

MÜHENDİSLİK ALANINDA GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Editörler
Prof. Dr. Aydın Ruşen
Dr. Öğr. Üyesi Abdülkadir Dilber

Mühendislik Alanında Güncel Yaklaşımlar

Editörler

Prof. Dr. Aydın Ruşen

Dr. Öğr. Üyesi Abdülkadir Dilber

İmtiyaz Sahibi
Platanus Publishing®

Editörler
Prof. Dr. Aydın Ruşen & Dr. Öğr. Üyesi Abdülkadir Dilber
Kapak & Mizanpaj & Sosyal Medya
Platanus Yayın Grubu

Birinci Basım
Mart, 2025

Yayımcı Sertifika No
45813

Matbaa Sertifika No
47381

ISBN
978-625-7121-50-7

©copyright
Bu kitabın yayım hakkı Platanus Publishing'e aittir. Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin alınmadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Adres:Natoyolu Cad. Fahri Korutürk Mah. 157/B, 06480,
Mamak, Ankara, Türkiye.
Telefon: +90 312 390 1 118
web: www.platanuskita.com
e-mail: platanuskita@gmail.com



PLATANUS PUBLISHING®

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1.....	5
Tekstil Atık Sularında Beton Temelli Arıtma Yöntemlerinin Geliştirilmesi ve Reaktif Mavi 19 Boyar Maddesinin Sulu Çözeltilerden Giderimi	
Petek Balcı & Gözde Koçak Mutlu & Hatice Gizem Şahin & Ali Mardani & Ali Kara	
BÖLÜM 2.....	19
Su Kirliliğine Çevreci Bir Çözüm: Beton Kullanarak Reactive Orange 16 Boyarmaddesinin Fotokatalitik Dekolorizasyonu ve Adsorpsiyonu	
Gözde Koçak Mutlu & Petek Balcı & Hatice Gizem Şahin & Ali Mardani & Ali Kara	
BÖLÜM 3.....	35
Sağlıkta Endüstri Mühendisliği Uygulamaları: Tek Sağlık Kapsamında Antimikrobiyal Direnç ve Tıbbi Atık Yönetimi	
Semiha Erkovan & Deniz Türsel Eliyi & Murat Oturakçı	
BÖLÜM 4.....	51
Plastik Gerinim Oranının Metalik Saclarda ISO 10113 Standardına Göre Belirlenmesinin İncelenmesi	
Bülent Aydemir	
BÖLÜM 5.....	71
Makine ve Derin Öğrenme Yöntemleri ile Bitcoin Fiyat Tahmini	
Rabia Dertli & Şenol Eren	

BÖLÜM 1

Tekstil Atık Sularında Beton Temelli Arıtma Yöntemlerinin Geliştirilmesi ve Reaktif Mavi I9 Boyar Maddesinin Sulu Çözeltilerden Giderimi

Petek Balcı¹ & Gözde Koçak Mutlu² &
Hatice Gizem Şahin³ & Ali Mardani⁴ &
Ali Kara⁵

¹ Bursa Uludağ Üniversitesi, Polimer Malzemeler Bölümü, Bursa, Türkiye,
ORCHID ID: 0009-0009-0981-1647

² Bursa Uludağ Üniversitesi, Polimer Malzemeler Bölümü, Bursa, Türkiye
ORCHID ID: 0000-0003-2771-8218

³ Bursa Uludağ Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye,
ORCHID ID: 0000-0003-2457-6314

⁴ Prof. Dr. Bursa Uludağ Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye,
ORCHID ID: 0000-0003-2457-6314

⁵ Prof. Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi, Kimya Bölümü, Bursa, Türkiye ORCHID ID: 0000-0003-2457-6314

Giriş

Tekstil endüstrisi atık suları, yüksek konsantrasyonda kimyasal madde, boyar madde ve organik bileşikler içermektedir. Söz konusu suların doğru bir şekilde arıtılması, su kirliliğini önlemek ve doğal kaynakları korumak için hayati öneme sahip olmaktadır.

Beton, geniş yüzey alanı sebebi ile fotokataliz yöntemi için ideal bir alt tabaka olmaktadır (Beeldens, 2008). Bununla birlikte, Beton, atık su arıtma süreçlerinde biyolojik arıtma ve adsorpsiyon gibi teknolojilerle entegre edilen bir malzeme olarak kullanılmaktadır. Bu bağlamda, beton temelli sistemlerin mikroorganizma büyümesini destekleme özellikleri ile suyun biyolojik olarak arıtılmasına yardımcı olabileceği düşünülmektedir. Sürdürülebilirlik açısından beton temelli arıtma yöntemleri, kimyasal kullanımını azaltarak, suyun yeniden kullanımını teşvik etmektedir. Ayrıca, atıkların geri kazanılmasına katkıda bulunarak döngüsel ekonomi ilkelerine de hizmet eder. Bu yöntemler, çevre koruması ve su kaynaklarının verimli kullanımı açısından büyük bir potansiyele sahip olmaktadır (Duman, 2017).

Beton temelli arıtma tekniklerinin uygulanabilirliği ve etkinliği, tekstil endüstrisinin çevreye duyarlı bir şekilde faaliyet göstermesini sağlayacak önemli bir adım olarak değerlendirilmektedir.

Tekstil endüstrisinde kullanılan prosesler çok büyük miktarlarda su ve kimyasal tüketimine sebep olmaktadır. Başta boyama olmak üzere diğer tüm işlemlerde kullanılan organik ve inorganik yapıdaki bileşiklerin çeşitliliğine bağlı olarak, proses sonucu ortaya çıkan atık suların özellikleri de farklı olmaktadır. Günümüzde, 100.000'den fazla sentetik boyanın ticari olarak kullanıldığı ve yılda yaklaşık 700.000 ton boya üretildiği bilinmektedir. Bu üretimin yaklaşık %10-15'i, boyama işlemleri sırasında atık su olarak alıcı ortama deşarj edilmektedir (Shrevev & Brink, 1977; Soares, Ferreira, & Pessoa de Amorim, 2001; Wong & Yu, 1999). Ayrıca, dünya genelinde boyarmadde ihtiyacı ve kullanımı hızla artmaktadır. Tekstil boyarmaddelerinin çevre üzerindeki olumsuz etkileri, ekosistemler üzerinde ciddi sorunlara yol açabilmektedir. Renkli atık sular su ortamındaki fotosentetik aktiviteyi olumsuz yönde etkiler ve ışık geçirgenliğini azaltır. Diğer yünden boyar maddeler sularda bulunan organizmalarda birikerek toksik ve kanserojen ürünlerin meydana gelmesine de sebep olabilmekte ve büyük bir risk olabilmektedir. Günümüzde boyar madde içeren tekstil atık sularının renk giderim prosesleri çevre ve insan sağlığı açısından önem kazanmaktadır. Fakat karmaşık kimyasal yapılara ve sentetik yapılarına bağlı

olarak, boyar maddelerin atık sulardan giderilmesi zor bir işlemdir (Kocaer & Alkan, 2002).

Tekstil endüstrisinde kullanılan sentetik boyarmaddeler, büyük miktarda su kirliliğine yol açmaktadır. Boyarmaddeler kumaşa sıkıca bağlanmadığından, boyama işlemi sonrasında atık su olarak su ortamlarına deşarj edilmektedir. Bu da çok sayıda tekstil fabrikasının atık sularını arıtma işlemine tabi tutmadan doğrudan deşarj etmelerinin çevre ve insan sağlığı üzerinde ciddi olumsuz etkiler yaratmasına neden olmaktadır. Tekstil boyarmaddelerinin sucul habitatlara olan etkisi, toksik olma potansiyelleri nedeniyle sucul organizmalar üzerinde zararlı etkiler yaratabilir ve bu organizmaların gıda zincirine girmesi mümkündür. Boyarmaddeler, suyun estetik kalitesini düşürerek, su kütlelerinin biyokimyasal ve kimyasal oksijen ihtiyacını artırır, fotosentezi engeller, bitki büyümesini inhibe eder ve biyolojik birikim ile dirençlilik oluşturur. Bununla birlikte, toksisite, mutajenite ve kanserojenlik gibi olumsuz özelliklere de yol açabilirler. Bu nedenle, tekstil endüstrisinden kaynaklanan boyarmadde içeren atık suların çevre dostu teknolojilerle etkili bir şekilde arıtılması gerekmektedir (Al-Tohamy, Ali, Li, Okasha, Mahmoud, Elsamahy, Jiao, Fu, & Sun, 2021).

Atık su kalitesinde meydana gelen veya meydana gelebilecek değişiklikler, tekstil atık sularının arıtımı esnasında kullanılan kimyasallarda ve uygulanan dozlarda yapılan değişikliklerle düzeltilebilmektedir. Bu nedenle kimyasal arıtım teknikleri en yaygın kullanılan teknikler arasında ilk sıralarda gelmektedir (Socha,1991). Kullanılan bu yöntemler kimyasal çöktürme, Curcubituril, flokülasyon ve oksidasyon ile arıtmadır. İyon değişimi, adsorpsiyon ve membran filtrasyonu gibi yöntemler, bazı sınırlamaları olsa da etkili olarak kullanılan fiziksel yöntemler arasında yer almaktadır. Bu yöntemler arasında adsorpsiyon boya giderilmesi işleminde en yaygın olarak kullanılan tekniktir (Schwartz, 1967, Brasquet, Roussy, Subrenat, & Le Cloirec 1997).

Uzel'in (2018) çalışmasında tekstil endüstrisinde kullanılan Remazol Brilliant Blue R (C.I. Reactive Blue 19) boyarmaddesinin tekstil atık suyundan üç farklı yöntemle arıtımı gerçekleştirilmiştir: fiziksel (adsorpsiyon), kimyasal (ozonlama) ve biyolojik (biyosorpsiyon). Adsorpsiyon yönteminde, yumurta kabuğu en uygun adsorplayıcı olarak belirlenmiş ve %85 renk giderimi sağlanmıştır. Ozonlama yöntemiyle kimyasal arıtmada ise %97 renk giderimi elde edilmiştir. Biyosorpsiyon yönteminde, Pseudevernia furfuracca likeni kullanılarak %81 renk giderimi gerçekleştirilmiştir. Kinetik analizler hem yumurta kabuğu hem de liken ile yapılan arıtmanın yalancı-ikinci-mertebe hız modeline uyduğunu göstermiştir. Denge çalışmaları ise, her iki yöntemin Langmuir denge modeline

uygun olduğunu ortaya koymuştur. Renk giderimi sonrası, arıtılmış atık suların kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ölçülmüş ve ozonlama ile %9 KOİ giderimi sağlanmıştır. Ayrıca, *Pseudomonas putida* bakterisi ile yapılan canlılık testlerinde, tüm yöntemlerle arıtılmış sularda bakterilerin ürediği ve en fazla üremenin yumurta kabuğu ile yapılan arıtmada gerçekleştiği belirlenmiştir.

Temoçin'in (2006) tez çalışmasında; C.I. Reactive Black 5, C.I. Reactive Blue 19 ve C.I. Reactive Red 21 gibi farklı renk ve yapıya sahip üç reaktif boyarmaddenin, lakkaz enzimi kullanılarak tekstil atık sularından renklerinin giderilmesi hedeflenmiştir. Çalışma, farklı sıcaklıklar, enzim miktarları ve yöntemlerle optimize edilmiştir. Boyarmadde çözeltilerinin renk giderimi sırasında, UV-Görünür Alan spektrofotometresi ile absorbans ölçümleri yapılmış ve bu verilerle çözelti konsantrasyonu ile % renk giderme oranları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, farklı yöntemlerin etkinliklerini karşılaştırmak amacıyla analiz edilmiştir.

Boyarmaddelerin kimyasal yapıları incelendiğinde anyonik, katyonik ve non-iyonik gibi farklı yapılara sahip oldukları görülmektedir. Boyalar, kimyasal yapılarına göre: Azo boyarmaddeler, Kükürt boyarmaddeler, Nitro ve nitrozo boyarmaddeler, Karbonil boyarmaddeler olarak, sudaki çözünürlüklerine göre: Suda çözünen boyarmaddeler: Anyonik, katyonik ve non-iyonik boyarmaddeler, Suda çözünmeyen boyarmaddeler olarak, boyama özelliklerine göre: Küp boyarmaddeler, Reaktif boyarmaddeler, Dispers boyarmaddeler, Direkt boyarmaddeler, Asit ve Baz boyarmaddeler olarak ve kullanım yerleri gibi farklı özelliklerine göre sınıflandırılabilirler (Özdemir, Balcı, & Kara, 2023).

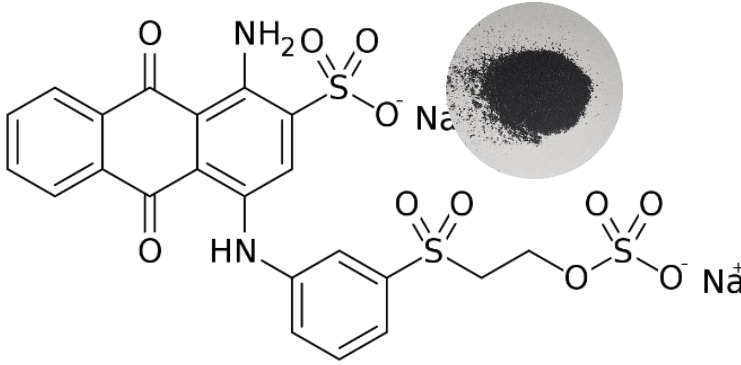
Boyama işlemleri sırasında kullanılan boyaların %15'i kadarı atık olarak salınabilir. Özellikle Reaktif mavi (RB) 19 örneğinde, boyanın life tutunma verimliliği, reaktif form, vinil sülfonun oluşumu ile lifte tutunmayan 2-hidroksietyl-sülfonun oluşumu arasındaki rekabet nedeniyle %75 ila %80 arasında değişmektedir. Bu durumda reaktif boyaların çevreye salınması istenmemekte olup farklı sucul yaşam formları için toksik ve mutajenik olabilir. Tekstil endüstrisi atıklarındaki bu tür kirleticilerin uzaklaştırılması, çevre bilimcileri, mühendisler ve bilim insanları için çevresel koruma ve sürdürülebilirlik açısından önemlidir. Dolayısıyla, bu tür atıkların uzaklaştırılması, canlılığın devamı ve çevremiz açısından önemli bir konudur (Siddique, 2011). Bu çalışma kapsamında, nano-TiO₂ içeren çimentolu sistem kullanımının, tekstil endüstrisi atıksularında, arıtma tekniği olarak uygulanabilirliği ve etkinliğinin araştırılması amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntemler

2.1. Materyal

Reactive Blue 19

Deneyisel çalışmada kullanılan Reactive Blue 19 (Corazal Brill Blue RN 150%) Sigma-Aldrich'ten temin edildi. Reactive Blue 19 boyar maddesinin kimyasal yapısı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Reaktif Mavi 19 boyasının kimyasal yapısı

Reactive Blue 19 (Reaktif Mavi 19) , ticari adıyla Remazol Brilliant Blue R, bir anthraquinone yapısına sahip sentetik bir tekstil boyasıdır. Moleküler formülü $C_{22}H_{16}N_2Na_2O_{11}S_3$ olan bu bileşik, 626.54 g/mol moleküler kütleye sahiptir ve su içinde 80°C'de 30 g/L çözünür. Çözeltilisinin pH değeri ise 6.20 olarak ölçülmüştür. Kimyasal olarak, 2580-78-1 CAS numarasıyla tanınan bu boya, 592 nm dalga boyunda maksimum ışık Emilimi (λ_{max}) gösterir. Ayrıca, bu boyanın C.I. numarası 61,200 olup, tekstil endüstrisinde geniş bir kullanım alanına sahiptir (Uzel,2018).

Çimento

Bu çalışmada, bağlayıcı olarak CEM I 42.5R tipi portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun üretici firma tarafından sağlanan kimyasal bileşimi, fiziksel ve mekanik özellikleri Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Çimentonun kimyasal bileşimi, fiziksel ve mekanik özellikleri

Oksitler (%)	Çimento	
SiO ₂	18	
Al ₂ O ₃	4,75	
Fe ₂ O ₃	3,58	
CaO	63	
MgO	1,4	
Na ₂ O+0,658 K ₂ O	0,7	
SO ₃	3,11	
Özgül Ağırlığı	3060	
Yüzey Alanı (cm ² /g)	3441	
Basınç Dayanımı (MPa)	7-Gün	42,8
	28-Gün	51,8
Priz Süresi (dk)	Başlangıç	170
	Bitiş	240

Çalışma kapsamında, kullanılan nano-TiO₂'ye ait bazı özellikler Tablo 2'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan nano-TiO₂'ye ait bazı özellikler

Özellik	Birim	Değer
Safılık	%	>99
Boyut	nm	38
Yüzey Alanı	m ² /g	35
Kızdırma Kaybı	%	3.2
pH	-	5.5-6.5
Renk	-	White

Çimentolu sistemlerin hazırlanmasında, maksimum tane çapı 2 mm olan kırma kireçtaşı agregası kullanılmıştır. Agreganın TS EN 1097-6'ya uygun olarak

belirlenen özgül ağırlık ve su emme kapasitesi değerleri sırasıyla, 2.58 ve %0.4 olarak ölçülmüştür. 240±20 mm hedef yayıma değerini sağlamak için tek tip yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanılmıştır. Kullanılan su azaltıcı katkının üretici firma tarafından sağlanan bazı özellikleri Tablo 3'te gösterilmektedir.

Tablo 3. Su azaltıcı katkıya ait bazı özellikler

Yoğunluk (g/cm ³)	Katı madde içeriği (%)	pH	Klor içeriği (%)	Na ₂ O oranı (%)
1.060	32	2-5	<0.1	<10

2.2. Adsorpsiyon Deneyleri

100 mg'lık stok Reactive Blue 19 boya çözeltisi distile suda çözüldü ve 100 mL'ye seyreltilti. Stok çözeltiden 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 mg L⁻¹ standart boya çözeltileri hazırlanmıştır. Kalibrasyon eğrisi Reactive Blue 19 boyasının standart konsantrasyonlarından $\lambda_{max} = 592$ nm'de hazırlanmıştır.

Beton numuneler için boya çözeltisi ile temas eden yüzey alanı 75 cm²'dir. RB 19 boya çözeltileri içeren beton numuneler 24 saat boyunca karanlık bir ortamda bekletilmiştir.

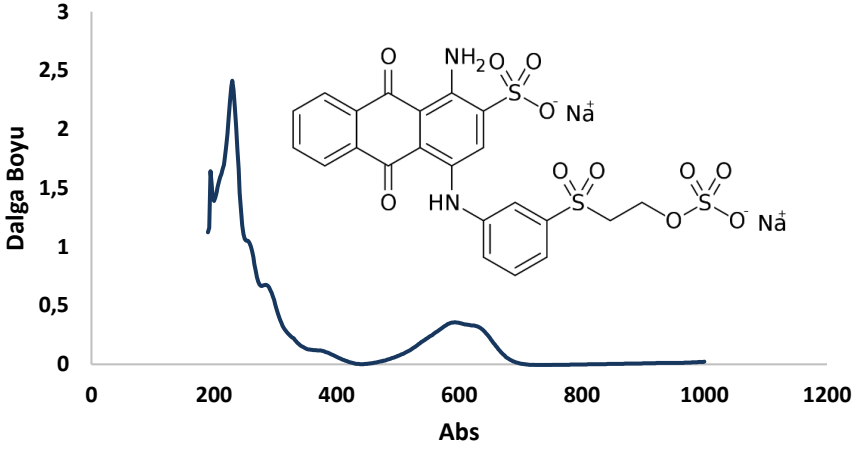
Numunenin pH değeri pH metre (Mettler To-ledo SevenExcellence pH metre S400) ile ölçülmüştür. Model çözeltilerdeki boyanın rengi ve konsantrasyonu 200 - 900 nm dalga boyu aralığında ± 1 nm tarama spektrumunda UV-Visible spektrofotometre (Hack Lange DR 5000™ UV-Vis Spektrofotometre) kullanılarak belirlenmiştir (Enes, 2006). RB19 boyası için dalga boyu-absorbans grafiği Şekil 2'de gösterilmiştir.

Her bir numune için boya çözeltilerinin absorbansı, deneyin başında ve sonunda RB 19 boyasının maksimum absorpsiyon dalga boyunda ($\lambda_{max} = 592$ nm) bir UV/Görünür spektrofotometre kullanılarak ölçülmüştür. Dengede adsorbe edilen adsorbat miktarı, q_e (mg/g), denklem kullanılarak hesaplanmıştır;

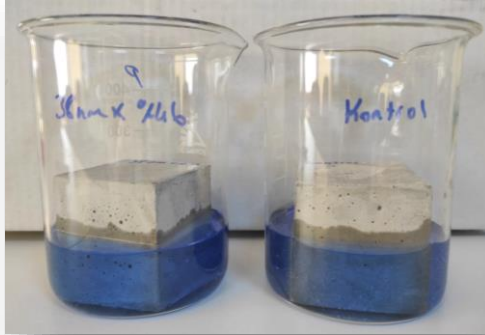
$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)}{M} \times V$$

C_0 ve C_e (mg/L) sırasıyla adsorbatın (RB 19 boyası) başlangıç ve denge sıvı faz konsantrasyonlarını temsil etmektedir. M, kullanılan adsorbanın gram (g)

cinsinden kütlesini, V ise çözeltinin mililitre (mL) cinsinden hacmini ifade etmektedir.



Şekil 2. RB 19 boyası için Dalga Boyu-Absorbans grafiği.



Şekil 3. Adsorpsiyon uygulaması

2.3. Dekolorizasyon Deneyleri

Reaktif Mavi 19 boyasının fotokatalitik renk giderimi zaman içinde incelenmiştir (Şekil 3). Deneyler bir UV odasında 366 nm UV ışığı altında ve 25°C sabit sıcaklıkta gerçekleştirilmiştir (Şekil 4).

Renk giderme yüzdesi (%) aşağıdaki formül kullanılarak belirlenmiştir (1).

$$\text{Boya Dekolorizasyonu \%} = \frac{C_0 - C_e}{C_e} \times 100 \quad (1)$$

Burada C_t ve C_0 sırasıyla t ve 0 reaksiyon zamanlarındaki boya konsantrasyonlarını (mg L^{-1}) temsil etmektedir (Siddique, 2011).



Şekil 4. Fotokatalitik renk giderme uygulaması

2.4. Çimentolu Sistemlerin Üretimi

Çalışma kapsamında nano-TiO₂ içermeyen kontrol karışımına ilaveten 38 nm partikül boyutuna sahip ve çimento ağırlığının %1,5 oranında nano-TiO₂ içeren karışım üretilmiştir. Çalışma kapsamında, 240 ± 20 mm yayılma değerinin sağlandığı karışımlarının üretiminde kullanılan malzeme miktarı Tablo 4'te gösterilmektedir. Nano-TiO₂ içermeyen karışım kontrol karışımı olarak adlandırılırken, nano-TiO₂ içeren karışım NT38-%1,5 olarak adlandırılmıştır. Hazırlanan numuneler deney gününe su kürüne tabi tutulmuştur.

Tablo 4. 1 m^3 SCM üretiminde kullanılan malzeme miktarları (kg/m^3)

Karışım	Çimento	Nano-TiO ₂ (%)*	Agrega	Katkı	s/b
Kontrol	550	0	1358,43	3,5	0,45
NT38-%1,5	541,75	1,5	1358,95	4,0	

*Çimento ağırlığına

3. Tartışma ve Sonuç

3.1 RB-19'un Sulu Çözeltilerden Adsorpsiyonu ve Renk Giderimi

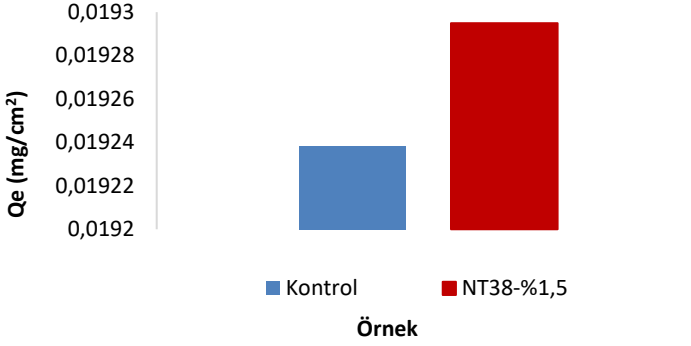
Şekil 2'deki grafiğe göre, görünür bölgede kromoforun mavi rengine atfedilen bir pik görülürken, UV bölgesindeki pik boyanın antrakinon yapısının bir sonucudur. Görünür bandın hızla kaybolması, oksidasyon işlemi sırasında OH radyal saldırısının neden olduğu kinon bağlantı parçalanmasından kaynaklanıyor olabilmektedir (Rajkumar, 2007). Aynı zamanda, 256 nm'deki absorpsiyon azalması, boya molekülü ve ara ürünlerindeki kromofor bozunmasının kanıtı olarak kabul edilmiştir (Siddique, 2011).

Adsorbanın yüzey yükü çözeltinin pH değerinden etkilenir, bu da boyarmaddelerin beton numuneler üzerinde adsorpsiyonu ve renk gideriminde kritik bir faktördür. Reactive Blue 19 boyarmaddesinin adsorpsiyon ve renk giderme çalışmalarına ve literatürün gözden geçirilmesinden sonra yapılan ön laboratuvar testlerine dayanarak, optimum pH değeri $\text{pH} = 3$ olarak belirlenmiştir. Tüm deneyler 25°C ortam sıcaklığında, 30 mg/L çözelti konsantrasyonunda ve 24 saat temas süresinde gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon kapasiteleri daha sonra hesaplanmıştır.

