

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ SÜLFAT  
RADİKALİ KULLANIMI İLE ARITILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ALİ ÖZTÜRK**

**DENİZLİ, HAZİRAN - 2019**

**T.C.  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**



**TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ SÜLFAT  
RADİKALİ KULLANIMI İLE ARITILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ALİ ÖZTÜRK**

**DENİZLİ, HAZİRAN - 2019**

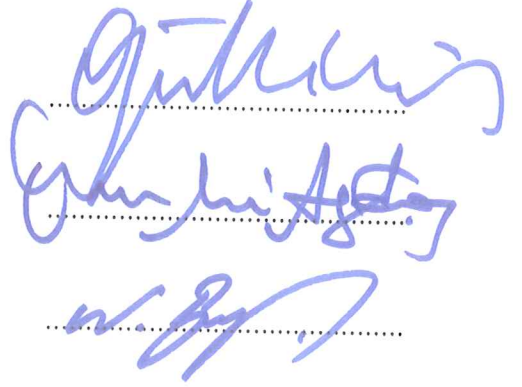
## KABUL VE ONAY SAYFASI

ALİ ÖZTÜRK tarafından hazırlanan “TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ SÜLFAT RADİKALI KULLANIMI İLE ARITILMASI” adlı tez çalışmasının savunma sınavı 24.06.2019 tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Danışman  
Doç. Dr. Gülbin ERDEN  
Pamukkale Üniversitesi  
Üye  
Prof. Dr. Osman Nuri AĞDAĞ  
Pamukkale Üniversitesi  
Üye  
Doç. Dr. Neval BAYCAN  
Dokuz Eylül Üniversitesi



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 05/02/2019 tarih ve 27/1422 sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Uğur YÜCEL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.**



**ALİ ÖZTÜRK**

## ÖZET

**TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ SÜLFAT RADİKALİ  
KULLANIMI İLE ARITILMASI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ALİ ÖZTÜRK  
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
(TEZ DANIŞMANI:DOÇ. DR. GÜLBİN ERDEN)  
DENİZLİ, HAZİRAN - 2019**

Tekstil endüstrisi atık sularında en önemli kirletici parametrelerden biri renktir. Tekstil atıksularındaki boyarmaddeler ışık geçirgenliğini ve fotosentetik aktiviteyi azaltarak alıcı ortamda çözülmüş oksijen konsantrasyonunu düşürmektedir. Son yıllarda sülfat radikali bazlı ileri oksidasyon prosesleri, kirletici maddelerin bozunması için yüksek kabiliyetleri ve adaptasyon yetenekleri nedeniyle artan bir ilgi görmektedir. Peroksimonosülfat (PMS), sülfat radikalini oluşturmak için farklı yöntemlerin kullanımı ile (ısıtma işlemi, alkali, aktif karbon,  $Fe^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Co^{2+}$  gibi geçiş metali kullanımı) aktive edilebilmektedir. Bu çalışmada PMS kullanımının, tekstil endüstrisi atıksularından renk giderimi üzerine etkileri incelenmiştir. Çalışmada radikal oluşumunu aktive etmek amacıyla düşük pH aralığı (3-3,5) kullanılmıştır. Radikal oluşumunu hızlandırmak, reaksiyonları katalizlemek amacıyla  $Fe(II)$  ve sıcaklık olmak üzere iki farklı katalizörün etkisi incelenmiştir. İki farklı katalizör için proses koşulları (PMS,  $Fe(II)$  konsantrasyonları, reaksiyon süresi ve PMS, sıcaklık, reaksiyon süresi) optimize edilmiştir. Proses optimizasyonu için Taguchi deneysel tasarım yöntemi kullanılmıştır. En uygun proses koşulları, ilk uygulama için renk giderme verimine (%97,03) ulaşılan 3 mM PMS konsantrasyonu, 3 mM  $Fe(II)$  konsantrasyonu ve 30 dakika reaksiyon süresi olarak belirlenmiştir. İkinci uygulama da ise, en yüksek renk giderme verimine (%90,41) ulaşılan 3 mM PMS konsantrasyonu, 80 °C sıcaklık ve 30 dakika reaksiyon süresi olarak belirlenmiştir.

**ANAHTAR KELİMELER:** Oksidasyon, Sülfat Radikalleri, Peroksimonosülfat, Tekstil Atıksuyu

## ABSTRACT

### TREATMENT OF TEXTILE INDUSTRY WASTEWATER BY USING SULPHATE RADICAL

MSC THESIS

ALİ ÖZTÜRK

PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

ENVIRONMENTAL ENGINEERING

(SUPERVISOR:DOÇ. DR. GÜLBİN ERDEN)

DENİZLİ, JUNE 2019

One of the most important pollutant parameters in the wastewater of textile industry is colour. Dyestuffs in textile wastewaters reduce the light permeability and photosynthetic activity, thereby lowering the dissolved oxygen concentration in receiving media. In recent years, sulphate radical-based advanced oxidation processes have received increased attention due to their high ability to degrade pollutants and their adaptability. Peroxymonosulphate (PMS) can be activated by the use of different methods (heat treatment, alkali, activated carbon, transition metal such as  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ) to form the sulfate radical. In this study, the effects of the use of PMS on decolorization of wastewater of the textile industry were investigated. In the study, low pH range (3-3,5) was used to activate radical formation. The effect of two different catalysts, Fe(II) and temperature, was investigated to accelerate radical formation and catalyze reactions. The process conditions for two different catalysts (PMS, Fe(II) concentrations, reaction time and PMS, temperature, reaction time) were optimized. Taguchi experimental design method is used for process optimization. Optimum process conditions in first study were as 30 min reaction time, 3 mM PMS concentration and 3 mM Fe(II) concentration, which was achieved the highest decolorization yield (97,03%). In second study were as 30 min reaction time, 3 mM PMS concentration and 80°C temperature, which was achieved the highest decolorization yield (90,41%).

**KEYWORDS:** Oxidation, Sulfate Radicals, Peroxymonosulphate, Textile wastewater

# İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ .....	vi
SEMBOL LİSTESİ.....	viii
ÖNSÖZ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ .....	2
2.1    Tekstil Endüstrisinin Tanıtılması .....	2
2.2    Tekstil Endüstrisinin Sınıflandırılması.....	5
2.2.1    Pamuklu Tekstil .....	5
2.2.2    Yünlü Tekstil .....	7
2.2.3    Sentetik Tekstil .....	8
2.3    Tekstil Endüstrisi Üretim Prosesleri ve İşlemleri.....	8
2.3.1    Haşılama İşlemi .....	8
2.3.2    Yıkama ve Haşıl Sökme İşlemi .....	9
2.3.3    Boyama İşlemi .....	10
2.3.4    Ağartma İşlemi .....	11
2.3.5    Yakma İşlemi.....	12
2.3.6    Karbonizasyon İşlemi .....	12
2.3.7    Ramözde Kurutma İşlemi .....	12
2.3.8    Merсерizasyon İşlemi .....	12
2.3.9    Dinkleme (Keçeleştirme) İşlemi .....	13
2.3.10    Pişirme İşlemi .....	13
2.3.11    Bazık İşlemler .....	14
2.3.12    Bitirme (Apreleme) İşlemi.....	14
3. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ALTIKSULARININ YÖNETMELİKLER İLE KATEGORİZASYONU .....	15
4. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSU KAYNAKLARI VE KARAKTERİSTİKLERİ.....	18
4.1    Tekstil Endüstrisinde Su Kullanımı .....	18
4.2    Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Kimyasallar .....	21
4.3    Tekstil Endüstrisi Atıksu Özellikleri ve Karakteristikleri.....	25
5. TÜRKİYE VE AVRUPA BİRLİĞİ'NDE TEKSTİL ENDÜSTRİSİ İLE İLGİLİ ÇEVRE MEVZUATI.....	39
6. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSU DEŞARJ STANDARTLARI .....	41
7. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ ARITILMASINDA KULLANILAN YÖNTEMLER .....	43
7.1    Fiziksel Arıtma Yöntemleri .....	46
7.1.1    Adsorpsiyon .....	46
7.1.2    Membran Prosesler .....	47
7.1.3    İyon Değişimi .....	49
7.2    Biyolojik Arıtma Yöntemleri .....	51
7.2.1    Aerobik Arıtma Yöntemi .....	52

7.2.2	Anaerobik Arıtma Yöntemi .....	53
7.2.3	Biyosorpsiyon .....	55
7.2.4	Ardışık Anaerobik-Aerobik Arıtma Yöntemi .....	56
7.2.5	İleri Aktif Çamur Yöntemi .....	56
7.3	Kimyasal Arıtma Yöntemleri .....	57
7.3.1	Nötralizasyon .....	57
7.3.2	Cucurbituril ile Arıtım .....	58
7.3.3	Koagülasyon-Flokülasyon (Pıhtılaştırma-Yumaklaştırma) .....	58
7.3.4	Elektrokimyasal Yöntem .....	62
7.4	İleri Oksidasyon Yöntemleri .....	63
7.4.1	Ozonlama .....	65
7.4.2	Fotokimyasal İOP .....	70
7.4.3	Ultraviyole (UV) Oksidasyonu .....	70
7.4.3.1	Hidrojen Peroksidin Fotolizi ( $H_2O_2/UV$ ) .....	71
7.4.3.2	Foto-Fenton Oksidasyonu ( $Fe^{+2}/H_2O_2/UV$ ) .....	72
7.4.3.3	Ozon ve Hidrojen Peroksit Oksidasyonu ( $O_3/H_2O_2$ ) .....	73
7.4.3.4	Ozon/UV Oksidasyonu ( $O_3/UV$ ) .....	73
7.4.3.5	Ozon/Hidrojen Peroksit/UV Oksidasyonu ( $O_3/H_2O_2/UV$ ) .....	74
7.4.3.6	Klor ve Hipoklorit Oksidasyonu .....	74
7.4.4	Heterojen Fotokimyasal Oksidasyonu .....	75
7.4.5	Fotokimyasal Olmayan İOP .....	77
7.4.5.1	Fenton Oksidasyonu ( $Fe^{+2}$ ) .....	77
7.4.5.1.1	Fenton Prosesine Etki Eden Faktörler .....	82
7.4.5.2	Ultrases .....	85
<b>8.</b>	<b>LİTERATÜR ÇALIŞMALARI .....</b>	<b>87</b>
<b>9.</b>	<b>İSTATİKSEL DENEY TASARIMI .....</b>	<b>93</b>
9.1	Taguchi Metodu .....	93
<b>10.</b>	<b>MATERYAL VE METOT .....</b>	<b>99</b>
10.1	Materyal .....	99
10.1.1	Gümüşsu Atıksu Arıtma Tesisi .....	99
10.2	Metot .....	100
10.2.1	Renk Analizi .....	100
10.2.2	Kimyasallar .....	100
10.2.3	Taguchi Deneysel Tasarım Metodu .....	100
<b>11.</b>	<b>SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>	<b>114</b>
<b>12.</b>	<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>116</b>
<b>13.</b>	<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>132</b>



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1: Pamuklu kumaş üretim akım şeması (Şengül 1991) .....	6
Şekil 2.2: Yünlü kumaş üretim akım şeması (Şengül 1991) .....	7
Şekil 4.3: Yünlü kumaş üretim prosesi, akım şeması, atıksu kaynakları, özellikleri ve uygulanabilecek arıtma işlemleri (Şengül 1991).....	20
Şekil 4.4: Pamuklu kumaş üretimi sırasında atıksu kaynakları (Şengül 1991) 21	
Şekil 4.5: Tekstil sanayisinin çeşitli süreçlerinde oluşan temel kirletici bileşenleri (Verma ve diğ. 2012).....	26
Şekil 7.6: Tekstil sanayisinde kullanılan boya giderim yöntemleri (Hai ve diğ. 2007) .....	44
Şekil 7.7: Literatürde bulunan boya giderim yöntemlerinin uygulama yüzdelikleri (Bahadır 2012) .....	45
Şekil 7.8: Kimyasal koagülantların şematize hali (Verma ve diğ. 2012) .....	60
Şekil 7.9: Ozonun rezonans yapısı (Bahadır 2012) .....	65
Şekil 7.10: Ozon oksidasyon mekanizması (Hoigne ve Bader 1976) .....	68
Şekil 7.11: TiO <sub>2</sub> fotokatalizinin basitleştirilmiş genel mekanizması (Birgül 2006).....	76
Şekil 7.12: ZnO fotokatalizinin basitleştirilmiş genel mekanizması (Daneshvar ve diğ. 2004) .....	76
Şekil 7.13: Fenton prosesinin uygulama yönteminin şematize edilmiş hali (Gogate ve Pandit 2004).....	79
Şekil 7.14: Kavitasyon kabarcığının homojen tepkime ortamında muhtemel tepkime bölgeleri (Eren 2009).....	86
Şekil 9.15: Taguchi yönteminin uygulanma aşamaları (Mezarcıöz ve Oğulata 2010).....	94
Şekil 10.16: Optimizasyon kriterleri üzerine PMS prosesine etki eden Fe(II) ve süre parametreleri .....	103
Şekil 10.17 : PMS=1 mM değerine karşılık değişken Fe(II) ve süre parametreleri.....	105
Şekil 10.18: PMS= 2 mM değerine karşılık değişken Fe(II) ve süre parametreleri.....	106
Şekil 10.19: PMS= 3 mM değerine karşılık değişken Fe(II) ve süre parametreleri.....	107
Şekil 10.20: Optimizasyon kriterleri üzerine PMS prosesine etki eden sıcaklık ve süre parametreleri.....	109
Şekil 10.21: PMS= 1 mM değerine karşılık değişken sıcaklık ve süre parametreleri.....	111
Şekil 10.22: PMS= 2 mM değerine karşılık değişken sıcaklık ve süre parametreleri.....	112
Şekil 10.23: PMS= 3 mM değerine karşılık değişken sıcaklık ve süre parametreleri.....	113

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 3.1:</b> Alt kategorilere göre atıksu oluşturan işlemlerin dağılımı (EPA 1978).....	17
<b>Tablo 4.2:</b> Tekstil işlemlerinde su kullanımı (EPA 1996) .....	19
<b>Tablo 4.3:</b> Tekstil sanayisindeki proseslerde kullanılan kimyasal maddeler ve atıksu karakterizasyonu (Batıbay 2008) .....	22
<b>Tablo 4.4:</b> Tekstil atıksuyunda bulunan kimyasal maddeler (Sevimli 2000)...	23
<b>Tablo 4.5:</b> Pamuklu tekstil atıksuları genel kompozisyonu (Batıbay 2008) ....	27
<b>Tablo 4.6:</b> Yünlü tekstil yapağı yıkama ve bitirme (boya-apre) atıksu özellikleri (Batıbay 2008).....	27
<b>Tablo 4.7:</b> Boyama atıksularının özellikleri (Başbuğ 2008) .....	28
<b>Tablo 4.8:</b> Tipik bir tekstil işletmesinin yıllık kirlilik yükleri (Köseoğlu 2004).....	28
<b>Tablo 4.9:</b> Tekstil atıksularının ortalama karakterizasyonu (Yavuz 1998).....	29
<b>Tablo 4.10:</b> Tekstil sanayisinde kullanılan lifli malzeme tipine ve üretim sürecine göre kirleticiler (Sevimli 2000).....	29
<b>Tablo 4.11:</b> Çeşitli boyar maddelerin uygulandığı ve çeşitli lifli malzemelerin boyandığı boyahane atıksularının özellikleri (EPA 1996).....	31
<b>Tablo 4.12:</b> Tekstil elyaflarının boyanmasında uygulanan boyarmaddeler (Kurtuluş ve Şenol 2004).....	33
<b>Tablo 4.13:</b> Tekstil süreçlerinden oluşan kirleticiler (Sevimli 2000).....	36
<b>Tablo 6.14:</b> Tablo:10.3 Pamuklu Tekstil ve Benzerleri (Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği 2004).....	42
<b>Tablo 6.15:</b> Atıksuların atıksu altyapı tesislerine deşarj standartları (DESKİ Atıksuların Kanalizasyona Deşarj Yönetmeliği 2017).....	42
<b>Tablo 7.16:</b> Kullanılan koagülant türüne göre işletme ve verim karşılaştırması (Verma ve diğ. 2012) .....	61
<b>Tablo 7.17:</b> Bazı oksitleyici maddelerin standart redoks potansiyelleri (Irmak 2000).....	64
<b>Tablo 7.18:</b> Ozonun saf sudaki çözünürlüğü (Yıldırım 2009) .....	66
<b>Tablo 7.19:</b> Ozonun diğ er fiziksel özellikleri (Yılmaz 2009) .....	67
<b>Tablo 7.20:</b> Çeşitli UV ışık türlerinin dalga boyları ve enerji aralıkları (Tarr 2003) .....	71
<b>Tablo 7.21:</b> Fenton yönteminin avantaj ve dezavantajları (Öden 2010).....	79
<b>Tablo 9.22:</b> Taguchi Ortogonal dizi seçim çizelgesi (Gökçe ve Taşgetiren 2009).....	96
<b>Tablo 10.23:</b> Alınan numunenin özellikleri .....	99
<b>Tablo 10.24:</b> 3 seviyeli $L_9(3^3)$ ortogonal dizininin genel gösterimi (Mezarcıöz ve Oğulata 2010).....	101
<b>Tablo 10.25:</b> Kontrol faktörleri ve seviye değerleri-1 .....	102
<b>Tablo 10.26:</b> ANOVA Tablosu-1 (Analysis of Variance) .....	104
<b>Tablo 10.27:</b> PMS= 1 mM değerine karşılık değışken Fe(II) ve süre parametreleri.....	105
<b>Tablo 10.28 :</b> PMS= 3 mM değerine karşılık değışken Fe(II) ve süre parametreleri.....	107

<b>Tablo 10.29:</b> Taguchi L9 ortogonal tasarım tablosu (PMS, Sıcaklık, Süre)..	108
<b>Tablo 10.30:</b> ANOVA Tablosu-2 (Analysis of Variance) .....	110
<b>Tablo 10.31:</b> PMS= 1 mM değerine karşılık değişken sıcaklık ve süre parametreleri.....	111
<b>Tablo 10.32:</b> PMS= 2 mM değerine karşılık değişken sıcaklık ve süre parametreleri.....	112
<b>Tablo 10.33:</b> PMS= 3 mM değerine karşılık değişken sıcaklık ve süre parametreleri.....	113

## SEMBOL LİSTESİ

<b>BOİ</b>	:	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
<b>KOİ</b>	:	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
<b>AKM</b>	:	Askıda Katı Madde
<b>İOP</b>	:	İleri Oksidasyon Prosesi
<b>EPA</b>	:	Environmental Protection Agency
<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>	:	Hidrojen Peroksit
<b>OH*</b>	:	Hidroksil Radikali
<b>UV</b>	:	Ultraviyole
<b>AB</b>	:	Avrupa Birliği
<b>SKKY</b>	:	Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği
<b>TOK</b>	:	Toplam Organik Karbon
<b>ÇKM</b>	:	Çözünmüş Katı Maddeler
<b>ADMI</b>	:	American Dye Manufacturers Institute
<b>IPPC</b>	:	Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü Direktifi
<b>BAT</b>	:	Mevcut En İyi Teknikler
<b>DESKİ</b>	:	Denizli Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi
<b>OH<sup>-</sup></b>	:	Hidroksil İyonu
<b>TAM</b>	:	Toplam Askıda Madde
<b>Pt-Co</b>	:	Platin-Kobalt
<b>K-F</b>	:	Koagülasyon-Flokülasyon
<b>PMS</b>	:	Peroksimonosülfat

## ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma Pamukkale Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde hazırlanmıştır. Çalışmalarım süresince desteğini benden esirgemeyen hocam Sayın Doç. Dr. Gülbin Erden'e teşekkürlerimi sunarım.

Kaynak temininde ve deneysel çalışmalarda yardımını esirgemeyen Arş. Gör. Pelin Koyuncuoğlu'na teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmada kullandığımız tekstil atıksuyunun temininde bizlere yardımcı olan Gümüşsu Arıtma Tesisleri San. Ve Tic. A.Ş. yetkili ve çalışanlarına teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sırasında DESKİ Genel Müdürlüğü Arıtma Tesisleri Daire Başkanlığı'na bana destek verdikleri için teşekkür ederim.

Ayrıca sabır ve anlayışla beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan, eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini hiç eksik etmeyen sevgili aileme teşekkürü bir borç bilirim.

## 1. GİRİŞ

Tekstil sanayisi, insanların besin ihtiyacından sonra en önemli gereksinimlerinden biri olan giyeceklerin üretildiği sektördür. Bu sektör, daha çok gelişmekte olan ülkelerde yaygınlaşmaya başlamıştır. Türkiye, dünya tekstil piyasasında önemli bir konuma sahip olmuştur. Tekstil sanayisi ürünleri, ülkemizin toplam ihracat gelirlerinin yaklaşık %40'ını sağlamaktadır. Tekstil endüstrisinde ülkemizin toplam endüstriyel işgücünün %10 'u çalışmaktadır. Tekstil, Türkiye'nin en önemli endüstrilerinden biri olması nedeniyle, atık üretiminin de en fazla olduğu sektörlerin başında gelmektedir. Üretim esnasında aşırı su tüketimi olmakta, bu yüzden de çok fazla atıksu meydana gelmektedir. Tekstil endüstrisinde kullanılan ham malzemenin ürüne dönüştürülmesine kadar üretim zincirinde uygulanan temel işlemler ve ıslak prosesler gibi uygulamalar bulunmaktadır. Tekstil atıksuları, kullanılan boyar madde türüne bağlı olarak çözünmüş formda birçok organik kirletici içermektedir. Tekstil endüstrisinde kullanılan boyar maddelerin kimyasal yapıları kompleks ve sentetik yapıya sahip olduğu için tekstil atıksularının arıtılması zor ve pahalı olmaktadır (Toröz 2008). Arıtmanın zor olmasının başında aynı tesiste oluşan atıksuların farklı özellik sergilemesidir. Bu farklılık bu tür atıksuların arıtılmasında farklı yaklaşımları doğurmuştur. Tekstil atıksularının arıtılmasında birden fazla temel prosese ihtiyaç duyulmaktadır. Tekstil atıksularının spesifik şeklinin oluşmasında en önemli faktörlerin başında boyahanelerin atık suları gelmektedir. Ayrıca önemli mertebede renk, sıcaklık, KOİ ve çözünmüş katı madde içeren alkali karakterde atıksulardır. Tekstil atıksuları birçok değişik tekstil malzemeleri olmasına rağmen kolaylaştırıcı olması açısından genel olarak; pamuklu tekstil atıksuları ve yünlü tekstil atıksuları olarak incelenmektedir. Tekstil endüstrisinde kullanılan kimyasal ve boyarmaddeler genellikle çevre ve insan sağlığına zararlı maddeler içermektedir. Tekstil sanayinin çevreye olan etkilerini azaltmak için, ham madde kullanımını azaltmak ve mümkün ise geri dönüşüm ve yeniden kullanımlarını artırmak ve atıksuların gerekli yöntemlerle arıtılmasını sağlamak gerekmektedir.

## 2. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ

### 2.1 Tekstil Endüstrisinin Tanıtılması

Tekstil kelimesi örme veya dokuma manasına gelen Latince bir kelime olan ‘Texere’ isminden gelmektedir (Kereci 2014). Tekstil, milattan önce 5000 yıllarından kalma Mısırlılara ait olan mağaralarda bulunmuş keten giysi kalıntıları ile dünyanın en eski endüstri dalı olduğunu göstermiştir. Tekstil endüstrisi 1500’lerin başlarında kurulmuş ilk imalat fabrikaları ile önemini arttırmaya başlamıştır (Yılmaz 2010). İnsanların sosyoekonomik durumlarının farklılık göstermesi ve çevresel etkiler sonucunda giyime olan ihtiyaç artmış ve farklı tekstil yöntemlerini ortaya çıkarmıştır. Giysinin kültürel işlevi ile boyar malzemelerin dokuma ve örme işlemlerinden önce ve sonra kullanılması giderek artmıştır. Ülkemizde bu sanayi kolu Defterdar ve Hereke Yünlü Fabrikaları ile Bakırköy Pamuklu Fabrikası’nın kurulması ile Osmanlı Devleti’nin son dönemlerinde sanayi kolu seviyesine gelmiştir. Sümerbank’ın kurulmasından sonra bu endüstri ülkemizde hızlı bir şekilde gelişmiş, özel sektörün yatırımları ile son yıllarda önemini arttırmıştır. Ülkemizde özellikle fazla işçi kullanılan, büyük parasal yatırımlar gerektiren bu sanayi kolu, sadece insanların gereksinimlerini karşılamak için değil, bunun yanı sıra ihracat açısından da önem arz etmektedir. Ülkemizdeki üretim giderlerinin düşük, malzeme kalitesinin yüksek olmasından dolayı uluslararası pazarda tekstil ürünlerimizin rekabet imkânını arttırmıştır. Son dönemlerde Türkiye’de faaliyet gösteren saf ve sentetik lif sanayi genellikle Bursa, Adana ve İstanbul bölgelerinde yoğunlaşmıştır. 1980’den sonra ekonomik alanda meydana gelen değişimlere bağlı olarak ülke dışına açılmaya yönelik bir yol içine girilirken hazır giyim sektöründe ihracat yoğunluğu başlamıştır. Türkiye, Avrupa kıtasının en büyük tekstil imalatı yapan ve dünyanın yedinci büyük pamuk üreten ülkesidir. Dünya tekstil ürünleri ihracatında Türkiye’nin payı %3, ev ve mekân tekstilinde %4,5 ve teknik tekstilinde ise %1,5 paya sahiptir (Kereci 2014). Bu sanayi kolu, dünyada gıda sanayisinden sonra gelen ikinci büyük endüstridir. Dünyanın üretim enerjisinin %10’u bu sanayi kolu için harcanmaktadır (Vainhandl ve Marechal 2005).

Tekstil sanayi kolu, saf ve sentetik lifli malzeme kullanılarak ipliklerin hazırlanması, dokuma, örme ya da diğer yöntemlerle kumaş, triko, halı vb. tekstil ürünlerine dönüştürülmesi, iplik ve kumaşlara kasarılama (ön terbiye), haşılama, boya, apre gibi terbiye işlemlerinin uygulanmasını kapsayan endüstridir (Güneş 1999, Köseoğlu 2004). Sentetik lifli malzemenin temizlenmesi ve iplik şekline dönüştürülmesi bu sanayi kolunun içerisinde olmasına rağmen sentetik lifli malzemenin üretimi ve giyim sanayi kolu bu sınıflandırmanın dışında kalmıştır (Erol 2007).

Tekstilde hammadde olarak kullanılan lifli malzemeler çeşitli boyuttaki filamanlar şeklindedir ve üç başlık altında incelenmektedir (Tünay ve diğ. 1996, Şahin 2006).

### **1- Saf Lifli Malzeme**

**Hayvansal Kökenli Olanlar:** Yün, ipek gibi protein elyaflardır.

**Bitkisel Kökenli Olanlar:** Pamuk, keten, jüt.

### **2- Sentetik Lifli Malzeme**

**Sentetik Polimerden Elde Edilmiş Olanlar:** Poliakrilonitril, poliamid, poliester, polipropilen, poliüreten- elastomer, polivinilklorür.

**Sentetik Olarak Üretilen İnorganikler:** Cam elyafı, karbondan ve metalden elde edilen elyaf.

### **3- Suni Lifli Malzemeler**

Saf elyaftan kimyasal işlemlerin uygulanması sonucu oluşan viskoz rayon, asetat rayon gibi lifli malzemelerdir.

İmalatta yer alan boyama, yıkama, baskı gibi temel süreçler tekstil sanayisinin tamamında bulunmaktadır. Fakat kullanılan lifli malzemenin özelliğine bağlı olarak başka üretim yöntemleri de görülmektedir (Bahadır 2012). Mesela, yünlü malzemelere uygulanan karbonizasyon ve dinkleme, pamuklu malzemelere uygulanan merserizasyon işlemleri farklı üretim yöntemlerini oluşturmaktadır.



Pamuk ve sentetik lifli malzemelerde en başta yıkama işlemini gerektiren bir kirlilik olmamasına rağmen, yün lifli malzemelerin ise içerdiği kirlilikten dolayı iplik şekline getirilmeden önce yıkama işleminden geçirilmesi gerekmektedir (Vandevivere ve diğ. 1998). Bu yüzden, farklı lifli malzemeler için çeşitli kimyasal maddeler kullanıldığından endüstride yer alan proses ve işlemler en fazla kullanılan lifli malzeme türüne göre değerlendirilmelidir (Bahadır 2012).

Tekstil sanayi kolu genel olarak üretim, hammadde, su tüketimi ve kullanılan teknolojik yöntemler açısından farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklara bağlı olarak da endüstride oluşan atıksular farklı karakterizasyonlara sahip olmaktadır (Sevimli 2000). Boyama, yıkama ve durulama yöntemlerinin atıksuları yüksek derişimlerde çözünmüş madde içermektedir. Ayrıca karmaşık, polar yapıdaki reaktif boyalardan dolayı da aşırı renkli atıksuya sahiptirler. Atıksudaki rengi meydana getiren süreçlerin ana kaynağını boyama ve pigment baskıdan kaynaklanmaktadır (Gönder 2004). Boyamada diğer ünitelere nazaran daha çok su ve kimyasal madde tüketimi vardır. Boyamadan gelen atıksularda önemli miktarda boya banyo kalıntıları ile ısı ve nem altından geçirilmemiş boyar maddeler bulunmaktadır (Birgül ve Solmaz 2007).

Günümüzde tekstil sanayisinde kullanılan boyar maddelerin sayısı yaklaşık 10.000'dir ve yıllık bu maddelerin üretimi 700.000 tondur. Bu boyar maddeler içerisinde azo boyar grubu maddeler en büyük ve en önemli ticari sınıfı meydana getirmektedir. Çok kararlı antrakinon yapılarından dolayı kalıcı yönleri ile karakterize edilmektedir (Neamtu ve diğ. 2002). Tekstil sanayisi lifli malzemenin üretimini içeren farklı proseslerle ilgili olarak yüksek miktarda su tüketir. Mesela, 1(bir) kilogram pamuk elyafın işleme sürecinde 80-100 L suya ihtiyaç olmaktadır. Bu olay, tekstil atıksularının yüksek miktarda renk ve organik yardımcı kimyasallar, inorganik tuzlar, ağır metaller ile noniyonik surfaktanlar içermesine neden olur (Kritikos ve diğ. 2007). Hacmi ve kapasitesi dikkate alındığında tekstil sanayi atıksuları diğer sanayi faaliyetlerine göre daha çok kirletici içermektedir. (Vandevivere ve diğ. 1998).

Son dönemlerde insan sağlığını ve çevreyi korumak maksatıyla, boyar maddeler ve bunları kullanan sanayiler sert yasal düzenlemelere uymak zorunda bırakılmışlardır. Buna bağlı olarak, boyar maddelerin etkili bir şekilde giderilmesi ve

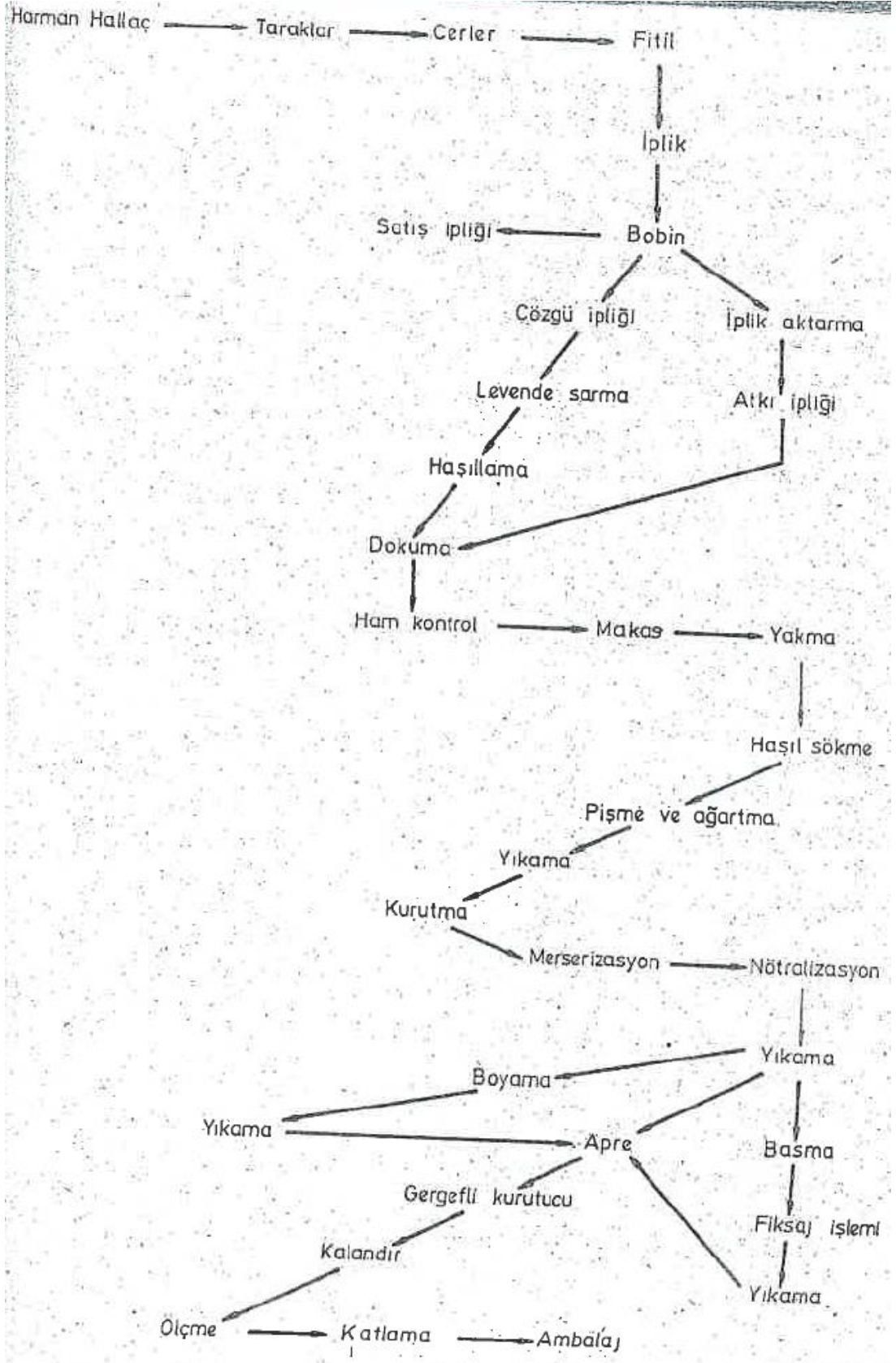
yasal mevzuatta bulunan deşarj standartlarının sağlanması tekstil sanayisi için önemli bir sorun olmaya başlamıştır (Alaton ve Balcıoğlu 2001). Tipik bir tekstil fabrikasının çıkış suyu karakterizasyonuna örnek olarak, günde 25 ton lifli malzemeyi boyamak için 2 ton boya kullanılmaktadır. Çıkış suyunun kapasitesi 850m<sup>3</sup> ise çıkış suyunun değeri 1500 mg/L'dir. Bu sonuç arıtma işlemleri uygulandıktan sonra 15 mg/L'e indirilmesi gerekmektedir. Tekstil fabrikalarının mevcut klasik tip arıtma yöntemleri ile bu arıtma giderimini sağlamakta yetersiz kalmaktadır (Lorimer ve diğ. 2000).

## **2.2 Tekstil Endüstrisinin Sınıflandırılması**

### **2.2.1 Pamuklu Tekstil**

Pamuk lifli malzeme, iplik üretimi, dokuma hazırlık ve ürünlerin terbiye edilmesi olarak üç kısımda işlenir. İplik üretimi, açma temizleme, tarama, çekme, eğirme, bobinleme gibi aşamalardan oluşur. Bu yöntemler genellikle kuru yöntemlerdir. Dokuma hazırlık yöntemleri, bobin ve çile hazırlaması, çözgüler, tahar, haşılama ve dokuma yöntemlerinden oluşur ve bu yöntemlerde genellikle kuru yöntemlerdir. Terbiye yönteminde yüksek miktarda su kullanımına gereksinim olmaktadır. Bu yöntemler ise haşıl sökme, yıkama, pişirme, mercerizasyon, kasar, boyama ve apre yöntemleridir. Boyama yönteminde genellikle reaktif naftol, direkt, kükürtlü ve indigo tipli çeşitli boyar maddeler kullanılmaktadır (Yılmaz 2010).

Pamuklu kumaş üretimine ait akım şeması Şekil 2.1'de verilmiştir (Şengül 1991).

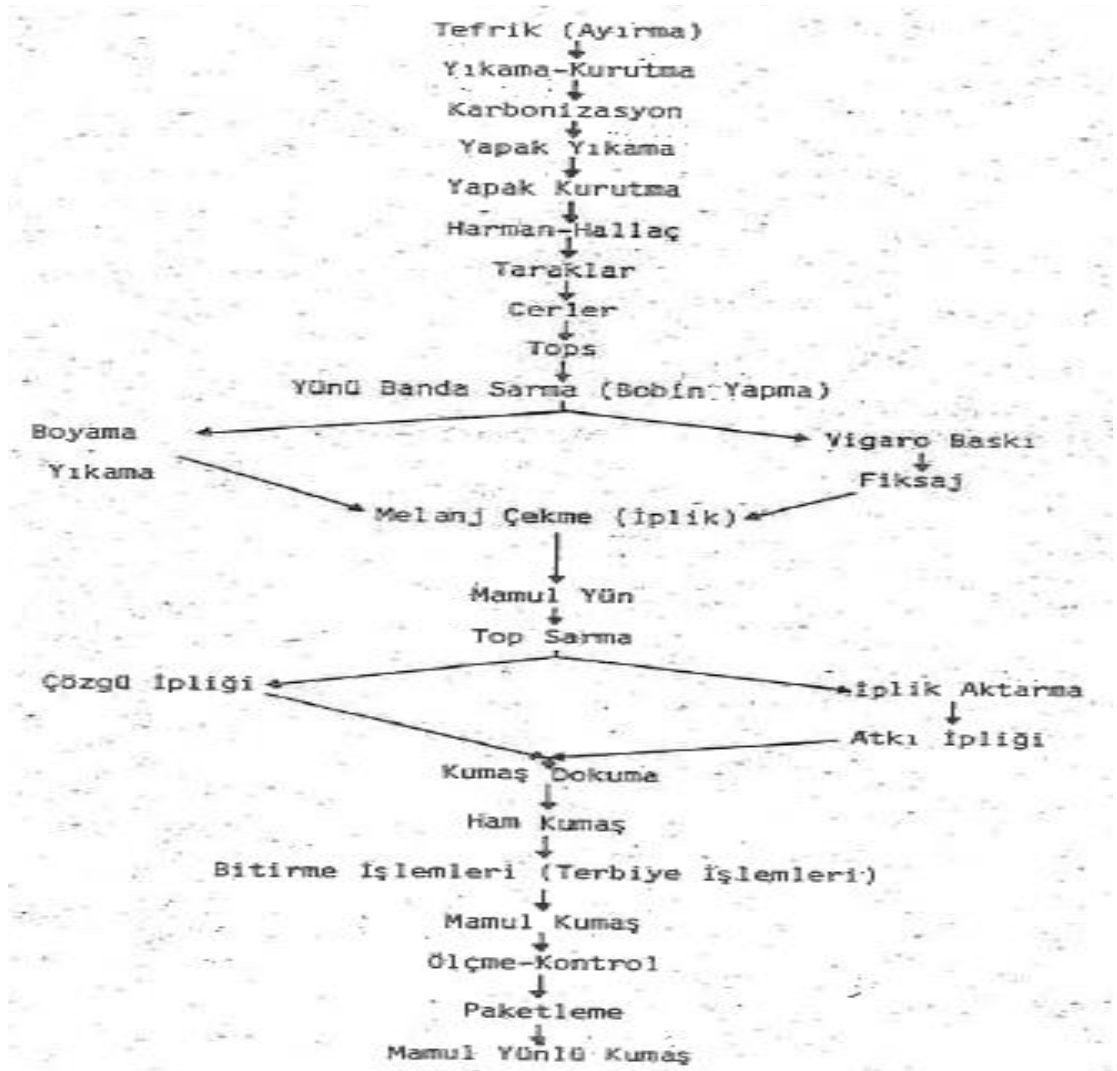


Şekil 2.1: Pamuklu kumaş üretim akım şeması (Şengül 1991)

## 2.2.2 Yünlü Tekstil

Pamuklu tekstil ile benzer aşamalardan geçirilen yünlü tekstilin diğerinden ayıran en önemli farkı yünün yıkanma işidir. Çok kirli, yağlı atık oluşumuna neden olan bu durum ayrı bir sınıf oluşturur. Terbiye yöntemi aşamasında karbonizasyon, dinkleme, yıkama, boyama ve apre yöntemleri uygulanır. Boyama işleminde başlıca asit, metalize ve mordant cinsi boyalar kullanılır, daha sonra da sıcak asit metalize ve mordant boyalar kullanılmaktadır. En sonunda da sıcak su veya kimyasal malzemelerle fiksaj yapılmaktadır (Yılmaz 2010).

Yünlü kumaş üretimine ait akım şeması Şekil 2.2’de verilmiştir (Şengül 1991).



Şekil 2.2: Yünlü kumaş üretim akım şeması (Şengül 1991)

### **2.2.3 Sentetik Tekstil**

Selülozik ve organik polimerlerin lifli malzemeleri pamuk ve ynl malzemelerle karıştırılarak veya karıştırılmadan iplik hazırlama, haşıl sökme, boyama ve apre yöntemlerinden geçirilir. Boyamada asit, bazik, dispers, naftol gibi boya malzemeleri kullanılmaktadır (Yılmaz 2010).

## **2.3 Tekstil Endüstrisi retim Prosesleri ve İşlemleri**

Tekstil sanayisinde üretim aşamasında yer alan proses ve işlemler, üretim yapılacak lifli malzemeye baēlı olmaksızın birbirine benzer proseslerden oluşmaktadır (Birgl 2006).

Hammaddenin durumuna baēlı olarak çeşitli kimyasal maddelerin kullanılması, sanayide uygulanan proses ve yöntemlerde en fazla kullanılan hammadde çeşidine göre tek tek ele alınıp incelenmelidir (Göknil ve diē. 1984).

