekleri, genellikle birçok meyve, sebze, sos ve et çeşidini içermektedir (Şahin, 2020).

Kuzey İtalya mutfağında, balık, patates, pirinç, mısır, domuz eti ve çeşitli peynirler sıkça kullanılan malzemeler arasındadır. Güney İtalya mutfağında ise, domates, biber, zeytin ve zeytinyağı, sarımsak, enginar, ricotta peyniri, patlıcan, ançuez, sardalya, ton balığı ve kapari gibi malzemeler, taze veya sos olarak yerel yemeklerin temel bileşenlerini oluşturmaktadır (Şahin, 2020).

İtalyan Mutfağı'na ait birçok yemek yemek bulunmaktadır. Osso Buco, Minestrone, Bruschetta, Risotto, Gnocchi, bilinen yemeklerine örnek verilmektedir (Yıldız vd., 2018).

3.3.1. İtalya Mutfağına Ait Özel Gıdalar

Balzamik Sirke: Geleneksel balzamik sirke, taze sıkılmış üzüm suyunun termal yoğunlaştırılmasıyla başlayan özel bir süreçle yapılmaktadır. Bu süreci, alkolik ve asetik fermantasyonlar izler ve nihayetinde uzun bir olgunlaşma süreciyle taçlanmaktadır. Bu süreçte, fıçıdan fıçıya kısmi bir sirke transferi

yapılmakta ve farklı yaşlardaki sirkelerin karıştırılmasıyla elde edilmektedir (Giudici, 2009). İtalya'nın Modena bölgesine ait olup coğrafi işaret ile tescillenmiştir (Consonni, 2018).

Cappucino: Espresso ve buharla köpürtülmüş sütle yapılan bir kahve çeşididir. Geleneksel İtalyan cappuccino sunumu, zaman zaman önceden ısıtılmış küçük fincanlarda gerçekleştirilir ve tek veya çift shot espresso ile hazırlanmakta, ardından hafif ve köpüklü buharla ısınmış süt eklenmektedir. İtalya'da tavsiye edilen oran, sıvı kısmın köpüğe göre daha fazla olmasıdır. Zamanla bu kahve çeşidi farklı formülasyonlara bürünmüştür (Taste Atlas, 2024).

Dolcetto di Dogliano: İtalya'nın kuzeybatısındaki Piemonte bölgesinde özel olarak Dolcetto üzümlerinden yapılan kırmızı bir şaraptır (Cagnosso vd., 2006).

Affogato: İtalyanca'da "affogato", 'boğulmuş' anlamına gelmektedir. Bazıları ise anlamın daha çok 'boğulma'ya yakın olduğunu söylemektedir. Espressonun vanilyalı dondurmaya dökülmesiyle sunulmakta ve isteğe bağlı olarak amaretto gibi likörler de ilave edilmektedir (Fox, 2015).

Torrone: İki gofret arasında yer alan, fındık aromalı tatlı bir şekerleme olup bir Noel lezzeti olarak nitelendirilmektedir. Yumuşak, çiğnenebilir bir yapıya sahiptir (Montevergine, 2020).

Mastorda: Haşlanmış et veya kızartmalar gibi et yemekleri için kullanılan bir tatlı, baharatlı bir meyve konservesidir. Kuzey İtalya'da bollito misto adı verilen çeşitli haşlanmış etlerin vazgeçilmez bir eşlikçisi olarak bildirilmektedir (Taste Atlas, 2024).

3.4. Yunanistan Mutfağı

Yunan mutfağı, köklü bir geçmişe sahiptir ve lezzetleri mevsime ve coğrafi bölgeye göre değişmektedir. Birçok topluluğa yıllarca ev ağırlamıştır. Bu medeniyetlerin yerleştiği topraklar, Yunan mutfağının oluşumunda önemli bir rol oynamıştır. Farklı kültürlerin etkileşimiyle Yunan mutfağında çeşitli değişiklikler ve gelişmeler yaşanmıştır (Panagau vd., 2013).

Yunan mutfağının en karakteristik ve en eski öğesi, yemeklerde sıklıkla kullanılan zeytinyağıdır. Temel tahılı buğdaydır. Önde gelen sebzelerinden domates, patlıcan, patates, yeşil fasulye, bamya, yeşil biber ve soğan bulunmaktadır. Yunanistan'da bal esas olarak limon, portakal, bigarade (acı portakal) gibi narenciye ağaçları gibi meyve ağaçlarının nektarından ve kozalaklı ağaçlardan kekik ve çamdan elde edilmektedir. (Panagau vd., 2013).

Yunanistan, tipik bir Akdeniz ülkesi olarak bilinir ve özellikle zeytinyağlı mezeleriyle ünlüdür. Denizlerle çevrili bir yarımada olan ülke, çok sayıda adaya ev sahipliği yapar ve deniz ürünleri burada büyük bir öneme sahiptir (Sarıbaş, 2020). Yunan Mutfağı'na ait birçok yemek bulunmaktadır. Bunlara, Jiroskoplar, Souvlaki, Musakka, Yemista, Bougatso, Pastitsio örnek verilmektedir.