Kontrol ve nano-TiO₂ içeren karışımların adsorpsiyon kapasiteleri Şekil 5'te, zamana karşı giderim değerleri ise Tablo 5'te gösterilmiştir. Tablo 5'teki verilere göre, zamanla birlikte giderim oranının arttığı gözlemlenmektedir (Tablo 1). Başlangıçta (60 dakika) kontrol grubunda %1.51'lik bir giderim gözlemlenirken, nano-TiO₂ içeren karışımda bu oranın %3.25 olduğu tespit edilmiştir. Zaman ilerledikçe, her iki gruptaki giderim oranları belirgin şekilde artmaktadır. Örneğin, 120. dakikada kontrol grubunda giderim %6.31'e yükselirken, nano-TiO₂ içeren karışımda bu oran %8.65'e çıkmaktadır. Bu trend, özellikle 180. dakika ve sonrasında daha belirgin hale gelmektedir. 180. dakikada kontrol grubunun giderimi %9.77'ye ulaşırken, nano-TiO₂ içeren karışımda %14.64 oranında giderim sağlanmıştır. 240. dakikada bu fark daha da büyüyerek, kontrol grubunda %13.47, nano-TiO₂ içeren karışımda ise %19.01'e ulaşmaktadır. 300. dakikada, kontrol grubundaki giderim %17.42'ye, nano-TiO₂ içeren karışımdaki giderim ise %26.24'e çıkmaktadır. Son olarak, 360. dakikada kontrol grubundaki giderim oranı %23.90'a, nano-TiO₂ içeren karışımda ise %28.85'e yükselmiştir.

Bu sonuçlar, nano-TiO₂ partiküllerin giderim oranını artıran bir etki sağladığını, özellikle zaman geçtikçe bu farkın daha belirgin hale geldiğini göstermektedir. Bu durum, nano-TiO₂ içeren beton karışımlarının daha verimli bir arıtma materyali olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Betonda

fotokatalitik malzemelerin kullanılması durumunda kirletici ayrıştırma performansının geliştiği Liang ve ark., (2019) tarafından ifade edilmiştir. Bu proseste, enerji ve zamandan tasarruf sağlanmaktadır (Yu ve Ark., 2009).



Şekil 5. Örneklerin hesaplanan adsorpsiyon kapasiteleri.

Tablo 1. Zamana karşı giderim % tablosu (dk)

t (dk)	Kontrol	NT38-%1,5
60	1,51	3,25
120	6,31	8,65
180	9,78	14,64
240	13,47	19,01
300	17,42	26,24
360	23,90	28,85

Sonuç

Sonuç olarak, tekstil endüstrisinin atık suları, çevreye ve sucul ekosistemlere büyük zararlar verebilen zararlı bileşenler içermektedir. Beton temelli arıtma yöntemlerinin, bu atıkların arıtılması için etkili ve çevre dostu bir alternatif sunduğu görülmüştür. Özellikle adsorpsiyon yöntemi, suyun temizlenmesinde başarıyla kullanılmıştır. Ancak, bu yöntemlerin etkinliği, kullanılan malzemelerin özelliklerine ve arıtma süreçlerine bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Tekstil atıklarının daha sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesi için

beton malzemelerinin geri dönüşümünün artırılması, çevre dostu teknolojilerin geliştirilmesi ve endüstriyel uygulamalarda bu yöntemlerin entegrasyonu önemlidir. Bu çalışma, tekstil atık su arıtımının sadece çevresel faydalar sağlamadığını, aynı zamanda endüstriyel süreçlerde verimliliği ve sürdürülebilirliği artırabileceğini de göstermektedir. Bu bağlamda, gelecekteki araştırmaların, mevcut arıtma tekniklerini daha da geliştirerek, tekstil sektöründe daha geniş uygulamalar için çözüm önerileri sunması beklenmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, FGA-2023-1278, FDK-2024-1581 FOA-2022-1135 nolu projeler kapsamında Bursa Uludağ Üniversitesi tarafından desteklenmiştir.

Referanslar

- Al-Tohamy, R., Ali, S. S., Li, F., Okasha, K. M., Mahmoud, Y. A.-G., Elsamahy, T., Jiao, H., Fu, Y., & Sun, J. (2021). A critical review on the treatment of dye-containing wastewater: Ecotoxicological and health concerns of textile dyes and possible remediation approaches for environmental safety. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 221, 113160. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.113160>
- Asgher, M., & Bhatti, H. N. (2012). Removal of reactive blue 19 and reactive blue 49 textile dyes by citrus waste bio-mass from aqueous solution: Equilibrium and kinetic study. *Canadian Journal of Chemical Engineering*, 90(3), 412-419. <https://doi.org/10.1002/cjce.20531>
- Beeldens, A. (2008). Air purification by pavement blocks: final results of the research at the BRRC. *Air purification by pavement blocks: final results of the research at the BRRC*.
- Brasquet, C., Roussy, J., Subrenat, E., & Le Cloirec, P. (1996). Adsorption and selectivity of activated carbon fibers: Application to organics. *Environmental Technology*, 17(11), 1245-1252.
- Duman, H. (2017). *Aritılmış kentsel atıksuların sulamada yeniden kullanımı: Kayseri Atıksu Arıtma Tesisi örneği* (Uzmanlık Tezi). T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara.
- Enes, S. (2006). *Chem. Eng. J.* 119, 175-180.
- Isah, A. U., Abdulraheem, G., Bala, S., Muhammad, S., & Abdullahi, M. (2015). Kinetics, equilibrium and thermodynamics studies of C.I. Reactive Blue 19 dye adsorption on coconut shell based activated carbon. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 102, 265-273. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.04.006>.
- Kocaer, F. O., & Alkan, U. (2002). Boyar madde içeren tekstil atıksularının arıtım alternatifleri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 7(1). Retrieved from <https://dergipark.org.tr/pub/uumfd/issue/21690/233480>
- Liang, X., Cui, S., Li, H., Abdelhady, A., Wang, H., & Zhou, H. (2019). Removal effect on stormwater runoff pollution of porous concrete treated with nanometer titanium dioxide. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 73, 34-45.
- Özdemir, B., Balcı, P., & Kara, A. (2023). Adsorption of Reactive Blue 19 dye on BAP polymer. In *6th International Ankara Multidisciplinary Studies Congress Proceedings* (p. 476).
- Rajkumar, D., Song, B. J., & Kim, J. G. (2007). Removal of reactive dyes by adsorption on activated carbon. *Dyes and Pigments*, 72(1), 12-20.
- Schwartz, H. G. (1967). Adsorption of selected pesticides on activated carbon and mineral surfaces. *Environmental Science & Technology*, 1, 332-337.

- Shreve, R. N., & Brink, J. A. (1977). *Chemical process industries*. McGraw-Hill Book Company.
- Siddique, M., Farooq, R., Khan, Z. M., Khan, Z., & Shaukat, S. F. (2011). Enhanced decomposition of reactive blue 19 dye in ultrasound-assisted electrochemical reactor. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(1), 190-196. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2010.05.004>
- Soares, G. M. B., Ferreira, M. C., & Pessoa de Amorim, M. T. (2001). Decolorization of an anthraquinone-type dye using a laccase formulation. *Bioresource Technology*, 79(2), 171-177.
- Socha, K. (1991). Treatment of textile effluents. *Textile Month*, 12, 52-56.
- Temoçin, H. (2006). *Tekstil atık sularının renginin giderilmesi* (Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü). İstanbul, Türkiye.
- Uzel, E. (2018). *Remazol Brilliant Blue R (C.I. Reactive Blue 19) boyarmaddesinin tekstil atık sularından fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler ile arıtımı ve yöntemlerin karşılaştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye. Danışman: Afife Güvenç.
- Wong, Y., & Yu, J. (1999). Laccase-catalyzed decolorization of synthetic dyes. *Water Research*, 33(16), 3512-3520.
- Yu, Q. L., & Brouwers, H. J. H. (2009). Indoor air purification using heterogeneous photocatalytic oxidation. Part I: experimental study. *Applied Catalysis B: Environmental*, 92(3-4), 454-461.

BÖLÜM 2

Su Kirliliğine Çevreci Bir Çözüm: Beton Kullanarak Reactive Orange 16 Boyarmaddesinin Fotokatalitik Dekolorizasyonu ve Adsorpsiyonu

Gözde Koçak Mutlu¹ & Petek Balcı² &
Hatice Gizem Şahin³ & Ali Mardani⁴ &
Ali Kara⁵

¹ Bursa Uludağ Üniversitesi, Polimer Malzemeler Bölümü, Bursa, Türkiye
ORCHID ID: 0000-0003-2771-8218

²

³ Bursa Uludağ Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye,
ORCHID ID: 0000-0003-2457-6314

⁴ Prof. Dr. Bursa Uludağ Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye,
ORCHID ID: 0000-0003-2457-6314

⁵ Prof. Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi, Kimya Bölümü, Bursa, Türkiye ORCHID ID: 0000-0003-2457-6314

1. Giriş

Su ve hava kirliliği sanayileşme ve kentleşme ile önlenemez boyutlara ulaşmıştır. Her yıl insan faaliyetleri sonucu oluşan atık suların yaklaşık %80'i yeterince arıtılmadan su kaynaklarına deşarj edilmektedir (Kılıç, 2021; Lin, Yang & Xu, 2022). İnşaat endüstrisi, hem su ve hava kirliliğine neden olmakta hem de karbon emisyonlarının önemli bir kısmını oluşturmaktadır (Şahin & ark., 2024). İnşaat sektörünün neden olduğu çevresel sorunlara rağmen, ekonomik ve sosyal açıdan üstlendiği önemli rol, söz konusu çevre dostu yeni fikirlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Sürdürülebilir yapım anlayışı, çevresel etkilerin azaltılmasına odaklanarak, inşaat malzemelerinin yeniden kullanılabilir ve çevreye daha az zararlı seçenekler olarak belirlenmesini amaçlamaktadır. Bu yaklaşım, doğal kaynakların verimli kullanılmasını teşvik ederken, atık üretimini minimize ederek çevreye olan olumsuz etkileri en aza indirmeyi hedeflemektedir (Pamuk & Kuruoğlu, 2016). Çevre ve özellikle su kirliliğine neden olan en önemli kirleticilerden biri boyarmaddelerdir (Lellis & ark., 2019). Kromofor gruplarının kimyasal yapılarına göre boyarmaddeler azo, nitro, indigo, antrakinon, ftalein, trifenil, metil ve nitratlı boyalar olarak sınıflandırılmaktadır (Yeow & Wong, 2021). Sanayide yaygın olarak kullanılan boyarmaddelerin yaklaşık %70'ini azo boyarmaddeler oluşturmaktadır (Chittal & ark., 2019). Yapıları azo (-N=N-) kromofor grubu ve sülfonik (-SO₃-) fonksiyonel grubu ile karakterize edilen bu boyarmaddeler, atık sularda oldukça yaygın olarak bulunmakta ve suda çözünebilmektedir (Przystas, Zablocka-Godlewska & Grabinska-Sota, 2012; Kaplan, Kara & Eren, 2019; Koçak Mutlu & Kara, 2023).

Boyarmaddeler, su ekosisteminde gün ışığını engelleyerek fotosentezi azaltmaktadır. Bu durum, suyun kalitesinin bozulmasına, gazların çözünürlüğünün azalmasına ve toksisitenin artmasına sebep olmaktadır. Bununla birlikte, kamusal alanlara taşınarak ciltte alerjik reaksiyonlara ve kansere yol açabilmektedir (Hanafi & Sapawe, 2020; Rápó & Tonk, 2021; Alsukaibi, 2022; Koçak Mutlu & ark., 2023). Bu negatif etkileri önlemek amacıyla, boyarmaddelerin atık sulardan arıtılması son derece kritik bir öneme sahiptir. Boyarmaddelerin çevresel etkilerini en aza indirebilmek için kimyasal, fiziksel ve biyolojik olmak üzere geleneksel arıtma yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden bazıları; klorlama (Vacchi & ark., 2013), ozonlama (Bal & Thakur, 2022), sedimantasyon (Mazari & Abdessemed, 2020), ultrafiltrasyon (Jiang & ark., 2018) ve adsorpsiyondur (Tan & ark., 2015). Her ne kadar geleneksel arıtma yöntemlerinin bazı avantajları bulunsada, boyarmadde gideriminde tek başlarına yeterli değildirler. Bu nedenle ileri oksidasyon prosesleri geliştirilmiştir. Bir ileri oksidasyon prosesi olarak fotokataliz, hava ve su kirliliği ile mücadelede diğer

yöntemlere kıyasla daha etkili ve sürdürülebilir bir teknoloji olarak kabul edilmektedir. Fotokataliz, fotokatalizör varlığı ile morötesi (UV), görünür veya kızılötesi radyasyonun etkisi altında reaksiyon hızının veya başlangıcının değiştiği bir süreç olarak tanımlanmıştır (Şahin & ark., 2024). Bu proses, düşük enerjili UV ışığı ve bir yarı iletkenin kullanılması ile organik kirleticilerin CO₂, H₂O ve HCl gibi toksik olmayan küçük moleküllere dönüştürülmesi esasına dayanmaktadır (Espulgas & ark., 2002; Bizani & ark., 2006; Cebeci & Selçuk, 2020; Ali, Roghabadi & Ahmadi, 2023).

Fotokatalizör seçiminde dikkate alınması gereken önemli faktörler arasında yüksek fotokatalitik aktiviteye sahip olması, termal stabilitesinin iyi olması, kimyasal ve biyolojik olarak inert olması, kolay erişilebilir olması, toksik olmaması ve mikroorganizmaların inaktivasyonu da dahil olmak üzere organik bileşiklerin oksidasyonunu destekleyebilmesi ve uygun maliyetli olması bulunmaktadır (Yuranova ve ark., 2007; Yasmina ve ark., 2014). Bu nedenle, genellikle titanyum dioksit (TiO₂), kadmiyum selenid (CdSe), çinko oksit (ZnO) ve tungsten oksit (WO₃) gibi yarı iletkenler tercih edilmektedir (Gopinath & ark., 2020). Yarı iletken fotokatalizörler, geniş yüzey alanına ve gözenekli yapıya sahip olmalarının yanı sıra, ışığı absorbe etmede oldukça başarılıdır (Zhao & ark., 2023). Yarı iletken fotokatalizörler sınıfında yer alan TiO₂, kimyasal açıdan oldukça kararlı ve düşük maliyetli bir fotokatalizördür. Ayrıca güçlü fotokatalitik aktivite, iyi termal stabilite, toksik olmama, kolay ulaşılabilirlik ve biyoyumlu olma gibi avantajlarının yanında kendi kendini temizleme özelliği bulunmaktadır. Bu özellikleri sayesinde TiO₂ fotokatalitik bozunma tepkimelerinde yaygın olarak tercih edilmektedir (Armaković, Savanović & Armaković, 2023).

Fotokatalitik beton teknolojisi, yenilikçi bir çözüm olarak çevre dostu özellikler sunmaktadır. Bu teknoloji, güneş ışığını kullanarak havada ve suda bulunan kirleticileri temizleme kapasitesine sahiptir. Yapılan son çalışmalarda, fotokatalitik teknolojinin beton malzemelerle entegrasyonunda, kendi kendini temizleme ve zararlı gazları etkili bir şekilde yok etme gibi önemli çevresel faydalar sağladığı tespit edilmiştir (Meng & ark., 2020; Luna & ark., 2022). Şehirlerdeki beton yapılar, servis ömürleri boyunca önemli miktarda güneş enerjisi almasına rağmen, bu enerjinin etkin kullanımı hala sınırlıdır. Bu durumu iyileştirmek amacıyla birçok araştırmacı tarafından, havadaki NO_x bileşiklerini parçalamak için yol yapım malzemelerine TiO₂ eklenerek fotokatalitik özellik kazandırılması denenmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir (Yu & ark., 2020; Chouhan & Chandrupa, 2023). Fotokatalizörlerin bir diğer önemli işlevi de su ortamlarındaki kirleticilerin parçalanmasıdır. Yapılan araştırmalar, fotokatalizörlerin özellikle organik kirleticileri bozma kapasitesine sahip

olduğunu ve bu özelliklerinin kirli suyla temas eden yapılara uygulanabileceğini göstermektedir (Zhou & ark., 2021; Zhou & ark., 2022; Zhang & ark., 2025).

Bu çalışmada, Reaktif Turuncu 16 (RO16) boyarmaddesinin su ortamından giderilmesi amacıyla kontrol ve %1,5 oranında TiO_2 katkılı beton numuneleri kullanılarak adsorpsiyon ve fotokatalitik dekolorizasyon işlemleri uygulanmıştır. Bu proses, inşaat teknolojisinde yenilikçi bir yaklaşım sunarak, su kirliliği ile mücadelede beton malzemesinin çevre dostu bir çözüm olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Böylece, boyarmaddelerin su ortamından etkili bir şekilde uzaklaştırılmasının ve ikincil kirliliğe yol açmadan temizlenmesinin mümkün olduğu gösterilmiştir. Bu bulgular, yeşil çevre uygulamaları açısından büyük önem taşımaktadır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Materyal

Beton numunesi için CEM I 42.5R tipi portland çimentosu kullanılmıştır. Çalışmalarda kullanılan çimento ve nano- TiO_2 'e ait bazı özellikler sırasıyla Tablo 1 ve 2'de verilmiştir. Kendi kendini temizleme özelliğine sahip harç karışımının hazırlanmasında, 2 mm'lik $D_{\max}$ değerine sahip kırılmış kireçtaşı agregası kullanılmıştır.

Tüm deneysel çalışmalarda kontrol ve %1,5 nano- TiO_2 katkılı beton numuneleri kullanılmıştır. Karışımların isimlendirilmesi nano- TiO_2 içeriğine göre yapılmıştır. nano- TiO_2 içermeyen karışım kontrol karışımı olarak adlandırılırken, nano- TiO_2 içeren karışım %1,5-nT olarak adlandırılmıştır.

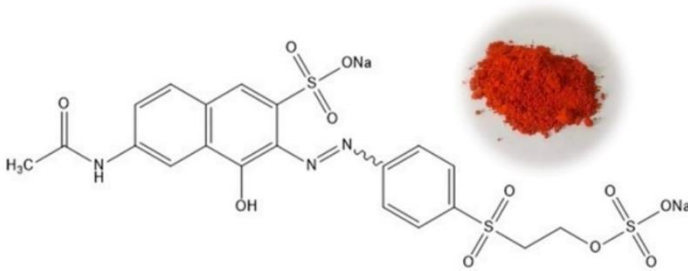
Tablo 1. Çimentonun bazı özellikleri

Bileşim (%)	Çimento
SiO ₂	18
Al ₂ O ₃	4,75
Fe ₂ O ₃	3,58
CaO	63
MgO	1,4
Na ₂ O + 0.658 K ₂ O	0,7
SO ₃	3,11
Özgöl ağırlık	3,06
Özgöl yüzey alanı (cm ² /g)	3441
Basma dayanımı (MPa)	7 gün: 42,8 - 28 gün: 51,8
Priz süresi (dakika)	Başlangıç: 170 - Final: 240

Tablo 2. Nano-TiO₂'nin bazı özellikleri

Özellik	Birim	Değer
Saflık	%	> 99
Boyut	nm	38
Özgöl yüzey alanı	m ² /g	35
pH	-	5.5–6.5
Renk	-	Beyaz

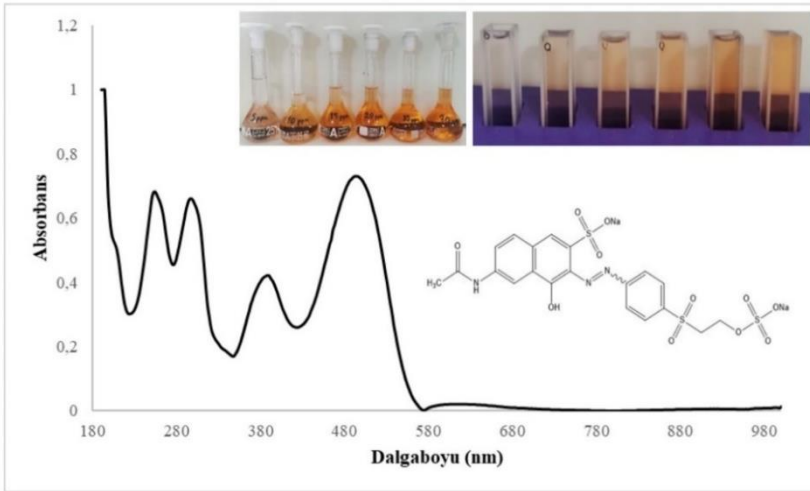
Deneyisel çalışmalarda kullanılan RO16 (boyarmadde içeriği ≥ 70 %) ve NaOH (98%) Sigma-Aldrich'ten, HCl (32%) ise Merck'ten temin edilmiştir. RO16 boyarmaddesinin kimyasal yapısı Şekil 1'de verilmiştir.

**Şekil 1.** Reaktif Turuncu 16 boyar maddesinin kimyasal yapısı

2.2. Yöntem

2.2.1. Adsorpsiyon Deneyleri

Boyarmadde çözeltileri optimum pH değeri olan pH 3'te hazırlanmıştır (Koçak Mutlu & ark., 2023). Beton numunelerinin adsorpsiyon çalışmaları için kontrol ve %1,5 nano-TiO₂ katkılı olmak üzere iki farklı numune kullanılmıştır. RO16'nın dalga boyu taraması, UV-görünür spektrofotometre kullanılarak 200 ila 800 nm aralığında gerçekleştirilmiştir. Dalga boyu taraması sonucunda, maksimum absorpsiyonun gerçekleştiği dalga boyu (λ_{max}) 492 nm olarak belirlenmiş ve çalışma boyunca tüm ölçümlerde bu dalga boyu kullanılmıştır. Şekil 2'de RO16 boyarmaddesine ait dalgaboyu-absorbans grafiği yer almaktadır.



Şekil 2. RO16 boyarmaddesine ait dalgaboyu-absorbans grafiği

Deneysel çalışmalar optimum koşullar olarak belirlenen 25°C ortam sıcaklığında ve 30 mg/L çözelti konsantrasyonunda; 50 ml boyarmadde çözeltisinden alınarak yürütülmüştür. Beton numunelerinin boyarmadde çözeltisi ile temas ettiği yüzey alanı 75 cm²'dir. Beton numunelerin eklendiği RO16 boyarmadde çözeltileri gün ışığı almayan kapalı bir ortamda 24 saat boyunca bekletilmiştir. Deneyler sonucunda çözeltilerde kalan boyarmadde konsantrasyonu UV-görünür spektrofotometre (Shimadzu-2100 UV-vis, Japan) ile belirlenmiştir. Tüm numunelerin çözeltide kalan boyarmadde konsantrasyonları için adsorpsiyon kapasiteleri (Q_e) (mg/g) Denklem 1 kullanılarak belirlenmiştir (Tang & ark., 2017).

$$Q_e = \frac{(C_0 - C_e) v}{m} \quad (1)$$

Burada, C_0 başlangıç boyarmadde konsantrasyonu (mg/L), C_e çözeltideki kalan boyarmadde konsantrasyonu (mg/L), m polimer miktarı (g) ve V çözeltinin hacmi (mL) olarak tanımlanmaktadır.

2.2.2. Fotokatalitik Dekolorizasyon Deneyleri

RO16 boyarmaddesinin fotokatalitik renk giderimi zamana bağlı olarak incelenmiştir. Bir UV kabini içerisinde 366 nm UV ışığı altında ve 25 °C sabit sıcaklıkta deneyler yürütülmüştür. Deneylerin sonucunda çözeltide kalan boyarmadde konsantrasyonu UV-görünür spektrofotometre ile belirlenerek % giderim miktarları hesaplanmıştır (Denklem 2) (Pham & ark., 2023).

$$\% \text{ Giderim} = \frac{(C_0 - C_e) \times 100}{C_e} \quad (2)$$

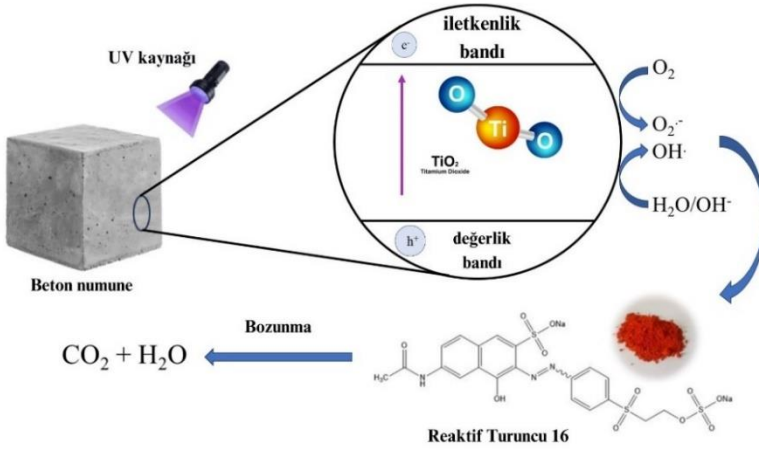
Burada, C_0 başlangıç boyarmadde konsantrasyonu (mg/cm²), C_e ise çözeltideki kalan boyarmadde konsantrasyonu (mg/L) olarak tanımlanmaktadır. Şekil 3'te RO16 boyarmaddesinin beton numunelerine adsorpsiyon ve fotokatalitik dekoloreizasyon uygulamaları gösterilmiştir.



