



**T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

REAKTİF MAVİ 114 BOYASININ FENTON PROSESİ İLE GİDERİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yusuf Alparslan ARGUN

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Mustafa KARATAŞ

AKSARAY, 2012

T.C.

AKSARAY ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ KABUL ve ONAY BELGESİ

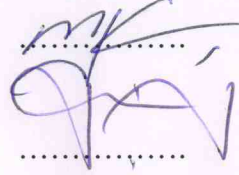
Yusuf Alparslan ARGUN'un "**Reaktif Mavi 114 Boyasının Fenton Prosesi ile Giderimi**" başlıklı Yüksek Lisans/Doktora tez çalışması, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun **24/06/2012** tarih ve **2012/24** sayılı kararı ile oluşturulan aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd.Doç.Dr. Mustafa KARATAŞ

1. Jüri : Yrd. Doç.Dr. Berkant KAYAN

2. Jüri : Yrd. Doç.Dr. Ahmet KILIÇ

İmza



Tezin Savunulduğu Tarih : 24/07/2012

ONAY

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun **03.8.2012** tarih ve **2012/28-OL** sayılı kararı ile Yusuf Alparslan ARGUN'un Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans derecesi alması onaylanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Doç.Dr. Selçuk REİS

ÖNSÖZ

Bu çalışmada ticari olarak önemli olan C.I. Reaktif Mavi 114 antrakinonik boyasının renk giderimi Fenton prosesi ile araştırılmıştır. Araştırmalarım sırasında Aksaray üniversitesinde bulunan danışmanım Yrd. Doç. Dr. Mustafa KARATAŞ hocam çalışmalarımın nasıl ilerlemesi gerektiği, çalışma sistemi, deneysel koşullar ve tez yazımı konusunda yardımcı olmuştur. Ayrıca Selçuk üniversitesinde bulunan Doç. Dr. Mehmet Emin ARGUN hocamız da deneylerin ilerleyişi esnasında bizzat yardımcı olmuş ve zorlandığım konularda beni aydınlatmıştır.

Bu tez Fenton oksidasyonu ile RB114 boyasının renginin giderimi üzerine termodinamik ve kinetik hesaplamaları da içerecek şekilde yapılmıştır. Tepkime koşulları için elde edilen optimum parametreler Fe^{2+} de 50 mg/L, H_2O_2 de 500 mg/L, 20 dakika tepkime süresi, pH 3 ve tepkime sıcaklığı 293 K olarak bulunmuştur. Bu koşullar altında RB114' ün Fenton prosesi ile renk giderim verimi % 86 olarak elde edilmiştir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada öncelikle bana üstün tecrübe ve bilgisiyle ışık tutan çalışmalarım sırasında bilgi ve hoşgörüsü ile yanımda olan, benden her konuda desteğini esirgemeyen Aksaray Üniversitesinden değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Mustafa KARATAŞ'a saygılarımı sunarım.

Laboratuar ve literatür çalışmaları sırasında bana her konuda yardımcı olan ve destek veren Selçuk Üniversitesinden değerli hocam Doc. Dr. Mehmet Emin ARGUN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca bütün hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini, sevgilerini ve ilgilerini benden hiç esirgemeyen; bütün öğrenim hayatım boyunca özellikle yüksek lisans eğitimimde tez yazımım sırasında desteklerini daima hissettiğim çok kıymetli ve saygıdeğer aileme de çok teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	i
TEŞEKKÜR	ii
ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
KISALTMALAR DİZİNİ	ix
SİMGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
2.1. Tekstil Endüstrisi	2
2.2. Tekstil Ve Tekstil Boyar Maddeleri.....	3
2.2.1. Boyar Maddelerin Boyama Özelliklerine Göre Sınıflandırılması.....	4
2.3. Tekstil Endüstrisi Atık Sularının Özellikleri.....	6
2.4. Tekstil Endüstrisinde Boyama	8
2.5. Boyar Madde İçeren Atıksuların Arıtma Yöntemleri	8
2.5.1. Fiziksel Arıtma	8
2.5.2. Biyolojik Arıtma.....	8
2.5.3. Kimyasal Arıtma	9
2.5.4. Adsorpsiyon	10
2.5.5. Kimyasal Oksidasyon Ve Redüksiyon.....	10
2.5.6. Membran Sistemleri.....	11
2.5.7. Ozonlama	11
2.5.8. İleri Oksidasyon Metodları	12
2.5.9. Fenton Prosesine Etki Eden Faktörler	15
2.6. Literatürde Fenton Prosesi İle Yapılmış Çalışma Örnekleri	17

3. MATERYAL METOD	20
3.1. Numune Ve Kullanılan Malzeme	20
3.2. Numune Ve Çözeltilerin Hazırlanması.....	20
3.3. Analiz Metodları.....	21
3.3.1. Deneysel Prosedür	21
3.3.2. Analiz.....	21
4. DENEY SONUÇLARI	22
4.1. Sentetik Atık Su	24
4.2. Optimizasyon Süresi.....	24
4.2.1. pH Optimizasyonu İçin Yapılan Çalışma	25
4.2.2. Fe^{+2} Optimizasyonu İçin Yapılan Çalışmalar.....	26
4.2.3. H_2O_2 Optimizasyonu İçin Yapılan Çalışmalar.....	27
4.2.4. Sıcaklık optimizasyonu için yapılan çalışmalar	28
4.2.5. Zaman optimizasyonu için yapılan çalışmalar	29
5. TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME	30
5.1. Fe^{+2} / H_2O_2 Oranının RB114 Giderimine Etkisi	30
5.2. pH'nın RB114 Renk Giderimi' ne Etkisi	32
5.3. Reaksiyon Süresinin Etkisi Ve Giderim Kinetiklerinin Belirlenmesi	33
5.4. Sıcaklık Etkisi Ve Renk Giderimi Termodinamiğinin Belirlenmesi	35
6. SONUÇ	38
KAYNAKLAR	39
ÖZGEÇMİŞ.....	47

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

REAKTİF MAVİ 114 BOYASININ FENTON PROSESİ İLE GİDERİMİ

Yusuf Alparslan ARGUN

T.C.

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Mustafa KARATAŞ

Bu çalışmada ticari olarak önemli olan C.I. Reaktif Mavi 114 antrakinonik boyanın renk giderimi Fenton prosesleri ile araştırıldı. $Fe^{2+}:H_2O_2$, reaksiyon süresi, pH değeri ve sıcaklık gibi parametrelerin çalışmada ki etkileri incelendi. Maksimum renk giderim verimi (%86) pH 3, reaksiyon süresi 20 dakika ve $Fe^{2+}:H_2O_2$ oranı 0,1 iken gerçekleşti. RB114 renk giderim kinetikleri yalancı ikinci derece kinetik olarak bulundu. Sıcaklık artışı hız sabitlerinin artmasına ve buna karşılık gelen yarı ömürlerin de azalmasına neden oldu. Tez de ayrıca Gibbs serbest enerji değerlerinin değişiklikleri ve Fenton tarafından RB114 ve renk giderimi için aktivasyon enerjisi de dahil olmak üzere termodinamik parametreleri tartışıldı ve oksidasyon sürecinin doğal koşullarda kendiliğinden olduğunu gösterildi.

2012, 57 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Fenton Prosesi; Reaktif Blue 114; Renk Giderim Kinetiği; Termodinamik

ABSTRACT

Master of Science Thesis

DECOLORIZATION OF DYE REACTIVE BLUE 114 WITH FENTON PROCESS

Yusuf Alparslan ARGUN

T.R.

Aksaray University Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Environmental Engineering

Supervisor: Yrd. Doç. Dr. Mustafa KARATAŞ

In this work, the decolorization of C.I. Reactive Blue 114 (RB114), a commercially important anthraquinonic dye, by Fenton processes was investigated. The effects of operating parameters, such as $\text{Fe}^{2+}:\text{H}_2\text{O}_2$ ratio, pH value, reaction time and temperature were examined. Maximum decolorization (86 %) efficiencies were achieved at the $\text{Fe}^{2+}:\text{H}_2\text{O}_2$ ratio of 0.1 and pH 3 for 20 minutes reaction time. The decolorization kinetic of RB114 followed pseudo-second-order reaction kinetic. The increase of temperature caused decreasing of obtained rate constants and increasing of corresponding half-lives. The paper also discussed thermodynamic parameters including changes in Gibbs free energy, and activation energy for the decolorization of RB114 by Fenton and exposed that the oxidation process was spontaneous under natural conditions.

2012, 57 Pages

Keywords: Fenton Process; Reactive Blue 114; Decolorization Kinetics; Thermodynamics

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Fenton Prosesinin Şematize Edilmiş Hali (Gogate ve Pandit, 2004)	19
Şekil 4.1. RB114 Boyasının Kalibrasyon Eğrisi.....	26
Şekil 4.2. Laboratuar Çalışmalarından Önce Sentetik Atıksuyun Görüntüsü	27
Şekil 4.3. Laboratuar Çalışmaları Sonrası Numunelerin Görüntüleri	27
Şekil 4.4. pH Miktarına Bağlı RB114 Boyası İçin Renk Giderim Verimi	29
Şekil 4.5. RB114 Boyasına Ait Fe^{+2} Dozuna Bağlı Giderim Verim Grafiği	30
Şekil 4.6. RB114 Boyasına Ait H_2O_2 Dozuna Bağlı Giderim Verim Grafiği	31
Şekil 4.7. RB114 Boyasına Ait Sıcaklık Değerlerine Bağlı Giderim Verim Grafiği	32
Şekil 4.8. RB114 Boyasına Ait Zaman Değerlerine Bağlı Giderim Verim Grafiği	33
Şekil 5.1. Fe^{+2} Konsantrasyonunun RB114 Giderimi Üzerine Etkisi.....	34
Şekil 5.2. H_2O_2 Konsantrasyonunun RB114 Giderimi Üzerine Etkisi	35
Şekil 5.3 Yalancı İkinci Derece Kinetiğin Doğrusal Şeklinden Elde Edilen R^2 Değeri	39
Şekil 5.4. RB114 Ait Sıcaklık Değerlerine Bağlı Giderim Verim Grafiği	40

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Tekstil Atıksularının Tipik Özellikleri	3
Çizelge 2.2. Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Boyaların Özellikleri	6
Çizelge 2.3. Boyama Atıksularının Karakteristikleri.....	7
Çizelge 2.4. Tekstil Liflerinin Boyanmasında Kullanılan Boyarmaddeler.....	8
Çizelge 2.5. Tekstil Sektörü Proseslerinin Atıksu Miktarları	12
Çizelge 2.6. Fenton Prosesinin Avantajları ve Dezavantajları	19
Çizelge 4.1. RB114' ün Kalibrasyon Verileri.....	26
Çizelge 4.2. pH Optimizasyon Değerleri	29
Çizelge 4.3. RB114 ait Fe^{+2} Dozuna Bağlı Giderim Verileri	30
Çizelge 4.4. RB 114 ait H_2O_2 Giderim Verileri.....	31
Çizelge 4.5. RB 114 Ait Sıcaklık Giderim Verileri	32
Çizelge 4.6. RB 114 Ait Zaman Giderim Verileri	33
Çizelge 5.1. Fenton Oksidasyonu Tarafından RB114 Boya Giderimi İçin Deneysel koşullar.	36
Çizelge 5.2. Çeşitli Yöntemlerle Boya Giderim Verimi (%).....	37
Çizelge 5.3. Fenton oksidasyonu ile RB114 ün renk giderimi için kinetik sabitleri	38
Çizelge 5.4. Fenton Oksidasyonu İle RB114 Renk Giderimi İçin Termodinamik Parametreler	39
Çizelge 5.5. RB 114 Ait Sıcaklık Giderim Verileri	40

KISALTMALAR DİZİNİ

AKM	Askıda Katı Madde
AKR	Ardışık Kesikli Reaktör
TAKM	Toplam Askıda Katı Madde
BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
cm	Santimetre
dk	Dakika
EF	Elektro Fenton
FSR	Fenton Çamuru Yeniden İşleme
g	Gram
Kg	Kilogram
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
L	Litre
mg	Miligram
TKM	Toplam katı madde
TOK	Toplam organik karbon
AKŞDY	Atıksuların Kanalizasyon Şebekesine Deşarjı Yönetmeliği
SKKY	Su Kirliliği Kontrolü ve Yönetmeliği
ORP	Oksidasyon İndirgeme Potansiyeli
RB114	Reaktif blue 114 (kullanılan boya cinsi)

SİMGELER DİZİNİ

MnO₄	Manganat
NaCl	Sodyum Klorür
NaOH	Sodyum Hidroksit
OH⁻	Hidroksil
HCO₃	Bikarbonat
CO₃⁻	Karbonat
ΔG	Gibbs Serbest Enerji Değişimi
Ti-P t	Titanyum-Platin
kWh	Kilowatt Saat
H₂SO₄	Sülfürikasit
H₂O₂	Hidrojen Peroksit
μs/cm	İletkenlik Birimi
K₂Cr₂	Potasyum Dikromat
Fe⁰	Demir Tozu
Nm	Dalga Boyu Birimi
Fe⁺²	Demir +2 değerlikli
Fe⁺³	Demir +3 değerlikli
FeSO₄	Demir Sülfat

1. GİRİŞ

Günlük yaşamımızın her aşamasında, tekstil yaşamın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Bu çeşitlilik tekstil endüstrisi içinde, çok çeşitli proseslerin oluşmasına neden olmuştur. Tekstil endüstrisinde yaygın olan bu proseslerin pek çoğu çevresel konuları içermektedir.

Tekstil endüstrisi atıksuları, proseste kullanılan çok değişik yapıdaki boyalar, yüzey aktif maddeler ve tekstil yardımcı maddelerine bağlı olarak başta yüksek organik madde (KOİ) ile renk parametreleri olmak üzere çok değişken kirleticileri içermektedirler. Bu tip atık sularda gözlenen kirliliklerin en önemli sebebi kullanılan kimyasal maddeler ve boyar maddelerdir (Grau, 1992).

Suyu kirleten renkli atık sular, suyun hem görünüşünü hem de ışık geçirgenliğini azaltarak çözünmüş oksijen miktarının düşmesine ve canlıların yok olmasına sebep olmaktadır. Renkli atık suların doğrudan ortama deşarj edilmesinin, kontrolsüz anaerobik şartlarda toksik - kanserojen aromatik aminlerin oluşması gibi birincil çevresel etkisinin yanında estetik açıdan çevreye zarar vermesi gibi ikincil bir etkisi de vardır (Demirci, 2007). Kısacası, tekstil boyalarının suyun içerisindeki düşük konsantrasyonda olması bile hiç arzu edilmeyen bir durumdur ve arıtılması gerekmektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Tekstil Endüstrisi

Yün, pamuk, sentetik ve örme kumaşların yapımında kullanılan liflerden, kumaş veya herhangi bir tekstil ürünü üreten endüstri dalı, tekstil endüstrisi olarak tanımlanabilir (Birgül, 2006).

Tekstil endüstrisinde boyama, yıkama ve durulama işlemlerinden kaynaklanan atıksular yüksek konsantrasyonda çözünmüş madde içermekte ve kompleks, polar yapıdaki reaktif boyalardan dolayı yoğun renge sahiptir. Tekstil endüstrisi atıksularında rengi oluşturan prosesler boyama ve pigment baskılardır (Gönder 2004). Tekstil endüstrisinde boyama işlemi kumaşa renk vermek için yapılır. Boyalı atıksuların özelliklerinin belirlenmesi, boyaların kimyasal yapısındaki farklılıklardan ve boyama sürecinin değişim göstermesinden dolayı oldukça zordur (Kocaer ve Alkan, 2002).

Tekstil süreçlerinden çıkan atık yükü, her biri farklı özellikteki elyafların çok sayıda olmasından dolayı farklıdır. Tekstil atıksularının ortak özellikleri; yüksek KOİ, BOİ, sıcaklık, pH, askıda katı maddeler ve çeşitli boyamaların neden olduğu renktir. Tekstil endüstrisi atıksuları, boyamada kullanılan esas boyanın rengindedir. (Batıbay, 2008).

Kullanılan boyar maddenin tipine bağlı olarak tekstil atıksularının rengi, baskılarına göre, kırmızı, kahve rengi, mavi, mor ve siyah olarak değişir. Boyar maddece zengin bu tür sular arıtılmadan deşarj edilirse alıcı ortam ekosisteminde olumsuz etkiler oluşturacaktır. Tekstil endüstrisinden alıcı ortama verilen boyama atıkları alıcı suyun renginin değişmesine, boyalı hale gelmesine neden olur. Kullanılan boyaya göre bitki ve hayvan yaşamı üzerinde toksik etki yaparlar, nehrin kendi kendini arıtma kapasitesini (özümleme kapasitesi) engellerler, alıcı suyun renklenmesine, suyun ışık geçirgenliğinin azalmasına, akuatik floranın fotosentez hızının azalmasına neden olurlar (Gürel, 2006). Çizelge 2.1.' de su kirliliği kontrol yönetmeliği ve atıksuların kanalizasyon şebekesine deşarjı yönetmeliğine göre tekstil atık sularının tipik özellikleri verilmiştir (Lau ve Ismail, 2007).

Çizelge 2. 1. Tekstil atık sularının tipik özellikleri

Kirlilik	Değer	AKŞDY*	Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
pH	2-10	6,5-10	6-9
Sıcaklık, °C	30-80	40	-
KOI,mg/L	50-5000	800	200-250
BOİ, mg/L	200-300	350	-
TAKM, mg/L	50-500	350	120-160
Toplam fosfor, mg/L	0.3-15	10	-
Toplam krom, mg/L	0.2-0.5	1-2	2-1
Renk	>300	-	280 Pt-Co renk birimi

*AKŞDY: Atıksuların Kanalizasyon Şebekesine Deşarjı Yönetmeliği

2.2. Tekstil Ve Tekstil Boyar Maddeleri

Tekstil atıksularının bileşimi, kullanılan boyanın çeşidine ve seçilen prosesin türüne göre değişir. Gelişen teknolojiyle birlikte kullanılan tekstil boyalarının özellikleri de değişmektedir. Örneğin son yıllarda geliştirilen yeni boyalarda daha az yardımcı kimyasal maddelerin kullanılması ile çevreye olan olumsuz etkilerin azaltılması boyarmaddenin renkliliği ve elyaf üzerine bağlanabilmesi proses seçiminde önemli rol oynar.