3.4.1. Yunanistan Mutfağına Ait Özel Gıdalar

Kalamata Olive Oil: Coğrafi olarak, Yunanistan'da üretilen zeytinyağının neredeyse %70' i iki bölgede merkezlenmiştir: Peloponnesos (%39) ve Girit (%30). Peloponnesos'un en önemli zeytin yetiştirme alanı olan Messinia bölgesi, bu bölgeler içinde önemli bir konuma sahiptir. Messinia'da yerli bir çeşit olan Koroneiki (*Olea europeae* var. Microcarpa alba) çeşidi yetiştirilir. Kalamata Zeytinyağı da Koroneiki zeytininden elde edilmektedir (Skiada vd., 2019).

Frappe: 1950'lerden itibaren "Yunan kahvesi" olarak bilinmektedir. Hazır kahveden yapılmış köpüklü ve buzlu bir içecektir (Çaksu, 2019).

Masticha Chiou: Yalnızca Sakız adasının güney kesiminde üretilmektedir. Nadir bulunan bu ürünün üretimi oldukça pahalıdır ve bu sebeple birçok taklidi pazarlanmaktadır. Yerel halkların sindirim sistemi bozukluklarının tedavisi veya kozmetik ajan olarak kullanımına dair bilgiler antik metinlerinde bulunmaktadır. Aynı zamanda likörlerde, ekmek ve tatlı ürünlerinde kullanılmaktadır (Pachi vd., 2020).

Uzo (Ouzo): Ouzo, Yunanistan'da tüketilen en popüler damıtılmış içkidir. Karakteristik aroması ve tadı, anason tohumunun ana bileşeni olan anetolden gelmektedir (Kontominas, 1986).

Trahana: Özellikle taze koyun ve keçi sütü veya bunların karışımı kullanılarak yaz aylarında Yunanistan'da üretilen en popüler fermente süt-tahıl ürünlerinden biridir. Ürün, ekşitilmiş (ekşi) süt veya tatlı süt kullanılarak yapılmakta ve elde edilen son ürünlere sırasıyla ekşi veya tatlı trahanas adı verilmektedir. Nadiren, süt yerine sebzelerin ezilmiş bir püresi kullanılmakta ve bu durumda ürüne nistisimos trahanas adı verilmektedir (Georgala, 2013).

Kasseri: Avrupa Komisyonu tarafından 1996 yılında korunan geleneksel bir Yunan peyniridir. Kasseri, koyun sütü veya koyun ve keçi sütü karışımlarından, başlangıç kültürleri kullanılmadan üretilmektedir. Yarı sert bir peynirdir. Geleneksel olarak, peynir mayası kullanılarak pıhtılaşan sütten üretilmektedir. En az 3 ay olgunlaşması gerekmektedir (Anastasiou vd., 2009).

3.5. Bulgaristan Mutfağı

Bulunduğu coğrafi konum itibariyle yemek çeşitliliği fazla olan bir mutfaktadır. Bulgaristan, Osmanlı İmparatorluğu'nun egemenliği altında uzun bir süre kalmış bir ülkedir. Bu nedenle, Bulgar mutfağının temelinde Türklerin etkisi görülmektedir. Meze olarak rakı ile tüketilen farklı mezeler, helva, yoğurt gibi ürünler Bulgar mutfağında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bulgarların en sevdiği yemekler arasında kuzu sakatatı ve işkembeli tavuk çorbası yer almaktadır (Alpaslan, 2019).

Defne yaprağı, karabiber, kırmızı biber, soğan, yenibahar ve sarımsak gibi baharatlar sıkça kullanılırken, nane, fesleğen, biberiye, kekik gibi yoğun aromalı baharatlar da sıkça tercih edilmektedir. Bu baharat karışımları genellikle etler, çorbalar ve diğer yemeklerle birlikte pişirilerek, yemeklere tatlar katar. Bulgaristan'da geleneksel ürünlerin sergilendiği çok sayıda festival ve yarışma bulunmaktadır (Doğan, 2020). En ünlü Bulgar yemeklerine, Banitsa, Shopska Salata, Kebapce, Lyutenitsa örnek verilmektedir.

3.5.1. Bulgaristan Mutfağı'na Ait Özel Gıdalar

Sharena Sol: Tuz, karabiber ve adaçayı karışımı olan bir baharattır. Renkli tuz olarak da nitelendirilmektedir. Sebzelerde, baklagillerde, mercimeklerde, baharat demetinde, yumurtalarda, dolmalarda, soslarda, hamburgerde, et suyunda, çorba karışımlarında kullanılmaktadır (Ντίνης, 2018),

Samardala: Bulgaristan'da çok yıllık soğanlı bir bitkidir. Bitki yerel olarak "samardala" olarak bilinmektedir. Bitkinin yeşillikleri geleneksel olarak Bulgaristan'daki yerel topluluklar tarafından yenilebilir yeşil olarak ve tuzlu baharat karışımlarının hazırlanması için kullanılmaktadır. 'Bulgar balımsı sarımsak' olarakta nitelendirilmektedir (Ivanova, 2018).