Tekstil rnleri, temel olarak yaş ve kuru süreçlerden elde edilmektedir. Kuru süreçlerin ardından uygulanan boyama ve/veya apreleme işlemlerini içeren süreçler yaş prosesleri meydana getirmektedir. Kuru süreçlerde su tüketimi olmadıēı için atıksu kirlenmesinde çok bir etkileri yoktur (Batıbay 2008).

Bu endüstri dalında kullanılan temel işlemler; haşılama, yıkama ve haşıl sökme, aēartma, merserizasyon, boyama, ramzde kurutma, karbonizasyon, keçeleştirme(dinkleme), apreleme, yakma, bazik işlemler ve bitim işlemleri olmak üzere sınıflandırılabilir (Birgl 2006)

### **2.3.1 Haşılama İşlemi**

Dokumadan önce çözgü ipliklerinin lifli malzeme ve iplik kalitelerine göre mutabık bir haşıl sıvısı ile içerisinde sıkma silindirleri olan bir tektenen geçirilerek, ipliēe aktarılması ve takiben kurutulması sonucu dokuma işleminde istenilen özelliklerin ipliēe kazandırılması tekniēidir (Gökkuş 2009).

Bir başka deyişle haşılama, ince yapıdaki kumaşların dokuma işlemi sırasında ince iplik kullanılmaktadır. Ancak bu yapıdaki iplik, dokuma işlemi sırasında uğrayacağı gerilimlerin etkisine bağlı olarak kopar. Böyle durumda, nişasta ve dekstrin gibi maddeler kullanılarak kumaşın yapısı geçicide olsa sağlamlaştırılma işlemidir (EPA 1997, EPA 2000, Birgül 2006).

Haşılama işleminin amacı; dokuma ünitelerinde kumaşa dönüştürülmek amacıyla dokuma tezgâhlarına gerilen iplerin hasar görmeden, fiziksel özelliklerini kaybetmeden, dayanıklılığını ve sürtünme yeteneğini artıran, dokuma işleminin kesintiye uğramadan, hatasız, kumaşın niteliğini bozmadan ve üretim verimini artıran, dokuma tezgâhlarına gerilmiş lifli malzemenin uç noktalarını birbirine yapıştıran ve ipliğe düzgün ve kaygan bir silindir hale sokmak için uygun özellikleri bulunan ve dokuma işleminden sonra uygulanacak boyama ve apreleme işlemlerine engel olmadan kumaştan kolayca giderilmesinin sağlanması ve terbiye işleminde olumsuz etki oluşturmayan kimyasal maddelerden elde edilmiş akışkanlığı az olan bir sıvıdan geçirilme olayıdır (Gökkuş 2009).

Haşıl maddeleri, makromoleküllü, film meydana getirebilen ve elyafa belli bir yapışma, tutunma eğiliminde, saf veya sentetik kökenli maddeler olarak tanımlanabilmektedir (Kayacan 2010). Genellikle doğal nişastalar, yapısı değiştirilmiş selülozlar ve sentetik malzemelerdir. Sentez yoluyla üretilen ipliklerde haşıl maddesi olarak nişasta bileşikleri yerine karboksil metil selüloz, polivinil alkol (PVA) ve poliakrilik asit gibi kimyasal maddelerin kullanılması atıksu içerisindeki biyolojik oksijen ihtiyacını (BOİ) artırır (Birgül 2006). Polivinil alkol, su/deterjan karşımı ile oluşturulan çözeltisi ile giderilebilir. Bunun sonucunda ise askıda katı madde (AKM), yağ ve gres içeren atıklar suya karışarak suyun askıda katı madde ve kimyasal oksijen ihtiyacını (KOİ) yükseltir (Kayacan 2010).

### **2.3.2 Yıkama ve Haşıl Sökme İşlemi**

Yıkama süreci lifli malzemenin üzerindeki tozun ve kimyasal maddelerin arındırıldığı bir ön yıkama ve enzimatik veya ön uygulamalar ile bazı yardımcı maddelerin arındırıldığı haşıl sökme aşamalarını içermektedir. Bu olay, tekstil atıksularında toplam kirliliğin ortalama %50'sini meydana getirmektedir. Boyama ve

apreleme işlemleri için kirli olmayan kumaş hazırlamak maksatıyla sodyum hidroksit, klor, silikatlar, sodyum bisülfid ve deterjanlar, nişastanın hidrolizi için enzimler ve asitler kullanılmaktadır. Uygulama yapılacak lifli malzemenin türüne göre; kullanılacak kimyasal madde, suyun sıcaklığı ve etki etme zamanları değişkenlik gösterir. Boyama işlemlerinden önce haşıl maddelerinin arındırılması oldukça önem arz etmektedir. Nitekim haşıl maddeleri boyanın lifli malzemenin içine işlenmesini engeller ya da boyanın renginde değişime neden olur (EPA 1997, EPA 2000, Kırdar 1995).

Pestisit gibi, atıksu deşarjında probleme neden olan yün yapağılarındaki kirliliklerin giderilebilmesi için yıkama işlemleri yapılır. Permetrin (permethrin) güve tehlikesine karşı yaygın şekilde uygulanan maddelerden birisidir. Evsel nitelikli atıksu arıtma tesislerinin çalışmasına engel olan bu madde atıksu deşarjında kirletici madde olarak bulunur. Güve, çürüme ve nemle karşı kimyasallar ayrıca gri kumaşlardan yıkanabilir. Pentaklorofenol (PCP) içeren bu maddeler, suda kirlilik oluşturur ve birikime neden olur. Biyosit olarak isimlendirilen bu malzemeler biyolojik arıtma tesisleri ile kolay şekilde giderilemez (Aytaç 2011).

### **2.3.3 Boyama İşlemi**

Kumaş ve ipliğe uygun olan renklerin verilmesi için boyama işlemleri uygulanır. Bu işlem birden fazla şekilde ve yeni boya maddeleri, yardımcı kimyasallar ilave edilerek yapılmaktadır. Boyama işlemleri genel olarak sıcak boya çözeltilerinde uygulanır. Boyama işlemlerini takip eden süreçlerde sürekli olarak birtakım boya maddesi boya çözeltilisinin içerisinde kalır ve bu maddeler çıkış suyunda bulunur. Bu süreçte uygulanan ve ürüne temas etmemiş boya miktarı %40 civarında olabilir. Ancak bu miktar süreçte gerçekleştirilecek denemeler ve özen gösterilmiş uygulamalarla %5 düzeylerine getirilebilir. Bu sayede hem maliyetten tasarruf elde edilirken hem de çevresel etkileri azaltılabilir (Birgül 2006).

Daha kolay giderilebilen boyaların bir kısmı arıtma ile giderilebilirken, diğer kısmı özellikle modern reaktif boya içeren atıksuların giderilmesi oldukça zor olabilir ve bu atıksular biyolojik arıtma yönteminden sonra, alıcı ortama deşarjda renkli bir atıksu çıkışı meydana gelmektedir. Bunun yanısıra kükürt karışımı

boyalar, biyolojik arıtma proseslerinde problemlere neden olabilir ve çıkış suyunda koku meydana gelebilir. Yünlü malzemeler için kullanılan boyalar, her şeyden önce krom gibi ağır metaller bünyesinde bulundurabilir. Deşarj suyunda yüksek miktarda krom yeni kimyasal yollarla azaltılabilir, ama birçok yün için uygulanan boyalarda problem devam etmekte ve deşarj limitleri sorun teşkil etmektedir. Bu tür atıksuların çözülmüş madde miktarı ve KOİ değeri yüksektir (Aytaç 2011).

### 2.3.4 Ağartma İşlemi

Bu süreçte kullanılan kimyasal malzemeler, ipliklerin rengini ve pisliklerin arındırılması maksatıyla kullanılır. Genel olarak kullanılan ağartma maddeleri, güçlü oksitleme özelliğine sahip hipoklorit ve hidrojen peroksittir. Bu maddeler, yoğun biçimde bu süreçte giderilmiş atıklarla beraber deşarj olur (Aytaç 2011). Bu ağartma işlemine yarayan kimyasallardan özellikle hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ) pamuklu malzemelerin ağartma işleminde kullanılır.  $H_2O_2$ , su ve oksijene ayrışır ve çözünmemiş katı partiküller veya görülebilir artıklar bırakır (EPA 1997, EPA 2000).

$H_2O_2$ , tüm elyafın %85'inden fazlasının ağartılmasında kullanılır. Süreç sonunda meydana gelen kirlilik yükü düşüktür. Atıksu içerisinde çözülmüş katı maddeler, bazı organik maddeler (deterjan ve şellatlaştırma vb.) ve inorganik katı maddeler (sodyum hidroksit, sodyum fosfat ve sodyum silikat) içermektedir (Kayacan 2010).

Özellikle pamuklu kumaş türlerinde mevcut olan yağ, parafin ve mum vb. yabancı maddeler kumaşlara hidrofob bir özellik kazandırmaktadır. Bu özellik kumaşın boyama işlemi sırasında dalgalı şekilde boyanmasına ve malzemenin kumaşa düzgün bir şekilde işlememesine sebep olmaktadır. Ayrıca pamuğun kendine özgü sarımtırak rengini bozarak kumaşa beyaz bir görünüş kazandırmak için ağartma yapılır. Genellikle hidrojen peroksit ağartma sürecinde kullanılan yükseltgen bir kimyasaldır (İçoğlu 2006). Yünün farklı yükseltgen malzemelerle ağartılması denenmiş olsa da bunların bir kısmı uygulamalarda kendine yer bulabilmiştir. Bu yüzden, yün ağartma işleminde asidik ve bazik ortamda uygulanan hidrojen peroksit ağartması önemli bir kısmını oluşturmaktadır (Duran ve diğ. 2006). Ağartma



sürecinden gelen tekstil atıksuları toplam BOİ'nin ortalama %5'ini oluşturmaktadır (EPA 1997).

### **2.3.5 Yakma İşlemi**

Buradaki gaye, kumaşı meydana getiren ipliklerden çıkan elyafın uçlarını (hav tüycüklerini) ortadan yok etmektir (Kayacan 2010).

### **2.3.6 Karbonizasyon İşlemi**

Kirli yün elyaflarında bulunan bitkisel kalıntıların, yıkama ve diğer işlemler esnasında uzaklaştırılamayan kısmının giderilmesi için uygulanan işlemdir (Sevimli 2000). Bu işlem, saf suyla seyreltilmiş sülfürik asitle ıslatma, kurutma işlemi ve ısıtma işlemlerinden sonra farklı bir cihazda selülozik maddenin makine yardımıyla uzaklaştırılması ve ürünün sodyum karbonatla nötralleştirmesi, kurutma ve yıkama süreçlerinden geçirilmesinden ibarettir. Bu işlem sonucunda meydana gelen atıksu bitkisel arındırılmışlığa göre düşük organik madde yüküne sahip olurken, asit kullanımı neticesinde yüksek çözünmüş madde içeriğine sahip olur (Akdeniz 2006).

### **2.3.7 Ramözde Kurutma İşlemi**

Boyama işlemi esnasında tezgâhtaki bazı buruşma ya da şekil bozulmalarını düzeltmek ve germek için boyadan geçirilen kumaşlarda uygulanır. Bu olay, kumaşın çözgüsü süresince gerilimin uygulandığı ve sıcaklığın ramöz tarafından sabit tutulduğu esnada kumaşın atkı boyunca gerdirilmesi burada olur (Aytaç 2011).

### **2.3.8 Merserizasyon İşlemi**

Malzeme özelliklerinin iyileştirilmesi için pamuklu kumaş veya ipliklerin işlenmesi sürecidir (Pekel 2009). Bu işlemin amacı; elyafın yüzeyindeki pürüzlüklerin azaltılması ile ışık geçirgenliğinin artırılması ve sonuç olarak kumaş

ya da ipliğin daha parlak görünüş kazandırır. Mercerizasyon sürecinde derişik sodyum hidroksit (NaOH) kullanılır. İşlem sırasında derişik NaOH elyafın arasına girerek elyafi şişirmekte ve daha açık bir görünüm kazandırır. Bunun sonucunda meydana gelen atıksular kuvvetli alkali (pH>12) özellikte ve BOİ miktarı düşük atıksu oluşur (Kayacan 2010).

Kumaş ise bu süreçte yıkanır ve sülfirik asit veya hidroklorik asit kullanılarak nötralizasyon işlemi uygulanır ki böylece çıkış suyunda aşırı kirlilik önlenmiş olur (Pekel 2009).

### **2.3.9 Dinkleme (Keçeleştirme) İşlemi**

Bu işlem, yünlü kumaşlara uygulanırken, kumaşın çekme yöntemiyle keçeleştirilmesine ve bunun neticesinde ise kumaşın yoğunlaşmasını sağlamak için yapılır. Bu işlem sülfirik asit ya da sodanın sıcak çözeltisinde deterjanın mevcudiyetinde makine kullanılarak yapılan sallama işleminin ardından çözeltinin giderilmesi ve ortada kalan kimyasal maddelerin yıkanarak giderilmesini sağlamaktadır. Yıkama işlemi sonucunda meydana gelen atıksu ham yün pişirme işleminde meydana gelen atıksudan daha yüksek BOİ yüküne sahiptir. Bu yükün geneli deterjan, sabun ve yağlardan meydana gelmektedir (Akdeniz 2006). Yağlı kumaş ve yıkanmış kumaş olarak iki kısma ayrılmaktadır (Sevimli 2000).

### **2.3.10 Pişirme İşlemi**

Hem saf hem de sentetik malzemelerde olması istenmeyen maddelerin giderilmesi olarak adlandırılmaktadır. Malzemenin estetik özelliklerinin iyileştirilmesi dışında parafın, yağ gibi maddelerin uzaklaştırıldığı aşama olan bu süreçte genel olarak deterjan veya sabun bulunan sıcak alkali çözeltiler (soda külü veya kostik soda) uygulamaktadır. Pamuğun üretimi sırasında kullanılan herbisit, fungusit, insektisit vb. kimyasallar bu işlem sırasında atıksuya karışmaktadır. Bu yüzden oluşan atıksular kimyasal bazlı ve toksiktir (Sevimli 2000).

### **2.3.11 Bazik İşlemler**

Pamuk elyafları; mum, yağ, pektin ve hemiselüloz gibi bazı maddeler içermektedir. Bu maddelerden bazıları hidrofobiktir ve yağ terbiye işlemleri esnasında elyafın düzgün şekilde ıslanmasını zorlaştırmaktadır. Pamuklu elyafın içerisindeki ve üzerindeki tüm bu maddelerin giderilmesi, ham pamuklu mamulleri, baz çözeltileri ile işleyerek sağlanmaktadır. Böylece pamuk elyafı hidrofilikleştirilmekte ve saf bez kısmında olsa beyazlaşmaktadır. Bazik işlemler, pişirme ya da kaynatma şeklinde uygulanmaktadır. Kostik soda ile pişirme işlemi sonucunda kostik soda içeren atık maddeler ile pişirme sürecinde kullanılan yüzey aktif maddeler ve sodyum fosfata atıksuya girmektedir (Kayacan 2010).

### **2.3.12 Bitirme (Apreleme) İşlemi**

Fiziksel ve kimyasal özelliği değişen kumaşa istenilen özelliklerin kazandırılması işlemidir. Apreleme işlemi ile su geçirmeyen, buruşmayan, ateşe dayanıklı, yumuşaklık, şeffaflık, çekmeyen, pürüzlük gibi özelliklerin daha iyi olmasını sağlamaktadır (Sevimli 2000). Kullanılan kimyasal maddeler; nişasta (kola) ve dekstrin kolası, sentetik reçineler, amonyum ve çinko klorit, saf ve sentetik balmumu, yumuşatıcı maddeler ile farklı kimyasal maddeler içermektedir (Pekel 2009). Hacimce burada ortaya çıkan atıksu az olmasına rağmen, içerisindeki maddeler bakımından değişkenlik göstermektedir. İçerisinde pentaklorofenoller, etilklorofosfatlar vb. zehirli organik maddeleri içermektedir (Akdeniz 2006).

### 3. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ALTIKSULARININ YÖNETMELİKLER İLE KATEGORİZASYONU

Tekstil sanayisi; hammadde, su tüketimi ve teknolojik nitelikler açısından çeşitlilik göstermektedir. Bu çeşitlilik atıksu karakterizasyonunu da etkilemektedir. Endüstriler bu faktörlere bağlı olarak bir sınıflandırma içerisine girdiğinde arıtma yönteminin seçiminde kolaylık sağlanmış olur. Arıtma ünitelerinin belirlenmesinden sonra tesisin sağlaması gereken deşarj standartları belirlenir ve kirlenme yönüne göre alt kategorizasyon yaklaşımı ortaya konulur.

Kirlenme yönlü alt kategorizasyonu için aşağıdaki etkiler göz önünde bulundurulabilir.

- Üretim teknolojisi
- Ürün cinsi
- Hammadde
- Su tüketimi
- Tesis boyutları
- Tesisin verimi
- Atıksu karakterizasyonu
- Yatırım maliyetleri
- Personel durumu
- Diğer kirleticilerin durumu

Tekstil sanayisinde atıksu karakterizasyonunu belirleyen en önemli etken hammaddedir. Bu hammaddeler yün, pamuk gibi saf lifli malzemelerle sentetik olarak üretilen lifli malzemeler ve bunların komplekslerinden oluşmaktadır. Atıksu için bir diğer önemli etken de kullanılan kimyasal malzemeler ile tüketilen su miktarı olduğu söylenebilir (Sevimli 2000).

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğine göre tekstil endüstrisi atıksuları için yedi alt kategori ön görülmüştür (SKKY 2004).

- Açık elyaf, iplik üretimi ve terbiyesi
- Dokunmuş kumaş terbiyesi ve benzerleri
- Pamuklu tekstil ve benzeri
- Yün yıkama, terbiye, dokuma ve benzerleri
- Halı terbiyesi ve benzerleri
- Örgü kumaş terbiyesi ve benzerleri
- Sentetik tekstil terbiyesi ve benzerleri

1996 yılında EPA (Environmental Protection Agency) tarafından yayımlanmış tekstil endüstrisi alt kategorileri son ürünler, su tüketimi, hammadde ve atıksu karakterizasyonu esas alınarak hazırlanmış şekli aşağıdaki gibidir (EPA 1996).

- Yapağı yıkama
- Yünlü kumaş son işlemleri
- Örgü kumaş son işlemleri
- Az su tüketilen işlemler
- Dokunmuş kumaş son işlemleri
- Dokusuz yüzeyli kumaş son işlemleri
- Keçeleştirilmiş (felted fabric) son işlemleri
- Stok ve lifli malzeme boyama son işlemleri
- Halı üretimi son işlemleri
- Koza işleme ve doğal ipek üretimi

Alt kategorilere göre atıksu oluşturan işlemlerin dağılımı Tablo 3.1’de gösterilmiştir (EPA 1978).

**Tablo 3.1:** Alt kategorilere göre atıksu oluşturan işlemlerin dağılımı (EPA 1978)

<b>Alt kategoriler</b>	<b>Atıksu Oluşturan İşlemler</b>
Yapağı yıkama	Yıkama, durulama
Yün son işlemleri	Boyama, ağartma, yıkama, durulama, karbonizleme-yıkama, dinkleme-yıkama
Dokunmuş kumaş son işlemleri	Haşıl sökme, pişirme-yıkama, merserizasyon-yıkama, ağartma-yıkama, boyama-yıkama, basma, apre-ikmal
Örgü kumaş son işlemleri	Yıkama, pişirme-ağartma, boyama, basma, apre-ikmal
Açık elyaf ve iplik son işlemleri	Boyama, ağartma, merserizasyon, yıkama
Halı son işlemleri	Boyama veya baskı, kurutma, lateks kaplama
Dokusuz yüzeyli kumaş üretimi	Yapıştırma
Keçeleştirilmiş kumaş üretimi	Durulama
Az su kullanılan işlemler	Haşılama
Koza işleme ve doğal ipek üretimi	Pişirme, ipek çekimi, ağartma, boyama, yıkama, avivaj

## 4. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSU KAYNAKLARI VE KARAKTERİSTİKLERİ

### 4.1 Tekstil Endüstrisinde Su Kullanımı

Tekstil sanayi birbirinden farklı birçok ürünün elde edildiği bir sanayi dalı olduğu için üretim esnasında kullanılan ana süreçler ve su tüketimi farklı olmaktadır. Kuru işlem uygulayan imalatlarda ise su tüketimi olmamaktadır. Tekstilde su tüketimi flote oranına göre değişim gösterir. Bu oran, tüketilen birim su hacmi başına üretilen tekstil kütlesi (ton kumaş kütlesi/m<sup>3</sup> su birimi) olarak tanımlanmaktadır. Durulama ve yıkama işlemlerinde flote oranı, 1:10 düzeylerindedir (Batıbay 2008).

Su ve kimyasal maddenin aşırı derecede kullanımı, yoğun seviyede ve aşırı kirli atıksuların oluşumuna sebep olur. Dünya çapında yılda yaklaşık 700.000 ton boya maddesi imal edildiği belirtilmiştir. Tekstil sanayisi bir ton ürüne karşılık 200-350 m<sup>3</sup> atıksu oluşturur, ortalama olarak her ton başına 100 kg KOİ kirlilik oluşur (Verma ve diğ. 2012)

Mesela, bir koyundan alınan ham yünün yaklaşık %40'ı yün elyafi olarak kullanılabilir. 2,5 kg saf yünün 1 kg'ı gerçek yün lifi iken geri kalan kısmı ise kirlilik oluşturan atıklardır ve bunlar atılmaktadır. Ayrıca bu kirliliği arındırmak için kullanılan 100 -200 gr kimyasal madde de atıksuya karışmaktadır (Batıbay 2008).

Son 20 yıl içerisinde ülkemizde tekstil apreleme ve boyama sanayisi önemli şekilde büyüme içerisine girmiştir. Buna bağlı olarak çeşitli boyalarla destekleyici kimyasal maddeleri barındıran karmaşık yapıcılardan dolayı fizikokimyasal ve biyolojik arıtma sistemleri ile arıtımı yapılamayan atıksular oluşmaktadır (Correia ve diğ. 1994, Easton 1995).

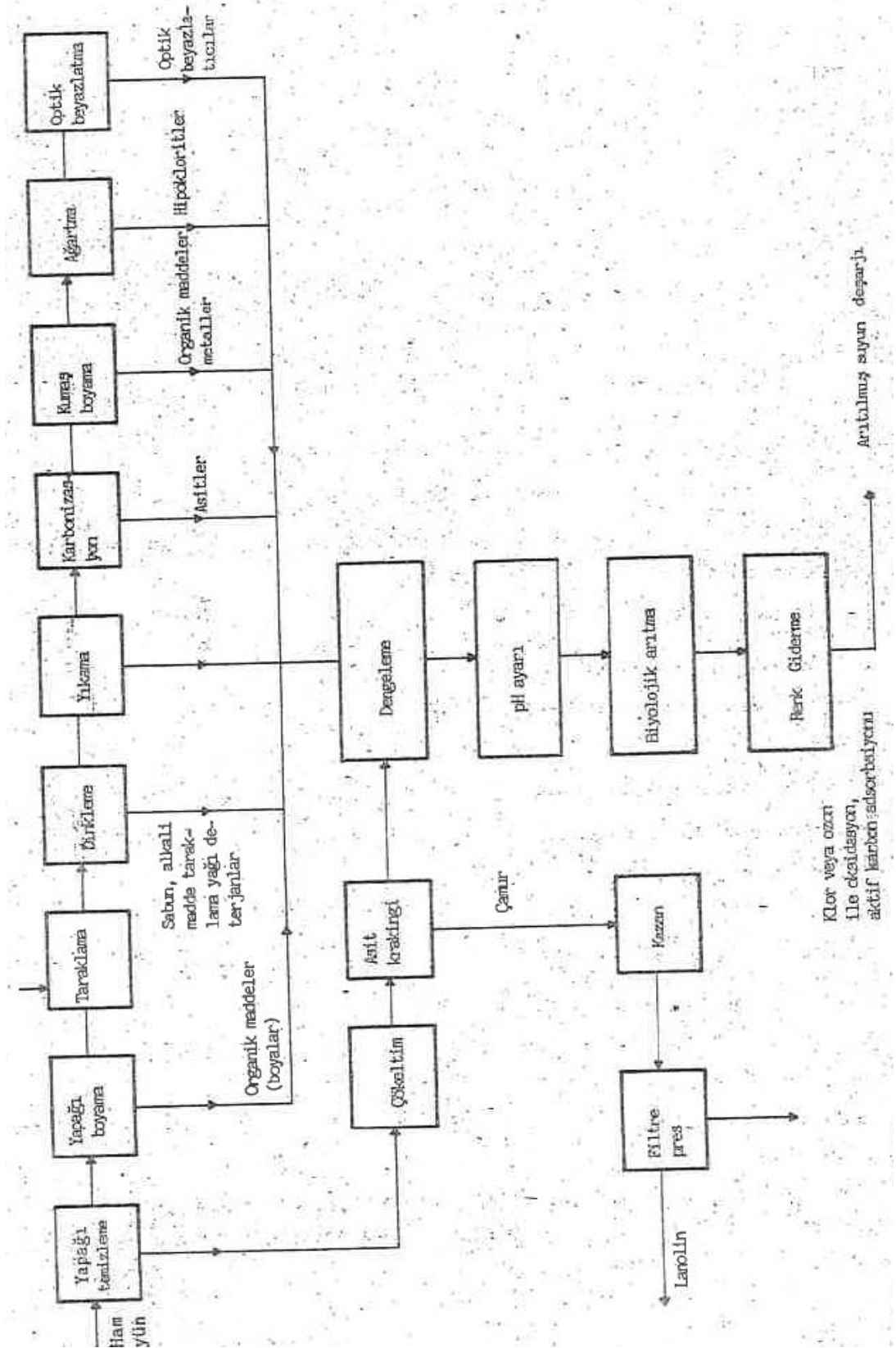
Tekstil işlemlerinde kullanılan su miktarları Tablo 4.2'de gösterilmiştir (EPA 1996).

**Tablo 4.2:** Tekstil işlemlerinde su kullanımı (EPA 1996)

Alt kategori	Su Tüketimi	
	Aralık (l/kg)	Ortalama (l/kg)
1. Yün yıkama	4-78	12
2. Yün bitirme	110-660	284
3. Az su kullanımlı işler	0,8-140	9
4. Dokuma kumaş bitirme		
a. Basit işleme	12-275	78
b. Kompleks işleme	11-280	87
c. Kompleks işleme + haşıl sökme	5-508	113
5. Örgü kumaş bitirme		
a. Basit işleme	8-393	136
b. Kompleks işleme	20-378	83
c. İç çamaşırı, çorap işleme	5,8-289	69
6. Halı bitirme	8-163	47
7. İplik ve tops bitirme	3,3-557	100
8. Dokuma dışı tekstil bitirme	2,5-83	40
9. Keçeleştirilmiş kumaş bitirme	33-931	213

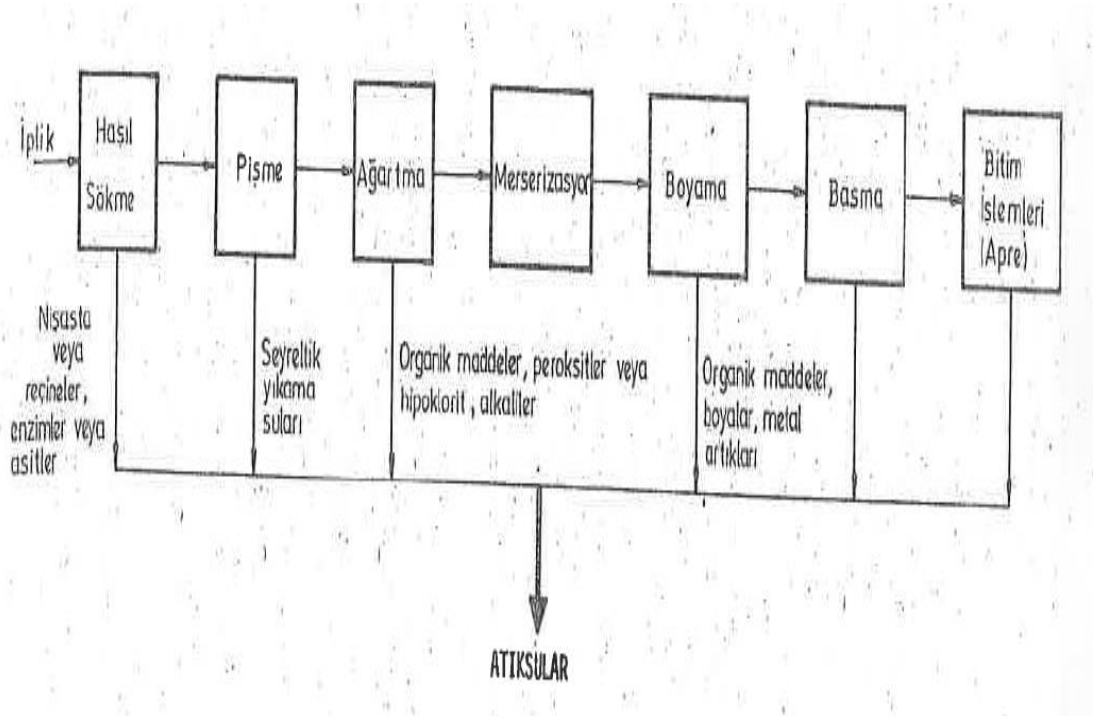
Yünlü kumaş üretim prosesi, akım şeması, atıksu kaynakları, özellikleri ve uygulanabilecek arıtma işlemleri Şekil 4.3’de gösterilmiştir (Şengül 1991).





**Şekil 4.3:** Yünlü kumaş üretim prosesi, akım şeması, atıksu kaynakları, özellikleri ve uygulanabilecek arıtma işlemleri (Şengül 1991)

Pamuklu kumaş üretimi sırasında atıksu kaynakları Şekil 4.4’de gösterilmiştir (Şengül 1991).



Şekil 4.4: Pamuklu kumaş üretimi sırasında atıksu kaynakları (Şengül 1991)

## 4.2 Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Kimyasallar

Tekstil sanayisinde kullanılan kimyasal malzemeler etkili bir atıksu kaynağı meydana getirmektedir. Kimyasal malzemeler haricinde diğer atıksuyu meydana getiren unsur ise elyaflarda bulunan doğal safsızlıklardır. Tekstil ünitelerinde uygulanan farklı boyalar, krom ve türevleri ekseriyetle atıklarda bulunur. Bir diğer kirlilik oluşturan işlem ise haşılama prosesinden gelmektedir. Haşıl malzemeler ekseriyetle saf nişastalar, modifiye selülozlar ve sentez yoluyla üretilenlerdir. Nişasta bileşikleri yerine karboksi metil selüloz yani sentez yoluyla üretilen maddelerin kullanılması BOİ'nin azalmasına neden olur.

Tekstil sanayisinde uygulanan proseslere ait kullanılan kimyasal madde ve atıksu parametreleri Tablo 4.3’de gösterilmektedir (Batıbay 2008).

**Tablo 4.3:** Tekstil sanayisindeki proseslerde kullanılan kimyasal maddeler ve atıksu karakterizasyonu (Batıbay 2008)

<b>Proses</b>	<b>Kullanılan Kimyasal Maddeler</b>	<b>Atıksu Karakterizasyonu</b>
Haşılama	Nişasta, selüloz, polivinil asetat, poliakrilat ve yapıştırıcı	Az atıksu hacmi, yüksek BOI, KOI ve TAM
Haşıl sökme	Enzimler, asit ve alkali	Çok yüksek BOI ve TKM (haşılamada nişasta kullanılmış ise)
Yıkama	Sıcak kostik, soda, klor, peroksitler, silikat, sodyumbisülfid, deterjanlar	Kirletici yükünün %35 ve çıkış BOI konsantrasyonunun %3 değeri
Ağartma	Klor, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HCl, Kostik soda, sodyum bisülfid	Yüksek TKM, yüksek çözünmüş katılar ve orta dereceli BOI
Merserizasyon	Konsantre kostik soda ve asit yıkama	Düşük BOI ve TKM Nötralizasyondan önce oldukça alkali
Boyama	Boyalar ve kullanılan yardımcı kimyasallar	Yüksek renk, TÇM, BOI ve pH, düşük TAM toksikler
Apreleme	Pentaklorofenoller, etilklorofosfatlar,	Düşük hacimde çeşitli bileşenler ve toksisite

Tekstil atıksuyunda bulunan kimyasal maddeler Tablo 4.3'de özetlenmiştir. Ayrıca kullanılan proseslerin farklılığı, atıksuyun hem kirletici komplekslerinin hem de debisinin sürekli değişimine neden olmaktadır. Bu tür sularda, kimyasal proseslerden kaynaklanabilecek toksik bileşenlerde atıksu içerisinde bulunabilmektedir.

Tekstil atıksuyunda bulunan kimyasal maddeler liste halinde Tablo 4.4'de verilmiştir (Sevimli 2000).

**Tablo 4.4:** Tekstil atıksuyunda bulunan kimyasal maddeler (Sevimli 2000)

Tanımlama	Örnekler	İşlev
Tuzlar	Sodyum klorür	<ul style="list-style-type: none"><li>• Boyanın elyafa geçirilmesi</li><li>• Elyafın zeta gerilimini nötralleştirmek</li><li>• Geciktirici</li></ul>
	Sodyum sülfat	
	Magnezyum sülfat	
Asitler (Mineral)	Hidroklorik asit	<ul style="list-style-type: none"><li>• pH kontrolü</li><li>• Nötralleştirmek</li><li>• Reçine atıklarının temizlenmesi</li><li>• Arta kalan boyaların temizlenmesi</li></ul>
	Sülfirik asit	
	Fosforik asit	
	Borik asit	
Asitler (Organik)	Formik asit	<ul style="list-style-type: none"><li>• pH kontrolü</li><li>• Reçine küründe katalizör</li></ul>
	Asetik asit	
	Oksalik asit	
	Sitrik asit	
	Katyonik	
	Non-iyonik	
Alkaliler	Kostik	<ul style="list-style-type: none"><li>• pH kontrolü</li><li>• Peroksitle kaşarda etkinleştirici</li><li>• Reaktif boyalarla boyanan elyaflar için aktivatör</li><li>• Nötralleştirme</li><li>• Mersevizasyon</li></ul>
	Soda külü	
	Trisodyum fosfat	
	Sodyum bikarbonat	
	Amonyak	
	Sodyum metasilikat	
	Potasyum ortosilikat	
	Sodyum pirofosfat	
	Boraks	
	Disodyum fosfat	
Tampon çözeltiler	Monosodyum fosfat	<ul style="list-style-type: none"><li>• pH kontrolü</li></ul>

**Tablo 4.4:** Tekstil atıksuyunda bulunan kimyasal maddeler (Sevimli 2000) (devam)

Tanımlama	Örnekler	İşlev
Ayraçlar	Etildiamin tetraasetik asit	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kompleks sertlik sağlama</li><li>• Geciktirici</li><li>• Boyanın elyafa uygulanmasını düzenleme</li></ul>
Dispers olan ya da yüzey aktif maddeler	Anyonik	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dispers boyalar</li><li>• Yumuşatıcılar</li><li>• Boyanın elyafa uygulanmasını düzenleme</li></ul>
Oksidanlar	Peroksit	<ul style="list-style-type: none"><li>• Kaşar</li><li>• Arta kalan boyaların çıkartılması</li></ul>
	Sodyum klorit	
	Sodyum hipoklorit	
	Perkarbonat	
	Perborat	
	Periyodat	
İndirgeyici	Permanganat	
	Sodyum hidrosülfid	<ul style="list-style-type: none"><li>• Vat ve sülfür boyaların çözündürülmesi</li><li>• Arta kalan boyanın giderilmesi</li></ul>
	Bisülfid	
	Tiyosülfid	
Tiyoüre dioksit		
Taşıyıcılar	Fenil fenoller	<ul style="list-style-type: none"><li>• Absorpsiyon artırıcı</li></ul>
	Klorlu benzenler	
Ağır metaller	Bakır	<ul style="list-style-type: none"><li>• Boyanın elyafa tutunmasını artırmak</li></ul>
	Krom	
	Kobalt	
Bükücü (spinning) yağlar		<ul style="list-style-type: none"><li>• Bükme süreçlerine ilave edilirler</li></ul>
Boyar maddeler	Çeşitli	<ul style="list-style-type: none"><li>• Elyafı boyamak</li></ul>

### 4.3 Tekstil Endüstrisi Atıksu Özellikleri ve Karakteristikleri

Tekstil sanayisi, insanların gıda ihtiyacından sonra en önemli gereksinimlerinden biridir. Tekstil sanayisi, Türkiye'nin en önemli endüstri dallarındandır ve atık oluşumunun en yoğun olduğu önde gelen sanayi dallarındandır (Gönüllü 2004). Bu sanayi kolunda çok farklı üretim süreçleri olduğundan birim atıksu miktarı, atıksu içerisindeki kirletici cins ve derişimleri çeşitlilik göstermektedir (Ölmez ve diğ. 2006).

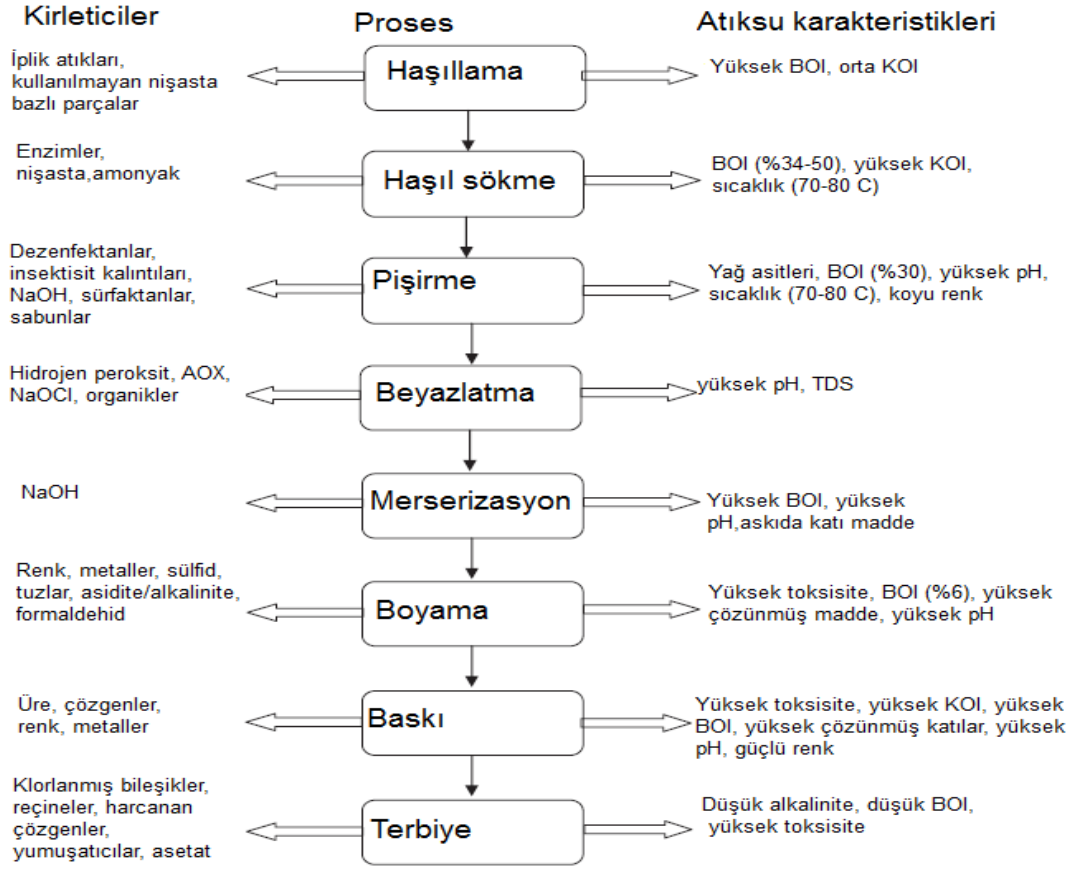
Tekstil sanayi atıksularının karakterizasyonu kullanılan boyar maddenin cinsine, ürünün cinsine ve eklenen sabitleyici kimyasal maddelerin cinsine bağlı olarak günden güne, saatten saate değişebilmektedir. Atıksu içerisindeki boyar maddeler, çeşitli üretim süreçlerinden gelir ve bundan dolayı sadece endüstriden endüstriye değil aynı iki sanayi kolunda bile moleküler şekillerinden dolayı çeşitlilik göstermektedir (Kim ve diğ. 2004).

Tekstil sanayisinin atıksularında kirliliğe sebep olabilecek süreçleri 4 temel grupta oluşturabiliriz.

- İşlenmemiş malzemede bulunan safsızlıkları gidermek için uygulanan işlemler,
- Renklendirme süreçleri,
- Malzemeye yanmazlık, buruşmazlık gibi birtakım özellikleri kazandırmak için yapılan işlemler,
- Fiziksel ya da kimyasal özelliklerin değiştirildiği işlemler (Birgül 2006).

Tekstil sanayisinde, farklı yapıda bulunan yardımcı maddeler genellikle uzun, birden çok aromatik zincir oluşturan, birden fazla çift bağ kuran ve 21 farklı işlev grubu barındırması sebebiyle biyolojik ayrışma olanağı düşük, dayanımlı ve kalıcı toksik kimyasallardır (Bahadır 2012).

Tekstil sanayisinin çeşitli süreçlerinde oluşan temel kirletici bileşenleri Şekil 4.5'de gösterilmiştir (Verma ve diğ. 2012).



**Şekil 4.5:** Tekstil sanayisinin çeşitli süreçlerinde oluşan temel kirletici bileşenleri (Verma ve diğ. 2012)

Tekstil sanayisi; boyama, bitirme, apreleme süreçlerini ve birden fazla durulama ve yıkama çevrimine sahip olduklarından, büyük miktarda kimyasal ve su kullanımı ile yüksek KOİ barındıran atıksu içermektedir (Zylla ve diğ. 2006).

