

**ULTRASES-FENTON OKSİDASYON YÖNTEMİ
İLE ACİD BLUE 264 BOYAR MADDESİNİN
OKSİTLENEREK RENK GİDERİMİNİN
ARAŞTIRILMASI**

DİLAN TOPRAK

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MERSİN
ŞUBAT – 2015**

**ULTRASES-FENTON OKSİDASYON YÖNTEMİ
İLE ACİD BLUE 264 BOYAR MADDESİNİN
OKSİTLENEREK RENK GİDERİMİNİN
ARAŞTIRILMASI**

DİLAN TOPRAK

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Danışman
Prof. Dr. Savaş ŞENER**

**MERSİN
ŞUBAT – 2015**

Dilan TOPRAK tarafından Prof. Dr. Savaş Şener danışmanlığında hazırlanan "Ultrason-
Fenol Oksidasyon Yöntemi ile Acid Blue 264 Boyar Maddesinin Oksitlenerek Renk
Gideriminin Araştırılması" başlıklı bu çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından
oy birliği/çokluğu ile Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Prof. Dr. Savaş ŞENER

Doç. Dr. Günel YILMAZ

Yrd. Doç. Dr. Aydeniz DEMİR

Yukarıdaki Jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 23./08./2015 tarih ve
2015.CS./...369... sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Doç. Dr. Mehmet KÜÇÜKASLAN


Bu belge kullanılabilmek için bilgileri, şekli, içeriği ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alması yasak olan 5846 sayılı Fikir ve
Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

ULTRASES-FENTON OKSİDASYON YÖNTEMİ İLE ACİD BLUE 264 BOYAR MADDESİNİN OKSİTLENEREK RENK GİDERİMİNİN ARAŞTIRILMASI

Dilan TOPRAK

ÖZ

Bu tez çalışması kapsamında laboratuvar koşullarında Acid Blue 264 boyası ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyunun fenton ve ultrases fenton prosesi yöntemiyle arıtımı araştırılmıştır. Bu amaçla yapılan deneysel çalışmalar kapsamında renk ve KOİ giderim parametreleri incelenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen verilere göre fenton oksidasyon metodu için optimum şartlar pH=3,5, H₂O₂ konsantrasyonu=125 mg/L, demir iyonu konsantrasyonu 180 mg/L, reaksiyon süresi= 75 dakika olarak belirlenmiştir. Belirli bir süre çökelmesini bekleyip alınan numunelerin renk giderim verimleri 643 nm’de % 88,425 ve KOİ giderim verimi % 76 olarak bulunmuştur. Ultrases fenton oksidasyon metodu için ise 20 kHz ultrasonik frekans altında, optimum pH=3,5, H₂O₂ konsantrasyonu=100 mg/L, demir iyonu konsantrasyonu 180 mg/L, reaksiyon süresi= 45 dakika olarak kaydedilmiştir. Belirli bir süre çökelmesini bekleyip alınan numunelerin renk giderim verimleri 643 nm’de % 96,62 ve KOİ giderim verimi% 88,5 olarak bulunmuştur.

Acid Blue 264 boyalı atık suyun renk ve KOİ giderimi için fenton ve ultrases fenton oksidasyonu metodlarından elde edilen verimler kıyaslanmıştır. Sonuç olarak ultrases fenton oksidasyon yöntemi ile en iyi giderim verimi sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: İleri Oksidasyon, Fenton oksidasyon, Ultrases fenton, Boyalı Atık su, Acid Blue 264

Danışman: Prof. Dr. Savaş ŞENER, Mersin Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı

INVESTIGATION OF COLOUR REMOVAL BY OXIDIZING ACID BLUE 264 DYE STUFF VIA FENTON AND ULTRASOUND FENTON OXIDATION

Dilan TOPRAK

ABSTRACT

The scope of this thesis, treatment of synthetic textile wastewater prepared by Acid Blue 264 dye stuff by fenton and ultrasound fenton oxidation method was investigated under the laboratory conditions. According to experimental results, the colour and the COD removal parameters was investigated and the optimum conditions was found as pH 3,5, 125 mg/L of H₂O₂ concentration, 180 mg/L of ferrous ions concentration, and 75 min. of reaction time for Fenton process. After a certain sedimentation time, the color removal efficiency was obtained % 88,425 for 643 nm and the COD removal efficiency was calculated % 76. The optimum conditions were found as pH 3,5, 100 mg/L H₂O₂ concentration, 180 mg/L ferrous ions concentration and 45 min of reaction time for Ultrasound Fenton process under 20 kHz ultrasonic irradiation. After a certain sedimentation time, the color removal efficiency was obtained % 92,825 for 643 nm and the COD removal efficiency was calculated % 88,5.

The fenton oxidation process was compared to ultrasound fenton oxidation process for the colour and COD removal of the Acide Blue 264 dye containing wastewater was used in the experimental studies. At the end of study, the optimum removal efficiency was obtained via ultrasound fenton oxidation process.

Key Words: Advanced Oksidation, Fenton Oxidation, Ultrasound Fenton, Dye Containing Wastewater, Acid Blue 264

Advisor: Prof. Dr. Savaş ŞENER, Department of Environmental Engineering, University of Mersin

TEŞEKKÜR

Lisans eğitimimden itibaren ve tez çalışmam boyunca bana bilgi birikimi ve deneyimleriyle yol gösteren danışman hocam sayın Prof. Dr. Savaş ŞENER'e,

BAP-FBE ÇMB (DT)2013-4 protokol numaralı proje ile tezime sağladıkları maddi kaynaktan dolayı Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na,

Lisans eğitimim döneminden beri tanıştığım ve her zaman yanımda olarak bana güç katan, tez çalışmama da fikirleri ve önerileri ile katkı sağlayan değerli arkadaşım Sema Nur GİRAY'a,

Tez çalışmam boyunca engin bilgi birikimi, fikirleri ve önerileri ile katkı sağlayan değerli arkadaşım Arş. Gör. Deniz UÇAR'a,

Her türlü yardımlarıyla yanımda olan ve sıkıntılı zamanlarımda gösterdiği anlayışından ötürü sevgili kız kardeşim Meryem Serap TOPRAK'a

Şu güne dek aldığım her kararda yanımda olan, gerek manevi gerekse maddi olarak sonsuz desteği olan, kayıtsız şartsız yürüdüğüm yolda bana güç veren, yoluma ışık tutan kıymetli annem Leymun TOPRAK ve babam Ramazan TOPRAK 'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZ	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1.GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	4
2.1.TEKSTİL ENDÜSTRİSİ VE GENEL PROSESLERİ	4
2.1.1.Haşıllama	5
2.1.2.Yıkama ve Haşıl Sökme	6
2.1.3. Ağartma	6
2.1.4. Merserizasyon	7
2.1.5. Boyama.....	7
2.1.7.Apreleme	8
2.2.TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ ÖZELLİKLERİ	8
2.3. RENK TEORİLERİ	11
2.4. BOYARMADDE VE SINIFLANDIRILMASI.....	12
2.4.1.Boyarmaddelerin Çözünürlüklerine Göre Sınıflandırılması	13
2.4.1.1 Suda çözünen boyarmaddeler	13
2.4.1.2. Suda çözünmeyen boyarmaddeler.....	13
2.4.2. Boyama Özelliklerine Göre Sınıflandırma	14
2.4.2.1.Bazik boyarmaddeler.....	14
2.4.2.2.Asit boyarmaddeler:	14
2.4.2.3.Reaktif Boyarmaddeler	15
2.4.2.4.Dispers Boyarmaddeler	16

2.4.2.5.Mordan Boyarmaddeler	16
2.4.2.6.Pigment Boyarmaddeler	17
2.4.3. Kimyasal Yapılarına Göre Sınıflandırma	17
2.4.3.1. Azo boyarmaddeleri:	17
2.4.3.2.Azo boyarmaddelerin sınıflandırılması	19
2.4.3.3. Azo boyarmaddelerin özellikleri	20
2.5.TEKSTİL ATIKSULARININ ÇEVRESEL ETKİLERİ	21
2.6. TEKSTİL ATIKSULARININ ARITMA METODLARI	23
2.7. BİYOLOJİK ARITMA METODLARI	25
2.7.1. Aerobik Arıtma Metodu	25
2.7.2.Anaerobik Arıtma Metodu	26
2.7.3.Biyosorpsiyon	27
2.8.FİZİKSEL ARITMA METODLARI	28
2.8.1. Adsorbsiyon	28
2.8.2. İyon Değişimi	28
2.8.3. Membran Prosesler	29
2.9. KİMYASAL ARITMA METODLARI	30
2.9.1.Koagülasyon-Flokülasyon	30
2.9.2. Kimyasal Oksidasyon Metodları	31
2.9.2.1.Ozon ile oksidasyon:	32
2.9.2.2.Klor ile oksidasyon	33
2.9.2.3.Hidrojen peroksit ile oksidasyon	33
2.9.3. İleri Oksidasyon Metodları	34
2.9.3.1.UV oksidasyon yöntemi	35
2.9.3.2. H ₂ O ₂ /UV oksidasyon yöntemi	35
2.9.3.4. O ₃ /H ₂ O ₂ oksidasyon yöntemi	35
2.9.3.5. O ₃ /UV oksidasyon yöntemi	36
2.9.3.6. Fenton oksidasyon prosesi	37
2.9.3.7. Ultrases fenton oksidasyonu	40
2.10. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	42
3. MATERYAL VE YÖNTEM	45

3.1.MATERYAL	45
3.2.YÖNTEM.....	46
3.2.1. Stok Çözeltisinin Hazırlanması.....	46
3.2.2. Boyar Maddenin Standart Eğrisinin Çıkarılması ve Dalga Boyunun Saptanması.....	47
3.2.3. Renk Analizleri	47
3.2.4. KOİ Analizleri	48
3.2.5. AKM analizleri	48
3.3.FENTON OKSİDASYON PROSESİNİN OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARI.....	49
3.3.1. Optimum pH'nın Belirlenmesi	49
3.3.2. Optimum Demir İyonu Konsantrasyonunun Belirlenmesi.....	50
3.3.3. Optimum H ₂ O ₂ Konsantrasyonunun Belirlenmesi.....	51
3.3.4 Reaksiyon Süresi Optimizasyonu	51
3.4. ULTRASES FENTON OKSİDASYON PROSESİNİN OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARI.....	52
3.4.1. Optimum pH'nın Belirlenmesi	53
3.4.2. Optimum Demir İyonu Konsantrasyonunun Belirlenmesi.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
3.4.3. Optimum H ₂ O ₂ Konsantrasyonunun Belirlenmesi	54
3.4.4. Optimum Reaksiyon Süresinin Belirlenmesi.....	54
4.BULGULAR ve TARTIŞMA	55
4.1. SENTETİK TEKSTİL ATIK SUYUN FENTON OKSİDASYON PROSESİ İLE RENK VE KOİ GİDERİMİ	55
4.1.1. Renk ve KOİ Giderim Verimi Üzerine pH'nın Etkisi.....	55
4.1.2. Renk ve KOİ Giderim Verimi Üzerine Demir İyonu Konsantrasyonunun Etkisi	57
4.1.3. Renk ve KOİ Giderim Verimi Üzerine Hidrojen Peroksit Konsantrasyonunun Etkisi.....	61
4.1.4. Renk ve KOİ Giderim Verimi Üzerine Reaksiyon Süresinin Etkisi.....	65
4.2. SENTETİK TEKSTİL ATIK SUYUN ULTRASES FENTON OKSİDASYON PROSESİ İLE RENK VE KOİ GİDERİMİ	67

4.2.1. Renk ve KOİ Giderim Verimi Üzerine pH'nın Etkisi.....	67
4.2.2. Renk ve KOİ Giderim Verimi Üzerine Demir İyonu Konsantrasyonunun Etkisi	69
4.2.3. Renk ve KOİ Giderim Verimi Üzerine H ₂ O ₂ Konsantrasyonunun Etkisi...	72
4.2.4. Renk ve KOİ Giderim Verimi Üzerine Reaksiyon Süresinin Etkisi.....	75
5.SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	78
KAYNAKLAR.....	81
ÖZGEÇMİŞ VE ESERLER LİSTESİ.....	89



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1.Reaktif Boyarmaddelerin Genel Yapısı	16
Şekil 2.2. C.I. Acid Red 1	19
Şekil 2.3. C.I. Acid Black 1.....	19
Şekil 2.4. C.I. Direct Brown 1A.....	19
Şekil 3.1. Acid Blue 264 Boyasının Yapısı.....	45
Şekil 3.2. Acid Blue 264 boyasına ait standart kalibrasyon eğrisi	47
Şekil 3. 3. Fenton oksidasyon metodu deney düzeneği	49
Şekil 3.4. Deneysel çalışmaların ön hazırlığı pH ölçümü.....	50
Şekil 3.5. H ₂ O ₂ optimizasyon çalışmaları.....	51
Şekil 3.6.Ultrases fenton oksidasyon metodu düzeneği.....	53
Şekil 4.1. Fenton prosesi ile sentetik tekstil atık suyundan renk giderimi üzerine pH'nın etkisi	56
Şekil 4.2. Fenton prosesiyle sentetik tekstil atık suyundan KOİ giderimi üzerine pH'nın etkisi	57
Şekil 4.3. Arıtma verimi üzerine demir iyonu konsantrasyonunun etkisi.....	58
Şekil 4.4. Fenton prosesiyle sentetik tekstil atık suyundan renk giderimi üzerine demir iyonu konsantrasyonunun etkisi	60
Şekil 4.5. Fenton prosesiyle sentetik tekstil atık suyundan KOİ giderimi üzerine demir iyonu konsantrasyonunun etkisi	60
Şekil 4. 6. Arıtma verimi üzerine H ₂ O ₂ konsantrasyonunun etkisi	62
Şekil 4.7. Fenton prosesiyle sentetik tekstil atık suyundan renk giderimi üzerine H ₂ O ₂ konsantrasyonunun etkisi	63
Şekil 4.8. Fenton prosesiyle sentetik tekstil atık suyundan KOİ giderimi üzerine H ₂ O ₂ konsantrasyonunun etkisi	64
Şekil 4.9. Fenton prosesiyle tekstil atıksularından renk giderimi üzerine reaksiyon süresinin etkisi	66
Şekil 4.10. Fenton prosesiyle sentetik tekstil atık suyundan KOİ giderimi üzerine reaksiyon süresinin etkisi	67

Şekil 4.11. Ultrases fenton prosesiyle sentetik tekstil atık suyundan renk giderimi üzerine pH'nın etkisi.....	68
Şekil 4.12. Ultrases fenton prosesiyle sentetik tekstil atık suyundan KOİ giderimi üzerine pH'nın etkisi.....	69
Şekil 4.13. Ultrases fenton prosesiyle tekstil atıksularından renk giderimi.....	71
Şekil 4.14. Ultrases fenton prosesiyle tekstil atıksularından KOİ giderimi üzerine demir iyonu konsantrasyonunun etkisi	71
Şekil 4.15. Arıtma verimi üzerine H ₂ O ₂ konsantrasyonunun etkisi	72
Şekil 4.16. Ultrases fenton prosesiyle sentetik tekstil atık suyundan renk	73
Şekil 4.17. Ultrases fenton prosesiyle sentetik tekstil atıksuyundan KOİ giderimi üzerine H ₂ O ₂ konsantrasyonunun etkisi.....	74
Şekil 4.18. Ultrases fenton prosesiyle sentetik tekstil atık suyundan renk giderimi üzerine temas süresinin etkisi.....	76
Şekil 4.19. Ultrases fenton prosesiyle tekstil atıksularından KOİ giderimi üzerine temas süresinin etkisi	76

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Boyama atıksularının karakteristikleri	9
Çizelge 2.2. Tekstil endüstrisinde su kullanan proseslerden kaynaklanan kirlilik yükleri	10
Çizelge 2.3. Kromofor ve oksokrom gruplar	12
Çizelge 2.4. Tekstil endüstrisi atıksularının arıtılması için çeşitli teknolojiler	24
Çizelge 2.5. Bağlı oksidasyon potansiyelleri	32
Çizelge 2.6. Fenton prosesinin avantaj ve dezavantajları	39
Çizelge 3.1. Acid Blue 264 Boyasının karakteristik özellikleri	45
Çizelge 4.1. Fenton prosesi ile sentetik tekstil atık suyunun arıtımı üzerine pH'ın etkisi	55
Çizelge 4.2. Fenton prosesi ile sentetik tekstil atık suyunun arıtımı üzerine demir iyonu konsantrasyonunun etkisi	59
Çizelge 4.3. Fenton prosesi ile tekstil atıksularının arıtımı üzerine H ₂ O ₂ konsantrasyonunun etkisi	62
Çizelge 4.4. Fenton prosesi ile sentetik tekstil atık suyunun arıtımı üzerine reaksiyon süresinin etkisi	65
Çizelge 4.5. Ultrases fenton prosesi ile sentetik tekstil atık suyunun	67
Çizelge 4.6. Ultrases fenton prosesi ile tekstil atık sularının arıtımı üzerine demir iyonu konsantrasyonunun etkisi	70
Çizelge 4.7. Ultrases fenton prosesi ile sentetik tekstil atıksuyunun arıtımı üzerine H ₂ O ₂ konsantrasyonunun etkisi	73
Çizelge 4.8. Ultrases fenton prosesi ile tekstil atıksularının	75

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

AKM	: Askıda Katı Madde
BOİ	: Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
CO₂	: Karbondioksit
Fe²⁺	: 2 değerlikli demir iyonu
Fe³⁺	: 3 değerlikli demir iyonu
FeSO₄.7H₂O	: Demir sülfat hepta hidrat
•OH	: Hidroksil radikali
H₂O₂	: Hidrojen Peroksit
H₂SO₄	: Sülfirik Asit
kHz	: Kiloherertz
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
nm	: Nanometre
°C	: Santigrat derece
rpm	: Dakikadaki devir sayısı
USF	: Ultrases fenton
UV	: Ultraviyole
λ	: Lambda
μm	: Mikrometre

1.GİRİŞ

Artan nüfus ve gelişen teknoloji ile birlikte yeni endüstri dallarının ortaya çıkışı mevcut endüstri faaliyetlerinde kapasite artışına neden olmaktadır. Türkiye’de en gelişmiş endüstri dallarından biri olan tekstil endüstrisi toplam endüstriyel üretimin % 20’sini oluşturmaktadır. Tekstil endüstrilerinde yüksek su tüketimi beraberinde farklı derişimlerde kimyasal maddeler ve boyarmaddeleri içeren yüksek miktarlarda atık su üretimini getirmektedir (Dokuzoğlu vd, 2008). Bu sanayi hammadde, su kullanımı ve kullanılan teknolojiler bakımından farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıkların sonucu olarak da tekstil endüstrilerinden kaynaklanan atıksular değişken karakterler kazanmaktadır. Çıkış suları yüksek konsantrasyonlarda organik ve inorganik kimyasal maddelerin çözündüğü ve değişik yapıda boyar maddeleri içerdüğinden; KOİ, toplam organik karbon ve renk değerleri oldukça yüksektir (Xu, vd., 2004; Sevimli, 2000).

Bu endüstrilerde boyama, yıkama ve durulama işlemleri atıksularının yüksek konsantrasyonda çözünmüş madde içerdüğü ve yoğun renge sahip olduğu bilinmektedir. Tekstil endüstrisi atıksularında rengi oluşturan prosesler temel olarak boyama ve pigment baskıdır (Gönder 2004). Materyallerin boyanması sırasında diğer proseslere nazaran oldukça fazla miktarda su ve kimyasal madde tükeltilmektedir. Boyama işleminden gelen atıksuların içerisinde önemli miktarda boya banyo kalıntıları ve fikse olmamış boyarmaddeler bulunmaktadır (Grau, 1991).

Tekstil endüstrisinde kullanılan boyarmaddeler deşarj olduğu ortamlarda ciddi çevresel etkilere neden olabilmektedir. Işık geçirgenliğinin azalması sonucunda sulu ortamlarda birincil üretimin azalması, suyun estetik özelliklerinin bozulması, toksik ve karsinogenik özellikteki boyarmaddeler sulu ortamdaki organizmaları olumsuz etkilemektedir (Rodrigues vd., 2009). Ayrıca alkoller ve karboksilik asitler biyolojik olarak yükseltgenbildikleri için alıcı ortamlarda çözünmüş oksijeni tüketerek biyolojik ayrışma süreçlerini olumsuz yönde etkilemektedirler (Arslan vd., 2000). Günümüzde tekstil endüstrilerinde kullanılan sentetik boyar madde sayısı 100.000’den fazladır. Her yıl 700.000 ton boyarmadde üretilmektedir. Gerek üretim,

gerekse kullanımdan sonra ortamda arta kalan boyar maddeler göz önünde bulundurulduğunda renkli atık suların çevresel açıdan ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmaktadır (Balcı, 2007).

Sanayileşmeden dolayı çevrenin bilinçsizce kirletilmesi, giderek artmaya başlamış ve bunun sonucunda kirlenen çevrenin temizlenmesi oldukça masraflı ve kompleks tesisler gerektiren bir durum almıştır. Bu nedenle günümüzde çevrenin yeniden eski halini alması ve atıklardan arıtılması için çalışmalar önem kazanmaya başlamıştır. Çevre kirliliğinde en önemli çalışmalar su kirliliği konusunda yapılmaktadır. Çünkü kullanılabilir ve içilebilir durumdaki su miktarının dünyadaki toplam su kütesinin ancak %3 gibi küçük bir kesrini oluşturması bu alandaki çalışmaların hızla artmasına sebep olmuştur (Yıldırım, 2003).

Dünyada ortalama 700.000 ton/yıl boya üretilmektedir. Bunların yaklaşık % 50'sini azo boyar maddeler oluşturmaktadır. Tekstil endüstrisinde, doğal ve sentetik malzemeleri boyamada yaygın olarak kullanılan azo boyar maddeler; azot-azot çift bağ (-N=N-) yapısındadır ve biyolojik olarak aerobik koşullarda giderilememektedir. Anaerobik koşullarda renk giderimi azo bağların kırılması ile sağlanmakta, ancak bu durumda boyar maddeden daha toksik aminler oluşmaktadır (Turhan 2006; Demirci 2007; Gürsoy ve Arslan-Alaton, 2008). Biyolojik yöntemler dışında aktif karbon, filtrasyon gibi fiziksel yöntemlerle de organik maddelerin giderilme olanağı vardır; ancak bu yöntemlerde organik maddeler bir fazdan diğer faza aktarılmaktadır. Artan çevre kirliliği nedeniyle organik maddelerin bir fazdan diğer faza aktarılması yerine; CO₂, H₂O gibi toksik olmayan bileşiklere ya da biyolojik olarak giderilebilecek bileşiklere kadar parçalanabileceği yeni bir yöntem geliştirilmeye çalışılmaktadır. Geliştirilmekte olan bu yöntem İleri oksidasyon prosesleri (İOP) olarak adlandırılmaktadır (Gürtekin ve Şekerdağ, 2008; Gümüşdere, 2007, Ünyayar vd., 2002).

Tekstil boyama ve bitim işlemlerinden kaynaklanan atıksuların içindeki kalıcı ve toksik endüstriyel kirleticilerin azaltılmasında, ileri oksidasyon prosesleri başarı ile uygulanmaktadır (Chang, 2003; Azbar, 2004; Vandervivere ve ark., 1998).

Bu ileri oksidasyon yöntemlerinden biri olan fenton prosesi (Fe^{+2}/H_2O_2) kirlilik yükü fazla ve oldukça renkli olan atıksulara uygulanmaktadır. Proses, işletme kolaylığı ve maliyetinin düşük olmasından dolayı tercih edilmektedir (Arslan ve ark., 2003; Arslan, 2003). Fenton oksidasyon prosesinde organik maddeler Fe^{2+} varlığında H_2O_2 ile reaksiyona girerek atıksu içerisindeki KOİ ve toksisiteyi azaltmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucu Fenton oksidasyonunun mekanizması bulunmuş ve asidik şartlar altında H_2O_2 'ten katalitik dekompozisyonla hidroksil radikallerinin ($\bullet OH$) oluştuğu görülmüştür (Harber ve Weiss, 1934).

Fenton oksidasyonu için hidrojen peroksit, Fe^{+2} ve organik maddeler kullanılmaktadır. Genel olarak bakılığında fenton prosesi dört basamaktan oluşmaktadır; bunlar pH ayarlama, oksidasyon reaksiyonu, nötralizasyon ve koagülasyon ile çöktürme reaksiyonudur. Bu şekilde organik maddeler iki aşamada oksidasyon ve koagülasyon ile giderilmektedir (Bidga ve ark., 1951).

Ultrases fenton oksidasyonu sırasında, uygun sıcaklık ve basınçta, suyun fiziksel ve kimyasal yapısının değişime uğraması sonucu $\bullet H$, $\bullet OH$, $\bullet OH_2$, H_2O_2 gibi radikaller üretilir. Bu süreçte mikrokabarcıklar oluşur, büyür ve iç/dış basınç etkisiyle patlarlar. Bu aşamada reaktif serbest radikaller oluşur.

Eğer ortamda oksitlenebilecek organik/inorganik maddeler mevcut değilse $\bullet OH$ radikalleri birleşerek H_2O_2 oluştururlar. Bu nedenle akustik kavitasyon sırasında H_2O_2 ölçümleri, kabarcıklar tarafından serbest hale geçirilen $\bullet OH$ radikallerinin miktarını tahmin etmek için kullanılabilir. Bu radikaller, eğer atıksudaki toksik ve organik bileşikler varsa, bu maddeleri oksitleyerek kararlı son ürünlerine (CO_2 , N_2 , NO_3 , $COOH$ gibi) veya daha az zararlı bileşiklere dönüşmesini sağlarlar. Ultrases işlemi esnasında su moleküllerinin parçalanması ile üretilen hidroksil radikalleri fenton prosesinde kullanılmakta ve fenton oksidasyonunun gerçekleşmesi için gerekli olan H_2O_2 ihtiyacını azaltmaktadır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

2.1. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ VE GENEL PROSESLERİ

Tekstil, hayvansal veya bitkisel ürünler olan lifli yapıların kullanılması neticesinde oluşan ürünler bütünüdür. Giydiğimiz ve dekorasyon amaçlı kullandığımız birçok ürünü de kapsayan, imalatı mümkün olan bir sektördür. Kullanılması tasarlanan ham olarak elde edilen pamuk, keten, jut, vb. bitkilerden, ipek, yün veya kıl ise hayvandan elde edilen materyallerin belirlenmiş olan proseslerden geçirilerek kullanıma hazır hale getirilen ürünün ve bunu gerçekleştiren sektörün ismi olarak tanımlanabilmektedir (Öden,2010).

Tekstil endüstrileri genel olarak üretim, hammadde, su kullanımı ve kullanılan teknolojiler bakımından farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıkların sonucu olarak da tekstil endüstrilerinden kaynaklanan atıksularda değişken karakterler kazanmaktadır (Sevimli, 2000).

Tekstil atıksularının en belirgin özelliği renkli bir görünüme sahip olmalarıdır. Kullanılan boyarmaddenin tipine bağlı olarak tekstil endüstrisi atıksularının rengi, baskınlıklarına göre; kırmızı, kahverengi, mavi, mor ve siyah olarak değişmektedir. Tekstil atıksularının rengi günlük değişebilmektedir. Renk değişimleri aynı zamanda tekstil atıksularının KOİ'si üzerinde de dalgalanmalara neden olmaktadır. Tekstil endüstrilerinden alıcı ortama verilen boyama atıkları alıcı suların renginin değişmesine neden olmaktadır. Kullanılan boyaya göre bitki ve hayvan yaşamı üzerine toksik etki yaparken aynı zamanda canlı organizmalarda birikebilmektedirler. Akarsuyun kendi kendini arıtma kapasitesini de (özümleme kapasitesi) engelleyebilmektedir (Willmott vd., 1998).

Tekstil endüstrisi doğal ve yapay elyaflar gibi hammaddelerin kullanılmasıyla iplik, triko gibi yarı mamül maddelerden tüketiciye ulaşan giyim, halı, döşeme ve ev tekstili gibi ürünleri kapsayan geniş bir yelpazeye sahip olan dünyanın en önemli endüstri dallarından biridir. Bu endüstri küçük ve orta ölçekli

girişimcilerin sayıca fazla olduğu heterojen bir sektör olup, üretim prosesleri oldukça karmaşık bir endüstri dalıdır (Koçyiğit, 2008).

Bu endüstrinin faaliyetleri arasında doğal ve fabrikasyon ipliklerin hazırlanması, dokuma, örme veya başka metotlarla kumaş, triko, halı gibi tekstil ürünleri haline getirilmesi yanında iplik ve kumaşların boyanması, baskı, apre gibi terbiye işlemlerinin uygulanması tekstil endüstrisinin faaliyetleri arasındadır (Kemer ve Kara, 1998).

Tekstil endüstrisi çok çeşitli üretim prosesleri içermektedir. Bütün proseslerde kullanılan boyarmaddelerin ve diğer kimyasalların birbirinden farklı olması atıksuların tanımlanmasını zorlaştırmaktadır.