Bulgarian Rose Oil: Rosa damascena güllerinden elde edilmektedir. Türkiye ile dünyadaki önemli gül yağı üreticilerindendir (Dobreva vd., 2020). Bulgar farmakoterapötik teorisi ve uygulaması, geleneksel tıpta gül ve gül yağının olumlu bir ilaç ajanı olarak kanıtlanmasında köklü bir geçmişe sahiptir ve birçok eserde bahsedilmektedir (Gochev vd., 2009).

Mursalski Chai: Sideritis scardica diğer ismiyle Mursalski Chai, Lamiaceae familyasına ait bir bitki türüdür. Antik çağlardan beri Demirotu veya Demir Çimi olarak anılmaktadır, çünkü demir silahlar tarafından oluşturulan yaraların tedavisinde kullanılmıştır. Ayrıca, basit soğuk algınlığından ciddi solunum, sindirim sistemi ve anemi bozukluklarına kadar çeşitli hastalıkların tedavisinde kullanılmıştır (Negoşanu vd., 2021).

3.6. Kosova Mutfağı

Kosova mutfağı, Balkan mutfağında önemli bir yere sahiptir. Kosova mutfağı sıklıkla hamur işleri ve et yemekleri görülmektedir. Türk mutfağından gelse de kültürel etkileşim ve coğrafi konumu nedeniyle farklılıklar göstermektedir. Biber, patates, pırasa, lahana ve patlıcan gibi sebzeler kullanılırken, zeytinyağı kullanımı oldukça azdır (Alpaslan, 2019).

Yemekler genellikle 2 ana öğün olarak tüketilmektedir. İlk öğün, öğleye doğru yenilen "kuşluk" olarak adlandırılmaktadır. Diğer bir öğün ise akşam yemeği olup genellikle ikindi vakti yenilmektedir. Çay servisinden sonra tatlı ikramında bulunulmakta ve poğaça, börek gibi ürünler sunulmaktadır. Kahve tüketimi oldukça yaygın olmasına rağmen çay, kahveye nazaran çok popüler değildir . Ve fırında pişirme, yaygın kullanılan bir yöntemdir (Doğan, 2020). Prizren tava, Çervish me mish të pulës, Flija, Leçenik Kosova Mutfağındaki yemeklere örnek verilmektedir.

3.6.1. Kosova Mutfağına Ait Özel Gıdalar

Sharri cheese: Sharri peyniri, geleneksel olarak koyun, sığır ve karışık sütten üretilmektedir. Yüksek tuz içeriğine sahiptir ve sert ve/veya yarı sert bir peynir olarak sınıflandırılmaktadır. Başlangıç kültürü eklenmeden üretilmektedir. Basit bir şekilde tarif edildiğinde, Sharri peyniri pastörize edilmemiş sütten, yaklaşık 35°C sıcaklıkta ısıtılarak ve peynir mayası kullanılarak üretilmektedir (Mestani vd., 2017).

Birra peja: Kosovaya ait bir bira çeşididir.

3.7. Makedonya Mutfağı

Balkan mutfağı sınıfına giren Makedonya mutfağı, Akdeniz ve Ortadoğu'nun kültüründen etkilenmiştir. Sahip olduğu verimli toprakları sayesinde, zengin bir mutfak çeşitliliğe sahiptir. Makedonya, yaklaşık 600 yıl boyunca Osmanlı İmparatorluğu'nun etkisi altında kaldığı için yemek kültüründe çoğunlukla Osmanlı mutfağının etkilerini barındırmaktadır. Çoğu yemeğin ismi ve malzemeleri hemen hemen aynıdır(Alpaslan, 2019).

Makedonya, ekmekleriyle ön plana çıkmaktadır. En ünlü ekmek çeşitleri, mısır unuyla yapılanlardır. Nohutlu ekmek, özellikle bayramlarda tüketilen önemli bir ekmektir. Mutfakta kuzu eti ve tereyağı bolca kullanılırken, baharatlar neredeyse hiç kullanılmamaktadır. Pilav ve et yemeklerine tat ve koku katmak için üzüm ve portakal gibi meyveler tercih edilmektedir.

Makedonya'nın birçok bölgesinde kaliteli üzümler yetiştirilerek kaliteli şaraplar elde edilmektedir (Doğan, 2019). Ajvar, Pastrmajlija, Tavče gravče, Lahanalı Banitsa (Zelnik) popüler olan Makedonya Mutfağı'na ait ürünlerdir.

