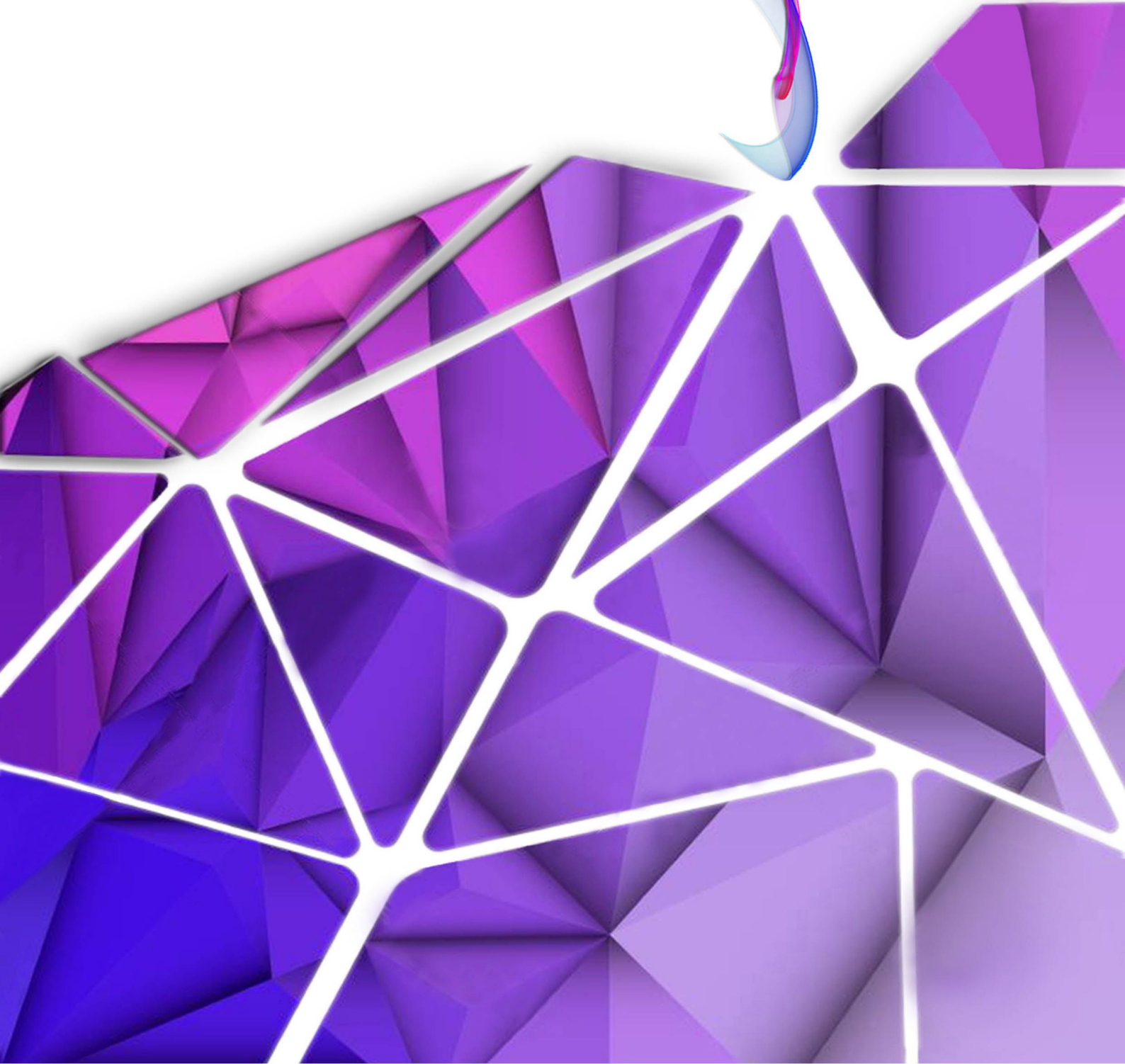


2021, CİLT 2 SAYI 2

e-ISSN 2717-9397

İLERİ MÜHENDİSLİK ÇALIŞMALARI VE TEKNOLOJİLERİ DERGİSİ



İÇİNDEKİLER

Kaveh DEGHANIAN Rukiye ÖNDER	Geocell Malzemesinin Özellikleri ve İnşaat Sektöründe Kullanımı Properties of Geocell Material and Its Use in Construction Industry	63-74
Mutlu TÜRK Ümit AYATA	Avokado (Persea americana Mill.) Odununda Yüzey Pürüzlülüğü Parametrelerinin ve Shore D Sertlik Değerinin Araştırılması Investigation of Surface Roughness Parameters and Shore D Hardness Value in Avocado (Persea americana Mill.) Wood	75-84
Ümit AYATA Nevzat ÇAKICIER Levent GÜRLEYEN	Kokulu Ardıç Odunundan UV Sistem Vernikli Parke Üretimi Denemesi UV System Varnished Parquet Production Trial from Foetid Juniper Wood	85-97
Bahdişen GEZER Rahşen GEZER Can GEZER	Removal of Reactive Black 5 Dye from Waste Water by Photocatalytic Method Using TiO₂ Catalyst TiO ₂ Katalizörü Kullanılarak Fotokatalitik Yöntemle Reactive Black 5 Boyarın Atık Sudan Giderimi	98-105
Aşkın YILDIZ Ümit ÜNVER	Yakıt Hücreli Mikro-kojenerasyon Sistemlerinin Evsel Kullanım Açısından İncelenmesi Investigation of Fuel Cell Micro-cogeneration Systems for Domestic Use	106-116
Beyza GÜLTEKİN Gamze DOĞAN	İnşaat Mühendisliğinde Yapay Zeka Çalışmaları Artificial Intelligence Studies In Civil Engineering	117-138

Geocell Malzemesinin Özellikleri ve İnşaat Sektöründe Kullanımı

Kaveh DEGHANIAN*¹, Rukiye ÖNDER²

^{1,2}*Istanbul Aydın Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 34295, Türkiye*

Araştırma Makalesi, Geliş Tarihi: 23.08.2021, Kabul Tarihi: 31.12.2021

Özet

Bu makale kapsamında, geosentetik malzeme türlerinden olan Geocell malzemesinin üretimi ve tarihi gelişimi ele alınmıştır. Bunun yanı sıra Geocell'in özellikleri, inşaat mühendisliği kapsamında kullanımı ve avantajları, sürdürülebilir yol inşasında tercih edilmesinin gerekçelerinden de bahsedilmektedir. 1970 yılında icat edilen Geocell, bal peteği formuna sahiptir. Geocell'ler inşaat mühendisliğinde çok sayıda uygulama bulmuştur. Betonarme zemin yapıları alanında büyük yankı uyandıran geocell'lerin en önemli uygulamalarından biri de çeşitli ulaşım geoteknik uygulamalarında kullanılmasıdır. Hücre içleri doğal agregalar ile doldurulur ve bu uygulama sayesinde istinat duvarlarında kuvveti daha geniş alana yayarak çözümler sunar, hidrolik yapılarda aşınmayı önler, daha yaygın olarak ise karayollarında ve demiryollarında tercih edilir. Karayollarında asfaltlı ve asfaltsız yollarda uygulanarak yol performansını ve hizmet ömrünü artırmaktadır. Bununla birlikte CO₂ emisyon problemine de çözüm sunarak çevreye verilen zararı minimum seviyeye düşürmektedir. Geocell kullanımı ile alternatif yöntemlerin karşılaştırılması yapıldığında ise Geocell malzemesinin daha ekonomik, daha pratik, zaman tasarrufu sağladığı ve çevre dostu olduğu görülmektedir. Bu makale, tüm bu sistemlerde geocell'in yararlı etkilerini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Geocell, Hücresel dolgu sistemi, Sürdürülebilir yol.

Properties of Geocell Material and Its Use in Construction Industry

Abstract

Within the scope of this article, the production and historical development of Geocell material, which is one of the geosynthetic material types, is discussed. In addition, the features of Geocell, its use in civil engineering and its advantages, and the reasons for its preference in sustainable road construction are also mentioned. Invented in 1970, Geocell has the form of a honeycomb. Geocells have found numerous applications in civil engineering. One of the most important applications of geocells, which has a great impact in the field of reinforced concrete soil structures, is its use in various transportation geotechnical applications. Cell interiors are filled with natural aggregates and thanks to this application, it provides solutions by spreading the force on the retaining walls to a wider area, prevents corrosion in hydraulic structures, and is more commonly preferred in highways and railways. It increases road performance and service life by being applied on asphalted and unpaved roads on highways. In addition, it provides a solution to the CO₂ emission problem and reduces the damage to the environment to a minimum. When the use of geocells is compared with alternative methods, it is seen that the Geocell material is more economical, more practical, time-saving and environmentally friendly. This article demonstrates the beneficial effects of geocell in all these systems.

Keywords: Geocell, Cellular filling system, Sustainable path.

*Sorumlu yazar kavehdeghanian@aydin.edu.tr, ²rukiyeonderr@gmail.com

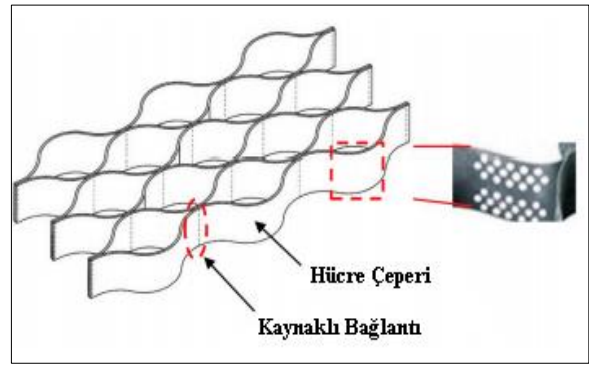
1. GİRİŞ

Kentleşme için sürekli artan yetkin arazi talebi, geoteknik mühendislerinin nispeten zayıf toprağı kabul edilebilir bir duruma dönüştürmek için optimize edilmiş bir yöntem geliştirmesi için bir zorluk olmuştur. Çoğu durumda yetersizlik, zeminin yetersiz taşıma kapasitesi ve/veya söz konusu geoteknik-yapının aşırı oturmasından kaynaklanmaktadır. Bunun ışığında, zeminin mukavemetini ve sertliğini artıran, sıkıştırılabilirliği ve sıvılaşmaya karşı kırılabilirliği azaltan, çevresel etkiler üzerindeki olumsuz fiziksel veya kimyasal değişiklikleri önleyen ve zeminlerin doğal öngörülemez işini en aza indiren farklı teknikler icat edilmektedir (Biswas ve Krishna, 2017). Geocell; yüksek yoğunluklu polietilen alaşımlardan üretilmiş, petek formunda üç boyutlu bir yapıya sahip zemin güçlendirmede ve erozyon korumada kullanılan, U.V ışınlarına dayanıklı geosentetik bir malzemedir. Hüresel Dolgu Sistemleri (HDS) olarak da nitelendirilmektedir. Genellikle eğimli yüzeylerde su ve rüzgâr nedeniyle oluşabilecek toprak kaymalarının engellemek için kullanılmaktadır. Üç boyutlu bal peteği yapısı ile gözenekleri doldurarak çalışan Geocell hücre dolgu sistemleri, geosentetik bir malzeme olan geogrid malzemesine ekstra çözümler üretmektedir. Geogrid mantığı ile çalışan Geocell, geogridlerin zeminde güçlendirme ve istinat duvarlarında ki donatı görevini yerine getirmektedir. Farkı ise; hüresel dolgu sistemleri, hüresel dolguların içini doldurarak çalışmaktadır (Movea, 2021). Geocell'lerin birincil uygulaması, 1970 yılında kavramsallaştırılıp uygulamaya konulduğunda, ağır askeri araçların yumuşak yollarda hareketi için anında destek sağlamaktı. Yıllar içinde, geocell'ler temel güçlendirme, erozyon kontrolü, şev koruması, kanal koruması, taşkın duvarları ve patlama koruması gibi birçok başka uygulama bulmuştur. Bununla birlikte, jeo-hücrelerin yollar, setler ve istinat duvarları dâhil olmak üzere ulaşım ile ilgili çeşitli uygulamalarda kullanımı, diğer tüm uygulamalar arasında oldukça ileridedir. Günümüzde geocell'ler, zorlu zemin koşullarında az bakım gerektiren yollar inşa etmek için dünya çapında yaygın olarak kullanılmaktadır. Literatürde, jeo-hücrelerin yolları ve ulaşım altyapısının diğer bileşenlerini olumsuz hava koşullarına, depremlere ve sel baskınlarına karşı korumadaki başarılı performansını gösteren birçok vaka çalışması mevcuttur (Latha, 2021).

2. GEOCELL MALZEMESİNİN ÜRETİMİ

Geocell zemin hücresi dünya standartlarında, uluslararası normlara uygun olarak birinci sınıf polimerlerden imal edilmektedir. Hüresel dolgu sistemi U.V katkılı HDPE şeritlerin ultrasonik ses sistemi ile yapıştırılması ile üretilmektedir. Bu şeritlerin yapıştırılma aralığı malzemenin kaynak mesafesi olarak adlandırılmaktadır (Inti ve Tandon, 2021).

Geocell'ler delikli bir yapıda imal edilmektedir. Bunun sebebi hızlı drenaj ve dolgu malzemesinin kolay sıkışabilmesidir. Fabrika ortamında özel ultrasonik kaynak sistemi ile yapıştırılan Geocell malzemesi hüresel şeritler halinde uygulanacak sahaya nakil edilmektedir (Inti ve Tandon, 2021).



Şekil 1. Geocell bileşenleri (Pokharel vd., 2018).

3. HÜCRESEL DOLGU SİSTEMİNİN (GEOCELL) TARİHİ SERÜVENİ

Hüresel hapsedme fikri ilk olarak Birleşik Devletler Ordusu Mühendisler Birliği tarafından 1970'lerde geliştirilmiştir. Geohücreler daha sonra suya dayanıklı reçine fenolik batırılmış kâğıttan yapılmıştır. Daha sonra, mukavemet gereksinimlerini karşılamak için metalik geohücreler seçilmiştir, ancak kullanım zorluğu ve yüksek maliyet nedeniyle uygulanabilir olmadığı kanıtlanmıştır. Geocell malzemesini andıran hüresel yapılar da kenarları ve diyaframları oluşturan geogridlerden yapılmıştır. Geocell malzemesi ayrıca bodkin çubuklarla birleştirilmiş geogrid levhalar kullanılarak yapılmıştır. Ticari olarak temin edilebilen geohücreler artık yüksek yoğunluklu polietilenden (HDPE) ve Yeni Polimerik Alaşımdan (YPA) yapılmıştır. Buna ek olarak; Geocell farklı şekil ve boyutlarda sahaya getirilmektedir. Ancak Geocell'in en yaygın şekli neredeyse daireseldir (Işık vd., 2020).

4. GEOCELL MALZEMESİNİN ÖZELLİKLERİ

Zemin-geosentetik ara yüzey sürtünme davranışı geosentetik elemanlarının çekme direncini yüksek oranda değiştirir. Ara yüzey sürtünme davranışı zeminin kayma mukavemeti parametrelerine (kayma mukavemeti açısı ve kohezyon) ve geosentetik donatı malzemesinin şekil olarak formuna bağlıdır. Elemanlar üzerinde oluşan deplasman ve şekil değiştirmeler eleman boyunca farklılık göstermekte ve eleman boyunca değeri düşmektedir.

Çekme deney sonuçlarına göre hücresel dolgu elemanların boyutlarının veya hücre sayısının artması ile çekme kuvvetlerinin değeri de artış göstermektedir. Çünkü hücre sayısının artması enine elemanlar üzerinde oluşan pasif dirençleri artıracığından çekme kuvvetlerinin değeri de yükselecektir. Ayrıca eleman boyutlarının artması eleman üzerinde oluşan sürtünme alanında artma gerçekleştireceğinden çekme kuvvetlerinde de artış görülecektir. Eleman boyunca oluşan deplasmanlar ve deformasyonlar tüm elemanlar için duvar önyüzünde en yüksek değerine ulaşmakta ve gömme derinliğince deplasman değeri düşmektedir. Hücresel eleman-zemin arasındaki ara yüzey sürtünme davranışını ifade eden ara yüzey sürtünme katsayısı, düşey basınç değeri yükseldikçe azaldığı bilinmektedir. Zemin-yüzeysel geosentetik elemanlar arasındaki ara yüzey sürtünme katsayıları ile zemin-hücresel dolgu elemanların ara yüzey sürtünme katsayıları genel olarak yakın oranlara sahip olduğu çalışmalar ışığında bilinmektedir (Işık vd., 2020).

5. GEOCELL'İN KULLANIM ALANLARI

Geocell malzemesinin kullanım alanlarını gruplandırmak gerekirse; karayollarında ve demir yollarında taşıyıcı bir platform olarak, zemin taşıma kapasitesini arttırmada, sulama kanallarında, eğimli yüzey stabilizasyonunda, istinat duvarı inşaatında, erozyon kontrolünde ve eğimli yüzeylerde hücresel dolgu sistemlerinin içlerini toprak doldurarak yeşillendirme amacıyla kullanılmaktadır.

5.1. Şevlerde Erozyon Koruması

Şev koruma uygulamalarında hücre içlerinde dolgu malzemeleri farklı tercih edilerek erozyon dayanım kuvveti değeri yükseltilebilir. Seçilen malzeme proje koşulları altında tercih edilir. Dik yamaçlar üzerine yerleştirilen Geocell, hücre içi dolgu malzemesini tutmak ve hareketini engellemek için üretilmiştir. Geocell malzemesinin hücre duvarları şevlerden aşağı

yönde akan suyun akış hızını azaltmaktadır. Geocell kullanımı, erozyonun önemli bir nedeni olan kılcal yarılmaların oluşumuna çözüm olmaktadır.

Buna ek olarak, şevlerde Geocell kullanımı hücrelerin içinde biriken suların dolgu toprağından aşağıya sızarak, bitkilerin köklerine ulaşmasına ve büyümesine katkıda bulunmaktadır (Khorsandiardebılı ve Ghazavı, 2021).

5.1.1. Geocell Takviyeli Şevlerin Statik Stabilitate Analizi

Yatay Geocell katmanlarını simüle etmek için Yatay Dilim Yöntemi (HSM) olarak adlandırılan yöntem kullanılır. Her Geocell tabakası, eksenel mukavemete ek olarak eğilme ve kesme direnci sağlayan bir kiriş görevi görür. Farklı özelliklere sahip eğimler için Geocell yüksekliğini artırmanın ve Geocell'leri çeşitli yüksekliklere sahip Geocell'ler ile değiştirmenin etkilerini değerlendirmek için parametrik çalışmalar yapılmaktadır. Sonuçlar, bu tür eylemlerin, takviye tabakalarının gerekli gerginliğini ve uzunluğunu makul ölçüde azaltacağını, yani stabilite koşulunun iyileştirildiği ve daha az uzun takviye kuvvetlendirme sisteminin oluştuğunu göstermektedir. Geosentetikler; son yıllarda zemin yapılarının, özellikle eğimlerin ve duvarların güçlendirilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Literatürde, güçlendirilmiş şev ve duvarları inceleyen birkaç çalışma bulunmaktadır. Analitik teknikler, özellikle limit durum yöntemleri, basitlikleri ve işlevsellikleri nedeniyle araştırma çalışmalarında kullanılmıştır. Güçlendirilmiş zemin şevlerinin göçme sınırı durumu için yeni bir gerilime dayalı tasarım yaklaşımı geliştirmiştir. Donatılara paralel dilimlerin denge değerlendirmesinden türetilen denge denklemlerini ve yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntem daha sonra diğer araştırmacılar tarafından Yatay Dilimleme Yöntemi (HSM) olarak kullanılmaktadır.

Güçlendirilmiş zemin yapılarının sismik kararlılığını değerlendirmek için sözde-statik limit denge analizini temsil ederek parametrik çalışmalar yürütülmüştür. Geosentetik takviyeli şevlerin göçme mekanizmaları belirlenmiştir. Hem düzgün hem de doğrusal olarak güçlendirilmiş eğimleri araştırmış ve limit analizi kinematik yaklaşımını kullanarak donatı için gerekli mukavemet ve uzunluk üzerinde çalışmış ve pratik tasarım çizelgeleri sunulmuştur.

Tablo 1. Geocell malzemesinin özellikleri (Pokharel vd., 2016).

Açıklama	Değer
Geocell materyal	Polimerik nano-Kompozit alaşım
Akma mukavemeti	21,5 kN/m
Geocell hücre yüksekliği	150 mm
Kaynak dikişleri arasındaki mesafe	330 mm
Toprak hücresi sürtünme verimliliği katsayısı	0,95
Isıl genleşme katsayısı	<115 °C
Gevrek sıcaklık	<-70 °C
65 °C 'de uzun vadeli plastik deformasyon	<1,3 % deformasyon
Akma anında malzeme dayanımı	24 PA

Geosentetik tabanlı zemin takviyesinin yeni bir yaklaşımı olarak, üç boyutlu bir hücresel hapsedme sistemi olan hücre dolgu sistemi, çeşitli geoteknik uygulamalarda kullanılmış ve karşılık gelen tepkilerini ve mekanizmalarını incelemek için çeşitli çalışmalarla değerlendirilmiştir. Bir kiriş elemanı olarak Geocell şilte, çekme mukavemetine ek olarak eğilme ve kesme direnci sağlamaktadır. Bunu ve Geocell performansının diğer somut faydalarını göz önünde bulundurarak yamaçları ve duvarları güçlendirmedeki uygulaması haline gelmektedir. Geoteknikte Geocell'ler büyüleyici bir konudur. Geocell'lerle güçlendirilmiş şevlerin ve duvarların göçme mekanizmasını ve stabilite koşullarını analiz etmek, bu alanda çok az çalışma olmasına rağmen, geoteknik mühendislikte çok önemli bir durumdur. Geocell ile güçlendirilmiş şevlerin stabilite analizi üzerine sayısal bir parametrik çalışma gerçekleştirmiş, Geocell yatağı kiriş olarak modelleyerek sistemin güvenlik faktörünü üretmiştir. Sonuç olarak; gerekli gerilme veya uzunlukta görülen iyileştirme derecesinin, eğimi (β) ve zemin sürtünme açısı (ϕ) dahil olmak üzere eğim özelliklerine bağlı olduğu belirtilmektedir.

Çeşitli özelliklere sahip kohezyonsuz şevlerde artan donatı yüksekliğinin stabilite koşullarına etkisini değerlendirmek için parametrik çalışmalar yapılmaktadır. Bunlar takviye olan gerekli gerilimi ve uzunluğuna dayalı olarak araştırılmış, şevlerin stabilitesini korumak için gerekli katmanlarının ve denge değerlendirmesinden türetilmiştir.

Geocell takviyeli şevlerde, artan ve azaldıkça, gerekli toplam gerilme kuvveti, geogrid takviyeli şevlerde

eğilim ve genellikle Geocell takviye katmanlarının uzunluğu artar. Geogrid'in Geocell ile değiştirilmesi ve Geocell yüksekliğinin artırılması, gerekli toplam gerilme için daha küçük değerler elde edilmesini sağlar. Bu nedenle, bu tür hareketlerin, güçlendirilmiş şevlerin stabilite koşullarını iyileştirmek için uygun çareler olabileceği görülmektedir. Bu gelişme, karşılık gelen değerlerde bir azalma olarak ortaya çıkar ve iyileştirmenin derecesi, temel göreceli iyileştirme faktörleri kullanılarak farklı eğim özellikleri için ölçülür. Ortalama 5 cm yüksekliğindeki Geocell katmanları ile güçlendirilmiş bir eğim verildiğinde, geogridlere göre gerekli toplam gerilimlerinde önemli gelişme oranları görülmektedir. Gerekli gerilime gelince, oranlar sırasıyla %20 ila %90, mutlak ve gelişme faktörleri 0,02 ila 0,13 arasındadır, bu da stabilite koşulunun makul ölçüde iyileştirildiğini gösterir. Ayrıca gerekli uzunlukta %15 ila %40 arasında değişen miktarlara ve 0,25 ila 1,15 m ulaşılmakta, bu da daha az uzun bir sistemin oluştuğunu göstermektedir. Bu aynı zamanda, eğimleri güçlendirmek ve stabilitelelerini iyileştirmek için Geocell katmanlarını geogridlere göre kullanmanın ekonomik avantajını da kabul etmektedir (Khorsandiardebılı N., Ghazavı M., 2021).

5.2. Zemin Güçlendirme

Hücresel dolgu sistemi üstün taşıma kapasitesine sahip üç boyutlu hücreleri ile zayıf zeminlerde oturma sorununu çözer. Temel dolgu ihtiyacını %50'ye varan oranda düşürür. Dolgu miktarında ve işçilikte önemli bir azalma olurken güvenli bir zemin sıkışması yaratır. Uygulama yapılacak zeminin özellikleri ve zemine gelen yükler dikkate alınarak hücre tipine karar verilmektedir. Kullanılacak Geocell malzemesinin tipi hücre boyutu seçiminde önemli bir faktördür (Keif vd., 2017).

5.2.1. Geocell Takviyesinin Zeminin Davranışı Üzerindeki Etkisi

Güçlendirilmiş toprak, geoteknik mühendisliğinin birçok alanında ekonomi, kurulum kolaylığı, performans ve güvenilirlik sunmaktadır. Pek çok araştırmacı, temellerin taşıma kapasitesini ve oturmasını iyileştirmek için "Geocell ile güçlendirilmiş yataklar" olarak adlandırılan hücresel geosentetik yatak yapılarının yararlı yetenekleriyle ilgi araştırılmalar yapmıştır. Örneğin, kurucu tabakaların özelliklerini, Geocell dolgu toprağını, Geocell şiltenin geometrisini, eğim açısını ve setten gelen yükü göz önünde bulundurarak Geocell takviyeli zeminlerin taşıma kapasitesini tahmin etmek için bir denklem önerilmiştir.

Ayrıca gömülü boruları korumak için hendek güçlendirilmesi için Geocell kullanılmıştır. Güçlendirilmiş setler alanında birçok deneysel çalışma, ölçek etkilerinin nadiren tam olarak dikkate alındığı küçük veya büyük ölçekli fiziksel modelleme ile gerçekleştirilmiştir.

Sonuçlar, güçlendirilmiş temellerin tepkisi üzerindeki ölçek etkisinin önemli rolüne odaklanmaktadır.

Geocell takviyesinin zemin üzerinde etkileri;

- Geocell takviyeleri, temellerin taşıma kapasitesini artırmak için güçlü bir yöntem olarak pek çok umut vaat etmektedir. Uygun etkin parametrelerin seçildiği koşullarda, Geocell takviyesi, takviyesiz dolguyu 5,24 kata kadar güçlendirebilir.
- Geocell ile hücre boyutunun orta tane boyutundaki dolgu malzemelerine oranının 15 ile 1 arasında seçilmesi tavsiye edilir.
- Geocell takviyesinden en yüksek faydayı elde etmek için temel genişliği 13-27 aralığında olmalıdır (Ortalama 20 kat orta tane büyüklüğünde dolgu malzemesi).
- Daha kararlı ve güvenilir Geocell ile güçlendirilmiş dolgu sağlamak için, yer hücrelerinin hücre boyutlarının temel genişliğinin 0,67 katından daha küçük seçilmesi önerilir (Mehrijardı vd., 2019).

5.2.2. Geocell ile Güçlendirilmiş Zeminlerde Donma-Çözülme Davranışı

Donma-çözülme döngüleri, soğuk bölgelerdeki kaplamaların dengesini bozmanın başlıca nedenidir. Donma-çözülme hasarlarına yönelik karşı önlemler arasında, döşeme temellerini güçlendirmek için Geocell kullanılması pratikte etkili bir çözümdür. Bununla birlikte, yaygın uygulamaların aksine, Geocell ile güçlendirilmiş tabanların donma-çözülme davranışına ilişkin araştırmalar, muhtemelen deneysel testleri yürütmek için uygun cihazların bulunmamasından dolayı sınırlıdır. Toprakların buzlanması bölgede hacim artışına neden olur. Faz değişimi donma-çözülme (FT) döngüleri, toprakta don kabarması ve çözülmenin zayıflamasıyla sonuçlanan doğal bir olaydır ve mevsimsel don bölgelerinde kaplama hasarının başlıca nedenidir.

Donma-çözülme ile ilgili hasar, asfaltsız yollarda daha ciddidir, çünkü oluşan yüzey tabakası, bağlanmamış granüller temel malzemelerden ağır trafik yükleri tarafından su sızmasına ve sıkıntıya daha yatkındır.

FT döngülerinin toprağın özelliklerini değiştirmede önemli bir rol oynadığı bilinmektedir. Örneğin, sıkıştırılmış topraklar, topraktan elden edilen mikro yapısal değişiklikler nedeniyle daha gevşek hale gelebilir. Deneysel araştırma, kapalı bir sistemde beş FT döngüsünden sonra, FT algılanamayan çakılların bile California Taşıma Oranında (CBR) (yaklaşık %40) dikkate değer bir düşüşe maruz kalabileceğini göstermektedir. FT hasarı, esas olarak, su fazının değişmesi ve suyun yeniden dağılımının neden olduğu toprağın donma ve çözülme zayıflamasına sebep olur. Dondurma işlemi sırasında su bulunan gözenekte arkasında donmuş bir saçak oluşur. Su, suyu donmuş saçaklara doğru göç etmeye zorlayan bir emme oluşturur. Çözdürme işlemi sırasında donmuş bölgedeki buz yavaş yavaş erir ve erimiş su, kalan donmuş bölgenin üzerinde çözülen topraklarda birikir ve dolayısıyla toprağı zayıflatır. Bu nedenle, kaplama hasarının çoğu zaman ilkbaharda kar erimesinde meydana gelir ve çözülme mevsimlerinin sonunda taban ve alt zemin modülünde önemli bir azalma bulunur. Uygulamada dona duyarlı ince tanelerin çakıllarla değiştirilmesi, yol yüzeylerine kalsiyum klorür püskürtülmesi, alt zeminin çimento gibi kimyasal katkılarla stabilize edilmesi, alt zeminin agrega kolonları ile boşaltılması, tabanların geosentetiklerle güçlendirilmesi dahil olmak üzere yolların FT hasarını hafifletmek için birçok önlem alınır. Emici geotekstiller ile taban katmanlarının boşaltılması ve geokompozit ile drenaj tabakası ve kılcal bariyer oluşturulmasını sağlar. Özel bir geosentetik türü olan Geoceller, kapsüllenmiş toprakların etkili bir şekilde hapsedilmesini sağlayan petek benzeri birbirine bağlı geosentetik hücrelerin üç boyutlu formlarıdır. Pratik uygulamalardan artan kanıtlar, geohücrelerin mevsimsel don bölgelerindeki kaplamaların dayanıklılığını artırmada etkili olduğunu göstermiştir.

Geocell takviyesinin donma-çözülme olayına etkileri;

- Geocell takviyeli kumların ve takviyesiz kumların sıcaklık gelişimi ve izotermeleri benzerdir. Bu da kumlara Geocell'lerin eklenmesinin kumlardaki ısı transferini değiştirmede önemsiz bir etkiye sahip olduğunu gösteriyor.
- Toprak ve alüminyum arasındaki ara yüzde bir sıcaklık süreksizliği gözlemlenir. Bu, toprak-alüminyum ara yüzünde ısı temas direncinin varlığını gösterir.
- Her FT döngüsü içinde donma ve çözülme sonlandırma eşik sıcaklığı sırasıyla -5 °C ve 10 °C olarak bilinmektedir.

- Sert bir taban üzerinde duran kumlar için, Geocell kullanımı, FT döngüsünden sonra en yüksek don kabarma ve çözülme yerleşimini sırasıyla yaklaşık %18 ve %34 azaltmıştır. Takviye edilmemiş ve takviye edilmiş kum kalıntıları FT döngüleri ile artar, bu da sıkıştırılmış kumların FT hareketi ile gevşediğini göstermektedir (Huang vd., 2021).

5.3. İstinat Duvarları

Hücresel dolgu sistemi ile dik ve kararsız yamaçlarda beton istinat duvarının da ulaşamayacağı yükseklikte, uzun ömürlü ve düşük maliyetli istinat duvarları inşa edilebilir. Hücresel dolgu sistemleri ile inşa edilen istinat duvarları; içinde beton, demir buldurmuyan, çevre ile uyumlu, estetik, günümüzün doğa dostu istinat duvarlarıdır. Hücre yüzeyleri duvarın ön yüzünde dolgu malzemesini çevreleyerek dışarı çıkmasını önler ve bu sayede Geocell ile inşa edilen yeşil istinat duvarları deprem yüküne ve zemin oturmalarına karşı mükemmel bir çözüm sunar (Pokharel vd., 2015).

5.4. Karayollarında ve Demir Yollarında

Geocell karayolları, demiryolları ve benzeri uygulamalarda statik ve hareketli tekerlek yüklerini desteklemek için taneli toprakların güçlendirilmesi için uygundur. Alt zeminin taşıma kapasitesinin artırılması ve dolgu malzemesinin modülünün iyileştirilmesi, kaplama yapısında Geocell kullanılmasının tek faydası değil, aynı zamanda gerekli dolgu malzemesi miktarını azaltarak ilk proje maliyetini de düşürecek, projenin yapım süresini kısaltacak ve ayrıca gerekli bakım ve onarımı en aza indirecektir. Buna ek olarak, Geocell dolgu malzemesinin uzun bir mesafeden şantiyeye taşınması ihtiyacını ortadan kaldırarak yerel olarak mevcut alt dolgu ile doldurulabildiğinden, yol yapımı daha çevre dostu olacaktır. Bu sonuçlar, nihayetinde daha az yakıt tüketimi, kirlilik ve karbon ayak izine yol açacak olan nakliye işlemlerinin ve kamyonların kullanımının azalmasına neden olacaktır. Geosentetik takviyeleri, 40 yılı aşkın süredir asfaltsız ve asfalt kaplı yolların performansını iyileştirmek için kullanılmaktadır. Bu takviyeler, taşıma kapasitesini arttırmak için alt sınıfların üzerine veya yük dağıtım kapasitesini arttırmak için temel tabakanın içine yerleştirilebilir. Bu uygulama ise azaltılmış taban tabakası kalınlığı ve daha uzun hizmet ömrü ile sonuçlanır (Pokharel vd., 2015).

5.4.1. Demir Yollarında Balast Setlerinin Geocell ile Güçlendirilmesi

Teknoloji ilerledikçe trenler daha hızlı hareket eder, demiryolları uzar, daha ağır malları taşır ve daha sıkı güvenlik standartları, daha uzun tasarım süreleri için daha yüksek seviyede ray altı hizalamasını zorunlu kılar. Bununla birlikte, balast seti olarak adlandırılan ana ray altı balast tabakası, balast kırılması ve yeniden düzenlenmesinden dolayı yanlış hizalanmış hale gelir. Sonuç olarak, set, rayların güvenliğini zayıflatan çökme ve yanal yayılmaya eğilimlidir. Setin hasar görmesi, trenin büyük merkez kaç kuvvetleri oluşturduğu keskin hat eğrilerinde daha belirgindir. Bu da ray setinde önemli ölçüde oturmaya neden olabilir ve rayın yanlış hizalamasını şiddetlendirir. Zayıf rota geometrisi, balast muayenesi, bakımı ve bazen yeniden yapılanma nedeniyle önemli harcamalara neden olur. Örneğin, Avustralya'nın en büyük demiryolu ağı sahiplerinden biri olan Australian Rail Track Corporation (ARTC), 30 Haziran 2016 yılında sona eren demiryolu altyapısı bakım çalışmaları için toplam gelirinin %22,3'ünü hesaba katarak, 188 milyon Avustralya Dolar'ından fazla harcadı. Aynı yıl bu harcamayı en aza indirmek adına, dolguları güçlendirmek için geosentetik takviyesi başarıyla uygulamıştır. Mevcut geosentetikler grubundan Geocell'ler, demiryolu setlerini güçlendirmek için umut verici bir yol sağlar. Geocell malzemesi, gerilimi balast setlerinin içinde daha eşit bir şekilde dağıtır. Güçlendirilmiş balast setleri ayrıca güçlendirilmemiş balast setlerinden daha az dikey yer değiştirme ve yanal yayılma sergiler. Tamamen gerildiğinde ise panel genellikle birkaç metre genişliğindedir.

Geocell, granüler dolguları güçlendirmek için geliştirilmiş bir hücresel hapsetme sistemidir. Sistem, katlanmış bir biçimde tedarik edilir ve kullanımdayken, bal peteği benzeri, üç boyutlu (3D) bir panele uzatılır. Panel, dolgu malzemelerini barındırmak ve sınırlamak için bir alan sağlar ve birleştirmeyi kolaylaştırır. 20 m uzunluğa kadar, yaklaşık 250 mm kare ayrı hücre boşluğu, genişlikte ve 75 ila 200 mm arasında derinliğe sahiptir. Panel boyutu ve hücre alanı, bireysel gereksinimlere uyacak şekilde üretim sürecinin bir parçası olarak değiştirilebilir. Yaklaşık 5 mm kalınlığındaki hücre duvarı, genellikle yüksek yoğunluklu polietilenden (HDPE) veya diğer polimer malzemeden oluşur ve su drenajına izin vermek, hücreler arasında kök büyümesini kolaylaştırmak ve dolgu ile kenetlenmeyi sağlamak için deliklidir. Daha yakın zamanlarda, yapılan çalışmalar ile güçlendirilmiş bir demiryolu setinde bir prototip testi ve sonlu eleman

(FE) analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmalar, Geocell'in balast setin güçlendirilmesindeki üstünlüğünü doğrulamıştır.



Şekil 2. Demiryollarında Geocell kullanımı (Tarsu, 2021)

5.4.2. Asfaltsız Yollar İçin Geocell Takviyesi

Asfaltsız yollarda Geocell malzemesinin kullanımına dair dünyadan bazı örnek projeler;

- MEG Enerji- Ana Erişim Yolu (MEG J-Hook)
- CANFOR- Ağaçlandırma Bahçesine Erişim Yolu
- İlçe Yolu- Lac St Anne
- İlçe yolu- Long Run Exploration

Tüm bu projelerden edinilen bilgilere göre Geocell kullanımının sonucunda;

- Yol Geocell ile güçlendirildiği için herhangi bir ek çakıl malzemesi eklemesi gerekmemektedir.
- Tahmin edilen ve ölçülen iz derinliği arasındaki bir karşılaştırma yapılabilmektedir.
- Yolların belirli ESAL sayısı için tekerlek izi tasarım kriterleri için yeterli olduğunu ortaya koymaktadır.

Sonuçlar göz önünde bulundurulduğunda, tasarım yöntemi asfaltsız yollar için iyi sonuç verir ve küçük bir güvenlik faktörü marjına sahiptir. Ancak MEG J-Hook yolundaki başarısızlık, yolun tasarım sınırı aşıldıktan hemen sonra başarısız olabileceğini göstermiştir.

Bazı durumlarda tasarım tahmin edilenden daha iyi performans göstermektedir. Bu, özellikle CBR değeri açısından inşaat katmanlarının sağladığı gelişmeye bağlanabilir. Tüm çift katmanlı durumlarda, yapı veya alt katman, alt zemini iyileştirir, böylece tasarımda kullanılan alt zemin mukavemeti, daha büyük güvenlik marjı ile tasarım üretir. Sonuç olarak, gerçek uygulamada ilk kez uygulanan tasarım yönteminin geçerli ve güvenilir olduğu kanıtlanmıştır. Bununla birlikte, tasarım hesaplamalarında iyileştirme ve yapı

performansının daha doğru bir şekilde izlenmesi için alan vardır (Pokharel vd., 2015).



Şekil 3. Asfaltsız yollarda Geocell takviyesinin uygulanması (Emersleben vd., 2008)

5.4.3. Asfaltlı Yollar İçin Geocell Takviyesi

Yurtiçi yüksek dereceli otoyolun asfalt kaplaması, genellikle yol yapım malzemelerinin standartların altında kalması, araçların aşırı yüklenmesi ve kanalizasyon edilmesi ve trafik hacminin artması nedeniyle asfaltın bozulmasını hızlandıran, hizmet ömrünü kısaltan hastalıklardan mustarıdır. Asfalt karışımının gerilme mukavemeti yeterli değilse, araç yükü altında kaplama yapısındaki aşırı çekme gerilmesi, kaplamada çatlaklara yol açacaktır. Buna ek olarak, yüksek sıcaklıkta, asfalt karışımı akış kayması deformasyonuna daha yatkındır ve sonunda izler oluşturur. Bir diğer hasar olan su hasarı; yapının genel performansı önemli ölçüde düşürür ve kaplamanın yaşam döngüsü maliyetini artırır. Ayrıca, yukarıdan aşağıya çatlaklar suyun girmesine izin veren asfalt kaplama hizmetlerinde karşılaşılan kaçınılmaz bir sorundur. Su, çatlaklar gibi çeşitli yollardan asfalt kaplamanın iç yapısına girer ve boşlukları birleştiren kanallarda serbestçe akar. Su, asfalt kaplamanın dayanıklılığını etkileyen ana faktörlerden biridir ve asfalt filminin soyulmasını hızlandırmak için asfalt tabakasını ıslatır. Geocell ile asfalt karışımı arasındaki yapışma azalacak veya hatta ayrılacak, böylece asfalt karışımının iç yapısının bütünlüğünü bozacak ve takviye etkisini kaybedecektir. Geocell ise yapının yüzeyine ve yapıların arasına yerleştirilerek yapıyı güçlendirip koruyabilen ve temelde kaplama tabanının mukavemetini artırmak, özel alt zemini işlemek için uygulanır. Geocell ile yolun yapısal performansın iyileştirilmesi üzerine araştırmalar yapan birçok bilim insanı vardır, ancak Geocell şu ana kadar asfalt kaplamaya uygulanmamıştır. Geocell'in yapısı büyük yanal kısıtlama ve sınırlayıcı bir etki sağlar. Geocell yan duvarı ile dolgu maddesi arasında

belirli bir sürtünme vardır. Bu özellik sayesinde, Geocell takviyeli asfalt karışımı, asfalt kaplamanın taşıma kapasitesini ve deformasyon direncini iyileştirmek için daha yüksek sertliğe ve mukavemete sahip bir kompozit yapı tabakası oluşturabilir. Böylece asfalt karışımının çeşitli performanslarını iyileştirebilir. Su stabilitesi göz önüne alındığında, donma-çözülme döngüsü sudan zarar gören asfalt karışımının özelliklerini daha iyi yansıtabilir.