Tekstil endüstrisinin ana hammaddesi olan elyaflar doğal, yapay ve sentetik elyaflar olmak üzere 3 ana gruba ayrılırlar. Doğal elyaflar hayvansal kökenli (yün, ipek, kıl) ve bitkisel (pamuk, keten, kenevir) olmak üzere iki grupta incelenir. Sentetik elyaflar selülozik olmayan organik maddelerden sentetik olarak üretilirler. Başlıca sentetik elyaflar arasında polyester, naylon ve poliakrilik bulunmaktadır. Doğal selülozdan kimyasal proseslerin uygulanması sonucunda elde edilen elyaflar ise yapay elyaflar olarak adlandırılmaktadır. Bunlara örnek olarak viskoz, rayon ve asetat rayon verilebilir (Tünay ve ark., 1996).

Tekstil endüstrisinde uygulanan ana işlemler; haşıllama, haşıl sökme, ağartma, merserize, boyama, apreleme olmak üzere gruplandırılmaktadır (Kırdar, 1995).

2.1.1.Haşıllama

Haşıllamanın amacı; dokuma tezgahlarında kumaş haline getirilmek üzere çözgü ipliklerinin zedelenmeden fiziksel özelliklerini kaybetmeden mukavemetini ve sürtünme kabiliyetini artıran, dokuma işleminin kesiksiz, hatasız, kumaş kalitesini bozmadan ve istihsal verimini artıran, çözgü ipliklerindeki elyaf uçlarını birbirine yapıştırıcı ve ipliği düzgün ve kaygan bir silindir hale sokmak için gerekli özellikleri bulunan ve dokuma işleminden sonra uygulanacak boyama ve apre işlemlerini

engellemeden kumaştan kolaylıkla giderilebilen ve terbiye işlemlerine etki etmeyen kimyasal maddelerden hazırlanan viskoz bir sıvıdan geçirilmesidir (Gökkuş, 2009)

Haşıl maddesi, dokuma sırasında meydana gelebilecek aşınma ve kopmaları önlemek için çözgü ipliklerine uygulanır. Böylece çeşitli mekanik zorlamalarla karşı karşıya kalan lifler birbirine daha iyi yapışarak, daha kapalı, daha sağlam bir hale gelir ve kayganlıklarının artması sağlanarak dokumada performans artırılır (Kanlıoğlu, 2000).

Haşıl maddeleri çoğunlukla doğal nişastalar, modifiye selülozlar ve sentetiklerdir. Sentetik ipliklerde haşıl maddesi olarak nişasta bileşikleri yerine polivinil alkol, karboksi metil selüloz ve poliakrilik asit gibi maddelerin kullanımı biyolojik oksijen ihtiyacını azaltır. Atıksulardaki biyolojik oksijen ihtiyacını artıran en büyük etkenler arasında haşıl maddeleri girmektedir (Kestioğlu, 1992).

2.1.2. Yıkama ve Haşıl Sökme

Nişasta ve haşılama banyosuna konulan diğer maddeler ağartıcıların ve boyarmaddelerin elyafa nüfuzunu güçleştirerek dalgalı ağartma ve boyamaya, kusurlu baskıya neden olurlar (Özcan, 1978). Bu nedenle dokuma ile kumaş haline getirilen ipliklerde terbiye işlemi uygulanmadan önce üzerindeki haşıl maddesinin giderilmesi gerekir. Haşılın suda çözünür hale getirilerek yıkama yoluyla kumaş üzerinde uzaklaştırılması işlemine “haşıl sökme” denir.

Bu işlem, tekstil atıksularında toplam kirlilik yükünün yaklaşık %50'sini oluşturur. Boyama ve apreleme için temiz kumaş hazırlamak amacıyla sodyum hidroksit, klor, silikatlar, sodyum bisülfid ve deterjanlar, nişastanın hidrolizi için asitler ve enzimler kullanılır (Gökkuş,2009).

2.1.3. Ağartma

Özellikle pamuklu kumaşlarda bulunan yağ, mum, parafin gibi yabancı maddeler kumaşlara hidrofob bir özellik kazandırır. Bu hidrofobluk kumasın boyanması sırasında dalgalı boyamalara ve boyarmaddenin kumaşa tam nüfuz etmemesine neden olur. Ayrıca pamuğun kendine has sarımtırak rengini bozuşturur

ona beyaz bir görünüm kazandırmak için ağartma işlemi yapılır. Genel olarak hidrojen peroksit ağartmada kullanılan yükseltgen maddedir (İçoğlu, 2006).

Pamuğunun ağartılmasında kullanılan maddeler, kireç kaymağı, hipoklorit, klorit gibi aktif klor veren bileşikler ve hidrojen peroksit, sodyum peroksit, sodyum perborat gibi serbest oksijen veren bileşikleridir. Peroksit ağartması çok daha pahalıdır. Fakat beyazlık daha uzun süre devam eder. Klor ağartması daha ucuz olmakla beraber materyal depolanma esnasında tekrar sararır. Kombine ağartma denilen metotta önce klor ağartması, sonra peroksit ağartması yapılır (Özcan, 1978).

2.1.4. Merserizasyon

Pamuklu kumaşlar, gerilim altındayken soğuk derişik sodyum hidroksit çözeltisinden geçirilirler. Bu işleme merserizasyon denir ve merserizasyon ile su özellikler materyale kazandırılır:

1. Lif kesiti şişer ve lifler daireselleşir,
2. Mukavemet artar,
3. Parlaklık artar,
4. Daha koyu tonlarda boyanabilme gerçekleştirilir (İçoğlu,2006).

2.1.5. Boyama

Kumaş, elyaf ve ipliğe gerekli renklerin verilmesi için bu proses kullanılır. Boyama işlemi birçok yolla ve yeni boyalar, yardımcı kimyasallar eklenerek yapılır. Boyama genellikle boyarmadde çözeltileri kullanılarak yapılmakta, boyamayı izleyen proseslerde boyanın bir kısmı boyarmadde eriğinde kalıp çıkış suyunda yer almaktadır. Ürüne karışmayıp çıkış suyunda yer alan boyarmaddenin oranı yaklaşık % 40' tır. Bu oran proseste dikkatli uygulamalar ile % 5'e kadar düşürülerek maliyetten tasarruf sağlanmakta ve çevresel etkiler azaltılabilmektedir (Birgül, 2006)

Boyama atıksuları yoğun renk, yüksek toplam çözünmüş katılar (TÇK) ve BOİ değerlerine sahip olmaktadır. Birer kimyasal madde olan boyarmaddeler renkli olmalarını sağlayan atom veya atom grupları ve elektronlar içerirler. Boyarmaddeye rengini veren grup kromofor, kumaşa boyanın fiske olmasını sağlayan grup ise fonksiyonel gruptur (Işık ve Sponza, 2001).

Boyama işlemi birçok yolla ve yeni boyalar, yardımcı kimyasallar eklenerek yapılır. Kirlilik yükünün %20 - %40 ' ını oluşturmasına karşılık yüksek derecede renklilik ve çok miktarda atık oluşturur (Gökkuş,2006).

2.1.7.Apreleme

Fiziksel ve kimyasal özellikleri değişen kumaşın işlenmesi apreleme olarak adlandırılır. Apreleme işlemi ile görünüş, yumuşaklık, sağlamlık, pürüzsüzlük ve parlaklık gibi özelliklerin daha iyi olması sağlanır. Kullanılan maddeler; nişasta (kola) ve dekstrin kolası, doğal ve sentetik balmumu, sentetik reçineler, amonyum ve çinko klorit, yumuşatıcı maddeler ve çeşitli özel kimyasallar içerir. Bu kimyasalların kullanımı ile aşınma kalitesi düzelir, su geçirmeme, yanmama ve küflenmeme gibi özellikler artırılır. (Bahadır, 2012).

2.2.TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ ÖZELLİKLERİ

Tekstil, Türkiye'nin en önemli sektörlerinden olup atık üretimi de oldukça fazladır. (Gönüllü 2004). Bu endüstri dalında çok çeşitli üretim prosesleri vardır. Bu nedenle atıksu miktarı ve atıksuda bulunan kirletici tür ve konsantrasyonları farklılık göstermektedir (Ölmez vd., 2003). Tekstil endüstrisinde atıksu özelliklerini belirleyen en önemli faktörlerin başında kullanılan hammadde gelmektedir. Bu hammaddeler pamuk, yün gibi doğal elyaflar ile suni olarak elde edilen elyaflar ve bunların karışımlarından oluşmaktadır. Atıksu oluşumu ve oluşan atıksuların özelliklerini etkileyen diğer önemli faktör olarak kullanılan kimyasalların ve kullanılan su miktarı olduğu söylenebilir (Sevimli, 2000).

Kimyasal madde ve suyun yoğun miktarda kullanımı, fazla miktarda ve çok kirli atıksuların oluşumuna neden olur. Dünya genelinde yılda 700.000 ton boyarmadde üretildiği literatürde belirtilmiştir. Tekstil endüstrisi bir ton ürün başına tipik olarak 200-350 m³ atıksu üretir, ortalama kirlilik her ton için 100 kg KOİ olarak belirtilmiştir (Verma vd., 2012).

Tekstil atıksularının ortak özellikleri; yüksek kimyasal oksijen ihtiyacı (yüksek KOI), yüksek biyolojik oksijen ihtiyacı (yüksek BOI), yüksek sıcaklık, yüksek pH (2-12), askıda katı maddeler ve çeşitli boyaların neden olduğu renktir (Öden, 2010). Tekstil atıksularındaki önemli kirleticiler, temel olarak organikler, renk, toksik maddeler, inhibitör bileşikler, yüzey aktif maddeler, klorlu bileşikler (AOX), pH ve tuzların yanı sıra boyarmaddelerdir (Sandhya ve Swaminathan, 2006). Tekstil endüstrisine ait boyama atıksularının karakteristikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Boyama atıksularının karakteristikleri (Başbuğ, 2008)

BOYA TÜRÜ	ELYAF ÇEŞİDİ	RENK ADMI	BOİ, mg/l	TOK mg/l	AKM mg/l	ÇKM, mg/l	PH
Asit	Poliamid	4000	240	315	14	2028	5.1
1:2 Metal kompleks	Poliamid	370	570	400	5	3945	6.8
Bazik	Akrilik	5600	210	255	13	1469	4.5
Direkt	Viskoz	12500	15	140	26	2669	6.6
Reaktif, kesikli	Pamuklu	3890	0	150	32	12500	11.2
Reaktif, sürekli	Pamuklu	1390	102	230	9	691	9.1
Vat	Pamuklu	1910	294	265	41	3945	11.8
Dispers, yüksek sic. ' ta	Polyester	1245	198	360	76	1700	10.2

Üretim yöntemlerindeki teknolojik farklılıklar ve tesise özgü uygulamalar dikkate alındığında aynı elyafi işleyen farklı tesisler arasında atıksu oluşum miktarı ve 25 atıksu karakteristiği açısından farklılıklar ortaya çıkabilmektedir. Bununla birlikte, kullanılan elyaf türü dikkate alınarak sınıflandırma yapıldığında atıksu kompozisyonunda benzerlikler de vardır. Çeşitli elyafların ürüne dönüştürülmesi sırasında geçirdiği işlemler ve bu işlemlerden kaynaklanan atıksuların pH, BOİ₅, Toplam Katı Madde (TKM) ve su kullanım aralıkları Çizelge 2.2.’de verilmiştir (Sevimli, 2000).

Çizelge 2.2. Tekstil endüstrisinde su kullanan proseslerden kaynaklanan kirlilik yükleri (Sevimli, 2000)

Elyaf Türü	Proses	pH	BOİ ₅ (mg/L)	TKM mg/L	Su Tüketimi L/Kg
Pamuk	Haşıl Sökme	-	1.700-5.200	16.000-32.000	3-9
	Piştirme	10-13	50-2.900	7.600-17.400	26-43
	Kasar	8.5-9.6	90-1.700	2.300-14.400	3-124
	Merserizasyon	5.5-9.5	45-65	600-1.900	232-308
	Boyama	5-10	11-1.800	500-14.100	8-300
Yün	Piştirme	9-14	30.000-40.000	1.129-64.448	46-100
	Boyama	4.8-8	380-2.200	3.855-8.315	16-22
	Yıkama	7.3-10.3	4.000-11.455	4.830-19.267	334-835
	Nötralizasyon	1.9-9	28	1.241-4.830	104-313
	Kasar	6	390	908	3-22
Naylon	Piştirme	10.4	1.360	1.882	50-67
	Boyama	8.4	368	641	17-33
Polyester	Ön Terbiye	-	500-800	-	25-42
	Boyama	-	480-27.000	-	17-33
	Son durulama	-	650	-	17-33
Akrilik	Piştirme	9.7	2.190	1.874	50-67
	Boyama	1.5-3.7	175-2.000	833-1.968	17-33
	Son durulama	7.1	668	1.191	67-83
Viskon	Ön yıkama ve boyama	8.5	2.832	3.334	17-33
	Tuz banyosu	6.8	58	4.890	4-13
Asetat	Ön yıkama ve boyama	9.3	2.000	1.778	33-50

Organik madde açısından kirlilik yükü, yaklaşık olarak evsel atıksu seviyesinde olup, bazen çok yüksek değerlere de ulaşabilmektedir. İletkenlik, sodyum tuzları (sülfat, klorür, anyonik yüzey aktif maddeler) nedeniyle oldukça yüksektir. Eğer polifosfatlar kullanılıyorsa normalde evsel atıksu seviyesinde olan fosfat miktarı artmaktadır. Klorlu organik maddelerin miktarı ürüne ve ilave katkı maddelerine bağlıdır. Klorla ağartma yapılıyorsa atıksudaki klorlu organik madde miktarı artmaktadır (Sözen, 1991)

Tekstil atıksularının en büyük dezavantajlarından birisi pH dalgalanmalarıdır. pH değişimi, öncelikle boyama sürecinde farklı tiplerde boyar madde kullanımından kaynaklanır. Atıksuyun pH'sı 2'den 12'ye kadar değişim gösterebilmektedir. Özellikle aktif çamur ve kimyasal arıtım süreçlerinin oldukça

kısıtlı pH değerleri nedeniyle önemli bir sorun oluşturmaktadır. Bu yüzden tekstil atıksularının arıtımında pH ayarlaması büyük bir öneme sahiptir (Gürel, 2006).

2.3. RENK TEORİLERİ

1968 yılında Grabe ve Lieberman organik bileşiklerin renkli olmasının molekülün doymamış karakterle ilişkili olduğu fark etmişlerdir (Kurbanova vd., 1998). Witt (1876) tarafından ortaya atılan kromofor gruplar teorisine göre bir bileşiğin renkliliği, molekülünde doymamış karakterde nitrozo ($-N=O$), nitro ($-NO_2$), karbonil ($>C=O$), azo ($-N=N-$) gibi gruplar ile zayıf asidik veya zayıf bazik karakterde hidroksil ($-OH$), amino ($-NH_2$) gibi grupların bulunması ve bunların karşılıklı etkileşiminden ileri gelmektedir (Kurbanova vd., 1998). Doymamış karakterdeki gruplara renk verici anlamına gelen “kromofor” diğerine ise renk artırıcı anlamına gelen “oksokrom”, bu grupları taşıyan bileşiklere de “kromojen” adını verdi. Bu gruplar Çizelge 2.3’de verilmektedir (Başer ve İnancı, 1990)

Organik bir molekül içinde renkli görünümü sağlayan atom, atom grubu veya elektronlara “kromofor” denir. Boya yapısında bulunan bu kromofor grupları sayesinde görünür bölgedeki ışığı absorbe edebilmektedir. Boya kromoforu doymamış fonksiyonel gruplardır ve boyaların çoğu 2 yada daha fazla konjuge haldeki basit kromofor grupları içermektedir. Çift bağ içeren bu gruplar aynı zamanda $-N=N-$, azot grubu, $-N=O-$, nitro grubu, $-N=O$, nitroso grubu, $C=O$, karbonil grubu da olabilir.

1868 yılında Grabe ve Lieberman organik bileşiklerin renkli olmasının doymamış karakterde olmaları ile ilişkili olduğunu fark etmişlerdir. Yapılan denemelerde, renkli organik bileşiklere hidrojen katıldığında rengin kaybolduğunu, aynı bileşiklerden hidrojen çıkarıldığında ise rengin tekrar ortaya çıktığı görülmüştür. Bu denemenin sonucu olarak ileri sürülen, rengin moleküldeki doymamışlıktan ileri geldiği tezi bugün de diğer nedenlerle birlikte renkliliğin temel şartları arasında sayılmaktadır. Bunu izleyen çalışmalardan biri de 1876’da Witt tarafından ortaya atılan kromofor gruplar teorisidir. Witt’e göre bir bileşiğin renkliliği, molekülünde doymamış karakterde nitrozo ($-N=O$), nitro ($-NO_2$), karbonil ($>C=O$), azo ($-N=N-$) gibi

gruplar ile zayıf asidik veya zayıf bazik karakterde hidroksil (-OH), amino (-NH₂) gibi grupların bulunması ve bunların karşılıklı etkileşiminden ileri gelmektedir (Başer ve İnancı, 1990)

Çizelge 2.3. Kromofor ve oksokrom gruplar

Kromofor Gruplar		Oksokrom Gruplar	
$-N=N-$	Azo	NH_2	Amino
$C=O$	Karbonil	NHR	Substitüe amino
O		NR_2	
$-N=O$	Nitro	OH	Hidroksil
$C=C$	Etilen	SH	Tiyookol
$C=NH$	Karbamino	OCH_3	Metoksi
$C=S$	Tiyokarbonil	SO_3H	Sülfonik
$N=O$	Nitrozo	$O-C_6H-$	Asid Fenolik

2.4. BOYARMADDE VE SINIFLANDIRILMASI

Boya; bir yüzeye uygulandığında dekoratif ve koruyucu bir tabaka oluşturan malzeme olarak tanımlanır. Sentetik organik boyalar, yapısında benzen, naftalin, antrasen olan mürekkep terkipli bileşiklerdir. Bu boyaların eldesi için kullanılan ara maddeler aromatik hidrokarbonlar; benzen, toluen, naftalinin türevleri; anilin, benzidin, toludin, afitilamin vb. maddelerdir (Edecan, 2006).

Boyarmaddeler, diğer maddelerle az veya çok renk verebilen, kendisi de renkli olan maddelerdir. Boyarmaddenin tekstil boyama prosesinde kullanılabilmesi için gerekli iki özelliği, renkliliği ve elyaf üzerine bağlanabilmesidir (Arıcı, 2000).

Bütün renkli organik bileşikler, rengi oluşturan doymamış kromofor grubu içermektedir. Bu grubu taşıyan bileşiklere kromojen adı verilir. Bir kromojenin boyarmadde olabilmesi için molekülde kromofordan başka oksokrom adı verilen amino (-NH₂), yer değiştiren amino (NHR,-NR₂), hidroksil (-OH), metoksil (OCH₃), sülfonik (SO₃H) ve karboksil (COOH) gruplarının da bulunması gerekmektedir. Bu

gruplar aynı zamanda molekülün elyafa karşı afiniteye sahip olmasını ve suda çözünmesini de sağlamaktadır. Kromofor grupları; nitro (R.NO₂), nitrozo (N₂O), azo (-N=N-), karbonil (C=O), etilenik çifte bağ (-C=C-), tiyokarbonil (-C=S-) gibi çifte bağlı gruplardan oluşmaktadır (Arıcı, 2000).

Boyar maddeler, suda çözünürlüklerine göre, kimyasal yapılarına göre ve boyama özelliklerine göre 3 grupta incelenebilir.

2.4.1. Boyar Maddelerin Çözünürlüklerine Göre Sınıflandırılması

2.4.1.1 Suda çözünen boyarmaddeler

Boyarmadde molekülü en az bir tane tuz oluşturabilen grup taşımaktadır. Sentez esnasında kullanılan başlangıç maddeleri suda çözündürücü grup içermiyorsa, bu grubu boyarmadde molekülüne sonradan eklemek suretiyle de çözünürlük sağlanabilmektedir. Ancak boyarmadde sentezinde tercih edilen yöntem, başlangıç maddelerinin iyonik grup içermesidir. Suda çözünebilir boyarmaddeler tuz teşkil edebilen grubun karakterine göre üçe ayrılmaktadır.

1. Anyonik suda çözünen boyarmaddeler
2. Katyonik suda çözünen boyarmaddeler
3. Zwitter iyon karakterli boyarmaddeler (Erkurt, 2008).

2.4.1.2. Suda çözünmeyen boyarmaddeler

Suda çözünmeyen boyarmaddeler suda çok ince süspansiyonlar halinde dağıtılmaktadır. Özellikle sentetik elyaf üzerinde uygulanan dispersiyon boyarmaddeleri bu sınıfa girmektedir. Organik çözücülerde çözünen boyarmaddeler sınıfına giren boyarmaddeler her çeşit organik çözücüde çözünmektedir. Solvent boyarmaddeleri olarak da isimlendirilen bu boyarmaddeler spray veya lak halinde uygulanabilmektedir. Vaks, petrol ürünleri ve matbaa mürekkebinin renklendirilmesinde kullanılmaktadır (Uygun, 2003).

2.4.2. Boyama Özelliklerine Göre Sınıflandırma

Boyama özelliklerine göre sınıflandırılmada önemli olan boyarmaddenin uygulandığı lif çeşididir. Boyarmaddelerin uygulama yöntemlerine göre sınıflandırılması uygulama açısından çok büyük önem arz etmektedir.

2.4.2.1. Bazik boyarmaddeler

Bunlar organik bazların hidroklorürleri şeklinde veya asetat tuzları şeklindedir. Yani renkli kısım katyondur. Pozitif yük taşıyıcı olarak N ve S atomu içerirler. Bazik olarak etki ettiklerinden sulu çözeltide boyarmadde katyonu, elyafın anyonik gruplarıyla, elyaf-boyarmadde tuzunu meydana getirir Bazik boyarmaddelerin en temel özellikleri parlak oluşları ve renk şiddetleridir. Genellikle asetik asit ve tannik asit yardımıyla boyama yapılır. 80-90°C de polyakrilik elyafını hızlı bir şekilde boyarlar ve kumaştan ayrılmazlar (Özcan ve Ulusoy, 1978; Dikmen, 1998).

2.4.2.2. Asit boyarmaddeler

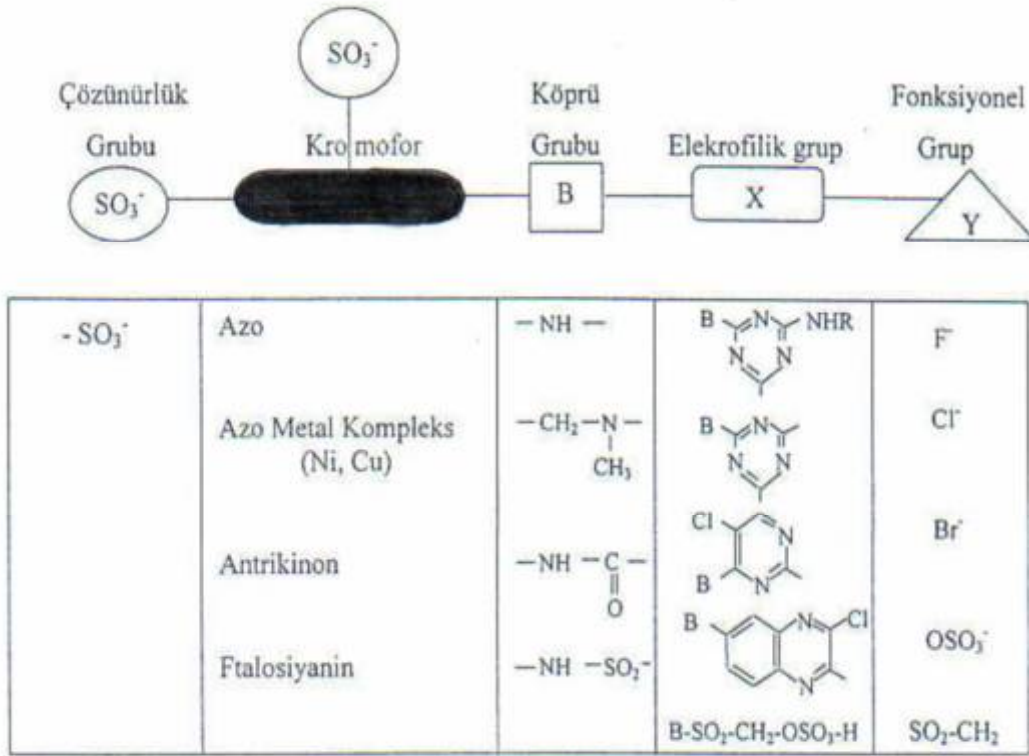
Boyama işlemi asidik (pH 2-6) şartlarda gerçekleştirildiğinden bu tip boyalara asit boyarmaddeler denilmektedir. Asit boyarmaddelerin kimyasal yapısında çoğunlukla azo grubu yer almaktadır. Asit boyarmaddeleri, bir veya daha fazla sülfonik veya karboksilik asit tuzu fonksiyonel gruplar içerirler. Bu fonksiyonel gruplar suda çözünürlük sağlar. Asit boyarmaddeleri protein elyafına afinitesiyle karakterize edilen, özel bir parlaklığa sahip anyonik boyarmaddelerdir. Asit boyarmaddeleri yün, poliamid ve doğal ipek liflerinin boyanmasında en sık kullanılan boyarmaddelerdir. Asit boyar maddelerle elyaf iyonik olarak bağlanır. Bununla birlikte, selülozik elyafa karşı afinitesi çok azdır. Ucuz olması, kolay ve düzgün boyama yapılabilmesi nedeniyle tercih edilmektedir.

2.4.2.3.Reaktif Boyar Maddeler

Reaktif boyarmaddeler ilk olarak 1950'li yıllarda keşfedilmesine karşın, geniş şekilde tüketimi 1970'lerden sonra başlamıştır (Özgürses, 2003). Reaktif boyalar uygun koşullar altında, selülozdaki hidroksil grupları, yündeki amino, hidroksil grupları veya poliaminlerdeki amino grupları gibi kumaştaki aktif kısımlar ile kovalent bağ yapabilme özelliğine sahip fonksiyonel gruplar bulunduran boyarmaddelerdir. Reaktif boyalardaki fonksiyonel gruplar ve bu yapılar arasındaki bağ oluşumu yaş haslıklarının yüksek olması sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Yüksek ölçüde tekrarlanabilirlik, parlak nüanslar, çok düzgün boyama sağlamak ve yıkama ve ışığa mükemmel haslıkları bu boyarmaddelerin avantajları olarak sıralanabilmektedir. Reaktif boyarmaddelerde basit ve hızlı uygulama teknikleri ekonomik açıdan önem taşımaktadır.(Ölmez, 1999).

Yapılarında bulunan reaktif grup, selüloz, yün, ipek, poliamid gibi elyaf türleri ile reaksiyon verebildiğinden bu elyaf sınıfları için boyarmadde olarak kullanılabilir (Arıcı, 2000). Kovalent bağ nedeniyle elyaf üzerine kuvvetle tutunurlar. Reaktif grup boyarmadde molekülünün renkli kısmına bağlıdır. Bütün reaktif boyarmaddelerde ortak olan özellik hepsinin kromofor taşıyan renkli grup yanında, bir reaktif, bir de moleküle çözünürlük taşıyan grup içermesidir (Başer, 1998).

Bir reaktif boyarmaddenin karakteristik yapısı şematik olarak Şekil 2.1'de gösterilmektedir:



Şekil 2.1.Reaktif Boyarmaddelerin Genel Yapısı (Vigo, 1994)

2.4.2.4.Dispers Boyarmaddeler

Hidrofobik liflere sübantivitesi olan, suda az çözünür özellikteki boyarmaddelerdir ve genellikle sulu dispersiyonlardan uygulanmaktadır. Boyama süresince boyarmaddenin büyük kısmı süspansiyon içerisindedir. Boyama prosesinin ilk aşamalarında, elyaf içerisine boyarmadde transferi, süspansiyon içerisinde sürekli ve aşamalı olarak çözünen oldukça seyreltik sulu çözeltilerden olmaktadır (Manu ve Chaudhari, 2003). Dispersiyon boyarmaddeleri başlıca poliamid, akrilik, poliamid ve poliester elyafın boyanmasında kullanılır. (Başer, 1998).

2.4.2.5.Mordan Boyarmaddeler

Bunlar asidik veya bazik fonksiyonel gruplar içerirler. Bitkisel ve hayvansal elyaf ile kararsız bileşikler oluştururlar. Boyamadan önce mordanlama yapılır ve mordan olarak Al, Sn, Fe, Cr tuzları kullanılır. Daha sonra krom bileşikleri katıldıktan sonra boyama gerçekleştirilir (Dikmen, 1998).