3.8. Bosna Hersek Mutfağı

Bosna Hersek, Balkan ülkelerinden biridir. Osmanlı'nın 15. yüzyılın ortalarında Bosna-Hersek›i topraklarına dahil etmesiyle birlikte, Boşnaklar ve Türkler arasında kültürel ve sosyal olarak bir etkileşim meydana gelmiştir. Bu etkileşim, Türk kültürünün unsurlarının Boşnakların mutfak kültürlerine yansımasına neden olmuştur (Yüksel, 2019)**.**

Geleneksel Boşnak Mutfağında orantılı bir baharat kullanımı gözlenmektedir, çeşitli acı baharatlar çok fazla kullanılmamaktadır. Yemekler genellikle, yavaş yavaş kendi suyunda bol miktarda sebze ile hazırlanmaktadır. Dana ve kuzu eti, Boşnak Mutfağında oldukça yaygındır (Yıldız vd., 2018). Geleneksel yemekleri olarak fasulye yemeği ön plana çıkmaktadır, günümüzde hala varlığını sürdürmektedir. Diğer bir öne çıkan yemek ise böreklerdir. Tatlı veya ekşi türleri vardır ve önemli olan yemek merasimlerinde sunulmaktadır. Dolmalar ve sarmalar Türk Mutfağındaki gibi Boşnak Mutfağında da önemli bir yere sahiptir (Alibabić vd., 2012). Ćevapi, Burek, Tufahija, Bosanski lonac popüler olan Bosna Hersek Mutfağına ait yemeklerdir.

3.8.1. Bosna Hersek Mutfağına Ait Özel Gıdalar

Livno cheese: Bosna Hersek'teki en popüler geleneksel peynir grubuna aittir. Tam yağlı ve serttir. Livno peyniri, Livno kasabasında ve çevresindeki Kupres, Glamoč ve Tomislavgrad gibi bölgelerde üretilmektedir. Başlangıçta koyun sütünden yapılmasına rağmen günümüzde çoğunlukla koyun ve inek sütü karışımından yapılmaktadır (Čaušević ve Hrelja, 2020 ve Dizdarević vd., 2023).

Sir İz Mijeha: Sadece koyun derisinden yapılan kaplarda olgunlaştırılan bir peynir çeşididir. Yarı sert peynir kategorisine giren bu peynir, yıl boyunca farklı oranlarda çeşitli süt türlerinden üretilmektedir. Üretim sürecinde, karışımdan çıkarıldığında peynir kuru ve farklı boyutlarda topaklar halinde olmalıdır. Orta derecede tuzlu ve baharatlı bir tada sahip olan peynir, kullanılan süt türüne bağlı olarak beyazdan sarıya kadar değişen renklere sahiptir (Nenadić vd., 2017).

Bosanska Kahva: Bosna Hersek' in Osmanlı İmparatorluğu'nun uzun süreli hakimiyeti sonucunda, kahve bir gelenek haline gelmiştir. Kaynayan suya ilave edilerek yapılmakta ve kulplu olmayan fincanlarda kesme şekerle servis edilmektedir (Ramadanoğlu ve İnce Karaçeper, 2024).

Dunjevaca: Olgunlaştırılmış fermente ayvalardan damıtılan berrak ve renksiz bir içkidir. Rakıja olarak bilinen bu meyve brendisi, Balkanlar'ın en popüler içeceklerinden biridir ve genellikle yüksek kalitede üretilmektedir (TasteAtlas, 2024).

3.9. Hırvat Mutfağı

Diğer Balkan ülkeleri gibi çeşitli toplulukların etkisi altına girmiş olsa da en uzun süre Avusturya-Macaristan İmparatorluğu'nun yönetimi altında kalmış ülkedir. Bu durum, Osmanlı hakimiyeti olmaması sebebiyle diğer Balkan ülkelerinden farklı bir mutfak kültürüne sahip olmasını sağlamıştır. Hırvatistan›ın yemek kültürü, Akdeniz ikliminden etkilenen ve kara ikliminden etkilenen mutfaklar olarak genellikle iki bölgeye ayrıldığı belirtilmiştir (Bozkurt, 2020).

Hırvatlar genellikle üç ana öğün tüketmektedirler. İlk öğünlerini hafif kahvaltı şeklinde yapmaktadırlar. Yemekler genellikle et ve sebzeden yapılan sulu yemeklerdir ve yemekten sonra hafif tatlılar tercih edilmektedir. Pazar günleri, aileyle birlikte yenilen öğle yemekleri önemlidir ve uzun sürebilmektedir. Brudet, Štrukli, Mađarica, Kotlovina, Hırvatistan Mutfağına ait yemeklerdir (Juran, 2016).