Bu proseslerde kullanılan boyarmaddeler aşağıda açıklandığı gibi sınıflandırılır. (Gür,2008).

1. Çözünürlük özelliklerine göre sınıflandırma
 - ✓ Suda çözünen boyarmaddeler
 - ✓ Suda çözünmeyen boyarmaddeler
 - ✓ Substratta çözünen boyarmaddeler
2. Kimyasal yapısına göre sınıflandırma
 - ✓ Azo boyarmaddeleri
 - ✓ Nitro ve nitrozo boyarmaddeleri
 - ✓ Polimetin boyarmaddeleri
 - ✓ Arilmetin boyarmaddeleri
3. Boyama özelliklerine göre sınıflandırma
 - ✓ Bazik (katyonik) Boyarmaddeler
 - ✓ Asit Boyarmaddeler

- ✓ Direkt Boyarmaddeler
- ✓ Reaktif Boyarmaddeler
- ✓ Sülfür Boyarmaddeler
- ✓ Küpe Boyarmaddeler
- ✓ Mordan Boyarmaddeler
- ✓ Metal-Kompleks Boyarmaddeler
- ✓ Pigment Boyarmaddeler
- ✓ Dispers Boyarmaddeler

2.2.1. Boyar Maddelerin Boyama Özelliklerine Göre Sınıflandırılması

Bu sınıflandırmada, boyama teknolojisinde boyar maddenin kimyasal yapısı ile değil onun hangi yöntemle elyafı boyadığına bakılır ve boyar maddenin sınıflandırılması boyama özelliklerine göre yapılır (Gökkuş, 2006)

a) Bazik (katyonik) boyarmaddeler

Baz halinde gıda maddelerinin, mumların ve ayakkabı cilalarının renklendirilmesinde kullanılırlar. Tekstil boyacılığında kullanılanlar klorür veya asetat tuzu şeklindedir. Bazik boyarmaddelerin en karakteristik özellikleri parlaklıkları ve renk şiddetleridir. Yün, ipek ve pamuk üzerindeki ışık ve yıkama haslıkları çok düşüktür. Bugün reaktif boyarmaddelerle pamuk üzerinde fevkalade parlak renkler elde edilebildiğinden, bazik boyarmaddeler pamuk boyacılığında önemini kaybetmiştir (Demirci, 2007).(a)

b) Asit boyarmaddeler

Molekülde bir yada birden çok sülfonil grubu veya karbonil asit grubu içerirler. Renkli bileşen boyarmadde anyonudur ve anyonik sınıfa girerler. Başlıca protein ve poliamid elyafın boyanmasına yararlar (Gökkuş, 2006).

c) Direkt boyarmaddeler

Direkt boyarmaddeler suda çözünen bileşikler olup, selülozik elyafı nötral veya alkali (bazen de zayıf asidik) ortamda, sodyum klorür veya Glauber tuzu ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) gibi bir elektrolit beraberliğinde, kaynama sıcaklığında boyarlar. Çözünürlük çoğu kez molekülde bulunan sülfon, bazen de karboksil grupları ile sağlanır. Bu gruplar sayesinde boyarmadde anyonik karakter kazanır. Boyama, genellikle bazik veya nötral ortamda yapıldığından boyarmadde anyonik durumdadır (Demirci, 2007)(b).

d) 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 (Gökkuş, 2006).

e) Reaktif boyarmaddeler

Elyaf üzerine kimyasal kovalent bağ ile bağlanan bu boyarmaddeler selülozik elyaf, yün, ipek, poliamid boyamada kullanılırlar (Gökkuş, 2006).

f) Küpe boyarmaddeler

Küpe boyarmaddeler moleküllerinde en az iki oksijen atomu içeren bileşiklerdir. İri, ince ve çok ince toz halinde bulunabilirler. Bunlar suda çözünmezler. Daha çok selülozik kısmen de protein elyafının boyanmasında kullanılır. Işığa, yıkamaya, sürtünmeye karşı dirençleri oldukça yüksektir (Gökkuş, 2006). Alkali ortamda bir indirgenle muamele edildiklerinde bu oksijenler, kolaylıkla fenolat şekline dönüşerek molekülün suda çözünmesini sağlarlar (Demirci, 2007).

g) Dispers boyarmaddeler

Amino ve hidroksil grupları içeren düşük molekül ağırlıklı bileşiklerdir. Polyester elyaf, yüksek kristalinite ve belirgin hidrofob özellik gösterdiğinden büyük moleküllü boyarmaddeler elyaf içerisine kolay nüfuz edemezler. Elyaf kimyaca aktif grup içermediği için boyarmadde anyon ve katyonlarını da bağlayamaz, polyesterin kullanılmasında en çok kullanılan boyarmaddeler dispers boyarmaddelerdir (Gökkuş, 2006).

h) Sülfür boyalar

Sülfür boyalar nitro ve amino grupları içeren amino bileşiklerin sülfür veya sodyum sülfid ile yüksek sıcaklıkta reaksiyonu sonucu elde edilir. Genellikle koyu mavi, siyah, kahverengi gibi koyu renkleri kullanılır (Gökkuş, 2006).

Çizelge 2.2'de tekstil endüstrisinde kullanılan boyar maddeler sınıflandırılarak özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.2. Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Boyaların Özellikleri (Gökkuş, 2006)

Boya Sınıfı	Tanımlaması	Tipik Uygulamaları
Asit Boyalar	Suda çözüneabilen anyonik bileşenlerdir	Yün, naylon
Bazık Boyalar	Suda çözüneabilen, zayıf asidik boyar maddelerdir ve oldukça parlak boyalardır.	Akrilik, bazı polyesterler
Direkt Boyalar	Suda çözüneabilen, anyonik bileşenler olup mordantsız selülozlere doğrudan uygulanabilir.	Pamuk, rayon ve diğer selülozlere
Dispers Boyalar	Suda çözünmeyen boyalardır.	Polyester, asetat ve diğer sentetikler
Reaktif Boyalar	Suda çözüneabilen, anyonik bileşenlerdir ve bu boyalar en geniş sınıf aralığına sahiptir.	Pamuk, diğer selülozikler Yün
Sülfür Boyalar	Sodyum sülfatın sülfür içeren organik bileşenleridir.	Pamuk, diğer selülozikler
Vat Boyalar	En eski boyalardır ve kimyasal yapıları oldukça karışıktır. Suda çözünmezler.	Pamuk, diğer selülozikler

2.3. Tekstil Endüstrisi Atık Sularının Özellikleri

Tekstil endüstrisi, insanların gıda temininden sonra en önemli ihtiyaçlarından biri olan giyeceklerin üretildiği sektördür. Tekstil, Türkiye'nin en önemli sektörlerinden biridir ve atık üretiminin en fazla olduğu sektörlerden önde gelenidir (Gönüllü 2004). Bu endüstri dalında çok çeşitli üretim prosesleri vardır. Bu nedenle birim atıksu miktarı, atıksuda bulunan kirletici tür ve konsantrasyonları farklılık göstermektedir (Ölmez vd.,2003). Çizelge 2.3. boyama atıksularının karakteristiklerini göstermektedir (Kocaer ve Alkan, 2002).

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 (Demir vd., 2000). Mesela Fenton prosesi uygulamasında optimum sıcaklık 30⁰ C olması beklenir (Gogate ve Pandit, 2003). 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).

Çizelge 2.3. Boyama Atıksularının Karakteristikleri(Başbuğ, 2008)

BOYA TÜRÜ	ELYAF ÇEŞİDİ	RENK AD MI	BOL, mg/1	TOK mg/1	AKM mg/1	ÇKM, mg/1	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

Tekstil endüstrisinde ürünlerin her kg'ı başına yaklaşık olarak 40-65 L atıksu meydana gelmektedir (Manu ve Chaudhari, 2002). Tekstil endüstrisinde gerek oluşum miktarı gerekse içerdiği kirleticiler bakımından önem taşıyan atıksuların büyük bir çoğunluğu, boyama işlemlerinden kaynaklanmaktadır. Boyama işlemleri sonucu oluşan atıksuların en karakteristik kirletici parametrelerinden biri renk olup, bu tür atıksularda çözünmüş ve kolloidal yapıda olabilen rengin başlıca kaynağı söz konusu işlemlerde kullanılan boyar maddelerdir (Ölmez vd., 2006).

Dünya çapında yılda $7 \cdot 10^5$ ton, yaklaşık 100.000 farklı ticari boya ve pigment üretilir (Sponza vd., 2000; Kaykıoğlu ve Debik, 2006; Gomez vd., 2007). Boyalar, anyonik (direkt, asit ve reaktif boyalar), katyonik (bazik boyalar) ve non-iyonik (dispers boyalar) olarak sınıflandırılabilir (Hameed vd., 2007). Tekstil liflerinin boyanmasında kullanılan boyarmaddeler Çizelge 2.2.' de görülmektedir (Kurtoglu ve Şenol, 2004).

Boyalar kimyasal yapılarına veya tekstil elyafa uygulanmalarına göre, yani boyama özelliklerine ve diğer renklendirme amaçlarına göre sınıflandırılabilir. Boyarmaddeler boyayabildikleri elyaf türüne göre de son yıllarda sınıflandırılabilirler. Kimyasal yapılarına göre en önemli boyarmaddeler içerdikleri nitrozo, nitro, monoazo, disazo, kinolin, azin, oksazin, antrakinin ve ftalosiyanın gibi gruplara göre değerlendirilmektedirler. Boyama özelliklerine göre ise Direkt, Küpe, Reaktif ve Dispers gibi başlıklar altında toplanabilmektedir.

Boyalar boyayabildikleri elyaf türüne göre de sınıflandırılabilirler. Bu tür sınıflamaya göre boyalar 3 başlık altında toplanabilir. Selüloz esaslı, protein esaslı ve sentetik esaslı elyaf boyamada kullanılan boyalar olmak üzere üç grupta sınıflandırılabilir (Akkurt vd., 2005).

2.4. Tekstil Endüstrisinde Boyama

Kumaş veya ipliğe gerekli renklerin verilmesi için bu proses uygulanır. Boyama genellikle sıcak boya çözeltilerinde uygulanır. Boyamayı izleyen proseslerde daima bazı boyar maddeler erimiş halde kalacak ve bunlar çıkış suyunda yer alacaktır. Bu proseste kullanılan ve ürüne karışmamış boyanın oranı % 40 seviyelerinde olacak kadar yüksek olabilir. Fakat bu oran proseste gerçekleştirilecek denemeler ve dikkatli uygulamalarla % 5 seviyelerine çekilebilir. Böylece hem maliyetten tasarruf sağlanır hem de çevresel etki azaltılabilir. Daha kolay olan boyaların bir kısmı arıtma çıkışları tarafından giderilebilir, ama diğerlerinin özellikle modern reaktif boya içerenlerin giderilmesi oldukça zor olabilir ve bunlar biyolojik arıtmadan sonra bile devam edip, alıcı su ortamına deşarjda renkli bir su çıkışıyla sonuçlanabilir. Ayrıca kükürt bazlı bileşen içeren boyalar, biyolojik arıtma prosesleri için problemlere sebep olabilirler ve çıkış suyunda koku oluşturlar. Yünler için kullanılan boyalar, özellikle krom gibi ağır metaller içerebilir. Çıkışlarda yüksek seviyelerde krom yeni kimyasal proses aracılığıyla azaltılabilir, ama birçok yün için kullanılan boyalarda hala problem bulunmaktadır ve bunların çıkış değerleri sorun oluşturmaktadır (Hararcı, 2005).

2.5. Boyar Madde İçeren Atıksuların Arıtma Yöntemleri

2.5.1. Fiziksel Arıtma

Tekstil sektörü atıksularının arıtımında kullanılacak metodun seçiminde arıtma tesisinde önde olması gereken prosesler bu kısımdan oluşmaktadır. Bu arıtma metodlarının temel esası atıksu içerisinde kirletici olarak nitelendirilen malzemelerin fiziksel yöntemlerle (süzme -bekletme - yüzdürme - ızgaradan geçirme vb.) atıksu içerisinde ayrılmasıdır.

2.5.2. Biyolojik Arıtma

Tekstil atıksuyu içerisinde bulunan boyar maddelerin çeşitliliği ve temel yapı taşları arasındaki kuvvetli bağlardan dolayı ilgili sektör atıksuyu arıtılmasında renk büyük bir problem oluşturmaktadır. Biyolojik arıtma olarak nitelendirdiğimiz kısım ise arıtma denildiğinde birçok sektörün atıksu arıtımında karşımıza çıkan en önemli arıtma kısmı ve yüksek verim anlamına gelmektedir. Bu atıksuyun bileşenlerinin de yüksek

evre dirençleri ise biyolojik arıtmada karşımıza aşılması g bir problem olarak çıkmaktadır.

Biyolojik arıtma sırasında, atıksuyun içinde bulunan askıdaki kolloidal veya erimiş organik maddeler, bakterilerce parçalanmakta veya besi maddesi olarak tkutilmekte ve çökelebilen biyolojik floklar ile, atıksu içinde kalan veya gaz olarak atmosfere uçan sabit inorganik maddelere dönüşmektedir. Biyolojik arıtma esas itibariyle, tabiatın, organik kirleticileri kendi kendine zaman içinde yok ettiği biofloklasyon ve mineralizasyon gibi parçalama proseslerinin kontrol edilir bir tesiste hızlandırılmasından ve daha verimli olarak gerçekleştirilmesinden başka bir şey değildir (Arık, 2005).

Genel olarak tekstil atıksularının arıtımında aktif çamur kullanılmakta olup, yakın bir zamana kadar tatmin edici boyutta çalışan bir biyolojik arıtma tesisi kurulamamış ve genel olarak aktif çamur sistemi uygulandığı için de, arıtmadan çıkan sular her zaman renkli olmuştur. Örneğin ICI bununla ilgili pek çok araştırma yapmış olmasına rağmen, özellikle tekstil atıksularının sürekli değişen bileşiminden dolayı bakteriyi canlı tutmak zorlaşmaktadır. Hali hazırdaki sistemler pratik olmaktan çok uzak olup, uygulanmalarında sorunlarla karşılaşılmaktadır. Eğer arazi şartları uygunsa aktif çamur sistemi, polimer kullanılarak flokülasyon - koagülasyon yöntemi ile kullanılabilir. Ancak bunun da doğal sonucu olarak ortaya çok fazla miktarda çamur çıkmaktadır. Ortaya çıkan bu çamurların giderimi de maliyeti artırmaktadır (Demirci, 2007).

2.5.3. Kimyasal Arıtma

Tekstil atıksuyu içerisinde bulunan, boyar maddeler gibi fiziksel ve biyolojik metotlarla parçalanması veya giderimi zor olan maddelerin, kimyasal metotlarla parçalanıp veya giderimi esasına göre çalışır. Atıksu içerisindeki kirletici maddeler, biyolojik ve fiziksel arıtma metotları ile istenen verimi gerçekleştirememekte doğaya, çevreye veya alıcı ortama daha zararsız hale getirilemedikleri zaman kimyasal yöntemlerle daha az zararlı hale getirilebilmektedir. Biyolojik ve Fiziksel arıtmanın dezavantajı ise ekstra kimyasal madde ihtiyacı, dozaj istasyonlarının işletme maliyeti ve oluşan çamur miktarıdır.

Koagülasyon - Flokülasyon; Bu yönteme pıhtılaştırma ve yumaklaştırmada denilmektedir, temel esası ise atıksu içerisinde bulunan ve giderilmesi istenen çözünmüş ve askıdaki katı maddelerin koaglant olarak adlandırılan kireç, magnezyum, demir

klorür ve demir sülfat vb. gibi kimyasalların ilavesi ile floklar haline getirilerek uzaklaştırılması işlemidir.

Nötralizasyon; Tekstil atıksuyunun asitli boyama suları yüzünden kuvvetli asidik özellik veya bazik yıkama/mercerizasyon suları yüzünden kuvvetli alkali özellik gösterebildiğinden atıksuyun pH'ının ayarlanması işlemi olarak karşımıza nötralizasyon ünitesi çıkmaktadır. Ancak son zamanlarda boyarmaddelerin yapılarında meydana gelen değişimler boyar maddelerin artık bu kimyasallarla uzaklaştırılmasını zorlaştırmaktadır (Hazel, 1995).

2.5.4. Adsorpsiyon

Adsorpsiyon ilk olarak Lowitz tarafından 1785 yılında gözlemlenmiş ve hemen ardından, şeker arıtımı sürecinde adsorbans olarak renk giderim prosesi kullanılmıştır. Adsorpsiyon işlemi için en yaygın olarak aktif karbon kullanılmaktadır. Aktif karbonun asidik, bazik ve disperse boyalar için uygun olduğu fakat direk boyalar için ise renk gideriminin zor olduğu belirtilmiştir (McKay vd., 1982).

Atıksu arıtımında kullanılan adsorpsiyon, klasik arıtma yöntemleriyle arıtılması güç olan; zehirlilik, koku ve renk kirliliği oluşturan 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.

Fiziksel adsorpsiyon prosesinde adsorplanmış molekülleri adsorbent yüzeyine bağlı tutan Van der Waals kuvvetidir ve tersinir bir olaydır (Göde, 2002). Adsorbent ve çözünen arasındaki çekim kuvvetleri moleküler olduğu zaman, çözücü ve çözünen arasındaki çekim kuvvetinden daha fazla olacağından, çözünen adsorbent yüzeyine adsorplanacaktır. Fiziksel adsorpsiyon prosesinde adsorplanmış tabaka birden fazla molekül kalınlığındadır.