Şekil 4. Geocell ile güçlendirilmiş asfalt (Lee vd., 2021)

- Geocell'in üç boyutlu yapısı ve asfalt karışımının kapalı numune oluşturma yöntemi göz önüne alındığında, Geocell takviyeli asfalt karışımı için yeni bir numune oluşturma yöntemi önerilmektedir. Deneysel sonuçlardan yola çıkarak, prizma numuneleri kullanılarak yapılan deneylerden elde edilen yük değeri, mevcut formülle daha fazla dayanıma dönüştürülemez de asfalt karışımının Geocell takviyesinden önceki ve sonraki performansını da yansıtabilir.
- Güçlendirilmiş katmanlar incelendiğinde Geocell takviyesinden sonra asfalt karışımının bütünlüğünün bozulmayacağı ve Geocell şeridinin asfalt karışımına iyi yapışmayı sürdürdüğünü gösterir ki bu da Geocell'in asfalt karışımındaki rolünü oynamasının temelini oluşturur.
- Yüksek sıcaklığa dayanıklı Geocell takviyeli asfalt karışımı, üç ana güçlendirme mekanizması ile asfalt karışımının basınç dayanımını, yarıma gerilme mukavemetini ve kesme özelliğini geliştirmiştir. Ayrıca sıcaklığın artması ile asfalt karışımının basınç dayanımı ve yarıma dayanımı artar. Bu da Geocell'in asfalt karışımı üzerindeki takviye etkisinin yüksek sıcaklıkta daha belirgin olduğunu, Geocell malzemesinin yanılma kısıtlama etkisinin ise asfalt karışımının akış

deformasyonunu daha iyi sınırlayabildiğini göstermektedir.

- Donma-çözülme döngüsünden sonra, Geocell ile güçlendirilmiş numunelerin donma-çözülme yarıma mukavemeti oranı daha yüksektir. Bu da Geocell takviyesinin asfalt karışımının su stabilitesini iyileştirebileceğini gösterir. Dahası, su Geocell şerit ile asfalt karışımı arasındaki yapışmayı aşırı derecede bozamaz ve Geocell yine de bir rol oynayabilir.
- Geocell varlığı nedeniyle, asfalt karışımının geri kazanılamaz deformasyonu, her döngüsel yük döngüsünde azaltılır, bu da asfalt karışımının sınır deformasyona ulaşması için gerekenden daha fazla döngüye yol açar, yani yolculuk ömrü artar.
- Geocell takviyeli asfalt karışımı, aynı Geocell yüksekliğinde kompozit bir tabaka yapısı oluşturacaktır. Kompozit katman, asfalt karışımının taşıma kapasitesini ve deformasyon direncini iyileştirmek için ana faktör olan daha fazla mukavemete ve sertliğe sahiptir ve bu nedenle asfalt karışımının performansını etkili bir şekilde artırabilir (Lee vd., 2021).

5.4.3.1 Geocell ile Güçlendirilmiş Asfalt Kaplamaların Deformasyonlarını Etkileyen Faktörler

Ulusal Asfalt Kaplama Birliği'ne (UAKB) göre, Amerika Birleşik Devletleri 2,7 milyon km'den fazla asfalt yola sahiptir ve bunların %94'ü esnek kaplamalardır. Hizmet ömürlerinin sonuna ulaşan esnek kaplamalar, mevcut asfalt yüzeyleri kaldırılarak ve çıkarılan kısımlar yeni sıcak karışım asfalt (YSKA) ile değiştirilerek sıklıkla rehabilite edilir. Mevcut esnek kaplamaların rehabilitasyonu ve yeniden inşası sırasında her yıl büyük miktarda geri dönüştürülmüş asfalt kaplama (DAK) malzemesi oluşturulur. DAK, frezeleme veya tam derinlikli geri kazanım yöntemiyle elde edilir. Frezeleme, 50 mm kalınlığa kadar asfalt kaplamanın tek bir geçişte mekanik olarak kaldırılmasını içerirken, tam derinlikli bir kurtarma yöntemidir ve asfalt kaplamanın tamamını çıkarmak için bir buldozere bağlı bir kaldırım kırıcı veya gergedan boynuzu kullanılır. YSKA 'ya göre, Amerika Birleşik Devletleri her yıl yaklaşık 500 milyon ton asfalt kaplama malzemesi üretmekte ve kaplama yapımında işlenmemiş agrega ve asfalta alternatif olarak DAK kullanımını desteklenmektedir. Kaplama yapımında granül bir temel malzeme olarak DAK kullanımının, kaplama inşaatı için sürdürülebilir bir seçenek

olabileceğini bilinmektedir. Literatür %100 DAK kullanımının yüksek kalitede temel üretmediğini ortaya koymaktadır. Geçmişte, DAK malzemesini işlenmemiş agregalarla harmanlayarak ve kimyasal katkı maddeleri kullanarak stabilize ederek, yolları iyileştirme işlemi gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, geosentetiklerle, özellikle de Geocell ile stabilize edilmiş DAK malzemesinin performansını araştırmak için sınırlı araştırma yapılmıştır. Performanstaki iyileşme, kalıcı yüzey deformasyonunun azalması ve esnek deformasyonun artması açısından sunulmuştur. Kalıcı deformasyondaki azalma, göreceli iyileştirme faktörü cinsinden sunulmuştur. Bunlar;

- Kalıcı deformasyon miktarı ve oranı yüklem döngülerinin sayısı ile artmıştır.
- Geocell takviyesi ile güçlendirilmiş tabanlarının kalıcı deformasyon performansını, güçlendirilmemiş tabanlara kıyasla 1,1-11,4 kat artırmaktadır.
- DAK taban kalınlığının 150 mm artması DAK temel bölümünün kalıcı deformasyon performansını 1,1-2,7 kat artırmaktadır.
- Temel katman ve alt zemin katmanlarının güçlü yönleri temel bölümlerinin performansını etkilemektedir.
- Alt zemin CBR'nin %2'den %5'e yükseltilmesi, temel bölümlerinin kalıcı deformasyon performansını 1,2-17,2 kat artırmaktadır.
- Daha kalın donatısız ve güçlendirilmiş bölümler, karşılık gelen daha ince bölümlerden daha iyi performans gösterir ve yüksek taban ve taban kat mukavemetine sahip bölümler, düşük taban ve taban kat dayanımlarına sahip ilgili bölümlerden daha iyi performans göstermektedir.
- Alt zemin mukavemetindeki Geocell takviyesindeki ve taban tabakasının kalınlığındaki artış, kalıcı yüzey sıkışması ve kabarma miktarını azaltır.
- Geocell temellerin esnek davranışını iyileştirir ve iyileştirme derecesi zayıf alt tabanın üzerindeki bölümler için orta alt tabakanın üzerindeki bölümlere göre daha yüksektir.
- Geocell ile güçlendirilmiş taban bölümleri ve orta alt tabaka üzerindeki taban bölümleri sabit bir tepki gösterirken, zayıf alt tabaka üzerindeki takviye edilmemiş taban kararsız bir tepki göstermektedir.

Esnek kaplama rehabilitasyon projelerinden önemli miktarda geri dönüştürülmüş asfalt kaplama malzemesi üretilmektedir. DAK, sürdürülebilir kaplama inşası için temel malzeme olarak kullanılabilir. Bir kaplamanın performansı büyük ölçüde, alt zemin ve temel katman katmanlarından oluşan temelinin gücüne bağlıdır. Geocell sınırlamasının, güçlendirilmemiş tabanlara kıyasla kalıcı yüzey deformasyonlarını azaltarak ve esnek deformasyon yüzdelere artırarak güçlendirilmiş DAK tabanlarının performansını iyileştirmektedir. Alt zemin mukavemeti, temellerin özellikleri üzerinde Geocell sınırlamasından daha belirgin bir etkiye sahiptir. Geocell hapsi, zayıf alt tabakanın üzerindeki bazlar için, orta dereceli alt tabakanın üzerindeki bölümlere göre daha yararlıdır. Yükleme çevrimlerinin sayısı ile kalıcı deformasyon artmaktadır (Thakor, 2016).

5.5. Geocell Takviyesi ile Sürdürülebilir Yol İnşası

Gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılama yeteneklerinden ödün vermeden günümüzün ihtiyaçlarını karşılayan gelişme, sürdürülebilir kalkındır. Sürdürülebilir inşaat, sürdürülebilir teknoloji ve bilgi kullanımı yoluyla sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmayı amaçlamaktadır, ancak inşaat endüstrisi hala geleneksel uygulamayı takip etmekte önemli çevresel ve karbon ayak izi bırakmaktadır.^[13] Doğal çevremiz üzerindeki etkiye neyin sebep olduğunun anlaşılması ile CO₂ emisyonu bir projenin sürdürülebilirliğini tanımlayan nicel önlemlerden biri olarak kabul edilmiştir. Yol inşaatı faaliyetleri, CO₂'e büyük katkıda bulunmaktadır. Konvansiyonel uygulamalar, tartışıldığı gibi sonuç odaklıdır ve sadece beklenen trafik durumu için yolların ve otoyolların gerekli yapısal kapasitesini sağlamaya odaklanırlar. Günümüzde yolları inşa etmek için gereken daha az miktarda malzeme ve aktivite kullanırken aynı yapısal kapasiteyi sunan yenilikçi teknolojiler vardır ve bu da daha az CO₂ emisyonu ile sonuçlanmaktadır.

Yüksek mukavemetli Geocell'in takviyesinin kullanılmasıyla hem yol yapım maliyetinin hem de karşılık gelen CO₂ emisyonlarının, geleneksel inşaat alternatifine kıyasla büyük ölçüde azaldığını göstermektedir. Yenilikçi geosentetik alternatiflerin kullanılmasının yol altyapısının yaşam döngüsü boyunca CO₂ emisyonlarında %20'ye kadar tasarruf sağlayabileceği günümüzde bilinmektedir.

Yol inşaatı, pahalı ve büyük miktarda kaynak gerektirdiğinden inşaat sektörüne değiştirilmesi gereken ve çevresel açıdan en büyük etkenlerden biridir. Bu etkenler; inşaat malzemesinin kullanılması (özellikle

madencilik işlenmemiş agregaların), malzemenin şantiyeye taşınması ve çevreye karbondioksit ve diğer kirleticiler yayan ağır inşaat ekipmanlarının kullanıldığı yerinde inşaat süreci gibi konularla sürdürülebilir kalkınmaya meydan okur. Sürdürülebilir kalkınmanın üç temel unsuru olan çevre, ekonomi ve toplum ele alınmadan sürdürülebilirlik elde edilemez. Sürdürülebilirliğin çevresel yönleri son dönemlerde diğer faktörler arasında en çok dikkati çekmiştir. CO₂ emisyonu, bir projenin ne kadar çevre dostu olduğunun somut bir ölçüsü olarak incelenir. Eylemlerin mümkün olan en adil ve mali açıdan mantıklı bir şekilde gerçekleştirilmesini gerektiren sürdürülebilirliğin ekonomik ayağı da yıllar içinde dikkatleri üzerine çekmiştir. Ancak, en ekonomik yol her zaman en sürdürülebilir yol değildir (Norouzi vd., 2017).

5.5.1. Geocell Kullanılmasıyla Elde Edilen Ekonomik Faydalar

Konvansiyonel tasarıma kıyasla doğrudan inşaat maliyetlerinde %5,8 tasarruftur. Geleneksel 20 yıllık beklenen kaplama bakım maliyetlerinden %50 tasarruf edilir. Beklenen geleneksel yaşam döngüsü maliyetinden %21,5'lik toplam tasarruf sağlanır. Daha düşük ekipman gereksinimleri nedeniyle ek dolaylı tasarruflar arasında lojistik, taşıma, sıkıştırma, insan gücü ve daha az trafik kısıtlaması bulunur (Kief vd., 2014).

5.5.2. Geleneksel Yöntemlerin-Neoloy Geocell Alternatif Yöntem ile Karşılaştırılması

Her yol inşaatı, tedarik, maliyet ve gereken kapsamlı inşaat çabası gibi zorluklarla karşı karşıyadır. Geleneksel zorluklara ek olarak, çevre sorunları son yıllarda büyük ilgi görüyor. Bu nedenle, bu tür zorluklardan kaçınmak için yenilikçi çözümler kullanma gerekliliği her zamankinden daha fazla hissedilmektedir. Geleneksel yöntemlerin karşılaştığı en büyük zorluklar şu şekilde sıralanabilir:

- Yakınlarda çakıl bulunmaması,
- Yüksek nakliye maliyeti ve karbon emisyonu,
- Aşırı yumuşak alt zorlu geoteknik koşullar ve pahalı kaldırma ve doldurma işlemleri,
- Sınırlı geçiş hakkı,
- Sınırlı inşaat süresi çizgisi,
- Son derece yoğun bir trafik oluşmasıdır (Pokharel vd. 2016).

Dünyadan Geocell kullanımına örnek sürdürülebilir projeler; erişim yollarını, servis yollarını ve ilçe yollarını temsil eden 2012'den sonra inşa edilen dört

proje, Neoloy Geocell takviyesi ile tasarlanan ve inşa edilen yolların sürdürülebilirliğini incelemek ve geleneksel yöntem ile karşılaştırabilmek için temsili örnek olarak gösterilmiştir.

- MEG Enerji Şirketi -Geçici erişim yolu -P3 Konektör, (**Durum 1**)
- MEG Enerji-Ana Erişim Yolu (C- Yolu),(**Durum 2**)
- Fort Mc Murray'ın kuzeyinde ki petrol üreticisi şirket için dere geçişi (**Durum 3**)
- İlçe yolu 762, Uzun Süreli Keşif ve Smoky River Belediye Bölgesi (**Durum 4**) (Pokharel vd. 2016).

Tablo 2. Örnek durumlarda Neoloy Geocell alternatif yöntem (Pokharel vd., 2016)

GEOCELL ALTERNATİF YÖNTEM				
Temsilcisi Durumu	Miktar (Ton)	Toplam taşıma (km)	Kaldırma (m ³)	CO ₂ Emisyon(kg)
Durum 1	48,993	153,578	-	1,033,321
Durum 2	51,744	219,288	-	1,633,276
Durum 3	10,560	14,272	-	114,210
Durum 4	18,768	63,159	-	547,466

Tablo 3. Örnek durumlarda geleneksel yöntem (Pokharel vd., 2016)

GELENEKSEL YÖNTEM				
Temsilcisi Durumu	Miktar (Ton)	Toplam taşıma (km)	Kaldırma (m ³)	CO ₂ Emisyon(kg)
Durum 1	83,866	274,609	23,040	1,654,191
Durum 2	110,670	398,042	57,600	2,410,457
Durum 3	16,560	19,872	5,20	269,994
Durum 4	28,152	90,086	-	736,006

Geocell kullanılarak yenilikçi inşaat yönteminin de toplam miktarı azalır toprak ve agrega, nakliye, misk temizleme ve CO₂ emisyon azalır. Toplam tasarruf %30 ila %50 aralığındadır ve nihayetinde nakliye sırasında en az %30 tasarruf sağlamaktadır. Bu azaltılmış taşıma, CO₂ emisyonunun azaltılmasına önemli bir katkıda bulunur. Neoloy Geocell takviyeli yol yapılarının çok az bakım gerektirdiğini ve kayda değer bir yüzey bozulması göstermediğini bilinmektedir. Yolun tüm yaşam döngüsünün analiz edilmesi, daha az bakım çalışması gerektirmesi ve Neoloy Geocell kullanan yolların daha uzun hizmet ömrü açısından daha fazla

tasarruf sağlayacaktır. Yoğun trafiğe sahip kaplamasız erişim yollarının inşası, büyük miktarda agrega madenciliği ve kıt işlenmemiş agrega alanlarında uzun taşıma gerektirir.

Bu yol inşaatlarındaki geleneksel uygulamalar yapısal yeterlilik arar, ancak hiçbir zaman özellikle sürdürülebilirlik konusuna değinmez. Yapısal bütünlüğü korurken agrega malzemesinin hacmini azaltabilen yenilikçi teknoloji, bu yol yapımının sürdürülebilirlik sorununu ele almak için gereklidir. Geocell ise gerekli agrega miktarını önemli ölçüde azaltarak güçlendirilmiş kompozitin modülünü ve mukavemetini ve yol yapısının dayanıklılığını iyileştirir. Bu erişim yollarının işletilmesi aynı zamanda işletme maliyetinden, bakımdan ve arıza süresinden de tasarruf sağlamaktadır. Neoloy Geocell ayrıca, geleneksel inşaatın genel performansını hala aşan yol yapımı için geri dönüştürülmüş ve yerel olarak temin edilebilen daha ucuz malzemelerin kullanılmasını mümkün kılar. Sürdürülebilirlik açısından, işlenmemiş malzeme madenciliği ve şantiyeye nakliye için karbon ayak izi analiz edildiğinde fayda daha görünür olacaktır (Pokharel vd., 2016).

6. GEOCELL MALZEMESİNDEN GELECEKTEKİ BEKLENTİLER

Geocell; geleneksel zemin güçlendirme tekniklerine kıyasla geoteknik mühendisliğinde nispeten yeni bir malzemedir. Aşağıdakiler Geocell hapsi alanında gelecekteki araştırma kapsamını belirlemektedir.

- Geçmişte yürütülen çalışmaların çoğu, küçük ölçekli laboratuvar model testleridir. Mevcut teoriler ve modelleme teknikleri de laboratuvar modeli çalışmalarından türetilmiştir. Küçük ölçekli model testlerinin sonuçları ölçek etkilerine tabi tutulmuştur. Bu nedenle, küçük ölçekli model testlerinin bulgularını belirlemek için giderek daha fazla saha testi veya santrifüj modeli yapılacaktır. Tam ölçekli testlerin model çalışmalarının bulgularını ne ölçüde kopyaladığını kontrol etmek ilginç olacaktır.
- Geçmiş çalışmaların çoğu, yer hücrelerinin statik yük uygulamaları ile sınırlıdır. Döngüsel yüklemeye maruz kalan yer hücrelerinin performansı hakkındaki bilgiler sınırlıdır. Bu konuda deney ve 3 boyutlu sayısal çalışmaların yürütülmesine şiddetle ihtiyaç vardır. Bu, hücrelerin uygulamalarının makine temellerine, depreme dayanıklı tasarımlara ve demiryolu temellerine vb. genişletilmesine yardımcı olacaktır.

- Geocell başarılı uygulamaları ile ilgili çok fazla vaka çalışması belgelenmemiştir. Geocell'in kullanımını yaygınlaştırmak için giderek daha fazla vaka geçmişinin sistematik dokümantasyonu gereklidir.
- Sağlam tasarım metodolojilerinin ve analitik formülasyonların geliştirilmesine güçlü bir ihtiyaç vardır. Bu analitik formülasyonlar, özellikle Geocell ile güçlendirilmiş temel yataklarının taşıma kapasitesini ve oturmasını tahmin etmek için gereklidir. Şu anda, Geocell ile güçlendirilmiş zeminin oturma hesaplaması için gelişmiş bir metodoloji mevcut değildir.
- Geocell yüzeyindeki gerilmelerin ve gerilmelerin değişimini anlamak için giderek daha gerçekçi 3B sayısal simülasyonlara ihtiyaç duyulmaktadır. Farklı yük türleri altında Geocell davranışının yakından anlaşılması, yer hücrelerinin tasarımının optimize edilmesine yardımcı olacaktır (Hegde, 2017).

7. SONUÇ

Geocell malzemesi, Birleşik Devletler Ordusu Mühendisliği tarafından 1970 yılında icat edilmiş ve zamanla inşaat sektöründe kullanımı gerçekleşmiştir. Geocell malzemesi bal peteği formu ile şevlerde erozyona karşı koruma görevinde kullanılmaktadır. Geometrik şeklinin sayesinde hapsedme özelliğine sahiptir ve bu amaçla zeminlerinde güçlendirilmesinde doğal agregalar ile iç dolguları gerçekleştirilerek uygulanmaktadır. Diğer geosentetik malzemeler gibi Geocell de istinat duvarlarında kuvveti yayma amacı ile kullanarak mühendislik çözümler üretir. Hidrolik yapılarda ise aşınma ve oyulma problemlerinin önüne geçilmesi için çok uygun bir forma sahip olmasından dolayı uygulamalarda tercih edilerek yapının hizmet ömründe artış sağlamaktadır. Daha aktif bir şekilde karayolları ve demir yollarında tercih edilen geosentetik malzeme türü olan Geocell; hücre dolgu sistemi olarak da nitelendirilmektedir.

Karayollarında asfaltlı ve asfaltsız yollarda Geocell takviyesi ile taşıma kapasitesi iyileştirilen yolların kalitesini artırarak ülke ekonomisine de katkı sağlamaktadır. Yol kaplamalarında, asfaltın güçlendirilmesi gibi uygulamalarda da tercih edilmiş olan Geocell'in bu amaçla kullanımı ve başarılı sonuçlarına dair dünya üzerinde birçok örnekler bulunmaktadır. Günümüzün en büyük problemi olan CO₂ emisyon problemi ve hava kirliliği konusunda ise

çevre dostu olan Geocell sürdürülebilir yol projelerinde aktif olarak görev almaktadır. Geleneksel yöntemlere göre daha ekonomik, daha pratik ve daha doğa dostu olduğu kanıtlanmış ve bu sebeple uygulama alanları artmaktadır. Özellikle sürdürülebilir yol projelerinde Geocell ürünlerinden olan Neoloy Geocell kullanılmaktadır. Bu sayede taşıma ve nakil işlemleri ile havaya salınan CO₂ oranında azalma yaşanmaktadır ve zemin oturması problemine yüksek oranda çözüm sunmaktadır. Günümüzde Geocell malzemesinin üzerinde yapılan çalışmalar devam etmektedir. Bu sebeple gelecekte daha çok uygulama alanlarında performans sağlaması beklenmekte ve daha fazla saha çalışmaları ile yer hücrelerinin projelendirilmesinde optimize edilmesine yardımcı olması beklenmektedir.

KAYNAKLAR

- Briswas A., Krishna A. (2017). Geocell-Reinforced Foundation Systems: A Critical Review. *Int. J. of Geosynth. and Ground Eng.*, 3(17).
- Emersleben A., Meyer N. (2008). Bearing Capacity Improvement Of Asphalt Paved Road Constructions Due To The Use Of Geocells – Falling Weight Deflectometer And Vertical Stress Measurements, *Asian Regional Conference on Geosynthetics*.
- Hegde A. (2017). Geocell reinforced foundation bedspast findings present trends and future prospects prospects: A state-of-the-art review, *Construction and Building Materials*, 154, 658-674, Indian Institute of Technology Patna.
- Huang M., Cheng L., Pokharel S.K., Tura A., Mukhopadhyaya P. (2021). Model tests of freeze-thaw behavior of geocell-reinforced soils, *Geotextiles and Geomembranes*, 49, 669-687, University of Victoria.
- Inti S., Tandon V. (2021) Design of geocell reinforced roads through fragility modeling”, *Geotextiles and Geomembranes*, 41, 55–63.
- Işık A., Gürbüz A., Anıl Ö. (2020). Zemin-hücre sel dolgu elemanlarının sürtünme davranışlarının laboratuvarında yapılan çekme deneyleri ile belirlenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(1), 27-38.
- Kief O., Schary Y. Pokharel S.K. (2014). High-Modulus Geocells for Sustainable Highway Infrastructure, *Indian Geotechnical Journal:Special Issue on Transportation Geotechnics*.
- Khorsandiardabili N., Ghazavi M.(2021). Static stability analysis of geocell-reinforced slopes”, *Geotextiles and Geomembranes*, 49, 852-863, Faculty of Civil Engineering, K. N. Toosi University of Technology.
- Latha G.M. (2021). Geocells for Transportation Geotechnical Applications, *Indian Geotech J*, 51(3), 612–623.
- Li X., Zhu Y., Su T., Wang X., Zhang X. (2021). Study on performance improvement of new geocell reinforced asphalt mixture, *Construction and Building Materials*, Wuhan University of Technology, 273, 121-693.
- Mehrdadi T.G., Behrad R., Tafreshi S.N.M. (2019). “Scale effect on the behavior of geocell – reinforced soil”, *Geotextiles and Geomembranes*, 47, 154-163, Kharazmi University.
- Norouzi, M., Pokharel S. K., Breault M., Breault D. (2017). Innovative Solution for Sustainable Road Construction, *Leadership in Sustainable Infrastructure*, June 3.
- Pokharel S.K., Martin I., Norouzi M., Breault M. (2015). Validation of Geocell Design for Unpaved Roads, *Geosynthetics Conference*.
- Pokharel S.K., Norouzi M., Martin I., Breault M. (2016). Sustainable Road Construction for Heavy Traffic Using High Strength Polymeric Geocells, *Resilient Infrastructure*, June 1-4.
- Pokharel S.K., Han J., Leshchinsky D., Parsons R.L. (2018). “Experimental evaluation of geocell-reinforced bases under repeated loading”, *International Journal of Pavement and Technology*, 11, 114-127.
- Thakur J. K., Han J., Parsons R. L. (2016). Factors Influencing Deformations of Geocell-Reinforced Recycled Asphalt Pavement Bases under Cyclic Loading, *ASCE*, University of Kansas, 29(3).
- <https://www.movea.com.tr/hizmetler/hucresel-dolgu-sistemi> (Erişim Tarihi:10.05.2021).
- <https://www.tarsu.com/tr/haberdetay/neden-geocell%E2%80%99ler-yol-yapimi-icin-geogridler%E2%80%99den-daha-iyi.html> (Erişim Tarihi:20.05.2021).

Avokado (*Persea americana* Mill.) Odununda Yüzey Pürüzlülüğü Parametrelerinin ve Shore D Sertlik Değerinin Araştırılması

Mutlu TÜRK¹ , Ümit AYATA^{*2} 

¹Efeler Mesleki Eğitim Merkezi, Aydın, 09020, Türkiye

²Bayburt Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü, Bayburt, 69000, Türkiye

Araştırma Makalesi, Geliş Tarihi: 01.09.2021, Kabul Tarihi: 28.12.2021

Özet

Avokado ahşabı; ev yapımında, hafif inşaatlarda, mobilya endüstrisinde, dolap, tarım aletleri ve müzik aletleri yapımında, oymacılıkta, heykel yapımında, kürelerde, kalem ve fırça tutacağı gibi küçük eşyaların yapımında kullanılmaktadır. Bu çalışmada, avokado (*Persea americana* Mill.) odununun farklı numaralı zımparalar (80, 100, 120 ve 150) ile zımparalandıktan sonra elde edilen yüzeylerde yüzey pürüzlülüğü parametreleri (R_z , R_a ve R_q) ve shore D sertlik değeri araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre; R_a parametresi 80 numaralı zımparada 5,876 μm , 100 numaralı zımparada 4,802 μm , 120 numaralı zımparada 3,657 μm ve 150 numaralı zımparada 2,720 μm olarak elde edilirken, shore D sertlik değeri 50,77 olarak bulunmuştur. Zımpara numarasının artması ile yüzey pürüzlülüğü parametrelerinin azaldığı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Avokado, Yüzey pürüzlülüğü, Shore D sertlik.

Investigation of Surface Roughness Parameters and Shore D Hardness Value in Avocado (*Persea americana* Mill.) Wood

Abstract

Avocado wood is used in home construction, light construction, furniture industry, cabinet, agricultural tools, and musical instruments, carving, sculpture, shovels, small items such as pencil and brush holders. In this study, surface roughness parameters (R_z , R_a , and R_q) and shore D hardness values were investigated on the surfaces obtained after sanding avocado (*Persea americana* Mill.) wood with different numbered abrasives (80, 100, 120, and 150). According to results obtained from the study, while the R_a parameter was 5.876 μm in the 80 numbered abrasive, 4.802 μm in the 100 numbered sandpaper, 3.657 μm in the 120 numbered sandpaper and, 2.720 μm in the 150 numbered sandpaper, the shore D hardness value was 50.77. It was determined that the surface roughness parameters decreased with the increase of the sanding number.

Keywords: Avocado, Surface roughness, Shore D hardness.

*Sorumlu yazar umitayata@bayburt.edu.tr, ¹mutluturk@gmail.com

1. GİRİŞ

Avokado (*Persea americana* Mill.), Orta Amerika ve Meksika'ya özgü, $2n = 24$ kromozomlu, önemli bir subtropikal yaprak dökmeyen ağaç (Ashworth ve Clegg, 2003) olup, Lauraceae familyasına ait bir türdür (Chandler, 1964). Erken farklılaşan anjiyospermilerin magnoliid kanadında yer alır. Ailesi yaklaşık 50 cins ve 2500 ila 3000 ağaç ve çalı türünü içerir (Chanderbali vd., 2008). Bu tür, yetişkin bitkilerde 8 ila 10 metre yüksekliğe ve 10 ila 12 metre genişliğe ulaşan önemli bir boyut kazanabilir (Álvarez de la Peña, 1979).

Avokado meyvesi, tropikal bölgelerde kolayca adapte olabilen Orta Amerika'dan yenilebilir bir meyvedir (Leite vd., 2009). Avokado, zeytin yeşili bir kabuğa ve oleik, palmitik, linoleik, kaprik, stearik, linolenik ve miristik asitler gibi yağ asitleri açısından zengin, kalın, soluk sarı bir hamura sahiptir. Bu avokado meyvesi normalde insan tüketimi için kullanılır, ancak Meksika'da ve dünyanın başka bir yerinde tıbbi bitki olarak da kullanılmaktadır (Dreher ve Davenport, 2013).

Avokado çekirdeği meyvenin %13-18'ini temsil eder ve normalde kullanılmayan bir yan üründür. Meyvenin işlenmesi sırasında tohum fazlalıktır. Tohum atığı ciddi bir ekolojik sorunu temsil edebilir (Ortiz vd., 2004). Bununla birlikte, biyoaktif bileşiklerin bir kaynağı olarak endüstrinin ilgisini çekebilir. Kimyasal bileşimi fitosteroller, yağ asitleri, triterpenler ve absisik asidin iki yeni glikozitinden oluşmaktadır (Ramos vd., 2004). Avokado yaprakları, memelilerde ve kuşlarda kardiyotoksik etkiler gösterdiği bildirilmiştir (Grant vd., 1991; Hargis vd., 1989; Stadler vd., 1991; Burger vd., 1994). Buna ek olarak, insan lenfositlerinde meyve ve yaprak ekstraktlarının mutajenitesi değerlendirilmiştir (Kulkarni vd., 2010). Tohumu taze ekilir, yaklaşık bir ay içinde filizlenebilir. Tohum kabuğu çıkarılırsa bu süre yaklaşık 17 güne düşürülebilir (Huxley, 1992). Bu ağaca ait olan taze meyve özü, vitamin açısından zengin bir saç toniği ve onarıcı olarak saç ve saç derisine masaj yapılır (Barwick, 2004). Tohumdan elde edilen kırmızımsı kahverengi bir boya, giysileri işaretlemek için kullanılır (Barwick, 2004; Little ve Wadsworth, 1964).

Literatürde avokado odununda; holoselüloz %73,29 α -selüloz %55,05 lignin %14,85 alkol çözünürlüğü %4,51, sıcak su çözünürlüğü %2,64, soğuk su

çözünürlüğü %1,51 %1'lik NaOH çözünürlüğü %19,75 lif uzunluğu 0,106 mm, lif genişliği 25,80 μm , lümen genişliği 5,52 μm , çeper kalınlığı 4,80 μm (Altunışık Bülbül, 2019), ısı iletkenlik değeri 0,120 W/m.K (Çavuş vd., 2019), elastikiyet modülü 5937,00 N/mm², eğilme direnci 73,00 N/mm², *Trametes versicolor*, *Phanerochaete chrysosporium* ve *Postia placenta* mantarlarına karşı ağırlık kayıpları sırasıyla %60,45, %45,22 ve %32,53 (Fuentes-Talavera vd., 2011) olarak bulunduğu bildirilmiştir.

Ahşabı ev yapımında (özellikle ev direklerinde), hafif inşaatlarda, mobilya, dolap yapımında, tarım aletlerinde, oymacılıkta, heykelerde, müzik aletlerinde, küreklerde, kalem ve fırça tutacağı gibi küçük eşyalarda ve yeniliklerde kullanılmıştır. Aynı zamanda kaliteli bir kaplama ve kontrplak vermektedir. Odun kömürü üretimi için ve yakacak odun olarak kullanılmıştır. Hindistan'da aromatik odun *P. odoratissima* (Nees) Kosterm. çay sandıkları için kullanılmıştır. Kabuk ve yapraklar, hafif bir anason kokusu olan uçucu bir yağ içerir (Sosef vd., 1998).

Bu bilgiler ışığında avokado odunu için çalışmaların az sayıda olduğu ve yüzey pürüzlülüğü ile shore D sertlik testlerinin yapılmadığı görülmektedir.

Bu çalışmada, avokado odun türünde farklı zımpara numaralarına sahip zımparalar ile zımparalandıktan sonra elde edilen yüzeyleri üzerinde yüzey pürüzlülüğü parametrelerinden R_z , R_a ve R_q parametreleri ve shore D sertlik değeri belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

2.1.1. Ahşap Malzemenin Temin Edilmesi

Bu çalışmada, ağaç türü olarak Mersin'de yetişen avokado (*Persea americana* Mill.) odunu seçilmiştir. Çalışmada yeterli sayıda 100 cm x 10 cm x 2 cm boyutlarına sahip malzemeler (budaksız, ardaksız, herhangi bir çürüğe sahip olmayan özellikte) Mersin'de bulunan bir keresteciden satın alınma yöntemi ile elde edilmiştir. Daha sonra numuneler bir şartlandırma kabini (bağıl nem 65 ± 3 ve 20 ± 2 °C) stabil ağırlığa ulaşana kadar tutulmuştur.

2.2. Metot

2.2.1. Zımparalama İşleminin Yapılması

10x10x2 cm boyutlarında hazırlanmış olan deney örnekleri üzerinde 80, 100, 120 ve 150 numaralı zımparalar kullanılarak zımparalama işlemi gerçekleştirilmiştir.

2.2.2. Yüzey Pürüzlülüğünün Belirlenmesi

Ahşap ve ahşap esaslı ürünlerin yüzey pürüzlülüğü değerleri çeşitli teknikler ve terimler kullanılarak sayısal veriler olarak kolaylıkla belirlenebilir (Merrild ve Christensen, 2009). Bu çalışmada, deney numuneleri üzerinde yüzey pürüzlülüğü parametrelerine ait (R_z , R_a ve R_q) ölçümleri JD-520 model pürüzlülük test cihazında (Beijing Jitai Tech Detection Device Co., Ltd., Çin), ISO 16610-21 (2011) standardına göre teğet yüzeylerden liflere dik yönde olacak şekilde örnek uzunluğu 2,5 mm ve örnek uzunluk sayısı (cut-off) 5 olacak şekilde yapılmıştır.

2.2.3. Shore D Sertlik Değerinin Belirlenmesi

Shore D sertlik değeri (Stand: model Ld-J Loyka ve Durometer: Shenzhen Yibai Network Technology Co., Ltd., Çin) cihazında 5 kg'lık yük uygulamalı olacak şekilde ASTM D 2240 (2010)'a göre 30 ölçüm alınarak yapılmıştır.

2.3. İstatistik Analiz

Bu çalışmada, bir SPSS programında testlere ait sonuçlar kullanılarak ortalama değerleri, standart sapmaları, maksimum ve minimum değerleri ile varyasyon katsayıları hesaplanmıştır.

3. BULGULAR

Yüzey pürüzlülüğü parametreleri için belirlenen varyans analizi sonucu Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'e göre, avokado odununda yüzey pürüzlülüğü R_z , R_a ve R_q parametreleri için zımpara numarasının anlamlı olduğu görülmektedir.

Avokado ağacı odununa ait deney örneklerinde belirlenmiş olan yüzey pürüzlülüğü parametrelerine (R_z , R_a ve R_q) ait sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir. En yüksek R_z , R_a ve R_q parametreleri 80 numaralı zımpara uygulanmış deney örnekleri üzerinde tespit edilirken, en düşük R_z , R_a ve R_q parametreleri 150 numaralı zımpara uygulanmış örnekler üzerinde elde edilmiştir. Zımpara numarasının büyümesi ile pürüzlülük parametrelerine (R_z , R_a ve R_q) ait değerlerin azaldığı görülmektedir (Tablo 2).

Tablo 1. Yüzey pürüzlülüğü parametreleri için belirlenmiş olan varyans analizi sonuçları

Test	Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	Kareler Toplamı	Ortalama Kare	F Değeri	$\alpha \leq 0.05$
R_a	Zımpara Numarası	3	56,413	18,804	1302,983	0,000*
	Hata	36	0,520	0,014		
	Toplam	40	784,072			
R_q	Zımpara Numarası	3	80,432	26,811	1029,743	0,000*
	Hata	36	0,937	0,026		
	Toplam	40	1253,587			
R_z	Zımpara Numarası	3	1475,366	491,789	560,248	0,000*
	Hata	36	31,601	0,878		
	Toplam	40	35396,189			

*: Anlamlı

Tablo 2. Avokado odununa ait yüzey pürüzlülüğü parametreleri (R_z , R_a ve R_q)

Test	Zımpara Numarası	Ölçüm Sayısı	Ortalama (μm)	Standart Sapma	Homojenlik Grubu	Minimum Ölçüm	Maksimum Ölçüm	Varyasyon Katsayısı
R_a	80	10	5,876	0,06	A*	5,790	5,958	1,021
	100	10	4,802	0,16	B	4,527	4,981	3,332
	120	10	3,657	0,17	C	3,323	3,850	4,649
	150	10	2,720	0,03	D**	2,663	2,752	1,103
R_q	80	10	7,318	0,04	A*	7,249	7,400	0,547
	100	10	6,065	0,20	B	5,769	6,297	3,298
	120	10	4,740	0,24	C	4,219	4,995	5,063
	150	10	3,532	0,03	D**	3,483	3,564	0,849
R_z	80	10	37,372	0,36	A*	36,960	38,111	0,963
	100	10	31,314	1,53	B	29,010	32,904	4,886
	120	10	26,997	1,01	C	25,102	28,078	3,741
	150	10	20,746	0,07	D**	20,606	20,854	0,337

*: En yüksek değeri ifade etmektedir

**: En düşük değeri ifade etmektedir

ASME B46.1 (2009)'e göre, işlenmiş bir yüzeyin kalitesi, “genellikle üretim sürecinin doğal etkisinden ve malzeme koşulundan kaynaklanan yüzey dokusunun daha ince düzensizliklerini temsil eden pürüzlülüğü ile karakterize edilmekte” olduğu şeklinde bilgi verilmiştir.

Ahşap yüzeylerin zımparalanması, ahşap işleme endüstrisinde en önemli ve yaygın olarak kullanılan işleme süreçlerinden biridir (Papp ve Csiha, 2017).

Ahşap, özellikleri türden türe ve diğer birçok faktöre bağlı olarak değişen bir malzeme olduğundan, malzemenin işlenmesi sırasında nasıl davranacağını bilmek çok önemlidir (Gonçalves, 2000).

Kesim işlemleri sırasında ahşabın çeşitli anatomik kısımları ayrılır ve ayrılan parçaların özellikleri ahşabın damar deseninden ve fiziksel ve mekanik özelliklerinden etkilenir. Lif yapısı, oluşturulan ahşap yüzeylerin mikro geometrisini heterojen hale getirir (Thoma vd., 2015).

Saloni (2007), ahşabın anatomik özelliklerinin zımparalama işlemi üzerinde önemli bir etkisinin olduğunu, kesme kuvvetlerinin sonucunu ve yüzey kalitesini etkilediğini söylemiştir.

Literatürde çeşitli ahşap türlerine ait odun örneklerini farklı zımparalar kullanılarak zımparalanmış yüzeyler üzerinde yüzey pürüzlülüğü parametrelerinin belirlendiği bildirilmiştir. Bunlara örnek olarak;

Vitosyté vd., (2012) tarafından dişbudak (*Fraxinus excelsior* L.) ve huş ağacı (*Betula* L.) odun örnekleri 80, 120, 150, 180, 220 ve 240 numaralı zımparalar ile

zımparalanmış ve R_a , R_z ile R_{max} parametreleri değerlendirilmiştir.

Hiziroglu vd., (2013) tarafından çam (*Pinus strobus*), kapur (*Dryobalanops* spp.) ve meranti (*Shorea* spp.) odunlarından hazırlanmış olan odun örnekleri farklı zımparalar (80, 100 ve 240 numaralı) ile zımparalandıktan sonra yüzey pürüzlülüğüne ait R_a parametresi değerleri araştırılmıştır.

Hiziroglu vd., (2014) çalışmalarında çam (*Pinus strobus*), ak meşe (*Quercus alba*) ve nyatoh (*Palaquium balance*) ağaç türlerine ait deney örneklerini 80, 100 ve 240 numaralı zımparalar ile zımparalamışlardır. Daha sonra R_a , R_z ve R_{max} parametrelerini belirlemişlerdir.

Vitosyté vd., (2015) tarafından dişbudak (*Fraxinus excelsior* L.), huş (*Betula* L.), kara kızılgağaç (*Alnus glutinosa* L.), Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve ladin (*Picea abies* L.) odunu örnekleri 80, 120, 150, 180, 220 ve 240 numaralı zımparalar ile zımparalanmış olup ve R_z parametresine ait sonuçlar tespit edilmiştir.

Papp ve Csiha, (2017) araştırmalarında kayın (*Fagus sylvatica* L.), huş (*Betula pendula*), sapsız meşe (*Quercus petraea*) ve ladin (*Picea abies*) ağaç türlerine ait odun örneklerine 60, 80, 100, 120, 150, 180, 220, 240, 280, 320, 400, 500 ve 600 olmak üzere 13 farklı tane büyüklüğüne sahip zımparalar ile zımparalamışlardır. R_z parametresine ait sonuçları belirlemişlerdir.

Araujo vd., (2019) tarafından angelim pedra (*Himenotlobium pulcherrimum* Ducke), angelim vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke), breu vermelho (*Protium puncticulaton* J. F. Macbr), murici (*Byrsonima crispera* Juss) ve piãozinho (*Micrandropsis sclerotrylon* W. Rod.) odun türlerine ait deney örnekleri 120 ve 180 numaralı zımparalar ile zımparalanmıştır.

Ayata ve Bal, (2019) araştırmalarında dabema (*Piptadeniastrum africanum* Brenan) odunu yüzeylerine 80, 100, 120, 150, 180 ve 220 numaralı zımparalar ile zımparaladıktan sonra R_z , R_a ve R_q parametrelerini tespit etmişlerdir.

Chang vd., (2019) tarafından lale (*Liriodendron tulipifera*) ağacına ait odun örnekleri 180 ve 1000 numaralı zımparalar ile zımparaladıktan sonra R_a , R_q , R_t ve R_z pürüzlülük parametreleri incelenmiştir.