3.9.1. Hırvatistan Mutfağına Ait Özel Gıdalar

Istra Sızma Zeytinyağı: Coğrafi işaret ile korunan "Istrian sızma zeytinyağı", Istra İlçesi sınırlarında bulunan içindeki zeytinlerde elde edilen bir zeytinyağı çeşididir (Koprinvjak ve Pribetić, 2009). Buga, maurino, picholine gibi birçok farklı zeytin türlerinden elde edilmektedir. Meyvemsi aromalar ve hafif ila orta derecede acılık ve baharatlılık gibi karakteristik duyusal özellikleriyle tanınmaktadır (Gulin, 2023).

Ogulinski kiseli kupus: Ogulin lahana turşusu, Avrupa Birliği tarafından coğrafi işaret ile korunan bir özel gıdadır (Mihaljević, 2017).

Bajadera: Bajadera, 1954 yılından beri Kraš tarafından ticari olarak üretilen geleneksel bir Hırvat nuga pralinidir. Bu pralin üç katmanlı olup, iki renkte kremalı nuga içermektedir: üst ve alt katmanlarda kahverengi fındık nugası, ortada ise kremsi bir badem nugası tabakası bulunmaktadır (TasteAtlas, 2024).

4. Sonuç

Güney Avrupa mutfağı, Akdeniz'e uzanan üç yarımadayı ve birçok adayı kapsayan geniş bir coğrafyada, çok kültürlü ve çeşitli zenginliği ile dikkat

çekmektedir. Jeopolitik konumu ve kültürel anlamdaki çeşitliliği, Güney Avrupa sınırları içerisinde yer alan ülkeleri hem mutfak hem de özel gıda anlamında ayrıcalıklı bir yere taşımıştır. Bu çalışma, İspanya, İtalya, Portekiz, Yunanistan, Makedonya, Bosna Hersek, Hırvatistan, Kosova ve Bulgaristan gibi ülkelerin mutfaklarını ve özel gıdalarını inceleyerek, Güney Avrupa'nın gastronomik mirasını kapsamlı bir şekilde ortaya koymuştur. Güney Avrupa mutfağı, coğrafi ve kültürel çeşitlilikten beslenen, zengin ve çeşitli bir gastronomik mirasa sahiptir. Her ülkenin kendine özgü yemekleri ve özel gıdaları, Güney Avrupa bölgesinin çok kültürlü yapısını ve tarihsel zenginliğini yansıtmaktadır. Bu çalışma, Güney Avrupa mutfağının kendine has özelliklerini ve özel gıdalarını, bölgeye ait özel yemeklerini ayrıntılı bir şekilde ortaya koyarak, bu bölgenin gastronomik çeşitliliğini ve kültürel zenginliğini ortaya çıkarmayı hedeflemiştir. Bu doğrultuda incelenen Güney Avrupa Mutfağı'na ait özel gıdaların, tanımlanması, uluslararası çapta ise tanıtımlarının artması, akademik olarak daha fazla değerlendirilmesine katkı sağlamak amaçlanmıştır. Ülkelerin gastronomiye verdiği değer arttıkça, özel ve bölgeye ait gıdalar tanıtıldıkça ülke ekonomisine ve gastronomi turizmi imajına katkı sağlayacaktır.

Kaynakça

Aballan, G. B., Villanueva, M. T. O., & Marquina, A. D. (1997). Variaciones del valor nutritivo del turrón de Jijona en las calidades suprema, extra y popular. *Grasas y Aceites, 48*(3),159-165.

Albala, K. (2000). *Cambridge world history of food ,* Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Alibabić, V., Mujić, I., Rudić, D., Bajramović, M., Jokić, S., Šertović, E. (2012). Traditional diets of Bosnia and the representation of the traditional food in the cuisine field. *Procedia-Social and Behavioral Sciences, 46*, 1673-1678.

Alpaslan K. (2019). *Yöresel yemeklerde moleküler gastronomi kullanımı* (Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Kastamonu Üniversitesi, Kastamonu.

Altaş, A. (2017). *Uluslararası gastronomi* . Ankara: Detay Yayıncılık.

Anastasiou, R., Aktypis, A., Georgalaki, M., Papadelli, M., De Vuyst, L., & Tsakalidou, E. (2009). Inhibition of Clostridium tyrobutyricum by Streptococcus macedonicus ACA-DC 198 under conditions mimicking Kasseri cheese production and ripening. *International Dairy Journal*, *19*(5), 330-335.

Arjona-Fuentes, J. M., Amador-Hidalgo, L. (2017). Olive oil tourism: Promoting rural development in Andalusia (Spain). *Tourism Management perspectives, 21*, 100-108.

Batu, A., Akbulut, M., Kırmacı, B., Elyıldırım, F. (2007). Üzüm pekmezi üretiminde yapılan taklit ve tağşişler ve belirleme yöntemleri. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2*, 17-24.

Batu, A., Elyıldırım, F. (2009). Geleneksel helva üretim teknolojisi. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 4*(3), 32-43.