Bunların haricinde özel olarak, uygulanan boya ve diğer kimyasallara bağlı olarak atıksuda hem organik nitelikli hem de ağır metal açısından çeşitli miktarda kirletici içermektedir. Pamuklu, sentetik ve yünlü malzeme üretimi yapılan tesislerde, bitim işlemleri ve kimyasal madde cinsleri farklı olduğundan atıksuyun karakteristikleri de bir tekstil firmasından diğerine farklılık gösterir.

Tekstil sanayisinde atıksuların ana kaynağı apre ve boyama süreçlerinden elde edilmektedir. Burada bulunan temel kirletici parametreler yüksek konsantrasyonda AKM, KOİ, sıcaklık, yüksek renk konsantrasyonu, BOİ, yüksek pH, büyük miktarda süfaktan, çözünmüş katı maddeler (ÇKM) ve ağır metal içermektedir. Renk haricindeki bütün kirletici maddeler yaygın fiziksel ve kimyasal

yöntemlerle giderilebilmektedir. Renk parametresi ise tek bir arıtma yöntemi ile etkili şekilde giderilememektedir. Bu yüzden tekstil atıksularındaki temel sorun boyama süreçleri sonucunda oluşan renktir. Renk güneş ışınlarını bünyesine aldığı için alıcı ortamdaki canlılar zamanla ölmektedir ve ekosistem ciddi bir şekilde zarara uğramaktadır (Kuo 1992).

Pamuklu tekstil atıksu karakterizasyonu ve yünlü tekstil sanayisi yapığı yıkama ve apreleme atıksu karakterizasyonu değerleri Tablo 4.5 ve 4.6'da verilmiştir (Batıbay 2008).

**Tablo 4.5:** Pamuklu tekstil atıksuları genel kompozisyonu (Batıbay 2008)

Kirletici Parametre	Birim	Değer Aralığı
Alkalinite	mg CaCO <sub>3</sub> /l	200-1000
pH	mg/l	8-11,5
AKM	mg/l	30-100
BOI <sub>5</sub>	mg/l	200-800
Toplam Katı Madde	mg/l	1000-2000
Toplam Krom	mg/l	1-4
Renk	Pt-Co	1000-4000

**Tablo 4.6:** Yünlü tekstil yapığı yıkama ve bitirme (boya-apre) atıksu özellikleri (Batıbay 2008)

Kirletici Parametre	Birim	Yapak Yıkama	Bitirme
pH			7,5-11
Sıcaklık	°C		35-60
Renk	Pt-Co		500-2000
AKM	mg/l	10000-15000	30-350
BOI <sub>5</sub>	mg/l	2000-3000	125-400
KOI	mg/l	10000-35000	1050-1150
Yağ-gres	mg/l	5000-15000	
Fosfat	mg/l		2
Toplam Krom	mg/l		1-4
Fenol	mg/l		0,5
Sülfid	mg/l		0,1



Boyama atıksularının özellikleri Tablo 4.7’de gösterilmektedir (Başbuğ 2008).

**Tablo 4.7:** Boyama atıksularının özellikleri (Başbuğ 2008)

Boya Türü	Elyaf Çeşidi	Renk ADMI	BOİ mg/L	TOK mg/L	AKM mg/L	ÇKM mg/L	pH
Asit	Poliamid	4000	240	315	14	2028	5,1
1:2 Metal kompleks	Poliamid	370	570	400	5	3945	6,8
Bazik	Akrilik	5600	210	255	13	1469	4,5
Direkt	Viskoz	12500	15	140	26	2669	6,6
Reaktif kesikli	Pamuklu	3890	0	150	32	12500	11,2
Reaktif sürekli	Pamuklu	1390	102	230	9	691	9,1
Vat	Pamuklu	1910	294	265	41	3945	11,8
Dispers yüksek sıcaklıkta	Polyester	1245	198	360	76	1700	10,2

Uygulanan süreçlerin farklı olması atıksuyun hem kirlilik karakterizasyonunu hem de debisini değişken yapmaktadır. Bu tür atıksularda, kimyasal süreçlerden gelen toksik maddelerde bulunabilir (Sevimli 2000). Tekstil atıksularındaki yüksek pH dalgalanmaları başka bir olumsuzluk sebebidir. İlk önce boyama aşamasında çeşitli cinslerde boyar madde kullanılması pH değişimine neden olur. Bu yüzden atıksu pH değerleri 2-12 seviyelerine kadar değişim gösterir (Yavuz 1998).

Tipik bir tekstil işletmesinin yıllık kirlilik yükleri ve tekstil atıksuyun ortalama karakterizasyon değerleri Tablo 4.8 ve 4.9’da verilmiştir (Yavuz 1998, Köseoğlu 2004).

**Tablo 4.8:** Tipik bir tekstil işletmesinin yıllık kirlilik yükleri (Köseoğlu 2004)

Atık Kaynağı	KOİ (Ton/Yıl)	%
Haşıl sökme ve Yıkama	164	86,6
İndirgeyici madde	8	4,2
Deterjan ve Islatıcı maddeler	7	3,7
Son işlemler	5	2,6
Organik asitler	3	1,6
Boyalar ve Parlaticılar	2,5	1,3

**Tablo 4.9:** Tekstil atıksularının ortalama karakterizasyonu (Yavuz 1998)

Tip	BOİ (mg/L)	KOİ (mg/L)	pH	AKM (mg/L)	Sıcaklık (°C)	Yağ (mg/L)	İletkenlik (µS)
<b>Yüksek şiddetli</b>	500	1500	10	250	28	50	2900
<b>Orta şiddetli</b>	270	970	9	137	28	21	2500
<b>Düşük şiddetli</b>	100	460	10	91	31	10	2100

Tekstil sanayisinde kullanılan lifli malzeme tipine ve üretim sürecine göre kirletici yükleri Tablo 4.10'da verilmiştir (Sevimli 2000).

**Tablo 4.10:** Tekstil sanayisinde kullanılan lifli malzeme tipine ve üretim sürecine göre kirletici yükleri (Sevimli 2000)

Elyaf	Süreç	pH	BOİ <sub>5</sub> (mg/L)	TKM (mg/L)	Su kullanımı (L/kg)
Pamuk	Haşıl sökme	-	1700-5200	16000-32000	3-9
	Piştirme	10-13	50-2900	7600-17400	26-43
	Kaşar	8,5-9,6	90-1700	2300-14400	3-124
	Merserizasyon	5,5-9,5	45-65	600-1900	232-308
	Boyama	5-10	11-1800	500-14100	8-300
Yün	Piştirme	9-14	30000-40000	1129-64448	46-100
	Boyama	4,8-8	380-2200	3855-8315	16-22
	Yıkama	7,3-10,3	4000-11455	4830-19267	334-835
	Nötralleştirme	1,9-9	28	1241-4830	104-313
	Kaşar	6	390	908	3-22
Naylon	Piştirme	10,4	1360	1882	50-67
	Boyama	8,4	368	641	17-33
Akrilik	Piştirme	9,7	2190	1874	50-67
	Boyama	1,5-3,7	175-2000	833-1968	17-33
	Son durulama	7,1	668	1191	67-83
Polyester	Ön terbiye	-	500-800	-	25-42
	Boyama	-	480-27000	-	17-33
	Son durulama	-	650	-	17-33
Viskon	Ön yıkama ve boyama	8,5	2832	3334	17-33
	Tuz banyosu	6,8	58	4890	4-13
Asetat	Ön yıkama ve boyama	9,3	2000	1778	33-50

Organik boyar maddelerin mikrobiyolojik arıtmaya karşı koymaları ve kanserojenik ya da toksik bileşiklere çevrilmeleri sebebiyle, ülkelerin birçoğunda bu boyar maddelerden kaynaklanan renk için alıcı ortam standardı çevre için önemli bir hale gelmeye başlamıştır (Kang ve diğ. 2000, Zielinska ve diğ. 2001).

Özellikle biyolojik olarak zor ayrışan azo boyar maddeler bir ya da birden fazla -N=N- yapısından oluşmaktadır. Sanayide bu tarz boyar maddelerin etkin bir şekilde kullanılması ve alıcı ortama verilen boya banyolarındaki süreçlerden gelen boyalar ve tüketilen kimyasal maddeler çevre mühendisleri için büyük sorunlardandır (İnce ve Güyer 2004). Bunun yanısıra tekstil atıksuları yüksek KOİ/BOİ oranına sahiptirler. Atıksu içerisindeki boyar maddelerin derişimleri diğ. bulunan kimyasal maddelerden düşük olmasına karşın düşük derişimlerinde bile sahip oldukları güçlü renk özelliği, atıksu alıcı ortamında estetik ve kirlilik sorunlarına sebep olması boyar maddelerin daha çok ilgi çekmesine sebep vermiştir (Kriktoş ve diğ. 2007).

Araştırmalar gösteriyor ki, sentez yoluyla üretilen boyar maddelerin %12'si fabrikasyon ve proses ünitelerinde kaybolmakta ve %20'si endüstriyel atıksu arıtma tesislerinden deşarj edilmektedir (Arslan ve diğ. 2000).

Çeşitli boyar maddelerin uygulandığı ve çeşitli lifli malzemelerin boyandığı boyahane atıksularının özelliklerini gösteren değerler Tablo 4.11'de gösterilmiştir (EPA 1996).

**Tablo 4.11:** Çeşitli boyar maddelerin uygulandığı ve çeşitli lifli malzemelerin boyandığı boyahane atıksularının özellikleri (EPA 1996)

Sınıf	Substrat	ADMI <sup>a</sup> Renk	Görünür ADMI Renk	TOK mg/L	BOİ mg/L	pH	Cl <sup>-</sup>	AKM mg/L	ÇKM mg/L <sup>b</sup>
Vat	Pamuk	1910	-	265	294	11,8	190	41	3945
Ön metallenmiş	Poliamid	370	-	400	570	6,8	-	5	1750
Dispers	Polyester	315	-	300	234	7,8	33	39	914
Bakırlı direkt	Pamuk	525	1280	135	87	5	520	41	2763
Reaktif	Pamuk	3890	-	150	C	11,2	9800	32	12,500
Dispers	Poliamid	100	-	130	78	8,3	28	14	396
Krom	Yün	3200	-	210	135	4	33	9	1086
Bazik	Poliakrilik	5600	12000	255	210	4,5	27	13	1469
Dispers	Polyester	215	315	240	159	7,1	27	101	771
Asit	Poliamid	4000	-	315	240	5,1	14	14	2028
Direkt	Yapay ipek	12500	-	140	15	6,6	61	26	2669
Geliştirilmiş	Yapay ipek	2730	-	55	12	3,2	130	13	918
Dispers/ Asit/ Bazik	Poliamid	210	720	130	42	6,7	10	8	450
Dispers	Polyester	1245	-	360	198	10,2	1680	76	1700
Sülfür	Pamuk	450	-	400	990	3,7	42	34	2000
Reaktif	Pamuk	1390	-	230	102	9,1	57	9	691
Vat/Dispers	Pamuk/ Polyester	365	1100	350	360	10,1	167	27	2292
Bazik	Polyester	1300	2040	1120	1470	5	17	4	1360
Dispers/ Asit/ Bazik	Poliamid	<50	190	160	130	6,5	22	49	258
Azoik	Pamuk	2415	-	170	200	9,3	7630	387	10,900

<sup>a</sup>ADMI=American Dye Manufacturers Institute

<sup>b</sup>Çoğunlukla tuz

<sup>c</sup>Yüksek tuz ve reaktif

Sadece bir boyama için çeşitli kimyasalların kullanılması deşarj suyu bileşimini daha kompleks hale getirmektedir. Bunun yanı sıra boyama işlemi çıkış sularındaki kimyasal yük, sürecin kesikli ya da sürekli olmasına göre de değişim göstermektedir (EPA 1996). Boya kazanı atıksularının kontrolü, deşarj sularının arıtılması ve su kullanımı sorunları ile orantılı arıtma teknolojilerinin beraber araştırılması ile sağlanır. Böylece hem atıksu arıtılmış olur hem de suyun gri su olarak kullanılması sağlanabilecektir (İnce ve Tezcanlı 2001).

Örneğin, fenton süreci işlemlerinde uygun değer sıcaklık 300 °C olması beklenmektedir (Gogate ve Pandit 2003). Tekstil atıksularında bulunan önemli kirletici parametreler, organikler, toksik maddeler, renk, yüzey aktif maddeler, inhibitör bileşikler, klorlu bileşikler (AOX), tuz ve pH'ın dışında boyar maddelerdir (Sandhya ve Swaminathan 2006).

Tekstil sanayisinde oluşan ürünün kilogramı başına ortalama 40-65 L atıksu oluşmaktadır (Manu ve Chaudhari 2002). Tekstil sanayisinde hem meydana gelen atıksu miktarı hemde önemli kirleticilerin bulunduğu atıksular çoğunlukla boyamadan kaynaklanmaktadır. Boyama süreçleri sonucu meydana gelen atıksuların en önemli kirletici kriterlerinden birisi renk parametresi olup, bu tarz sularda çözülmüş ve koloidal yapıda bulunan rengin ana kaynağı boyar maddelerdir (Ölmez ve diğ. 2006).

Dünya genelinde senede ortalama  $7 \cdot 10^5$  tonun üzerinde 100.000 çeşit ticari boya ve pigment malzemesi üretilirken bunların %10'luk kısmı endüstriyel arıtma tesisi deşarjı ile alıcı ortama karışmaktadır (Kaykıoğlu ve Debik 2006). Boya maddeleri, anyonik (asit, direkt ve reaktif), non-iyonik (dispers) ve katyonik (bazik) olarak gruplandırılabilir (Hameed ve diğ. 2007).

Tekstil elyaflarının boyanmasında uygulanan boyarmaddeler Tablo 4.12'de verilmiştir (Kurtoğlu ve Şenol 2004).

**Tablo 4.12:** Tekstil elyaflarının boyanmasında uygulanan boyarmaddeler (Kurtoğlu ve Şenol 2004)

Lif Türü	Kullanılan Boyarmadde
Yün, İpek	Asidik, Bazik, Reaktif, Metal-Kompleks
Pamuk, Keten, Viskoz	Direkt, Reaktif, Küpe, Kükürt
Poliamid	Dispers, Asidik
Poliakrilonitril	Dispers, Asidik
Polyester	Dispers

Boyalar; tekstil lifine uygulanmalarına ya da kimyasal şekillerine göre, yani çeşitli renklendirme amaçlarına ve boyama özelliklerine göre gruplandırılabilir. Son yıllarda ise boyarmaddeler boyayabildikleri lifli malzeme cinsine göre sınıflandırılmaktadır. Boyarmaddelerin en önemlisi içerdikleri kimyasal şekillerine göre disazo, nitro, kinolin, monoazo, nitrozo, oksazin, azin, ftalosiyanın ve antrakinin gibi gruplandırılabilir. Boyama özelliklerine göre ise direkt, reaktif, dispers ve küp şeklinde sınıflandırılabilir. Boyalar boyanabildikleri lifli malzeme cinsine göre de gruplandırılabilir. Buna göre boya maddeleri 3 ayrı başlık altında sınıflandırılabilir. Selüloz esaslı (küp, direkt, reaktif boyalar vb.), sentetik esaslı (Polyester için dispers, poliamit için metal bileşikli, poliakrilonitril için katyonik boyalar) ve protein esaslı (krom, asit, metal-karışım, reaktif boyalar vb.) lifli malzeme boyamada kullanılan boyalar olmak üzere gruplandırılmıştır (Akkurt ve diğ. 2005).

Boyaların çeşitli kimyasal şekilleri vardır. Ama genellikle kromofor ve fonksiyonları olmak üzere iki bileşikten meydana gelmektedir. Kromofor, bir ya da birden fazla bağ içeren boyanın rengi için önemli olan bir bileşiktir. Bağların çeşitli olması ve ışığı bünyesinde tutmasından dolayı boyanın parlak renkte olmasını sağlar. En yaygın kullanılan türü ise azo grubudur (Kereci 2014).

Başka bir önemli grup ise sülfür ve indigo barındırmaktadır. Boyanın yün ya da pamuk ipliğine bağlanmasını fonksiyonel grup sağlamaktadır. Çeşitli tekstil malzemelerinin boyanabilmesi için farklı fonksiyonel gruplara ihtiyaç vardır. Azo boyalar tekstil sanayisinde kullanılan boyaların ortalama %60-70'lik kısmını

oluşturmaktadır. Monoazo, triazo, diazo ve polyazo gibi azo grubu boya çeşitleri mevcutta en geniş (ortalama 26.000 boya çeşidi) kimyasal boya alanına sahip gruptur. Bunlardan bazıları alerjik etki veya sucul toksisite etkisi gösterir. Bunun yanı sıra, indirgeyici etki göstermesi halinde ise kanserojenik olan aromatik amin grubunu meydana getirir. Bu boyalar, genel olarak -N=N- tipinde karakterize edilmektedir (Low ve diğ. 1995).

Pamuklu tekstil sanayisinin büyük bir kısmını indigo tip boyalar kapsamaktadır. Bu boyalar suda çözünmediği için kompleks bir yapıya sahiptirler. Günümüzde boyalar indirgeme işlemi ile suda çözünebilir forma dönüştürülerek kullanımı yapılmaktadır. Gelişmiş tekstil endüstrisi boyama tesislerinde sodyum ditiyonit ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ) gibi güçlü indirgen maddeler kullanılarak indigo boyalar indirgenir. Bu olay, yıkama sularında ve boyama banyoları deşarj suyunda büyük kirliliklere neden olmaktadır. Aksi takdirde indirgeyici maddeler dönüşü olmayan maddelere yükseltgenir; sülfite, tiosülfate, sülfate ve toksik sülfite gibi maddeler boyamadan gelen suyu kirletmektedir. Bunun yanı sıra, yükseltgenme tepkimelerine boyama banyolarının stabil hale getirilmesi için uygulanan indirgeyicilerin aşırı kullanılmasından dolayı atıksularda, biyolojik (aerobik) arıtım sürecini olumsuz düzeyde etki yapabilecek ditiyonit bulunabilmektedir (Perez ve diğ. 2002).

Asit boyalar, anyonik boya olarak bilinir ve organosülfonik asitlerdir. Piyasada kullanılan cinsleri suda iyi ayrışabilen sodyum tuzlarıdır. Bu boyalar genel olarak yün, poliamid fiberlerin, ipek, değiştirilerek üretilen akriliklerin boyanması için kullanılır. Dünya genelinde en çok kullanılan ve ülkemizde poliamid boyama alanında büyük bir pazar payına sahip boya sınıfıdır (Garg ve diğ. 2004).

Geliştirilen tekstil boyalarının şekil ve renklerini koruyabilmeleri için yüksek miktarda fotolitik ve kimyasal kararlılık olması beklenmektedir. Bundan dolayı, deterjan, güneş, su ve sabuna karşı dayanıklı boyalar üretilmelidir. Boyaların bu mevcut özellikleri atıksuların arıtılması yöntemlerinin de farklı olmasına neden olmaktadır. Renkli atıksuların direkt alıcı ortama deşarj edilmesi kontrol edilemeyen anaerobik koşullarda kansinojenik, toksik ve aromatik aminlerin meydana gelmesi gibi birincil çevresel etkileri ile birlikte estetik yönden de çevreye tahrip etmesi gibi başka bir etkisi de mevcuttur. Alıcı ortama deşarj edilen renkli sular, alıcı ortamdaki ışık geçirgenliğini azaltır ve foto sentetik hareketi olumsuz yönde etkiler. Bunun

yanında, bazı sucul organizmalar üzerinde boya maddelerinin birikmesi zehirleyici ve kanserojenik ürünlerin oluşma riskini de ortaya çıkarmaktadır. Renk bulunan doğal su kütlelerinde görüntü kirliliği oluşmakta ve suya çözülmüş oksijen geçirgenliği engellenmektedir. Su kütlelerinde oksijen azlığı sucul hayatı etkilemektedir. Bu renkli suların deşarj edilerek insanlara başka yollarla ulaşması sonucu; üreme sistemine, böbrek işlevlerinde, karaciğer, merkezi sinir sistemi ve beyinde sert yıkımlar meydana getirebilmektedir. Bu yüzden, atıksuda bulunan boyaların arıtılması temel bir çevresel sorundur ve düşük derişimlerde bile görünürdür (Arslan ve diğ. 2000).

Proses türünün farklılığına bağılı olarak bazı tekstil atıksularında yüksek miktarda ve biyolojik olarak parçalanması zor organik kirlilikler görölmektedir (Kestioğlu ve Yalılı 2006). Tekstil süreçlerinden oluşun organik ve inorganik kirleticiler Tablo 4.13’de gösterilmektedir (Sevimli 2000).



**Tablo 4.13:** Tekstil süreçlerinden oluşan kirleticiler (Sevimli 2000)

Süreç	Elyaf	Kirleticiler	
		İnorganik	Organik (Biyolojik Ayrışabilme Durumu)
Haşıl Sökme	Pamuk Keten Viskon	$\text{Na}^+$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{NH}_4^+$	Karboksümetil selüloz (YA), Enzimler (A), Yağlar (YA), Yarıselülozlar(A), Modifiye nişasta (BA), Non-iyonil yüzey aktif maddeler (A), Nişasta (BA), Mumlar (YA)
	İpek Asetatlar Sentetikler	$\text{Na}^+$ , $\text{NH}_4^+$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{PO}_4^{3-}$	Karboksümetil selüloz (YA), Enzimler (A), Yağlar (YA), Jelatin (A), Polimerik haşılılar (X), Polivinil alkol (A), Nişasta (BA), Balmumu (YA)
Kaşar	Pamuk Keten Viskon Jüt	$\text{Na}^+$ , $\text{NH}_4^+$ , $\text{ClO}^-$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{O}_2^{2-}$ , $\text{F}^-$ , $\text{SiO}_3^{2-}$	Format (BA)
	Sentetik Asetatlar	$\text{F}^-$ , $\text{SiO}_3^{2-}$ , $\text{PO}_4^{3-}$	
	Yün	$\text{Na}^+$ , $\text{O}_2^{2-}$	Oksalat (BA)
Pişirme (Scuring)	Pamuk	$\text{Na}^+$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{PO}_4^{3-}$	Anyonik yüzey aktif maddeler (A), Pamuk mumları (X), Yağlar (YA), Gliserol (BA), Yarıselülozlar (A), Non-iyonik yüzey aktif maddeler (A), Peptik maddeler (A), Haşılılar (X), Sabunlar (A), Nişasta (BA)
	Viskon	$\text{Na}^+$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{PO}_4^{3-}$	Anyonik deterjanlar (BA), Yağlar (YA), Sabunlar (A), Non-iyonik deterjanlar (BA), Haşılılar (X), Mumlar (YA)
	Asetat		
	Sentetikler	$\text{Na}^+$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{PO}_4^{3-}$	Anyonik deterjanlar (A), Anti- statik maddeler (X), Yağlar (YA), Non-iyonik yüzey aktif maddeler (A), Petrol türevleri (A), Haşılılar (X), Sabunlar (A), Mumlar (YA)
	Yün (İplik ve Kumaş)	$\text{Na}^+$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{PO}_4^{3-}$ , $\text{NH}_4^+$	Anyonik deterjanlar (BA), Glikol (YA), Mineral yağlar (YA)
	Yün (Elyaf)	$\text{Na}^+$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{PO}_4^{3-}$ , $\text{NH}_4^+$ , $\text{K}^+$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{Ca}^{2+}$	Asetat (BA), Anyonik yüzey aktif maddeler (A), Format (BA), Azotlu maddeler (B), Sabunlar (A), Lanolin (A), Yün gresi (YA), Yün mumu (YA)
Merserizasyon	Pamuk	$\text{Na}^+$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{NH}_4^+$ , $\text{SO}_4^{2-}$	Alkol sülfatlar (A), Anyonik yüzey aktif maddeler (A), Krezoller (A), Siklohezanol (A)
	Keten		

**Tablo 4.13:** Tekstil süreçlerinden oluşan kirleticiler (Sevimli 2000) (devam)

Süreç	Elyaf	Kirleticiler	
		İnorganik	Organik (Biyolojik Ayrışabilme Durumu)
Karbonizasyon	Yün	$\text{Na}^+$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{SO}_4^{2-}$	Lanolin (A), Yüzey aktif maddeler (A), Yün gresi (A)
Kabartma (Fulling)	Yün	$\text{Na}^+$ , $\text{Mn}^{2+}$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{SO}_4^{2-}$	Asetat (BA), Format (BA), Sabunlar (A), Lanolin (A), Yün gresi (A)
Yanmaya karşı dayanaklılık (fireproofing)	Pamuk Yün	$\text{Na}^+$ , $\text{NH}_4^+$ , $\text{Sb}^{3+}$ , $\text{Ti}^{2+}$ , $\text{Zn}^{2+}$ , $\text{PO}_4^{3-}$ , $\text{B}^-$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{Br}^-$ , $\text{NO}_3^-$	Klorlu plastikler (X), Melanin reçinesi (X), Sentetik reçineli tutkallar (B), Tetrabisihidroksimetil-fosfonyumklorür (B), Tiyore reçinesi (X)
Boyama	Pamuk Viskon Keten	$\text{Na}^+$ , $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cu}^{2+}$ , $\text{Sb}^{3+}$ , $\text{K}^+$ , $\text{NH}_4^+$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{CO}_4^{2-}$ , $\text{F}^-$ , $\text{NO}_2^-$ , $\text{O}_2^{2-}$ , $\text{S}^{2-}$ , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ , $\text{SO}_4^{2-}$	Naftol (A), Asetat (BA), Naftolik asitin amidleri (BA), Anyonik dispers olan maddeler (A), Anyonik yüzey aktif maddeler (A), Katyonik fiske olan maddeler (X), Kloro aminler (YA), Formaldehit (A), Format (BA), Nitro aminler (YA), Non-iyonik yüzey aktif maddeler (A), Artan boyalar (X), Sabunlar (A), Çözünebilen yağlar (YA), Sülfatlı yağlar (A), Tannik asit (A), Tartrat (A), Üre (BA)
	Yün	$\text{Na}^+$ , $\text{Al}^{3+}$ , $\text{Cr}^{3+}$ , $\text{Cu}^{2+}$ , $\text{Sb}^{3+}$ , $\text{K}^+$ , $\text{NH}_4^+$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{CO}_3^{2-}$ , $\text{CO}_4^{2-}$ , $\text{F}^-$ , $\text{NO}_2^-$ , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ , $\text{SO}_4^{2-}$	Asetat (8BA), D,spers olan maddeler (B), Format (BA), Laktat (B), Artan boyalar (X), Sülfatlı yağlar (A), Tartrat (BA)
	Poliamid	$\text{Na}^+$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{CO}_3^{2-}$	Asetat (BA), Format (BA), Poliamid oliginler (B), Artan boyalar (X), Sülfatlı yağlar (A)
	Akrilik	$\text{Na}^+$ , $\text{Cu}^{2+}$ , $\text{NH}_4^+$ , $\text{SO}_4^{2-}$	Asetat (BA), Aromatik aminler (A), Format (BA), Yüzey düzelticiler (B), Fenolik bileşikler (A), Artan boyalar (X), Geciktiriciler (B), Yüzey aktif maddeler (A), Tiyore reçinesi (A)
	Polyester	$\text{Na}^+$ , $\text{NH}_4^+$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}$ , $\text{ClO}^-$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{SO}_3^{2-}$	Asetat (BA), Anyonik aktif maddeler (A), Antistatik maddeler (X), Dspers olan maddeler (A), Boya taşıyıcılar (YA), EDTA (X), Etilen oksit (B), Format (BA), Mineral yağlar (YA), Non-iyonik yüzey aktif maddeler (A), Artan boyalar (X), Sabunlar (A), Solventler (A)

**Tablo 4.13:** Tekstil süreçlerinden oluşan kirleticiler (Sevimli 2000) (devam)

Süreç	Elyaf	Kirleticiler	
		İnorganik	Organik (Biyolojik Ayrışabilme Durumu)
Güve yenmesine karşı dayanıklılık	Yün	Na <sup>+</sup> , F <sup>-</sup> , K <sup>+</sup> , Al <sup>3+</sup>	Klorlu bileşikler (X), Format (BA), Pentaklor fenol lorat (X)
Su geçirmezlik	Pamuk Yün	Na <sup>+</sup> , F <sup>-</sup> , K <sup>+</sup> , Al <sup>3+</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Asetat (BA), Dispers olan maddeler (B), Floroakrilik esterleri (B), Format (BA), Jelatin (BA), Melamin reçinesi (X), Parafin mumu (X), Silikon reçineler (X), Steramidmetil pirindinyum klorür (X), Sterat (BA), Titanatlar (X)

**BA:** Biyolojik olarak ayrışır    **YA:** Biyolojik olarak yavaş ayrışır    **B:** Bilinmiyor

**A:** Aklimasyondan sonra biyolojik olarak ayrışır    **X:** biyolojik olarak ayrışmaz

## 5. TÜRKİYE VE AVRUPA BİRLİĞİ'NDE TEKSTİL ENDÜSTRİSİ İLE İLGİLİ ÇEVRE MEVZUATI

6-10 Mart 1989 tarihinde Arazi Kaynaklı Deniz Kirliliğinin Önlenmesi Kongresinde Mevcut En İyi Teknikler (Best Available Techniques-BAT) ile ilgili bir çevre politikası yayınlanmıştır. “Mevcut En İyi Teknikler” cümlesi anlam olarak tesislerin, proseslerin ya da işletme yöntemlerinin deşarj koşullarına uygun hale getirilmesi için istenilen düzenlemeleri içermektedir. Mevcut En İyi Tekniğin belirlenmesi için tesis, proses ve işletme yöntemlerine göre dikkate alınması gereken bazı noktalar aşağıdaki gibidir:

- Atığı az üreten teknolojilerin kullanılması,
- Tehlikeli madde kullanımını azaltacak yöntemlerin kullanılması (mümkün mertebede daha az tehlikeli veya tehlikesiz olanların kullanılması),
- Üretilen maddeler, kullanılan maddeler ve atıklar için mümkün olan yerlerde tekrar kullanım ve geri dönüşüm yöntemlerinin geliştirilmesi,
- Eskiden denenmiş ve başarıları ispatlanmış benzer proses ve yöntemlerin uygulanması,
- Bilim ve teknolojiye ortaya çıkan yeni gelişmeler,
- Kirlenici maddelerin karakteristikleri, dozu ve etkilerinin tespit edilmesi,
- Mevcut ve yeni tesislerin zamanı,
- BAT'ın uygulanması için gerekli zaman,
- Proseste kullanılacak hammaddelerin karakteristikleri ve kullanım dozları ve sağlanacak enerji tasarrufu,
- Kirlenici maddelerin çevreye etkileri ve etki olduğu risklerin önlenmesi veya en az düzeye indirilmesi,
- Çevreye etkilerin minimuma indirilmesi ve kazaların önlenmesi için alınacak önlemler,
- Uluslararası organizasyonlar veya komisyonlar tarafından yayınlanan belgeler.

Bu yöntemlerle BAT'ın zamanla kendini geliştirerek teknolojik gelişmelerin ışığında ve gelişen bilimin etkisi ile değişimi sağlanmıştır. Avrupa Birliği (AB), 1996 yılında yürürlüğe giren Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü Direktifi (IPPC)'ne göre endüstriyel sanayilere işletme izni verilmesi konusunda bazı ortak hükümler içermektedir. Bu direktifin temel hedefi, AB genelinde farklı noktasal kaynakların oluşturduğu kirliliklerin azaltılarak giderilmesidir. IPPC kapsamında firmalar, sadece yetkili kişilerden izin alarak işletmeye geçebilirler. İşletmeye izin verme süreci, direktifin 2. Maddesinde belirtilen BAT yaklaşımını esas almaktadır. Bu yaklaşımı uygulamak, bazı işletmeler için oldukça pahalı olmaktadır. AB üyesi ülkelerde, bu yaklaşımın uygulanması birden fazla alanda sorunlara yol açabileceğinden, mevcut olan bu tesisler için Direktifin yayınlandığı tarihten itibaren 11 yıllık geçiş sürecinin olabileceği öngörülmüştür.

AB'ye üye devletlerin uzmanlarının, sivil toplum kuruluşlarının ve sanayi temsilcilerinin beceri ve bilgilerini paylaşmak amacıyla "Avrupa Entegre Kirlilik Önleme ve Kontrolü Bürosu (European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau)"nın öncülüğünde bir çalışmayı Avrupa Komisyonu düzenlemiştir. Ortalama iki yıl sürecek çalışmanın sonucunda Mevcut En İyi Teknikler için Referans Dokümanların (Best Available Techniques Reference Document-BREF) yayınlanması için direktif listesinde bulunan sanayiler göz önünde tutularak 30 sektör için çalışma grubu oluşturulması ve her sektör ait bu işlemin uygulanması amaçlanmıştır. Şimdiye dek 15 sanayi sektörü için bu doküman mevcuttur. Bu dokümanın hazırlanmasındaki gaye, izin vermeye yetkili kurumlara destek vermektir. Uygulanacak yöntemle ilgili son karar mercii bu yetkili kurumlardır.

IPPC direktifinin sunduğu hükümler şu an için 15 üye devlette kullanılmaktadır. Bazı ülkeler AB ile yapılan görüşmeler esnasında, Direktif şartlarını yerine getirme konusunda ek süre istemişlerdir. Direktif bir yandan tanımlanmış kapasiteye sahip bütün sanayi kuruluşlarını ele alırken, bir yandan da bu zamana dek ülkemizde endüstriyel kirlenmenin kontrolünü amaçlayan mevcut yasal düzene ayrı bir yaklaşım sunması bakımından önem arz etmektedir (Büyükdere 2008).

## **6. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSU DEŞARJ STANDARTLARI**

Bu kısımda tekstil atıksularının deşarj standartları 31/12/2004-25687 sayılı Resmî Gazetede yayınlanan Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SSKY) ve 26/12/2017 tarihinde Denizli Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi (DESKİ) tarafından yayınlanan Atıksuların Kanalizasyona Deşarj Yönetmeliği şartları uygulanmaktadır.

Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliğin amacı, ülkenin yeraltı ve yerüstü su kaynakları potansiyelinin korunması ve en iyi bir biçimde kullanımının sağlanması için, su kirlenmesinin önlenmesini sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde gerçekleştirmek üzere gerekli olan hukuki ve teknik esasları belirlemektir. Bu Yönetmelik su ortamlarının kalite sınıflandırmaları ve kullanım amaçlarını, su kalitesinin korunmasına ilişkin planlama esasları ve yasaklarını, atıksuların boşaltım ilkelerini ve boşaltım izni esaslarını, atıksu altyapı tesisleri ile ilgili esasları ve su kirliliğinin önlenmesi amacıyla yapılacak izleme ve denetleme usul ve esaslarını kapsar.

DESKİ Atıksuların Kanalizasyona Deşarj Yönetmeliğin amacı; atıksu altyapı tesislerinin korunması, atıksuların kanalizasyon sistemine deşarjı, kanalizasyon sistemi bulunmayan yerlerde vidanjör ve benzeri bir araç ile taşınarak İdarece gösterilecek atıksu arıtma tesislerine boşaltım ilkelerinin belirlenmesi ve su kirliliğinin önlenmesine ilişkin esas, yöntem, kısıtlamalar, izleme ve denetim ile ilgili usul ve esasları belirlemektir. Bu yönetmelik; DESKİ Genel Müdürlüğü'nün sorumluluk alanında bulunan mevcut tüm evsel ve endüstriyel atıksu kaynakları ile ilgili usul ve esaslar ile bu çerçevede yapılacak iş ve işlemleri kapsar.

Bu usul ve esaslar kapsamında aşağıdaki SKKY Tablo:10.3 Tekstil Sanayii (Pamuklu Tekstil ve Benzerleri) Alıcı Ortama Deşarj Standartları ve DESKİ Atıksuların Atıksu Altyapı Tesislerine Deşarjı Standartları Tablo 6.14 ve 6.15'de verilmiştir.

**Tablo 6.14:** Tablo:10.3 Pamuklu Tekstil ve Benzerleri (Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği 2004)

PARAMETRE	BİRİM	KOMPOZİT NUMUNE 2 SAATLİK	KOMPOZİT NUMUNE 24 SAATLİK
KİMYASAL OKSİJEN İHTİYACI (KOİ)	(mg/L)	250	200
ASKIDA KATI MADDE(AKM)	(mg/L)	160	120
AMONYUM AZOTU (NH <sub>4</sub> -N)	(mg/L)	5	-
SERBEST KLOR	(mg/L)	0.3	-
TOPLAM KROM	(mg/L)	2	1
SÜLFÜR (S <sup>-2</sup> )	(mg/L)	0.1	-
SÜLFİT	(mg/L)	1	-
YAĞ VE GRES	(mg/L)	10	-
BALIK BİYODENEYİ (ZSF)	-	4	3
pH	-	6-9	6-9
(Ek satır:RG-24/4/2011-27914)			
Renk	(Pt-Co)	280	260

**Tablo 6.15:** Atıksuların atıksu altyapı tesislerine deşarj standartları (DESKİ Atıksuların Kanalizasyona Deşarj Yönetmeliği 2017)

Kirletici	Birimi	Atıksu Altyapı Tesislerinde İzin Verilebilir Maksimum Değerler
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	mg/L	1000
Askıda Katı Madde (AKM)	mg/L	500
pH	-	6,5 -10
Sıcaklık	°C	40
Yağ ve Gres	mg/L	250
Toplam Azot-TN	mg/L	70
Toplam Fosfor-TP	mg/L	10
Sülfat (SO <sub>4</sub> )	mg/L	1700
Toplam Sülfür (S <sup>-2</sup> )	mg/L	2
Fenol	mg/L	20
Serbest Klor (S.Cl)	mg/L	5
Arsenik (As)	mg/L	3
Toplam Siyanür	mg/L	10
Toplam Kurşun (Pb)	mg/L	3
Toplam Kadmiyum (Cd)	mg/L	2
Toplam Krom (Cr)	mg/L	5
Toplam Civa (Hg)	mg/L	0,2
Toplam Bakır (Cu)	mg/L	2
Toplam Nikel (Ni)	mg/L	5
Toplam Çinko (Zn)	mg/L	10
Toplam Kalay (Sn)	mg/L	5
Bor (B)	mg/L	3
Demir (Fe)	mg/L	10
Alüminyum (Al)	mg/L	5
Toplam Gümüş (Ag)	mg/L	5
Klorür (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	10.000
Katran ve Petrol Kökenli Yağlar	mg/L	50
Çökebilir Katı Madde (ÇKM)	mg/L	10
Metilen mavisi ile reaksiyon veren Yüzey aktif madde (MBAS)	mg/L	Biyolojik olarak parçalanması T.S.E standartlarına uygun olmayan maddelerin boşaltımı prensip olarak yasaktır.

## 7. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ ARITILMASINDA KULLANILAN YÖNTEMLER

Tekstil sanayi atıksuları yüksek miktarda BOİ, KOİ, boyar madde ve AKM içerir (Mckay 1984). Bu yüksek orandaki maddeler atıksuyu görsel olarak kötüleştirerek, normalde ihtiyaç duyulan çözülmüş oksijen miktarını düşürmekte ve arıtımı zorlaştırmaktadır (Asfour ve diğ. 1985). Bu sanayi kolundaki atıksuların kirletici parametreleri değişken olduğundan, bu sektöre ait atıksuların arıtma yöntemlerinin de çeşitlenmesine neden olmaktadır. İlk yatırım ve işletme maliyetlerinin en asgari düzeye indirilebilmesi için atıksu karakterizasyonuna göre en uygun arıtma yöntemi seçilmelidir. Tekstil atıksularının arıtılması fiziksel, biyolojik ve kimyasal arıtma yöntemlerinin komplekslerinden meydana gelmektedir (Abo-Elela ve diğ. 1988). Yaygın şekilde uygulanan biyolojik arıtma sistemlerinin bir kısmı boya, bulanıklık ve KOİ gideriminde etkili olsa bile renk gideriminde yeterli olmamaktadır (Lin ve Chen 1997a).

Tekstil sanayisi, çok miktarda su kullanan sanayilerden biri olmakla beraber, büyük çoğunlukla son işlemler ve boyama süreçlerinden meydana gelen atıklar, günlük ayrıca kesikli boyama sonucunda aynı günde bile atıksu konsantrasyonu değişken özellik gösterir. Genellikle renk, KOİ ve pH karakterizasyonlarındaki farklılıkların oluşması atıksuya uygulanacak arıtma yöntemlerine göre farklı proseslere ayrılması ve kirletici yük, sıcaklık, pH ve debideki bu değişkenliği önlemek amacıyla dengeleme havuzlarında toplanmalıdır (Şeremet 2003).