Leite vd., (2019) çalışmalarında *Pinus elliottii* ve *Corymbia citriodora* odunlarına 2 farklı tip tanecik yapılı ve 80, 100, 120 ve 220 numaralı zımparalar kullanarak zımparalanmış yüzeyler üzerinde yüzey pürüzlülük değerlerini araştırmışlardır.

Ayata ve Dilik (2020) tarafından incir (*Ficus carica* L.) odunu yüzeyleri 80, 100, 120, 150, 180 ve 220 numaralı zımparalar ile zımparaladıktan sonra R_z , R_a ve R_q parametreleri tespit edilmiştir.

Ayata, (2020) çalışmasında ayous (*Triplochiton scleroxylon* K. Schum) odunu yüzeylerini 120, 180 ve 220 numaralı zımparalar ile zımparaladıktan sonra R_z , R_a ve R_q parametrelerini incelemiştir.

Ayata ve Bal (2020a) araştırmalarında limon (*Citrus limon* (L.) Burm.), malta eriği (*Eriobotrya japonica* L.) ve tiama (*Entandrophragma angolense* (Welw.) C DC.) ahşap türlerine ait örneklerin yüzeylerine 80, 100, 120, 150, 180 ve 220 numaralı zımparalar ile zımparaladıktan sonra R_z , R_a ve R_q parametrelerini tespit etmişlerdir.

Ayata ve Bal (2020b) araştırmalarında huş (*Betula pendula* L.) odunu yüzeylerine 80, 100, 120, 150, 180 ve 220 numaralı zımparalar ile zımparalama işlemlerini yaptıktan sonra R_z , R_a ve R_q parametrelerini belirlemiştir.

Çamlıbel ve Ayata, (2020) tarafından monkey pod (*Pithecellobium saman* (Jacq.) Benth.) odunu yüzeyleri 80, 100, 120, 150, 180 ve 220 numaralı zımparalar ile zımparaladıktan sonra R_z , R_a ve R_q parametreleri araştırılmıştır.

Okan ve Ayata, (2020) çalışmalarında şeftali (*Prunus persica* (L.) Batsch.) ahşabından hazırlanmış olan örneklerini farklı zımparalar (80, 100, 120, 150 ve 180 numaralı) ile zımparalandıktan sonra yüzey pürüzlülüğüne ait R_z , R_a ve R_q parametrelerini belirlemiştir.

Ayata, (2021) araştırmasında, Sibirya çamı (*Pinus sibirica*) odunundan hazırlanmış olan örnekler üzerinde farklı zımpara numaralarına (80, 100, 120, 150, 180 ve 220 numaralı) sahip zımparalar ile zımparaladıktan sonra yüzey R_z , R_a ve R_q parametrelerini belirlemiştir.

Ayata ve Çamlıbel, (2021) çalışmalarında ipê (*Tabebuia serratifolia* (Vahl) Nicholson) ahşabından hazırlanmış olan örnekler üzerinde farklı numaralı zımparalar (80, 100, 120, 150 ve 180 numaralı) ile zımparalandıktan sonra yüzey pürüzlülüğüne ait R_z , R_a ve R_q parametrelerini incelemiştir.

Ayata ve Bal, (2021) tarafından kırmızı karaağaç (*Ulmus rubra* Muhl) odununa ait deney örnekleri 80 ve 100 numaralı zımparalar ile zımparalandıktan sonra pürüzlülüğe ait olan R_z , R_a ve R_q parametrelerini belirlemiştir.

Türk ve Ayata, (2021a) çalışmalarında, doussié (*Azelia africana*), sapelli (*Entandrophragma cylindricum*) ve teak (*Tectona grandis* L.) odunlarına ait yüzeylerini 80, 100, 120, 150, 180 ve 220 numaralı zımparalar ile zımparalandıktan sonra R_z , R_a ve R_q parametrelerini araştırmışlardır.

Yukarıda verilen bütün bu çalışmalara ait olarak ilgili yazarlar tarafından, zımpara numarasının artmasıyla yüzey pürüzlülüğü parametrelerinin azaldığı şeklinde bildirilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçların literatürdeki benzer çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile uyumluluk gösterdiği görülmektedir.

Tablo 3'te, avokado ağacı odununda belirlenen shore D sertlik değerine ait sonuç gösterilmektedir. Belirlenen bu sonuca göre shore D sertlik değeri 50,77 olmakta ve 46,00–57,00 arasında değiştiği görülmektedir (Tablo 3).

Tablo 3. Shore D sertlik değerine ait sonuç

Ölçüm Sayısı	30
Ortalama	50,77
Standart Sapma	3,26
Minimum Ölçüm	46,00
Maksimum Ölçüm	57,00
Varyasyon Katsayısı	6,41

Bazı ağaç türlerinde shore D sertlik değerlerinin kıyaslanması Tablo 4'te verilmiştir. Literatürde sertlik değerinin farklı ağaçlar üzerinde farklı sonuçlar verdiği bildirilmiştir (Şanıvar ve Zorlu, 1980).

Tablo 4. Bazı ağaç türlerinde shore D sertlik değerlerinin kıyaslanması

Ağaç Türü	Shore D	Kaynak
İtalyan ceviz	27,80	Lionetto ve Frigione, (2009)
Sitka ladini	27,92	Chou vd., (2020)
Akkavak	31,50	Akçay, (2020)
Limba/Fraké	35,30	Esteves vd., (2021)
Sibirya çamı	37,20	Ayata, (2021)
Ayous	37,65	Ayata, (2020)
Moğol çamı	38,60	Han vd., (2017)
Sarıçam	39,20	Akçay, (2020)
Simul	40,00	Devi ve Maji, (2012)
Ihlamur	40,40	Akçay, (2020)
Sarıçam	40,42	Karal, (2017)
Meşe	42,33	Karal, (2017)
Kavak	42,35	Li vd., (2018)
Kore çamı	42,40	Luo vd., (2020)
Loblolly çamı	42,60	Mattos vd., (2015)
Kavak	42,93	Leone vd., (2009)
Kavak	43,52	Dong vd., (2015)
İncir	45,00	Hazarika ve Maji, (2013)
Avrupa kayını	46,23	Chou vd., (2020)
Titrek kavak	46,35	Yan vd., (2015)
Kauçuk ağacı	46,57	Devi vd., (2003)
Kayın	47,50	Karal, (2017)
Sapsız meşe	47,71	Leone vd., (2009)
Çam	48,40	Dos Santos vd., (2016)
Melez kavak	49,49	Ding vd., (2021)
Sapelli	50,00	Karal, (2017)
Avokado	50,77	Tespit
Gök nar	51,00	Sahin ve Mantanis, (2011)
Kavak	51,80	Chu vd., (2016)
Acajou d' Afrique	52,20	Esteves vd., (2021)
Huş	52,60	Ayata ve Bal, (2020b)
Doğu Kayını	52,80	Akçay, (2020)
Koto	53,20	Türk, (2021)
Ovenkol	53,21	Leone vd., (2009)
Uludağ göknarı	54,30	Türk ve Ayata, (2021c)
Şeftali	54,80	Okan ve Ayata, (2020)
Söğüt	54,90	Türk ve Ayata, (2021c)
Çam	56,50	Leone vd., (2009)

Afromosia	56,80	Esteves vd., (2021)
Kırmızı Karaağaç	57,70	Ayata ve Bal, (2021a)
Eyong	58,00	Türk, (2021)
Istranca meşesi	58,50	Türk ve Ayata, (2021c)
İncir	58,60	Ayata ve Dilik, (2020)
Kestane	59,00	Türk ve Ayata, (2021c)
Teak	59,10	Esteves vd., (2021)
Adi kızıl ağaç	59,60	Türk ve Ayata, (2021c)
Duka	60,40	Esteves vd., (2021)
Kestane	61,06	Karamanoğlu ve Kaymakçı, (2018)
Sapelli	61,80	Esteves vd., (2021)
Jequitiba	62,20	Türk, (2021)
Dut	63,00	Kuş Şahin ve Onay, (2020)
Wenge	63,90	Esteves vd., (2021)
Armut	64,00	Kuş Şahin ve Onay, (2020)
Zebrano	64,20	Esteves vd., (2021)
Doussié	64,70	Esteves vd., (2021)
Kiraz	65,00	Sahin ve Mantanis, (2011)
Porsuk	65,30	Ayata ve Bal, (2021b)
Üvez	65,60	Türk ve Ayata, (2021c)
Merbau	65,80	Esteves vd., (2021)
Mahogany	65,93	Leone vd., (2009)
Karaçam	66,00	Sahin ve Mantanis, (2011)
Kestane	66,00	Sahin ve Mantanis, (2011)
Kopie	68,13	Ayata ve Bal, (2021b)
Akça ağaç	68,20	Türk ve Ayata, (2021c)
Sipo	68,40	Esteves vd., (2021)
Tali	68,50	Esteves vd., (2021)
Kayısı	70,00	Kuş Şahin ve Onay, (2020)
Monkey pod	71,70	Çamlıbel ve Ayata, (2020)
Adi gürgen	72,10	Türk ve Ayata, (2021c)
Fukadi	73,07	Ayata ve Bal, (2021b)
Ipê	73,80	Ayata ve Çamlıbel, (2021)
Zeytin	74,00	Kuş Şahin ve Onay, (2020)
Dişbudak	76,40	Türk ve Ayata, (2021c)
Rose	76,80	Esteves vd., (2021)
Santos	77,20	Esteves vd., (2021)
Mor kalp	79,10	Türk ve Ayata, (2021b)
Yalancı akasya	79,35	Ayata ve Bal, (2020c)
Jatoba	83,70	Luo vd., (2020)

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Bu çalışmada aşağıda verilen sonuçlar elde edilmiştir:
- Zımpara numarasının artması ile yüzey pürüzlülüğü parametrelerinin (R_z , R_a ve R_q) azaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

- R_a parametresi 80 numaralı zımparada 5,876 μm , 100 numaralı zımparada 4,802 μm , 120 numaralı zımparada 3,657 μm ve 150 numaralı zımparada 2,720 μm olarak bulunmuştur.

- Shore D sertlik değeri 50,77 olarak elde edilmiştir.

- Bu ağaç türüne ait ahşabında çeşitli vernik türlerinin uygulanması ile üst yüzey işlemlerine ait çeşitli testlerin yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Akçay Ç. (2020). Determination of decay, larvae resistance, water uptake, color, and hardness properties of wood impregnated with honeybee wax, *BioResources*, 15(4), 8339-8354.

Altunışık Bülbül, G. (2019). Avokado (*Persea americana* Mill.) odunundan kraft metodu ile kâğıt hamuru ve kâğıt üretimi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Bartın, 166 s.

Álvarez De La Peña, F. (1979). El aguacate, *Publicaciones de Extensión Agraria*, Ministerio de Agricultura, España, pp. 138-142.

Ashworth, V. E. T. M., Clegg M. T. (2003). Microsatellite markers in avocado (*Persea americana* Mill.): genealogical relationships among cultivated avocado genotypes, *Journal of Heredity*, 94(5), 407-415.

ASME B46.1, (2009). Surface Texture. (Surface Roughness, Waviness, Lay), ASME B46 Committee, American Society Mechanical Engineers Standards.

ASTM D 2240, (2010). Standard test method for rubber property-durometer hardness, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania, United States.

Ayata Ü. (2020). Ayous odununun bazı teknolojik özelliklerinin belirlenmesi ve ısı işleminden sonra renk ve parlaklık özellikleri, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 22-33.

Ayata Ü. (2021). Sibirya'da iç ve dış mekânlarda kullanılan Sibirya çamı odununun yüzey pürüzlülüğü parametreleri ve shore D sertlik değeri üzerine ısı işlemin etkisi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 1-8.

Ayata Ü., Bal B. C. (2019). Dabema (*Piptadeniastrum africanum* Brenan) odununda bazı yüzey özelliklerinin belirlenmesi, *Ziraat, Orman ve Su Ürünleri Alanında Araştırma Makaleleri*, Gece Kitaplığı Yayınevi, Ankara, Türkiye, Genel Yayın Yönetmeni: Doç. Dr. Atilla Atik, Editörler: Prof. Dr. İsmet DAŞDEMİR, Doç. Dr. Hüseyin Atilla ATİK, 16 Aralık 2019, 219-233.

Ayata Ü., Bal B. C. (2020a). Tiama, limon ve malta eriği odunlarının zımparalanmasında zımpara tanecik büyüklüğünün yüzey pürüzlülüğüne etkisi, *Ziraat, Orman ve Su Ürünleri Alanında Teori ve Araştırmalar*, Gece Kitaplığı Yayınevi, Ankara, Türkiye, Genel Yayın

Yönetmeni: Eda ALTUNEL, Editör: Nigar YARPUZ BOZDOĞAN, 19 Eylül 2020, 65-81.

Ayata Ü., Bal B. C. (2020b). Huş odununun yüzey pürüzlülüğü, çivi tutma direnci ve shore-D sertlik değerinin belirlenmesi, 4th Asia Pacific International Modern, 12-13 December 2020 Subic Bay Freeport Zone, Philippines, Sciences Congress, 655-666.

Ayata Ü., Bal B. C. (2020c). Yalancı akasya (*Robinia pseudoacacia* L.) odununda bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, *Ziraat, Orman ve Su Ürünleri Alanında Teori ve Araştırmalar II*, Gece Kitaplığı Yayınevi, Gece Kitaplığı Yayınevi, Ankara, Türkiye, Editörler: Prof. Dr. Koray ÖZRENK, Prof. Dr. Ali Musa BOZDOĞAN, Prof. Dr. Nigar YARPUZ BOZDOĞAN, Aralık 2020, 199-216.

Ayata Ü., Çamlıbel O. (2021). Ipê odununda yüzey pürüzlülüğü parametrelerinin ve shore-D sertlik değerinin araştırılması, *Ziraat, Orman ve Su Ürünlerinde Araştırma ve Değerlendirmeler*, Gece Kitaplığı Yayınevi, Ankara, Türkiye, Editörler: Doç. Dr. Tugay AYŞAN, Doç. Dr. Ali Beyhan UÇAK, Dr. Öğretim Üyesi Numan BİLDİRİCİ, Şubat 2021, 49-65.

Ayata Ü., Dilik T. (2020). İncir odununda shore- D sertlik değeri ve yüzey pürüzlülüğü parametrelerinin incelenmesi, *ArtGRID-Journal of Architecture, Engineering & Fine Arts*, 2(2), 98-109.

Ayata Ü., Bal B. C. (2021a). 200°C'de ısı işlem görmüş kırmızı karaağaç (*Ulmus rubra*) odununda bazı yüzey özelliklerinin ve shore D sertlik değerinin araştırılması, 5. Asya Pasifik Uluslararası Modern Bilimler Kongresi 16-18 Temmuz 2021 Sydney, Avustralya.

Ayata Ü., Bal B. C. (2021b). Kopie, fukadi ve porsuk ağaç türlerinde renk, parlaklık ve shore D sertlik üzerine ısı işlemin etkisi, *Hoca Ahmet Yesevi*, 5. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Kongresi, 5-6 Kasım 2021, Nahçıvan Devlet Üniversitesi, Azerbaycan.

Barwick M. (2004). *Tropical and Subtropical Trees- A Worldwide Encyclopaedic Guide*, Thames & Hudson Ltd.

Burger W. P., Naudé T. W., Rensburg I. B., Botha C. J., Pienaar A. C. (1994). Cardiomyopathy in ostriches (*Struthio camelus*) due to avocado (*Persea americana* var. *guatemalensis*) intoxication, *Journal of the South African Veterinary Association*, 65(3), 113-118.

- Cavus V., Sahin S., Esteves B., Ayata U. (2019). Determination of thermal conductivity properties in some wood species obtained from Turkey, *Bioresources*, 14(3), 6709-6715.
- Chanderbali A. S., Albert V. A., Ashworth V.T. E. M., Clegg M. T., Litz R. E., Soltis D. E., Soltis P. S. (2008). *Persea americana* (avocado): bringing ancient flowers to fruit in the genomics era, *Bioassays*, 30(4), 386-396.
- Chandler W. (1964). *Evergreen orchards*. México, Hispanoamericana, pp. 205-228.
- Chang Y. S., Han Y., Eom C.D., Chun S., Yeo H. (2019). Hygroscopic property of heat treated yellow poplar (*Liriodendron tulipifera*) wood, *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 47(6), 761-769.
- Chou J. Y., D'Eath R. B., Sandercock D. A., O'Driscoll K. (2020). Enrichment use in finishing pigs and its relationship with damaging behaviours: Comparing three wood species and a rubber floor toy, *Applied Animal Behaviour Science*, 224, 104944.
- Chu D., Xue L., Zhang Y., Kang L., Mu J. (2016). Surface characteristics of poplar wood with high-temperature heat treatment: Wettability and surface brittleness, *BioResources*, 11(3), 6948-6967.
- Çamlıbel O., Ayata Ü. (2020). Monkey pod odununda yüzey pürüzlülüğü parametrelerinin ve shore-D sertlik değerinin belirlenmesi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 3(2), 93-100.
- de Araujo R. D., dos Santos J., do Nascimento C. C., do Nascimento C. S., dos Santos Barros S.V., da Paz Lima M. (2019). Surface roughness of edge glued panels (EGP) of amazon managed species, *Ciência e Agrotecnologia*, 43(113).
- Devi R. R., Ali I., Maji T. K. (2003). Chemical modification of rubber wood with styrene in combination with a crosslinker: effect on dimensional stability and strength property, *Bioresource Technology*, 88: 185-188.
- Devi R. R., Maji T. K. (2012). Chemical modification of simul wood with styrene-acrylonitrile copolymer and organically modified nanoclay, *Wood Science and Technology*, 46, 299-315.
- Ding L., Han X., Jiang S. (2021). Impregnation of poplar wood with multi-functional composite modifier and induction of in-situ polymerization by heating, *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 41(5), 220-228.
- Dong Y., Yan Y., Zhang S., Li J., Wang J. (2015). Flammability and physical-mechanical properties assessment of wood treated with furfuryl alcohol and nano-SiO₂, *European Journal of Wood and Wood Products*, 73: 457-464.
- Dos Santos P. S. B., Erdocia X., Gatto D. A., Labidi J. (2016). Bio-oil from base-catalyzed depolymerization of organosolv lignin as an antifungal agent for wood, *Wood Science and Technology*, 50(3), 599-615.
- Dreher M. L., Davenport A. J. (2013). Hass avocado composition and potential health effects, *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(7), 738-750.
- Esteves B., Şahin S., Ayata Ü., Domingos I., Ferreira J., Gurleyen L. (2021). The effect of heat treatment on shore-D hardness of some wood species, *Bioresources*, 16(1), 1482-1495.
- Fuentes-Talavera F. J., Silva-Guzmán J. A., Rodríguez-Anda R., Lomeli-Ramírez M. G., Sanjuán-Dueñas R., Richter H. G. (2011). Strength properties and natural durability of Avocado (*Persea americana* Mill.) branch wood, *Madera y Bosques*, 17(1), 37-47.
- Grant R., Basson P. A., Booker H. H., Hofherr J.B., Anthonissen M. (1991). Cardiomyopathy caused by avocado (*Persea americana* Mill) leaves, *Journal of the South African Veterinary Association*, 62(1), 21-22.
- Han X., Li R., Zhang Q., Pu J. (2017). Impregnation of Scots Pine with compound modifier and induction of in-situ polymerization by heating, *Wood and Fiber Science*, 49(1), 43-51.
- Hargis A. M., Stauber E., Casteel S., Eitner D. (1989). Avocado (*Persea americana*) intoxication in caged birds, *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 194(1), 64-66.
- Hazarika A., Maji T. K. (2013). Effect of different crosslinkers on properties of melamine formaldehyde-furfuryl alcohol copolymer/montmorillonite impregnated softwood (*Ficus hispida*), *Polymer Engineering and Science*, 53, 1394-1404.
- Hiziroglu S., Zhong Z. W., Ong W. K. (2014). Evaluating of bonding strength of pine, oak and nyatoh wood species related to their surface roughness, *Measurement*, 49, 397-400.

- Hiziroglu S., Zhong Z. W., Tan H. L. (2013). Measurement of bonding strength of pine, kapur and meranti wood species as function of their surface quality, *Measurement*, 46(9), 3198-3201.
- Huxley A. (1992). *The New RHS Dictionary of Gardening*, MacMillan Press.
- ISO 16610-21 (2011). *Geometrical Product Specifications (GPS)-Filtration-Part 21: Linear Profile Filters: Gaussian Filters*, Standard.
- Karal İ. (2017). Renklendirme ve renk açma işlemlerinin antifungal etkilerinin belirlenmesi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Düzce.
- Karamanoğlu M., Kaymakçı A. (2018). Higrotermal yaşlandırma işleminin ısıl işlem görmüş kestane (*Castanea sativa* Mill.) odununun renk ve sertlik özellikleri üzerine etkisi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 1(1), 31-37.
- Kulkarni P., Paul R., Ganesh N. (2010). In vitro evaluation of genotoxicity of avocado (*Persea americana*) fruit and leaf extracts in human peripheral lymphocytes, *Journal of Environmental Science and Health C*, 28(3), 172-187.
- Kuş Şahin C., Onay B. (2020). Alternative wood species for playgrounds wood from fruit trees, *wood research*, 65(1), 149-160.
- Leit J. J. G., Brito É. H. S., Cordeiro R. A., Brillhante R. S. N., Sidrim J. J. C., Bertini L. M., de Moraes S. M., Rocha M. F. G. (2009). Chemical composition, toxicity and larvicidal and antifungal activities of *Persea americana* (avocado) seed extracts, *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical*, 42(2), 110-113.
- Leite S. S., Jesus G. M. K., Alves M. C. S., Valarelli I. D., Bueno M. A. P., Christiane F., Magorbo R. D., Alexandre Moizes F. A., Salvadeo V. M. (2019). Analysis of the parameters affecting the surface sanding of *Pinus elliottii* and *Corymbia citriodora* wood species, *BioResources*, 14(2), 2773-2783.
- Leone C., Lopresto V., De Iorio I. (2009). Wood engraving by Q-switched diode-pumped frequency-doubled Nd:YAG green laser, *Optics and Lasers in Engineering*, 47(1), 161-168.
- Li J., Zhang, A., Zhang S., Gao Q., Chen H., Zhang W., Li J. (2018). High-performance imitation precious wood from low-cost poplar wood via high-rate permeability of phenolic resins, *Polymer Composites*, 39(7), 2431-3440.
- Lionetto F., Frigione M. (2009). Mechanical and natural durability properties of wood treated with a novel organic preservative/consolidant product, *Materials and Design*, 30(8), 3303-3307.
- Little E. L., Wadsworth F. H. (1964). *Common Trees of Puerto Rico and the Virgin Islands* Publication, USDA, Forest Service; Washington, 548 pages.
- Luo B., Zhang J., Bao X., Liu H., Li L. (2020). The effect of granularity on surface roughness and contact angle in wood sanding process, *Measurement*, 165: 108133.
- Mattos B. D., Cademartori P. H. G., Missio A. L., Gatto D. A., Magalhaes W. L. E. (2015). Wood-polymer composites prepared by free radical in situ polymerization of methacrylate monomers into fast-growing pinewood, *Wood Science and Technology*, 49: 1281-1294.
- Merrild H., Christensen T. H. (2009). Recycling of wood for particle board production: accounting of greenhouse gases and global warming contributions, *Waste Management & Research*, 27(7/8), 781-788.
- Okan O. T., Ayata Ü. (2020). Determination of the hardness and the parameters of the surface roughness in peach wood, *Journal of Apitherapy and Nature*, 3(2), 75-86.
- Ortiz M. A., Dorantes A. L., Gallndez M. J., Cárdenas S. E. (2004). Effect of a novel oil extraction method on avocado (*Persea americana* Mill) pulp microstructure, *Plant Foods for Human Nutrition*, 59(1), 11-14.
- Papp E. A., Csiha C. (2017). Contact angle as function of surface roughness of different wood species, *Surfaces and Interfaces*, 8: 54-59.
- Ramos M. R., Jerz G., Villanueva S., López-Dellamary F., Waibel R., Winterhalter, P. (2004). Two glucosylated abscisic acid derivatives from avocado seeds (*Persea americana* Mill. Lauraceae cv. Hass), *Phytochemistry*, 65(7), 955-962.
- Sahin H. T., Mantanis G. I. (2011). Nano-based surface treatment effects on swelling, water sorption and hardness of wood, *Maderas. Ciencia y tecnología*, 13(1), 41-48.

Saloni D. E. (2007). Process monitoring and control system design, evaluation and implementation of abrasive machining processes. 197 p. Thesis (Ph.D.), North Carolina State University, Raleigh.

Sosef M. S. M., Hong L. T., Prawirohatmodjo S. (1998). Plant Resources of South-East Asia, No 5(3), Timber trees: Lesser-known timbers, 860 pages.

Stadler P. I., Rensburg van, B., Naudé T. W. (1991). Suspected avocado (*Persea americana*) poisoning in goats, *Journal of the South African Veterinary Association*, 62(4), 186-188.

Şanıvar N., Zorlu İ. (1980). Ağaç işleri gereç bilgisi temel ders kitabı, Mesleki ve Teknik Öğretim Kitapları, Milli Eğitim Basımevi, İstanbul, Etüd ve Programlama Dairesi Yayınları No: 43, 472 sayfa.

Thoma H., Peri L., Lato E. (2015). Evaluation of wood surface roughness depending on species characteristics, *Maderas. Ciencia y tecnología*, 17(2), 285-292.

Türk M. (2021). Eyang, jequtiba ve koto ağaç türlerinde renk, parlaklık ve shore D sertlik değerleri üzerine ısı işlemin etkisi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 4(1), 51-60.

Türk M., Ayata Ü. (2021a). Doussié, sapelli ve teak odunlarında yüzey pürüzlülüğü parametrelerinin tespiti, *Ziraat, Orman ve Su Ürünlerinde Araştırma ve Değerlendirmeler Cilt 2*, Gece Kitaplığı Yayınevi, Ankara, Editör: Doç. Dr. Emine KÜÇÜKER, Doç. Dr. Mehmet Fırat BARAN, Dr. Öğretim Üyesi Esra GÜRSOY, Mayıs, 47-63.

Türk M., Ayata Ü. (2021b). 200°C’de ısı işlem görmüş mor kalp ağacı odununda shore D sertlik değerinin ve yüzey pürüzlülüğü parametrelerinin incelenmesi, *Eurasian Journal of Forest Science*, 9(3) (basımda).

Türk M., Ayata Ü. (2021c), Türkiye’de yetişen bazı ağaç türlerine ait odunlarda shore D sertlik değerleri üzerine ısı işlemin etkisi, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 4(2) (basımda).

Vitosyte J., Ukvalbergiene K., Keturakis G. (2012). The effects of surface roughness on adhesion strength of coated ash (*Fraxinus excelsior* L.) and birch (*Betula* L.) wood, *Materials Science (Medžiagotyra)*, 18(4), 347-351.

Vitosytė J., Ukvalbergienė K., Keturakis G. (2015). Roughness of sanded wood surface: an impact of wood species, grain direction and grit size of abrasive material, *Materials Science (Medžiagotyra)*, 21(2), 255-259.

Yan Y., Dong Y., Li J., Zhang S., Xia C., Shi S. Q., Cai L. (2015). Enhancement of mechanical and thermal properties of poplar through the treatment of glyoxal-urea/nano-SiO₂, *Royal Society of Chemistry Advances*, 5(67), 54148-54155.

Kokulu Ardıç Odunundan UV Sistem Vernikli Parke Üretimi Denemesi

Ümit AYATA*¹ , Nevzat ÇAKICIER² , Levent GÜRLEYEN³ 

¹Bayburt Üniversitesi, Sanat ve Tasarım Fakültesi, İç Mimarlık ve Çevre Tasarımı Bölümü Bölümü, Bayburt, 69000, Türkiye

²Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Düzce, 81620, Türkiye

³Gölyaka Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi, Düzce, 81800, Türkiye

Araştırma Makalesi, Geliş Tarihi: 01.09.2021, Kabul Tarihi: 28.12.2021

Özet

Kokulu ardıç odunu, böcek hasarına karşı dayanıklı olup, oldukça sert ve aromatik bir yapıya sahiptir. Ahşabı, inşaat kerestesi ve marangozlukta dolap, sandık ve ev eşyaları imalatında değerlendirildiği bilinmektedir. Bu çalışma kokulu ardıç odununun UV parke endüstrisi alanında değerlendirilmesine yönelik yapılmıştır. Bu çalışmada, kokulu ardıç (*Juniperus foetidissima* Wild.) odunu yüzeylerine uygulanmış UV sistem parke verniklerinin (3 ve 5 kat uygulaması) UVB-313 lambalarına sahip bir yaşlandırma ortamına (252 ve 504 saat) maruz bırakılması ile meydana gelen yüzeylerdeki değişiklikler araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre, yaşlandırma uygulamalarından sonra iki tür vernik uygulaması için a^* ve b^* değerleri artarken, L^* değerlerinin ve bütün derece ve yönlerdeki parlaklık değerlerinin, yüzeye yapışma direncinin ve salınımsal sertlik değerlerinin azaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Yaşlandırmalardan sonra ΔE^* değerlerinin 3 kat uygulamasında “farklı renk” kategorisini verirken, 5 kat uygulaması “yüksek renk değişimi” kategorisi sonuçlarını vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Kokulu ardıç, UV sistem vernik, Parlaklık, Renk, Yüzeye yapışma, Salınımsal sertlik.

UV System Varnished Parquet Production Trial from Foetid Juniper Wood

Abstract

Foetid juniper wood is resistant to insect damage and has a very hard and aromatic structure. It is known that its wood is used in the manufacture of cabinets, chests, and household goods in construction timber and carpentry. This study was conducted to evaluate foetid Juniper wood in the UV parquet industry area. In this study, the changes in the surfaces of the foetid juniper (*Juniperus foetidissima* Wild.) wood surfaces were investigated by exposing the UV system parquet varnishes (3 and 5 coats) to an aging medium with UVB-313 lamps (252 and 504 hours). According to the results of the research, it was concluded that while a^* and b^* values increased for two types of varnish applications after aging applications, L^* values and glossiness values in all degrees and directions, adhesion to the surface and pendulum hardness values decreased. After aging, 3-coats application of ΔE^* values gave the “different color” category, while 5-coats application gave “high color change” category results.

Keywords: Foited juniper, UV system varnish, Glossiness, Color, Adhesion to the surface, Pendulum hardness.

*Sorumlu yazar umitayata@bayburt.edu.tr, ²nevzatcakicier@duzce.edu.tr, ³leventgurleyen@hotmail.com

1. GİRİŞ

Ahşap, inşaatta, mobilya endüstrisinde ve parke son kullanımlarında doğal bir hammadde olarak yaygın olarak kullanılmaktadır. Fiziksel özellikleri ve sıcak görünümü onu birçok alanda beton, metal ve plastik gibi rakip malzemelerden ayırmaktadır (Hayoz vd., 2003). Ahşaptaki lignin, ultraviyole ışığı yüksek oranda emmektedir. Böylece, bu, ahşap yüzeylerde hem ligninin hem de selülozun radikal kaynaklı depolimerizasyonuna yol açmaktadır (Kiguchi vd., 2001).

Şeffaf yüzeyler, iç veya dış mekân maruziyeti sırasında ahşap üzerinde kötü performans gösterir. Aslında bu tip kaplamalar UV ışığını absorbe etmez ve ahşap yüzey ile temas halindedir (Ashton, 1980). Bu fenomen, ahşap substratın fotodegradasyonuna yol açar. Ahşap renk değişimi, dağınık iç mekân ışık koşullarında bile ışığa maruz kaldığında kimyasal modifikasyonunun ilk işaretidir. Daha sonra ısı, su ve mikroorganizmalar gibi tam çevresel etkilere maruz kaldığında ciddi bozulma meydana gelir (Hayoz vd., 2003).

UV küreme tekniği, üç boyutlu bir ağ elde etmek için gelen UV radyasyonu tarafından indüklenen çok işlevli bir sistemin polimerizasyonuna dayanmaktadır. Reaksiyon, oda sıcaklığında, bir saniyenin çok küçük bir bölümünde bir sıvı sistemin, kauçuksu veya camsı özelliklere sahip bir katıya dönüştürülmesine izin verir. Ahşap dâhil olmak üzere farklı malzemelerin imalatı, dekorasyonu ve korunması için birçok endüstriyel alanda yaygın olarak uygulanmaktadır (Pappas, 1992).

UV küreme tekniğinin başlıca avantajları şunlardır (Fouassier ve Rabek, 1993):

- Süreç için gereken enerji düşüktür,
- Polimerizasyon çok hızlı ve yüksek verimlidir,
- Muamele seçici olarak ışınlanmış alanla sınırlıdır,
- Solvent gerekmez (%100 katı formülasyon), bu nedenle VOC (uçucu organik bileşikler) ile çevre kirliliği önlenir.

Bir kaplamanın hava koşullarına dayanıklılığı, yapışma kaybı, parlaklık kaybı ve renk değişiklikleri açısından değerlendirilmektedir (Dickie, 1994). Hızlandırılmış ayrışma, doğal ayrışma için hızlı bir ikame olarak geliştirilmiştir.

Hava koşullarına maruz bırakmada ışınlama, sıcaklık ve nem döngüleri gibi çeşitli işlemler birbirinden bağımsız olabilir veya olmayabilir ve kaplamalar üzerinde birleşik etkiler, özellik değişiklikleri ile sonuçlanabilir (Shi vd., 2008).

Hızlandırılmış yaşlanma süreci, kontrollü bir şekilde doğal bir ortamı simüle eden yaşlanma odalarında gerçekleştirilmektedir. Bozunma analizini yapay yaşlandırmadan yapılmış bir odada kullanmanın avantajı, doğal maruziyetten daha hızlı olmasının yanı sıra, tekrarlanabilir olma önemli bir özelliğinin olmasıdır. Doğal veya yapay yaşlanmadan kaynaklanan bozulmanın etkileri, kimyasal bozulmanın nicelleştirilmesi ve mekanik davranış ve görsel görünüm gibi fiziksel özelliklerin analizi yoluyla değerlendirilebilir (Borrelly, 2002). Bozunmanın kapsamı, moleküler ağırlıktaki ve mekanik özelliklerdeki azalma veya renk değişikliği veya erozyon gibi yüzey bozulmaları yoluyla değerlendirilir (González-López vd., 2020).

Literatürde; dut (*Morus alba*) (Çavuş, 2021), adi dişbudak (*Fraxinus excelsior* L.) (Herrera vd., 2018), meşe (*Quercus* L.) (Stachowiak-Wencek, 2019), kayın (*Fagus orientalis* L.) ve saplı meşe (*Quercus robur* L.) (Kaygın ve Akgun, 2009), mandshurian dişbudağı (*Fraxinus mandshurica* Rupr.) (Li vd., 2021), ak meşe (*Quercus alba* L.) (Wang vd., 2019), monteri çamı (*Pinus radiata*) (Viengkhou vd., 1996), sapsız meşe (*Quercus petraea*) (Ayata vd., 2016) (su bazlı boyalı), kayısı (*Prunus armeniaca* L.) (Ayata vd., 2021a), Toros sediri (*Cedrus libani* A. Rich) (Ayata vd., 2021b), adi çitlembik (*Celtis australis* L.) (Ayata vd., 2021c), meşe (*Quercus petraea* L.) (Gürleyen vd., 2019), üvez (*Sorbus* L.) (Gürleyen vd., 2017b), kestane (*Castanea sativa* Mill.), iroko (*Chlorophora excelsa*), limba (*Terminalia superba*), sapelli (*Entandrophragma cylindrosum*) (Ayata ve Çavuş, 2018), dişbudak (*Fraxinus excelsior*) (212°C'de 2 saat sürede ısıtılmış işlemli) (Ayata vd., 2017b), Amerikan ceviz (*Juglans nigra*), ceviz (*Juglans regia*), kırmızı Amerikan meşesi (*Quercus rubra*), akçaağaç (*Acer pseudoplatanus* L.) (Ayata vd., 2018), şeker akçaağacı (*Acer saccharum*) (Vardanyan vd., 2014), sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) (Gürleyen vd., 2017a), gülbrişim (*Albizia julibrissin*) (Gürleyen, 2020), limon (*Citrus limon* L.) (Burm.) (Ayata, 2019), meşe, dişli meşe, akasya, ceviz, karaağaç, fijiyan longan (*Pometia pinnata*) ve *Newtonia* spp. (Zhao vd., 2021), rose gum (*Eucalyptus grandis*) ve Karayip çamı (*Pinus*

caribaea var. *hondurensis*) (de Moura vd., 2013), kayın (*Fagus orientalis* Lipsky.) (Ayata vd., 2017a), doussie (*Azalia africana*) (Gürleyen, 2021), kestane (*Castanea sativa* Mill.) (Bongiovanni vd., 2002) ve adi kızılbaş (*Alnus glutinosa* Gaertn L.) (Salca vd., 2016) türlerinden elde edilen ahşap yüzeylere, UV kürlenmeli kimyasalların uygulandığı bildirilmiştir. Bu çalışmalarda, farklı üretim teknikleri ile kaplanmış ahşap malzemelere ait yüzeyler üzerinde çeşitli testlerin (yüze yapışma direnci, kurşun kalemi salınımsal sertlik, renk, parlaklık, vb.) yapıldığı da görülmektedir. Bu bilgiler ışığında literatürde kokulu ardıç türüne ait ahşabına herhangi bir UV kürlenmeli kimyasalların uygulanmadığı görülmektedir.

Juniperus foetidissima Willd. (Cupressaceae) 5-15 m yüksekliğinde, taç ince konik, yere dallanmış, dalları dik, kabuğu gri, dalcıkları kısa, kalın, belirgin 4 kenarlı, *J. excelsa*'nınakilere benzer ancak daha kalın, yaprakları daha kalın olan bir ağaçtır. Ezildiğinde hoş olmayan koku, kısmen iğne şeklinde, gevşek bir şekilde bastırılmış veya yayılmış, mukronülat, sırtta keskin omurga, kısmen pullu, oval-rombik, keskin, sırtta dışbükey, genellikle salgı bezleri olmadan, bitkiler tek veya çift renkli; meyveler tek, ancak çok sayıda, kısa dallarda, küresel, 6-12 mm kalınlığında, kırmızı-kahverengi ile siyah, buruk, genellikle 1-2 tohumlu. Bu tür Yunanistan, Arnavutluk, Yugoslavya, Küçük Asya'dan Transkafkasya'ya kadar dağlarda bulunur (Assadi, 1998; Sabeti, 1975). Bu ardıca ait koyu mavi veya siyah, küresel tohum kozalaklarının çapı 5-13 mm'dir, olgunlaştıkça biraz reçineli ve odunsu hale gelmektedir (Grimshaw vd., 2009).

Kokulu ardıç ahşap sağlam, oldukça sert, aromatik, böcek hasarına karşı dayanıklıdır. Yeterli boyutta ahşabın mevcut olduğu yerlerde, inşaat kerestesi olarak oldukça değerlidir ve marangozlukta dolap, sandık ve ev eşyaları imalatında (Komarov, 1968; Tunalier vd., 2004) ve odunu yakıt olarak kullanılmaktadır (Tunalier vd., 2004).

Kokulu ardıç (*Juniperus foetidissima* Wild.) odununda tam kuru yoğunluk 525,00 kg/m³, hacmen genişleme %9,64, radyal yönde genişleme %3,75, teğet yönde genişleme %5,76, boyuna yönde genişleme %0,13, lif doygunluk noktası %18,35, su alma yüzdesi %76,80, eğilmede elastikiyet modülü 6701,00 N/mm², eğilme direnci 93,00 N/mm², şok direnci 0,280 kgm/cm², radyal yüzeyde sertlik 43,80 N/mm², teğet yüzeyde sertlik 45,70 ve enine yüzeyde sertlik 62,00 N/mm² (Çavuş, 2020) olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada, kokulu ardıç odunu yüzeylerine uygulanmış UV sistem parke verniklerinin UVB-313 lambalarına sahip bir yaşlandırma ortamına (252 ve 504 saat süreleri) maruz bırakılması ile meydana gelen yüzeylerdeki değişiklikler araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

2.1.1. Ahşap Malzemenin Temin Edilmesi

Bu çalışmada, ağaç türü kokulu ardıç (*Juniperus foetidissima* Wild.) odunu seçilmiştir. İzmir'de bulunan bir keresteciden 100 cm x 10 cm x 2 cm boyutlarına sahip ahşap malzemeler (budaksız, ardaksız, herhangi bir çürüğe sahip olmayan özellikte) satın alınma yöntemi ile temin edilmiştir. Malzemeler üzerinde iklimlendirme işlemleri yapılmıştır (TS 2471, 1976).

2.2. Metot

2.2.1. UV Sistem Parke Verniklerinin Üretimi

UV sistem parke verniği üretim aşamaları (3 ve 5 kat) Tablo 1'de gösterilmektedir. Çalışmada kullanılan kimyasallara ait bilgiler Ayata (2019) tarafında yapılan çalışmada detaylı olarak verilmiştir.

Tablo 1. UV sistem parke verniği üretim aşamaları (3 ve 5 kat)

3 kat uygulaması	5 kat uygulaması
↓	↓
Kalibre zımpara uygulaması (80 ve 120 kum)	
Şeffaf UV kürlenmeli hidro astar (T8028-0000) 10 g/m ² (70 °C)	
UV yüksek parlaklıkta perde kaplama (T9120-0900N1) 8 g/m ²	UV şeffaf kürleşen sızdırmazlık macunu (T9110-0000H) 20 g/m ² (70 °C)
UV lamba kurutma uygulaması (177 mJ/cm ²) (2 defa)	UV şeffaf kürleşen sızdırmazlık macunu (T9110-0000) 10 g/m ² (170 °C) (2 defa)
Kalibre zımparalama işlemi (280 ve 320 kum)	
Şeffaf mat UV yağı (T9115-0000) (8 g/m ²) + UV lamba kurutma uygulaması (71 mJ/cm ²)	
Şeffaf mat UV yağı (T9115-0000) (8 g/m ²) + UV lamba kurutma uygulaması (314 mJ/cm ²) (2 defa)	

2.2.2. Hızlandırılmış yaşlandırma uygulaması

Yapay yaşlandırma uygulaması, ISO 4892-3, (2016) standardına göre, 252 ve 504 saat süreleri boyunca UVB-313 lambalarına sahip 0,76 ışık yoğunluğu ve 60°C'de 8 saat UV ışık; 4 saat 50°C sıcaklıkta kondenzasyon buhar yoğunlaştırma uygulaması ortamına sahip koşullarından oluşan yaşlandırma cihazına (QUV weathering tester, Q-Lab, Westlake, OH, US) maruz bırakılmasıyla gerçekleştirilmiştir.