Batu, A., & Kırmacı, B. (2006). Lokum üretimi ve sorunları. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 3*, 37-49.

Bayramova, G. (2019). *Türk kahvesi pişirme yöntemleri ve tarihsel gelişiminin ürün tasarımı bağlamında incelenmesi* (Yayımlanmamış Doktora Tezi). Marmara Üniversitesi, İstanbul.

Bozkurt, İ. (2020). *Hırvatistan mutfağı*. Erişim tarihi: 06.06.2024, https://turkiyeturizmansiklopedisi.com/hirvatistan-mutfagi.

Cagnosso, E., Caudana, A., Rolle, L., & Gerbi, V. (2006). Valutazione delle potenzialità fenoliche di uve rosse piemontesi. *Qudernı Dı Scienze Vıtıcole Ed Enologich, 28*, 61-73.

Charzyński, P., Łyszkiewicz, A., Musiał, M. (2017). Portugal as a culinary and wine tourism destination. *Geography and Tourism. 5*, 87-102.

Consonni, R., Cagliani, LR, Benevelli, F., Spraul, M., Humpfer, E. ve Stocchero, M. (2008). NMR and chemometric methods: a powerful combination for characterization of Balsamic and Traditional Balsamic Vinegar of Modena. *Analytica Chimica Acta, 611*(1), 31–40.

Čaušević, A., Hrelja, E. (2020). Importance of cheese production in Livno and Vlašić for gastronomy and tourism development in Bosnia and Herzegovina. *Gastronomy for Tourism Development*, 27-42.

De Alda-Garcilope, C., Gallego-Picó, A., Bravo-Yagüe, J. C., Garcinuño-Martínez, R. M., Fernández-Hernando, P. (2012). Characterization of Spanish honeys with protected designation of origin "Miel de Granada" according to their mineral content. *Food Chemistry, 135*(3), 1785- 1788.

Demiray, S., Piccirillo, C., Rodrigues, C. L., Pintado, M. E., Castro, P. M. L. (2011). Extraction of valuable compounds from Ginja cherry by-products: effect of the solvent and antioxidant properties. *Waste and Biomass Valorization, 2*, 365-371.

Dizdarević, T., Sakić-Dizdarević, S., Porcellato, D., Sarić, Z., Alkić-Subašić, M., Abrahamsen, R. K., Narvhus, J. A. (2023). Microbial Diversity of Traditional Livno Cheese from Bosnia and Herzegovina. *Fermentation, 9*(12), 1006.

Dobreva, A., Getchovska, K., & Nedeltcheva-Antonova, D. (2020). A comparative study of Saudi Arabia and Bulgarian Rose oil chemical profile: The effect of the technology and geographic origin. *Flavour and Fragrance Journal, 35*(5), 584-596.

Doğan, S. (2020). *Bulgaristan mutfağı*. Erişim tarihi: 15.05.2024, https://turkiyeturizmansiklopedisi.com/bulgaristan-mutfagi.

Doğan, S. (2020). *Kosova mutfağı.* Erişim tarihi: 15.05.2024, https://turkiyeturizmansiklopedisi.com/kosova-mutfagi.

Doğan, S. (2019). *Makedonya mutfağı*. Erişim tarihi: 15.05.2024 https://turkiyeturizmansiklopedisi.com/makedonya-mutfagi.

Doğan, S. (2020). *Portekiz mutfağı*. Erişim tarihi: 10.03.2024. https://turkiyeturizmansiklopedisi.com/portekiz-mutfagi.

Dikme, T. G. (2023). *Sağlıklı beslenme ürünlerinde gıda teknolojisi.* İstanbul: Efe Akademi Yayınları.

Göç , Ö., *Sağlık & bilim 2023: yeni nesil teknolojiler* . İstanbul: Efe Akademi Yayınları.

Erdal, G., Esengün, K., Erdal, H., Gündüz, O. (2007). Energy use and economical analysis of sugar beet production in Tokat province of Turkey. *Energy, 32*(1), 35-41.

Flores Barrera, A. P., Ata Ximello, L. E. nrique, Corona de la Rosa, P. (2017). Paella. *Boletín Científico De Las Ciencias Económico Administrativas Del ICEA*, *6*(11).

Fox, D. (2015). Affogato. *Gastronomica: The Journal of Food and Culture*, *15*(3), 64-66.

Georgala, A. (2013). The nutritional value of two fermented milk/cereal foods named 'Greek Trahanas' and 'Turkish tarhana': a review. *J Nutr Disorders Ther*, *11*,1-4.

Giudici, P., Gullo, M., Solieri, L., & Falcone, P. M. (2009). Technological and microbiological aspects of traditional balsamic vinegar and their influence on quality and sensorial properties. *Advances in Food and Nutrition Research, 58*, 137-182.