Kimyasal adsorpsiyon prosesinde adsorbatlar, adsorbent yüzeyine kovalent bağla tutunurlar (Göde, 2002). Bu nedenle reaksiyon tek yönlüdür yani tersinmez yapıdadır. Adsorplanmış tabaka molekülleri tek tabaka kalınlığındadır (Başbuğ, 2008).

2.5.5. Kimyasal Oksidasyon ve Redüksiyon

Kimyasal oksidasyon prosesi kimyasal maddeler 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. Oksitlenme proseslerinde,

oksitleyiciler ile boyarmaddenin biyolojik olarak parçalanabilir hale dönüştürülmesi sağlanır (Gönder, 2004).

Kimyasal oksidasyon için en yaygın kullanılan oksidantlar(Gür, 2008);

- ✓ ozon
- ✓ klor
- ✓ hidrojenperoksit
- ✓ potasyumpermanganat

2.5.6. Membran Sistemleri

Membran kullanarak uygulanan ayırma teknikleri; mikrofiltasyon, ultrafiltasyon, ters ozmoz ve elektrodializ olarak 4'e ayrılmaktadır (Gökkuş, 2006).

Ultrafiltasyon ve ters osmoz prosesinde, çapraz akışlı filtasyon tekniği kullanılmaktadır. Basınçlı ortamda çalışan membranların içinde filtasyon gerçekleşmektedir. Uygun bir membran ile atıksu ve temiz su birbirinden ayrıldığında, temiz su tarafından safsızlık olan yöne doğru akış olmaktadır. Ozmotik basınç dengelenene kadar akış devam etmektedir. Ters yönde basınç uygulandığında akış yönü aksine çevrilirse, su molekülleri geri dönmeye başlarlar. Bir süre sonra basınç uygulanan yönde sadece konsantre kalır. Böylece basınç altında polimerik bir membran tarafından sıvının bileşenlerine ayrılması gerçekleşir (Gönder, 2004).

Yapılan çalışmalar, membran ile, çıkış suyunda düşük derişimde boyar madde içeren tekstil endüstrisi suyunun tesise geri kazandırılmasının mümkün olduğunu göstermektedir. Ancak yöntem, suyun yeniden kullanımı açısından önemli bir parametre olan çözünmüş katı madde içeriğini düşürmez (Gökkuş, 2006).

Bu yöntemle boyarmaddeler atıksudan ayrıldıktan sonra tekrar kullanımı mümkün değilse bu kısmın bertarafı sorun oluşturmaktadır. Yüksek işletme maliyeti ve tıkanma gibi zorluklarla karşılaşmaktadır (Gönder, 2004).

2.5.7. Ozonlama

Ozon normal sıcaklık ve basınçta gaz halindedir. Ozonun suda çözünürlüğü sıcaklığa, ozonun gaz halindeki kısmi basıncına ve pH'a bağlıdır. Ozon kararsız olup kendi kendine bozunma hızı, sıcaklık ve pH'a bağlıdır. Bozunma OH⁻ iyonu, O₃'ün radikal bozunma ürünleri, çözünen organik maddelerin bozunma ürünleri, alkali, geçiş metalleri, metal oksitler ve karbon gibi maddelerin varlığı ile katalizlenir. Pratik olarak doymuş hidrokarbonların ve halojenli alifatik maddeler gibi reaktif olmayan maddelerin tam parçalanması sadece O₃ ile mümkün olmaz. Ozon ses veya ultraviyole gibi harici

bir enerji kaynağı ile birlikte kullanıldığında refraktör (kararlı) maddelerin parçalanmasını sağlar (Öztürk vd., 2005).

Ozon uygulaması, yüksek yatırım maliyeti gerektiren ve muhafazası diğer proseslerin gereklerine nazaran ise çok zor olan bir uygulama olarak karşımıza çıkmaktadır. Bunun yanında uygulama maliyetinin yüksek olmasına bir katkıda tekstil sektöründe çok fazla su kullanımı olduğu düşünüldüğünde uygulanması yüksek maliyet getirdiği göz ardı edilmemesi gerekmektedir.

2.5.8. İleri Oksidasyon Metodları

Kullanılmış suyun ileri oksidasyon metotları ile arıtımı yapılması ve tekrar kullanılmasını sağlayan proseslerdir. İleri Oksidasyon işlemleri öncesinde arıtma isteyen ünitelerdir, fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtmalara ihtiyaç duymaktadır. İleri oksidasyon prosesleri ithal ve çok pahalı sistemler olduğundan çok yaygın değildir. Fakat son yıllar araştırmacılar tarafından çok tercih edilir hale gelmiştir.

Renk gideriminde birçok farklı sucul proses önerilmektedir, fiziksel adsorpsiyon, kimyasal koagülasyon, biyolojik anaerobik/aerobik arıtım ve kimyasal oksidasyon gibi fakat bunların arasında araştırmacılar tarafından son zamanlarda tekstil atıksuyunda renk giderimi için ileri oksidasyon prosesleri önerilmektedir (Sahinkaya vd., 2008)

Ultrases Prosesi:

Ultrases yayıldığı ortamda bir enerji yayan ses dalgaları üretir. Bu büyük enerji, ortam içerisinde çok hızlı bir şekilde gelişen ve patlayan/çöken gaz ve buhar kabarcıkları üretmektedir. Bu olaya " Akustik Kaviteasyon " denir (Petrier vd., 1998) ve 20 - 100 kHz frekanslarından kolayca oluşur (Portenlanger, 1999). Sıvı ortamda US uygulaması sırasında dört farklı mekanizma gelişir; hidromekanik parçalayıcı kuvvetler, ultrasonik şartlar altında üretilen OH, O, N° ve H radikallerinin oksitleyici etkisi, uçucu hidrofobik maddelerin kabarcıklar içinde termal parçalanması ve uygulama sırasında sıcaklığın artışı (Wang vd., 2005). Akustik kaviteasyon (Ultrases uygulaması) son yıllarda bir ileri oksidasyon prosesi olarak görülmektedir ve çevre mühendisliği alanı ve bazı bilim dallarında araştırma konusu olmaktadır. Ultrases uygulaması farklı su kirleticileri için araştırılmakta ve konu itibariyle yeni olmasından dolayı çevre mühendisliği açısından hali hazırda Ultrases'e dayalı bir arıtım prosesi mevcut değildir. Ultrases uygulaması Fenton prosesinin modifiye hali olarak da karşımıza çıkabilmektedir.

UV Oksidasyonu:

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). UV Oksidasyonu reaksiyonları ile H_2O_2 oluşur ve ortaya çıkan radikaller oksidasyonda etkin rol oynar, H_2O_2 UV ile önemli oksitleyiciliğe yükselir.

Fenton Prosesi:

Fenton metodu, 1984 yılında H.J.H Fenton tarafından keşfedilmiş metottur. Fe (II) iyonu ve hidrojen peroksit (H_2O_2) arasındaki katalitik oksidasyon reaksiyonunu ifade etmektedir. Zincirleme reaksiyonlar sonucu hidroksil radikallerinin ($\cdot OH$) meydana geldiğini belirtmiştir. Oluşan hidroksil radikalleri oldukça yüksek oksitleme gücüne sahiptirler. Hidrojen peroksit – Fe (II) iyonu sistemi Fenton reaktifi olarak bilinmektedir. Atıksu arıtma tekniklerinden Fenton prosesi, atıksuda oksitlenebilir maddelerin gideriminde kullanılmaktadır. Fenton reaksiyonu; KOİ azalmasını, toksisite ve renk giderimi gerçekleştirebilmektedir.

Fenton metodu uygulanarak yapılan arıtma işlemi şöyledir;

- * Başlangıçta asidik koşullar sağlanır. Bunun için uygun pH aralığı 2 - 4 arasındadır.
- * Önce Fe (II) tuzları, sonra hidrojen peroksit (H_2O_2) ilave edilerek, hidroksil radikalleri oluşur.
- * Oksidasyonla organik kimyasallar daha hafif moleküllere dönüşür.
- * Fe (II), Fe (III)'e yükseltgenir.
- * Reaksiyondan sonra, kireç, sodyum hidroksit ile nötralizasyon sağlanır. pH = 7 - 8 aralığına getirilir.
- * 0,5 - 1,5 saat bekleme süresi sonunda çökeltme gerçekleştirilir. Çökeltme sonucu Fenton çamuru oluşur (Özdemir vd., 2008).

Bu yöntem, oksidasyon ve koagülasyon proseslerinin avantajlarına sahip olmakla beraber, sudaki oksijen miktarını da arttırmaktadır. Fenton reaksiyonu iki prosese ayrılabilir. İlk proses düşük pH değerinde (pH=3) başlangıç reaksiyonudur.

İkinci proses daha yüksek pH değerinde (pH=7-8) gerçekleşen koagülasyondur. Fenton prosesi sırasında gerçekleşen reaksiyonlar aşağıdaki gibidir;

Fe (II) ve hidrojen peroksitin redoks reaksiyonları asidik koşullarda daha karardır. Organik maddelerin ve ferro iyonlarının var olduğu bir su ortamına hidrojen peroksit verildiğinde aşağıdaki kompleks reaksiyonlar meydana gelir (Walling ve Kato, 1971).

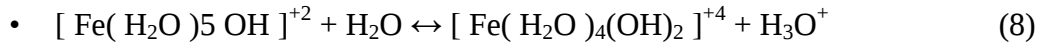
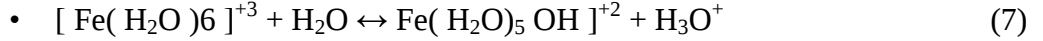


Meydana gelen hidroksil radikalleri RH gibi doymamış organik boya molekülünü parçalayarak boya molekülünün renk kaynağı yapılarını renksiz hale getirir .

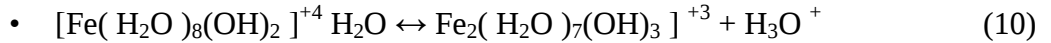
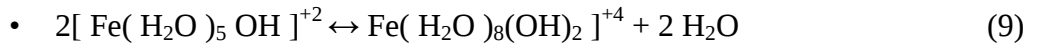


(6) eşitliğini takiben demir iyonları suya verildiği zaman hidroksil iyonları ile ferik hidroksil kompleksleri oluşturur ve koagülasyon reaksiyonları meydana gelir. Fenton oksidasyon sistemi atıksulardan KOİ ve rengin giderilmesinde oldukça etkili bir yöntemdir (Solmaz ve Birgül, 2007).

Koagülasyon Reaksiyonları



(7) ve (8) eşitliğinde oluşan kompleksler polimerize olurlar. Düşük pH değerlerinde koagülasyon meydana gelir.

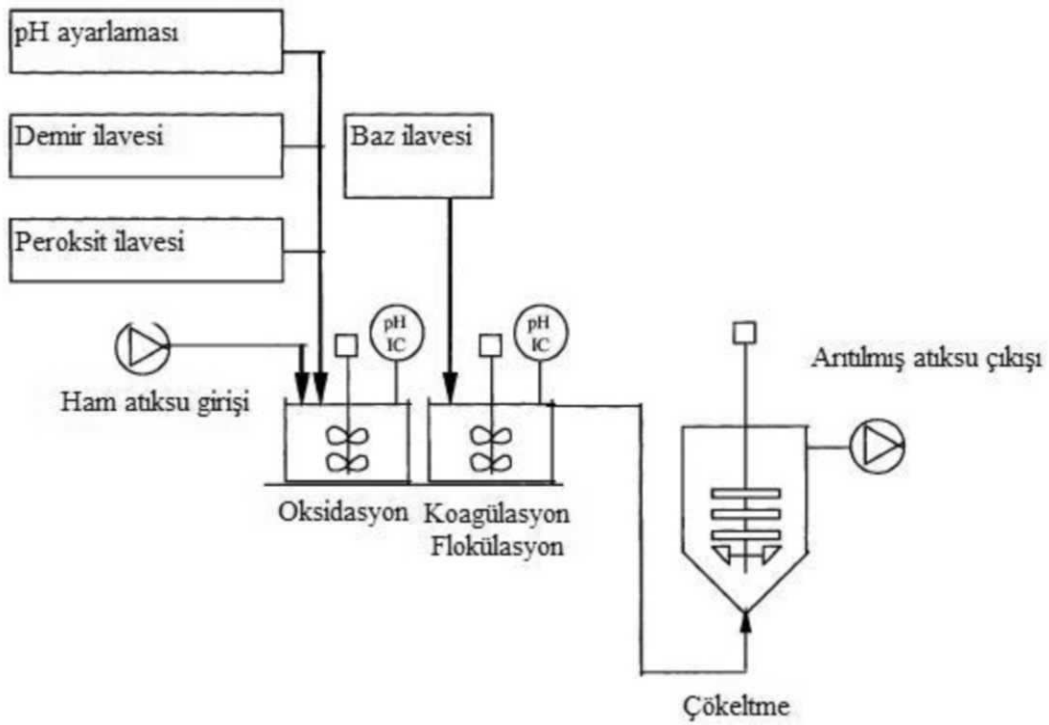


(Lin ve Lo, 1997)

Fenton reaksiyonu sadece KOİ, renk ve toksikliğin indirgenmesi açısından avantaj sağlamaktadır. Fakat "Fenton Çamuru" denilen çamurun oluşmasından dolayı problem oluşturmaktadır. Fenton çamuru arıtılan veya rengi giderilen atıksudan kolayca ayrıştırılmakta fakat adsorbe edilen organik maddeler nedeni ile serbestçe boşaltılamamaktadır. Aşağıdaki Çizelgede (Çizelge 2.6) Fenton metodunun avantajları ve dezavantajları, Şekil 2.1’de ise Fenton prosesinin uygulama şekli verilmiştir.

Çizelge 2.6. Fenton Prosesinin Avantajları ve Dezavantajları

Avantajları	Dezavantajları
Yatırım maliyeti düşüktür	İlave kimyasal ihtiyacı vardır
Sürekli proses	Köpük kontrolü zorluk çıkarabilir
Personel ihtiyacı çok azdır	Korozyona sebep olabilir
Reaksiyona aniden başlar	Özel emniyet gerektiren durumlar olabilir
Düşük hidrolik bekleme süresi	Oluşan çamurun bertaraf maliyeti
Daha az oda ve yer gereksinimi	



Şekil 2.1. Fenton Prosesinin Şematize Edilmiş Hali (Gogate ve Pandit, 2004)

2.5.9. Fenton Prosesine Etki Eden Faktörler

a) Demir Sülfat Miktarının Etkisi

Demir Sülfat dozunun artması veya azalması renk giderme veriminde etkilidir. Daha yüksek dozaj, daha iyi etki demektir. Demir Sülfat dozunun artması, redoks reaksiyonunun tamamlanmasına ve koagülasyona sebep olur (Lin ve Lo, 1997; Kwon vd., 1999; Benitez vd., 2001). Ortamdaki demir konsantrasyonu arttıkça reaksiyon hızı artmaktadır. Ancak öyle bir konsantrasyona ulaşır ki bundan sonra ilave edilen demir iyonu verimi artırıcı etkide bulunamaz (Bali vd., 2003).

b) Hidrojen Peroksit Miktarının 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. Denge miktarına ek olarak hidrojen peroksitin suya eklenmesi, yüksek KOİ demektir ve kirliliğin artması demektir (Lin ve Peng, 1995; Lin ve Lo, 1997; Kwon vd., 1999, Lin vd., 1999).

c) pH Etkisi

Tekstil atıksuyu arıtımında pH, Fenton prosesi için çok önemli bir parametredir. Boyanın oksidasyon mekanizmasına direk etkisi vardır. Çünkü çözeltinin pH'ındaki değişim, Fe^{2+} iyonlarının derişiminde de değişikliğe neden olmakta ve oksidasyondan sorumlu HO' radikallerinin oluşum hızını sınırlamaktadır.

pH, 3 değerinden daha düşük olduğunda giderim en iyi şekilde gerçekleşir. Çünkü redoks sistemi ve renk giderimi asidik şartlar altında daha iyidir. Asidik pH'ta Fe^{2+} ve H_2O_2 daha kararlıdır. Buna karşılık Fe^{2+} iyonları, pH 3'ten daha yüksek olduğu durumlarda kararlılığını kaybetmekte ve bu iyonlar kolayca Fe^{3+} iyonlarına dönüşerek $Fe(OH)_3$ biçiminde çökmeye meyilli kompleksler oluşturmaktadırlar (Samar vd., 2010).

Bunun yanında, hidrojen peroksit bazik ortamda kararsızdır, ortamda oksijen bulunduğunda parçalanabilir ve oksidasyon yeteneğini kaybedebilir. Bazik şartlarda hidrojen peroksit ve demir iyonlarının etkili bir redoks sistemi oluşturması zor olur ve renk gideriminde daha az etkili olurlar (Gönder, 2004).

d) Sıcaklığın Etkisi

Yüksek sıcaklıkta renk giderme düşük sıcaklıktakinden daha iyi gerçekleşmektedir. Sıcaklık hidrojen peroksitin dönüşüm süresinde etkilidir. Reaksiyonda sıcaklık arttıkça reaksiyon süresi azalır. Sıcaklık artışı hız sabitlerinin artmasına ve buna karşılık gelen yarı ömürlerin de azalmasına neden olur. Eğer reaksiyon sıcaklığı 40 °C ötesinde yükselmesi bekleniyorsa ekzotermik olacağından soğutma gerekecektir. Bu yüzden 40 °C altındaki bir sıcaklık iyi bir seçimdir (Neshciwat ve Swanson, 2000). Fenton uygulaması için optimum sıcaklık aralığı 20 - 40 °C'dir (Maletzky vd.,1998).

e) Demir İyonunun Türünün Etkisi

Ortamda reaksiyon için yeteri kadar organik madde ve H_2O_2 bulunması durumunda katalitik dönüşüm zinciri derhal başlar. Reaksiyonları katalizlemek için Fe^{+2} veya Fe^{+3} tuzlarının olması bu durumda önem arz etmez. Ancak düşük hidrojen peroksit

konsantrasyonlarında (örneğin 10-25 mg/L H₂O₂ değerinden küçük) Fe⁺² 'nin daha başarılı olduğu gözlemlenmiştir (Mahiroğlu, 2006).

f) *Reaksiyon Zamanının Etkisi*

Reaksiyon zamanı atıksudaki kirlilik yükü ve organik madde yapısına bağlı olarak değişebilir. Reaksiyonun tamamlandığını belirlemek zordur. Genelde reaksiyonun tamamlanabilmesi için, düşük organik içerikli atıksularda 1 saatin altında başarı sağlanırken, çok yüksek organik içerikli atıksularda 10-24 saat gibi yüksek süreler beklenebilmektedir (Duman, 2006; Montaser vd., 2001).