Tekstilde kullanılan boyalar molekül yapıları, kimyasal özellikleri ve molekül büyüklüğünün farklı olması sebebiyle biyolojik arıtma sistemleri kullanılan boyaların rengini gidermede yeterli olamamaktadır. Belirli uygulamaların dışında boyarmaddeler aerobik şartlar altında biyolojik olarak parçalanamamaktadır, mesela kuvvetli renk içeren atıksuları meydana getiren reaktif boyalar, tepkimeye girmeden ve arıtma tesisi giriş değerleri aynı şekilde biyolojik arıtma kısmından çıkmaktadır. Reaktif boyalar, başka boya madde türlerine nazaran suda çok daha fazla çözünmekte ve biyolojik olarak parçalanmasının zorluğu sebebiyle klasik

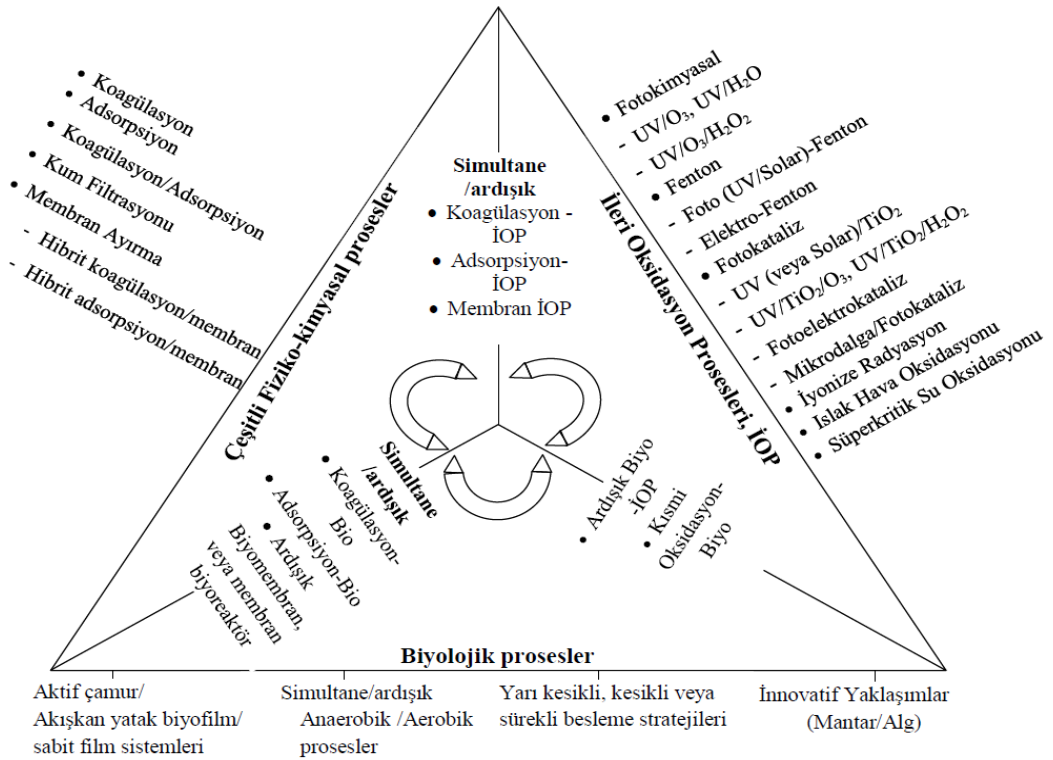


konvansiyonel aktif çamur sistemlerinde arıtılması zordur. Bazık boyalar ise hemen hemen tamamı ile elyaf üzerinde tutulabilirken, reaktif boyaların kullanılması halinde, boya derişiminin ortalama %40'ı atıksuya geçmektedir. Bu olay, biyolojik arıtmadan parçalanmadan ayrılan reaktif boya derişimlerini arttırmaktadır (Gahr ve diğ. 1994).

Renk giderim yöntemlerinin seçiminde göz önünde bulundurulması gereken hususlar aşağıda sıralanmıştır

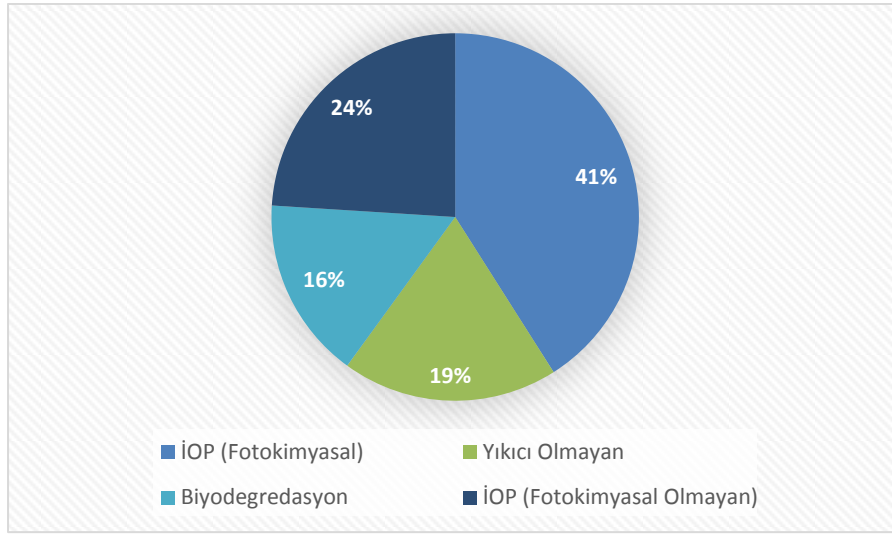
- Çamur teşkili ve uzaklaştırma maliyetleri
- İşletme sırasındaki ustalık düzeyi
- Bakım ve tesis ihtiyaçları
- Uzun zamanlı sistemin güvenir olması
- Toplam sistem maliyeti (Birgül 2006, Pekel 2009)

Tekstil sanayisinde kullanılan boya giderim yöntemleri Şekil 7.6'da gösterilmiştir (Hai ve diğ. 2007).



Şekil 7.6: Tekstil sanayisinde kullanılan boya giderim yöntemleri (Hai ve diğ. 2007)

Kullanılan prosese göre literatürde bulunan boya giderim yöntemlerinin uygulanma yüzdeleri Şekil 7.7’de gösterilmiştir (Bahadır 2012).



**Şekil 7.7:** Literatürde bulunan boya giderim yöntemlerinin uygulama yüzdeleri (Bahadır 2012)

Tekstil sanayisinde boyama ve diğer süreçlerde uygulanan organik ve inorganik yapıdaki bileşiklerin farklı olmasından dolayı meydana çıkan atıksu karakterizasyonları da değişkenlik göstermektedir. Bileşik kimyasal yapısına ve sentez yoluyla üretilme şekillerine bağlı olarak boyar maddelerin arıtılması zordur (Yüce 2007).

Organik boyar maddeleri bulunduran tekstil atıksularının gideriminde kullanılan en yaygın yöntemler; biyolojik (aerobik, anaerobik), fiziksel (filtrasyon, flotasyon, adsorpsiyon) ve kimyasal (oksidasyon, koagülasyon, elektroliz, indirgeme) yöntemlerdir. Fakat tekstil sanayisinde uygulanan boyar maddelerin çeşitli ve kompleksliği, tüm boyar madde sınıflarında ve çeşitlerinde etkin olabilecek tek tip arıtma şekli bulunamamaktadır (Alaton ve Balcıoğlu 2001). Tekstil atıksu arıtımında kullanılan en yaygın yöntem koagülasyondur ve koagülant olarak demir tuzları kullanılır. Bu süreçte %40-60 renk giderimi olurken %60-70 KOİ giderimi de elde edilir. Bu durum farklı boyalar için farklı verimlere neden olmaktadır (Solozenko ve diğ. 1995, Arslan ve Balcıoğlu 1999, Perkowski and Kos 2002).

Etkili serbest radikallerden meydana gelen İleri Oksidasyon Prosesleri (İOP)’ndeki son gelişmeler, tekstil atıksularından renk giderimini, mineralizasyonu

ve toksik içeriği düşürmeyi sağlamaktadır. İOP'nin en etkili özelliği seçici olmayan güçlü hidroksil radikallerini üretmesidir. En yaygın kullanılanlar hidrojen peroksit ve ozon varlığında UV ışınma, fenton oksidasyonu, ultrases ya da bir yarı iletken yüzeyi bulunmaktadır. İOP'den ultrases, azo boyar maddelerin (Dünyadaki boyar maddelerin yarısını oluşturur) mineralizasyonunu ve renksizleştirilmesini sağladığı için gelecekte önü açık bir teknolojidir. Ozonlama, dispers boyalar haricindeki diğer boyaları etkili bir şekilde arıtılabilirken, KOİ gideriminde etkili değildir. Fenton prosesi koagülasyon ve oksidasyon proseslerini birleştirme imkânı sunar. Bu yöntemle bütün boyalı atıksular istenilen seviyede arıtılabilir. Fenton prosesinde kullanılan hidrojen peroksit boyama işlemlerinde yaygın olarak kullanılır. Bu yüzden bu yöntem atıksuyun arıtılmasında daha ekonomik görülmektedir (Kuo 1992, İnce ve Tezcanli 2001; Neamtu ve diğ. 2002, Xu ve diğ. 2004, Tezcanli-Güver ve İnce 2004; Vajnhandl ve Marechal 2005). Bu tarz atıksular için düzenli bir arıtım yöntemi seçimi, suyun yeniden kullanılması ve deşarj uygulamaları gerekmektedir. Böylece çevre kirliliği önlenir ve sürdürülebilir çevre tanımına destekte bulunulur (Fongsatitkul ve diğ. 2004).

## **7.1 Fiziksel Arıtma Yöntemleri**

### **7.1.1 Adsorpsiyon**

Adsorpsiyon, bir maddenin başka bir madde yüzeyi üzerinde atomik veya moleküler bir film tabakası oluşturarak tutunması işlemidir (Ekizoğlu 2008). Gaz ve sıvı kirletici malzemelerin giderilmesinde kullanılır. Adsorpsiyon süreci, sorbent/boya etkileşimi, tanecik boyutu, adsorban yüzey alanı, sıcaklık, pH ve etki süresi vb. birden fazla kimyasal ve fiziksel faktörün etkisi altındadır (Kocaer ve Alkan 2002). Adsorban seçiminde temel şart yüksek afinite, hedef bileşiğin kapasitesi ve adsorban jenereasyonuna dayalıdır (Karcher ve diğ. 2002).

Aktif karbon, adsorpsiyonla renk gideriminde en yaygın kullanılan adsorban maddedir. Fakat boksit, silika jel, zeolit, aktif kömür, selüloz türevleri, odun, odun külü ve bentonit kolayca bulunabilen ekonomik adsorbanlardır (Slokar ve Le Marechal 1998, Walker ve Weatherley 1997, Pala ve Tokat 2002).

Aktif karbon ile renk giderme genellikle asidik ve katyonik boyalar için etkili olabilirken, vat, pigment, reaktif ve direkt dispers boyalar için etkisi daha azdır. Uygulanan yöntemin performansı atıksuyun özelliğine ve kullanılan karbonlu malzemenin tipine bağlıdır. Geri besleme ve yeniden kullanılması verimde düşüğe sebep olsa da bu dezavantaj durumu çok miktarda aktif karbon kullanımı ile azaltılabilir. Fakat aktif karbonun maliyeti yüksektir (Kocaer ve Alkan 2002). Bataklık kömürü başka bir adsorban malzeme olarak gösterilebilir. Bu malzeme, boyalı atıksulardaki polar organik kompleksleri ve geçiş metallerini adsorplayabilmektedir (Metcalf & Eddy 1979). Aktif karbon bataklık kömürüne göre maliyeti daha yüksektir fakat aktif karbonun toz halinde olmasından kaynaklı geniş yüzey alanı adsorpsiyon hacmini arttırmaktadır (Robinson ve diğ. 2001).

### **7.1.2 Membran Prosesler**

Tekstil sanayisi su tüketiminin fazla olduğu bir üretim alanıyken, meydana gelen atıksuların kirlilik yükleri de fazladır. Genellikle boyahane atıksuları, yüksek oranda tuz ve organik madde içeriği fazladır. Tuz yoğunluğu fazla olan karışımlar, boyarmaddenin lifli malzemeye iyi tutunmasını sağladığı için daha iyi adsorbe olurlar ve boya banyolarında fazla miktarda tuz kullanımını sağlar. Tuz oranı fazla olan atıksuların arıtılmasındaki zorluk sebebiyle atıksuya girdi yapan tuz en başta kaynakta ayrılmalıdır. Bu işlemin uygulanabileceği en iyi yöntem membranlardır (Koyuncu ve Topacık 1998).

Membran, selüloz asetat veya polyamid malzemedan yapılan seçici geçirgen özelliğe sahip bariyerlerdir. Çözelti içindeki maddeler; elektriksel itme ve çekme kuvvetleri, osmotik basınç gibi itme etkisi ile membran yüzeyine itilir. Bu malzemelerin bir kısmı membrandan geçerken diğer kısmı çözeltinin içinde kalır, böylece ayrılma gerçekleşir (Ekizoğlu 2008).

İlk olarak membran prosesler 1980'li yılların başında vat ve indigo boyarmaddelerin geri kazanılması amacıyla kullanılmıştır (Demirci 2007).

Membran prosesler, boyama esnasında lifli malzemeye geçmeyen boyar maddelerin, boyama işleminde kullanılan yardımcı kimyasal maddelerin ve suyun

geri kazanılması maksadıyla uygulanmaktadır. Bu prosesde iki adet ürün çıkışı mevcuttur. Bunlardan ilki, arıtılarak çıkan atıksu diğeri ise derişik akımdır. Arıtılan su yeniden kullanılabilirken derişik akımı ise kirletici konsantrasyonunun etkisi ile ileri arıtma yöntemleri uygulanmakta veya alıcı ortama atıksu verilmektedir. Bu prosesler ile boya maddelerin giderimi, istenilen deşarj suyu kalitesi ve boyanın türüne göre seçilecek teknolojiyi de değıştirmektedir (Şahin 2006).

Atıksuların özellikle sıcaklık ve kimyasal kompozisyonu filtrenin gözenek yapısı ve tipini belirler. Bu teknolojinin ana dezavantajı aşırı pahalı olması, membranın sık kirlenmesi ve değışik ön arıtma gerektirmesidir (Robinson ve diğ. 2001, Akbari ve diğ. 2006). Membran filtrasyon için en uygun ön arıtma ile AKM giderimini sağlayarak, membranın kullanım süresini arttırmaktır. Bu prosesi daha maliyetli hale getirir ve atıksu uygulamalarında kullanımını sınırlar (Verma ve diğ. 2012).

Yapılan araştırmalar, membran filtrasyonu uygulanan tesislerde deşarj suyunda az miktarda boya madde barındırıyorsa tekstil sanayilerinde bu suyu geri kazandırılabilereğı görülmüştür (Rozzi ve diğ. 1999). Eğer suyun tekrar kullanımını düşünülüyorsa bu yöntem çözünmüş katı madde içeriğini azaltmaz. Membran sistemlerin dezavantajları; ayırma işleminden geriye kalan yoğun atığı uzaklaştırma problemi nedeniyle yatırım maliyetleri yüksek, yenileme ihtiyaçları ve membran gözeneklerinin tıkanma riski vardır (Culp ve Culp 1971).

**Mikrofiltrasyon:** Yıkama sularından ve boya banyolarından koloidal boyaların giderimi için uygundur. Bu proseste yardımcı kimyasallar permeatta kalmakta ve geri kazanılabilmektedir. Bu yöntem; sülfür, vat, polyester ve azoik boyanmasında kullanılmış dispers boyaları atıksuyun içerisinden gidermek amacıyla uygulanmaktadır (Bahadır 2012).

**Dinamik Membran:** Tek çeşit lifli malzemenin boyandığı durumlarda ekonomik olurken uygulama için atıksularda ön arıtma işlemi yapılması gerekmektedir. Böylece renk giderimi %95 oranında olurken suyun %85'i geri kazanılabilmektedir (Bahadır 2012).

**Nanofiltrasyon:** Ters ozmos ile ultrafiltrasyon arasında bulunan kolloidal yapıdaki maddelerin ayrılması amacıyla kullanılır. Pamuklu tekstil boyaması yapılan boya banyosu atıksularının giderilmesi amacıyla bu proses uygulanır. Bu membran yöntemiyle boya maddelerin atıksudan uzaklaştırılmasının yanında tekrar kullanılmak üzere geri kazanım yoluyla elektrolit elde edilir. Bu prosesle haşılama işlemlerinde kullanılan kimyasal malzemeler de geri kazanılabilir (Şahin 2006).

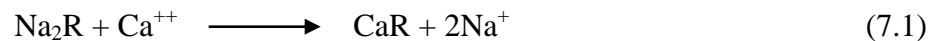
**Ters Ozmos:** Boya yıkama banyosundan gelen iri maddelerin ve iyonların atıksu içinden giderilmesi maksadıyla kullanılır. Metal bileşikler, asit, direkt, reaktif ve bazik boyalar vb. çözünebilir boyalar atıksudan tamamen giderilebilir. Reaktif ve direkt boyamada yüksek elektrolit konsantrasyonlarına ihtiyaç olduğundan ters ozmos boya banyo atıksularında uygulanmamakta, fakat kazan yıkama suyuna uygulanmaktadır. Bu proses, pamuk mumu ve yıkama kimyasalları gibi maddelerin membran bezlerini tıkaması nedeniyle pamuklu kumaş boyamasında oluşan atıksuların arıtılması işleminde kullanılması tavsiye edilmez (Birgül 2006).

Bu uygulamanın dezavantajı ise; yüksek maliyet, yoğun akımın atıksu kaynağındaki neredeyse bütün kirleticileri barındırması, düşük akımın giderim zorunluluğu, toplam deşarj suyunun %20'sinin arıtılmadan kalması ve arıtılan suyun geri dönüşümü esnasında hala aşırı miktarda kirletici barındırma olasılıkları gösterilebilir (Bahadır 2012).

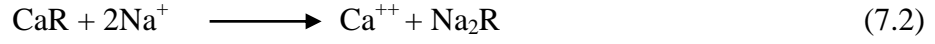
### 7.1.3 İyon Değişimi

Katyonlar  $\text{Na}^+$  veya  $\text{H}^+$ , anyonlarda ise  $\text{OH}^-$  iyonlarının yerleri değişir. Katyon değiştiren reçinelerin bir kısmı aktif grup olan sülfonik asit ( $\text{SO}_3\text{H}$ ) içeren sentez yoluyla üretilmiş polimerik komplekslerdir. Anyon değiştiriciler, sentez yoluyla üretilmiş reçine aminleridir. Tepkime, aktif kısmın herhangi bir iyon ile seçici şekilde yer değiştirmesine dayanan kimyasal tepkime sonucu oluşur.

Genel ifade ile katyon değişimi aşağıdaki denklemde gösterilmiştir.



Reçine, R ile gösterilmektedir. R'nin bütün aktif kısımlarındaki sodyum iyonları, kalsiyum iyonlarıyla yer değiştirdiğinde reçine; sodyum iyonları barındıran konsantre bir karışımın reçine yatağı içerisinde geçirilerek yenilenir. Bu denge, Na<sup>+</sup> iyonlarının Ca<sup>++</sup> iyonları ile değiştirmesi şeklinde diğer işlemin tersi ile olur.

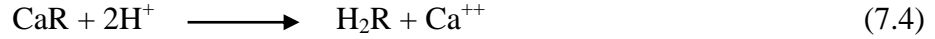


Eğer kullanılan katyon değiştirici reçine H<sup>+</sup> içerirse;

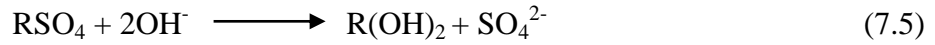


denklemleri ile göre oluşur.

Eğer rejenere edilirse;



Anyon değişiminde ise OH<sup>-</sup> (hidroksil) iyonlarının katyon değişimi ile benzer yapıda anyon iyonlarının yer değiştirmesidir. Tepkime kinetiği aşağıdaki gibidir:



(Gökkuş 2009).

İyon değiştirici kullanımı boyalı atıksuların giderilmesinde tam olarak yaygınlaşmamıştır. Bunun temel sebebi, iyon değiştirici kullanılarak arıtılan atıksularda pozitif sonuç veren boya sınıfı azdır. İyon değiştirme yönteminde atıksu, var olan iyon değişim noktaları doygunluk seviyesine ulaşmıyca dek iyon değiştirici reçineleri kullanır. Böylece, boya maddesi bulunan atıksularda anyonik ve katyonik boya şeklinde uzaklaştırılmaktadır. Bu sistemin avantajı, yenilenmeleri sayesinde adsorban madde zahiyatının olmaması, çözünme olasılığı olan boyaların verimli biçimde arıtılması ve çözücü madde kullanımından sonra iyileştirilebilmesidir. Organik çözücü maddelerin oldukça maliyetli olması ve dispers boyalar açısından verimli olmaması sistemin dezavantajıdır (Kocaer ve Alkan 2002, Robinson ve diğ. 2001).

## 7.2 Biyolojik Arıtma Yöntemleri

Biyolojik arıtma, işletme süreçlerinden deşarja kadar aktarılan organik maddelerin giderildiği sistemlerdir. Tekstil sanayisi atıksularının giderimi için kimyasal ve fiziksel yöntemler yüksek maliyet oluşturmakta, her boya maddesine uygulanamaması ve uygulanmasında kısıtlı olmasına sebep olur. Son dönemlerde yapılmış olan araştırmalar birçok boya cinsinin atıksudan uzaklaştırma kabiliyetine sahip mikroorganizma cinsinin varlığını göstermiş ve biyoteknolojik yöntemleri ortaya koymuştur. Biyolojik arıtma yöntemlerinin kimyasal ve fiziksel arıtım yöntemlerinden daha düşük maliyetli olması, daha az çamur oluşturması ya da deşarj edilen alanda zararlı başka ürünlerin meydana gelmemesi gibi özellikler bu sektör için uygun bir çözüm olmaktadır (Kereci 2014).

Tekstil sanayisinde kullanılan boyalar biyolojik olarak zor parçalandığından biyolojik arıtım yetersiz kalmaktadır. Ancak boyaları parçalayabilen anaerobik-aerobik bakteriler ve White-rot fungi cinslerinin yalnız bırakılmasıyla biyolojik renk giderimi yeniden önemli olmaya başlamıştır (Kapdan ve Kargı 2000).

Tekstil atıksuyunda mevcut boya maddelerin çeşitli ve temel yapı taşları arasındaki kuvvetli bağ yapısından dolayı atıksuyun arıtılmasında renk sorun teşkil etmektedir. Biyolojik arıtma birçok sektörün atıksu arıtımında kullandığı önemli bir yöntemdir ve yüksek verim anlamına gelir. Biyolojik arıtmada atıksuyun içerisinde mevcut askıdaki koloidal ya da erimiş organik maddeler, bakteriler tarafından parçalanmakta ya da besin kaynağı olarak tüketilmektedir. Çökebilen biyolojik floklar ile de atıksuda kalan ya da gaz olarak atmosfere karışan sabit inorganiklere dönüşmektedir. Biyolojik arıtmanın temel noktası doğanın, organik kirleticileri kendiliğinden zamanla yok olmasını sağladığı mineralizasyon ve bioflokülasyon gibi parçalanma süreçlerini denetim altında bir yapıda hızlandırması ve daha verimli şekilde işlem görmesidir (Arık 2005). Genellikle tekstil atıksularının arıtılmasında aktif çamur sistemleri kullanılmaktadır. Fakat bu tesislerden istenilen düzeyde verim elde edilememiş ve deşarj suları da her zaman renkli olmuştur. Mesela, ICI'nin yaptığı birçok araştırmada tekstil atıksularının sürekli değişen bileşiminden dolayı bakteriyi aktif tutmak zor olmaktadır. Eğer arazi koşulları uygun ise aktif çamur sistemine polimer ilave edilerek flokülasyon-koagülasyon yöntemi uygulanabilir.



Bunun neticesinde aşırı derecede çamur oluşmaktadır. Oluşan bu çamurların giderilmesi de maliyeti arttırmaktadır (Demirci 2007).

Klasik aktif çamur sistemi yaygın olarak kullanılsa da enerji ve alan ihtiyaçları az olan damlatmalı filtre ve döner disk sistemleri de günümüzde tekstil atıksu arıtım sistemleri arasında yer almaya başlamıştır (Erol 2007).

### **7.2.1 Aerobik Arıtma Yöntemi**

Aerobik arıtma sistemlerinde en yaygın uygulanan yöntem aktif çamur yöntemidir. Bu sistemler; dezenfeksiyon, havalandırma, çökeltme ve dengeleme proseslerinden oluşmaktadır. Aktif çamur koloidal yapıdaki çözülmüş maddelerin mikroorganizmalarla çökebilir flok yapıda olduğu proseslerdir ve bu proseste havalandırma havuzundaki mikroorganizmaların askıda tutulması temeline dayanır. Biyolojik arıtma prosesinde organik maddeler askıda büyüyen mikroorganizmalarca havalandırma işlemi sonucu parçalanmaktadır. Organik maddelerin oksitlenmesi sonucunda organik maddeler oksitlenir ve biyokütleyle dönüşür. Sistem verimliliğinin sağlanması için çökeltme havuzundan bir miktar biokütle sistemden uzaklaştırılırken bir kısmı da havalandırma havuzuna geri devredilir (Yamaç 2016).

Tekstil sanayisi atıksularının pH değeri 9-10,3 arasında değişmektedir. Mikroorganizmalar pH değeri 9 ile 9,5 arasındaki atıksuları kolaylıkla parçalayabilmektedirler. Daha önce yapılan araştırmalarda hem havalandırma lagün sistemleri hem de uzun havalandırma aktif çamur sistemlerinde pH değeri 9-10,5 arasında başarı ile çalışmaktadır. Burada gösteriliyor ki tekstil atıksuyunda ön pH ayarlaması yapılmadan biyolojik olarak arıtımı gerçekleştirilebilir (Abu-Ghunmi ve Jamrah 2006).

Suda çözünebilen direkt, bazik ve bazı azo boya atıklarının bulunması halinde mikroorganizmalar bunları biyolojik olarak parçalayamaz ve bir arada boya maddesinin bir parçasını tutarak atıksu ile aynı renge gelir ve rengi giderilmiş olur. Organik yükü fazla atıksularda direkt aktif çamur prosesi kullanmak enerji tüketimini artırır. Bu yüzden anaerobik arıtmadan sonra aktif çamur sistemi ikinci kademe olarak kullanılmalıdır (Yüce 2007)

Son zamanlarda azo boya içeren atıksularda mineralizasyon ve renk giderimi amacıyla yapılan araştırmalarda aerobik ve anaerobik aşamaların birlikte uygulandığı yapılar da daha iyi arıtma verimi sağlanmıştır. Sadece aerobik arıtma uygulanan konvansiyonel arıtma tesislerinde, boya maddelerinin parçalanmaya karşı direnç göstermesi ve mikroorganizmalara karşı toksik etki oluşturmalarından dolayı renk giderimini zorlaştırmaktadır ki bu yüzden tek başına aerobik proses kullanımı yaygın değildir (Khelifi ve diğ. 2008, Işık ve Sponza 2003).

Azo boyar maddelere benzeyen sentez yoluyla üretilen boya maddelerin aerobik koşullarda mikroorganizmalar tarafından parçalanmasına direnç göstermesinin sebebi boyanın, ışık ve kimyasal kaynaklı oksidatif etkilerden dolayı renginin ağarmamasını sağlayacak biçimde sentez edilmesidir. Boya maddelerini aerobik olarak biyolojik parçalanmasını etki etken parametre moleköl ağırlıklarının yüksek oluşudur. Bu yüzden de biyolojik hücre zarından geçişleri zordur (Willmott ve diğ. 1998).

Reaktif, azo ve diazo gibi boya maddesi bulunduran tekstil atıksuyunda rengin mikrobiyolojik sistemlerde giderilmesinin konu olduğu araştırmada aerobik kolonlardan yalıtılmış doğal bakteri költürlerinin giderim sağlayamadığı görölmüştür (Nigam ve diğ. 1996).

O'Neill ve diğ. (2000a), yaptıkları araştırmada tekstil atıksularında rengin aerobik kolonlardan yalıtılmış doğal bakteri költürleriyle gidermede azo boya maddesine benzeyen reaktif boyalarla sadece %10'luk bir kısmının aerobik biyokötleyle tutunduğunu, geriye kalan kısmının ise sistemden herhangi bir değişime uğramadan terk ettiğini gözlemiştir. Bu yüzden azo boya maddesi bulunan atıksularda renk giderme işleminde aerobik arıtımın yetersiz olduğu dile getirilmiştir (Coughlin ve diğ. 1997).

### **7.2.2 Anaerobik Arıtma Yöntemi**

Anaerobik arıtmanın ilk aşamasında asidojenik bakteriler yağlar, proteinler ya da karbonhidratlar gibi organik maddeleri düşük moleköler ağırlığa sahip ara ürünlere dönüştürür. Oluşan fermante ürünler asetojenik bakterilerce tüketilir ve

karbondioksit, moleküler hidrojen ve asetat oluşur. Son aşamada ise metanojenik bakteriler vasıtasıyla karbondioksit ve asetat  $CH_4$  gazına indirgenir. İçerisinde  $CO_2$  ve  $CH_4$  bulunan biyogaz, anaerobik parçalanma testinde parçalanma düzeyini göstermek için kullanılır (Kocaer ve Alkan 2002).

Anaerobik yöntemde, tekstil atıksularının %60-70'inde klasik ve mevcut yöntemlerle giderilemeyen azo boya maddeleri ve başka çözünen boya maddelerin renk giderimi sağlanır. Giderim işlemi oksidasyon indirgenme tepkimeleriyle gerçekleştirilir. Bu sistemde biyogazın elde edilmesi büyük avantajdır. Elde edilen biyogaz güç kaynağı ve ısı olarak tekrar kullanılabilirken enerjiden de tasarruf edilir (Yüce 2007).

Boya maddeleri ile yapılan anaerobik parçalanma araştırmaları, her şeyden önce aerobik koşullarda parçalanması zor olan suda çözünebilen reaktif azo boya maddeleri üzerinde durmuştur. Çift bağ yapısına sahip azot zincirine bağlanmış bu tarz boyalar aerobik prosesler ile giderilmesinin yeterli olamaması anaerobik arıtmanın ön arıtma gibi kullanılmasını ortaya çıkarmıştır. Anaerobik şartlarda rengin giderilebilmesi için ek bir karbon kaynağına gerek vardır. İlave karbon, karbondioksit ve metana dönüştürülürken bir yandan da elektronlar oluşmaktadır. Açığa çıkan elektronlar, elektron taşıma halkası üzerinden son elektron alıcısına yani azo-reaktif boyaya taşınmakta ve boya ile tepkime oluşturarak azo bağı indirgenmektedir. Böylelikle anaerobik ayrışma neticesinde azo boyalardaki renkten sorumlu azo bağı kırılmakta ve renk giderilmektedir. Bu durum oksijen aracılığıyla engellenmektedir. Bu yüzden boya atıklarından renk gidermek için ilk aşama azo köprüsü indirgenme işlemi sonucu parçalandığı anaerobik koşullarda arıtılması gerekmektedir (Robinson ve diğ. 2001).

Anaerobik arıtmada ek karbon kaynağı yerine yaklaşık 2 g/L glukoza ihtiyaç duyulması pratik uygulamalarda bir problem olarak görülse de fiziko-kimyasal arıtma tekniklerine göre maliyeti makul düzeyde olduğu unutulmamalıdır (Şen ve Demirer 2003).

Bir araştırmada, ek karbon kaynağı yerine kullanılmış minimum düzeydeki tapioca nişastası işletmenin renk giderim verimini arttırdığı dile getirilmiştir (Chinwetkitvanich ve diğ. 2000).

Azo bağının kırılması ile, anaerobik şekilde giderilemeyen aromatik aminler de oluşmaktadır. Boya maddeleri normal olarak sitotoksik, kanserojenik ya da mutajenik özellik göstermezken, anaerobik parçalanmayla oluşan aminler bu tarz özellik gösterebilir. Çünkü aromatik aminler, aromatik bileşiğin halkasının açılması ve hidrosilasyonla aerobik ortamda mineralize olabilmektedir. Böylelikle atıksuda bulunan boyalar birleşik aerobik-anaerobik prosesler ile renk giderimi en başta etkiliyken, anaerobik koşullarda giderilmesi zor aromatik aminler aerobik safhada giderilmektedir (O'Neill ve diğ. 2000b).

### **7.2.3 Biyosorpsiyon**

Koku oluşturan maddeler, boya ve metaller gibi organik ya da inorganik kökenli kirleticilerin biyolojik etkilerle sulu çözeltilerden ayrılma işlemine biyosorpsiyon denir. Bu biyolojik malzemeler genel olarak bakteri, algler ya da fungi gibi canlı ya da ölü biokütlelerdir. Kontrolsüz ya da doğal biyosorpsiyon, genel olarak pasif ya da aktif taşınım sisteminin birleştirilmiş halidir. Bu prosesi etkili kılabilecek bazı özellikler sıralanırsa, yüksek seçicilik ve verimlilik, giderim veriminin oldukça iyi olması, prosesin düşük maliyetli olması, ekipmanların kolay temini ve rejenerasyon maliyetinin düşük olmasıdır. Biyosorbent materyaller ya doğada bol miktarda bulunmakta (çeşitli deniz bitkileri) ya da yüksek maliyet gerektirmeden (aktif çamur proses atıkları, endüstriyel işlemlerden kaynaklanan atıklar gibi) bulunabilmektedir. Biyosorpsiyon proseslerinde ölü mikrobiyal hücrelerin kullanımı atıksu arıtımında avantajlı olabilir. Çünkü ölü organizmalar toksik atıklardan etkilenmez, her zaman besi maddesine gerek duymaz ve çeşitli yöntemlerle rejenere edilerek tekrar kullanılabilir.

Tekstil boyarmaddelerin kimyasal yapıları kendi içlerinde değişiklik göstermekte ve mikroorganizmalar ile boyalar arasındaki tepkimeler boyanın özelliğine ve biyokütle cinsine, biyokütle spesifik yüzey özelliğine ve ortam şartlarına bağlı olarak değişmektedir. Mantar biyokütlesi hayvanlara ve insanlara karşı patojen olmadığı için bu tarz biyokütleler kolay fermantasyon yöntemleriyle ya da farklı endüstriyel fermantasyon prosesi atıklarından (amilaz ya da sitrik asit

fermantasyon proses atıkları) ucuz şekilde elde edilebilirler (Aksu ve Karabayır 2008).

#### **7.2.4 Ardışık Anaerobik-Aerobik Arıtma Yöntemi**

Anaerobik ön arıtma sistemleri; ağır metallerin, organik halojenlerin ve renk giderimi üzerine pozitif etkisi vardır. Yüksek renk derişimli atıksular anaerobik arıtmadan sonra, aktif çamur prosesine beslenmesiyle %96 renk ve %90 KOİ giderimi elde edilmiştir. Kuvvetli yün yıkama atıksularında bulunan deterjan ve yağ gibi organiklerin yanında zayıf biyolojik ayrışabilir organiklerde büyük miktarda uzaklaştırılmaktadır. Anaerobik/Aerobik prosesleri takip eden ileri arıtma sistemleri, UV sterilizasyonu ve kum yatağı ile %30-40 civarında tekrar kullanılabilir. Bunun dışında kabarma ve köpük oluşumu sorunlarının giderilmesiyle fosfor giderimi iyi olmakta ve düşük seviyede TAM değerlerine erişilmektedir. Yapılan çalışmalar ışığında anaerobik arıtmayla renk giderilirken aerobik arıtma ile giderilememektedir. Yalnız aerobik arıtma sistemi ile %35 KOİ, %71 BOİ giderimine ulaşılırken birleştirilmiş ardışık metotlarda ise %57 KOİ ve %86 BOİ giderimi elde edilmiştir (O'Neill ve diğ. 1999).

Ardışık aerobik ve anaerobik arıtma sistemleri atıksudan elyaftaki reaktif azo boya renklerinin arıtılmasında klasik aerobik arıtma sistemlerine göre daha etkilidir. Hem aerobik hem de anaerobik ortamlarda gelişebilen bir biyokütle yetiştirilebilir. Aslında ardışık aerobik/anaerobik sistemin KOİ giderimi klasik aerobik sistemlerle benzerdir. Ancak aerobik kontrol ve aerobik/anaerobik proseste sergilenen aerobik fazdaki KOİ giderim oranı anaerobik kısımdan daha fazladır. Anaerobik fazda ise renk giderimi daha yüksektir (Smith ve diğ. 2007).

#### **7.2.5 İleri Aktif Çamur Yöntemi**

Son dönemlerde yapılan araştırmalarda pek çok boya malzemesini atıksulardan giderme özelliğine sahip mikroorganizmaların olduğunu göstermektedir ve böylece biyoteknolojik yöntemlerin kullanılması önem kazanmıştır. Atıksu arıtılmasında özellikle çeşitli mantar türlerinin kullanımı ilgiyi arttırmaktadır. Lignin

parçalama özelliğine sahip beyaz çürükçül mantarlarca salgılanan enzimler boyarmaddeleri parçalayabilmektedir (Köseoğlu 2004).

### **7.3 Kimyasal Arıtma Yöntemleri**

Tekstil atıksularının kimyasal yöntemler ile arıtılması geçmişten günümüze hep rağbet görmüştür. Bunun nedeni atıksu kalitesinde oluşan değişimlerin uygulanan dozda ya da kullanılan kimyasalda yapılan değişikliklere kolay şekilde adapte edilmesidir (Socha 1991).

Tekstil atıksuyunda bulunan boyar maddeler gibi biyolojik ve fiziksel yöntemlerle giderimi ya da parçalanması zor olan maddelerin, kimyasal yöntemlerle giderilmesidir (Öden 2010). Bu yöntemin gayesi, suda çözünmüş formda olan kirletici maddelerin kimyasal tepkimelerle çözünürlükleri düşük kompleks yapılara dönüştürülmesi veya askıda ve koloidal maddelerin topak şeklindeki yumaklar halinde çökeltme işlemi ile arıtılmasıdır (Kereci 2014).

Fakat kimyasal yöntemlerin dezavantajı; ilave kimyasal madde ihtiyacı, meydana gelen çamur miktarı ve dozlama istasyonlarının işletme maliyetleridir.

#### **7.3.1 Nötralizasyon**

Tekstil atıksuyunun asitli boyama suları yüzünden kuvvetli asidik özellik ya da bazik merserizasyon/yıkama suları yüzünden kuvvetli alkali özellik gösteren atıksuların pH'ını dengeleme işlemine nötralizasyon denir. Atıksuda pH ayarı yapmak; deşarj standartlarını sağlamak için, kimyasal çöktürme işleminde istenilen reaksiyon için, biyolojik arıtma öncesinde istenilen bakteriyel faaliyet için gereklidir (Mulder 1996).

### 7.3.2 Cucurbituril ile Arıtım

Cucurbituril, formaldehit ve glikolurilden meydana gelen polimer bir yapıdır. Cucurbitaceae balkabağı ailesi bitki türünün üyesidir ve ismini balkabağına benzediği için buradan alır. Adında bulunan -uril kelimesi, bu bileşiğin üre monomerini de ihtiva ettiğini gösterir. Yapılmış olan araştırmalarda bileşik, farklı türdeki tekstil boya maddeleri için oldukça iyi bir tutunma verimine sahip bir yapı oluşturur. Cucurbituril'in maddesi aromatik bileşikler ile karmaşık yapı meydana getirdiği bilinmekte ve reaktif boya maddelerin adsorpsiyonu için bu yöntem uygulanabilecektir. Başka bir bakış açısı ise giderim sisteminin hidrofobik etkileşimlere ya da çözünemeyen cucurbituril-boya-kasyon agregatlarının oluşum sürecine dayandırıldığı yönündedir (Robinson ve diğ. 2001).

Endüstriyel yönden uygulanabilecek bir proseste sabit yataklı adsorpsiyon filtreleri gereklidir. Böylelikle adsorban maddenin cucurbiturilin katyonların mevcudiyeti ile bozunması ve fiziksel etkilerle yıkanması engellenebilir. Son zamanlarda yapılan araştırmalar kimyasal işleyişlerin anlaşılması üzerine durulmuş ve prosese pH, hidroliz ve sıcaklığın etkileri gözlenmiştir (Karcher ve diğ. 1999).

### 7.3.3 Koagülasyon-Flokülasyon (Pıhtılaştırma-Yumaklaştırma)

Tek başına çökemeyen ve atıksuda koloidal olarak askıda bulunan katı maddeler, koagülant adı verilen kireç, demir klorür, magnezyum ve demir sülfat vb. çöktürücü kimyasallar ile elektrik yükleri nötralize edilerek topak halinde floklaştırılması işlemine koagülasyon denir (Ekizoğlu 2008). Fakat son dönemlerde boyar maddelerin yapısal değişimlerinden dolayı kullanılan kimyasallar uzaklaştırmada yeterli olmamaktadır (Hazel 1995). Elektriksel stabilizasyonu koagülant madde ile sağlanır. Daha sonra kararsız hale gelmiş koloidal tanecikleri bir araya getirerek çökmesini flokülasyon işlemi ile gerçekleştirir. Böylece KOİ ve bulanıklık değerleri azaltılabilir. Yüksek renk giderim verimi elde edebilmek için fazla koagülant kullanılması gerekmektedir. Bu da maliyetleri arttırmaktadır (Akay 2013).

Koagülasyon işlemi, atıksuya eklenen koagülant maddenin havuzun her noktasında eşit karışmasını sağlamak amacıyla uygulanmaktadır. Koagülasyon işlemi sonucunda tanecikler küçük yumaklar halinde bir araya getirilir. Bu proseste atıksu 0,5 ile 5 dakika civarında kalmaktadır. Demir sülfat, alum, kireç, polielektrolit, demir klorür gibi koagülantlar kullanılmaktadır. Bu maddeler atıksuya kuru olarak ya da çözelti haline getirilip pompa ile de beslenebilmektedir. Hızlı karıştırmada genel olarak yüksek hızlı mekanik karıştırıcılar kullanılır. Hızlı karıştırmadan sonra suyun yavaş halde karıştırılması, pıhtılaştırmayla meydana gelen taneciklerin birleşerek daha kolay şekilde çökebilen floklar meydana getirmesi amacıyla flokülasyon işlemi uygulanır. Bu proseste atıksu 15-60 dakika arasında kalma süresine sahiptir ve böylece AKM'nin koagülant ile azami teması sağlanır. Kimyasal yumaklaştırma işlemi sonrası çökeltme işlemi yaptırılır. Bu işlemlerin gerçekleştiği birleşik sistemlerde mevcuttur (Arceivala 1981).