2.4.2.6.Pigment Boyarmaddeler

Özellikle baskıda gittikçe önem kazanmaktadır. Pigmentler, genel olarak suda ve organik solventlerde çözünmezler, tekstil liflerine afiniteleri yoktur. Bu nedenle diğer boyarmaddelerden farklı bir renklendirme tekniği kullanılarak tekstile aktarılırlar. Genellikle pamuklu ve sentetik liflerden yapılmıştır. Kumaşlar için kullanılsa da, tüm elyaf çeşitlerine aplikasyonları mümkündür. Liflere afiniteleri olmadığından, kumaşa aktarılması ve kumaş tarafından tutulması binder adı verilen reçineler yardımı ile olur. Daha sonra yüksek sıcaklıklarda kondanse işlemine tabi tutulurlar. Pigment boyamalarda ışık haslığı mükemmeldir ve genelde bütün renkler iyi haslıklar verir. (İçoğlu, 2006)

2.4.3. Kimyasal yapılarına göre sınıflandırma

Boyarmaddeler yapısal olarak sınıflandırılırken, molekülün temel yapısı esas alınabileceği gibi, molekülün kromojen ve renk verici özellikteki kısmı da esas olarak alınabilir. Boyarmaddelerin kimyasal yapılarına göre sınıflandırılması ile bağlı olduğu grup hemen belirlenerek karakteristik özellikleri anlaşılabilir. Aşağıda boyarmaddelerin sentez ve pratik uygulamalar göz önüne alınarak bir sınıflandırma yapılmıştır.

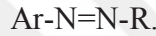
1. Azo Boyarmaddeleri
2. Nitro ve Nitrozo Boyarmaddeleri
3. Polimetin Boyarmaddeleri
4. Arilmetin Boyarmaddeleri
5. Aza Annulen Boyarmaddeleri
6. Karbonil Boyarmaddeleri
7. Kükürt Boyarmaddeleri (Başbuğ, 2008)

2.4.3.1. Azo boyarmaddeleri

Tekstil endüstrisi atıksularında çok fazla bulunan azo boyar maddeler, en büyük renk çeşitliliğine sahip sınıfı oluşturan boyar maddelerdir. Bu boyarmaddeler aerobik şartlar altında tipik olarak parçalanmazlar ancak anaerobik şartlar altında azo

bağı, renksiz olan fakat kanserojenik ve toksik olan aromatik aminlere dönüşebilirler (Daniş, vd.1998; Panswad ve Luangdlok, 2000).

Organik boyarmaddelerin en önemli sınıfını oluşturan azo boyarmaddelerin sayısı, diğer bütün sınıflardakinin toplamına eşittir. Küpe ve kükürt boyarmaddeleri dışında, diğer boyama yöntemlerinde kullanılan boyarmaddelerin yapısında azo grubuna rastlanır. Bunlar, yapılarındaki kromofor grup olan azo (-N=N-) grubu ile karakterize edilir. Bu gruptaki azot atomları, sp² hibritleşmesi ile karbon atomlarına bağlanır. Azo grubuna bağlanan karbon atomlarından biri aromatik (benzen, naftalen ve türevleri) veya heterosiklik halka, diğeri ise fenolleşebilen alifatik zincire bağlı bir grup olabilir. Bu nedenle molekülde en az bir aril grubu bulunur. Azo boyarmaddeleri genel olarak şu şekilde formüllendirilir (Başer ve İnancıcı, 1990).



R: Aril, heteroaril veya anolleşebilen alkildir.

Alifatik grup içeren azo boyarmaddelerinin renk şiddetleri düşüktür. Renk tonları geniş bir spektruma sahiptir. Haslık özellikleri de değişiktir. Doğal boyarmaddelerin hiçbirinde azo grubuna rastlanmaz. Bu sınıf boyarmaddelerin hepsi sentetik olarak elde edilirler. Sentezlerinin sulu çözelti içinde ve basit olarak yapılması yanında, başlangıç maddelerinin sınırsız olarak değiştirilebilmesi çok sayıda azo boyarmaddesinin elde edilebilmesini mümkün kılar (Koçyiğit, 2008).

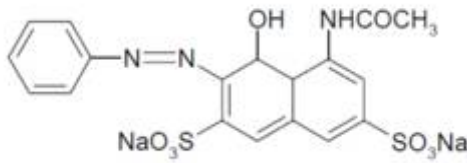
Azo boyarmaddelerin molekül yapısında bir veya birkaç azo grup (-N=N-) bulunabilir. Azo gruplar genel olarak, aromatik radikaller arasında olup, aromatik radikali heterosiklik, alifatik veya iki heterosiklik radikalle birleştirirler.

Azo boyarmaddelerin tüm boya maddeleri içinde en önemli yeri tutarlar. Tekstil, lastik, deri, plastik materyaller, sentetik lifler ve diğer sanayi alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

2.4.3.2.Azo boyarmaddelerin sınıflandırılması

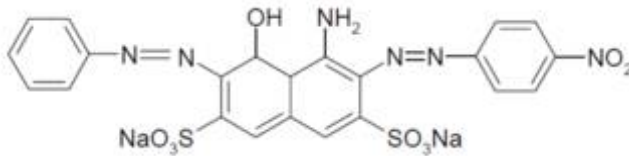
Azo boyarmaddeler, yapısındaki azo-grubun sayısına bağlı olarak monoazoboya (1 azo-gruplu), dis-azoboya (2 azo-gruplu), tris-azoboya (3 azo-gruplu) ve poli-azo boya (3'den fazla azo-gruplu) olmak üzere isimlendirilirler.

Monoazo boyarmaddeler : . Bu grupta Color Index'te kayıtlı 35 kadar boyarmadde vardır. Bu sınıfa örnek olarak kimyasal yapısı Şekil 2.2'de gösterilen, parlak kırmızı renkli Azo Geranine 2G (C.I. Acid Red 1) boyarmaddesi verilebilir (Deniz, 2006).



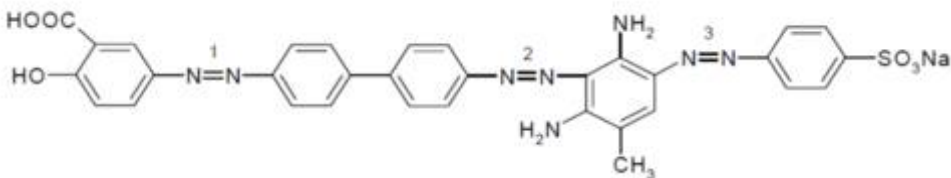
Şekil 2.2. C.I. Acid Red 1 (Deniz, 2006)

Diazo Boyarmaddeler: Örnek olarak kimyasal yapısı Şekil 2.3.'de gösterilen Naphtalene Black 12B (C.I. Acid Black 1) verilebilir (Deniz, 2006).



Şekil 2.3. C.I. Acid Black 1 (Deniz, 2006)

Triazo Boyarmaddeler: Şekil 2.4'te kimyasal yapısı gösterilen C.I. Direct Brown 1A bu gruba örnek olarak verilebilir (Deniz, 2006).



Şekil 2.4. C.I. Direct Brown 1A (Deniz, 2006)

Azo boyarmaddeler uygulama alanına göre ise; anyonik azo boyarmaddeler, katyonik azo boyarmaddeler, azoik boyarmaddeler, dispersiyon azo boyarmaddeleri, pigment azo boyarmaddeleri, solvent azo boyarmaddeleri olarak sınıflandırılır (Doğan, 2001).

2.4.3.3. Azo boyarmaddelerin özellikleri

Azo boyarmaddelerin yapısında amino- veya oksijen-grup olduğundan dolayı bazik veya asidik karaktere sahip olabilirler. Azo boyarmaddenin asidik karakteri, molekül yapısına bir veya birkaç sülfür-grup dahil edildiğinde yükselir. Yapısında sülfür-grup olan azo boyarmaddeler çözünen Na-tuzları şeklinde ve çözünmeyen Ba ve Ca tuzları şeklinde kullanılır. Yapısında sülfür ve karboksil grup olmayan azo boyarmaddeler suda çözünmezler(Doğan, 2001) .

Azo boyarmaddeler grubuna bütün renkli boyalar (sarı, kırmızı, mor, mavi, kök rengi yeşil, kahve, siyah) dahildir. Azo boyarmaddelerin yapısı ile renk arasında belirli bir ilişki olduğu belirlenmiştir. Öyle ki, boyarmadde molekülündeki azo-grupların miktarı arttığında renk koyulaşmaktadır (Doğan, 2001) .

Azo boyaların yapısındaki azo grupları, bağımsız aromatik halkalara bağlanmış durumdadır. Bazik yapılı azo boyarmaddelerin genellikle pamuk boyanması için kullanılmakta, asidik azo boyarmaddelerin ise hayvansal liflerin boyanmasında kullanılmaktadır. Bazik azo boyarmaddelerin kullanım alanı deri ve kağıt sanayisidir, tekstil endüstrisinde genellikle kullanılmaz. Asidik azo boyarmaddeler yün ve elyafların boyanmasında kullanılırlar (Koçyiğit, 2008).

2.5.TEKSTİL ATIKSULARININ ÇEVRESEL ETKİLERİ

Tekstil endüstrisi, Türkiye'de en hızlı gelişen sanayilerin başında gelmektedir. Bu hızlı gelişim, büyük debilerde ve büyük konsantrasyonlar da kirlilik taşıyan atık suların arıtma gerekliliğini de beraberinde getirmiştir. Tekstil fabrikalarında üretim aşamalarına göre çeşitli bileşim ve miktarlarda atık sular oluşmaktadır. Bu atık suların büyük kısmı ağartma, boyama ve yıkama işlemlerinden kaynaklanmaktadır. Asit, baz, boya, deterjan, tuz ve kullanılan diğer kimyasallar atık suda kirlilik yaratan başlıca kirleticilerdir(Arıcı, 2000).

Tekstil prosesleri çeşitli atık su türlerinin oluşumuna neden olmaktadır. Tekstil atık suları boyahane yapılan boyama türüne, kullanılan boyar maddelerin kalitesine, sınıfına ve boyamada kullanılan makineye göre farklılıklar göstermektedir. Tekstil atık suyunun özelliğine göre arıtma yöntemleri değişebilmektedir(Arıcı, 2000).

Tekstil endüstrisinde boyama sonucu oluşan renkli atık sular çevre açısından önemli sorunlara yol açmaktadır. Boya moleküllerine, boyanan maddenin türüne ve boyama işlemi özelliğine göre katkı maddelerinin ilave edilmesi arıtmayı zorlaştırmaktadır. Bu maddeler birden fazla uzun aromatik halka ve çift bağ taşıması sebebiyle 49 biyolojik ayrışabilirlikleri az, termal, fotolitik olarak dayanıklı ve zor ayrışan kimyasal maddelerdir (Arıcı, 2000).

Tekstil endüstrisinde kullanılan boyarmaddeler deşarj olduğu çevresel ortamlarda ciddi çevresel etkilere neden olabilmektedir. Buna örnek olarak ışık geçirgenliğinin azalması sonucunda sucul ortamlarda birincil üretimin azalması, suyun estetik özelliklerinin bozulması ve toksik ve karsinojenik özellikteki boyarmaddelerin sucul organizmalar üzerindeki olumsuz etkileri verilebilir (Rodrigues ve ark., 2009).

Alkoller ve doymuş karboksilik asitler biyolojik olarak yükseltgenbildiklerinden alıcı sulardaki çözülmüş oksijenin tükenmesine yol

açarlar. Alkoller de dahil olmak üzere çeşitli organik bileşikler biyokimyasal ayrışma süreçlerine etki ederler. Bazı bileşikler 2,5 mg/L derişimde mikroorganizmalara karşı toksik olmadıkları halde, ikisi ya da üçü bir arada bulunduğunda biyolojik ayrışmayı tamamen engelleyebilmektedir (Hararcı, 2005).

Günümüzde özellikle tekstil endüstrisi, çevresel açıdan problem yaratan oldukça renkli atık sular açığa çıkarmaktadır. Buna neden olan boyarmaddelerin başında, kullanımı en yaygın olan azo boyarmaddeler gelmektedir. Tekstil endüstrisinde kullanılan 10.000 boyanın % 60-70'inden fazlası azo boyarmaddelere aittir. Azo boyarmaddeler, R_1 ve R_2 aromatik yapılarla ve azo gruplara ($R_1-N=N-R_2$) sahip bileşiklerdir. Bazı durumlarda sülfonat grubu da içerebilirler. Azo boyarmaddelerin aerobik koşullarda bozunmaları oldukça zordur. Azo grubunun anaerobik olarak indirgenmesiyle renk giderimi gerçekleşir. Bununla birlikte kanserojenik bileşik olduğu düşünülen aromatik aminler oluşur. Aromatik aminler anaerobik ortamlarda kararlıdır. Bu bileşiğin ileri mineralizasyonunun aerobik koşullarda gerçekleştiği belirtilmektedir (Gürkan, 2011).

2.6. TEKSTİL ATIKSULARININ ARITMA METODLARI

Tekstil endüstrisi atıksularındaki boyarmaddeler; boyama, baskı ve yıkama işlemlerinden kaynaklanmaktadır. Tekstil atıksularının rengi, proses de kullanılan boyanın rengine göre saat başı ya da günlük değişimler gösterebilmektedir. Ancak ortak bazı parametreler bütün tekstil endüstrisi atıksularının karakteristik özelliklerindedir (Koçyiğit,2008). Bunlar renk, yüksek ÇKM, yüksek KOİ, geniş pH aralığı ve üretim proseslerinde çok fazla su kullanımınıdır. Tekstil endüstrisi atıksularını diğer atıksulardan ayıran en önemli özellik renk parametresidir (Dokuzoğlu, 2008). Başlangıçta kullanılan suyun sadece az bir kısmının üründe yer alması, üründe kullanılmayan suyun büyük hacimlerde çıktı olarak oluşması, deşarj edilen atıksuyun çevresel etkilerinin fazlalığı ve deşarj standartları ile ilgili günden güne katılan yasal kısıtlamalar en uygun arıtma tipinin belirlenmesini bir zorunluluk haline getirmiştir (Köseoğlu, 2004). Her bir boyanın giderim teknikleri ve ekonomik uygulanabilirliği çeşitli faktörlere bağlıdır. Bunlar; boyanın tipi, atıksu içeriği, gerekli kimyasal maddelerin dozu ve maliyeti, işletme maliyeti (enerji ve malzeme), üretilen atığın uzaklaştırılma maliyeti ve bu atığın çevresel etkisidir (Van der Zee, 2002).

Tekstil atıksularının deşarj sınırlarını sağlayacak şekilde arıtılması için genellikle birden fazla temel sürecin uygulanmasına gerek vardır. Bu süreçlerin seçimi için, tesis ve işletim masrafları, arazi gereksinimi, atıksu özelliklerindeki değişikliklere karşın istenilen çıkış suyu kalitesinin sağlanması gibi hususlar göz önüne alınmalıdır (Yavuz, 1998).

Tekstil endüstrisi atıksularının hacmini ve kirlilik yükünü azaltacak tesis içi önlemler alınabilmesi mümkündür. Temiz çalışma, kapalı devre kontrolü, geri kazanma ve benzeri yöntemlerle atıkların miktarının azaltılabilmesi mümkün olmaktadır. Tekstil endüstrisi atıksularının arıtılması için kullanılan çeşitli prosesler, uygulama durumu ve etkinliği Çizelge 2.4' de verilmiştir (Vandevivere vd., 1998).

Arıtmada en önemli sorun atıksuların içerdiği boyarmaddenin fiziksel ve kimyasal özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Atıksulardan renk giderimi yapmak

için çok çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtım teknikleri kullanılabilir (Koçyiğit,2008).

Çizelge 2.4. Tekstil endüstrisi atıksularının arıtılması için çeşitli teknolojiler (Vandervivere ve ark., 1998)

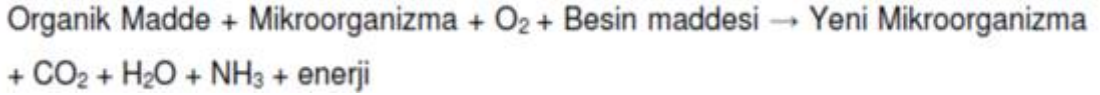
Proses	Arıtma Kademesi	Uygulama durumu	Performans	Sınırlama
Fenton prosesi	Ön arıtma	G. Afrika'da büyük ölçekli tesisler	Çok iyi renk giderimi, düşük ilk yatırım ve işletme maliyeti	Toksik çamur oluşumu
Elektroliz	Ön arıtma	Pilot ölçek	Ucuz.Çok iyi renk giderimi.	Köpük oluşumu, kısa elektrot ömrü
Flotasyon	Ön arıtma	Laboratuvar ölçek	%90 renk, % 40 KOİ giderimi, Ucuz.	
Membran	İkinci kademe/İleri arıtma	G. Afrika'da yaygın	Yüksek performans. Su ve kimyasal geri kazanımı.	Konsantrenin bertarafı zor, pahalı
Aktif çamur	İkinci kademe	Yaygın	KOİ ve N giderimi	Yüksek kalıcı KOİ, N, renk ve yüzey aktif madde
Anaerobik+ Aerobik	İkinci kademe	Çok az tesis var	İyi KOİ, renk ve toksik madde giderimi	Yüksek kalıcı KOİ ve renk
Biyofilm reaktörler	İkinci kademe	Çin'de pilot tesisler var	İyi KOİ ve renk giderimi	
Mantar(fungi)/H ₂ O ₂	İkinci kademe	Laboratuvar ölçek	Çok iyi renk giderimi	
Koagülasyon-Flokülasyon	Ön arıtma, ikinci kademe/ileri arıtma	Çok yaygın	Çok iyi renk giderimi, su geri kazanımı	Çamur problemi
Ozon	İleri arıtma	Büyük ölçekli tesisler	Çok iyi renk giderimi, su geri kazanımı	Pahalı, aldehit oluşumu
Sorpsiyon (karbon, kil, biyokütle)	Ön arıtma	Sorbent tipine göre laboratuvar / tam ölçek	Etkili ve ucuz sorbentler. Su geri kazanımı	Yüksek bertaraf ve rejenerasyon maliyeti
Fotokataliz	İleri arıtma	Pilot ölçek	İyi renk, toksik madde giderimi	

2.7. BİYOLOJİK ARITMA METODLARI

Biyolojik yöntem, endüstriyel proseslerden alıcı ortamlara aktarılan organik kirleticiler için en önemli giderim yöntemidir. Son yıllarda yapılan çalışmalar birçok boyarmadde türünü atık sudan giderebilme yeteneğine sahip mikroorganizma türleri geliştirilmiş ve biyoteknolojik yöntemler ön plana çıkartılmaya başlamıştır. Biyolojik yöntemler başlıca, aerobik yöntemler, anaerobik yöntemler ve biyosorpsiyon olarak üç ana başlık altında toplanabilir. (Kocaer ve Alkan, 2002).

2.7.1. Aerobik Arıtma Metodu

Aerobik parçalanma, çözülmüş oksijen varlığında mikroorganizmaların yaşamlarını sürdürebilmeleri için ortamda bulunan organik ve inorganik maddeleri okside ederek stabil hale getirmeleridir. Oksijen varlığında mikroorganizmalar, karbonlu bileşikleri parçalayarak CO₂ ve H₂O'ya dönüştürmektedirler. Azotlu bileşikler, ilk etapta amonyağa, daha sonra nitrat formuna dönüşürler. Aerobik ortamda biyolojik parçalanma prosesini aşağıdaki denklemlerle ifade etmek mümkündür (Kestioglu, 2001).



Verimli bir arıtma için BOİ₅/N/P=100/5/1 oranı sağlanmalıdır. Atık sular mikroorganizmaların çoğalması için gerekli temel besi maddelerinden olan azot ve fosfor yönünden yoksun ise bu maddeler aktif çamur havuzuna dışarıdan eklenmek zorundadır. Tipik bir aktif çamur arıtımında, 0.2-0.4 kg BOİ/kg biyokütle organik yüklemelerinde, 4-8 saatlik havalandırma süresinde % 90 kadar verim elde edilmektedir. Organik yükü fazla olan atık sular için doğrudan aktif çamur prosesi kullanmak aşırı enerji ihtiyacından dolayı mümkün olmamaktadır. Bu durumda, aktif çamur prosesi anaerobik arıtmadan sonra ikinci kademe arıtma olarak kullanılmaktadır (Turhan, 2006).

Aerobik sistemlerde renk giderimi boyarmaddenin bakteri üzerine adsorpsiyonuna dayandığından dolayı etkili bir yöntem değildir. Phanerachyta cryosporium, coriolus versicolor gibi beyaz çürükçül küflerle yüksek renk giderim verimleri elde edilmesine karşın özel besi gereksinimleri, çevre koşullarına karşı hassas olmaları ve düşük pH değerlerinde renk giderimi yapmalarından dolayı gerçek arıtma tesislerinde uygulanabilirliği zordur (Kapdan ve Alparslan, 2004). Azo boyarmaddeler (reaktif, direkt vb.) aerobik şartlar altında mikrobiyal parçalanmaya karşı dirençli olduğundan aerobik prosesler de arıtılabilirliğinin mümkün olmaması anaerobik arıtmaya ön arıtım olarak kullanılmasını gerektirir (Kocaer ve Alkan, 2002).

2.7.2. Anaerobik Arıtma Metodu

Bu arıtımda ilk olarak asidojenik bakteriler, karbonhidratlar, yağlar ya da proteinler gibi organik bileşikleri düşük moleküler ağırlıklı ara ürünlere dönüştürürler. Bu fermentasyon ürünleri daha sonra asetojenik bakteri tarafından kullanılır ve asetat bileşikleri, CO₂ ve moleküler hidrojen açığa çıkar. CH₄ ve CO₂ içeren biyogaz, anaerobik parçalanma testlerinde parçalanmanın düzeyini belirleme amacıyla kullanılabilir (Kocaer ve Alkan, 2002).

Boyar maddelerle yapılan anaerobik parçalanma çalışmaları, özellikle aerobik ortamda parçalanamayan suda çözünebilir reaktif azo boyar maddeler üzerinde yoğunlaşmıştır. Çift bağlı azot halkasına bağlı bu boyaların aerobik proseslerle arıtılabilirliğinin mümkün olmaması anaerobik arıtımın ön arıtma olarak kullanılmasını gerektirmektedir. Anaerobik olarak renk gideriminin gerçekleşebilmesi için ilave karbon kaynağına ihtiyaç vardır. İlave karbon metan ve karbondioksit dönüştürülmekte ve elektronlar açığa çıkmaktadır. Bu elektronlar elektron taşıma zincirinden son elektron alıcısına yani azo-reaktif boyaya taşınmakta ve boyayla reaksiyona girerek azo bağını indirgemektedir. Böylece anaerobik bağlanma sonucunda azo boyar maddelerdeki renkten sorumlu azo bağını kırmakta ve renk giderimi sağlamaktadır. Bu olay oksijen tarafından inhibe edilmektedir. Bu nedenle boya atıklarını renksizleştirmek için ilk adım azo köprüsünün indirgenerek parçalandığı anaerobik koşullar altında arıtım olmalıdır (Robinson vd., 2001).

2.7.3.Biyosorpsiyon

Bu yöntemde kimyasal maddelerin mikrobiyal kütle tarafından adsorpsiyonu ya da kütlede birikimi söz konusudur. Ölü bakteriler, maya ve mantarlar boyarmadde içeren atık suların renginin giderilmesinde kullanılabilir. Tekstil boyarmaddelerinin kimyası geniş bir farklılık gösterdiği için mikroorganizmalarla olan etkileşimler boyarmaddenin kimyasına dayanmaktadır. Bu nedenle kullanılan mikroorganizmanın cinsine ve boyarmaddeye bağlı olarak farklı bağlanma hızları ve kapasiteleri söz konusudur (Kocaer ve Alkan, 2002).

Biyosorpsiyon proseslerinde ölü mikrobiyal hücrelerin kullanımı, atıksu arıtımı için daha avantajlıdır. Çünkü ölü organizmalar toksik atıklardan etkilenmezler, sürekli nutrient gereksinimi duymazlar ve çeşitli işlemlerle rejenere edilerek yeniden kullanılabilirler (Aksu ve Karabayır, 2008).

Tekstil boyarmaddelerinin kimyaları kendi içlerinde çok büyük çeşitlilikler göstermekte ve mikroorganizmalarla boyalar arasındaki etkileşimler boyaların özelliklerine ve biyokütle tipine, biyokütle spesifik yüzey özelliklerine ve ortam koşullarına bağlı olarak değişim göstermektedirler. Mantar biyokütlesi insanlara ve hayvanlara karşı patojen olmadığı için bu tip biyokütleler basit fermantasyon teknikleri kullanılarak veya çeşitli endüstriyel fermantasyon prosesi atıklarından ucuz bir şekilde üretilebilirler. (Aksu ve Karabayır, 2008).

Tekstil boyarmaddelerinin kimyası geniş bir yelpazeye sahip olduğu için mikroorganizmalarla olan etkileşimler boyarmaddenin kimyasına ve mikrobiyal kütlelerin spesifik kimyasına dayanmaktadır. Bu nedenle kullanılan mikroorganizmanın cinsine ve boyarmaddeye bağlı olarak farklı bağlanma hızları ve kapasiteleri söz konusu olmaktadır. Boyarmaddeler içeren atıksular çok toksik olduğunda biyosorpsiyon daha avantajlı olmaktadır.(Robinson ve ark., 2001).

2.8.FİZİKSEL ARITMA METODLARI

Fizikokimyasal prosesler olarak çeşitli koagülan, dekoloran, yardımcı koagülan ve/veya polimerlerin kullanıldığı koagülasyon-flokülasyon-çökeltim, elektrokoagülasyon vs sayılabilir (Shaw vd., 2002; Uzal, 2007).

2.8.1. Adsorbsiyon

Adsorpsiyon, klasik arıtma yöntemleriyle arıtılması güç olan zehirlilik, koku ve renk kirliliği yaratan kimyasal maddelerin, bu maddeleri tutabilecek yapıda olan katı maddelerin yüzeyinde kimyasal ve fiziksel bağlarla tutulma işlemidir. Tutma özelliği gösteren katı maddelere adsorbent adı verilir. Adsorbent tarafından tutulabilen maddeler ise adsorbat olarak adlandırılır. Adsorpsiyon fiziksel ve kimyasal olmak üzere iki sınıfa ayrılabilir (Başbuğ, 2008).

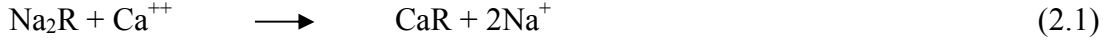
En çok kullanılan adsorban madde aktif karbondur ancak aktif kömür, silikajel, boksit, odun, selüloz türevleri, zeolit, bentonit ve odun külü ekonomik ve kolaylıkla temin edilebilen adsorban maddeler arasında verilebilir. İlk yatırım maliyeti yüksek olan adsorbsiyon prosesinde, adsorban madde gerektiğinde rejenere edilmeli veya değiştirilmelidir. Dolayısıyla adsorbsiyonla renk giderimi proseslerinde ek bir işletme maliyeti karşımıza çıkmaktadır (Gönder, 2004).

İlk yatırım maliyeti yüksek olan adsorbsiyon prosesinde, adsorban madde gerektiğinde rejenere edilmeli veya değiştirilmelidir. Dolayısıyla adsorbsiyonla renk giderimi proseslerinde ek bir işletme maliyeti karşımıza çıkmaktadır. Renk gideriminde ek bir işletme maliyetine gerek olmadan kullanılacak doğal kil, çeşitli ağaç yaprakları, mısır koçanı ve pirinç kabuğu gibi maddeler uygun adsorbanlar olarak değerlendirilebilir (Aktaş ve ark. 2013, Aktaş ve ark. 2014).

2.8.2. İyon Değişimi

İyon değişimi atık suda istenmeyen anyon ve katyonların giderilmesi için kullanılır. Katyonlar H^+ ya da Na^+ , anyonlarda OH^- ile yer değiştirir. Katyon değiştirici reçinelerin çoğu aktif grup olarak SO_3H^- içeren sentetik polimerik

bileşikleridir. Anyon değiştirici olarak kullanılan reçineler ise sentetik reğine aminleridir. Reaksiyon, aktif merkezin herhangi bir iyonla seçici olarak yer değiştirmesi esasına dayanan kimyasal denge sonucunda meydana gelir. Katyon değişimi genel olarak Denklem 2.1'deki gibi gösterilir.



Burada R reğineyi temsil etmektedir. Reğinenin tüm aktif merkezlerindeki Na^+ iyonları, Ca^{++} iyonları ile yer değiştirdiği zaman reğine; Na^+ iyonları içeren derişik bir ozeltinin reğine yatağından geçirilmesi ile rejenere edilir. Bu denge diğer değişimin tersine olarak Na^+ iyonlarının Ca^{++} iyonları ile yer değiştirmesi şeklinde gerçekleşir.

Bu yöntem çok yaygın olarak kullanılan bir yöntem değildir. Bu yöntemle iyonik boyarmaddeler ve katyonik boyarmaddeler giderilebilir. Bu yöntemin üstünlüğü rejeneryonda absorbant kaybı olmaması (Robinson vd., 2001) ozcnn kullanıldıktan sonra tekrar kazanılabilmesi ve oznebilir boyarmaddelerin etkin şekilde giderilebilmesidir (Kocaer ve Alkan, 2002).

2.8.3. Membran Prosesler

Özellikle boyahane atıksuları, yüksek miktarlarda tuz ve organik madde içermektedir. Tuz konsantrasyonu yüksek olan ozeltiler, boyarmaddeyi elyafa iyi bağladığı için daha iyi adsorbe olurlar ve boya banyolarında yüksek miktarlarda tuz kullanımını gerektirirler. Tuz oranı yüksek olan atıksuların arıtılma güçlüğü nedeniyle atıksuya karışan tuzun kaynağında ayrılması gerekmektedir. Böyle bir ayırma işleminin yapılabileceği en iyi arıtım şekli membranlardır (Topacık ve Koyuncu, 1998).