2.2.3. Renk ölçümlerinin belirlenmesi

UV vernikli deney örneklerine ait kırmızı renk (a^*) tonu, sarı renk (b^*) tonu ve ışıklılık (L^*) değerleri ASTM D2244-3 (2007) standardına göre, CS-10 colorimeter (CHN Spec, Çin) marka renk cihazında [Ölçüm koşulları: CIE 10° standart gözlemci; CIE D65 ışık kaynağı, Aydınlatma sistemi: 8/d (8°/dağınmak aydınlatma)] belirlenmiştir. CIELAB sisteminde, L^* eksenini, 100'den (beyaz) sıfıra

(siyah) kadar değişen açıklığı, a^* kırmızı (+) ile yeşil (-) tonu ve b^* sarıdan (+) maviye (-) tonu ifade etmektedir (Ayata, 2019). ΔL^* , Δb^* , ΔE^* ve Δa^* değerleri aşağıdaki formüller ile hesaplanmıştır.

$$\Delta a^* = a^*_{UV \text{ vernikli yaşlandırılmış}} - a^*_{UV \text{ vernikli yaşlandırılmamış}} \quad (1)$$

$$\Delta L^* = L^*_{UV \text{ vernikli yaşlandırılmış}} - L^*_{UV \text{ vernikli yaşlandırılmamış}} \quad (2)$$

$$\Delta b^* = b^*_{UV \text{ vernikli yaşlandırılmış}} - b^*_{UV \text{ vernikli yaşlandırılmamış}} \quad (3)$$

$$\Delta E^* = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (4)$$

Barański vd., (2017)'e göre renk değiştirme kriterleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Renk değiştirme kriterleri (Barański vd. 2017)

ΔE^* Değeri	→	Gözlem Sonucu
$\Delta E^* < 0,2$	→	Görünmez renk değişimi
$2 > \Delta E^* > 0,2$	→	Hafif renk değişimi
$3 > \Delta E^* > 2$	→	Yüksek filtrede görünür renk değişimi
$6 > \Delta E^* > 3$	→	Filtrenin ortalama kalitesiyle görülebilen bir renk değişimi
$12 > \Delta E^* > 6$	→	Yüksek renk değişimi
$\Delta E^* > 12$	→	Farklı renk

2.2.4. Parlaklık ölçümlerinin belirlenmesi

ISO 2813 (1994) standardına göre, parlaklık değerleri ETB-0833 model glossmeter cihazında (Vetus Electronic Technology Co., Ltd., CN) 20°, 60° ve 85°'de liflere paralel (//) ve dik (⊥) olacak şekilde belirlenmiştir.

2.2.5. Salınımsal sertlik değerinin belirlenmesi

ASTM D 4366-95 (1984)'e standardına göre köniğ metodu ile salınımsal sertlik testi bütün numuneler üzerinde belirlenmiştir. Sertlik cihazında HRC sertliğinde $63 \pm 3,3$ ve $5 \pm 0,0005$ mm çapında iki adet bilye bulunmaktadır.

2.2.6. Yüze yapışma direncinin belirlenmesi

ASTM D 4541 (1995) standardına göre yüze yapışma direnci değerleri PosiTest AT-A (automatic) pull-off Adhesion Tester (Defelsko® corp., S/N AT11802, USA) cihazında belirlenmiştir. 404 Plastik Çelik marka (Çekmeköy/İstanbul) hızlı yapıştırıcı (reçine ve katalizör) kullanılmıştır. UV sistem vernik uygulanmış malzemelerin yüzeyler 20 mm olan çekme silindirleri normal oda sıcaklığında $20^{\circ}\text{C}\pm 2$ yapıştırılmış olup, 24 saat süreyle kurumaya bırakılmıştır. Yapışma direnci 5 no'lu formül ile hesaplanmış olup, formülde verilen $X =$ yapışma direnci (MPa), $F =$ kopma anındaki kuvvet (Newton) ve $D =$ çekme silindirini çapı (mm) ifade etmektedir.

$$X = [(4 \times F) / (\pi \times d^2)] \quad (5)$$

2.3. İstatistik Analiz

Bu çalışmada, bir SPSS programı yardımıyla % değişim oranları, standart sapmalar, homojenlik grupları, minimum ve maksimum değerler,

ortalama değerleri ve varyans analizi hesaplanmıştır.

3. BULGULAR

Tablo 3'te renk parametrelerine (L^* , a^* ve b^*) ait belirlenmiş olan varyans analizi sonuçları gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre, L^* , a^* ve b^* parametreleri için uygulama metodu (A), yaşlandırma süresi (B) ve etkileşim (AB) anlamlı olarak elde edilmiştir.

Renk parametrelerine (L^* , a^* ve b^*) ait belirlenmiş olan SPSS sonuçları Tablo 4'te verilmiştir. Verilen bu sonuçlara göre, her iki tür vernik uygulaması için yaşlandırma uygulamalarından sonra L^* değerleri azalırken, a^* ve b^* değerlerinin arttığı görülmektedir. Kontrol örneklerinde bütün renk parametrelerine ait sonuçlar birbirlerine çok yakın olarak elde edilmiştir. Yaşlandırmadan sonra L^* 'deki azalmalar ve a^* 'da ki artışlar Ayata (2019), Gürleyen (2020; 2021), Ayata vd., (2021a) ve Çavuş (2021) tarafından yapılan çalışmalarda da görülmektedir.

Tablo 3. Renk parametrelerine (L^* , a^* ve b^*) ait belirlenmiş olan varyans analizi sonuçları

Test	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	$\alpha \leq 0.05$
L^*	Uygulama Metodu (A)	6,855	1	6,855	34,646	0,000*
	Yaşlandırma Süresi (B)	829,797	2	414,898	2097,066	0,000*
	Etkileşim (AB)	22,172	2	11,086	56,034	0,000*
	Hata	10,684	54	0,198		
	Toplam	191648,155	60			
a^*	Uygulama Metodu (A)	0,428	1	0,428	5,420	0,024*
	Yaşlandırma Süresi (B)	283,693	2	141,846	1794,500	0,000*
	Etkileşim (AB)	8,799	2	4,400	55,660	0,000*
	Hata	4,268	54	0,079		
	Toplam	22241,214	60			
b^*	Uygulama Metodu (A)	76,320	1	76,320	148,658	0,000*
	Yaşlandırma Süresi (B)	786,163	2	393,081	765,647	0,000*
	Etkileşim (AB)	103,279	2	51,640	100,584	0,000*
	Hata	27,723	54	0,513		
	Toplam	64646,340	60			

*: Anlamlı

Tablo 4. Renk parametrelerine (L^* , a^* ve b^*) ait belirlenmiş olan SPSS sonuçları

Test	Uygulama Metodu	Yaşlandırma Süresi	N	Ortalama	HG	Değişim (%)	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
L^*	3 kat ▶	Kontrol	10	62,14	A*	-	0,58	61,34	62,99
		252 saatlik	10	54,89	D	↓11,67	0,48	54,00	55,42
		504 saatlik	10	53,16	E	↓14,45	0,32	52,81	53,65
	5 kat ▶	Kontrol	10	60,57	B	-	0,37	60,01	61,30
		252 saatlik	10	55,93	C	↓7,66	0,48	55,31	56,96
		504 saatlik	10	51,65	F**	↓14,73	0,38	51,04	52,50
a^*	3 kat ▶	Kontrol	10	16,07	D**	-	0,26	15,56	16,33
		252 saatlik	10	20,90	B	↑30,06	0,38	20,29	21,50
		504 saatlik	10	20,66	B	↑28,56	0,35	20,13	21,35
	5 kat ▶	Kontrol	10	16,08	D	-	0,26	15,72	16,61
		252 saatlik	10	19,72	C	↑22,64	0,20	19,29	19,91
		504 saatlik	10	21,32	A*	↑32,59	0,18	21,12	21,78
b^*	3 kat ▶	Kontrol	10	27,41	D**	-	0,45	26,86	28,15
		252 saatlik	10	36,62	A	↑33,60	0,51	35,92	37,54
		504 saatlik	10	37,07	A*	↑35,24	0,95	35,93	38,44
	5 kat ▶	Kontrol	10	27,72	D	-	0,31	27,40	28,42
		252 saatlik	10	35,40	B	↑27,71	0,88	33,28	36,24
		504 saatlik	10	31,20	C	↑12,55	0,91	30,05	32,99

N: Ölçüm Sayısı, HG: Homojenlik Grubu,
*: En yüksek değeri ifade etmektedir, **: En düşük değeri ifade etmektedir.

Metot bölümünde verilen renk formülleri ile hesaplanmış olan toplam renk farklılıklarına ait sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir. Bu sonuçlara göre, her iki UV sistem vernik uygulamasında yaşlandırma süresinin artması ile ΔE^* değerlerinin arttığı görülmektedir. Ölçülen ve hesaplanan renk değişikliği değerleri, en fazla renk değişikliğinin 3 kat uygulamasına sahip hızlandırılmış yaşlanma sürecinin 504.cü saatin sonunda meydana geldiğini

göstermiştir. 3 kat uygulamanın ΔE^* değerleri, 5 kat uygulamanınkinden yüksek elde edilmiştir. Buna benzer sonuçlar Ayata vd., (2021a) ve Çavuş (2021) tarafından yapılan araştırmalarda da bildirilmiştir. Buna ek olarak, Barański vd., (2017)'ye göre Tablo 2'de verilen renk kategorisi ile kıyaslandığında, 3 kat uygulamasının “farklı renk” grubunda yer alırken, 5 kat uygulamasının “yüksek renk değişimi” grubunda yer aldığı görülmektedir.

Tablo 5. Toplam renk farklılıklarına ait sonuçları

UV sistem vernik uygulaması	Yaşlandırma Periyodu	Renk kriterine göre kıyaslamalar (Barański vd., 2017)	ΔE^*	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	
3 kat	252 saat ▶	$\Delta E^* > 12$	Farklı renk	12,67	-7,25	4,83	9,20
	504 saat ▶	$\Delta E^* > 12$	Farklı renk	13,96	-8,98	4,59	9,65
5 kat	252 saat ▶	$12 > \Delta E^* > 6$	Yüksek renk değişimi	9,68	-4,64	3,64	7,68
	504 saat ▶	$12 > \Delta E^* > 6$	Yüksek renk değişimi	10,91	-8,92	5,24	3,48

Parlaklık değerlerine ait belirlenmiş olan varyans analizi sonuçları Tablo 6'da gösterilmektedir. Elde edilen bu sonuçlara göre, bütün derecelerde ve bütün yönlerde uygulama metodu (A), yaşlandırma

süresi (B) ve etkileşim (AB) anlamlı olarak bulunmuştur.

Tablo 6. Parlaklık değerlerine ait belirlenmiş olan varyans analizi sonuçları

Test	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	$\alpha \leq 0.05$
//20°	Uygulama Metodu (A)	19,494	1	19,494	3927,896	0,000*
	Yaşlandırma Süresi (B)	4,097	2	2,049	412,791	0,000*
	Etkileşim (AB)	0,804	2	0,402	81,000	0,000*
	Hata	0,268	54	0,005		
	Toplam	82,680	60			
//60°	Uygulama Metodu (A)	1558,561	1	1558,561	31217,461	0,000*
	Yaşlandırma Süresi (B)	324,849	2	162,425	3253,310	0,000*
	Etkileşim (AB)	88,790	2	44,395	889,221	0,000*
	Hata	2,696	54	0,050		
	Toplam	6228,680	60			
//85°	Uygulama Metodu (A)	5096,817	1	5096,817	15410,308	0,000*
	Yaşlandırma Süresi (B)	545,658	2	272,829	824,903	0,000*
	Etkileşim (AB)	85,392	2	42,696	129,093	0,000*
	Hata	17,860	54	0,331		
	Toplam	18634,800	60			
└20°	Uygulama Metodu (A)	19,380	1	19,380	8112,628	0,000*
	Yaşlandırma Süresi (B)	5,610	2	2,805	1174,256	0,000*
	Etkileşim (AB)	1,630	2	0,815	341,233	0,000*
	Hata	0,129	54	0,002		
	Toplam	83,010	60			
└60°	Uygulama Metodu (A)	1252,180	1	1252,180	5501,402	0,000*
	Yaşlandırma Süresi (B)	223,381	2	111,691	490,708	0,000*
	Etkileşim (AB)	40,933	2	20,467	89,919	0,000*
	Hata	12,291	54	0,228		
	Toplam	4777,490	60			
└85°	Uygulama Metodu (A)	2928,811	1	2928,811	8177,651	0,000*
	Yaşlandırma Süresi (B)	208,083	2	104,042	290,499	0,000*
	Etkileşim (AB)	96,766	2	48,383	135,093	0,000*
	Hata	19,340	54	0,358		
	Toplam	8442,400	60			

*: Anlamlı

Tablo 7’de parlaklık değerlerine ait belirlenmiş olan SPSS sonuçları gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre, her iki UV sistem vernik uygulamasında 20°, 60° ve 85’lerde yapılan liflere paralel ve dik ölçümlerin hepsinde yaşlandırma sonlarında azaldığı görülmüştür (Tablo 7). Ayrıca 5 kat uygulamasına ait parlaklık değerlerinin 3 kat uygulamasına ait değerlerden ve liflere paralel parlaklık değerlerinin liflere dik parlaklık değerlerininin yüksek olduğu

da belirlenmiştir. Yaşlandırma uygulamalarından sonra en düşük azalma 5 kat uygulamasına sahip 252 saatlik yaşlandırma uygulamasının sonunda liflere dik 85°’de yapılan ölçümlerde %15,14 oranında bulunurken, en yüksek azalma 3 kat uygulamasına sahip 504 saatlik yaşlandırma uygulamasının sonunda liflere dik 60°’de yapılan ölçümlerde %61,43 oranında elde edilmiştir. UV kirlenmeli kimyasallara sahip ahşap malzemelerde

yapılan yaşlandırma uygulamaları sonlarında parlaklık değerlerini azaldığı Gürleyen (2020; 2021), Ayata (2019), Ayata vd., (2021a) ve Çavuş (2021) tarafından yapılan çalışmalarda da bildirilmiştir.

Tablo 7. Parlaklık değerlerine ait belirlenmiş olan SPSS sonuçları

Test	Uygulama Metodu	Yaşlandırma Süresi	N	Ortalama	Değişim (%)	HG	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
//20°	3 kat ▶	Kontrol	10	0,62	-	D	0,04	0,60	0,70
		252 saatlik	10	0,32	↓48,39	E	0,04	0,30	0,40
		504 saatlik	10	0,30	↓51,61	E**	0,00	0,30	0,30
	5 kat ▶	Kontrol	10	2,08	-	A*	0,15	1,90	2,30
		252 saatlik	10	1,36	↓34,62	B	0,05	1,30	1,40
		504 saatlik	10	1,22	↓41,35	C	0,04	1,20	1,30
//60°	3 kat ▶	Kontrol	10	4,82	-	D	0,06	4,70	4,90
		252 saatlik	10	3,11	↓35,48	E	0,24	2,90	3,70
		504 saatlik	10	2,04	↓57,68	F**	0,07	2,00	2,20
	5 kat ▶	Kontrol	10	18,45	-	A*	0,05	18,40	18,50
		252 saatlik	10	11,73	↓36,42	B	0,41	11,00	12,10
		504 saatlik	10	10,37	↓43,79	C	0,25	9,90	10,70
//85°	3 kat ▶	Kontrol	10	7,94	-	D	0,20	7,80	8,40
		252 saatlik	10	4,93	↓37,91	E	0,49	4,40	5,90
		504 saatlik	10	3,45	↓56,55	F**	0,34	3,00	3,90
	5 kat ▶	Kontrol	10	28,99	-	A*	0,16	28,70	29,30
		252 saatlik	10	23,90	↓17,56	B	0,33	23,00	24,10
		504 saatlik	10	18,73	↓35,39	C	1,21	17,10	20,10
⊥20°	3 kat ▶	Kontrol	10	0,60	-	D	0,00	0,60	0,60
		252 saatlik	10	0,30	↓50,00	E**	0,00	0,30	0,30
		504 saatlik	10	0,30	↓50,00	E**	0,00	0,30	0,30
	5 kat ▶	Kontrol	10	2,20	-	A*	0,00	2,20	2,20
		252 saatlik	10	1,25	↓43,18	B	0,07	1,20	1,40
		504 saatlik	10	1,16	↓47,27	C	0,10	1,00	1,30
⊥60°	3 kat ▶	Kontrol	10	4,33	-	D	0,07	4,30	4,50
		252 saatlik	10	2,37	↓45,27	E	0,09	2,30	2,60
		504 saatlik	10	1,67	↓61,43	F**	0,12	1,50	1,80
	5 kat ▶	Kontrol	10	15,80	-	A	0,12	15,60	16,00
		252 saatlik	10	10,24	↓35,19	B	0,96	8,70	10,90
		504 saatlik	10	9,74	↓38,35	C	0,64	8,80	10,70
⊥85°	3 kat ▶	Kontrol	10	3,28	-	D	0,26	2,70	3,40
		252 saatlik	10	1,93	↓41,16	E	0,15	1,80	2,10
		504 saatlik	10	1,73	↓47,26	E**	0,07	1,70	1,90
	5 kat ▶	Kontrol	10	19,81	-	A*	0,36	19,40	20,40
		252 saatlik	10	16,81	↓15,14	B	0,49	16,20	17,80
		504 saatlik	10	12,24	↓38,21	C	1,30	10,50	15,00

N: Ölçüm Sayısı, HG: Homojenlik Grubu,

*: En yüksek değeri ifade etmektedir, **: En düşük değeri ifade etmektedir.

Salımsal sertlik ve yüzeye yapışma direncine ait belirlenmiş olan varyans analizi sonuçları Tablo 8'de verilmiştir. Verilen bu sonuçlara göre, salımsal sertlik değeri için uygulama metodu (A), yaşlandırma süresi (B) ve etkileşim (AB) anlamlı elde edilmiştir. Buna ek olarak, yüzeye yapışma

direnci için uygulama metodu (A), yaşlandırma süresi (B) anlamlı olarak belirlenirken, etkileşim (AB) anlamsız olarak bulunmuştur.

Tablo 8. Salınımsal sertlik ve yüzeye yapışma direncine ait belirlenmiş olan varyans analizi sonuçları

Test	Varyans Kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kare	F Değeri	$\alpha \leq 0.05$
Salınımsal Sertlik	Uygulama Metodu (A)	434,028	1	434,028	116,085	0,000*
	Yaşlandırma Süresi (B)	84,500	2	42,250	11,300	0,000*
	Etkileşim (AB)	26,056	2	13,028	3,484	0,044*
	Hata	112,167	30	3,739		
	Toplam	44967,000	36			
Yapışma Direnci	Uygulama Metodu (A)	0,095	1	0,095	7,542	0,011*
	Yaşlandırma Süresi (B)	2,367	2	1,183	93,744	0,000*
	Etkileşim (AB)	0,032	2	0,016	1,276	0,298**
	Hata	0,303	24	0,013		
	Toplam	50,450	30			

*: Anlamlı, **: Anlamsız

Salınımsal sertlik ve yüzeye yapışma direncine ait belirlenmiş olan SPSS sonuçlarını Tablo 9 sunmaktadır. Bu sonuçlara göre, yüzeye yapışma direnci ve salınımsal sertlik değerlerinde her iki UV sistem vernik uygulaması için yaşlandırma uygulamalarından sonra azaldığı görülmüştür. 5 kat uygulamanın sertlik değerleri 3 kat uygulamasınınkinden yüksek elde edilmiştir. Her

iki UV sistem vernik uygulamasında yüzeye yapışma direnci için kontrol örnekleri birbirine yakın sonuçlar vermiştir. Yaşlandırmanın 504.cü saat sonrasında yapışma direncinde 3 kat uygulamasında %37,89'luk ve 5 kat uygulamasında %47,17'lik bir azalma görülmüştür.

Tablo 9. Salınımsal sertlik ve yüzeye yapışma direncine ait belirlenmiş olan SPSS sonuçları

Test	Uygulama Metodu	Yaşlandırma Süresi	N	Ortalama	HG	Değişim (%)	SS	Minimum	Maksimum
Salınımsal Sertlik	3 kat ▶	Kontrol	6	32,50	D	-	1,87	30,00	35,00
		252 saatlik	6	30,83	D**	↓5,14	2,32	28,00	34,00
		504 saatlik	6	31,50	D	↓3,08	1,38	30,00	33,00
	5 kat ▶	Kontrol	6	41,50	A*	-	1,87	39,00	44,00
		252 saatlik	6	35,67	C	↓14,05	2,16	33,00	39,00
		504 saatlik	6	38,50	B	↓7,23	1,87	36,00	41,00
Yapışma Direnci (MPa)	3 kat ▶	Kontrol	5	1,61	A*	-	0,13	1,49	1,81
		252 saatlik	5	1,34	B	↓16,77	0,06	1,25	1,40
		504 saatlik	5	1,00	D	↓37,89	0,09	0,87	1,08
	5 kat ▶	Kontrol	5	1,59	A	-	0,16	1,45	1,85
		252 saatlik	5	1,18	C	↓25,79	0,10	1,10	1,30
		504 saatlik	5	0,84	E**	↓47,17	0,12	0,65	0,96

N: Ölçüm Sayısı, HG: Homojenlik Grubu, SS: Standart Sapma

*: En yüksek değeri ifade etmektedir, **: En düşük değeri ifade etmektedir.

Yüzeye yapışma direncinin yapılan yaşlandırma uygulaması ile azaldığı UV vernik uygulanmış rose gum ve Karayip çamı (de Moura vd., 2013), limon (Ayata, 2019), doussie (Gürleyen, 2021) ve gülbrişim (Gürleyen, 2020) odunlarına ait olan çalışmalarda da rapor edilmiştir. Aşınmayı önlemek için kaplamaların kullanılmasına rağmen, kaplamanın altındaki ahşabın bozulması, düşük oranda da olsa yine de meydana gelmektedir (Esposito Corcione ve Frigione, 2011; 2012). Malzeme hava koşullarının bozulan unsurlarına dayanamıyorsa, iyi mekanik özelliklere sahip bir malzeme seçmek tatmin edici değildir. Yüksek

sıcaklığın etkisi, güneş ışığının ultraviyole (UV) ışınlarına maruz kalma, yağmur ve nem kompozit malzemede bozulmaya neden olur ve sonuç olarak mekanik performansını düşürmektedir (Brennan ve Fedor, 2006).

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

Bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Yaşlandırma uygulamalarından sonra iki tür vernik uygulaması için a^* ve b^* değerleri artarken, L^* değerlerinin azaldığı sonucuna ulaşılmıştır.
- Yaşlandırmalardan sonra ΔE^* değerlerinin 3 kat uygulamasında “farklı renk” kategorisini verirken, 5 kat uygulaması “yüksek renk değişimi” kategorisini vermiştir.
- Her iki UV sistem vernik uygulamasına ait bütün derece ve yönlerdeki parlaklık değerlerinin varyans analizi sonuçları anlamlı elde edilmiş olup, yaşlandırma sonralarında azaldıkları görülmüştür.
- Yüzeye yapışma direnci değerlerinde her iki UV sistem vernik uygulaması için yaşlandırma uygulamalarından sonra azaldığı görülmüştür. Yüzeye yapışma direnci her iki UV sistem vernik uygulamasına ait kontrol örneklerinde birbirine yakın sonuçlar sunmuştur.
- Salımsal sertlik değerlerinde her iki UV sistem vernik uygulaması için varyans analizi sonuçları anlamlı olduğu ve yaşlandırma uygulamalarından sonra azaldığı tespit edilmiştir. 3 kat uygulamanın sertlik değerleri 5 kat uygulamasınınkinden düşük olduğu belirlenmiştir.
- Elektron mikroskopu karakterizasyon teknikleri kullanılarak kaplamada ve ahşap substratta nanopartiküllerin tutulmasını ve dağılımını incelemek için daha fazla çalışma yapılabilir. Buna ek olarak, nanoparçacıkların dağılımı, farklı dağılım teknikleri kullanılarak ayrıca değerlendirilebilir.

KAYNAKLAR

Ashton H. E. (1980). Predicting durability of clear finishes for wood from basic properties, Proceedings of the Joint Symposium of the Montreal and Toronto Societies for Coatings Technology, 52(663).

Assadi M. (1998). Cupressaceae in: Flora of Iran. Assadi M., Khatamsaz M., Maassoumi A.A. and Mozaffarian V., eds. No. 21, (in Persian), Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, pp. 19-20 and 27-28.

ASTM D 2244-3, (2007). Standard practice for calculation or color tolerances and color, differences from instrumentally measured color coordinates, ASTM International, West Conshohocken, PA.

ASTM D 4366-95, (1984). Standard test methods for hardness of organic coatings by pendulum test, ASTM, Philadelphia, PA.

ASTM D 4541, (1995). Standard test method for pull-off strength of coatings using portable adhesion testers, ASTM International, West Conshohocken, PA.

Ayata Ü., Çakıcıer N., Gürleyen L. (2021b). UV kürlenmeli vernik uygulanmış sedir odununun yapay yaşlandırma uygulaması sonrasında bazı yüzey özelliklerinin belirlenmesi. Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi, 4(2): basımda.

Ayata U., Gurleyen L., Cakicier N. (2016). The determination of the surface adhesion resistance and pendulum hardness values on laminated parquets of a UV system varnish applied oak wood derived by using different water-based paints, International Forestry Symposium, 07-10 December, Kastamonu, Turkey, 827-831.

Ayata Ü. (2019). Effects of artificial weathering on the surface properties of ultraviolet varnish applied to lemonwood (*Citrus limon* (L.) Burm.), Bioresources, 14(4), 8313-8323.

Ayata Ü., Cavus V. (2018). The determination of the surface adhesion resistance and pendulum hardness on the parquets applied UV varnish as single and double layers, Journal of Engineering Sciences and Design, 6(4), 541-545.

Ayata Ü., Çakıcıer N., Gürleyen L. (2021a). İç mekânda kullanılan UV sistem parke verniği uygulamasına sahip kayısı odununda yapay yaşlandırma performansının belirlenmesi, Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi, 4(1), 40-50.

Ayata Ü., Esteves B., Gürleyen L., Çakıcıer N., Ferreira J., Domingos I., Türk M. (2021c). Effect of accelerated ageing on some surface properties of UV-coated hackberry (*Celtis australis* L.) wood parquet, Drevno, 64(208): basımda.

Ayata Ü., Gurleyen L., Esteves B., Gurleyen T., Cakicier N. (2017a). Effect of heat treatment (ThermoWood) on some surface properties of parquet beech (*Fagus orientalis* Lipsky.) with different layers of UV system applied, BioResources, 12(2), 3876-3889.

Ayata Ü., Gürleyen T., Gürleyen L., Esteves B., Çakıcıer N. (2017b). 212°C’de 2 saat süreyle ısıtılmış işlem görmüş (ThermoWood) ve tek/çift kat UV sistem parke vernik uygulanmış dişbudak (*Fraxinus excelsior*)

odununda bazı yüzey özelliklerinin belirlenmesi, 5. Uluslararası Mühendislik ve Bilim Alanında Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu, Mimarlık ve İnşaat Üniversitesi, 29 Eylül-01 Ekim, Bakü, Azerbaycan, 1318-1326.

Ayata Ü., Şahin S., Gürleyen L., Esteves B. (2018). UV sistem vernik uygulanmış lamine parkelerde yüzeye yapışma direnci üzerine termal yaşlandırmanın etkisi, Multidisipliner Çalışmalar-3 (Sağlık ve Fen Bilimleri), Gece Kitaplığı Yayınevi, Birinci Basım, Ocak 2018, Editörler: Rıdvan KARAPINAR, Murat A. KUŞ, Ankara, Türkiye, 301-311.

Barański J., Klement I., Vilkovská T., Konopka A. (2017). High temperature drying process of beech wood (*Fagus sylvatica* L.) with different zones of sapwood and red false heartwood, *BioResources*, 12(1), 1861-1870.

Bongiovanni R., Montefusco F., Priola A., Macchioni N., Lazzeri, S., Sozzi L., Ameduri B. (2002). High performance UV-cured coatings for wood protection, *Progress in Organic Coatings*, 45(4), 359-363.

Borrelly D. F. (2002). Estudo comparativo da degradação de poliestireno e de poliestireno de alto impacto por envelhecimento natural e artificial, São Paulo: São Paulo.

Brennan P., Fedor C. (2006). Sunlight, ultraviolet, and accelerated weathering, In A. A. Tracton (Ed.), *Coatings Technology Handbook*, Boca Raton: CRC Press.

Çavuş V. (2020). Kokulu ardıç odununun bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine bir araştırma, *Mobilya ve Ahşap Malzeme Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 1-9.

Çavuş V. (2021). Weathering performance of mulberry wood with UV varnish applied and its mechanical properties, *BioResources*, 16(4), 6791-6798.

de Moura L. F., Brito J. O., Nolasco A. M., Uliana L. R., De Muniz G. I. B. (2013). Evaluation of coating performance and color stability on thermally rectified *Eucalyptus grandis* and *Pinus caribaea* var. *hondurensis* woods, *Wood Research*, 58(2), 231-242.

Dickie R. A. (1994). Chemical Origins of Paint Performance, *Journal of Coatings Technology*, 66(834), 28-37.

Elambasseril J., Ibrahim R. N., Das R. (2011). Evaluation of fracture characteristics of ceramic coatings on stainless steel substrates using

circumferentially notched tensile specimens, *Composites Part B: Engineering*, 42(6), 1596-1602.

Esposito Corcione C., Frigione M. (2011). UV-cured siloxane-modified acrylic coatings containing birifrangent calcarenitic stone particles: photo-thermal analysis and surface properties, *Progress in Organic Coatings*, 72(3), 522-527.

Esposito Corcione C., Frigione M. (2012). UV-cured polymer-boehmite nanocomposite as protective coating for wood elements, *Progress in Organic Coatings*, 74(4), 781-787.

Fouassier J. P., Rabek J. F. (1993). *Radiation Curing in Polymer Science and Technology*, vols. 1-4, Elsevier, London.

González-López M. E., del Campo A. S. M., Robledo-Ortiz J. R., Arellano M., Pérez-Fonseca, A. A. (2020). Accelerated weathering of poly(lactic acid) and its biocomposites: A review, *Polymer Degradation and Stability*, 179, 109290.

Grimshaw J., Bayton R., Wilks H. (2009). *New Trees: Recent Introductions to Cultivation*, Kew Publishing; Illustrated edition (19 May 2009).

Gurleyen L. (2021). Effects of artificial weathering on the color, gloss, adhesion, and pendulum hardness of UV system parquet varnish applied to doussie (*Azela africana*) wood. *BioResources*, 16(1), 1616-1627.

Gurleyen L., Ayata, U., Esteves B., Cakicier N. (2017a). Effects of heat treatment on the adhesion strength, pendulum hardness, surface roughness, color and glossiness of scots pine laminated parquet with two different types of UV varnish application, *Maderas-Ciencia y Tecnologia*, 19(2), 213-224.

Gurleyen L., Ayata, U., Esteves B., Gurleyen T., Cakicier N. (2019). Effects of thermal modification of oak wood upon selected properties of coating systems, *Bioresources*, 14(1), 1838-1849.

Gurleyen L. (2020). UV sistem parke verniği uygulanmış gülibrişim (*Albizia julibrissin*) odununda bazı yüzey özellikleri üzerine yapay yaşlandırmanın etkisi, *Türkiye Ormanlık Dergisi*, 21(4), 451-460.

Gurleyen T., Ayata Ü., Gürleyen L., Esteves B., Çakıcıer N. (2017b). Üvez (*Sorbus* L.) odununa uygulanan tek ve çift kat UV Sistem parke vernik katmanlarında renk, parlaklık ve salınımsal sertlik değerlerinin belirlenmesi, 5. Uluslararası Mühendislik

ve Bilim Alanında Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu, Mimarlık ve İnşaat Üniversitesi, 29 Eylül -01 Ekim, Bakü, Azerbaycan, 1327-1336.

Gürleyen T., Ayata Ü., Gürleyen L., Esteves B., Sivrikaya H., Can A. (2017c). Tek ve çift kat UV vernik sistemi uygulanmış parkelerde renk ve parlaklık değerlerinin belirlenmesi, 2. Uluslararası Malzeme Bilimi ve Teknolojisi Konferansı Kapadokya (IMSTEC 2017), 11-13 Ekim, Nevşehir, Türkiye, 408-412.

Hayoz P., Peter W., Rogez, D. (2003). A new innovative stabilization method for the protection of natural wood, *Progress in Organic Coatings*, 48, 297-309.

Herrera R., Sandak J., Robles E., Krystofiak T., Labidi J. (2018). Weathering resistance of thermally modified wood finished with coatings of diverse formulations, *Progress in Organic Coatings*, 119, 145-154.

Hong W., Guo F., Chen J., Wang X., Zhao X., Xiao P. (2018). Bioactive glass-chitosan composite coatings on PEEK: Effects of surface wettability and roughness on the interfacial fracture resistance and in vitro cell response, *Applied surface science*, 440, 514-518.

ISO 2813, (1994). Paints and varnishes - determination of specular gloss of non-metallic paint films at 20 degrees, 60 degrees and 85 degrees, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

ISO 4892-3, (2016). Plastics - Methods of exposure to laboratory light sources - Part 3: Fluorescent UV lamps, The International Organization for Standardization.

Kaygin B., Akgun E. (2009). A nano-technological product: An innovative varnish type for wooden surfaces, *Scientific Research and Essay*, 4(1), 001-007.

Kiguchi M., Evans P. D., Ekstedt J., Williams R. S., Kataoka Y. (2001). Improvement of the durability of clear coatings by grafting of UV-absorbers on to wood, *Surface Coatings International Part B: Coatings Transactions*, 84(B4), 243-336.

Komarov V. L. (1968). Flora of the U.S.S.R., Israel Program for Scientific Translation.

Li X., Wang D., Zhao L., Hou X., Liu L., Feng B., Li M., Zheng P., Zhao X., Wei S. (2021). UV LED curable epoxy soybean-oil-based waterborne PUA resin for wood coatings, *Progress in Organic Coatings*, 151, 105942.

Pappas S. P. (1992). Radiation Curing, Science and Technology, Plenum Press, New York, Chapter 1.

Sabeti H. (1975). Forests, Trees and Shrubs of Iran (in Persian). Ministry of Information and Tourism Press, Tehran. pp. 420 and 424-425.

Salca E. A., Krystofiak T., Lis B., Mazela B., Proszyk S. (2016). Some coating properties of black alder wood as a function of varnish type and application method, *BioResources*, 11(3), 7580-7594.

Shi X., Fernando B. M. D., Croll S. G. (2008). Concurrent physical aging and degradation of crosslinked coating systems in accelerated weathering, *Journal of Coatings Technology and Research*, 5(3), 299-309.

Söğütü C., Sönmez A. (2006), Değişik koruyucular ile işlem görmüş bazı yerli ağaçlarda UV ışınlarının renk değiştirici etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(1), 151-159.

Stachowiak-Wencek A. (2019). Influence of the packing method of wood products on the emission of volatile organic compounds, *Wood Research*, 64(3), 515-528.

TS 2471 (1976). Odunda fiziksel ve mekaniksel deneyler için rutubet miktarı tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Tunalier Z., Kirimer, N., Baser K. H. C. (2004). A potential new source of cedarwood oil: *Juniperus foetidissima* Willd., *Journal of Essential Oil Research*, 16(3), 233-235.

Vardanyan V., Poaty B., Chauve G., Landry V., Galstian T., Riedl B. (2014). Mechanical properties of UV-waterborne varnishes reinforced by cellulose nanocrystals, *Journal of Coatings Technology and Research*, 11(6), 841-852.

Viengkhou V., Ng L. T., Garnett J. L. (1996). Role of additives on UV curable coatings on wood, *Journal of Applied Polymer Science*, 61(3), 2361-2366.

Wang J., Wu H., Liu R., Long L., Xu J., Chen M., Qiu H. (2019). Preparation of a fast water-based UV cured polyurethane-acrylate wood coating and the effect of coating amount on the surface properties of oak (*Quercus alba* L.), *Polymers*, 11, 1414.

Zhao Z., Niu Y., Chen F. (2021). Development and finishing technology of waterborne UV lacquer-coated wooden flooring, *BioResources* 16(1), 1101-1114.

Yalçın Ö. F. Basit Mesnetli Köprülerde Hareketli Yük Dağılım Faktörleri Denklemlerinin Yapay Sinir Ağları ile Elde Edilmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 35(3), 609-622.

Yaseen Z. M., Afan H. A., Tran M. T. (2018, April). Beam-Column Joint Shear Prediction Using Hybridized Deep Learning Neural Network With Genetic Algorithm. In Iop Conference Series: Earth And Environmental Science, 143(1), (P. 012025). Iop Publishing.

Yavuz G., Arslan M. H., Baykan O. K. (2014). Shear Strength Predicting Of Frp-Strengthened Rc Beams By Using Artificial Neural Networks. Science And Engineering Of Composite Materials, 21(2), 239-255.

Yörübulut S., Dogan O., Erdugan F., Yörübulut S. (2019). Tahribatsız Yöntem Verileri Kullanılarak Yapay Sinir Ağı ve Regresyon Yöntemi ile Beton Basınç Dayanımının Tahmin Edilmesi. Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 12(2), 769-776.

Yurtcu Ş., Özocak, A. (2016). İnce Daneli Zeminlerde Sıkışma İndisi'nin İstatistiksel ve Yapay Zekâ Yöntemleri ile Tahmin Edilmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31(3).

Zhang W., Li H., Li Y., Liu H., Chen Y., Ding X. (2021). Application of deep learning algorithms in geotechnical engineering: a short critical review. Artificial Intelligence Review, 1-41.

Zhang Y., Burton H. V., Sun H., Shokrabadi M. (2018). A Machine Learning Framework For Assessing Post-Earthquake Structural Safety. Structural Safety, 72, 1-16.

Zhong B., Xing X., Love P., Wang X., Luo H. (2019). Evrişimli Sinir Ağı: Bina Kalitesi Problemlerinin Derin Öğrenmeye Dayalı Sınıflandırılması. İleri Mühendislik Bilişimi, 40, 46-57.

Removal of Reactive Black 5 Dye from Waste Water by Photocatalytic Method Using TiO₂ Catalyst

Bahdişen GEZER*¹ , Raşen GEZER² , Can GEZER³ 

¹Uşak University, Engineering Faculty, Department of Electrical-Electronics Engineering, Uşak, 64300, Turkey

²Sofia Medical Faculty, Medical Practitioner, Sofia, 1000, Bulgaria

³Sofia Technical University, Engineering Faculty, Department of Aviation Engineering, Sofia, 1000, Bulgaria

Research Article, Received Date: 13.12.2021, Accepted Date: 31.12.2021

Abstract

Water pollution, which is one of the most important environmental problems of recent years, and the pollution caused by these, are faced with water scarcity in the future. For this reason, advanced treatment of wastewater generated by the production facilities of dyehouses that consume high amounts of water in the textile industry is very important. As a result of improper treatment of these wastewaters, it has toxic and carcinogenic effects on humans and the living environment. Most of the classical treatment methods are insufficient because the complex structures of the dyestuffs make it difficult to treat the water they pollute. Today, the photocatalytic method, which is an advanced treatment technique, has started to be used in dye removal. In this study, TiO₂ catalyst was used as a catalyst in the removal of Reactive Black 5 dye by the photocatalytic oxidation process. The reactor used for the experiments was designed in the laboratory and UV-C lamps were used as the ultraviolet light source. The properties of the catalyst were revealed by SEM-EDX and FTIR analysis. As a result of the results obtained, 0.50 g TiO₂ was found to be sufficient to remove Reactive Black 5 from synthetic wastewater with approximately 98.7% efficiency for TiO₂ (2.0 g/L)/UV and 400 mg/L Reactive Black 5 concentration. As a result, it has been seen that zinc-containing wastes generated in industries can be used for color removal by the photocatalytic oxidation process. In this way, the catalyst cost in photocatalytic oxidation processes and accordingly the operating cost can be reduced and waste recovery and/or minimization can be achieved within the metal recycling industries. As a result, it has been seen that TiO₂-containing wastes generated in industries can be used for dye removal by the photocatalytic oxidation process. In addition to its working, the efficiency and reuse suitability of the catalyst were evaluated and compared.

Keywords: TiO₂, Photocatalytic, Reactive Black 5, Catalyst, Adsorption.

TiO₂ Katalizörü Kullanılarak Fotokatalitik Yöntemle Reactive Black 5 Boyarın Atık Sudan Giderimi

Özet

Son yılların en önemli çevre sorunlarından biri olan su kirliliği ve bunların yol açtığı kirlilik, gelecekte su kıtlığı ile karşı karşıya kalmaktadır. Bu nedenle tekstil endüstrisinde yüksek miktarda su tüketen boyahanelerin üretim tesislerinden kaynaklanan atık suların ileri arıtımı çok önemlidir. Bu atık suların uygun olmayan şekilde arıtılması sonucunda insanlar ve yaşam ortamı üzerinde toksik ve kanserojen etkileri bulunmaktadır. Boyar maddelerin karmaşık yapıları kirlittikleri suların arıtılmasını zorlaştırdığı için klasik arıtma yöntemlerinin çoğu yetersiz kalmaktadır. Günümüzde ileri bir arıtma tekniği olan fotokatalitik yöntem boya gideriminde

kullanılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada, Reaktif Black 5 boyarın fotokatalitik oksidasyon prosesi ile gideriminde, katalizör olarak TiO₂ katalizörü kullanılmıştır. Deneyler için kullanılan reaktör laboratuvarında tasarlanmış olup Ultraviyole ışık kaynağı olarak UV-C lambaları kullanılmıştır. Katalizörünün özellikleri SEM-EDX ve FTIR analizleri ile ortaya konulmuştur. Elde edilen sonuçlar neticesinde, TiO₂ (2,0 g/L)/UV ve 400 mg/L Reaktif Black 5 konsantrasyonu için sentetik atık sudan yaklaşık %98,7 verimle Reaktif Black 5 giderilmesi için 0,50 g TiO₂'in yeterli olduğu bulunmuştur. Sonuç olarak, endüstrilerde oluşan çinko içerikli atıkların fotokatalitik oksidasyon prosesi ile renk gideriminde kullanılabileceği görülmüştür. Bu şekilde, fotokatalitik oksidasyon proseslerinde katalizör maliyeti ve buna bağlı olarak işletme maliyeti azaltılabilecek ve metal geri dönüşüm endüstrileri içinde atık geri kazanımı ve/veya minimizasyonu sağlanabilecektir. Sonuç olarak, endüstrilerde oluşan TiO₂ içerikli atıkların fotokatalitik oksidasyon prosesi ile boya gideriminde kullanılabileceği görülmüştür. Çalışmasının yanı sıra katalizör kullanıldığında alınan verim ve tekrar kullanıma uygunlukları değerlendirilmiş ve kıyaslanmıştır.