Boyamadan kaynaklı renkli tekstil atıksularının arıtılması kimyasal koagülasyon ile ön, temel ve ileri arıtma yöntemleri birlikte kullanılmaktadır. Kimyasal çökeltme işlemiyle AKM, yağ ve gres, krom, renk ve organik maddeler giderilebilmektedir. Genellikle yumaklaştırıcı malzeme olarak alüminyum tuzları ve demir ile demir/kireç tuzları kompleksleri kullanılmaktadır. Ara sıra da bentonit, aktif alümina ve kaolin kullanılmaktadır. Yumaklaştırma işleminde sorun olduğu zaman sisteme katyonik, anyonik ya da non-iyonik organik polimerlerde eklenebilmektedir. Fakat oluşan çamurun toksik ve zararlı olması dezavantajdır. Ancak çamur bir dezavantaj olmasına karşın koagülasyon ve flokülasyon işlemleri tekstil atıksu uygulamalarında çekici bir hal almaktadır. Bazı kullanılan kimyasalların (polielektrolit) eklenmesi büyümeyi hızlandırdığı için flokların daha hızlı koagülasyona sahip olmasını sağlamaktadır. Polielektrolitler, yüksek yapılı ağır polimerlerdir. Adsorblanabilir gruplar bulundurur ve polielektrolitin (1-5 mg/L) küçük dozları bile etki etmektedir. Her koagülantın azami çökeltme eğilimi gösterdiği pH değeri saptanmalıdır. Yani izoelektrik noktası belirlenmelidir. Fakat polielektrolitler pH değişiminden etkilenmezler ve kolloidler üzerinde etkili olan yükü azaltarak koagülant görevi görür. Suda büyük oranda iyonlar meydana getirerek elektrolit ve polimer özelliği gösterir. Kimyasal çöktürme ile dispers ve vat gibi boyaların oluşturduğu renk kolaylıkla giderilirken, reaktif ve bazı asidik boyaların flokülasyon işlemi ile yaklaşık %20 arıtma verimi sağladığından yeterli renk giderimi



olmamaktadır (Bidhendi ve diğ. 2007, Babürşah 2004). Koagülasyon ve flokülasyon sonucu oluşan çamur inşaat malzemesi (Balasubramanian ve diğ. 2006), yakıt (Van der Bruggen ve diğ. 2005) ve toprak şartlandırıcı (Islam ve diğ. 2009; Rosa ve diğ. 2007) olarak kullanılmaktadır. Kimyasal koagülantlar 3 farklı kategoride olacak şekilde Şekil 7.8’de gösterilmiştir (Verma ve diğ. 2012).

Kimyasal Koagülantlar		
<b>Hidrolize metalik tuzlar</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ferrik klorür</li> <li>• Ferrik sülfat</li> <li>• Mangnezyum klorür</li> <li>• Alum</li> </ul>	<b>Ön hidrolizlenmiş metalik tuzlar</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Polialüminyum klorür</li> <li>• Poliferrik klorür</li> <li>• Poliferrous sülfat</li> <li>• Polialüminyum ferrik klorür</li> <li>• Polialüminyum sülfat</li> </ul>	<b>Sentetik katyonik polimerler</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Aminometil poliakrilamid</li> <li>• Polialkilen</li> <li>• Poliamin</li> <li>• Polietilen imin</li> <li>• Polidiallildimetil amonyum klorür</li> </ul>

**Şekil 7.8:** Kimyasal koagülantların şematize hali (Verma ve diğ. 2012)

Gregory ve Rossi (2001), atıksu uygulamalarında ön hidrolizlenmiş koagülantların verimliliğini incelemişler ve polialüminyum klorür (PACl)’un daha hızlı flokülasyon sağladığı ve eşit dozlarda alümandan daha güçlü flok meydana getirdiğini vurgulamışlardır. Literatürde; ön hidrolizlenmiş metalik tuzlar, hidrolize metalik tuzlardan daha verimli olduğu sunulmuştur.

Kimyasal koagülantların performans değerlerini gösteren Tablo 7.16’da verilmiştir (Verma ve diğ. 2012).

**Tablo 7.16:** Kullanılan koagülant türüne göre işletme ve verim karşılaştırması  
(Verma ve diğ. 2012)

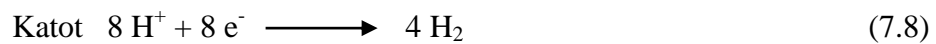
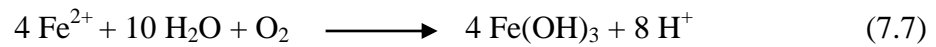
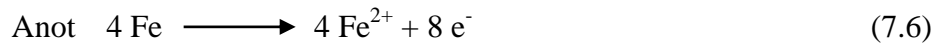
Koagülant Adı	Opt. doz (mg/L)	Koagülant yardımcı	Boya tipi	Opt. pH	Renk giderimi %	Referans
Çelik endüstrisi atıksuları			Dispers	4,25	99	Anouzla ve ark. 2009
K <sub>2</sub> FeO <sub>4</sub>	100	Poliamin bazlı polimer		3,5-8,5	95	Ciabatti ve ark. 2010
Polialüminyum klorür (PACl)	10			7,2	99,9	Choo ve ark. 2007
Poli-epiklorohidrandiamin	20			7	95	Kang ve ark. 2007
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	200	Poliakril amid bazlı polimer		5,3	78,9	El-Gohary ve Tawfik 2009
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	5000	Katalizör olarak bakır sülfat		4	74	Kumar ve ark. 2008
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	20	Ticari katyonik flokülant	Reaktif ve asit	Nötre yakın	98	Golob ve ark. 2005
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	70000			5,7-6,5	74	Patel ve Vashi 2010
FeSO <sub>4</sub>	200	Polielektrolit	Sülfür	9,4	90	Bidhendi ve ark. 2007
FeCl <sub>3</sub>	400		Sülfür	8,3	100	Kim ve ark. 2004
FeCl <sub>3</sub>	293		Reaktif ve dispers	6	71	Suksaroj ve ark. 2005
FeCl <sub>3</sub>	56	Katyonik polimer		4	92	Tan ve ark. 2000
MgCl <sub>2</sub>	400	Polielektrolit	Reaktif	11	85	El-Gohary ve Tawfik 2009
MgCl <sub>2</sub>	120	Kireç		11	100	Gao ve ark. 2007
MgCl <sub>2</sub>	800	Hidrate kireç	Reaktif ve dispers	12	98	Sanghi ve ark. 2006
Polialüminyum klorür (PACl)	0,1	Poli akrilamid	Reaktif, asit, direk	8,5	80	Tan ve ark. 2007
Polialüminyum klorür (PACl)	800	Anyonik akrilamid, Exerflok 204		7,5	75	Georgiou ve ark. 2003
FeSO <sub>4</sub>	400	Kireç ve katyonik polimer	Reaktif	12,5	90	Selçuk 2005
FeSO <sub>4</sub>	70000			5,7-6,5	85	Patel ve Vashi 2010

Çizelgeyi incelediğimizde, FeCl<sub>3</sub> koagülantının pH değeri asidiktir. Bununla beraber, verimli renk giderimi pH değerinin nötre yakın olduğunda gerçekleşmiştir. Fakat bu giderim verimi boyanın türüne bağlı olarak değişmektedir (Kim ve diğ. 2004, Guendy 2010, Moghaddam ve diğ. 2010).

### 7.3.4 Elektrokimyasal Yöntem

1990'lı yılların ortalarına doğru bu yöntem gelişmeye başlamıştır. Elektrokimyasal bir reaksiyon içinde, elektrot ile iletken sıvı içerisinde bulunan reaktif cinsler arasındaki ara yüzeyde yük transferi gerçekleşir. Elektrokimyasal bir reaktörde; katot, anot, güç kaynağı ve iletken elektrolit bulunmaktadır. Katot içerisinde bulunan yük, tepkimeye giren türlere geçmesiyle oksidasyon seviyesinde azalmaya sebep olur. Anot içerisindeki yük ise reaktif tür olan elektroda geçerek oksidasyon seviyesinde artışa neden olur. Bu oksidasyon değişimleri türlerin form ve kimyasal özelliklerinde değişime yol açar (Kocaer ve Alkan 2002).

Elektrokimyasal yöntemlerin reaksiyon tepkimeleri karmaşık yapıdadır. Bu yöntemin temel şartlarda elektrokoagülasyon, elektrooksidasyon ve elektroflotasyon olmak üzere 3 mekanizması bulunmaktadır. Oksidasyon ve redüksiyon aşamalarında anot ve demir elektrot ile meydana getirilen katotta aşağıdaki tepkimeler gerçekleşmektedir.



Boya molekülleri yeterli gücün sağlanabilmesi durumunda katotta küçük organik moleküllere indirgenirler. AKM ve küçük organik moleküller Fe(OH)<sub>3</sub> tarafından tutularak çöktürme işlemi ya da H<sub>2</sub> flotasyonu ile uzaklaştırılır (Sevimli 2000).

Bu yöntem klasik koagülasyon-flokülasyon yöntemleriyle kıyaslandığında daha küçük koloidal maddelerin giderimi, neredeyse yok denecek kadar çamur

oluşumu, ekonomik ve basit işletme koşulları ve reaksiyon sürelerinin kısa olması gibi çeşitli üstünlükleri mevcuttur (Yıldız 2008).

Elektrokimyasal yöntemlerle organik bileşiklerin arıtılmasında bileşikler anot kısmında H<sub>2</sub>O ve CO<sub>2</sub> okside olmaktadır. Daha önceden anot olarak grafit kullanılırken son dönemlerde yapılan araştırmalarda elektro-oksidadasyon işlemi için ince bir tabaka şeklinde soy metaller (Platin, rutenyum vb.) ile kaplanmış titanyum elektronlarının kullanımı artmıştır (Kocaer ve Alkan 2002).

Vlyssides ve diğ. (2000) yaptıkları çalışmada elektrokimyasal olarak titanyum/ platin anodunu kullanarak 18 dakika süren bir aktif arıtma işleminden sonra kimyasal oksijen ihtiyacı, renk ve biyolojik oksijen ihtiyacı değerlerinde %80'lere aşan bir giderim elde etmiştir.

#### **7.4 İleri Oksidadasyon Yöntemleri**

Tekstil sanayisinin boya atıksularının arıtılmasında klasik aktif çamur yöntemlerinin kullanılması rengin giderilmesinde yeterli olmamaktaydı ve bununla beraber flokülasyon, fizikokimyasal ve koagülasyon sistemleride yetersiz kalmaktaydı. Tekstil sanayisi genellikle, molekül büyüklüğü, kimyasal özellikleri ve yapılarının farklılığından dolayı biyolojik arıtma yöntemleri tekstil sanayisinin üretim esnasında kullanılan boyaların renk giderimi üzerine yeterli olmamaktadır. Boyaların çok az kısmı haricinde, aerobik koşullarla biyolojik olarak giderilememektedir, mesela kuvvetli renk içeren atıksuların meydana gelmesine sebep olan reaktif boyalar, reaksiyona girmeden ve giriş atıksu konsantrasyonları değişeme uğramadan biyolojik arıtma prosesinden çıkmaktadır. Reaktif boyalar, diğerlerine göre suda çözünebilen ve biyolojik parçalanmaları düşük kalması sebebi ile klasik aktif çamur sistemlerinde giderimi zordur. Baz yapılı boyaların büyük çoğunluğu elyaf üzerinde tutulurken reaktif boyaların kullanılmasında ortalama %40'ı atıksu içerisine karışmaktadır. Bundan dolayı da biyolojik olarak arıtılmadan deşarj edilen boyaların derişimini arttırır (Batıbay 2008).

Bu nedenle, biyolojik ve mekanik arıtma yöntemleri giderilmesi zor olan tekstil sanayi atıksularının arıtımı için yeterli olmadığından ileri oksidasyon prosesleri (İOP) geliştirilmiştir.

İOP'ler genel itibariyle ortam sıcaklığında ve basıncında bile kuvvetlidir. Bu yüzden daha az seçici ve kısa elektrofilik karaktere sahip bir oksidan olan hidroksil radikali (OH\*) üretimini ve kullanılmasını sağlar. OH\*, organik molekül yapılarına bağlanma isteğinde bulunur. Bu bağlanma isteği esnasında seçici davranmamaları, OH\*'lerin atıksu arıtımında ve atıksu içerisindeki kirliliklerin giderilmesinde kullanılır (Bahadır 2012).

Böylece bu suların yeniden kullanılması maksadıyla uygulanmaktadır. İleri oksidasyon yöntemleri uygulanmadan önce ön arıtma, fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma yöntemlerine gereksinim duymaktadır. Bu sistemler, pahalı ve ithal olduklarından henüz yaygın değildir. Ancak son zamanlarda yapılan araştırmalar neticesinde kullanımları yaygınlaşmaktadır (Şahinkaya ve diğ. 2008).

İOP'lerin en etkili özelliği endüstriyel bir atıksuyun biyolojik gideriminin artırılması ve toksisitesinin azaltılmasıdır. Bu amaçla İOP arasında fotofenton, fenton, TiO<sub>2</sub>/UV, TiO<sub>2</sub>/UV+H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve ozonun(O<sub>3</sub>) çeşitli fraksiyonları gösterilebilir.

Bazı oksitleyici maddelerin standart redoks potansiyelleri Tablo 7.17'de gösterilmiştir (Irmak 2000).

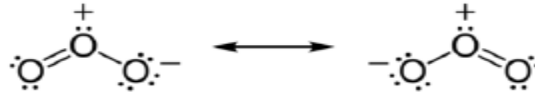
**Tablo 7.17:** Bazı oksitleyici maddelerin standart redoks potansiyelleri (Irmak 2000)

Oksitleyici Madde	E <sub>0</sub> , V
Flor	3,03
Hidroksil radikali	2,80
Atomik oksijen	2,42
Ozon	2,07
Hidrojen peroksit	1,77
Permanganat iyonu	1,67
Hipokloröz asit	1,49
Klor	1,36
Klor dioksit	1,27
Brom	1,09

### 7.4.1 Ozonlama

Ozon ( $O_3$ ) havada bulunan serbest oksijenden elde edilen bir oksijen allotropudur. Normal koşullarda gaz halinde bulunup, kendine özgü kokusu ve mavimsi bir rengi vardır. Kararsız bir moleküldür ve bu neden ile kullanılacağı zaman üretilmesi gerekir. Ozonun suda çözünme kararlılığı ve miktarı; pH, gaz halindeki kısmi basıncına ve sıcaklığa bağlıdır (Ekizoğlu 2008).

Rezonans yapısına sahip olduğu düşünülen ozon molekülünün elektron yapısının analiz edilmiş hali Şekil 7.9'da gösterilmiştir (Bahadır 2012).



**Şekil 7.9:** Ozonun rezonans yapısı (Bahadır 2012)

Ozon ile renk giderme işlemi uygulanan kimi boya maddelerinde yüksek giderim verimine ulaşılrken, kimi boya maddelerinde ise giderim verimi düşüktür. Boya banyosundan çıkan atıksular ozonlama işlemi yapıldıktan sonra yeniden kullanılması işletme için su ve kimyasal maddeden tasarruf edilmekte ve arıtma tesisinin kirlilik yükü azalmaktadır (Ekizoğlu 2008). Yüksek kararsızlığından dolayı ozon iyi bir yükseltgen maddedir. Bunun dışında ise yaş işlemlerden kaynaklanan atıksulardaki taşıyıcılar ve yüzey aktif maddeler gibi başka kirlletici maddelerin giderilmesinde de rol oynar (Kocaer ve Alkan 2002).

Pratikte doymuş hidrokarbonlar ve halojenli alifatik maddelerin mevcudiyeti reaktif olmayan maddelerin tamamen parçalanması ozon ile mümkün değildir. Ses, ozon ya da UV gibi harici bir enerji kaynağı ile kullanıldığı zaman kararlı maddelerin parçalanmasını gerçekleştirebilir (Öztürk ve diğ. 2005).

Tekstil boyar maddelerinin çoğu ozonla parçalanabilen ve oksitlenebilen doymamış ve düz bağlara sahip bileşiklerdir. Doymamış bağların mevcudiyeti atıksuda KOİ ve renk giderimini gerçekleştirmektedir (Doğru 2003).

Ozon çoğu madde içerisinde çözünürken, orta kararlı veya kararlı bir çözelti de oluşturabilir. Suda bulunan ozon oksijene göre 14 kat daha fazla çözünür fakat

orta kararlılıktadır. Ağır metal katyonları ve metal oksitlerin var olması kararlılığı etkilemektedir. Henry kanuna göre ozonun sulu fazdaki çözünürlüğü aşağıdaki eşitlikte verilmiştir (Bahadır 2012).

$$C_{sıvı} = C_{gaz} \times \beta \times P_{gaz} \quad (7.9)$$

$C_{sıvı}$  = Sıvıdaki çözünmüş derişimi

$C_{gaz}$  = Gaz derişimi

$\beta$  = Bunsen katsayısı (sıcaklığa bağlı çözünürlük)

$P_{gaz}$  = Gaz basıncı

0-60°C arasındaki saf su içerisindeki ozonun çözünürlüğü ve ozonun diğer fiziksel özellikleri Tablo 7.18 ve 7.19'da gösterilmiştir (Yıldırım 2009).

**Tablo 7.18:** Ozonun saf sudaki çözünürlüğü (Yıldırım 2009)

Sıcaklık (°C)	Çözünürlük (kg/m <sup>3</sup> )
0	1,09
10	0,78
20	0,57
30	0,40
40	0,27
50	0,19
60	0,14

**Tablo 7.19:** Ozonun diğer fiziksel özellikleri (Yılmaz 2009)

Fiziksel Özellik	Değer
Molekül ağırlığı (g/mol)	48
Kaynama noktası (101 kPa) (°C)	-111,9
Erime noktası (°C)	-192,7
Kritik sıcaklık (°C)	-12,1
Kritik basınç	5,53MPa
Yoğunluk, gaz (°C, 101 kPa)	2,144 kg/m <sup>3</sup>
Yoğunluk, sıvı (-112°C)	1358 kg/m <sup>3</sup>
Yüzey gerilimi (-183°C)	3,84x10 <sup>-2</sup> N/mm
Viskozite (-183°C)	1,57x10 <sup>-3</sup> Pa.s
Isı kapasitesi, sıvı (-183 ile 145°C)	1884 J/kg.K
Isı kapasitesi, gaz (25°C)	818 J/kg.K
Buharlaşma ısısı	15,2kJ/mol

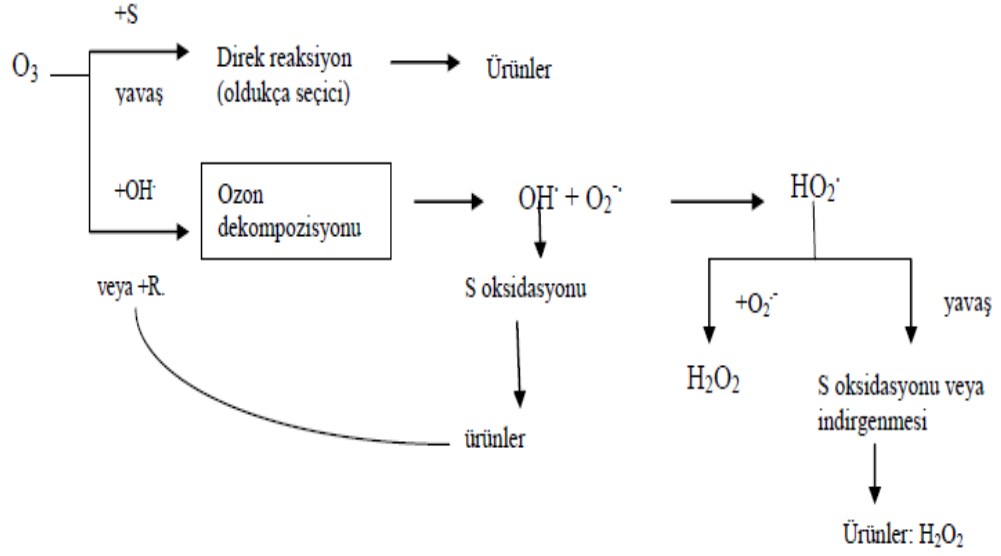
Ozonun oksidasyonu, direkt ozon tepkimeleriyle ve endirekt şekilde hidroksil radikallerine benzer ikincil oksitleyici maddelerin tepkimeleriyle meydana gelmektedir. Pratik olarak direkt ve endirekt oksidasyon tepkimeleri bir arada meydana gelmekle beraber pH, sıcaklık ve oksitlenen malzemenin cinsi gibi birtakım etkene bağlı olarak tepkimelerden birisi daha dominant olmaktadır (Filibeli ve Erden 2006).

Sulu çözümlerde ozonun iki temel reaksiyonu;

- Moleküler ozon ile direkt tepkime,
- Ozonun suda parçalanması sonucu oluşan radikal türler ile endirekt tepkime (Hoigne ve Bader 1976).

Ozonun oksidasyon mekanizması Şekil 7.10'da gösterilmektedir (Hoigne ve Bader 1976).

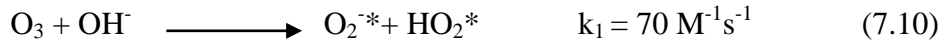




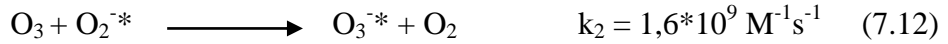
Şekil 7.10: Ozon oksidasyon mekanizması (Hoigne ve Bader 1976)

Ozonun praçalanma zincir mekanizması aşağıda verilmiştir (Bahadır 2012).

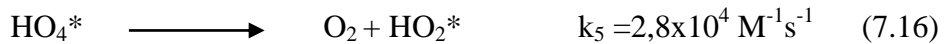
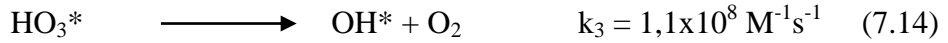
Başlatma basamağı:



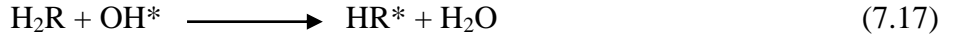
Radikal zinciri:



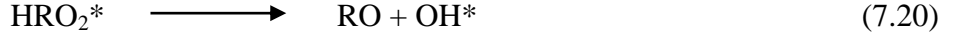
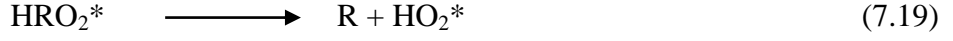
$O_3$  ve  $O_2^{\cdot-}$  tepkimesi sonucu ozonür anyon radikali ( $O_3^{\cdot-}$ ) meydana gelir ve ozonür anyon radikali hızlı şekilde  $OH^{\cdot}$  radikaline praçalanır.



$HO_4^*$ radikalinin perhidroksil radikali ile oksijene bozunması ile zincir tepkimesi yenilenir.  $OH^{\cdot}$  radikali ile fonksiyonel gruplara sahip bazı organik maddeler tepkimeye girerek organik radikalleri oluşturmaktadır.

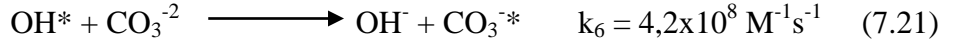


Eğer ortamda  $\text{O}_2$  bulunması halinde,



$\text{OH}^-$  iyonlarınca başlatılan ozonun parçalanması bir zincir tepkimesine yol açar ve sonuç olarak seçici olmayan bir hidroksil radikali üretilir.

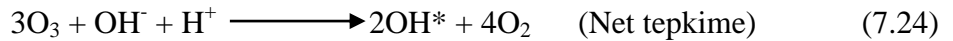
Son basamak:



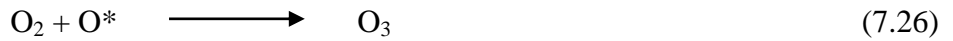
Zincir tepkimesini sonlandıran diğer bir tepkime ise iki radikal iyonunun tepkimesidir.



Meydana gelen radikallik aşamasının net tepkimesi aşağıdaki denklem ile gösterilebilir.



$\text{O}_3$  suni olarak yüksek gerilimde  $\text{O}_2$  ya da havadan üretilir. Ozon oldukça kararsız yapıdadır ve yerinde üretilmelidir (Kalra ve diğ. 2011).



Bu iki tepkime beraber gerçekleşir. Genellikle ilk ozon tepkimeleri, organik maddenin negatif yük taşıyan atomlarında (N, P, S ve nükleofilik karbonlar) ya da çift bağlarında ( $\text{C}=\text{C}$ ,  $\text{C}=\text{C}-\text{O}-\text{R}$ ,  $-\text{C}=\text{C}-\text{X}$ ) meydana gelmektedir. Bu nedenle  $\text{OH}$ ,  $\text{OCH}_3$  ve  $\text{CH}_3$  içeren orto-aktiflenmiş aromatikler için yüksek reaktivite beklenir iken,  $\text{CO}_2\text{H}$ ,  $\text{CHO}$  ve  $\text{NO}_2$  gruplar için daha zayıf bir tepkime söz konusudur. Seçici

olmayan OH\* ise oluşan ilk oksidasyon yan ürününe göre tepkimeye devam etmektedir (Hoigne ve Bader 1976, 1983).

Asidik çözelti içerisinde oksitleyici ajan ozon iken, bazik ve nötral çözeltilerde OH\*'dir. Ozon moleküllerinin oksidasyon potansiyeli hidroksil radikaline göre düşük olduğundan bazik koşullarda giderim tepkimesi daha hızlıdır.



olarak ifade edilir. Su içerisinde ozon konsantrasyonu çözünürlüğünden dolayı sınırlıdır. Ozonlama sırasında meydana gelen ara ve son ürünler iyon şiddeti ile ters orantılıdır. Çünkü suda bulunan ozon boya ile tepkimeye girer.

Ozonlama, renk giderimi ve bozunmada etkin bir potansiyele sahip olması; çamur meydana getirmemesi, insan sağlığına zarar etkisi en az, kalıntı ozonun kolay şekilde su ve oksijene ayrışabilmesi; kolay üretilebilmesi yönlerinden dolayı tercih edilir (Oğuz ve diğ. 2005, Pachhade ve diğ. 2009, Tehrani-Bagha ve diğ. 2010, Turhan ve Turgut 2009).

#### **7.4.2 Fotokimyasal İOP**

#### **7.4.3 Ultraviyole (UV) Oksidasyonu**

Çoğu kimyasal oksidasyon teknolojilerinin temelini UV ışını oluşturmaktadır. Sulu ortamda UV ışını direkt fotoliz ve indirekt fotolize neden olur. Ultraviyole ışınları, 300 kJ.Einstein<sup>-1</sup> olan UV-A ışınması ile 1200 kJ.Einstein<sup>-1</sup> olan vakum UV ışınması arasındaki enerji aralığından oluşmaktadır. Kaynaklarda organik maddelerin gideriminde başka UV ışını türleri kullanılsa da genel olarak UV-C ışını oksidasyon ve dezenfeksiyon amacıyla kullanılmaktadır. UV-C ışınmanın en geniş kullanım alanı düşük basınçlı cıva buharlı lambaların geliştirilmesinden dolayı 254nm'deki ışınmasıdır. Ozon oksidasyonu gibi başlarda dezenfeksiyon maksadıyla uygulanmıştır. Fotokimyasal tepkime sistemlerinin gelişmesiyle oksidasyon teknolojilerinde kullanılabileceği bulunmuştur. Çoğu molekül oda sıcaklığında temel enerji seviyesine sahip olurlar. UV ışınması ile bir molekül ışınlandığında, ışık tutulur ve

molekülün bir elektronu hareketlendirilmiş bir enerji seviyesine ulaşır. En düşük enerji seviyesi ve hareketli seviyesi arasında oluşan enerji farkı absorblanan enerji,  $h\nu$  ( $h$ , Planck sabiti ve  $\nu$ , absorblanan radyasyon frekansı) ile uyumludur (Eren 2009).

Fotokimyasal tepkimelerin eşitliği ışın dalga boyuna ve şiddetine, ışınlanan bileşiğin yapısına ve içerisindeki çözeltiliye ve ışınmanın optik yoluna bağlıdır. Çeşitli UV ışık türlerinin dalga boyları ve enerjileri Tablo 7.20’de verilmiştir (Tarr 2003).

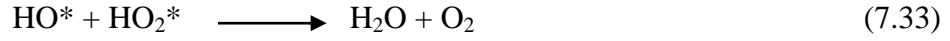
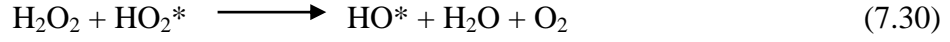
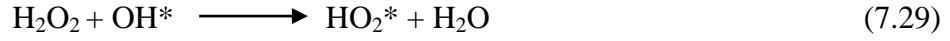
**Tablo 7.20:** Çeşitli UV ışık türlerinin dalga boyları ve enerji aralıkları (Tarr 2003)

Işıma	Dalga boyu, nm	Enerji aralığı, kJ/Einstein <sup>a</sup>
Kızıl ötesi	>780	<155
Görünür	400-780	155-300
UV-A	315-400	300-377
UV-B	280-315	377-425
UV-C	100-280	425-1198

<sup>a</sup>1 Einstein= 1mol ya da  $6,023 \times 10^{23}$  foton

#### 7.4.3.1 Hidrojen Peroksidin Fotolizi ( $H_2O_2/UV$ )

Hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ) tek başına karmaşık organik maddelerin parçalanma işlemi için yeterli değildir (Arslan 2000). 280nm’den daha düşük dalga boyundaki UV ışığı ile  $H_2O_2$  aktif hale getirildiğinde, ısıl bozunma reaksiyonu gerçekleştirerek  $OH^*$ ’lerini meydana getirir. Bu reaksiyon pH’a bağlıdır ve  $H_2O_2$ ’nin ısıl bozunması alkali koşullar altında artmaktadır. Bunun sebebi peroksit anyonunun ( $HO_2^-$ ) 254 nm dalga boyundaki molar bozunma katsayısından ( $240 M^{-1}cm^{-1}$ ) daha yüksektir. Bu prosesin sağladığı avantajlar;  $H_2O_2$ ’nin suda kolay çözünmesi, yatırım maliyetinin düşük olması, ısıl kararlılığı ve kolay işletilebilmesidir (Şahin 2006).  $H_2O_2$ ’nin aşırı miktarda kullanılması halinde  $OH^*$ ’i daha az reaktif olan  $HO_2^*$ (hidrojenperoksil radikali) üretir.  $H_2O_2$ ’nin 254 nm’deki molar bozunma katsayısı ( $19,6 M^{-1}cm^{-1}$ ) ozonun bozunma katsayısından ( $3300 M^{-1}cm^{-1}$ ) oldukça küçüktür. Eşit seviyede hidroksil ( $OH^*$ ) üretmek için daha yüksek derişimlerde  $H_2O_2$  kullanılmalıdır (Arslan 2000).



Bu prosesin dezavantajı, güneş ışınlarının UV ışık kaynağı olarak kullanamamasıdır. Bu prosesi etkileyen koşullar;  $\text{H}_2\text{O}_2$  konsantrasyonu, pH, UV ışık şiddeti, boyanın yapısı ve boya banyosu bileşimidir. Temas süresi ise renk giderimini etkiler. Azo ve reaktif boyaların bozunması 30-80 dakika arasında gerçekleşir. Başlangıç derişimi arttıkça iç optik yoğunluğu arttığından çözeltinin UV geçirgenliği azalır,  $\text{H}_2\text{O}_2$  fotolizi azalır ve  $\text{OH}^*$  radikalleri de azalır (Kalra ve diğ. 2011).

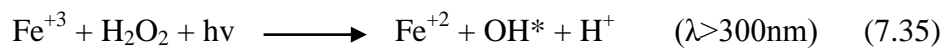
#### 7.4.3.2 Foto-Fenton Oksidasyonu ( $\text{Fe}^{+2}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ )

Işıklı ortamda meydana gelen fenton tepkimelerine foto-fenton reaksiyonları denir. Fenton tepkimesi;  $\text{Fe}^{+2}$ 'nin  $\text{H}_2\text{O}_2$ 'nin bozunması üzerine katalitik etkisine dayanır ve sonucunda  $\text{OH}^*$  radikalini oluşturur.

UV radyasyonu ile meydana getirilen foto-fenton prosesinin tepkimesi aşağıdaki gibidir.



Karanlık bir ortamda  $\text{Fe}^{+2}$ 'nin  $\text{Fe}^{+3}$ 'e tamamen dönüşmesinden sonra tepkime yavaşlar ve oksidantların yok olmasından sonra da daha fazla  $\text{Fe}^{+2}$  tüketilmez. UV mevcudiyetinde,  $\text{Fe}^{+3}$  fotolitik olarak kullanılırken  $\text{Fe}^{+2}$  iyonları tekrar oluşturulabilir ve geri tepkime gerçekleşir. Asidik koşullarda (pH=3) tepkime aşağıdaki gibidir.



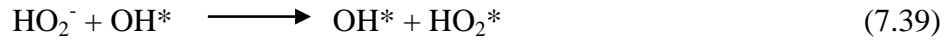
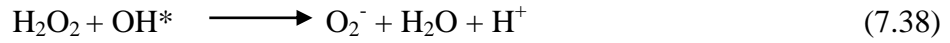
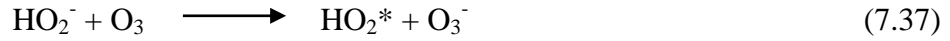
Genellikle bu uygulamalar UV radyasyonu ve görünür ışık altında gerçekleşmektedir. Kısaca, foto-fenton prosesinde  $\text{OH}^*$  radikallerinin daha çok

oluşması sebebiyle ihtiyaç duyulan tepkime süresi daha kısa olup, tepkime şartlarının optimize edilebilmesi daha da kısalmaktadır (Bahadır 2012, Güyer 2003).

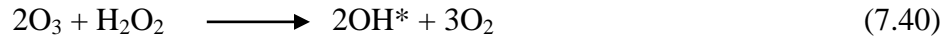
#### 7.4.3.3 Ozon ve Hidrojen Peroksit Oksidasyonu (O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)

Ozonun aktivatörü olarak kullanılan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, ozon molekülünün OH\* radikaline parçalanmasını hızlandırır. Asidik koşullarda H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin, ozonla tepkimesi yavaş olur, yüksek pH'da ise ozon HO<sub>2</sub>\* meydana getirir. Bu olay renk giderimini arttırırken atıksu içerisinde ek bir kirlilik yükü oluşturur. Tepkimede kullanılan temel madde olan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, eş zamanlı olarak yüksek miktarlarda tepkime bozucu etki de gösterebilir.

Bu prosese ait tepkime mekanizmaları aşağıda gösterilmiştir.



Sistemin kısa şeklinde tam tepkimesi;



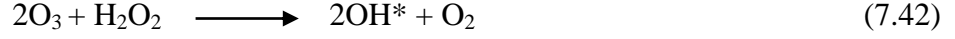
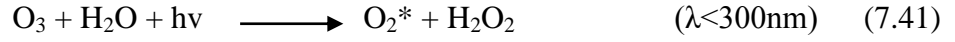
şeklinde gösterilir (Bahadır 2012).

Doğrudan, metal kompleks veya mavi dispers boyalar için H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/O<sub>3</sub> karışımı ile renk giderimi uygun bir metottur (Slokar ve ark. 1998).

#### 7.4.3.4 Ozon/UV Oksidasyonu (O<sub>3</sub>/UV)

Bu proses ilk kez Prengle ve arkadaşları tarafından denenmiştir. Garrison ve arkadaşları (1975) ise siyanidli atıksularda denemiştir. Bu proseste UV ışınımı kullanılarak ozon molekülleri aktif hale getirilir ve OH\* radikallerinin meydana gelmesini kolaylaştırır.

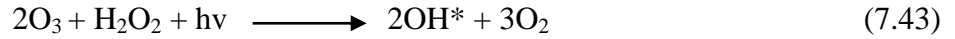
UV radyasyonu kullanılarak ozon ve OH\* radikallerinin üretildiği tepkimeler aşağıdaki gibidir.



Orta basınçlı cıva lambaları sık kullanılan ışık kaynağıdır. Bu lambalar 200-280nm dalga boylarında ışık üretirler. Düşük basınçlı olanlar ise bu dalga boylarında %80'den fazla UV enerjisi üretir (Bahadır 2012).

#### 7.4.3.5 Ozon/Hidrojen Peroksit/UV Oksidasyonu (O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV)

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin O<sub>3</sub>/UV prosesine eklenmesiyle, ozonun daha basit atomlara parçalanmasını hızlandırır ve OH\* radikali oluşumunu artırır.



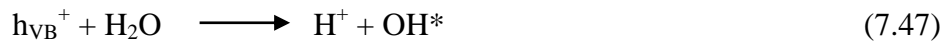
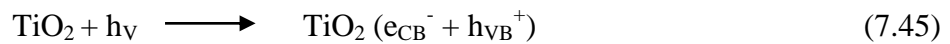
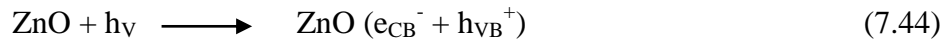
Proseste bulunan kirletici parametreler UV radyasyonunu zayıf olarak absorplar. Azaltılan UV ışınımında dışarıdan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> takviyesi ek bir maliyet oluşturur. Kirletici maddelerin direk fotolizi temel faktör değil ise, O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesi UV prosesine alternatif olarak düşünülebilir. Prosesin işletim maliyeti; kontaminant varlığı, atıksu akış hızı ve karakteristiği ve ihtiyaç duyulacak renk giderim derecesine göre değişmektedir (Bahadır 2012).

#### 7.4.3.6 Klor ve Hipoklorit Oksidasyonu

Atıksu ve su arıtma sistemlerinden tercih edilen maddelerden bir tanesi de klordur. Fakat klor ile yapılan oksidasyon işlemleri sonucu oluşan zehirli bileşiklerin zararlı olmasından dolayı bu işlemler bilinçli ve dikkatli şekilde yapılmalıdır. Hipoklorit ya da gaz klor genellikle klor ile oksidasyon işlemlerinde kullanılmaktadır. Suda hızlı bir şekilde parçalanan gaz klor, suya hipokloröz asidini vermektedir. Oksidasyon işlemlerinde renk giderimini sağlayan ve boyar madde kromoforunu oksitleyen temel oksitleyiciler oluşan hipokloröz asidi ya da hipokloröz iyonudur (Dikmen 1998).

#### 7.4.4 Heterojen Fotokimyasal Oksidasyonu

Bir yarı iletken kullanılarak sulu çözeltilerde kimyasal bileşiklerin fotokatalitik parçalanması gerçekleşir. İyi bir katalizör yardımıyla organik bileşikler CO<sub>2</sub>'ye kadar parçalanabilir. Yarı iletkenlere örnek verilecek olursa; TiO<sub>2</sub>, ZnO ve Fe (III) verilebilir. Bu proseste kullanılan bileşikler iletken ve yalıtkan arasında elektriksel iletkenliğe sahip olan yarı iletken katılardır. Yüksek enerji iletim bandı (e<sub>CB</sub><sup>-</sup>) ve düşük enerji değerlik bandı (h<sub>VB</sub><sup>+</sup>) olmak üzere iki farklı enerji bandıyla karakterize olurlar. Bu maddeler arasında uygun bir enerji aralığına (3,2 eV) ve yüksek fotoaktiviteye sahip ve kararlı bir madde olan TiO<sub>2</sub>'dir. Ancak son zamanlarda yapılan araştırmalarda ZnO'un da etkili bir yarı iletken olduğu bulunmuştur. TiO<sub>2</sub> ve ZnO'nun hem enerji aralıkları (3,2 eV) hem de parçalanma mekanizmaları benzer olduğu bulunmuştur. Yarı iletkenin yüzeyi ışıkla hareketlendirildikten sonra katalizör yüzeyinde bir elektron-boşluk çifti fotokatalitik reaksiyonlarda meydana gelir. Organik maddenin direkt oksidasyonunu katalizördeki boşluğun (h<sub>vb</sub><sup>+</sup>) yüksek oksitleyici potansiyeli sağlar. Ayrıca hem suyun bozunması ile hem de boşlukların hidroksit radikaliyle tepkimesi kuvvetli OH\* radikallerin oluşmasına neden olur. Meydana gelen hidroksil radikalleri seçici olmayan, oldukça güçlü ve organik maddeyi kısmi veya tam mineralizasyona uğramasını sağlayan radikaldir.



katalizör yüzeyinde moleküler oksijen iletkenlik bandındaki elektron (e<sub>CB</sub><sup>-</sup>) ile süperoksit anyona dönüşür.

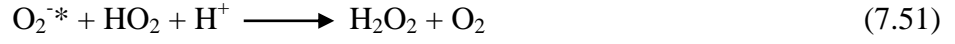


Bu radikal, organik peroksidi organik tutucuların mevcudiyetinde meydana getirebilir.



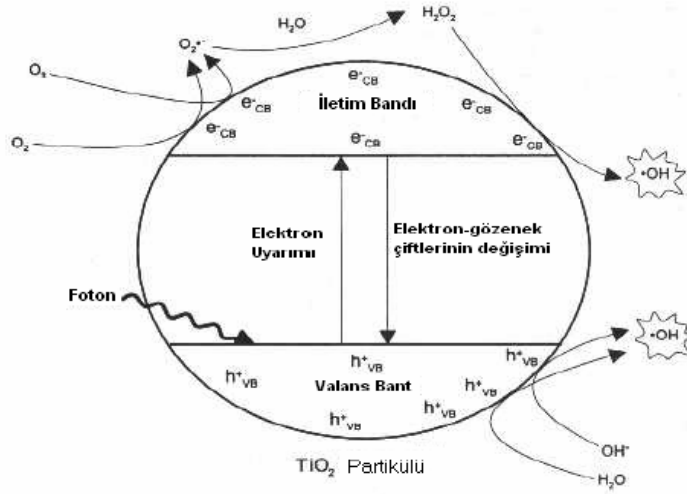


veya  $H_2O_2$ 'yi meydana getirir.

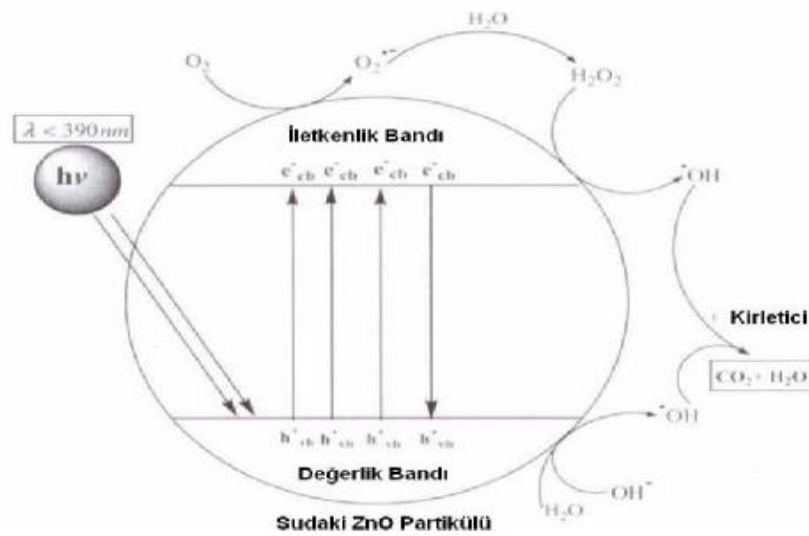


(Eren 2009, Bahadır 2012).