2.6. Literatürde Fenton Prosesi İle Yapılmış Çalışma Örnekleri

Tekstil boyama endüstrilerinden deşarj edilen atıksular, toplam askıda katı, çözülmüş katılar, yüksek KOİ, sıcaklık, asidite, alkalinite ve diğer çözülebilir maddeler ihtiva ettiklerinden dolayı önemli kirleticilerdir (Demirci, 2007). Kirleticilerin birçoğu, renk hariç, fiziksel, kimyasal yada biyolojik yöntemlerle arıtılabilirler. Dolayısıyla, tekstil atıksularında boyama prosesi sırasında boyaların oluşturduğu renkli atıksuların arıtılması daha fazla çaba ve çalışma gerektirmektedir.

Fongsatitkul vd., 2004; ardışık kesikli reaktör kullanılarak Fenton proses ile tekstil endüstrisi atıksularından renk giderimi yapmışlardır. Çalışmada deneyler; yalnız biyolojik arıtım, biyolojik arıtmadan önce kimyasal oksidasyon ve biyolojik arıtmayı takip eden kimyasal oksidasyon olarak üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Her iki birleşik arıtım sisteminde; yalnız biyolojik arıtmaya nazaran renk giderimi daha başarılı olduğu kanısına varmışlardır.

Kocaer ve Alkan (2002), boyalı tekstil atıksuları için kimyasal, fiziksel ve biyolojik arıtım alternatiflerini incelemişlerdir. Fiziksel yöntemler içinde yaygın şekilde kullanılan adsorpsiyon yönteminde aktif karbon kullanımı arıtım verimliliği açısından etkili olurken, malzemenin pahalı oluşu ve rejenerasyon ihtiyacının dezavantaj oluşturduğunu açıklamışlardır. Bu durumun membran prosesler içinde geçerli olduğunu ve iyon değiştiriciler içinde en büyük dezavantajın yöntemin maliyeti olduğunu belirtmişlerdir. Kimyasal çöktürme yönteminde de kullanılan kimyasalların maliyeti ve oluşan çamurun büyük problem teşkil ettiğini ve oksidasyon yöntemlerinin uygulanmasını sınırlayan faktörün ise toksik yan ürünler oluşma potansiyeli olduğunu söylemişlerdir.

Malik and Saha, 2003; direkt boyalardan Blue 2B (B54) ve Red 12B (R31)'in sulu çözeltilerinin Fenton reaktifi kullanılarak parçalanması üzerine çalışmışlardır. Deneysel sonuçlara göre pH=3 için başlangıç derişimi [Fe⁺²]:[H₂O₂]:[boya] oranı

1:32.9:2.4 ve 1:16.5:1.8 (mM), olduğuunda B54 ve R31 boya larının oksidasyonu çok etkilidir. Başlangıç oranına göre bozunma 30 dk'lık reaksiyon zamanında % 97 ve KOİ giderimi 60 dk 'lık zamanda % 70 olmuştur.

Szpyrkowicz vd., 2001; dispers boya ların parçalanmasında kullanılan ozonlu kimyasal oksidasyon ve Fenton prosesinden elde edilen sonuçları, elektrokimyasal oksidasyondan sağlanan verilerle kıyaslamışlardır. Hipoklorit oksidasyonu % 35'lik renk giderim verimi ile tatmin etmezken, ozonlama % 90'lık bir renk giderimi sağlamıştır. İdeal koşullar pH=3 ve H₂O₂ ve Fe₂SO₄ dozajları 600 ve 550 mg dm⁻³ iken en iyi arıtım sonuçlarını Fenton proses vermiştir.

Ashraf vd., 2006; azo boya olan Metil Red'in, Barbusinski K., Acid Red 18 azo boyarmaddesinin, Samar vd., 2010, Methyl Violet 6B boyasının ve Hanay ve Hasar, 2007; Malatya İli'ndeki bir tekstil fabrikasının çıkış suyundan alınan atıksuyun Fenton (H₂O₂ / Fe⁺²) sistemi ile bozunmasında sistemin yüksek renk giderimi verdiği görülmüştür.

Ramirez vd., 2005; azo boya olan Orange II'nin Fenton reaktifi kullanılarak parçalanmasını incelemişler; boya derişimi 0,3mM ve pH=3 için etkileyen parametreler H₂O₂ derişimi ve Fe⁺² :H₂O₂ oranı olarak belirlemişlerdir. Optimum koşullar altında renk ve TOC giderimi sırasıyla % 99,7 ve % 70,7 şeklindedir.

Lucas and Peres, 2006; Reaktif Black 5 (RB5) boyasının sulu çözeltisinin Fenton ve foto-Fenton prosesi ile giderimini incelemişlerdir. En uygun işletme koşulları pH, H₂O₂ ve Fe⁺² dozajı, RB5 derişimi ve ideal [Fe⁺²]/[H₂O₂]/[RB5] oranı diğer ileri oksidasyon proseslerine göre en iyi sonuç ve düşük maliyet için belirlenmiştir. Fenton ve foto Fenton süreçlerinin RB5 boyasını giderme verimleri sırasıyla % 97,5 ve % 98,1 gibi küçük bir farka sahipken; TOK giderimi için benzer değildir ve sırasıyla % 26.6 ve % 46.4 giderim verimleri elde edilmiştir.

Liu vd., 2007; yaptıkları çalışmada, direkt (Everdirect supra turquoise blue FBL),asidik (Isolan orange S-RL) ve vat (Indanthrene red FBB) boya ların bozunması ve renksizleştirilmesi için Fenton ve UV/Fenton sistemlerini kullanmışlardır. Çözeltinin pH'ı, Fe⁺² ve H₂O₂ dozajlarının etkilerini görmek için jar testiyle çalışılmıştır. Fenton prosesin bu üç boya gideriminde etkili ve FBB ve FBL içinde toplam organik karbon (TOK) gideriminde etkili olduğu görülmüştür. UV/Fenton süreci ise, Fenton prosesine kıyasla FBB ve FBL için arıtma veriminde küçük bir artış göstermiştir. S-RL için, UV ışı nımı ile % TOK giderimi artış göstermiştir.

Bandala vd., 2008; azo boya bazlı benzidin içeren yapay ve gerçek tekstil atıksuların, Modirshahia vd., 2010; azo boya olan C.I. Acid Yellow 23'ün, Muruganandham and Swaminathan, 2004; reaktif azo boya olan Reaktif Orange 4 (RO4)'ün Fenton ve foto Fenton ile arıtılması üzerine yaptıkları çalışmalarda başlangıç boya derişimi, pH, uygulanan Fe^{+2} ve H_2O_2 dozu, UV ışığının gücü incelenerek bu koşullar altında foto Fenton prosesinin, Fenton prosesinden daha etkili olduğunu belirlemişlerdir.

Perez vd., 2002; , yaptıkları çalışmada tekstil endüstrisi atıksularının arıtımı için eş zamanlı kullanılan Fenton Reaktifi ve ışınlamayı incelemişlerdir. Test edilen deneysel koşullar; Fenton, Fenton benzeri ve foto Fenton reaksiyonlarının eş zamanlı oluşumunu sağlamış, bu üç sistemin birleştirilmesi tekstil atıksularının arıtımı için güçlü bir etki oluşturmuştur.

Bu çalışma da, son yıllarda ileri oksidasyon prosesleri olarak bilinen, temelinde hayli aktif olan ve azo boyalar gibi organik bileşikleri, seçici olmadan oksitleme kapasitesine sahip hidroksil radikali oluşturan Fenton prosesinin, boya giderimindeki performansı belirlenmiştir. Fenton prosesinin renk analizleri spektrofotometrik yöntemle gerçekleştirilmiştir.

3. MATERYAL METOD

3.1. Numune ve Kullanılan Malzeme

Tekstil sektörü atıksuyundaki renk giderim çalışmasında kullanılan boya çeşidi reaktif grubundan olan Reaktif Blue 114 (RB 114) isimli boyadır. Azo boyası olan RB114 Denizli’de faaliyet göstermekte olan Küçüker Tekstil Sanayi A.Ş.’den temin edilmiştir. Ticari olarak önemli olan ve genellikle tekstil sanayinde doğal lifler/kumaş boyamada kullanılan RB114 bu çalışma için model kirletici olarak seçilmiştir. Literatüre ve teknik raporlara bakıldığında, tekstil sanayi boya konsantrasyonu 10 ila 200 mg/L arasında değişmektedir (Alaton vd., 2008; O’Neill vd., 1999). Aynı zamanda boya atıksuyu arıtımının artan boya konsantrasyonu ile zorlaştığı çok iyi bilinmektedir. Bu nedenle deneysel çalışmalarımızda 60 mg/L’lik RB114 konsantrasyonu kullanılmıştır.

Spektrofotometre: Dr Lange, Cadas 200 marka UV-Visible spektrofotometre kullanılmıştır.

Multi Parametre: WTW multi 410i marka multi prametre (pH, ORP ve Sıcaklık ölçümlerinde kullanıldı)

Hassas Terazi: Sartorius marka TE 214 S model hassas terazi kullanılmıştır.

Isıtmalı Çalkalayıcı: Tepkime süresi ve kinetik çalışmaları için bir adet ısıtmalı çalkalayıcı (ZHWHY-200B, ZHICHENG Analytical Co., Ltd, Çin) kullanıldı. Cihazda 15 adet erlen haznesi bulunmakta olup karıştırma hızı, süresi ve sıcaklık parametreleri dijital olarak ayarlanabilmektedir.

Saf su Cihazı : Simsek Laborteknik marka SS 200 modelinde olan saf su cihazı laboratuvar çalışmalarında kullanılmıştır.

3.2. Numune ve Çözeltilerin Hazırlanması

Çalışma kapsamında laboratuvarında kullanılan bütün numune ve çözeltiler aşağıda anlatılmıştır;

RB114 : 60 mg/L lik stok çözelti hazırlamak için RB114 boyar maddesinden 0,3 gr alınarak 5 L saf suda çözüldü.

6 N H₂SO₄ Çözeltisi: Yoğunluğu 1,84 gr/cm³ %98 lik derişik merc asitten 42 mL çekilerek içinde bir miktar safsu bulunan 250 mL’lik balon jöjeye eklenmiş ve saf su ile işaret çizgisine kadar tamamlanmıştır.

0,1 N H₂SO₄ Çözeltisi: Yoğunluğu 1,84 gr/cm³ %98 lik derişik merc asitten 0.7 mL çekilerek 250 mL saf su eklenerek tamamlanarak hazırlanmıştır.

6 N NaOH Çözeltisi: 60 g NaOH hassas terazide tartularak 250 mL balon jodede çözülerek hazırlanmıştır.

0,1 N NaOH Çözeltisi: 1 g NaOH hassas terazide tartularak 250 mL balon jodede çözülerek hazırlanmıştır.

H₂O₂ Çözeltisi: 1.26 mL yoğunluğu 1,11 gr/ml %30' luk(Merc) derişik H₂O₂, 50 mL'lik balon jojeye eklenerek saf su ile tamamlanır.

3.3. Analiz Metodları

3.3.1. Deneysel Prosedür

Tüm testler kapasitesi 250 ml olan cam kapların içersine tepkime çözeltileri konulmak sureti ile 30 dk karıştırılarak ve 30 dk çökelmeye bırakılarak yapıldı. Sıcaklık bir termostat ile kontrol edildi. Stok RB114 solüsyonu ve demir sülfat gerekli miktarda reaktör içersine döküldü ve daha sonra 200 ml deiyonize su ile seyreltildi. Her bir çözeltinin pH'sı 0.1 mol/L NaOH ya da 0.1 mol/L H₂SO₄ ilave edilerek istenen değere ayarlandı. Reaksiyon pH ayarlandı sonra reaktöre, hidrojen peroksit, farklı miktarlarda ilave edilerek başlatıldı. Başlangıç saati H₂O₂ çözeltisi eklendiğinde reaksiyon süresini ölçmek amacıyla kaydedildi. Numuneler periyodik olarak bir pipet kullanılarak reaktörden çıkarıldı ve reaksiyon çözeltilerinin absorbans ölçümleri deney hatalarını önlemek amacıyla hemen yapıldı (Sun vd., 2009).

3.3.2. Analiz

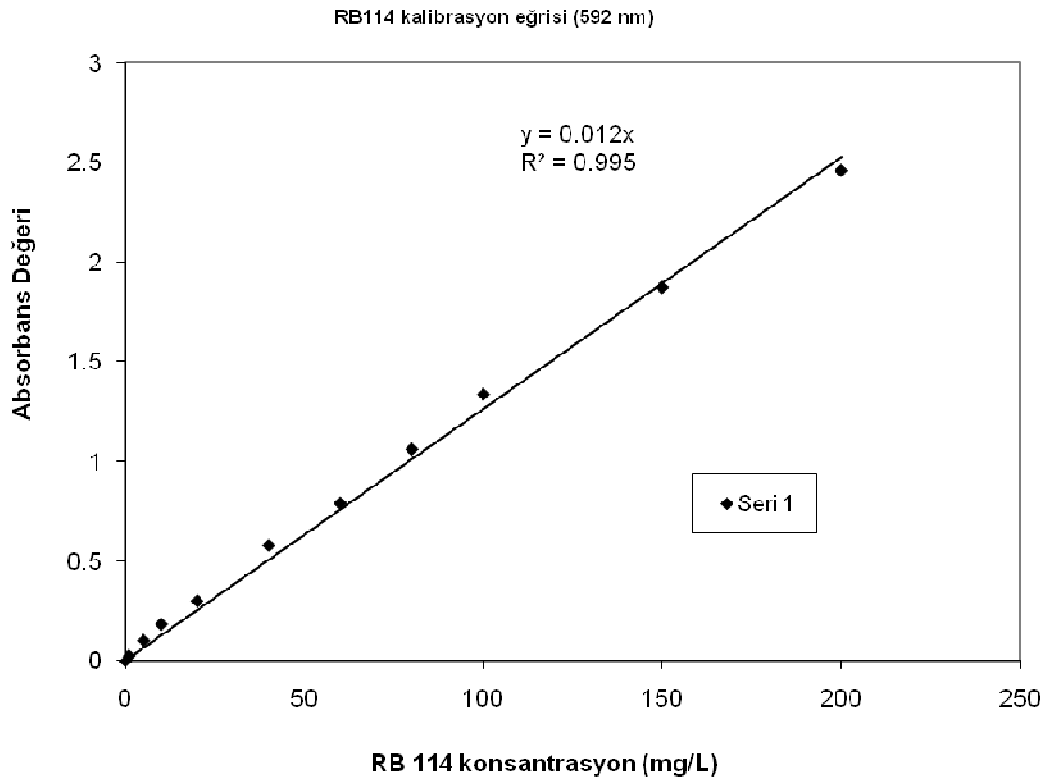
RB114 Renk ölçümü bir UV / Vis spektrofotometre kullanılarak 200-800 nm dalga boyları kaydedildi (Dr Lange, Cadas 200, Germany). Örnekler santifrüjde 5 dk. İçin 7000 rpm de santifrüj edildi (Hettich EBA III model) ve süpernatantların absorbans değerleri ölçüldü. RB114 maksimum absorbansı 592 nm dalga boylarında (λ_{max}) elde edilmiştir. 592 nm dalga boyu renk ölçümleri için kullanılmıştır. ORP değerleri reaksiyon ortamının potansiyel oksidasyonunun belirlenmesi için önce (610 mV) ve sonra NaOH eklenerek (-28mV) analiz edildi. Negatif ORP değerleri NaOH ilavesi ile kalıntı H₂O₂ olmadığını gösterdi. PH, sıcaklık ve çözeltinin iletkenliği çeşitli elektrotlar (Multi 340i, WTW, Germany) içeren bir dijital iyon analizör ile ölçüldü.

4. DENEY SONUÇLARI

Yapılan bu çalışma kapsamında Fenton uygulamasının tekstil endüstrisi atık suyundaki renk giderimi incelenmesini kapsamaktadır.

Çizelge 4.1. RB114' ün Kalibrasyon Verileri

RB114 Kons. (mg/L)	0	1	5	10	20	40	60	80	100	150	200
Abs (592 nm)	0	0,026	0,104	0,186	0,302	0,581	0,792	1,063	1,338	1,874	2,459



Şekil 4.1. RB114' ün Kalibrasyon Eğrisi



Şekil 4.2. Laboratuar Çalışmalarından Önce Sentetik Atıksuyun Görüntüsü.



Şekil 4.3. Laboratuar Çalışmaları Sonrası Numunelerin Görüntüleri

4.1. Sentetik Atık Su

Tekstil endüstrisi atıksularının Fenton prosesi ile arıtılabilirliği üzerine yapılmış olan bu çalışmada laboratuvar şartlarında hazırlanmış olan sentetik atıksu kullanılmıştır.