Anahtar Kelimeler: TiO₂, Fotokatalitik, Reaktif Black 5, Katalizör, Adsorpsiyon.

*Corresponding Author bahdisengezer@gmail.com, ²gezerrahsen@gmail.com, ³cangezer2000@gmail.com

1. INTRODUCTION

Today, with the development of industrialization, environmental pollution is increasing every year and causes irreparable damage to the world. Pollution of water resources, which is a source of life for humans and the living environment, has become one of the most important global problems that adversely affect the health of living things. Every year, large amounts of wastewater are discharged into water sources without being treated or sufficiently treated. Among the different water pollutants, dyestuffs are one of the main pollutants. Dyes can be classified into various classes such as acid, basic, direct, disperse, metallic, mordant, pigment, reactive, solvent, and sulfur; It is used in various industries such as fabric, leather, paper, food, cosmetics, agricultural research, medicine, and electroplating. More than 10,000,000 tons of commercial dyes are produced annually, of which 65% is consumed in the textile industry (Couto, 2009; Natarojan et al., 2018).

In the textile industry, which has an important place in the Turkish export market, the textile industry wastes water, which is formed due to very high water consumption and excessive use of chemicals/dyes, poses an important problem for the environment (Özyonar and Karagözoğlu, 2012; Sarayu et al., 2012). It is assumed that 20% of these are disposed of as industrial waste during textile dyeing processes (Ram et al., 2012). When producing 1 kg of textile, approximately 200 L of water is polluted (Petçü et al., 2016). Discharge of color-containing wastewater to the

receiving environment causes a problem for plant and animal life in these environments due to the decrease in light transmittance in the receiving environment (Ram et al., 2012; Petçü et al., 2016). In addition, these wastewaters pose a great danger to humans and living life because they have toxic and carcinogenic effects due to the dyes they contain (Verma et al., 2012).

Textile wastewater is considered to have high chemical oxygen demand values due to its high content of inorganic and organic dissolved substances, variable pH, and the presence of poorly biodegradable compounds (Natarojan et al., 2018). The dye prevents sunlight from entering the water even at low concentrations and reduces the gas solubility in water (Crini et al., 2008; Zhou et al., 2019). Thus, it inhibits the growth of aquatic organisms and prevents photosynthesis. They may also have acute or chronic effects on organisms, depending on their concentration and exposure time. For example, it can be mutagenic, carcinogenic, cause respiratory problems in humans, central nervous system disorders, behavioral problems, and allergic reactions (Pan et al., 2012; Natarojan et al., 2018). Therefore, the elimination or reduction of the toxicity of dyestuffs as well as the removal of dyestuffs has gained great importance today.

Physical, chemical, and biological methods are used for the treatment of dye-containing wastewater (Verma et al., 2012). Biological treatment is a common and ecological method in wastewater treatment. However, dyes are generally not biodegradable due to their complex chemical structure. Therefore, the biological

method of removing dyes is often unsatisfactory. The disposal of sludge in the biological treatment process requires additional costs and labor. Physical and chemical processes such as sedimentation, adsorption, chlorination, ozonation, flocculation, reverse osmosis, and ultrafiltration can also be used for color removal from textile wastewater (Ram et al., 2012). Although physical and chemical methods are effective, the sludge generated during the treatment process brings additional costs (Daneshvai et al., 2003; Georgiou et al., 2002; Moradi et al., 2015). In addition, the chemicals used can cause secondary pollution. Although membrane systems such as ultrafiltration and reverse osmosis are effective, they are not preferred for dye removal due to their short life and high costs (Zhou et al., 2019; Shamraiz et al., 2016). Therefore, alternative treatment methods were needed. The toxicological effects of textile dyestuffs will never decrease unless appropriate methods are used (Nandhini et al., 2019; Ghaedi et al., 2015).

In recent years, there has been increasing interest in photolytic reactions in semiconductor particles for the complete removal of dyes from wastewater (Neppolian et al., 1999). The photocatalytic system consists of a catalyst and an ultraviolet light source. This method is a fast, non-selective and effective method based on the production of hydroxyl radicals. In this process, organic substances are converted into H₂O, CO₂, and other non-toxic inorganic compounds and do not create secondary pollution wastewater (Neppolian et al., 1999). The band energy gap of the catalyst material plays a major role in the photocatalytic degradation of any dyestuff compound present in water. For the process to be effective, the photon energy must be greater than or equal to the band energy gap level of the catalyst. This activity ends with the excitation of the molecule (Kaneko et al., 2011). Electron and electron-hole pairs are formed in an exciting semiconductor. If this process is reversed and the electron and the resulting electron-hole are recombined, the purification efficiency will decrease. In the literature, it has been reported that semiconductors with bandgap levels in the range of 2.0 to 3.3 eV are effectively used as photocatalysts in wastewater treatment (Souza et al., 2016).

The aim of this study is to investigate the adsorption removal of Reactive Black 5 (RB5) dyestuff with TiO₂ catalyst. TiO₂ catalyst is the most widely used catalyst due to its high photocatalytic activity and high stability in an aqueous solution. However, it is not economical enough. (Sarayu et al., 2012; Pan et al., 2012). In this study, the complete removal of Reactive Black 5 (RB5)

dyestuff from the water was investigated. Toxicity tests were carried out in the optimum conditions obtained, and the effect of the treated water on the receiving environment was determined.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Material

Reagent Black 5, NaOH, and H₂SO₄ were obtained from Merck. Distilled water was used in all experimental studies. In the study, C.I. was used as a dyestuff to prepare reactive dye wastewater samples. Reactive Black 5 is used. Figure 1 shows Reactive Black 5 used in experimental studies. Its chemical formula is given. Commercially purchased TiO₂ nanoparticles Sigma

It was obtained from the Aldrich company.

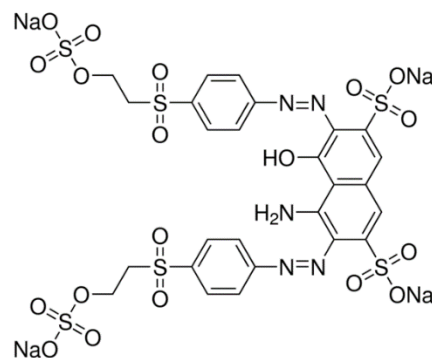


Figure 1. Chemical structure of Reactive Black 5

2.2. Dyestuff and Measurement

Reagent Black 5 (RB5) dyestuff was obtained from a local textile company in Uşak. Determination of the residual dyestuff concentration in the liquid phase, in the spectrophotometer (Chebios Optimum-one) was carried out by reading the samples over the calibration curve prepared at a wavelength of 531 nm.

2.3. Experimental Method

400 l of Reagent Black 5 aqueous solutions were prepared for the experiments. Powder catalysts were added to the solutions and the reaction was carried out under artificial UV-C light. The solution was stirred with a magnetic stirrer at a constant speed during the reaction. After the catalysts were added to the solution, the solution was stirred for 1 minute without turning on the UV-C lamps. The first sample is taken and the sample is named "0 min" in the charts. Then, the UV-C lamps were turned on and a water sample was taken every 40 minutes for 2000 minutes. The catalysts in the

samples were separated with a 0.45-micron filter. These filters cannot retain Reagent Black 5 dyestuffs. Color values of the samples were measured by spectrophotometric method and reaction yield percentages were calculated. The pH values of the solutions were adjusted to the desired values using 0.01N NaOH and 0.01N H₂SO₄.

2.4. Photocatalytic Studies

Photocatalytic studies were carried out in a UV photoreactor with 15 UV-A lamps at a constant temperature of 30°C. Experimental studies were carried out in an active volume of 300 mL, and magnetic stirring was performed at a constant speed to ensure the homogeneity of the solution. 10 min before the experimental run. The adsorption-desorption process was carried out by keeping the lamps closed. pH adjustment in the studies was provided with 1 M HNO₃ and 1 M NaOH. In order to determine the effect of photocatalytic oxidation time on Reagent Black 5 removal, 0-180 min. photocatalytic oxidation was done. In order to determine the effect of starting Reagent Black 5 concentration on Reagent Black 5 removal, a range of 10-50 mg/L was studied. In order to determine the effect of TiO₂ catalyst concentration, studies were carried out in the range of 0.25-2.0 g/L catalyst amount. In order to determine the effect of solution pH on Reagent Black 5 oxidation, experiments were carried out in the pH range of 3-11 (Pan et al., 2012).

In experimental studies, 10 mL samples were taken and processed at 5000 rpm for 8 minutes. The TiO₂ catalyst was separated from the sample by centrifugation. Reagent Black 5 concentration was determined by reading with a UV spectrophotometer in the upper phase of the centrifuge sample.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Characterization Results

The XRD analysis result of the sample in Figure 2 is shown. From the figure, the most intense peaks are 25,281 in the (101) plane; 48,050 in the (200) plane; 37,801 in (004) plane; 53,891 in (105) plane; 55,061 in (211) plane; Compliance with JCPDS card number 21-1272 according to JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards) standards created by ICDD (International Center for Diffraction Data) with 62,690 angles in (204) plane shows. In addition, increasing the XRD peak widths indicates that the grain size is small. As the peak widens, the crystal and grain size decreases, which increases the photocatalytic activity of TiO₂.

SEM images of commercially purchased TiO₂ nanoparticles are available. With SEM images, detailed information about the size, shape, and morphology of the material is obtained. The SEM image obtained in this study shows that the material is smaller in scanning and there is no agglomeration from the image in figure 3. It is clearly seen that the materials are spherical and an even more homogeneous appearance is provided.

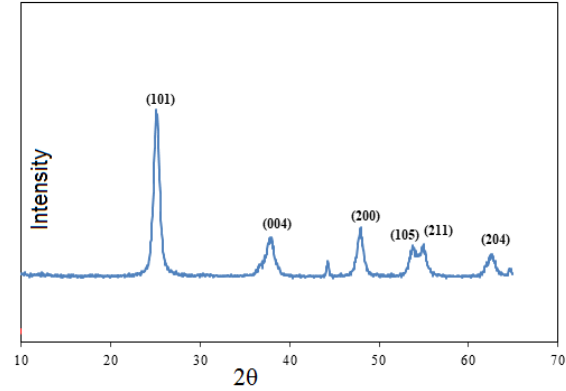


Figure 2. XRD analysis result of TiO₂ catalyst

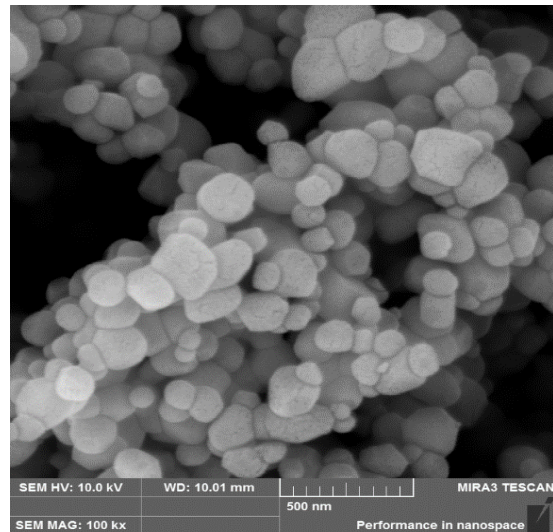


Figure 3. SEM image of TiO₂ catalyst used in the experiment

Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR, Bruker Model:Tensor II) was used. All measurements were examined using the powder form of the materials. In Figure 4, the FTIR of TiO₂ nanoparticles spectra is given. According to this spectrum, it can be said that the strong band in the range of 500-660 cm⁻¹ is related to the characteristic state of TiO₂. In addition, the peak close to 500 cm⁻¹ is due to the typical Ti-O-Ti vibration (Lei et al., 2014; Vasei et al., 2014, Hamaloğlu et al., 2019).

Figure 4 shows the result of the FTIR analysis of TiO₂ nanoparticles. The peak seen at 3000-3500 cm⁻¹ is hydroxyl. It is based on the O-H stretching vibration of functional groups. It has been revealed that the absorption peaks at 1650, 1540, and 1200-1360 cm are related to the amide I, amide II, and amide III of the proteins from the C=O, C-N, and N-H vibrations, respectively (Li et al., 2014). Peaks appearing in the range of TiO₂ 400-700 cm⁻¹, Ti-O, and Ti-O-Ti correspond to stretching vibrations (Sharaf El-Deen and Zhang 2016).

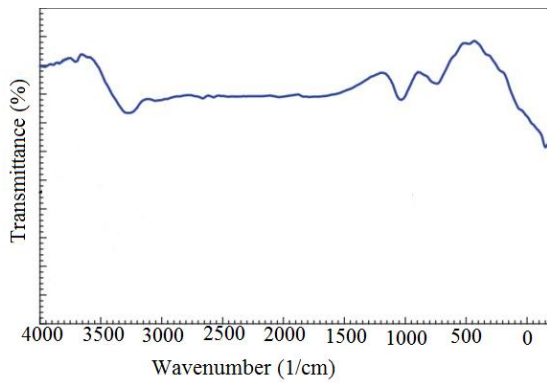


Figure 4. FTIR analysis result of TiO₂ catalyst

3.2. Adsorption Results

3.2.1. pH Effect

The pH of the water is an important parameter for the catalyst surface due to its amphoteric properties. In the system, the surface charge of the catalyst is very important since the dye molecules are adsorbed on the surface and decomposed and OH• radicals are formed on the surface (Souza et al., 2016). pH to find the optimum pH values; It was worked for 180 minutes at the values of 2.0, 4.0, 6.0, and 8.0. In the study, 2.0 g/L catalysts, 3 UV-C lamps, 25 mg/L concentration of Reagent Black 5 aqueous solution were used. The graph of the color removal efficiencies of the analyzes made with TiO₂ is given in Figure 5. As can be seen from the figure, the maximum removal efficiency was found to be 99.75% at pH 2.0. In a study on pesticide removal with TiO₂, it was stated that the optimum pH value was in the pH 3-4 range (Zhu et al., 2005). TiO₂ surface becomes positively charged as the ambient pH drops below pH 6.8, which is the isoelectric value of TiO₂. The positively charged surface is covered with OH⁻ ions, thus increasing the production of hydroxyl radicals in the environment. In cases where the pH is higher than 6.8, the OH radical density decreases, and

thus the treatment efficiency decreases (Guettai et al., 2005).

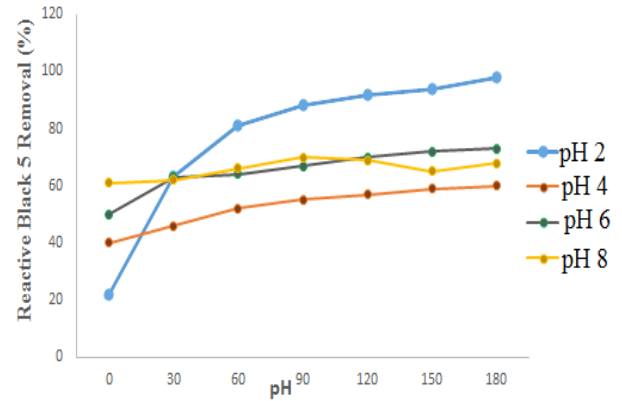


Figure 5. The effect of pH on the Reagent Black 5 removal efficiency of TiO₂.

3.2.2. Initial Metal Ion Concentration Effect

The effect of initial metal ion concentration was investigated at room temperature (25 °C). For this purpose, initial concentrations of TiO₂ in the range of 20-120 mg/L, fixed adsorbent amount of 10 mg/L, and pH 2 were investigated. Obtained results are given in Figure 6. TiO₂ Adsorption capacity increased with increasing initial metal ion concentration (25 °C). While the amount adsorbed at 20 mg/L initial TiO₂ metal ion concentration is 21.37 mg/g, the amount adsorbed at 100 mg/L initial TiO₂ metal ion concentration is determined as 151.49 mg/g.

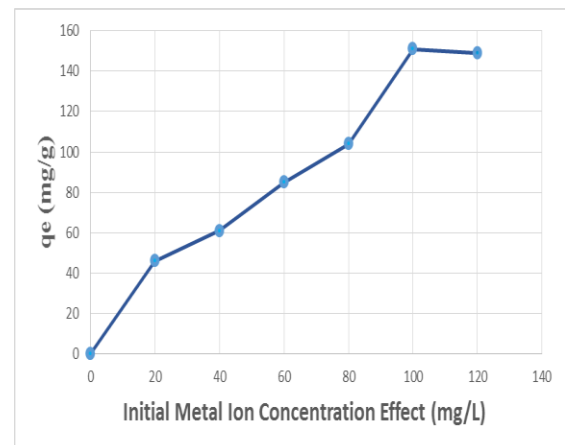


Figure 6. Adsorption start metal ion concentration effect

3.2.3. Contact Time Effect

The effect of contact time on TiO₂ adsorption was investigated in order to determine the time required for the adsorption system to reach equilibrium. The results are shown in Figure 7. It is seen that the adsorbed concentration of TiO₂ increases rapidly in the first 45 minutes. This is because; At the beginning of the adsorption process, the metal ion can easily interact with the active adsorption sites on the adsorbent surface (Ozdes et al., 2011). With the contact time continuing up to 330 minutes, it is seen that the adsorbent surface reaches saturation and the adsorption of TiO₂ continues to increase with a slower rate of increase and reaches equilibrium (Figure 7). The reason for the slow adsorption; It is estimated that the solute is due to the diffusion of the adsorbent into the pores. In the data obtained after 330 minutes, no significant change was noticed in the adsorbed TiO₂ metal ion concentration. Therefore, in the study, the time for the adsorption system to reach equilibrium was determined as 330 minutes.

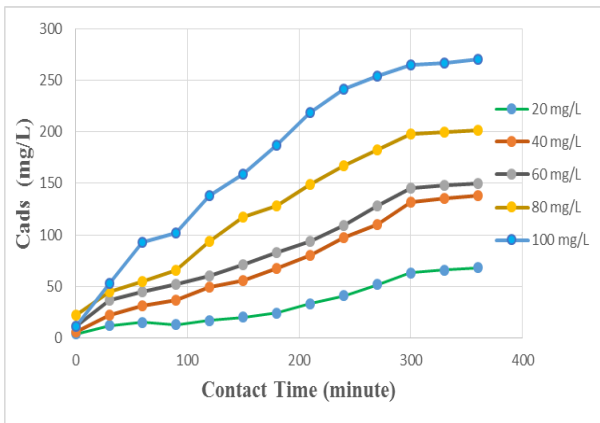


Figure 7. Effect of contact time on adsorption

3.2.4. Reusability of TiO₂ catalyst

To investigate the stability of the TiO₂ catalyst, the reusability of the catalyst was investigated under the same conditions. After the TiO₂ used was washed 3 times in distilled water, it was dried at 110 °C for 20 hours and the photocatalytic oxidation study was repeated. The change in Reagent Black 5 removal obtained with the TiO₂ catalyst used 5 times is given in Figure 8. As can be seen in the figure, the Reagent Black 5 removal did not change significantly despite the catalyst being used 5 times. It is observed as average 97.6%.

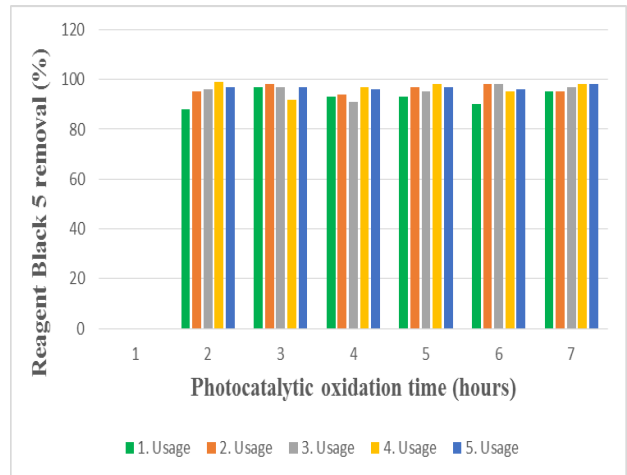


Figure 8. Reagent Black 5 removal obtained by reuse of TiO₂ catalyst under optimum conditions (Reagent Black 5: 400 mg/L, TiO₂: 2 g/L, pH:2)

4. CONCLUSIONS

In this study, the TiO₂ removal potentials of TiO₂ nanoparticles from aqueous media were investigated. First of all, characterization analyzes of the material were carried out, and as a result of XRD analysis, it was seen that pure TiO₂ nanoparticles were in anatase form, and the maximum peak corresponded to the most important mineral, the quartz peak. As a result of UV-VIS analysis, the maximum absorbance value of the TiO₂ nanoparticle was revealed when the wavelength was lower than 400 nm. As a result of SEM analysis, it was observed that the TiO₂ nanoparticle was spherical, with smaller particle diameter and a more regular morphology. It has been observed that there are characteristic peaks in the FTIR spectra of the TiO₂ nanoparticle.

In the optimum pH determination study; The highest yield for the TiO₂ catalyst was 98.7% at pH 2.0. TiO₂ catalyst provided much faster oxidation and much faster adsorption. Treatment efficiency is higher with TiO₂ catalyst. TiO₂ is more suitable for catalyst reuse. It has been seen that it is more suitable for use in wastewaters with low pH values and its reusability. As a result of the studies, in the photocatalytic oxidation of waste TiO₂ and Reagent Black 5, 98.7% removal can be achieved in 1.5 hours with 2.0 g/L TiO₂ at 100 mg/L Reagent Black 5 concentration.

REFERENCES

- Couto S.R. (2009). Dye removal by immobilised fungi, *Biotechnology Advances*, 27(3), 227–235.
- Crini G., Badot P.M. (2008). Application of chitosan, a natural aminopolysaccharide, for dye removal from aqueous solutions by adsorption processes using batch studies: A review of recent literature, *Progress in Polymer Science*, 33(4), 399–447.
- Daneshvar N., Salari D., Khataee A. (2003). Photocatalytic degradation of azo dye acid red 14 in water: investigation of the effect of operational parameters, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 157(1), 111–116.
- Georgiou D., Melidis P., Aivasidis A., Gimouhopoulos K. Degradation of azo-reactive dyes by ultraviolet radiation in the presence of hydrogen peroxide, *Dyes and Pigments*, 52(2), 69–78.
- Ghaedi M., Hajjati S., Mahmudi Z., Tyagi I., Agarwal S., Maity A., Gupta V. (2015). Modeling of competitive ultrasonic assisted removal of the dyes – Methylene blue and Safranin-O using Fe₃O₄ nanoparticles, *Chemical Engineering Journal*, 268, 28–37.
- Guettaï N., Amar H.A. (2005). Photocatalytic oxidation of methyl orange in presence of titanium dioxide in aqueous suspension. Part I: Parametric study, *Desalination*, 185(1-3), 427–437.
- Hamaloğlu K.Ö., Sağ E., Kip Ç., Şenlik E., Kaya B.S., Tuncel A. (2019). Magnetic-porous microspheres with synergistic catalytic activity of small-sized gold nanoparticles and titania matrix, *Frontiers of Chemical Science and Engineering*, 13(3), 574-585.
- Kaneko M., Okura I. (2011). *Photocatalysis: science and technology*. Tokyo: Kodansha.
- Lei X.F., Xue X.X., Yang H.H. (2014). Preparation and characterization of Ag-doped TiO₂ nanomaterials and their photocatalytic reduction of Cr(VI) under visible light *Applied Surface Science*, 321, 396-403.
- Li X., Dai X., Takahashi J., Li N., Jin J., Dai L., Dong B. (2014). New insight into chemical changes of dissolved organic matter during anaerobic digestion of dewatered sewage sludge using EEM-PARAFAC and two-dimensional FTIR correlation spectroscopy, *Bioresource Technology*, 159, 412-420.
- Moradi M., Ghanbari F., Manshouri M., Angali K.A. (2015). Photocatalytic degradation of azo dye using nano-ZrO₂/UV/Persulfate: Response surface modeling and optimization, *Korean Journal of Chemical Engineering*, 33(2), 539–546.
- Nandhini N., Rajeshkumar S., Mythili S. (2019). The possible mechanism of eco-friendly synthesized nanoparticles on hazardous dyes degradation, *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 19, 101138.
- Natarajan S., Bajaj H.C., Tayade R.J. (2018). Recent advances based on the synergetic effect of adsorption for removal of dyes from waste water using photocatalytic process, *Journal of Environmental Sciences*, 65, 201–222.
- Neppolian B., Sakthivel S., Arabindoo B., Palanichamy M., Murugesan V. (1999). Degradation of textile dye by solar light using TiO₂ and ZnO photocatalysts, *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 34(9), 1829-1838.
- Ozdes D., Duran C., Senturk H.B. (2011). Adsorptive removal of Cd(II) and Pb(II) ions from aqueous solutions by using Turkish illitic clay, *Journal of Environmental Management*, 92, 3082-3090.
- Özyonar F., Karagözoğlu B. (2012). Elektrokoagülasyon prosesi ile tekstil sanayi atıksuyunun aritimi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 28(1), 29-37.
- Pan H., Feng J., He G.X., Cerniglia C.E., Chen H. (2012). Evaluation of impact of exposure of Sudan azo dyes and their metabolites on human intestinal bacteria, *Anaerobe*, 18(4), 445–453.
- Petcu A.R., Lazar C.A., Rogozea E.A., Olteanu N.L., Meghea A., Mihaly M. (2016). Nonionic microemulsion systems applied for removal of ionic dyes mixtures from textile industry wastewaters, *Separation and Purification Technology*, 158, 155–159.
- Ram C., Pareek R.K., Singh V. (2012). Photocatalytic degradation of textile dye by using titanium dioxide nanocatalyst, *International Journal of Theoretical and Applied Sciences*, 4(2), 82–88.
- Sarayu K., Sandhya S. (2012). Current technologies for biological treatment of textile wastewater-a review, *Applied Biochemical Biotechnology*, 167(3), 645-661.

Shamraiz U., Hussain R.A., Badshah A., Raza B., Saba S. (2016). Functional metal sulfides and selenides for the removal of hazardous dyes from Water, *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 159, 33–41.

Sharaf El-Deen S. E.A., Zhang F.S. (2016). Immobilisation of TiO₂-nanoparticles on sewage sludge and their adsorption for cadmium removal from aqueous solutions, *Journal of Experimental Nanoscience*, 11(4), 239-258.

Souza R.P., Freitas T.K., Domingues F.S., Pezoti O., Ambrosio E., Ferrari-Lima A.M., Garcia J.C. (2016). Photocatalytic activity of TiO₂, ZnO and Nb₂O₅ applied to degradation of textile wastewater, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 329, 9-17.

Vasei M., Das P., Cherfouth H., Marsan B., Claverie J.P. (2014). TiO₂@C core-shell nanoparticles formed by polymeric nano-encapsulation, *Frontiers in Chemistry*, 2, 1-9.

Verma A.K., Dash R.R., Bhunia P. (2012). A review on chemical coagulation/flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. *Journal of Environmental Management*, 93(1), 154-168.

Zhou Y., Lu J., Zhou Y., Liu Y. (2019). Recent advances for dyes removal using novel adsorbents: A review, *Environmental Pollution*, 252, 352–365.

Zhu X., Yuan C., Bao Y., Yang J., Wu Y. (2005). Photocatalytic degradation of pesticide pyridaben on TiO₂ particles, *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 229(1-2), 95–105.

İLERİ MÜHENDİSLİK ÇALIŞMALARINI VE TEKNOLOJİLERİ DERGİSİ

Yakıt Hücreli Mikro-kojenerasyon Sistemlerinin Evsel Kullanım Açısından İncelenmesi

Aşkın YILDIZ¹ , Ümit ÜNVER^{*2} 

¹Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Yalova, 77200, Türkiye

²Yalova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Yalova, 77200, Türkiye

Derleme Makalesi, Geliş Tarihi: 25.06.2021, Kabul Tarihi: 21.10.2021

Özet

Enerji kaynaklarını büyük oranda ithal eden ülkemizde, gelecek nesillere yaşanabilir bir ülke ve dünya bırakmak için enerjiyi verimli kullanmak ve çevreyi korumak son derece önemlidir. Enerji kayıp sebeplerinden biri iletim kayıplarıdır. Bütün dünyada bu kaybın önüne geçmek için “dağıtık enerji üretimi” yöntemi teşvik edilmektedir. Bu yöntemde enerji mikro-kojenerasyon ve benzeri uygulamalarla, kullanılacağı yerde üretilmektedir. Bu çalışmanın amacı, yerinde üretimin en verimli örneklerinden birisi olan, yakıt hücreli mikro-kojenerasyon uygulamalarının teknik ve ekonomik değerlendirmesini yapan geniş bir literatür araştırması ile ilgili bilim alanına katkıda bulunmaktır. Bunun için mikro-kojenerasyon tanımı ve literatürdeki mikro-kojenerasyon çeşitleri ve karşılaştırmaları yapılmış, evsel uygulamalar için hidrojen yakıt hücresi çeşitleri detaylandırılmıştır. Ayrıca evsel yakıt hücresi tipi seçimi için bilgiler verilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Mikro-kojenerasyon, Yakıt hücresi, Enerji verimliliği, Binalarda enerji verimliliği, Sıfır enerji bina.

Investigation of Fuel Cell Micro-cogeneration Systems for Domestic Use

Abstract

Turkey imports the bulk of its energy needs. It is extremely important to use energy efficiently and economically and to protect the environment, to leave a better country and world to future generations. Some of the energy losses are because of transmission losses. Distributed "energy generation" method is encouraged to prevent this loss all over the world. In this method, energy is produced at the location of end user by micro-cogeneration and similar applications. The aim of this study is to contribute to the related science area with an extensive literature research that makes technical and economic evaluation of fuel cell micro-cogeneration applications, which is one of the most efficient examples of on-site production. For this aim, the definition of micro-cogeneration and the types and comparisons of micro-cogeneration through the literature is given. Hydrogen fuel cell types for domestic applications are detailed and information for domestic fuel cell type selection is conducted.

Keywords: Micro-cogeneration, Fuel cell, Energy efficiency, Energy efficiency in buildings, Zero energy buildings.

*Sorumlu yazar umit.unver@yalova.edu.tr, ¹askin.yildiz.77@gmail.com

1. GİRİŞ

5627 sayılı Enerji Verimliliği kanununda enerji verimliliği “Enerjinin etkin kullanılması, israfının önlenmesi, enerji maliyetlerinin ekonomi üzerindeki yükünün hafifletilmesi ve çevrenin korunması için enerji kaynaklarının ve enerjinin üretiminde, iletiminde ve kullanımında verimliliğin artırılmasıdır” şeklinde tanımlanmıştır (Enerji Verimliliği Kanunu, 2007). Kojenerasyon sistemleri, ısı ve elektrik ve/veya mekanik enerjinin aynı tesiste eş zamanlı olarak üretilerek enerji verimliliği kanunundaki amaçları karşılamaktadır (Unver ve Kilic, 2007). Temel olarak bir güç çevriminde, çevreye atılan ısının da değerlendirilerek, hem elektrik hem de ısı enerjisi üretilmesidir. Bu tür çevrimlerde, geleneksel çevrimlere göre yakıt tüketimi ve salınım azalmaktadır (Ünver ve Kılıç, 2005). Enerji tüketildiği yerde üretilmekte, iletim ve dağıtım yatırımları ve enerji kayıpları azalmaktadır. Kesintisiz ve kaliteli enerji sağlanmaktadır. Kojenerasyon tesisleri enerjinin etkin kullanımı, enerji maliyetinin düşürülmesi ve çevrenin korunması açısından çok önemlidir. Bu tesislerde üretilen enerji düşük karbonludur (Özenir, 2019).

Mikro-kojenerasyon ya da Mikro-Birleşik Isı-Güç Sistemleri (micro-CHP) sistemleri 50 kW’a kadar güçte olan tek bir enerji kaynağından aynı anda ısı ve elektrik üreten tesislerdir. Bu sistemlerde üretimin yeterli olmadığı durumda veya ihtiyaç olduğunda şebekeden elektrik satın alınabilmekte, üretim ihtiyaçtan fazla olduğunda ise, mevzuata uygun şekilde, şebekeye satılabilmektedir.

Bu çalışmada mikro-CHP çeşitleri, yakıt hücresi çeşitleri hakkında detaylı bir literatür taraması sunulmaktadır. Yakıt hücreleri ve mikro-CHP uygulamalarında çalışma parametreleri, verim, en uygun koşullar, performans, enerji tasarrufu, çevresel değerlendirme, boyut, ağırlık, ilk yatırım ve geri dönüş süresi için literatür araştırması yapılmıştır.

Mikro-CHP uygulamaları genel olarak 3 başlık altında incelenmektedir (Sungur vd., 2017).

a) Motorlu Bazlı Kojenerasyon: En çok tercih edilen sistemlerdir. İçten yanmalı veya dıştan yanmalı motorlar kullanılır. Mekanik enerji ile elektrik elde edilir, egzozdan çıkan atık ısı değerlendirilerek elektrik ve ısı elde edilir.

b) Türbin Bazlı Kojenerasyon (Mikro-türbin): Gaz türbini ve buhar türbini,

c) Yakıt Pili Bazlı Kojenerasyon: PEMFC, SOFC, MCFC, PAFC

Güç santrallerinde üretilen enerji, son kullanıcıya iletilene kadar kayba uğramaktadır (Unver vd., 2018; Ünver ve Kilic, 2014). İletim kayıplarının önüne geçmek için önerilen çözümlerden birisi de enerjiyi, dağıtık sistemlerle (Nuroğlu, 2011) kullanılacağı yerde üretmek, mikro sistemlerle enerji ihtiyacına çözümler sunmaktır. Yerinde üretimin en iyi örneklerinden biri mikro-CHP uygulamalarıdır. Üretici sayısının artması ve dağılması açısından, mikro kojenerasyon sistemlerinin ülkemizde de araştırılması, prototip uygulamalarının yapılması, hem enerji arz güvenliği açısından, hem arz sürekliliği açısından önem arz etmektedir.

Mikro-CHP ilgili, özellikle yerli literatür oldukça sınırlıdır ve genel olarak Mikro-kojenerasyon sistemlerinin tanım ve tarifleri verilmektedir. Bu çalışmada, mikro-CHP konusuyla ilgili bilim alanına yönelik katkı sağlamak amaçlanmıştır. Mikro-CHP uygulamasının enerji verimliliğine, evlerde elektrik ve ısı enerjisi üretimine katkısı, coğrafi konuma ve ülkeye, yakıt türüne, üretilen enerji fiyatı gibi parametrelere göre değerlendirilmiş, bina cinsine göre mikro kojenerasyon sistemi seçimine yönelik bilgiler verilmiştir.

2. MİKRO KOJENERASYON SİSTEMLERİ

2.1. İçten ve Dıştan Yanmalı Motorlar

Kullanım ve bakım kolaylığı sağlaması, geniş güç seçeneği sunması gibi avantajlarından dolayı, konut veya küçük güç ihtiyacı olan işletmeler için sıklıkla tercih edilirler. İçten yanmalı sistemlerin tipik örnekleri Otto (benzinli otomobil motoru), Diesel, Stirling ve Atkinson motorlarıdır. Küçük güç gerektiren, otomobil motoru kullanılan uygulamalarda elektriksel verim önemli oranda azalmaz (Capaldi, 2016). Otomobil motorlarına alternatif bir uygulama da Atkinson çevrimiyle çalışan içten yanmalı motor prototipleridir. Bu tür motorların elektrik veriminin %35, termal verimin %66,3, toplam verimin %97,8 e kadar çıkabileceği deneysel olarak gösterilmiştir (Capaldi, 2014).

8 kW sıcak su ve 1 kW elektrik tüketen doğalgazlı bir evde kullanımı araştırmak için üretilen Stirling tipi bir deney motorunun termal verimi, 30°C-70°C arası su giriş sıcaklığına bağlı olarak, %90-%84 arası değişmektedir (Valenti vd., 2014a). İş akışkanı olarak Nitrojen yerine Helyum kullanılması durumunda performans artabilir. Dıştan yanmalı motorlarda on-off çalışma koşullarının elektriksel verim üzerindeki olumsuz etkisi %0,7 civarındadır. Verim düşüşünü engellemek için start-stop sayısının düşürülmesi tavsiye edilmektedir (Valenti vd., 2014b).

İçten yanmalı motorlardan gaz motorları uygulamaları, %27 ±%3 elektrik verimi, %60 ±%5 toplam verim oranlarıyla, evsel kullanımlar için oldukça umut vadeden sistemlerdir (Wit ve Näslund, 2011).

2.2. Mikro-Türbin Uygulamaları

Mikro türbin uygulamalarının en yaygın örnekleri buhar veya gaz türbinli motorlardır. Bu tür türbinlerin tipik uygulamalarında üretilen elektrik enerjisinin maliyeti 0.079 USD olarak hesaplanmaktadır (Gokcek, 2017). Boyutları küçük olduğundan düşük titreşim, daha az gürültü gibi avantajları vardır. Ancak işletme maliyetleri yüksek ve elektrik verimi yakıt hücreli kojenerasyon sistemleriyle kıyaslandığında biraz daha düşüktür (Klonowicz vd., 2017). Bu tür motorlarda verimi artırmak için türbin giriş havasının soğutulması tavsiye edilmektedir (Unver & Kilic, 2017). Ancak soğutmanın mekanik sıkıştırılmalı soğutma çevrimi ile yapılması sisteme bazı ekstra maliyetler ve yükler getirir. Bu yüzden, soğutma işleminden elde edilecek kazancı artırmak için yenilenebilir enerji kaynakları ile soğutma tavsiye edilmektedir (Unver vd., 2018).

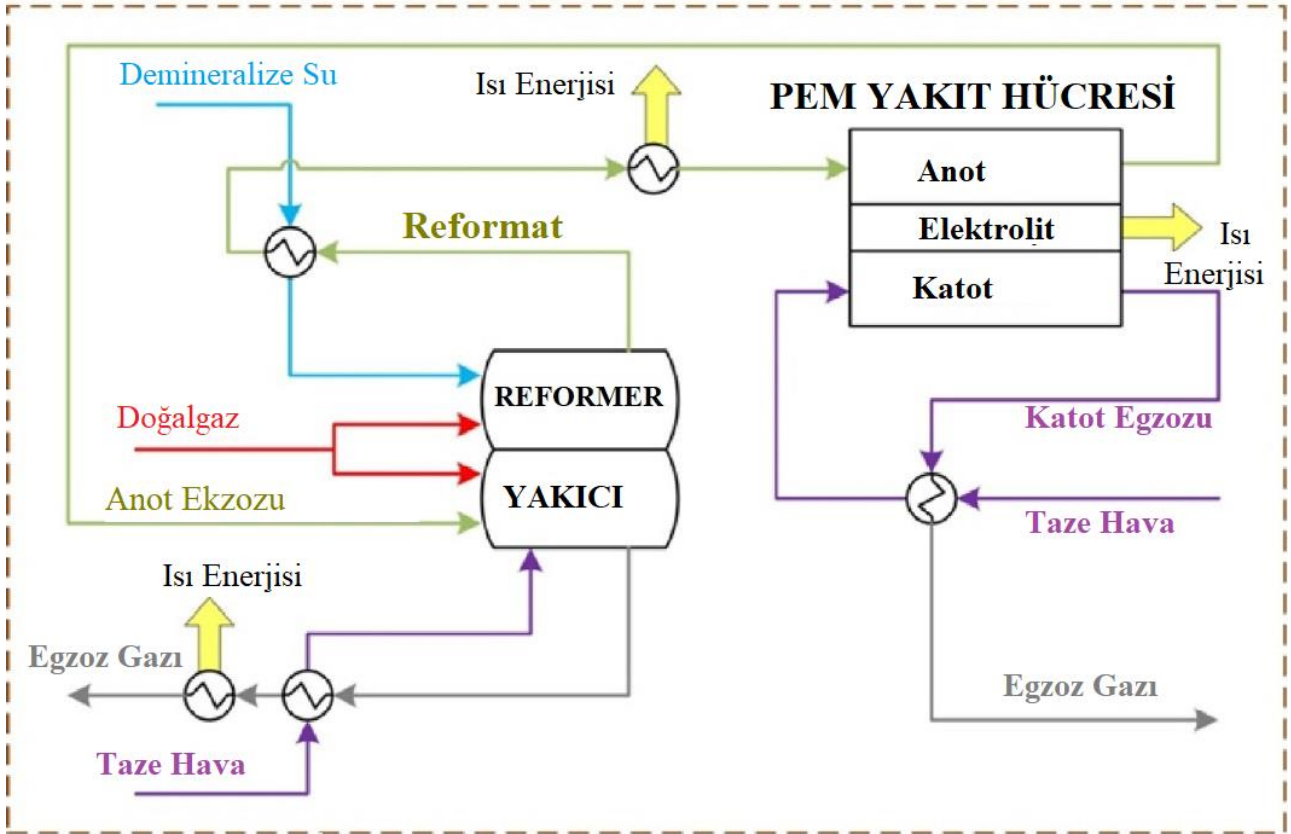
2.3. Yakıt Hücresi Çeşitleri ve Uygulamaları

a) PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell): En gelişmiş teknolojidir ve dünyada %90 ile en geniş kullanım alanına sahiptir. Japonya'da Enefarm projesi kapsamında konut ısıtma sistemlerinde kullanılması teşvik edilmektedir. Araştırma-geliştirme çalışmalarıyla ve kitlesel kullanımla verim, dayanıklılık, güvenlik artmıştır (Dodds vd., 2015). PEMFC sistemlerinin Napoli vd. (2015) tarafından verilen şematik gösterimi şekil 1 de verilmiştir.

b) SOFC (Solid Oksit Fuel Cell): Endüstri ve konutlarda, yüksek sıcaklıklarda kullanılan yakıt hücreleridir. Dünya'da kullanım oranı %10'a ulaşmıştır. SOFC yüksek elektriksel verime ve yakıt esnekliğine sahiptir. Ancak diğer yakıt hücresi çeşitlerine göre daha yüksek sıcaklıkta çalışmaktadır ve bu durum bazı sınırlamalara sebep olabilmektedir. SOFC Yakıt hücreleri start-stop operasyonlarına duyarlıdır ve sıcak olmaları gereklidir. Çıkış tarafında talep yoksa çıkış gücünü düşürür. Yakıt hücrelerinde malzeme ömür ve performans düşme problemine karşın SOFC kullanımı avantajlıdır (Dodds vd., 2015). SOFC yakıt hücreli sistem yüksek sıcaklıkta çalıştığından egzoz çıkışına micro-türbin kullanılırsa ilave elektrik üretilebilir. Napoli vd. (2015) tarafından incelenen SOFC sisteminin şematik gösterimi Şekil 2 de verilmiştir.

