



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**DİREKT BLUE 71 BOYAR MADDELİ SULU
ÇÖZELTİLERDEN İLERİ OKSİDASYON PROSESLERİ
İLE KOİ VE RENK GİDERİMİ**

Yüksek Lisans Tezi

Merve TAŞÇI

Danışman

Doç. Dr. Nevzat BEYAZIT

SAMSUN

2022

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**



**DİREKT BLUE 71 BOYAR MADDELİ SULU
ÇÖZELTİLERDEN İLERİ OKSİDASYON PROSESLERİ
İLE KOİ VE RENK GİDERİMİ**

Yüksek Lisans Tezi

Merve TAŞCI

Danışman

Doç. Dr. Nevzat BEYAZIT

SAMSUN

2022

TEZ KABUL VE ONAY

Merve TAŞÇI tarafından, Doç. Dr. Nevzat BEYAZIT danışmanlığında hazırlanan “Direkt Blue 71 Boyar Maddeli Sulu Çözeltilerden İleri Oksidasyon Prosesleri İle KOİ Ve Renk Giderimi” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 12.11.2020 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	İmza	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. XXXX XXXX Ondokuz Mayıs Üniversitesi Anabilim Dalı		<input type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
Üye	Dr. Öğr. Üyesi XXXX XXXX Ondokuz Mayıs Üniversitesi Anabilim Dalı		<input type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
Üye	Doç. Dr. XXXX XXXX Ondokuz Mayıs Üniversitesi Anabilim Dalı		<input type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

ONAY
... / ... / ...
Prof. Dr. Ali BOLAT
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır

İmza

... / ... / 2022

Merve TAŞÇI

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : Direkt Blue 71 Boyar Maddeli Sulu Çözeltilerden İleri Oksidasyon Prosesleri ile KOİ ve Renk Giderimi

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 12/01/2022 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 21

Tek kaynak oranı : % 3 çıkmıştır.

İmza

12/01/2022

Doç. Dr. Nevzat BEYAZIT

ÖZET

DİREKT BLUE 71 BOYAR MADDELİ SULU ÇÖZELTİLERDEN İLERİ OKSİDASYON PROSESLERİ İLE KOİ VE RENK GİDERİMİ

Merve TAŞÇI

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans, Ocak/2022

Danışman: Doç. Dr. Nevzat BEYAZIT

Yürütülmüş olan bu tez çalışmasında, Direct Blue 71 boyar maddeli sulu çözeltilerinden UV, UV/H₂O₂, UV/Fe⁺², Fenton ve Foto-Fenton prosesleri ile KOİ ve renk giderim verimleri incelenmiştir. Boyar maddeler tekstil endüstrisinde kumaşa renk vermek için sıkça kullanılmakta olup atık sudan boyar maddelerin giderimi oldukça zor bir işlemdir. Prosesleri etkileyebilecek faktörlerden sulu çözeltinin pH'ı, başlangıç hidrojen peroksit ve demir iyonu konsantrasyonu ve reaksiyon süresinin etkisi incelenmiştir. Ayrıca klasik Fenton oksidasyonuna eklenen UV ışığının atıksulardan KOİ ve renk giderimi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Artan hidrojen peroksit ve demir iyonu konsantrasyonu ile KOİ ve renk giderim verimlerinin arttığı ancak yüksek konsantrasyonlarda ortamda oluşan OH• radikallerinin yetersiz kaldığı, bu nedenle giderim veriminin düştüğü saptanmıştır. Artan pH ile KOİ ve renk giderim verimlerinin azaldığı tespit edilmiş ve optimum sonuçlara iki proseste de pH 3'de ulaşılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Fenton,Foto-Fenton,KOİ ve Renk Giderimi,UV

ABSTRACT

DIRECT BLUE 71 DYES FROM AQUEOUS SOLUTIONS COD AND DECOLORIZATION BY ADVANCED OXIDATION PROCESSES

Merve TAŞCI

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Environmental Engineering

Master, January/2022

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Nevzat BEYAZIT

In this thesis study, UV, UV/H₂O₂, UV/Fe⁺², Fenton and Photo-Fenton processes and COD and decolorization yields of Direct Blue 71 dyestuff aqueous solutions were examined. Dyes are often used in the textile industry to give color to fabric, and the removal of dyes from wastewater is a rather difficult process. Among the factors that may affect the processes, the pH of the aqueous solution, the initial concentration of hydrogen peroxide and iron ions, and the effect of reaction time were studied. In addition, the effect of UV light added to classical Fenton oxidation on COD and decolorization from wastewater has been investigated. It has been found that COD and decolorization yields increase with increasing hydrogen peroxide and iron ion concentration, but the OH-radicals formed in the environment at high concentrations remain insufficient, so the removal efficiency decreases. It was found that COD and decolorization efficiencies decreased with increasing pH, and optimal results were achieved at pH 3 in both processes.

Keywords: Fenton,Photo-Fenton,COD and Decolorization,UV

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜRLER

Yüksek Lisans tezimin oluşumundan tamamlanmasına kadar geçen süreçte kıymetli bilgi ve görüşlerinden yararlandığım, her türlü desteğini esirgemeyen değerli hocam Sayın Doç. Dr. Nevzat Beyazıt'a, hayatımın her döneminde, aldığım her kararda, lisansüstü eğitimine başlamamı ve bu tezin ortaya çıkmasını büyük bir istekle bekleyen, her zaman arkamda durup maddi manevi desteklerini ve sevgilerini hiç esirgmeden sunan hiçbir şeye değişmeyeceğim canım ailem'e, tecrübeleriyle, destekleriyle ve güzel dostluklarıyla her daim yanımda olan, çalışmamdaki her zorlukta beni yüreklendiren ve bana yardım eden canım arkadaşlarıma ve bana geleceğimle ilgili hayal kurduran ne zaman yardım istesem her koşulda yardım eden beni her zaman destekleyip yüreklendiren akademisyen olma yolundaki ilk adımı attıran bana hayata bakarken farklı pencereler açan çok kıymetli hocam Akdeniz Üniversitesi Dr.Öğr.Üyesi Adem ARMAN'a ve daha sayamadığım beni ben yapan, şimdiki halime gelmemi sağlayan emeği geçen herkese çok teşekkür ederim.

Saygı ve sevgilerimle.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

TEZ KABUL VE ONAY.....	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI.....	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜRLER.....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	viii
KISALTMALAR.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
TABLO DİZİNİ.....	xi
1.GİRİŞ.....	1
2.KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR ÖZETİ.....	3
2.1. Tekstil Endüstrisi.....	3
2.1.1 Tekstil Endüstrisi Atıksu Kaynakları.....	3
2.1.1.1 Haşılama.....	4
2.1.1.2. Yıkama.....	4
2.1.1.3Ağartma.....	4
2.1.1.4 Merserizasyon.....	5
2.1.1.5 Boyama.....	5
2.1.1.6 Apreleme.....	5
2.2.TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAR BOYAR MADDELER.....	6
2.1.Azo Boyarmadde.....	8
2.2. Reaktif Boyalar.....	9
2.3.Vat (Küpe) Boyarmaddeleri.....	9
2.4.Dispers Boyarmaddeler.....	10

2.5.Kükürt Boyarmaddeler	11
2.6.Asit Boyarmaddeleri	12
2.7.Bazik (Katyonik) Boyarmaddeler	13
2.8. Direkt Boyarmaddeleri	14
2.3. İLERİ OKSİDASYON PROSESLERİ (İOP).....	16
2.3.1 UV Oksidasyonu.....	16
2.3.2 UV/H ₂ O ₂ Oksidasyonu.....	17
2.3.3 UV/Fe ⁺² Oksidasyonu	18
2.3.4. Fenton Prosesleri	18
2.3.5. Foto-Fenton Prosesleri.....	21
3. MATERYAL VE METOT	23
3.1. Materyal.....	23
3.1.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Boyar Madde ve Kimyasallar.....	23
5.1.2.Kullanılan Cihazlar.....	24
5.2. Yöntem	24
5.2.1. Fenton Prosesi Düzeneği	24
3.2.2. Foto-Fenton Prosesi Düzeneği.....	26
3.3. Deneysel Çalışmalar	26
3.3.1. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) Analizi.....	27
3.3.2. Renk Analizi	28
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	29
4.1. UV Oksidasyon.....	29
4.1.1. UV Oksidasyon pH Etkisi	29
4.2. UV/H ₂ O ₂ Oksidasyonu.....	31
4.2.1. UV/H ₂ O ₂ Oksidasyonu pH Etkisi	31
4.2.2. Hidrojen Peroksit Konsantrasyonunun Etkisi (UV/H ₂ O ₂).....	33

4.3. UV/Fe ⁺² Oksidasyonu	34
4.3.1. UV/Fe ⁺² Oksidasyonu pH Etkisi.....	34
4.3.2. Fe ⁺² Konsantrasyonunun Etkisi	36
4.4. Fenton (H ₂ O ₂ /Fe ⁺²) Prosesi.....	39
4.4.1. Fenton (H ₂ O ₂ /Fe ⁺²) Prosesi pH Etkisi	39
4.4.2. Hidrojen Peroksit Konsantrasyonunun Etkisi.....	41
4.4.3. Fe (II) Konsantrasyonunun Etkisi.....	44
4.5. Foto-Fenton (UV/H ₂ O ₂ /Fe ⁺²) Prosesi	46
4.5.1. Foto-Fenton (UV/H ₂ O ₂ /Fe ⁺²) Prosesi pH Etkisi.....	46
4.5.2. Hidrojen Peroksit Konsantrasyonunun Etkisi.....	48
4.5.3. Fe(II) Konsantrasyonunun Etkisi.....	50
4.6. Maliyet Hesabı.....	52
4.6. Reaksiyon Kinetikleri	54
5. SONUÇ	65
KAYNAKÇA	69
ÖZ GEÇMİŞ.....	73

SİMGELER VE KISALTMALAR

CO₂	:Karbon dioksit
Fe⁺²	:Demir (II)
Fe⁺³	:Demir (III)
Fe₂O₃	:Demir (III) Oksit
H⁺	:Hidrojen
H₂O	:Su
H₂O₂	:Hidrojen peroksit
H₂SO₄	:Sülfirik asit
HCl	:Hidrojen klorür
HO₂[·]	:Hidroperoksil radikali
NaCl	:Sodyum Klorür
NaOH	:Sodyum Hidroksit
O₂	:Oksijen
O₃	:Ozon
OH⁻	:Hidroksit
OH[·]	:Hidroksil radikali
TiO₂	:Titanyum dioksit
ZnO	:Çinko oksit
ZnS	:Çinko sülfür

KISALTMALAR

İOP	:İleri oksidasyon prosesi
KOİ	:Kimyasal Oksijen İhtiyacı
BOİ	:Biyolojik Oksijen İhtiyacı
US	:Ultrases
UV	:Ultraviyole

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Azo boya kimyasal yapısı (Benkhaya, El Harfi, 2017).....	8
Şekil 2.2. Reactive Black 5'in kimyasal yapısı (Gulnaz, 2006).....	9
Şekil 2.3.Vat boyarmaddesi kimyasal yapı örneği; Vat Blue 5 (Benkhaya ve Elharfi, 2017) .	10
Şekil 2.4.C.I. Disperse Red 8' in kimyasal yapısı (Benkhaya, El Harfi, 2017)	11
Şekil 2.5.Kükürt boyarmaddesinin kimyasal yapı örneği(Sulfur Black) (Nguyen vd, 2013) .	12
Şekil 2.6.Asit Mavi 25 Boyarmaddesi Kimyasal Yapısı(Benkhaya, El Harfi, 2017).	13
Şekil 2.7. Bazik boya kimyasal yapı örneği malaşit yeşili(Bibak ve Aliabadi, 2014)	14
Şekil 2.8.Direkt Mavi 71 Boyarmaddesinin Kimyasal Yapısı	15
Şekil 3.1.Fenton prosesi deney düzeneği	25
Şekil 3.2.Foto-Fenton prosesi deney düzeneği.....	26
Şekil 3.3.KOİ kalibrasyon grafiği.....	28
Şekil 3.4.Direkt Blue 71 boyar maddesi için farklı konsantrasyonlarda dalga boyu taraması	28
Şekil 4.1.Sulu çözeltinin KOİ giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi.....	30
Şekil 4.2.Sulu çözeltinin renk giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi.....	30
Şekil 4.3. Sulu çözeltinin KOİ giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi.....	32
Şekil 4.4.Sulu çözeltinin renk giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi.....	32
Şekil 4.5.Sulu çözeltinin KOİ giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi.....	33
Şekil 4.6.Sulu çözeltinin renk giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi.....	33
Şekil 4.7.Sulu çözeltinin KOİ giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi.....	35
Şekil 4.8.Sulu çözeltinin renk giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi.....	36
Şekil 4.9.Sulu çözeltinin KOİ giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi.....	37
Şekil 4.10.Sulu çözeltinin KOİ giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi.....	37
Şekil 4.11.Sulu çözeltinin KOİ giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi.....	40
Şekil 4.12.Sulu çözeltinin renk giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi.....	40
Şekil 4.13.Sulu çözeltinin KOİ giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi.....	42
Şekil 4.14.Sulu çözeltinin renk giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi.....	43
Şekil 4.15. Sulu çözeltinin KOİ giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi.....	44
Şekil 4.16.Sulu çözeltinin renk giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi.....	45
Şekil 4.17.Sulu çözeltinin KOİ giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi.....	47
Şekil 4.18. Sulu çözeltinin KOİ giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi.....	47
Şekil 4.19. Sulu çözeltinin KOİ giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi.....	49
Şekil 4.20. Sulu çözeltinin KOİ giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi.....	49

Şekil 4.21.Sulu çözeltinin KOİ giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi.....	51
Şekil 4.22.Sulu çözeltinin KOİ giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi.....	51

TABLO DİZİNİ

Tablo 3.1. Direct Blue 71 boyarmaddesinin özellikleri;	23
Tablo 3.2. Deneylerde kullanılan kimyasallar özellikleri ve markaları	24
Tablo 3.3. Çalışmada kullanılan cihazlar ve markaları	24
Tablo 4.1. Sulu çözeltinin pH 4,7,10 değerinde KOİ ve renk giderim verimleri.....	30
Tablo 4.2. Sulu çözeltinin KOİ ve renk giderim veriminin pH ile değişimi.....	36
Tablo 4.3. Sulu çözeltinin KOİ ve renk giderim verimlerinin Fe ⁺² konsantrasyonu ile değişimi.....	38
Tablo 4.4. UV prosesinde 0,1 ve 2. derece KOİ için reaksiyon kinetikleri	54
Tablo 4.5. UV prosesinde 0,1 ve 2. derece renk için reaksiyon kinetikleri	55
Tablo 4.6. UV/H ₂ O ₂ prosesinde farklı pH'lerde KOİ için reaksiyon kinetikleri	55
Tablo 4.7. UV/H ₂ O ₂ prosesinde farklı pH'lerde renk için reaksiyon kinetikleri	55
Tablo 4.8. UV/H ₂ O ₂ prosesinde farklı H ₂ O ₂ konsantrasyonlarında KOİ için reaksiyon kinetikleri	56
Tablo 4.9. UV/H ₂ O ₂ prosesinde farklı H ₂ O ₂ konsantrasyonlarında renk için reaksiyon kinetikleri	56
Tablo 4.10. UV/Fe ⁺² prosesinde farklı pH'lerde KOİ için reaksiyon kinetikleri.....	57
Tablo 4.11. UV/Fe ⁺² prosesinde farklı pH'lerde renk için reaksiyon kinetikleri.....	57
Tablo 4.12. UV/Fe ⁺² prosesinde farklı Fe ⁺² konsantrasyonlarında KOİ için reaksiyon kinetikleri	58
Tablo 4.13. UV/Fe ⁺² prosesinde farklı Fe ⁺² konsantrasyonlarında renk için reaksiyon kinetikleri	58
Tablo 4.14. Fenton prosesinde farklı pH'lerde KOİ için reaksiyon kinetikleri	59
Tablo 4.15. Fenton prosesinde farklı pH'lerde renk için reaksiyon kinetikleri	59
Tablo 4.16. Fenton prosesinde farklı H ₂ O ₂ konsantrasyonlarında KOİ için reaksiyon kinetikleri	60
Tablo 4.17. Fenton prosesinde farklı H ₂ O ₂ konsantrasyonlarında renk için reaksiyon kinetikleri	60
Tablo 4.18. Fenton prosesinde farklı Fe ⁺² konsantrasyonlarında KOİ için reaksiyon kinetikleri	61
Tablo 4.19. Fenton prosesinde farklı Fe ⁺² konsantrasyonlarında renk için reaksiyon kinetikleri	61
Tablo 4.20. Foto- Fenton prosesinde farklı pH'lerde KOİ için reaksiyon kinetikleri.....	62
Tablo 4.21. Foto- Fenton prosesinde farklı pH'lerde renk için reaksiyon kinetikleri.....	62
Tablo 4.22. Foto- Fenton prosesinde farklı H ₂ O ₂ konsantrasyonlarında KOİ için reaksiyon kinetikleri	63
Tablo 4.23. Foto- Fenton prosesinde farklı H ₂ O ₂ konsantrasyonlarında renk için reaksiyon kinetikleri	63

Tablo 4.24. Foto- Fenton prosesinde farklı Fe^{+2} konsantrasyonlarında KOİ için reaksiyon kinetikleri	64
Tablo 4.25. Foto- Fenton prosesinde farklı Fe^{+2} konsantrasyonlarında renk için reaksiyon kinetikleri	64

1.GİRİŞ

Canlıların, yeryüzünde yaşaması için gerekli olan doğal kaynak sudur. Günümüzde, su kaynaklarının sınırlı olmasına rağmen, suya olan ihtiyaç giderek daha da artmaktadır. Endüstrinin hızla büyümesi ve kentleşmeyle beraber temiz su ihtiyacı ve çevre kirliliği gibi sorunlar da ortaya çıkmaya başlamıştır. Bunun yanı sıra, su kaynakları, yüzey ve yeraltı suları günden güne çeşitli nedenlerle daha da kirlenmektedir. Dünyamızda çevre kirliliğinde ve su tüketiminde oldukça önemli bir etkende endüstriyel atıksulardır (Pouran vd., 2015).Hızla büyüme gösteren endüstri kollarından birisi de tekstil sanayisidir.

Günümüz dünyasında, giyim ve ev tekstili pazarındaki devamlı gelişme, değişiklik ve yeni ürünlere talep artışı, tekstil endüstrisinde fazla üretime ve tüketime yol açmıştır (Eser ve vd., 2016). Dünyada ve ülkemizde, yapılan yatırımlar, üretim ve istihdam düzeyindeki artış, atıksu özellikleri ve atıksu debisi bakımından sektörlere bakıldığında, üretim sektörü ve çevre kirlenmesi açısından tekstil endüstrisi çok önemli bir yere sahiptir (Balkan, 2019).

Ülkemizde tekstil endüstrisi, 2014 yılına ait dünya tekstil ihracatı verileri göz önünde bulundurulduğunda, bu pazarda almış olduğu %3,6 oranındaki pay ve hazır giyim sektörü ihracat verilerine göre almış olduğu %3,4' lük payla dünyada ilk on ülke arasında bulunmaktadır.(BSTB, 2016).Tekstil endüstrisi proseslerinde çok miktarda su ve kimyasal kullanılmaktadır. Bundan dolayı oluşan atık sular çeşitli değişik yapılarda kirleticiler içermektedir.

Tekstil sanayi atıksuları, organik maddelerin çok olması, toksik maddeleri barındırması, deterjan ve sabun içeriğinin varolması, yüksek pH, yağ ve gres, sülfür, renk, bulanıklık, katı maddeler ve alkalinite içeriğinden ötürü kayda değer ölçüde çevre kirliliğine sebep olmaktadır(Öztürk vd., 2009). Bu atıksular miktar ve bileşen yönünden çok farklılık gösterirler. Bu tür kirleticileri barındıran atıksuların uygun bir arıtmaya tabi tutulmadan alıcı ortama deşarj edilmesi gibi durumlarda çevresel sorunlar ortaya çıkmaktadır.(Blanco ve vd., 2014; Soares ve vd., 2015; GilPavas ve vd., 2017).

Boyar maddeler, tekstil endüstrisinde çok sık kullanılmakta ve atık suda çokça bulunabilmektedir. Boyar maddelerin, biyolojik olarak parçalanmamaları, toksik, kanserojen ve mutajenik yapıları sebebiyle ekolojik ortamlar üzerinde kötü etkiler yaratabilmektedir.

Sonuç olarak boyar madde bulunduran atıksuların verimli ve doğru tekniklerle arıtılması tekstil endüstrisinde oldukça esaslı bir konudur. Atıksuyun alıcı oratama verilmesi için uygun görülen deşarj standartlarına oldukça önem verilmektedir. Tekstil endüstrisinde boyama ve bitim prosesleriyle ilgili olarak atıksuların içeriğindeki kalıcı ve toksik endüstriyel kirleticilerle kirlilik konsantrasyonunun giderilmesi için ileri oksidasyon prosesleri iyi bir biçimde kullanılmaktadır. “İleri oksidasyon prosesleri (Fenton (H_2O_2/Fe^{+2}), Fenton-benzeri (H_2O_2/Fe^{+3}), UV/ H_2O_2/Fe^{+2} , O_3/ H_2O_2 , O_3/UV , H_2O_2/UV) ile homojen ve heterojen ileri oksidasyon prosesleri tekstil atıksularından renk, KOİ ve TOK gideriminde kullanılmaktadır”(Birgöl, Akal Solmaz, 2007).

Yürütülen tez çalışmasında, Direct Blue 71 boyar maddesinin sentetik sulu çözeltilerinden Fenton, Foto-Fenton ileri oksidasyon yöntemleri ile KOİ ve renk giderimi verimlerini belirlemek amaçlanmıştır. Her iki proseste de, oksidasyon mekanizmasını etkileyen değişkenler tespit edilerek KOİ ve renk giderimindeki optimum değerleri elde edilmiştir. Çalışılan deney koşulları olarak pH, hidrojen peroksit (H_2O_2) konsantrasyonu, demir (Fe^{+2}) konsantrasyonu ve reaksiyon süresinin farklı değerleri belirlenmiş olup bu parametrelerin giderim verimleri üzerine olan etkileri incelenmiştir.

2.KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Tekstil Endüstrisi

Tekstil endüstrisi, bütün dünyada ve özellikle de gelişmekte olan ülkelerde gelir ve istihdam bakımından en önemli sektörlerden biridir. Dünyada birinci olarak gelen yiyecek endüstrisinden sonra gelen tekstil endüstrisi ikinci büyük endüstridir. Bu endüstri dalında doğal ve yapay elyafların kullanılması ile kumaş ve diğer tekstil ürünleri üretilmektedir. Tekstil endüstrisi, üretim sürecinde kullanılan hammadde, üretilen ürün ve üretim teknolojisine bağlı olarak farklı alt gruplara ayrılmıştır. Birinci aşamada kullanılan hammaddeye bağlı olarak, pamuklu, yünlü ve sentetik lif işleyen tesisler olarak üç ana kategoride sınıflandırılabilir (Arslan ve vd., 2016).

Doğal elyaf hazırlama, sentetik elyaf hazırlama ve iplik üretimi, halı imalatı, kumaş dokuma, örme ve dokusuz yüzeyli kumaş üretimi gibi imalat aşamalarını içermektedir. Bu imalat aşamaları boyama, terbiye, baskı ve apreleme işlemleri gibi yaş (ıslak) prosesler ile eğirme, dokuma, kurutma, örme gibi kuru proseslerden faydalanılmaktadır. Kuru proseslerde su kullanımı olmadığı için su kirlenmesi açısından bir problem oluşturmazlar. Yaş proseslerde ise özellikle apreleme ve boyama işlemlerinde büyük ölçüde su harcanmaktadır. Tüketilen su, proses çıkışında atıksu olmakta ve hem oranı hem de özellikleri bakımından oldukça önemli çevresel problemlere sebep olabilmektedir (Yarmuhammed, 2012). “Ortalama bir tekstil fabrikasında 8 ton’ luk bir üretim için 1,6 milyon m³ su kullanıldığı ifade edilmiştir” (Kant, 2012). Dünyanın üretim enerjisinin % 10’u bu endüstriye harcanmaktadır.

2.1.1 Tekstil Endüstrisi Atıksu Kaynakları

Tekstil endüstrisinde üretim basamakları; ön yıkama, haşılama, dokuma, merserizasyon, haşıl sökme, yün karbonizasyonu, yıkama, keçeleştirme, apreleme, ağartma ve boyama gibi proseslerden oluşmaktadır. Her işlemde kullanılan su miktarı ve kimyasal madde miktarı aynı zamanda ortaya çıkan atıksuyun miktarını ve karakterizasyonunu belirlemektedir. Kirliliğin önemli bir kısmı miktar ve içerik olarak boyama ve apreleme işlemlerinde oluşmaktadır (Sreeja ve Sosamony, 2016).

2.1.1.1 Haşılama

Tekstil endüstrisinde ince kumaşların dokuma işlemlerinde oldukça ince iplikler kullanılmaktadır. İnce iplikler, örme işlemi sırasında oluşan gerginlikten ötürü kopabilir. Bu kopmayı önlemek için nişasta ve dekstrin gibi maddelerle kumaşın dayanıklılığı artırılır ve bu işleme boyutlandırma adı verilmektedir (Kırdar, 1995). Haşıl maddesi, atıksudaki oksijen ihtiyacını fazlalaştıran en iyi maddelerden biri olarak bilinmektedir (Kestioğlu, 1992).

2.1.1.2. Yıkama

Tekstil endüstrisindeki kumaşların boyanması ve terbiye edilmesi için haşıl işlemi uygulandıktan sonra oluşan haşıl malzemesinin atıksudan uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu işlem atık sudaki kirliliğin yüzde ellisini meydana getirir. Temiz kumaş oluşturabilmek için terbiye ve boyama işlemlerinde klor, silikat, sodyum hidroksit, sodyum bisülfid ve deterjan kullanılmaktadır. Nişastanın hidrolizinde ise asit ve enzim farklı türleri kullanılmaktadır (Kırdar, 1995).