4.2. Optimizasyon Süresi

Bu çalışma kapsamında Fenton çalışması yapılmıştır. Literatürde ki çalışmalar dikkate alınarak Fenton prosesi ile RB114 tekstil boyası için ayrı ayrı değişkenlerin optimizasyon değerlendirilmesi yapılmıştır. Ön çalışma olarak da adlandırabileceğimiz optimizasyon aşaması atıksuyun diğer değişkenlerin sabit tutularak 30 dk karıştırmaya tabi tutularak sonrasında 30 dakika çökmeye bırakılmıştır. Optimizasyon çalışması yapılan parametreler ise;

pH Optimizasyonu: Literatür taramasının neticesinde en uygun Fenton Prosesi için pH aralığı 2 – 3 – 4 – 5 ve 6 arasında olduğu tespit edilmiş ve bu aralıkta pH çalışması yapılmıştır (Sahinkaya vd., 2008)

Fe⁺² Optimizasyonu: Diğer değişkenler sabit tutularak 25 - 250 mg/L arasında bir optimizasyon çalışması uygulanmış ve çıkış suyunda giderim verimi kıyaslanarak en uygun değer tespit edilmiştir.

H₂O₂ Optimizasyonu: Önceki asamalarda belirlenen değişkenler ışığında H₂O₂'nin 100 – 2000 mg/L aralığında 6 adet numune hazırlanarak prosesin uygulanması neticesinde optimizasyon çalışması verim kıyaslaması ile tespit edilmiştir.

Sıcaklık Optimizasyonu: Önceki belirlenen değişkenlerin ışığında sıcaklık 10 – 50 °C aralığında 5 adet numune hazırlanarak bir optimizasyon çalışması uygulanmış ve çıkış suyunda giderim verimi kıyaslanarak en uygun değer tespit edilmiştir.

Zaman Optimizasyonu: Literatür taraması sonucunda en uygun olan 30 – 180 dk. zaman aralıklarında önceki belirlenen değişkenlerin ışığında bir optimizasyon çalışması uygulanarak en uygun zaman tespit edilmiştir.

Yukarıdaki optimizasyon çalışmaları ile Fenton, prosesinin atık su içerisindeki oksitlenebilir formda bulunan materyallerin gideriminin en uygun dozları tespit edilmiştir. Laboratuvar çalışması sırasında sapma ve girişimler olmaması için gereken önem ve titizlik gösterilmiştir. Belirlenen optimizasyon dozları için kinetik çalışma yapılmış buda aşağıda anlatılmaktadır.

Bir veya daha fazla fiziksel, kimyasal yada biyolojik reaksiyonun gerçekleştirildiği, atmosfere açık veya kapalı tanklara reaktör denir. Su, atıksu, atık gaz gibi arıtılacak olan akışkanın fiziksel, kimyasal veya biyolojik olarak değişime uğraması, amaca uygun ortam kompozisyonunun ve şartlarının sağlanması ile

gerçekleşebilir. Bunun için uygulanacak olan temel işlemin doğasının, uygulama koşullarının ve ilgili reaktör sisteminin çalışma prensiplerinin iyi bilinmesi gereklidir.

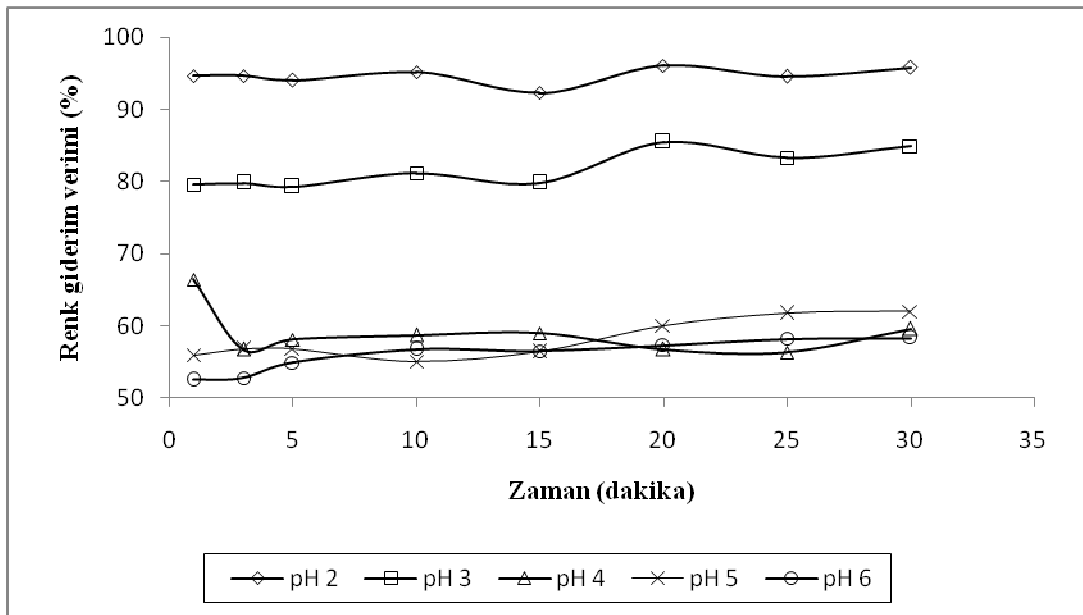
4.2.1. pH Optimizasyonu İçin Yapılan Çalışma

Laboratuar çalışmasında 6 adet 250 ml sentetik tekstil endüstrisi atıksuyu hazırlanmıştır. Fenton prosesinde pH optimizasyonu için bazı çalışmalar incelenmiştir.

Fenton prosesi için pH optimizasyonu sıcaklık, H_2O_2 , Fe^{+2} , karıştırma hızı ve zaman gibi değişkenler sabit tutularak pH 2-6 aralığında yapılmıştır. En iyi renk giderim verimi pH 2’ de elde edilmiş (Çizelge 4.2 ve Şekil 4.4), ancak pH 3’de elde edilen verimlerin de oldukça yüksek olması ve maliyet göz önünde bulundurularak optimum pH olarak pH 3 seçilmiştir.

Çizelge 4.2. pH Optimizasyon Değerleri

RB114’ün pH’ ya Bağlı Renk Giderim Verimleri (%)					
Süre (dk.)	pH=2	pH=3	pH=4	pH=5	pH=6
1	94.7	79.6	66.4	55.9	52.5
3	94.7	79.8	56.7	56.7	52.7
5	94	79.3	58.1	56.8	54.9
10	95.2	81.2	58.7	55	56.7
15	92.3	79.8	59	56.4	56.5
20	96.1	85.5	56.7	60	57.3
25	94.6	83.3	56.3	61.7	58.2
30	95.8	84.9	59.6	62	58.3



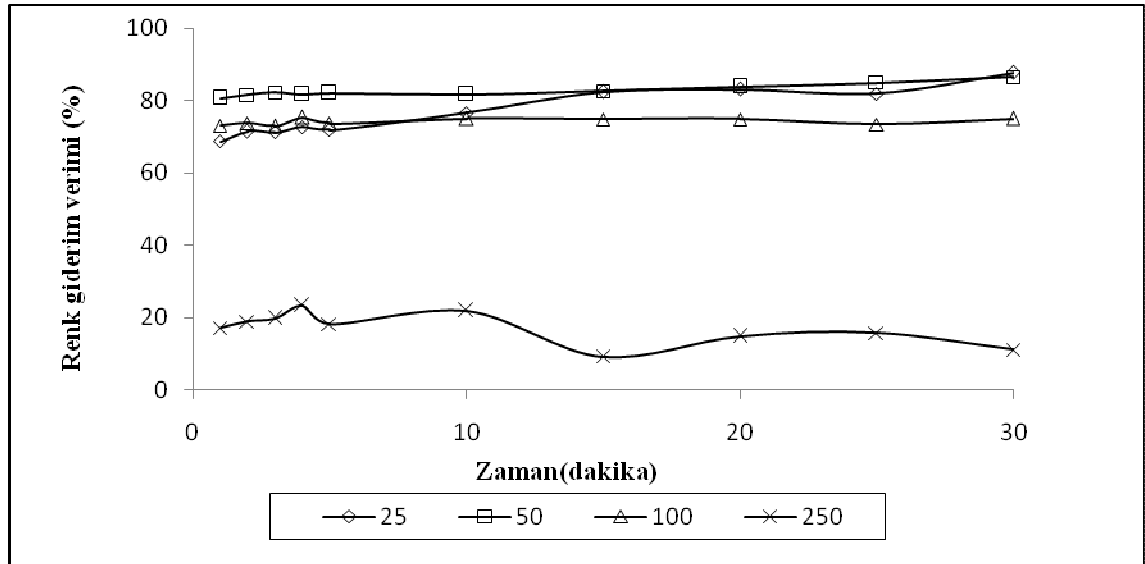
Şekil 4.4. pH Miktarına Bağlı RB114 Boyası İçin Renk Giderim Verimi (Sabit tutulan değerler: 500 mg/L H_2O_2 , 50 mg/L $FeSO_4$, 293 K sıcaklık)

4.2.2. Fe⁺² Optimizasyonu İçin Yapılan Çalışmalar

Bu çalışma kapsamında 25 – 50 – 100 – 250 ve 500 mg/L aralığında dozlama ile optimizasyon gerçekleştirilmiştir. Değişik zaman aralıklarında Fe (II) konsantrasyonuna bağlı olarak elde edilen verimler Çizelge 4.3 ve Şekil 4.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. RB114 Boyasına Ait Fe⁺² Dozuna Bağlı Giderim Verileri
RB114’ün Fe⁺² ye Bağlı Renk Giderim Verimleri (%)

Süre (dk.)	25 mg/L	50 mg/L	100 mg/L	250 mg/L
1	68.7	80.7	73	17.1
2	71.5	81.6	73.7	18.9
3	71.2	82.2	72.9	19.7
4	72.7	81.8	75.3	23.2
5	71.9	82.1	73.7	18.1
10	76.6	81.8	75	21.8
15	82.5	82.7	74.8	9.2
20	83.2	83.8	74.9	14.8
25	82	85	73.5	15.7
30	87.8	86.6	75	11.1



Şekil 4.5. RB114 Boyasına Ait Fe⁺² Dozuna Bağlı Giderim Verim Grafiği (Sabit tutulan değerler: 500 mg/L H₂O₂, pH 3, 293 K sıcaklık)

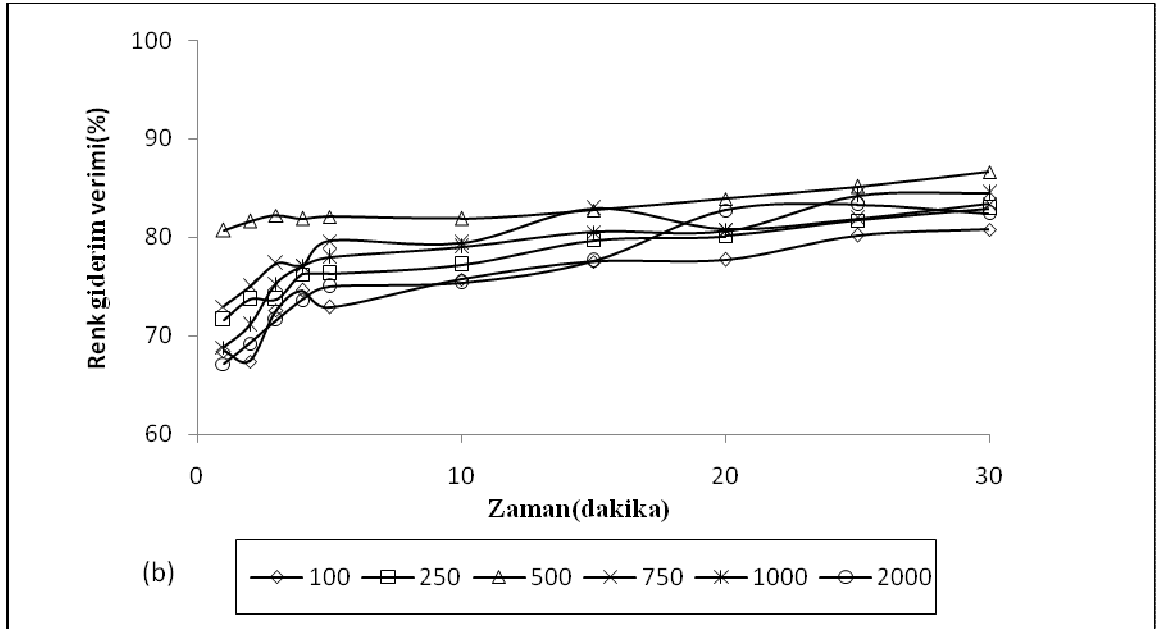
Şekil 4.5’deki RB 114 için yapılmış olan Fe⁺² miktarına karşılık çalışmada, Fenton uygulamasında 50 mg/L’de % 86,6 renk giderim verimi bulunmuştur. Bu verimi sağlayan Fe⁺² miktarı gelecek çalışmalarda da kullanılacaktır.

4.2.3. H₂O₂ Optimizasyonu İçin Yapılan Çalışmalar

Fenton prosesinde önemli bir yere sahip olan hidrojen peroksit (H₂O₂) optimizasyonunda Fenton, çalışmada 100 – 250 – 500 – 750 – 1000 - 2000 mg/L H₂O₂ dozlanarak en uygun giderim verimi elde edilmesi için çalışmalar yapılmıştır.

Çizelge 4.4. RB 114 Boyasına Ait H₂O₂ Gidrim Verileri

RB114'ün H ₂ O ₂ ' ye Bağlı Renk Giderim Verimleri (%)						
Süre (dk.)	100 mg/L	250 mg/L	500 mg/L	750 mg/L	1000 mg/L	2000 mg/L
1	68.4	71.6	80.7	73	68.8	67.1
2	67.4	73.7	81.6	75	71.1	69.2
3	72.6	73.7	82.2	77.3	75.3	71.6
4	74.6	76.2	81.9	77.1	77.1	73.6
5	72.9	76.3	82.1	79.6	78	75
10	75.7	77.2	81.9	79.4	79	75.4
15	77.5	79.7	82.7	82.9	80.5	77.6
20	77.7	80.1	83.9	80.8	80.6	82.7
25	80.2	81.7	85.1	81.9	84.2	83.3
30	80.8	82.9	86.6	83.4	84.5	82.4



Şekil 4.6. RB114 Boyasına Ait H₂O₂ Dozuna Bağlı Giderim Verim Grafiği (Sabit tutulan değerler: pH 3, 50 mg/L FeSO₄, 293 K sıcaklık)

Çizelge 4.4 den elde edilen grafik olan Şekil 4.6'de görüldüğü üzere RB 114 için yapılan Fenton oksidasyonu çalışmasında maksimum giderim verimi 30 dakika reaksiyon süresinde ve H₂O₂ konsantrasyonu 500 mg/L iken % 87 olarak elde edilmiştir. H₂O₂ konsantrasyonu 500 mg/L'nin üzerine çıktığında giderim veriminde

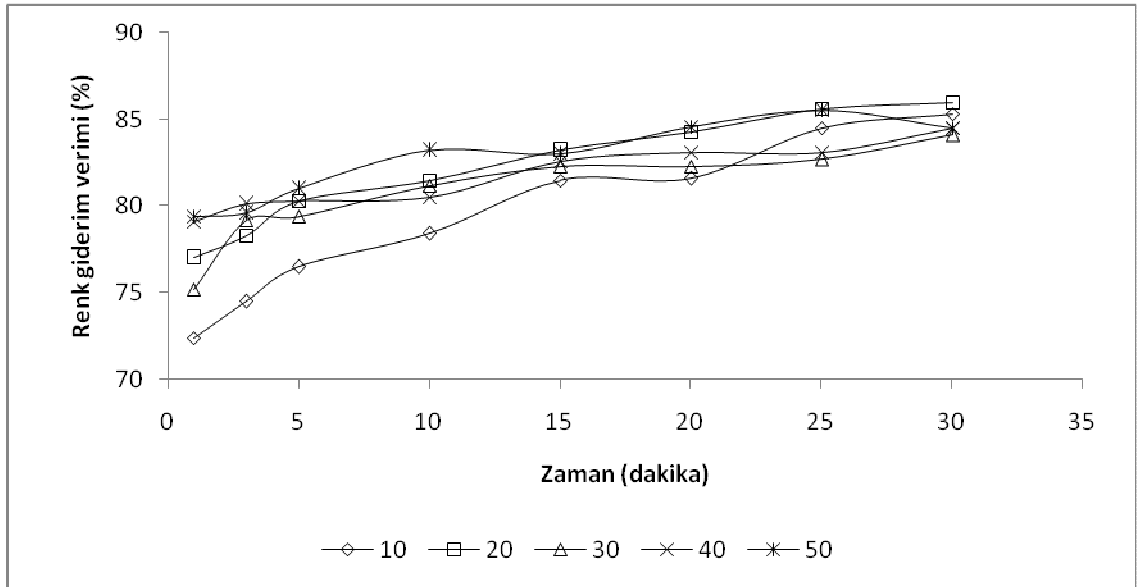
düşmeler gözlenmiştir. Bunun muhtemel sebebi olarak fazla H_2O_2 'in Eşitlik 12 ve Eşitlik 13'e göre hidroksil radikalleri üzerindeki süpürme etkisi olduğu düşünülmektedir.

4.2.4. Sıcaklık optimizasyonu için yapılan çalışmalar

Sıcaklık değerleri Fenton prosesinde hem verim hemde maliyet açısından göz ardı edilemez. Bu sebeple 10 – 20 – 30 – 40 ve 50°C de optimizasyon çalışması yapılarak RB 114 için en uygun sıcaklık değerleri belirlenmiştir.