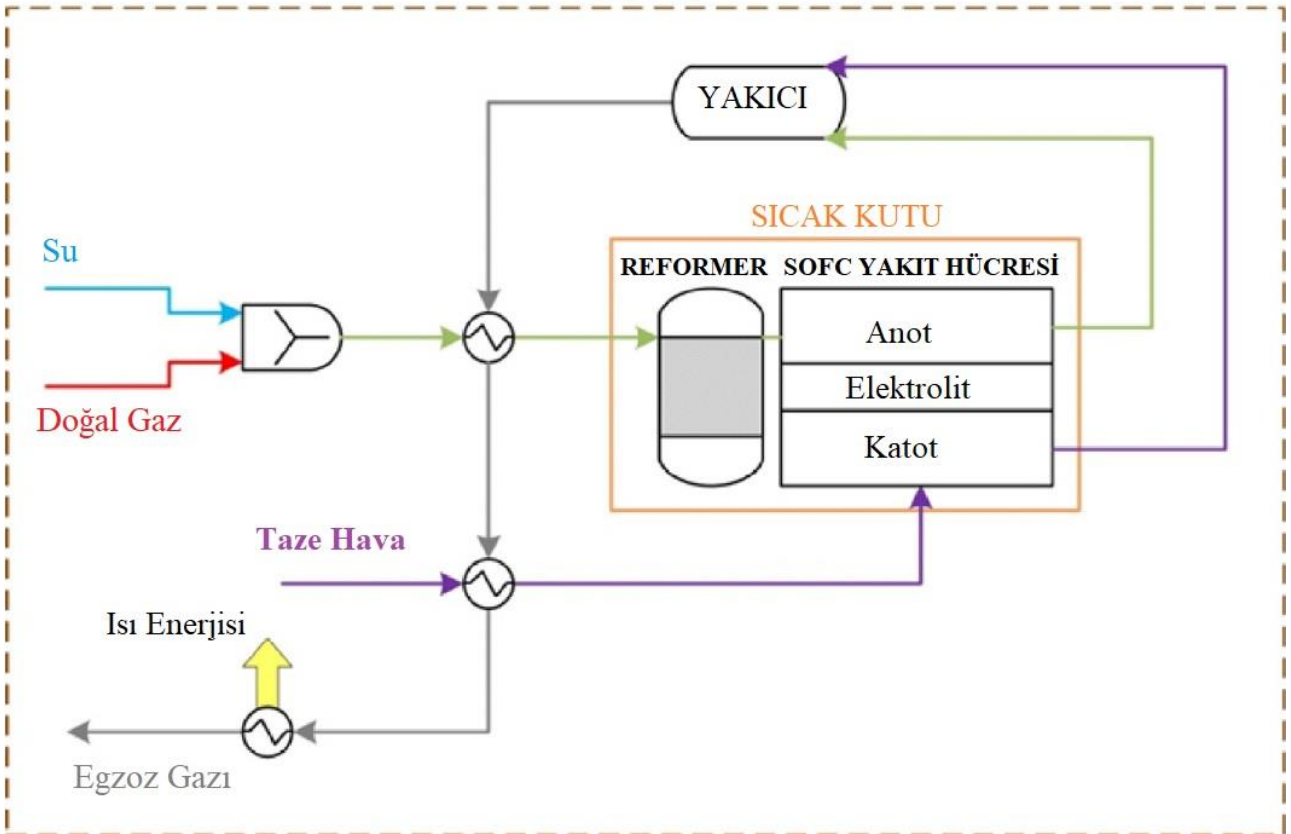
c) MCFC (Molten Carbonate Fuel Cell): Yüksek sıcaklıkta çalışan, konutlarda ve endüstride kullanılan yakıt hücresi çeşididir. En çok yüksek güç gerektiren uygulamalarda tercih edilmektedir. Düşük maliyetlidir ancak düşük ömür ve düşük güç yoğunluğuna sahiptir. Şekil 2 de Mehrpooya vd. (2020) çalışmasında incelenen MCFC yakıt hücresi ile çalışan bir kojenerasyon sisteminin şematik gösterimi verilmiştir.

PEMFC

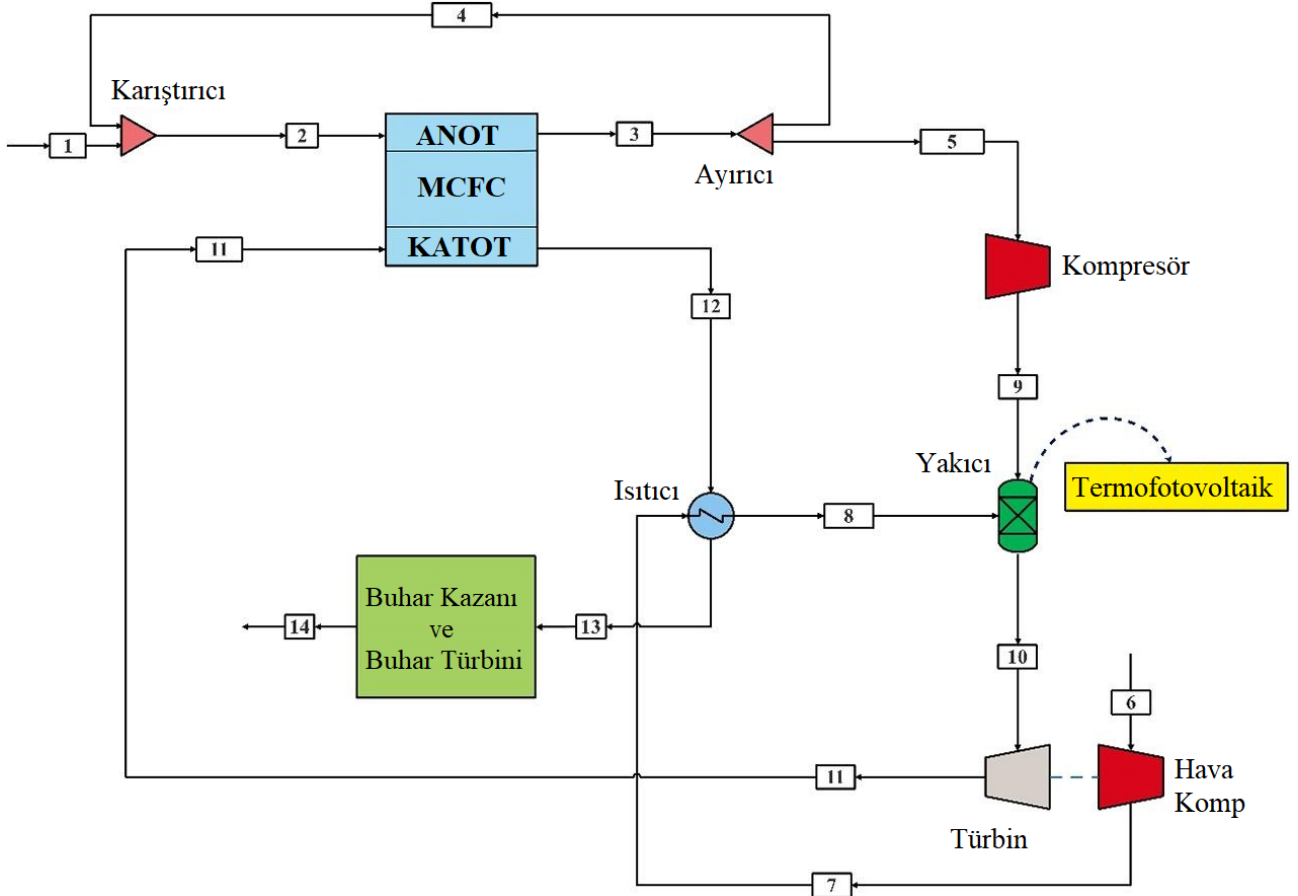


Şekil 1. PEMFC Mikro-CHP sisteminin şematik gösterimi (Napoli vd., 2015)

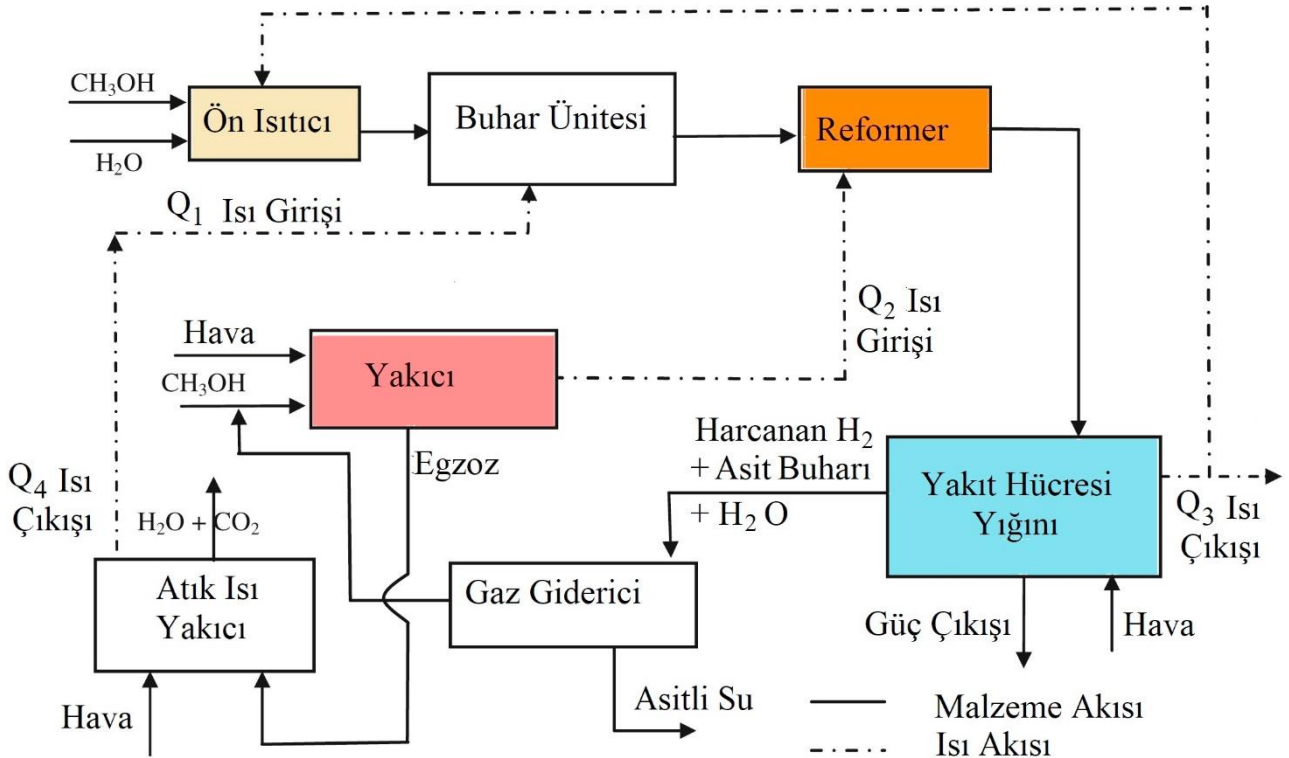
SOFC



Şekil 2. SOFC (Solid oxide fuel cells) yakıt hücreli micro-CHP sisteminin şematik gösterimi (Napoli vd., 2015)



Şekil 3. MCFC (Molten Carbonate Fuel Cells) yakıt hücreli kojenerasyon sisteminin şematik gösterimi (Mehrpooya., 2020)



Şekil 4. PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell) yakıt hücreli kojenerasyon sisteminin şematik gösterimi (Pareta, 2011)

d) PAFC (Phosphoric Acid Fuel Cell): Isıtmada ilk kullanılan yakıt pilidir.1970'lerden beri ticari olarak kullanılmaktadır ancak konutlarda kullanılmamaktadır.

Tipik 1kW yakıt hücresi 150-200 kg'dır ve 2 m² alan gerektirir. 300-400 kW için 22-36 m², 30-35 ton olmak üzere bir konteyner gerektirir.

3. YAKIT HÜCRELİ MİKRO-KOJENERASYON SİSTEMLERİ

Hidrojen yakıt hücreli sistemlerde, motor ve türbinli uygulamalardaki gibi hareketli mekanik donanımlar yoktur ve yanma olmadan elektrokimyasal işlemlerle hidrojen ve oksijenden enerji üretilir. Yakıt hücreleri yüksek verimlilik, düşük karbon salınım, düşük gürültü, primer enerji tasarrufu, yüksek güç yoğunluğu ve modüler tasarım gibi özelliklere sahiptir (Dodds vd., 2015).

PEMFC tipi yakıt hücrelerinin çalışma sıcaklıkları 160 °C civarındadır. Küçük güçlü olan yakıt hücreleri, yalıtım durumuna göre 15-20 °C sıcaklığındaki şebeke suyunu 40 ile 60 °C arasına çıkarabilmektedir (Devrim & Yapıcı, 2018). Tek hane için tasarlanan sistemlerden uygulamada, 40 A civarında akım yoğunluğu ve %76 toplam verim elde edildiği belirtilmektedir (Cozzolino vd., 2011). Bu tür yakıt hücrelerinin katalog verimleri %95 e kadar ulaşmaktadır (*Energy Matters*, 2014).

3.1. Sistemi Etkileyen Parametreler ve Faktörler

Küçük güçlü evsel mikro-kojenerasyon sistemlerinde hidrojen gaz basıncı verime önemli bir etkide bulunmazken, nem ve akım yoğunluğu arttığında omik kayıplar artmakta ve verim azalmaktadır (Arsalis, 2019; Romdhane vd., 2018). Bununla beraber, yakıt hücrelerinin çalışma sıcaklığı arttığında elektriksel verimin arttığı, termal verimin düştüğü gözlenmektedir (Jannelli vd., 2013). Küçük güçlü yakıt hücreleri için tavsiye edilen uygun koşulların 2 atm. basınç, 378,15 K sıcaklık ve %58 nem olduğu belirtilmektedir (Barelli vd., 2011). Yakıt hücrelerinin verim ve kullanım ömürlerini artırmaya yönelik çalışmalarda, ilave batarya kullanımının sistem performansını arttıracığı ifade edilmektedir (Taccani vd., 2017).

SOFC tipi evsel mikro-kojenerasyon sistem performansı, sıcak su ve alan ısıtma suyu dönüş sıcaklığından etkilenir. Depo edilen sıcak su sıcaklığı düşürülürse yakıt hücresi çıkış sıcaklığı ve enerji tasarrufu artar (Windeknecht ve Tzscheutschler, 2015). Bu tür sistemlerin biyogazla çalıştırıldığında, %3-7 arası daha fazla elektriksel verim elde etmek için, iki

yakıt hücresinin seri bağlanmaları tavsiye edilmektedir (Kupecki vd., 2015).

Literatürde PEMFC ve SOFC tipi kojenerasyon uygulamaları için aralıklı ve kısmi yüklü çalışma, yardımcı güç tüketimi ve akış-dönüş sıcaklıkları değişimi nedeniyle simülasyon ve deneysel çalışmalar arasında %10'a varan verim farkı olduğu ifade edilmektedir (Dodds vd., 2015).

Yakıt hücreli mikro-CHP sistemlerinde, ünitenin hep sıcak kaldığı sıcak başlangıç modunun, ünitenin soğumasına izin veren soğuk başlangıç çalışma rejiminde daha avantajlı olduğu, dakikada 70 W' tan düşük rampa limitleri olduğunda sistemin ekonomik performansının olumsuz etkilendiği belirtilmektedir (Vijay ve Hawkes, 2018).

Yakıt hücreleri termodinamik ve elektrokimyasal doğaları gereği ani ısı ve elektrik talebine hızlı cevap veremez. Çıkış voltajını artırmak için gereken iyileştirme mekanik nedenlerden dolayı verim alınamamasına sebep olur. Yakıt hücresi DC çıkış verir. Çıkış voltajı üzerinde dönüştürücü ile çalışarak voltaj düzenlemesi yapılabilir. Çok kademeli yükseltici DC/DC dönüştürücü kullanılabilir. Literatürde DC/DC yükseltici dönüştürücü kullanımının voltaj dalgalanmalarını azalttığı ve yakıt hücresinin ömrünü arttırdığını göstermişlerdir (Cao vd., 2020).

3.2. Sistemin Konutlarda Uygulanması

Bina uygulamalarında PEMFC ve SOFC tipi mikro-kojenerasyon sistemlerinin, elektrik verimini tarif eden PES (Primer Energy Saving, Birincil Enerji Tasarruf) katsayısı endüstriyel kullanıma göre daha az olmaktadır (Napoli vd., 2015). Evsel Mikro-kojenerasyon sistemlerinin verimini artırmak için sistem ısı pompası ile takviye edilebilir, ancak bu da ilk yatırım maliyetini artırır (Sorace vd., 2017).

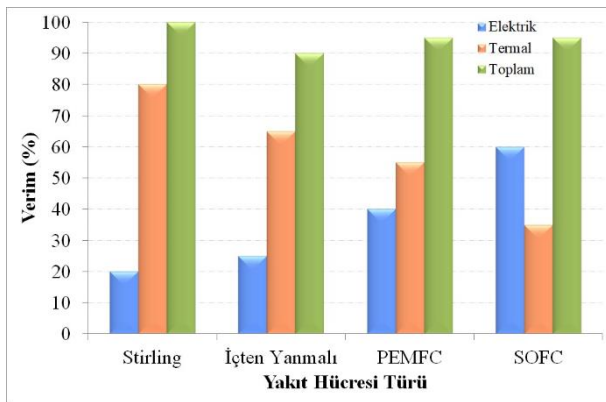
Konutlarda mikro-CHP uygulamalarında maliyeti düşürmek için tavsiye edilen başka bir önemli nokta da sisteme mümkün olduğu kadar çok hane bağlanmasıdır. Hane sayısı arttıkça hem hane başına düşen maliyetler azalmakta hem de sistemin verimi artmaktadır (Di Marcoberardino vd., 2019). Mikro-kojenerasyon sistemlerinin farklı ülkeler için kıyaslaması oldukça zor bir çalışmadır. Kıyaslama için asıl sorunun ülkelerde farklı sistemlerin kullanılması, sertifikalandırılması ve enerji fiyat tarifeleridir (Angrisani vd., 2014). Örneğin İngiltere ve Hollanda'da gibi ülkelerde İspanya ve İtalya'ya göre doğal gaz fiyatı düşük olduğundan,

sistem termal kullanım için daha uygun olmaktadır (Di Marcoberardino vd., 2019).

Evsel mikro-CHP uygulamalarında, konutun tüm enerji taleplerinin dikkate alınması gerekir, sistemin mümkün olduğu kadar anlık start-stop yapmadan çalıştırılması, daha yüksek verim elde etmek için önemlidir (Adam vd., 2018). PEMFC devreye girme süresi yaklaşık 30 saniyedir. SOFC türü sistemler ise 10 saat gibi uzun bir sürede devreye girer. PEMFC’de güç yoğunluğu SOFC’de akım yoğunluğu fazladır. Akım yoğunluğu artışı elektriksel verimi düşürmektedir. Giriş hidrojen basıncı verimi değiştirmemektedir. Çalışma sıcaklığı arttıkça elektriksel verim yükselmekte termal verim düşmektedir (Arsalis, 2019). Bu yüzden evsel kojenerasyon uygulamaları tasarlanırken değişken kullanım koşullarının da dikkate alınması şiddetle tavsiye edilir (Dorer vd., 2005). Yakıt hücresinin 1 saatlik çalışma modelleri, ani yük değişimlerini yakalayamamakta ve pratikte gerçek verimin ve talebe göre cevabın anlaşılmasını engellemektedir. Adam vd., (2018), 5 dakikalık periyotlar halinde çalışma modeli uygulanabilirse, ani yük değişimlerinde daha stabil bir çalışma performansı elde edilebilir sonucuna ulaşmışlardır.

Tablo 1. Mikro-CHP sistemlerinin ilk yatırım maliyetleri (Energy Matters, 2014)

	Stirling	İçten Yanmalı	PEMFC	SOFC
Perakende Fiyatın Şimdiki Değeri (€/kW)	10000	15000	15000	17000
Perakende Fiyatın Gelecek Değeri (€/kW)			3000	



Şekil 5. Yakıt hücresi CHP sistemlerinin elektrik ve termal verimleri

Evsel kullanıma uygun şekilde dizayn edilen bir Micro-CHP sistemi İngiltere koşullarında yılda yaklaşık 10276,5 £ tasarruf sağlayabilir (Dodds vd., 2015), %56 ya kadar daha az salınma sebep olur (Elmer vd., 2015). Yakıt hücresinin doğal gaz kombisi ile yarışabilmesi için maliyetinin kW başına 3500-6000 £ olması gerekir, bu da ancak devlet teşviki ile sağlanabilir (Adam vd., 2018). Evsel kullanım için (Energy Matters, 2014) tarafından tarif edilen farklı tip Micro-CHP sistemlerinin ilk yatırım maliyetleri 2014 yılı fiyatlarıyla Tablo 1’de verilmektedir. Kojenerasyon sistemlerinin verim değerleri ise Şekil 5’te verilmektedir. Tablo 1 ve Şekil 1 birlikte değerlendirildiğinde teorik olarak en yüksek verimi sağlayan ve en uygun fiyatlı olan Stirling motorunun en uygun seçenek olduğu görülmektedir.

Yalova ile benzer bir iklim bölgesinde, kış mevsiminde, ortalama 3+1 bir evin enerji ihtiyacını karşılamak için yaklaşık aylık 200 m³ ≈ 2100 kWh doğalgaz ve genel kullanım için 300 kWh elektrik tüketilir. Evsel kullanım için tavsiye edilen nominal güç 8,5 kWhe (Ashari vd., 2012), ve elektrik / termal enerji oranının yaklaşık 1/7 civarındadır (Valenti vd., 2014a). Ortalama tüketim göz önüne alındığında Tablo 1’e göre hangi sistem seçilirse seçilsin, mikro-CHP sistemi, kombi vb. bir ısıtma sistemiyle desteklenmediği takdirde ısınma ihtiyacını karşılayamamaktadır. Bu durumda sistem ihtiyaçlarının önceden doğru belirlenmesinin önemi ön plana çıkmaktadır.

3.3. Karbon Salınımı

Enerji üretim sistemlerinde karbon salınım yoğunluğu, yakıt hücresi için 8-20 g CO₂/kW h, solar PV için 40-80 g CO₂/ kW h, nükleer fizyon için 10-30 g CO₂/kW h’dur (Dodds vd., 2015). Mikro-CHP sistemlerinde, termal enerji depolanmasıyla, termal talebin düşük olduğu durumda enerji üretiminde CO₂ salınımının %11,3 oranında azaldığı gözlenmiştir (Adam vd., 2013). SOFC yakıt hücresi yakıt tüketimini düşürmek ve ısı-güç oranını düzenlemek için hidrojen ve doğal gaz karışımı kullanılması tavsiye edilmektedir (Lamas vd., 2013).

4. TARTIŞMA

Mikro-CHP sistemlerinin seçiminde ve uygulamasında yük profili (ısı-güç oranı), hava koşulları, tüketici davranışı, konut tipi, kaynak mevcudiyeti, yakıt fiyatları, altyapı gibi faktörler dikkate alınmalıdır. Evsel veya endüstriyel kullanım için, tercih edilme durumuna etki edebilecek bazı önemli parametreler Tablo 2’de sunulmaktadır. Tek konut için yapılacak mikro-kojenerasyon yatırımı için, ilk yatırım maliyetleri ve kullanım kolaylığı açısından değerlendirildiğinde, motor bazlı sistemlerin daha cazip olduğu görülmektedir.

İçten yanmalı motorlar, mekanik olarak yapımı ve bakım onarımı en kolay ve ucuz olan sistemlerdir. İçten yanmalı motorlarda elektrik verim %35, termal verim %65, toplam verim %90 civarındadır (Capaldi, 2014). Bu yüzden evsel kullanımlar için daha cazip olmaktadır. Diğer bir deyişle, tek veya az sayıda konut için bu tür sistemler tavsiye edilmektedir. Dıştan yanmalı motorlarda verimi, giriş suyu sıcaklığının yüksekliği ve sistemin start-stop sayısı düşürdüğünden, bu tür sistemlerin sürekli çalışabileceği endüstriyel uygulamalar için kullanılması tavsiye edilmektedir. Bununla birlikte mikro-CHP endüstriyel işletmeler açısından küçük boyut, gürültü ve titreşim azlığı avantajlarına, düşük elektrik verimi dezavantajına sahiptir.

Yakıt hücreli mikro-kojenerasyon sisteminde diğer sistemlerdeki mekanik donanım ve yanma işlemi bulunmamaktadır. Primer enerji tüketimi ve CO2 salınımı yakıt hücresi kullanımıyla düşmektedir. İlk yatırım maliyeti yüksek olduğundan, faydalanacak hane sayısı arttıkça maliyet azalmakta, kazanç artmaktadır (Arsalis, 2019). Bu yüzden, mümkün olduğu kadar hane sayısının fazla olduğu site vb. uygulamalar için tavsiye edilmelidir.

Yakıt hücreli mikro-CHP sisteminde hedefe göre elektrik üretimi, ısı üretimi veya birlikte çalışma kullanılmalıdır. Elektrik üretim uygulamasında maliyet yüksektir, şebekeye elektrik alışverişi azalır ancak ısı ihtiyacı için yardımcı ısıtma, ısı depolama gereklidir. Isı üretim uygulamasında elektrik şebekesine bağımlılık vardır ancak maliyet daha düşüktür (Arsalis, 2019). Yakıt hücresinin tipine göre evsel veya sanayi tipi uygulamaları mevcuttur.

Tablo 2. Mikro-kojenerasyon uygulamaları

	Motor bazlı	Türbin bazlı	Yakıt pili bazlı
Düşük emisyon	x	x	x
Yenilenebilir enerji		x	x
Elektrik talebi	x	x	x
Geri dönüşüm	x	x	x
Su tüketimi	x	x	x
Elektriksel verim	%28-42	%25-30	%35-60
Gürültü	x	x	-
Sağlamlık	x	x	x
İlk yatırım maliyet	normal	yüksek	yüksek
Esneklik	-	-	x
Yenilik			x
Primer enerji tasarrufu	x	x	x

5. SONUÇLAR

Gerek dağıtık sistemlerle enerjinin kullanılacağı yerde üretilerek iletim kayıplarının azaltılması, gerekse enerji üretiminde yüksek verim elde ederek sera gazı salınımlarının minimuma indirilmesi için mikro-kojenerasyon sistemlerinin ülkemizde de yaygınlaştırılması gerekmektedir. Bu konudaki araştırmaların ülkemizde de sıklaşması ve artırılması tavsiye edilmektedir. Bu derleme çalışmasında elde edilen sonuçlar;

- Avrupa’da evsel mikro-CHP sistemlerinin yaygınlaşması için 3000 € hedef konulmaktadır.
- Bu sistemlerin ülkemizde de yaygın şekilde kullanılabilmesi için fiyatının Avrupa için hedeflenen rakamın altında olması ve kombiye alternatif olabilmesi, üretiminin ülkemizde yapılması tavsiye edilmektedir.
- Üretimin ve teknolojinin ülkemizde üretilmesi için mikro-CHP sistemleriyle ilgili çalışmaların artması gerekmektedir.

KISALTMALAR

Micro-CHP: Mikro Combined Heat and Power
ORC : Organic Rankine Cycle
PEMFC : Proton Exchange Membrane Fuel Cell
SOFC : Solid Oxide Fuel Cell
MCFC : Molten Carbon Fuel Cell
PAFC : Phosphoric Acid Fuel Cell
PES : Primer Energy Saving
HTPEM: High Temp Polymer Electrolid Membrane

KAYNAKLAR

Adam A., Fraga E. S., Brett D. J. L. (2013). Modelling and optimisation in terms of CO₂ emissions of a solid oxide fuel cell based micro-CHP system in a four bedroom house in London. *Energy Procedia*, 42, 201–209.

Adam A., Fraga E. S., Brett D. J. L. (2018). A modelling study for the integration of a PEMFC micro-CHP in domestic building services design. *Applied Energy*, 225(March), 85–97.

Angrisani G., Marrasso E., Roselli C., Sasso M. (2014). A review on microcogeneration national testing procedures. *Energy Procedia*, 45, 1372–1381.

Arsalis A. (2019). A comprehensive review of fuel cell-based micro-combined-heat-and-power systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 105(February), 391–414.

Ashari G. R., Ehyaei M. A., Mozafari A., Atabi F., Hajidavalloo E., Shalbaf S. (2012). Exergy, economic, and environmental analysis of a PEM fuel cell power system to meet electrical and thermal energy needs of residential buildings. *Journal of Fuel Cell Science and Technology*, 9(5), 1–11.

Barelli L., Bidini G., Gallorini F., Ottaviano A. (2011). An energetic-exergetic analysis of a residential CHP system based on PEM fuel cell. *Applied Energy*, 88(12), 4334–4342.

Cao Y., Li Y., Zhang G., Jermstipparsert K., Nasser, M. (2020). An efficient terminal voltage control for PEMFC based on an improved version of whale optimization algorithm. *Energy Reports*, 6, 530–542.

Capaldi P. (2014). A high efficiency 10 kWe microcogenerator based on an Atkinson cycle internal combustion engine. *Applied Thermal Engineering*, 71(2), 913–920.

Capaldi P. (2016). A high efficiency 20 kWe microcogeneration unit based on a turbocharged automotive gas engine. *Applied Thermal Engineering*, 109, 803–808.

Cozzolino R., Cicconardi S. P., Galloni E., Minutillo M., Perna A. (2011). Theoretical and experimental investigations on thermal management of a PEMFC stack. *International Journal of Hydrogen Energy*, 36(13), 8030–8037.

Devrim Y., Yapıcı E. Ö. (2018). Yüksek Sıcaklık Proton Değişim Membran Yakıt Hücresi Mikro-Kojenerasyon Uygulamasının Deneysel Ve Teorik İncelenmesi. *J. of Thermal Science and Technology*, 38(1), 73–82.

Di Marcoberardino G., Chiarabaglio L., Manzolini G., Campanari S. (2019). A Techno-economic comparison of micro-cogeneration systems based on polymer electrolyte membrane fuel cell for residential applications. *Applied Energy*, 239(March 2018), 692–705.

Dodds P. E., Staffell I., Hawkes A. D., Li F., Grünewald P., McDowall W., Ekins P. (2015). Hydrogen and fuel cell technologies for heating: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*, 40(5), 2065–2083.

Dorer V., Weber R., Weber A. (2005). Performance assessment of fuel cell micro-cogeneration systems for residential buildings. *Energy and Buildings*, 37(11 SPEC. ISS.), 1132–1146.

Enerji Verimliliği Kanunu, Resmin Gazete. Kanun No:5627 (2007).

Elmer T., Worall M., Wu S., Riffat S. B. (2015). Emission and economic performance assessment of a solid oxide fuel cell micro-combined heat and power system in a domestic building. *Applied Thermal Engineering*, 90, 1082–1089.

Gokcek M. (2017). Waste To Energy : Exploitation of Landfill Gas in. *Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences*, 6(2), 710–716.

Jannelli E., Minutillo M., Perna A. (2013). Analyzing microcogeneration systems based on LT-PEMFC and HT-PEMFC by energy balances. *Applied Energy*, 108, 82–91.

- Klonowicz P., Witanowski Ł., Jędrzejewski Ł., Suchocki T., Lampart P. (2017). A turbine based domestic micro ORC system. *Energy Procedia*, 129, 923–930.
- Kupecki J., Skrzypkiewicz M., Wierzbicki M., Stepien M. (2015). Analysis of a Micro-CHP Unit with in-series SOFC Stacks Fed by Biogas. *Energy Procedia*, 75, 2021–2026.
- Kupecki J., Bdyda K. (2013). Mathematical model of a plate fin heat exchanger operating under solid oxide fuel cell working conditions. *Archives of thermodynamics*, 34(4), 3–21.
- Lamas J., Shimizu H., Matsumura E., Senda J. (2013). Fuel consumption analysis of a residential cogeneration system using a solid oxide fuel cell with regulation of heat to power ratio. *International Journal of Hydrogen Energy*, 38(36), 16338–16343.
- Mehrpooya M., Khodayari R., Moosavian S. A., Dadak A. (2020). Optimal design of molten carbonate fuel cell combined cycle power plant and thermophotovoltaic system. *Energy Conversion and Management*, 221, 113177.
- Micro-CHP potential analysis European level report Partner Name: Energy Matters (Sayı December). (2014).
- Napoli R., Gandiglio M., Lanzini A., Santarelli M. (2015). Techno-economic analysis of PEMFC and SOFC micro-CHP fuel cell systems for the residential sector. *Energy and Buildings*, 103, 131–146.
- Nuroğlu F. M. (2011). Dağıtılmış Üretim İçeren Dağıtım Şebekelerinde Merkezi Koordinasyon Rölisi Tasarımı. Kocaeli Üniversitesi.
- Özenir A. (2019). Kojenerasyon enerji verimliliği. V. Enerji Verimliliği Günleri, 1–14.
- Pareta M., Choudhury S. R., Somaiah B., Rangarajan J., Matre N., Palande J. (2011). Methanol reformer integrated phosphoric acid fuel cell (PAFC) based compact plant for field deployment. *International journal of hydrogen energy*, 36(22), 14771-14778.
- Romdhane J., Louahia H., Marion M. (2018). Dynamic modeling of an eco-neighborhood integrated micro-CHP based on PEMFC: Performance and economic analyses. *Energy and Buildings*, 166, 93–108.
- Sorace M., Gandiglio M., Santarelli M. (2017). Modeling and techno-economic analysis of the integration of a FC-based micro-CHP system for residential application with a heat pump. *Energy*, 120(2016), 262–275.
- Sungur B., Özdoğan M., Topaloğlu B., Namlı L. (2017). Küresel Enerji Tüketimi Bağlamında Mikro Kojenerasyon Sistemlerinin Teknik ve Ekonomik Değerlendirilmesi Technical and Economical Evaluation of Micro-Cogeneration Systems in the Context of Global Energy Consumption. *Mühendis ve Makina*, 58(686), 1–20.
- Taccani R., Chinese T., Zuliani N. (2017). Performance analysis of a micro CHP system based on high temperature PEM fuel cells subjected to degradation. *Energy Procedia*, 126, 421–428.
- Unver U., Kilic M. (2007). Second law based thermoeconomic analysis of combined cycle power plants considering the effects of environmental temperature and load variations. *International Journal of Energy Research*, 31(2), 148–157.
- Ünver Ü., Kılıç M. (2005). Çevre Sıcaklığının Bir Kombine Çevrim Güç Santralinin Performansına Etkisi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık F, 49–58.
- Unver U, Kelesoglu A. Kilic M. (2018). A Novel Method For Prediction Of Gas Turbine Power Production Degree-Day Method. *Thermal Science*, 22(Suppl. 3), 809–817.
- Unver U., Kilic M. (2014). Performance estimation of gas turbine system via degree-day method. İçinde I. Dincer, A. Midilli, & H. Kucuk (Ed.), *Progress in Exergy, Energy, and the Environment*. Springer Cham.
- Unver U., Kilic M. (2017). Influence of environmental temperature on exergetic parameters of a combined cycle power plant. *International Journal of Exergy*, 22(1), 73–88.
- Unver U., Mert M. S., Direk M., Yuksel F., Kilic M. (2018). Design of an Inlet Air-Cooling System for a Gas Turbine Power Plant. İçinde F. Aloui & I. Dincer (Ed.), *Exergy for A Better Environment and Improved Sustainability 1* (ss. 1089–1100). Springer, Cham.

Valenti G., Campanari S., Silva P., Fergnani N., Ravidà A., Di Marcoberardino G., Macchi E. (2014). Modeling and testing of a micro-cogeneration Stirling engine under diverse conditions of the working fluid. *Energy Procedia*, 61, 484–487.

Valenti Gianluca, Silva P., Fergnani N., Di Marcoberardino G., Campanari S., Macchi E. (2014). Experimental and numerical study of a micro-cogeneration Stirling engine for residential applications. *Energy Procedia*, 45, 1235–1244.

Vijay A., Hawkes A. (2018). Impact of dynamic aspects on economics of fuel cell based micro cogeneration in low carbon futures. *Energy*, 155, 874–886.

Windeknecht M., Tzscheutschler P. (2015). Optimization of the heat output of high temperature fuel cell micro-CHP in single family homes. *Energy Procedia*, 78, 2160–2165.

Wit J. de, Näslund M. (2011). Mini and Micro Cogeneration. İçinde Danish Gas Technology Centre, ICCI.

İnşaat Mühendisliğinde Yapay Zekâ Çalışmaları

Beyza GÜLTEKİN¹ , Gamze DOĞAN*² 

^{1,2}Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, 42250, Türkiye

Derleme Makalesi, Geliş Tarihi: 08.11.2021, Kabul Tarihi: 31.12.2021

Özet

Son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle ortaya çıkan yapay zekâ terimi hemen hemen her alanda kendinden söz ettirmeyi ve gündem olmayı başarmıştır. Yararları ve zararları ile çok sayıda tartışmaya neden olan söz konusu terimin olumlu yönleri çok daha ağır basmaktadır. Tüm bunlardan yola çıkarak inşaat mühendisliği gibi ülkemizin en önemli sektörlerinden birinde bu teknolojinin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu çalışmada, inşaat mühendisliği alanında son 10 yılda yapılmış olan yapay zekâ ile ilgili çalışmalar değerlendirilip elde edilen başarı ya da başarısızlık oranlarına göre bu dalda teknolojinin geldiği son nokta ortaya konmuştur. Çalışmalar göstermiştir ki yapay zekâ kavramı, inşaat mühendisliğinde yeni bir kavram olarak nitelendirilebilmesine rağmen elde edilen sonuçlar oldukça iyi ve umut vâdedicidir.

Anahtar Kelimeler: İnşaat mühendisliği, Yapay zekâ, Derin öğrenme, Makine öğrenmesi, Görüntü işleme.

Artificial Intelligence Studies In Civil Engineering

Abstract

The term artificial intelligence, which has emerged with the development of technology in recent years, has managed to make itself known and become an agenda in almost every field. The positive aspects of the term, which has caused a lot of discussion with its benefits and harms, are much more outweighed. Based on all these, the use of this technology is becoming widespread in one of the most important sectors of our country, such as civil engineering. In this study, the studies on artificial intelligence made in the last 10 years in the field of civil engineering were evaluated and the latest point of technology in this branch was revealed according to the success or failure rates achieved. Studies have shown that although the concept of artificial intelligence can be described as a new concept in civil engineering, the results obtained are quite good and promising.

Keywords: Civil engineering, Artificial intelligence, Deep learning, Machine learning, Image processing.

*Sorumlu yazar gdogan@ktun.edu.tr, ¹beyzagltn42@gmail.com

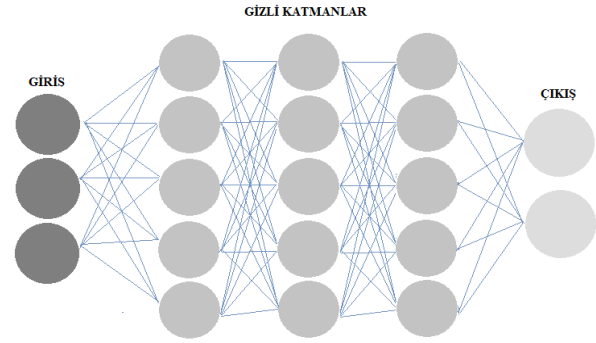
1. GİRİŞ

İnsanları yaratılmış diğer tüm canlılardan ayrılan en önemli özelliği beyni ve karar verebilme mekanizmasıdır. İnsanoğlu bu mekanizmayı cansız varlıklar üzerinde uygulamak istemiş, bu istek ve merak doğrultusunda ‘yapay zekâ’ terimi ortaya çıkmıştır.

Yapay zekâ makineler tarafından insana özgü özelliklerin taklit edilmesi ve taklit edilen bu davranışların uygulamaya geçirilmesi işlemidir. Kelime anlamı olarak bir bilgisayarın veya bilgisayar kontrolü altında bulunan bir robotun zeki canlılar gibi bazı faaliyetleri yerine getirme yeteneğidir (URL 1). Ancak inşaat mühendisliğinde en çok kullanılan yapay zekâ teknikleri makine öğrenmesi, yapay sinir ağları, görüntü işleme, derin öğrenme ve bulanık mantıktır. Çalışma kapsamında bu teknikler açıklanacak ve özellikle son 10 yılda inşaat mühendisliği alanında bu teknikler kullanılarak yapılmış çalışmalara yer verilecektir.

1.1. Derin öğrenme (Deep learning)

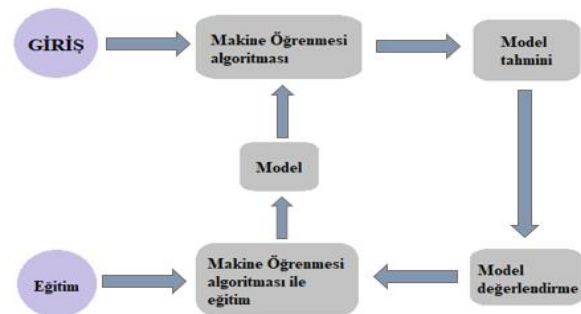
Derin öğrenme (DÖ), yapay zekânın son yıllarda oldukça dikkat çeken alanlarından biri olan makine öğrenmesinin alt dalı olarak; artan veri sayısı ile bu verilen analizin yapılması, öğrenme ile konuşmayı tanıma, çeşitli görüntülerden nesne tanıma, tahmin yapma vb. görevleri yapabilmek için tasarlanan algoritma sınıfının genel adıdır. Modelin derinliğini katman sayısı belirlemektedir (Chollet, 2017). Çok sayıda veri girişinden ayırt edici nitelikleri kendisi öğrenir. Veri girişi ne kadar çok olursa öğrenme o kadar iyi gerçekleşir ve tahminler o kadar gerçeğe yakın olur. Üç ana derin öğrenme modeli bulunmaktadır. Bunlar: Evrimsel Sinir Ağı (ESA), Çok Katmanlı Algılayıcılar (ÇKA), Yinelemeli Sinir Ağı (YİSA)’dır. Ses tanıma sistemlerinde, alarm sistemlerinde, sağlık sektöründe, yüz tanıma sistemlerinde, sürücüsüz araçlarda, görüntü iyileştirilmesinde, siber tehdit analizlerinde, tavsiye sistemlerinde kullanılmaktadır (URL 2). Makine öğrenmesinde cisimlerin nitelikleri manuel olarak ayırt edildikten sonra modelleme yapılabilirken derin öğrenmede söz konusu nitelikler otomatik olarak belirlenir, makine kendi kendine öğrenir (URL 3).