2.1.1.3Ağartma

Ağartma işlemi, beyazlık kazandırma işlemidir. Pamuk ve diğer liflerin organik sarı gibi olan rengini yok ederek beyazlatır. Ağartma süreci genel olarak, beyaz bir kumaş elde edilmek istediğinde veya rengi açık kumaş boyama işlemi göreceksa gereklidir. Sıklıkla, sodyum hipoklorit, hidrojen peroksit veya sodyum klorit tercih edilerek uygulanan bir oksidasyon prosesidir. Ağartma işleminde kirlilik yükünün fazla çıkmasının sebebi sülfürik asit, kostik soda, sodyum bisülfid, hidroklorik asit, yüzey aktif maddeleri ve kenetleme maddeleri gibi yardımcı kimyasallar sıklıkla ağartma işlemi sırasında veya son durulama işlemlerinde kullanıldıkları içindir. Bu işlemin atıksuyu sıklıkla biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) düşük seviyelere sahip olurken katı madde içeriği fazla olmaktadır .Ağartma işleminde oluşan bu atıksudaki çözünmüş oksijen içeriği, hidrojen peroksitin(H_2O_2) ayrışmasından dolayı olağandışı bir biçimde yüksek olabilir. Bununla yanısıra, hidrojen peroksit veya klorür biyolojik arıtma işlemi esnasında toksisite problemlerine neden olabilir. Yüzde yüz yünlü ürünler veya sentetik ürünler işlem

görürken yalnızca basit ağartma işlemi uygulandığından dolayı oluşan atıksu ciddi bir kirlilik kaynağına neden olmazlar (Correia vd., 1994).

2.1.1.4 Merserizasyon

Merserizasyon işlemi ile tekstil ürünlerinin parlaklığı ayarlanır. Merserizasyon işlemi sayesinde pamuk barındıran tekstil ürünleri daha pürüzsüz hale gelir. Merserizasyon işlemi ardından ortaya çıkan atıksuda yüksek miktarda alkalinite bulunmaktadır (Kestioğlu, 1992). Merserizasyon işlemi sonrası atıksuları düşük seviyelerde biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) ve toplam katı madde oranı düşük seviyelere sahiptir. Fakat nötralizasyon işleminden önce fazla miktarda alkali olurlar. Düşük BOİ içeriğinin sebebi, yardımcı kimyasallar ve yüzey aktif maddeler gibi kullanılan etki gösteren maddelerden kaynaklanmaktadır (Correia vd., 1994).

2.1.1.5 Boyama

Boyama işleminde kumaşa veya ipliğe istenilen renk verilmektedir. Boyama prosesinde kullanılan su miktarı diğer proseslerle kıyaslandığında daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun en önemli sebebi boyama işlem öncesi ve sonrasında tabi tutulan yıkama işlemleridir. Su tüketimi tekstil endüstrisinde boyama prosesinde yaklaşık %20 olarak tespit edilmiştir (Odabaşoğlu vd., 2013).

2.1.1.6 Apreleme

Apreleme işlemi, kimyasal ve fiziksel nitelikleri farklılaşan kumaşın işlem görmesi olarak tanımlanır. Bu işlem yumuşaklık, görünüm, pürüzsüzlük, sağlamlık ve parlaklık gibi parametrelerin daha iyi sonuçlar çıkarması için uygulanır. Kullanım için seçilen kimyasal maddeler ve diğer maddeler; nişasta (kola) ve dekstrin kolası, doğal balmumu ve sentetik balmumu, sentetik reçineler, amonyum klorit ve çinko klorit, gibi bir takım yumuşatıcı maddeler ve farklı özel kimyasallar içermektedir. Kimyasal maddelerin kullanımıyla kumaşlarda yıpranma kalitesi iyileştirilir, yanmama, suyu engelleme ve küflenmeme ve benzeri çeşitli özellikler temin edilir (Birgül, 2006). Apreleme işlemlerinde kilogram ile işlenen ürün başına 100-150 litre su gereksinimi vardır (Nandhakumar vd., 2012; Odabaşoğlu vd., 2013).

2.2.TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN BOYAR MADDELER

Boya, cisimlerin güzel bir görünüm kazanmalarını sağlamak ve cisimlerin yüzeylerini dış etkilere korumak amacı ile kullanılan farklı renklerdeki maddelerdir. Boyalar çözünmezlerdir çünkü bir bağlayıcı ile karıştırılmış maddelerdir. Süspansiyon haline getirilen boya yüzeye fırça yada püskürtme tabancası kullanılarak uygulanmaktadır. Sıcaklık ve hava etkisi ile kuruyan boya filmi altında kalan renk verici maddelerden dolayı cismin renkli görünmesini sağlarlar. Renk verici kimyasallar anorganik yapıda olarak bilinen sülyen, ultramin, karbon siyahı ve farklı metal oksitleri olabileceği gibi ftalosiyanın gibi organik moleküllerde de oluşabilir (Kılıçaslan,1999).

Boyar madde ise, kumaş ve deri vb. cisimleri renkli hale getirmek için kullanılan maddelerdir. Renkli olan madde yada her renk veren ürünler boyar madde değildir. Boyar maddeler organik bileşiklerden oluşurlar. Boyanacak materyalle veya cisimle kimyasal ya da fizikokimyasal etkileşime girerek renkli hale getirirler.

Genellikle, sulu çözelti ya da süspansiyon halinde uygulanabilirler. Uygulandıkları cisimlerin veya materyallerin yapısını değiştirirler. Boyalarda olduğu gibi kazıma, silme, zımparalama gibi yöntemlerle materyaller ilk buldukları hallerine geri dönemezler. Boyar maddeler, kumaş ile kovalent, iyonik ya da moleküller arası etkileşimlerle tutunabilirler. En yaygın olarak başlıca tekstil olmak üzere gıda, kağıt, deri, ve kozmetik endüstrilerinde kullanılan boyar maddelerin doğal ve yapay birçok örneği bulunmaktadır (Kılıçaslan,1999).

Boyama işleminde boyarmadde cinsinden dolayı elyafa tutunmayan boyaların miktarı yüzde elliye yükselebilmektedir (Supaka vd., 2004). Boyar maddeler boyama özellikleri, çözünürlük, kimyasal yapı, kullanılış yerleri gibi farklı özelliklerine göre birçok şekilde sınıflandırılmaktadırlar. Boyar maddeler boyama özelliklerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Cing, 2001);

- Küp boyarmaddeler
- Reaktif boyarmaddeler
- Dispers boyarmaddeler

- Direkt boyarmaddeler
- Asit boyarmaddeler
- Bazik boyarmaddeler

Boyar maddeler çözünlüklerine göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir;

- Suda çözünen boyarmaddeler;
- Anyonik boyarmaddeler
- Katyonik boyarmaddeler
- Koniyonik boyarmaddeler
- Suda çözünmeyen boyarmaddeler

Boyaları kimyasal yapılarına göre sınıflandırma aşağıdaki gibi olmaktadır (Başer ve İnanıcı, 1990);

- Azo boyarmaddeler
- Kükürt boyarmaddeler
- Nitro ve nitrozo boyarmaddeler
- Polimetin boyarmaddeler
- Arilmetin boyarmaddeler
- Aza (18) annulen boyarmaddeler
- Karbonil boyarmaddeler

Tekstil proses atıksuları genel olarak 10-20 mg/L konsantrasyon aralığında boyar madde barındırmaktadırlar ve fazlasıyla renkli atıksulardır (O'Neill vd., 2000). Bu proses atıksuları herhangi bir arıtım uygulanmadan alıcı ortama doğrudan deşarj edildiklerinde çeşitli sorunlara neden olabilmektedirler. Bu sorunlardan en önemlilerinden biri, boyaların toksik etki göstermeleri ve doğada biyoakümülyasyona sebep olmalarıdır. Boyar maddeler fotolitik ve kimyasal olarak sabit olduklarından, doğal çevrede kalıcı olmada inatçılardır. Tüm bu sorunlardan dolayı, arıtılmadan çevreye deşarj edilen atıksular ekotoksik risk oluşturlar ve

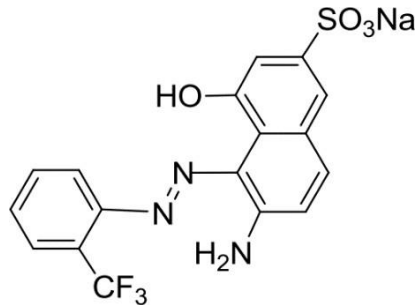
ayrıca estetik problemlere yol açmaktadırlar (Wrong ve Yuen, 1996; Işık ve Sponza, 2004).

2.1.Azo Boyarmadde

Bütün boyarmaddelerin hemen hemen yarısı azo boyalardır. Azo boyarmaddeler tekstilde kullanılan en büyük sentetik renklendirici grubudur. “Tekstil, kozmetik, deri, ilaç, kağıt, boya ve gıda endüstrilerinde yaygın olarak kullanılırlar”(Benkhaya ve Elharfi, 2017). Tekstil sanayisinde poliografi, plastik materyaller, lak-boya, deri, lastik, sentetik liflerin üretimi ve başka sanayi dallarında yaygın olarak kullanılırlar (Kılıçaslan, 1999).

Azo boyarmaddelerin, totalde tüm tekstil boyalarının % 60-70'inden oluşan en geniş tekstil boyası grubuna aittir. “Bu boyarmaddeler, iki simetrik ve/veya asimetric özdeş veya azo olmayan alkil veya aril radikallerini birleştiren fonksiyonel grup (-N=N-) ile karakterize edilir. Azo boyaların ana dezavantajı, mavi- mor renk aralığında donuk tonlar vermeleridir” (Sarkar vd., 2020, Brüscheiler and Merlot, 2017, Benkhaya vd., 2020).

Azo boyarmaddeler yapılarına göre farklılık gösterirler. Fakat en mühim özelliği azo bağının mevcudiyetidir, yani N=N'dir. Azo bağı (-N=N-) çokça bulunabilir. Mono azo boyalarda bir azo bağı, Diazo boyalarda iki bağı ve triazo boyalarda üç bağı mevcuttur. Bazı durumlarda azo öbeklerine bağlantılı aromatikler de mevcut olabilirler. Bir boyanın çeşitli renk skalasının olması bu aromatik yan gruplardan dolaydır. Sülfonatlı azo boyalar sülfonat grupları içeren azo boyalardır. Azo boyalarının formülize örneği aşağıdaki Şekil 3.1'de gösterilmektedir” (Benkhaya, El Harfi, 2017).

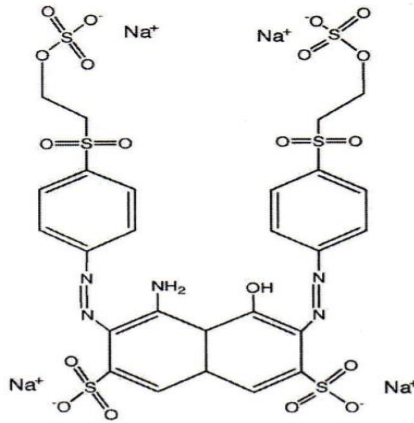


Şekil 2.1.Azo boya kimyasal yapısı

2.2. Reaktif Boyalar

Reaktif boyarmaddeler, öteki boyarmaddelerden değişik olarak liflere kovalent bağlarla bağlanabilirler. Liflerin makro molekülleriyle tepkimeye girebilen boyarmaddelerdir. Reaktif boyarmaddeler selülozik lif ile tepkimeye girerken kovalent bir bağ oluştururlar. Reaktif boyarmaddeler farklı gruplarla bağ yapabilen fonksiyonel grupları içerirler. Kovalent bağ alkali ortamda oluşur ve mordanlardaki metal karmaşık bağlarından daha fazla sağlamdır. Bundan ötürü reaktif boyarmaddeler iyi şekilde yıkama, sürtme ve ışık haslıkları verir (Enç, 2003).

Reaktif boyarmaddeler, uygulama işlemi esnasında substratla kovalent bir bağ oluşturan tek tekstil renklendiricidir. Bu boyarmaddeler, ışık dayanıklılığı iyi ve pamukta oldukça iyi yıkama dayanıklılığı, daha iyi işleme, boyama koşulları ve parlak renkler için oldukça çok seçenekli bir renk yelpazesi sunmaktadırlar (Gürses vd., 2016). Reaktif boyarmaddelerin bir kısmı ise krom, nikel ve bakır ile bağlanabilirler. Alıcı ortamda gıda zincirinde bulunabilecek toksik ağır metaller bu boyarmaddelerin ayrışması ile ağır metal üretirler (Hassan vd., 2009).



Şekil 2.2.Reactive Black 5'in kimyasal yapısı

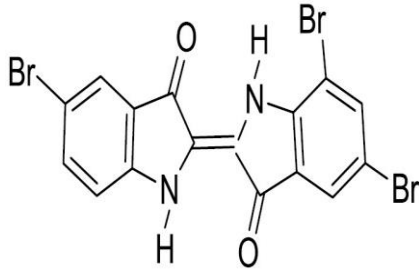
2.3.Vat (Küpe) Boyarmaddeleri

Vat boyarmaddelerinin moleküllerinde en az iki oksijen atomu bulunan bileşiklerdir. İri, ince ve çok ince toz halinde üç formda bulunurlar. Vat boyarmaddeler suda çözünmezler. Fakat sodyum hidrosülfid ve sodyum hidroksit gibi bir indirgenin tesiriyle suda çözünebilen leuko bileşiklerine dönüşürler. “Donmaya karşı dayanıklı, çökmeyen, kurumayan,dispersiyon haline getirilmiş

sıvılarda yaygın olarak kullanılır” (Şentürk, 2004). Sürtünmeye, ışığa, yıkamaya karşı dayanıklılıkları epeyce yüksektir (Pekel, 2009).

Vat boyarmaddeleri suda çözünmez olduğu dolayı direkt tekstil elyaflarına ve kumaşlara uygulanamazlar. Vat boyarmaddeleri, selülozik elyafların azda olsa donuk tonlarının boyanmasında sıklıkla olarak kullanılır, fakat eski zamanlarda vat boyarmaddeleri yün boyamak için de kullanılırdı. Vat boyarmaddeleri, diğer boya sınıflarında ender görülen, ışık, yıkama ve klor dayanıklılığı gibi tüm dayanıklılık özelliklerine sahiptir. Diğer yandan, vat boyarmaddeleri zayıf sürtme dayanıklılığına sahip olma eğilimindedirler. Fakat bu boyalı kumaşın özel işlemlerle hafifletilebilirler.

İndigo veya İndigotin’in en başlıca organik vat boyarmaddesidir. İndigo bitkisi indigoferanın farklı türevlerinde glikoziti durumda bulunurlar. Vat boyarmaddeler, çok yüksek ışık dayanıklılığına ve ıslak dayanıklılık özelliklerinin gerekli olduğu yerlerde kullanılması amaçlanır. Halojenli indigo türevleri, indigoid ve tioindigoid, antrakinondur (Clark, 2011).



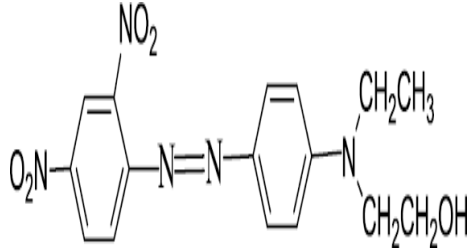
Şekil 2.3.Vat boyarmaddesi kimyasal yapı örneği;Vat Blue 5

2.4.Dispers Boyarmaddeler

Dispers boyarmaddeler,suda çözünmeyen (hidrofobik) boyarmaddelerdir. Genel olarak tekstil ürünlerinin boyama işleminde ticari karışımlar olarak kullanılır. Genellikle fazla oranda kullanılırlar. Bağlantılı boyama proseslerinden kalan su banyolarında oldukça yüksek oranlarda atıksuya neden olurlar. Bu boyarmaddeler suda çözünmeyen yada az oranda çözünürler, karakterleri iyonik değildir. Sulu bir çözeltinin içerisinde dispersyon şeklinde suyu sevmeyen liflerde kullanılır. Genellikle polyesterlere uygulanırlar.Fakat bu substratlar içerisinde

boyarmaddelerin nem haslığının bir bölümü güçsüzdür ancak selüloz, naylon ve akrilik elyaflarda kullanılmıştır.

Dispers boyarmaddelerinin kimyasal yapıları, $-NO_2$ ve $-CN$ gibi eklenmiş polar işlevsel gruplarla, küçük, planlayıcı ve iyonik değildir. “Çoğunlukla polyesterlerin boyanmasında kullanılırlar çünkü dağılmış parçacıklar oluşturarak polyester zincirleriyle etkileşime girebilirler” (Raval vd, 2017)

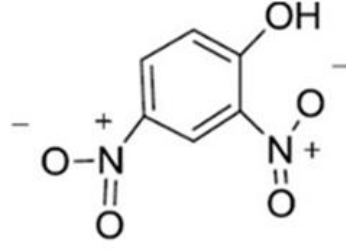


Şekil 2.4.C.I. Disperse Red 8' in kimyasal yapısı

2.5.Kükürt Boyarmaddeler

Kükürt boyarmaddeler, sodyum sülfür, fenoller yada sodyum polisülfürün aromatik aminler ile reaksiyona girmesi ile ortaya çıkan, büyük molekül yapısına sahip, suda çözünmeyen (hidrofobik) ve renkli organik bileşikler olarak adlandırılırlar. “Kısaca Bm-S-S-Bm olarak gösterilir. Bu boyar maddelerin disülfür grupları (...-S-S...), bazik ortamlarda Na_2S ile kaynatıldıklarında merkaptogruplarına (...-S- Na^+) dönüşerek suda çözünen leuko bileşikler meydana getirir” (Tanzer, 2004).

Kükürt boyarmaddeleri ana olarak sentetik elyaflarla selülozik elyafların birleşimlerinin boyanmasında kullanılırlar. Bununla birlikte kağıt, ipek ve deri tarzı materyallerin boyama işleminde özel kullanımları vardır. Sentetik boyarmadde türleri içerisinde, en çok renk skalası sahip olan boyarmaddelerdir. Düşük maliyetlidir ve harika yıkama ve ışık haslığı göstermektedir. Uygulama kolaylığı kükürt boyarmaddelerinin kullanımının daha çok tercih edilmesini sağlar (Benkhaya ve El Harfi, 2017).

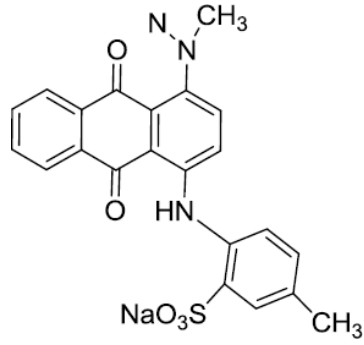


Şekil 2.5.Kükürt boyarmaddesinin kimyasal yapı örneği

2.6.Asit Boyarmaddeleri

Bu boyarmaddelere asit boyarmaddeler adının verilmesinin sebebi, uygulamanın asidik banyolarda yapılmasıdır. Bu boyarmaddelerin büyük çoğunluğunun organik asitlerin tuzları olmasıdır. Asit boyarmaddelerin ıslak haslıkları zayıftır ve güçlendirmek için mordanlar kullanılır (Sevimli, 2000). Asidik boyarmaddeler, sülfonik asitlerin ve nitrofenollerin sodyum tuzları olmasıdır. Renkli bileşen boyarmadde anyonudur. Asit boyarmaddeler kimyasal bakımdan anyonik sınıfa girerler. Boyama işlemi nötr pH'da yada 60-80°C asitte yapılır. Bu boyarmaddenin özelliklerinden birisi de suda çözünme özelliğine sahip olmasıdır.

Asit boyarmaddelerin molekül yapısı incelendiğinde ender olarak bir yada birden fazla karbonil asit ve sülfonil grubu bulundukları görünür (Pilatin, 2004). Boyarmadde anyonik sınıfta yer alırlar ve anyonu renkli bileşendir. Başlıca protein ve poliamid elyafın boyanmasında daha çok kullanılırlar. Poliamid elyaf da kimyasal yapı açısından proteinlerle karakteristik bakımdan benzerliğe sahip olduğundan asit boyarmaddelere karşı ilgisi fazladır. Yün-yaprak, iplik, kumaş, ve şerit olmak üzere üretimin her basamağında kullanılabilir (Dikmen,1998).



Şekil 2.6.Asit Mavi 25 Boyarmaddesi Kimyasal Yapısı

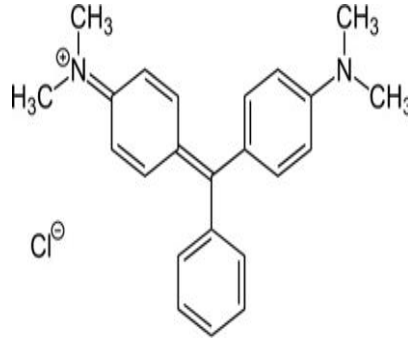
Yapısı gereği boyarmadde molekülleri yüksek oranda değişiklik gösterir ve birtakım metal birleşimleri barındırır. Bu boyarmadde türünün temel baskın özelliği sülfonlu grupların olmasıdır. Bu sülfonlu grupların varlığı suda çözünürlük sağlarlar. Yüne bağlanma az da olsa, bu sülfonlu boyarmaddeler ile yün elyafı üzerinde bulunan amonyum grupları arasındaki iletişime bağlı olaylar gelişir. Ek bağlama olayı Van der Waals bağları sayesinde gerçekleşir. Molekülünün büyüklüğü, etkileşim oranına ve renk haslığı derecesine göre değişiklik gösterir. Asit boyarmaddeler, bir yada dört sülfonat grubunun sokulmasıyla hidrofili azo kromofik sistemler (en önemli grup) antrakininon, trifenilmetan veya bakır ftalosiyanindir.

2.7.Bazik (Katyonik) Boyarmaddeler

Katyonik boyarmaddeler, organik bazların hidroklorürleri biçiminde ya da asetat tuzları biçiminde olurlar. Renkli bölümü katyon halinde bulunan boyarmaddelerdir. Bazik boyarmaddeler, sulu çözeltide artı yüklü iyonlara ayrışabilen boyarmaddelerdir. Bir tuz oluşturabilmek için elyaf molekülleri üzerindeki negatif grupla etkileşime girebilirlerve böylece elyafın boyanması için elyafa sıkıca tutunurlar. Katyonik boyarmaddeler bir tür alkali boyarmaddedir ve alkali boyarmaddelerin esasına dayandırılarak başarıyla geliştirilmiştir. Alkali boyaların lekelenme prensibinden farklı olarak katyonik boya, katyon iyonunun akrilon ile üçüncü monomerdeki asidik gruba bağlanması yoluyla elyafı boyar.

Yüksek haslığı böylece sağlamış olurlar. Bunların yanı sıra kolayca düzensizliğe sebep olabilirler. Bu etkenler göz önünde bulundurulduğunda boyama özelliklerini iyileştirmek için genel olarak boyama geciktirici ajan eklenir.

Bazık boyarmaddeler su ortamında yüksek kirlilik etkisi yaratırlar. Uygun şartlarda boyarmaddenin yüzde yüze yakın kısmı boyanacak cisme geçer (Sevimli, 2000).



Şekil 2.7. Bazık boya kimyasal yapı örneği malaşit yeşili

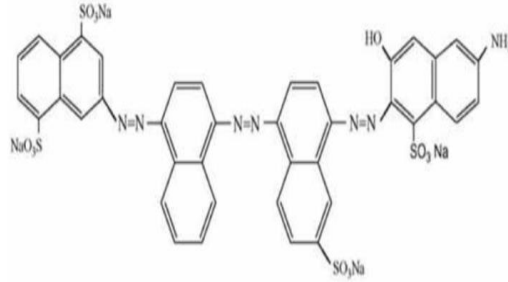
Bu boyarmaddelerin en belirgin özellikleri renk şiddetleri ve parlaklıklarıdır. Genellikle tannik asit (C₇₆H₅₂O₄₆) ile asetik asit (C₂H₄O₂) yardımıyla boyama işlemi gerçekleştirilir. Polyakrilik elyafların kısa sürede boyanabilmesi için sıcaklık 80-90°C' de olmalıdır. Bu sıcaklıklarda kumaşa tutunurlar ve kumaştan ayrılmazlar (Watanabe, Ushiyama, 2000).

2.8. Direkt Boyarmaddeleri

Direkt boyarmaddeler kısmen karboksilli asitlerin ve genellikle de sülfonik asitlerin sodyum tuzları şeklinde bulunurlar. Renkli bölümün oluşmasını sağlayan iyon, anyon iyonu biçimindedir. Direkt boyarmaddeler ile asit boyarmaddeler aralarında yapıları açısından net bir sınır bulunmamaktadır. Direkt boyarmaddelerin büyükçe bir bölümü azo boyarmaddeler grubuna girmektedir. Direkt boyarmaddeler mordanlama işlemi gerçekleştirilmeden boyarmadde içeren çözeltiden yüne ya da selüloza direkt geçebilmektedir.

Direkt boyarmaddelerinin birçok avantajı vardır. Bunlardan en önemlisi maliyetlerinin uygun olmasıdır. Bunun yanı sıra boyama işlemlerinin basit

gerçekleştirilebilmesi ve boyama sırasında elyafı yıpratmaması özellikleri sebebiyle daha çok tercih edilirler. Kimyasal bağ oluşturmada elyafın iç misellerinde depolanırlar. Renkli bölümünde bazik gruplar içerenler, sulu çözeltilerinde zwitter iyon şeklinde bulunmaktadır. Genellikle selülozik elyafın boyanmasında kullanılırlar. Yaş haslıkları limitlidir. Direkt boyarmaddelerinin birkaçı naylon, deri, kâğıt ve ipek boyamalarında uygulanırlar (Seydioğlu,2009, Dikmen1998).