ZnO ve  $TiO_2$  fotokatalizlerinin basitleştirilmiş genel mekanizmaları Şekil 7.11 ve 7.12'de özetlenmiştir (Daneshvar ve diğ. 2004, Birgül 2006).



Şekil 7.11:  $TiO_2$  fotokatalizinin basitleştirilmiş genel mekanizması (Birgül 2006)



Şekil 7.12: ZnO fotokatalizinin basitleştirilmiş genel mekanizması (Daneshvar ve diğ. 2004)

Heterojen İOP'de fotokatalitik yöntemin dışında sonokatalitik yöntemde bulunmaktadır. Ultrases ile ortamda bulunan ZnO ve TiO<sub>2</sub> gibi katalizörlerin varlığında sonokatalitik yöntemde oksidasyon yapılmaktadır. Bu yöntemin olası tepkime mekanizması sıcak nokta teorisi ve sonoluminesens dayanmaktadır. Bu teoride ultrasonik tepkimelerin geniş bir dalga boyu aralığında ışık oluşmaktadır. Bu ışıklar <375nm olup TiO<sub>2</sub> partiküllerini hareketlendirir ve temelinde bir fotokatalitik oksidasyonu sağlar. Sıcak nokta teorisine göre meydana gelen hidroksil radikalleri TiO<sub>2</sub> yüzeyiyle etkileşir ve oksidasyonu gerçekleştirir (Wang ve diğ. 2005, Ma ve diğ. 2006, Shimizu ve diğ. 2007, Wang ve diğ. 2007).

Fotoaktiflenmiş periyodat (UV/TiO<sub>2</sub>/IO<sub>4</sub><sup>-</sup>) sistemi yeni bir oksidasyon yöntemidir. IO<sub>4</sub><sup>-</sup> iyonları, TiO<sub>2</sub>'den serbest kalan iyonları yakalar ve h<sub>VB</sub><sup>+</sup>'ın ömrünü uzatır (Gözmen ve diğ. 2009).

#### **7.4.5 Fotokimyasal Olmayan İOP**

Ortamda UV olmadığı için çeşitli İOP ile OH\* radikalleri üretilir.

##### **7.4.5.1 Fenton Oksidasyonu (Fe<sup>+2</sup>)**

Son yıllarda farklı endüstriyel atıksularındaki reaktif ve azo boyaların karmaşık moleküler yapıları bu maddeleri biyolojik bozunuma hatta kimyasal bozunmaya karşı dirençli hale getirmektedir. Reaktif ve azo boya maddelerin karmaşık yapılarından dolayı atıksudan uzaklaştırılması için kullanılan fiziksel, biyolojik ve kimyasal arıtma sistemlerinin etkisi düşük ve maliyetleri ise yüksek olmaktadır (Akay 2013).

1984 yılında ilk kez İngiliz kimyager Henry John Horstman Fenton tarafından fenton ayıracı terimi ifade edilmiştir (Irmak 2000). Boyalı atıksuların arıtılmasında fenton prosesi yeni bir metot olarak kullanılmaktadır (Kuo ve diğ. 1992).

Fe<sup>+2</sup> iyonuyla katalizlenen H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oksidasyonu fenton reaktanı diye tarif edilmektedir. Fenton oksidasyonu, asidik (pH=2-5) ortamda ve Fe<sup>+2</sup> tuzları (özellikle

FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O) ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'in beraber bulunduğu koşullarda oluşmaktadır. Kuvvetli asidik ortamda H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve Fe<sup>+2</sup> iyonları oldukça kararlı yapıdadır. Zincirleme tepkimelerinin sonucunda oksitleme gücü yüksek OH\* radikalleri oluşmaktadır. Oksidasyon işlemleriyle yüksek molekül ağırlığa sahip maddeler daha düşük ağırlıklı moleküllere dönüşmektedir ve Fe(II)'de Fe(III)'e yükseltgenir. Fe<sup>+2</sup> ve organik madde bulunan kuvvetli bir asidik çözelti içerisinde H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> karıştırıldığında karmaşık yapıda bir redoks tepkimesi oluşmaktadır (Şahin 2006).

Fenton uygulanarak yapılan arıtma işlemi aşağıdaki gibidir.

- Başlangıç aşamasında asidik (pH=2-4) koşullar oluşturulur.
- İlk önce Fe<sup>+2</sup> tuzları ve ardından H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> eklenerek, OH\* radikalleri oluşturulur.
- Oksidasyonla büyük moleküller küçük moleküllere dönüştürülür.
- Fe<sup>+2</sup>, Fe<sup>+3</sup>'e yükseltgenir.
- Tepkime sonrası, kireç, sodyum hidrosit ile nötralizasyon işlemi gerçekleştirilir.
- pH=7-8 aralığına getirilir.
- 0,5-1,5 saat aralığında bir bekletme süresi uygulanarak çökmesi sağlanır. Böylece fenton çamuru meydana gelir (Özdemir ve diğ. 2008).

Farklı İOP arasında fenton yöntemi son zamanlarda kolay uygulanabilmesi ve düşük maliyetli olması sebebiyle çeşitli arıtma proseslerinde yoğun şekilde kullanılmıştır. Foto-fenton ve fenton tepkimeleri Fe<sup>+2</sup>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve UV kullanılarak PCB benzeri klorlu, klorofenoller, herbisitler, alkenler, perhalojenler ve boyalı atıksular gibi bazı bozunması zor kirleticilerin etkili şekilde mineralizasyonu sağlanmıştır (Swaminathan ve diğ. 2003). Fenton prosesinin en önemli özelliği kimyasalların çevre ile dost olmasıdır (Kallel ve diğ. 2009).

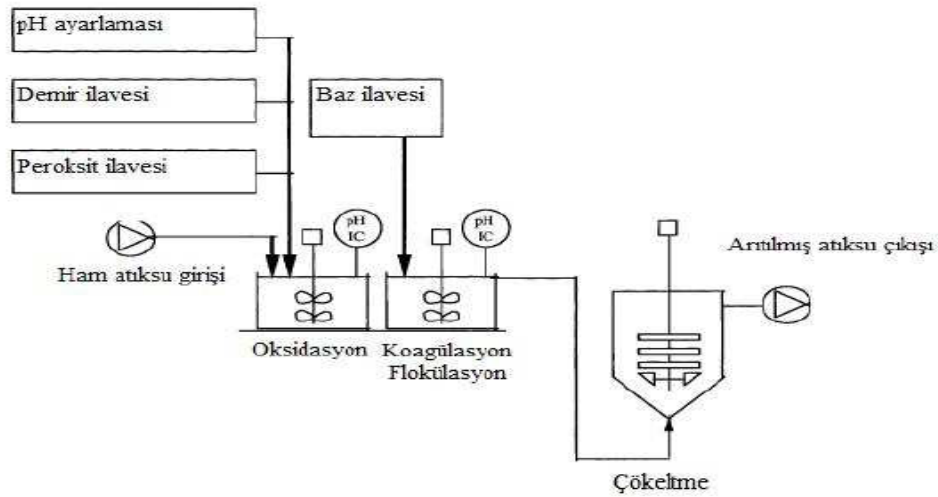
Fenton işlemi hem heterojen hem de homojen olarak farklı yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Sürece UV kaynağını eklediğimizde foto-fenton süreci meydana gelir. Direkt olarak Fe<sup>+2</sup> ve Fe<sup>+3</sup> kullanılarak homojen fenton tepkimesinde süreç aktive edilmektedir. Atıksulara homojen fenton tepkimesi uygulandığında biyolojik ayrışabilirlik, KOİ, renk, azalan toksisite, gres, BOİ, koku ve yağ

gideriminin arttığı gözlenmiştir. Bunun ile beraber yüksek miktarda hidrojen peroksit kullanılması giderim maliyetlerini arttırmış ve homojen fenton tepkimesi giderimi ile elde edilen avantaj kaybolmuştur (Soon ve Hameed 2011).

Fenton yönteminin avantaj ve dezavantajları Tablo 7.21’de gösterilirken fenton prosesinin uygulanma yönteminin şematize edilmiş hali Şekil 7.13’de gösterilmiştir (Öden 2010, Gogate ve Pandit 2004).

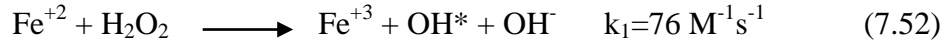
**Tablo 7.21:** Fenton yönteminin avantaj ve dezavantajları (Öden 2010)

Avantajları	Dezavantajları
Yatırım maliyetleri düşüktür	Ek kimyasal madde ihtiyacı vardır
Sürekli işletmelerdir	Oluşan köpüğün kontrolü zor olabilir
Personel gereksinimi çok azdır	Korozyona neden olabilir
Tepkimeye aniden başlar	Özel tedbir gerektiren hususlar olabilir
Düşük hidrolik bekleme süresi	Meydana gelen çamurun bertaraf maliyeti
Daha az yer ihtiyacı	



**Şekil 7.13:** Fenton prosesinin uygulama yönteminin şematize edilmiş hali (Gogate ve Pandit 2004)

Tepkime mekanizmaları aşağıda gösterilmiştir.



Katalitik çevrimde  $\text{Fe}^{+2}$  yeniden meydana gelmektedir. Sistemde  $\text{H}_2\text{O}_2$  var olduğu sürece  $\text{Fe}^{+2}$  ve  $\text{Fe}^{+3}$  arasında her zaman bir çevrim meydana gelecektir. Meydana gelen  $\text{OH}^*$  radikalleri organik maddeye hücum eder ve kirleticileri  $\text{H}_2\text{O}$  ve  $\text{CO}_2$  gibi son ürünlere kadar parçalar.

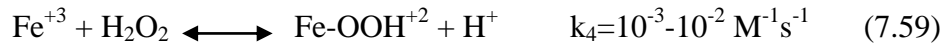


Burada dimerizasyon, oksidasyon ve indirgeme olmak üzere üç alternatif tepkime meydana gelebilir.



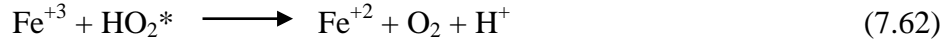
En baştan buraya kadar meydana gelen tepkime fenton tepkimeleri olarak isimlendirilir.

(7.52) ve (7.53) tepkimelerinde meydana gelen  $\text{Fe(III)}$  iyonu da hidrojen peroksitle tepkime oluşturarak  $\text{OH}^*$  radikallerinden daha az reaktif  $\text{HO}_2^*$  radikalini meydana getirir. Bu tepkimeyse Fenton-benzeri oksidasyon (Haber-Weiss tepkimeleri) olarak isimlendirilir.



Ancak fenton oksidasyon hızı fenton-benzeri oksidasyona göre hızlı olmaktadır.  $\text{OH}^*$  radikalini meydana getiren tepkime basamağı fenton için anahtar basamak olsa bile:



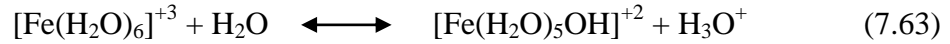


tepkimleri meydana gelir (Eren 2009).

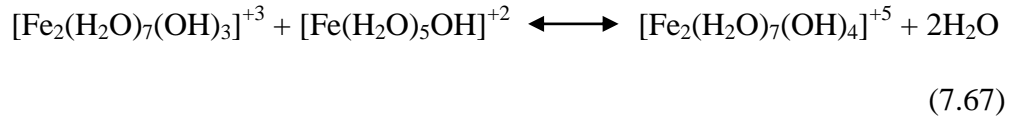
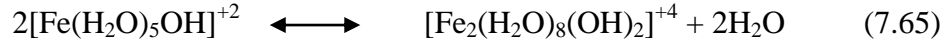
R-R eşitliğini takiben demir iyonları suya karıştığında OH iyonları ile ferik hidroksil bileşiklerini oluşturur ve koagülasyon tepkimeleri oluşur.

Meydana gelen OH\* radikalleri RH gibi doymamış organik boya moleküllerini parçalayarak boya molekülünde bulunan kromojen ya da kromofor yapıyı ortadan kaldırır. Böylelikle kimyasal bozunma sonucu renksizleşir (Kuo 1992). Daha sonra atıksu içerisinde rengi giderilen boya molekülleri yumaklaştırma işlemi yapılarak çöktürülür. Bu yüzden proses hem koagülasyon hem de oksidasyon proseslerinin avantajına sahip olur (Ma ve Xia 2009).

#### **Koagülasyon tepkimeleri:**



(7.63) ve (7.64) eşitliklerinde meydana gelen karmaşık yapılar polimerize olurlar. Düşük pH değerlerinde koagülasyon işlemi oluşur.



(Lin ve Lo 1997b).

Atıksu içerisinde kalan rengi giderilmiş boya molekülleri yumak haline getirilerek çöktürülebilir. Bu yüzden proses KOİ giderimini yapabilmektedir. pH 2-5 aralığında fenton prosesi iyi çalışır. Fakat pH <3,5 olduğunda Fe<sup>+2</sup> ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> daha kararlı yapıda olduklarından oksidasyon güçleri fazladır. pH>4 olduğunda ise Fe<sup>+2</sup> hidroksit komplekslerini meydana getirmeye başlamaktadır. Bu durumda çalışma veriminin azalmasına neden olur. Ortama eklenen Fe<sup>+2</sup> iyonlarının miktarı artarak redoks tepkimelerinin tamamlanmasına ve koagülasyona neden olduğundan giderme

verimi de etkilenmektedir. Fenton prosesinde düşük organik madde/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarında daha yüksek organik madde parçalanması elde edilirken, düşük demir derişiminde ise düşük tepkime hızı elde edilmektedir. Ancak, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarında olan artış renk giderim verimini arttırırken su içerisinde tepkimeye girmeden kalan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ise KOİ girişimine neden olmaktadır. Bu yüzden çalışmalarda tepkime sonunda atıksuda bulunan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarı kontrol edilmelidir. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> veya Fe<sup>+2</sup> konsantrasyonlarının fazla olması halinde meydana gelen OH\* tepkimelerinin engellenebilmesi için bu iki maddenin belirlenmesine özen gösterilmelidir. Başka bir ifadeyle prosesin verimini maksimum seviyeye çıkarmak için öncelikle en uygun Fe<sup>+2</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kütle oranı belirlenmelidir. Fenton sisteminde optimum sıcaklık 25-40 °C aralığındadır. Araştırmalarda sıcaklıkla fenton prosesinde renk giderim verimi doğru orantılı olarak arttığı ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin dönüşüm süresinin kısaldığı görülmüştür (Meriç ve diğ. 2004). Ayrıca sülfat, fosfat, bromid, florid, klorid gibi iyonlar fenton reaksiyonunu inhibe edici etkiye sahiptirler (Stasinakis 2008).

Fenton prosesinin oksidasyon etkinliği; tepkime ortamının pH'ı, tepkime süresi (kesikli sistemler için), sıcaklık, kullanılan katalizör miktarı ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonuna bağlı olarak değişim göstermektedir (Rodrigues ve diğ. 2009).

#### **7.4.5.1.1 Fenton Prosesine Etki Eden Faktörler**

##### **pH Etkisi**

Sulu çözeltilerde pH, fenton prosesi için önemli bir parametredir. Bu proses için asidik koşullar renk giderimi ve redoks tepkimeleri açısından daha etkilidir. Bazik koşullarda ise Fe<sup>+2</sup> iyonları Fe<sup>+3</sup> kolloidlerine dönüşerek katalizör görevini kaybetmektedir. pH<3,5 olduğunda Fe<sup>+2</sup> ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> daha kararlı bir yapıya sahip olurlar. pH>4 olduğunda ise Fe<sup>+2</sup> iyonları kararsız yapıdadır ve kolay şekilde demir hidroks kompleksleri üretme eğilimine sahip demir iyonlarını meydana getirir. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin yüksek pH değerlerinde oksitleme yeteneği azaldığı için kararsız yapıdadır ve oksidasyon kapasitesi daha düşük OH\* radikallerinin oluşmasına sebep olur. Bu yüzden H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve Fe<sup>+2</sup> iyonlarının kararsız yapıda olması fenton prosesinde renk giderimini ve redoks tepkimelerini etkiler (Duman 2006). pH=5-7 aralığında KOİ değeri olabildiğince artmaktadır. Bu yüzden genelde pH=3 en uygun değer olarak

çalışmalarda kabul gormektedir (Öden 2010). Çözelti içerisinde serbest halde H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> bulunduğundan çözeltiye FeSO<sub>4</sub> eklendiğİ zaman pH değeri düşmektedir. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> eklendiğinde ise bu düşüş daha fazla olmaktadır. Sürekli olarak sistemin pH değİşimleri kontrol edilmeli ve istenilen seviyede tutulmalıdır. Eğer pH değeriinde düşüş meydana gelmiyorsa H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> tepkimesinin inhibe edici reaksiyonları oluşturduğu düşünülebilir (Duman 2006).

### **Sıcaklığın Etkisi**

Sıcaklık renk giderimini etkilemektedir. Renk giderimi için gerekli olan süre, düşük sıcaklıktaki süre yüksek sıcaklıktaki süreye göre daha uzundur. Düşük sıcaklıktaki renk giderme işlemi yüksek sıcaklıktakine göre daha kötüdür. Bu yüzden renk giderimi ve redoks tepkimesi sıcaklığın artması ile hızlanmaktadır (Kuo 1992). H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin dönüşüm süresine sıcaklık etki eder. Sıcaklık ile reaksiyon süresi ters orantılıdır. Eğer tepkime süresi 40°C üzerinde olması bekleniyor ise tepkime ekzotermik olacağından soğutma işlemi gerekecektir. Bu yüzden 40°C altında bir sıcaklık tercih edilmelidir. Ayrıca H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'de su ve oksijene parçalayacağından dolayı oksidasyon kapasitesi de azalır. Fenton uygulamaları için en uygun sıcaklık değeri 20-40°C öngörülmektedir (Öden 2010).

### **Demir Sülfat Miktarının Etkisi**

Renk giderim verimine FeSO<sub>4</sub> miktarının artması ya da azalması etki etmektedir. Dozaj miktarının fazla olması verimi daha iyi etkilemektedir. Redoks tepkimesinin tamamlanmasına ve koagülasyona, FeSO<sub>4</sub> miktarının artırılması neden olur (Öden 2010). Sulu çözeltide Fe<sup>+2</sup> iyonlarının olmaması durumunda OH\* radikallerini meydana getirecek temel unsur olmadığından fenton tepkimesine bağı bir oksidasyon gerçekleşmemektedir. KOİ ve renk giderimi, demir konsantrasyonu ile bir ilişki söz konusudur (Duman 2006). Reaksiyon hızı ortamda bulunan demir konsantrasyonu arttıkça artmaktadır. Ancak belli bir değere ulaşıldığında ne kadar demir ilave edilse bile verimi artırıcı etki meydana gelmez (Bali ve diğ. 2003).

### **H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Miktarının Etkisi**

Fazla miktarda H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kullanıldığı zaman renk giderim verimi yüksek olurken, az kullanılması durumunda verim de azalmaktadır. Arıtılan atıksuda yüksek miktarda



H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kalması durumunda girişim yaparak KOİ sonucunu arttırır. Ağır kirlilik yüküne sahip atıksularda başlangıç anında H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve Fe<sup>+2</sup> konsantrasyonunu yüksek tutmak reaksiyon için fayda sağlar. Fakat bu artan oksidan derişimi belirli bir seviyeye kadar olumlu etki gösterirken, belirli bir limitten sonra hidrojen peroksit, hidroksil radikalleriyle tepkimeye girer ve oksidasyon kapasitesini azaltır (Öden 2010, Gökkuş 2009).

### **Demir İyonu Türünün Etkisi**

Katalitik dönüşüm zinciri ortamında tepkime için yeterli miktarda H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve organik madde bulunması durumunda hemen başlar. Fe<sup>+2</sup> ya da Fe<sup>+3</sup> tuzlarının bulunması tepkimeleri katalizlemek için bu koşullarda bir önemi yoktur. Ancak düşük H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonlarında (mesela, <10-25 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) Fe<sup>+2</sup> iyonlarının daha başarılı olduğu gözlenmiştir (Mahiroğlu 2006).

### **Tepkime Zamanının Etkisi**

Tepkime süresi atıksuyun kirlilik yükü ve organik madde yapısına göre değişim göstermektedir. Tepkimenin tamamlanıp tamamlanmadığını belirlemek zordur. Tepkimenin gerçekleşebilmesi için genelde, düşük organikli atıksular 1(bir) saatten düşük sürede tepkimeyi gerçekleştirirken, çok yüksek olanlarda ise bu 10-24 saat gibi uzun sürelere varabilmektedir (Duman 2006, Ghaly ve diğ. 2001).

### **H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Oksidasyonu**

Direkt ya da dolaylı olarak H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> organik maddeler ile tepkimeye girer. Direkt oksitleyici olarak redoks tepkimelerinde rol alır:



veya indirgeyici görevini üstlenir:



Sulu H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'nin dolaylı tepkimeleri Fe<sup>+2</sup>, UV veya ozon ile bozumasıyla meydana gelen serbest radikallerin oksitlenmesi ile oluşur. Direkt tepkimelerin örneği, sülfür ve siyanür veya Fe<sup>+2</sup> ya da ozon gibi inorganik bileşiklerle yaptığı

tepkimelerdir. Zayıf bir asit olan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> su içerisinde, hidroperoksit iyonunu oluşturacak şekilde ayrışma işlemini 1881 yılında Tenard tarafından keşfedilmiştir.

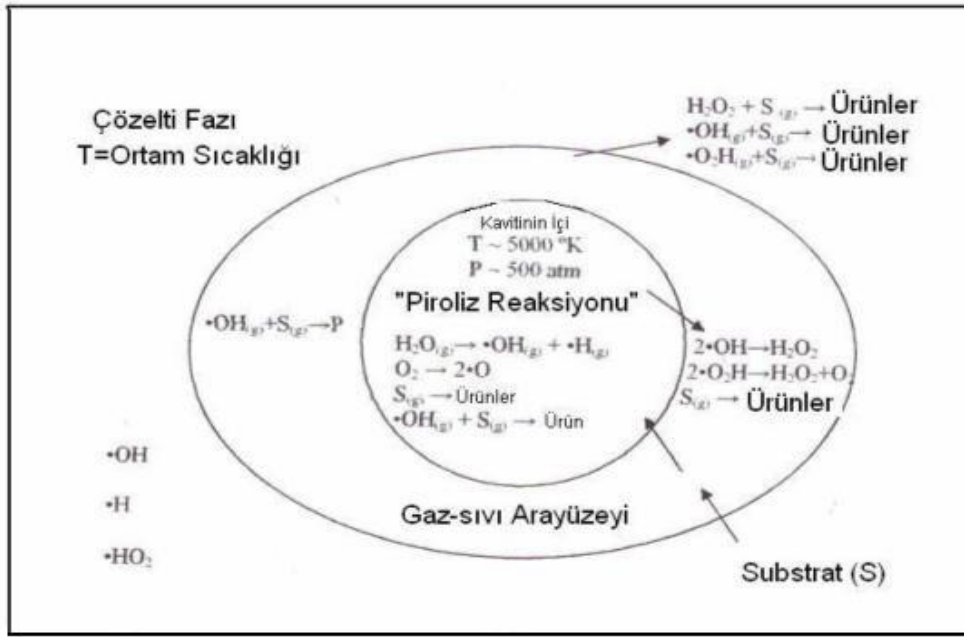


(Tarr 2003).

#### 7.4.5.2 Ultrases

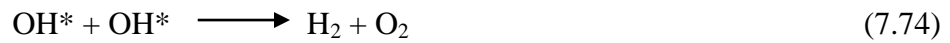
İOP olarak ultrases son zamanlarda araştırılmaya başlanmıştır. Ultrasesin etkisi kavitasyon olayına dayanmaktadır. Kavitasyonu kısaca tanımlayacak olursak, bir sıvı içerisinde meydana gelen ses titreşimleri sonucu oluşan kabarcıklar, çok büyük miktarlarda, çok küçük zaman periyotlarında enerji açığa çıkarması, çökmesi ve büyümesi olayıdır. Kabarcıklar aynı anda reaktörün her bölgesinde oluşur. Bu yüzden de kavitasyon kabarcıklarının etkisi çok büyüktür. Ultrasesin meydana getirdiği etkilerden dolayı organik maddelerin farklı parçalanma tepkimeleri bulunmaktadır (Gogate ve Pandit 2004).

Ultrasonik tepkimeler sulu fazda 3 değişik noktada meydana gelir. Birincisi; kavitasyon kabarcığında mevcut gaz bölgesi olup, bu kısımda suyun sonolizi ile meydana gelen hidroksil radikallerinin yaptığı tepkimeler kadar, piroliz tepkimeleri ile de hidrofobik ve uçucu cinsler kolay bir şekilde ayrışır. İkincisi; sıvı-kabarcık ara yüzeyidir. Bu kısımda ise hidroksil radikalleri aşırı bir şekilde mevcuttur ve radikal tepkimeleri dominanttır fakat bir noktaya kadar pirolitik tepkimeler de etkisini gösterebilir. Son kısımda sıvı faz bulunur. Son fazda ikinci kısımdan kaçan serbest radikal iyonların dominant olmasından kaynaklı ikincil bir sonokimyasal tepkimeler oluşur. OH\* radikalleri tekrar H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'yi meydana getirebilir ve meydana gelen bu H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> çevrimde tekrar H\* ile tepkimeye girerek OH\* radikallerini meydana getirir. OH\* radikallerinin H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>'yi meydana getirmek üzere tekrar bir araya gelmesi sıvı fazdan çok kabarcık bölgesinde oluşmaktadır. Bu durum kısaca Şekil 7.14'de özetlenmiştir.



**Şekil 7.14:** Kavitasyon kabarcığının homojen tepkime ortamında muhtemel tepkime bölgeleri (Eren 2009)

Suyun ultrasonik olaylar ile bozunması sonucu oluşan tepkimeler aşağıda gösterilmiştir.



şeklindedir (Eren 2009).

## 8. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Çetinkaya ve diğ. (2018), endüstriyel tekstil atıksuları için klasik ve modifiye edilmiş (ultrason) Fenton prosesinin renk giderimi açısından karşılaştırmasına yönelik bir çalışma yürütmüşlerdir. Bu amaçla çalışmada çözeltinin pH'ı, demir iyonu miktarı ( $Fe^{+2}$ ),  $H_2O_2$  miktarı ve tepkime süresi göz önünde tutulmuştur. Bu parametlerle, indirgeyici organik bileşiklerin renk giderim yüzdesi hesaplanmıştır. Klasik Fenton işlemi pH=3, 0,1 g/L  $Fe^{+2}$ , 2,20 g/L  $H_2O_2$  ve 90 dakika reaksiyon süresinde Pt-Co için %95 renk giderimi sağlamıştır. Benzer deney işlemleri 35kHz ultrasonik ışınlama altında ultrason Fenton kombinasyonu pH=3, 0,05 g/L  $Fe^{+2}$ , 1,65 g/L  $H_2O_2$  ve 60 dakika reaksiyon süresinde Pt-Co renk giderimi işleminde %99 giderim verimi sağlanmıştır. Ultrason fenton kombinasyonu tekstil atıksuyunun renk gideriminde reaksiyon süresi ve kimyasal maliyetten tasarruf sağlamıştır.

GilPavas ve diğ. (2017) yürüttüğü çalışmada tekstil atıksuları, bir ileri oksidasyon prosesi (Fenton ya da foto-fenton) ile birbirini izleyen bir kimyasal bazlı teknik (koagülasyon (K)-flokülasyon (F)) kullanılarak arıtılmıştır. K-F esnasında  $Al_2(SO_4)_3$  bir koagülant olarak kullanılırken, optimum dozu ise jar testi uygulanarak belirlenmiştir. K-F işletme koşulları pH=9,96 ve 700 mg/L  $Al_2(SO_4)_3$  dozunda organik madde giderimini maksimuma çıkardığı belirlenmiştir. Böylece K-F işlemi, %98 bulanıklık ve %48 KOİ gidermekte ve  $BOİ_5/KOİ$  oranını da 0,137'den 0,212'ye artmasını sağlar. Daha sonra, K-F çıkışı, İOP'lerin her biri kullanılarak işlendi. Performansları, Box-Behnken deneysel tasarımı (BBD) ile birleştirilmiş yanıt yüzey metodolojisi (RSM) ile optimize edilmiştir. pH=3,  $H_2O_2$  dozu= 19,6 mM ve  $Fe^{+2}$  konsantrasyonu 1 mM olarak hem fenton ( $Fe+2/H_2O_2$ ) hem de foto-fenton ( $Fe+2/H_2O_2/UV$ ) işlemlerinde optimum koşul olarak bulunmuştur. K-F ön işleminin fenton reaktifi ile optimize edilmiş koşullarda 90 dakikasını boyunca %74 KOİ giderirken, foto-fenton ile yapılması ile %87'e ulaşmaktadır. Ayrıca  $BOİ_5/KOİ$  oranı 0,212'den fenton ve foto-fenton prosesi için sırasıyla 0,68 ve 0,74 olmuştur.

Sreeja ve Sosamony (2016) yaptıkları çalışmada homojen ve heterojen foto-fenton proseslerinin KOİ ve renk giderimi etkileri sentetik tekstil atıksularının arıtılması için karşılaştırılmıştır. Palakkad'dan Augustan Tekstil Renkler Ltd.

şirketinden farklı zamanlarda gerçek tekstil atıksuları toplanmıştır. pH, katalizör miktarı, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> miktarı ve UV gücü Taguchi deneysel tasarım kullanılarak araştırılmıştır. Heterojen foto-fenton prosesinde bakırdan modifiye edilmiş demir oksit katalizör gibi kullanılmıştır. Optimal koşullar pH=3, katalizör dozu 10 mg/L, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dozu 150 mM ve UV gücü 16 W hem heterojen hem de homojen foto-fenton proses için bulunmuştur. Fakat heterojen olan homojen olana göre KOİ ve renk giderimi daha etkili olmuştur. Optimum koşullarda KOİ ve renk giderimi gerçek giderim verimi heterojen foto-fenton prosesi için sırasıyla %62 ve %85 bulunurken, homojen için %47 ve %82 bulunmuştur. Ayrıca tahmini giderim verimi aynı koşullarda heterojen foto-fenton için sırasıyla %61 ve %86 bulunurken, homojen için %45 ve %85 KOİ ve renk giderimi bulunmuştur.

Bharadwaj ve Saroha (2015) reaktif mavi 19 boya içeren sentetik boya çözeltisinin renk giderim işlemi Fenton ve foto-fenton ile gerçekleştirmişlerdir. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve Fe<sup>+2</sup> iyonun dozu ve çözelti pH'ı renk giderim verimi üzerine çalışılmış ve optimum koşullar elde edilmiştir. Fenton ve foto-fenton prosesleri için pH=3, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=50 mg/L, Fe<sup>+2</sup>=4 mg/L optimum koşullarında 360 dakika oksidasyon işleminden sonra sırasıyla %93,3 ve %97,5 renk giderim verimi elde edilmiştir. Deneysel verileri birinci dereceden, ikinci dereceden ve Behnajady-Modirshahla-Ghanbery (BMG) kinetik modelleri kullanılarak analiz edilmiş ve kinetik veriler BMG modeli ile iyi bir uyum göstermiştir. Reaktif mavi 19 boyayı içeren gerçek tekstil atıksularının arıtılması için deneyler yürütülmüş; Fenton ve foto-fenton proseslerinin 540 dakikalık arıtılması işleminden sonra sırasıyla %84 ve %97 renk giderimi elde edilmiştir.

Kocakaplan ve diğ. (2014) tekstil elyafı boyama da kullanılan azo boyar maddesi olan Asit Sarı 36 (AS36) boyar maddesinin fenton ve fenton benzeri oksidasyon yöntemlerle giderimini araştırmışlardır. Oksidasyon prosesine pH, Fe<sup>0</sup> ve Fe<sup>+2</sup>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve boyar madde konsantrasyonlarının etkisi incelenmiştir. Optimum koşullar fenton prosesi için pH=2,5, Fe<sup>+2</sup>= 2 mg/L, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>= 100 mg/L ve boyar madde=50mg/L bulunurken, fenton benzeri için ise pH=2, Fe<sup>0</sup>=100mg/L, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=100mg/L, boyar madde=50mg/L bulunmuştur. Deneyler 437 nm dalga boyunda okutulmuştur. Fenton prosesinde AS36 boyar maddenin renk, aromatiklik ve KOİ giderim verimleri sırasıyla %89-98, %46-61, %2-34 iken fenton benzerinde

ise sırasıyla %92-98, %43-49, %15-41 değer aralıklarında değişim göstermiştir. Bu proseslerde renk aromatiklikten daha fazla giderilmiştir. Renk gideriminde demir iyonları etkili olurken KOİ gideriminde H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> etkili olmuştur. Sonuç olarak AS36 boya maddesinin fenton benzeri proses ile daha iyi giderildiği bulunmuştur.

Punzi ve diğ. (2012) yürüttükleri çalışmada Hindistan Tirupur'da bulunan bir tekstil endüstrisinden temin edilmiş olan azo boya içeren sentetik atık su homojen ve heterojen foto-fenton oksidasyonu gerçekleştirilmiş ve homojen ve heterojen foto fenton oksidasyonun renk giderimi açısından verimlilikleri karşılaştırılmıştır. Mevcut NaCl ve haşıl dozları ve demir ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dozları optimize edilmiştir. Haşıl dozu 2,9 g/L, NaCl=10 g/L, pH=3, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=12 mM ve Fe<sup>+2</sup>=0,25mM optimum dozlar olarak bulunmuştur. Homojen foto-fenton oksidasyon prosesinde KOİ giderimi %96 olurken, heterojen foto-fenton oksidasyonunda %93 elde edilmiştir.

Karthikeyan ve diğ. (2011) Hindistan Tamil Nadu da bir tekstil endüstrisinin atık su arıtma tesisindeki ön çöktürme havuzunun savağından atıksuyu toplamışlardır. Deneme çalışmaları homojen ve heterojen fenton sistemler tarafından tekstil çıkışındaki organik kirleticilerin ayrıştırılması için yapılmıştır. Zamanın etkisi, pH, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> derişimi, FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O derişimi oranı incelendi. Reaksiyon süresi 4 saat, pH=3,5, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O=2:1 optimum koşullar elde edilmiştir. Homojen fenton oksidasyonunda KOİ giderimi %65 olurken, heterojen fenton oksidasyonunda ise %91 elde edilmiştir.

Su ve diğ. (2011), tekstil endüstrisi atıksularının boyama ve terbiye tesislerinden akışkan yataklı fenton prosesi ile arıtılması araştırılmıştır. Tekstil atıksuyunun oksidasyonu ve renk giderimi üzerindeki etkilerini pH, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve Fe<sup>+2</sup> konsantrasyonu gibi değişkenlerle araştırmıştır. Deneysel sonuçlar, arıtma verimliliğini incelemek için KOİ ve renk azalımı açısından tahmin edilmiştir. pH optimum 3 civarında gözlenmiştir. KOİ:Fe<sup>+2</sup>:H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=1:0,95:3,17 konsantrasyonu oranı altında yalnızca 2 dakikalık reaksiyon süresinde renk giderimi ve oksidasyon verimliliği sırasıyla %92 ve %49 olarak bulunmuştur. Bu proses kullanılarak, artan H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dozu ile doğru orantılı olarak tekstil atıksuyunun oksidasyonunda artmıştır. En yüksek oksidasyon seviyesi %87 olmuştur.

Gökkuş ve Çiner (2010), polyester elyafların boyanmasında yaygın hale gelen dispers boyalardan C.I. Dispers Sarı 119 ve Dispers Kırmızı 167 Fenton prosesi ile renk giderimi üzerine araştırma yapmışlardır. pH,  $Fe^{+2}$  ve  $H_2O_2$  dozları, sıcaklık, yavaş karıştırma süresi gibi parametreler için optimum koşulları belirlemişlerdir. Optimum koşul S119 için pH=3, T=30°C,  $Fe^{+2}$  dozu 50mg/L,  $H_2O_2$  dozu 75 mg/L, yavaş karıştırma süresi 15 dakika ve  $Fe^{+2}/H_2O_2=0,66$  bulunurken, K167 için ise pH=3, T=60°C,  $Fe^{+2}$  dozu 50mg/L,  $H_2O_2$  dozu 100 mg/L, yavaş karıştırma süresi 25 dakika ve  $Fe^{+2}/H_2O_2=0,50$  bulunmuştur. S119 için KOİ ve renk giderim verimleri sırasıyla %98,7 ve %99,7 bulunurken, K167 için sırasıyla %96,1 ve %97,2 bulunmuştur.

Hanay ve Hasar (2007), gerçek bir tekstil atıksuyunda Fenton oksidasyonu uygulamışlardır. Optimum koşullar pH=2, T=10°C,  $Fe^{+2}$  dozu 60 mg/L ve  $H_2O_2$  dozu 8,53 mM ve reaksiyon süresi de 4 saat bulunmuştur. Bu koşullar altında yapılan çalışmada %85-96 arasında renk giderim verimi elde edilmiştir.

Liu ve diğ. (2007), direkt boya (FBL), asidik boya (SRL) ve vat boya (FBB)'nin renk giderimi ve parçalanması foto-fenton ve fenton prosesleriyle araştırmışlardır. Çözeltinin pH,  $Fe^{+2}$  ve  $H_2O_2$  dozlarının etkileri jar testi deneyleri ile belirlenmiştir. FBL ve FBB için 15 dakikalık reaksiyon süresi ve 20 rpm karıştırma hızı, SRL için ise 20 dakika reaksiyon süresi ve 60 rpm karıştırma hızı altında pH=3,  $H_2O_2=33,3$  mg/ml,  $FeSO_4 \cdot 7H_2O=0,1$  g/ml ve V=300 ml kullanılarak işlemler gerçekleştirilmiştir. FBL, SRL ve FBB boyları için Fenton prosesinde renk giderim verimleri sırasıyla %99,3, %98,98 ve %97,61 olurken, foto-fenton için %99,67, %99,06 ve %98,26 bulunmuştur.

Solmaz ve diğ. (2006), Bursa'da bulunan bir tekstil fabrikasından çıkan atıksulardan toplanan kompozit numune ile çalışmışlardır. Biyolojik olarak önceden işleme tabi tutulan tekstil atıksuyundan KOİ ve renk giderimi için koagülasyon, fenton oksidasyonu ve ozonlamanın performansları karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada  $FeCl_3$  ve  $FeSO_4$  koagülant olarak kullanılmıştır. Koagülantlar, değişken pH değerleri altında değişken dozlarla kimyasal arıtma esnasında uygulanmıştır. Koagülant olarak kullanılan  $FeCl_3$  ve  $FeSO_4$  için pH 12 belirlenmiştir. Koagülasyon için optimum dozajlar KOİ ve renk giderimi için 450 mg/L  $FeSO_4$  ve 500 mg/L  $FeCl_3$  bulunmuştur. Koagülasyon aşamasında  $FeSO_4$  için KOİ ve renk giderim

verimleri sırasıyla %62 ve %99 bulunurken, FeCl<sub>3</sub> için %91 ve %64 bulunmuştur. Fenton prosesinde ise optimum pH 3 olarak belirlenmiştir. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=200 mg/L ve FeSO<sub>4</sub>=400 mg/L dozlarında renk ve KOİ giderimi %95 ve %78 olarak belirlenmiştir. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=400 mg/L ve FeCl<sub>3</sub>=200 mg/L dozlarında renk ve KOİ giderimi %71 ve %64 olarak belirlenmiştir. Ozonlama prosesinde ise 15 dakikalık temas süresinde 5, 10, 25 mg/L değişken değerlerde H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dozları atıksuya eklenmiştir. Reaksiyon süresi sonunda sadece ozon uygulandığında 360 mg/L optimum doz belirlenirken KOİ ve renk giderimleri sırasıyla %43 ve %97 bulunmuştur. O<sub>3</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> prosesinde ise optimum H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>=5 mg/L dozunda renk ve KOİ giderimi sırasıyla %99 ve %54 bulunmuştur. Çalışmaya baktığımızda incelenen atıksu için en uygun arıtma yöntemi fenton oksidasyonu olduğu görülmüştür.

Lucas ve Peres (2006), sulu çözelti içindeki reaktif siyah 5 (RB5)'in oksidatif renksizleştirme işlemini Fenton (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>+2</sup>) ve foto-fenton (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>+2</sup>/UV) proseslerini kullanarak araştırmıştır. Bu iki yöntem RB5'in rengini giderebileceğini göstermiştir. Toplu deneyler işlemin optimal çalışma koşullarını (pH, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ve Fe<sup>+2</sup> dozları, RB5 konsantrasyonu ve en düşük fiyatı en iyi sonuçları elde etmek için optimal Fe<sup>+2</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/RB5 oranı) araştırmak için yapılmıştır. Bu yüzden İOP'yi diğer proseslerle rekabet edebilir kılmıştır. Optimum koşullar pH=3, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/RB5 oranı 4,9:1 ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Fe<sup>+2</sup> oranı 9,6:1 bulunmuştur. RB5'in renk giderim deneylerinde uygulanan fenton ve foto-fenton süreçleri optimum koşullar için sırasıyla %97,5 ve %98,1 bulunmuş ve iki prosesin arasında küçük bir fark olduğu görülmüştür. Boya renk giderimindeki bu küçük fark TOK giderimi için benzer değildir. Foto-fenton prosesinde %46,4, fenton prosesinde ise %21,6 TOK giderimi vardır. Bu gerçek, UV düşük basınçlı cıva lambasının boya renk giderimi üzerinde etkisi çok az olmasına rağmen boya mineralleşmesinde önemli olduğunu göstermiştir.

Gönder ve Barlas (2005), tekstil boyama firmasına ait biyolojik arıtma tesisinin çıkış hattından alınan atıksuda fenton prosesi uygulayarak KOİ ve renk giderimlerini incelemiştir. En uygun koşullar pH=4, T=35°C, 10 mg/L FeSO<sub>4</sub> dozu ve 90 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dozu bulunmuştur. Bu dozlar 436 nm, 525 nm ve 620 nm dalga boylarında sırasıyla %69, %81 ve %89 renk giderim verimi elde etmişlerdir. Ayrıca KOİ giderim verimi de %39 bulunmuştur.