Şekil 3. Adsorpsiyon ve fotokatalitik dekoloreizasyon uygulamaları

Şekil 4'te, RO16 boyar maddesinin beton yüzeyi üzerindeki fotokatalitik bozunma mekanizması şematik olarak gösterilmiştir. Fotokatalitik reaksiyonlar bir UV kaynağı kullanılarak TiO_2 yarı iletkeninin uyarılması ile başlamaktadır. Bant boşluğu enerjisine eşdeğer veya daha yüksek enerjili bir foton ($h\nu$) TiO_2 fotokatalizörünün yüzeyine gönderildiğinde değerlik bandında bulunan elektronlar iletkenlik bandına geçerek, değerlik bandında pozitif boşluklar (h^+) ve iletkenlik bandında elektronlar (e^-) oluşturmaktadır. Bu boşluklar ve elektronlar TiO_2 yüzeyinde redoks tepkimelerinin başlamasını sağlamaktadır. Böylece, boşluklar tarafından değerlik bandındaki su molekülleri veya hidroksil (OH^-)

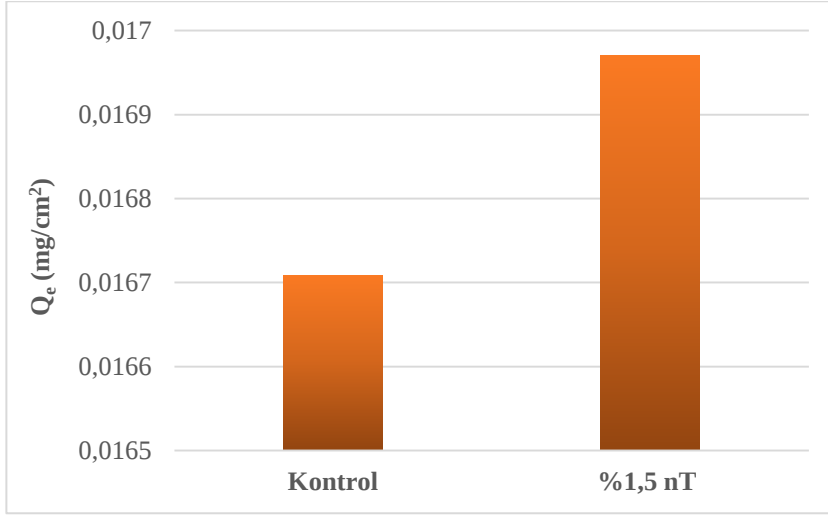
iyonları oksitlenerek aktif hidroksil radikalleri (OH) oluşturmaktadır. İletkenlik bandına geçen elektronlar ise fotokatalist yüzeyindeki O_2 molekülleri ile tepkimeye girerek O_2^- oluşturmaktadır. Son adımda serbest radikaller kirletici bileşiklerin parçalanmasına yardımcı olarak, H_2O ve CO_2 'e dönüştürmektedir (Koçak Mutlu & ark., 2023; Şahin & ark., 2024). Bu mekanizma, su ortamındaki boya, kurşun, cıva gibi kirleticilerin yanı sıra, havadaki benzen, toluen, formaldehit gibi uçucu organik bileşenlerin giderilmesini ve UV ışığıyla TiO_2 yarı iletkeninin kendi kendini temizleme yeteneğini genel olarak açıklamaktadır.



Şekil 4. Beton numunesi ile RO16 boyarmaddesinin fotokatalitik bozunma mekanizmasının şematik görüntüsü

3. Bulgular ve Tartışma

Çözeltinin pH'ı kullanılan adsorbanın yüzey yükünü değiştirdiği için (Ferkous & ark., 2022) boyarmaddelerin beton numuneleri üzerine adsorpsiyonunu ve dekolizasyonunu etkileyen en önemli faktör pH değeridir. RO16 boyarmaddesinin adsorpsiyon ve fotokatalitik dekolizasyon çalışmaları için önceki çalışmalara dayanarak (Koçak Mutlu & ark., 2023) optimum pH değeri 3 olarak seçilmiştir. Hazırlanan numunelerin adsorpsiyon kapasiteleri Şekil 5'te verilmiştir.

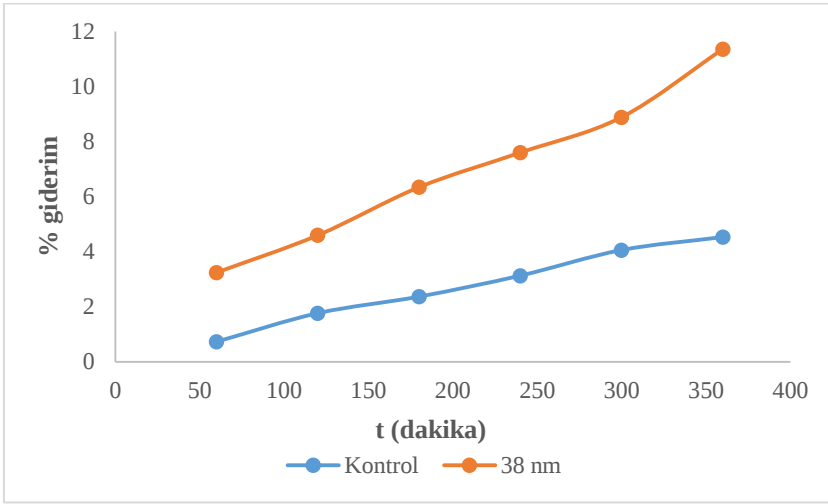


Şekil 5. Adsorpsiyon kapasiteleri

DeneySEL sonuçlar incelendiğinde %1,5 nano-TiO₂ katkılı beton numunesinin kontrol numunesine kıyasla adsorpsiyon kapasitesinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Numunelerin adsorpsiyon kapasitelerinin hesaplanmasının ardından fotokatalitik dekolozasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. RO16 boyarmaddesinin fotokatalitik renk giderimi üzerine etkisini araştırmak için 75 cm² temas yüzey alanına sahip beton adsorbent içeren 30 mg/L'lik boyarmadde çözeltileri 24 saat karanlık ortamda tutulduktan sonra 6 saat boyunca 366 nm UV ışığı altında bekletilmiştir. 6 saatlik bekletme süresi içerisinde birer saatlik aralıklar ile ölçümler alınmıştır. Tablo 3'te kontrol ve %1,5 nano-TiO₂ katkılı olmak üzere iki çeşit beton adsorbent numunelerine ait zamana karşı %giderim değerleri verilmiştir. Şekil 6'da bu adsorbent numunelere ait zamana karşı %giderim grafiği verilmiştir. Tablo 3 ve Şekil 6 incelendiğinde, süre ilerledikçe numunelerin % gideriminin arttığı; beklenildiği gibi iki numune kıyaslandığında ise %1,5 nano-TiO₂ katkılı beton numunesinin yüzde gideriminin kontrol numunesinden daha yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 3. Beton adsorbent numunelerinin zamana karşı %giderimi

t (dk)	% giderim	
	Kontrol	%1,5-nT
60	0,72	3,24
120	1,76	4,59
180	2,36	6,34
240	3,12	7,60
300	4,05	8,88
360	4,53	11,36



Şekil 6. Zamana karşı % giderim grafiği

4. Sonuç

Reaktif Turuncu 16 (RO16) boyarmaddesinin sulu ortamdan giderilmesi amacı ile fotokatalitik dekolorizasyon tekniği kullanılarak renk giderme etkinliklerinin incelendiği çalışma kapsamında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir;

RO16 boyarmaddesinin beton numuneleri üzerindeki adsorpsiyon kapasitesinin pH 3'te maksimum olduğu belirlenmiş olup, %1,5 nano-TiO₂ katkısı, beton numunesinin adsorpsiyon kapasitesini artırmıştır.

Dekolorizasyon sonuçları, %1,5 nano-TiO₂ katkılı beton numunesinin renk giderim etkinliğinin kontrol numunesine kıyasla daha yüksek olduğunu ve RO16 boyarmaddesini su ortamından 6 saat sonunda %11,36 oranında uzaklaştırılabildiğini göstermiştir. Elde edilen bulgular, nano-TiO₂ katkısı ile beton numunelerine fotokatalitik özellik kazandırılarak su ortamından RO16 boyarmaddesinin uzaklaştırılması için kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

Teşekkür

Bu alışma FGA-2023-1278 nolu, FDK-2024-1581 nolu ve FOA-2022-1135 nolu projeler kapsamında Bursa Uludağ Üniversitesi tarafından desteklenmektedir.

KAYNAKLAR

- Ali, H. M., Arabpour Roghabadi, F., & Ahmadi, V. (2023). Solid-supported photocatalysts for wastewater treatment: Supports contribution in the photocatalysis process. *Solar Energy*, 255, 99–125. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.03.032>
- Alsukaibi, A. K. D. (2022). Various approaches for the detoxification of toxic dyes in wastewater. *Processes*, 10(10), 1968. <https://doi.org/10.3390/pr10101968>
- Armaković, S. J., Savanović, M. M., & Armaković, S. (2023). Titanium dioxide as the most used photocatalyst for water purification: An overview. *Catalysts*, 13(1), 26. <https://doi.org/10.3390/catal13010026>
- Bal, G. & Thakur, A. (2022). Distinct approaches of removal of dyes from wastewater: A review. *Materials Today: Proceedings*. 50 (5), 1575-1579.
- Bizani, E., Fytianos, K., Poullos, I., & Tsiridis, V. (2006). Photocatalytic decolorization and degradation of dye solutions and wastewaters in the presence of titanium dioxide. *Journal of Hazardous Materials*, 136(1), 85–94. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.11.017>
- Cebeci, M. S., & Selçuk, S. F. (2020). Atıksudan fotokatalitik yöntemle boya giderimi ve mineralizasyonu. *Academic Platform Journal of Engineering and Science*, 8(3), 533–539. <https://doi.org/10.21541/APJES.625338>
- Chittal, V., Gracias, M., Anu, A., Saha, P., & Bhaskara Rao, K. V. (2019). Biodecolorization and biodegradation of azo dye Reactive Orange-16 by marine *Nocardiopsis* sp. *Iranian Journal of Biotechnology*, 17(3), e1551. <https://doi.org/10.29252/ijb.1551>
- Chouhan, J., & Chandrappa, A. K. (2023). A systematic review on photocatalytic concrete for pavement applications: An innovative solution to reduce air pollution. *Innovative Infrastructure Solutions*, 8, 90. <https://doi.org/10.1007/s41062-023-01060-6>
- Espulgas, S., Gimenez, J., Contreras, S., Pascual, E., & Rodríguez, M. (2002). Comparison of different advanced oxidation processes for phenol degradation. *Water Research*, 36(4), 1034–1042. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00383-1](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00383-1)
- Ferkous, H., Rouibah, K., Hammoudi, N. E. H., Alam, M., Djilani, C., Delimi, A., Laraba, O., Yadav, K. K., Ahn, H. J., Jeon, B. H., & Benguerba, Y. (2022). The removal of a textile dye from an aqueous solution using a biocomposite adsorbent. *Polymers*, 14(12), 2396. <https://doi.org/10.3390/polym14122396>
- Gopinath, K. P., Madhav, N. V., Krishnan, A., Malolan, R., & Rangarajan, G. (2020). Present applications of titanium dioxide for the photocatalytic removal of pollutants from water: A review. *Journal of Environmental Management*, 270, 110906. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110906>
- Hanafi, M. F., & Sapawe, N. (2020). A review on the water problem associate with organic pollutants derived from phenol, methyl orange, and remazol brilliant

- blue dyes. *Materials Today: Proceedings*, 31, A141–A150. doi:10.1016/j.matpr.2021.01.258
- Jiang, M., Ye, K., Deng, J., Lin, J., Ye, W., Zhao, S., & Van der Bruggen, B. (2018). Conventional ultrafiltration as effective strategy for dye/salt fractionation in textile wastewater treatment. *Environmental Science & Technology*. doi:10.1021/acs.est.8b02984
- Kaplan, B. E., Kara, A., & Eren, H. A. (2019). Temperature effects on the adsorption with microbeads in Reactive Black 5 m-Poly (EGDMA-VIM). *Journal of Physical Chemistry and Functional Materials*, 2(1), 5-11.
- Kılıç, Z. (2021). Water pollution: Causes, negative effects and prevention methods. *Istanbul Sabahattin Zaim University Journal of the Institute of Science and Technology*, 3(2).
- Koçak Mutlu, G. & Kara, A. (2023). Investigation of the effect of pH for the adsorption of Acid Red 114 dye with cross-linked polymer microparticles. 5th International Göbeklitepe Scientific Studies Congress, 06-07 May 2023, Şanlıurfa.
- Koçak Mutlu, G., Kara, A., Tekin, N., & Demirel, S. (2023). Synthesis and characterization of 1 vinyl 1,2,4 triazole, m poly(EGDMA VTA) TiO₂ polymer composite particles and the using of Reactive Orange 16 dye in adsorption and photocatalytic decolorization. *Colloid and Polymer Science*. <https://doi.org/10.1007/s00396-023-05213-y>
- Lellis, B., Fávoro-Polonio, C. Z., Pamphile, J. A., & Polonio, J. C. (2019). Effects of textile dyes on health and the environment and bioremediation potential of living organisms. *Biotechnology Research and Innovation*, 3(2), 275–290. <https://doi.org/10.1016/j.biori.2019.09.001>
- Lin, L., Yang, H., & Xu, X. (2022). Effects of water pollution on human health and disease heterogeneity: A review. *Frontiers in Environmental Science, Section Water and Wastewater Management*, 10, 880246. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.880246>
- Luna, M., Delgado, J. J., Romero, I., Montini, T., Almoraima Gil, M. L., Martínez-López, J., Fornasiero, P., & Mosquera, M. J. (2022). Photocatalytic TiO₂ nanosheets-SiO₂ coatings on concrete and limestone: An enhancement of de-polluting and self-cleaning properties by nanoparticle design. *Construction and Building Materials*, 338, 127349. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127349>
- Mazari, L. & Abdessemed, D. (2020). Feasibility of Reuse Filter Backwash Water as Primary/Aid Coagulant in Coagulation–Sedimentation Process for Tertiary Wastewater Treatment. *Arab J Sci Eng* 45, 7409–7417. <https://doi.org/10.1007/s13369-020-04597-1>
- Meng, C., Dong, P., Tian, H., Cheng, T., Li, J., Liu, Y., Yang, X., Xie, M., Chen, X., & Xi, X. (2020). Photocatalytic concrete paving block reinforced by TiO₂ nanotubes for NO removal. *Journal of Materials Science*, 55, 14280–14291. <https://doi.org/10.1007/s10853-020-05048-w>

- Pamuk, R., & Kuruoğlu, M. (2016). İnşaat sektöründe sürdürülebilirlik ve bina inşaatlarında evrensel uygulama örnekleri. *Beykent Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9(1), 161–177.
- Pham, G. T. T., Vu, H. T., Pham, T. T., Thanh, N. N., Thuy, V. N., Tran, H. Q., Doan, H. V., & Nguyen, M. B. (2023). Exploring the potential of ZnO–Ag@AgBr/SBA-15 Z-scheme heterostructure for efficient wastewater treatment: Synthesis, characterization, and real-world applications. *Royal Society of Chemistry*, 13, 12402–12410. <https://doi.org/10.1039/D3RA01856C>
- Przystas, W., Zablocka-Godlewska, E., & Grabinska-Sota, E. (2012). Biological removal of azo and triphenylmethane dyes and toxicity of process by-products. *Water, Air, and Soil Pollution*, 223(4), 1581–1592. <https://doi.org/10.1007/S11270-011-0966-7>
- Rápó, E., & Tonk, S. (2021). Factors affecting synthetic dye adsorption; desorption studies: A review of results from the last five years (2017–2021). *Molecules*, 26(17), 5419. <https://doi.org/10.3390/molecules26175419>
- Şahin, H.G., Temel, M., Koçak, G., Mardani, A. & Kara, A. (2024). Effect of nano-TiO₂ size and utilization ratio on the performance of photocatalytic concretes; self-cleaning, fresh, and hardened state properties. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 37109–37124. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33660-9>
- Tan, K. B., Vakili, M., Horri, B. A., Poh, P. E., Abdullah, A. Z., & Salamatinia, B. (2015). Adsorption of dyes by nanomaterials: Recent developments and adsorption mechanisms. *Separation and Purification Technology*, 150, 229–242. doi:10.1016/j.seppur.2015.07.009
- Tang, C., Shu, Y., Zhang, R., Li, X., Song, J., Li, B., Song, J., Li, B., Zhang, Y., & Ou, D. (2017). Comparison of the removal and adsorption mechanisms of cadmium and lead from aqueous solution by activated carbons prepared from *Typha angustifolia* and *Salix matsudana*. *RSC Advances*, 7(26), 16092–16103. <https://doi.org/10.1039/c6ra28035h>
- Vacchi, F. I., Albuquerque, A. F., Vendemiatti, J. A., Morales, D. A., Ormond, A. B., Freeman, H. S., Zocolo, J. G., Zanoni, M. V. B., & Umbuzeiro, G. (2013). Chlorine disinfection of dye wastewater: Implications for a commercial azo dye mixture. *Science of The Total Environment*, 442, 302–309. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.10.0>
- Yasmina, M., Mourad, K., Mohammed, S. H., & Khaoula, C. (2014). Treatment heterogeneous photocatalysis; factors influencing the photocatalytic degradation by TiO₂. *Energy Procedia*, 50, 559–566.
- Yeow, P. K., & Wong, S. W. (2021). Removal of Azo and Anthraquinone Dye by Plant Biomass as Adsorbent – A Review. *Biointerface Research in Applied Chemistry* 11(1):8218–8232. Doi:10.33263/BRIAC111.82188232.
- Yu, H., Dai, W., Qian, G., Gong, X., Zhou, D., Li, X., & Zhou, X. (2020). The NO_x degradation performance of nano-TiO₂ coating for asphalt pavement. *Nanomaterials*, 10(5), 897. <https://doi.org/10.3390/nano10050897>

- Yuranova, T., Sarria, V., Jardim, W., Rengifo, J., Pulgarin, C., Trabesinger, G., & Kiwi, J. (2007). Photocatalytic discoloration of organic compounds on outdoor building cement panels modified by photoactive coatings. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 188(2-3), 334-341.
- Zhang, C., Huang, F., Wang, B., Ganguly, P., Pillai, S. C., Chu, H., Huang, H., Xiong, X., & Wang, D. (2025). Fostering a sustainable future: Unlocking the potential of photocatalytic cement-based materials for water purification. *Separation and Purification Technology*, 353(Part A), 128312. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2024.128312>
- Zhao, J., Wang, B., Zhao, Y., Hou, M., Xin, C., Li, Q., & Yu, X. (2023). High-performance visible-light photocatalysis induced by dye-sensitized Ti^{3+} - TiO_2 microspheres. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 179, 111374. <https://doi.org/10.1016/j.jpcs.2023.111374>
- Zhou, Y., Elchalakani, M., Du, P., & Sun, C. (2021). Cleaning up oil pollution in the ocean with photocatalytic concrete marine structures. *Journal of Cleaner Production*, 329, 129636. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129636>
- Zhou, Y., Elchalakani, M., Liu, H., Briseghella, B., & Sun, C. (2022). Photocatalytic concrete for degrading organic dyes in water. *Environmental Science and Pollution Research*, 29, 39027–39040. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-18332-2>

BÖLÜM 3

Sağlıkta Endüstri Mühendisliği Uygulamaları: Tek Sağlık Kapsamında Antimikrobiyal Direnç ve Tıbbi Atık Yönetimi

Semiha Erkovan¹ & Deniz Türsel Eliyi²
& Murat Oturakçı³

¹ Arş. Gör. , İzmir Bakırçay Üniversitesi, ORCID ID: 0000-0002-1579-657X

² Prof. Dr., İzmir Bakırçay Üniversitesi, ORCID ID: 0000-0001-7693-3980

³ Doç. Dr., İzmir Bakırçay Üniversitesi, ORCID ID: 0000-0001-5946-3964

1. Giriş

Büyük şehirlerin gelişimi, uluslararası seyahatlerin, ticaretin ve kıtalar arası gıda ile hayvan taşımacılığının artmasıyla birlikte, küreselleşme son yıllarda büyük bir ivme kazandı. İnsan nüfusunun artması, toplumun endüstriyel gelişimi ve jeopolitik sorunlar, küresel değişimlerin hızını artırırken biyolojik çeşitlilik üzerinde ciddi tahribat yaratmaktadır (Destoumieux vd. 2018). Küreselleşmenin mevcut dinamikleri, bulaşıcı hastalıkların coğrafi ve politik sınırları aşmasına neden olarak büyük bir küresel tehdit haline gelmesine sebep olmaktadır (Prestinaci vd. 2015).

Sağlık risklerinin küreselleşmesi ve patojenlerin evrimi insan, hayvan ve çevre sağlığı için büyük bir tehdittir. Hastalığa sebep olan virüs ve bakterilerin kontrolsüz biçimde yayılması çeşitli hastalıkların doğmasına yol açmaktadır. Antimikrobiyal direnç (AMD), küresel ölçekte en büyük sağlık tehditlerinden biri olarak öne çıkmakta ve hayvancılık, tarım ve çevre yönetimi gibi birçok alanı doğrudan etkilemektedir (Fouonou vd., 2017). Bu bağlamda Tek Sağlık yaklaşımı, insan, hayvan ve çevre sağlığını birlikte ele alarak bu tehditlerle mücadelede disiplinler arası bir model sunmaktadır (Hristovski vd., 2010).

Bu bağlamda tıbbi atık yönetimi, AMD'nin yayılımını etkileyen kritik bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Tıbbi atıklar, hastane hasta bakımı, teşhis testleri, patolojik analizler ve tıbbi araştırmalar sırasında üretilen katı veya sıvı atıklardır (Mbongwe vd., 2008). Bu atıklar, yalnızca bulaşıcı mikroorganizmalar değil, aynı zamanda toksik kimyasallar ve radyoaktif bileşenler de içerebilir. Uygunsuz atık yönetimi, hijyen eksikliği ve hatalı bertaraf süreçleri, dirençli bakterilerin çevreye yayılmasına neden olarak halk sağlığı üzerinde uzun vadede olumsuz etkiler yaratmaktadır (Cruvinel vd., 2019).

Bu çalışma, Endüstri Mühendisliği perspektifinden tek sağlık kapsamında tıbbi atık yönetimi ve AMD arasındaki ilişkiyi ele alarak, risk değerlendirme, lojistik yönetimi ve sistem dinamiği gibi mühendislik yaklaşımlarının bu alandaki rolünü incelemeyi amaçlamaktadır. Belirtilen yöntemler, bu alanda oluşacak problemlere analitik bir bakış sunarak tıbbi atıkların daha güvenli ve sürdürülebilir bir şekilde yönetilmesine katkıda bulunabilir. Böylece, AMD'nin yayılımını önlemeye yönelik bütüncül ve mühendislik odaklı yaklaşımlar geliştirilerek, sağlık sistemlerinin etkinliği artırılabilir.

2. Antimikrobiyal Direnç Nedir?

Bakteri, virüs ve mantar gibi mikroorganizmalar, ekosistemin farklı bileşenlerinde ve insan vücudu da dahil olmak üzere çeşitli ortamlarda yaşayarak

çoğalabilmektedir. Toprak, su, hava ve hayvanlar gibi doğal rezervuarlarda bulunabilen bu mikroorganizmalar, çevresel koşullara uyum sağlama yeteneğine sahiptir. Bakteriler, canlılara hava, su, gıda veya canlı vektörler yoluyla bulaşır ve uygun koşullarda hızla çoğalarak insan ve hayvanlarda enfeksiyonlara neden olabilir (Doron ve Gorbach, 2008). Bu tür enfeksiyonların önlenmesi ve tedavisinde kullanılan ilaçlar ise antimikrobiyaller olarak adlandırılır. Antibiyotikler, bulaşıcı hastalıkları tedavi etmenin yanı sıra kanser tedavisi, organ nakli ve açık kalp ameliyatı gibi birçok modern tıbbi prosedürü mümkün kılmaktadır (Hutchings vd., 2019). 1928 yılında Alexander Fleming tarafından keşfedilen penisilin, antibiyotik çağının başlangıcını simgelemektedir (Fleming, 1929).

AMD; bakteri, virüs ve diğer mikroorganizmaların çeşitli sebeplerle ilaçlara karşı duyarsız hale gelmesi ve kolaylıkla yayılabilmesi ile oluşan bir fenomendir (Fouonou vd., 2017). Bakterilerde meydana gelen genetik değişiklikler nedeniyle enfeksiyonları tedavi etmek için kullanılan ilaçların etkisini kaybetmesi ile AMD, 21. yüzyılın en önemli halk sağlığı tehditlerinden biri haline gelmiştir (Murray vd., 2022).

AMD yalnızca sağlık alanında değil, aynı zamanda küresel ekonomi üzerinde de ciddi etkiler yaratmaktadır. 2050 yılına kadar, dirençli patojenlerin neden olduğu enfeksiyonların dünya genelinde yıllık 10 milyon ölüme ve 100 trilyon dolara ulaşan ekonomik kayıplara yol açacağı öngörülmektedir (O'Neill, 2016).

AMD'nin ortaya çıkışı ve yayılması sadece biyolojik mekanizmaların bir sonucu değildir; aynı zamanda politikalar, ekonomi, sosyokültürel inançlar ve davranışlar da dahil olmak üzere bir dizi başka faktörü de içerir (Hernando et al. 2019). Örneğin, hayvan ve bitki popülasyonlarında dirençli patojenlerin yayılması, gıda üretimini tehdit ederken, çiftçilerin ve hayvancılıkla uğraşan sektörlerin ekonomik kayıplarını artırmaktadır. AMD'nin yaygınlaşması hem sağlık sistemlerinde hem de tarım ve hayvancılık gibi kritik sektörlerde ekonomik sürdürülebilirliği tehlikeye atarak küresel ölçekte ekonomik bir yük oluşturmaktadır.

1.1. AMD Yayılım Nedenleri

Dirençli bakterilerin yayılımı; antibiyotiklerin gereksiz yere reçete edilmesi ve antibiyotiklerin aşırı kullanımı ile küresel seyahat ve ticaret dahil olmak üzere çeşitli faktörler tarafından kolaylaştırılmaktadır (Marston vd., 2016). 1950'lerden itibaren, ilaç şirketleri dirençli bakterilere karşı yeni antibiyotikler geliştirme

alışmalarına yönelmiş ve başlangıçta bu strateji hem tıbbi hem de ekonomik açıdan büyük fayda sağlamıştır.