Şekil 2.8.Direkt Mavi 71 Boyarmaddesinin Kimyasal Yapısı

Direkt boyarmaddeler kromofor, dayanıklılık yada uygulama özellikleri gibi birçok özelliğe göre kategorilendirilmektedir. Başlıca kromoforik türleri; azo, stilben, ftalosiyanın, kinolin, formazan, antrakinon, dioksazin, ve tiyazol gibi sınıflandırılabilir. Bu boyarmaddelerin kullanım açısından basittir ve çeşitli bir renk skalasının mevcuttur. Fakat yıkama dayanıklılığı orta seviyededir. Bu durum selülozik substratlar üzerinde yüksek ıslaklık ve yıkama mukavemeti özelliklerine sahip olan reaktif boyaların bir biçimde değiştirilmesine yol açmıştır (Clark, 2011).

2.3. İLERİ OKSİDASYON PROSELERİ (İOP)

İleri oksidasyon prosesleri atıksularda bulunan ve biyolojik olarak parçalanması zor olan organik bileşiklerin daha basit son ürünlere oksitlenmesini sağlayan proseslerdir. İleri oksidasyonda, belirli bir bileşiğin veya bileşik grubunun tümüyle okside olması zorunlu değildir. Birçok durumda, bileşiğin toksisitesini azaltmak veya biyolojik arıtmaya uygun hale getirmek için kısmi oksidasyon yeterli olmaktadır. Oksidasyon, oluşan son ürünlere göre 4 grupta karakterize edilebilir:

Ön parçalanma: Ana bileşiğin yapısal değişimini ifade eder. Kabul edilebilir parçalanma (etkisizleştirme): Ana bileşiğin yapısının toksisitesinde azalmayla birlikte değişimini ifade eder. İleri parçalanma (mineralizasyon): Organik karbonun CO₂'e dönüşümüdür.

İstenmeyen parçalanma: Ana bileşiğin yapısının değişimiyle toksisitesinin artışıdır (Rice 1996). İleri oksidasyon proseslerinde çok yüksek oksidasyon hızlarına sahip oksitleyici radikallerin üretiminin başarılması durumunda tam olarak kirleticilerin stabilizasyonu mümkün olabilmektedir. İleri oksidasyon prosesleri, oksijen, ozon, klor gibi klasik oksitleyiciler ile okside olmayan bileşiklerin parçalanması için, güçlü bir oksidan olan hidroksil radikalinin (OH•) oluşturulması ve kullanılmasına dayanır. Ortamdaki çözülmüş bileşenler ile reaksiyona giren hidroksil radikali, bu bileşenler tamamen mineralize olana kadar, bir dizi oksidasyon reaksiyonu gerçekleştirir. Seçici olmayan ve normal sıcaklık ve basınçta da çalışabilen hidroksil radikali, herhangi bir grup veya sınıf sınırlaması olmaksızın, ortamdaki tüm maddeleri oksitleme yeteneğindedir (Singer ve Reckhow, 1999).

2.3.1 UV Oksidasyonu

Ultraviyole (UV) ışını çoğu kimyasal oksidasyon teknolojilerinin temelini oluşturmaktadır. UV ışınlarının kaynağı ise güneştir. Su ortamında doğrudan ve dolaylı fotolize (serbest radikal oksidasyonu) sebep olurlar. UV-A ve UV-B ışınları güneşten yeryüzüne kısmen ulaşabilmektedir. Ancak güçlü etkisi olan UV-C ışınları ozon tabakası tarafından büyük oranda emilmekte ve yeryüzüne ulaşmamaktadır.

UV-C ışınları, organik maddeleri arıtmada genellikle de dezenfeksiyon ve oksidasyon amaçlı kullanılmaktadır. UV-C ışınının 254 nm'deki düşük-basınçlı civa buhar lambaları en yaygın uygulamasıdır (Eren, 2018).

Dışı dayanıklı kuvars camdan imal edilmiş UV lambasının içinde katı formda civa ve özel inert bir gaz mevcuttur (gelişmiş UV lambalarda “amalgam” veya “indium-amalgam” alaşımları vardır). Lambanın uç kısmında elektrodlar bulunmaktadır. Öncelikle inert gaz ısıtılır, civanın buharlaşması ve iyonlaşarak tüp içinde dağılması sağlanır. Sonrasında elektrodlar elektron yaymaya başlar. Hareket etmeye başlayan elektronlar civa iyonları ile çarpışarak enerji seviyesini yükseltir.

2.3.2 UV/H₂O₂ Oksidasyonu

Işık fotokimyasal reaksiyonlar için gerekli parametrelerden biridir, bu işlem için gerekli olan diğer temel parametre ise radikaller oluşturabilen veya ışığa maruz kaldığında radikallere dönüşebilen maddedir. H₂O₂/UV sisteminde, H₂O₂'in doğrudan fotolizi ile yüksek derecede reaktif hidroksil radikalleri (OH•) üretilir.

Diğer radikallerle karşılaştıracak olursak oluşan hidroksil radikalleri degradasyonda daha etkilidir (Wang vd., 2005). Oranlayacak olursak hidroksil radikalleri klordan 2.05, H₂O₂'den 1.58, ozondan 1.35 kat daha güçlüdür. Element halindeki floridan sonra ikinci yüksek oksidasyon gücüne sahip (2.80V) radikallerdir.

Bu radikaller organik kirleticileri diğer oksidasyon işlemlerine benzer şekilde parçalar. Aynı zamanda boyar madde içeren atıksularda H₂O₂ varlığında UV ışığı ile birlikte boyar maddeler karbondioksit ve suya parçalanmaktadır. Boyar maddenin giderim hızı ortamın pH'ına, boyar maddenin yapısına ve UV ışınının yoğunluğuna bağlıdır.

H₂O₂, maksimum absorpsiyon verimliliğine yaklaşık 220 nm dalga boyunda sahiptir ve bu ozonunkinden daha düşüktür (EPA, 1998). Bununla birlikte, orta ile yüksek konsantrasyonda kirletici madde içeren atıksuların çoğu, 300 nm'nin altında yüksek bir absorpsiyon gösterir, bu da H₂O₂/UV işleminin, UV fotonlarının H₂O₂ tarafından zayıf emilmesinden dolayı verimsiz olacağı anlamına gelir (Safarzadehd., 1997).

2.3.3 UV/Fe+2 Oksidasyonu

UV/Fe⁺² işlemi, fotokatalitik demir döngüsüne (Fe⁺²/Fe⁺³) dayanan O₂ varlığında bir dizi reaksiyon yoluyla OH• üretir; yani Fe⁺²'nin fotokimyasal olarak yenidenoksidasyonunu, OH• radikallerini üreten sulandırılmış Fe⁺³ komplekslerinin fotolizi takip eder. UV/Fe⁺² işlemi, bazı mikro-kirleticiler için iyi bir arıtma verimliliği gösterir. Bu oksidasyonun karbamazepin ve primidon için bozunma verimliliğini araştırılmıştır ve pH 3'de 0.1–0.5mmol/L (mM) Fe⁺² ile 30–60 dakika UV ışınlamasından sonra giderim veriminin % 90'dan yüksek olduğu bulunmuştur. Ayrıca, enerji tüketimi göz önüne alındığında, UV/Fe⁺² işlemi yoluyla bozunma UV/H₂O₂ işlemi ile olduğundan daha etkilidir. (Ghodbane ve Hamdaoui, 2010) C.I. Asit Mavisi 25 boyar maddesinin 30 mg/L sulu Fe⁺² konsantrasyonu ve UV ışınlaması ile etkili bir şekilde uzaklaştırılabileceğini kanıtlamışlardır (Qiu vd., 2019).

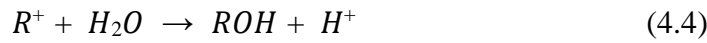
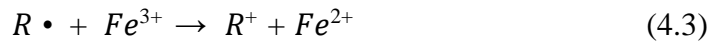
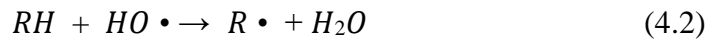
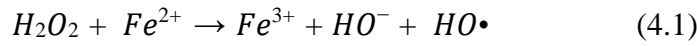
2.3.4. Fenton Prosesleri

Fenton prosesi, hidrojen peroksitten hidroksil radikallerinin oluşması için uygulanan katalitik bir reaksiyondur. Bu prostedeki reaksiyonda homojen katalizör olarak demir iyonları kullanılmaktadır. Kullanılan bu demir iyonlarının H₂O₂ ile elektron alıp vermesine dayanmaktadır. Fenton prosesi reaksiyonlarında, eklene katalizör örneğin demir iyonları hidrojen peroksitin bozunmasını hızlandırır ve reaksiyon için ek olarak enerjiye gereksinim duyulmaz (Lücking vd., 1998). Fenton prosesinin en başlıca avantajı, kullanımının karmaşık değilde kolay olmasıdır. Bu prosesi uygulama için özel ekipmanlara ihtiyaç duyulmaz. Fenton prosesi, yüksek miktarda kimyasal oksidasyon ihtiyacının azaltılması gerektiği durumlarda çok verimli bir prostedir (Gosavi ve Sharma, 2013).

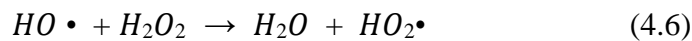
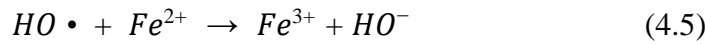
İleri oksidasyon prosesleri arasında Fenton prosesi, toksik ve dirençli endüstriyel atıksuların arıtımında giderim verimi oranı açısından etkili bir çözüm yöntemidir. H₂O₂'in bozunmasını hızlandırarak organik yada inorganik kirleticilerle reaksiyona girebilen HO• ve HO₂• radikallerinin üretilmesine katkıda bulunur. Fenton proseslerinin tercih edildiği temel organik kirleticiler; suda çözünen, nükleofilik ve aromatik maddelerdir (Dogruel vd., 2009). Fenton prosesi, klorlu alifatik ve aromatik bileşikler, poliklorlu bifeniller (PCBs), nitro-aromatikler, azo

boyalar, kloro benzen, formaldehit, pestisitler, ahşap koruyucular, fenoller, plastik koruyucu maddeleri ve kauçuk kimyasalları gibi kimyasalların, ilaçların, petrol rafinerileri ve akaryakıt terminallerinin üretim ve işleminde kullanılan atıksuların arıtımında, boya sanayilerinden kaynaklı atıkların renk gideriminde, çeşitli organik bileşikler içeren endüstrilerin atıklarının arıtılmasında kullanılabilir. Fenton prosesinin uygulanabileceği alanlar biyolojik parçalanabilirliğin artırılması, toksisitenin azaltılması, koku ve renk giderimi amacıyla atıksulara, çamurlara ve kontamine olmuş topraklardır (Litter, 2005; Pera-Titus vd., 2004).

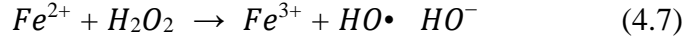
Fenton prosesi, H_2O_2 ve Fe^{+2} ile kombinasyon halinde oksidasyon reaksiyonlarında homojen katalizör olarak kullanılır. Reaksiyonda amaç, H_2O_2 'in katalizlenerek parçalanmasını artırarak hidroksil radikallerinin oluşumunu hızlandırmaktır. Arka arkaya reaksiyonlar şeklinde gerçekleşen reaksiyon mekanizması şu şekildedir (Covinich vd., 2014; Kuo, 1992; Lucas ve Peres, 2006; Neyens ve Baeyens, 2003):



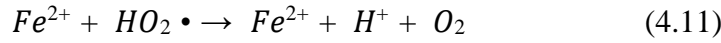
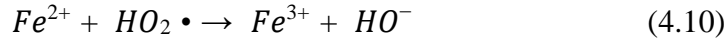
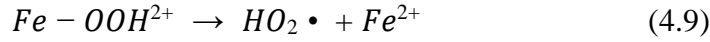
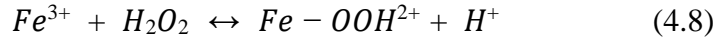
Fenton prosesi ile kirletici maddenin oksidasyonu esnasında ve hidrojen peroksitin bozunması sırasında; Fe^{+2} , Fe^{+3} , H_2O_2 , $HO\bullet$ radikalleri, hidroperoksil radikalleri ve oksitlenen maddeden türeyen radikaller arasında çekişmeli reaksiyonlar oluşabilir. Oluşan hidroksil radikalleri, Fe^{+2} veya H_2O_2 ile reaksiyona girer ve tüketilebilirler (Covinich vd., 2014; Kuo, 1992; Lucas ve Peres, 2006; Neyens ve Baeyens, 2003):



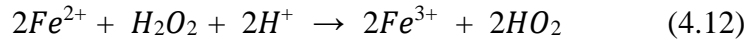
Reaksiyon da fazla H_2O_2 bulunması durumu, Fe^{2+} iyonlarının hızlı bir şekilde Fe^{3+} 'ya oksitlenmesine (Denklem 4.7) sebep olduğundan, Fe^{2+} konsantrasyonu Fe^{3+} konsantrasyonundan daha azdır (Adityosulindro, 2017; Litter, 2005).



Toplam mineralizasyonun oranı ve derecesi, genel olarak demirin başlangıç oksidasyon durumundan bağımsız olur. Fakat, başlangıç mineralizasyon oranı ve reaksiyon verimliliği, demirin Fe^{2+} oksidasyon derecesi kullanılan reaksiyonlarda daha fazladır (Litter, 2005). Burada Denklemler 4.1 ve 4.4’de oluşan Fe^{3+} iyonları, hidroksil ve hidroperoksil radikalleri içeren reaksiyonlara girerek Fe^{2+} iyonu oluşturabilir:



Tüm Fenton prosesinin mekanizması, Denklem 4.12’de gösterildiği gibi özetlendirilmiştir. Yapılan incelemelere bakıldığında H_2O_2 ’nin bozunması için ortamda H^+ iyonlarının bulunması ve bundan dolayı hidroksil radikallerinin üretilmesi için optimum reaksiyon koşullarının düşük pH’lı yani asidik olması gerekmektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda Fenton oksidasyonu için optimum değer yaklaşık pH 3 olduğu söylenmektedir (Neyens ve Baeyens, 2003).

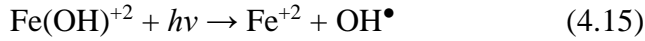
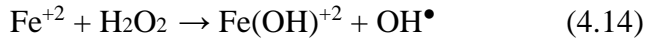
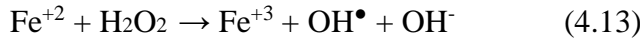


Fenton prosesleri, homojen prosesler ve heterojen prosesler olmak üzere ikiye ayrılır. Homojen prosesler sıvı fazda meydana gelir. Katalizör olarak demir iyonları kullanılır ve katalizör suda çözünür. Bundan dolayı homojen Fenton sistemi denir. “Heterojen prosesler ise katalizör yüzeyinde, katı-sıvı ara fazında veya sıvı fazda gerçekleşir” (Nidheesh, 2015). Atıksu arıtım yöntemlerinde Fenton prosesleri etkili bir arıtma yöntemi olsa bile, arıtımın ardından oluşan çamur içerisindeki demir iyonlarının giderilmesi artı bir maliyete, fazla miktarlarda kimyasala ve insan gücüne neden olabilir. Bunların yanı sıra demir iyonlarının çökmesini engellemek için asidik pH değerlerinde çalışılması gerekmektedir.

2.3.5. Foto-Fenton Prosesleri

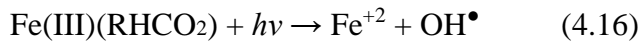
Fe^{+2} , H_2O_2 ve ışık radyasyonu (genellikle UV radyasyonu kullanılır) kombinasyonuna foto-Fenton reaksiyonu denir. Foto-Fenton işlemi, Fenton işleminden daha fazla hidroksil radikali üretir ve organik kirleticilerin ayrışma ve mineralizasyon hızını artırır. Fotokimyasal olarak demir iyonları döngüsü nedeniyle, Fe^{+2} 'nin azaltılması ve tekrar Fe^{+2}/Fe^{+3} iyonunda Fe^{+3} 'ün oksidasyonu gereklidir.

Foto-Fenton işleminin iki ana özelliği vardır: Bunlardan birincisi fotoliz yoluyla daha fazla hidroksil radikali üretmek için Fe^{+3} 'ün Fe^{+2} 'ye indirgenmesi;



Denklem 4.13, Fenton reaksiyonunu temsil eder. Bu denklemde Fe^{+2} , H_2O_2 ile reaksiyona girerek Fe^{+3} ve OH^\bullet üretir. Fenton reaksiyonu sistemde Fe^{+3} iyonlarını biriktirir ve tüm Fe^{+2} iyonları tüketildiğinde reaksiyon ilerlemez. Fe^{+3} iyonlarının Fe^{+2} iyonlarına indirgenmesiyle fotokimyasal rejenerasyonu foto-Fenton reaksiyonunda meydana gelir.

Reaksiyon ayrıca $Fe(OH)^{+2}$ (Denklem 4.14) olarak temsil edilen demir su kompleksi $Fe(H_2O)_5(OH)^{+2}$ de üretir. Üretilen bu kompleks OH^\bullet radikalinin yeni önemli kaynağıdır. $Fe(OH)^{+2}$ 'nin UV ışığı ile reaksiyonu Fe^{+2} ve OH^\bullet radikalini (Denklem 4.15) yeniden üretir. Bu nedenle Fenton işlemine kıyasla, foto-Fenton işlemi daha az Fe^{+2} konsantrasyonu gerektirir. UV ile rejenere edilmiş Fe^{+2} , çözültideki H_2O_2 ile reaksiyona girdiğinde döngüsel bir mekanizma meydana gelir. Foto-Fenton yönteminin ikinci ana özelliği ise ferrik karboksilatların foto dekarboksilasyonudur.



Gerçekleşen bu reaksiyonda, katalitik demir oranındaki azalma, nihai çamur hacmini azaltır, yanı sıra bazı ek organik bileşikler (karboksilatlar) de verimli bir biçimde arıtılabilir (Umar vd., 2010).

Foto-Fenton prosesinde asidik koşulların (yaklaşık pH 3) elverişli olduğu bildirilmiştir ve bunun başlıca nedeni karbonat ve bikarbonat türlerinin hidroksil radikallerle düşük reaktiviteye sahip karbonik aside dönüştürülmesinden kaynaklanabilir (Babuponnusami and Muthukumar, 2014).

Foto-Fenton işlemi hem homojen hem de heterojen olabilir. Fenton'un reaktifi ile bozunacak bileşikler arasındaki etkileşimin türü esas olarak homojen işlemde dikkate alınır. Ancak bu işlemin en büyük dezavantajları, arıtma sonrası süreç, çamur pH'nın sınırlı olması, çevreye yüksek demir deşarjı ve demir iyonunun geri kazanılmasındaki zorluk nedeniyle çamur oluşumudur.

Bu dezavantajlar heterojen prosesi homojen procesten daha üstün kılmıştır. Heterojen fazda, kimyasal değişikliklere ek olarak fiziksel adımlar, reaktif moleküllerin kütle transferinin sınırlı adsorpsiyonunun meydana geldiği aktif bölgelerdeki katalizörün yüzeyinde gerçekleşir. Reaksiyonun sonunda, ürün molekülleri desorbe edilir ve yüzeye tutturulması ve reaksiyona girmesi için yeni bir dizi reaktan molekülü için aktif yerleri kullanılabilir halde bırakır. Heterojen işlemin ana avantajları daha az demir üretimi, çevre dostu, katalizörün çözültiden kolay ayrılmasıdır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Direct Blue 71 boyar maddesinin Fenton ve Foto-Fenton prosesleri ile KOİ ve renk giderim verimleri incelenmiştir. Fenton ve foto-fenton çalışmaları için 300ppm boya tartılarak saf su ile karıştırılarak atıksu numunesi hazırlanmıştır. Daha sonra hazırlanan sentetik suyun pH değeri 1 M H₂SO₄ çözeltisi kullanılarak istenilen değerlere ayarlanmıştır. pH değeri ayarlanan 2000 mL sentetik atıksu numunesi fotoreaktöre alınarak aşamalara göre belirli miktarda kimyasallar ilave edilerek deney çalışmalarına başlanmıştır. Belirli sürelerde atıksu numuneleri alınmıştır. Alınan bütün numuneler 5000 rpm’de 10 dakika santrifüjlenmiştir. Santrifüjden işleminden sonra deney tüplerinden numuneler alınarak KOİ ve renk analizleri yapılmıştır.

3.1.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Boyar Madde ve Kimyasallar

Çalışmada Direct Blue 71 boyarmaddesi kullanılmıştır. Direct Blue 71 boyarmaddesi İstanbul’da faaliyet gösteren tekstil boyama firmasından temin edilmiştir. Kullanılan boyar maddenin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 5.1 verilmiştir.

Tablo 3. 1.Direct Blue 71 boyarmaddesinin özellikleri;

Özellikler	Direkt Blue 71
Kimyasal Formül	C ₄₀ H ₂₃ N ₇ Na ₄ O ₁₃ S ₄
Molekül Ağırlığı	965.94 g/mol
Fiziksel Durum	Katı
Görünüm	Toz
Renk	Koyu Mavi
Koku	Kokusuz
pH	9
Erime/Donma Noktası	Mevcut Değil

Hacimsel Yoğunluk	750 kg/m ³
Bağıl Yoğunluk	Mevcut Değil
Sudaki Çözünürlük	30 g/L

Deneylerde kullanılan kimyasalların marka/özellikleri ile Çizelge 5.1 belirtilmiştir;

Tablo 3. 2. Deneylerde kullanılan kimyasallar özellikleri ve markaları

Kimyasal Madde	Markası
H ₂ O ₂ %35	Merck
H ₂ SO ₄ %95-97	Merck
NaOH	Sigma-Aldrich
HCl %37	Merck

3.1.2. Kullanılan Cihazlar

Çalışmada kullanılan cihazların markaları Çizelge 5.3 belirtilmiştir.

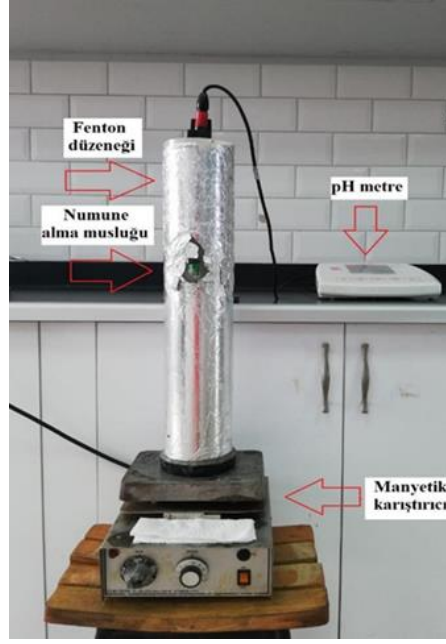
Tablo 3. 3. Çalışmada kullanılan cihazlar ve markaları

Cihaz	Markası/Özellikleri
DC Güç Kaynağı	DC POWER SUPPLY PS-30D
Dijital Manyetik Karıştırıcı	RCT
Mekanik Karıştırıcı	Elektro-mag M11
Santrifüj Tüpleri	İsolab
Spektrofotometre	Merck Spectroquant Nova 60
pH metre/ EC metre	Ohaus ST 300
Hassas Terazî	Precisa XB 220A SCS
Santrifüj	Sigma

3.2. Yöntem

3.2.1. Fenton Prosesi Düzenegi

Fenton çalışmaları Şekil 5.1’de verilen düzenekte gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1.Fenton prosesi deney düzenegi

Kullanılan reaktör kolon, çapı 78 mm, dış çapı 83.5 mm aside dayanıklı pleksiglas malzemedan yapılmış olup silindir kesitlidir. Reaktörde kullanılabilen atıksu hacmi 2000 mL'dir. Fenton reaksiyonları için kullanılan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ve H_2O_2 dışarıdan manuel olarak eklenmiştir. Hazırlanan 300ppm'lik boyar madde çözeltileri her bir deney için doldur-boşalt sistem ile kolona eklenmiştir. Numuneler, kolona montajlı musluktan alınmıştır.

3.2.2. Foto-Fenton Prosesi Düzenegi



Şekil 3. 2. Foto-Fenton prosesi deney düzenegi

Kullanılan reaktör kolon, çapı 78 mm, dış çapı 83.5 mm aside dayanıklı pleksiglas malzemeden yapılmış olup silindir kesitlidir. Reaktörde kullanılabilen atıksu hacmi 2000 mL'dir. Foto-Fenton reaksiyonları için kullanılan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ve H_2O_2 dışarıdan manuel olarak eklenmiştir. Hazırlanan 300 ppm'lik boyar madde çözeltileri her bir deney için doldur-boşalt sistem ile kolona eklenmiştir. Numuneler, kolona montajlı musluktan alınmıştır. Ve UV C lambası kullanılmıştır.

3.3. Deneysel Çalışmalar

Deneysel çalışmalarda bütün prosesler için Direkt Blue 71 boyarmaddeli 2 L'lik sulu çözeltisi hazırlanmıştır. Hazırlanan sulu çözelti sıcaklığı ($20 \pm 10^\circ\text{C}$) olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Öncelikle pH değeri farklı miktarlarda (mM) H_2SO_4 çözeltisi kullanılarak deneyde kullanılacak değere göre ayarlanmıştır. pH değeri ayarlanan 2 L atıksu numunesi fotoreaktör cihazına alınmıştır. Aşamalara göre gerekli miktarlarda kimyasallar eklenip, reaktör kapağına aksel olarak ortalanıp montelenmiş kuvars tüpün içerisindeki UV ışın kaynağı ile fotoreaktör kapatılarak ışın kaynağına bağlı adaptör açılmıştır. Herhangi bir ışık kaçağı olmamasına özen gösterilerek alüminyum folyo ile reaktörün her tarafı kaplanmıştır. Reaktöre yerleştirilen musluk yardımı ile belli zaman aralıklarında su numuneleri alınmıştır. Her bir deney sonrasında çıkış pH değerleri kaydedilmiştir. Deney

süresince oluşan ve alınan su numunelerinin içerisine karışan flokları uzaklaştırmak için bütün numuneler 9000 rpm’de 10 dakika santrifüjlenmiştir. Santrifüjden alınan deney tüpleri, dipte oluşan tortunun tekrar atıksuya karışmasını engellemek için sallamadan dikkatli ve yavaş bir şekilde deney tüpü standına yerleştirilmiştir. Otomatik pipet yardımıyla deney tüplerinden alınan numunelerde KOİ ve renk analizleri yapılmıştır.