Çizelge 4.5. RB114 Boyasına Ait Sıcaklık Giderim Verileri

RB114'ün Sıcaklığa Bağlı Renk Giderim Verimleri (%)					
Süre (dk)	10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C
1	72.4	77	75.2	79.1	79.4
3	74.5	78.3	79.2	80.1	79.6
5	76.5	80.3	79.4	80.3	81
10	78.4	81.5	81.2	80.5	83.2
15	81.5	83.2	82.3	82.6	83
20	81.6	84.3	82.3	83.1	84.6
25	84.5	85.6	82.7	83.1	85.5
30	85.3	86	84.1	84.5	84.5



Şekil 4.7. RB114 Boyasına Ait Sıcaklık Değerlerine Bağlı Giderim Verim Grafiği
(Sabit tutulan değerler: 500 mg/L H_2O_2 , 50 mg/L $FeSO_4$, pH 3)

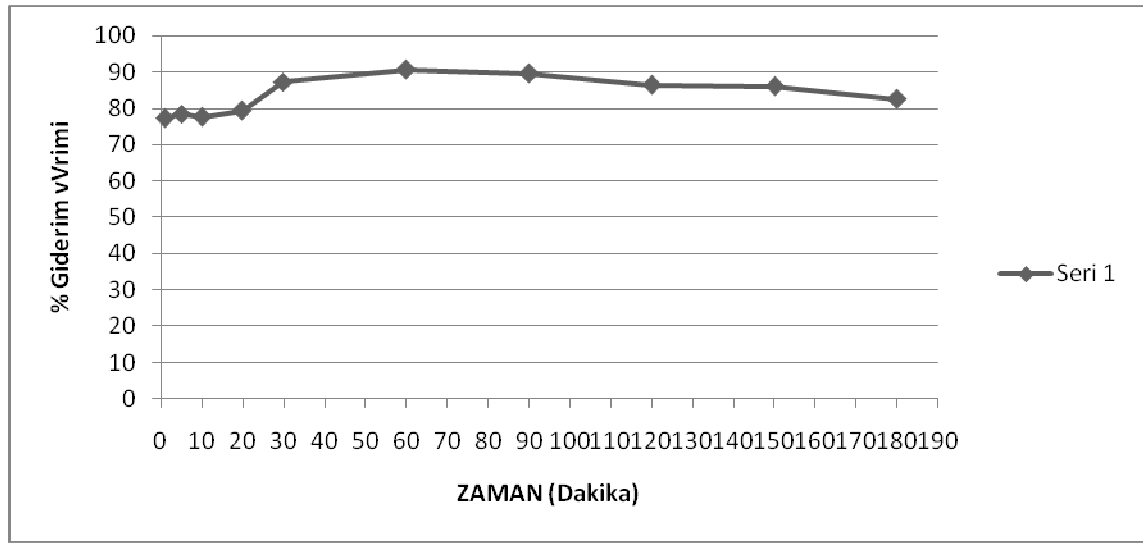
Grafik 4,7'ye bakıldığında görüldüğü gibi RB 114 için yapılan Fenton prosesinde sıcaklık değerleri 20°C'de % 86 verim uygun görülmüştür

4.2.5. Zaman optimizasyonu için yapılan çalışmalar

Fenton prosesinde zaman atıksuyun ne kadar süre ile işleme tabi tutulacağını göstereceğinden verimi ve maliyeti doğrudan etkileyeceğinden 30 – 60 – 90 – 120 – 150 – 180 dk için optimizasyon çalışması yapılmıştır.

Çizelge 4.6. RB114 Boyasına Ait Zaman Giderim Verileri

Tepkime Süresi (dakika)	1	5	10	20	30	60	90	120	150	180
RB114 (% Renk Giderimi)	77,3	78,4	77,6	79,3	87,3	90,6	89,6	86,4	86,1	82,5



Şekil 4.8. RB114 Boyasına Ait Zaman Değerlerine Bağlı Giderim Verim Grafiği (Sabit tutulan değerler: 500 mg/L H₂O₂, 50 mg/L FeSO₄, 293 K sıcaklık, pH 3)

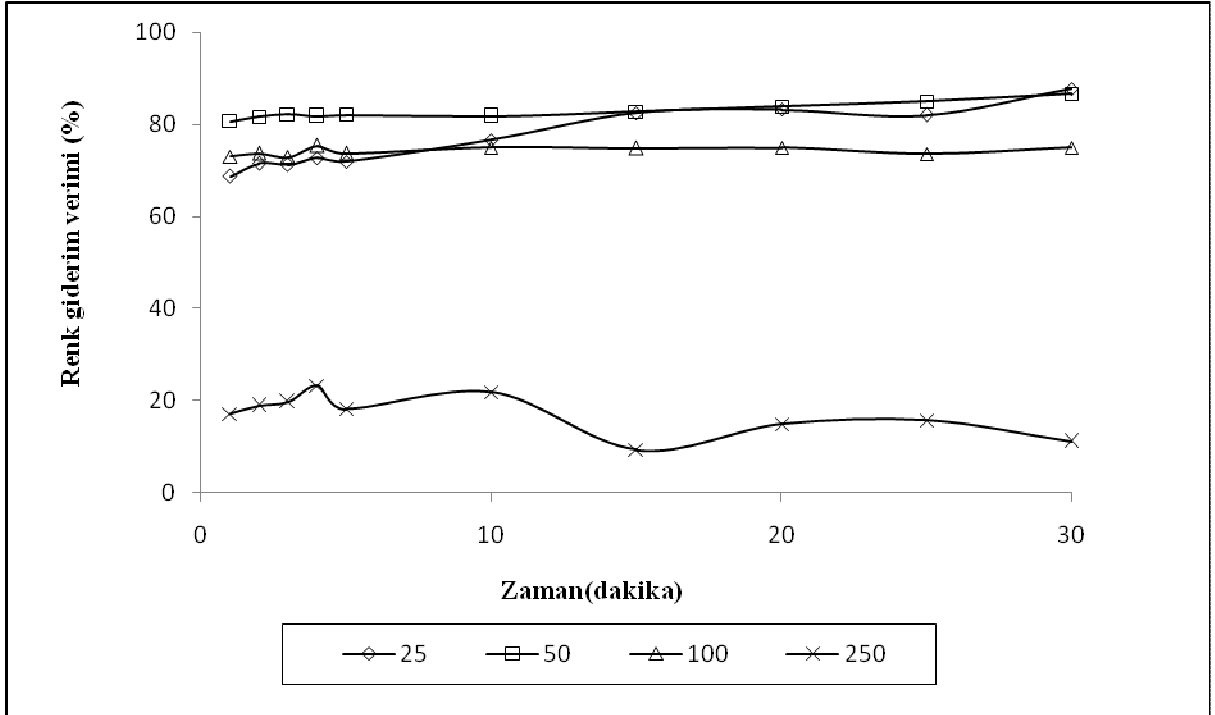
Şekil 4.8’de de görüldüğü gibi RB 114 için yapılan Fenton prosesinde zaman değerleri 60dk.’da % 90,6 verim olmasına rağmen ülkemiz şartlarında işletme maliyetleri göz önünde tutularak 30dk.’da % 87,3 verim uygun görülmüştür.

5. TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME

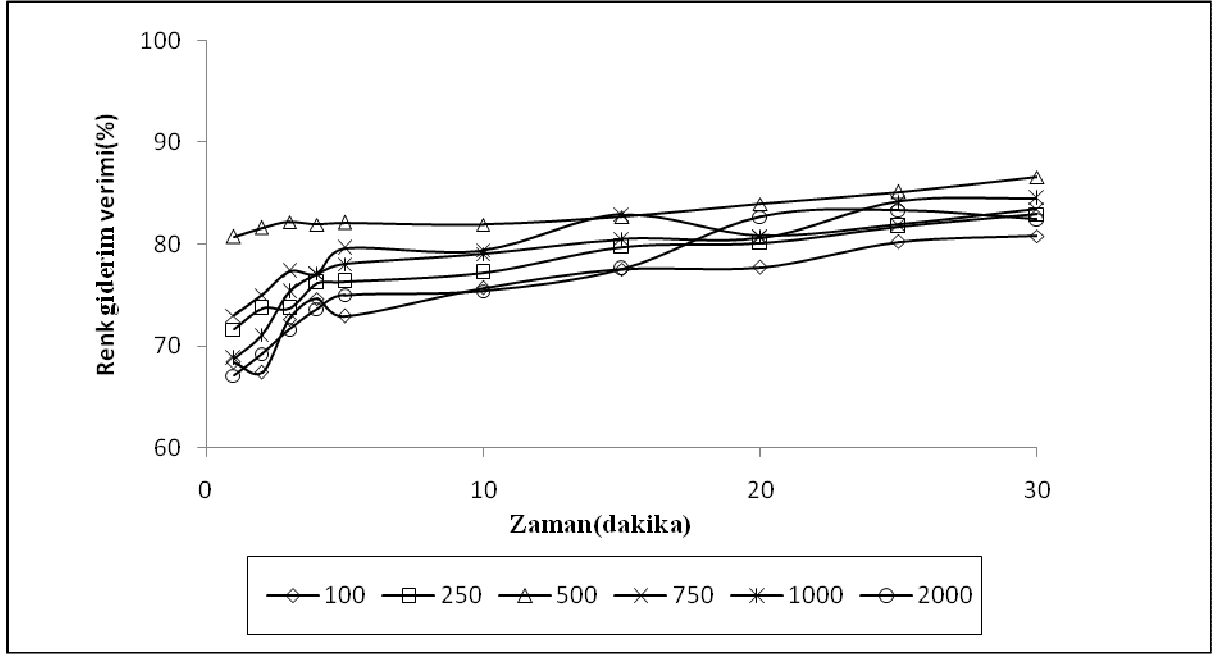
5.1. Fe^{+2} / H_2O_2 Oranının RB114 Giderimine Etkisi

Fe^{+2} / H_2O_2 oranı maksimum RB114 giderimi elde edilecek şekilde belirlendi ve bu oran daha sonraki çalışmalarda da kullanıldı. Bunun için sabit Fe^{+2} dozunda H_2O_2 konsantrasyonu 100 ile 2000 mg/L arasında değiştirildi.

Fe^{+2} konsantrasyonunun RB114 giderimi üzerine etkisi sabit H_2O_2 konsantrasyonunda belirlendi ve elde edilen sonuçlar (Şekil 5.1) da verilmiştir. Daha sonra Fe^{+2} konsantrasyonu 50 mg/L de sabit iken H_2O_2 konsantrasyonu 100 ile 2000 mg/L arasında çalışıldı (Şekil 5.2). Şekil5.1 den anlaşılmaktadır ki Fe^{+2} konsantrasyonu 25 mg/L den 250 mg/L' ye ve H_2O_2 konsantrasyonu 100 mg/L den 2000 mg/L'ye artarken RB114'ün renk giderim % si artmıştır. Fe^{+2} konsantrasyonunun 250 mg/L den ve H_2O_2 konsantrasyonun da 2000 mg/L den daha fazla arttırılması ise giderim verimini düşürmektedir. Aşırı Fe^{+2} ve H_2O_2 reaktiflerinin RB114 giderim verimini azaltması beklenen bir sonuçtur (Devi vd., 2009). Fenton kimyasallarının aşırısının süpürme etkisi ile hidroksil radikallerinin etkinliğini düşürmesi aşağıdaki reaksiyonlar ile açıklanabilir (Ikehata ve Gamal, 2006):



Şekil 5.1. Fe^{+2} Konsantrasyonunun RB114 Giderimi Üzerine Etkisi (Sabit tutulan değerler: 500 mg/L H_2O_2 , pH 3, 293 K sıcaklık)



Şekil 5.2. H₂O₂ Konsantrasyonunun RB114 Giderimi Üzerine Etkisi (Sabit tutulan değerler: pH 3, 50 mg/L FeSO₄, 293 K sıcaklık)

Deneyssel çalışmalar esnasında Fe⁺² dozajındaki artıştan kaynaklanan çözeltideki aşırı Fe⁺² ve Fe⁺³ iyonları daha fazla bulanıklığa sebep olduğu gözlenmiştir. Bununla birlikte düşük demir dozajlarında bulanıklık oldukça düşük olmuş hatta çözelti hemen hemen berraklaşmıştır. Fe⁺² dozajının 25 den 250 mg/L' ye artması ile çökelen madde miktarı da artmıştır. Bu ise yüksek demir dozajının demir iyonlarının demirhidroksit şeklinde çökmesi yüzünden arzu edilmeyen bir durum olduğunu gösterir (Devi vd., 2009). Atıksuda ki aşırı demirin giderim proplemi ise başka bir dezavantajdır.

Fe⁺² / H₂O₂ oranı pH 2.0 de %96 renk giderim verimi ile 0,1 (Fe⁺² = 50 mg/L ve H₂O₂ = 500 mg/L) olarak elde edilmiştir. Artan Fe⁺² ve H₂O₂ konsantrasyonu ile pH'nın azaldığı ve çözeltinin iletkenliğinin arttığı Çizelge 5.1 den görülebilir. Fe⁺² konsantrasyonu 25 den 250 mg/L' ye arttırıldığında iletkenlik de 350 µs/cm den 1318 µs/cm'ye artmıştır. Yine Çizelge 5.1 den anlaşılmaktadır ki çözeltinin sıcaklığı bütün reaksiyon koşullarında arttığı görülmüştür. Bu da reaksiyonun ekzotermik koşullarda gerçekleştiğinin bir göstergesidir.

Çizelge 5.1. Fenton oksidasyonu tarafından RB114 boya giderimi için deneysel koşullar.

	Fe ²⁺ (mg/L)	H ₂ O ₂ (mg/L)	pH _i	pH _e	RB114 (mg/L)	T _i (K)	T _e (K)	Cond. _i (μs/cm)	Cond. (μs/cm)
Fe ²⁺ konsantrasyonunun etkisi	25	500	3	2.95	60	293	295.2	25	350
	50			2.91			293.9	25	540
	100			2.85			294.3	25	781
	250			2.69			295.2	25	1318
H ₂ O ₂ konsantrasyonunun etkisi	50	100	3	2.98	60	293	296.2	27	514
		250		2.95			297.6	25	529
		500		2.91			297.1	25	540
		750		2.93			297.8	28	540
		1000		2.89			298	28	530
		2000		2.75			297.3	28	504
pH' nın etkisi	50	500	2	1.80	60	293	297.8	27	629
			3	2.98			299.5	24	527
			4	3.86			298.9	24	526
			5	4.95			298.9	23	315
			6	5.98			299.4	23	299
Sıcaklık, T (K) etkisi	50	500	3	2.98	60	283	283.4	24	490
				2.95		293	294.1	25	540
				2.97		303	304.2	23	540
				2.89		313	314.6	28	566
				2.87		323	325.9	28	543

5.2. pH'nın RB114 Renk Giderimi'ne Etkisi

RB114 Fenton oksidasyonunda optimum pH'nın bulunması için Fe²⁺/H₂O₂ oranı 0,1 iken çözeltinin başlangıç pH sı 2 – 3 – 4 – 5 ve 6 olacak şekilde ayarlanarak çalışmalar yapılmıştır. Renk giderimi pH'nın 2 den 6 ya artması ile %96 dan %57'ye düştüğü görülmüştür. Bunun en önemli sebebi olarak artan pH ile H₂O₂ radikallerinin oksidasyon potansiyelinin ve çözünmüş Fe²⁺ miktarının azalması olduğu düşünülmektedir. Elde edilen sonuçlar daha önce yapılmış olan çalışmalar ile uyum içerisinde (Panizza ve Cerisola, 2009; Zhou vd., 2007).

Bunlara ilaveten yüksek hidroksil iyonu konsantrasyonunda Eşitlik 14'de verilen reaksiyon dengesine göre Fenton reaksiyonunun ters yönde (geriye doğru) ilerlemesi beklenir. Bu yüzden hidroksil radikallerinin oluşması için düşük pH değerleri daha uygundur (Zhang vd., 2009).



Reaksiyon ortamında bikarbonat ve karbonat anyonlarının artmasının yüksek pH değerlerinde renk giderim veriminin düşmesinde etkili olan diğer bir sebep olduğu

düşünülmektedir. Bu anyonlarda aşağıdaki reaksiyonlar gereğince hidroksil radikali süpürücü olarak davranabilmektedir (Peyton and Glaze, 1988; Qiao vd., 2005).



Başlangıç pH'sı 3 seçildiğinde 30 dakikalık tepkime süresi sonunda çözeltinin son pH'sının Fenton reaksiyonları için optimum pH olan pH 2,8'e oldukça yakın olduğu görülmüştür (Çizelge 5.2; Sun ve Pignatello, 1993). Oksidasyon tepkimesinden sonra elde edilen son pH değerleri sırası ile pH 2 – 3 – 4 – 5 ve 6 için şöyle olmuştur; 1,8 – 3 – 3,9 – 5 – 6. Tepkime süresince boyanın mineralizasyonu ile oluşan HSO_4^- , NO_3^- ve karboksilik asid gibi asidik bileşenlerin son pH'ının düşmesinde etkili olabileceği düşünülmektedir (Hameed ve Lee, 2009; Sun vd., 2007).

Çizelge 5.2. Çeşitli Yöntemlerle Boya Giderim Verimi (%)

Boya Tipi	Arıtma Yöntemi	Giderim verimi (%)	İşlem süresi	kaynak
Reactive Blue 114	Adsorpsiyon	85	120	Özcar vd. 2003
Metilen Mavisi	Titanyum ile foto kataliz	67	60	El Saliby vd. 2001
Basic Blue 41	Süper kritik su oksidasyonu	99 (as TOC)	0,32	Söğüt vd. 2009
Methylene Blue	Ozon/aktif karbon	95	40	Zhang vd. 2009
Reactive Black 5	Fenton oksidasyon	99	15	Argun vd. 2011
Direct Blue 15	Fenton oksidasyon	99	30	Sun vd. 2009
Reactive Blue 114	Fenton oksidasyon	96	20	Bu çalışma

5.3. Reaksiyon Süresinin Etkisi ve Giderim Kinetiklerinin Belirlenmesi

Reaksiyon Kinetiği: Reaksiyon düzeyi (hız) ile ilgili bilgileri kapsar. Reaksiyon hızı birçok parametreden etkilenir. Bunların başında ise reaktif maddenin konsantrasyonu yer alır.

Reaksiyon Hızı: Bir reaktif maddenin mol sayısında birim zamanda ve birim hacimde meydana gelen değişiktir (Tarlan, 2007).

Reaksiyon derecesinin belirlenmesinde dereceye ait grafikte korelasyon katsayısı olan R^2 daha büyük ve 1'e yakın çıkarsa reaksiyon o derecedendir anlamına gelir. Bu derece bulunduğundan sonra ilgili grafik ve regresyon denkleminde yararlanarak reaksiyon sabitleri hesaplanır. Bu sabitler doğrusal esitlikte yerine konduğunda elde edilen formül sistemin “kinetik modeli”dir (Tarlan 2007).