İlk antibiyotikler çok çeşitli zararlı bakterilere karşı oldukça etkiliydi. Ancak, erken dönem antibiyotikler geniş spektrumlu bir etki gösterirken, sonradan geliştirilen antibiyotikler genellikle daha dar bir etki alanına sahip olmuştur. Bu durum, ilaç başına satışların azalmasına ve dolayısıyla krliliğin düşmesine yol açmıştır. Yeni tür antibiyotik üretiminin finansal açıdan cazip olmaktan çıkmasıyla birlikte, ilaç şirketleri bu alana yatırım yapma konusunda ekonomik kaygılar yaşamıştır. Bu durum, yeni antibiyotiklerin geliştirilmesini yavaşlatırken, AMD yayılımını hızlandıran bir etkiye sahip olmuştur.

Antibiyotiklerin kullanımı insanlarla sınırlı değildir; çeşitli nedenlerle hayvanlarda, bitkilerde ve gıda işleme teknolojisinde de kullanılırlar (Dadgostar, 2019). Bu, farklı ortamlarda direnç geliştirme potansiyeli yaratmanın yanı sıra türler arasında dirençli mikroorganizmaların yayılmasını da artırır. Bakteriler ve genleri insanlar, hayvanlar ve evre içinde ve arasında nispeten kolay hareket eder (McEwen vd., 2018).

Bakterilerin transferi, insan ve hayvanlar arasındaki doğrudan etkileşim yoluyla gerçekleşebileceği gibi, besin zinciri, atıklar ve çevresel faktörler aracılığıyla da yayılabilir. İnsanlar arasında temas yoluyla, hayvanlardan insanlara gıda veya doğrudan temasla, insan ve hayvan kaynaklı atıkların çevreye karışmasıyla ya da su ve toprak mahsulleri gibi çevresel yollarla bulaşma meydana gelebilir (Woolhouse ve Ward, 2013). Her türlü bakterinin transferi ekoloğik türler arasında kapalı bir döngü olarak ifade edilebilir.

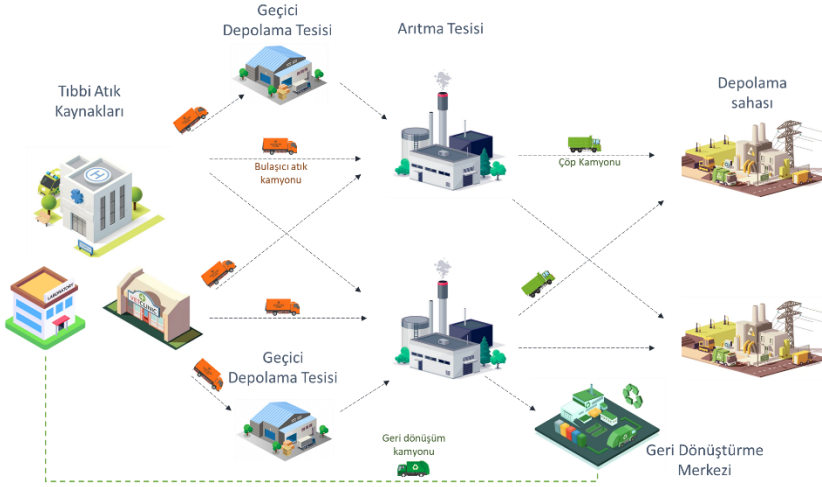
Özetlemek gerekirse AMD yayılmasını tetikleyen en önemli faktörler; gereksiz antibiyotik kullanımı, hastaların tedaviyi yarıda bırakması, tarım ve hayvancılıkta antibiyotiklerin bilinçsizce kullanımı, sağlık kuruluşlarında yetersiz enfeksiyon kontrolü, hijyen eksikliği ve yeni antibiyotiklerin geliştirilmemesidir. Bu unsurlar bir araya geldiğinde, tedavi seçeneklerini kısıtlayan ciddi bir direnç sorunu ortaya çıkmaktadır.

3. Tıbbi Atık Yönetimi

Dünya Sağlık rgt (DSÖ), tıbbi atıkları; hastanelerde hasta bakımı, klinik teşhis, patoloğik testler ve tıbbi araştırmalar sırasında ortaya çıkan katı veya sıvı atıklar olarak tanımlamaktadır. Sağlık hizmetlerinden kaynaklanan atıklar, bulaşıcı maddeler içermesinin yanı sıra, toksik kimyasallar, ağır metaller ve

genotoksik ya da radyoaktif özelliklere sahip diğer zararlı bileşenleri de barındırabilir (Mbongwe vd., 2008).

Tıbbi atık yönetimi, atığın üretildiği sağlık tesisinden başlayarak tamamen bertaraf edilmesine kadar geçen tüm operasyonları kapsayan bir süreçtir (Windfeld ve Brooks, 2015). Tıbbi Atık yönetimi tedarik zinciri temsili şeması Şekil 1’de gösterilmiştir. Tıbbi atık yönetiminin temel operasyonlarından biri atık toplama sürecidir. İlk olarak, atıklar çeşitli sağlık kuruluşlarından toplanarak önce geçici depolama tesislerine ve buradan uygun işleme için arıtma tesislerine yönlendirilir. Şartlara göre atıklar doğrudan da arıtma tesislerine gönderilebilirler. Sağlık kuruluşlarından toplanan atıklar eğitimli personel ve sürece uygun özel araçlarla taşınmalıdır çünkü atıklar yüksek derecede toksik madde içermeye riski barındırmaktadır.



Şekil 1. Tıbbi Atık Yönetimi Tedarik Zinciri

Arıtma tesislerinde, atıklar çevreye zarar vermeyecek şekilde işlenir. Tıbbi atıkların bertarafında geri dönüşüm, yakma ve sterilizasyon gibi yöntemler uygulanmaktadır. Sterilizasyon işlemine maruz kalıp geri dönüştürülmeye uygun malzemeler ayrıştırılarak geri dönüşüm tesislerine iletilir ve sisteme geri kazandırılır. Geri dönüştürülemeyecek olan atıklar ise katı atık depolama sahalarına gönderilirler.

Geri dönüşüm süreci, atık miktarını azaltarak çöplüklere ve sterilizasyon tesislerine daha az atık gönderilmesini sağlar. Bu da hem çevresel etkileri en aza indirmeye hem de sürdürülebilir atık yönetimi stratejilerinin geliştirilmesine katkıda bulunur.

Tıbbi atıkların yakılması ve sterilizasyonu sırasında uygun olmayan arıtma ve filtreleme uygulamaları, AMD'nin yayılmasını kolaylaştırabilir (Padmanabhan ve Barik, 2019). DSÖ tıbbi atıkların yakılmasıyla ilgili potansiyel risklere dikkat çekerek, yetersiz yakma işlemlerinin veya uygun olmayan malzemelerin kullanılmasıyla ortaya çıkan kirleticilerin havaya salınabileceğini ve kül kalıntılarının oluşabileceğini vurgulamaktadır. Bu durum, yalnızca atık yönetimi açısından değil, çevresel sürdürülebilirlik ve halk sağlığı açısından da önemli bir tehdit oluşturmaktadır.

4. Tek Sağlık Perspektifinde Antimikrobiyal Direnç

Dünya genelindeki türlerin sağlığı, birbirine bağlı bir ağın parçaları gibi ilişkilidir. Tek Sağlık, insan, hayvan ve ekosistem sağlığını iyileştirmek için ulusal ve küresel düzeyde farklı bilimsel disiplinlerin iş birliği ile ifade edilebilen bir kavramdır (Hristovski vd. 201). Bu yaklaşım; tıp, veterinerlik, çevre bilimi, biyoloji ve epidemiyoloji gibi disiplinleri ortak bir çerçevede birleştirir. İş birliği sayesinde çeşitli yaşam formlarında ortaya çıkan hastalıklara karşı daha etkili tespit ve önleme stratejilerinin geliştirilmesini kolaylaştırır.

Hastalıkların ortaya çıkışı ve yayılımı, birçok sosyal, politik ve ekonomik faktörle doğrudan ilişkilidir. Küreselleşmenin bir sonucu olarak, hastalıklar yalnızca insanlar arasında değil, aynı zamanda farklı türler ve ekosistemler arasında da çeşitli yollarla bulaşabilmektedir (Holmes vd., 2016). Bu süreç, yalnızca halk sağlığını değil, aynı zamanda hayvan sağlığı ve çevresel dengeyi de tehdit eden çok boyutlu bir soruna dönüşmektedir.

İnsan, hayvan, bitki ve ekosistem sağlığı ile biyoçeşitlilik, Tek Sağlık konsepti kapsamında birbirine bağımlı ve ayrılmaz bileşenler olarak ele alınmaktadır (Destoumieux vd., 2018). Bu bağlamda, sistemin herhangi bir bileşeninde meydana gelen olumsuz bir gelişme, diğer bileşenleri doğrudan veya dolaylı olarak etkileyerek sağlık sisteminin bütüncül işleyişini bozabilmektedir. Dolayısıyla, sağlık kavramı yalnızca insan merkezli bir çerçevede ele alınmamalı, ekosistem içindeki tüm canlıları ve çevresel faktörleri kapsayan bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilmelidir.

Tek sağlık perspektifinde AMD incelendiğinde altı temel bileşen tespit edilmiştir. Bunlar; insan, hayvan, bitki, toprak, su ve hava. AMD yayılımı bu bileşenlerinden birinden başlayarak döngüsel ve karşılıklı olarak ilerlemektedir. Antibiyotiklerin çeşitli sebeplerle insanlar ve hayvanlar tarafından tüketilir. Bakteriler, girdiği organizma içerisinde evrimleşerek antibiyotiklere dirençli hale gelir (Holmes vd., 2016). Ardından bu dirençli mikroorganizmalar et, süt ve

yumurta gibi hayvansal ürünlerin tüketilmesiyle insanlara veya gübre gibi hayvan atıkları aracılığıyla toprağa geçer (Claycamp ve Hooberman 2004). Toprakta bitkilere, bitkilerden besin yoluyla tekrar insan ve hayvanlara yayılabilir. Toprak aracılığı ile yer altı sularına karışarak su sistemine de yayılabilmektedir.

Yetersiz tıbbi atık yönetimi ve hijyen eksikliği, sağlık tesislerinde ekipmanların dikkatsiz kullanımı veya kazara yaralanmalar gibi bireysel risk faktörleri toplum sağlığını doğrudan etkileyebilmektedir (Cruvinel vd., 2019). Bununla birlikte, uygunsuz atık depolama, taşıma ve bertaraf prosedürleri, mikrobiyal kirleticilerin yayılması için potansiyel yollar oluşturur. Sağlık tesislerinde atıklarla doğrudan temas halinde olan personel ile atıkların taşınması ve bertarafında görevli çalışanlar, dirençli bakterilere maruz kalma riski taşımaktadır. Ayrıca, atık bertarafı sırasında oluşabilecek sızıntılar, dirençli patojenlerin suya ve toprağa karışmasına neden olarak ekosistemde daha geniş bir yayılım sürecini tetikleyebilir (Ahmad vd., 2021). Dolayısıyla, tıbbi atık yönetiminin etkin bir şekilde uygulanması, AMD'nin yayılmasını önlemek ve ekosistem sağlığını korumak adına kritik bir gereklilik olduğu söylenebilir.

5. Endüstri Mühendisliği Uygulamaları

Tek Sağlık perspektifinde entegre tıbbi atık yönetimi ve AMD kavramları, sağlık, çevre ve mühendislik disiplinlerini bir araya getiren çok boyutlu ve disiplinler arası bir problem alanı olarak düşünülebilir. Endüstri mühendisliği, sistemlerin verimliliğini artırmayı, süreçleri optimize etmeyi ve analitik yaklaşımlar geliştirerek çözümler sunmayı amaçlayan bir disiplindir. Bu bağlamda, ele alınan konu kapsamında karmaşık ve dinamik süreçlerin modellenmesi, lojistik optimizasyonu, risk analizi ve karar destek sistemleri gibi çalışma alanları ön plana çıkmaktadır. Bu yöntemler, entegre tıbbi atık yönetimi ve AMD ile mücadelede ihtiyaç duyulan analitik çözümleri sunarak daha verimli sistemlerin tasarlanmasına katkı sağlayabilir.

1.2. Tedarik Zinciri Yönetimi

Tıbbi atık yönetimin bir sağlık tedarik zinciri olduğundan bahsedilmişti. Bu bağlamda bir tedarik zincirinde karşılaşılabilecek her problem bir endüstri mühendisi bakış açısıyla modellenip çözüm önerileri geliştirilebilir. Tedarik zinciri yönetimi kapsamında incelenebilecek problemler Şekil 2'de şemada sunulmuştur.



Şekil 2. Tedarik Zinciri Yönetimi

Tedarik zinciri yönetimi bağlamında tıbbi atık yönetimi incelendiğinde, ağ tasarımı, kapasite planlama ve lojistik süreçleri kritik bileşenler olarak öne çıkmaktadır. Bir tedarik zinciri ağı tasarlarırken verilen kritik kararlardan biri ilgili tesislerin kurulum konumlarının belirlenmesidir. Örneğin bir atık tesisi yeri seçiminde çevresel ve ekonomik koşullar başta olmak üzere pek çok kriter devreye girmektedir. Kriterlere göre en uygun konumun belirlenmesinde analitik çözüm yöntemlerinden çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri etkili sonuçlar üretmektedir. ÇKKV, karar vericilerin bir dizi alternatif arasından seçim yaparken, her alternatifin belirli kriterlere göre değerlendirilmesini ve bu değerlendirmelere dayanarak genel faydayı maksimize etmeyi amaçlayan sayısal yöntemler kullanır (Triantaphyllou, 2000). Bu yöntemlerden bazıları Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), Analitik Ağ Süreci (ANP), TOPSIS, VIKOR vb. şeklinde adlandırılmaktadır.

Bir diğer durum, atık tesislerinin veya tıbbi atık sürecinde yer alan diğer tesislerin atık depolama kapasitelerinin planlamasıdır. Kapasite planlama, bertaraf tesislerinin atık işleme kapasitelerinin verimli kullanılması ve aşırı yüklenmenin önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Endüstri mühendisliği bağlamında, makine ve ekipman kullanım hesapları ile atık işleme sürelerinin optimize edilmesi, talep tahminleri ile dalgalanmalara karşı önlem planları oluşturulması, atık türlerine göre depolama alanlarının etkin kullanımı süreçlerin sürekli izlenmesi ve performans değerlendirmeleri yapılarak kapasite kullanımının maksimum seviyeye çıkarılması sağlanabilir. Kapasite planlama probleminde, doğrusal programlama ve simülasyon modelleri gibi yöntemler kullanılarak, tesislerin kapasite kullanım oranları optimize edilebilir.

Doğrusal programlama, gerçek dünya problemlerini matematiksel modellerle formüle etmeye, bu modelleri çözmek için algoritmalar kullanmaya ve

algoritmaların adımlarını yazılımlar aracılığıyla uygulamaya dayanır (Dantzig, 2002). Simülasyon ise genellikle uygun yazılıma sahip bir bilgisayarda gerçek sistemlerin davranışını taklit etmek için kullanılan geniş bir yöntem ve uygulama koleksiyonunu ifade eder (Kelton vd., 2002). Simülasyon modelleri, karar alma süreçlerinde, karmaşık sistemlerin eğitiminde, risk analizinde, sistem optimizasyonunda ve performans değerlendirmesinde kullanılabilir. Örneğin, Stokastik Simülasyon Modeli (Law, 2000) ile kapasite kullanım oranlarındaki belirsizlikleri dikkate alarak, farklı senaryoların performansını değerlendirilebilir. Ayrıca, kuyruk teorisi yöntemleri (Newell, 2013), atık işleme süreçlerinde zaman dilimlerine göre yoğunluğu ve bekleme sürelerini optimize etmek için kullanılabilir. Bu yöntemler, özellikle sınırlı kaynaklar ve yüksek talepler altında sistemin verimli çalışmasını sağlar.

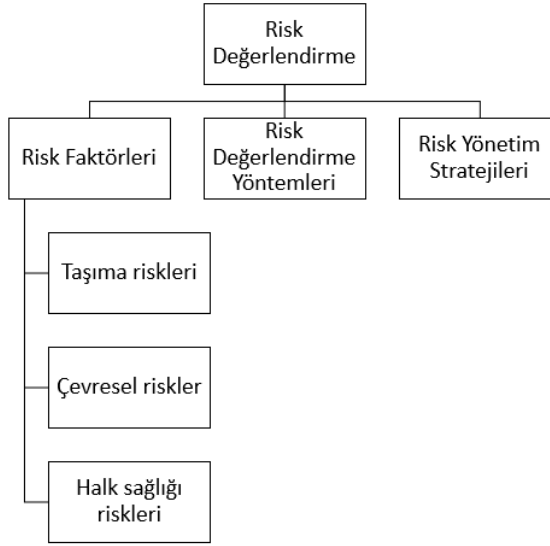
Lojistik süreçler, tıbbi atıkların etkin şekilde yönetilmesi için zaman ve maliyet açısından önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle taşıma ve aktarma süreçleri, artan sağlık kuruluşu sayısı ve buna bağlı artan atık miktarları ile sebebiyle karmaşık bir sorun haline gelmiştir. Atıkların sağlık kuruluşlarından toplanıp ayrıştırılması, geri dönüşüm tesislerine, ara depolara veya direkt bertaraf tesislerine gönderilmesi çeşitli stratejik kararları içermektedir ve etkin bir yönetim mekanizması gerektirmektedir. Bununla birlikte tersine lojistik, geri dönüşüm veya sterilizasyon süreçlerini içeren sürdürülebilir bir yaklaşım ile atıklar sebebiyle oluşacak çevresel zararları minimize etmeyi amaçlamaktadır.

Tıbbi atıkların toplanıp bertaraf tesislerine taşınması sağlık kuruluşlarının konumları, araç miktarı, kapasiteler gibi pek çok parametreye bağlı olan geniş bir taşıma problemini içermektedir. Bu bağlamda, araç rotalama (Toth ve Vigo, 2002), çizelgeleme ve atama algoritmaları, atık taşıma sürecinin zaman ve maliyet açısından optimize edilmesine olanak tanır. Örneğin, Zaman Pencereli Araç Rotalama Problemi (Tan vd., 2001), her sağlık kuruluşunun belirli bir zaman diliminde hizmet alması gerektiği durumlarda uygulanabilir, bu da teslimat sürelerinin kısıtlanması ve yönetilmesi açısından önemlidir.

Yukarıda bahsedilen optimizasyon problemlerinin çözüm yöntemleri arasında, doğrusal programlama gibi kesin çözüme ulaşmayı sağlayan yöntemlerin yanı sıra, Genetik Algoritma (Holland, 1992), Karınca Kolonisi Optimizasyonu (Dorigo ve Di Caro, 1999) ve Tavlama Benzetimi (Van Laarhoven, 1987) gibi evrimsel algoritmalar da yer almaktadır. Bu algoritmalar, büyük ölçekli taşıma problemlerinde süreçleri zaman ve maliyet açısından optimize ederek, sağlık kuruluşlarından bertaraf tesislerine yapılan atık taşıma işlemlerinin verimliliğini artırmaktadır.

1.3. Risk Değerlendirme

Tıbbi atıkların taşınması sürecinde, her bir ağ noktasında AMD açısından çeşitli riskler ortaya çıkmakta ve bu risklerin, ağ tasarım sürecinde dikkate alınması gerekmektedir. Risk değerlendirmesi, belirli bir zaman dilimi içinde bir olayın gerçekleşme olasılığını ve olumsuz etkilerinin (ekonomik, sağlık/güvenlik veya ekolojik) muhtemel büyüklüğünü tahmin etme sürecidir (Gerba, 2019). Bu bağlamda, risk değerlendirme kapsamında ele alınması gereken temel problemler, Şekil 3'te detaylandırılmıştır.



Şekil 3. Tıbbi Atık Yönetimi Kapsamında AMD Risk Değerlendirme

Tıbbi atık yönetimi, taşıma, çevresel ve halk sağlığı riskleri açısından AMD'nin yayılımını artırabilecek kritik unsurlar içermektedir. Yanlış taşıma prosedürleri, AMD'nin kontrolsüz yayılmasına neden olabilirken, uygun olmayan bertaraf yöntemleri, su, toprak ve hava yoluyla çevresel bulaşı artırmaktadır. Bunun yanı sıra, atıklarla temas eden sağlık çalışanları ve atık bertaraf personeli için doğrudan bulaş riski söz konusudur. Bu risklerin etkilerinin belirlenebilmesi ve çözüm yolları geliştirilebilmesi için detaylıca analiz edilmesi gerekmektedir.

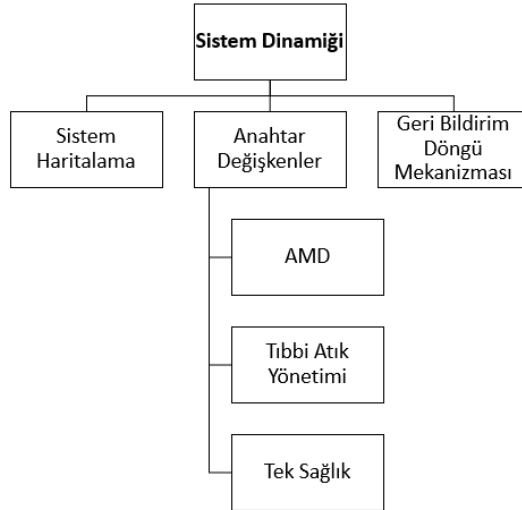
Tıbbi atık yönetiminde ortaya çıkabilecek riskleri belirlemek ve etkilerini minimize etmek amacıyla çeşitli kantitatif ve kalitatif yöntemler bulunmaktadır. Kalitatif yöntemler (örneğin, Risk Matrisleri, Hata Ağacı Analizi, Delphi Yöntemi) daha çok uzman görüşlerine ve subjektif değerlendirmelere dayanarak

risklerin önceliklendirilmesini sağlarken, kantitatif yöntemler (örneğin, Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA), Olasılık ve Etki Matrisi, Monte Carlo Simülasyonu) sayısal verilerle analiz yaparak risklerin olasılık ve etkilerini ölçmeye odaklanmaktadır. Tıbbi atık yönetiminde etkili bir risk değerlendirmesi yapabilmek için, kalitatif yaklaşımlar risklerin genel çerçevesini çizerken, kantitatif yöntemler daha kesin ve ölçülebilir sonuçlar sunarak karar alma süreçlerini desteklemektedir.

1.4. Sistem Dinamiği

Sistem dinamiği, karmaşık sistemlerin zaman içindeki davranışlarını analiz etmek, değişkenler arasındaki ilişkileri modellemek amacıyla kullanılan bir yaklaşımdır (Bala vd., 2017). Sisteme bütüncül olarak bakabilmek ve sistemdeki değişkenleri tanımlayarak aralarındaki ilişkileri saptayabilmek amacıyla sistem dinamiği yaklaşımı kullanılabilir. Sistem dinamiği geri bildirim mekanizması zaman içinde sistemin davranışlarını ve dinamiklerini etkileyebilecek geri bildirim sinyallerinin iletimini içeren süreçleri ifade etmektedir.

Tıbbi atık yönetimi ve AMD gibi çok disiplinli konular, birçok değişkenin birbirini etkilediği dinamik yapılar içerdiğinden, sistem dinamiği yöntemi bu süreçleri anlamak ve sistem bileşenleri arasındaki etkileşimleri analiz etmek için bir araçtır. Tek sağlık perspektifinde entegre tıbbi atık yönetimi ve AMD konseptinin sistem dinamiği açısından ele alınması Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Tıbbi Atık Yönetimi ve AMD için Sistem Dinamiği Yaklaşımı

Sistem haritalama, tıbbi atıkların bertaraf süreçleri, AMD'nin yayılımı ve Tek Sağlık konsepti arasındaki bağlantıları görselleştirmeye yardımcı olur. Anahtar değişkenler, AMD, tıbbi atık yönetimi ve Tek Sağlık perspektifinde süreçleri etkileyen temel faktörleri belirleyerek, karar destek sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlar. Geri bildirim döngü mekanizmaları ise, sistemin içsel etkileşimlerini ve gecikmelerini analiz ederek, yanlış atık yönetimi uygulamalarının AMD üzerindeki uzun vadeli etkilerini değerlendirmeye olanak tanır.

Endüstri mühendisliği bakış açısıyla, sistem dinamiği yöntemleri kullanılarak atık yönetimi süreçlerinin simülasyonu, kaynak tahsisi optimizasyonu ve politikaların uzun vadeli etkilerinin değerlendirilmesi gibi çalışmalar gerçekleştirilebilir. Böylece, sistem içindeki geri bildirim döngüleri analiz edilerek AMD'nin yayılımını kontrol altına alacak stratejiler geliştirilebilir ve sürdürülebilir tıbbi atık yönetimi politikaları oluşturulabilir.

6. Sonuç

Bu çalışmada, tek sağlık kapsamında tıbbi atık yönetimi ve AMD arasındaki ilişkiyi inceleyerek, endüstri mühendisliği yaklaşımlarının bu alana sunacağı potansiyel katkıları incelenmiştir. AMD'nin yayılımını önlemek adına, atık yönetimi süreçlerinde optimizasyon, lojistik planlama ve risk analizi gibi mühendislik tekniklerinin kullanım alanları ve etkileri sunulmuştur.

Tıbbi atık yönetiminin AMD yayılımına etkileri göz önüne alındığında tedarik zinciri yönetimi ve tesis yerleşim kararları dirençli bakteriler içeren ve potansiyel tehlike barındıran atıkların yönetiminin daha güvenli ve sürdürülebilir hale getirilmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca, tek sağlık çerçevesinde insan, hayvan ve çevresel etkilerin sistem dinamiği ile modellenmesi, AMD'nin yayılmasını tetikleyen etkenlerin tespiti ve bu bağlamda oluşacak risklerin bütüncül açıdan değerlendirilmesine katkı sunmaktadır.