Gochev, V., Jirovetz, L., Wlcek, K., Buchbauer, G., Schmidt, E., Stoyanova, A., & Dobreva, A. (2009). Chemical composition and antimicrobial activity of historical rose oil from Bulgaria. *Journal of Essential Oil Bearing Plants, 12*(1), 1-6.

Gulin, M. (2023). *Hrvatska ulja zaštićene izvornosti i zaštićenog geografskog podrijekla* (Yayımlanmamış Doktora tezi). Polytechnic of Sibenik. Management, Šibenik.

Haas, A. (2019). *İspanya mutfağı.* Erişim tarihi: 31.03.2024. https://turkiyeturizmansiklopedisi.com/ispanya-mutfagi.

Ivanova, T., Chervenkov, M., Stoeva, T., Chervenkov, S., Bosseva, Y., Georgieva, A., Dimitrova, D. (2018). Samardala: specificities and changes in the ethnobotanical knowledge about Allium siculum subsp. dioscoridis (Sm.) K. Richt. in Bulgaria. *Genetic Resources and Crop Evolution*, *65*, 1349-1357.

Kefeli, E., Şahin, Ö., Yarmacı, N. (2020). Üçüncü nesil kahve işletmelerinde türk kahvesinin yeri: İstanbul örneği. *Uluslararası Batı Karadeniz Sosyal ve Beşeri Bilimler Dergisi, 4*(2), 130-147.

Kontominas, M. G. (1986). Volatile constituents of Greek ouzo. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 34*(5), 847-849.

Koprivnjak, O., & Pribetić, Đ. (2009). Oznaka zemljopisnog podrijeta" Istarsko ekstra djevičansko maslinovo ulje-specifikacija proizvoda i plan samokontrole.

Lami, O., Sama-Berrocal, C., Martín, A., Mesías, F. J., Velázquez, R. (2023). Exploring consumer perceptions and changing consumption patterns for smoked paprika: implications for traditional food products in spain. *Foods, 12*(14), 2808.

Lisbon.vip.(2024). *Dom rodrigo: a sweet journey through algarve's culture.* Erişim tarihi: 07.05.2024. https://www.lisbon.vip/lisbon-essentials/gastronmic-exploration/dom-rodrigo.

Mavink (2024). *Southern europe map.* Erişim Tarihi:07.06.2024. https://2.bp.blogspot.com/7dubiQR4Fa4/Tbub54fBoGI/AAAAAAAABGo/IClhJyoFzso/s1600/map_southern_europe%2B%25281%2529.gif .

Mestani, M., Ramadani, X., Maloku-Gjergji, T., Mehmeti, H., Ademi, A., Mehmeti, I. (2017). The effect of saline concentration and storage temperature in the quality of Sharri cheese. *Food Agriculture Environmental, 15*, 12-17.

Mihaljević, D. (2017). *Sortiment kupusa za kiseljenje za područje Ogulina.* (Yayımlanmamış Doktora Tezi).Agronomski Fakultet, Zagreb..

Montevergine S. (2020). *How to make Italian Torrone at home.*. Erişim Trihi:13.05.2024, https://www.lacucinaitaliana.com/italian-food/how-to-cook/how-to-make-torrone-at-home-in- traditional-way?refresh_ce.

Moreira, N., de Pinho, P. G. (2011). Port wine. *Advances in Food and Nutrition Research, 63*, 119-146.

Negoşanu, G., Vînătoru, C., Peticilă, A., Barcanu, E., Agapie, O. L., Tănase, B., & Gherase, I. (2021). Phenotypic expressiveness of new Sideritis scardica genotypes obtained at Vegetable Research and Development Station Buzău. *Scientific Papers. Series B. Horticulture, 65*(1).

Nenadić, M. (2017). *Proizvodnja i kakvoća hercegovačkog sira iz mijeha* (Yayımlanmamış Doktora Tezi)., Sveučilište u Mostaru, Hırvatistan.

Ντίνης, Σ. (2018). *Comparative analysis of the metabolite profiles and the antioxidant activity of extracts of Satureja hortensis* (Yyımlanmamış Yüksek Lisans Tezi). Batı Makedonya Teknolojik Eğitim Enstitüsü, Makedonya.

Riu-Aumatell, M., Bosch-Fusté, J., López-Tamames, E., Buxaderas, S. (2006). Development of volatile compounds of cava (Spanish sparkling wine) during long ageing time in contact with lees. *Food Chemistry, 95*(2), 237-242.

Onurlubaş, E. ve Taşdan, K. (2017). Geleneksel ürün tüketimini etkileyen faktörler üzerine bir araştırma. *Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 17*(1), 115-132.

Özdemir Yaman Z. (2019). *Güney avrupa mutfağı*. Erişim tarihi: 07.03.2024, https://turkiyeturizmansiklopedisi.com/guney-avrupa-mutfagi,

Pachi, V. K., Mikropoulou, E. V., Gkiouvetidis, P., Siafakas, K., Argyropoulou, A., Angelis, A., Halabalaki, M. (2020). Traditional uses, phytochemistry and pharmacology of Chios mastic gum (Pistacia lentiscus var. Chia, Anacardiaceae): A review. *Journal of Ethnopharmacology, 254*, 112485.