Fenton oksidasyon süresi 5 ile 30 dk. arasında değiştirilmiş ve elde edilen veriler RB114 boyasının renk giderim kinetiği için kullanılmıştır. Bu amaçla veriler sırasıyla 1. derece (Eşitlik 17; Sun vd., 2009), yalancı 1. derece (Eşitlik 18; Ho vd., 2000), ikinci derece (Eşitlik 19; Sun vd., 2009) ve yalancı ikinci derece (Eşitlik 20; Ho vd., 1995) kinetik eşitliklerine uygulanmış ve regresyon değerlerine bakılarak en uygun kinetik belirlenmiştir. Hesaplanan kinetik parametreler Çizelge 5.3 de verilmiştir.

$$\ln A_t = \ln A_o - k_1 t \quad (17)$$

$$\log(A_t - A_e) = \log(A_o - A_e) - (k_1/2.303)t \quad (18)$$

$$1/A_t = 1/A_o + k_2 t \quad (19)$$

$$t/A_t = 1/(k_2 A_e^2) + (1/A_e)t \quad (20)$$

Çizelge 5.3. Fenton Oksidasyonu İle RB114'ün Renk Giderimi İçin Elde Edilen Kinetik Sabitler.

T (K)	Birinci derece kinetik			Yalancı birinci derece kinetik			İkinci derece kinetik			Yalancı ikinci derece kinetik		
	k_1 (min ⁻¹)	$t_{1/2}$ (min)	R ²	k_1 (min ⁻¹)	$t_{1/2}$ (min)	R ²	k_2 (A ⁻¹ min ⁻¹)	$t_{1/2}$ (min)	R ²	k_2 (A ⁻¹ min ⁻¹)	$t_{1/2}$ (min)	R ²
283	0,038	18,26	0.52	0.034	24.2	0.74	0.184	7	0.79	5,87	2.4	0.98
293	0.034	20,41	0.43	0.039	21.5	0.71	0.189	7.1	0.69	8,24	1.8	0.99
303	0.031	22,35	0.35	0.031	28.8	0.56	0.137	9.4	0.54	10,84	1.2	0.99
313	0.029	23,93	0.31	0.03	28.8	0.51	0.127	10.1	0.47	10,83	1.2	0.99
323	0,032	21,66	0,34	0.039	23.8	0.60	0.150	8.6	0.52	13,71	0.9	0,99

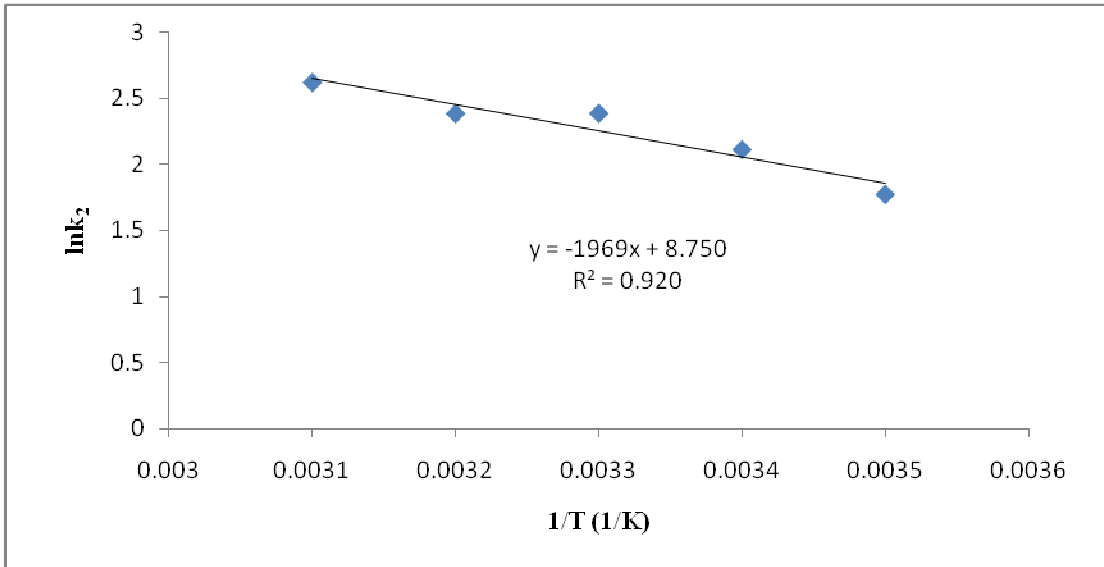
Burada A_o boyanın başlangıç absorbansı, A_t t anında ki reaksiyon çözeltisinin absorbansı, A_e boya çözeltisinin dengeye ulaştığı andaki absorbansı, k_1 (min⁻¹) ve k_2 (A⁻¹ min⁻¹) birinci ve ikinci derece kinetik sabitlerdir. Elde edilen grafiklerin eğimi ve Y eksenini kesim noktaları k_1 ve k_2 leri elde etmek için kullanılmıştır. Yalancı ikinci derece kinetiğin doğrusal şeklinden (Şekil. 5.3 ve Çizelge 5.4) elde edilen R² değerleri birinci derece, yalancı birinci derece ve ikinci derece kinetiklerden (Şekil. 5.3 ve Çizelge 5.4) elde edilen R² değerlerinden çok daha büyük bulunmuştur. Aynı zamanda yalancı ikinci derece kinetikten hesaplanan yarı ömürler deneysel olarak elde edilen verilere çok yakın çıkmıştır. Bununla birlikte birinci derece kinetikten elde edilen yarı ömürler deneysel verilerden oldukça farklı çıkmıştır (Çizelge 5.4). Bu sonuçlar da göstermektedir ki RB114 boyasının Fenton ile oksidasyonu yalancı ikinci derece kinetiğe daha fazla uymaktadır. Buna göre elde edilen hız yasası aşağıda verilmiştir (Bautista vd., 2007):

$$-r_{RB114} = k[C_{RB114}]^2 [OH] \cong k'[C_{RB114}]^2$$

RB114' ün Fenton ile oksidasyonun da 283, 293, 303, 313 ve 323 K, sıcaklıkları için elde edilen k_2 değerleri şöyledir; 5,9, 8,2, 10,8, 10,8 ve 13,7 $A^{-1} min^{-1}$. Sıcaklık artışı da hem hız sabitleri hemde yarı ömürleri etkilediği görülmüştür. Sıcaklıktaki artış ile hız sabitleri artmış, yarı ömürler ise dereceli olarak azalmıştır. Daha önceki çalışmalar da bu sonuçları desteklemektedir (Bautista vd., 2007; Qiao vd., 2005; Sun vd., 2009).

Çizelge 5.4. Fenton oksidasyonu ile RB114 renk giderimi için termodinamik parametreler

T (K)	$\ln(k_2)$	ΔG (kJ/mol)	E_a (kJ/mol)
283	1.770	-4.158	
293	2.109	-5.129	
303	2.384	-5.996	16.34
313	2.382	-6.188	
323	2.618	-7.019	



Şekil 5.3. Yalancı İkinci Derece Kinetiğin Doğrusal Şeklinden Elde Edilen R^2 Değeri

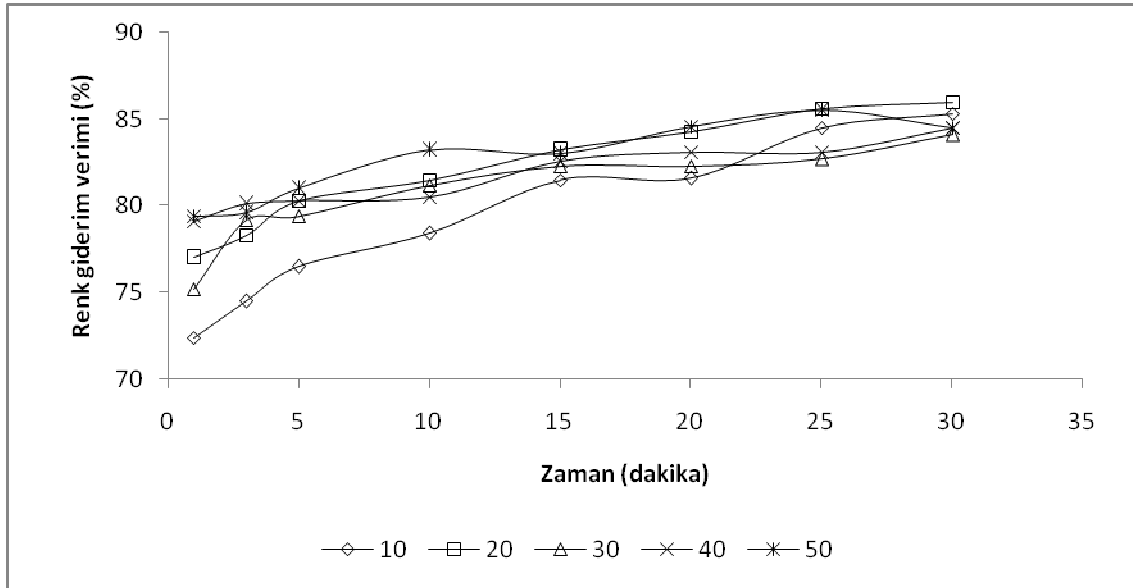
5.4. Sıcaklık Etkisi ve Renk Giderimi Termodinamiğinin Belirlenmesi

RB114 renk giderimine sıcaklığın etkisini belirlemek amacı ile 283 – 293 – 303 – 313 – 323 K, sıcaklıklarında bir seri deneyler yapılmıştır. RB114'ün renk giderim verimi sıcaklık 283 den 323 K, ne artması ile %86' dan %84' e düşmüştür (Çizelge 5.5 ve şekil 5.4). Reaksiyon 15 dk. İçinde neredeyse sabit hale geldiği görülmüştür. Sürenin daha fazla artması ile renk giderimindeki artış düşük olmuştur. Sıcaklığın artması ile verimdeki azalışın sebebi H_2O_2 ' nin yüksek sıcaklıklarda daha hızlı bozunması olduğu

düşünülmektedir (Panizza and Cerisola, 2009). Bu yüzden bizim yaptığımız deneysel çalışma da Fenton ile RB114 giderimi için optimum sıcaklık olarak 293 K, seçilmiştir. Ayrıca yüksek sıcaklıkta çalışmak maliyet açısından bir dezavantajdır (Xu vd., 2005).

Çizelge 5.5. RB 114 Ait Sıcaklık Gidrim Verileri

RB114'ün Sıcaklığa Bağlı Renk Giderim Verimleri (%)					
Süre (dk.)	10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C
1	72.4	77	75.2	79.1	79.4
3	74.5	78.3	79.2	80.1	79.6
5	76.5	80.3	79.4	80.3	81
10	78.4	81.5	81.2	80.5	83.2
15	81.5	83.2	82.3	82.6	83
20	81.6	84.3	82.3	83.1	84.6
25	84.5	85.6	82.7	83.1	85.5
30	85.3	86	84.1	84.5	84.5



Şekil 5.4. RB114 Ait Sıcaklık Değerlerine Bağlı Giderim Verim Grafiği

Fenton oksidasyonunda kinetik parametrelerin sıcaklığa bağımlılığı Eşitlik 21 kullanılarak hesaplanmıştır (Ho vd., 2000). Ayrıca Fenton prosesi için Gibbs serbest enerji değişimi (ΔG), Eşitlik 22 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\ln k = \ln A - (E_a/RT) \quad (21)$$

$$\Delta G = -RT \ln k \quad (22)$$

Burada k ; prosesi kontrol eden hız sabiti (yalancı ikinci derece hız sabiti), A ; Arrhenius frekans sabiti, T ; çözelti sıcaklığı (K), E_a ; aktivasyon enerjisi (kJ/mol) ve R ; ideal gaz sabiti (0.0083 kJ/mol. K).’ dir.

Termodinamik hesaplamaların sonuçları Çizelge 5.4’ de verilmiştir. Gibbs serbest enerjisinin negatif değeri göstermektedir ki Fenton prosesi istemli olarak kendiliğinden gerçekleşmektedir ve reaksiyonun istemliliği artan sıcaklık ile artmaktadır. Bu sonuç reaksiyon mekanizmasının enerji açısından kararlı olduğu ve Fenton oksidasyon hızının artan sıcaklıkla arttığını göstermektedir (Şekil 5.3). Aktivasyon enerjisinin 16 kJ/mol gibi nispeten düşük bir değerde olması Fenton oksidasyonunun başlaması için enerji bariyerinin düşük olduğunu göstermektedir. Sonuçlar ayrıca göstermektedir ki yalancı ikinci derece kinetik hız sabiti her 10°C lik artış ile 1 – 1,4 kez artmaktadır (Çizelge 5.4). House (2007)’ ye göre aktivasyon enerjisi 50 kJ/mol olan reaksiyonlarda 10°C sıcaklık artışı reaksiyon hızını 2 katına çıkarabilmektedir. Bizim çalışmamızda da 16 kJ/mol aktivasyon enerjisi ve 283 – 323 K sıcaklıktaki değerlerle uyum içerisinde.

6. SONUÇ

Bu tez Fenton oksidasyonu ile RB114 boyasının renginin giderimi üzerine termodinamik ve kinetik hesaplamaları da içerecek şekilde yapılmıştır. Tepkime koşulları için elde edilen optimum parametreler Fe^{2+} de 50 mg/L, H_2O_2 de 500 mg/L, 20 dakika tepkime süresi, pH 3 ve tepkime sıcaklığı 293 K olarak bulunmuştur. Bu koşullar altında RB114'ün Fenton prosesi ile renk giderim verimi % 86 olarak elde edilmiştir.

RB114'ün giderim kinetiğinin yalancı ikinci derece tepkime kinetiğine uyduğu görülmüştür. Oksidasyon işleminin reaksiyon karakteristiği düşük aktivasyon enerjili ve termodinamik açıdan doğal koşullar altında kendiliğinden gerçekleşebileceği değerlendirilmiştir.

İleri oksidasyon sistemlerinden olan Fenton prosesi alternatif arıtım yöntemlerinden biri olabilmektedir. Bunun sebebi ise; Yatırım maliyeti düşük olması, İşletme maliyeti az olması, fazla çalışana gerek olmaması, Bekleme süresinin düşük olması ve daha az alan gereksinimlerinden dolayı son zamanlarda tercih edilmektedir.

Boyar maddeler ve boyar madde içeren atıksular renkli sular olmaktadır. Yapılarındaki renklerden dolayı mikroorganizmaların faaliyetlerini durdurmakta hatta toksik etki yapıp mikroorganizmaların işlevlerini tamamen bitirebilmektedir. Dolayısıyla anaerobik sistemlerden önce Fenton sisteminin konulması durumunda renk giderimi yüksek verimlilikle sağlanacaktır. Bu yüzden bu sistemden sonra gelen anaerobik sistemdeki mikroorganizmaların inhibe etmez duruma getirmeyecek, uygun şekilde arıtım sağlanabilecektir. Bu yöntem, oksidasyon ve koagülasyon proseslerinin avantajlarına sahip olmakla beraber, sudaki oksijen miktarını da arttırmaktadır. Son olarak ileri oksidasyon sistemlerinden olan Fenton prosesi boyar maddelerin ve boyar madde içeren atıksuların arıtılmasında ön arıtım ve ileri arıtım şeklinde kullanılabileceğinden dolayı etkin yöntemlerden biri olduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR

- Akkurt, F., Benli, S. ve Alıcılar, A., 2005. Dispers Kırmızı 1 Tekstil Boyasının Karakterizasyonu ve Uygulanabilirliğinin Araştırılması. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt 20, No 4, 429-432.
- Alaton, İ.A., Gursoy, B.H. ve Schmidt, J.E. 2008. Advanced oxidation of acid and reactive dyes: Effect of Fenton treatment on aerobic, anoxic and anaerobic processes. Dyes Pigments, 78, 117-130.
- Argun M.E, Karatas M, 2011. Environ. Prog. Sustain. 30. Application of Fenton process for decolorization of reactive black 5 from synthetic wastewater: Kinetics and thermodynamics 540.
- Arık Pınar, 2005. Pamuklu Tekstil Endüstrisinde Uygun Atıksu Arıtma Teknolojisi Seçimi
- Ashraf, S.S., Rauf, M.A., ve Alhadrami. S., 2006. Degradation of methyl red using Fenton's reagent and the effect of various salts, 69, 1-2, 74-78.
- Bali U., Çokay Ç.E. ve Şengül F., 2003. Photochemical Degradation of Phenol in Aqueous Solutions: A Comparative Study, Environmental Health A, Vol. A 38, No: 10, pp. 2259-2277.
- Bandala, E.R., Pelaez, M.A., Lopez, A.J., ve Salgado, M.J., 2008. Moeller G., photocatalytic decolourisation of synthetic and real textile wastewater containing benzidine-based azo dyes, Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 47, 2, 169-76.
- Başbuğ M., 2008. Bentonit Ponza ile Sulu Çözeltilerden ve Tekstil Atıksuyundan Boya Adsorpsiyonunun İncelenmesi, İsparta, 11-12.
- Batıbay, A., 2008. Tekstil endüstrisi atıksularından ozonlama ile KOİ ve renk giderimi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Ü. Fen Bil. Ens., 90 s.
- Bautista, P., Mohedano, A.F., Gilarranz, M.A., Casas, J.A. ve Rodriguez, J.J. 2007. Application of Fenton oxidation to cosmetic wastewaters treatment. J. Hazard. Mater., 143, 128–134.
- Behnajady M. A. , Modirshahla N. ve Ghanbary F., 2007. A Kinetik Model for the Decoloration of C.I. Acid Yellow 23 by Fenton Process, Iran.
- Benitez, F.J., Acero, J.L., Real, F.J., Rubio, F.J. ve Leal, A.I., 2001. The role of hydroxyl radicals for the decomposition of α -hydroxy phenylacetic acid in aqueous solutions. Water Res. 35, 1338.