Gelecekte yapılacak araştırmalar, yükselen bir araştırma ve uygulama alanı olan yapay zeka yöntemleri ve veri analitiği tabanlı tahminleme modelleri ile tıbbi atık akışlarının izlenmesine ve AMD yayılım risklerinin belirlenmesine odaklanabilir. Bu sayede tıbbi atık süreçlerinin optimize edilmesi sağlanarak çevresel etkiler ve halk sağlığı risklerinin azaltılmasına yönelik aksiyon planları oluşturulabilir.

Sonuç olarak, tıbbi atık yönetimi süreçlerinin iyileştirilmesi ve AMD ile mücadelede etkili bir yaklaşım sunmak için disiplinler arası iş birliği ve mühendislik tabanlı analizlerin uyarlanması büyük önem taşıdığı söylenebilir.

Sağlık sistemlerine endüstri mühendisliği perspektifinde optimizasyon yöntemlerinin entegre edilmesi ve karar destek sistemlerinin uygulanması, tıbbi atıkların daha verimli ve çevre dostu bir şekilde yönetilmesini sağlayacaktır.

Teşekkür

Bu çalışma, İzmir Bakırçay Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Projesi kapsamında BBAP.2024.002 no'lu proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKÇA

- Ahmad, I., Malak, H. A., & Abulreesh, H. H. (2021). Environmental antimicrobial resistance and its drivers: a potential threat to public health. *Journal of Global Antimicrobial Resistance*, 27, 101-111.
- Bala, B. K., Arshad, F. M., & Noh, K. M. (2017). System dynamics. *Modelling and Simulation*, 274.
- Claycamp, H. G., & Hooberman, B. H. (2004). Antimicrobial resistance risk assessment in food safety. *Journal of food protection*, 67(9), 2063-2071.
- Cruvinel, V. R. N., Marques, C. P., Cardoso, V., Novaes, M. R. C. G., Araújo, W. N., Angulo-Tuesta, A., ... & Da Silva, E. N. (2019). Health conditions and occupational risks in a novel group: waste pickers in the largest open garbage dump in Latin America. *BMC public health*, 19, 1-15.
- Dantzig, G. B. (2002). Linear programming. *Operations research*, 50(1), 42-47.
- Dadgostar, P. (2019). Antimicrobial resistance: implications and costs. *Infection and drug resistance*, 3903-3910.
- Doron, S., & Gorbach, S. L. (2008). Bacterial infections: overview. *International Encyclopedia of Public Health*, 273.
- Dorigo M. and Di Caro G. (1999) The Ant Colony Optimization meta-heuristic, New Ideas in Optimization, D. Corne et al., Eds., McGraw Hill, London, UK, pp. 11–32,
- Destoumieux-Garzón, D., Mavingui, P., Boetsch, G., Boissier, J., Darriet, F., Duboz, P., ... & Voituron, Y. (2018). The one health concept: 10 years old and a long road ahead. *Frontiers in veterinary science*, 5, 14.
- Fleming A: On the antibacterial action of cultures of a penicillium, with special reference to their use in the isolation of B. influenzae. *Br J Exp Pathol* 1929, 10:226-236.
- Founou, R. C., Founou, L. L., & Essack, S. Y. (2017). Clinical and economic impact of antibiotic resistance in developing countries: A systematic review and meta-analysis. *PloS one*, 12(12), e0189621.
- Gerba, C. P. (2019). Risk assessment. In *Environmental and pollution science* (pp. 541-563). Academic Press.
- Hutchings, M. I., Truman, A. W., & Wilkinson, B. (2019). Antibiotics: past, present and future. *Current opinion in microbiology*, 51, 72-80.
- Hernando-Amado, S., Coque, T. M., Baquero, F., & Martínez, J. L. (2019). Defining and combating antibiotic resistance from One Health and Global Health perspectives. *Nature microbiology*, 4(9), 1432-1442.
- Holmes, A. H., Moore, L. S., Sundsfjord, A., Steinbakk, M., Regmi, S., Karkey, A., ... & Piddock, L. J. (2016). Understanding the mechanisms and drivers of antimicrobial resistance. *The Lancet*, 387(10014), 176-187.
- Holland, J. H. (1992). Genetic algorithms. *Scientific american*, 267(1), 66-73.

- Hristovski, M., Cvetkovik, A., Cvetkovik, I., & Dukoska, V. (2010). Concept of one health-a new professional imperative.
- Kelton, W. D., Sadowski, R. P., & Sadowski, D. A. (2002). *Simulation with ARENA*. McGraw-Hill, Inc
- Law, A. M. (2000) *Simulation Modeling and Analysis*. McGraw-Hill, Inc
- Marston, H. D., Dixon, D. M., Knisely, J. M., Palmore, T. N., & Fauci, A. S. (2016). Antimicrobial resistance. *Jama*, 316(11), 1193-1204.
- Mbongwe, B., Mmereki, B. T., & Magashula, A. (2008). Healthcare waste management: current practices in selected healthcare facilities, Botswana. *Waste management*, 28(1), 226-233.
- McEwen, S. A., & Collignon, P. J. (2018). Antimicrobial resistance: a one health perspective. *Antimicrobial resistance in bacteria from livestock and companion animals*, 521-547.
- Murray, C. J., Ikuta, K. S., Sharara, F., Swetschinski, L., Aguilar, G. R., Gray, A., ... & Tasak, N. (2022). Global burden of bacterial antimicrobial resistance in 2019: a systematic analysis. *The lancet*, 399(10325), 629-655.
- Newell, C. (2013). *Applications of queueing theory* (Vol. 4). Springer Science & Business Media.
- O'Neill, J. (2016). Tackling drug-resistant infections globally: final report and recommendations.
- Padmanabhan, K. & Barik, D. (2019). Health hazards of medical waste and its disposal. In *Energy from toxic organic waste for heat and power generation* (pp. 99-118). Woodhead Publishing.
- Prestinaci, F., Pezzotti, P., & Pantosti, A. (2015). Antimicrobial resistance: a global multifaceted phenomenon. *Pathogens and global health*, 109(7), 309-318.
- Tan, K. C., Lee, L. H., Zhu, Q. L., & Ou, K. (2001). Heuristic methods for vehicle routing problem with time windows. *Artificial intelligence in Engineering*, 15(3), 281-295.
- Toth, P., & Vigo, D. (Eds.). (2002). *The vehicle routing problem*. Society for Industrial and Applied Mathematics.
- Triantaphyllou, E., (2000). *Multi-criteria decision making methods* (pp. 5-21). Springer Us.
- Van Laarhoven, P. J., Aarts, E. H., van Laarhoven, P. J., & Aarts, E. H. (1987). *Simulated annealing* (pp. 7-15). Springer Netherlands.
- Windfeld, E. S., & Brooks, M. S. L. (2015). Medical waste management—A review. *Journal of environmental management*, 163, 98-108.
- Woolhouse, M. E., & Ward, M. J. (2013). *Sources of antimicrobial resistance*. *Science*, 341(6153), 1460-1461.

BÖLÜM 4

Plastik Gerinim Oranının Metalik Saclarda ISO 10113 Standardına Göre Belirlenmesinin İncelenmesi

Bülent Aydemir ¹

¹ Prof. Dr., Düzce Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Mekatronik Müh. Böl., DÜBİT Laboratuvarı, 81620, Düzce, ORCID: 0000-0001-6848-2681

1. GİRİŞ

Plastik gerinim oranı diğer bir ifade ile r -değeri, bir malzemenin deformasyon davranışını anlamak için kritik bir parametredir. Bu değer, malzemenin plastik deformasyonunun ne kadarının kalıcı hale geldiğini gösterir ve malzemenin mekanik özelliklerini değerlendirilmesinde önemli bir rol oynar.

Çekme deneyi bilindiği gibi malzemelerin kuvvete karşılık deformasyon oranlarına bağlı değerlerin bunabildiği ve sonuç olarak malzemelerin mekanik özelliklerini belirlendiği bir deneylerdendir. Çekme deneyi sonrasında malzemenin akma gerilmesi, çekme gerilmesi, kopma gerilmesi, akma uzaması, çekme uzaması, kopma uzaması, elastiklik modülü, yüzde uzama, yüzde kesit daralması, rezilyans, tokluk, pekleşme üssü n -değeri ve plastik gerinim oranı r -değeri belirlenebilir.

Plastik gerinim oranı, r değeri, bir malzemenin çekme testleri sırasında uygulanan gerilme altında oluşan plastik deformasyonun, ilk ölçü boyu uzunluğuna oranını ifade eder. Bu oran, malzemenin şekil değiştirme yeteneğini ve sünekliliğini gösterir. Bir metal sac malzemenin çekme testinde enine ve boyuna değişimlerin bir ölçümüdür. Test numunesine çekme veya basma kuvveti uygulandığında malzemenin incelmeye veya kalınlaşmaya karşı direncinin göstergesidir. R değerinin belirlenmesi için ISO 10113, ASTM E517 ve JIS Z 2254 uluslararası standartlarda test ve ölçüm yöntemleri tanımlanmıştır [1-3].

R değerini belirlemek için metalik sac deney numunesi ISO 6892-1 standardına göre çekme testi yapılması sırasında eksenel ve enine ekstansometre cihazlarının kullanılması gereklidir [4-5]. Şekil 1 de çekme deneyi esnasında kullanılan eksenel ve enine farklı ekstansometre tipleri gösterilmiştir [6-10]. Gerçek plastik eksenel uzama davranışının homojen olduğu durumlarda gerçek plastik enine daralma değerine karşı tek nokta da hesaplama kullanılabilir. Homojen deformasyon göstermeyen malzemeler için bir regresyon hesaplama yöntemi önerilir ve ISO 10113 standardı, eksenel ölçüm uzunluğu boyunca eşit şekilde dağıtılmış birden fazla konumda enine daralmanın tek bir değerde ortalaması alınarak ölçülmesini önerir. Bazı model video ekstansometreler kullanılarak da bu ölçüm yapılabilir ve ölçüm değerleri malzeme test makinası yazılımı kullanılarak gerçek zamanlı olarak otomatik olarak hesaplanabilir.



ISO 10113, ASTM E517 veya JIS Z 2254 standartlarına göre r değerinin belirlenmesi genellikle çekme gerilimi sertleşme üssü (n -değeri, pekleşme üssü) değeriyle aynı anda ölçümü gerçekleştirilebileceği ifade edilir. N değerinin belirlenmesi ile ilgili standartlar ise ISO 10275, ASTM E646 ve JIS Z 2253 olarak sıralanabilir[11-13]. Metalik sac malzemelerin çekme deneyi sonrasında akma gerilmesi, akma noktası uzaması, çekme gerilmesi, çekme gerilmesi uzaması, r -değeri ve n -değeri gibi parametrelerin hesaplamaları gerekir. Bu hesaplamaların yapılabilmesi için eksenel ve enine değişimi veya gerinimini ölçmek için bilinen temaslı ekstansometrelerden daha fazla özelliğe sahip cihazların olması beklenir. Numuneleri kırılma noktasına kadar ölçüm yapabilmeleri için yeterli hareket mesafesine sahip olmaları gerekir. Bu durum küçük ölçüm uzunlukları ve yüksek doğruluklu ölçümleri sağlamayı zorlaştırır.

Günümüzde teknolojiye gelişmeler ile temaslı ekstansometrelerin yerine video, optik ve lazer ölçüm prensiplerine sahip ekstansometreler giderek yaygınlaşmaktadır. Günümüzde video ekstansometre teknolojisindeki önemli ilerlemeler ile metal malzeme testi yapan müşterilere yeni seçenekler sunulmaktadır. Video ekstansometrelerin eksenel ve enine değişim verilerinin eş zamanlı toplanmasına olanak sağlaması ve numune tutma bıçak kenarlarında aşınma ve yıpranma için gereken bakımı azaltmasının yanı sıra üretkenliği arttırdığı ve testi basitleştirdiği de görülmüştür. Bu sebepten günümüzde r -değeri belirlenmesinde kullanılan gerinim ölçümleri için video ekstansometreler yaygın olarak tercih edilmektedir. Ayrıca, geleneksel ekstansometrelerdeki operatör bağlantı hatasından etkilenmeyen tekrarlanabilir r -değeri sonuçları sağladığından çift eksenli gerinim ölçümü için video ekstansometreler mükemmel çözüm sunabilirler.

Çekme deneyi malzeme şeklinin kalıcı olarak değişimin izlendiği, belirlendiği ve üretim için uygulandığı bir süreçtir. Plastik deformasyon, imalat, metal

şekillendirme, otomotiv endüstrisi, inşaat ve birçok diğer endüstriyel uygulama için temel bir rol oynar. Bu çalışmada, plastik gerinim oranı r-değerinin belirlenmesi üzerine odaklanılmıştır. R-değeri, malzemenin plastik deformasyon davranışını anlamak ve işlenebilirliğini değerlendirmek için önemli bir parametredir. Bu çalışmada, ISO 10113 standardına göre malzemelerin r değerlerinin belirlenmesi ele alınmış ve yöntemler, gereklilikler ve raporda olması gereken bilgilere yer verilmiştir. Ayrıca r-değerinin ölçümü ve sonuçlarda muhtemel etkili parametreler bu çalışmada detaylı olarak incelenmiştir.

2. R-DEĞERİNİN ISO 10113 STANDARDINA GÖRE BELİRLENMESİ

Metalik malzemeler alanında levha ve şerit şekilli numuneler için plastik gerinim oranının belirlenmesi ISO 10113 standardı esas alınarak aşağıda maddeler halinde tanımlanmıştır.

2.1 Tanımlamalar

ISO 10113 standardın 3 bölümünde tanımlamalar verilmiştir. Bu tanımlardan bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Plastik gerinme oranı, r değeri, denklem 1 kullanılarak hesaplanan tek eksenli çekme gerilmesi uygulanması ile bir test parçasındaki gerçek plastik genişlik daralmasının veya geriniminin gerçek plastik kalınlık daralmasına veya gerinimine oranı olarak tanımlanmıştır.

$$r = \frac{\varepsilon_{p-b}}{\varepsilon_{p-a}} = \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_a} \quad (1)$$

Bu formüllerde kullanılan, r plastik gerinim oranı, ε_a veya ε_{p-a} gerçek plastik kalınlık değişimi veya gerinimi, ε_b veya ε_{p-b} gerçek plastik genişlik değişimi veya gerinimidir.

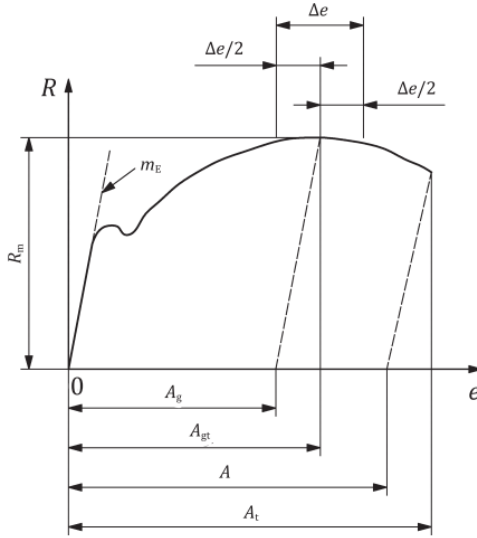
R-değerini hesaplamak için, çekme testinde homojen uzama bölgesinde genişlik ve kalınlıktaki gerçek plastik değişimin ölçülmesi gerekir. Bununla birlikte, kalınlıktaki değişiklik yerine uzunluktaki değişikliği ölçmek çok daha kolay olduğundan, maksimum çekme gerilmesini veya A_g uzama noktasındaki kuvvetine kadar olan alandaki sabit hacim modeline dayanarak da belirlenebilir. A_g uzaması çekme gerilmesindeki elastik+plastik uzama değeri olup Şekil 2 de gösterilmiştir. Deney numunesinin hacmin A_g uzamasındaki kuvvet değerine kadar sabit olduğunu varsayarsak, r-değerini belirlemek için kalınlık değişimini uzunluk değişimiyle hesaplanabilir. Bir numune, A_g uzamasına kadar hacmini korur ve formüsel olarak:

$$V_0 = V_1 \rightarrow L_0 \cdot S_0 = L_1 \cdot S_1 \rightarrow L_0 (a_0 \cdot b_0) = L_1 (a_1 \cdot b_1)$$

şeklinde gösterilir. Bu durumda r değeri formülü denklem 2 de verildiği şekilde ifade edilebilir.

$$r = \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_a} = \frac{\ln(b_0/b_f)}{\ln(L_f b_f / L_0 b_0)} \quad (2)$$

Bu formüllerde kullanılan, b_0 numunenin ilk genişliği, b_f numunenin son genişliği, a_0 numunenin ilk kalınlığı, a_f numunenin son kalınlığı, L_0 numunenin ilk ölçü boyu, L_f numunenin son ölçü boyudur.



Şekil 2. Çekme testi sonrası elde edilen çekme grafiği ve kullanılan sembolleri [4]

Ağırlıklı ortalama plastik gerilim oranı değeri, r_m farklı test parçası yönelimleri için denklem 3 ile hesaplanır.

$$r_m = \frac{r_{0/y} + r_{90/y} + 2r_{45/y}}{4} \quad (3)$$

Düzlemsel anizotropi derecesi, küpelenme eğilimi değeri, delta r veya Δr , ise farklı test parçası yönelimleri için denklem 4 yardımı ile hesaplanır.

$$\Delta r = \frac{r_{0/y} + r_{90/y} - 2r_{45/y}}{2} \quad (4)$$

Bu formüllerde kullanılan, $r_{x/y}$ X yönündeki plastik uzama (gerinim) oranı değerini gösterir.

Küpelenme eğiliminin değerlendirilmesinde ISO 10113 standardında bir bilgi olarak şu ifade edilmiştir. Soğuk çekilmiş ve tavlanmış düşük karbonlu çelik saclarda r_0 ve r_{90} genellikle r_{45} 'ten büyüktür. Sıcak haddelenmiş çeliklerde ise r_{45} daha büyük olabilir. Bu durumda diğer küpelenme eğilimleri de ortaya çıkar; dolayısıyla bazı malzemeler için küpelenme eğilimi $r_{\max} - r_{\min}$ ile daha iyi temsil edilebilir.

2.2. Ölçüm Prensipleri

Plastik gerinim oranı r genellikle malzemelerin karakterizasyonu, nitelendirilmesi ve şekillendirme süreçlerinin sayısal simülasyonu için kullanılır.

Bir malzemenin, plastik gerinim oranını belirlemek için, uygun deney numunesine çekme deneyi yapılır ve plastik gerinim oranı r değeri, kopma sonrası elastik şekil değişimlerinin çıkarılmasından sonra genişlik ve kalınlıktaki değişim ölçümlerinden hesaplanır. Ancak, kalınlıktaki değişimleri ölçmektense boyda meydana gelen değişimleri ölçmek daha kolay ve daha hassastır. Bu nedenle, plastik gerinim oranı r genellikle hacim sabitliği yasası kullanılarak uzunluk ve genişlikteki değişimlerden formüller yardımı ile hesaplanır. Aşağıda formüller ile gösterilmiştir.

$$\varepsilon_{p_a} + \varepsilon_{p_b} + \varepsilon_{p_L} = 0 \quad (5)$$

$$\varepsilon_{p_a} = \ln \frac{a_1}{a_0}, \quad \varepsilon_{p_b} = \ln \frac{b_1}{b_0}, \quad \varepsilon_{p_L} = \ln \frac{L_1}{L_0},$$

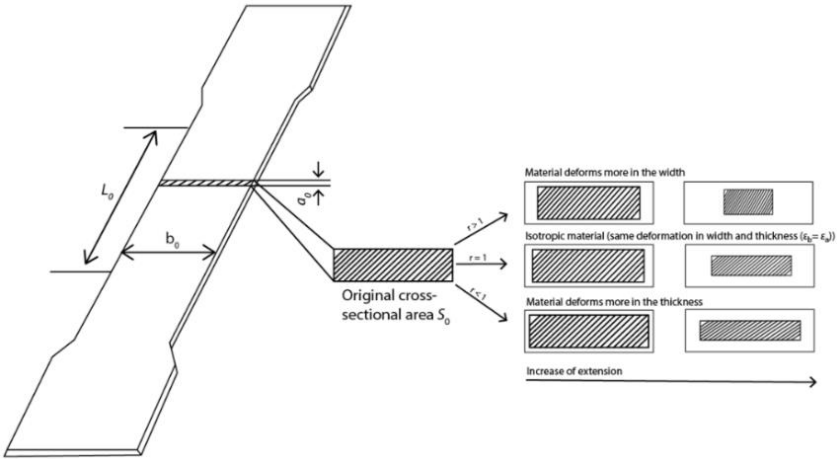
Bu formüllerde kullanılan, ε_{p_a} kalınlıktaki gerinim, ε_{p_b} genişlikteki gerinim ve ε_{p_L} uzunluktaki gerinim değerlerini gösterir.

Hacim sabitliği yasası yalnızca maksimum kuvvetteki plastik uzama değişimi noktasına kadar geçerlidir, A_g uzama noktasından sonra yerel boyun verme başladığı için kullanılan matematiksel yaklaşım geçersiz olacaktır.

Birkaç malzeme A_g 'den önce hafif bir yerel boyun verme gösterir. Bu, daha yüksek anlık genişlik azalma değerlerine yol açabilir ve özellikle anlık genişlik azalmasını yalnızca ölçü uzunluğunun merkez bölgesinde ölçüm yapan bir ekstansometre kullanıldığında daha yüksek r değerleri elde edilebilir. Bu durumlarda, 2 adet çözüm standartta önerilmiştir. Birincisi, anlık genişlik

azalmasını ölçmek için, ideal olarak tüm ölçü uzunluğu boyunca eşit olarak dağıtılmış birden fazla konumdaki genişlik değişimini ölçebilen ekstansometreler kullanılmasıdır. İkincisi ise test parçasının ölçü uzunluğu (l_0), test parçasının ilk ölçü genişliğinin (b_0) en az 6 katı olmasıdır.

R-değerinin daha iyi anlaşılabilmesi için r-değerine değer vermek iyi bir yöntem olarak kabul edilir. Eğer r-değeri 1 ise, numunedeki deformasyonun genişlik ve kalınlıkta aynı oranda olan izotropik bir malzeme olduğu söylenebilir ($\epsilon_{pb} = \epsilon_{pa}$). Eğer r-değeri 1'den büyükse, numunenin kalınlığından daha fazla genişliğinde daha büyük bir deformasyon elde edilir ($\epsilon_{pb} > \epsilon_{pa}$). Eğer r-değeri 1'den küçük ise malzemenin genişliğinden daha fazla kalınlıkta daha büyük bir deformasyon gözlemlenir ($\epsilon_{pb} < \epsilon_{pa}$). Bu durum Şekil 3 de gösterilmiştir [1].



Şekil 3. R-değerinin farklı değer almasına göre malzemede gözlemlenen deformasyon şekilleri

2.3 Test Cihazının Gereklikleri

Kullanılan çekme test cihazı ve test parçasının tutturulma yöntemi metalik malzeme çekme deney standardı ISO 6892-1 standardının gerekliklerine uygun olmalıdır.

ISO 10113 standardına göre r değeri belirlenmesinde kullanılan manuel yöntem için, orijinal ölçü uzunluğunun ölçülmesi ve çekme testi sonrasında ölçü uzunluğunun ölçülmesi için kullanılan cihaz $\pm \% 0,2$ veya daha iyi bir doğrulukla ölçüm yapabilmesi tanımlanmıştır. Ayrıca test parçasının ilk genişliğini ve test

sonrası ölçülen genişliği belirlemek için kullanılan cihazın ise $\pm 0,005$ mm veya daha iyi bir doğrulukla ölçüm yapılabilmesi verilmiştir.

Yarı otomatik yöntem için ise, uzama ölçümünde ISO 9513 standardına uygun, sınıf 1 veya daha iyi bir ekstansometre kullanılması istenmiştir. Ayrıca test parçasının ilk genişliğini ve test sonrası ölçülen genişliği belirlemek için kullanılan cihazın yine benzer şekilde, $\pm 0,005$ mm veya daha iyi bir doğrulukla ölçüm yapılabilmesi tanımlanmıştır.

Otomatik yöntem için ise, uzama ölçümünde ilgili ölçüm aralığında ISO 9513 standardına göre sınıf 1 veya daha iyi olan uygun ekstansometreler kullanılması ve genişliği belirlemek için kullanılan cihazın ise $\pm \% 0,1$ veya daha iyi bir doğrulukla ölçüm yapılabilmesi ISO 10113 standardında verilmiştir[14-15].

2.4 Test Numunesi Gerekliklikleri

Test numunesinin tipi ve hazırlanması, işleme toleransları, şekil toleransları ve ilk ölçü uzunluğunun işaretlenmesi dahil olmak üzere tüm şartlar ISO 6892-1 standardının Ek B'de tanımlandığı şekilde olmalıdır. Ayrıca, numunenin ölçü uzunluğu içindeki alanda, iki genişlik ölçümü tüm genişlik ölçümlerinin ortalamasının $\% 0,1$ 'inden daha fazla farklılık göstermeyecek kadar paralel olması da tanımlanmıştır.

Her türlü test parçası için ölçüm uzunluğunda homojen bir gerinim dağılımına ulaşmak için (ISO 6892-1, Ek B), paralel uzunluk L_c değerinin, $(L_0 + 2 b_0)$ değerine eşit veya daha büyük olmalıdır.

Aksi belirtilmediği durumda, test parçasının kalınlığı tam levha kalınlığı olacaktır. Ayrıca test parçasının paralel uzunluğu yüzey kusurları (örneğin çizikler) içermemelidir.

2.5 Testin Gerçekleştirilmesi

Genel olarak, testler $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ile $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasındaki ortam sıcaklığında gerçekleştirilir. Gerekğinde kontrollü koşullar altında gerçekleştirilen testler $(23 \pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta yapılmalıdır.