3.3.1. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) Analizi

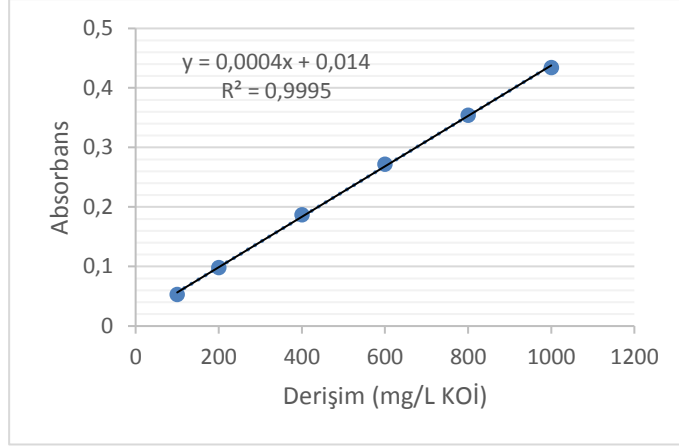
KOİ analizinde, fotometre cihazına uygun Hach Lange LCK 514 marka 13 mm çaplı KOİ test tüpleri kullanılmıştır. Tüplerin içine daha önceden hazırlanan 1.5 ml parçalama çözeltisi (Potasyum Dikromat ($K_2Cr_2O_7$)/Civa Sülfat ($HgSO_4$), 3.5 ml Sülfirik Asit (H_2SO_4)/Gümüş Sülfat (Ag_2SO_4) karışım çözeltisi ve 2.5 numune konularak termoreaktörde $148^\circ C$ ’de 2 saat bekletilmiştir. Daha sonra fotometrede 605 nm dalga boyunda absorpsanları okunarak KOİ konsantrasyonları belirlenmiştir.

KOİ giderim verimi;

$$\text{KOİ Giderim Verimi (\%)} = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100 \quad (5.1)$$

denklemini kullanılarak belirlenmiştir.

KOİ’i bilinmeyen numunenin KOİ değerini bulabilmek için, daha önceden hazırlanmış olan Potasyum Hidrojen Ftalat (KHP) ($HOOC_6H_4COOK$) stok KOİ çözeltisinden 100 mL’lik balon jöjelere KOİ 0, 100, 200, 400, 800 ve 1000 mg/L’lik konsantrasyonlarda olacak şekilde seyreltmeler yapılarak standartlar hazırlanmıştır. Termoreaktörde $148^\circ C$ ’de 2 saat bekletildikten sonra absorpsan değerleri okunmuştur. Konsantrasyonlara karşılık gelen absorpsan değerlerinden yararlanılarak kalibrasyon eğrisi elde edilmiştir. Elde edilen eğri yardımıyla $y = 0,0004x + 0,014$ denklemi oluşturulmuştur. Absorpsan değerleri, oluşturulan denklemde y bilinmeyeni yerine konularak KOİ konsantrasyonu belirlenmiştir. Kalibrasyon grafiği Şekil 5.3’de gösterilmektedir.



Şekil 5.3. KOİ kalibrasyon grafiği

3.3.2. Renk Analizi

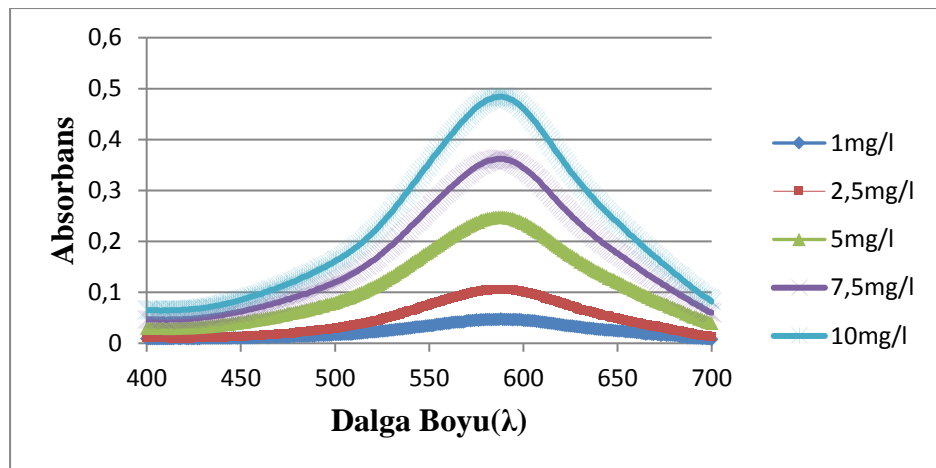
Renk değerlerini elde ederken, her türden su ve atık su numuneleri için uygulanabilen Alan (Dalga Boyu Taraması) Metodu kullanılmıştır.

Renk giderim verimi;

$$\text{Renk giderim verimi (\%)} = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100 \quad (5.2)$$

denklemleri kullanılarak belirlenmiştir.

Direkt Blue 71 boyar maddesi için renk analizinde kullanılmak üzere farklı konsantrasyonlarda hazırlanan boya çözeltileri ile dalga boyu taraması yapılmıştır.



Şekil 5.4. Direkt Blue 71 boyar maddesi için farklı konsantrasyonlarda dalga boyu taraması

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

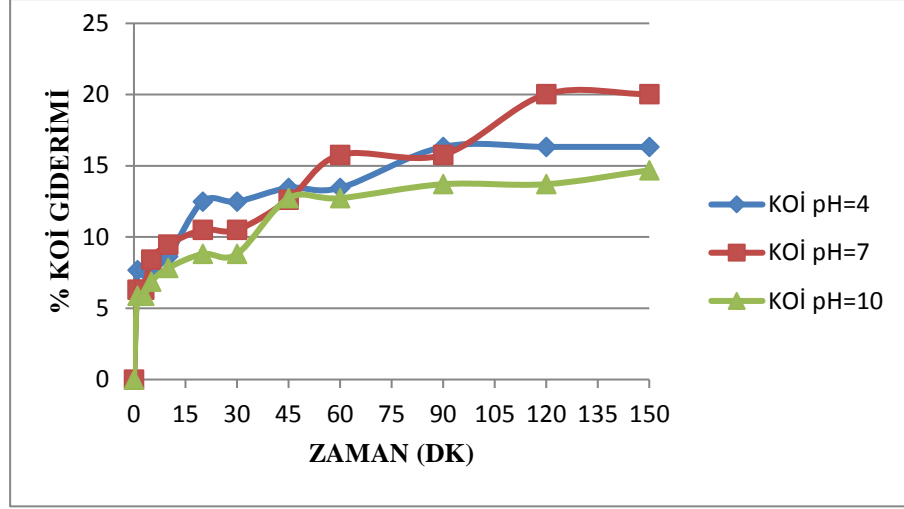
İleri oksidasyon prosesleri ile Direct Blue 71 boyar maddesinin sulu çözeltilerinden UV, UV/ H₂O₂, UV/Fe⁺², Fenton ve foto-Fenton yöntemleri ile pH, H₂O₂ konsantrasyonu, Fe⁺² konsantrasyonu ve reaksiyon süresinin farklı değerleri seçilmiş olup bu parametrelerin KOİ ve renk gideriminde başlangıç pH'sı, H₂O₂ konsantrasyonu, Fe⁺² konsantrasyonu etkinlikleri incelenmiş ve giderim verimlilikleri tartışılmıştır.

4.1. UV Oksidasyon

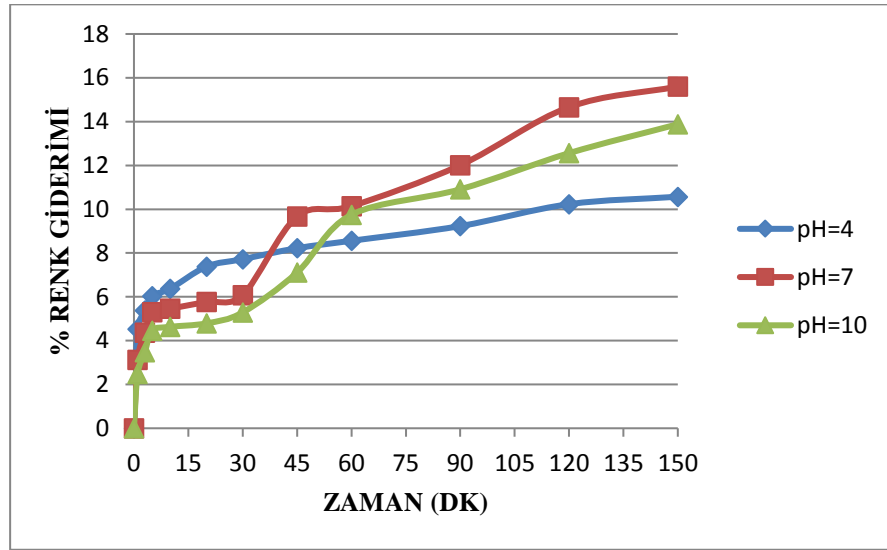
UV ışınlanması ile atıksulardan renk giderimini etkileyen önemli faktörlerden biri pH değeridir. Belirli bir kirletici konsantrasyonu için farklı 4, 7 ve 10 pH değerlerinde UV ışınlanmasının etkisi araştırılmıştır.

4.1.1. UV Oksidasyon pH Etkisi

Organik maddelerin gideriminde UV ışını yaygın olarak kullanılmaktadır. Fakat genel olarak oksidasyon proseslerinde UV-C ışını seçilmektedir (Aydın, 2009). UV prosesi deneylerinde sadece 16W şiddetinde 254 nm dalga boyundaki düşük-basınçlı civa buhar lambası kullanılarak Direkt Blue 71 boyarmaddeli sulu çözeltisi üzerinde pH etkisi incelenmiştir. İncelenecek pH değerleri olarak 4, 7 ve 10 seçilmiştir. Bazik, asidik, yada nötr ortamda UV ışınının sulu çözeltisi üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çizelge 6.1'de UV ışınının atıksudaki KOİ giderim veriminin pH ile değişimini, Şekil 6.2'de, UV ışınının atıksudaki renk giderim veriminin pH ile değişimini, Şekil 6.1'de ise pH değişiminin atıksudaki KOİ giderim verimi üzerine etkisini göstermektedir.



Şekil 4.1.Sulu çözeltinin KOİ giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi



Şekil 4.2.Sulu çözeltinin renk giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi

Tablo 4. 1.Sulu çözeltinin pH 4,7,10 değerinde KOİ ve renk giderim verimleri

Zaman	pH 4		pH 7		pH 10	
	%KOİ Giderimi	%Renk Giderimi	%KOİ Giderimi	%Renk Giderimi	%KOİ Giderimi	%Renk Giderimi
1	7,68	4,53	6,31	3,12	5,88	2,48
3	7,68	5,37	6,31	4,37	5,88	3,47
5	7,68	6,04	8,41	5,30	6,86	4,46

Tablo 4.1. (devam)

10	8,64	6,37	9,46	5,46	7,83	4,63
20	12,49	7,38	10,51	5,77	8,81	4,79
30	12,49	7,72	10,51	6,08	8,81	5,29
45	13,45	8,22	12,62	9,67	12,73	7,11
60	13,45	8,56	15,77	10,14	12,73	9,75
90	16,33	9,23	15,77	12,01	13,71	10,91
120	16,33	10,23	20,02	14,66	13,71	12,56
150	16,33	10,57	20,02	15,6	14,69	13,88

Bu aşamada ilk olarak atıksu içerisindeki bileşiklerin UV radyasyonu altında doğrudan fotolizi araştırılmıştır. Başlangıç pH değerleri 4, 7 ve 10 olan 150 dakika UV ışınlanması ile KOİ verimi pH 4’de % 16.33, pH 7’de % 20.02, pH 10’da % 14.69, renk verimi ise pH 4’de % 10.57, pH 7’de % 15.60 ve pH 10’da % 13.88 giderim verimliliği ile sonuçlanmıştır. UV ışınının tek başına atıksu içerisine etki etmesi zor olmuştur. Boyarmaddeleri de etkili bir biçimde yok edememiştir. Sonuç olarak, bazik ve asidik pH değerlerinde az bir renk açma etkisinin olduğunu göstermiştir. Boyarmeddeli sentetik atıksuyun giriş pH değerinde en yüksek giderim verimleri elde edilmiştir. Asidik pH değerlerindeki KOİ giderim verimi, bazik pH değerlerindeki KOİ giderim verimine göre nispeten daha yüksektir. Fakat bazik pH değerlerindeki renk giderim verimi, asidik pH değerlerindeki renk giderim verimine göre nispeten daha yüksektir.

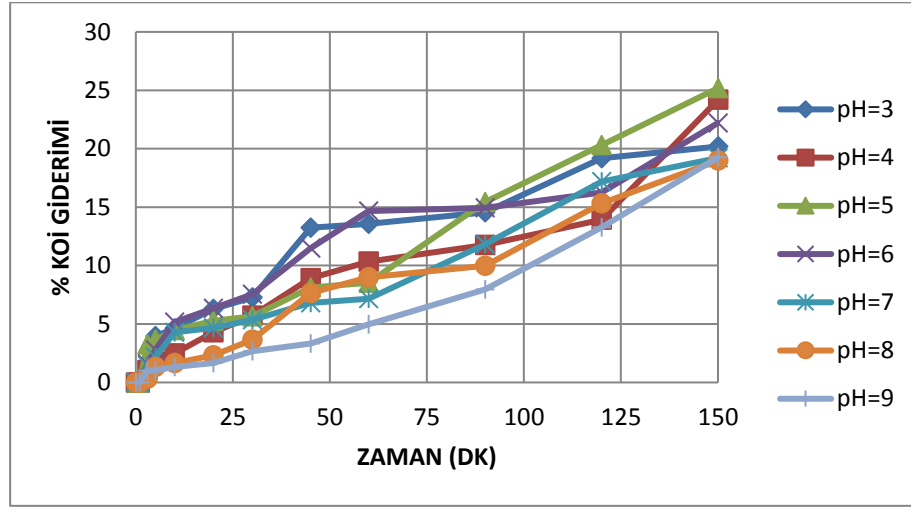
4.2. UV/H₂O₂ Oksidasyonu

Bu aşamada H₂O₂ ile kimyasal oksidasyon yöntemi ve UV ışığının etkisinin eklenmesi ile boyarmadde içeren sulu çözeltinin arıtımında pH ve H₂O₂ konsantrasyonunun etkileri incelenmiştir. İlk olarak giderim veriminin en yüksek olacağı uygun pH değeri araştırılmıştır. Daha sonra oksidasyonu sağlayacak olan H₂O₂’in farklı konsantrasyonlardaki (2,5 , 5 , 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100 mM) etkisi incelenmiştir.

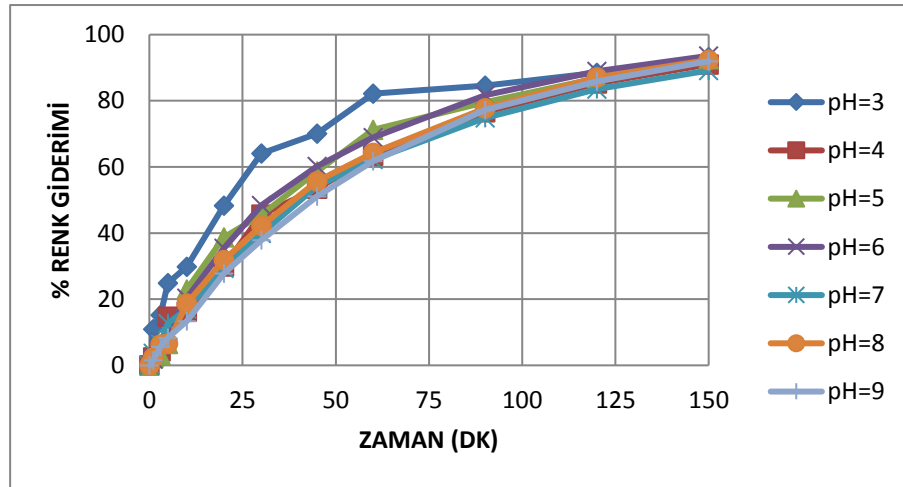
4.2.1. UV/H₂O₂ Oksidasyonu pH Etkisi

Deney için ilk olarak sabit bir H₂O₂ konsantrasyonu seçilmiştir. Ardından Direkt Blue 71 boyarmaddeli sulu çözeltisinde hazırlanmıştır. pH değerleri 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 olacak şekilde ayarlanmıştır. Hazırlanan karışımın homojen olabilmesi için

manyetik karıştırıcı ile deney boyunca karıştırılmıştır. 30 mM H₂O₂ konsantrasyonlu sulu çözelti eklenip, UV lambası eş zamanlı olarak çalıştırılmıştır. Belirli aralıklarla numuneler alınmıştır ve her bir pH deneyinin bitiminde atıksudaki pH değeri kaydedilmiştir. Optimum pH değeri böylece seçilmiştir. pH değerlerine göre zamanla KOİ ve renk giderim veriminde farklılık gösteren değerler Şekil 4.3, 4.4 ve Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Sulu çözeltinin KOİ giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi

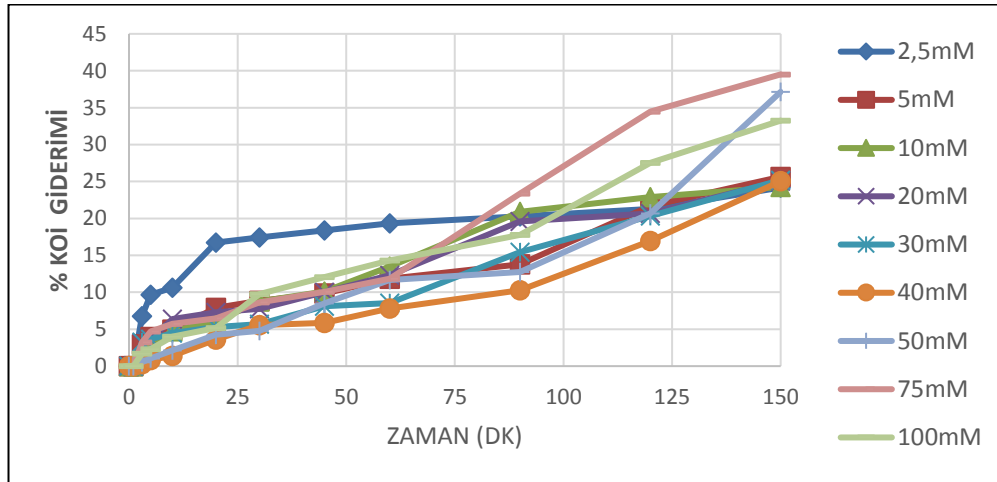


Şekil 4.4.Sulu çözeltinin renk giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi

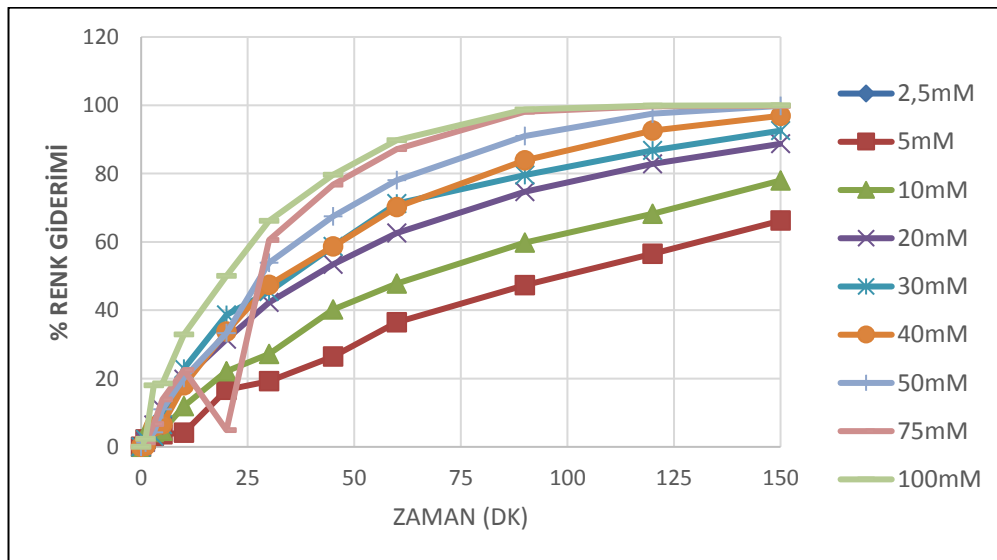
Bu deneyler sonucunda hem KOİ giderim verimi hemde renk giderim verimi dikkate alınarak en yüksek giderim verimi optimum değeri pH 5’te olduğu tespit edilmiştir.

4.2.2. Hidrojen Peroksit Konsantrasyonunun Etkisi (UV/H₂O₂)

UV/ H₂O₂ prosesinin pH deneylerinde bulunan optimum pH 5 değeri sabit tutularak farklı H₂O₂ konsantrasyonları denenmiştir. pH deneylerinde olduğu gibi önce sulu çözeltinin pH'ı 5 değerine ayarlanmıştır. Daha sonra istenilen H₂O₂ konsantrasyonuna göre H₂O₂ eklenerek eş zamanlı olacak şekilde UV lambası açılmıştır. 150 dakika boyunca belirlenen zaman aralıklarında reaktörden numuneler alınarak giderim verimleri belirlenmiştir.



Şekil 4.5.Sulu çözeltinin KOİ giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi



Şekil 4.6.Sulu çözeltinin renk giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi

UV/H₂O₂ tekniği kullanılırken, UV radyasyonu ve hidrojen peroksit arasındaki etkiye dikkat edilmelidir. Ayrıca hidrojen peroksit, az da olsa agresif oksidasyon

şartları (yüksek aktivasyon enerjileri) gerektiren kirletici maddeler için etkili olabiliyor. Hidrojen peroksitin, oksidasyon reaksiyonuna zarar verdiği ve oksidasyon verimini düşürdüğü bir peroksit konsantrasyonu vardır. Bundan dolayı optimum peroksit konsantrasyonunun bulunması gereklidir. UV ışığını absorbe eden bileşiklerin atıksuda bulunması gibi durumlar reaksiyon verimliliğini düşürür, çünkü UV ile H₂O₂ arasındaki etkiyi azaltır, bu dolayı daha fazla hidrojen peroksit kullanılması gereklidir (Gogate ve Pandit, 2004).

Bir önceki aşamada H₂O₂ konsantrasyonu sabit tutulup optimum pH değeri bulunmuştur. Bu aşamada ise bulunan optimum pH değeri kullanılarak farklı aralıklarda H₂O₂ konsantrasyonları sulu çözeltiye eklenilerek UV/ H₂O₂ etkisi incelenmiştir. Sırasıyla 2,5, 5, 10, 20, 30, 40, 50, 75 ve 100 mM H₂O₂ konsantrasyonları kullanılmıştır. Yukarıdaki çizelgeden (Çizelge 4.3) de anlaşılacağı gibi H₂O₂ konsantrasyonunun artması ile ortamda oluşan OH[•] radikallerinin artması, giderim verimlerini arttırmıştır. UV ışımaya H₂O₂ eklenmesi, düşük H₂O₂ konsantrasyonlarında bile tek başına UV muamelesine kıyasla hem renk hem de KOİ giderimlerini önemli ölçüde arttırmıştır. Optimum başlangıç H₂O₂ konsantrasyonu 50 mM olarak bulunmuştur. En fazla KOİ ve renk gideriminin olduğu 75 mM'daki değerler ile 50 mM H₂O₂ konsantrasyonundaki giderim verimleri birbirine oldukça yakındır. Maliyet açısından değerlendirildiğinde en az sarfiyat da göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle optimum başlangıç H₂O₂ konsantrasyonu 50 mM olarak da seçilebilir.

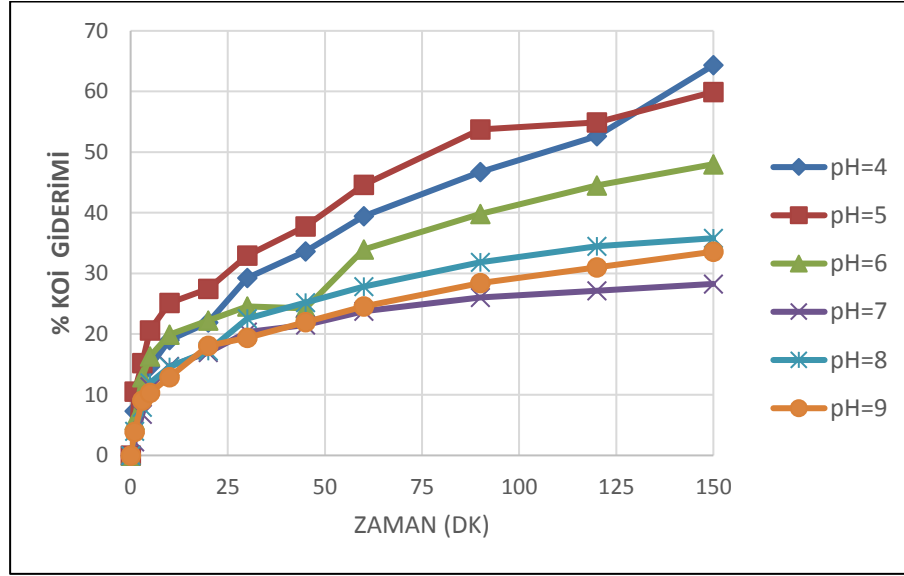
4.3. UV/Fe⁺² Oksidasyonu

Fe⁺² metali ve UV ışığı birlikteliğinde Direkt Blue 71 boyarmaddesini içeren atıksuda pH ve Fe⁺² iyonunun bozunmadaki etkileri incelenmiştir. İlk olarak belli bir Fe⁺² konsantrasyonu (2 mM) seçilip optimum pH değeri araştırılmıştır. Uygun pH değeri bulunduktan sonra en iyi giderimin sağlanabilmesi için farklı konsantrasyonlarda demir iyonunun etkisi incelenmiştir.