Şekil 1. Derin öğrenme modeli (URL 4)

1.2. Makine öğrenmesi (Machine learning)

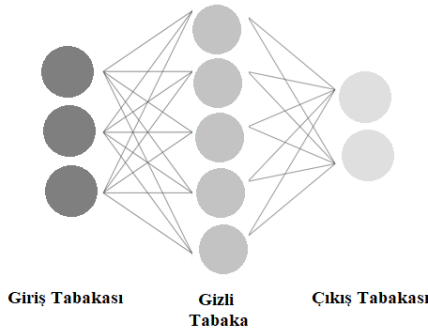
Makine öğrenmesi (MÖ), birtakım matematiksel ve istatistiksel işlemlerle verilerin öğrenme yapabildiği ve öğrendiği bilgiler doğrultusunda tahminlerde bulunabildiği yapay zekânın önemli bir alt dalıdır. MÖ yöntemi temelde regresyon ve sınıflandırma işlemleri için kullanılabilir. MÖ algoritması, regresyon modellerinde girilen veriler yardımıyla öğrenir ve mantıklı tahminler yapar. Sınıflandırma modellerinde ise verilerin hangi kategorik sınıfa ait olduğu belirlenebilmektedir. Algoritma söz konusu iki kategoride verileri öğrenerek bunlara göre tahminde bulunur. MÖ’de bu işlemleri gerçekleştirebilen birçok alt dallar mevcuttur. Regresyon tabanlı MÖ algoritmalarına; basit doğrusal regresyon (BDR), çoklu doğrusal regresyon (ÇDR), destek vektör makineleri (DVM), rassal orman; sınıflandırma tabanlı MÖ algoritmalarına ise karar ağaçları, K-En yakın komşuluk ve diskriminant analizi örnek verilebilir.



Şekil 2. Makine öğrenmesi akış şeması (Gültepe, 2019)

1.3. Yapay sinir ağları (Artificial neural network)

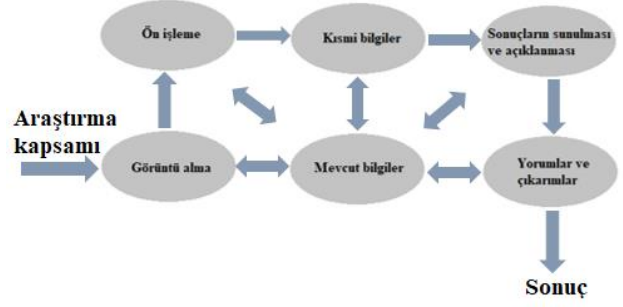
Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin yapısından yararlanılarak ortaya konulan ve beyindeki sinir ağları çalışma prensibi ile benzer nitelikte olan bir yapay zekâ dalıdır. Diğer bir deyişle insan beyni işleyişini örnek olarak geliştirilmiş bir sistemdir. Giriş tabakası, gizli tabaka ve çıkış tabakası olmak üzere üç katmandan oluşur (Sağlam, 2020). YSA'ya girilen veri sayısı oldukça önemlidir. Optimum veri sayısı aşıyor ise burada öğrenmeden ziyade ezberleme söz konusu olur. Verilerin %80'i yapay sinir ağlarına öğretme için kullanılıp kalan %20'lik kısım ise test etmek için kullanılmalıdır (Özbayrak, 2019).



Şekil 3. Yapay sinir ağları modeli (Sağlam, 2020)

1.4. Görüntü işleme (Image processing)

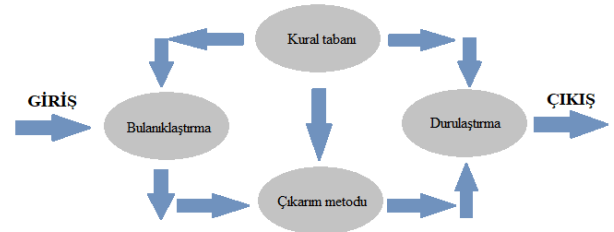
Görüntü işleme (Gİ), insan gözünün görüntüleri görme ve algılamasından esinlenerek geliştirilmiştir. İnsan gözünün görüntüleri algılamasının çeşitli aşamaları bulunmaktadır; cisimlerden yansarak gelen ışınlar önce korneadan, gözbebeğinden ve mercekten geçer ardından görüntü ters çevrilerek retinaya ulaşır. Sonrasında bu ışık elektrik sinyallerine dönüştürülerek sinir uçlarına ve beyne ulaştırılır. Bu sayede beyin görüntü hakkında bilgi sahibi olur (Onat, 2008). Anlatılan işlemleri mikrosaniyeler içerisinde tıpkı beyin gibi gerçekleştirebilecek olan bir makine henüz bulunmamaktadır. Ancak doğada var olan cisimleri bilgisayar ortamına aktarmak için görüntü işleme yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde kamera, yani optik alıcı kullanılarak alınan görüntüler bilgisayar ortamında başka bir forma dönüştürülerek işlenebilir (Çomak, 2012). Gİ uygulamalarında MATLAB, GOM Corrolate, Python gibi programlardan yararlanılmaktadır. Uygulamalarda renkli, siyah-beyaz, gri renkli görüntüler kullanılabilir. Ayrıca görüntü üzerinde açma, kapama, aşındırma, morfolojik işlemler ve filtreleme gibi çeşitli değişiklikler çalışma amacına uygun olarak yapılabilir (Doğan, 2017).



Şekil 4. Görüntü işleme akış şeması (Aydın, 2019)

1.5. Bulanık mantık (Fuzzy logic)

Yöntemin temeli, bulanık küme ve alt kümelere dayanmaktadır. Yaygın yaklaşımda herhangi bir nesne ya kümenin elemanıdır ya da değildir. Bu durum matematiksel olarak ifade edileceğinde nesne kümenin elemanı ise '1' ile değil ise '0' değerlerini alır. Ancak bulanık mantık (BM) yönteminde her bir kümenin elemanlarının üyelik derecesi bulunmaktadır. Söz konusu üyelik derecesi 0 ile 1 arasında bir değer alır. Klasik yöntemlerde hızlı-yavaş, soğuk-sıcak gibi kesin ayrımlar varken BM yöntemi biraz hızlı, biraz yavaş gibi keskin olmayan sonuçlar üretir ve bu yönüyle gerçek dünya problemlerine benzetilmektedir (URL 2). BM, gerçek yaşamda sunulan belirsizliklerle ilgilenir (Usta vd., 2021). İnsanın düşünme biçimine benzeyen bir akıl yürütme yöntemidir. BM yaklaşımı, insanlarda evet ve hayır dijital değerleri arasındaki tüm ara olasılıkları içeren karar verme şeklini taklit eder. Normal bir yapay zekâ uygulamasının yapısı temel girdiler, program ve sabit bir sonuç şeklinde iken BM uygulaması sayısı belirli olmayan veri yığını, program ve değişken birden fazla sonuç şeklindedir. Otomotiv sistemlerinde, elektronik ürünlerde, beyaz eşyalarda, ev aletlerinde, klima vs. gibi ürünlerde kullanım alanına sahiptir (URL 5).



Şekil 5. Bulanık mantık akış şeması (URL 6)

2. YAPAY ZEKÂ İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ UYGULAMALARI

Dünya genelinde iş gücünün en yüksek olduğu inşaat sektöründe yapay zekâ kullanımı ne yazık ki istenilen düzeyde değildir. Ancak yapay zekânın diğer sektörlerdeki aktif kullanımı ve meydana gelen olumlu gelişmeler inşaat mühendisliği alanını da etkilemektedir. Bu da sektörü gelişen teknolojinin nimetlerinden faydalanmaya itmektedir (URL 7). Bu çalışmada, yapay zekâ teknolojilerinin inşaat mühendisliği disiplindeki uygulamaları incelenmiş, bu kapsamda literatürde yapılan çalışmalardan inşaat mühendisliği bilimi ile ilgili olanlar süzülüş ve kazanımları irdelenerek tartışılmıştır.

2.1. Derin öğrenme (DÖ) ve inşaat mühendisliği uygulamaları

Zhang vd. (2021), geoteknik alanında DÖ algoritmasının uygulanmasına dayalı eleştirel bir çalışma yapmıştır. Yapılan incelemenin sonucunda geoteknik mühendisliği dalında yapılan literatür çalışmalarında DÖ algoritmalarının trend kazandığı gözlemlenmiştir.

Akan vd. (2020), yapay zekâyı depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanmak istemiş, Gİ ve DÖ yöntemlerini beraber kullanarak düzensiz taşıyıcı sistem tespiti yapmıştır. Çalışmada araştırmacılar mimari tasarım sırasında mimarlara taşıyıcı sistem ve deprem mimarlığı hakkında bilgi verecek bir Düzensizlik Kontrol Asistanı yapmışlardır. Sonuç olarak insanın öğrenme mekanizmasını taklit edebilen bu asistanın taşıyıcı sistem düzensizlikleri hakkında tutarlı ve doğru yorum yapabildiğine ulaşılmıştır.

Çakıroğlu ve Süzen (2020), inşaat mühendisliğinde DÖ algoritmalarının geliştirilmesi ve kullanılması üzerine bir literatür araştırması yapmıştır. Çalışmanın sonucunda DÖ yönteminin inşaat mühendisliği alanında kullanımının oldukça pratik ve maliyet açısından oldukça kârlı olduğuna dikkat çekilmiştir.

Mangalathu ve Burton (2019), depremden etkilenen binaların DÖ'ye dayalı bir yöntemle sınıflandırılması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada 2014 yılında Kaliforniya depremi sonucu 3423 binada meydana gelen hasarlardan oluşan veri seti kullanılmıştır. Veri setinde binalar az, orta ve çok hasarlı olmak üzere sırasıyla yeşil, sarı ve kırmızı renklerle etiketlenmiştir. Eğitim seti kullanılarak tahmine dayalı bir model oluşturulmuş ve bu modelin

performansı test seti ile değerlendirilmiş %86 tahmin başarısı elde edilmiştir.

Zhong vd. (2019), bina kalitesi problemlerinin DÖ'ye dayalı sınıflandırılması üzerine bir çalışma yapmıştır. Bu çalışma, bina kalitesi şikayetlerinde bulunan kısa metinleri otomatik olarak sınıflandırmak için DÖ yöntemini içeren yeni bir ESA tabanlı yaklaşımı araştırmıştır. Sonuçlar, yöntemin iyi performans verdiğini göstermiştir.

Abdeljaber vd. (2018), ESA'yı sismik tabanlı yapı hasarlarının tespiti için kullanmışlardır. Binalar hasar derecelerine göre dokuz sınıfa ayrılmıştır. Sonuç olarak, geliştirilmiş ESA tabanlı yaklaşımın, gerçek hasar miktarını başarıyla tahmin ettiği gösterilmiştir.

Atha ve Jahanshahi (2018) çalışmalarında, korozyon tespiti için ESA'ya dayalı DÖ yaklaşımlarını kullanmışlardır. Çalışmada önerilen modelin önemli ölçüde bir başarı ile korozyonu algıladığı görülmüştür.

Cha vd. (2018), birden fazla hasar türünün (beton çatlağı (orta ve yüksek seviyeli iki grupta), çelik korozyonu, cıvata korozyonu ve çelik delaminasyonu) tespiti için lokasyon tabanlı DÖ'yü kullanan yapısal görsel inceleme yapmıştır. Birden çok hasar türünün eşzamanlı tespitini yapmak için, farklı ESA ağları kullanılarak yapısal görsel inceleme yöntemi önerilmiştir. Sonuçlar, yöntemin beş hasar türü için sırasıyla %90,6, %83,4, %82,1, %98,1 ve %84,7 doğrulukla tahmin yapabileme başarısını göstermiştir.

Fang vd. (2018), şantiyelerde işçilerin ve ağır ekipmanların otomatik olarak algılanması için bir ESA oluşturmuştur. Çalışmada geliştirilen modelin şantiyelerde çalışanların ve ekskavatörlerin varlığını yüksek bir doğruluk düzeyinde (sırasıyla %91 ve %95) tespit ettiği görülmüştür.

Pathirage vd. (2018), DÖ'ye dayalı çelik yapılarda hasar tespiti üzerine bir çalışma yapmıştır. Çelik çerçeve yapıları üzerinde sayısal ve deneysel araştırmalar, geleneksel YSA yöntemleriyle karşılaştırıldığında önerilen DÖ yönteminin doğruluğunun ve verimliliğinin daha iyi olduğu kanıtlanmıştır.

Patterson vd. (2018), bina deprem hasarlarının sınıflandırılması için DÖ yöntemini kullanmıştır. Sonuçlar, sınıflandırılmış hasar/yapı modellerine yönelik bir DÖ çözümünün mümkün olduğunu ve eğitim için daha fazla görüntü sağlandıkça, sistemin daha karmaşık sınıflandırmaları başarabileceğini göstermiştir.

Yaseen vd. (2018), çalışmalarında kiriş-kolon bölgesi kesme tahminini hibritleşmiş DÖ sinir ağı yoluyla yapmışlardır. Çalışma için literatürde son yirmi yılda yapılan deneysel veriler toparlanmış, deneysel sonuçlar ile geliştirilen model sonuçlarının tahmin değerleri arasında kabul edilebilir bir uyum olduğu gözlemlenmiştir.

Avcı vd. (2017), yapısal hasar tespiti için DÖ üzerine bir çalışma yapmış, bir boyutlu ESA kullanılmıştır. Çalışmada ayrıca çelik çerçeve üzerinde deneysel bir çalışma yapılmış, deneysel sonuçlar, önerilen algoritmanın geleneksel MÖ tabanlı hasar tespit yöntemlerine bir alternatif olarak çok umut verici olduğunu göstermiştir.

Cha ve Choi (2017), ESA'yı kullanarak betonarme yapılarıdaki hasarların tespiti üzerine bir çalışma yapmıştır. Önerilen yaklaşımın doğruluğu ve uyarlanabilirliği, çeşitli koşullar altında farklı bir yapıdan alınan 55 görüntü üzerinde test edilmiştir. Sonuçlar, önerilen yöntemin oldukça iyi performans gösterdiğini ve yapılarda hasar sonucu oluşan çatlakların bu yöntem ile tespit edilebileceğini göstermiştir.

Lin ve Nie (2017) çalışmalarında, yapısal hasar tespitini DÖ yoluyla yapan otomatik hasar çıkarma yöntemini geliştirmişlerdir. Çalışmada, özellikleri öğrenmek ve hasar konumlarını belirlemek için bir ESA tasarlanmıştır. Geliştirilen algoritmanın yapısal hasarları belirlemede olumlu sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Ma vd. (2017), büyük ölçekli ulaşım ağı hız tahmini için ESA kullanmıştır. ESA algoritması; diğer MÖ modellerinden elde edilen veriler ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, önerilen yöntemin, diğer algoritmalarından %27,96'lık bir ortalama ile daha fazla doğruluk gösterdiğini ortaya koymuştur.

2.2. Makine öğrenmesi (MÖ) ve inşaat mühendisliği uygulamaları

Arama vd. (2020) çalışmalarında, ince taneli zeminlerin kıvam sınıfı tahminleri için MÖ regresyon analizi yapmışlardır. Bunun için İstanbul'da yüksek ve çok yüksek plastik killi topraklarda yapılan zemin etüt çalışmalarından (500) bir veri seti oluşturulmuştur. Çalışmada, basit regresyon analizi ile killi topraklardan sadece belirli killerin sıvı limit değerleri dikkate alınarak kıvam özellikleri değerlendirilerek bu zorlukların üstesinden gelinmesi amaçlanmıştır. Çalışma sonucunda güçlü denklemler elde edilmiş ve

literatür kaynakları ile karşılaştırıldığında denklemlerin kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Arslan vd. (2020), Keban Baraj Gölü'ndeki seviye değişimlerinin MÖ algoritmalarından DVM ve Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) yöntemi ile tahmini ile ilgili bir çalışma ortaya koymuştur. Elde edilen tahmin sonuçları gerçek gözlem sonuçları ile karşılaştırılmış ve modelin başarılı olduğu sonucuna varılmıştır.

Cao vd. (2020), kolon-kiriş birleşimlerine ilişkin momentleri tahmin etmek üzere MÖ yöntemleri kullanmışlardır. Öngörülen tahminin doğruluğu YSA ve Genetik Programlama (GP) ile karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar MÖ algoritmalarının daha iyi performans sağladığı görülmüştür.

Gao ve Lin (2020), MÖ yöntemlerini kullanarak kiriş-kolon birleşimlerinde hasar analizi tahmin modeli üzerinde çalışmışlardır. 580 adet test verisi üzerinde gerçekleştirilen çalışmanın sonucuna göre MÖ algoritmalarından Rassal orman ve XGBoost algoritması tahmin modelleri için yüksek doğruluk sağlayabilirken, XGBoost tahmin doğruluğunun biraz daha yüksek olduğu elde edilmiştir.

Hwang vd. (2020) çalışmasında, deprem etkisi altındaki çerçeve sistemli sünek betonarme binanın sismik talebi ve göçme tahmini için MÖ tabanlı yaklaşımlardan faydalanmıştır. Çalışmada Kaliforniya'da oldukça sismik bir bölgede tasarlanmış çerçeve sistemli farklı kat sayısındaki betonarme yapıların analizlerinden elde edilen sonuçlar algoritma için veri seti olarak kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre XGBoost algoritması, regresyon tabanlı diğer MÖ algoritmalarından daha iyi performans göstermiştir.

Okazaki vd. (2020), MÖ'nün beton köprülerde çatlak modeline uygulanabilirliği üzerine bir çalışma yapmıştır. Sonuçlar, çok az veri için bile MÖ'nün mükemmel uygulanabilirliğini göstermiştir.

Khai vd. (2019), baraj su seviyelerinin günlük tahmini için MÖ yöntemlerini kullanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, zaman serisi regresyon tahmin modelinin DVM modelinden daha iyi bir tahmin sonucu verdiğini göstermektedir.

Mangalathu vd. (2019), MÖ tekniklerini kullanarak köprülerin hızlı sismik hasar değerlendirmesi hakkında bir çalışma yapmışlardır. Önerilen metodoloji için veri seti olarak Kaliforniya'da iki açıklıklı kutu kirişli köprüler seçilmiştir. Çeşitli MÖ modelleri kullanılmış,

ancak Rassel orman algoritmasının seçilen köprüler için daha iyi performans sağladığını, doğruluğunun %73 ile %82 arasında değiştiği belirtilmiştir.

Özel ve Büyükyıldız (2019), yapay zekâ yöntemlerinin aylık buharlaşma tahmininde kullanılabilirliğini araştırmıştır. Söz konusu çalışmada Konya Kapalı Havzası'nda bulunan Karaman İstasyonu'nun verileri kullanılarak ANFIS, DVM ve YSA yöntemleri ile buharlaşma tahminleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda en başarılı model DVM olmuştur.

Doğan (2018) çalışmasında, betonarme kolonların deprem sonrası hasar seviyelerini akıllı sitem tabanlı bir yöntemle belirlemeye çalışmıştır. Kolon yüzeylerinden alınan 390 adet hasar görüntüsü yardımıyla veri setleri oluşturulmuştur. Hasar görüntülerinden çatlakların özellikleri çıkarılmış ve bu verilere göre MÖ sınıflandırıcı algoritmaları kullanılarak kolonların hasar seviyesi sınıflandırmıştır. Tahminlerden elde edilen başarılar %64 ile %80 arasında değişmektedir.

Neves vd. (2018), köprülerdeki hasar tespiti için MÖ yöntemlerini kullanmıştır. Çalışmada bir demiryolu köprüsü için sonlu eleman modeli kullanılarak veriler elde edilmiş ve köprü hasar tahmini için MÖ yönteminin uygulanabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Prayogo (2018), beton karışım özelliklerine ve erken dayanımı testi sonuçlarına göre beton basınç dayanımı tahmini yapan bir MÖ algoritması üzerine çalışmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre MÖ'nin beton basınç dayanımı tahmininde başarılı olduğu gözlenmiştir.

Zhang vd. (2018), çalışmalarında deprem sonrası betonarme yapı güvenliğini değerlendirmek için bir MÖ algoritması sunmuştur. Önerilen metodoloji, depremselliği yüksek bir bölgede bulunan 4 katlı betonarme çerçevesel bir binaya uygulanmıştır. Çalışma sonucunda önerilen metodun %86 ile %90 arasında doğruluk oranı ile hasar görmüş bir binanın herhangi bir depremden sonra yeniden kullanılmasının güvenli olup olmadığının hızlı bir şekilde değerlendirmesi için uygulanabilir olduğu görülmüştür.

Gui vd. (2017), yapı sağlığı izleme ve hasar tespiti için DVM yöntemi kullanarak bir çalışma yapmıştır. Çalışmada literatürden elde edilen 17 farklı deneysel veri seti kullanılmış, DVM algoritmasının başarılı sonuçlar verdiğini gözlemiştir.

Rafiei ve Adeli (2017), yüksek binalardaki hasarları tespit etmek amacıyla MÖ algoritmalarını ve Nöral

Dinamik Sınıflandırma (NDS) algoritmasını kullanmışlardır. Geliştirilen model 38 katlı betonarme bina yapısından elde edilen veriler kullanılarak doğrulanmıştır. Çalışmada kullanılan algoritmalarından NDS, geliştirilmiş olasılıklı sinir ağları (GOSA), olasılıklı sinir ağları (OSA) ve k-en yakın komşuluk (KEYK) sırasıyla %96, %94, %92 ve %82'lik maksimum ortalama doğruluklar vermiştir.

Santos vd. (2016) çalışmalarında, hasar tespiti için MÖ algoritmasından faydalanmışlar ve bu önerilen MÖ algoritmalarının hasar tespiti için uygulanabilir olduğunu gözlemiştir.

Worden ve Manson (2016), MÖ'nin yapı sağlığı izleme çalışmaları üzerine bir uygulama yapmışlardır. Çalışmada verilere dayalı yaklaşımın yapılarda hasar tespiti tahminine yönelik etkileri araştırılmıştır. Elde edilen sonuca göre MÖ algoritmalarının yapılarda hasar tanımlama problemlerinde uygulanabilir olduğu görülmüştür.

Erdal (2015) çalışmasında, MÖ yöntemlerini kullanarak beton basınç dayanım tahmini yapmıştır. Çalışmada 17 farklı laboratuvarında üretilen 1030 beton numunesi kullanılmıştır. Yüksek performanslı betonların basınç dayanım tahmininde YSA ve DVM kullanmış, oldukça yüksek doğrulukta tahmin başarıları elde etmiştir. İki yöntem kıyaslandığında ise DVM'nin daha tatmin edici sonuçlar verdiğini ortaya konulmuştur.

Jeon vd. (2014) çalışmalarında, MÖ teknikleri kullanarak kolon-kiriş birleşimlerinin kesme dayanımları için istatistiksel modeller sunmuşlardır. Çalışmada çoklu doğrusal regresyon (ÇDR) yöntemi kullanılmıştır. Mevcut çerçeve türü betonarme binalarda birleşim bölgesi kapasitesinin değerlendirilmesi için bu yöntemin uygulanabilir olduğu görülmüştür.

Sudheer vd. (2014), aylık akış tahmini için DVM ve YSA yöntemlerini kullanmıştır. Çeşitli girdi yapılarına sahip DVM modelleri oluşturulmuş ve en iyi yapı belirlenmiştir. DVM modelinin performansı, YSA ile karşılaştırılmış, DVM'nin yüksek derecede doğruluk ve güvenilirlik sağladığı için aylık akışları tahmin etmek için daha iyi bir alternatif olabileceğini göstermiştir.

Huang ve Cox (2012), MÖ tekniklerini kullanarak akıllı binalarda tehlike algılama üzerine bir çalışma yapmıştır. Toplanan verileri akıllıca analiz etmek ve algılanan tehlikeler için otomatik olarak erken uyarı sinyalleri oluşturmak için bir MÖ algoritması geliştirilmiştir. Deneysel sonuçlar, MÖ algoritmasını ve bina

tehlikelerinin erken tespiti için kablosuz bir sensör ağı kullanmanın etkinliğini doğrulamıştır.

Samui ve Sitharam (2011) çalışmalarında, toprak sıvılaşma duyarlılığını tahmin etmek için MÖ modellerinden faydalanmışlardır. Çalışmada, 1999 Chi-Chi Tayvan depreminden elde edilen standart penetrasyon testi (SPT) verileri kullanılarak YSA ve DVM algoritmaları tahmin modeli olarak sınanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre DVM algoritmasının tahmin başarısında YSA'dan daha etkili olduğu vurgulanmıştır.

Kim vd. (2004), regresyon analizi, sinir ağları ve vaka tabanlı muhakemeye dayalı inşaat maliyeti tahmin modellerinin karşılaştırılması üzerine bir çalışma yapmış 530 adet inşaat maliyet verisi kullanılmıştır. YSA modeli, diğer modellerden daha doğru tahmin sonuçları vermesine rağmen, vaka bazlı muhakeme tahmin modeli, uzun vadeli kullanım, sonuçtan elde edilen bilgiler ve zamana karşı doğruluk ticareti açısından daha iyi performans göstermiştir.

2.3. Yapay sinir ağları (YSA) ve inşaat mühendisliği uygulamaları

Acar ve Saplıoğlu (2020), akarsulardaki sediment taşınımının ANFIS ve YSA yöntemleri kullanılarak tespiti üzerine bir çalışma yapmıştır. Fırat havzası üzerinde bulunan Murat nehri, Göynük çayı ve Peri suyu gibi nehirler söz konusu sediment taşınımı için araştırılmıştır. Çalışmada veri seti olarak yağış, sıcaklık, sediment ve debi verilerinden yararlanılmıştır. Regresyon katsayısı açısından en başarılı sonuç YSA modelinden elde edilse de ortalama yüzde hatası açısından her iki model birbirine yakın başarılı sonuçlar vermiştir.

Cansız vd. (2020), trafik kazaları ve yaralı sayılarının tahmini için YSA ve regresyon modellerini kullanmışlardır. Yapılan analizler sonucu, YSA modelinin diğer modellere göre daha yüksek tahmin başarısı verdiği görülmüştür.

Cansız vd. (2020), yapay zekâ ve regresyon yöntemleri ile karayolları enerji tüketiminin modellenmesi üzerine çalışmıştır. Çalışma kapsamında YSA, ANFIS ve ÇDR yöntemleri kullanılmıştır. En iyi sonuç ÇDR yönteminden elde edilen tahminlerden elde edilmiştir.

Marangu (2020), YSA ve DVM kullanarak kil esaslı çimento harçlarının basınç dayanımı tahmini hakkında bir çalışma yapmıştır. Kil esaslı çimento ve Portland çimentosunun belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde

edilen numunelerin basınç dayanım tahminlerine göre YSA'nın daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

Moayedi vd. (2020), geoteknik alanında YSA kullanımı üzerine derleme bir çalışma yapmıştır. YSA'nın, karmaşık geoteknik problemlerinde güvenilir bir araç olduğu ve kullanıcı dostu özelliği ile zaman tasarrufu sağladığı ortaya konulmuştur.

Sağlam (2020) çalışmasında, farklı malzemeler kullanılarak üretilen hafif betonların karışım tasarımlarının belirlenmesinde YSA modelini kullanmıştır. Çalışmada karışımdaki hafif agrega miktarının tahmini için dört farklı YSA modeli tasarlanmıştır. YSA'dan elde edilen sonuçlar ile literatürde deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış sonuç olarak geliştirilen yöntemin hafif beton karışımlarında kullanılabilecek pratik bir yöntem olduğu ortaya konulmuştur.

Yalçın (2020), YSA ile basit mesnetli köprülerin hareketli yük dağılım faktörlerine ait denklemlerinin elde edilmesi üzerine bir çalışma yapmış, YSA sonuçlarının oldukça iyi tahminler yapabildiğini göstermiştir.

Yörübulut vd. (2020), YSA ve regresyon yöntemleri ile beton basınç dayanımı tahmini üzerine bir çalışma yapmıştır. Çalışmada 117 tane karot numunesi için tahribatsız yöntemlerle elde edilen değerler veri seti olarak kullanılmış, YSA ve regresyon modellerinden elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak tahribatsız yöntemlerle elde edilen verilerden oluşan YSA ve regresyon modellerinin tahmini, tahribatlı yöntemlere oldukça yakın çıkmıştır.

Katanalp vd. (2019), atık kömür katkılı asfalt betonunun özelliklerinin YSA ve merkezi kompozit tasarım yöntemleri kullanılarak karşılaştırılması üzerine bir çalışma yapmıştır. Çalışma sonucunda normalde üretilmesi gereken numune sayısının azalacağı ve durumun hem maliyet hem de zaman açısından araştırmacılara kolaylık sağlayacağı ortaya konulmuştur.

Özbayrak (2019), yaptığı bir çalışmada YSA kullanarak deprem etkisi altında betonarme kirişsiz plakların eğilme momentlerini %98'lik bir tahmin başarısı ile elde etmiştir.

Yardım vd. (2019), sönmüş kireç katkısının asfalt karışımlar üzerindeki etkilerini YSA ve BM ile modellemiştir. 15 adet Marshall tasarımı içerisine %6,8'den başlayarak ve 0,5 azaltılarak sönmüş kireç

ilave edilmiş ve bu karışım sonuçları YSA modelini geliştirmek için kullanılmıştır. Geliştirilen YSA modeli, karışım parametreleri için kabul edilebilir tahminler üretmiştir.

Chao vd. (2018), YSA modeli kullanılarak geoteknik alanında yapılan çalışmaları incelemiştir. YSA algoritmasının kayaların özellikleri, kaya ve toprağın deformasyonu, eğimlerin stabilitesi, yapı malzemelerinin deprem yükü altında deformasyonu gibi parametreleri tahmin etmek ve toprağı sınıflandırmak için kullanılabilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Salam ve Keskin (2018), Dibis Barajı'nın seviye tahmini için YSA modellerini kullanmıştır. Çalışmada; baraja giren akım değerleri, barajdan çıkan akım değerleri, başlangıç su seviyesi ve yağış değerleri modellerin tahmininde çeşitli kombinasyonlar oluşturularak kullanılmıştır. Burada amaç, en iyi tahmin değerine ulaşmak için YSA modelinin ihtiyaç duyduğu değişkenleri elde etmektir. Çalışma kapsamında farklı modeller oluşturulmuş ve sonucunda ise en iyi tahmin hazneden çıkan debi, hazneye giren debi ve başlangıç su seviyesine göre oluşturulan YSA modeli ile elde edilmiştir.

Behmanesh ve Mehdizadeh (2017), çalışmalarında altı farklı derinlikteki toprak sıcaklığını tahmin etmek için YSA dahil olmak üzere yapay zekâ için biyolojik olarak ilham alan iki yaklaşım ve ÇDR kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre YSA yaklaşımının en iyi performans gösterdiği görülmüştür.

Ilkhani vd. (2017), YSA yardımıyla betonarme kirişlerin burulma kapasitelerini hesaplamışlardır. Burulma etkisindeki 112 adet betonarme kiriş üzerinde yapılan deneylerin sonuçları veri seti olarak kullanılmıştır. Kirişler üzerinde yapılan deneysel sonuçlar ve YSA sonuçları arasındaki maksimum hata %30 olarak elde edilmiştir.

Khademi vd. (2017), betonun 28 günlük basınç dayanımını çeşitli yapay zekâ yöntemleri ile tahmin etmek istemiştir. 173 veri setinden oluşan deneysel sonuçlar dikkate alınarak bu makalede; ÇDR, YSA ve ANFIS olmak üzere üç farklı model oluşturulmuştur. Bu üç model birbirleriyle karşılaştırılmış ve YSA ve ANFIS modellerinin daha kesin ve doğru sonuçlar verdiği elde edilmiştir.

Mazanoğlu ve Kandemir (2017), YSA ile çatlaklı kirişlerin modellenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda, kirişlerle ilgili bulguların deney gözlemine ihtiyaç olmadan bu model

ile tahmin edilebilmesinin mümkün olduğu görülmüştür. Ayrıca çalışmada kirişlerdeki çatlak yerleri hakkında bir öngörü de sunulmuştur.

Suryanita vd. (2017), YSA kullanarak deprem sonrası betonarme binaların hasar seviyesi tahmini üzerinde çalışmıştır. Elde edilen sonuçlara göre YSA modelinde yapı hasar seviyesinin tahmin oranı %85-%95 arasında olduğu görülmüştür.

Tezel ve Büyükyıldız (2016), aylık buharlaşma tahmini için YSA ve DVM yöntemlerini beraber kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlar, buharlaşma miktarının tahmininde kullanılan ampirik denklemlerin sonuçları ile karşılaştırılmış, YSA ve DVM yöntemlerinin başarısının birbirine çok yakın olduğu gözlemlenmiştir.

Arslan vd. (2015), mevcut betonarme binaların deprem performansının YSA modeli ile tahmini üzerine bir çalışma yapmıştır. YSA tabanlı hızlı değerlendirme algoritması, 4-10 katlı betonarme binaların ekonomik ve hızlı bir değerlendirmesini yapmış ve araştırmaya göre YSA'nın tahmin doğruluğu %74 civarında bulunmuştur.

Chun vd. (2015), YSA kullanarak köprü hasarları üzerine bir çalışma yapmışlardır. Köprü güvenlikleri için erken hasar tespitinin oldukça önemli olması sebebiyle yapılan çalışmada, hasarların yerinin ve derecesinin belirlenebildiği YSA tabanlı bir sistem geliştirilmiştir.

Büyükyıldız vd. (2014), çalışmalarında, Beyşehir Gölü'ndeki aylık su seviyesi değişimini tahmin etmek için parçacık sürüsü optimizasyonuna dayalı YSA, Destek Vektör Regresyonu (DVR), çok katmanlı YSA, radyal temel YSA dahil olmak üzere beş farklı yapay zekâ yöntemi ve uyarlanabilir ağ tabanlı bulanık çıkarım sistemi, kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda, DVR modeli en yüksek tahmin oranı ile en başarılı model olmuştur.

Bahadır (2013) çalışmasında, cam elyaf katkılı cephe kaplama elemanlarının teklif fiyatının tahmininde YSA yöntemini kullanmıştır. Modelde 100 adet değişik işe ait proje verileri kullanılmıştır. Sonuç olarak YSA'dan elde edilen teklif fiyatları ile normal teklif fiyatları karşılaştırılmış, elde edilen sonuçların küçük hata payları dâhilinde kabul edilebilir olduğu bilgisine ulaşılmıştır.

Gemici vd. (2013), akarsu debilerini çeşitli yapay zekâ yöntemleri ile modellemek istemiştir. Çalışma kapsamında Kızılırmak Nehri'nin kollarında farklı 5

istasyon seçilmiş ve 22 değişik akım şartlarında debiler belirlenmiştir. YSA ve BM modellerinin başarılı olduğu ve tahmin sonuçlarının birbirlerine yakın olduğu görülmüştür. En iyi sonuç ANFIS yönteminden alınmıştır.

Yavuz vd. (2013), YSA yöntemi ile Fiber Takviyeli Plastik (FRP) ile güçlendirilmiş betonarme kirişlerin kayma mukavemetini tahmin etmek üzere bir çalışma yapmıştır. Literatürde bulunan 96 adet dikkörtgen kirişin deney sonuçları veri seti olarak kullanılmıştır. Çalışma, YSA modelinin betonarme kirişlerin nihai kesme dayanımı için makul tahminler verdiğiini göstermiştir.

Köroğlu vd. (2012), kombine YSA kullanılarak dört taraflı FRP ile sarılı betonarme kolonların eğilme kapasitesini tahmin etmek amacıyla bir çalışma yapmıştır. Literatürdeki mevcut geleneksel yaklaşımlara kıyasla önerilen YSA modellerinin doğrulukları daha tatmin edici çıkmıştır.

Okkan ve Dalkılıç (2012), yaptıkları çalışmada radyal temel YSA kullanarak büyük Menderes Havzası'nda bulunan Kemer Barajı Havzası'na ait aylık akışı tahmin etmeye çalışmışlardır. Sonuçlar, istatistiklerle karşılaştırıldığında modelin oldukça başarılı tahminler yaptığı görülmüştür.

Kök vd. (2011), değişik şartlarda hazırlanmış modifiyeli bitümün viskozitesinin YSA ile modellenmesi üzerine çalışmıştır. Model ile tahmin edilen veriler ile gerçek veriler arasında 0,92 yüksek korelasyon oranı elde edilmiştir.

Uğur vd. (2011), yığma yapı maliyetlerini tahmin etmek amacı ile YSA modeli kullanmıştır. Çalışma için uygulamada sıklıkla tercih edilen tek katlı yığma yapı modeli tasarlanmıştır. Oluşturulan YSA modelinde yapı boyutları, karakteristikleri ve alanı girdi olarak kullanılırken çıktı olarak maliyet bedeli kullanılmıştır. Çalışma sonucunda %5'lik bir hata payı ile oluşturulan YSA modelinin kullanılabilir olduğu ortaya konulmuştur.

Günaydın ve Doğan (2004), bina yapısal sistemlerinin erken maliyet tahmini için bir YSA yaklaşımı geliştirmiştir. Türkiye'de yapılmış, 4-8 katlı 30 farklı betonarme konut projesinden elde edilen metrekare faaliyet verileri YSA modelinde kullanılmış, ortalama maliyet tahmin doğruluğu %93 oranına ulaşmıştır.

2.4. Görüntü işleme (Gİ) ve inşaat mühendisliği uygulamaları

Doğan vd. (2020), Gİ odaklı bir yöntemle betonarme kolonların hasar seviyelerinin belirlenmesi üzerinde çalışmıştır. Çalışmada yapılan deneylerde depreme benzeştirilen tersinir tekrarlanır yükleme ile kolonlarda oluşan hasarlardan toplam 390 adet görüntü elde edilmiş ve Gİ kullanılarak kolon hasar performans değerleri %64-%80 arasında değişen tahmin başarıları ile elde edilmiştir.

Kaçın ve Aydın (2020), betonarme kiriş deplasmanlarının Gİ yöntemleri ile belirlenmesi üzerine çalışmıştır. Elde edilen görseller deney sırasında deplasman ölçerler tarafından ölçülen değerler ile karşılaştırılmış, bulunan sonuçların birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir.

Pekgöz (2020), çalışmasında Gİ yöntemi ile betonda gerilme-şekil değiştirme davranışını incelemiştir. Görüntüler bilgisayar ortamında işlenmiş maksimum gerilmelerde betonda meydana gelen deformasyonlar ve çatlaklar belirlenmiştir. Çalışma sonucunda, betonda oluşan şekil değiştirmelerinin Gİ yöntemi ile başarıyla belirlendiği vurgulanmıştır.

Avcı (2019), sarsma tablası deneyi ve sayısal analizlerden elde edilen dinamik parametrelerin Gİ tekniği ile karşılaştırılması üzerine bir çalışma yapmıştır. Çalışmada üç boyutlu çelik bir çerçeve kullanılmıştır. Çerçevenin hem sarsma tablasında deneyleri yapılmış hem de Abaqus programı yardımıyla modellenip deprem etkisinde nasıl davranacağı hakkında bir analiz yapılmıştır. Gİ yöntemiyle elde edilen sonuçlar ile Abaqus'ten elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve birbirleriyle uyumlu oldukları gözlemlenmiştir.

Aydın (2019), çalışmasında granüler zemindeki dane boyutlarını Gİ tekniği ile analiz etmek istemiştir. Referans olarak klasik yöntem olan elek analizi deneyleri yapılmış, numunelerin görüntüleri çekilmiştir. Yapılan analiz sonucu Gİ'den elde edilen sonuçlar %95,22 oranında elek analizi deneyi sonuçlarına yaklaşmıştır.

Karameşe (2018), yapı sistemlerinde şekil değiştirme ve yer değiştirme büyüklüklerinin Gİ yöntemiyle belirlenmesi üzerine bir çalışma yapmıştır. Farklı numuneler üzerinde deneyler yapılmış ve yapılan deneyler kamera ile videoya alınmıştır.

Deney sonuçları ile Gİ yönteminde elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında birbirine yakın sonuçlar bulunmuş ancak kamera çözünürlüğü, ışık gibi çevresel faktörlerin görüntü işlemede oldukça etkili olduğundan bahsedilmiştir.

Bilici (2017), çalışmada Gİ yöntemi ile yapısal deformasyonları ölçmek istemiştir. Çalışma, yüklem testi altında çelik köprünün ve tek eksenli yük etkisindeki betonarme elemanın deformasyonlarını ve incelemek ve geleneksel yöntemler aracılığı ile elde edilen sonuçları ile karşılaştırmayı amaçlamıştır. Deney yapılan ortam ışığının, görüntülerin çekildiği aletin görüntü işlemede oldukça etkili olduğu ve küçük hata oranları ile yöntemin kullanılabilirliği sonucuna varılmıştır.

Doğan vd. (2017), Gİ yöntemi kullanarak beton basınç dayanımı tespiti üzerine bir çalışma yapmıştır. Çalışmanın temel amacı, betonun mekanik özelliklerini belirlemek için tahribatsız yeni bir yöntem geliştirmektir. Bu amaçla beş farklı parametre kullanılarak 96 adet silindirik beton numunesi üretilmiştir. Hem eğitim/test örneklerinden hem de doğrulama örneklerinden, YSA ve Gİ sonuçları ile %97,18 ile %99,87 arasında değişen oldukça yüksek bir tahmin başarısı elde etmişlerdir.

Valença vd. (2017), beton köprülerdeki çatlakları belirlemek amacıyla lazer tarama işlemi ile desteklenen Gİ yöntemini kullanmıştır. Yöntem yerinde doğrulama için, Portekiz'deki bir beton viyadükte test edilmiştir. Deneyler ve çalışmalar sonucunda tatmin edici verilere ulaşılmıştır.

Acar (2015) çalışmada, havalimanı terminal kapasitesini Gİ yöntemi ile belirlemeye çalışmıştır. Çalışmada yolcu hareketlerinin ve sayısının yoğunlaştığı akslar Gİ ile belirlenmiştir. Çalışmada sonucunda ise Gİ yöntemi ile elde edilen sonuçların havalimanı terminal binalarının simülasyonunda ve kapasite analizinde başarıyla kullanılabilmesi ortaya konulmuştur.

Hassan (2014) yaptığı çalışmada, Gİ yöntemi ile betonarme kolonlar içerisindeki donatıları belirlemeye çalışmıştır. Elde edilen sonuçlara göre optimum koşullarda çekilen fotoğraflarda etriye aralığı ve donatı çapı belirlenmesinde hata oranı %8,5'in altında kalırken, donatı koordinatlarının belirlenmesinde hata payı %20'ye kadar yükselmiştir.