Meriç ve diğ. (2004), reaktif siyah 5 (RB5), fentonun oksidasyon prosesini kullanarak sentetik atıksuları gidermiştir. Boya toksisitesini gidermek için 100 mg/L ve 200 mg/L RB5 içeren örnekler üzerinde deneyler yapılmıştır. Litre başına 75 mg RB5, 24 saatte doğan daphnitlerde %25 toksisiteye sebep olurken, hâlbuki 100 mg/L RB5, Daphnia Magna üzerinde %100 toksisite göstermiştir. Çalışmada FeSO<sub>4</sub> ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> konsantrasyonu, pH ve sıcaklık değerleri sistematik bir yaklaşımla gerçekleştirilmiştir. 100 mg/L RB5 için en uygun sıcaklık ve pH değerleri sırasıyla 40°C ve 3 olarak gözlenmiştir, 100 mg/L FeSO<sub>4</sub> ve 400 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kullanılmış ve %71 KOİ ve %99 renk giderim verimi görülmüştür. 200 mg/L RB5 için pH=3, T=40°C'de 0,05 molar oran veren 225 mg/L FeSO<sub>4</sub> ve 1000 mg/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kullanılarak %84 KOİ ve %99'dan fazla renk giderimi optimum koşullarda belirlenmiştir.

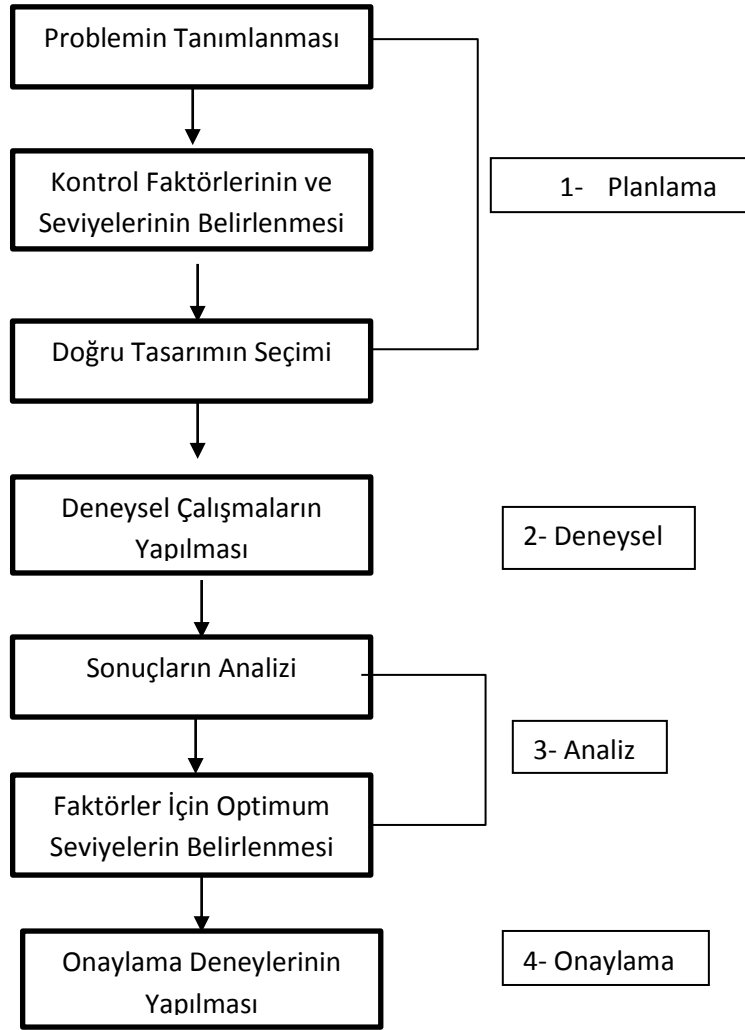
## 9. İSTATİKSEL DENEY TASARIMI

Yürütülen tez çalışması kapsamında, istatistiksel deney tasarımı olarak Taguchi metodu kullanılmıştır. Bu amaç ile Taguchi metodu aşağıda özetlenmiştir.

### 9.1 Taguchi Metodu

1950’li senelerde Japonya da süreç eniyileme yöntemi olarak Genichi Taguchi tarafından geliştirilmiştir (İç ve Yıldırım 2012). Bu metot, istatistiksel bir yöntem olup, biyoteknoloji, ürün üretimi, reklamcılık ve pazarlama sektöründe çoğunlukla kalite gelişimi amacıyla kullanılmıştır (Kurt ve Yonar 2017). Proseste ve üründe, farklılığı meydana getiren ve kontrolü zor etkenlere karşı, kontrolü kolay etken seviyelerinin optimum bileşimlerini seçerek, proses ve üründeki etkenleri minimum seviyeye indirmeye yarayan bir deneysel metottur (Canyılmaz ve Kutay 2003). Taguchi yöntemi; ürün kalitesinin iyileştirilmesinde etkili olmasına karşın, kalite geliştirme açısından çok daha az denemeyle daha iyi sonuç elde edilmektedir (Canyılmaz ve Kutay 2003). Bunun yanısıra metodun temel felsefesi, kalitenin tasarım aşamasında proses ve ürüne kazandırılmasıdır (Ferah 2003). Her bir parametrenin, her bir seviyesini içeren bütün kombinasyonlarla oldukça fazla deneysel çalışma yapılacağından, Taguchi metodu ile ortogonal dizi tablosunu kullanarak daha az sayıda deneysel çalışma ile sonuca varmak mümkün olmaktadır (İç ve Yıldırım 2012). Bu metotun amacı, herhangi bir konu üzerinde çalışılması düşünülen problemle ilgili maksimum sayıdaki bilgiyi mümkün olduğunca deney malzemesi, zaman ve parayı en ekonomik düzeyde kullanılmayı sağlamak ve kalite karakteristiğini etkileyen en önemli etkenleri belirlemektir (Baynal ve Gencel 2015). Taguchi metodu; %70-90’ı istenen parametrelerin optimizasyonunu hızlı bir şekilde sağlarken, %10-30’luk eksik kısmı bir ya da iki tamamlayıcı deneyle etkili bir hale getirilebilir (Titu ve diğ. 2018). Taguchi kavramı, bir kalite geliştirmesine bağlı mühendislik çalışmalarına dönüştürülürken, buna Japonya’da kalite mühendisliği, Batıda ise robust tasarım denilmektedir (Baynal ve Gencel 2015).

Taguchi yöntemi dört aşamada uygulanmakta olup, Şekil 9.16'da gösterilmiştir (Mezarcıöz ve Oğulata 2010).



**Şekil 9.15:** Taguchi yönteminin uygulanma aşamaları (Mezarcıöz ve Oğulata 2010)

Taguchi yönteminde sekiz adım bulunmaktadır. Bunlar;

- Ana işlevi, yan etkileri ve arıza modunu tanımlamak
- Gürültü faktörlerini, test koşullarını ve kalite özelliklerini tanımlamak
- Optimize edilecek amaç fonksiyonunu tanımlamak
- Kontrol faktörlerini ve seviyelerini tanımlamak
- Ortogonal dizi matris deneyini seçmek
- Matris deneyini yürütmek
- Verileri analiz etmek, optimum seviye ve performansı bulmak

- Doğrulama denemesini yapmak ve gelecekteki eylemi planlamak (Karna ve Sahai 2012)

Taguchi yöntemi, kaliteli bir süreç ve en iyi ürün kalitesi için sonuç elde etmek için üç aşama kullanmaktadır. Bunlar; sistem tasarımı, tolerans tasarımı ve parametre tasarımıdır (Taguchi 1987, Taguchi 1993).

**Sistem Tasarım:** Mühendis, temel ve işlevsel bir prototip tasarım üretmek için mühendislik ve bilimsel bilgilerinden yararlanır; bu tasarım, ürün ve süreç tasarımlarını içerir. Sistem tasarım ilk fonksiyonel tasarım olduğu için kalite ve maliyet yönünden optimum olmayabilir (Nalbant ve diğ. 2007).

**Parametre Tasarım:** Sistem parametrelerinin özgün değerleri belirlenir (Mezarcıöz ve Oğulata 2010). Bu parametrenin amacı; performans karakteristiklerini iyileştirmek için proses parametre değerlerinin ayarlarını optimize etmek ve ürün parametre değerlerini optimum proses parametre değerleri altında tanımlamaktır. Bu yüzden bu adım maliyeti arttırmadan yüksek kaliteye ulaşmak için atılan temel adımdır (Nalbant ve diğ. 2007).

**Tolerans Tasarım:** Parametre tasarımında ulaşılan nominal değerler için benimsenen değişken aralığı belirlenir (Olgun ve Özdemir 2013).

Kalite mühendisliği tasarım kalitesi olarak 3 ana sürece göre şekillenmektedir. Bunlar; dikey dizilim, sinyal/gürültü oranı (S/N) ve kayıp fonksiyonudur (İç ve Yıldırım 2012). Genel olarak ürün geliştirme çalışmalarında çok sayıda faktör kullanılmaktadır. Bu yüzden de tam faktöriyel tasarım ile analizlerin yapılması maliyet yükü ve aşırı zaman kaybı oluşturmaktadır. Bu yöntem bir tür kesirli faktöriyel tasarım olup, analizlerin tüm olasılıklarını denemek yerine ortogonal dizinleri kullanarak yalnızca bir kısmının analiz yapılması ile en iyi performans karakteristik değerini veren faktör düzeylerinin bulunacağını belirtmektedir. Ortogonal dizinler tam faktöriyel tasarımlara nazaran faktör düzeylerini tek tek değiştirmek yerine eş zamanlı olarak değiştirir ve analiz sayısını azaltır. Ortogonal dizinin sütunlarına yüklenen faktörlerin her düzeyi eşit sayıdadır. Bu durumda her ikili faktör grubunun birbiri arasında bir faktöriyel tasarım oluşturarak aralarındaki ilişkinin bulunmasını sağlamaktadır (Şimşek ve Dilmaç

2018). Ortogonal dizinler bir sayı matrisidir. Her satır seçilen faktör seviyesini her sütunda dikkate alınan faktörleri içerir. Ortogonal dizinler  $L_a(b^c)$  şeklinde gösterilen latin kare tasarımından türetilmiştir. L; latin kare tasarımı, a; deneylerin sayısı, b; her kolondaki seviye sayısını ve c; faktör sayısını ifade etmektedir (Mezarcıöz ve Oğulata 2010). Taguchi Ortogonal dizi seçim çizelgesi Tablo: 9.22’de gösterilmiştir (Gökçe ve Taşgetiren 2009).

**Tablo 9.22:** Taguchi Ortogonal dizi seçim çizelgesi (Gökçe ve Taşgetiren 2009)

SEVİYE SAYISI												
PARAMETRE SAYISI	2			3			4			5		
	P=2	S=2	L2	P=2	S=3	L9	P=2	S=3	L'16	P=2	S=3	L25
	P=3	S=2		P=3	S=3		P=3	S=3		P=3	S=3	
	P=4	S=2	L8	P=4	S=3	L18	P=4	S=3	L'32	P=4	S=3	L50
	P=5	S=2		P=5	S=3		P=5	S=3		P=5	S=3	
	P=6	S=2	L11	P=6	S=3	L27	P=6	S=3	L'32	P=6	S=3	L50
	P=7	S=2		P=7	S=3		P=7	S=3		P=7	S=3	
	P=8	S=2	L16	P=8	S=3	L36	P=8	S=3	L'32	P=8	S=3	L50
	P=9	S=2		P=9	S=3		P=9	S=3		P=9	S=3	
	P=10	S=2	L32	P=10	S=3	L36	P=10	S=3	L'32	P=10	S=3	L50
	P=11	S=2		P=11	S=3					P=11	S=3	
	P=12	S=2	L32	P=12	S=3	L36			L'32	P=12	S=3	L50
	P=13	S=2		P=13	S=3							
	P=14	S=2	L32	P=14	S=3	L36			L'32			L50
	P=15	S=2		P=15	S=3							
	P=16	S=2	L32	P=16	S=3	L36			L'32			L50
	P=17	S=2		P=17	S=3							
	P=18	S=2	L32	P=18	S=3	L36			L'32			L50
	P=19	S=2		P=19	S=3							
	P=20	S=2	L32	P=20	S=3	L36			L'32			L50
	P=21	S=2		P=21	S=3							
	P=22	S=2	L32	P=22	S=3	L36			L'32			L50
	P=23	S=2		P=23	S=3							
	P=24	S=2	L32			L36			L'32			L50
	P=25	S=2										
	P=26	S=2	L32			L36			L'32			L50
	P=27	S=2										
	P=28	S=2	L32			L36			L'32			L50
	P=29	S=2										
	P=30	S=2	L32			L36			L'32			L50
	P=31	S=2										

Taguchi metoduna göre tasarlanan tasarımdan ulaşılan sonuçlar sinyal/gürültü oranına (S/N) dönüştürülmekte ve desibel (dB) cinsinden ifade edilmektedir. Sinyal faktörü sistemden elde edilen gerçek değeri, gürültü faktörü ise deney tasarımına giremeyen lakin analiz sonucuna etki eden faktörlerdir. N değeri ne kadar küçükse istenilen hedefe o derece yaklaşılr. Sözün kısası amaç S/N oranını en yüksek seviyede tutmaktır (Turgut ve Dikici 2011). S/N oranı; en küçük en iyi, en büyük en iyi ve nominal en iyi olmak üzere üç farklı amaca göre hesaplanır (Mezarcıöz ve Oğulata 2010).

**En küçük en iyi (gürültü, zararlı maddeler, kirlenme vb.);**

Sonucu en aza indirmek amacıyla seçilir. Bu tarz problemlerde, kalite değişkeni y'nin hedef değeri sıfır olur.

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (9.1)$$

**En büyük en iyi (ürün boyutları, elektrik voltajı, vb.);**

Sonucu en yükseğe çıkarmak amacıyla seçilir. Bu tarz problemlerde, kalite değişkeni y'nin hedef değeri sonsuzdur.

$$S/N = -10 \log \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right] \quad (9.2)$$

**Nominal en iyi (güç, mukavemet vb.);**

Amaçlanan değer hedeflendiği zaman seçilir. Bu tarz problemlerde, y için belli bir hedef değer vardır.

$$S/N = 10 \log \frac{\bar{y}^2}{S_y^2} \quad (9.3)$$

$\bar{y}$  = Gözlem değerlerinin ortalaması

$S_y^2$  = Gözlem değerlerinin varyansı

n = Bir denemede test sayısı

$y_i$  = Performans yanıtının i'nci gözlem değeri (Toprak 2010).

Deneysel çalışmanın sonucunda bulunacak en uygun çalışma koşulları, değişik çalışma ortamı ve zaman diliminde her daim aynı ya da birbirine yakın performans değerleri vermelidir. Bunun için kullanılacak optimizasyon değerleri, performans değerinin çevresindeki değişkenleri en az düzeyde tutabilecek olmalıdır. Taguchi deneysel tasarım yöntemi, S/N oranını kullanarak yanıt değişkenin hem ortalaması hem de varyansı ile ilgili bilgiler vermektedir. Yöntemle ulaşılan en iyi faktör/seviye kombinasyonu, yanıt ortalamasını hedef değere ulaştırırken; öte yandan da değişkenliğin düzeyini azaltır. Genichi Taguchi, çok değişkene sahip analizleri minimum denemeyle gerçekleştirmek için ortogonal dizileri (OD) kullanmaktadır. Bu yöntem, farklı alanlarda ulaşılmış başarılı sonuçları sebebiyle atıksu arıtımında da kullanılmaya başlanmıştır (Yılmaz 2013).

## 10. MATERYAL VE METOT

### 10.1 Materyal

#### 10.1.1 GümüŖsu Atıksu Arıtma Tesisi

Denizli İli tekstil sektörü açısından oldukça fazla sayıda firmaya sahip bir ildir. GümüŖsu Arıtma Tesisleri ve San. Tic. A.Ŗ.; birbirine rakip olan 5 farklı tekstil fabrikasından gelen atıksuları arıtmak amacıyla kurulmuş ortak bir kuruluştur. Bu fabrikalardan gelen atıksular, arıtma tesisinin dengeleme havuzunda toplanarak burada homojen bir karışım elde edilmektedir. Deneysel çalışmalarımızda kullanılan atıksu dengeleme havuzundan alınmış olup peroksimonosülfat (PMS) oksidasyonu ile renk giderimi üzerine çalışılmıştır. 5 farklı kaynaktan alınan tüm numuneler SKKY'deki Sektör Tablolarından "Tablo 10:3 Pamuklu Tekstil ve Benzerleri"e tabidir.

Alınan numunenin özellikleri Tablo 10.23'de verilmektedir. Atıksu karakterizasyonu için tüm parametre analizleri Standart Metotlarda verilen prosedürlere uygun olarak analizlenmiştir (APHA, AWWA 2005).

**Tablo 10.23:** Alınan numunenin özellikleri

Parametre	Birim	Değer
KOİ	mg/L	1140
AKM	mg/L	254
pH	-	8,26
Renk	Pt-Co	815



## 10.2 Metot

### 10.2.1 Renk Analizi

Gümüşsu Atıksu Arıtma Tesisi'nden alınan atıksu numunesi, Avrupa Normu EN ISO 7887'ye göre renk parametresinin belirlenmesi için UV-Görünür Bölge Spektrofotometresi (Hach Lange DR 500) ile zorunlu dalga boyu olan 465 nm'de pik vermiştir. Arıtma öncesi ve sonrasında absorbans değerlerindeki düşüş tekstil atıksuyunun renk giderimi ifade etmektedir (Palas ve diğ 2017). Renk giderimi yüzdeleri Denklem 10.1'de verilen formüle göre hesaplanmıştır.

$$\% \text{Renk Giderimi} = (C_0 - C_S) / C_0 * 100 \quad (10.1)$$

$C_0$ = Başlangıç anında ölçülen absorbans değeri

$C_S$ = Herhangi bir anda ölçülen absorbans değeri

### 10.2.2 Kimyasallar

Deneysel çalışmalar kapsamında kullanılan Potasyum peroksimonosülfat ( $\text{KHSO}_5 \cdot 0,5\text{KHSO}_4 \cdot 0,5\text{K}_2\text{SO}_4$ ), Sigma Aldrich firmasından elde edilmiştir. Demir (II) Sülfat Heptahidrat ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), HCl ve NaOH kimyasalları ise Merck firmasından elde edilmiştir. Tüm deneysel çalışmalarda belirlenen konsantrasyonlar 100 mM PMS ve 20 mM  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  stok çözeltileri kullanılarak elde edilmiştir.

### 10.2.3 Taguchi Deneysel Tasarım Metodu

Taguchi metodu, kalite geliştirme konusunda 1950'li yıllarda Genichi Taguchi tarafından deneysel tasarıma dayalı olarak geliştirilmiştir. Bu tekniğin temel felsefesi kalitenin tasarım aşamasında ürün ya da prosese kazandırılmasıdır (Ferah 2003). Deneysel tasarımda amaç, herhangi bir konu üzerinde çalışılması düşünülen problemle ilgili maksimum sayıdaki bilgiyi mümkün olduğunca deney malzemesi, zaman ve parayı en ekonomik düzeyde kullanılmayı sağlamak ve kalite

karakteristiğini etkileyen en önemli etkenleri belirlemektir (Baynal ve Gencel 2015). Deneysel çalışmada en önemli basamağı parametre seçimidir. Proseste farklılık meydana getiren ve kontrolü zor etkenlere karşı, kontrolü kolay etken seviyelerinin optimum bileşimlerini seçerek, proses ve üründeki farklılıkları minimum seviyeye indirgemektedir (Olgun ve Özdemir 2013). Deneysel çalışmanın sonucunda bulunacak en uygun çalışma koşulları, değişik çalışma ortamı ve zaman diliminde her daim aynı ya da birbirine yakın performans değerleri vermelidir. Sonuçları analiz edebilmek için S/N oranı olarak bilinen bir istatistiksel performans ölçüsü kullanılır. Deneysel neticesinde ulaşılan sonuçlar sinyal/gürültü oranına (S/N) dönüştürülerek değerlendirme yapılır. S/N oranındaki S sinyal faktörünü, N ise gürültü faktörünü ifade etmektedir. Sinyal faktörü sistemden alınan gerçek değeri, gürültü faktörü ise deney tasarımına katılmayan fakat deney sonucuna etki eden faktörleri ifade etmektedir. Gürültü kaynakları, elde edilmek istenen performans karakteristiklerinin hedef değerden sapmasına sebep olan tüm değişkenlerdir. Sonuç olarak, bu analizde amaç S/N oranını maksimum düzeye çıkarmaktır (Turgut ve Dikici 2011).

3 seviyeli  $L_9(3^3)$  ortogonal dizininin genel gösterimi Tablo 9.22’de gösterilmektedir (Mezarcıöz ve Oğulata 2010).

**Tablo 10.24:** 3 seviyeli  $L_9(3^3)$  ortogonal dizininin genel gösterimi (Mezarcıöz ve Oğulata 2010)

	Faktörler		
		A	B
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Arıtma tesislerinde bulunan prosesler birçok faktörden etkilenmektedir. Tez kapsamında, PMS oksidasyon prosesinin tekstil atıksuyundan renk giderimine yönelik optimizasyonunu içeren deneysel çalışmanın sonuçları incelenmiştir. Proses

optimizasyonuna yönelik olarak PMS ve Fe (II) iyonunun molar değerleri, süre ve sıcaklık değişken faktörler olarak kullanılmıştır. Tüm faktörler üç ayrı deney seviyesiyle incelenmiştir. Deneyler bu üç seviyeli üç kontrol faktörünü içeren bir yapıda  $L_9(3^3)$  ortogonal dizisi kullanılarak ve 9 deney yapılarak yürütülmüştür. Fe(II)'nin katalizör olarak kullanıldığı uygulama için deney kontrol faktörleri ve seviye değerleri Tablo 10.25' de özetlenmiştir. Verilerin girişi ve tasarımı için Minitab (deneme sürümü) istatistik programı kullanılmıştır.

**Tablo 10.25:** Kontrol faktörleri ve seviye değerleri-1

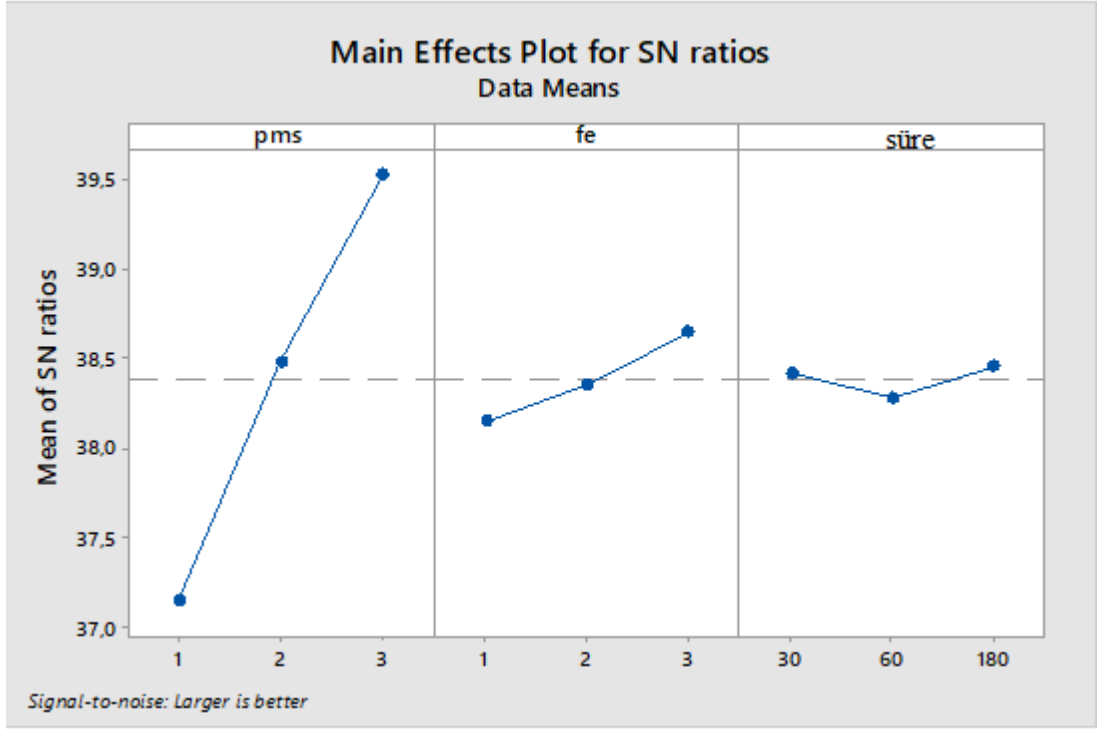
Faktörler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
PMS (mM)	1	2	3
Fe (II) (mM)	1	2	3
Süre (dk)	30	60	180

Tablo 10.26 deneyler sonucunda elde edilen verimler ile elde edilen modelden tahmin edilen verimleri vermektedir. Deneyler sonucunda elde edilen model aşağıda verilmektedir.

$$\text{Renk Giderim Verimi (\%)} = 55,94 + 11,333 \cdot \text{PMS (mM)} + 2,333 \cdot \text{Fe(II) (mM)} + 0,00317 \cdot \text{Süre (dk)} \quad (10.2)$$

**Tablo 10.26:** Taguchi L9 ortogonal tasarım tablosu (PMS, Fe(II), Süre)

PMS (mM)	Fe(II) (mM)	Süre (dk)	Renk Giderim Verimi (Gözlenen)	Renk Giderim Verimi (Beklenen)
1	1	30	70	69,61
1	2	60	71	71,94
1	3	180	75	74,28
2	1	60	81	80,94
2	2	180	84	83,28
2	3	30	87	85,61
3	1	180	93	92,28
3	2	30	95	94,61
3	3	60	96	96,94



**Şekil 10.16:** Optimizasyon kriterleri üzerine PMS prosesine etki eden Fe(II) ve süre parametreleri

Faktörlerin etkileri, Şekil 10.16’da grafik olarak verilmiştir. Her bir faktörün renk giderim verimini nasıl etkilediği gösterilmiştir. Şekil 10.16 incelendiğinde S/N değerini maksimum yapan parametre seviyeleri, PMS değerinin üçüncü seviyesi olan 3 mM (A3), Fe(II) değerinin üçüncü seviyesi olan 3 mM (B3) ve sürenin üçüncü seviyesi olan 180 dk (C3) değerlerinde bu deney tasarımı için optimum tasarım parametre değerleri olduğu görülmüş olmakla birlikte C1 ve C3 noktaları çok yakın değerleri verdiği için C1 noktası (30 dk) optimum nokta olarak dikkate alınmıştır. Buna göre A3, B3 ve C1 noktaları optimum noktalar olarak belirlenmiştir. Arıtmaya etki eden faktörlerin katkı oranlarını belirlemek amacıyla ANOVA (analysis of variance) yapılmıştır (Tablo 10.27).

**Tablo 10.26:** ANOVA Tablosu-1 (Analysis of Variance)

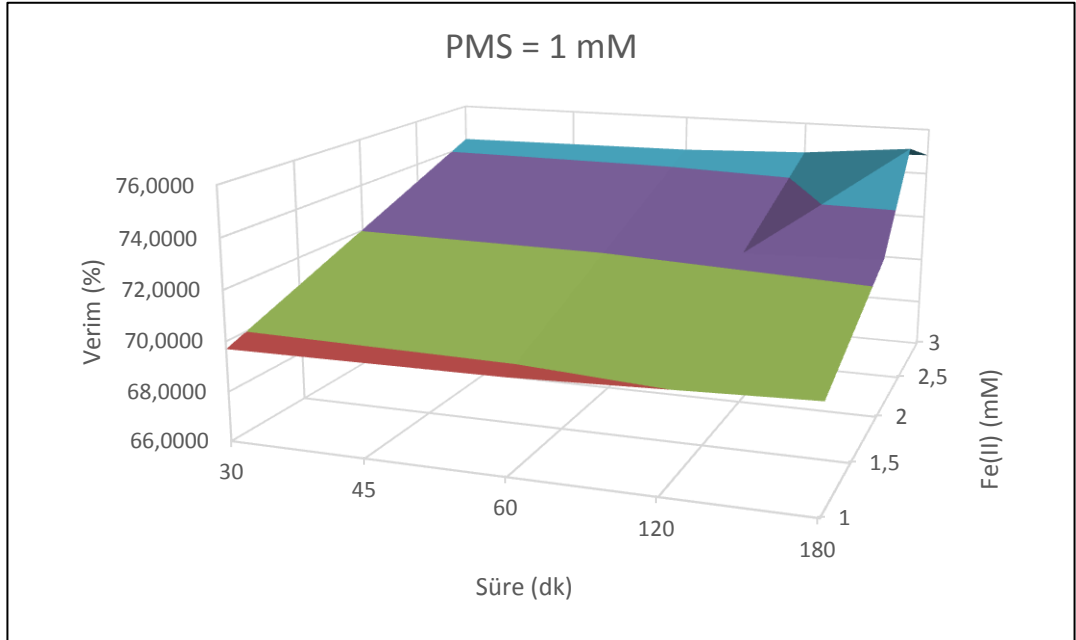
Faktörler	Serbestlik Derecesi	Düzeltilmiş Kareler Toplamı	Düzeltilmiş Ortalama Kareler	F	P	% Katkı
Regresyon	3	803,714	267,905	297,15	0,000	
PMS	1	770,667	770,667	854,79	0,000	95,353
Fe(II)	1	32,667	32,667	36,23	0,002	4,042
Süre (dk)	1	0,381	0,381	0,42	0,544	0,047
Hata	5	4,508	0,902			0,558
Toplam	8	808,222				100
<b>R<sup>2</sup> = %99,44</b>			<b>Düzeltilmiş R<sup>2</sup> = %99,11</b>			

Bu analiz sonucunda, parametrelerin etki sırası büyükten küçüğe PMS konsantrasyonu, Fe (II) konsantrasyonu ve reaksiyon süresi olarak tespit edilmiştir. Dolayısıyla, PMS oksidasyon prosesi için varyans analizi tablosu sonuçlarına göre, “PMS konsantrasyonu” (% Renk Giderimi: F= 854,79; P=0,000) parametresi renk gideriminde önemli bir yere sahipken “reaksiyon süresi” (% Renk Giderimi: F=0,42; P=0,544) proses verimini çok fazla etkilememektedir. Ayrıca ANOVA analizi sonucunda %95 güven aralığında çalışılmıştır (p<0,05). Hata oranı %5’ten küçük (%0,558) bulunmuş olup, yapılan optimizasyonun kabul edilebilirliğini göstermektedir. Deneyler sonucunda elde edilen değerler ile, tahmini değerlerin birbirine yakın olması parametreler arası bir iç etkileşimin olmadığı ve modelin parametrelerin etkisini açıklamakta yeterli olduğunu göstermektedir (Yılmaz 2013). Taguchi metodu kullanımı ile elde edilen regresyon katsayısı (R<sup>2</sup>) değeri (%99,44), veri noktalarının modele ne kadar uyduğunu göstermektedir. Düzeltilmiş R<sup>2</sup> ise veri noktalarının modele uygunluğunu gösterirken modeldeki sınır değerler içerisinde kalmaktadır (Parajö ve diğ. 1992). Bu nedenle modelin değerlendirilmesinde düzeltilmiş R<sup>2</sup> değeri dikkate alınmış olup, belirlenen düzeltilmiş R<sup>2</sup> değeri (%99,11), bu çalışmadaki modelin deney verilerine tatmin edici bir şekilde uygun olduğunu göstermiştir.

Elde edilen model kullanılarak sabit PMS konsantrasyonu, değişen Fe(II) konsantrasyonları ve süreleri için kullanılmış ve Tablo 10.28’de elde edilen verimler verilmiştir. Elde edilen değerler Şekil 10.17’de grafik olarak gösterilmiştir. Tablo ve grafik incelendiğinde, en yüksek verimin 1 mM PMS ve 3 mM Fe(II) konsantrasyonunda elde edildiği görülmektedir. Sürenin etkisi incelendiğinde 30 dakika (74,37) süre ile 180 dakika (74,84) süre arasında sadece 0,47 fark olduğu görüldüğünden 30 dakika süre uygulaması optimum süre olarak dikkate alınmıştır.

**Tablo 10.27:** PMS= 1 mM değerine karşılık değişken Fe(II) ve süre parametreleri

PMS = 1 mM		Süre				
		30	45	60	120	180
Fe(II)	1	69,70	69,75	69,80	69,99	70,18
	1,5	70,87	70,92	70,96	71,15	71,34
	2	72,03	72,08	72,13	72,32	72,51
	2,5	73,20	73,25	73,30	73,49	73,68
	3	74,37	74,41	74,46	74,65	74,84

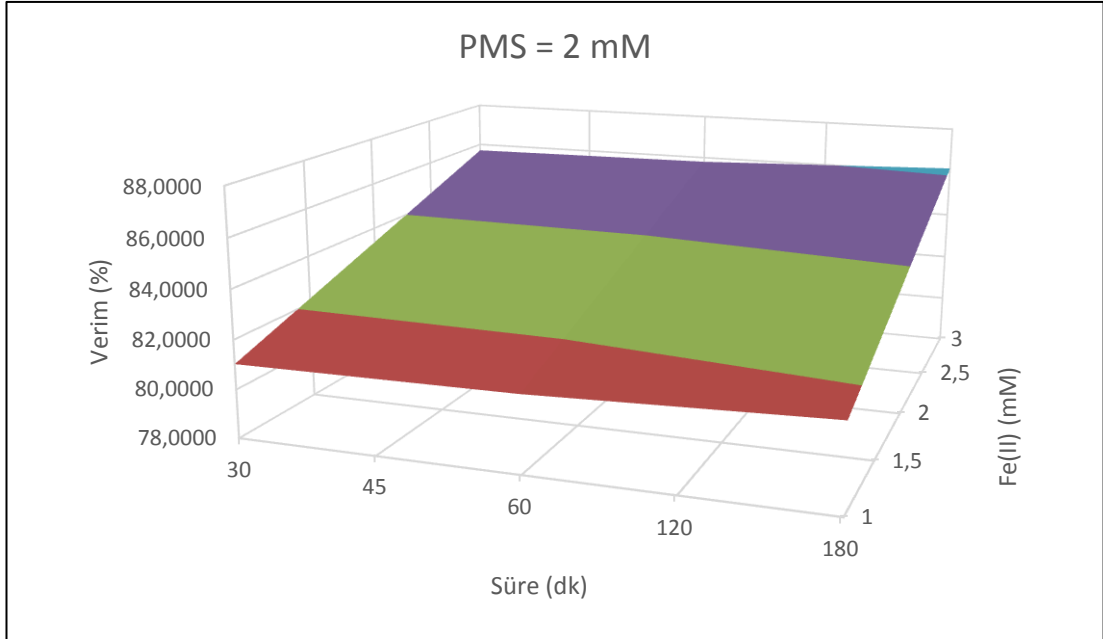


**Şekil 10.17 :** PMS=1 mM değerine karşılık değişken Fe(II) ve süre parametreleri

Elde edilen model kullanılarak sabit PMS konsantrasyonu, değişen Fe(II) konsantrasyonları ve süreleri için kullanılmış ve Tablo 10.29’de elde edilen verimler verilmiştir. Elde edilen değerler Şekil 10.18’de grafik olarak gösterilmiştir. Tablo ve garfik incelendiğinde, en yüksek verimin 2 mM PMS ve 3 mM Fe(II) konsantrasyonunda elde edildiği görülmektedir. Sürenin etkisi incelendiğinde 30 dakika (85,70) süre ile 180 dakika (86,18) süre arasında sadece 0,48 fark olduğu görüldüğünden 30 dakika süre uygulaması optimum süre olarak dikkate alınmıştır.

**Tablo 10.29:** PMS= 2 mM değerine karşılık değişken Fe(II) ve süre parametreleri

PMS = 2 mM		Süre				
		30	45	60	120	180
Fe(II)	1	81,03	81,08	81,13	81,32	81,51
	1,5	82,20	82,25	82,30	82,49	82,68
	2	83,37	83,41	83,46	83,65	83,84
	2,5	84,53	84,58	84,63	84,82	85,01
	3	85,70	85,75	85,80	85,99	86,18

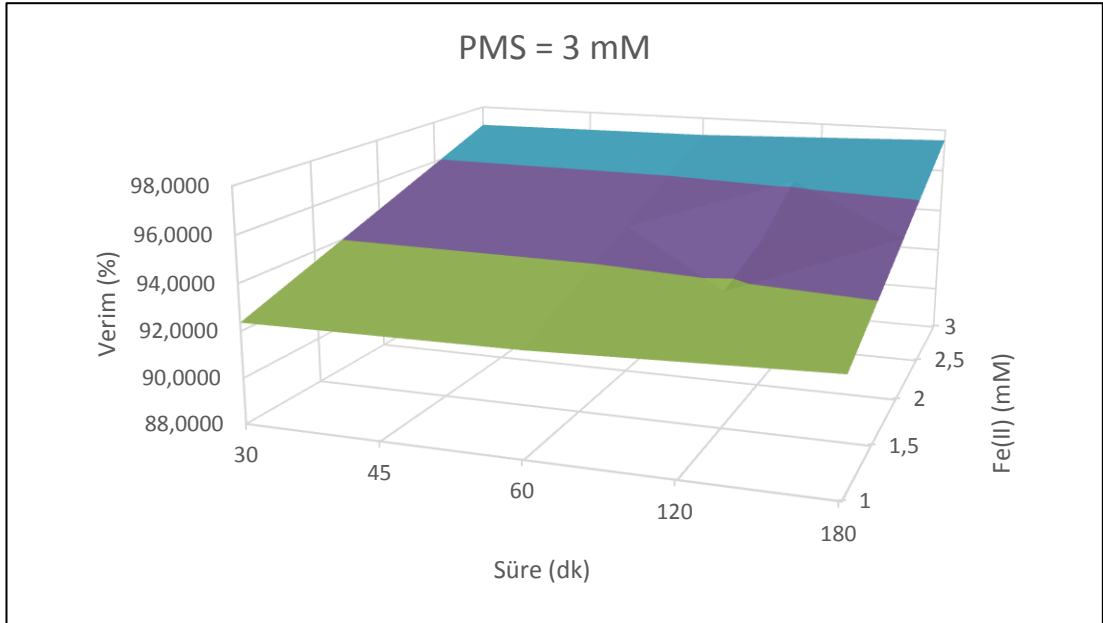


**Şekil 10.18:** PMS= 2 mM değerine karşılık değişken Fe(II) ve süre parametreleri

Elde edilen model kullanılarak sabit PMS konsantrasyonu, değişen Fe(II) konsantrasyonları ve süreleri için kullanılmış ve Tablo 10.30’da elde edilen verimler verilmiştir. Elde edilen değerler Şekil 10.19’da grafik olarak gösterilmiştir. Tablo ve garfik incelendiğinde, en yüksek verimin 3 mM PMS ve 3 mM Fe(II) konsantrasyonunda elde edildiği görülmektedir. Sürenin etkisi incelendiğinde 30 dakika (97,03) süre ile 180 dakika (97,51) süre arasında sadece 0,48 fark olduğu görüldüğünden 30 dakika süre uygulaması optimum süre olarak dikkate alınmıştır.

**Tablo 10.28 :** PMS= 3 mM değerine karşılık değişken Fe(II) ve süre parametreleri

PMS = 3 mM		Süre				
		30	45	60	120	180
Fe(II)	1	92,37	92,41	92,46	92,65	92,84
	1,5	93,53	93,58	93,63	93,82	94,01
	2	94,70	94,75	94,80	94,99	95,18
	2,5	95,87	95,91	95,96	96,15	96,34
	3	97,03	97,08	97,13	97,32	97,51



**Şekil 10.19:** PMS= 3 mM değerine karşılık değişken Fe(II) ve süre parametreleri



Sıcaklık katalizör olarak kullanıldığı uygulama için deney kontrol faktörleri ve seviye değerleri Tablo 10.31’ de özetlenmiştir.