Yöntemde boyanın sürekli olarak arıtılması, konsantre edilmesi ve en önemlisi atıksudan ayrılması mümkün olmaktadır. Diğer yöntemlere göre en önemli üstünlüğü sistemin sıcaklığa, beklenmedik bir kimyasal çevreye ve mikrobiyal aktiviteye karşı dirençli olmasındır (Kocaer ve Alkan, 2002).

Günümüzde ticari kullanım alanına sahip membran prosesler ultrafiltrasyon, ters osmoz, gaz ayırma ve elektrodiyalizdir. Membran prosesler ilk olarak 1980'li yılların başlarında vat ve indigo boyamaddelerin geri kazanımı amaçlı kullanılmaktaydı. Membran proseslerle atıksulardan renk gideriminde, arıtmadan çıkan suyun yeniden kullanılması ve bazı boyar maddelerin geri kazanımı gibi pek çok avantaja sahiptir. Son yıllarda membran prosesleri üreten firmalar boyarmaddelerden kaynaklanan renkli atıksuların giderimi üzerine yoğunlaşmıştır. Membran proseslerin en önemli dezavantajlarından birisi, membranda yoğunlaşan maddenin uzaklaştırılması güçlüğüdür. Membran proseslerin atıksu arıtımı için kullanılabilmesi için membranda yoğunlaşan madde arıtımının çözümüyle birlikte sunulması gereklidir (Demirci, 2007).

2.9. KİMYASAL ARITMA METODLARI

Tekstil atık sularının kimyasal yöntemlerle arıtılması uzun yıllardan beri en çok kullanılan yöntem olmuştur. Bunun nedeni kullanılan kimyasal maddelerin ya da uygulanan dozların değiştirilerek atık su kalitesinde meydana gelen değişiklikleri etkisiz hale getirme olanağını sağlamasıdır (Kocaer ve Alkan, 2002). Tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasında kullanılan başlıca kimyasal yöntemler, koagülasyon-flokülasyon, kimyasal oksidasyon prosesleri ve ileri oksidasyon prosesleridir.

2.9.1. Koagülasyon-Flokülasyon

Bu yöntemde yumaklaştırma ve çökelme kimyasal maddeler yardımıyla sağlanır. Atık suya katılan kimyasal maddeler yardımıyla meydana gelen yumaklaşma ile çözünmüş maddeler ve kolloidler giderilirler. En çok kullanılan kimyasal maddeler arasında, $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$ ve $FeSO_4$ sayılabilir (Turhan, 2006). Ancak bazı durumlarda atık sularda bulunan maddelerin bu kimyasallarla uzaklaştırılması mümkün olmayabilmektedir. Bu amaçla organik polimerler kullanılmakta ve bunlarla inorganik maddelere göre daha iyi renk giderimi ve daha az çamur oluşumu sağlamasına rağmen, tam bir renk giderimi sağlayamamaktadır (Nalbant, 2006).

Kimyasal koagülasyon kompleks bir olaydır. Bu sebeple belli şartlar altında koagülanın ne şekilde reaksiyon vereceğini bilmek oldukça kritiktir. Farklı boya çeşitleri için optimum koagülasyon koşullarının ayrı ayrı belirlenmesi gerekmektedir. Koagülasyonun verimliliği, doğru koagülan seçimi ve uygun pH, koagülan dozu, karıştırma süresi gibi proses değişkenlerinin optimizasyonu ile artırılabilir (Verma vd., 2012).

Doğal renk sularda özellikle negatif yüklü kolloidal partiküller ve doğal organik maddeler sebebiyle bulunmaktadır. Bu nedenle renk giderimi, alüminyum ve demir gibi katyonik metal iyonları içeren tuzlar vasıtasıyla koagülasyon ile sağlanmaktadır (Birgül, 2006). Askıda veya kolloid haldeki partiküllerin destabilizasyonu, solüsyon pH'sının ayarlanması ve koagülanların eklenmesi ile mümkün olmaktadır. Vat boyaların arıtımında genel olarak koagülasyon metodu uygulanmaktadır. Suda çözünemeyen vat boyalar, kireç, alüm, demir sülfat ve polielektrolit gibi koagülanlar kullanılarak uzaklaştırılmaktadır (Uzal, 2007). Koagülasyon prosesinde organik koagülanlarla ya da organik polimerlerle renk gideriminde başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Organik polimerler pahalı olmalarına rağmen, daha az çamur oluşumuna sebebiyet verdiklerinden daha çok tercih edilmektedir (Birgül, 2006).

2.9.2. Kimyasal Oksidasyon Metodları

Kimyasal oksidasyon prosesi; kimyasal türler arasında elektronların transferine dayanır. Bu proses indirgenme-yükseltgenme prosesi olarak da bilinir. Kimyasal oksidasyonun amacı, su içerisinde bulunan bir maddenin kimyasal olarak oksitlenerek kararsız son ürüne dönüştürülmesidir (Arıcı, 2000). Kimyasal oksidasyon istenmeyen kimyasal bileşiklerin ve beraberinde atıksuyun içerdiği rengin oksitlenerek azaltılması ve uzaklaştırılmasını sağlamak amacıyla ozon, klor veya hidrojen peroksitin kullanıldığı işlemleri kapsamaktadır (Tünay, 1996).

Kimyasal oksidasyon, serbest veya bir bileşik yapısında bulunan bir elementin oksidasyon düzeyinin yükseltilmesi ile sağlanır. Oksidasyona uğrayan elementi içeren bileşiğe, oksitlenmiş bileşik denir. Bir element veya bileşiğin

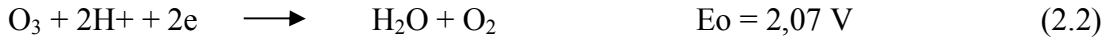
oksidasyonu biyolojik süreçler içinde oluyor ise bu oksidasyon türü biyolojik oksidasyon olarak adlandırılır. Endüstride kullanılan en yaygın oksitleyicilerin oksidasyon potansiyelleri Çizelge 2.4’de verilmiştir (Acarbabacan, 2002).

Çizelge 2.5. Bağlı oksidasyon potansiyelleri

Türler	Oksidasyon Potansiyeli (eV)
Flor	3.06
Hidroksi radikali	2.08
Oksijen	2.42
Ozon	2.07
Hidrojen peroksit	1.77
Per hidroksi radikali	1.70
Hipokloröz asit	1.49
Klor	1.36

2.9.2.1. Ozon ile oksidasyon

Ozon (O₃) oksijenin üç atomlu bir allotropu olup kendine has bir kokuya ve mavimsi renge sahiptir. Bazen aktif veya atomik oksijen olarak adlandırılır. Ozon oldukça kuvvetli bir oksidan olup, oksidasyon etkisini



denklemini çerçevesinde gerçekleştirir. Ozon hidroksil radikalinden daha zayıf ve dolayısıyla seçici bir oksitleyicidir. Bu nedenle birçok oksidasyon reaksiyonunun gerçekleşmesinde kullanılan ve tercih edilen bir oksitleyicidir (Rice, 1997).

Ozonun, oksidasyon gücü çoğu element ve bileşiği gerekli koşullar sağlandığında en yüksek oksidasyon kademesine çıkartmaya yeterlidir. Normal şartlarda gaz halinde bulunmaktadır. Kararsız bir madde olan ozon havanın oksijeninden elde edilmektedir. Ozonun sulara oksitleme gücü sıcaklığına, pH’sına, kısmi basıncına ve reaksiyon süresine bağlıdır. Ozon organik maddelerdeki karbon bağlarını kolayca parçalar, aromatik halkayı kırar. Bazı organik maddeleri kısmen parçalar ve reaksiyon ürünleri ozonla daha fazla okside olmaz. Buna karşı çoğu oksidasyon ürününü, başlangıç maddelerine göre biyolojik olarak daha kolay ayrıştırılabilmektedir. Ozon depolanması ve taşınması çok zor olduğu ve üretimden

sonra çok çabuk olarak oksijeni ayrıldığı için kullanılacağı yerde üretilmelidir. Ozonlama ile arıtımda gaz-sıvı ara fazı geçilir, çözülmüş ozon sıvı yüzeyini geçer, sıvı içinde çözünür ve daha sonra sıvıyla yayılır. Tekstil atıksularının arıtımında organik maddeyi parçalayabildiği için verimlidir. Ancak tek başına kullanıldığında ekonomik olmamakla birlikte sistemin ilk yatırım maliyeti yüksektir (Koçyiğit, 2008).

2.9.2.2.Klor ile oksidasyon

Su ve atık su oksidasyonunda en yaygın olarak kullanılan maddelerden birisi de klorlamadır. Hem dezenfektan hem de yükseltgendir. Ancak, gerekli olan miktarının genellikle yüksek olması, klorun zaten yüksek olan zehirli bileşik oluşturma potansiyelini daha da arttırmaktadır. Diğer taraftan yüksek miktarlarda klor kullanımı maliyeti de arttırmaktadır. Bu nedenle klorlama daha çok arıtılmış atık sulardaki kalıntı rengin giderilmesi amacı ile kullanılmaktadır. Klor ile boyarmaddelerdeki amino grupları elektrofilik olarak saldırıya uğrar ve bunun sonucunda azo bağlarının parçalanması hızlanmaktadır (Robinson vd, 2001).

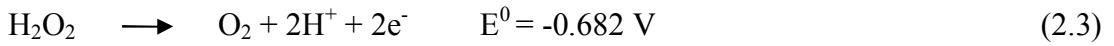
Bu yöntemle pek çok boyarmaddenin renginin giderilebilmesine rağmen tamamen giderimi sağlamak mümkün değildir. Ayrıca ortamda oluşan bazı klorlu bileşiklerinin alıcı su ortamında olumsuz birtakım etkileri söz konusudur. İnorganik bir madde olarak klor, organik maddeleri oksitlediği zaman klorlu organik maddeleri oluşturur. Klorlu organik maddeler, genellikle kanserojen olan adsorplanabilen organik halojenleri (AOX) meydana getirir (Koçyiğit, 2008).

2.9.2.3.Hidrojen peroksit ile oksidasyon

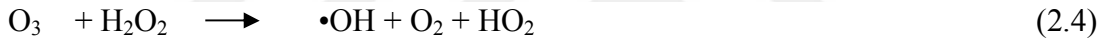
Hidrojen peroksit, suda çözünen ve sulu çözeltide oldukça kararlı olan bir bileşiktir. Oksidasyon gücü çok yüksek ve elde edilmesi kolaydır. Demirin oksidasyonunda, klor giderilmesinde, çeşitli organik maddelerin oksidasyonunda yaygın olarak kullanılmaktadır. Çoğunlukla asidik veya bazik pH'ların her ikisinde de kullanılabilir (Koçyiğit, 2008).

Hidrojen peroksit standart potansiyeli pH 0'da 1,8 mV; ve pH 14'te sırasıyla 0,87 mV olan güçlü bir oksitleyicidir (Neyens ve Beayens, 2003). Hidrojen peroksit, suda çözünen ve sulu çözeltide oldukça kararlı olan bir bileşiktir. Ekonomiktir ve elde edilmesi kolaydır (Arıcı, 2000).

Oksidasyon gücü oldukça yüksek olan hidrojen peroksitin asidik ortamdaki reaksiyonu aşağıda verilmektedir (Arıcı, 2000).



Hidrojen peroksit geçiş metal tuzları (Fe(II) tuzları gibi), ozon veya UV ışığı yardımıyla etkinleştirilerek güçlü oksitleme özelliğine sahip hidroksil radikallerini ($\bullet\text{OH}$) oluşturabilmektedir (Neyens ve Beayens, 2003). Hidrojen peroksitin ozon, demir(II) tuzları ve UV ışını ile reaksiyonu Denklem 2.6, 2.7 ve 2.8'e göre hidroksil radikali oluşturmaktadır:



2.9.3. İleri Oksidasyon Metodları

Konvansiyonel kimyasal oksidasyon tekniklerinin kimyasal sınırlamaları, bir ışık kaynağının varlığında veya yokluğunda, güçlü oksidasyon elemanlarının (O_3 , H_2O_2) ve/veya katalizörlerin (Fe, Mn, TiO_2) kullanıldığı, ileri oksidasyon prosesleri olarak adlandırılan gelişmeler yoluyla asılabilir. İleri oksidasyon prosesleri (AOPs) genellikle, ayrışmaya karşı dirençli ve tehlikeli kirleticileri içeren yeraltı suyu, yüzey suyu ve endüstriyel atıksuları gidermek için çok güçlü ve seçici olmayan oksitleyici elemanların (hidroksil radikalleri) oluşumunu kapsar (Alaton vd, 2001).

2.9.3.1.UV oksidasyon yöntemi

Ultraviyole ışınlar ile gerçekleştirilen oksidasyon işlemi olarak tanımlanmakta ve öncesinde fiziksel, kimyasal veya biyolojik arıtmaya ihtiyaç duymaktadır. UV ile oksidasyonda metal tuzları katalizör olarak kullanılmaktadır. Bunlar arasında TiO_2 en etkin ve yaygın olarak kullanılan katalizördür. Dezenfeksiyon amacıyla UV teknolojisinin geliştirilmesi sonucu UV'nin oksidan olarak kullanımı konusundaki araştırmaları artırmış ve bu konuda özellikle diğer oksidanlarla birlikte kullanımı için önemli gelişmeler olmuştur. UV bazı organik maddeleri moleküllerde bağ ayrılması ve serbest radikal oluşumu ile parçalar. Humik asitler seyreltik çözeltilerinde UV ışınımı ile foto oksidasyona uğrar (Tünay, 1996).

2.9.3.2. H_2O_2 /UV oksidasyon yöntemi

Boyarmaddeler, H_2O_2 varlığında UV ışığı ile CO_2 ve H_2O 'ya dönüştürülür. Parçalanma yüksek konsantrasyonlardaki OH radikallerinin oluşumu ile meydana gelir. Yani UV ışığı H_2O_2 'i aktive ederek Denklem 2.14'te görüldüğü gibi hidroksil radikaline parçalanmasını sağlamaktadır.



H_2O_2 /UV arıtma yöntemine etki eden faktörler; hidrojen peroksit konsantrasyonu, UV radyasyonunun şiddeti, pH, boyarmadde yapısı ve boya banyo dekompozisyonudur. Genellikle pH=7'de, dekolorizasyon daha iyidir. Yüksek radyasyon şiddetlerinde optimal hidrojen peroksit konsantrasyonu farklı boyarmadde sınıfları için değişmektedir. Eğer boya banyoları oksidasyon temsilcisi bulundurmuyorsa peroksidin oksidasyon potansiyeli de artmaktadır (Gökkuş, 2006).

2.9.3.4. O_3 / H_2O_2 oksidasyon yöntemi

Hidrojen peroksit su içerisinde ozon molekülleri ile çok yavaş reaksiyona girerken, hidrojen peroksitin sudaki reaksiyonu sonucu oluşan HO_2^- moleküler ozon ile çok hızlı bir şekilde reaksiyona girmektedir. Yapılan çalışmalarda, hidrojen peroksitin ozonla başlayan ve $OH\cdot$ radikalinin oluşumu ile sonuçlanan reaksiyonu tetiklediğini belirtmektedirler. Reaksiyonda temel olarak kullanılan H_2O_2 aynı

zamanda yüksek dozlarda reaksiyonu bozucu etki de göstermektedir. Bu prosesin temel reaksiyonları aşağıdaki gibidir.



Bu prosesin kısaltılmış tam reaksiyonu ise;



şeklinde verilebilir (Arslan, 2000).

2.9.3.5. O₃/UV oksidasyon yöntemi

O₃/UV prosesi, ozon moleküllerini aktive etmek için UV fotonlarının kullanımı ile gerçekleşir. Bu proses sonucunda hidroksil radikalleri meydana gelir (Zhou vd.,2002). Ozon moleküllerinin absorpsiyonu 253.7 nm dalga boyunda maksimum olduğu için, ışık kaynağı olarak genellikle kuvars bir kolla sarılmış orta basınçlı civa lambalar kullanılır. Bu lambalar 200-280 nm dalga boyunda ultraviyole ışık üretirler.

O₃/UV prosesi ile organik bileşiklerin artan oksidasyon oranına diğer reaksiyon mekanizmalarının da katkı sağlayabileceği belirtilmektedir. UV ışınlanması bazı organik bileşiklerin doğrudan uyarılmasına olanak sağlayabilir (Peyton ve Glaze, 1982; Zhou vd., 2002). Uyarılan bileşikler ozon molekülleri ile reaksiyona girerek değişik parçalanabilir ürünleri oluştururlar. Böylece, bu mekanizmanın verimliliği yüksek ozon konsantrasyonu ile artırılabilir. Normal koşullarda, ozonun kendisi UV ışığını absorbe eder ve UV enerjisi için organik bileşikler ile rekabet eder

2.9.3.6. Fenton oksidasyon prosesi

Fenton metodu, 1894 yılında H.J.H Fenton tarafından keşfedilmiştir. Fe(II) ve hidrojen peroksit (H₂O₂) arasındaki birim reaksiyonu açıklamakta, zincirleme reaksiyonlar sonucu hidroksil radikallerinin (OH•) meydana geldiğini belirtmektedir. Oluşan hidroksil radikalleri oldukça yüksek oksitleme gücüne sahiptirler. Hidrojen peroksit – ferro iyonu sistemi Fenton reaktifi olarak bilinmektedir (Gökkuş, 2006). Hidrojen peroksit ile demir (+2) iyonlarının birlikte kullanılarak radikal üreten sistemler Fenton reaktifi olarak adlandırılmaktadır. Oluşan hidroksil radikalleri diğer ileri oksidasyon proseslerinde olduğu gibi boyarmaddedeki kromofor grubu parçalayarak atıksuda renk giderimini sağlar.



Bu proste organik madde, oksidasyon ve koagülasyon proseslerinde olmak üzere iki aşamada giderilir. Fenton ayırıcının oksidasyon yeteneği, asit ortamda hidrojen peroksidin demir iyonları katalizi ile dekompozisyonu sonucu hidroksil radikallerinin (OH•) oluşumuna bağlıdır. Fenton prosesinde hidroksil radikallerinin yüksek oksidasyon potansiyeli ile istenmeyen kirletici madde tamamıyla giderilebilmektedir (Muruganandham ve Swaminathan, 2004). Ferro demir ve hidrojen peroksidin redoks reaksiyonları asidik koşullarda daha karardır. Organik maddelerin ve ferro iyonlarının var olduğu bir su ortamına hidrojen peroksit verildiğinde Denklem 2.14- 2.18'teki kompleks reaksiyonlar meydana gelmektedir.



Oluşan hidroksil radikali organik madde (RH) ile reaksiyona girerek boyarmadde moleküllerinin kromofor ve kromojenini parçalamakta ve böylece renk giderimini sağlamaktadır. Denklem 2.19 ve 2.20’de bu reaksiyonlar verilmiştir.



Fenton reaksiyonu genellikle dizi şeklinde ilerlemekte ve genelde aşağıdaki şekilde uygulanmaktadır.

- Başlangıçta asidik koşullar sağlanır, pH değeri asitle 2-4 aralığına getirilir,
- Demir (II) tuzu eklenir,
- Daha sonra hidrojen peroksit ilave edilir ve hidroksil radikalleri oluşur,
- Reaksiyon (Oksidasyonla organik kimyasallar daha hafif moleküllere dönüşür. Demir (II),demir (III)’e yükseltgenir) (Gökkuş, 2006).
- Kostik soda solüsyonu veya kireç sütü ile nötralizasyon sağlanır. pH 7-8 aralığına getirilir.
- Katıların ayrılması işlemi (1-1.5 saat bekleme süresi sonunda çökeltme gerçekleştirilir. Çökeltme sonucunda Fenton çamuru oluşur).

Fenton reaktifi ile renk giderim verimi hidrojen peroksit konsantrasyonu, demir iyonu konsantrasyonu, pH ve atıksu sıcaklığına bağlıdır.

pH etkisi: Fenton prosesinde asidik koşullarda redoks sistemi ve renk giderme daha iyidir. pH değeri 3,5’ten küçük olduğu zaman, hidrojen peroksit ve Fe^{+2} daha kararlıdır. Fe^{+2} iyonları pH 4’den yüksek olduğunda kararsızdır ve kolayca demir hidroksit kompleksleri üretmeye meyilli demir iyonları oluştururlar.. pH 5 – 7 arasında KOİ değeri oldukça artmaktadır (Öden,2010).

Sıcaklık etkisi: Düşük atıksu sıcaklıklarında hızlı renk giderimini sağlamak için yüksek konsantrasyonlarda demir (+2) ilavesine ihtiyaç vardır. Yüksek konsantrasyon ilavesi de fazla çamur oluşumuna neden olacaktır. Düşük sıcaklık ve yüksek demir tuzu konsantrasyonlarında demir tuzu ile kimyasal çökeltme ve oluşan

serbest radikaller ile boyanın oksidasyonu olarak iki renk giderim mekanizması etkilidir. Yüksek atıksu sıcaklığı Fenton reaktifinden serbest radikal üretimini hızlandırarak ilave edilen demir tuzu konsantrasyonunu etkili bir şekilde düşürür.

Hidrojen peroksit konsantrasyonu etkisi: Hidrojen peroksit fazla miktarda kullanıldığında renk giderme verimi yüksek, az miktarda kullanıldığında ise düşüktür. Arıtılmış suda hidrojen peroksit kalması girişim yaparak KOİ değerinin artmasına neden olmaktadır. Genellikle yüksek miktarda hidrojen peroksitin suda bulunması, yüksek KOİ demektir ve kirliliğin artması demektir (Öden, 2010).

Demir iyonu konsantrasyonu etkisi: Sulu çözelti içerisinde demir iyonlarının bulunmaması halinde hidroksil radikalini üretecek temel faktör bulunmadığından Fenton reaksiyonuna dayalı etkin bir oksidasyon gerçekleşmemektedir. Demir konsantrasyonu ile renk ve KOİ giderimi arasında pozitif bir ilişki den bahsedilebilir. Ancak öyle bir konsantrasyona ulaşılır ki bundan sonra ilave edilen demir iyonu verimi artırıcı etkide bulunamaz.

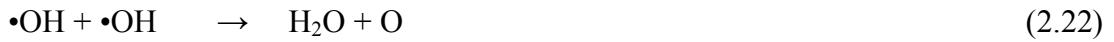
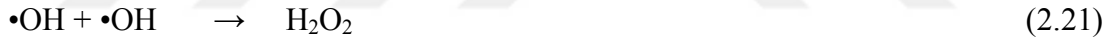
Çizelge 2.6.Fenton prosesinin avantaj ve dezavantajları (Üstün, 2003).

Avantajları	Dezavantajları
İlk yatırım maliyeti düşük	İlave kimyasal maliyeti
Biyolojik arıtma için zehirliliğin indirgenmesi	Çamur oluşumu ve bunun uzaklaştırılması masrafı
KOİ azaltılması	Tuz oluşumu
Kısmi oksitlenme, toksik ve erimeyen bileşiklerin tamamıyla etkisizleştirilmesi	Uygun kimyasal reaksiyon ortamlarının sürdürülmesinin güçlüğü
Kısmi oksitlenme, toksik ve erimeyen bileşiklerin tamamıyla etkisizleştirilmesi	Köpüklenme
Hidrolik bekleme süresi az	Demir katalizörler hidroksil lekeleri meydana getirmektedir.

2.9.3.7. Ultrases fenton oksidasyonu

Ultrasesin etkisi kavitasyon olayına dayanmaktadır. Kavitasyon oluşma mekanizmasına göre akustik, hidrodinamik, optik ve partikül kavitasyon olmak üzere dörde ayrılır. Bunlardan yalnızca hidrodinamik ve akustik kavitasyon kimyasal reaksiyonlar üzerinde etkilidir. Akustik kavitasyon ise ultrasesin temelini teşkil eden 16 kHz ile 100 MHz arasında ses dalgalarının su ortamında oluşturduğu kavitasyondur. Bir sıvıda oluşturulan ses dalgalarının sebep olduğu mikro kabarcıklar, çok küçük zaman aralıklarında çok büyük miktarda enerji açığa çıkartarak büyümesi ve çökmesi sonucu su molekülünün herhangi bir kimyasal madde veya ışık şiddetine gerek kalmadan parçalanarak başta OH• olmak üzere, bir çok radikal oluşturur. Bu kuvvetli radikaller organik maddeyi oksitlerken çamur problemi de yaratmaz (İnce vd.,2001).

Ultrasonik olarak suyun bozunma reaksiyonları Denklem 2.21-2.30'da olduğu gibidir.



Ultras ses fenton oksidasyonu sırasında, uygun sıcaklık ve basınçta, suyun fiziksel ve kimyasal yapısının değişime uğraması sonucu $\bullet\text{H}$, $\bullet\text{OH}$, $\bullet\text{OH}_2$, H_2O_2 gibi radikaller üretilir. Bu süreçte mikrokabarcıklar oluşur, büyür ve iç/dış basınç etkisiyle patlarlar. Bu aşamada reaktif serbest radikaller oluşur. Eğer ortamda oksitlenebilecek organik/inorganik maddeler mevcut değilse $\bullet\text{OH}$ radikalleri birleşerek H_2O_2 oluştururlar. Bu nedenle akustik kavitasyon sırasında H_2O_2 ölçümleri, kabarcıklar tarafından serbest hale geçirilen $\bullet\text{OH}$ radikallerinin miktarını tahmin etmek için kullanılabilir. Bu radikaller, eğer atıksudaki toksik ve organik bileşikler varsa, bu maddeleri oksitleyerek kararlı son ürünlerine (CO_2 , N_2 , NO_3 , COOH gibi) veya daha az zararlı bileşiklere dönüşmesini sağlarlar (Manu ve Chaudhari, 2003). Ultras ses işlemi esnasında su moleküllerinin parçalanması ile üretilen hidroksil radikalleri fenton prosesinde kullanılabilmekte ve fenton oksidasyonunun gerçekleşmesi için gerekli olan H_2O_2 ihtiyacını azaltmaktadır.

2.10. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Konu ile ilgili literatür de bulunan çalışmalar incelendiğinde, fenton ve modifiye fenton oksidasyon yöntemlerinin çeşitli kirleticilerin giderilmesinde kullanıldığı görülmektedir. Fenton ve ultrases fenton oksidasyon prosesiyle ilgili yapılan çalışmaların bazıları aşağıda sıralanmaktadır.

Fenton oksidasyonu ile metilen mavisinin arıtılabilirliğinin araştırıldığı bir çalışmada, Fe^{2+}/H_2O_2 oranı 1/1 (mol/mol) olarak belirlenmiş olup, pH 2.2-2.6 iken 1 saat sonunda boya giderimi %98, KOİ giderimi ise %81 olarak bulunmuştur (Dutta vd, 2001)

Fenton oksidasyon prosesi ile tekstil endüstrisi atıksuyunda renk gideriminin araştırıldığı bir çalışmada, en iyi renk giderim verimine pH 2'de, 10°C sıcaklıkta, 60 mg/L Fe^{2+} konsantrasyonu ve 8.53 mM H_2O_2 konsantrasyonu ile 4 saatlik bekleme süresi sonunda ulaşılmıştır (Hanay ve Hasar, 2007).

Fenton ve ultrases fenton yöntemi ile Reactive yellow 145 içeren sentetik atıksudan renk giderimi yapılan bir başka çalışmada fenton oksidasyonu için optimum pH=3, Fe^{2+} ve H_2O_2 derişimleri 20 mg/L iken renk giderimi %91, KOİ giderimi % 47 olarak bulunmuştur. Aynı araştırmanın 35 kHz frekans ve 80 W güç ile çalıştırılan ultrases su banyosunda gerçekleştirilen ultrases fenton oksidasyonunda ise optimum Fe^{2+} ve H_2O_2 dozları sırasıyla 20 mg/ L ve 15 mg/ L iken %95 renk, %51 KOİ giderimi sağlanmıştır (Özdemir vd, 2011a)

Fenton ve ultrases-fenton oksidasyonu ile Reactive Orange 127 azo boyasının renk giderimi için yapılan bir çalışmada, fenton oksidasyonu için optimum Fe^{2+} ve H_2O_2 dozları 20 mg/L ve 15 mg/L olarak bulunmuş, verim ise %89.9 olarak rapor edilmiştir. Aynı araştırmanın 35 kHz frekans ve 80 W güç ile çalıştırılan ultrases su banyosunda gerçekleştirilen ultrases-fenton oksidasyonu bölümünde ise optimum Fe^{2+} ve H_2O_2 dozları sırasıyla 25 mg/ L ve 5 mg/ L, verim ise %91.8 olarak bulunmuştur (Özdemir vd.,2011b).

Acid Red 88 sulu çözeltilisinin ultrases-fenton oksidasyonu ile arıtımının incelendiği bir çalışmada, 40 kHz frekans ile verilen 135 dakikalık ultrases işlemi sonunda pH=3 te % 98.6 arıtma verimi sağlanmıştır (Song vd.,2009).