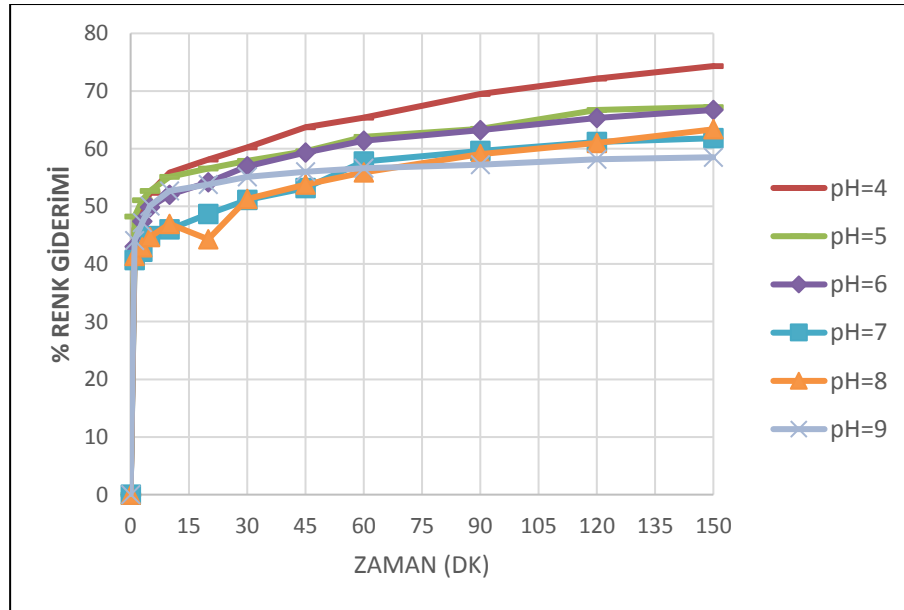
4.3.1. UV/Fe⁺² Oksidasyonu pH Etkisi

Reaksiyonu etkileyen en önemli parametrelerden birisi pH'dır. Bundan dolayı uygun pH değerini bulabilmek için farklı pH aralıklarında deneysel çalışmalar

yapılmıştır. Optimum pH değerini bulabilmek için yapılan çalışmalarda eklenen Fe^{+2} konsantrasyonu sabit tutulmuştur. Başlangıçta hangi pH değerinde çalışılacaksa sulu çözelti o pH değerine ayarlanır. Daha sonra 2 mM $FeSO_4$ eklenerek manyetik karıştırıcıda 5 dakika kadar karıştırılmıştır. Beşinci dakikadan sonra UV lambası çalıştırılmıştır. Diğer deneylerde olduğu gibi belirli aralıklarla örnekler alınmış ve çalışma sonunda pH değerleri kaydedilmiştir. En iyi giderimin sağlandığı pH değeri optimum pH değeri olarak seçilmiştir.



Şekil 4.7.Sulu çözeltinin KOİ giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi



Şekil 4.8. Sulu çözeltinin renk giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi

Direkt Blue 71 boyarmaddesiyle oluşturulan sulu çözeltinin pH etkisi incelenirken başlangıç Fe^{+2} konsantrasyonu 2 mM olarak alınmıştır. Farklı pH (4, 5, 6, 7, 8, 9) değerleri kullanılarak zamana karşı KOİ ve renk giderim verimleri incelenmiştir. pH değeri arttıkça giderim veriminin düştüğü gözlemlenmiştir. Yüksek pH değerlerinde ($pH > 5$) Fe^{+2} iyonu sırasıyla Fe^{+3} ve ferrik hidroksit kolloidler/sedimanlara dönüşmüştür ve her ikisi de OH^{\bullet} radikallerinin oluşumunu yoğun bir şekilde bastırmıştır. Bunun sonucunda da özellikle 7, 8 ve 9 pH değerlerinde oldukça düşük KOİ giderim verimi gözlemlenmiştir.

Tablo 4. 2. Sulu çözeltinin KOİ ve renk giderim veriminin pH ile değişimi

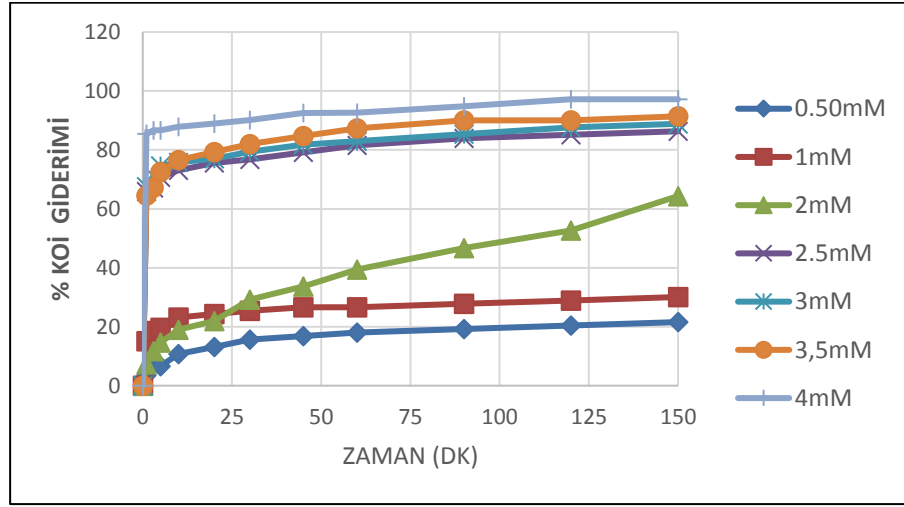
pH	%KOİ giderim verimi	%Renk giderim verimi
4	64,33	74,33
5	59,92	67,23
6	48,01	66,72
7	28,28	61,82
8	35,81	63,36
9	33,59	58,52

UV/ Fe^{+2} prosesinde en verimli giderim asidik pH değerlerinde elde edilmiştir. Sadece UV oksidasyonuna Fe^{+2} iyonunun eklenmesiyle en iyi giderim veriminin gerçekleştiği pH 4'de KOİ giderimi % 16,33'den % 66,33'e, renk giderim verimi ise % 10,57'den % 74,33'e yükseldiği görülmüştür. Bu proses, UV gücünde bir katalizör olmadan giderimin çok az olduğunu, bununla birlikte bir katalizörün kullanımının KOİ ve renk giderimini önemli ölçüde arttırdığını ve ayrıca gerekli UV enerji tüketimini azaltabildiğini göstermiştir.

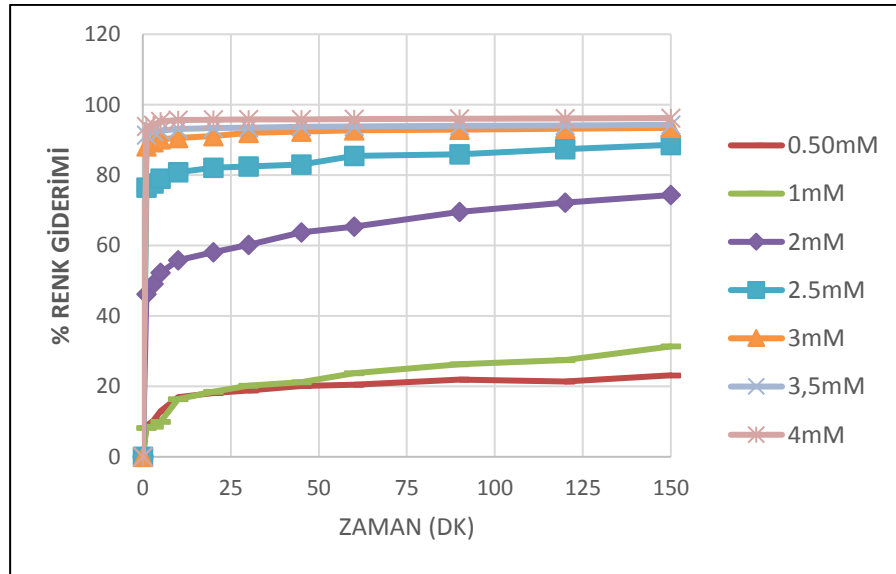
4.3.2. Fe^{+2} Konsantrasyonunun Etkisi

UV/ Fe^{+2} prosesinde yapılan çalışmalarda farklı pH değerleri kullanılarak optimum pH değeri 4 olarak bulunmuştur. Fe^{+2} iyonunun farklı konsantrasyonlarının atıksuya etkilerinin gözlemlenebilmesi için bulunan optimum pH değeri sabit tutulmuştur. Öncelikle pH değeri ayarlanan atıksu içerisine 0.50-4 mM aralığında değişen Fe^{+2} konsantrasyonları eklenerek manyetik

karıştırıcıda 5 dakika kadar homojen bir karışım sağlanmıştır. Sonrasında UV ışını açılarak 150 dakika içerisinde belirli zaman aralıklarında numuneler alınmıştır. Zamana bağlı Fe^{+2} iyonu konsantrasyonlarının giderim üzerindeki etkileri belirlenerek Şekil 6.11’de KOİ giderim verimleri, Şekil 6.12’de renk giderim verimleri gösterilmiştir



Şekil 4.9.Sulu çözeltinin KOİ giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi



Şekil 4.10.Sulu çözeltinin KOİ giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi

Tablo 4.3. Sulu çözeltinin KOİ ve renk giderim verimlerinin Fe+2 konsantrasyonu ile değişimi

Fe⁺²	%KOİ giderim verimi	%Renk giderim verimi
0,50	21.58	23.15
1	30.09	31.35
2	64.33	74.33
2,5	86.33	88.59
3	88.86	93.42
3,5	91.40	94.28
4	97.19	96.20

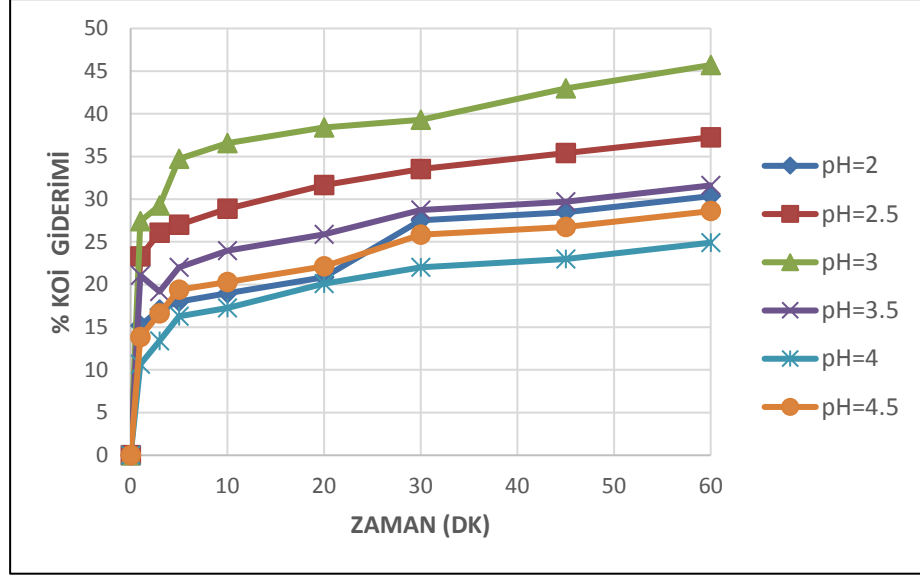
UV ışığı ile Fe⁺² iyonu konsantrasyonunun etkisini görmek ve optimum demir konsantrasyonunu belirlemek için 0.50 ile 4 mM aralığında demir konsantrasyonları kullanılmıştır. Demir iyonu konsantrasyonunun artmasıyla parçalanma hızı oldukça arttığı ve bu artışla giderim veriminin yükseldiği gözlemlenmiştir. “Bozunma hızındaki artış, Fe⁺²'nin Fe⁺³'e, O₂ tarafından UV ışını altındaki oksidasyonundan kaynaklanır, bu da OH• üretir”(Rott vd., 2017). 0.50 mM Fe⁺² iyonu konsantrasyonunda KOİ giderimi % 21,58 iken 4mM'de % 97.19'a ve renk giderimi 0.50mM demir konsantrasyonunda %23.15 iken %96.2'ya yükselmiştir. UV/Fe⁺² prosesi denenilen diğer sadece UV oksidasyonu ve UV/H₂O₂ proseslerine kıyasla KOİ giderimini önemli ölçüde arttırdığı görülmüştür. Renk gideriminde ise UV/H₂O₂ prosesiyle karşılaştırdığımızda giderim verimleri hemen hemen aynı ölçüde etkili olduğu gözlemlensede UV/H₂O₂ renk giderim verimi daha fazladır. Optimum demir iyonu konsantrasyonu 4 mM olarak bulunmuştur. Şekil 6.11 ve 6.12 incelendiğinde 2.5 ve 3 mM demir iyonu konsantrasyonlarındaki giderim verimlerinin 3.5-4 mM'daki giderim verimlerine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Ekonomik açıdan demir iyonu konsantrasyonu 2.5 veya 3 mM olarak da seçilebilir.

4.4. Fenton (H₂O₂/Fe⁺²) Prosesi

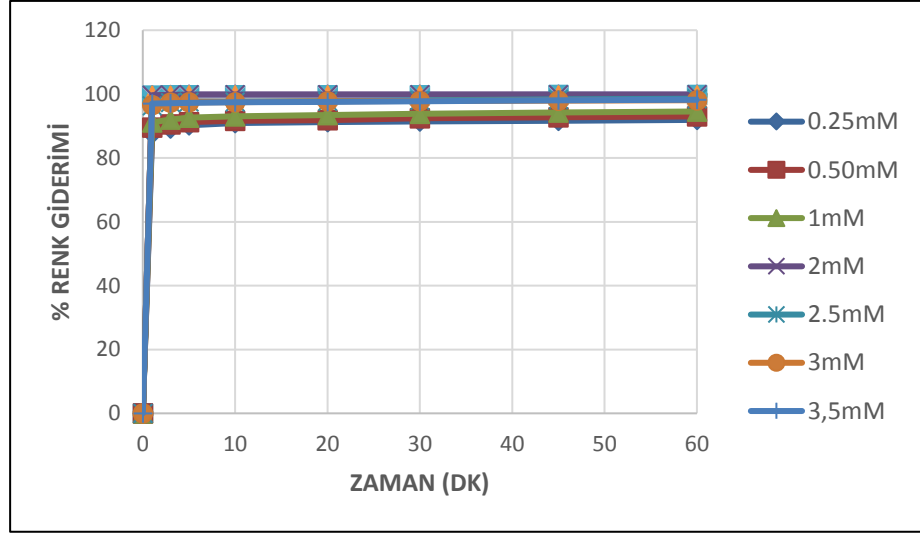
Bu çalışmada tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılan boyar maddelerden biri olan Direkt Blue 71 boyarmaddesinin Fenton oksidasyonu (H₂O₂/Fe⁺²) ile arıtımı incelenmiştir. Çalışmalar farklı başlangıç H₂O₂, Fe⁺², boya konsantrasyonlarında ve farklı başlangıç pH değerlerinde yürütülmüştür. Arıtım verimliliği sentetik olarak hazırlanan boya çözeltisinin renk giderimleri ve KOİ giderim verimleri incelenmiştir.

4.4.1. Fenton (H₂O₂/Fe⁺²) Prosesi pH Etkisi

Fenton prosesi kullanılan kimyasal reaktiflerden (Fe⁺²,H₂O₂) dolayı giderim verimleri büyük ölçüde pH'ya bağlıdır. Belirlenen deneysel koşullar H₂O₂ konsantrasyonu: 50 mM, Fe⁺² konsantrasyonu: 2 mM sabit tutularak, 2-4.5 aralığında değişen giriş pH değerlerinin KOİ ve renk giderimi üzerine etkileri incelenmiştir. Fenton prosesleri, demirin asidik pH ortamında daha çok çözünmesinden dolayı düşük pH değerlerinde daha etkilidir. Sulu çözelti etkisi incelenmek istenen pH değerine ayarlanıp, içerisine belirlenen konsantrasyonda Fe⁺² (2mM) eklenmiştir. Manyetik karıştırıcıda 5 dakika homojen bir karışım elde edildikten sonra 50 mM H₂O₂ ilave edilerek reaksiyon başlatılmıştır. 60 dakikalık süre boyunca belirlenen aralıklarda numuneler alınmıştır. KOİ ve renk giderim verimlerinin hangi Ph da daha yüksek olduğu incelenmiştir. Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de görüldüğü gibi farklı pH değerlerindeki KOİ ve renk giderim sonuçları verilmiştir.



Şekil 4.11.Sulu çözeltinin KOİ giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi



Şekil 4.12.Sulu çözeltinin renk giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi

Fenton prosesi reaksiyonlarında en yüksek ayrışma verimi ve optimum pH değerini belirlemek için pH 2 ve 4.5 değerleri arasında deneyler yapılmıştır. pH deneyleri H_2O_2 50 mM, Fe^{+2} 2 mM olacak şekilde ayarlandıktan sonra denemeler gerçekleştirilmiştir. En kısa sürede en yüksek giderim veriminin olduğu pH değeri, optimum pH değeri olarak pH 3 seçilmiştir. Deneyler sonucunda pH 3’de % 45.70 KOİ, % 96.53 renk giderimi ile 60. dakikada en iyi giderim sağlanmıştır. Fakat 30.dakika itibariyle KOİ ve renk giderim verimleri oldukça iyi olduğu gözlemlenmiştir. Reaksiyon çözeltisinin pH değeri 2’den 4.5’e arttırıldığında,

Fenton prosesi reaksiyonunda ayrışma verimi KOİ için %45.70'den %24.90'a kadar düşmüştür. Fakat renk giderim verimi için bir düşüş gözlenememiştir.

Düşük pH koşullarında reaksiyon veriminin artması, hidrojen peroksitin asidik pH'larda az da olsa daha kararlı halde bulunan Fe^{2+} katalizörlüğünde daha hızlı bozunarak reaksiyon ortamına daha çok $HO\bullet$ radikali üretmesinden kaynaklanmaktadır. Reaksiyon ortamında $HO\bullet$ radikali çoğalması daha çok boyarmadde molekülünün parçalanmasını sağlayarak giderim oranının verimini fazlalaştırmaktadır. Hidrojen peroksit ve hidroksil radikallerinin oksitleme özelliklerinin asidik ortamlarda daha fazla olduğu bilinmektedir (Lücking vd., 1998). Ortamda H^+ iyonlarının olması H_2O_2 'nin bozunmasını arttırdığını ve optimum reaksiyon koşullarının asidik olması gerektiğini belirtmişlerdir (Neyens ve Baeyens, 2003). Bunların yanı sıra Fenton prosesleri için optimum pH değerinin pH 3 olduğunu belirtilmiştir. "Reaksiyon pH'ının 4'ün üzerine çıkması durumunda ise reaksiyon ortamında çözülmüş halde bulunan Fe^{2+} katalizörünün ferrik hidroksit komplekslerine dönüşmesi ve Fe^{2+} katalizörünün etkinliğinin azalmasına neden olduğu bildirilmektedir" (Litter, 2005).

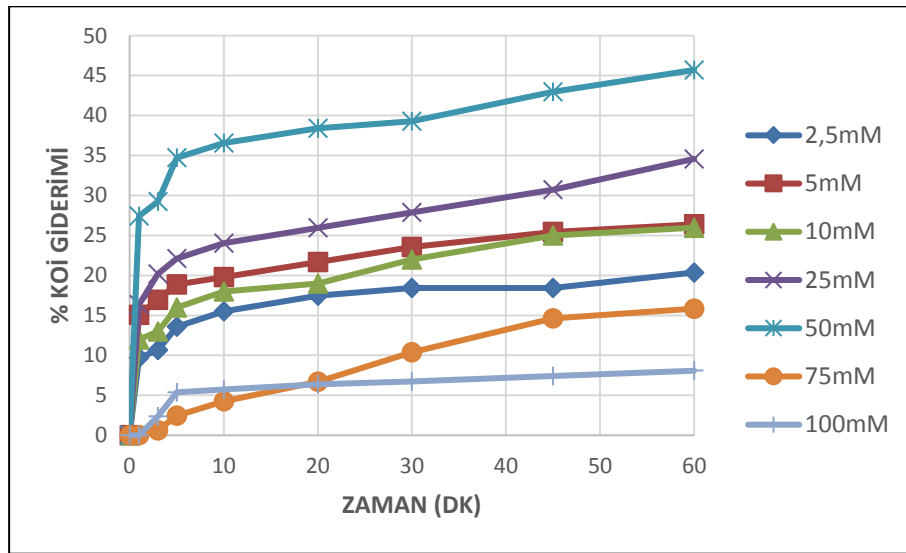
pH değeri $OH\bullet$ radikallerinin oluşumunu ve dolayısıyla oksidasyon verimliliğini etkilemektedir. $pH > 3$ 'te giderim işleminin verimsiz olmasının nedeni H_2O_2 'nin kendiliğinden ayrışma ve bozunma hızının çok artmasıdır. Çok düşük pH'da ise hidronyum iyonunun $(H_3O)^+$ baskın hale gelmesi ve H_2O_2 stabilitesinin artması ile $OH\bullet$ radikalinin oluşumu sınırlanmakta ve sonuç olarak daha az kirletici oksitlenmektedir (Sreeja ve Sosamony, 2016).

6.4.2. Hidrojen Peroksit Konsantrasyonunun Etkisi

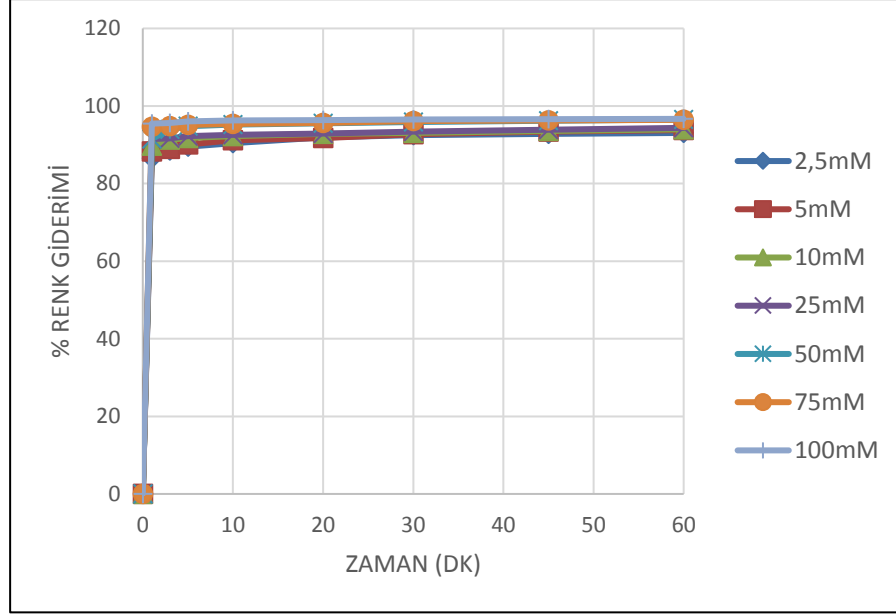
Boyarmaddelerin renk giderim verimliliğinde hidrojen peroksit konsantrasyonu en önemli parametrelerden biridir (Bautista vd., 2008). Fenton prosesi reaksiyonları, hidrojen peroksitin bozunmasından dolayı oluşan hidroksil radikallerinin oksitleyici özelliği sonucunda ortaya çıkar. Bundan dolayı hidrojen peroksit, reaksiyon ortamında üretilen hidroksil radikallerinin yapı taşıdır.

Bu veriler göz önünde bulundurularak hidrojen peroksitin fenton prosesi oksidasyonu Direkt Blue 71 boyarmaddesinin KOİ ve renk giderimine etkisini

incelemek amacıyla 0.25-100 mM H₂O₂ dozlarında bir dizi deneysel çalışma yapılmıştır. Bu deneysel çalışmalarda, bir önceki aşamaya bakılarak seçilen optimum pH değeri kullanılmıştır. Optimum pH 3 ve demir miktarı ise 2mM sabit tutulmuştur. pH değeri 3'e getirilen sulu çözelti içerisine 2 mM Fe⁺² iyonu ilave edildikten sonra manyetik karıştırıcıda 5 dakika karıştırılıp homojen bir karışım elde edilmiştir. Ardından farklı konsantrasyonlardaki hidrojen peroksit miktarları eklenip deney başlatılmıştır. Belirli aralıklarla numuneler alınmış ve giderim verimleri incelenmiştir.