Test esnasında değerlendirme aralığında, paralel uzunluğun gerinim hızı $\pm \% 20$ 'lik bir bağıl toleransla sabit olmalı ve $0,008\text{ /s'yi}$ aşmamalıdır. Herhangi bir gerinim hızı değişikliği, değerlendirme aralığının başlangıcından önce en az $\% 0,2$ gerinim değerinde tamamlanmalıdır.

Eğer testten sonra test parçası en bölgesinde iç bükey bir değişim görülüyorsa, test geçersiz sayılır ve yeni bir test yapılır. Çünkü test sonuçları bu durumdan etkilenebilir.

Test üç farklı yöntemle gerçekleştirilebilir. Aksi kararlaştırılmadığı takdirde, yöntemin seçimi üreticinin veya üretici tarafından görevlendirilen test laboratuvarının değerlendirmesindedir.

Farklı yöntemler kullanıldığında sonuçlarda farklılıklar varsa, bu farklılıkların kaynağı araştırılmalıdır. Araştırma yöntemleri ISO 10113 standardının Ek A'da açıklanmıştır.

3. R-DEĞERİNİN BELİRLENMESİNDE ISO 10113 STANDARDINA GÖRE KULLANILAN YÖNTEMLER

ISO 10113 standardı ayrıca r-değerinin belirlenmesi için 3 prosedür ve 2 yöntem tanımlamaktadır. ISO 10113 standardında verilen 3 prosedür; otomatik, yarı otomatik ve manuel olarak tanımlanır. Otomatik prosedürde, uygun bir ekstansometre ile numune üzerinden hem uzama hem de genişlikteki değişimler ölçülür. Yarı otomatik prosedürde ise uygun bir ekstansometre ile numune üzerinden sadece uzamadaki değişimler ölçülür. Genişlikteki değişimler manuel olarak ölçülür. Manuel yöntemde ise numune üzerinden hem uzama hem de genişlikteki değişimler manuel olarak ölçülerek belirlenir. Belirlenen bu değerler kullanılarak r-değeri hesaplanabilir.

Tablo 1. ISO 10113 göre prosedür ve yöntemlerin özet tablosu

Parametre	Prosedür		
	Manuel	Yarı otomatik	Otomatik
Uzama Ölçüm yöntemi	Kumpas	Ekstansometre	Ekstansometre
Uzama Doğruluk seviyesi	+/- 0,01 mm	Sınıf 1 (ISO 9513)	Sınıf 1 (ISO 9513)
Genişlik Ölçüm yöntemi	Mikrometre	Mikrometre	Ekstansometre
Genişlik Doğruluk seviyesi	+/- 0,005 mm	+/- 0,005 mm	Sınıf 1 (ISO 9513)
Yöntem / metot	1 nokta metodu	1 nokta metodu	1 nokta ve Regresyon metodu

Manuel ve yarı otomatik prosedürler için r değeri tek nokta yöntemine göre belirlenir. Burada r -değeri belirli bir plastik deformasyon değerinde alınan değerlerden belirlenir. Genellikle, % 2 ve % 5 plastik uzama noktasında alınan değerler ile r -değeri hesaplanır.

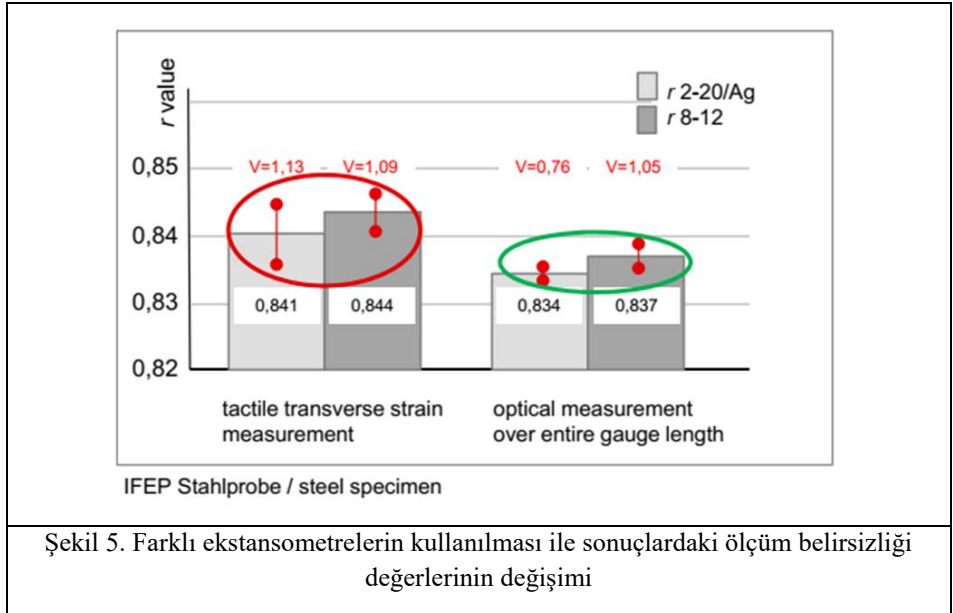
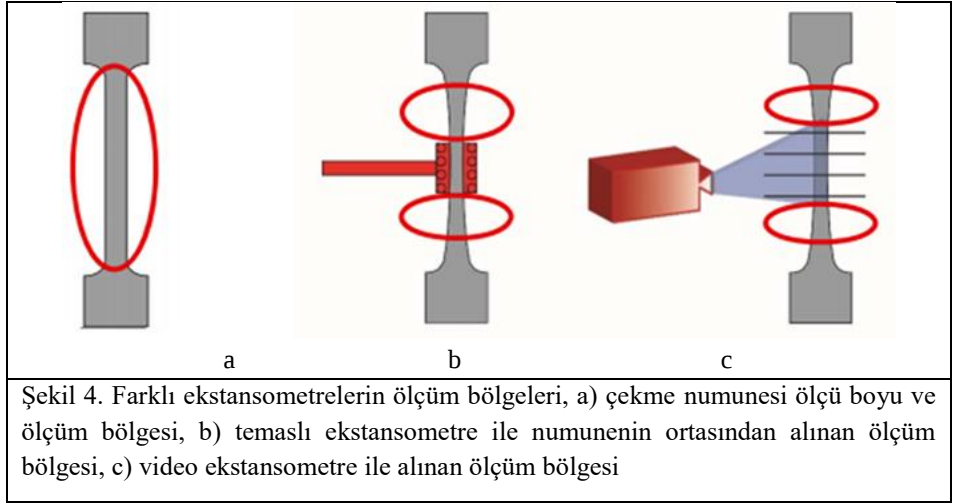
Otomatik prosedür ayrıca bir gelişim sürecini, yani tam bir gerinim aralığını kapsayan regresyon yöntemi seçeneğini de sunar. Belirli bir gerinim aralığında gerçek plastik boyuna gerinimden ve gerçek plastik genişlik geriniminden elde edilen veriler eğimi belirlemek için kullanılır. Otomatik yöntemde ise, numunenin tüm uzama aralığını veya tüm ölçü boyunu kapsayan, belirli bir uzama aralığında gerçek plastik uzama ve gerçek plastik genişlik değişimi ölçülür. Ayrıca bu yöntemde regresyon yöntemi ile ara noktalarında belirlenmesi mümkündür. Regresyon yöntemi, daha güvenilir ve tekrarlanabilir r -değerleri sağladığı için tavsiye edilir. Regresyon yöntemi, tek nokta yönteminde olduğu gibi genellikle % 2 veya % 5 plastik uzamaya dayalı değerlerden elde edilen yalnızca bir nokta değeri değil, tam bir aralık üzerinden ortalama değer olarak alındığından daha güvenilir r -değerleri sağlamaktadır.

2020 yılında, ISO 10113 standardına yapılan revizyon ile r -değerinin belirlenmesi, yalnızca metal bir malzemenin ölçü boyu veya paralel uzunluk dahilinde, A_g uzama noktasına kadar olan aralıkta homojen uzamanın olduğu ve hiçbir boyun verme olayının olmadığı varsayımına dayanıyordu. Buna dayanarak numune genişliği kısmen numunenin merkezinden belirlenmiş ve bu değer tüm ölçü uzunluğu için geçerli olduğu varsayılmıştır. Ancak gerçekte, malzemeye bağlı olarak daha büyük veya daha küçük ölçüde daralma meydana gelebilir. R değeri 1'den büyük olan malzemeler için davranış açıkça ölçülebilir. Bu farklı çalışmalarla ispatlanmıştır. Bu durumda daha doğru r değerleri elde etmek için tüm ölçüm uzunluğu boyunca belirlenmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır.

ISO 10113 standardının 2020 versiyonunda verilen tanıma göre, numunenin tüm ölçü boyu veya paralel uzunluğu boyunca ideal olarak eşit bir şekilde dağıtılmış birden fazla konumdaki genişlik değişimini anlık ölçebilen genişlik azalması ekstansometrelerinin kullanılmasını önerilmektedir. R değerlerinde daha yüksek doğruluk ve tekrarlanabilirlik elde edilebilmesi için faydalı olacaktır.

ISO 10113 standardın bu önerisi için özel olarak video ekstansometre cihazları geliştirilmiştir. Bu ekstansometreler tüm ölçüm boyuna eşit olarak dağıtılmış 10'dan fazla ölçüm ekseninde ölçme yapılmasını sağlar. Bu test için özel olarak tasarlanan ekstansometre sistemlerinin kullanılması ile r değerleri gerçekçi, aynı zamanda hassas ve son derece doğru değerler olarak elde edilebilir.

Şekil 4'te çekme numunesinin ölçüm bölgesi, temaslı ekstansometrelerin ölçüm bölgesi ile video ekstansometrenin ölçüm bölgeleri şekilsel olarak verilmiştir. Bu ölçümlerdeki farklılık ölçüm belirsizliği değerlerinde de farklılığa neden olurlar. Şekil 5'te temaslı ekstansometre kullanılarak belirlenen r değerlerinin ölçüm belirsizlik değeri, optik yöntem ile ölçüm yapan ekstansometreden elde edilen verilerden hesaplanan r değerlerinin ölçüm belirsizliğinden daha büyük olduğu görülmektedir.



3.1. Test Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Ekstansometre kullanmadan yapılan yöntemde (manuel yöntem) test yapılırken, ilk ölçü uzunluğu L_0 , $\pm \% 1,0$ doğrulukla ince işaretler veya çizilmiş çizgiler vasıtasıyla işaretlenmeli ve $\% 0,2$ veya daha iyi bir doğrulukla ölçülmelidir. İşaretlenen ölçü uzunluğunun $\% 0,2$ 'den daha iyi bir doğrulukla bilindiği durumlarda, her bir test parçasının ölçü uzunluğunun ölçülmesi gerekli değildir.

Test parçasının ilk genişliği, ölçüm uzunluğu boyunca eşit olarak dağıtılmış en az üç noktada, ölçüm uzunluğunun her iki ucunda bir ölçüm dahil olmak üzere $\pm 0,005$ mm'den daha iyi bir doğrulukla ölçülmelidir. Bu genişlik ölçümlerinin ortalama değeri b_0 , plastik gerinim oranının hesaplanmasında kullanılmalıdır.

Test numunesi test makinasına yerleştirilerek istenilen seviyeye kadar çekme uygulanır ve genellikle A_g aşıldıktan sonra kopma olmadan kuvvet boşaltılır. Boşaltma işleminden sonra, deney parçasının ölçü uzunluğu L_1 ve genişliği b_1 , ilk ölçü uzunluğu ve genişliği için olduğu gibi aynı şekilde ve aynı doğrulukta ölçülür.

Manuel metot değerlendirmesinde her numune için aşağıdaki formüller kullanılır.

$$e_{pL} = \frac{(L_1 - L_0)}{L_0} 100 \quad r = \frac{\ln(b_1/b_0)}{\ln(L_0 b_0 / L_1 b_1)} \quad (6)$$

Sadece uzunluk ekstansometresinin kullanıldığı yöntemde (yarı otomatik yöntem) test yapılırken diğer yönteme benzer şekilde test parçasının ilk genişliği, ölçüm uzunluğu boyunca eşit olarak dağıtılmış en az 3 noktada, ölçüm uzunluğunun her iki ucunun konumuna yakın bir ölçüm de dahil olmak üzere $\pm 0,005$ mm veya daha iyi bir doğrulukla ölçülmelidir. Bu genişlik ölçümlerinin ortalama değeri b_0 , plastik gerinim oranının hesaplanmasında kullanılır. Çekme deneyi yük boşalması sonra b_1 genişliği, ilk genişlikte olduğu gibi aynı şekilde ve aynı doğrulukta ölçülmelidir.

Yarı otomatik metot değerlendirmesinde her numune için aşağıdaki formüller kullanılır.

$$e_{pL} = \left[\frac{\Delta L}{L_g} - \frac{F}{(S_0 m_g)} \right] 100 \quad r = \frac{\ln(b_1/b_0)}{-\ln\left(1 + \frac{e_{pL}}{100}\right) - \ln(b_1/b_0)} \quad (7)$$

Genişlik ve uzunluk ekstansometresi kullanılan yöntemde ise (otomatik yöntem) çekme deneyi özelliklerini belirlemek için standart bir çekme deney

yöntemiyle birlikte uygulanır. Bu nedenle, test parçası sürekli olarak A_g değerine kadar veya kopuncaya kadar çekilir

Bu yöntem, kullanıcıya çeşitli uzamalarda birden fazla noktada r -değerini belirlemesine olanak sağlar. Ayrıca, bir test esnasında bir uzama aralığı üzerindeki r -değerlerini belirlemek için de bu yöntem kullanılabilir.

Homojen olmayan davranış gösteren malzemeler için (örneğin Portevin-Le Chatelier etkisini gösteren malzemeler) r değerinin belirlenmesi için regresyon yöntemi kullanılmalıdır

Deney parçasının orijinal genişliği, ölçüm uzunluğu boyunca eşit olarak dağıtılmış en az 3 noktada, ölçüm uzunluğunun her iki ucunun konumuna yakın bir ölçüm de dahil olmak üzere, $\pm \% 0,1$ 'den daha iyi bir doğrulukla ölçülmelidir. Bu genişlik ölçümlerinin ortalama değeri b_0 , plastik uzama oranının hesaplanmasında kullanılmalıdır.

Test parçasının ve tutma çenelerinin hizalanmasını sağlamak için küçük bir ön kuvvet kullanılabilir, ancak bu kuvvet beklenen akma mukavemetinin $\% 5$ 'ine karşılık gelen bir değeri aşmamalıdır. Ön kuvvetin etkisini hesaba katmak için genişlik ve uzunluk ekstansometrenin sıfır düzeltilmesi yapılmalıdır

Akma noktası belirgin olmayan malzemeler için değerlendirmenin başlangıcı, plastik deformasyon başladıktan ve çekme mukavemetini yani R_m 'yi belirlemek için kullanılan son test hızına ulaşıldıktan sonra yapılmalıdır. A_g değerine ulaşıldıktan sonra r -değerinin değerlendirilmesi yapılmamalıdır

Otomatik metot değerlendirmesinde her numune için aşağıdaki formüller kullanılır.

$$e_{pL} = \ln\left[\frac{L_g + \Delta L}{L_g} - \frac{F}{(S_0 \cdot m_g)}\right] \quad e_{pb} = \ln\left[\frac{b_g - \Delta b}{b_g} + \frac{v \cdot F}{(S_0 \cdot m_g)}\right] \quad (8)$$

v Poisson oranıdır (örneğin çelik için 0,30 ve alüminyum için 0,33)

R değerlerinin hesaplanması 2 farklı yöntem kullanılarak gerçekleştirilebilir. Homojen olmayan davranış gösteren malzemeler için (örneğin Portevin-Le Chatelier etkisini gösteren malzemeler), regresyon yöntemi kullanılmalıdır. Faz dönüşüm davranışı gösteren malzemeler için regresyon yöntemi kullanılmamalıdır.

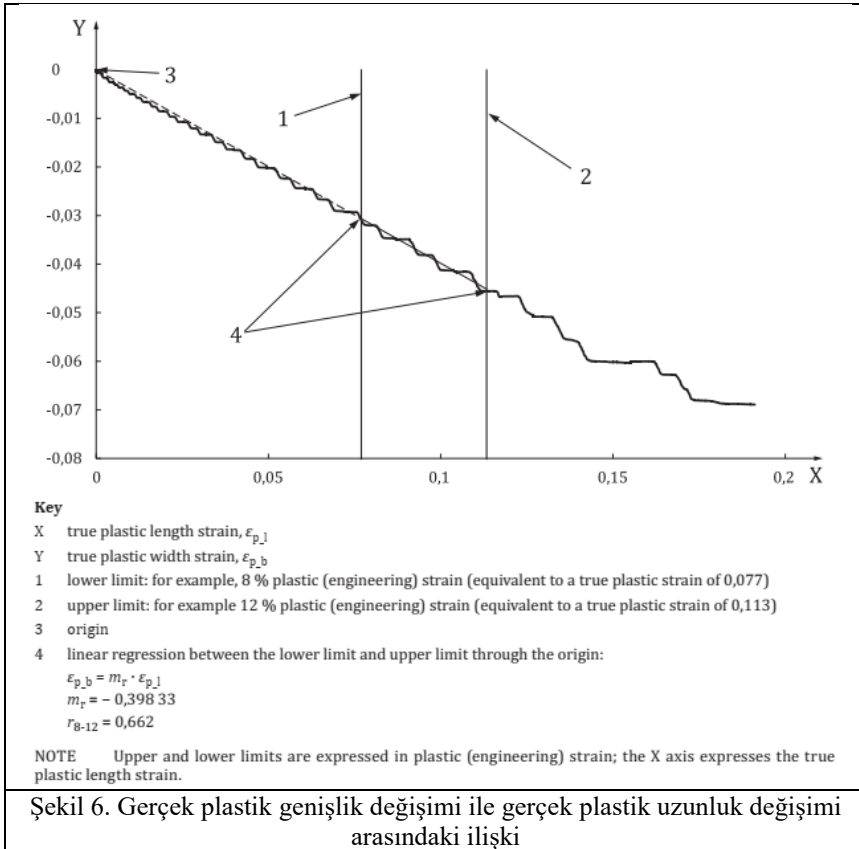
Tek nokta yönteminde, her bir test verisi satırı için (kuvvet, uzama ve anlık kesit daralması değerlerini içeren tek bir veri kümesi), aşağıdaki formül kullanılarak tek bir anlık r değeri hesaplanabilir.

$$r = \frac{-\epsilon_{p,b}}{(\epsilon_{p,b} + \epsilon_{p,l})} \quad (9)$$

Regresyon yöntemi, tanımlanmış bir aralıktaki verilere ve orijinal test parçasının boyutlarına dayanarak güvenilir r -değerlerini hesaplamak için kullanılır.

$\epsilon_{p,b}$ 'nin $\epsilon_{p,l}$ 'ye doğrusal regresyonu, seçilen aralıkta ve orijinden geçirilerek kesiştirilecektir (Şekil 6). Bu doğrusal regresyonun eğimi $m_r [-r/(1+r)]$ 'ye eşittir. r -değeri, Formül (10) kullanılarak hesaplanır.

$$r = \frac{-m_r}{(1 + m_r)} \quad (10)$$



3.2 Test Raporunda Olması Gerekenler

ISO 10113 standardına göre test raporu aşağıdaki bilgileri içermelidir:

- a) Uluslararası standarda atıf, yani ISO 10113'e referans;
- b) Test edilen malzemenin tanımlanması;
- c) Kullanılan yöntem (manuel, yarı otomatik veya otomatik);
- d) Değerlendirme yöntemi;
- e) Kullanılan test parçasının türü;
- f) Test parçasının haddeleme yönüne göre yönelimi;
- g) Ölçümlerin yapıldığı plastik (mühendislik) gerinimi veya plastik (mühendislik) gerinim aralığı/değerlendirmeler yapıldı, örneğin:
 - $r_{45/10}$ (% 10 plastik (mühendislik) uzamada 45° oryantasyon/tek nokta yöntemi)
 - $r_{45/8-12}$ (% 8 ile % 12 plastik (mühendislik) uzamada arasında 45° oryantasyon/doğrusal regresyon yöntemi)
- h) Test sonuçları, sonuçlar ISO 80000-1'e göre en yakın 0,05 değerine yuvarlanacaktır;
- i) r ve Δr 'yi hesaplamak için kullanılan formüller verilmelidir.

4. R-DEĞERİNİN ENDÜSTRİYEL KULLANIMI

R-değeri, birçok endüstriyel uygulamada önemli bir rol oynar. Özellikle metal şekillendirme endüstrisinde, malzeme seçimi ve işleme parametrelerinin belirlenmesinde kritik öneme sahiptir. R-değerinin doğru belirlenmesi, istenilen ürün kalitesinin elde edilmesini sağlar.

R-değeri, malzemenin gerilme ve gerinme eğrilerinin şeklini tanımlayan bir parametredir. Genellikle, malzemenin gerilme ve gerinme oranının bir ölçüsü olarak ifade edilir. R-değeri, malzemenin plastik deformasyon davranışını karakterize eder ve işlenebilirlik hakkında bilgi sağlar. Yüksek bir R-değeri, malzemenin daha az işlenebilir olduğunu ve daha fazla enerji gerektirdiğini gösterir.

R-değeri, malzemenin şekillendirme işlemlerinde nasıl davranacağını öngörmek için kritik öneme sahiptir (Şekil 7). Özellikle metal şekillendirme endüstrisinde, doğru r -değerlerinin kullanılması, istenilen şekillendirme

işlemlerinin başarıyla gerçekleştirilmesini sağlar. Ayrıca, malzeme seçimi ve işleme parametrelerinin belirlenmesinde de önemli bir rol oynar. Bazı metal malzemelerin ağırlıklı ortalama plastik gerinim oranı değerleri(r_m) ve düzlemsel anizotropi derecesi değerleri (Δr) Tablo 1 de verilmiştir. Bu değerler başka metal malzemelerin değerlerinin kıyaslanması da kullanılabilirler.

Tablo 2. ISO 10113'e göre farklı malzemelerin r değerlerine örnekler [10]

Malzeme Adı	r_m -değeri	Δr -değeri
Derin çekme çeliği DC04	1,85	0,70
IF-Çelik DC06	2,15	0,55
İzotropik çelik H250G1	1,05	0
TRIP-Çelik TRIP700	0,85	-0,02
Çift fazlı çelik H300X	0,95	-0,10
Paslanmaz çelik X5CrNi18-10	1,00	-0,30
Alüminyum AlMg5Mn (yumuşak)	0,66	-0,21
Alüminyum AlSi1,2Mg0,4 (T4)	0,64	0,20
Bakır Cu	0,80 - 0,95	
Bronz CuSn	1,00	
Pirinç CuZn37 yumuşak	0,91	-0,03



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Plastik gerinim oranının (r-değeri) belirlenmesi, malzemelerin mekanik özelliklerini anlamak için kritik bir süreçtir. Doğru deney yöntemleri ve istatistiksel analizler kullanılarak elde edilen veriler, mühendislik uygulamalarında güvenli ve etkili tasarımlar yapmak için gereklidir.

R değerinin belirlenmesi birçok farklı parametreden etkilenebilir. Bu hata ve etkiler aşağıdaki şekilde sıralanabilir.

- Farklı test yöntemleri ve değerlendirme yöntemleri;
- Test parçasının ve tutma çenelerinin hizalanması;
- Test parçasının hazırlanması (örneğin test parçasının yüzeyi, kenarları)
- Test parçasının "gerçek" genişlik değişimi ile genişlik ölçümünü yapan ekstansometre arasındaki farklılık
- Ekstansometre ölçüm uzunluğu, yeri ve tipi (yarıçap yakınında veya merkezde, tek hatlı ve çok hatlı ölçümler);
- Test parçasının yüzeyi ile ekstansometre ölçüm uzunlukları arasındaki bağıl hareket
- Genişlik ölçüm cihazında çökme etkileri
- Titreşimler ve sıcaklık değişimi gibi laboratuvar koşulları;
- Test parçasının homojen olmayan deformasyonu (örneğin Portevin-Le Chatelier etkisi)

R değerlerinde daha doğru, tekrarlanabilirliği yüksek ve izlenebilirliği sağlanmış sistemler kullanılmalıdır. Tekrarlanabilirlik ve doğruluk değerlerini iyileştirmek için aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir.

- Yüksek sistem doğruluğu sayesinde hassas r değerleri elde edilmesi mümkündür. Bu sebepten ölçümlerde kullanılan ekstansometre sistemlerinin kalibrasyonu ISO 9513 standardına göre doğruluk sınıfının 0,5 veya daha iyi olması uygun olacaktır.
- Tüm ölçüm aralığı boyunca ISO 10113:2020'ye göre farklı noktalardan ölçümler alınması ve ölçüm eksenlerinin doğruluğunun sağlanması ile daha hassas r-değerleri elde edilebilir.