Metil Viyole boyası içeren sulu çözeltiliden boyanın oksitlenmesiyle uzaklaştırılması üzerine Fenton oksidasyon yöntemi ile çalışılmıştır. H₂O₂ konsantrasyonu, Fe²⁺ konsantrasyonu, Metil Viyole konsantrasyonu, pH ve sıcaklık parametrelerinin oksidasyon reaksiyonu üzerine etkilerini araştırmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda pH'ın 3; sıcaklığın 30 °C olduğu koşullarda 2.1 mM H₂O₂, 0,06 mM Fe²⁺ ve 0,06 mM Metil Viyole kullanıldığında 60 dk sonunda %97,6 miktarda renk giderimi elde edilmiştir. (Bouasla ve ark. 2010)

Tekstil atık sularındaki rengin giderimi için foto-fenton oksidasyonunun araştırıldığı bir başka çalışmada, reaksiyon süresi 30 dk alınarak % 96'lık renk ve %36'lık KOİ giderim verimi elde edilmiş olup, optimum pH 3,5; 20 mg/L Fe²⁺ ve 100 mg/L H₂O₂ optimum derişim olarak bulunmuştur.(Bahadır, 2012)

Azo Boyası Amido Black 10B'nin sulu çözeltilisinin indirgenmesi için, Fenton prosesi araştırılmıştır. Bu araştırmada farklı reaksiyon parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Optimum çalışma şartları ve deney sonucunda bulunan yargı, 60 dakikalık reaksiyon süresinde, 25 °C'ta, pH 3.5, , Fe⁺² / H₂O₂ : 1/20, optimum koşullar altında azo boya Amino Black 10B'nin % 99.25 bozulma indirgeme verimi elde edilmiştir (Sun vd., 2006).

Tekstil atıksularında renk giderimi için fenton metodu uygulandığı çalışma kapsamında belirlenen optimum şartlar ise pH 3,5'da Fe⁺² dozu 20 mg/L ve H₂O₂ dozu 100 mg/L olarak kullanılmış ve 30 dakika reaksiyon süresi sonunda renk giderimi % 96 olmasına rağmen KOİ giderim verimi % 36 olarak belirlenmiştir (Kang,2000).

Asit Mavi 193 ve Reaktif Siyah 39 üretimi atıksuları ile gerçek Reaktif Siyah 39 üretimi atıksuyunun foto-Fenton-benzeri proses ile arıtılabilirliği incelendiği bir çalışmada optimum reaksiyon koşulları Fe(III) konsantrasyonu 1.5mM, H₂O₂ konsantrasyonu 35mM ve reaksiyon süresi 45 dakika olarak

belirlenmiştir. Bu koşullar altında yürütülen deney sonucunda elde edilen giderimler %98 renk, %78 KOİ ve %59 olarak saptanmıştır. (Türel, 2008)

Ticari olarak önemli olan C.I. Reaktif Mavi 114 antrakinonik boyanın renk giderimi fenton prosesi ile araştırıldığı bir çalışmada ise Fe^{2+} konsantrasyonu, H_2O_2 konsantrasyonu, reaksiyon süresi, pH değeri ve sıcaklık gibi parametrelerin çalışmadaki etkileri incelenmiş olup, maksimum renk giderim verimi pH 3, reaksiyon süresi 20 dakika ve $Fe^{2+}:H_2O_2$ oranı 0,1 iken %86 olarak gerçekleşmiştir. (Argun, 2012).

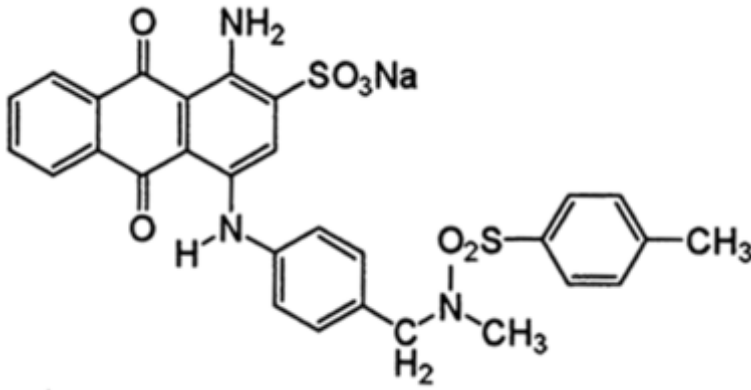
Tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılan Asit Oranj 8 (AO8), Asit Kırmızısı 44 (AR44), Asit Kırmızısı 66 (AR66) ve Direkt Mavisi 71 (DB71) azo boyaalarının Fenton prosesiyle degradasyonu incelendiği çalışma optimum H_2O_2 konsantrasyonunun AO8 ve AR66 için $7,50 \times 10^{-4}$ M, AR44 için $3,75 \times 10^{-4}$ M ve DB71 için $5,00 \times 10^{-3}$ M olduğunu göstermiştir. Optimum başlangıç Fe^{2+} konsantrasyonu, çözelti pH'ı ve sıcaklığı değerleri sırasıyla $2,50 \times 10^{-5}$ M, 3,5 (AR44, AR66 ve DB71 için 3,5 - 4,0 aralığı) ve 45 °C olarak bulunmuştur. $2,94 \times 10^{-5}$ M boya çözeltisi varlığında, optimum operasyon koşulları altında 180 dakika sonunda elde edilen AO8, AR44, AR66 ve DB71 renk giderim yüzdeleri sırasıyla 99,43; 99,28; 99,59 ve 99,75 olarak saptanmıştır.

Dispers ve reaktif boyarmadde içeren (Disperse Blue 106, Disperse Yellow 54, Reactive Blue 49 ve Reactive Yellow 84) sulu çözeltiye Fenton oksidasyonu ve kimyasal çöktürme uygulayarak sonuçları renk ve KOİ giderimi açısından karşılaştırıldığı çalışmada Fenton oksidasyonu ile optimum koşullar sağlandığında % 90 KOİ ve % 99 renk giderimlerine ulaşılmıştır (Kim vd., 2004).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1.MATERYAL

Fenton ve ultrases fenton oksidasyonu deneylerinde kullanılan atık su, tekstil endüstrisinde kullanılan “ Acid Blue 264” azo boyar maddesinin deiyonize suda çözülmesiyle sentetik olarak hazırlanmıştır. Bu boyanın kimyasal yapısı Şekil 3,1’de verilmiştir.



Şekil 3.1. Acid Blue 264 Boyasının Yapısı (www.worlddyevariety)

Deneysel çalışmalar sırasında kullanılan Acid Blue 264 boyasının karakteristik özellikleri ise Çizelge 3,1’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Acid Blue 264 Boyasının karakteristik özellikleri (www.worlddyevariety)

Diğer Adı	Acid Blue 264 AFN (AB-264)
Formül	C ₂₉ H ₂₈ N ₃ NaO ₆ S
Moleküler Ağırlık	799.8 g/mol
CAS Numarası	39315-90-7
Absorbsiyon Dalga Boyu	643 nm

Renk analizleri için Shimadzu 160A marka UV-Visible spektrofotometre kullanılmıştır. Renk analizleri yapılan spektrum analizi ile 643 nm dalga boyu olarak belirlenmiş ve çalışmada kullanılan Acid Blue 264 boyasının ölçülmesinde

kullanılmıştır. pH ölçümleri HANNA HI 221 model pH metre kullanılarak, tartımlar ise PRECİSA 205 A SCS Instrument marka hassas terazi ile yapılmıştır. Atık suda yapılan AKM analizlerini gerçekleştirmek için Rocker marka peristaltik pompa ve 1,2 µm gözenek boyutuna sahip GF/C filtreler kullanılmıştır. Ultrases fenton oksidasyonu ile tekstil atıksularının arıtımı çalışmaları Sonics VC 750 Ultrasonik işlemci cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çeşitli süre değerlerinin ayarlanmasına sahip ultrases işletim cihazındaki çalışmalar 20kHz sabit frekansta yapılmıştır. Fenton oksidasyonu çalışmaları WiseStir Jar TESTER marka jar testi cihazı ile yapılmıştır. Cihaz farklı devirlerde zaman ayarlı olarak çalıştırılabilmektedir. KOİ analizlerinde ısıtma işlemi Velp Scientifica ECO 16 Thermoreactor kullanılarak gerçekleştirilmiştir. KOİ deneyleri pişirimin ardından titrimetrik yöntem ile hesaplamaları yapılmıştır.

pH ayarlamaları için MERCK marka, analitik saflıkta 0,5 M NaOH ve 0.5 M H₂SO₄ çözeltileri kullanılmıştır. Fenton ve ultrases fenton oksidasyonu deneylerinde fenton reaktifleri olarak; MERCK marka H₂O₂ kaynağı olarak, 1,11 g/cm³ yoğunluğa sahip, %35'lik H₂O₂, demir kaynağı olarak MERCK marka FeSO₄.7H₂O kullanılmıştır.

3.2.YÖNTEM

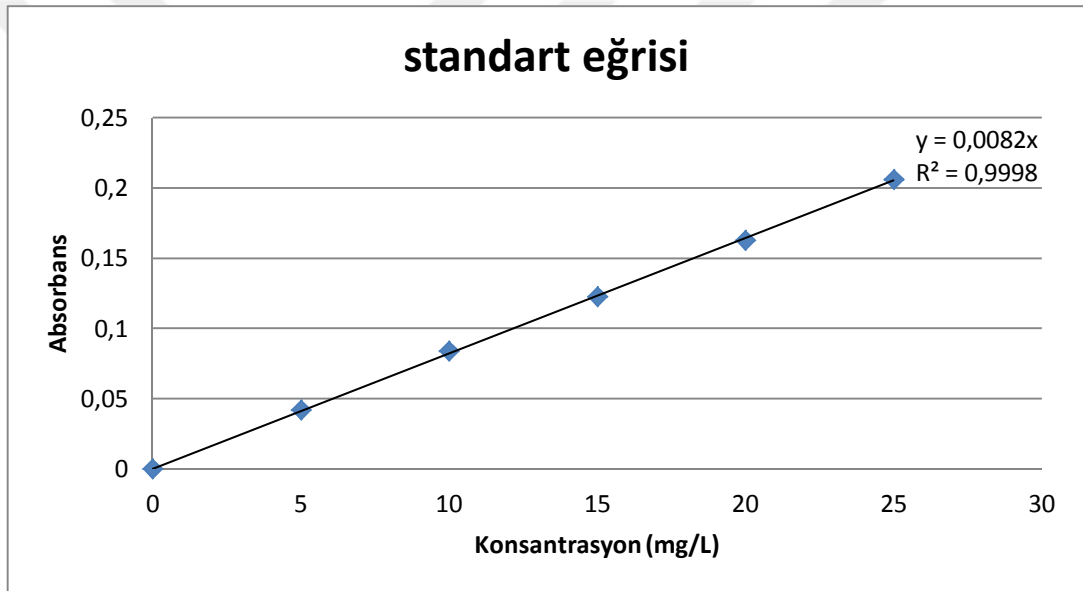
Bu çalışmada fenton ve ultrases fenton proseslerinin uygulanabilirliği incelenmiştir. Fenton ve ultrases fenton oksidasyon metodu ile arıtılan sentetik tekstil atıksuyunda renk ve KOİ analizleri yapılmıştır.

3.2.1. Stok Çözeltisinin Hazırlanması

Acid Blue 264 boyarmaddesinden hassas terazide 1 g tartılmıştır. Tartılan boya 1 L'lik balon jöjeye konulmuştur. Deiyonize su ile 1 L'ye tamamlanarak 1000 mg/L derisiminde stok boya çözeltisi hazırlanmıştır. Başlangıçta 1000 ppm olarak hazırlanan stok çözeltisinden deneylerde kullanılmak üzere sentetik atık sular 100 ppm'e seyreltilmiştir. Boyar maddeye herhangi bir işlem uygulanmadan, çözeltiler balon jöje de muhafaza edilmiştir.

3.2.2. Boyar Maddenin Standart Eğrisinin Çıkarılması ve Dalga Boyunun Saptanması

Acid Blue 264 (AB 264) boyarmaddesinin maksimum absorbans gösterdiği dalga boyu, 10 mg/L derişimdeki boya çözeltilisinin Shimadzu marka 160A marka UV-Visible spektrofotometre kullanılarak absorbansının okunmasıyla belirlenmiştir. Daha sonra AB 264'ün, 0, 5, 10, 15, 20 ve 25 mg/L derişimdeki çözeltilerinin, boyar maddenin maksimum absorbans gösterdiği dalga boyunda absorbansları okunarak kalibrasyon eğrisi çizilmiştir. Boyarmaddenin maksimum absorbans gösterdiği dalga boyu 643 nm olarak belirlenmiştir.



Şekil 3.2. Acid Blue 264 boyasına ait standart kalibrasyon eğrisi

3.2.3. Renk Analizleri

Renk analizleri deneyler sonucunda numunelerden 10 mL alınarak yapılmıştır. Numuneler işlem sonrasında 0,45 µ şırınga filtreden süzülerek Shimadzu 160A marka UV-Visible spektrofotometre de 643 nm dalga boyunca ölçülmüştür.

3.2.4. KOİ Analizleri

KOİ analizleri için numuneler filtrelendikten sonra KOİ tüplerine 2,5 mL alınarak, 1,5 mL $K_2Cr_2O_7$ ve 3,5 mL Ag_2SO_4 ilave edilerek 2 saat boyunca 148 °C'de parçalanmaya bırakılmıştır. Bu sürenin sonunda termoreaktörden çıkarılan numuneler oda sıcaklığına geldikten sonra demir amonyum sülfat çözeltisi ile titrimetrik yöntem kullanılarak analiz edilmiştir. KOİ değerleri aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$KOİ \text{ (mg/L)} = (A-B).N.8000/V \quad (3.1)$$

A: Şahidin demir amonyum sülfat sarfiyatı, mL

B: Numunenin demir amonyum sülfat sarfiyatı, mL

N:Demir amonyum sülfat çözeltisinin normalitesi

V:Numune hacmi, mL

3.2.5. AKM Analizleri

Analizler için alınan 10 mL numune vakumlu filtre düzeneğine yerleştirilen ve daha önceden 105 °C'de etüvde 1 saat kurutulduktan sonra desikatörde sabit tartıma getirilen GF/C filtrelerden geçirilmiştir. Numune süzöldükten sonra filtre kağıdı tekrar etüve konularak 105 °C'de 1 saat kurutulup, desikatörde sabit tartıma getirilerek analitik terazide tartılmıştır. AKM konsantrasyonu Eşitlik 3.1 ile hesaplanmıştır:

$$AKM \text{ (mg/L)} = (A-B).1000/V \quad (3.2)$$

A= Filtre kâğıdı + kuru kalıntının tartımı (mg)

B= Filtre kâğıdının tartımı (mg),

V= Numune hacmi (mL).

Hazırlanan sentetik tekstil atık suyunun başlangıç AKM'si yukarıdaki yöntem kullanılarak yapılan analizi sonucunda AKM bulunmadığı tespit edilmiştir. Dolayısı ile yapılan deneysel işlemler sonucunda bir daha AKM değerine bakılmamıştır.

3.3.FENTON OKSİDASYON PROSESİNİN OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARI

Renkli tekstil atık sularından fenton oksidasyon metodu ile renk ve KOİ giderimi için yapılan optimizasyon çalışmasında en iyi giderim verimini elde etmek amacıyla pH, demir konsantrasyonu, H₂O₂ konsantrasyonu ve temas süresi için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu amaçla atık su numunelerinin pH'ları asidik hale getirilerek, FeSO₄.7H₂O ve H₂O₂ eklenmiştir. Sonra numuneler jar test düzeneğinde 2 dk hızlı (90 rpm), 75 dk yavaş (20 rpm) karıştırılır. Reaksiyon süresi sonunda pH'ları 8,0-10,0 aralığına getirilen numuneler 1 saat çökmeye bırakılır. Çökeltme süresi sonunda oluşan duru fazdan 20 mL numune alınarak renk ve KOİ analizleri yapılır.



Şekil 3. 3. Fenton oksidasyon metodu deney düzeneği

3.3.1. Optimum pH'nın Belirlenmesi

Literatürde bulunan çalışmalar incelendiğinde fenton oksidasyon prosesi ile en iyi arıtım veriminin pH 2,5-4,0 aralığında elde edildiği anlaşılmıştır. Buradan yola çıkarak yapılan pH optimizasyon çalışmaları pH 2,0-4,5 aralığında gerçekleştirilmiştir. Farklı pH'lara ayarlanan 100 mL tekstil atık suyu numuneleri

beherlere alınarak, her bir numuneye 100 mg/L demir iyonu ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) ilave edilir. Demir iyonu ilavesinin hemen ardından her bir numuneye 100 mg/L H_2O_2 eklenir. Karışım 2 dakika hızlı karıştırıldıktan sonra 75 dakika yavaş karıştırılarak reaksiyonun gerçekleşmesi beklenmiştir. 75 dakika reaksiyon süresi sonunda her bir numunenin pH'sı 8,0-10,0 aralığına ayarlanarak çökelme işleminin gerçekleşmesi için 1 saat beklenir. Çökelme gerçekleştikten sonra her bir numunenin duru fazından 20 mL numune alınarak renk ve KOİ analizleri gerçekleştirilmiştir. En yüksek giderim verimine ulaşılan pH, optimum pH olarak belirlenmiş olup diğer çalışmalarda bu değer kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Deneysel çalışmaların ön hazırlığı pH ölçümü

3.3.2. Optimum Demir İyonu Konsantrasyonunun Belirlenmesi

pH optimizasyonu yapıldıktan sonraki aşamada ise demir iyonu optimizasyon çalışması Optimum pH'ya ayarlanan numunelere, farklı derişimlerde (80,0-550,0 mg/L) Fe^{2+} (demir) iyonu ve her numuneye aynı miktarda H_2O_2 eklenir. Hızlı ve yavaş karıştırılarak, reaksiyon süresi sonunda numunelerin pH'ları 8,0-10,0'e ayarlanır. Çökelme süresinin ardından beherlerin üstteki durgun sıvı fazından

alınan numunelerin analizleri gerçekleştirilmiştir. Renk ve KOİ için en yüksek giderim verimine ulaşılan demir iyonu konsantrasyonu optimum miktar olarak belirlenmiş olup, izleyen çalışmalarda bu değer kullanılmıştır.

3.3.3. Optimum H₂O₂ Konsantrasyonunun Belirlenmesi

Gerçekleştirilen pH ve demir iyonu konsantrasyonu optimizasyonunun deneysel çalışmalarından elde edilen veriler doğrultusunda H₂O₂ konsantrasyonu için optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Daha önceki deney basamaklarında elde edilen optimum pH ve demir iyonu konsantrasyonu sabit tutularak, numunelere farklı derişimler de (50- 300 mg/L) H₂O₂ eklenir. Fenton oksidasyon işlemlerinden sonra çökmeye bırakılan numunelerin analizleri yapılmıştır. Elde edilen en iyi giderim veriminin sağlandığı H₂O₂ konsantrasyonu optimum konsantrasyon olarak kaydedilmiştir.



Şekil 3.5. H₂O₂ optimizasyon çalışmaları

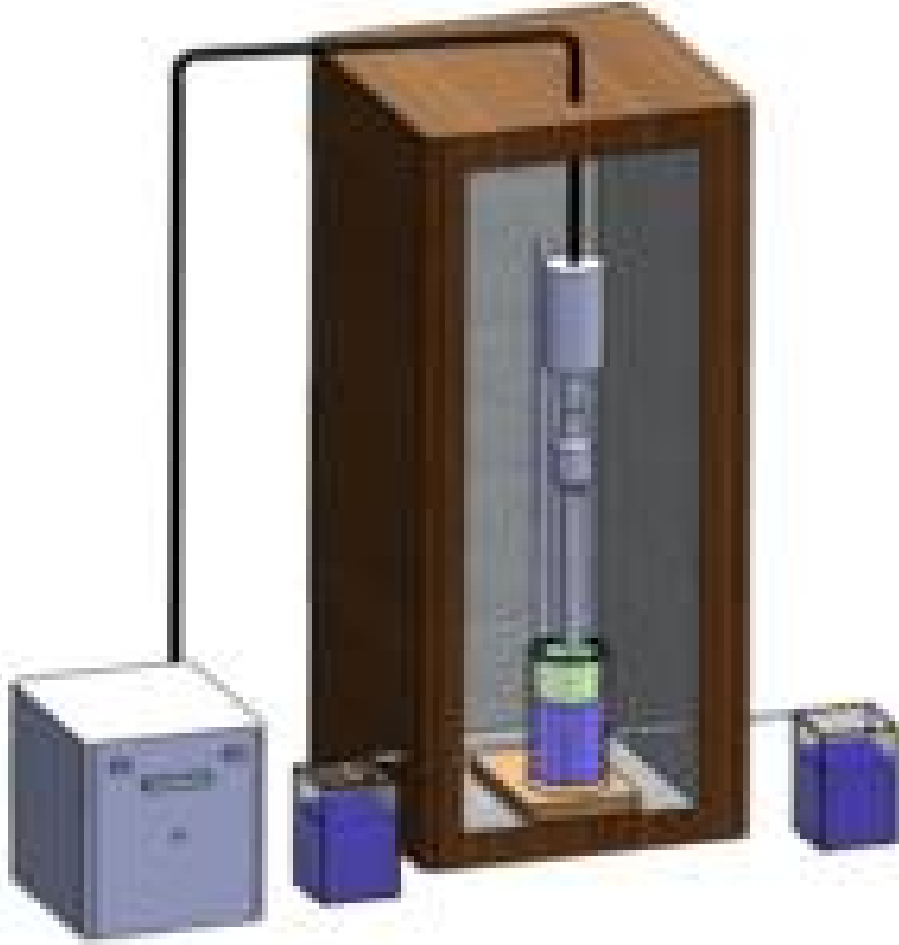
3.3.4 Reaksiyon Süresi Optimizasyonu

Fenton oksidasyon metodu kullanılarak yapılan sentetik tekstil atık sularının arıtım optimizasyon çalışmalarının son basamağı olarak reaksiyon süresi

optimizasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Daha önce yapılan çalışmalar sonucunda en ideal arıtımın gerçekleştiği pH değerine ayarlanan numunelere, belirlenen optimum demir iyonu ve H₂O₂ miktarları eklenir. Jar testi düzeneğinde hızlı karıştırma ve farklı sürelerde yavaş karıştırılarak reaksiyona bırakılan numunelerin pH'ları belirlenen her bir temas süresi sonunda çökelme aralığı olan 8,0-10,0 değerlerine getirilir. Farklı temas sürelerinde (15-180 dakika) alınan numunelere çökelme süresi sonunda renk ve KOİ analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda kaydedilen en iyi giderim veriminin sağlandığı reaksiyon süresi optimum reaksiyon süresi olarak belirlenmiştir.

3.4. ULTRASES FENTON OKSİDASYON PROSESİNİN OPTİMİZASYON ÇALIŞMALARI

Bu deneysel çalışmalarda renkli tekstil atık sularından ultrases fenton oksidasyon yöntemi kullanılarak renk ve KOİ giderimi için en ideal arıtım verimini elde etmek amacıyla pH, demir iyonu konsantrasyonu, H₂O₂ konsantrasyonu ve reaksiyon süresi için optimizasyon deneyleri yapılmıştır. Optimizasyon çalışmalarında 20 kHz frekansla çalışan ultrasonik işletim cihazı kullanılmıştır. Bu cihazda bulunan prob direk olarak su cebli cam reaktörün içerisindeki numuneye daldırılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. FeSO₄.7H₂O ve H₂O₂ eklenen kimyasallar ile ultrasonik işletim cihazında su cebli cam reaktörde 60 dakikalık reaksiyon süresiyle gerçekleştirilmiştir. Ardından çökelmenin sağlanabilmesi için pH değerleri 8,0-10,0 aralığına çekilir. Çökelmenin gerçekleşmesi için 1 saat beklemenin sonunda oluşan duru fazdan 20 mL numune alınarak, renk ve KOİ analizleri yapılmıştır.



Şekil 3.6.Ultrases fenton oksidasyon metodu düzeneği

3.4.1. Optimum pH'nın Belirlenmesi

Ultrases fenton oksidasyon metodu ile tekstil atık sularından renk ve KOİ giderimi için en ideal arıtımın sağlanacağı pH'yı belirlemek için pH 2,0-4,5 arasında ayarlanır. Numunelere fenton reaktifleri olan $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ve H_2O_2 kimyasalları ilave edilerek ultrasonik işletim cihazında probun direkt numuneyle teması ile reaksiyon gerçekleştirilir. 60 dakikalık reaksiyon süresinin sonunda numunelerin pH değerleri 8,0-10,0 arasına getirilerek duru fazdan alınan numunelere renk ve KOİ analizleri yapılmıştır. En iyi renk ve KOİ gideriminin sağlandığı optimum pH olarak rapor edilip daha sonraları yapılacak olan deneysel çalışmalarda kullanılmıştır.

Optimum pH değerinin belirlenmesinden sonraki basamak da numunelere farklı konsantrasyonlarda (100-550 mg/L) demir iyonu ve her bir deneye aynı

miktarda H₂O₂ eklenerek ultrasonik işletim cihazı çalıştırılır. Reaksiyon süresi sonunda çökelmeyi sağlamak için numuneler gerekli pH değerine getirilir. 1 saatlik çökeltme süresinin beklenilmesiyle oluşan duru fazdan numuneler alınarak renk ve KOİ analizleri kaydedilmiştir. En iyi giderim veriminin sağlandığı optimum konsantrasyon belirlenerek bir sonraki basamaklarda yapılacak olan çalışmalarda kullanılmıştır.

3.4.3. Optimum H₂O₂ Konsantrasyonunun Belirlenmesi

Ultras fenton oksidasyon metoduyla sentetik tekstil atık sularından renk ve KOİ gideriminin de optimum H₂O₂ miktarını belirlemek amacıyla; belirlenen pH ve demir iyonu ilavesinden sonra farklı konsantrasyonlarda H₂O₂ (50-300 mg/L) eklenir. Ultras işlem uygulanan numunelerin reaksiyon süresi sonunda pH değerleri çökelmenin sağlanacağı aralığa getirilerek üst kısmından alınan numunelerin renk ve KOİ analizleri gerçekleştirilmiştir. Giderimin veriminin elde edildiği en iyi konsantrasyon optimum H₂O₂ konsantrasyonu olarak kaydedilmiştir.

3.4.4. Optimum Reaksiyon Süresinin Belirlenmesi

Daha önceki optimizasyon çalışmaları sırasında elde edilen optimum pH değerine ayarlanan numunelere, yine önceden belirlenmiş olan optimum miktarlardaki demir iyonu ve hidrojen peroksit eklenerek ultras işletim cihazında reaksiyon başlatılır. Belirlenen farklı temas süreleri (15-120 dk) sonunda alınan numunelerin pH değerleri çökeltme aralığına getirilir. Farklı temas sürelerinde alınan numunelere çökeltme süresi sonunda renk ve KOİ analizleri yapılmıştır. En iyi giderim verimi ultras fenton oksidasyon metodu ile tekstil atıksularının arıtımı için gerçekleştirilen giderim verimi olarak kaydedilmiştir.

4.BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. SENTETİK TEKSTİL ATIK SUYUN FENTON OKSİDASYON PROSESİ İLE RENK VE KOİ GİDERİMİ

Fenton oksidasyon yöntemiyle hazırlanan sentetik atık suyun renk ve KOİ giderimi üzerine yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen veriler aşağıdaki başlıklarda bahsedilmiştir.

4.1.1. Renk ve KOİ Giderim Verimi Üzerine pH'nın Etkisi

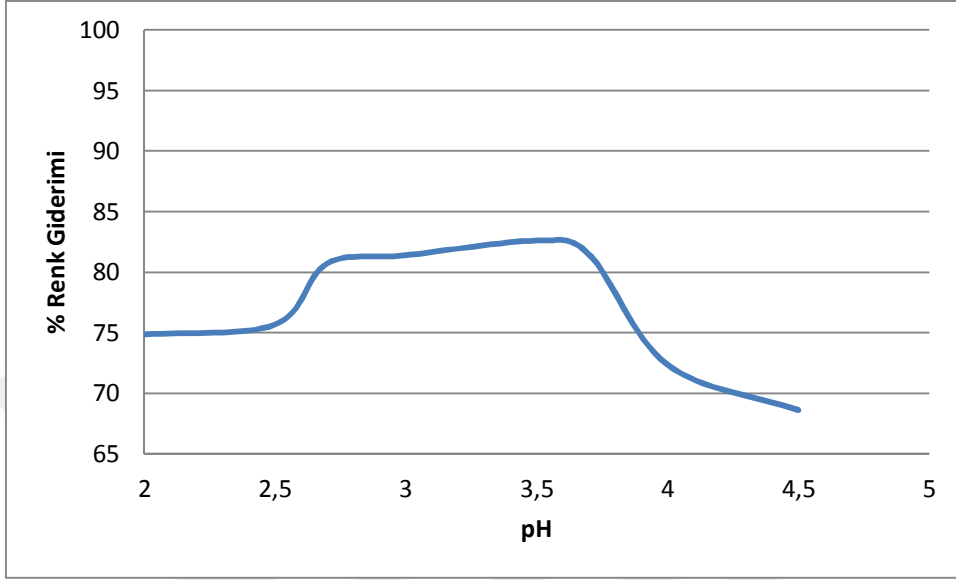
Fenton prosesi deneysel çalışmalarının sonuçlarına göre en iyi renk ve KOİ giderimi asidik pH değerlerinde elde edilmiştir. Çünkü redoks sistemi ve renk giderimi asidik şartlar altında daha iyidir. pH 3,5 olduğu durumlarda Fe^{2+} ve H_2O_2 daha karardır. Buna karşılık demir iyonları pH 4,0'ten daha yüksek olduğunda kararlı olmamaktadır. Yani demir hidrokso kompleksleri oluşturma eğilimine sahip olan Fe^{3+} iyonlarına dönüşecektir. pH 9,0'ın üzerinde değerlerde ise kompleksler $[Fe(OH)_4]^-$ formuna dönüşmektedir.