Şekil 4.13.Sulu çözeltinin KOİ giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi



Şekil 4.14.Sulu çözeltinin renk giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi

H₂O₂ konsantrasyonunun zamana karşı KOİ ve renk giderim veriminin etkisini incelemek amacıyla 2 mM Fe⁺² konsantrasyonunda ve pH 3'de denemeler yapılmıştır. Optimum H₂O₂ konsantrasyonunu bulabilmek için 2.5, 5, 10, 25, 50, 75 ve 100 mM H₂O₂ konsantrasyonlarında deneyler yapılmıştır. Elde edilen verilere göre H₂O₂ konsantrasyonu 2.5 mM'dan 50 mM'a kademeli olarak arttırıldığında giderim verimleri lineer bir artış göstermiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda giderim verimleri 60. dakikaya kadar arttığı, gözlemlenmiştir. 2,5 mM H₂O₂ konsantrasyonunda KOİ ve renk giderimi sırasıyla % 20.37 ve % 93.06 iken 50 mM'da % 45.70 ve % 96.53'e yükselmiştir. 75 ve 100 mM H₂O₂ konsantrasyonlarında iki değer için de giderim verimlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. H₂O₂ konsantrasyonu arttıkça giderimin yükselmesinin sebebi, atıksu içerisindeki organik maddelerin parçalanma hızını arttıran hidroksil radikallerinin artış göstermesidir. Fakat fazla miktarda H₂O₂ konsantrasyonunda olumsuz etkisi peroksitler hidroksil radikalleri ile tepkimeye girerek giderim verimini azaltmaktadır (Ulusoy, 2004). Aynı zamanda arttırılmış sudaki kalıntı, H₂O₂ ile tepkimeye girerek kimyasal oksijen ihtiyacını da arttırdığı tesbit edilmiştir (Rodríguez vd., 2002). Bu durum yapılan deneysel çalışmalarda 75 ve 100 mM H₂O₂ konsantrasyonlarında gözlemlenmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi en iyi giderimin sağlandığı 50 mM, optimum H₂O₂ konsantrasyonu olarak belirlenmiştir.

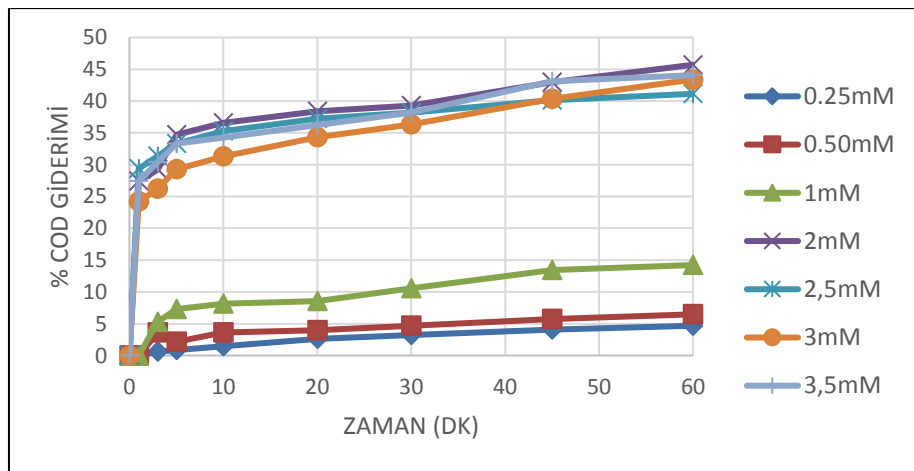
Optimum reaksiyon süresi ise KOİ için 60. dakika, renk giderimi için 1. dakikandan sonra olduğu gözlemlenmiştir.

Hidrojen peroksitin varlığı organizmaların büyük çoğunluğu için zararlı olup Fenton prosesi oksidasyonunun biyolojik oksidasyon için bir ön işlem olarak kullanıldığı durumlarda, biyolojik arıtma prosesi etkinliğini büyük ölçüde etkileneceği belirtilmiştir (Ito vd., 1998).

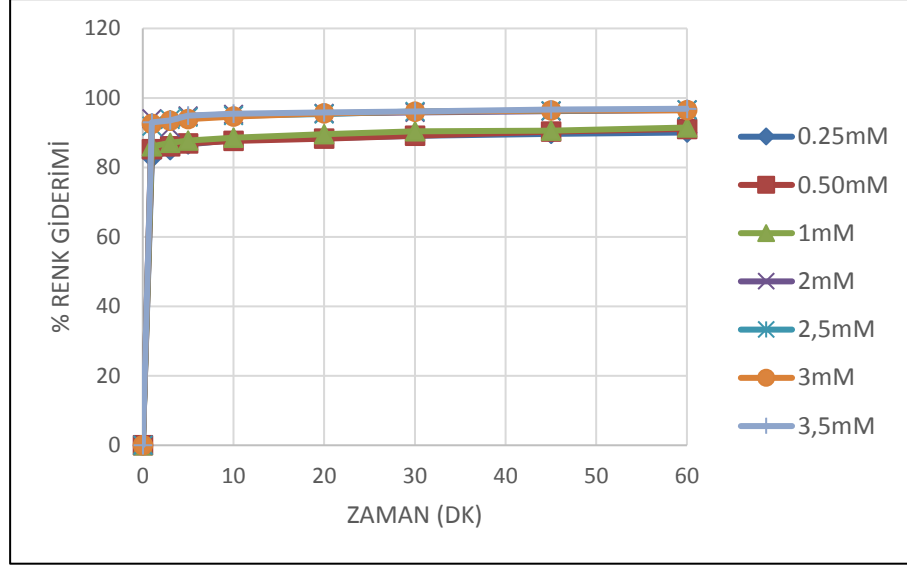
4.4.3. Fe (II) Konsantrasyonunun Etkisi

Hirojen peroksidin düşük pH'lı ortamda Fe^{+2} ile reaksiyonundan dolayı oluşan yüksek oranda oksidatif hidroksil radikali (OH^*), organik kirleticilerin büyük bir kısmının karbondioksit ve suya, çabuk ve seçici olmayan bir şekilde bozabilir. Bu çalışma temelinde dayanarak Fenton prosesi, çeşitli organik atıksuların arıtımı için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Bautista vd., 2008).

Başlangıç Fe^{+2} iyonu konsantrasyonunun optimum değerini belirlemek için önceki aşamalarda belirlenen optimum pH ve H_2O_2 konsantrasyon kullanılarak 0.25-3.5 mM aralığında farklı demir iyonu konsantrasyonlarında deneyler yapılmıştır. İlk olarak pH değeri 3'e ayarlanan sulu çözelti içerisine belirlenen konsantrasyonlardaki demir iyonlarından eklenir. Manyetik karıştırıcıda 5 dakika karıştırıldıktan sonra bir önceki aşamada seçilen 50 mM H_2O_2 konsantrasyonu eklenerek reaksiyon başlatılmıştır. Farklı konsantrasyonlardaki Fe^{+2} iyonunun giderim verimi üzerindeki etkileri incelenmiştir.



Şekil 4.15. Sulu çözeltinin KOİ giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi



Şekil 4.16.Sulu çözeltinin renk giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi

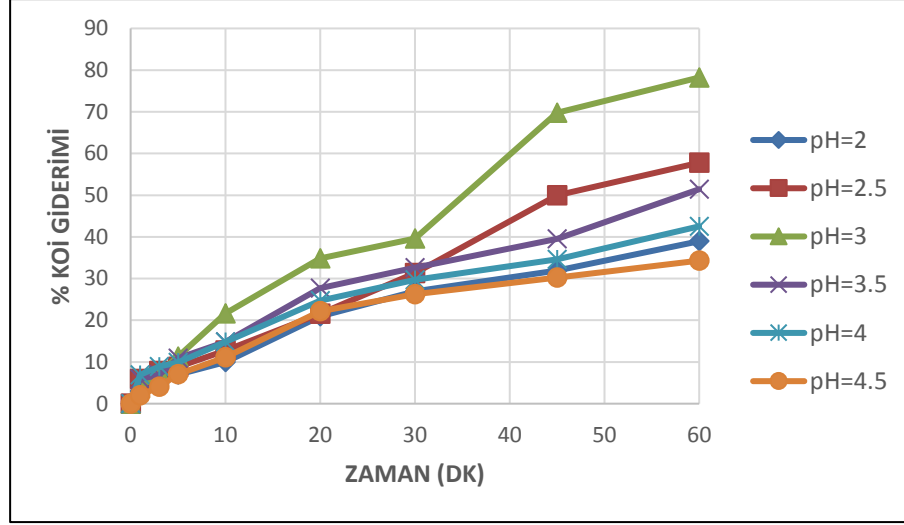
Optimum demir iyonu konsantrasyonunu ve Fenton prosesindeki etkisini belirlemek için 0.25 ile 3,5 mM Fe^{+2} iyonu konsantrasyonlarında deneyler yapılmıştır. Dneylerde farklı demir konsantrasyonu için pH 3 ve H_2O_2 50 mM değerleri sabit tutulmuştur. KOİ için giderim verimi 60. dakikaya kadar devam ettiği gözlemlenmiştir. Renk giderim verimi ilk dakikalardan itibaren % 85 leri bulduğu gözlemlenmiştir. 0.25 mM demir iyonu konsantrasyonunda KOİ giderimi % 4.68, renk giderimi % 90.24 iken bu giderim verimleri 2 mM’da sırasıyla % 45.70 ve % 96,53’e kadar yükselmiştir. Demir iyonunun konsantrasyonu arttıkça reaksiyon hızıda artar ve böylece ortamda daha fazla hidroksil radikalleri oluşur. Oluşan hidroksil radikalleri organik maddeleri uzaklaştırmasıyla giderim verimini arttırdığı gözlemlenmiştir. Demir konsantrasyonu giderim verimlerine bakıldığında optimum Fe^{+2} konsantrasyonu 2 mM olarak seçilmiştir. Demir konsantrasyonu 2mM’den fazla olduğu reaksiyonlarda giderim veriminin azaldığı gözlemlenmiştir. Giderim veriminin düşmesi demir iyonlarının hidroksil radikallerini süpürme etkisi oluşturmasından kaynaklanmaktadır. Başka bir deyişle oluşan OH^\bullet radikalleri, reaksiyon hızının fazla olması sebebiyle ilk olarak Fe^{+2} iyonuyla reaksiyona girmesidir (Joseph vd., 2000). En iyi KOİ giderim verim ise 60. dakikada gerçekleşmiştir. En iyi renk giderim verimi ise ilk dakikalarda gerçekleşmiştir.

4.5. Foto-Fenton (UV/H₂O₂/Fe⁺²) Prosesi

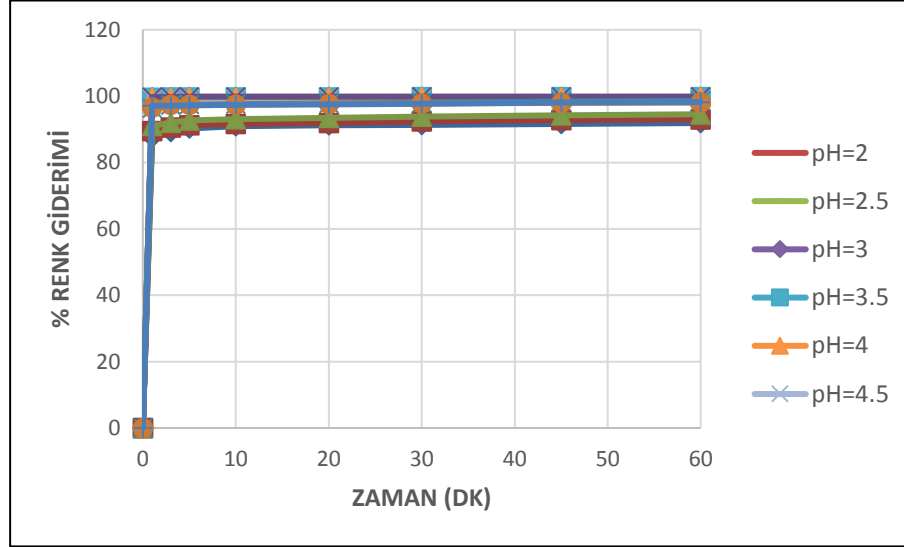
Foto-fenton prosesi fenton prosesinin UV lambası eşliğinde çalışma prensibine dayanmaktadır. Fe⁺² iyonu ile H₂O₂ ve UV radyasyonunun bir birleşimi olarak Fenton yöntemine veya fotolizine oranla daha çok hidroksil radikali üretir. Bu üretim sonucunda organik kirleticilerin parçalanma yüzdesini arttırır (Gogate vd, 2004). Çalışmanın bu bölümünde; Foto-Fenton prosesinde pH, H₂O₂ ve Fe⁺²'nin, 16 W ve 254 nm düşük basınçlı civa lambası kullanarak Direct Blue 71 boyarmaddeli sulu çözeltilerinden KOİ ve renk giderimi verimleri üzerindeki etkileri gözlemlenmiştir.

4.5.1. Foto-Fenton (UV/H₂O₂/Fe⁺²) Prosesi pH Etkisi

Foto-Fenton prosesi düşük pH'da daha verimli olmaktadır. Bunun nedeni asidik pH etkisi altında baskın reaktif oksidan olan OH• radikalleri oluşumu sağlanır. Bazik pH değerlerinde OH• radikalleri yüksek oksitleme gücüne sahipken oluşan hidroperoksil radikallerinin oksitlenme gücü düşüktür. Daha asidik pH'larda daha iyi sonuç almanın bir diğer sebebi de artan demir çözünürlüğüdür. Bu nedenle foto-fenton prosesinin pH etkisini inceleyebilmek için pH aralığı 2 ile 4.5 arasında deneyler yapılmıştır. Yürütülen pH deneyleri için H₂O₂ konsantrasyonu 50 mM, Fe⁺² iyonu konsantrasyonu 2 mM olarak alınmıştır. Çalışılmak istenen pH değerine ayarlanan sulu çözelti içerisine 2 mM Fe⁺² iyonu eklenerek manyetik karıştırıcıda 5 dakika karıştırılmıştır. Bu işlemin ardından 50 mM H₂O₂ ilavesi ile UV lambasının açılması eş zamanlı olacak şekilde ayarlanıp deneysel çalışma başlatılmıştır. Belirli aralıklarla 60 dakika boyunca numuneler alınıp giderim verimleri incelenmiştir.



Şekil 4.17. Sulu çözeltinin KOİ giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi



Şekil 4.18. Sulu çözeltinin KOİ giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi

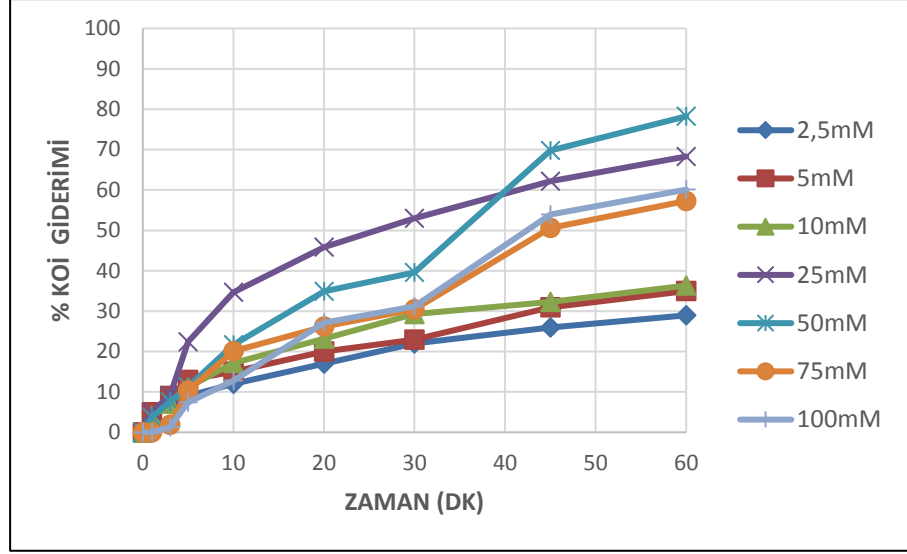
Fenton prosesi reaksiyonuna UV ışığı eklenmesi fazladan hidroksil radikallerinin oluşmasını sağlar. Bunun yanı sıra Fe(III)'ün indirgenmesiyle demir katalizörünün geri dönüşümünün oluşumunda sağlar. Farklı ferrik türevleri foto-indirgenmesi, demir iyonlarının ve radikal türlerin üretimine katkı sağlar.

Foto-Fenton prosesinde pH, Fe^{+2} iyonunun çözünürlüğünü ve oksidasyon durumunu büyük oranda etkiler. “Zayıf iyonize edilmiş H_2O_2 , H^+ 'yı üretir ve H_2O_2 'nin bazik durumda O_2 ve H_2O 'ya ayrışmasına neden olur” (Liu vd, 2018).

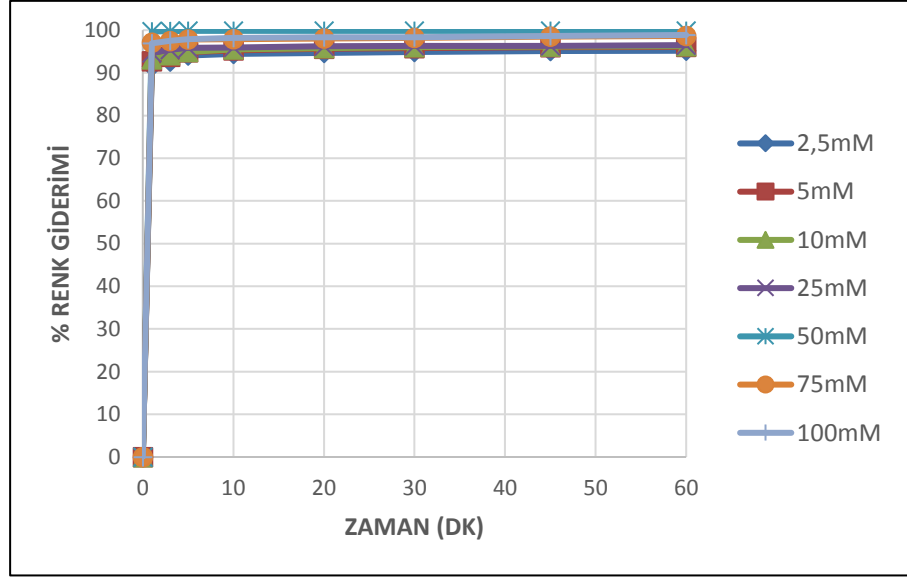
Sonuç olarak Fenton prosesine ek olarak UV ışığı ile gerçekleştirilen foto-fenton prosesinde gerçekleştirilen pH denemelerinde optimum pH değeri 3 olarak bulunmuştur. pH 3'de maksimum giderimin sağlandığı 60. dakikada KOİ giderimi %78.23 ve renk giderim verimi ise %99.84 olarak gözlemlenmiştir.

4.5.2. Hidrojen Peroksit Konsantrasyonunun Etkisi

Foto-Fenton prosesinin uygulanması esnasında, organik atık konsantrasyonuyla alakalı olarak optimum H₂O₂ konsantrasyonunun belirlenmesi gereklidir. Bundan dolayı yüksek konsantrasyonlarda organik maddelerin parçalanması için UV/H₂O₂/Fe⁺² prosesinde uygun ve optimum H₂O₂ konsantrasyonunu belirleyip seçmek için bir dizi çalışmalar yapılmıştır. Prosesinin bir önceki aşamada yapılan deneyler sonucunda pH etkisi deneylerinde bulunan optimum pH değerinde 3 ve 2 mM Fe⁺² iyonu kullanılarak 2.5, 5, 10, 25, 50, 75 ve 100 mM H₂O₂ konsantrasyon denemeleri yapılmıştır. pH ve demir iyonu konsantrasyonu deneysel çalışmalar boyunca değiştirilmemiş ve sabit tutulmuştur. Sulu çözelti, optimum pH 3 değerine ayarlanarak içerisine 2 mM Fe⁺² iyonu ilave edilmiştir. Homojen bir karışım elde edilmesi için 5 dakika boyunca manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Ardından pH aşamasında olduğu gibi UV lambası ile H₂O₂'in eş zamanlı olarak uygulanmış ve belirli zaman aralıklarında numuneler alınmıştır. Reaksiyonun ilk dakikalarında H₂O₂ etkisinin gözlemlenebilmesi için oldukça önemli bir zaman aralığıdır. Bu nedenle UV ve hidrojen peroksitin aynı anda uygulanmasına önem verilmelidir. Farklı H₂O₂ konsantrasyonlarının optimum giderim verimleri Şekil 6.19'da, zamanla KOİ giderim üzerindeki etkileri, renk giderim verimleri üzerindeki etkileri ise Şekil 6.20'de gösterilmiştir.



Şekil 4.19. Sulu çözeltinin KOİ giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi



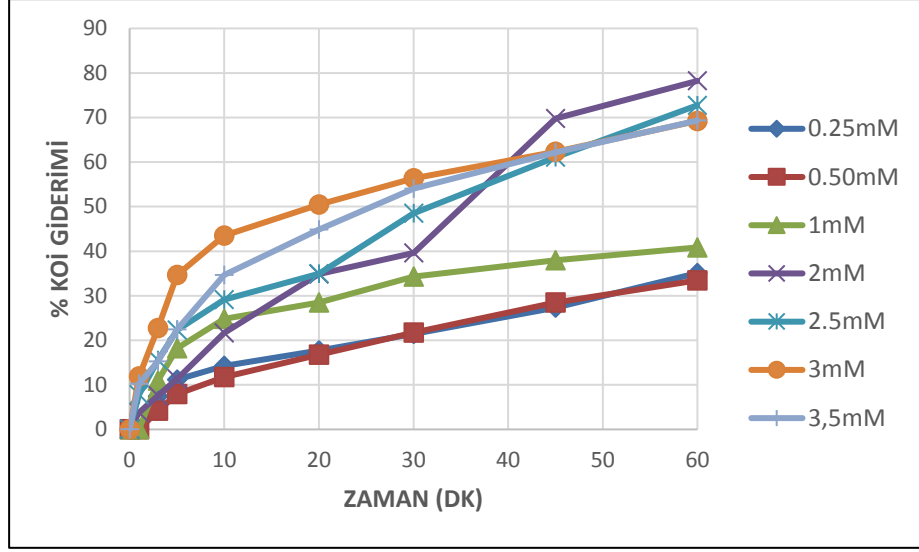
Şekil 4.20. Sulu çözeltinin KOİ giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi

H_2O_2 'in UV ışığı ile direkt fotolizi sonucunda 2 hidroksil radikali oluşturmaktadır. UV sayesinde ortaya çıkan bu serbest radikallerin gerçekleştirdiği reaksiyonlar, parçalanma ve minerilizasyon hızını arttırmaya yardımcı olmaktadır. Foto-fenton prosesinde UV ışığı ile daha fazla hidroksil radikali oluşmaktadır. Oluşan fazla hidroksil radikali fenton prosesine kıyasla daha az H_2O_2 konsantrasyonuna ihtiyaç duymaktadır. Direkt Blue 71 boyar maddesinden oluşturulan sulu çözeltide çeşitli konsantrasyonlarda H_2O_2 eklenerek başlangıç H_2O_2 konsantrasyonunun KOİ ve renk giderimi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

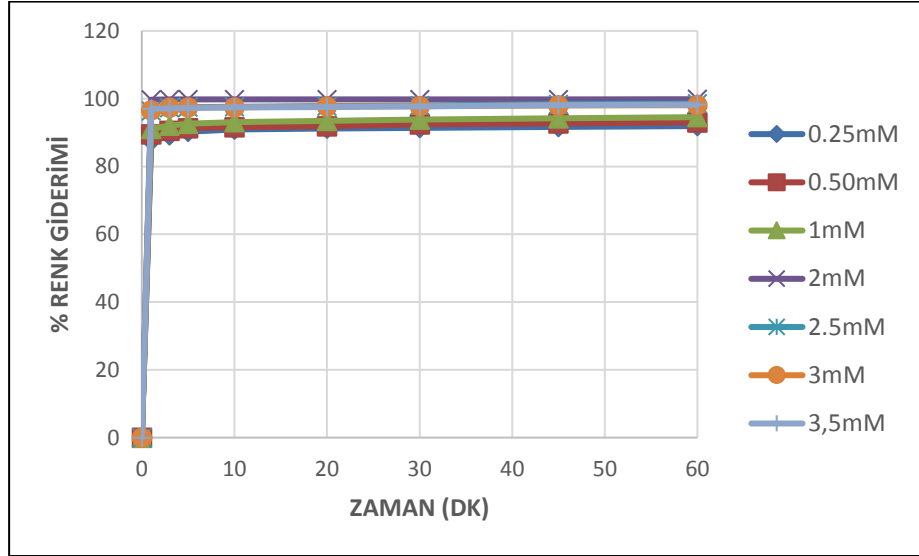
Minimum miktarda H_2O_2 kullanarak en yüksek giderim verimi sağlanmaya çalışılmıştır. UV ışığı altında pH 3'de 2 mM Fe^{+2} iyonu konsantrasyonu ile çeşitli H_2O_2 konsantrasyon deneyleri yapılmıştır. Elde edilen deney sonuçlarına göre, artan H_2O_2 konsantrasyonu giderim verimlerini arttırdığı gözlemlenmiştir. Fakat H_2O_2 konsantrasyonundaki artışın hep verim artışını sağlamadığı, belli bir konsantrasyondan sonra giderim verimini düşürdüğü gözlemlenmiştir. Maksimum % 78,23 KOİ ve % 99,84 renk giderimlerinin elde edildiği H_2O_2 konsantrasyonu 50 mM olarak elde edilmiştir. 50 mM'den fazla olan H_2O_2 konsantrasyonlarda hidroksil radikalleri H_2O_2 ile reaksiyona girerek giderim verimlerini düşürmesine sebep olabilir (Bali, 2004).

4.5.3. Fe(II) Konsantrasyonunun Etkisi

İleri oksidasyon proseslerinde Foto-Fenton gibi proseslerde kullanılacak olan reaktiflerin doğru konsantrasyonlarda kullanılması proses verimi açısından çok önemlidir. Bunun yanı sıra reaktiflerin fazlalığı veya eksikliği, proses veriminin oranı değiştirir. Bu proseste tıpkı fenton prosesinde olduğu gibi demir iyonları H_2O_2 'i kataliz eder ve hidroksil radikallerinin oluşmasına katkıda bulunur. En iyi giderim veriminin sağlanabilmesi için bir önceki aşamalarda bulunan optimum H_2O_2 konsantrasyonu ve Ph değerine uygun oranda başlangıç Fe^{+2} iyonu konsantrasyonunu belirlemek gerekir. Optimum pH ve H_2O_2 konsantrasyon değerleri sabit tutularak 0.25 ile 3.5 mM arası demir iyonu konsantrasyon çalışmaları yapılmıştır. Sulu çözeltinin pH'ı seçilen optimum değere getirildikten sonra içerisine belirlenen aralıktaki demir iyonları konsantrasyonundan en az olanından başlanarak sırasıyla denemeler yapılmıştır. Demir iyonu eklendikten sonra optimum H_2O_2 ilave edilip eş zamanlı olarak UV lambası açılmış ve deneysel çalışma başlatılmıştır. Belirlenen zaman aralıklarında numuneler alınmıştır ve başlangıç Fe^{+2} iyonunun reaksiyon verimi üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. Farklı konsantrasyonlardaki Fe^{+2} iyonunun giderim verimi üzerindeki etkileri Şekil 4.21'de ve Şekil 4.22'de verilmiştir.