- ISO 10113:2020'ye göre tüm ölçü uzunluğu boyunca ölçüm ve ölçüm eksenlerinin takibinin yanında aksel sapmanın da r değerinin test sonuçları üzerinde önemli etkisi olabilir.
- Farklı ölçüm eksenlerinden alınan değerler ayrı ayrı hesaplanmalıdır. Bu şekilde değerlerin uygun olup olmadığı her zaman doğrulanabilir
- Kırılma konumunun ölçü boyu içinde farklı yerlerde olması r-değeri sonuçlarında değişime neden olabilir. Gerek duyulursa kırılma konumu izlenebilir ve ayrıca görüntü kaydı yoluyla doğrulanabilir.
- Video ekstansometreler ile kolay kullanım ve birçok noktadan alınan ölçümler ile ISO 10113:2020'ye göre daha güvenilir r-değerleri sağlanabilir

Bu çalışmada, plastik deformasyon değeri R-değerinin önemi ve belirlenmesi detaylı olarak incelenmiştir. R-değeri, malzemenin plastik deformasyon davranışını anlamak ve işlenebilirliğini değerlendirmek için kritik bir öneme sahiptir. Çeşitli deneysel ve sayısal yöntemlerle belirlenebilir ve endüstriyel uygulamalarda malzeme seçimi ve işleme parametrelerinin belirlenmesinde kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- ISO 10113:2020, Metallic materials - Sheet and strip - Determination of plastic strain ratio
- ASTM E517, 2024, Standard Test Method for Plastic Strain Ratio r for Sheet Metal
- JIS Z2254, 2021, Metallic materials - Sheet and strip - Determination of plastic strain ratio
- ISO 6892-1, 2019, Metallic materials - Tensile testing - Part 1: Method of test at room temperature
- Aydemir, B. "ISO 6892-1 Standardına Göre Metalik Malzemelerin Çekme Özelliklerinin Belirlenmesi", Bideci, Alper (ed)., "Mühendislik Alanında Uluslararası Araştırmalar", Ankara: Platanius Yayınevi, (2023), 307-334 (Bölüm 16). (978-625-6971-54-7)
- Aydemir, B., 2018, "Malzeme Test Makinası Ekstansometre (Uzama Ölçer) Kalibrasyonu Eğitim Dokümanı", G2KV-030, TÜBİTAK UME Gebze-Kocaeli, Kasım 2018
- Aydemir, B., "Ekstansometre Cihazlarının Seçimi ve Kullanımı Hakkında Önemli Hususlar" Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2010,(7) 73-82
- Extensometers for materials testing machines, Zwick/Roell, Dokuman no FP 282 2.0405
- www.instron.com/en-in/resources/blog/2012/december/what-is-r-value
- Aydemir, B., 2024, Determination And Evaluation Of Plastic Strain Rate R -value In Metal Sheets, International Marmara Sciences Congress IMASCON 2024 - Spring
- ISO 10275, 2020, Metallic materials - Sheet and strip - Determination of tensile strain hardening exponent
- ASTM E646, 2024, Standard Test Method for Tensile Strain-Hardening Exponents (n -values) of Metallic Sheet Materials
- JIS Z 2253, 2020, Metallic materials - Sheet and strip - Determination of tensile strain hardening exponent
- Müller, K., 2021, The new standard for r -value measurement to ISO 10113:2020, ASTM E517, JIS Z2254, ZwickRoell GmbH & Co. KG Oktober 2021
- ISO 9513, 2012, Metallic materials – Calibration of extensometers used in uniaxial testing Machines

BÖLÜM 5

Makine ve Derin Öğrenme Yöntemleri ile Bitcoin Fiyat Tahmini

Rabia Dertli¹ & Şenol Eren²

¹ Dr., Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik Bölümü, Samsun,
ORCID: 0000-0002-4149-3062

² Prof. Dr., Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Fakültesi, Matematik Bölümü, Samsun,
ORCID: 0000-0002-8277-8056

1.GİRİŞ

Dijitalleşmenin artmasıyla birlikte kripto para birimleri ortaya çıkmış ve finansal sistemde yerini almıştır. Kripto paralar, geleneksel para birimlerine benzer şekilde işlev gören, ancak herhangi bir merkezi otoriteye bağlı olmayan sanal değişim araçlarıdır. Bu paraların temelinde, işlemlerin şifrelenmiş bir şekilde kaydedildiği ve bloklar halinde birbirine bağlandığı blok zinciri teknolojisi yer alır. Her blok, kendisinden önceki bloğun bilgilerini içerir ve zaman damgası, özet değeri (hash) ile bu değeri doğrulayan bir unsur (nonce) barındırır. Blok zinciri, kullanıcıların genel ve özel anahtarlar aracılığıyla güvenli işlemler yapmasını sağlar. Ayrıca, akıllı sözleşmeler, dijital imzalar ve uzlaşma protokolleri gibi yenilikçi yöntemler de bu teknolojinin önemli bileşenleridir. Blok zincirinin merkeziyetsiz, şeffaf ve güvenli yapısı, kripto paralara olan ilginin hızla artmasına neden olmuştur.

Bitcoin (BTC), blok zinciri teknolojisiyle oluşturulan ilk kripto para birimidir. Kullanıcıların tasarruflarını güvende tutan, tüm işlemlerin şeffaf bir şekilde kaydedildiği, merkezi olmayan ve doğrudan eşler arası (peer-to-peer) çalışan bir dijital ödeme sistemidir. Ancak Bitcoin'in fiyat hareketleri, çeşitli politik ve sosyal faktörlerden etkilenebilir. Örneğin, bazı hükümet yetkilileri Bitcoin'in yasa dışı faaliyetleri kolaylaştırabileceğini ve devletlerin para politikalarını zorlaştırabileceğini savunmuştur. Bu tür açıklamalar, Bitcoin'e yönelik kısıtlamalar ve yaptırımların uygulanmasına neden olmuş, bu da kullanıcıların Bitcoin'e olan ilgisini azaltmıştır. Ayrıca, piyasada fiyat manipülasyonuna yol açabilecek şüpheli işlemler, Bitcoin'in değerinde ani düşüşlere veya yükselişlere sebep olabilmektedir. Bununla birlikte, alternatif ödeme teknolojilerinin sanal para hırsızlığı ve kara para aklama gibi risklere açık olması da Bitcoin'in fiyat dalgalanmalarını etkileyen önemli unsurlardan biridir, [14].

Bitcoin fiyat hareketlerini etkileyen faktörler göz önüne alındığında, fiyat yönünün belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Yatırımcıların bilinçli kararlar alabilmesi için çeşitli analizlerin yapılması gerekmektedir. Bilgisayar destekli analiz yöntemleri, bu süreci kolaylaştırarak sınıflandırma ve tahminleme algoritmalarını kullanmaktadır. Sınıflandırma algoritmaları, verilerin belirli kategorilere ayrılmasını sağlarken, tahminleme algoritmaları geçmiş verilerden yola çıkarak geleceğe dair öngörülerde bulunur.

Bu çalışmada, makine öğrenmesi ve derin öğrenme yöntemleri ele alınarak Bitcoin fiyatlarındaki değişim hakkında çeşitli tahmin ve sınıf yöntemleri kullanılmıştır. Makine öğrenmesi yöntemi olarak Random Forest Regresyon,

XGBoost ve Yapay Sinir Ağları, derin öğrenme yöntemi olarak GRU algoritmaları kullanılmıştır.

1.1. Kripto Paraların Tanımı

"Kripto Para", şifreli ve elektronik bir para türüdür. Geleneksel para sistemlerinden farklı olarak, banka veya devlet kontrolü olmadan işlem yapılabilir. Şifreli anahtarlar kullanılarak hızlı alım-satım ve transfer işlemleri gerçekleştirilebilir. 2014'te Kanada Merkez Bankası tarafından merkezi olmayan sanal para olarak tanımlanmıştır. Basımı yoktur ve ihraç edenin kimliği belirsizdir, bu da popüleritesini artırmaktadır.

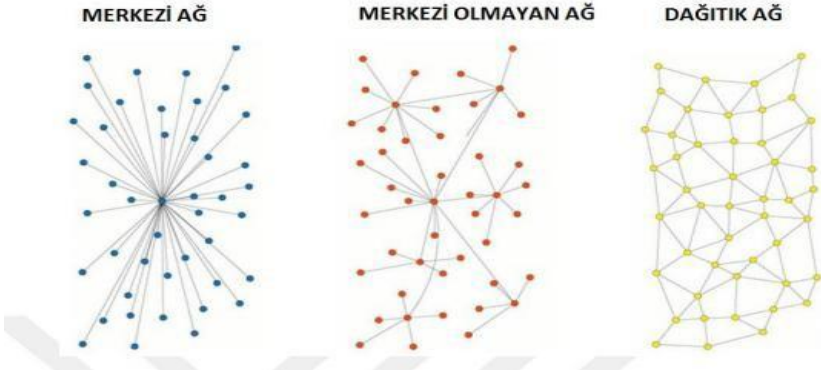
Blok zinciri teknolojisinin yanı sıra, kripto paralar yüksek fiyat dalgalanmalarına rağmen uzun vadede yükseliş eğilimi göstermektedir. Reel piyasalarda yaygın olarak kullanılmamasına karşın, özellikle 2017'nin son çeyreğinde işlem hacminde büyük bir artış yaşanmıştır. Artan talep, fiyatlarda hızlı yükselişlere yol açmış ve yatırımcıların kripto para ticaretine olan ilgisini artırmıştır. Tablo 1'de 2013 sonrası altın, Bitcoin ve döviz yatırımlarının nominal getirileri karşılaştırılmış olup, uzun vadede Bitcoin'in diğer yatırım araçlarına kıyasla çok daha yüksek kazanç sağladığı görülmüştür, [7].

Tablo 1. Altın, USD, EURO, Bitcoin kazanç oranları (2013-2018), [7]

2013 YILI SONRASI 1000₺ NE KADAR OLDU?				
YIL	ALTIN	USD	EURO	BİTCOİN
2014	1,137.60 ₺	1,211.11 ₺	1,262.71 ₺	7,961.04 ₺
2015	1,059.40 ₺	1,305.56 ₺	1,199.15 ₺	3,546.76 ₺
2016	1,194.61 ₺	1,622.22 ₺	1,351.69 ₺	5,973.66 ₺
2017	1,566.47 ₺	1,966.67 ₺	1,576.27 ₺	16,354.43 ₺
2018	1,902.04 ₺	2,094.44 ₺	1,927.97 ₺	246,886.67 ₺
Kazanç Oranı	90%	109%	93%	24588%

Kripto para, devletler veya aracı kurumlar olmadan, internet üzerinden işlem yapılan dijital paralardır. Çevrim içi ödemeler ve oyunlarda değişim aracı olarak kullanılabilirler. Temelinde, blok zinciri (Blockchain) teknolojisi bulunur. Bu teknoloji, üçüncü bir tarafa gerek kalmadan değer transferi yapılmasını sağlar ve tüm işlemleri kaydeder. Veriler, dağınık, merkezi ve çok merkezli ağ yapıları gibi farklı yöntemlerle saklanabilir. Şekil 1'de bu verilerin yapıları gösterilmektedir, [2].

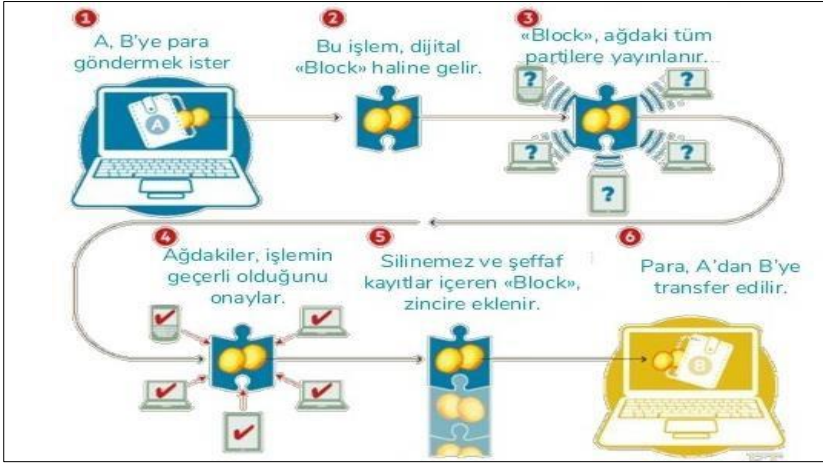
Şekil 1. Merkezi, çok merkezli ve dağıtık ağ, [6]



- **Merkezi:** Tüm verilerin tek bir merkezde toplandığı sistemdir. Merkez, verileri değiştirme ve silme yetkisine sahiptir. Bu yapı, yönetimi kolaylaştırırken, merkezde oluşabilecek herhangi bir hata sistemin tamamını etkileyebilir.
- **Çok merkezli:** Birden fazla merkezin bulunduğu ve tek bir merkezden yönetilmeyen sistemdir. Kullanıcılar, bağlantıyı sürdürebilmek için birbirleriyle iletişim kurmak zorundadır.
- **Dağıtık:** İşlemler, ortak bir amaç doğrultusunda birbirleriyle doğrudan etkileşim halindedir. İşlemler merkezi bir noktadan geçmeden gerçekleşir ve kontrol ile güvenlik tüm ağa dağıtılmış durumdadır.

Geleneksel veri tabanları, çoğunlukla merkezi bir kopya üzerinden işler ve bu kopya tek bir noktadan güncellenebilir. Bu sistemlerde veri yönetimi ve işlem kontrolü daha karmaşık bir hal alır. Şekil 2'de, geleneksel veri tabanları ile blok zinciri teknolojisine dayalı veri tabanları arasındaki temel farklar karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

Şekil 2. Geleneksel ve blok zinciri veri tabanı, [10]



Kripto paraların ortaya çıkışında, 2008 küresel finans krizinin etkili olduğu düşünülmektedir. Bu kriz sonrasında, Satoshi Nakamoto takma adını kullanan kişi ya da grup, "**Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System**" adlı makalesinde Bitcoin kavramını ortaya koymuş ve kripto paraların temelini oluşturan teknik altyapıyı geliştirmiştir, [9].

2009 yılında piyasaya sürülen Bitcoin, en yaygın kullanılan kripto para birimi olmuştur. Değeri yalnızca dijital ortamda belirlenen ve sınırlı arzı bulunan bu varlık, elektronik para yerine dijital emtia olarak değerlendirilmektedir, [5].

Kripto para birimleri, blok zinciri adı verilen şifreli bir sistemle çalışan, fiziksel karşılığı bulunmayan, tamamen dijital varlıklardır. Merkezi bir otorite tarafından yönetilmez ve devletlerin kontrolü altında değildir. Hızlı, düşük maliyetli ve güvenli bir şekilde taraflar arasında doğrudan para transferi yapılmasına imkân tanır, [11].

Aras (2019) yaptığı araştırmada, kripto para birimlerinin fiyatlarını en doğru şekilde tahmin etmenin, yatırımcılar ve karar alıcılar açısından büyük bir öneme sahip olduğunu belirtmiştir. Çalışma kapsamında, Bitcoin, Ethereum, Ripple ve Litecoin olmak üzere en yaygın kullanılan dört kripto paranın fiyat hareketleri analiz edilerek tahmin edilmeye çalışılmıştır, [4].

Hitam ve Ismail (2018) ise makine öğrenmesi algoritmalarının kripto para fiyat tahminlerindeki başarılarını karşılaştırmak amacıyla bir araştırma gerçekleştirmiştir. Çalışmada, o dönemde popüler olan altı kripto para birimi (Bitcoin, Ethereum, Litecoin, Nem, Ripple ve Stellar) ele alınarak fiyat tahminleme modelleri uygulanmıştır. Analiz sonuçlarına göre, Destek Vektör

Makineleri (SVM) yöntemi diğer sınıflandırıcılardan daha yüksek doğruluk oranı elde etmiştir. Ayrıca, SVM algoritmasının diğer yöntemlere kıyasla daha düşük bir Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) oranına sahip olduğu belirlenmiştir. Araştırma, başarılı tahminler yapabilmek için kullanılan veri setinin büyüklüğünün ve kalitesinin kritik öneme sahip olduğunu ortaya koymuştur, [8].

2. MATERYAL

Bu çalışmada, BTC'nin 31/10/2024 ve 28/01/2025 tarihleri arasındaki açılış fiyatı, kapanış fiyatı, gün içerisindeki en yüksek değer, gün içerisindeki en düşük değer ve volüme değerleri baz alınarak veri seti oluşturulmuştur.

Veriler <https://api.binance.com/api/v3/klines> adresinden alınmıştır. Toplam veri sayısı 89 adettir. Veri setindeki baştan ve sondan 5 veri Tablo 2'de örnek olarak gösterilmiştir. Veri setindeki değişkenler ve aralıkları Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 2. Veri Setindeki Örnek Kapanış Fiyatları

Günler	Bitcoin Kapanış Fiyatları
1	70.292
2	69.496
3	69.374
4	68.775
5	67.850
...	...
85	103.910
86	104.870
87	104.746
88	102.620
89	102.082

Tablo 3. Veri Setindeki Değişkenlerin Aralıkları

Veri Seti Değişkenleri	Aralıklar	
	Alt	Üst
Günler	1	89
<u>Bitcoin Kapanış Fiyatları</u>	<u>70.292</u>	<u>102.082</u>

2.1. Makine Öğrenmesi

Makine öğrenmesi, veriler üzerinden yapılan işlemlerden elde edilen sonuçlarla tahminlerde bulunan ve bu tahminleri geliştiren sistemlerin bilgisayarlar aracılığıyla modellenmesidir. Model, mevcut veriler ve kullanılan algoritmalar sayesinde oluşturulur. Makine öğrenmesi, modellerin performansını artırmak için kullanılır ve üç ana öğrenme türüne ayrılır. Bunlar:

- **Gözetimli Öğrenme (Supervised Learning):** Bu yöntem, girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkiyi belirlemek için kullanılır. Bu türde eğitim verileri, hem girişleri hem de çıkışları içerir. Regresyon veya sınıflandırma teknikleri ile model oluşturulur.

- **Gözetimsiz Öğrenme (Unsupervised Learning):** Bu öğrenme türünde, verilerin gizli yapıları keşfedilir. Giriş verisi için herhangi bir etiket veya sınıf bilgisi mevcut değildir.

- **Takviyeli Öğrenme (Reinforcement Learning):** Bu öğrenme şekli, bir ajan ile çevresi arasındaki etkileşime dayanır. Ajan, ödülleri maksimize etmek amacıyla uygun eylemleri öğrenir ve bu süreçte geri bildirimlerden faydalanarak en iyi hareket tarzını bulur, [15].

Bu çalışmada, makine öğrenmesi yöntemlerinden Random Forest Regresyon, XGBoost(Extreme Gradient Boosting) ve Yapay Sinir Ağları(YSA) modelleri veriler üzerinde uygulanmıştır.

2.1.1.Random Forest Regresyon Modeli

Random Forest, hem regresyon hem de sınıflandırma problemleri için uygulanabilen bir makine öğrenmesi tekniğidir. Random Forest Regresyon modelinin çalışma prensibi, karar ağaçları yöntemine dayanır. Bu modelde, veri seti rastgele şekilde küçük alt gruplara bölünür ve her biri için bir karar ağacı oluşturulur. Tahmin yapılırken, bu ağaçlardan elde edilen sonuçların ortalaması alınarak final tahmini elde edilir. Çalışmada Random Forest Regresyon modelinin tercih edilmesinin nedeni, modelin eğitim sürecinde aşırı uyum (overfitting) riskini büyük oranda azaltması, verinin zaman serisi şeklinde olması ve genel olarak yüksek doğrulukla sonuçlar vermesidir, [3].

Random Forest regresyon ile tahmin yapma süreci, Python 3.7 dilinde Pandas, Numpy, SciKit-Learn ve Matplotlib kütüphaneleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Adımlar şu şekildedir:

- **Birinci Adım - Veri Yükleme:** Pandas kütüphanesi kullanılarak, veritabanındaki veriler okunur ve uygun bir değişkende depolanır.

- **İkinci Adım- Veri Ön İşleme:** Veri setinden gerekli sütunlar seçilerek ilgili değişkenlere atanır. Bu değişkenler, Numpy kütüphanesi ile iki boyutlu matris yapısına dönüştürülür. Sonrasında, gözlem verileri görselleştirilmek üzere Matplotlib ile grafik üzerinde sunulur.

- **Üçüncü Adım - Modelin Kurulması:** SciKit-Learn kütüphanesinden RandomForestRegressor sınıfı çağrılır. Modelin çalışacağı ağaç sayısı belirlenir ve aynı sonuçların her çalıştırmada elde edilmesi için bir rastgelelik parametresi atanır. Bu model bir değişkene atanır, ardından bağımlı ve bağımsız değişkenler bu modele eğitilmek üzere verilir.

- **Dördüncü Adım - Tahmin ve Sonuçların Görselleştirilmesi:** Model eğitildikten sonra, yatay ekseninde bulunan günlere göre tahminler yapılır. Hem gerçek gözlem verileri hem de tahmin edilen değerler, Matplotlib aracılığıyla görsel bir şekilde karşılaştırmalı olarak grafikte gösterilir.

2.1.2. XGBoost (Extreme Gradient Boosting) Modeli

XGBoost modeli sınıflandırma ve tahmin problemlerinde kullanılabilen bir makine öğrenme yöntemidir. XGBoost , genellikle büyük veri setlerinde çalışabilme yeteneği ile bilinir. Ayrıca algoritmanın her iterasyonunda belirli özellikler için en iyi splitleri (ayrımları) bulmak için histogram tabanlı bir yöntem de kullanılır.

Yine modelin hatalarını azaltmayı hedefleyen geleneksel gradient boostingten farklı olarak, modelin karmaşıklığını kontrol eden düzenleme terimlerini de içerir. Bu, modelin overfitting (aşırı öğrenmesini) engellemeye yardımcı olur.

XGBoost regresyonla tahmin yapma süreci Python 3.7 programlama dilinde Pandas, Numpy, SciKit-Learn ve Matplotlib kütüphanelerini kullanarak gerçekleştirilmiştir. Adımlar şu şekildedir:

- **Birinci Adım - Veri Yükleme:** Veritabanındaki veriler, Pandas kütüphanesi kullanılarak okunur ve uygun bir değişkende saklanır.

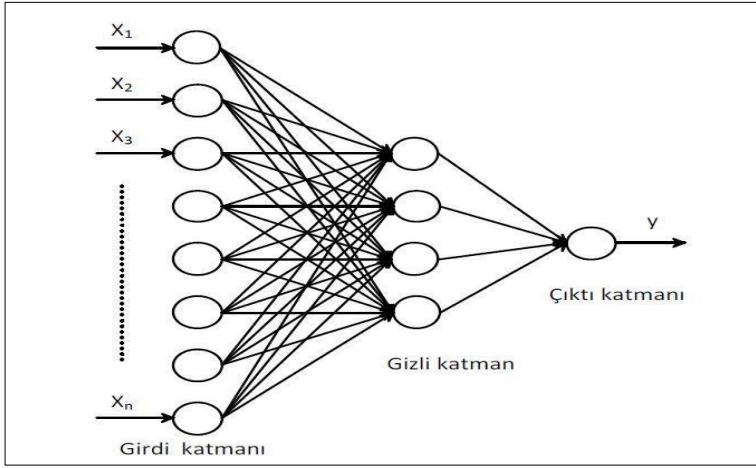
- **İkinci Adım- Veri Ön İşleme:** Veri setindeki gerekli özellikler, sütunlar halinde belirlenir ve her bir özellik Numpy kütüphanesi ile iki boyutlu dizilere dönüştürülür. Gözlem verileri, Matplotlib kütüphanesinin grafik özellikleriyle görselleştirilir.

- **Üçüncü Adım - Modelin Kurulması:** XGBoost kütüphanesinden XGBRegressor sınıfı seçilir. Modelde kullanılacak ağaç sayısı ve derinlik parametreleri belirlenir. Eğitim ve test veri setlerinin oranları belirlendikten sonra model tanımlanır ve eğitim verileri ile fit edilir.

- **Dördüncü Adım - Tahmin ve Sonuçların Görselleştirilmesi:** Model, yatay eksenle yer alan günlere göre kapanış fiyatlarını tahmin eder. Gerçek kapanış fiyatları ile model tarafından tahmin edilen fiyatlar, Matplotlib kullanılarak bir grafik üzerinde karşılaştırılır ve görselleştirilir.

2.1.3. Yapay Sinir Ağları (YSA)

Yapay sinir ağları (YSA), insan beyninin öğrenme, yeni bilgiler üretme, genelleme yapma ve keşif yeteneklerini, dış bir müdahale olmadan başarıyla gerçekleştirebilen bilgisayar sistemleridir. Bu ağlar farklı yapılarla tasarlanabilir, ancak en yaygın kullanılan model Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları (Multiple Layer Perceptron – MLP) olarak bilinir. Çalışmada, Bitcoin fiyat tahmininde MLP modeli tercih edilmiştir. MLP, giriş katmanı (input layer), bir veya daha fazla gizli katman (hidden layer) ve çıkış katmanı (output layer) olmak üzere üç ana katmandan oluşur, [12].



Şekil 3. Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağları Genel Yapısı

Şekil 3'te de gösterildiği üzere, giriş katmanı dışarıdan alınan veriyi alır ve bu işlem, verinin yapay sinir ağlarına girişini simgeler. Ardından, çeşitli bağlantı yöntemleriyle veriler gizli katmana iletilir. Gizli katman sayısı birden fazla olabilir. Sonrasında, veriler yine bağlantılar aracılığıyla gizli katmandan çıkış

katmanına yönlendirilir. Eğer ağ yapısında gizli katman bulunmazsa, veriler doğrudan çıkış katmanına iletilir.

Yapay sinir ağlarıyla tahmin yöntemi Python 3.7 programlama dilinde Pandas, Numpy, SciKit-Learn, Keras, Pyplot, Matplotlib kütüphanelerini kullanarak gerçekleştirilmiştir. Adımlar şu şekildedir:

- **Birinci Adım - Veri Yükleme:** Pandas kütüphanesi aracılığıyla veritabanındaki veriler alınır ve yalnızca kapanış fiyatları kullanılarak veri ölçeklendirilir.

- **İkinci Adım- Veri Ön İşleme:** Veri setindeki gerekli özellikler sütunlara atanır ve Numpy kütüphanesi ile iki boyutlu hale getirilir. Ardından, gözlem verileri Matplotlib ile grafik üzerinde görselleştirilir.

- **Üçüncü Adım - Modelin Kurulması:** Scikit-learn kütüphanesinin preprocessing modülünden MinMaxScaler sınıfı kullanılarak veri seti normalize edilir. Bu sınıf bir değişkene atanır ve hangi aralıktaki değerlerin kullanılacağına karar verilir.