Fenton oksidasyon yöntemiyle sentetik tekstil atık suyundan renk ve KOİ giderimi üzerine pH'nın etkisini inceleyen deneysel çalışmaların sonuçları Çizelge 4.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Fenton prosesi ile sentetik tekstil atık suyunun arıtımı üzerine pH'nın etkisi

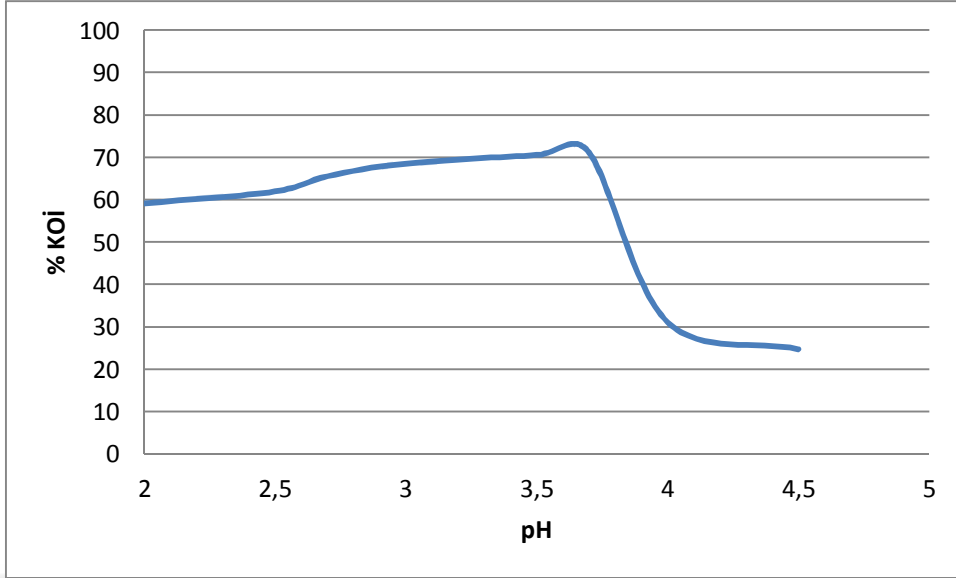
pH	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (mg/L)	H_2O_2 (mg/L)	Reaksiyon Süresi (dk)	Renk Giderim (%)	KOİ Giderim (%)
2	100	100	75	74,875	59,2
2,5	100	100	75	75,6875	62
2,7	100	100	75	80,75	65,6
3	100	100	75	81,415	68,6
3,5	100	100	75	82,625	70,6
3,7	100	100	75	81,5	71,2
4	100	100	75	72,375	31,2
4,5	100	100	75	68,625	24,8

Sentetik tekstil atık suyundan Fenton oksidasyon yöntemiyle Renk ve KOİ giderimi üzerine pH'nın etkisi aşağıdaki grafiklerle açıklanmıştır.



Şekil 4.1. Fenton prosesi ile sentetik tekstil atık suyundan renk giderimi üzerine pH'nın etkisi

Şekil 4.1'deki grafiğe göre renk giderim verimi pH=2,0 ile 2,5 arasında pek değişme göstermeyerek, pH=3'te artmaya başlamıştır. pH 3,5'te ise en yüksek renk giderim verimi % 82,625 olarak kaydedilmiştir. pH 3,5'dan 4,5'e yükseldiğinde giderim veriminde düşüş gözlenilmiş ve renk giderim verimi % 68,625 olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.2. Fenton prosesiyle sentetik tekstil atık suyundan KOİ giderimi üzerine pH'nın etkisi

Fenton oksidasyon prosesi ile sentetik tekstil atık suyundan KOİ giderimi üzerine pH'nın etkisinin araştırıldığı deneysel çalışmaların sonuçları Şekil 4.2'de verilmiştir. KOİ giderim verimi pH 3'e kadar ciddi bir artış göstermemiştir. pH 3,5'da ise KOİ giderim verimi artarak % 70,60'a yükselmiştir. pH 4,5'de ise giderim verimi % 24,80 olarak hesaplanmıştır.

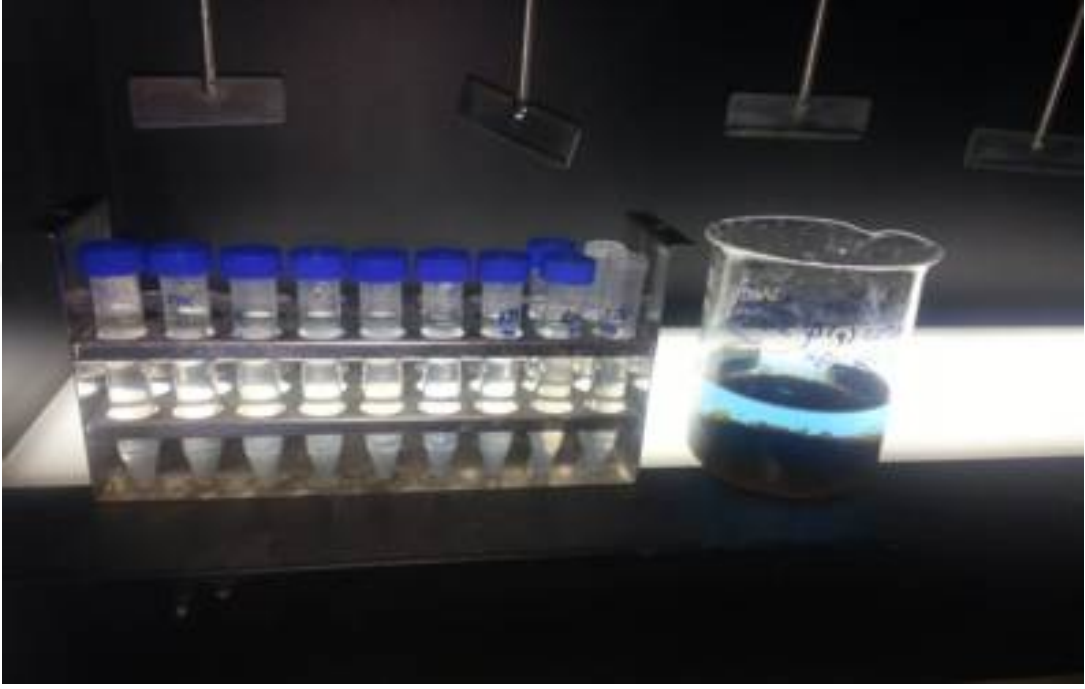
pH<3,0 olduğu durumlarda hidrojen peroksit bir protonu (H^+) tutarak oksonyum iyonuna ($H_3O_2^+$) dönüştürüyor ve bu olay reaksiyon hızını düşürmektedir. Ayrıca ortamdaki H^+ iyonları, $\bullet OH$ radikallerini tutarak H_2O de meydana getirir. pH'nın 3,5'ten yüksek olduğu durumlarda renk ve KOİ giderim veriminin düşük olması bu sebeplerden kaynaklanmaktadır. Hidrojen peroksitin yüksek pH'lar da bozunduğunda $\bullet OH$ radikalleri demir iyonlarıyla $Fe(OH)_3$ oluşturarak azalmaktadır. Boyarmaddelerin parçalanmasını sağlayan radikallerin azalmasıyla bozunması azalıyor, dolayısıyla KOİ giderim verimi de azalmaktadır.

4.1.2. Renk ve KOİ Giderim Verimi Üzerine Demir İyonu Konsantrasyonunun Etkisi

Fenton prosesinin gerçekleşmesi için gerekli olan kimyasallardan biri demir iyonu konsantrasyonudur. Demir iyonu hidrojen peroksit ile tepkimeye girerek $\bullet OH$

radikalleri üretmektedir. Dolayısıyla kullanılan demir miktarının optimizasyonu hem arıtım verimi için hem de maliyet açısından önem arz etmektedir.

Fenton oksidasyon yöntemiyle sentetik tekstil atık suyundan renk ve KOİ giderimi üzerine demir iyonu konsantrasyonunun etkisini inceleyen deneysel çalışmaların sonuçları Çizelge 4.2’de gösterilmektedir.

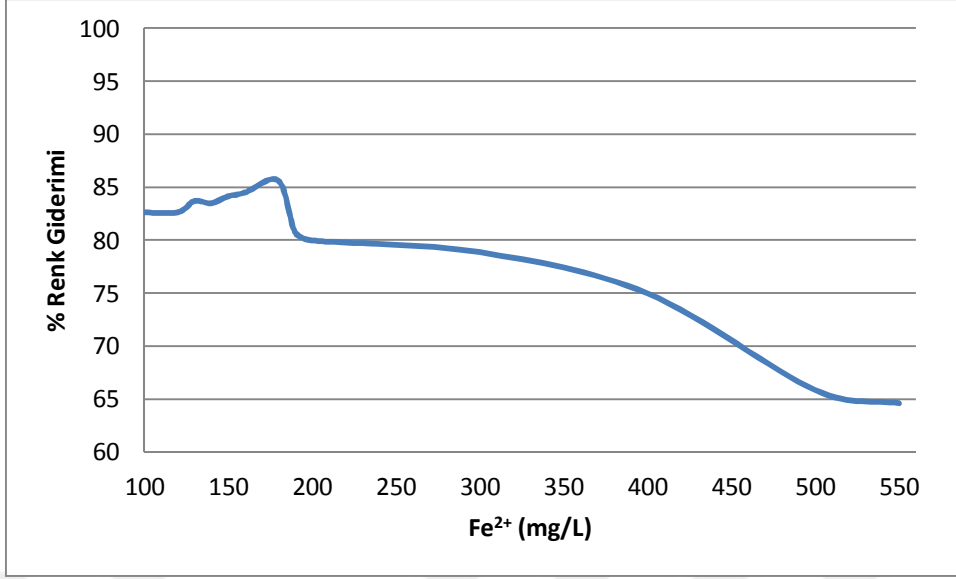


Şekil 4.3. Arıtma verimi üzerine demir iyonu konsantrasyonunun etkisi

Çizelge 4.2. Fenton prosesi ile sentetik tekstil atık suyunun arıtımı üzerine demir iyonu konsantrasyonunun etkisi

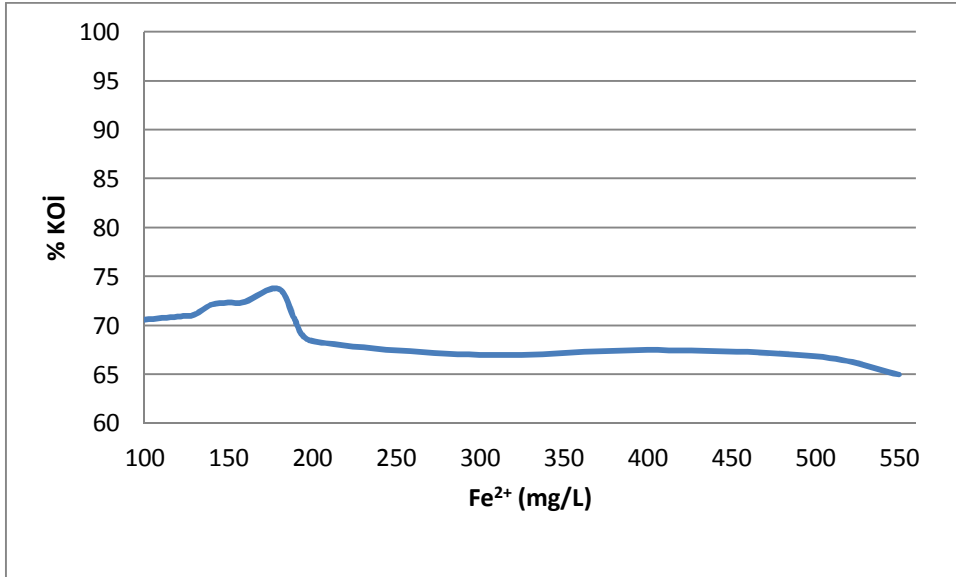
FeSO₄.7H₂O (mg/L)	H₂O₂ (mg/L)	pH	Reaksiyon Süresi (dk)	Renk Giderim (%)	KOİ Giderim (%)
100	100	3,5	75	82,625	70,6
120	100	3,5	75	82,643	70,92
130	100	3,5	75	83,715	71,125
140	100	3,5	75	83,5	72,135
150	100	3,5	75	84,15	72,335
160	100	3,5	75	84,5	72,425
180	100	3,5	75	85,625	73,775
190	100	3,5	75	80,75	70,565
200	100	3,5	75	80	68,435
300	100	3,5	75	78,875	67
400	100	3,5	75	75	67,5
500	100	3,5	75	65,875	66,875
550	100	3,5	75	64,625	65

Sentetik tekstil atık suyundan Fenton oksidasyon yöntemiyle renk ve KOİ giderimi üzerine demir iyonu konsantrasyonunun etkisi Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.4. Fenton prosesiyle sentetik tekstil atık suyundan renk giderimi üzerine demir iyonu konsantrasyonunun etkisi

Fenton prosesi ile sentetik tekstil atık suyundan renk giderimi üzerine demir iyonu konsantrasyonunun etkisi Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Demir iyonu konsantrasyonu 100mg/L-180mg/L aralığında yükselerek renk giderim verimi 180 mg/L de maksimum değere ulaşmıştır. Demir iyonu konsantrasyonu 200 mg/L-550 mg/L aralığında da deneysel çalışmalar yapılmış ve renk giderim veriminin giderek azaldığı gözlenmiştir.



Şekil 4.5. Fenton prosesiyle sentetik tekstil atık suyundan KOİ giderimi üzerine demir iyonu konsantrasyonunun etkisi

Sentetik tekstil atık suyundan fenton oksidasyon metodu ile KOİ giderimi üzerine demir iyonu konsantrasyonunun etkisinin incelendiği deneylerin sonuçları Şekil 4.5'te verilmiştir. KOİ giderim veriminin renk giderim verimiyle paralel olarak demir iyonu konsantrasyonu 100mg/L-180mg/L aralığında arttıkça % 70,60'dan % 73,775'e ulaştığı tespit edilmiştir. Demir iyonu konsantrasyonunun 180 mg/L'den fazla ilave edildiği durumlarda ise KOİ giderim verimi giderek düşmüştür. Dolayısıyla optimum demir iyonu konsantrasyonu 180 mg/L olarak belirlenmiştir. Demir iyonu konsantrasyonu 550 mg/L ile verim % 65,0'e kadar düşmüştür. Bu sebeple daha yüksek konsantrasyonlar da çalışmalar denenmemiştir.

Demir konsantrasyonu renk giderim veriminde önemli bir parametredir. Aynı zamanda demir iyonu ilavesinden sonra, daha fazla demir iyonu süpürücü olarak hidroksil radikalleri ile tepkimeye girer, hidroksil radikalleri ve Fe^{+2} 'nin tekrar birleşmesine neden olur ve bu da kahverengi bir bulanıklığa sebebiyet verir. Bu nedenle KOİ giderim verimi azalabilir. Fe^{+2} konsantrasyonu 0,20 g/L'den 0,22 g/L'ye artış gösterdiğinde demir iyonunun aşırı dozu hidroksil radikallerine süpürme etkisi (scavenging effect) yaparak kahverengi bir bulanıklık oluşturmaktadır. Bu da hem KOİ giderim veriminde bir düşüşe, hem de spektrofotometrik okumalarda girişim yaparak renk gideriminin azalmasına neden olmuştur. Ayrıca fazla demir iyonunun kullanılmasından dolayı arıtma çıkışında askıdaki demir iyonu miktarı artmaktadır (Gürtekin ve Şekerdağ, 2008).

4.1.3. Renk ve KOİ Giderim Verimi Üzerine Hidrojen Peroksit Konsantrasyonunun Etkisi

Demir iyonundan sonra fenton prosesinde önemli olan H_2O_2 'in konsantrasyonudur. Fenton oksidasyon prosesinde hidroksilin oluşturulması için kullanılır. Fakat kullanılacak olan H_2O_2 miktarının optimizasyonu hem arıtım verimi için hem de işletme maliyeti açısından gerekmektedir.

Fenton oksidasyonu ile sentetik tekstil atık suyunun arıtımı üzerine farklı hidrojen peroksit konsantrasyonlarının etkisinin çalışıldığı laboratuvar sonuçları Şekil 4.6'de gösterilmektedir.



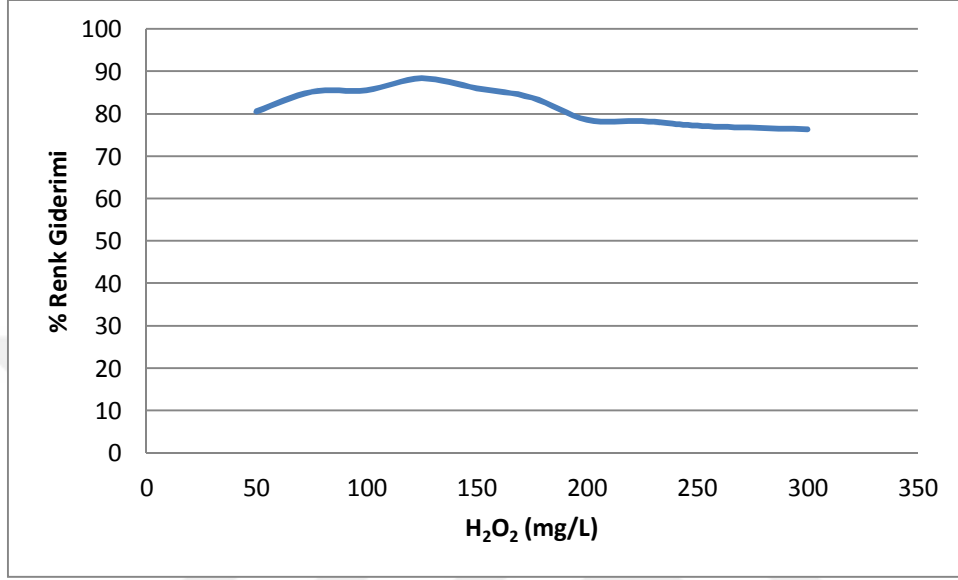
Şekil 4. 6. Arıtma verimi üzerine H_2O_2 konsantrasyonunun etkisi

Aşağıdaki çizelgede görüldüğü gibi deneysel çalışmalar H_2O_2 konsantrasyonunun 0 mg/L-300 mg/L olduğu aralıklarda gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 4.3. Fenton prosesi ile tekstil atıksularının arıtımı üzerine H_2O_2 konsantrasyonunun etkisi

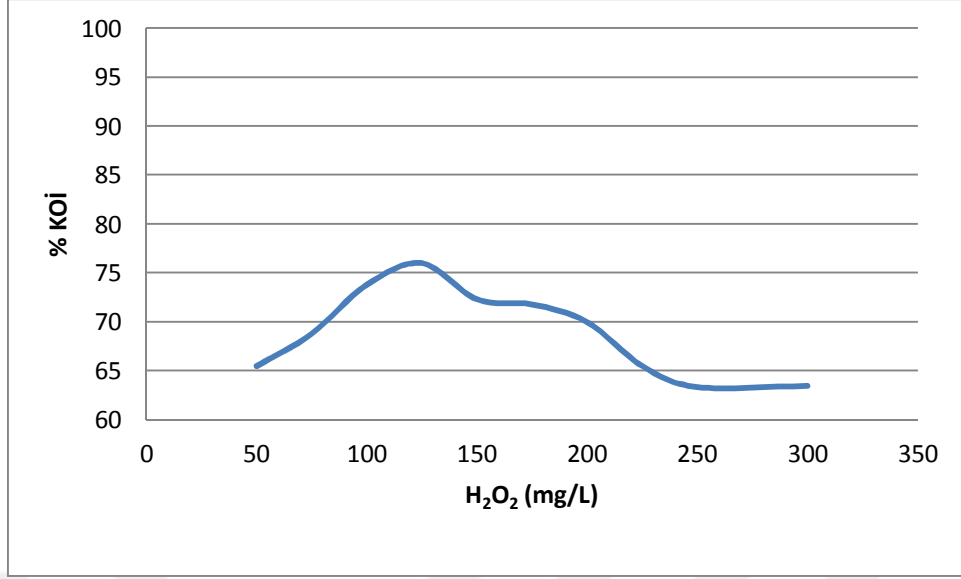
H_2O_2 (mg/L)	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (mg/L)	pH	Reaksiyon Süresi (dk)	Renk Giderim (%)	KOİ Giderim (%)
50	180	3,5	75	80,625	65,455
75	180	3,5	75	85,25	68,77
100	180	3,5	75	85,625	73,775
125	180	3,5	75	88,425	76
150	180	3,5	75	86,125	72,31
175	180	3,5	75	83,875	71,79
200	180	3,5	75	78,625	70
225	180	3,5	75	78,375	65,5
250	180	3,5	75	77,25	63,343
300	180	3,5	75	76,375	63,455

Sentetik tekstil atık suyundan Fenton oksidasyon yöntemiyle renk ve KOİ giderimi üzerine H_2O_2 konsantrasyonunun etkisi aşağıdaki Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.7. Fenton prosesiyle sentetik tekstil atık suyundan renk giderimi üzerine H_2O_2 konsantrasyonunun etkisi

Fenton oksidasyon yöntemi kullanılarak sentetik tekstil atık suyundan renk giderimi üzerine H_2O_2 konsantrasyonunun etkisi Şekil 4.7’de verilmiştir. Renk giderim verimi 125 mg/L H_2O_2 konsantrasyonuna kadar artmıştır. H_2O_2 ’nin 125 mg/L konsantrasyonun da maksimum verim elde edilerek %88,425 değeri hesaplanmıştır. Giderek düşüş gösteren bir eğilim gösterdiğinden 300 mg/L’den sonraki değerlerde çalışma yapılmamıştır.



Şekil 4.8. Fenton prosesiyle sentetik tekstil atık suyundan KOİ giderimi üzerine H₂O₂ konsantrasyonunun etkisi

Sentetik tekstil atık suyundan KOİ giderimi üzerine H₂O₂'nin etkisini gösteren Şekil 4.8 incelendiğinde; 50 mg/L-300 mg/L aralığında çalışmaların yapıldığı görülmüştür. 125 mg/L başlangıç H₂O₂ konsantrasyonuna kadar KOİ giderim veriminde sürekli bir artış gözlenirken, bu değer üzerinde ise giderim veriminde bir azalma meydana geldiği görülmektedir. Maksimum KOİ giderim verimi 125 mg/L H₂O₂ konsantrasyonunda % 76 olarak hesaplanmıştır. H₂O₂ konsantrasyonu 250 mg/L'ye yükseldiğinde giderim %63,343'e düşmüştür.

H₂O₂ ilavesi ile ortamdaki hidroksil radikallerinin miktarı artmakta ve sonuç olarak renk giderimi de artmaktadır. Hidrojen peroksit hidroksil radikalleriyle tepkimeye girerek, hidroperoksil radikali (\bullet HO₂) dediğimiz, hidroksile göre daha az reaktif radikalleri oluşturmaktadır. Dolayısıyla boyarmaddenin bozunmasındaki verimi de negatif olarak etkilemektedir.

Bu çalışma kapsamında fenton oksidasyon metodu ile sentetik tekstil atık suyundan renk giderimi için en uygun H₂O₂ konsantrasyonu olarak 125 mg/L seçilmiştir. Bu konsantrasyonun üzerine çıktığında giderim verimlerinde düşüş meydana gelmiştir. Bu değerden daha yüksek konsantrasyonlarda etkileşecek Fe⁺²

iyonu bulamaması nedeniyle kalıntı H_2O_2 bırakmamaktadır. Ortamdaki kalıntı H_2O_2 ise KOİ'de girişime neden olarak daha fazla göstermektedir.

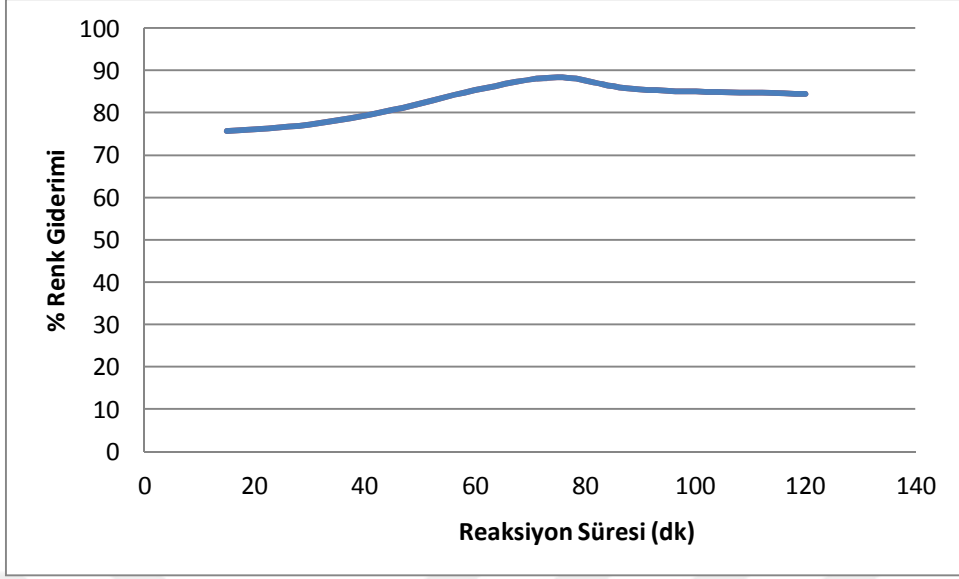
4.1.4. Renk ve KOİ Giderim Verimi Üzerine Reaksiyon Süresinin Etkisi

Fenton prosesin de demir sülfat ve H_2O_2 arasında hidroksil radikallerinin oluşum reaksiyonları gerçekleşmektedir. Bu reaksiyonların kararlılığı ortamın pH'ına ve reaksiyonun tamamlanması için geçen reaksiyon süresine bağlıdır.

Çizelge 4.4. Fenton prosesi ile sentetik tekstil atık suyunun arıtımı üzerine reaksiyon süresinin etkisi

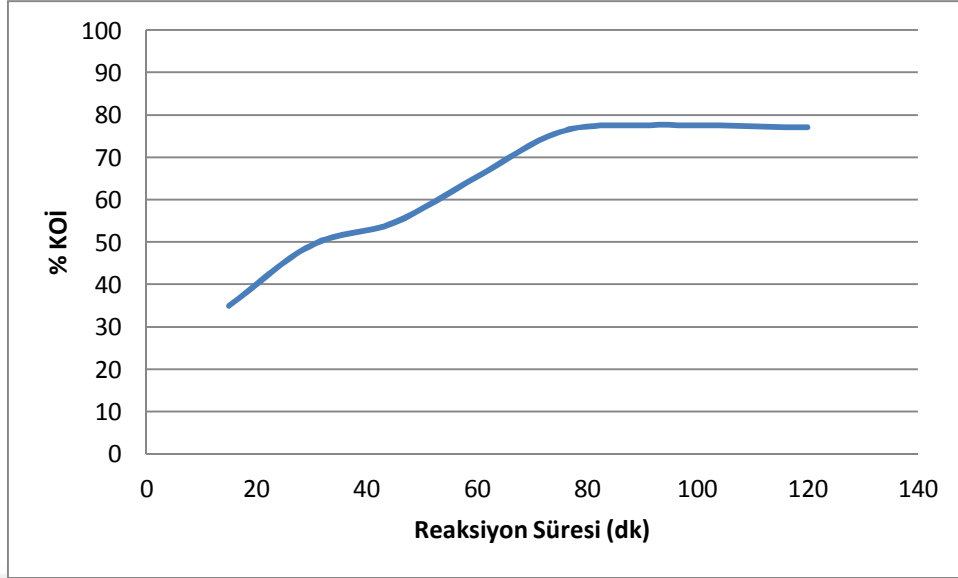
Reaksiyon Süresi (dk)	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (mg/L)	H_2O_2 (mg/L)	pH	Renk Giderim (%)	KOİ Giderim (%)
15	180	125	3,5	75,78	35
30	180	125	3,5	77,31	49,35
45	180	125	3,5	80,7	54,635
60	180	125	3,5	85,4	65,415
75	180	125	3,5	88,425	76
90	180	125	3,5	85,6	77,65
120	180	125	3,5	84,54	77,15

Sentetik tekstil atık suyundan Fenton oksidasyon yöntemiyle renk ve KOİ giderimi üzerine temas süresinin etkisinin çalışıldığı laboratuvar sonuçları Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da gösterilmektedir.