- Birgöl, A., 2006. Tekstil endüstrisi atıksu arıtımında ileri oksidasyon proseslerinin kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Ü. Fen Bil. Ens., 122 s.
- Demir, A., Kanat, G., Debik, E. ve Ağaçcıoğlu, H., 2000. Endüstriyel Atıksularının Arıtım, Denetim ve Kontrolü (Seminer notları). Yıldız Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Demirci C., 2007. Pamuklu Tekstil Endüstrisi Atıksularındaki Rengin Foto Fenton Prosesiyle Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ.(a)
- Demirci, C., 2007. Pamuklu tekstil endüstrisi atıksularındaki rengin foto-Fenton prosesiyle giderimi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Ü. Çevre Mühendisliği Bölümü Elazığ, 56 s.(b)
- Devi, L.G., Kumar, S.G., Reddy, K.M. ve Munikrishnappa, C. 2009. Photo degradation of Methyl Orange an azo dye by Advanced Fenton Process using zero valent
- Duman E., 2006. İlaç Endüstrisi Atıksularının Fenton Oksidasyonu ile Arıtılabilirliğinin Araştırılması konulu Yüksek Lisan Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- El Saliby, L. Erdei, H.K. Shon, J.H. ve Kim, J. 2011. Ind. Eng. Chem. 17. Preparation and characterisation of mesoporous photoactive Na-titanate microspheres 358.
- Fongsatitkul, P., Elefsiniotis, P., Yamasmit, A. ve Yamasmit, N., 2004. Use of sequencing batch reactor and Fenton's Reagent to Treat A Wastewater from A Textile Industry, Biochemical Engineering Journal,21, 3, 213-220.
- Göde, F., 2002. Reçinelerle Ağır Metal Adsorpsiyonu ve Atık Sulara Uygulanması. S. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 119s, Konya.
- Gogate P. R., Pandit A. B., 2003. A Review of Imparative Technologies for Wastewater Treatment I: Oxidation Technologies at Ambient Conditions, India.
- Gökkuş, Ö., 2006. Dispers boyarmadde içeren tekstil endüstrisi atıksularından renk giderimi, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 74 s.
- Gomez, V., Larrenchi, M.S. ve Callao, M.P., 2007. Kinetik and Adsorption Study of Acid Dye Removal Using Activated Carbon. Chemosphere, 69, 1151-1158.
- Gönder, Z.B., 2004. Fenton prosesi ve iyon değişimi kombinasyonu ile renkli atıksuların arıtımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ü. Fen Bil. Ens. 97 s.
- Gönüllü, M.T., 2004. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Ciltl. Birsen Yayınevi, Kurtiş matbaası, Kod no: Y. 0029, 466s, İstanbul
- Grau, P., 1992, Textile industry wastewater treatment, Wat. Sci. Tech., 24, 97-103
- Gulkaya İ, Sürücü G.A. ve Dilek F.B.,2006. Importance of H₂O₂ /Fe⁺² ratio in Fenton's treatment of a carpet dyeing wastewater, Ankara.

- Gür, B.N., 2008. Tekstil endüstrisi atıksularının elektrokoagülasyonla arıtılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Ü. Fen Bil. Ens., 43 s.
- Gürel, C., 2006. Tekstil atıksularından boyarmaddelerin elektokimyasal yükseltgeme ile giderimi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Eskişehir, 80 s.
- Hameed, B.H., Ahmad, A.A. ve Aziz, N., 2007. Isotherms, Kinetics And Thermodynamics Of Acid Dye Adsorption On Activated Palm Ash. Chemical Engineering Journal, 133, 195-203.
- Hameed, B.H., Lee, T.W. 2009. Degradation of malachite green in aqueous solution by Fenton process. J. Hazard. Mater., 164, 468–472.
- Hanay, Ö., Hasar, H., 2007. Fenton oksidasyon prosesi ile tekstil endüstrisi atıksuyunda renk giderimi, Fırat Ü. Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 19, 4, 505-509.
- Hararcı S., 2005. Tekstil Sanayisinde Anahtar Çevresel Konular, Bursa Çevre Merkezi, Bursa.
- Hazel, B.G., 1995. Industry evaluation of colour reduction and removal, colour in dyehouse effluent, 59-63.
- Ho, Y.S., Wase, D.A.J. ve Forster, C.F. 1995. Batch nickel removal from aqueous solution by sphagnum moss peat. Water Res., 29, 1327–1332.
- Ho, Y.S., Ng, J.C.Y. ve McKay, G. 2000. Kinetics of pollutant sorption by biosorbents: review. Sep. Purif. Method., 29, 189–232.
- Hsueh C.L., Huang Y.H., Wang C.C. ve Chen C. Y., 2004. Degradation of azo dyes using low iron concentration of Fenton and Fenton-like system, Taiwan.
- Huang Y. H., Chen C.C., Huang G.H. ve Chou S.S., 2001. Comparison of a Novel ElectroFenton Method with Fenton's Reagent in Treating a Highly Contaminated Wastewater, Wat. Sci. Tech. 43 (2), 1724.
- Ikehata, K., Gamal, E.M. 2006. Aqueous pesticide degradation by hydrogen peroxide/ultraviolet irradiation and Fenton-type advanced oxidation processes: a review. J. Environ. Eng. Sci., 5, 81–135.
- Kang Y. W., Hwang K. Y., 2000. Effect of Reaction Conditions on the Oxidation Efficiency in the Fenton Process, Water Research, 34 (10); 2786-2790.
- Kaykıoğlu, G., Debik, E., 2006. Color Removal From Textile Wastewater With Anaerobic Treatment Processes (Anaerobik Arıtım Prosesleri ile Tekstil Atıksularından Renk Giderimi). Sigma Mühendislik Ve Fen Bilimleri Dergisi, 2006/4, 59-68.

- Kocaer, F.O., Alkan, U., 2002. Boyar madde içeren tekstil atıksularının arıtım alternatifleri, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 7, 1, 9 s.
- Kurt, U., 2007. Fenton ve elektrokimyasal yöntemlerle evsel atıksuların arıtılabilirliğinin araştırılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bil. Ens., 72 s.
- Kurtoğlu, N., Şenol, D., 2004. Tekstil ve Ekolojiye Genel Bakış, Karsinojen ve Alerjik Etki Yapabilen Tekstil Kimyasalları. KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi, 7(1), 26-31.
- Kwon, B.G., Lee, D.S., Kang, N. ve Yoon, J., 1999. Characteristics of p-chlorophenol oxidation by Fenton's reagent. Water Res.33, 2110.
- Lau, W., Ismail, A.F., 2007, Polymeric nanofiltration membranes for textile dye wastewater treatment: Preparation, performance evaluation, transport modelling, and fouling control-a review, Advance Membrane Tech. Research Centre, 245, 1-3, 321-348.
- Lin Sheng H., Cho C. Lo, 1997. Fenton Process For Treatment Of Desizing Wastewater.W ater Res. 31, 2050. Yuan Ze Institute of Technology, Neili, Taoyuan 320 Taiwan.
- Lin, S.H., Lin, C.M. ve Leu, H.G., 1999. Operating characteristics and kinetic studies of surfactant wastewater treatment by Fenton oxidation.W ater Res. 33, 1735.
- Lin, S.H., Peng, C.F., 1995. Treatment of textile wastewater by Fenton's reagent.J. Environ. Sci.Health A 30, 89.
- Liu, R., Chiu, H.M., Shiau, C., Yeh, R.Y., ve Hung, Y.T., 2007. Degradation and sludge production of textile dyes by Fenton and photo-Fenton processes, Dyes and Pigments, 73, 1, 1-6.
- Lucas, M.S., Peres, J.A., 2006. decolorization of the azo dye Reactive Black 5 by Fenton and photo-Fenton oxidation, Dyes and Pigments, 71, 3, 236-44.
- Lui R., Chiu H.M., Shiau Chih-Shiuc, Yeh Ruth Yu-Li ve Hung Yung-Tse, 2005. Degradation and sludge production of textile dyes by Fenton and photo-Fenton processes, sf.5,Taiwan
- Özacar M., Şengil I.A. ve Hazard J. Mater. 2003. Adsorption of reactive dyes on calcined alunite from aqueous solutions B98 211.
- Mahiroğlu A., 2006. Asitli Maden Drenajlarının (AMD) Fenton Prosesiyle Arıtımı, Selçuk Üniversitesi, Konya.

- Maletzky P., Bauer R., 1998. The Photo-Fenton Method-Degradation of Nitrogen Containing Organic Compounds, *Chemosphere*, 37,5,899-909.
- Malik, P.K., Saha, S.K., 2003. Oxidation of direct dyes with hydrogen peroxide using ferrous ion as catalyst, *Separation and Purification Technology*, 31, 3, 241-50.
- Manu, B., Chaudhari S., 2002. Anaerobic Decolorisation of Simulated Textile Wastewater Containing Azo Dyes. *Bioresource Technology*, 82, 225-231.
- Mc Kay, G., 1982. Adsorption of dyestuff from aqueous solutions with activated carbon, *Journal of Chemical Technology Biotechnology*, 32, 759-772.
- Metcalf &Eddy, 2003. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*, Fourth Edition, Mc Graw Hill.
- Modirshahia, N., Behnajady, M.A., ve Ghanbary F., 2010. Decolorization and mineralization of c.i. Acid Yellow 23 by Fenton and photo-Fenton processes, *Dye and Pigments*, 73, 3, 305-10.
- Montaser Y.G., George H., Roland M. ve Roland H., 2001. Photochemical Oxidation of Pchlorophenol by UV/H₂O₂ and Photo-Fenton Process: A Comparative Study, *Waste Management*, 21,1,41-47.
- Muruganandham, M., Swaminathan, M., 2004. decolourisation of Reactive Orange 4 by Fenton and photo-Fenton oxidation technology, *Dyes and Pigments*, 63, 3, 315-21.
- Nesheiwat, F.K., Swanson, A.G., 2000. Clean contaminated sites using Fenton's reagent. *Chem.Eng. Prog.*96 (4), 61.
- Söğüt O.Ö., Akgün M., 2009. J. Ind. Eng. Chem. 15. Removal of C.I. Basic Blue 41 from aqueous solution by supercritical water oxidation in continuous-flow reactor 803.
- O'Neill, C., Hawkes, F.R., Hawkes, D., Lourenço, N.D., Pinheiro, H.M. ve Delee, W. 1999. Review colour in textile effluents-sources, measurement, discharge consents and simulation: a review. *J. Chem. Technol. Biot.*, 74, 1009-1018.
- Ölmez, T., Kabdaşlı, I. ve Tünay, O., 2003. Tekstil Endüstrisi Reaktif Boya Banyolarında Ozon İle Renk Giderimine Etki Eden Faktörlerin Belirlenmesi. *Su Kirliliği Kontrolü Dergisi*, Cilt 13, Sayı 1, sh. 19-24.
- Ölmez, T., Kabdaşlı, I. ve Tünay, O., 2006. Reaktif Boya Banyolarında Kullanılan İyon Tutucuların Yüksek Ph'da Ozon Oksidasyonu ile Renk Giderimi Üzerine Etkisi. *İTÜ Dergisi/E Su Kirlenmesi Kontrolü*, Cilt:16, Sayı:1-3, 67-75.

- Özcan, Y., 1978. Tekstil Elyaf ve Boyama Tekniği, İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul,
- Özdemir C., Şahinkaya S. ve Onüçyıldız M., 2008. Treatment of Pesticide Wastewater by Physicochemical and Fenton Processes, Asian Journal Of Chemistry, Vol.20, No.5, 3795-3804.
- Öztürk, İ., Timur, H. ve Koşkan, U., 2005. Atıksu Arıtımının Esasları, T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, İstanbul
- Panizza, M., Cerisola, G. 2009. Electro-Fenton degradation of synthetic dyes. Water Res., 43, 339–344.
- Perez, M., Torrades, F., Domenech, X., ve Peral, J., 2002. Fenton and photo-Fenton oxidation of textile effluents, Water Research, 36, 11, 2703-2710.
- Petrier, C., Jiang, Y. ve Lamy, M.-F., 1998. Ultrasound and environment: sonochemical destruction of chloroaromatic derivates. Environ.Sci.T echnol.32, 1216
- Peyton, G.R., Glaze, W.H. 1988. Destruction of pollutants in water with ozone in combination with ultraviolet radiation. 3. Photolysis of aqueous ozone. Environ. Sci. Technol., 22, 761–767.
- Portenlänger G.; 1999. Mechanical and radical effects of ultrasound, in: Ultrasound in Environmental Engineering, TU Hamburg- Harburg Reports on Sanitary Engineering, ed. A. Tiehm and U. Neis, Vol. 25, pp. 139–151.
- Qiao, R.P., Li, N., Qi, X.H., Wang, Q.S. ve Zhuang, Y.Y. 2005. Degradation of microcystin-RR by UV radiation in the presence of hydrogen peroxide. Toxicon., 45, 745–752.
- Ramirez, J.H., Costa, A.C. ve Madeira, L.M., 2005, Experimental design to optimize the degradation of the synthetic dye Orange II using Fenton's reagent, Catalysis Today, 107-8, 68-76.
- Sahinkaya, S., Aygun, A. ve Sevimli, M.F. 2008. The Application Of Fe⁰/H₂O₂ For Color Removal. VIII th International Scientific Conference, Modern Management of Mine Producing Ecology and Environmental Protection, SGEM, Vol. 1, pp 803 - 811, 16 - 20 June 2008, Albena-Varna / Bulgaria.
- Samar, M.E., Bouasla, C., ve Ismail, F., 2010, Degradation of Methyl Violet 6B dye by the Fenton process. Desalination, 254, 35-41.
- Sandhya, S., Swaminathan, K., 2006. Kinetic analysis of treatment of textile wastewater in hybrid column upflow anaerobic fixed bed reactor. Chemical Engineering Journal 122, 87-92.

- Solmaz S. K. A., Birgöl A., 2007. Tekstil Endüstrisi Atıksuları Üzerinde İleri Oksidasyon ve Kimyasal Arıtma Prosesleri Kullanılarak KOI ve Renk Gideriminin Araştırılması, *Ekoloji Çev-Kor*, 15,62, 72 - 80, Bursa.
- Sponza, D., Işık, M. ve Atalay, H., 2000. İndigo Boyar Maddelerinin Anaerobik Arıtılabilirliklerinin İncelenmesi. *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi*, Cilt: 2, Sayı: 3, 23-34.
- Sun, J.H., Sun, S.P., Wang, G.L. ve Qiao, L.P. 2007. Degradation of azo dye Amido black 10B in aqueous solution by Fenton oxidation process. *Dyes Pigments*, 74, 647–652.
- Sun, S.P., Li, C.J., Sun, J.H., Shi, S.H., Fan, M.H. ve Zhou, Q. 2009. Decolorization of an azo dye Orange G in aqueous solution by Fenton oxidation process: Effect of system parameters and kinetic study. *J. Hazard. Mater.*, 161, 1052–1057.
- Sun, Y., Pignatello, J.J. 1993. Photochemical reactions involved in the total mineralization of 2,4-D by $Fe^{3+}/H_2O_2/UV$. *Environ. Sci. Technol.*, 27, 304–310.
- Szpyrkowicz, L., Juzzolino, C. ve Kaul, S.N., 2001, A comparative study on oxidation of disperse Dyes by Electrochemical Process, Ozone, Hypochlorite and Fenton Reagent, *Water Research*, 35, 9, 2129-2136.
- Şenel Ü., 2006. Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Boyarmaddelerin Mutajenik Etkilerinin Umu-Tsti İle Araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Deniz Bilimleri ve İşletmeciliği Enstitüsü, İstanbul
- Tang, W.Z., Huang, C.P., 1996. 2,4-dichlorophenol oxidation kinetics by Fenton's reagent. *Environ. Technol.* 17, 1371.
- Tarlan E., 2007. Çevre Mühendisliği Temel İşlemler - I Ders Notları, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Tünay O., 1996. Çevre Mühendisliğinde Kimyasal Prosesler, İTÜ Yayınları, 186 s.
- Tutak M., 2006. Reaktif Tekstil Boyalarında Alternatif Reaktif Gruplarının Denenmesi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- Venkatadri, R., Peters, R.V., 1993. Chemical oxidation technologies: ultraviolet light/hydrogen peroxide, Fenton's reagent and titanium dioxide assisted photocatalysis. *Hazard. Waste Hazard. Mater.* 10, 107.
- Walling C., Kato S. 1971. The Oxidation of alcohols by Fenton's reagent: the effect of copper ion. *J. American Chem. Soc.* 93, 4275 – 4281

- Wang, X.H., Qiao, R.P., Li, N., Qi, Q.S. ve Zhuang, Y.Y. 2005. Degradation of microcystin-RR by UV radiation in the presence of hydrogen peroxide. *Toxicon.*, 45, 745–752.
- Xu, X.R., Li, H.B., Wang, W.H. ve Gu, J.D. 2005. Decolorization of dyes and textile wastewater by potassium permanganate. *Chemosphere*, 59, 893–898.
- Zhang, H., Zhang, J., Zhang, C., Liu, F. ve Zhang, D. 2009. Degradation of C.I. Acid Orange 7 by the advanced Fenton process in combination with ultrasonic irradiation. *Ultrason. Sonochem.*, 16, 325–330.
- Zhou, M., Yu, Q., Lei, L. ve Barton, G. 2007. Electro-Fenton method for the removal of methyl red in an efficient electrochemical system. *Sep. Purif. Technol.*, 57, 380–387.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Yusuf Alparslan ARGUN

Doğum Yılı : 1986

Eğitim Bilgileri (Kurum ve Yıl)

Lisans : Selçuk Üniversitesi, Çevre Mühendisliği, 2010

Yüksek Lisans : Aksaray Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, 2012

Doktora :

İletişim Bilgileri

Adres : Aşkan Mah. Güldere Sok. No: 24 Meram/KONYA

Telefon : 0530 461 94 71

E-posta : ar.gun@hotmail.com