Çankaya (2013) çalışmada, Gİ yöntemi ile betonun maksimum deformasyon kapasitesi, elastisite modülü ve basınç dayanımı gibi bazı mekanik özelliklerini belirleme üzerine çalışmıştır. Çalışmada 15x30 cm boyutlarında 144 adet farklı parametrelere göre üretilmiş beton numunelerin yüzey görüntüleri alınarak Gİ uygulanmış, elde edilen sonuçlar deney sonuçları ile kıyaslanmıştır. Gİ yönteminin %99,9 gibi oldukça yüksek doğruluk oranına sahip olduğu görülmüştür.

Çomak (2012) çalışmada, farklı beton numunelerin basınç dayanımını Gİ yardımı ile belirlemeye çalışmıştır. Çalışmada 7 farklı su/çimento oranına sahip numunelerin beton basınç dayanımı deneyleri yapılmış ve Gİ ile elde edilen sonuçlar ile arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Çalışma sonucunda ise Gİ'den elde edilen tahminlerin doğruluk seviyesinin oldukça yüksek olduğuna varılmıştır.

Lee vd. (2013), beton yüzey çatlaklarını tespit ve analiz etmek için otomatik Gİ tekniğini kullanmıştır. Çalışma sonucunda, çatlak özelliklerinin önerilen teknik kullanılarak doğru bir şekilde ölçülebileceği ve analiz edilebileceği görülmüştür.

Choudhary ve Dey (2012), beton yüzeylerdeki çatlak tespitini Gİ, BM ve YSA yöntemlerini kullanarak yapmıştır. Modeller 205 görüntü üzerinde test edilmiş ve beş performans ölçütü temelinde değerlendirilmiştir. YSA'nın tüm model performans ölçümlerinde daha iyi performans gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Koç (2012), hava sürüklenmiş betonların donma çözünme dayanımını ve Gİ yöntemi ile boşlukların belirlenmesi üzerine bir çalışma yapmıştır. Numunelere çimento yerine %10, 15, 20, 25 oranlarında pomza, %0,025, 0,05, 0,075 oranlarında hava sürükleyici katkı ilave edilmiştir. Üretilen numuneler deneylere tabi tutularak taze ve sertleşmiş beton boşluk oranları, basınç dayanımları, ultrasonik hız değerleri ile 150 donma çözüme çevrimi sonucunda tekrar basınç dayanımları ve değişen boşluk yapısı üzerindeki değişimler incelenmiştir. Gİ yöntemi ile belirlenen sürüklenmiş hava miktarları ile taze betonda ölçülen hava miktarları arasında tutarlılık olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Onat (2008), yaptığı çalışmada, lifli beton numunelerinde oluşan çatlakları Gİ yöntemi ile belirlemeye çalışmıştır. Çalışmada 50x10x10 cm boyutlarında lifli beton numuneleri kullanılmış, elde edilen sonuçlara göre Gİ yönteminin %3 ila %7 arasında değişen hassasiyetlerle sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Sezer (2008) çalışmasında, farklı zeminlerin mikroyapısal özelliklerini belirlemek amacı ile Gİ yöntemini kullanmıştır. Zeminlerin indeks özellikleri ve dane şekilleri arasındaki bağlantılar araştırılmıştır. Ayrıca, çalışma kapsamında yapay sinir ağları ve bulanık mantık yöntemleri kullanılarak kumun maksimum birim hacim ağırlığı ve izafi sıklıkları tahmini yapılmıştır. Çalışma sonucunda, görüntü analizinden elde edilen bilgiler ile laboratuvarında yapılan pek çok zemin deneyi sonucunun tahmin edilebileceği ortaya konulmuştur.

2.5. Bulanık mantık (BM) ve inşaat mühendisliği uygulamaları

Mohanaselvi ve Hemapriya (2019), deprem hasar tahminlerini belirlemek amacıyla BM yöntemi geliştirmişlerdir. Binalar düşük, orta ve yüksek olmak üzere hasar seviyelerine göre üç gruba ayrılmıştır. BM yönteminin binaların hasar derecesinin tahmininde oldukça yüksek oranda başarı sağladığı gözlemlenmiştir.

Özdülkar vd. (2019), günlük buharlaşma miktarını tahmin etmek için BM yöntemini kullanmıştır. Çalışmada Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Enstitüsü (USGS)'den alınan 208-2012 yılları arasında elde edilmiş buharlaşma miktarı verileri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan Mamdani-Bulanık Mantık (M-BM) ve Sugeno-Bulanık Mantık(S-BM) tabanlı yöntemlerden en yüksek başarı S-BM yönteminden elde edilmiştir.

Allali vd. (2018), deprem sonrası bina hasarlarını değerlendirmek için BM yöntemini kullanmıştır. Sonuçlar, teorik temelli değerlendirmenin, incelenen binaların %90'ı için gözlenen değerlere uygun olduğunu göstermiştir.

Usta vd. (2018), BM yöntemini kullanarak mevcut binaların sismik hasarlarını değerlendirmiştir. Bulanık teorinin binalarda depremlerden kaynaklanan yapısal risk ve hasar ölçeğini değerlendirmek için kullanılabilir olduğu çalışmada toplanan kaynaklardan elde edilen bilgiler ışığında BM modelinin, binaların hasar değerlendirmesine karar verirken basitlik, hız ve esneklik sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.

Akçay ve Manisalı (2017), inşaat işlerinde yüklenici seçimleri kararı için BM yöntemini kullanmıştır. Bu çalışmada inşaat işlerinde ihaleler için ekonomik açıdan en avantajlı teklif kararı verilirken kalite ve süreyi etkileyecek diğer hususları da içerecek BM tabanlı bir karar modeli geliştirilmiştir. Kamu alımlarında

elektronik araçlar kullanıldığından, bu çalışma kapsamında oluşturulan modelin uygulamada kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Beycioğlu vd. (2017), yüksek sıcaklıklarda harmanlanmış betonların eğilme ve basınç dayanımını belirlemek amacıyla BM yöntemini kullanmıştır. Sonuçlar, BM yönteminin betonun mekanik özelliklerinin yüksek sıcaklıklarda değerlendirilebilmesi için alternatif bir yöntem olduğunu göstermiştir.

Yurtcu ve Özocak (2016), ince daneli zeminlerin sıkışma indeksinin yapay zekâ yöntemleri ve istatistiksel yöntemler ile belirlenmesi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışma kapsamında YSA ve BM yöntemleri kullanılmış, YSA'nın BM'ye göre daha performans sergilediği gözlemlenmiştir.

Sünbül vd. (2015), zeminlerin sıvılaşma potansiyellerini BM yöntemi ile belirleme üzerine bir çalışma yapmıştır. Araştırmacılar 1999 yılında gerçekleşmiş olan Marmara Depremi sırasında zemin sıvılaşması meydana gelen Adapazarı şehrinin sıvılaşma potansiyelini; zemin içerisinde yüzde kil değerleri, dane dağılımı ve yeraltı su seviyesi değerlerini kullanarak bir BM modeli oluşturmuşlardır. Çalışma sonucunda BM yöntemiyle elde edilen sonuçlar depreme dayanıklı zemin parametreleri arasındaki ilişkiyi hızlı ve doğru bir şekilde tahmin etmesi, aynı zamanda diğer yöntemlere kıyasla daha pratik olması nedeniyle kullanılabilir olduğu ortaya konulmuştur.

Gülbandılar ve Koçak (2013), uçucu kül ve silis dumanının Portland Çimentosunun priz süresi üzerindeki etkilerini BM yöntemiyle tahmin etmeye çalışmışlardır. Deneysel sonuçlar BM sonuçları ile karşılaştırılmış ve yüksek korelasyon değerleri (0,96–0,92) bulunmuştur. Bu sonuçlar, geliştirilen modelin çimento endüstrisinde başarıyla uygulanabileceğini göstermektedir.

Golafshani vd. (2012), betona eklenmiş çelik çubukların bağlanma mukavemetlerini belirlemek amacıyla BM ve YSA yöntemlerini kullanmışlardır. Bu amaçla, modellerin eğitimi, doğrulanması ve test edilmesi için 179 farklı ek giriş testinin deneysel verileri kullanılmıştır. Sonuçlar, önerilen modellerin kabul edilebilir hatalarla iyi tahmin ve genelleme kapasitesine sahip olduğunu ortaya koymuştur.

Şahin ve Bedirhanoğlu (2008), lifli polimerlerle güçlendirilmiş betonun basınç dayanımı tahmininde BM yöntemini kullanmıştır. BM ile bulunan tahminler ACI 440 ve DBHYYHY 2006 yönetmelikleri ile

karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda BM yöntemi ile elde edilen tahminlerin oldukça başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

Topçu ve Sarıdemir (2008), yüksek ve düşük kireç içeren uçucu küller ile hazırlanmış betonların basınç dayanımlarının YSA ve BM yöntemleri ile tahmini üzerine çalışmıştır. Çalışma kapsamında literatürden elde edilen 52 birbirinden farklı karışımdan alınan 180 numune kullanılmıştır. Çalışmanın sonuçlarında ise YSA ve BM yöntemlerinin beton basınç dayanımı tahmininde oldukça başarılı sonuçlar verdiği ortaya konulmuştur.

3. SONUÇLAR

Bu çalışmada makine öğrenmesi, derin öğrenme, görüntü işleme, yapay sinir ağları ve bulanık mantık gibi yapay zekâ yöntemleri ele alınmış, literatürde inşaat mühendisliği alanında son on yılda yapılan çalışmalar derlenmiştir. Tüm çalışmalar, inşaat mühendisliği anabilim dallarına göre Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Literatür çalışmalarının inşaat mühendisliği anabilim dallarına göre derlenmesi

Anabilim Dalı	Uygulama	Referans	Teknoloji
YAPI	Yapısal hasar tespiti	Santos vd. (2016)	MÖ
		Rafiei ve Adeli (2017)	
		Suryanita vd. (2017)	YSA
		Bilici (2017)	
		Avcı (2019)	Gİ
		Karameşe (2018)	
		Avcı vd. (2017)	
		Abdeljaber vd. (2018)	DÖ
		Lin ve Nie (2017)	
		Pathirage vd. (2018)	DÖ
	Köprülerde hasar tespiti ve çatlak tahmini	Mangalathu vd. (2019)	
		Neves vd. (2018)	MÖ
		Okazaki vd. (2020)	
		Valença vd. (2017)	Gİ
Deprem sonrası yapısal güvenliğin değerlendirilmesi	Zhang vd. (2018)	MÖ	
	Allali vd. (2017)	BM	
Kolon-kiriş birleşim noktalarının moment tahmini	Cao vd. (2020)	MÖ	
Kolon-kiriş eklemlerinin kayma dayanımları tahmini	Jeon vd. (2014)	MÖ	
Kolon-kiriş birleşim yerlerinin arıza modunun tahmini	Gao ve Lin (2020)	MÖ	

Betonarme binaların sismik tepkilerinin tahmini	Hwang vd. (2020)	MÖ
Yapı sağlığı izleme	Worden ve Manson (2016)	MÖ
	Gui vd. (2017)	
Basit mesnetli köprülerin hareketli yük dağılım faktörlerinin belirlenmesi	Yalçın (2020)	YSA
Çatlaklı kirişlerin modellenmesi	Mazanoğlu ve Kandemir (2017)	YSA
Deprem etkisi altında betonarme kirişsiz plakların eğilme momenti tahmini	Özbayrak (2019)	YSA
Köprü hasar önem ölçümü	Chun vd. (2015)	YSA
FRP ile sarılı RC kolonların eğilme kapasitesi tahmini	Köroğlu vd. (2012)	YSA
Betonarme kirişlerin burulma kapasiteleri tahmini	Ilkhanı vd. (2017)	YSA
FRP ile sarılı betonarme kirişlerin kayma mukavemeti tahmini	Yavuz vd. (2013)	YSA
Mevcut betonarme binaların deprem performansının tahmini	Arslan vd. (2015)	YSA
RC kolonların hasar seviyesi değişimi	Doğan vd. (2020)	Gİ
Betonarme kirişlerin deplasmanlarının belirlenmesi	Kaçın ve Aydın (2020)	Gİ
Betonarme kolonlardaki donatıların yerlerinin belirlenmesi	Hassan (2014)	Gİ
Beton yüzey çatlaklarının belirlenmesi	Lee vd. (2013)	Gİ
	Choudhary ve Dey (2012)	
Bina altyapısındaki deprem hasarlarının sınıflandırılması	Patterson vd. (2018)	DÖ
Düzensiz taşıyıcı sistem tespiti	Akan vd. (2020)	DÖ
Betonarme kolonların deprem sonrası hasar seviyelerinin belirlenmesi	Doğan (2018)	MÖ
Kolon-kiriş bölgesi kesme tahmini	Yaseen vd. (2018)	DÖ
Betonarme yapı hasar türü tespiti	Cha vd. (2018)	DÖ
Depremden etkilenen binaların sınıflandırılması	Mangalathu ve Burton (2019)	DÖ
Deprem hasar tahmini	Mohaneselvi ve Hemapriya (2019)	BM

	Mevcut binalardaki sismik hasarın belirlenmesi	Usta vd. (2018)	BM
	Çelik çubukların bağlanma mukavemetinin tahmini	Golafshani vd. (2012)	BM
HİDROLİK	Baraj seviyeleri değişimi tahmini	Arslan vd. (2020)	MÖ
		Khai vd. (2019)	
		Salam ve Keskin (2018)	YSA
	Aylık buharlaşma tahmini	Özel ve Büyükyıldız (2019)	MÖ
		Tezel ve Büyükyıldız (2016)	YSA
	Akarsulardaki sediment taşınımı	Acar ve Saphioğlu (2020)	YSA
	Aylık akış tahmini	Sudheer vd. (2014)	MÖ
	Göl suyu seviyesi değişimi tahmini	Büyükyıldız vd. (2014)	YSA
	Kemer Barajı aylık akış tahmini	Okkan ve Dalkılıç (2012)	YSA
	Akarsulardaki debinin tahmini	Gemici vd. (2013)	YSA
Günlük buharlaşma tahmini	Özdülkar vd. (2019)	BM	
YAPI MALZEMELERİ	Kalsine kil esaslı çimento harçlarının basınç dayanımı tahmini	Marangu (2020)	YSA
	Lifli beton numunelerin çatlaklarının belirlenmesi	Onat (2008)	Gİ
	Farklı beton sınıflarının mekanik özelliklerinin belirlenmesi	Çomak (2012)	Gİ
	Korozyon tespiti	Atha ve Jahanshahi (2018)	DÖ
	Betonun bazı mekanik özelliklerinin belirlenmesi	Çankaya (2013)	Gİ
	Betonda gerilme-şekil değiştirme davranışının belirlenmesi	Pekgöz (2020)	Gİ
	Hava sürüklenmiş betonların donma-çözünme dayanımlarının belirlenmesi	Koç (2012)	Gİ
	Granüler zemindeki dane boyutlarının analizi	Aydın (2019)	Gİ
	Beton basınç dayanımı tahmini	Erdal (2015)	MÖ
		Prayogo (2018)	
		Yörübulut vd. (2020)	YSA
		Doğan vd. (2017)	Gİ
Yüksek sıcaklıklarda harmanlanmış çimentoların	Khademi vd. (2017)	YSA	
	Beycioğlu vd. (2017)	BM	

	mekanik özellikleri tahmini		
	UK ve SD'nın Portland çimentosuna etkilerinin tahmini	Gülbandılar ve Koçak (2013)	BM
	Yüksek-düşük UK içeren betonların basınç dayanımı tahmini	Topçu ve Sarıdemir (2008)	BM
	Liflerle güçlendirilmiş betonun basınç dayanımı tahmini	Şahin ve Bedirhanoglu (2008)	BM
ULAŞTIRMA	Atık kömür katkılı asfalt betonunun özelliklerinin belirlenmesi	Katanalp ve ark (2019)	YSA
	Havalimanı terminal kapasitesinin belirlenmesi	Acar (2015)	Gİ
	Karayolları enerji tüketimi	Cansız vd. (2020)	YSA
	Sönmüş kireç katkısının asfalt karışımı üzerindeki etkisinin belirlenmesi	Yardım vd. (2019)	YSA
	Ulaşım ağı hızı tahmini	Ma ve ark	DÖ
	Trafik kazalarının ve yaralı sayılarının tahmini	Cansız vd. (2020)	YSA
	SBS modifiyeli bitümün viskozitesinin tahmini	Kök vd. (2011)	YSA
YAPI İŞLETMESİ	Yığma yapılarda maliyet tahmini	Uğur vd. (2011)	YSA
	Cam elyaf katkılı cephe kaplama elemanlarında teklif fiyatı tahmini	Bahadır (2013)	YSA
	Bina kalitesi problemlerinin sınıflandırılması	Zhang vd. (2019)	DÖ
	Binaların erken maliyet tahmini	Günaydın ve Doğan (2004)	YSA
	İnşaat maliyet tahmini	Kim vd. (2004)	MÖ
	İnşaatta yüklenici seçimi	Akçay ve Manısalı (2017)	BM
	Yüksekten düşmeleri azaltma	Fang vd. (2019)	DÖ
Şantiyelerde işçilerin ve ağır ekipmanların otomatik algılanması	Fang vd. (2018)	DÖ	
GEOTEKNİK	İnce taneli zeminlerin kıvam sınıflarının tahmini	Arama vd. (2020)	MÖ
	Toprak sıvılaşma duyarlılığının tahmini	Samui ve Sitharam (2011)	MÖ
	Farklı zeminlerin mikroyapısal özelliklerinin belirlenmesi	Sezer (2008)	Gİ
	Geoteknik mühendisliğinde yapay sinir ağları	Chao vd. (2018)	YSA

Moayedi ve ark (2020)		
Toprak sıcaklığının tahmini	Behmanesh ve Mehdizadeh (2017)	YSA
Geoteknik mühendisliğinde derin öğrenme	Zhang vd. (2021)	DÖ
İnce daneli zeminlerde sıkışma indeksinin tahmini	Yurtcu ve Özocak (2019)	BM
Zemin sıvılaşma potansiyelinin modellenmesi	Sünbül vd. (2015)	BM

İncelenen tüm bu çalışmalar ışığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

- Son yıllarda daha önceki yıllara kıyasla yapay zekâ yöntemlerine olan eğilim oldukça artış göstermiştir.
- MÖ yöntemi sunduğu regresyon ve sınıflandırma işlemlerinden dolayı inşaat mühendisliği anabilim dallarının hemen hemen hepsinde tercih edilmiş ve yüksek doğrulukta sonuçlar vermiştir.
- YSA sayesinde araştırmacılar birçok tahminde bulunmuş daha sonra deneyler yaparak YSA'dan elde ettikleri tahminlerle karşılaştırmışlar sonuç olarak yine yüksek başarı oranları yakalamışlardır.
- Gİ yöntemi ise deneyin yapıldığı ortamın ışığından, deney elemanı olan kameranın çözünürlüğünden ve bu gibi birçok faktörden oldukça fazla etkilendiğinden dolayı araştırmacılar tarafından çok hassas yapılmaya dikkat edilmiş ve gereken dikkat gösterildiğinde oldukça başarılı sonuçlar alınmıştır.
- Son olarak DÖ yöntemi diğerlerine kıyasla yakın tarihte uygulama alanı bulmuş, ancak geçtiğimiz dört yıl içinde üzerinde çok fazla yoğunlaşmıştır. Yapılan çalışmalar genel olarak yapı anabilim dalında ve çatlak hasarı üzerinde toparlanmış, başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

KAYNAKLAR

Abdeljaber O., Avci, O., Kiranyaz M. S., Boashash B., Sodano H., Inman D. J. (2018). 1-D Cnns For Structural Damage Detection: Verification On A Structural Health Monitoring Benchmark Data. *Neurocomputing*, 275, 1308-1317.

Acar M.O., 2015, Havalimanı Terminal Kapasitesinin Görüntü İşleme Yöntemi ile Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Akçay C., Manisali, E. (2018). Fuzzy decision support model for the selection of contractor in construction works. *Revista de la Construcción. Journal of Construction*, 17(2), 258-266.

Allali S. A., Abed M., Mebarki A. (2018). Post-earthquake assessment of buildings damage using fuzzy logic. *Engineering Structures*, 166, 117-127.

Arama Z. A., Akın M. S., Nuray S. E., Dalyan, İ. (2020). Estimation Of Consistency Limits Of Fine-Grained Soils Via Regression Analysis: A Special Case For High And Very High Plastic Clayey Soils In Istanbul. *International Advanced Researches And Engineering Journal*, 4(3), 255-266.

Arslan H., Fatih Ü. N. E. Ş., Demirci M., Taşar B., Yılmaz A. (2020). Keban Baraj Gölü Seviye Değişiminin Anfis ve Destek Vektör Makineleri ile Tahmini. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(2), 1-7.

Arslan M. H., Ceylan M., Koyuncu T. (2015). Determining Earthquake Performances Of Existing Reinforced Concrete Buildings By Using Ann. *International Journal Of Civil And Environmental Engineering*, 9(8), 1097-1101.

Atha D. J., Jahanshahi M. R. (2018). Evaluation Of Deep Learning Approaches Based On Convolutional Neural Networks For Corrosion Detection. *Structural Health Monitoring*, 17(5), 1110-1128.

Avcı N. (2019). Sarsma Masası Deneyi ve Sayısal Analizlerden Elde Edilen Dinamik Parametrelerin Görüntü İşleme Tekniği ile Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Avci O., Abdeljaber O., Kiranyaz S., Inman, D. (2017). Structural Damage Detection İn Real Time: Implementation Of 1d Convolutional Neural Networks For Shm Applications. In *Structural Health Monitoring & Damage Detection*, 7, 49-54, Springer, Cham.

Aydın Sağlam R.N., (2020) Makine Öğrenmesi Yöntemleri Kullanılarak Farklı Malzemelerle Üretilmiş Hafif Betonlara Ait Karışım Tasarımlarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Aydın M. (2019). Görüntü İşleme Yöntemiyle Granüler Zeminde Dane Boyutu Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.

Bahadır Y. (2013). Cam Elyaf Katkılı Cephe Kaplama Elemanlarına Yönelik Teklif Fiyatı Tahmininde Yapay Sinir Ağlarının Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Behmanesh J., Mehdizadeh, S. (2017). Estimation of soil temperature using gene expression programming and artificial neural networks in a semiarid region. *Environmental Earth Sciences*, 76(2), 76.

Beycioglu A., Gultekin A., Aruntas H. Y., Gencil O., Dobiszewska M., Brostow W. (2017). Mechanical properties of blended cements at elevated temperatures predicted using a fuzzy logic model. *Comput. Concr*, 20(2), 247-255.

Bilici S., (2017). Görüntü İşleme Yöntemi Kullanılarak Yapısal Deformasyonların Ölçülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Bingöl K., Aslı E. R., Örmecioglu H. T., Arzu E. R. (2020). Depreme Dayanıklı Mimari Tasarımda Yapay Zekâ Uygulamaları: Derin Öğrenme ve Görüntü İşleme Yöntemi ile Düzensiz Taşıyıcı Sistem Tespiti. *Gazi*

Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 35(4), 2197-2210.

Buyukyildiz M., Tezel G., Yılmaz, V. (2014). Estimation of the change in lake water level by artificial intelligence methods. *Water resources management*, 28(13), 4747-4763.

Cansız Ö. F., Ünsalan K., Erginer, İ. Karayolları Enerji Tüketiminin Yapay Zekâ ve Regresyon Yöntemleri ile Modellenmesi. *Uludağ University Journal Of The Faculty Of Engineering*, 25(3), 1297-1314.

Cao Y., Wakil K., Alyousef R., Jermisittiparsert K., Ho L. S., Alabduljabbar H., ... Mohamed A. M. (2020, June). Application Of Extreme Learning Machine İn Behavior Of Beam To Column Connections. In *Structures*, 25, 861-867, Elsevier.

Cha Y. J., Choi W., Büyüköztürk, O. (2017). Deep Learning-Based Crack Damage Detection Using Convolutional Neural Networks. *Computer-Aided Civil And Infrastructure Engineering*, 32(5), 361-378.

Cha Y. J., Choi W., Suh G., Mahmoudkhani S., Büyüköztürk O. (2018). Autonomous Structural Visual Inspection Using Region-Based Deep Learning For Detecting Multiple Damage Types. *Computer-Aided Civil And Infrastructure Engineering*, 33(9), 731-747.

Chao Z., Ma G., Zhang Y., Zhu Y., Hu H. (2018, November). The application of artificial neural network in geotechnical engineering. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 189(2), 022054, IOP Publishing.

Choudhary G. K., Dey S. (2012, October). Crack Detection İn Concrete Surfaces Using İmage Processing, Fuzzy Logic, And Neural Networks. In *2012 Ieee Fifth International Conference On Advanced Computational Intelligence (Icacı)* (Pp. 404-411). Ieee.

Chun P. J., Yamashita H., Furukawa, S. (2015). Bridge Damage Severity Quantification Using Multipoint Acceleration Measurement And Artificial Neural Networks. *Shock And Vibration*, 2015.

Çakıroğlu M. A., Süzen A. A. Assessment And Application of Deep Learning Algorithms İn Civil Engineering. *El-Cezeri Journal Of Science And Engineering*, 7(2), 906-922.

Çankaya G., Arslan M. H., Ceylan, M. (2013). Görüntü İşleme ve Yapay Sinir Ağları Yöntemleri ile Betonun Basınç Dayanımının Belirlenmesi. Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 1(1), 1-12.

Çomak B., (2012) Farklı Beton Sınıflarının Görüntü İşleme Yöntemi ile Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Doğan G., Arslan M. H., Baykan, O. K. (2020). Determination Of Damage Levels Of Rc Columns With A Smart System Oriented Method. Bulletin Of Earthquake Engineering, 1-23.

Doğan G., Arslan M. H., Ceylan M. (2017). Concrete Compressive Strength Detection Using Image Processing Based New Test Method. Measurement, 109, 137-148.

Doğan G. (2018). Betonarme Kolonların Deprem Sonrası Hasar Seviyelerinin Akıllı Sistem Tabanlı Bir Yöntemle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Erdal H. (2015). Makine Öğrenmesi Yöntemlerinin İnşaat Sektörüne Katkısı: Basınç Dayanımı Tahminlemesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21(3), 109-114.

Erginer M., Cansız, Ö. F., Erginer, İ. Trafik Kaza Sayısının ve Yaralı Sayısının Yapay Sinir Ağları ile Tahmini. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 3(1), 29-35.

Fang W., Ding L., Zhong B., Love P. E., Luo H. (2018). Automated Detection Of Workers And Heavy Equipment On Construction Sites: A Convolutional Neural Network Approach. Advanced Engineering Informatics, 37, 139-149.

Fang W., Zhong B., Zhao N., Love Pe, Luo H., Xue J., Xu S. (2019). Bilgisayar Görüşü ile Yüksekten Düşmeleri Azaltmak İçin Derin Öğrenmeye Dayalı Bir Yaklaşım: Evrişimli Sinir Ağı. İleri Mühendislik Bilişimi, 39, 170-177.

François Chollet, Python ile Derin Öğrenme, Ankara: Buzdağı Yayınevi, 2019.

Gao X., Lin C. Prediction Model Of The Failure Mode Of Beam-Column Joints Using Machine Learning Methods. Engineering Failure Analysis, 120, 105072.

Gemici E., Ardıçlıoğlu M., Kocabaş F. (2013). Akarsularda debinin yapay zekâ yöntemleri ile modellenmesi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi, 29(2), 135-143.

Golafshani E. M., Rahai A., Sebt M. H., Akbarpour, H. (2012). Prediction of bond strength of spliced steel bars in concrete using artificial neural network and fuzzy logic. Construction and building materials, 36, 411-418.

Gui G., Pan H., Lin Z., Li Y., Yuan Z. (2017). Data-Driven Support Vector Machine With Optimization Techniques For Structural Health Monitoring And Damage Detection. Ksce Journal Of Civil Engineering, 21(2), 523-534.

Gulbandilar E., Kocak Y. (2013). Prediction of the effects of fly ash and silica fume on the setting time of Portland cement with fuzzy logic. Neural Computing and Applications, 22(7), 1485-1491.

Gültepe Y. (2019). Makine Öğrenmesi Algoritmaları ile Hava Kirliliği Tahmini Üzerine Karşılaştırmalı Bir Değerlendirme. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, (16), 8-15.

Günaydın H. M., Doğan S. Z. (2004). A neural network approach for early cost estimation of structural systems of buildings. International journal of project management, 22(7), 595-602.

Hassan M.U. (2014). A Computer Vision Based Method for Semi-Automated Rebar Detection and Measurement of Reinforced Concrete Columns, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Huang Q., Cox R. F., Shaurette M., Wang J. (2012). Intelligent Building Hazard Detection Using Wireless Sensor Network And Machine Learning Techniques. In Computing In Civil Engineering, 485-492.

Hwang S. H., Mangalathu S., Shin J., Jeon, J. S. (2020). Machine Learning-Based Approaches For Seismic Demand And Collapse Of Ductile Reinforced Concrete Building Frames. Journal Of Building Engineering, 101905.

Ilkhani M. H., Moradi E., Lavasani M. (2017). Calculation Of Torsion Capacity Of The Reinforced Concrete Beams Using Artificial Neural Network. Journal Of Soft Computing In Civil Engineering, 1(2), 8-18.

İpek S. U. C. U. (2019). Yapay Zekanın Toplum Üzerindeki Etkisi ve Yapay Zekâ (A1) Filmi Bağlamında Yapay Zekaya Bakış. Uluslararası Ders Kitapları ve Eğitim Materyalleri Dergisi, 2(2), 203-215.

İpek, S. U. C. U., Ataman E. (2020). Dijital Evrenin Yeni Dünyası Olarak Yapay Zekâ ve Her Filmi Üzerine Bir Çalışma. Yeni Medya Elektronik Dergisi, 4(1), 40-52.

Jeon J. S., Shafieezadeh A., Desroches R. (2014). Statistical Models For Shear Strength Of Rc Beam-Column Joints Using Machine-Learning Techniques. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 43(14), 2075-2095.

Kaçın S., Aydın M. (2020). Görüntü İşleme Yöntemi ile Betonarme Kiriş Depasmanlarının Belirlenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(2), 107-117.

Karameşe G. (2018). Yapı Sistemlerinde Yer Değiştirme ve Şekil Değiştirme Büyüklüklerinin Özel Bir Görüntü İşleme Yöntemiyle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Katanalp B. Y., Yıldırım Z. B., Karacasu M., İbrikçi T. (2019). Atık Kömür Katkılı Asfalt Betonu Performans Karakteristiklerinin Yapay Sinir Ağları ve Merkezi Kompozit Tasarım Yöntemleri Kullanılarak Karşılaştırılması. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 7(3), 680-688.

Khademi F., Akbari M., Jamal S. M., Nikoo, M. (2017). Multiple linear regression, artificial neural network, and fuzzy logic prediction of 28 days compressive strength of concrete. Frontiers of Structural and Civil Engineering, 11(1), 90-99.

Khai W. J., Alraih M., Ahmed A. N., Fai C. M., El-Shafie A. (2019). Daily Forecasting Of Dam Water Levels Using Machine Learning. International Journal Of Civil Engineering And Technology (Ijciat).

Kim G. H., An S. H., Kang, K. I. (2004). Comparison of construction cost estimating models based on regression analysis, neural networks, and case-based reasoning. Building and environment, 39(10), 1235-1242.

Koç M.E. (2012). Hava Sürüklenmiş Betonun Donma-Çözülme Dayanımları ve Görüntü İşleme Yöntemi ile Boşluk Yapılarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.

Korkmaz S., Uğur L. O. Yığma Konutların Maliyet Tahmininde Yapay Sinir Ağlarının (Ysa) Kullanılması. Engineering Sciences, 7(3), 615-631.

Kök B. V., Yılmaz M., Kuloğlu N., Şengür A. Değişik Şartlarda Hazırlanmış SBS Modifiyeli Bitümün Viskozitesinin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi.

Koroğlu M. A., Ceylan M., Arslan M. H., İlki A. (2012). Estimation Of Flexural Capacity Of Quadrilateral Frp-Confined Rc Columns Using Combined Artificial Neural Network. Engineering Structures, 42, 23-32.

Lee B. Y., Kim Y. Y., Yi S. T., Kim J. K. (2013). Automated İmage Processing Technique For Detecting And Analysing Concrete Surface Cracks. Structure And Infrastructure Engineering, 9(6), 567-577.

Lin Y. Z., Nie Z. H., Ma H. W. (2017). Structural Damage Detection With Automatic Feature-Extraction Through Deep Learning. Computer-Aided Civil And Infrastructure Engineering, 32(12), 1025-1046.

Ma X., Dai Z., He Z., Ma J., Wang Y., Wang, Y. (2017). Learning Traffic As İmages: A Deep Convolutional Neural Network For Large-Scale Transportation Network Speed Prediction. Sensors, 17(4), 818.

Mangalathu S., Burton H. V. (2019). Deep Learning-Based Classification Of Earthquake-İmpacted Buildings Using Textual Damage Descriptions. International Journal Of Disaster Risk Reduction, 36, 101111.

Mangalathu S., Hwang S. H., Choi E., Jeon, J. S. (2019). Rapid Seismic Damage Evaluation Of Bridge Portfolios Using Machine Learning Techniques. Engineering Structures, 201, 109785.

Marangu J. M. (2020). Prediction Of Compressive Strength Of Calcined Clay Based Cement Mortars Using Support Vector Machine And Artificial Neural Network Techniques. Journal Of Sustainable Construction Materials And Technologies, 5(1), 392-398.

Mazanoğlu K., Kandemir-Mazanoğlu E. Ç. (2017). Çatlaklı Kirişlerin Yapay Sinir Ağları ile Modellenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17(3), 1129-1135.

Moayedı H., Mosallanezhad M., Rashid ASA, Jusoh WAW, Muazu MA (2020). Geoteknik mühendisliğinde yapay sinir ağı uygulamasının sistematik bir incelemesi ve meta-analizi: teori ve uygulamalar. Nöral Hesaplama ve Uygulamalar, 32 (2), 495-518.

Mohanaselvi S., Hemapriya G. (2019). Application of fuzzy logic to earthquake damage predictions. In AIP Conference Proceedings, 2112(1), (p. 020043). AIP Publishing LLC.

Neves A. C., González I., Leander J., Karoumi R. (2017). A New Approach To Damage Detection In Bridges Using Machine Learning. In International Conference On Experimental Vibration Analysis For Civil Engineering Structures (Pp. 73-84). Springer, Cham.

Okazaki Y., Okazaki S., Asamoto S., Chun, P. J. (2020). Applicability Of Machine Learning To A Crack Model In Concrete Bridges. Computer-Aided Civil And Infrastructure Engineering, 35(8), 775-792.

Okkan U., Yıldırım Dalkılıç H. (2012). Radyal tabanlı yapay sinir ağları ile Kemer Barajı aylık akımlarının modellenmesi. Teknik Dergi, 23(112), 5957-5966.

Onat M. (2008) Dijital Görüntü İşleme Yöntemleriyle Lifli Beton Numunelerindeki Çatlakların Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Özbayrak A. (2019). Deprem Etkisi Altındaki Betonarme Kirişsiz Plak Döşemelerin Eğilme Momentlerinin Ysa Analizi ile Tahmin Edilmesi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 8(2), 979-991.

Özdülkar K., Fatih Ü. N. E. Ş., DEMİRCİ M., Kaya Y. Z. (2019). Günlük Buharlaşma Miktarının Bulanık Mantık Yöntemleri Kullanılarak Bölgesel Olarak Modellenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 2(1), 23-29.

Özel A., Büyükyıldız M. (2019). Aylık Buharlaşma Tahmininde Yapay Zekâ Yöntemlerinin Kullanılabilirliği.

Öztürk K., Şahin M. E. (2018). Yapay Sinir Ağları ve Yapay Zekâ'ya Genel Bir Bakış. Takvim-İ Vekayi, 6(2), 25-36.

Pathirage C. S. N., Li J., Li L., Hao H., Liu W., Ni P. (2018). Structural Damage Identification Based On Autoencoder Neural Networks And Deep Learning. Engineering Structures, 172, 13-28.

Patterson B., Leone G., Pantoja, M., Behrouzi A (2018). Yapılı Altyapıya Sismik Hasarın Otomatik Görüntü Sınıflandırması İçin Derin Öğrenme. Deprem Mühendisliği On birinci ABD Ulusal Konferansı.

Pekgöz M., (2020). Görüntü İşleme Yöntemiyle Betonda Gerilme-Şekil Değiştirme Davranışının Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Adıyaman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adıyaman.

Pınar U. S. T. A., Nihat M. O. R. O. V. A., Ahmet E. V. C. İ., Ergün S. (2018). Assessment of seismic damage on the exist buildings using fuzzy logic. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 300(1), (p. 012062). IOP Publishing.

Prayogo D. (2018). Metaheuristic-Based Machine Learning System For Prediction Of Compressive Strength Based On Concrete Mixture Properties And Early-Age Strength Test Results. Civil Engineering Dimension, 20(1), 21-29.

Rafiei M. H., Adeli H. (2017). A Novel Machine Learning-Based Algorithm To Detect Damage In High-Rise Building Structures. The Structural Design Of Tall And Special Buildings, 26(18), E1400.

Ramazan A. C. A. R., Saplıoğlu K. Akarsulardaki Sediment Taşımının Yapay Sinir Ağları ve Anfis Yöntemleri Kullanılarak Tespiti. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9(1), 437-450.

Salam Z. K. A. A., Keskin M. E. (2018). Yapay Sinir Ağları ile Dibis Barajı'nın Seviye Tahmini. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 6(4), 564-569.

Salehi H., Burgueño R. (2018). Emerging Artificial Intelligence Methods In Structural Engineering. Engineering Structures, 171, 170-189.

Samui P., Sitharam, T. G. (2011). Machine Learning Modelling For Predicting Soil Liquefaction Susceptibility. *Natural Hazards And Earth System Sciences*, 11(1), 1-9.

Santos A., Figueiredo E., Silva M. F. M., Sales C. S., Costa J. C. W. A. (2016). Machine Learning Algorithms For Damage Detection: Kernel-Based Approaches. *Journal Of Sound And Vibration*, 363, 584-599.

Sezer A., (2008). Görüntü İşleme Yöntemleri Kullanılarak Farklı Türdeki Zeminlerin Mikroyapısal Özelliklerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Sudheer C., Maheswaran R., Panigrahi B. K., Mathur S. (2014). A hybrid SVM-PSO model for forecasting monthly streamflow. *Neural Computing and Applications*, 24(6), 1381-1389.

Sunbul A. B., ErKaymaz H., Rukiye U. (2016). Zemin sıvılaşma potansiyelinin bulanık mantık ile modellenmesi. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(2), 101-104.

Suryanita R., Maizir H., Yuniarto E., Zulfakar M., Jingga H. (2017). Damage Level Prediction Of Reinforced Concrete Building Based On Earthquake Time History Using Artificial Neural Network. In *Matec Web Of Conferences*, 138, 02024, EDP Sciences.

Şahin U., Bedirhanoglu İ. Lifli Polimerler ile Güçlendirilmiş Betonun Basınç Dayanımının Bulanık Mantık ile Tahmin Edilmesi.

Tezel G., Buyukyildiz M. (2016). Monthly evaporation forecasting using artificial neural networks and support vector machines. *Theoretical and applied climatology*, 124(1-2), 69-80.

Topçu İ. B., Sarıdemir M. (2008). Yüksek-Düşük Kireçli Uçucu Kül İçeren Betonların Basınç Dayanımının YSA V-ve BM Kullanarak Tahmini. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(1), 39-56.

URL 1:
https://tr.wikipedia.org/wiki/Yapay_zek%C3%A2

URL 2:
https://www.beyaz.net/tr/yazilim/makaleler/derin_ogrenme_deep_learning_nedir.html

URL 3: <https://tr.newworldai.com/deep-learning-derin-ogrenme-nedir/>

URL 4: <https://www.ibm.com/tr-tr/cloud/learn/what-is-artificial-intelligence>

URL 5:
https://tr.wikipedia.org/wiki/Bulan%C4%B1k_mant%C4%B1k

URL 6: <https://medium.com/i%CC%87yi-programlama/bulan%C4%B1k-mant%C4%B1k-bula%C5%9F%C4%B1k-makinesi-modeli-b4b596a7f80e>

URL 7: <https://omegapro.com.tr/insaat-sektorunde-yapay-zeka-kullanimi-ve-faydalari/>

Valença J., Puente I., Júlio E., González-Jorge H., Arias-Sánchez P. (2017). Assessment Of Cracks On Concrete Bridges Using Image Processing Supported By Laser Scanning Survey. *Construction And Building Materials*, 146, 668-678.

Worden K., Manson, G. (2007). The Application Of Machine Learning To Structural Health Monitoring. *Philosophical Transactions Of The Royal Society A: Mathematical, Physical And Engineering Sciences*, 365(1851), 515-537.

Yalçın Ö. F. Basit Mesnetli Köprülerde Hareketli Yük Dağılım Faktörleri Denklemlerinin Yapay Sinir Ağları ile Elde Edilmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(3), 609-622.

Yaseen Z. M., Afan H. A., Tran M. T. (2018, April). Beam-Column Joint Shear Prediction Using Hybridized Deep Learning Neural Network With Genetic Algorithm. In *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science*, 143(1), 012025, Iop Publishing.

Yavuz G., Arslan M. H., Baykan O. K. (2014). Shear Strength Predicting Of Frp-Strengthened Rc Beams By Using Artificial Neural Networks. *Science And Engineering Of Composite Materials*, 21(2), 239-255.

Yörübulut S., Dogan O., Erdugan F., Yörübulut S. (2019). Tahribatsız Yöntem Verileri Kullanılarak Yapay Sinir Ağı ve Regresyon Yöntemi ile Beton Basınç Dayanımının Tahmin Edilmesi. *Uluslararası*

Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 12(2), 769-776.

Yurtcu ř., Özocak A. (2016). İnce Daneli Zeminlerde Sıkışma İndisi'nin İstatistiksel ve Yapay Zekâ Yöntemleri ile Tahmin Edilmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 31(3).

Zhang W., Li H., Li Y., Liu H., Chen Y., Ding X. (2021). Application of deep learning algorithms in geotechnical engineering: a short critical review. Artificial Intelligence Review, 1-41.

Zhang Y., Burton H. V., Sun H., Shokrabadi M. (2018). A Machine Learning Framework For Assessing Post-Earthquake Structural Safety. Structural Safety, 72, 1-16.

Zhong B., Xing, X., Love P., Wang X. ve Luo H. (2019). Evrişimli Sinir Ağı: Bina Kalitesi Problemlerinin Derin Öğrenmeye Dayalı Sınıflandırılması. İleri Mühendislik Bilişimi, 40, 46-57.