Şekil 4.9. Fenton prosesiyle tekstil atıksularından renk giderimi üzerine reaksiyon süresinin etkisi

Fenton oksidasyon yöntemi ile sentetik tekstil atık suyundan renk giderimi üzerine temas süresinin etkilerinin belirlendiği Şekil 4.9 incelendiğinde; en iyi renk giderim verimine 75. Dakikada %88,425'e ulaşıldığı görülmektedir. Daha uzun sürelerin denendiği reaksiyon süreleri deneylerinde elde edilen verimler bu değerden anlamlı bir değişim göstermediğinden 75 dk optimum reaksiyon süresi olarak seçilmiştir.



Şekil 4.10. Fenton prosesiyle sentetik tekstil atık suyundan KOİ giderimi üzerine reaksiyon süresinin etkisi

Fenton oksidasyon metodu ile sentetik tekstil atık suyundan KOİ giderimi üzerine temas süresinin etkisinin araştırıldığı veriler Şekil 4.10'da gösterilmektedir. Buna göre en iyi giderim verimi 90. dakikada % 77,65 olarak bulunmuştur. Fakat 75. Dakikada ise bu verim % 76 olarak hesaplanmıştır. Renk giderim verimlerine baktığımızda 90.dakikada % 85,6 ve 75. Dakikada ise %88,425 olduğundan fenton oksidasyon için optimumreaksiyon süresi 75 dk seçilmiştir.

4.2. SENTETİK TEKSTİL ATIK SUYUN ULTRASES FENTON OKSİDASYON PROSESİ İLE RENK VE KOİ GİDERİMİ

Ultrases Fenton oksidasyon yöntemiyle hazırlanan sentetik atık suyun renk ve KOİ giderimi üzerine yapılan deneysel çalışmaları sonucunda elde edilen veriler aşağıdaki başlıklarda bahsedilmiştir.

4.2.1. Renk ve KOİ Giderim Verimi Üzerine pH'nın Etkisi

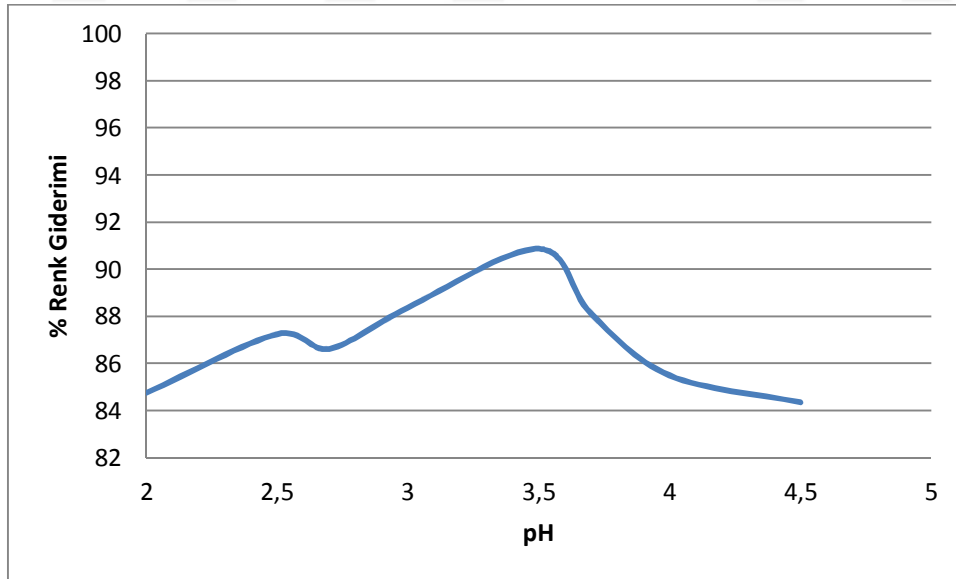
Demir sülfat ve H_2O_2 tarafından üretilen $\bullet OH$ radikallerinin miktarını ve Fe^{2+} konsantrasyonunu doğrudan etkilediğinden fenton ve fenton modifikasyonu prosesler için pH, oksidasyon potansiyeli üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Özdemir vd. 2011).

Çizelge 4.5. Ultrases fenton prosesi ile sentetik tekstil atık suyunun

arıtımı üzerine başlangıç pH'sının etkisi

pH	FeSO ₄ .7H ₂ O (mg/L)	H ₂ O ₂ (mg/L)	Reaksiyon Süresi (dk)	Renk Giderim (%)	KOİ Giderim (%)
2	100	100	60	84,75	52,2
2,5	100	100	60	87,25	60,125
2,7	100	100	60	86,625	70
3	100	100	60	88,375	73,1
3,5	100	100	60	90,875	82,8
3,7	100	100	60	88,125	64,8
4	100	100	60	85,5	56,8
4,5	100	100	60	84,35	58

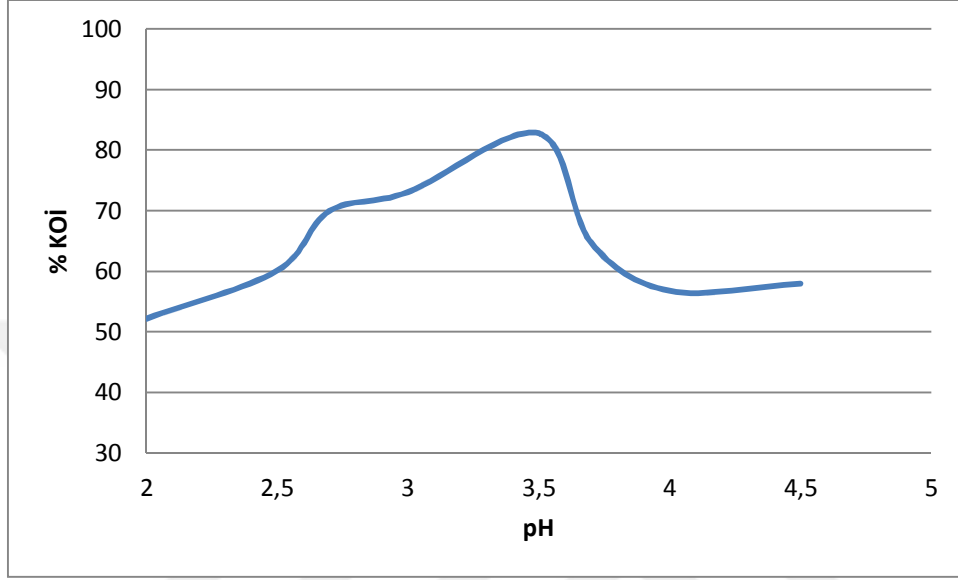
Şekil 4.11'de, tekstil atıksularının ultrases fenton oksidasyon metodu ile arıtımını üzerine farklı pH değerlerinin etkisini incelemek amacıyla yapılan laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen sonuçlar gösterilmektedir.



Şekil 4.11. Ultrases fenton prosesiyle sentetik tekstil atık suyundan renk giderimi üzerine pH'nın etkisi

Ultrases fenton oksidasyon yönteminde •OH radikallerinin üretiminde başlangıç pH metresi önemli parametrelerdendir. Renk giderim veriminin gösterildiği

Şekil 4.11 grafiği incelendiğinde pH 2,0'den pH 2,5'a kadar verimin arttığı gözlemlenmiştir. Fakat en yüksek giderim verimi pH 3,5'da %90,875 olarak hesaplanmıştır. pH 4,5'da denenen çalışmalar sonucunda verimin hızlı düşüşü sebebiyle daha yüksek pH değerlerinde deneylere yapılmasına gerek duyulmamıştır.



Şekil 4.12. Ultrases fenton prosesiyle sentetik tekstil atık suyundan KOİ giderimi üzerine pH'nın etkisi

Ultrases fenton oksidasyon yöntemiyle sentetik tekstil atık suyundan KOİ giderimi üzerine pH'nın etkisi Şekil 4.12'de gösterilmektedir. KOİ giderim verimi pH 2,0'den pH 3,5'a kadar artış gösterdikten sonra pH'nın yükselmesiyle verimin düştüğü görülmüştür. pH 2,0 de KOİ giderim verimi % 52,2 iken bu değer pH 3,5'de % 82,8'e yükselmiş olup, pH 4,5'te % 58,00'e kadar düşmüştür.

4.2.2. Renk ve KOİ Giderim Verimi Üzerine Demir İyonu Konsantrasyonunun Etkisi

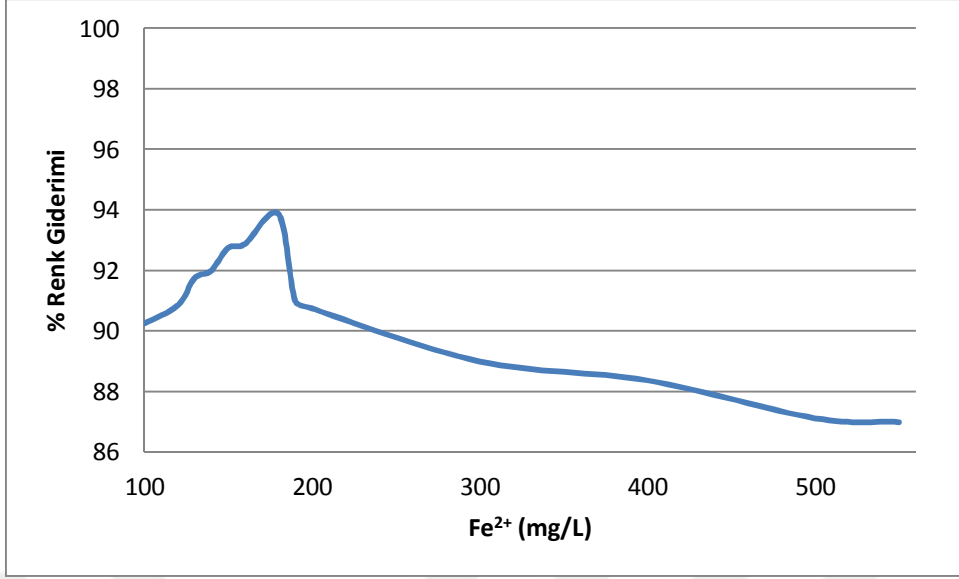
Demir iyonu konsantrasyonu Fenton prosesleri için anahtar parametrelerden biridir. Sulu çözelti içerisinde demir iyonlarının bulunmaması halinde hidroksil radikalini oluşturacak temel bir madde olmadığından Fenton reaksiyonuna dayalı etkin bir oksidasyon gerçekleşmemektedir.

Tekstil atıksularının ultrases fenton oksidasyon metodu ile arıtımını üzerine demir iyonu konsantrasyonunun etkisini incelemek amacıyla yapılan laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen sonuçlar Çizelge 4.6'da gösterilmektedir.

Çizelge 4.6. Ultrases fenton prosesi ile tekstil atık sularının arıtımı üzerine demir iyonu konsantrasyonunun etkisi

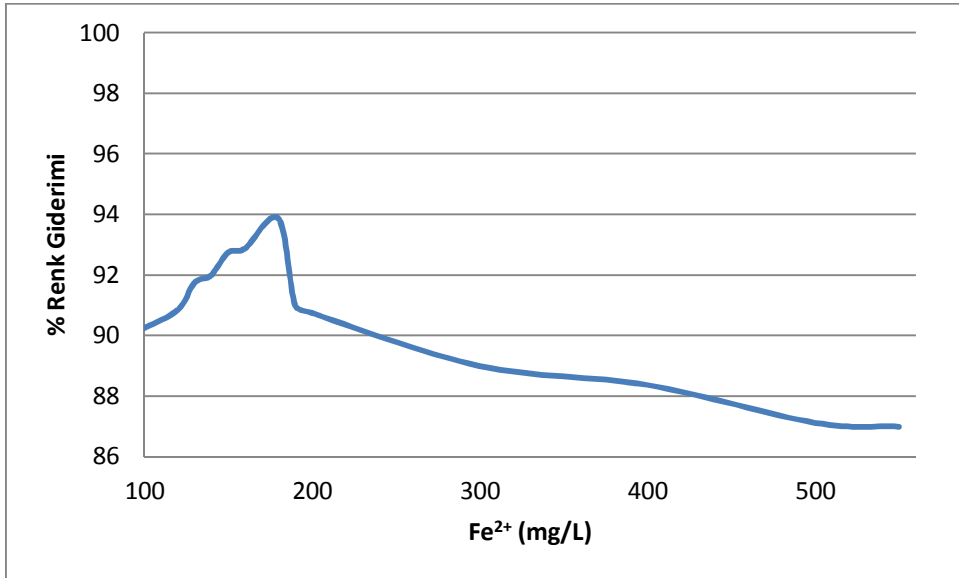
FeSO₄.7H₂O (mg/L)	H₂O₂ (mg/L)	pH	Reaksiyon Süresi (dk)	Renk Giderim (%)	KOİ Giderim (%)
100	100	3,5	60	90,25	82,8
120	100	3,5	60	90,85	83,5
130	100	3,5	60	91,75	83,225
140	100	3,5	60	92	83,712
150	100	3,5	60	92,75	84,275
160	100	3,5	60	92,875	84,6
180	100	3,5	60	93,875	85,125
190	100	3,5	60	91	86
200	100	3,5	60	90,75	84,8
300	100	3,5	60	89	76
400	100	3,5	60	88,375	69,6
500	100	3,5	60	87,125	67,6
550	100	3,5	60	87	63,2

Tekstil atıksularından Fenton oksidasyon metoduyla renk ve KOİ giderimi üzerine demir iyonu konsantrasyonunun etkisi aşağıdaki şekillerde (Şekil 4.21-4.23) verilmiştir.



Şekil 4.13. Ultrases fenton prosesiyle tekstil atıksularından renk giderimi üzerine demir iyonu konsantrasyonunun etkisi

Ultrases fenton oksidasyon prosesi ile renk giderimi üzerine demir iyonu konsantrasyonunun etkisi Şekil 4.13'te gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde demir iyonu konsantrasyonunun 100 ile 550 mg/L arasında değişiklik göstermesi ile renk giderim verimi 180 mg/L de en iyi verim olarak bulunmuştur.



Şekil 4.14. Ultrases fenton prosesiyle tekstil atıksularından KOİ giderimi üzerine demir iyonu konsantrasyonunun etkisi

Şekil 4.14 ise KOİ giderimi üzerine demir iyonu konsantrasyonunun etkisini göstermekte olup, 100'ten 550 mg/L'ye artan demir iyonu konsantrasyonunda en

yüksek KOİ giderimi 200 mg/L de %93,875 olduğu, 200 mg/L' den yükseğe çıktığında ise giderim veriminde düşüş olduğunu göstermektedir. Fazla demir iyonunun arıtım verimini düşürdüğü göz önüne alınarak 180 mg/L demir iyonu konsantrasyonu optimum olarak kabul edilmiştir.

Başlangıç H_2O_2 konsantrasyonuna ek olarak ultrases işlemi sırasında açığa çıkan $\bullet OH$ radikalleri aşırı dozdaki Fe^{2+} ile etkileşerek kahverengi bir bulanıklık oluşturmaktadır. Bu durum ise, renk ve KOİ miktarını arttırmaktadır.

4.2.3. Renk ve KOİ Giderim Verimi Üzerine H_2O_2 Konsantrasyonunun Etkisi

Sentetik tekstil atık suyundan ultrases fenton oksidasyon yöntemi ile arıtım verimi üzerine H_2O_2 konsantrasyon etkisinin incelendiği laboratuvar çalışmalarının sonuçları Şekil 4.15'da verilmiştir.

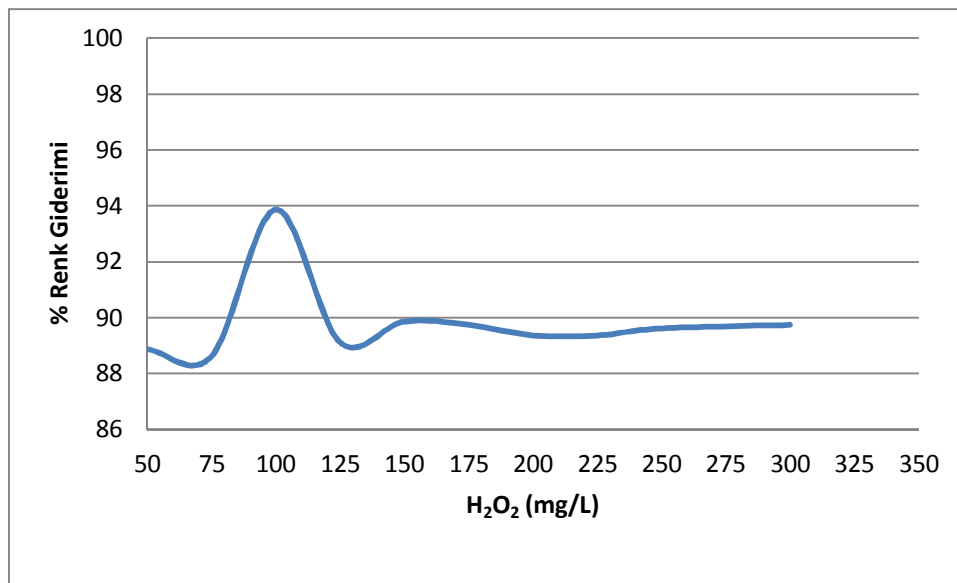


Şekil 4.15. Arıtma verimi üzerine H_2O_2 konsantrasyonunun etkisi

Çizelge 4.7. Ultrases fenton prosesi ile sentetik tekstil atıksuyunun arıtımı üzerine H₂O₂ konsantrasyonunun etkisi

H ₂ O ₂ (mg/L)	FeSO ₄ .7H ₂ O (mg/L)	pH	Reaksiyon Süresi (dk)	Renk Giderim (%)	KOİ Giderim (%)
50	180	3,5	60	88,875	52
75	180	3,5	60	88,625	63,5
100	180	3,5	60	93,875	85,125
125	180	3,5	60	89,125	76
150	180	3,5	60	89,875	72
175	180	3,5	60	89,75	68,8
200	180	3,5	60	89,375	63,2
225	180	3,5	60	89,375	63,6
250	180	3,5	60	89,625	63,2
300	180	3,5	60	89,75	66,4

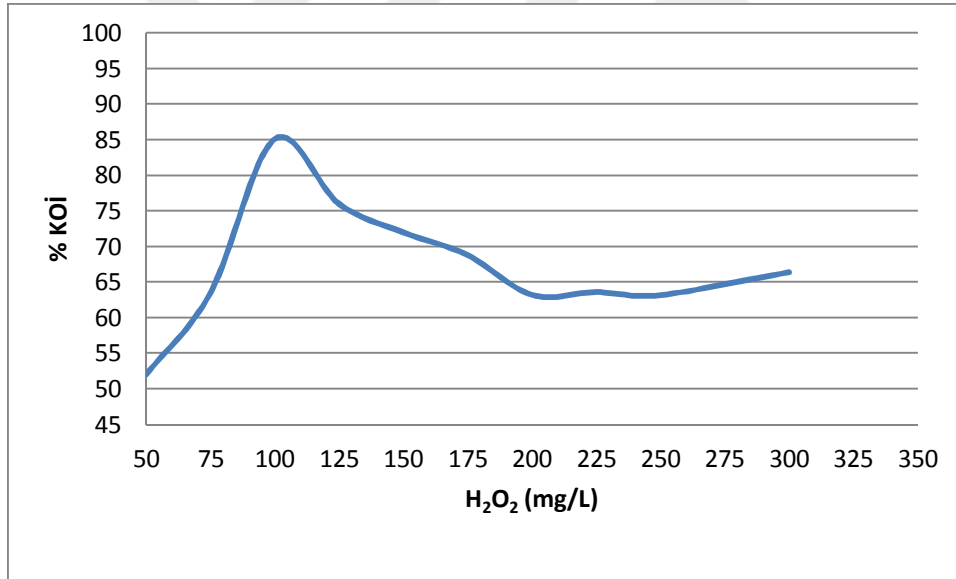
Sentetik tekstil atık suyundan ultrases fenton oksidasyon yöntemiyle renk ve KOİ giderimi üzerine H₂O₂ konsantrasyonunun etkisi aşağıdaki Şekil 4.16 ve Şekil 4.17 verilmiştir



Şekil 4.16. Ultrases fenton prosesiyle sentetik tekstil atık suyundan renk

giderimi üzerine H₂O₂ konsantrasyonunun etkisi

Sentetik tekstil atık suyundan ultrases fenton oksidasyon metodu ile renk giderim verimine H₂O₂ konsantrasyonunun etkisi Şekil 4.16'de gösterilmektedir. Başlangıç H₂O₂ konsantrasyonunun 50 mg/L olduğu çalışmada renk giderim verimi % 88,875 elde edilmiştir. 100 mg/L H₂O₂ konsantrasyonda yapılan çalışmada ise maksimum verim elde edilerek renk giderim verimi % 93,875 bulunmuştur. Bu değerden sonra eklenen H₂O₂ miktarı renk giderim veriminde düşüşe neden olmuştur. Şekil 4.17'de görüldüğü üzere 125 -300 mg/L aralığında yapılan deneysel çalışmalarda renk giderim veriminde ciddi bir salınım elde edilmemiştir. Sonuç olarak ultrases fenton oksidasyonda optimum H₂O₂ konsantrasyonu 100 mg/L olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.17. Ultrases fenton prosesiyle sentetik tekstil atıksuyundan KOİ giderimi üzerine H₂O₂ konsantrasyonunun etkisi

Ultrases fenton oksidasyon yöntemiyle tekstil atık suyundan KOİ giderim verimi üzerine H₂O₂ konsantrasyonunun etkisi Şekil 4.17'de gösterilmiştir. Grafiğe bakıldığında en yüksek KOİ giderim verimi %85,125 olarak 100 mg/L H₂O₂ konsantrasyonunda bulunmuştur.

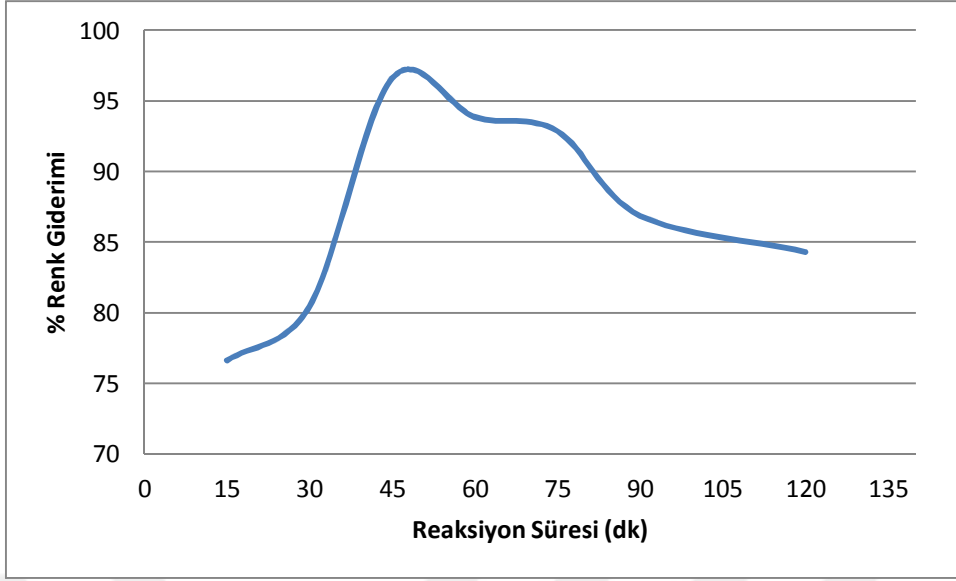
4.2.4. Renk ve KOİ Giderim Verimi Üzerine Reaksiyon Süresinin Etkisi

Sentetik tekstil atık suyundan ultrases fenton oksidasyon yöntemi ile arıtım verimi üzerine reaksiyon süresinin incelendiği deneysel çalışmaların sonuçları Şekil 18 ve Şekil 19’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.8. Ultrases fenton prosesi ile tekstil atıksularının arıtımı üzerine temas süresinin etkisi

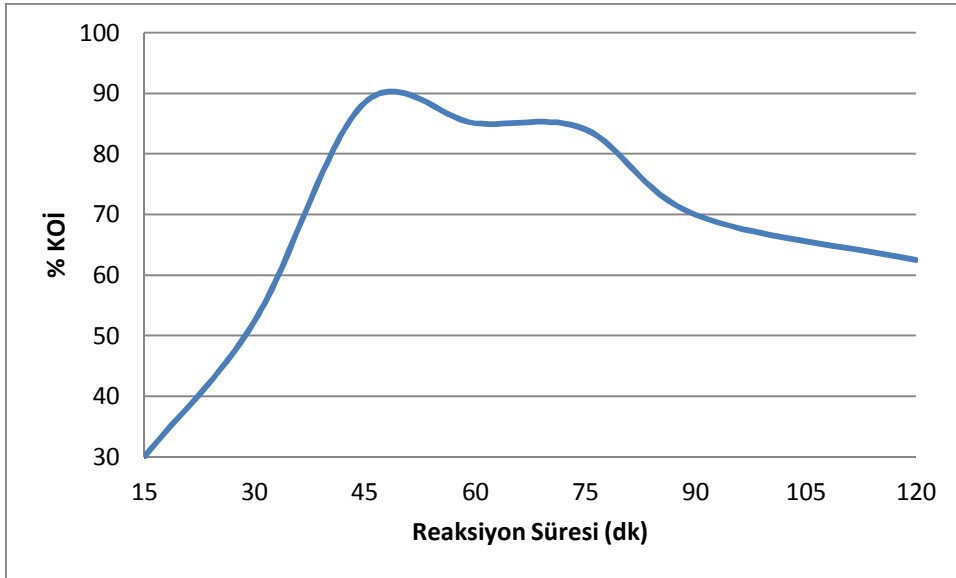
Reaksiyon Süresi (dk)	FeSO ₄ .7H ₂ O (mg/L)	H ₂ O ₂ (mg/L)	pH	Renk Giderim (%)	KOİ Giderim (%)
15	180	100	3,5	76,63	30
30	180	100	3,5	80,48	52,37
45	180	100	3,5	96,62	88,5
60	180	100	3,5	93,875	85,125
75	180	100	3,5	92,875	84,125
90	180	100	3,5	86,89	70
120	180	100	3,5	84,32	62,5

Ultrases fenton oksidasyon yöntemi ile sentetik tekstil atık suyundan renk ve KOİ giderim verimi üzerine reaksiyon süresinin etkisinin belirlendiği çalışmaların sonuçları Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Ultrases fenton prosesiyle sentetik tekstil atık suyundan renk giderimi üzerine temas süresinin etkisi

Ultrases fenton oksidasyon yöntemi ile sentetik tekstil atık suyundan renk giderim verimi üzerine reaksiyon süresinin etkisinin araştırıldığı çalışmanın sonuçları Şekil 4.18’de verilmiştir. Grafikte de görüldüğü üzere reaksiyon süresinin incelendiği deneyler 15 ile 120 dakika aralığındaki sürelerde çalışılmıştır. Sonuç olarak en iyi renk giderim verimine 45. dakikada ulaşılmıştır. Renk giderim verimi ise %96,62 olarak bulunmuştur.



Şekil 4.19. Ultrases fenton prosesiyle tekstil atıksularından KOİ giderimi üzerine temas süresinin etkisi

KOI giderimi üzerine reaksiyon süresinin etkilerinin sonuçlarını içeren çalışmalar Şekil 4.19'da gösterilmektedir. Grafik incelendiğinde en iyi KOI giderim verimine 45.dakikada ulaşıldığı görülmektedir. Bu sürede KOI giderimi ise %88,5 olarak bulunmuştur.

45. dakikadan sonra reaksiyon süresinin arttırılmasıyla renk ve KOI giderim veriminde düşüşler gözlenmiştir. Ultrases fenton oksidasyon yöntemi ile •OH radikalleri oluşturulmaktadır. Ortamdaki fazla H₂O₂ ile elde edilen •OH radikalleri yeniden bağlanır ve hidrojen peroksitin radikal süpürme etkisi meydana gelir. Bu sebeple oluşan ve daha az reaktif olan hidroperoksil radikali (•HO₂) renk giderimin veriminde azalmaya yol açmıştır. Dolayısıyla uzun süren ultrasonik işlem sonucu ortamda •OH radikali konsantrasyonu artmıştır ve H₂O₂ miktarında optimum değere ulaşılan kadar Fe²⁺ ile birleşmiştir. Fakat •OH radikali konsantrasyonu arttıkça bağlanacak Fe⁺² bulamayıp kalıntı bırakmış, bu kalıntı renk ve KOI'nin artmasına neden olmuştur.

5.SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Tekstil ve boya endüstrilerinden çıkan atık sular tüm dünyayı endişelendiren çevre kirliliğinin önemli sebeplerinden biridir. Sulu çözeltilerdeki kirleticilerin giderilmesi amacıyla birçok yöntem geliştirilmiştir. Özellikle son zamanlarda ileri oksidasyon yöntemleri olarak adlandırılan atık su giderim yöntemlerine odaklanılmıştır. Bu çalışmada sentetik olarak hazırlanan Acid Blue 264 boyalı atık suyun renk ve KOİ giderimi amacıyla ileri oksidasyon proseslerinden olan fenton ve ultrases fenton oksidasyon proseslerinin uygulanabilirlikleri araştırılmıştır. Bu kapsamda ilk olarak fenton deneyleri yapılmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlarında yararlanarak ultrases fenton deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Fenton deneyleri çalışmalarında sentetik atık suyun karakterizasyonu yapılmıştır. Ardından en etkili verimin elde edilmesi için optimizasyon çalışmaları kapsamında başlangıç pH'sı, başlangıç demir iyonu konsantrasyonu, başlangıç H₂O₂ konsantrasyonu ve reaksiyon süresi parametreleri üzerine deneyler yürütülmüştür.