- **Dördüncü Adım - Tahmin ve Sonuçların Görselleştirilmesi:** Eğitim kümesi, modelin geçmiş verilerle eğitildiği veri kümesidir ve tüm verinin %t'sini kapsar. Eğitim kümesindeki veri sayısı, Denklem 1'deki formüle göre hesaplanır.

$$EKVS=n*t/100 \quad (1)$$

Test kümesi, eğitim kümesinden farklı olarak, yalnızca eğitim sırasında kullanılmayan verilerden oluşur. Bu küme, Denklem 2 ile ifade edilir.

$$TKVS=n-EKVS \quad (2)$$

- **Beşinci Adım - Modelin Kurulması ve Görselleştirilmesi:** Derin öğrenme modelini oluşturmak için Keras kütüphanesinden Sequential sınıfı, Dense ve Dropout katmanları kullanılır. Bu sınıf bir değişkene atanır ve modelde kullanılacak katmanlar, katman sayısı, optimizasyon teknikleri ve kayıp fonksiyonu belirtilir. Veriler daha sonra Pyplot ile görselleştirilir.

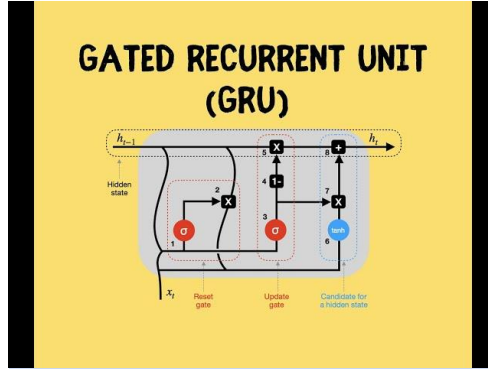
- **Altıncı Adım - Tahmin ve Sonuçların Görselleştirilmesi:** Eğitim ve test verileri, Sequential sınıfına ait model ile tahmin edilir. Tahmin işlemi sonrası veriler orijinal ölçeğe geri döndürülür ve gerçek kapanış fiyatları ile tahmin edilen fiyatlar, Matplotlib kullanılarak görselleştirilir.

2.2. Derin Öğrenme

Derin öğrenme, sinir ağları algoritmalarının gelişmiş bir türüdür ve çok katmanlı yapılarla verileri işleyerek karmaşık sonuçlar elde eder. Makine öğrenmesinin bir alt dalı olan derin öğrenme, denetimli ve denetimsiz öğrenme yöntemlerini kullanabilir. Bu yöntem, verilerin özelliklerini gizli katmanlarda öğrenerek çeşitli veri dönüşümleri yapar ve bu sayede görüntü işleme, doğal dil işleme, ses tanıma ve zaman serisi tahminleri gibi birçok alanda etkili bir şekilde uygulanır, [13].

2.2.1. Geçitli Yinelemeli Birim (GRU)

GRU (Geçitli Yinelemeli Birim), LSTM'lere göre daha basit bir alternatif olarak geliştirilen bir tekrarlayan sinir ağıdır. Temel olarak, ağız gizli durumunu her adımda seçici bir şekilde güncellemek için geçit mekanizmalarını kullanır. Bu mekanizmalar, bilgi akışını kontrol etmek için kullanılır ve GRU'nun sıfırlama ve güncelleme olmak üzere iki ana geçit türü bulunur. Sıfırlama kapısı, önceki gizli durumun ne kadar unutulması gerektiğini belirlerken, güncelleme kapısı ise yeni girdilerin ne kadarının gizli durumu güncellemek için kullanılacağını kontrol eder. GRU ağı, ardışık verileri etkin şekilde modelleyerek doğal dil işleme uygulamalarında, özellikle dil modelleme ve konuşma tanıma başarılıdır (www.medium.com).



GRU'nun kapıları şu şekilde açıklanabilir:

1. **Güncelleme Kapısı (z):** Geçmiş bilgilerin ne kadarının gelecekteki bilgilere aktarılacağına karar verir. LSTM'nin çıkış kapısına benzer bir işlevi vardır.
2. **Sıfırlama Kapısı (r):** Geçmiş verilerin ne kadarının unutulacağını belirler. LSTM'nin giriş ve unutma kapılarının birleşimine benzer bir yapıdadır.

3. **Mevcut Bellek Kapısı (h_t):** Bu kapı genellikle göz ardı edilir, ancak giriş modülasyon kapısının bir alt parçası olarak sıfırlama kapısına dahil edilir. Girişe doğrusal olmayanlık katmak ve sıfır-ortalama yapmak amacıyla kullanılır. Ayrıca, geçmiş bilgilerin geleceğe aktarılacak olan mevcut bilgilere etkisini azaltmak için sıfırlama kapısının bir parçası haline gelir(www.geeksforgeeks.org).

Geçitli yinelemeli birim tahmin yöntemi Python 3.7 programlama dilinde Pandas, Numpy, SciKit-Learn, Keras, Pyplot, Matplotlib kütüphanelerini kullanarak gerçekleştirilmiştir. Adımlar şu şekildedir:

- **Birinci Adım - Veri Yükleme:** Pandas kütüphanesi ile veritabanındaki veriler alınır ve sadece kapanış fiyatları seçilerek veriler ölçeklenir.

- **İkinci Adım- Veri Ön İşleme:** Veri setindeki özellikler, ilgili sütunlara atanır ve Numpy kütüphanesi kullanılarak veriler iki boyutlu formata dönüştürülür. Veriler, Matplotlib kütüphanesi ile grafik üzerinde görselleştirilir.

- **Üçüncü Adım - Modelin Kurulması:** Verilerin normalize edilmesi için Scikit-learn kütüphanesinden MinMaxScaler sınıfı uygulanır. Bu sınıf, belirli bir aralıkta değerleri ölçeklendirmek için bir değişkene atanır.

- **Dördüncü Adım - Tahmin ve Sonuçların Görselleştirilmesi:** Eğitim kümesi, modelin öğrenmesi için kullanılan geçmiş verilerden oluşur. Eğitim kümesinin oranı tüm veri setinin %t'si olmak üzere, Denklem 3'de belirtilen formülle eğitim verisi sayısı belirlenir.

$$EKVS=n*t/100 \quad (3)$$

Test kümesi, eğitim kümesinden farklı olarak, yalnızca eğitim sırasında kullanılmayan verilerden oluşur. Bu küme, Denklem 4 ile ifade edilir.

$$TKVS = n - EKVS \quad (4)$$

- **Beşinci Adım - Modelin Kurulması ve Görselleştirilmesi:** Zaman serisi verisi için Keras kütüphanesinden Sequential sınıfı seçilir. Dense ve Dropout katmanları eklenir. Modelin katmanları, katman sayısı, optimizasyon yöntemi ve kayıp fonksiyonu belirlenerek sınıfa atanır. Veriler, Pyplot kullanılarak görselleştirilir.

- **Altıncı Adım - Tahmin ve Sonuçların Görselleştirilmesi:** Eğitim ve test verileri kullanılarak, Sequential sınıfı ile tahmin yapılır. Tahmin sonuçları orijinal

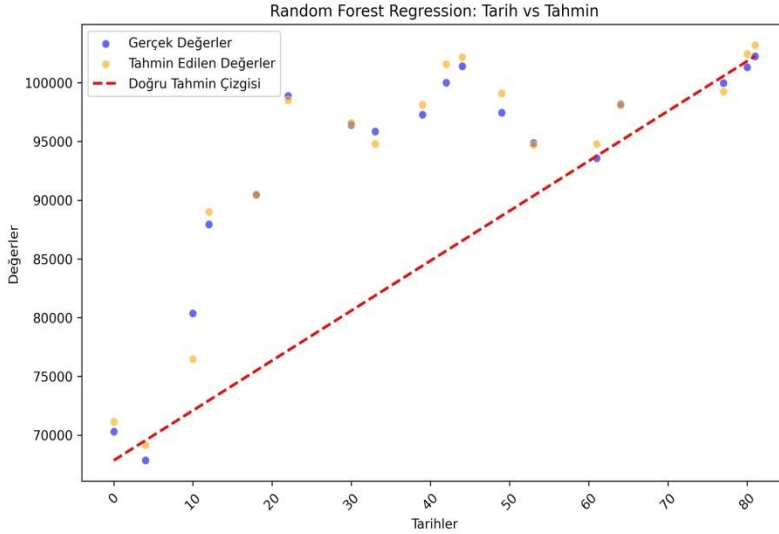
ölçeğe geri dönüştürülür ve gerçek kapanış fiyatları ile tahmin edilen değerler Matplotlib kütüphanesiyle görselleştirilir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmanın veri seti 31/10/2024 ile 28/01/2025 tarihleri arasındaki BTC açılış, kapanış, gün içi en düşük değer, gün içi en yüksek değer, volume değerleri baz alınarak makine öğrenme algoritmalarından Random Forest Regresyon, XGBoost Regresyon ve Yapay Sinir Ağları(YSA), derin öğrenme algoritmalarından ise GRU yöntemi kullanılmıştır. Amacımız bu tahmin yöntemlerinden hangisinin BTC kapanış fiyat tahmini konusunda daha iyi tahmin verdiğini bulmaktır.

3.1. Random Forest Regresyon Modeli

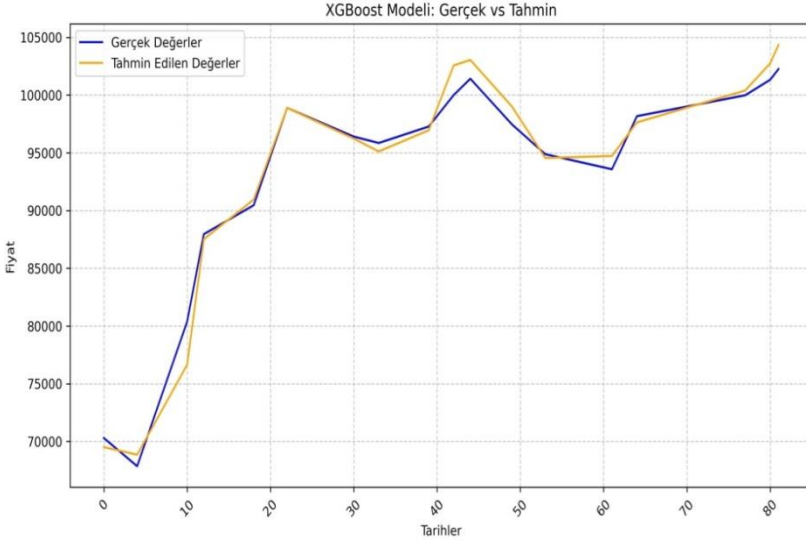
Scikit-learn kütüphanesinden çağrılan RandomForestRegressor sınıfında karar ağacı sayısı 100 ve rassallık durumunu 42 olarak alınmıştır. Karar ağacı sayısı arttıkça daha uzun sürede ama hata oranı çok değişmeyen durumlar elde ederken, karar ağacı sayısı azalınca hata oranının arttığı gözlemlenmiştir. Aşağıda, Random Forest Regresyon için gerçek ve tahmin değerleri grafik olarak görselleştirilmiştir.



3.2. XGBoost Regresyon Modeli

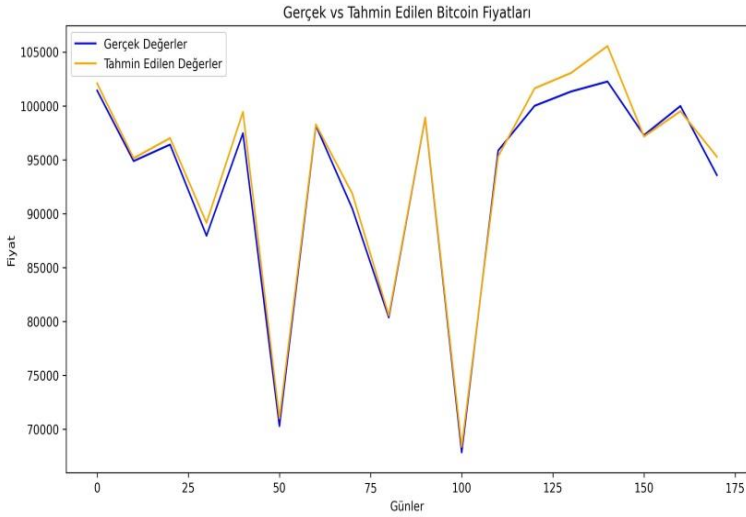
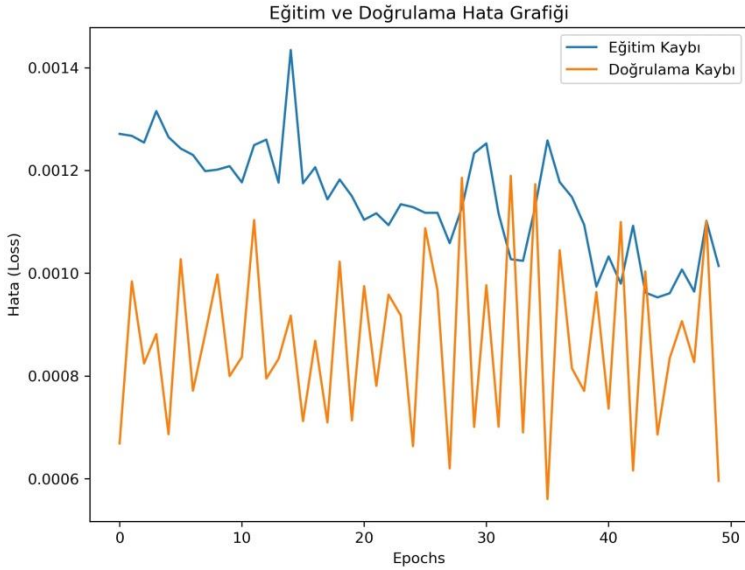
XGBoost kütüphanesinden çağrılan XGB sınıfında karar ağacı sayısı 100, maksimum derinliği 5 ve öğrenme oranı 0.1 olarak alınıp model oluşturulmuştur.

Daha sonra modeli fit ederek tahmin yapılmıştır. Aşağıda, XGBoost regresyon için gerçek ve tahmin değerleri grafik olarak görselleştirilmiştir.



3.3. Yapay Sinir Ağları

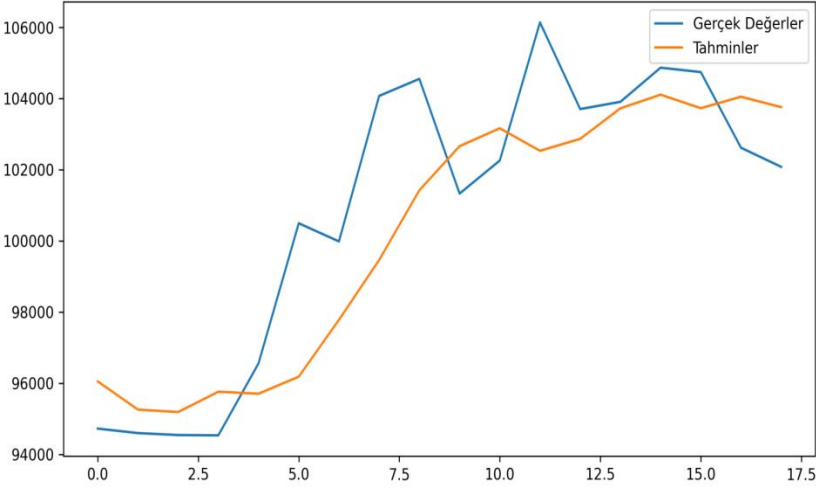
Veriler normalize edildikten sonra, eğitim ve test setleri Denklem 1 ve Denklem 2 kullanılarak belirlenmiştir. Veri setinin %80'i eğitim kümesi için, %20'si ise test kümesi için ayrılmıştır. YSA modeli 4 katmandan oluşmaktadır. İlk üç katmanda blok sayısı 224 olarak belirlenmiş ve bu yapı, tahminlerin daha doğru olmasına olanak sağlamıştır. Aktivasyon fonksiyonu olarak "relu" seçilmiştir, çünkü relu fonksiyonu hızlıdır ve kaybolan gradyan sorununu minimize eder. Son katman ise sadece bir çıktı vereceği için blok sayısı 1 olarak ayarlanmıştır. Ağın iyileştirme fonksiyonu "adam(momentum)" olarak seçilmiştir, bu yöntem özellikle değişken piyasa verileriyle çalışan sistemlerde stabil sonuçlar sağlar. Kayıp fonksiyonu olarak Ortalama Karesel Hata (MSE) kullanılmıştır. En iyi sonuç, 100 epoch ve 16 batch size ile elde edilmiştir. Aşağıda, YSA modeli için gözlem ve tahmin değerleri, eğitim ve doğrulama hataları grafik üzerinde görselleştirilmiştir.



3.4. GRU(Gradient Recurrent Unit)

Veriler normalize edildikten sonra, eğitim ve test verileri Denklem 1 ve Denklem 2 kullanılarak ayrılmıştır. Veri setinin %80'i eğitim seti olarak, geri kalan %20'si ise test seti olarak belirlenmiştir. Adım sayısı, en düşük hata oranı için 60 olarak seçilmiştir. GRU ağı, toplamda 4 katmandan oluşmaktadır. İlk üç katmanda blok sayısı 160 olarak belirlendiğinde, tahminlerin daha doğru olduğu gözlemlenmiştir. Son katmanda yalnızca bir çıktı olduğu için blok sayısı 1 olarak ayarlanmıştır. Modelin iyileştirilmesi için "adam(momentum)" optimizasyon

fonksiyonu tercih edilmiştir. Bu optimizasyon yöntemi, Bitcoin gibi değişken piyasa verilerinde stabil çalışarak hızlı öğrenme sağlar. Kayıp fonksiyonu olarak Ortalama Karesel Hata (MSE) kullanılmıştır. En iyi sonuç, 50 epoch ve 16 batch size ile elde edilmiştir. Aşağıda, GRU sinir ağına ait gözlem ve tahmin değerleri görsel olarak grafik üzerinde sunulmuştur.



3.5. İstatistiksel Analiz

Bu çalışmada, dört farklı tahmin yöntemi kullanılarak elde edilen tahmin sonuçları ve gerçek değerler karşılaştırılmış ve analiz edilmiştir. Verilere en uygun çözümü belirlemek için hata ölçütleri olarak R-Kare (R^2), Ortalama Karekök Hata (Root Mean Square Error - RMSE) ve Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error - MAE) kullanılmıştır. Bu hata metrikleri, zaman serisi verilerinde tahminlerin doğruluğunu değerlendirmede yaygın bir şekilde başvurulan yöntemlerdir. R^2 , Denklem 5'te, MAE, Denklem 6'da ve RMSE, Denklem 7'de tanımlanmıştır, [1].

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_1^n (y_i - y_i')^2}{\sum_1^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (5)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_1^n |y_i - y_i'| \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n (y_i - y_i')^2} \quad (7)$$

- y_i gerçek değerler,
- y_i' tahmin edilen değerler,

- $\bar{y}$ gerçek değerlerin ortalamasıdır,
- n ise veri setindeki toplam örnek sayısıdır.

SciKit-Learn kütüphanesindeki metrics fonksiyonu, MAE ve R^2 skorlarının hesaplanmasına olanak tanırken, RMSE değeri için Math kütüphanesinin sqrt fonksiyonu kullanılmıştır. Denklem 5, Denklem 6 ve Denklem 7 doğrultusunda, Tablo 4'teki makine öğrenmesi algoritmalarının hata oranları hesaplanmıştır. Bu değerlere göre, Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli, hem MAE hem de RMSE açısından oldukça düşük hata oranlarına sahip olup, %98 başarı oranıyla en iyi performansı sergileyerek en yüksek doğruluğa ulaşmıştır. Random Forest Regresyon modeli ise %98 başarı oranına ulaşmakla birlikte, YSA modelinin gerisinde kalarak ikinci sırada yer almıştır. XGBoost modelinin başarı oranı ise %97 ile en düşük seviyede kalarak, diğer modellere kıyasla daha düşük bir doğruluk sergilemiştir.

Tablo 4. Makine Öğrenmesi Modellerinin Hata Değerleri

Modeller	Hata Değerleri		
	MAE	RMSE	R^2
Random Forest Regresyon	988.3	1307.74	0.98
XGBoost Regresyon	1073.45	1423.65	0.97
YSA	0.021	0.029	0.98

SciKit-Learn kütüphanesindeki metrics fonksiyonu ile MAE ve R^2 skorları hesaplandıktan sonra, RMSE değeri Math kütüphanesinin sqrt fonksiyonu ile elde edilmiştir. Derin öğrenme algoritmalarına ait hata sonuçları, Tablo 5'te gösterilmiştir. GRU modelinin hata değerlerine bakıldığında, MAE'nin RMSE'den daha düşük olması, modelin büyük hatalar yapmadığını ve tahminlerin genellikle doğru olduğunu göstermektedir. Ayrıca, R^2 skorunun %70 olması, modelin başarılı olduğunu ancak doğruluğunun artırılabilirliğini ve iyileştirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Tablo 5. Derin Öğrenme Modellerinin Hata Değerleri

Modeller	Hata Değerleri		
	MAE	RMSE	R^2
GRU Sinir Ağı	1707.03	2137.18	0.70

4. SONUÇ

İnternet kullanımının artmasıyla birlikte güvenli veri depolama ihtiyacı da önemli hale gelmiştir. İşletmeler, güvenli veri yönetimi için yeni teknolojilere ihtiyaç duymakta olup, bu çözümlerden biri de blok zinciri teknolojisidir. Blok zinciri, kripto para birimlerinin temel altyapısını oluşturmakla birlikte birçok farklı alanda da kullanılmaktadır. Bitcoin, blok zinciri teknolojisini kullanarak oluşturulan ve dijital para birimleri arasında en yüksek piyasa değerine sahip olan kripto para birimidir. Ancak merkezi bir kontrol mekanizması bulunmadığından, Bitcoin fiyatı piyasa manipölasyonlarına ve dış etkilere karşı savunmasızdır. Bu nedenle, özellikle küçük yatırımcıların doğru yönlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, Bitcoin fiyat hareketlerini tahmin etmek ve analiz etmek amacıyla makine öğrenmesi ve derin öğrenme teknikleri kullanılmıştır. 31/10/2024 ile 28/01/2025 tarihleri arasındaki BTC kapanış, açılış, en düşük, en yüksek değerler ve işlem hacminden oluşan 89 gözlem içeren veri seti oluşturulmuş ve bu veri seti üzerinde Random Forest Regresyon, XGBoost, Yapay Sinir Ağları (YSA) ve derin öğrenme modeli olarak Geçitli Yinelemeli Birim (GRU) uygulanmış ve algoritmalar, Python 3.7 dili ve Spyder (Anaconda3) editörüyle geliştirilmiştir. Model performansları MAE, RMSE ve R^2 hata metrikleri kullanılarak değerlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre, en yüksek başarı oranı %98 ile Yapay Sinir Ağları modelinde gözlemlenmiş, bunu sırasıyla Random Forest Regresyon, XGBoost ve GRU modelleri takip etmiştir. Modellerin doğruluk oranlarını artırmak için veri setinin genişletilmesi ve daha fazla değişkenin dahil edilmesi gerektiği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- [1] Alhnaity, B., Abbod, M. (2020). A New Hybrid Financial Time Series Prediction Model. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 95, 103873.
- [2] Akay, M. K., Canik, F., Yeşilyurt, C., Günkut, M. Ş. (2021). Yapay zeka teknikleri ile kripto para değeri tahmini. *Ekonomi Bilimleri Dergisi*, 14(1), 72-101.
- [3] Akşehir, Z. D., Kılıç, E. (2019). Makine öğrenmesi teknikleri ile banka hisse senetlerinin fiyat tahmini. *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 12(2), 30-39.
- [4] Aras, S. (2019). Kripto Para Fiyatlarının Klasik Ve Yapay Sinir Ağı Modelleri İle Tahmini. *Kafkas Üniversitesi İktisadi Ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 10(20), 608-640.
- [5] Ateş, B. A. (2016). Kripto para birimleri, bitcoin ve muhasebesi. *Çankırı Karatekin Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 7(1), 349-366.
- [6] Atlan, F. (2019). Kripto para değerlerinin yapay zekâ teknikleri ile tahmini (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Burdur).
- [7] Dağlı, İ. (2019). Kripto Paraların Dünya Ekonomisindeki Makroekonomik Boyutu Ve Türk Lirası Bazında Yatırım-Tasarruf Aracı Olarak Kripto Paralara Genel Bir Bakış. *Journal of Empirical Economics And Social Science*, 1(1), 40-49.
- [8] Hitam, N. A., Ismail, A. R. (2018). Comparative performance of machine learning algorithms for cryptocurrency forecasting. *Ind. J. Electr. Eng. Comput. Sci*, 11(3), 1121-1128.
- [9] Nakamoto, S. (2008). Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. Satoshi Nakamoto.
- [10] Ömrüüzun, B., Saldanlı, A. (2019), Yapay Sinir Ağları İle Kripto Paraların Fiyat Modellemesi (İstanbul Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi).
- [11] Özkul, F., Baş, E. (2020). Dijital Çağın Teknolojisi Blokzincir Ve Kripto Paralar: Ulusal Mevzuat Ve Uluslararası Standartlar Çerçevesinde Mali Yönden Değerlendirme. *Muhasebe Ve Denetime Bakış*, 20(60), 57-74.
- [12] Öztemel, E. (2006). Yapay Sinir Ağları, 2. Baskı, İstanbul, Papatya Yayıncılık.
- [13] Sakarya, Ş., Yılmaz, Ü. (2019). Derin öğrenme mimarisi kullanarak BİST30 indeksinin tahmini. *European Journal of Educational and Social Sciences*, 4(2), 106-121.
- [14] Stokes, R. (2012). Virtual money laundering: the case of Bitcoin and the Linden dollar. *Information & Communications Technology Law*, 21(3), 221-236.
- [15] Şafak, H. İ. (2017). <https://medium.com/t%C3%BCrkiye/makine-%C3%B6%C4%9Frenmesi-nedir-20dee450b56e>.

<https://api.binance.com/api/v3/klines>

www.medium.com

www.geeksforgeeks.org