Şekil 4.21. Sulu çözeltinin KOİ giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi



Şekil 4.22. Sulu çözeltinin KOİ giderim veriminin zamana karşı pH ile değişimi

Başlangıç Fe^{+2} iyonu konsantrasyonunun boyarmaddeli sulu çözeltisi için KOİ ve renk giderim verimi üzerindeki etkisinin gözlemlenmesi amacıyla farklı demir iyonu konsantrasyonlarında deneyler yapılmıştır. Fe^{+2} iyonu konsantrasyonları 0.25-3.5 mM arasında değişiklik gösteren konsantrasyon denemeleri için optimum pH 3 ve optimum H_2O_2 50 mM'dır. Şekil 4.21 ve 4.22'de anlaşılacağı gibi Fe^{+2} iyonu konsantrasyonu arttıkça KOİ ve renk giderim verimleri de pozitif yönde artış göstermiştir fakat Fe^{+2} konsantrasyonu fazlaştıkça KOİ giderim veriminde azalma olduğu gözlemlenmiştir. Maksimum KOİ ve renk giderimi 2 mM

başlangıç Fe^{+2} iyonu konsantrasyonu için 60. dakika sonunda sırasıyla % 78.23 ve % 99.84 olarak elde edilmiştir. Demir iyonu konsantrasyonu fazlalaştıkça giderim verimlerinin artması, katalizörün yüzey alanındaki artıştan kaynaklanır. Işık yoğunluğu artması giderim oranıyla doğru orantılıdır. Bunun nedeni, Fe^{+2} iyonları ile reaksiyona giren foton sayısının artmasıdır, bu durumdan anlaşılacağı üzere hidroksil radikalinde artış olur ve buda reaksiyon hızında artış ile sonuçlanır (Rott vd., 2017). Elde edilen veri sonuçlarına bakıldığında optimum Fe^{+2} iyonu konsantrasyonu 2 mM olarak bulunmuştur. Bir saat sürede gerçekleşen deneylerde 60. dakikaya kadar verimin artmaya devam ettiği gözlemlenmiştir.

Kirletici konsantrasyonuna sahip atıksular için Fe^{+2} iyonu konsantrasyonu arttıkça ilave oluşan hidroksil radikallerinden dolayı ayrışma verimi de artar. Ortamda olması gereken miktardan daha çok Fe^{+2} iyonu olduğu durumlarda, demir iyonları hidroksil ve hidroperoksil radikalleri ile reaksiyona girerek organik kirleticilerin ayrışma verimini azaltır. Hidroksil çamuru oluşum nedeni ise bu fazla Fe^{+2} iyonudur. Fe^{+2} iyonlarının olması gereken miktardan az olması durumunda ise Fe^{+2} iyonları hızlıca tükenir ve buda H_2O_2 ayrışmasının durmasına ve minerilizasyon veriminin düşmesine neden olur (Solmaz vd., 2010).

4.6.Maliyet Hesabı

Maliyet hesapları Fenton prosesi için optimum koşullar pH:3, H_2O_2 konsantrasyonu 50 mM, Fe^{+2} konsantrasyonu 2 mM ve reaksiyon süresi 60 dakika, foto-Fenton prosesi için pH:3, H_2O_2 konsantrasyonu 50 mM, Fe^{+2} konsantrasyonu 2 mM ve reaksiyon süresi 60 dakika olarak hesaplanmıştır. Dolar kuru 1\$= 14.64 TL olarak alınmıştır.

Fenton ve Foto-Fenton prosesleri için;

1 L H_2O_2 miktarı 60 TL'dir.

Harcanan H_2O_2 konsantrasyonu 50 mM = 4.3 mL/L = 8.6 mL/2 L

Kullanılan H_2O_2 miktarının fiyatı;

8,6 mL hidrojen peroksitin fiyatı 0,52 TL'dir.

0,52 TL/2 L x 1000 L/m³= 260 TL/m³ = 17,76 \$/m³

1 kg FeSO₄.7H₂O miktarı 130 TL'dir

Harcanan Fe⁺² konsantrasyonu 2.5 mM = 700 mg/L FeSO₄.7H₂O = 1400 mg/2 L

Kullanılan FeSO₄.7H₂O miktarının fiyatı;

1400 mg demir sülfat heptahidratın fiyatı 0.182 TL'dir. 0.182 TL/2 L x 1000 L/m³ = 91 TL/m³ = 13.38 \$/m³

UV Lamba gücü hesaplama;

$$EET \text{ (foto-Fenton)} = \frac{P \cdot t}{V \cdot (C_{0(KOI)} - C_{(KOI)})}$$

P: UV lambasının çıkış gücü (W) t: Zaman (dk.)

V: Atıksu hacmi (L)

C₀(KOİ): Giriş KOİ miktarı (mg/L)

C(KOİ): Çıkış KOİ miktarı (mg/L)

UV lambası kullanılarak yapılan deneysel çalışmalarda Fenton ve Foto-Fenton proseslerinde en iyi giderim 60 dakikada gerçekleşmiştir. Hesaplamalar optimum koşullara göre yapılmıştır. Her bir proste giriş ve çıkış KOİ değeri farklı olduğundan dolayı 1 kg KOİ için elektrik enerji tüketimi ayrı ayrı hesaplanmıştır. Birim elektrik fiyatı Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu tarafından 2022 yılı nisan ayı tek zamanlı ticarethane olarak görevli tedarik şirketi kullanıcılar için 0.3427 TL/kWh olarak belirlenmiştir (Enerjiportalı, 2022).

Foto-Fenton Prosesi için;

$$EET \text{ (foto-Fenton)} = \frac{P \cdot t}{V \cdot (C_{0(KOI)} - C_{(KOI)})}$$

$$EET \text{ (foto-Fenton)} = 37.33 \text{ kWh/kg KOİ}$$

$$37.33 \text{ kWh/kg KOİ} \times 0.3427 \text{ TL/kWh} = 12,79 \text{ TL/kg KOİ} = 0,87 \text{ \$/kg KOİ}$$

4.6. Reaksiyon Kinetikleri

Laboratuvar testlerinde izleyici parametre olarak KOİ ve renk için hesaplanan giderim verim değerleri kullanılarak, UV, UV/H₂O₂, UV/Fe⁺², Fenton ve Foto-Fenton reaksiyonları için kinetik model belirleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda sıfırıncı, birinci ve ikinci derece kinetik modellemesi yapılmıştır. Aşağıda kinetik denklemler ve ifade edilişleri gösterilmektedir (Özkan ve vd., 2010; Van Boekel, 2008; Labuza, 1984) .

0.Derece kinetik denklemi;

$$C=C_0-kxt$$

1.Derece kinetik denklemi;

$$\ln C/C_0=-kxt$$

2.Derece kinetik denklemi;

$$1/C=1/C_0+kxt$$

Burada; C= incelenen bileşiğin t süre sonundaki konsantrasyonu, Co= incelenen bileşiğin başlangıç konsantrasyonu, k = reaksiyon hız sabitini, t=süre ifade etmektedir.

Kinetik değerlendirmeler R² değeri 0.97-0.98-0.99 olan denklemler için yapılmıştır.

UV Oksidasyonu

Tablo 4. 4. UV prosesinde 0,1 ve 2. derece KOİ için reaksiyon kinetikleri

KOİ						
pH	k ₀ (mg/Lxdk)	R ²	k ₁ (1/dk)	R ²	k ₂ (L/mgxdk)	R ²
4	-0,1629	0,7996	-0,0007	0,8079	0,0007	0,8079
7	-0,2211	0,9286	-0,0011	0,9359	0,0011	0,9359
10	-0,154	0,8225	-0,0007	0,8282	0,0007	0,8282

İkinci derece kinetiğe uyduğu anlaşılmıştır.

Tablo 4. 5. UV prosesinde 0,1 ve 2. derece renk için reaksiyon kinetikleri

RENK						
pH	$k_0(\text{mg/Lxdk})$	R^2	$k_1(1/\text{dk})$	R^2	$k_2(\text{L/mgxdk})$	R^2
4	-0,0043	0,8739	-0,0004	0,8801	0,0004	0,8801
7	-0,0105	0,9590	-0,0009	0,9641	0,0009	0,9641
10	-0,0091	0,9592	-0,0008	0,9635	0,0008	0,9635

İkinci derece kinetiğe uyduğu anlaşılmıştır.

UV/H₂O₂ Oksidasyonu; pH DENEMELERİ

Tablo 4. 6. UV/H₂O₂ prosesinde farklı pH'larda KOİ için reaksiyon kinetikleri

KOİ						
pH	$k_0(\text{mg/Lxdk})$	R^2	$k_1(1/\text{dk})$	R^2	$k_2(\text{L/mgxdk})$	R^2
3	-0,9799	0,9056	-0,0015	0,9193	0,0015	0,9193
4	-0,9799	0,9403	-0,0016	0,9289	0,0016	0,9289
5	-0,9371	0,9770	-0,0018	0,9744	0,0018	0,9744
6	-0,8319	0,9136	-0,0015	0,9253	0,0015	0,9253
7	-0,8594	0,9752	-0,0014	0,9754	0,0014	0,9754
8	-0,9302	0,9812	-0,0014	0,9823	0,0014	0,9823
9	-0,8799	0,9573	-0,0013	0,9462	0,0013	0,9462

İkinci derece kinetiğe uyduğu anlaşılmıştır.

Tablo 4. 7. UV/H₂O₂ prosesinde farklı pH'larda renk için reaksiyon kinetikleri

RENK						
pH	$k_0(\text{mg/Lxdk})$	R^2	$k_1(1/\text{dk})$	R^2	$k_2(\text{L/mgxdk})$	R^2
3	-0,0601	0,7767	-0,0170	0,9515	0,0170	0,9515
4	-0,0680	0,8990	-0,0158	0,9978	0,0158	0,9978
5	-0,0733	0,8546	-0,0170	0,9918	0,0170	0,9918

6	-0,0747	0,8707	-0,0181	0,9980	0,0181	0,9980
7	-0,0729	0,9091	-0,0146	0,9983	0,0146	0,9983
8	-0,0763	0,9005	-0,0169	0,9992	0,0169	0,9992
9	-0,0770	0,9235	-0,0166	0,999	0,0166	0,9994

İkinci derece kinetiğe uyduğu anlaşılmıştır.

UV/H₂O₂ Oksidasyonu; H₂O₂ DENEMELERİ

Tablo 4. 8. UV/H₂O₂ prosesinde farklı H₂O₂ konsantrasyonlarında KOİ için reaksiyon kinetikleri

KOİ						
H ₂ O ₂ (mM)	k ₀ (mg/Lxdk)	R ²	k ₁ (1/dk)	R ²	k ₂ (L/mgxdk)	R ²
2,5	-0,2898	0,6622	-0,0014	0,6945	0,0014	0,6945
5	-0,2077	0,1197	-0,0017	0,9650	0,0017	0,9650
10	-0,6177	0,9556	-0,0019	0,9643	0,0019	0,9643
20	-0,8515	0,9638	-0,0018	0,9722	0,0018	0,9722
30	-0,9371	0,9770	-0,0018	0,9744	0,0018	0,9744
40	-1,3543	0,9657	-0,0017	0,9526	0,0017	0,9526
50	-1,9889	0,9301	-0,0026	0,8946	0,0026	0,8946
75	-3,5278	0,9718	-0,0032	0,9620	0,0032	0,9620
100	-3,6953	0,9864	-0,0026	0,9849	0,0026	0,9849

Sıfıncı derece kinetiğe uyduğu anlaşılmıştır.

Tablo 4. 9. UV/H₂O₂ prosesinde farklı H₂O₂ konsantrasyonlarında renk için reaksiyon kinetikleri

RENK						
H ₂ O ₂ (mM)	k ₀ (mg/Lxdk)	R ²	k ₁ (1/dk)	R ²	k ₂ (L/mgxdk)	R ²
2,5	-0,0302	0,9739	-0,0029	0,9877	0,0029	0,9877
5	-0,0533	0,9767	-0,0071	0,9968	0,0071	0,9968
10	-0,0623	0,9510	-0,0098	0,9965	0,0098	0,9965
20	-0,0715	0,8962	-0,0143	0,9966	0,0143	0,9966
30	-0,0733	0,8546	-0,0170	0,9918	0,0170	0,9918
40	-0,0826	0,8844	-0,0225	0,9949	0,0225	0,9949

50	-0,0817	0,8531	-0,0373	0,9454	0,0373	0,9454
75	-0,0830	0,7838	-0,0453	0,9840	0,0471	0,9775
100	-0,0816	0,7597	-0,0532	0,9765	0,0532	0,9765

İkinci derece kinetiğe uyduğu anlaşılmıştır.

UV/Fe⁺² Oksidasyonu; pH DENEMELERİ

Tablo 4. 10. UV/Fe⁺² prosesinde farklı pH'larda KOİ için reaksiyon kinetikleri

KOİ						
ph	k ₀ (mg/Lxdk)	R ²	k ₁ (1/dk)	R ²	k ₂ (L/mgxdk)	R ²
4	-0,5981	0,9579	-0,0058	0,9833	0,0058	0,9833
5	-0,6427	0,8948	-0,0049	0,9352	0,0049	0,9352
6	-0,5433	0,9109	-0,0037	0,9519	0,0037	0,9519
7	-0,3167	0,7307	-0,0018	0,7664	0,0018	0,7664
8	-0,3680	0,8426	-0,0025	0,8790	0,0025	0,8790
9	-0,3393	0,8697	-0,0022	0,9027	0,0022	0,9027

İkinci derece kinetiğe uyduğu anlaşılmıştır.

Tablo 4. 11. UV/Fe⁺² prosesinde farklı pH'larda renk için reaksiyon kinetikleri

RENK						
ph	k ₀ (mg/Lxdk)	R ²	k ₁ (1/dk)	R ²	k ₂ (L/mgxdk)	R ²
4	-0,0206	0,8745	-0,0046	0,9352	0,0046	0,9352
5	-0,0148	0,8752	-0,0028	0,9139	0,0028	0,9139
6	-0,0159	0,8204	-0,0032	0,8735	0,0032	0,8735
7	-0,0167	0,8656	-0,0030	0,8960	0,0030	0,8960
8	-0,0163	0,9043	-0,0030	0,9389	0,0030	0,9389
9	-0,0089	0,6297	-0,0016	0,6656	0,0016	0,6656

İkinci derece kinetiğe uyduğu anlaşılmıştır.

UV/Fe²⁺ Oksidasyonu; Fe²⁺ DENEMELERİ

Tablo 4. 12. UV/Fe²⁺ prosesinde farklı Fe²⁺ konsantrasyonlarında KOİ için reaksiyon kinetikleri

KOİ						
Fe ²⁺ (mM)	k ₀ (mg/Lxdk)	R ²	k ₁ (1/dk)	R ²	k ₂ (L/mgxdk)	R ²
0,5	-0,2066	0,7641	-0,0012	0,7869	0,0012	0,7869
1	-0,1660	0,6988	-0,0010	0,7225	0,0010	0,7225
2	-0,5981	0,9579	-0,0055	0,9740	0,0058	0,9833
2,5	-0,2634	0,8314	-0,0059	0,9123	0,0059	0,9123
3	-0,2570	0,8402	-0,0065	0,9352	0,0065	0,9352
3,5	-0,2928	0,7365	-0,0091	0,8709	0,0091	0,8709
4	-0,1716	0,9173	-0,0117	0,9768	0,0117	0,9768

İkinci derece kinetiğe uyduğu anlaşılmıştır.

Tablo 4. 13. UV/Fe²⁺ prosesinde farklı Fe²⁺ konsantrasyonlarında renk için reaksiyon kinetikleri

RENK						
Fe ²⁺ (mM)	k ₀ (mg/Lxdk)	R ²	k ₁ (1/dk)	R ²	k ₂ (L/mgxdk)	R ²
0,5	-0,0096	0,6649	-0,0010	0,6848	0,0010	0,6848
1	-0,0158	0,8066	-0,0016	0,8336	0,0016	0,8336
2	-0,0206	0,8745	-0,0046	0,9352	0,0046	0,9352
2,5	-0,0086	0,8584	-0,0044	0,9184	0,0044	0,9184
3	-0,0035	0,7140	-0,0034	0,7742	0,0034	0,7742
3,5	-0,0017	0,6368	-0,0020	0,6910	0,0020	0,6910
4	-0,0015	0,3779	-0,0025	0,4440	0,0025	0,4440

İkinci derece kinetiğe uyduğu anlaşılmıştır.

Fenton Oksidasyonu; pH DENEMELERİ

Tablo 4. 14. Fenton prosesinde farklı pH'larda KOİ için reaksiyon kinetikleri

KOİ						
pH	$k_0(\text{mg/Lxdk})$	R^2	$k_1(1/\text{dk})$	R^2	$k_2(\text{L/mgxdk})$	R^2
2	-0,9125	0,6600	-0,0034	0,9357	0,0034	0,9357
2,5	-0,5780	0,9124	-0,0031	0,9274	0,0031	0,9274
3	-0,6774	0,9196	-0,0035	0,9368	0,0035	0,9368
3,5	-0,5135	0,9098	-0,0027	0,9313	0,0030	0,8846
4	-0,5326	0,8648	-0,0025	0,8793	0,0025	0,8793
4,5	-0,6030	0,8740	-0,0029	0,8898	0,0029	0,8898

İkinci derece kinetiğe uyduğu anlaşılmıştır.

Tablo 4. 15. Fenton prosesinde farklı pH'larda renk için reaksiyon kinetikleri

RENK						
pH	$k_0(\text{mg/Lxdk})$	R^2	$k_1(1/\text{dk})$	R^2	$k_2(\text{L/mgxdk})$	R^2
2	-0,0057	0,9447	-0,0067	0,9614	0,0067	0,9614
2,5	-0,0076	0,5308	-0,0120	0,6494	0,0120	0,6494
3	-0,0065	0,5704	-0,0113	0,6961	0,0110	0,7016
3,5	-0,0022	0,9588	-0,0031	0,9641	0,0031	0,9641
4	-0,0021	0,9144	-0,0035	0,9283	0,0035	0,9283
4,5	-0,0025	0,8087	-0,0036	0,8432	0,0036	0,8432

İkinci derece kinetiğe uyduğu anlaşılmıştır.

Fenton Oksidasyonu; H₂O₂ DENEMELERİ

Tablo 4. 16. Fenton prosesinde farklı H₂O₂ konsantrasyonlarında KOİ için reaksiyon kinetikleri

KOİ						
H ₂ O ₂ (mM)	k ₀ (mg/Lxdk)	R ²	k ₁ (1/dk)	R ²	k ₂ (L/mgxdk)	R ²
2,5	-0,4076	0,7773	-0,0019	0,7892	0,0019	0,7892
5	-0,4682	0,9012	-0,0022	0,9127	0,0022	0,9127
10	-0,5738	0,9135	-0,0029	0,9255	0,0029	0,9255
25	-0,7308	0,8495	-0,0043	0,8780	0,0043	0,8780
50	-0,6774	0,9196	-0,0035	0,9368	0,0035	0,9368
75	-1,1491	0,9671	-0,0031	0,9726	0,0031	0,9726
100	-0,7344	0,6120	-0,0010	0,6222	0,0010	0,6222

İkinci derece kinetiğe uyduğu anlaşılmıştır.

Tablo 4. 17. Fenton prosesinde farklı H₂O₂ konsantrasyonlarında renk için reaksiyon kinetikleri

RENK						
H ₂ O ₂ (mM)	k ₀ (mg/Lxdk)	R ²	k ₁ (1/dk)	R ²	k ₂ (L/mgxdk)	R ²
2,5	-0,0106	0,7288	-0,0099	0,7950	0,0099	0,7950
5	-0,0099	0,8466	-0,0103	0,9017	0,0103	0,9017
10	-0,0064	0,7676	-0,0078	0,8286	0,0074	0,8350
25	-0,0053	0,9431	-0,0066	0,9657	0,0066	0,9657
50	-0,0065	0,5704	-0,0110	0,7016	0,0110	0,7016
75	-0,0034	0,8883	-0,0068	0,9180	0,0068	0,9180
100	-0,0021	0,7510	-0,0047	0,7843	0,0047	0,7843

İkinci derece kinetiğe uyduğu anlaşılmıştır.

Fenton Oksidasyonu; Fe⁺² DENEMELERİ

Tablo 4. 18. Fenton prosesinde farklı Fe⁺² konsantasyonlarında KOİ için reaksiyon kinetikleri

KOİ						
Fe ⁺² (mM)	k ₀ (mg/Lxdk)	R ²	k ₁ (1/dk)	R ²	k ₂ (L/mgxdk)	R ²
0,25	-0,6610	0,9461	-0,0008	0,9488	0,0008	0,9488
0,50	-0,6530	0,8545	-0,0010	0,8595	0,0010	0,8595
1	-1,1475	0,7847	-0,0020	0,8049	0,0020	0,8049
2	-0,6774	0,9196	-0,0035	0,9368	0,0035	0,9368
2,5	-0,4579	0,8586	-0,0028	0,8757	0,0028	0,8757
3	-0,7455	0,9430	-0,0046	0,9601	0,0046	0,9601
3,5	-0,6551	0,9146	-0,0041	0,9317	0,0041	0,9317

İkinci derece kinetiğe uyduğu anlaşılmıştır.

Tablo 4. 19. Fenton prosesinde farklı Fe⁺² konsantasyonlarında renk için reaksiyon kinetikleri

RENK						
Fe ⁺² (mM)	k ₀ (mg/Lxdk)	R ²	k ₁ (1/dk)	R ²	k ₂ (L/mgxdk)	R ²
0,25	-0,0110	0,6787	-0,0076	0,7458	0,0076	0,7458
0,50	-0,0104	0,9336	-0,0079	0,9634	0,0079	0,9634
1	-0,0093	0,8670	-0,0075	0,9063	0,0075	0,9063
2	-0,0065	0,5704	-0,0110	0,7016	0,0110	0,7016
2,5	-0,0069	0,7033	-0,0121	0,8140	0,0121	0,8140
3	-0,0069	0,7930	-0,0121	0,8545	0,0121	0,8545
3,5	-0,0065	0,7329	-0,0122	0,8253	0,0122	0,8253

İkinci derece kinetiğe uyduğu anlaşılmıştır.

Foto-Fenton Oksidasyonu; pH DENEMELERİ

Tablo 4. 20. Foto- Fenton prosesinde farklı pH'larda KOİ için reaksiyon kinetikleri

KOİ						
pH	$k_0(\text{mg/Lxdk})$	R^2	$k_1(1/\text{dk})$	R^2	$k_2(\text{L/mgxdk})$	R^2
2	-1,5501	0,9643	-0,0079	0,9809	0,0079	0,9809
2,5	-2,3584	0,9915	-0,0140	0,9839	0,0140	0,9839
3	-3,4138	0,9788	-0,0251	0,9693	0,0251	0,9693
3,5	-1,9279	0,9740	-0,0109	0,9872	0,0109	0,9872
4	-1,5299	0,9663	-0,0081	0,9828	0,0081	0,9828
4,5	-1,3822	0,9153	-0,0069	0,9379	0,0069	0,9379

İkinci derece kinetiğe uyduğu anlaşılmıştır.

Tablo 4. 21. Foto- Fenton prosesinde farklı pH'larda renk için reaksiyon kinetikleri

RENK						
pH	$k_0(\text{mg/Lxdk})$	R^2	$k_1(1/\text{dk})$	R^2	$k_2(\text{L/mgxdk})$	R^2
2	-0,0006	0,5801	-0,0107	0,6584	0,0107	0,6584
2,5	-0,0003	0,4883	-0,0059	0,5408	0,0059	0,5408
3	-0,0002	0,4098	-0,0075	0,4559	0,0075	0,4559
3,5	-0,0002	0,5935	-0,0044	0,6481	0,0044	0,6481
4	-0,0002	0,5660	-0,0042	0,6082	0,0042	0,6082
4,5	-0,0003	0,6108	-0,0056	0,6710	0,0056	0,6710

İkinci derece kinetiğe uyduğu anlaşılmıştır.

Foto-Fenton Oksidasyonu; H₂O₂ DENEMELERİ

Tablo 4. 22. Foto- Fenton prosesinde farklı H₂O₂ konsantrasyonlarında KOİ için reaksiyon kinetikleri

KOİ						
H ₂ O ₂ (mM)	k ₀ (mg/Lxdk)	R ²	k ₁ (1/dk)	R ²	k ₂ (L/mgxdk)	R ²
2,5	-1,0218	0,9551	-0,0050	0,9685	0,0050	0,9685
5	-1,1813	0,9562	-0,0060	0,9729	0,0060	0,9729
10	-1,3141	0,9006	-0,0068	0,9286	0,0068	0,9286
25	-2,5116	0,8684	-0,0182	0,9509	0,0182	0,9509
50	-3,4138	0,9788	-0,0251	0,9693	0,0251	0,9693
75	-3,9183	0,9556	-0,0142	0,9759	0,0142	0,9759
100	-9,8445	0,9602	-0,0148	0,9686	0,0148	0,9686

Sıfırncı derece kinetiğe uyduğu anlaşılmıştır.