Panagou, EZ, Nychas, GJE ve Sofos, JN (2013). Varieties and safety of traditional Greek dishes. *Food Control. 29* (1), 32-41.

Parra-López, C., Hinojosa-Rodríguez, A., Sayadi, S., Carmona-Torres, C. (2015). Protected Designation of Origin as a Certified Quality System in the Andalusian olive oil industry: adoption factors and management practices. *Food Control, 51*, 321-332.

Potter, N. N., Hotchkiss, J. H. (2012). *Food science*. New York: Springer Science & Business Media.

Rysha, A. (2021). Food, nutrition, and health in Kosovo. *Nutritional and Health Aspects of Food in the Balkans* ,125-141.

Weichselbaum, E., Benelam, B., Soares Costa, H. (2009). *Traditional foods in Europe*. Norwich: EuroFIR Project.

Ramadanoğlu, E., İnce Karaçeper, E. (2024). Bosna Hersek Boşnak göçmenlerinin mutfak kültürü ve sofra gelenekleri: İstanbul ili Pendik, Kartal ve Bayrampaşa ilçeleri örneği. *Türk Turizm Araştırmaları Dergisi*, *8*(1), 1–23.

Sarıbaş, Ö. (2020). *Yunan mutfağı*. Erişim tarihi: 20.03.2024,https://turkiyeturizmansiklopedisi.com/yunan-mutfagi.

Sert, A. N. (2017). Italian cuisine: characteristics and effects. *Journal of Business Management and Economic Research, 1*(1), 49-57.

Silva, M. L., Macedo, A. C., Malcata, F. X. (2000). Review: Steam distilled spirits from fermented grape pomace Revision: Bebidas destiladas obtenidas de

la fermentación del orujo de uva. *Food Science and Technology International, 6*(4), 285–300.

Skiada, V., Tsarouhas, P., & Varzakas, T. (2019). Preliminary study and observation of "Kalamata PDO" extra virgin olive oil, in the Messinia region, southwest of Peloponnese (Greece). *Foods, 8*(12), 610.

Şahin, A. (2020). *İtalyan mutfağı*. Erişim tarihi: 11.03..2024, https://turkiyeturizmansiklopedisi.com/italyan-mutfagi .

TasteAtlas(2024). *What to eat in Grecee?* Erişim tarihi:14.05.2024, https://www.tasteatlas.com/greece?ref=main-menu.

TasteAtlas (2024). *What to eat in Spain?* Erişim tarihi: 23.04.2024,https://www.tasteatlas.com/spain?ref=main-menu.

TasteAtlas (2024). *What to eat in Portugal?* Erişim tarihi: 07.05.2024, https://www.tasteatlas.com/portugal?ref=main- menu.

TasteAtlas (2024). *What to eat in İtaly?*. Erişim tarihi: 13.05.2024, https://www.tasteatlas.com/cappuccino.

TasteAtlas (2024). *What to eat in Bosnian and Herzegovinian?* Erişim tarihi: 06.06.2024, https://www.tasteatlas.com/bih?ref=main-menu.

TasteAtlas (2024). *What to eat in Croatia?* Erişim tarihi: 06.06.2024, https://www.tasteatlas.com/bajadera .

Taşkın Yılmaz, F., Demirel, G., Karakoç Kumsar, A. (2016). Çay, obezite ve kadın. *Çağdaş Tıp Dergisi, 6*(2), 137-146.

Teyin, G. (2023). Şarap, önoloji ve şarap turizmine genel bir bakış. *Sanat ve Tasarım Dergisi, 3*(2), 201-213.

Wikipedia (2017). *Mel do Alentejo*. Erişim tarihi:07.05.2024., https://pt.wikipedia.org/wiki/Mel_do_Alentejo.

Yıldırım, A., Çetin, S., Öğretmen, H., Sarı, P. (2016). Narın Çikolata Üretiminde Kullanımı. *Harran Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 20*(1), 12-19.

Yildirim Aybakir M. (2015). *Baharatın antimikrobiyel etkisinin engeller teknolojisi kapsamında incelenmesi* (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi, Ankara.

Yıldız E., Sarıışık M., Doğdubay M., Kurnaz A., Güldemir O., Mil B., Durlu Özkaya F. (2018). *Dünya Mutfakları 1*. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayınları.

Yüksel, C. (2019). *Bosna- Hersek Mutfağı*. Erişim tarihi: 05.06.2024 https://turkiyeturizmansiklopedisi.com/bosna-hersek-mutfagi.

ISBN 978-2-38236-687-5






livredelyon.com


livredelyon


livredelyon


livredelyon