Demir tuzları ile H₂O₂' nin etkileşimi sonucu oluşan hidroksil radikalleri Fe²⁺ iyonu konsantrasyonu ile ilgili olduğundan pH; fenton ve ultrases fenton yöntemlerinin verimliliğinde önem arz etmektedir. Fenton ve ultrases fenton yöntemlerinin renk ve KOİ giderimi üzerindeki etkisini belirlemek için pH 2,0 ile 4,5 değerleri arasında deneyler gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarında elde edilen veriler doğrultusunda her iki yöntemde de en iyi verime pH 3,5 değerinde ulaşılmıştır. Dolayısıyla optimum pH 3,5 olarak belirlenmiştir. Fenton oksidasyon yöntemiyle renk giderim verimi % 82,625 olarak bulunmuştur. Ultrases fenton oksidasyon yönteminde ise renk giderimi % 90,875'e yükselmiştir. KOİ giderim verimi fenton oksidasyon metodunda %70,60 iken ultrases oksidasyon metodunda % 82,8 'dir.

Demir iyonu konsantrasyonu fenton prosesi için temel işletme parametrelerinden biridir. Fe²⁺ iyonu ile hidrojen peroksitin reaksiyonu sonucu oluşan hidroksil radikalleri renk giderim verimini arttırmaktadır. Fakat aşırı miktarda

eklenen demir iyonu ortamda kalarak sentetik atık suya renk vererek giderim verimlerinin düşmesine neden olmuştur. Aynı şartlarda gerçekleştirilen deneylerde demir konsantrasyonu 100 mg/L'den 180 mg/L'ye kadar salınımlar göstererek artmıştır. Bu değerden sonraki demir artışları verimi düşürmüştür. 550 mg/L demir iyonu konsantrasyonunda verim %65,0'e düşmüştür. Sonuç olarak optimum demir iyonu konsantrasyonu olarak 180 mg/L kabul edilmiştir. Fenton oksidasyon yöntemiyle renk giderim verimi % 85,625 olarak bulunmuştur. Ultrases fenton oksidasyon yönteminde ise renk giderimi % 93,875'e yükselmiştir. KOİ giderim verimi fenton oksidasyon metodunda %76,0 iken ultrases oksidasyon metodunda % 85,125 'dir.

Fenton oksidasyon prosesinde bir diğer önemli kimyasal ise hidroksil kaynağı olan H_2O_2 'dir. Ancak deneylerde kullanılan bu parametrelerin optimizasyonu hem en ideal verimin eldesi için hem de arıtma maliyetinin en ekonomik hale getirmek için gerekmektedir. Fenton ve ultrases fenton oksidasyon metodları ile en iyi renk ve KOİ giderimini sağlamak için optimum H_2O_2 konsantrasyonunun bulunması çalışmaları sonucunda fenton oksidasyonu ile renk giderim verimi 125 mg/L H_2O_2 konsantrasyonunda ulaşılmıştır. Renk giderim verimi %88,425 olarak bulunmuştur. Ultrases fenton oksidasyon yöntemi ile renk giderim verimi ise 100 mg/L H_2O_2 konsantrasyonunda optimuma ulaşmış ve % 93.875 olarak bulunmuştur. KOİ giderim verimleri de renk giderim verimleri ile aynı konsantrasyonunda en iyi giderim verimlerine ulaşmış olup; fenton oksidasyonu % 76,0; ultrases fenton oksidasyon metodu için ise % 85.125 olarak bulunmuştur.

Etkin reaksiyonların gerçekleşmesi için reaksiyon süresi fenton ve ultrases deneylerinde önemli bir diğer parametredir. Fenton ve ultrases fenton proseslerinin işletim maliyetlerini pH, demir iyonu konsantrasyonu, H_2O_2 konsantrasyonu ve son olarak da reaksiyon süresi etkilemektedir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucu fenton oksidasyon metodu için optimum renk ve KOİ giderim verimi 75. Dakika da sağlanmıştır. Bu reaksiyon değerinde fenton oksidasyonu ile sentetik tekstil atık suyundan renk ve KOİ giderim verimleri sırasıyla %88,425 ve %76,0 olarak bulunmuştur. Ultrases fenton oksidasyonu ile yapılan deneysel çalışmalarda renk ve

KOİ giderimi incelendiğinde en iyi giderim veriminin 45. dakikada elde edildiği görülmektedir. Reaksiyon süresi arttıkça giderim veriminde düşüşler meydana gelmiştir. Ultrases fenton oksidasyon metodu ile renk % 96,62 olarak bulunmuş olup, KOİ giderimi ise % 88,5'dir.

Fenton oksidasyonu metodu ile yapılan deneyler sonucunda pH 3,5'te, 180 mg/L demir konsantrasyonu ve 125 m g/L H₂O₂ konsantrasyonunda, 75 dakika reaksiyon süresi sonunda en iyi renk giderim verimi % 88,425 olarak bulunmuştur. Optimum KOİ giderim verimi ise %76,0 olarak hesaplanmıştır.

Ultrases fenton oksidasyon metodu ile yapılan deneyler sonucunda renk giderim verimi pH 3,5'te, 180 mg/L demir konsantrasyonunda ve 100 mg/L H₂O₂ konsantrasyonunda, 45 dakika reaksiyon süresi sonunda en iyi renk ve KOİ giderim verimi sırasıyla % 96,62 ve %88,5 olarak bulunmuştur.

DeneySEL çalışmalar sonucu elde edilen giderim verimleri karşılaştırıldığında, ultrases fenton oksidasyon metodunun Acid Blue 264 boyar maddesi ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyundan renk ve KOİ giderimi için fenton oksidasyon metodundan daha elverişli olduğu görülmektedir. Ultrases işlemi sırasında oluşan hidroksil radikallerinin üretilmesi ile renk gideriminin sağlanması sonucu ihtiyaç duyulan başlangıç H₂O₂ konsantrasyonunda azalma sağlamıştır. Böylece daha az H₂O₂ kullanılarak daha yüksek arıtım verimine ulaşılmıştır. Ultrases fenton oksidasyon metodu ile fenton oksidasyon metodundan çok daha kısa sürede verimli sonuçlar elde edilmektedir. Ayrıca fenton oksidasyon metodunun gerçekleşmesi için mekanik karıştırma işlemine ihtiyaç duyulmaktadır. Reaksiyon süresinin artması, sürekli karıştırmayı gerektiren bu yöntemde ek bir maliyet neden olmaktadır. Ultrases fenton oksidasyonu çok daha kısa sürede gerçekleştiğinden daha düşük işletme maliyeti, daha az kimyasal kullanımı ve daha kısa sürede gerçekleştiğinden tesiste devamlı olarak arıtım sağlanabilmesi gibi avantajları ile fenton oksidasyon metodunun önüne geçmektedir.

KAYNAKLAR

- Acarbabacan, S., “Reaktif Boyarmaddeleri İçeren Atıksuların Fenton Prosesi İle Renk Giderimi”, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (2002)
- Aksu, Z., Karabayır, G., “Comparison of Biosorption Properties of Different Kinds of Fungi for the Removal of Gryfalan Black RL Metal-Complex Dye”, *Bioresource Technology*, 99 (16):7730-7741 (2008).
- Aktas, D., Giray S.N., Uysal Y., “Adsorption Of Color From Textile Wastewater by Black Locust Tree, Robinia Pseudoacacia (Leguminosae) Fruits”, 2nd International Conference on Environmental Science and Technology, (2014)
- Aktas, D., Giray, S.N., Uysal, Y., Dolaz M., “Removal Of Dye From Textile Wastewater By Plane Tree (Platanus Orientalis L.) Leaves”, Second International Conference on Water, Energy and the Environment, (2013)
- Argun, Y.A. “Reaktif Mavi 114 Boyasının Fenton Prosesi ile Giderimi”, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2012.
- Arıcı, Y. “Tekstil Endüstrisinde Reaktif Boyarmaddelerden Kaynaklanan Rengin Fenton Prosesi ile Giderilmesi”, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (2000).
- Arslan, İ, Balcıoğlu AI, Bahnemann DW., 2001. Photochemical Treatment of Simulated Dyehouse Effluents by Novel TiO₂ Catalyst. *Water Science and Technology*, 44 (5): 171-178.
- Arslan, İ., Balcıoğlu AI., Bahnemann DW., “Photochemical Treatment of Simulated Dyehouse Effluents by Novel TiO₂ Catalyst”, *Water Science and Technology*, 44 (5): 171-178, (2001).
- Arslan-Alaton, I., “The Effect of Pre-Ozonation on The Biocompatibility of Reactive Dye Hydrolysates”, *Chemosphere*, 51 (9): 825-833, (2003).
- Azbar, N., Yonar, T., Kestioglu, K., “Comparison of Various Advanced Processes and Chemical Treatment Methods for COD and Colour Removal from a Polyester and Acetate Fiber Dyeing Effluent”, *Chemosphere*, 55 (1): 35-43, (2004).
- Bahadır, E.B., “Tekstil Endüstrisi Arıtılmış Atıksularında Renk ve Öncelikli Kirlenmelerin Ozon Teknolojisi İle Gideriminin Araştırılması”, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (2012).
- Balcı, B., “Atıksulardan Tekstil Boyarmaddelerinin Sürekli ve Kesikli Sistemlerde Ağaç Kabuğu (Eucalyptus Camaldulensis) Kullanılarak Adsorpsiyon ile Giderilmesi”, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (2007).

- Başbuğ, M., “Bentonit Ponza ile Sulu Çözeltilerden ve Tekstil Atıksuyundan Boya Adsorpsiyonunun İncelenmesi” Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 101 s. (2008).
- Başer, I., İnancı, Y., “Boyarmadde Kimyası”, Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yayınları, s 47-187., İstanbul, (1990)
- Bigda, R.J., Consider Fenton's Chemistry For Wastewater Treatment. Chemical Engineering Progress, 91 (12): 62-66, (1995).
- Birgül, A., “Tekstil Endüstrisi Atıksu Arıtımında İleri Oksidasyon Proseslerinin Kullanımı”, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (2006)
- Bouasla, C., Samar, M.E., Ismail, F., “Degradation Of Methyl Violet 6b Dye By The Fenton Process”, Desalination, 254 (1-3): 35-41, (2010).
- Chang, D.J., Chen, I.P., Chen, M.T., Lin, S.S., “Wet Air Oxidation of a Reactive Dye Solution Using CoAlPO4-5 And CeO2”, Catalysts. Chemosphere, 52 (6): 943-949, (2003)
- Daniş, Ü., Gürses, A. and Canpolat, N. “Removal of Some Azo Dyes From Wastewater Using PAC as Adsorbent”, International Workshop on Environmental Quality And Environmental Engineering in The Middle East Region”, Konya, 559-569, (1998)
- Demirci, C. “Pamuklu Tekstil Endüstrisi Atıksularındaki Rengin Foto-Fenton Prosesiyle Giderimi”, Fırat Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (2007).
- Deniz, G.D., “Azo Boyarmaddelerinin Fotokimyasal Prosesler İle Giderimi”, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (2006).
- Dikmen, F., “Tekstil Atıksularında Ozonla Renk Giderimi Üzerine Bir Çalışma”, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 75s. (1998)
- Doğan, M., “Sulu Ortamda Perlit'in Yüzey Yükünün ve Adsorpsiyon Özelliklerinin İncelenmesi”, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, (2001).
- Dokuzoğlu, Z., “Boyar Madde İçeren Tekstil Atıksularının İleri Oksidasyon İşlemiyle Biyolojik Arıtılabilirliğinin Arttırılması”, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. (2008).
- Dokuzoğlu, Z., Alkan U., Yentürk A. “ Reaktif Boyar Madde İçeren Tekstil Atıksularının İleri Oksidasyonu”, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 13(2): 119-128, (2008)
- Duman, E., “İlaç Endüstrisi Atıksularının Fenton Oksidasyonu İle Arıtılabilirliğinin Araştırılması, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 135s. (2006).

- Dutta, K., Mukhopadhyay, S., Bhattacharjee, S. ve Chaudhuri, B., "Chemical Oxidation of Methylene Blue Using a Fenton-like Reaction". Journal of Hazardous Materials 84:(11), 57-71, (2001)
- Edecan, M.E. "Kombine Ultrases/Aktif Karbon Kullanarak Tekstil Boyar Maddesinin Renk Gideriminin Modellenmesi ve Optimizasyonu".. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (2006).
- Erkurt, E., "Aktif Karbon Adsorpsiyonu İle Boyarmadde Giderimi", Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (2008)
- Gökkuş, Ö., "Boyarmadde İçeren Tekstil Atıksularında Fenton Prosesi ve Kimyasal Koagülasyon Uygulanarak Renk ve KOİ Gideriminin İncelenmesi", Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (2009).
- Gökkuş, Ö., "Dispers Boyarmadde İçeren Tekstil Atıksularında Renk Giderimi", Cumhuriyet Üniveristesesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 73s (2006).
- Gönder, Z.B., "Fenton Prosesi ve İyon Değişimi Kombinasyonu ile Renkli Atıksuların Arıtımı", İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 87s, (2004).
- Gönder, Z.B., "Fenton Prosesi ve İyon Değişimi Kombinasyonu ile Renkli Atıksuların Arıtımı", İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. (2004).
- Gönüllü, M.T., "Endüstriyel Kirlenme Kontrolü", Cilt1. Birsen Yayınevi, İstanbul, (2004)
- Grau, P., "Textile Industry Wastewater Treatment", Water Science and Technology 24: 97-103. (1991).
- Gümüştöre, H.T. "Zararlı Organik Bileşiklerin Bozundurulmasına Ses Ötesi Dalgaların (Ultrasound) Etkisi", Ankara Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (2007).
- Gürel, C., "Tekstil Atıksularından Boyar Maddelerin Elektrokimyasal Yükseltgeme ile Giderimi", Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, (2006).
- Gürkan, T., "Fenton Prosesi Yardımıyla Azo Grubu İçeren Asidik Boya Çözeltilerinin Degradasyonunun İncelenmesi", Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi.(2011)
- Gürkan, T., "Fenton Prosesi Yardımıyla Azo Grubu İçeren Asidik Boya Çözeltilerinin Degradasyonunun İncelenmesi", Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (2011)

- Gürsoy, B.H., Alaton-Arslan, İ. “Azo Boyar Madde Sentez Atıksularının Fenton Prosesi ile İleri Oksidasyonu”, III. Üniversite Öğrencileri Çevre Sempozyum Bildiri Özetleri Kitabı, 280-286 (2008).
- Gürtekin, E., Şekerdağ N. “ Bir İleri oksidasyon Prosesi: Fenton Proses”, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi 3,14: 229-236, (2008).
- Hanay Ö., Hasar H., “Fenton Oksidasyon Prosesi ile Tekstil Endüstrisi Atıksuyunda Renk Giderimi”, Fırat Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19 (4), 505-509, (2007).
- Hararcı, S., Tekstil Sanayisinde Anahtar Çevresel Konular, Bursa Çevre Merkezi, Bursa, (2005).
- Harber, F., Weiss J.J., “The Catalytic Decomposition of Hydrogen Peroxide by Iron Salts”, Proceedings of the Royal Society A, 147: 332-351,(1934).
- İ.K.Kapdan ve S.Alparslan, “Tekstil Endüstrisi Atık Sularından Anaerobik- Aerobik Ardışık Reaktör Sisteminde KOİ ve Renk Giderimi”, I.Ulusal Çevre Kongresi: 217-218. (2004).
- İçoğlu, H., “Pamuklu Dokunmuş Kumaşların Reaktif Boyarmaddelerle Boyanması ve Uygulama Yöntemlerinin İncelenmesi”, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 187s, (2006).
- Ince, N.H., Tezcanlı G., Belen R.K., Apikyan I.G., “Ultrasound As A Catalyzer Of Aqueous Reaction Systems: The State Of The Art And Environmental Applications”, Applied Catalysis B: Environmental, 29,3, 167-176, (2001).
- Işık, M., Sponza, D., “Tekstil Atıksularının Oluşumu, Karakterizasyonu ve Arıtım Yöntemleri”, IV. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi, 621-629, Bodrum. (2001)
- Kang Y. W., Hwang K. Y., “Effect of Reaction Conditions on the Oxidation Efficiency in the Fenton Process”, Water Research, 34 (10); 2786-2790, (2000).
- Kanlıoğlu, B.Ü., “Pamuklu Tekstil Endüstrisi Atıksularında İyon Çifti Ekstraksiyonu Metodu İle Renk Giderimi”, Uludağ Üniveritesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (2000).
- Kazanılabilirliğinin Araştırılması. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Bursa.(2003)
- Kemer, M. ve Kara, Ş., “Pamuklu Sentetik Tekstil Endüstrisi Atıksularının Arıtılması, U.Ü., Bursa, 225 s. (1998).
- Kestioglu, K., “Tekstil Çıkış Sularından Adsorblama Tekniği İle Renk Giderimi”, İTÜ 3. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu, 74-85 (1992)

- Kim, T., Park, C., Yang, J., Kim, S., “Comparison Of Disperse And Reactive Dye Removals By Chemical Coagulation And Fenton Oxidation”, *Journal Of Hazardous Materials*, 112, (1-2): 95-103. (2004).
- Kırdar, E., *Tekstil Atıksularında Renk Giderimi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, (1995)
- Kocaer, F.O., Alkan, U., “Boyarmadde İçeren Tekstil Atık Sularının Arıtım Alternatifleri”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7:1: 47-53, (2002).
- Koçyiğit, H. ,“Tekstil Atıksularındaki Reaktif Boyaların (Reaktif Mavi 19, Reaktif Kırmızı 198) Ardışık Kesikli Reaktörlerle Arıtılabilirliğinin İncelenmesi”, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 2008
- Koçyiğit, H. “Tekstil Atıksularındaki Reaktif Boyaların (Reaktif Mavi 19, Reaktif Kırmızı 198) Ardışık Kesikli Reaktörlerle Arıtılabilirliğinin İncelenmesi”, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, (2008).
- Köseoğlu, G., “Tekstil Endüstrisi Atıksularındaki Renk Sorununun İleri Aktif Çamurlu Ardışık Kesikli Biyoreaktör İle Giderilmesi”, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.(2004).
- Kurbanova, R., Mirzaoglu, R., Ahmedova, G., Seker, R. ve Özcan, E. “Boya ve Tekstil Kimyası ve Teknolojisi”, *Selçuk Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Yayınları, Konya, 263s*, (1998).
- Manu B, Chaudhari S., Decolorization Of Indigo and Azo Dyes in Semicontinuous Reactors With Long Hydraulic Retention Time. *Process Biochemistry* 38:1213-1221, (2003).
- Muruganandham, M., Swaminathan, M., “Decolourisation of Reactive Orange 4 by Fenton and Photo-Fenton Oxidation Technology”, *Dyes and Pigments*, 63: 315-321, (2004).
- Nalbant, İ., “Çimento Fabrikası Elektrofiltre Geri Dönüş Tozu İle Boyarmadde Adsorpsiyonu”, *Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, (2006)
- Neyens, E. and Baeyens, J.. “Review Of The Classic Fenton’s Peroxidation As An Advanced Oxidation Technique. *Journal Of Hazardous Materials*”, 98 (1-3): 33–50, (2003)
- Öden, M. K., “Sentetik Tekstil Atıksularında Boyar Maddelerin Fenton Prosesi İle Arıtımı”, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü ,Yüksek Lisans Tezi*, (2010)
- Oktav, E., Çatalkaya, E.Ç., Şengül, F., “Zeytinyağı Endüstrisi Atıksularının Kimyasal Yöntemlerle Arıtımı” *DEÜ. Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 5(3): 11-21, (2003).

- Ölmez, T., “Tekstil Endüstrisinde Reaktif Boya Banyolarında Ozon ile Renk Giderimi”, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (1999)
- Ölmez, T., Kabdaslı, I., Tünay, O., “Tekstil Endüstrisi Reaktif Boya Banyolarında Ozon İle Renk Giderimine Etki Eden Faktörlerin Belirlenmesi”, Su Kirliliği Kontrolü Dergisi, 13(1): 19-24, (2003).
- Özcan, Y, Ulusoy, E..Tekstil Elyaf ve Boyama Tekniği. İstanbul Üniversitesi Yayınları No: 56, İstanbul, 600s., (1978)
- Özdemir C., Öden M.K.,Şahinkaya S., Kalipçi E, “Color Removal from Synthetic Textile Wastewater by Sono-Fenton Process”. CLEAN – Soil, Air, Water , 39(1) : 60–67. (2011).
- Özdemir, C., Öden, M.K.,Şahinkaya, S., Güçlü, D., “The Sonochemical Decolorisation Of Textile Azo Dye CI Reactive Orange 127”, Coloration Technology, 127(4): 268–273, (2011).
- Özgürses, M. T.,. “Elektrokoagülasyon ile Reaktif Tekstil Boya Çözeltilerinin Arıtımı”, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (2003)
- Panswad, T. and Luangdlok, W. “Decolorization of Reactive Dyes with Different Molecular Structures under Different Environmental Conditions”, Water Researches., 34(17): 4177-4184, (2000).
- Peyton, G.R., ve Glaze,W.H, “Destruction Of Pollutants In Water With Ozone In Combination With Ultraviolet Radiation. 2. Natural trihalomethane precursors”, Environmental Science Technology 16: 454–458, (1982).
- Rice R.G.. “Application of Ozone for Industrial Wastewater Treatment- A Review”, Ozone Science Engineering, 18(6): 477-515, (1997).
- Robinson, T. McMullan, G. Marchant, R. and Nigam, P. “Remediation of Dyes in Textile Effluent: A Critical Rewiev on Current Treatment Technologies With a Proposed Alternative”, Bioresource Technoloy, 77:247-255, (2001).
- Rodrigues, S.D.C., Madeira, L.M., Boaventura, R.A.R., “Optimization of the Azo Dye Procion Red H-EXL Degradation by Fenton’s Reagent Using Experimental Design”, Journal of Hazardous Materials, 164(2-3): 987–994, (2009).
- Rodrigues, S.D.C., Madeira, L.M., Boaventura, R.A.R., “Optimization of the Azo Dye Procion Red H-EXL Degradation by Fenton’s Reagent Using Experimental Design”, Journal of Hazardous Materials, 164(2-3): 987–994, (2009).
- Sandhya, S., Swaminathan, K., “Kinetic Analysis Of Treatment Of Textile Wastewater In Hybrid Column Upflow Anaerobic Fixed Bed Reactor”, Chemical Engineering Journal, 122: 87–92, (2006).

- Sevimli, M.F., “Tekstil Endüstrisi Atıksularından Ozonlama ile Renk Giderimi ve Ozonlamanın Biyolojik Arıtılabilirliğe Etkisi”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 216s., (2000).
- Sevimli, M.F., “Tekstil Endüstrisi Atıksularından Ozonlama İle Renk Giderimi ve Ozonlamanın Biyolojik Arıtılabilirliğe Etkisi” İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi, (2000).
- Shaw, C.B., Carliell, C.M., Wheatley, A.D., “Anaerobic/Aerobic Treatment Of Coloured Textile Effluents Using Sequencing Batch Reactors, Water Research, 36 (8): 1993-2001, (2002).
- Song L.Y., Li J.T., Chen H., “Degradation of C.I. Acid Red 88 Aqueous Solution by Combination of Fenton's Reagent and Ultrasound Irradiation”, Journal of Chemical Technology and Biotechnology”, 84(4) 578–583, (2009).
- Sözen, S., “Tekstil Endüstrisinde Kirlenme Kontrolü”, Su Kirliliği Kontrolü Dergisi, 1(3):133-144, (1991).
- Sun Jian-Hui, Sun Sheng-Peng, Wang Guo-Liang ve Qiao Li-Ping, “Degradation Of Azo Dye Amido Black 10B in Aqueous Solution By Fenton Oxidation Process”, Dyes and Pigments,74(2007):647-652, (2006).
- Topacık, D., Koyuncu İ., “Membran Teknolojisi ile Amonyum İyonu Giderimi Üzerine Bir Araştırma”, Su Kirliliği Kontrolü Dergisi, (1998).
- Tünay, O., Kabdasli, I., Eremektar, G., Orhon, D., “Colour Removal From Textile Wastewaters”, Water Science and Technology, 34(11): 9-16, (1996)
- Türel, G., “Azo Boyar Maddenin Ve Azo Boyar Madde Üretimi Atıksularının Fenton-Benzeri Ve Foto-Fenton-Benzeri İleri Oksidasyon Prosesleri ile Arıtımı”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (2008)
- Turhan, G.D. “Azo Boyarmaddelerinin Fotokimyasal Prosesler ile Giderimi”, İnönü Üniversitesi-Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (2006).
- Ünyayar, A., Çakmak, E.M., Mazmancı, M.A., Özsoy, H.D, “Sentetik Olarak Hazırlanan Tekstil Atık Suyunun Beş Basamaklı Bardenpho Sistemi Kullanılarak Renk ve KOİ Gideriminin Araştırılması”, Balıkesir Üniversitesi IV. Mühendislik-Mimarlık Sempozyumu, Balıkesir,(2002).
- Üstün, G.E., “Bursa Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisi Çıkış Sularının Geri Kazanılabilirliğinin Karşılaştırılması”, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi (2006).
- Uzal, N., “Recovery And Reuse Of İndigo Dyeing Wastewater Using Membrane Technology”, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 196s., (2007).

- Van der Zee, F.P., "Anaerobic Azo Dye Reduction", Doctoral Thesis, Wageningen University, 142s. (2002)
- Vandervivere PC, Bianchi R, Verstraete W., "Treatment And Reuse Of Wastewater From The Textile Wet-Processing Industry: Review Of Emerging Technologies", Journal Of Chemical Technology And Biotechnology, 72 (4): 289-302. (1998).
- Vandervivere, P.C., Bianchi R, Verstraete W., "Treatment And Reuse Of Wastewater From The Textile Wet-Processing Industry: Review Of Emerging Technologies", Journal Of Chemical Technology And Biotechnology, 72 (4): 289-302, (1998).
- Verma, A. K., Dash, R. R., Bhunia, P., "A Review on Chemical Coagulation/Flocculation Technologies for Removal of Colour From Textile Wastewaters", Journal of Environmental Management, 93 (1): 154-168, (2012).
- Vigo, T. L., "Textile Processing and Properties, Preparation, Dyeing, Finishing and Performance", Elsevier Acience B.V., Copyright & Permissions Department, The Netherlands, (1994).
- Willmott, N., Guthrie, J. and Nelson, G., "The Biotechnology Approach to Colour Removal From Textile Effluent", Journal of the Society of Dyers and Colorists, 114:38-41, (1998)
- World dye variety, www.worlddyevariety (19.12.2014)
- Xu, X.R., Li, H.B., Wang, W.H., Gu, J.D., "Degradation of Dyes in Aqueous Solutions by the Fenton Process", Chemosphere, 57 (7): 595-600, (2004).
- Yavuz, Y., "Tekstil Atıksularından Boyar Maddelerin Elektroadsorpsiyonla Giderimi", Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, (1998).
- Yıldırım, E. "Tekstil Atıksularından Adsorpsiyon Yöntemiyle Boyarmadde Giderimi", Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 59s, (2003).
- Zhou, H. ve Smith, D.W.. "Advanced Treatment Technologies In Water And Wastewater Treatment", Journal of Environmental Engineering and Science 1(4), 247-264, (2002).

ÖZGEÇMİŞ VE ESERLER LİSTESİ

Adı Soyadı: Dilan TOPRAK

Doğum Tarihi: 29/03/2014

Öğrenim Durumu: Lisans

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lise	Sayısal Bölüm	Mehmet Adnan Özçelik Anadolu Lisesi	2002-2006
Lisans	Çevre Mühendisliği Bölümü	Mersin Üniversitesi	2006-2011
Yüksek Lisans	Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı	Mersin Üniversitesi	2011-2013

(Varsa) Görevler:

Görev Unvanı	Görev Yeri	Yıl
Araştırma Görevlisi	Harran Üniversitesi	2013-2014

ESERLER (Makaleler ve Bildiriler)

1. H. Duygu ÖZSOY, Dilan TOPRAK, Sema Nur GİRAY, Ezgi BEZİRHAN, “Nişasta Bazlı Biyoplastik Atıklarının Kahverengi Çürükçül Fungus *Gloeophyllum trabeum* İle Biyolojik Olarak Parçalanabilirliğinin Araştırılması”, 9. Çevre Mühendisliği Kongresi, 5-8 Ekim 2011, Samsun.
2. Sercan Gelener, Şule Serin, Benan Yazıcı, Dilan Toprak, M. İrfan Yeşilnacar, “Şanlıurfa İli Katı Atık Yönetiminin Değerlendirilmesi”, 5. Ulusal Katı Atık Yönetimi Kongresi (UKAY), 29 Mayıs-1 Haziran 2013, Kocaeli.
3. Deniz Uçar, Dilan TOPRAK “ Mikrobiyal Yakıt Hücrelerinde anot ve katot bölmelerinin birbirlerinden ayrılmasında kullanılan bazı yöntemler” Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 2014,Afyon.