Tablo 4. 23. Foto- Fenton prosesinde farklı H₂O₂ konsantrasyonlarında renk için reaksiyon kinetikleri

RENK						
H ₂ O ₂ (mM)	k ₀ (mg/Lxdk)	R ²	k ₁ (1/dk)	R ²	k ₂ (L/mgxdk)	R ²
2,5	-0,0052	0,5503	-0,0074	0,6111	0,0074	0,6111
5	-0,0050	0,5962	-0,0084	0,6633	0,0084	0,6633
10	-0,0047	0,6299	-0,0083	0,6947	0,0083	0,6947
25	-0,0024	0,5684	-0,0051	0,6210	0,0051	0,6210
50	-0,0019	0,4098	-0,0075	0,4559	0,0075	0,4559
75	-0,0026	0,8211	-0,0113	0,9030	0,0113	0,9030
100	-0,0029	0,7276	-0,0139	0,8438	0,0139	0,8438

İkinci derece kinetiğe uyduğu anlaşılmıştır.

Foto-Fenton Oksidasyonu; Fe⁺² DENEMELERİ

Tablo 4. 24. Foto- Fenton prosesinde farklı Fe⁺² konsantrasyonlarında KOİ için reaksiyon kinetikleri

KOİ						
Fe ⁺² (mM)	k ₀ (mg/Lxdk)	R ²	k ₁ (1/dk)	R ²	k ₂ (L/mgxdk)	R ²
0,25	-4,0026	0,9252	-0,0062	0,9500	0,0062	0,9500
0,50	-3,1791	0,9549	-0,0065	0,9749	0,0071	0,9682
1	-1,9623	0,7768	-0,0077	0,8357	0,0077	0,8357
2	-3,4138	0,9788	-0,0251	0,9693	0,0251	0,9693
2,5	-2,6555	0,9690	-0,0193	0,9895	0,0193	0,9895
3	-2,0911	0,8185	-0,0159	0,9176	0,0159	0,9176
3,5	-2,3834	0,9094	-0,0179	0,9730	0,0179	0,9730

İkinci derece kinetiğe uyduğu anlaşılmıştır.

Tablo 4. 25. Foto- Fenton prosesinde farklı Fe⁺² konsantrasyonlarında renk için reaksiyon kinetikleri

RENK						
Fe ⁺² (mM)	k ₀ (mg/Lxdk)	R ²	k ₁ (1/dk)	R ²	k ₂ (L/mgxdk)	R ²
0,25	-0,0059	0,5934	-0,0054	0,6447	0,0054	0,6447
0,50	-0,0054	0,7674	-0,0057	0,8174	0,0057	0,8174
1	-0,0055	0,7952	-0,0070	0,8516	0,0070	0,8516
2	-0,0019	0,4098	-0,0075	0,4559	0,0075	0,4559
2,5	-0,0031	0,7606	-0,0124	0,8753	0,0124	0,8753
3	-0,0020	0,6646	-0,0073	0,7527	0,0073	0,7527
3,5	-0,0021	0,9798	-0,0083	0,9874	0,0083	0,9874

İkinci derece kinetiğe uyduğu anlaşılmıştır.

5. SONUÇ

Yürütülmüş olan bu tez çalışmasında H_2O_2 ve demir katalizörü kullanılarak Direct Blue 71 boyarmaddesini içeren sulu çözeltide KOİ ve renk giderimi üzerine olan parametrelerin etkileri incelenmiştir. İleri oksidasyon proseslerinden olan UV, UV/ H_2O_2 , UV/ Fe^{+2} , Fenton ve foto-Fenton oksidasyon işlemleri ile elde edilen KOİ ve renk giderim verimleri değerlendirilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen veriler aşağıda verilmiştir.

İlk olarak UV oksidasyon deneyleri ile pH 4, 7 ve 10'da UV ışığının KOİ ve renk giderimi üzerindeki etkisi gözlemlenmiştir. UV oksidasyonun sulu çözeltide KOİ için pH 4'de % 16.33, pH 7'de 20.02, pH 10'da ise 14.69 elde edilmiştir. Renk giderim verimleri ise sırasıyla %10.57, %15.60, %13.88 olarak elde edilmiştir. En iyi giderim verimi hem KOİ için hemde renk için pH 7 olarak tespit edilmiştir.

İleri oksidasyon proseslerinden bir diğeri olan UV/ H_2O_2 oksidasyonu ile KOİ ve renk gideriminde ilk olarak optimum pH değerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. pH 3, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9 değerlerinde H_2O_2 30 mM konsantrasyonu sabit tutularak yapılan deneysel çalışmalarda en iyi giderim pH 5 de elde edilmiştir. pH 5 değeri için KOİ % 25.19 renk %92.58 giderim verimleri elde edilmiştir.

UV/ H_2O_2 oksidasyonunun ikinci aşaması olarak UV ışığı etkisiyle kirliliği gidermek için hidroksil radikalleri oluşturacak H_2O_2 miktarı analizi yapılmıştır. Bu kapsamda optimum bulunan pH değeri 5 sabit tutularak 2.5 mM, 5mM, 10 mM, 20 mM, 30mM, 40 mM, 50 mM, 75 mM ve 100 mM H_2O_2 miktarlarında çalışmalar yapılmıştır. En uygun H_2O_2 dozu 50 mM olarak belirlenmiştir. 50 mM H_2O_2 konsantrasyonu için renk % 99.82, KOİ % 37.14 verim elde edilmiştir.

Bir diğer aşama UV/ Fe^{+2} oksidasyonunun KOİ ve renk giderimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. UV/ H_2O_2 oksidasyonunda olduğu gibi UV/ Fe^{+2} oksidasyonunda da öncelikle optimum pH değerinin bulunması için Fe^{+2} miktarı 2 mM sabit tutularak pH 4, 5, 6, 7, 8, ve 9 değerlerinde çalışmalar yapılmıştır. En iyi verim % 64.33 KOİ ve % 74.33 renk ile pH 4 değerinde elde edilmiştir.

Demir iyonunun UV ışması varlığında sulu çözeltideki KOİ ve renk giderimi üzerindeki etkisini araştırmak için Fe^{+2} konsantrasyonu 0.50 ile 4 mM arasında

değişen deneysel çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Deneysel çalışmalar optimum bulunan pH 4 değerinde gerçekleştirilmiştir. Sulu çözeltideki demir iyonu konsantrasyonu arttıkça KOİ ve renk giderimi veriminde artış gözlemlenmiştir. UV/Fe⁺² oksidasyonunda UV ışığının da etkisiyle 2 mM Fe+2 konsantrasyonunda % 74,33 renk giderimi elde edilmiştir. Demir iyonu konsantrasyonunun en iyi değer olarak kabul edildiği 4 mM'da ise % 97,19 KOİ, % 96,20 renk giderim verimi elde edilmiştir.

Çalışmanın dördüncü aşamasında homojen ileri oksidasyon proseslerinden biri olan Fenton oksidasyonu ile Direkt Blue 71 boyarmaddeli sulu çözeltisindeki arıtılabilirliği gözlemlenmiştir. Sulu çözeltinin Fenton oksidasyonu ile arıtılmasında pH 2, 2.5, 3, 3.5, 4 ve 4.5, için optimum pH miktarını bulabilmek amaçlanmıştır ve belirlenen pH değerlerinde Fe⁺² 2 mM ve H₂O₂ 50 mM konsantrasyonları sabit tutularak çalışmalar yapılmıştır. Optimum pH değeri % 45,70 KOİ ve % 96,53 renk verimleri ile pH 3 olarak bulunmuştur.

Fenton oksidasyonunda başlangıç H₂O₂ konsantrasyonunu belirlemek için optimum bulunan pH 3 değerinde Fe⁺² 2 mM miktarı sabit tutularak H₂O₂ konsantrasyonları 2.5, 5, 10, 25, 50, 75 ve 100 mM olarak denemeler yapılmıştır. Optimum giderimin sağlandığı 50 mM H₂O₂ miktarı, optimum H₂O₂ konsantrasyonu olarak belirlenmiştir. 50 mM H₂O₂ konsantrasyonu ile yapılan deneyde KOİ giderim verimi %45,70 olarak bulunmuştur fakat H₂O₂ konsantrasyonu 50 mM üzerinde yapılan çalışmalarda KOİ giderim verimleri 75 mM'da % 15,84, 100 mM'da ise % 8,08' kadar azaldığı gözlemlenmiştir.

Fenton prosesinin son aşaması olarak optimum demir dozajının belirlenmesi için optimum pH 3 ve optimum H₂O₂ 50 mM sabit tutularak demir iyonu konsantrasyonlarındaki verimler incelenmiştir. Demir iyonu ile yapılan çalışmalarda 2 mM demir iyonu optimum değer olarak seçilmiştir. Demir iyonu konsantrasyonu 2 mM için % 45,70 KOİ, % 96,53 renk verimi elde edilmiştir. Ancak Fe⁺²'in 2 mM konsantrasyonundan fazlasında yani 2.5 mM'da KOİ giderim verimi % 41,14'e düştüğü gözlemlenmiştir.

Fenton oksidasyonuna UV ışığının ilavesiyle oluşan foto-Fenton prosesinin sulu çözeltide KOİ ve renk giderimine etkisi değerlendirilmiştir. Fenton

oksidasyonunda olduğu gibi foto-Fenton oksidasyonunda da pH, H₂O₂ ve Fe⁺² iyonu konsantrasyonlarının giderim verimleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Foto-fenton prosesinin pH değerinin (2, 2.5, 3.0, 3.5, 4, 4.5) bozunma üzerindeki etkisi araştırılmıştır. KOİ ve rengin uzaklaştırılması pH 3 maksimum değere ulaşmıştır. 60 dakikalık ışınlama süresi içinde, pH 3, 2 mM Fe⁺² ve 50 mM H₂O₂ başlangıç konsantrasyonunda KOİ giderimi % 78,23 ve renk giderim verimi %96,84 olarak elde edilmiştir. pH 4 ve 4.5’da KOİ verimi % 42,53 ve %34,31’edüştüğü gözlemlenmiş ama renk giderim veriminde bir düşüş gözlemlenmemiştir. Bu sonuçlar sulu çözeltinin 3 pH’da, KOİ ve renk giderimi için uygun olduğunu göstermektedir. Fe⁺²/H₂O₂/UV prosesi üzerine yapılan önceki çalışmalar da bir Fenton reaksiyonu için optimum pH’ın 2-3 arasında olduğunu bildirilmiştir.

Başlangıç pH değeri seçilen sulu çözelti için optimum H₂O₂ konsantrasyonunun belirlenmesi amacıyla 2.5, 5, 10, 25, 50, 75 ve 100 mM/2L konsantrasyonlarında çalışılmıştır. Optimum pH 3 ve başlangıç Fe⁺² iyonu 2 mM sabit tutulmuştur. H₂O₂ konsantrasyonunun 50 mM’e kadar artırılmasıyla, KOİ ve renk gideriminin de arttığı görülmüştür fakar 50mM’den fazla konsantrasyondaki denemelerde KOİ giderim veriminde azalma gözlemlenmiştir.H₂O₂ konsantrasyonu 2,5 mM’den 50 mM’a yükseldiğinde, KOİ verimi % 28,97’den % 78,23’e, renk verimi % 95,18’den % 99.84’e yükseldiği gözlemlenmiştir. Daha sonrasında 75 ve 100 mM’da ters bir eğilim izlemeye başlamıştır. Böylece H₂O₂ konsantrasyonu, renk ve KOİ’nin uzaklaştırılması için 50 mM olarak seçilmiştir.

Demir iyonu konsantrasyonu Fenton ve foto-Fenton proseslerindeki kritik parametrelerden biridir. Mevcut aşamada, çeşitli Fe⁺² konsantrasyonları (0.25 mM, 0.50 mM, 1 mM, 2 mM, 2,5 mM, 3 mMve 3,5mM) 50 mM H₂O₂ ve pH 3’de çalışmalar yapılmıştır. Fe⁺² konsantrasyonunda bir artışla KOİ ve renk gideriminin arttığı gözlenmiştir. 60 dakika içinde, 0.25 mM Fe⁺² iyonu KOİ giderim verimi % 35,08 iken 2 mM Fe⁺² iyonunda % 78,23’e kadar yükseldiği gözlemlenmiştir.

Yapılan fenton ve foto-fenton prosesleri çalışmalarında KOİ ve renk giderim verimleri incelendiğinde foto-fenton prosesinin verimlerinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Fenton prosesine UV ışınının eklenmesiyle H₂O₂’in iki hidroksil radikali

retmesi ve Fe⁺³ iyonlarına yükseltgenen demir iyonlarının UV ışığı etkisi ile tekrar Fe⁺² iyonuna dönüşmesi reaksiyon süresini oldukça kısaltmış, KOİ ve renk giderimini arttırmıştır. 16 W şiddetinde 1 adet UV ışığı eklenmesi ile 20±2°C olan atıksuyun sıcaklığı maksimum 10°C kadar artmıştır. Bu artışın proses verimine olumsuz yönde etkisi olmayacağı düşünmüştür. Daha uzun sürelerde kullanılması durumunda UV lambasının proses verimini olumsuz etkileyecek ısı artışlarına neden olabileceği incelenmesi gereken bir konudur. Bu gibi durumlarda sistemden soğutma suyu geçirilerek ortam sıcaklığı azaltılabilir. UV ışığının yanı sıra pH, H₂O₂ konsantrasyonu, demir iyonu konsantrasyonu gibi parametrelerin etkilerinin kesin olarak belirlenmesi de tekstil endüstrisi atıksularından KOİ ve renk gideriminde önemli olduğu görülmüştür.

KAYNAKÇA

- Adityosulindro, M.S., (2017). Activation of homogeneous and heterogeneous Fenton processes by ultrasound and ultraviolet/visible irradiations for the removal of ibuprofen in water, Doktora Tezi, Université de Toulouse, Institut National Polytechnique de Toulouse, Toulouse, Fransa.
- Arslan, S., Eyvaz, M., Gürbulak, E., Yüksel, E., (2016). A Review of State of the Art Technologies in Dye Containing Wastewater Treatment The Textile Industry Case. <http://dx.doi.org/10.5772/64140>.
- Babuponnusami, A., and Muthukumar, K., (2014). A Review on Fenton and Improvements to the Fenton Process for Wastewater Treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2(1):557-572.
- Balkan, D., (2019). Tekstil Sektöründe Verimlilik Ölçümü ve Bir Uygulama. *Tekstil ve Mühendis*, 26:113, 79-85.
- Başer, İ. ve İnanıcı, Y., (1990). Boyarmadde kimyası. Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Tekstil Eğitimi Bölümü yayını, s. 216, İstanbul.
- Bautista, P., Mohedano, A.F., Gilarranz, M.A., Casas, J.A., Rodriguez, J.J., (2007), Application of fenton oxidation to cosmetic wastewaters treatment, *Journal of Hazardous Materials*, 143, 128-134
- Benkhaya, S., El Harfi, S., El Harfi, A., (2017) “Classifications, Properties and Applications of Textile Dyes: A Review”, *Applied Journal of Environmental Engineering Science*, 311-320,
- Benkhaya, S., M'rabet, S., and El Harfi, A., (2020). A review on classifications, recent synthesis and applications of textile dyes. *Inorganic Chemistry Communications*. 115(107891). DOI: 10.1016/j.inoche.2020.107891
- Bibak, O. and Aliabadi, M. (2014). Photocatalytic degradation of malachite green in aqueous solution using TiO₂ nanocatalyst. *Journal Of Biodiversity and Environmental Science*. 5(4), 2222-3045
- Birgül, A., (2006). “Tekstil Endüstrisi Atıksu Arıtımında İleri Oksidasyon Proseslerinin Kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı,
- Blanco, J., Torrades, F., Moron, M., Agnesa, MB., Montano, JG., (2014). Photo-Fenton and Sequencing Batch Reactor Coupled to Photo-Fenton Processes for Textile Wastewater Reclamation: Feasibility of Reuse in Dyeing Processes. *Chemical Engineering Journal*, 240:469-475.
- Bruschweiler, B.J., and Merlot, C. (2017). Azo dyes in clothing textiles can be cleaved into a series of mutagenic aromatic amines which are not regulated yet. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 88. 214–226. DOI:10.1016/j.yrtph.2017.06.012
- BSTB (Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı), (2016). Tekstil, Hazırgiyim ve Deri Ürünleri Sektörleri Raporu.
- Clark, M. (Ed.). (2011). *Handbook of textile and industrial dyeing: principles, processes and types of dyes*. Elsevier.
- Correia, V.M., Stephenson, T., Judd, S.J, (1994). *Environmental Technology*.
- Covinich, L.G., Bengoechea, D.I., Fenoglio, R.J. ve Area, M.C., (2014). Advanced oxidation processes for wastewater treatment in the pulp and paper industry: A review, *American Journal of Environmental Engineering*, 4, 3, 56-70.

- Dikmen, F., (1998). Tekstil Atıksularında Ozonla Renk Giderimi Üzerine Bir Çalışma. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi,
- Dogruel, S., Olmez-Hanci, T., Kartal, Z., Arslan-Alaton, I. ve Orhon, D., (2009). Effect of Fenton's oxidation on the particle size distribution of organic carbon in olive mill wastewater, *Water Research*, 43, 3974-3983.
- EPA. (1998). Handbook Advanced Photochemical Oxidation Processes. USA.
- Eren. (2018). Su Kaynaklarındaki İlaç Kalıntılarının İleri Oksidasyon Yöntemleri ile Arıtılabilirliğinin İncelenmesi. *Academic Platform Journal of Engineering and Science* 6-3, 153-163
- Eser, B., Çelik, P., Çay, A., Akgümüş, D., (2016). Tekstil ve Konfeksiyon Sektöründe Sürdürülebilirlik ve Geri Dönüşüm Olanakları. *Tekstil ve Mühendis*, 23: 101,43-60.
- Gogate, P.R. ve Pandit, A.B., (2004). A review of imperative technologies for wastewater treatment II: hybrid methods, *Advances in Environmental Research*, 8, 3-4, 553-597.
- Gosavi Dinkar, V., Sharma, S., (2013). "A general review on various treatment methods for textile wastewater", *Journal of Environmental Science, Computer Science and Engineering & Technology*, 3(1), 29-39,
- Gürses, A., Açıkyıldız, M., Güneş, K., and Gürses, S.M., (2016). Classification of dye and pigments. *Dyes and Pigments*. 31–45. DOI: 10.1007/978-3-319-33892-7_3
- Hassan, S.S.M., Awwad, N.S., and Aboterika, A.H., (2009). Removal of synthetic reactive dyes from textile wastewater by Sorel's cement. *Journal of Hazardous Materials*. 162(2-3). 994-999. DOI:10.1016/j.jhazmat.2008.05.138
- Joseph E. (2020). The sonochemical degradation of azobenzene and related azo dyes: rate enhancements via Fenton's reactions. *Journal of Physical Chemistry A*, vol. 104(2), 301-307.
- Kant, R., (2012). Textile Dyeing Industry an Environmental Hazard. University Institute of Fashion Technology. Natural Science. Panjab University, Chandigarh, India. Vol.4, No.1, 22-26.
- Kılıçaslan, R., (1999). Yeni bazı azo boyarmaddelerin metal komplekslerinin sentezi ve yapılarının aydınlatılması. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Denizli,.
- Kırdar, G., (1995). Tekstil Atıksularında Renk Giderimi. Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kuo, W.G., (1992). Decolorizing dye wastewater with Fenton's reagent, *Water Research*, 26, 7, 881-886.
- Labuza, T., (1984), "Application of chemical kinetics to deterioration of foods", *Journal of Chimical Education*, 61:348-358.
- Litter, M.I. (2005). Introduction to Photochemical Advanced Oxidation Processes for Water Treatment: The Handbook of Environmental Chemistry (Vol:2 Part:M-Environmental Photochemistry, Part II, Editörler: Boule, P., Bahnemann, D.W., Robertson, P.K.J., Springer, Berlin, pp: 325-366.
- Lucas, M.S., and Peres, J.A. (2006). Decolorization of the azo dye Reactive Black 5 by Fenton and photo-Fenton oxidation. *Dye and Pigments*. 71(3). 236-244. DOI:10.1016/j.dyepig.2005.07.007
- Lücking, F., Köser, H., Jank, M. ve Ritter, A., (1998). Iron powder, graphite and activated carbon as catalysts for the oxidation of 4-chlorophenol with hydrogen peroxide in aqueous solution, *Water Research*, 32, 9, 2607-2614.

- Nandhakumar, R., Kaviyarasu, R., Kalidass, M., (2012). Dyeing of Fabrics Without Water: A Review. *The Indian Textile Journal*, 2:37-39.
- Neyens, E. ve Baeyens, J., (2003). A review of classic Fenton's peroxidation as an advanced oxidation technique, *Journal of Hazardous Materials*, 98, 1-3, 33-50.
- Nguyen, A.T. and Juang, R.S. (2013). Treatment of waters and wastewaters containing sulfur dyes: A review. *Chemical Engineering Journal*. 219, 109-117
- Nidheesh, P.V. and Gandhimathi, R. (2015). Textile Wastewater Treatment by Electro-Fenton Process in Batch and Continuous Modes. *J. Hazard. Toxic Radioact. Waste* 2015.19.
- O'Neill, C., Hawkes, F.R., Hawkes, D., Esteves, S., Wilcox, S., (2000). Anaerobic aerobic biotreatment of simulated textile effluent containing varied ratios of starch and azo dye. *Water Research.*, 2355-2361.
- Odabaşoğlu, H.Y., Avinç, O.O., Yavaş, A., (2013). Susuz Boyama. *Tekstil ve Mühendis*, 20:90, 63-79.
- Özkan, M., Cemeroğlu, B. ve Toklucu Kırca, A., (2010), Gıda Mühendisliğinde Reaksiyon Kinetiği, *Gıda Teknolojisi Yayınları*, No: 42. Ankara.
- Öztürk, A., (2019). "Tekstil Endüstrisi Atıksularının Sülfat Radikali Kullanılması ile Arıtılması" Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı,
- Pekel, L.C., (2009). Çöktürme Yönteminin Kullanıldığı Boya Atıksu Arıtma Sisteminin Genelleştirilmesi Tahmin Edici Kontrol (GPC) ile pH Kontrolü. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Pera-Titus, M., García-Molina, V., Baños, M.A., Giménez, J. ve Esplugas, S., (2004). Degradation of chlorophenols by means of advanced oxidation processes: a general review, *Applied Catalysis B: Environmental*, 47, 219-256.
- Pilatin, S., (2004). Beyaz Çürükçül Funguslar ile Tekstil Boyarmaddelerinin Renginin Giderimi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi,
- Pouran (2015). Review on the main advances in photo-Fenton oxidation system for recalcitrant wastewaters. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 21, 53-69.
- Raval, N.P. Shah, P.U. and Shah, N.K. (2017). Malachite green "A Cationic Dye" And Its Removal From Aqueous Solution By Adsorption. *Applied Water Science*. 7, 3407-3445
- Rice, R.G. (1996). *Ozone Reference Guide*. Electric Power Research Institute, St.Louis, MO, USA.
- Sarkar, S., Banerjee, A., Chakraborty, N., Soren, K., Chakraborty, P., and Bandyopadhyay, R. (2020). Structural-functional analyses of textile dye degrading azoreductase, laccase and peroxidase: A comparative in silico study. *Electronic Journal Biotechnology*. 43. 48–54. DOI:10.1016/j.ejbt.2019.12.004
- Sevimli, (2000). Tekstil endüstrisi atıksularından ozonlama ile renk giderimi ve ozonlamanın biyolojik arıtılabilirliğe etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Seydioğlu, G., (2009). Bitkisel Atıkların Granül Aktif Karbon Üretiminde Değerlendirilmesi. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Singer, C.P., Reckhow, D.A. (1999). *Chemical Oxidation: Water Quality and Treatment*, 5th edition, Ed: Letterman, R.D., McGraw-Hill Inc., Newyork, pp:12.1-12.51.

- Song, S., Yao, J., He, Z., Qiu, J. ve Chen, J., (2008). Effect of operational parameters on the decolorization of C.I. Reactive Blue 19 in aqueous solution by ozone- enhanced electrocoagulation, *Journal of Hazardous Materials*, 152, 1, 204-210.
- Sponza, D., Işık, M., Atalay, H., (2000). İndigo boyar maddelerinin anaerobik arıtılabilirliklerinin incelenmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2(3), 23-34,.
- Sreeja, P.H., and Sosamony, K.J., (2016). A Comparative Study of Homogeneous and Heterogeneous Photo-Fenton Process for Textile Wastewater Treatment. *Science Direct. Procedia Technology*, 24:217-223.
- Şentürk. (2004). Dispers tekstil boyalarının elektrokoagülasyon ile giderimi. Yüksek Lisans Tezi, T.C. Gebze İleri teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli.
- Tanzer, T., (2004). Katyonik Alkiltrimetilamonyum Bromür Sürfaktanlar ile C.I. Reaktif Orange 16 Etkileşimi. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi,.
- Umar, M., Aziz, H. and Yusoff, M. (2010). Trends in the use of Fenton, electro-Fenton and photo-Fenton for the treatment. *Waste Management*, 2113–2121.
- Van Boekel, M. A. J. S., (2008), *Kinetic Modeling of Reactions in Foods 1st ed.*, Chapter 4, *CRC Press*, Newyork.
- Watanabe, M., (2000). Ushiyama, T., Characteristics and Effective Applications of Polymer Coagulants. *Technology Exchange Dept.*, Japan,
- Wong, P.K. ve Yuen, P.Y., (1996). Decolourisation and biodegradation of methyl red by
- Yarmuhammed, G., (2012). Tekstil Atıksularının Membran Prosesleri İle Geri Kazanımında Ön Arıtmanın Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

ÖZ GEÇMİŞ

Merve Taşçı, Malatya Lisesi'ni bitirdikten sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nden 2018 yılında mezun oldu. 2018 yılında OMÜ LEE Çevre Mühendisliği Yüksek Lisans programını girdi. İyi/ derecede İngilizce bilmektedir. Temel ilgi alanları, gezerek yeni yerler keşfetmek, kitap okumak, araba sürmek (21/02/2022).

İletişim Bilgileri

ORCID ID : <https://orcid.org/0000-0003-0714-1933>