**Tablo 10.31:** Kontrol faktörleri ve seviye değerleri-2

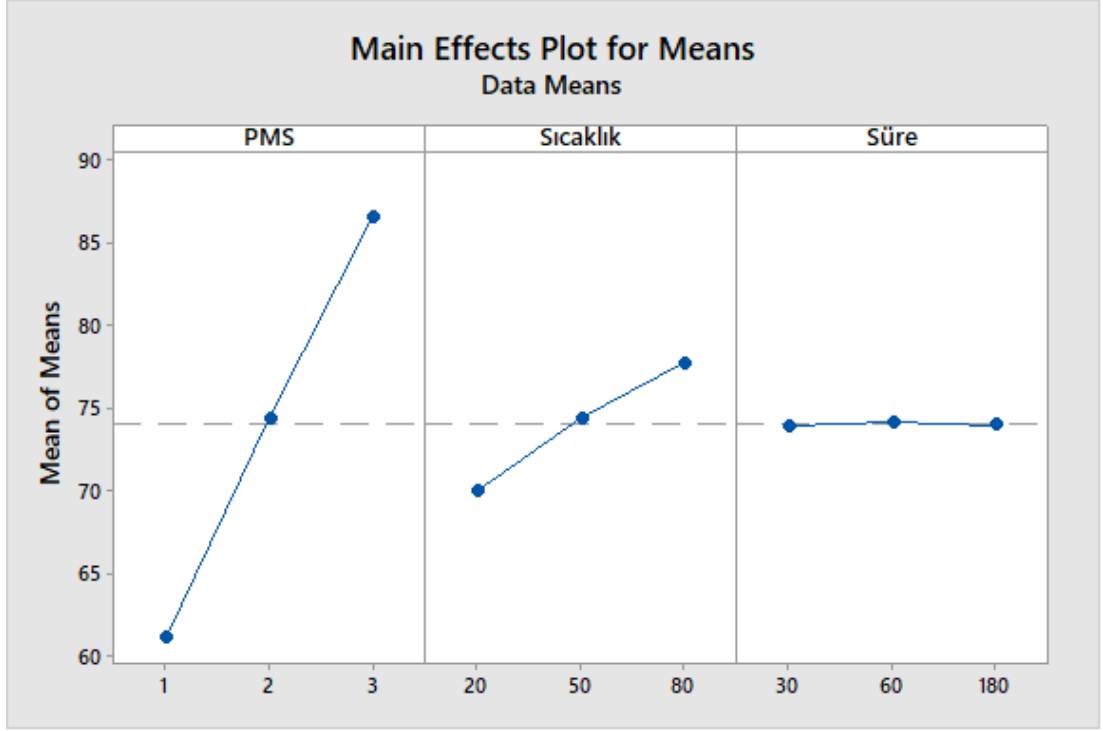
Faktörler	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3
PMS (mM)	1	2	3
Sıcaklık (°C)	20	50	80
Süre (dk)	30	60	180

Tablo 10.32 deneyler sonucunda elde edilen verimler ile elde edilen modelden tahmin edilen verimleri vermektedir. Deneyler sonucunda elde edilen model aşağıda verilmektedir.

$$\text{Renk Giderim Verimi (\%)} = 42,273 + 12,67 * \text{PMS (mM)} + 0,1277 * \text{Sıcaklık} - 0,00004 * \text{Süre (dk)} \quad (10.3)$$

**Tablo 10.29:** Taguchi L9 ortogonal tasarım tablosu (PMS, Sıcaklık, Süre)

PMS (mM)	°C	Süre (dk)	Renk Giderim Verimi (Gözlenen)	Renk Giderim Verimi (Beklenen)
1	20	30	60	57,40
1	50	60	62	61,95
1	80	180	63	64,13
2	20	60	65	69,78
2	50	180	80	74,97
2	80	30	81	78,24
3	20	180	83	82,81
3	50	30	85	86,07
3	80	60	90	90,62



**Şekil 10.20:** Optimizasyon kriterleri üzerine PMS prosesine etki eden sıcaklık ve süre parametreleri

Faktörlerin etkileri, Şekil 10.20’de grafik olarak verilmiştir. Her bir faktörün renk giderim verimini nasıl etkilediği gösterilmiştir. Şekil 10.20 incelendiğinde S/N değerini maksimum yapan parametre seviyeleri, PMS değerinin üçüncü seviyesi olan 3 mM (A3), sıcaklık değerinin üçüncü seviyesi olan 80°C (B3) ve sürenin üçüncü seviyesi olan 60 dk (C2) değerlerinde bu deney tasarımı için optimum tasarım parametre değerleri olduğu görülmüş olmakla birlikte C1, C2 ve C3 noktaları çok yakın değerleri verdiği için C1 noktası (30 dk) optimum nokta olarak dikkate alınmıştır. Buna göre A3, B3 ve C1 noktaları optimum noktalar olarak belirlenmiştir. Arıtmaya etki eden faktörlerin katkı oranlarını belirlemek amacıyla ANOVA (analysis of variance) yapılmıştır (Tablo 10.33).

**Tablo 10.30:** ANOVA Tablosu-2 (Analysis of Variance)

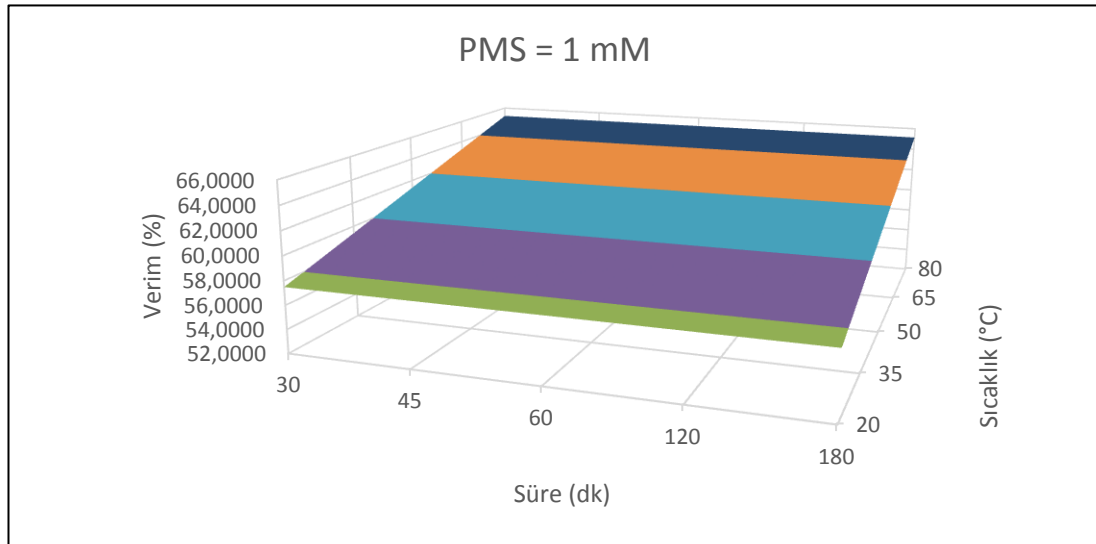
Faktörler	Serbestlik Derecesi	Düzeltilmiş Kareler Toplamı	Düzeltilmiş Ortalama Kareler	F	P	% Katkı
Regresyon	3	1051,28	350,426	570,46	0,000	
PMS	1	963,17	963,173	1567,96	0,000	91,35
Sıcaklık (°C)	1	88,11	88,105	143,43	0,000	8,36
Süre (dk)	1	0,00	0,00	0,00	0,922	0
Hata	5	3,07	0,614			0,29
Toplam	8	1054,35				100
<b>R<sup>2</sup> = %99,71</b>		<b>Düzeltilmiş R<sup>2</sup> = %99,53</b>				

Bu analiz sonucunda, parametrelerin etki sırası büyükten küçüğe PMS konsantrasyonu, sıcaklık ve reaksiyon süresi olarak tespit edilmiştir. Dolayısıyla, PMS oksidasyon prosesi için varyans analizi tablosu sonuçlarına göre, “PMS konsantrasyonu” (% Renk Giderimi: F= 1567,96; P=0,000) parametresi renk gideriminde önemli bir yere sahipken “reaksiyon süresi” (% Renk Giderimi: F=0,00; P=0,992) proses verimini çok fazla etkilememektedir. Ayrıca ANOVA analizi sonucunda %95 güven aralığında çalışılmıştır (p<0,05). Hata oranı %5’ten küçük (%0,29) bulunmuş olup, yapılan optimizasyonun kabul edilebilirliğini göstermektedir. Deneyler sonucunda elde edilen değerler ile tahmini değerlerin birbirine yakın olması parametreler arası bir iç etkileşimin olmadığı ve modelin parametrelerin etkisini açıklamakta yeterli olduğunu göstermektedir (Yılmaz 2013). Taguchi metodu kullanımı ile elde edilen regresyon katsayısı (R<sup>2</sup>) değeri (%99,71), veri noktalarının modele ne kadar uyduğunu göstermektedir. Düzeltilmiş R<sup>2</sup> ise veri noktalarının modele uygunluğunu gösterirken modeldeki sınır değerler içerisinde kalmaktadır (Parajö ve diğ. 1992). Bu nedenle modelin değerlendirilmesinde düzeltilmiş R<sup>2</sup> değeri dikkate alınmış olup, belirlenen düzeltilmiş R<sup>2</sup> değeri (%99,53), bu çalışmadaki modelin deney verilerine tatmin edici bir şekilde uygun olduğunu göstermiştir.

Elde edilen model kullanılarak sabit PMS konsantrasyonu, değişen sıcaklık değerleri ve süreleri için kullanılmış ve Tablo 10.34’de elde edilen verimler verilmiştir. Elde edilen değerler Şekil 10.21’de grafik olarak gösterilmiştir. Tablo ve garfik incelendiğinde, en yüksek verimin 1 mM PMS konsantrasyonu ve 80°C sıcaklıkta elde edildiği görülmektedir. Sürenin etkisi incelendiğinde 30 dakika (65,16) süre ile 180 dakika (65,15) süre arasında sadece 0,01 fark olduğu görüldüğünden 30 dakika süre uygulaması optimum süre olarak dikkate alınmıştır.

**Tablo 10.31:** PMS= 1 mM değerine karşılık değişken sıcaklık ve süre parametreleri

PMS = 1 mM		Süre				
		30	45	60	120	180
°C	20	57,50	57,50	57,49	57,49	57,49
	35	59,41	59,41	59,41	59,41	59,41
	50	61,33	61,33	61,33	61,32	61,32
	65	63,24	63,24	63,24	63,24	63,24
	80	65,16	65,16	65,16	65,15	65,15

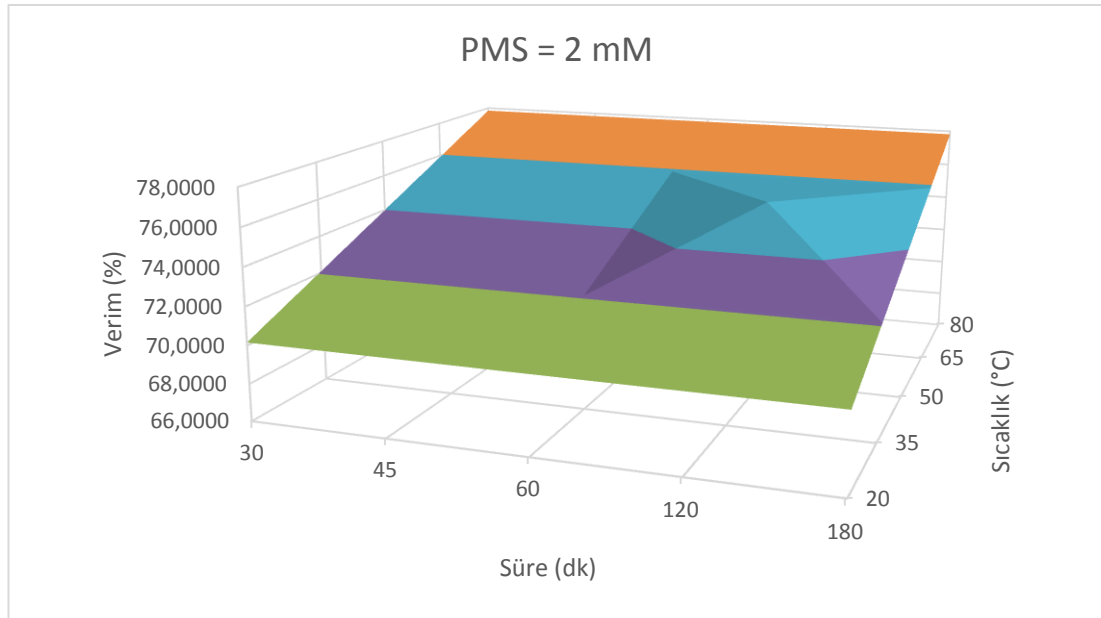


**Şekil 10.21:** PMS= 1 mM değerine karşılık değişken sıcaklık ve süre parametreleri

Elde edilen model kullanılarak sabit PMS konsantrasyonu, değişen sıcaklık değerleri ve süreleri için kullanılmış ve Tablo 10.34’de elde edilen verimler verilmiştir. Elde edilen değerler Şekil 10.21’de grafik olarak gösterilmiştir. Tablo ve garfik incelendiğinde, en yüksek verimin 2 mM PMS konsantrasyonu ve 80°C sıcaklıkta elde edildiği görülmektedir. Sürenin etkisi incelendiğinde 30 dakika (77,83) süre ile 180 dakika (77,82) süre arasında sadece 0,01 fark olduğu görüldüğünden 30 dakika süre uygulaması optimum süre olarak dikkate alınmıştır.

**Tablo 10.32:** PMS= 2 mM değerine karşılık değişken sıcaklık ve süre parametreleri

PMS = 2 mM		Süre				
		30	45	60	120	180
°C	20	70,17	70,17	70,16	70,16	70,16
	35	72,08	72,08	72,08	72,08	72,08
	50	74,00	74,00	74,00	73,99	73,99
	65	75,91	75,91	75,91	75,91	75,91
	80	77,83	77,83	77,83	77,82	77,82

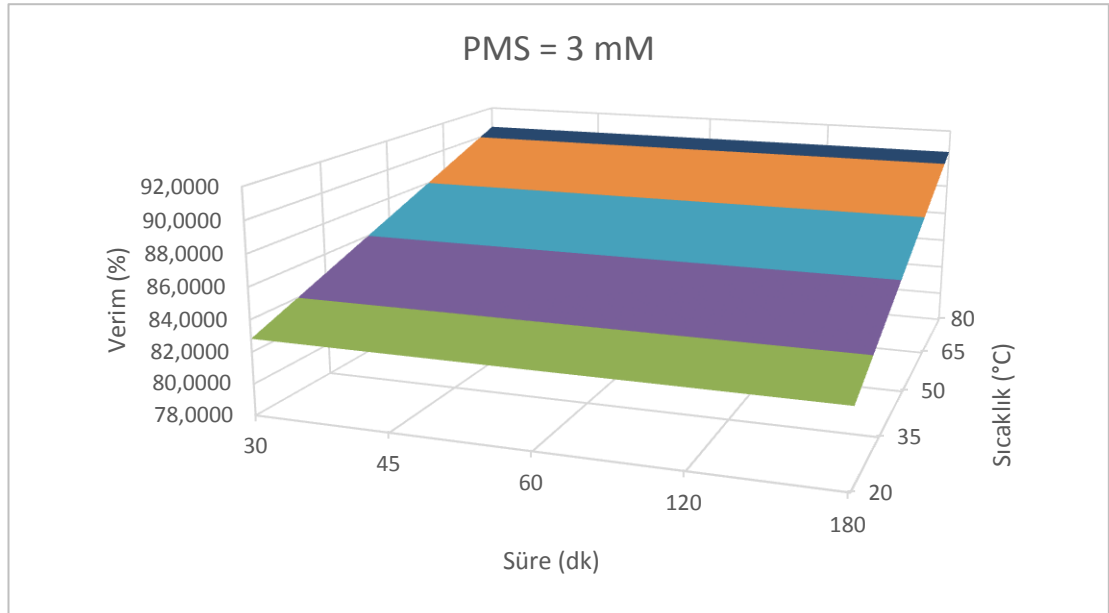


**Şekil 10.22:** PMS= 2 mM değerine karşılık değişken sıcaklık ve süre parametreleri

Elde edilen model kullanılarak sabit PMS konsantrasyonu, değişen sıcaklık değerleri ve süreleri için kullanılmış ve Tablo 10.34’de elde edilen verimler verilmiştir. Elde edilen değerler Şekil 10.21’de grafik olarak gösterilmiştir. Tablo ve garfik incelendiğinde, en yüksek verimin 3 mM PMS konsantrasyonu ve 80°C sıcaklıkta elde edildiği görülmektedir. Sürenin etkisi incelendiğinde 30 dakika (90,50) süre ile 180 dakika (90,49) süre arasında sadece 0,01 fark olduğu görüldüğünden 30 dakika süre uygulaması optimum süre olarak dikkate alınmıştır.

**Tablo 10.33:** PMS= 3 mM değerine karşılık değişken sıcaklık ve süre parametreleri

PMS = 3 mM		Süre				
		30	45	60	120	180
°C	20	82,84	82,84	82,83	82,83	82,83
	35	84,75	84,75	84,75	84,75	84,75
	50	86,67	86,67	86,67	86,66	86,66
	65	88,58	88,58	88,58	88,58	88,58
	80	90,50	90,50	90,50	90,49	90,49



**Şekil 10.23:** PMS= 3 mM değerine karşılık değişken sıcaklık ve süre parametreleri

## 11. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, radikal oluşumuna dayalı bir ileri oksidasyon prosesi olan PMS oksidasyonu kullanımı ile, gerçek bir tekstil endüstrisi atıksuyundan renk giderimi amaçlanmıştır.

Çalışmada radikal oluşumunu aktive etmek amacıyla düşük pH aralığı (3-3,5) kullanılmıştır. Radikal oluşumunu hızlandırmak, reaksiyonları katalizlemek amacıyla Fe(II) ve sıcaklık olmak üzere iki farklı katalizörün etkisi incelenmiştir. İki farklı katalizör için proses koşulları (PMS, Fe(II) konsantrasyonları, reaksiyon süresi ve PMS, sıcaklık, reaksiyon süresi) optimize edilmiştir. Proses optimizasyonu için Taguchi deneysel tasarım yöntemi kullanılmıştır. Tekstil atıksularında renk giderimini en önemli ölçüde etkileyecek olan PMS konsantrasyonu, Fe(II) konsantrasyonu, sıcaklık ve reaksiyon süresinin etkilerini incelemek için yöntemde  $L_9(3^3)$  ortogonal dizini kullanılmış ve dizindeki deney kombinasyonlarına göre gözlem yapılmıştır. Geleneksel yöntemlerle bu deneyleri yapmak için  $3^3$  kez yani 27 farklı deney sayısı gerekirken bu yöntemle deney sayısı 9'a indirgenmiştir. Bu da bize zaman ve maliyet kazancı sağlamaktadır.  $L_9(3^3)$  ortogonal dizinindeki gözlem değerlerinden hareketle performans istatistikleri hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda tüm faktörlerin oksidasyon performansı üzerinde etkisi olduğu gözlenmiştir.

Fe(II)'nin katalizör olarak kullanıldığı uygulamada en uygun proses koşulları 3 mM PMS, 3 mM Fe(II) olarak belirlenmiş olup, sürenin etkisi incelendiğinde, 30 dakika ile 180 dakika reaksiyon sürelerindeki giderme verimleri arasındaki fark çok az olduğundan 30 dakika reaksiyon süresi optimum süre olarak kabul edilmiştir. 3 mM PMS, 3 mM Fe(II) ve 30 dakika reaksiyon süresi uygulaması %97,03 renk giderme verimi sağlamıştır.

Sıcaklığın katalizör olarak kullanıldığı ikinci uygulamada, en uygun proses koşulları, 3 mM PMS, 80°C sıcaklık olarak belirlenmiş, sürenin her bir uygulama noktasında çok yakın sonuçlar vermiş olması dolayısıyla 30 dk süre optimum süre

olarak dikkate alınmıştır ve bu uygulamada %90,50 renk giderme verimi elde edilmiştir.

Yürütülen tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar dikkate alındığında, PMS ile ileri oksidasyon prosesinin tekstil atıksularından renk gideriminde etkili bir yöntem olduğu sonucuna varılmıştır. Kullanılan iki katalizör renk giderme verimi açısından karşılaştırıldığında ise Fe(II) katalizörünün sıcaklıktan daha etkili olduğu görülmüştür.



## 12. KAYNAKLAR

- Abo-Elela, S. I., El-Gohary, F. A., Ali, H. I. and Wahaab, R. Sh. A., "Treatability Studies of Textile Wastewater", *Environmental Technology Letters*, 9 (2), 101-108, (1988).
- Abu-Ghunmi, L. N. and Jamrah, A. I., "Biological Treatment of Textile Wastewater Using Sequencing Batch Reactor Technology", *Environmental Modelling and Assessment*, 11 (4), 333-343, (2006).
- Akal Solmaz, S. K., Birgöl, A., Üstün, G. E. and Yonar, T., "Colour and COD Removal from Textile Effluent by Coagulation and Advanced Oxidation Processes", *Coloration Technology*, 122 (2), 102-109, (2006).
- Akay, U., "Tekstil Endüstrisindeki Atıksulardan Renk ve KOİ Gideriminin Yanıt Yüzey Yöntemi ile Eniyilenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı*, Eskişehir, (2013).
- Akbari, A., Desclaux, S., Rouch, J. C., Aptel, P. and Remigy J. C., "New UV-Photografted Nanofiltration Membrane for the Treatment of Colored Textile Dye Effluents", *Journal of Membrane Science*, 286 (1-2), 342-350, (2006).
- Akdeniz, F., "Tekstil Endüstrisi Atıksularında Bulunan Sentetik Organik Bileşiklerin Aktif Çamur Sistemlerine Toksin Etkileri", Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, Bursa, (2006).
- Akkurt, F., Benli, S. ve Alicılar, A., "Dispers Kırmızı 1 Tekstil Boyasının Karakterizasyonu ve Uygulanabilirliğinin Araştırılması", *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20 (4), 429-432, (2005).
- Aksu, Z. and Karabayır, G., "Comparison of Biosorption Properties of Different Kinds of Fungi for the Removal of Gryfalan Black RL Metal-complex Dye", *Bioresource Technology*, 99 (16), 7730-7741, (2008).
- Arslan, I., "Treatment of Reactive Dye-Bath Effluents by Heterogenous and Homogenous Advanced Oxidation Processes", Doktora Tezi, *Boğaziçi Üniversitesi Çevre Bilimleri Enstitüsü, Çevre Teknolojileri Anabilim Dalı*, İstanbul, (2000).
- Arslan, I. and Balcioğlu, I. A., "Degradation of Commercial Reactive Dyestuffs by Heterogenous and Homogenous Advanced Oxidation Processes: a Comparative Study", *Dyes and Pigments*, 43 (2), 95-108, (1999).
- Arslan, I., Balcioğlu, I. A. and Bahnemann, D., "Advanced Chemical Oxidation of Reactive Dyes in Simulated Dyehouse Effluents by Ferrioxalate Fenton/UV-A and TiO<sub>2</sub>/UV-A Processes", *Dyes and Pigments*, 47 (3), 207-218, (2000).

Arslan, I. A. and Balcioglu, I. A., "Photochemical and Heterogeneous Photocatalytic Degradation of Waste Vinylsulphone Dyes: A case Study with Hydrolysed Reactive Black 5", *Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 141 (2-3), 247-254, (2001).

Arceivala, S. J. (Ed.), *Wastewater Treatment and Disposal*, New York: Marcel Dekker Inc., (1981).

Arık, P., "Pamuklu Tekstil Endüstrisinde Uygun Atıksu Arıtma Teknolojisi Seçimi [online]", (2005), <http://www.irimsever.com/MakMuh/MMO/AritmaKongre/10097.pdf>, (2005).

Asfour, H. M., Nassar, M. M., Fadali, O. A. and El-Geundi, M. S., "Colour Removal from Textile Effluents Using Hardwood Sawdust as an Absorbent", *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 35 (1), 28-35, (1985).

Aytaç, E., "Elektrokoagülasyon Yöntemi Kullanılarak Tekstil Atıksularının Arıtımı", Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, Eskişehir, (2011).

Babürşah, S., "Tekstil Endüstrisi Atıksularının Geri Kazanımı ve Yeniden Kullanılması", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul, (2004).

Bahadır, E. B., "Tekstil Endüstrisi Arıtılmış Atıksularında Renk ve Öncelikli Kirleticilerin Ozon Teknolojisi ile Gideriminin Araştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, Tekirdağ, (2012).

Balasubramanian, J., Sabumon, P. C., Lazar, J. U. and Ilangovan, R., "Reuse of Textile Effluent Treatment Plant Sludge in Building Materials", *Waste Management*, 26 (1), 22-23, (2006).

Bali, U., Çatalkaya, E. Ç. and Şengül, F., "Photochemical Degradation and Mineralization of Phenol: A Comparative Study", *Journal of Environmental Science and Health*, 38 (10), 2259-2275, (2003).

Başbuğ, M., "Bentonit ve Ponza ile Sulu Çözeltilerden ve Tekstil Atıksuyundan Boya Adsorpsiyonunun İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, Isparta, (2008).

Batıbay, A., "Ozone Application as an Alternative Method to the Chemical Treatment Technique for Textile Wastewater", Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul, (2008).

Baynal, K. and Gencel, I., "Taguchi Yönteminin Gıda Sektöründe Çok Yanıtlı Problemin Eniyilenmesinde Uygulanması", *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 19 (1), 107-121, (2015).

Bharadwaj, A. and Saroha, A. K., “Decolorization of the Textile Wastewater Containing Reactive Blue 19 Dye by Fenton and Photo-fenton Oxidation”, *Journal of Hazardous, Toxic and Radiaactive Waste*, 19 (4), (2015).

Bidhendi, G. R. N., Torabian, A., Ehsani, H. and Razmkhah, N., “Evaluation of Industrial Dyeing Wastewater Treatment with Coagülants and Polyelectrolyte as a Cougülant Aid”, *Iranian Journal of Environmental Health, Science and Engineering*, 4 (1), 29-36, (2007).

Birgöl, A., “Tekstil Endüstrisi Atıksu Arıtımında İleri Oksidasyon Proseslerinin Kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, Bursa, (2006).

Birgöl, A. ve Akal Solmaz, S. K., “Tekstil Endüstrisi Atıksuları Üzerinde İleri Oksidasyon ve Kimyasal Arıtma Prosesleri Kullanılarak KOİ ve Renk Gideriminin Araştırılması”, *Ekoloji*, 15 (62), 72-80, (2007).

Büyükdere, A., “Tekstil Endüstrisi Atıksularının Membran Teknolojileri ile Arıtılması ve Geri Kazanılması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul, (2008).

Canyılmaz, E. and Kutay, F., “Taguchi Metodunda Varyans Analizine Alternatif Bir Yaklaşım”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18 (3), 51-63, (2003).

Chinwetkitvanich, S., Tuntoolvest, M. and Panswad, T., “Anaerobic Decolorization of Reactive Dye bath Effluents by a Two-Stage UASB System with Tapioca as a Co-Substrate”, *Water Research*, 34 (8), 2223-2232, (2000).

Correia, V. M., Stephenson, T. and Judd, S. J., “Characterisation of Textile Wastewaters-A Review”, *Journal of Environmental Technology*, 15 (10), 917-929, (1994).

Coughlin, M. F., Kinkle, B. K., Tepper, A. and Bishop, P. L., “Characterization of Aerobic Azo Dye Degrading Bacteria and Their Activity in Biofilms”, *Water Science and Technology*, 36 (1), 215-220, (1997).

Culp, R. L. and Culp, G. L., *Advanced Wastewater Treatment*, U.S: Van Nostrand Reinhold Inc., (1971).

Çetinkaya, S. G., Morcali, M. H., Akarsu, S., Ziba, C. A. and Dolaz, M., “Comparison of Classic Fenton with Ultrasound Fenton Process on Industrial Textile Wastewater”, *Sustainable Environment Research*, 28, 165-170, (2018).

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, “Su Kirliliği ve Kontrolü Yönetmeliği [online]”, (31.12.2004),

<http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.7221&sourceXmlSearch=&MevzuatIliski=0>, (2004).

Daneshvar, N., Salari, D. and Khataee, A. R., “Photocatalytic Degradation of Azo Dye Acid Red 14 in Water on ZnO as an Alternative Catalyst to TiO<sub>2</sub>”, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 162 (2-3), 317-322, (2004).

Demirci, C., “Pamuklu Tekstil Endüstrisi Atıksularındaki Rengin Foto-fenton Prosesiyle Giderimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elazığ, (2007).

Denizli Büyükşehir Belediyesi Su ve Kanalizasyon İdaresi, “Atıksuların Kanalizasyona Deşarj Yönetmeliği [online]”, (26.12.2017), [http://deski.gov.tr/DataFiles/file/yonetmelikler/deski-atiksu\\_desarj\\_yonetmlk.doc](http://deski.gov.tr/DataFiles/file/yonetmelikler/deski-atiksu_desarj_yonetmlk.doc), (2017).

Dikmen, F., “Tekstil Atıksularında Ozonla Renk Giderimi Üzerine Bir Çalışma”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (1998).

Doğru, E., “Tekstil Endüstrisi Atıksularında Ozon ile Renk Giderimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, (2003).

Duma, E., “İlaç Endüstrisi Atıksularının Fenton Oksidasyonu ile Arıtılabilirliğinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2006).

Duran, K., Namlıgöz, E. S. ve Özdemir, D., “Yünün Ağartılmasındaki Güncel Gelişmeler”, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 4, 262-267, (2006).

Easton, J. R., *Colour in Dyehouse Effluent*, (ed: P. Cooper), The Dye Maker’s View, Bradford: Society of Dyers and Colourists, (1995).

Eaton, D. A. (Ed.), *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater*, Washington, D.C. : American Public Health Association (APHA); American Water Works Association (AWWA); Water Environment Federation (WEF), (2005).

Ekizoğlu, D., “Demir III (Fe<sup>+3</sup>), Demir II (Fe<sup>+2</sup>), Bakır II (Cu<sup>+2</sup>), Seryum IV (Ce<sup>+4</sup>) İyonları ve Bu İyonların Karışımı ile Modifiye Edilmiş Zeolit Minerali Varlığında Azo Boya Çözeltilisinin Heterojen Foto Oksidasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, Kocaeli, (2008).

Eren, Z., “İleri Oksidasyon Prosesleri ile Tekstil Boyar Maddelerinin ve Tekstil Atıksularınının Arıtılması”, Doktra Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, Erzurum, (2009).

Erol, E., “Pamuklu Tekstil Endüstrisi Atıksularınının Arıtımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, Kocaeli, (2007).

Ferah, M., “Çok Yanıtlı Taguchi Deneysel Tasarım Metodu ve Alüminyum Sanayiinde Bir Uygulama”, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7 (2), 61-69, (2003).

Filibeli, A. and Erden, G.K., “Aritma Çamuru Miktarının Azaltılması ve Özelliklerinin İyileştirilmesi Amacıyla Yapılan Ön İşlemler”, *İTÜ Dergisi Su Kirlenmesi Kontrolü*, 16 (1-3), 3-12, (2006).

Fongsatitkul, P., Elefsiniotis, P., Yamasmit, A. and Yamasmit, N., “Use of Sequencing Batch Reactors and Fenton’s Reagent to Treat a Wastewater from a Textile Industry”, *Biochemical Engineering Journal*, 21 (3), 213-220, (2004).

Gahr, F., Hermanutz, F. and Oppermann, W., “Ozonation-An Important Technique to Comply with New German Laws for Textile Wastewater Treatment”, *Water Science and Technology*, 30 (3), 255-263, (1994).

Garg, V. K., Amita, M., Kumar, R. and Gupta, R., “Basic Dye (Methylene Blue) Removal from Simulated Wastewater by Adsorption Using Indian Rosewood Sawdust: a Timber Industry Waste”, *Dyes and Pigments*, 63, 243-250, (2004).

Ghaly, M. Y., Hartel, G., Mayer, R. and Haseneder, R., “Photochemical Oxidation of P-chlorophenol by UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and Photo-fenton Process. A Comparative Study”, *Waste Management*, 21 (1), 41-47, (2001).

GilPavas, E., Dobrosz-Gomez, I. and Gomez-Garcia, M. A., “Coagulation-Flocculation Sequential with Fenton or Photo-fenton Processes as an Alternative for the Industrial Textile Wastewater Treatment”, *Journal of Environmental Management*, 191, 189-197, (2017).

Gogate, P. R. and Pandit, A. B., “A Review of Imperative Technologies for Wastewater Treatment I: Oxidation Technologies at Ambient Conditions”, *Advances in Environmental Research*, 8, 501-551. (2004).

Gökçe, B. and Taşgetiren, S., “Kalite İçin Deney Tasarımı”, *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6 (1), 71-83, (2009).

Gökkuş, Ö., “Boyarmadde İçeren Tekstil Atıksularında Fenton Prosesi ve Kimyasal Koagülasyon Uygulanarak Renk ve KOİ Gideriminin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, Kayseri, (2009).

Gökkuş, Ö. and Çiner, F., “Dispers Sarı 119 ve Dispers Kırmızı 167 İçeren Atıksuların Fenton Oksidasyon Prosesi ile Renk ve KOİ Giderimlerinin İncelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakülte Dergisi*, 25 (1), 49-55, (2010).

Göknil, H., Toröz, I. and Cimşit, Y., *Endüstriyel Atıksuların Kontrol ve Kısıtlama Esasları Projesi: Tekstil Endüstrisi*, İTÜ: Çevre ve Şehircilik Uygulama ve Araştırma Merkezi, İstanbul, (1984).

Gönder, Z. B., “Fenton Prosesi ve İyon Değişimi Kombinasyonu ile Renkli Atıksuların Arıtımı”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul, (2004).

Gönder, Z. B. ve Barlas, H., “Fenton Prosesi ile Renkli Atıksulardan Renk ve KOİ Giderimi”, *II. Mühendislik Bilimleri Genç Araştırmacılar Kongresi MBGAK*, 562-567, (2005).

Gönüllü, M. T. (Ed.), *Endüstriyel Kirlenme Kontrolü*, 1, İstanbul: Birsen Yayınevi, (2004).

Gözmen, B., Kayan, B., Gizir, A. M. and Hesenov, A., “Oxidative Degradations of Reactive Blue 4 Dye by Different Advanced Oxidation Methods”, *Journal of Hazardous Materials*, 168 (1), 129-136, (2009).

Gregory, J. and Rossi, L., “Dynamic Testing of Water Treatment Coagulants”, *Water Science and Technology: Water Supply*, 1 (4), 65-72, (2001).

Guendy, H. R., “Treatment and Reuse of Wastewater in the Textile Industry by Means of Coagulation and Adsorption Techniques”, *Journal of Applied Sciences Research*, 6 (8), 964-972, (2010).

Güneş, Y., “Ozonla Oksidasyonun Tekstil Endüstrisi Atıksularının Artılabilirliğine Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul, (1999).

Güyer, G. T., “Degradability of Synthetic Dyestuff by Acoustic Cavitation: Impacts of System Conditions and Physical/Chemical Agents”, Doktora Tezi, *Boğaziçi Üniversitesi Çevre Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2003).

Hai, F. I., Yamamoto, K. and Fukushi, K., “Hybrid Treatment Systems for Dye Wastewater”, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 37, 315-377, (2007).

Hameed, B. H., Ahmad, A. A. and Aziz, N., “Isotherms, Kinetics and Thermodynamics of Acid Dye Adsorption on Activated Palm Ash”, *Chemical Engineering Journal*, 11, 195-203, (2007).

Hanay, Ö. and Hasar, H., “Fenton Oksidasyon Prosesi ile Tekstil Endüstrisi Atıksuyunda Renk Giderimi”, *Firat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimler Dergisi*, 19 (4), 505-509, (2007).

Hazel, B. G., “Industry Evaluation of Colour Reduction and Removal”, *Colour in Dyehouse Effluent*, 59-63, (1995).

Hoigne, J. and Bader, H., “The Role of Hydroxyl Radical Reactions in Ozonation Processes in Aqueous Solutions”, *Water Research*, 10 (5), 377-386, (1976).

Hoigne, J. and Bader, H., “Rate Constants of Reactions of Ozone with Organic and Inorganic Compounds in Water-I: Non-dissociating Organic Compounds”, *Water Research*, 17 (2), 173-183, (1983).

Irmak, S., “Fenolik Bileşiklerin Sulu Ortamda Foto-fenton Yöntemiyle Parçalanmalarının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, (2000).

Islam, M. M., Halim, M. A., Islam, M. S., Islam, M. S. and Biswas, C. K., “Analysis the Plant Nutrients and Organic Matter in Textile Sludge in Gazipur, Bangladesh”, *Journal of Environmental Science and Technology*, 2 (1), 63-67, (2009).

Işık, M. and Sponza, D. T., “Effect of Oxygen on Decolorization of Azo Dyes by *Escherichia Coli* and *Pseudomonas sp.* and Fate of Aromatic Amines”, *Process Biochemistry*, 38 (8), 1183-1192, (2003).

İç, Y. T. and Yıldırım, S., “Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleriyle Birlikte Taguchi Yöntemini Kullanarak Bir Ürünün Tasarımının Geliştirilmesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27 (2), 447-458, (2012).

İçoğlu, H. İ., “Pamuklu Dokunmuş Kumaşların Reaktif Boyarmaddelerle Boyanması ve Uygulama Yöntemlerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, Adana, (2006).

İnce, N. H. and Tezcanli, G., “Reactive Dyestuff Degradation by Combined Sonolysis and Ozonation”, *Dyes and Pigments*, 49 (3), 145-153, (2001).

İnce, N. H. and Tezcanli-Güyer, G., “Impacts of pH and Molecular Structure on Ultrasonic Degradation of Azo Dyes”, *Ultrasonics*, 42 (1-9), 591-596, (2004).

Kallel, M., Belaid, C., Boussahel, R., Ksibi, M., Montiel, A. and Elleuch B., “Olive Mill Wastewater Degradation by Fenton Oxidation with Zero-valent Iron and Hydrogen Peroxide”, *Journal of Hazardous Materials*, 163 (2-3), 550-554, (2009).

Kalra, S. S., Mohan, S., Sinha, A. and Singh G., “Advanced Oxidation Processes for Treatment of Textile and Dye Wastewater: A Review”, *2nd International Conference on Environmental Science and Development*, 4, 271-275, (2011).

Kang, S. F., Liao, C. H. and Po, S. T., “Decolorization of Textile Wastewater by Photo-fenton Oxidation Technology”, *Chemosphere*, 41 (8), 1287-1294, (2000).

Kapdan, İ. K. and Kargı, F., “Atıksulardan Tekstil Boyar Maddelerinin Adsorpsiyonlu Biyolojik Arıtım ile Giderimi”, *TÜBİTAK, Turk J. Engin. Environ. Sci.*, 24, 161-169, (2000).

Karcher, S., Kornmüller, A. and Jekel, M., “Removal of Reactive Dyes by Sorption/Complexation with Cucurbituril”, *Water Science and Technology*, 40 (4-5), 425-433, (1999).

Karcher, S., Kornmüller, A. and Jekel, M., “Anion Exchange Resins for Removal of Reactive Dyes from Textile Wastewater”, *Water Research*, 36 (19), 4717-4724, (2002).

Karna, S. K. and Sahai, Dr. R., “An Overview on Taguchi Method”, *International Journal of Engineering and Mathematical Sciences*, 1 (1), 1-7, (2012).

Karthikeyan, S., Titus, A., Gnanamani, A., Mandal, A. B. and Sekaran, G., “Tereatment of Textile Wastewater by Homogeneous and Heterogeneous Oxidation Processes”, *Desalination*, 281, 438-445, (2011).

Kayacan, B. B., “Pamuklu Tekstil Endüstrisi Atıksularının Membran Proseslerle Geri Kazanımının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul, (2010).

Kaykıoğlu, G. and Debik, E., “Color Removal from Textile Wastewater with Anaerobic Treatment Processes”, *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 4, 59-68, (2006).

Kereci, F. N., “Tekstil Atıksularındaki Rengin Tekstil Atık Külü ile Giderimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, Kahramanmaraş, (2014).

Kestioğlu, K. and Yalılı, M., “Yüksek KOİ İçerikli Tekstil Atıksularının Kimyasal Çökeltim ve Adsorpsiyon Yöntemleriyle Arıtılabilirliği”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi ÇEV-KOR Ekoloji*, 15 (59), 27-31, (2006).

Khelifi, E., Gannoun, H., Touhami, Y., Bouallagui, H. and Hamdi, M., “Aerobic Decolourization of the İndigo Dye Containing Textile Wastewater Using Continuous Combined Bioreactors”, *Journal of Hazardous Materials*, 152 (2), 683-689, (2008).

Kırdar, E., “Tekstil Atıksularında Renk Giderimi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul, (1995).

Kim, T. H., Park, C., Yang, J. and Kim, S., “Comparison of Disperse and Reactive Dye Removals by Chemical Coagulation and Fenton Oxidation”, *Journal of Hazardous Materials*, 112 (1-2), 95-103, (2004).

Kocaer, F. O. and Alkan, U., “Boyar Madde İçeren Tekstil Atıksularının Arıtım Alternatifleri”, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7 (1), 47-55, (2002).

Kocakaplan, N., Ertugay, N. and Malkoç, E., “Fenton ve Fenton Benzeri İleri Oksidasyon Yöntemleri ile Acid Yellow 36 Boyar Maddesinin Giderimi”, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4 (1), 41-48, (2014).

Koyuncu, İ. and Topacık, D., “Membran Teknolojisi ile Amonyum İyonu Giderimi Üzerine Bir Araştırma”, *Su Kirlenmesi ve Kontrolü Dergisi*, 8 (1), 15-23, (1998).

Köseoğlu, G., “Tekstil Endüstrisi Atıksularındaki Renk Sorununun İleri Aktif Çamurlu Ardışık Kesikli Biyoreaktör ile Giderilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, Sakarya, (2004).



Kritikos, D. E., Xekoukoulotakis, N. P., Psillakis, E. and Mantzavinos, D., "Photocatalytic Degradation of Reactice Black 5 in Aqueous Solutions: Effect of Operating Conditions and Coupling with Ultrasound Irradiation", *Water Research*, 41 (10), 2236-2246, (2007).

Kuo, W. G., "Decolorizing Dye Wastewater with Fenton's Reagent", *Water Research*, 26 (7), 881-886, (1992).

Kurt, A. and Yonar, T., "Endokrin Bozucu Antibiyotik Bileşiklerinin UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Prosesi ile Taguchi Deneysel Dizaynına Göre Arıtılabilirliği", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilim ve Mühendislik Dergisi*, 17, 854-860, (2017).

Kurtoğlu, N. and Şenol, D., "Tekstil ve Ekolojiye Genel Bakış, Karsinojen ve Allerjik Etki Yapabilen Tekstil Kimyasalları", *KSÜ Fen ve Mühendislik Dergisi*, 7 (1), 26-31, (2004).

Lin, S. H. and Chen, M. L., "Treatment of Textile Wastewater by Chemical Methods for Reuse", *Water Research*, 31 (4), 868-876, (1997a).

Lin, S. H. and Lo, C. C., "Fenton Process for Treatment of Desizing Wastewater", *Water Research*, 31 (8), 2050-2056, (1997b).

Liu, R., Chiu, H. M., Shiau, C. S., Yeh, R. Y. and Hung, Y. T., "Degradation and Sludge Production of Textile Dyes by Fenton and Photo-fenton Processes", *Dyes and Pigments*, 73, 1-6, (2007).

Lorimer, J. P., Mason, T. J. and Phull, M. P., "Dye Effluent Decolourisation Using Ultrasonically Assisted Electro-oxidation", *Ultrasonics Sonochemistry*, 7 (4), 237-242, (2000).

Low, K. S., Lee, C. K. and Tan, K. K., "Biosorption of Basic Dyes by Water Hyacinth Roots", *Bioresource Technology*, 52 (1), 79-83, (1995).

Lucas, M. S. and Peres, J. A., "Decolorization of the Azo Dye Reactive Black 5 by Fenton and Photo-fenton Oxidation", *Dyes and Pigments*, 71 (3), 236-244, (2006).

Ma, C. Y., Xu, J. Y. and Liu, X. J., "Decomposition of an Azo Dye in Aqueous Solution by Combination of Ultrasound and Visible Light", *Ultrasonics*, 44, 375-378, (2006).

Ma, X. J. and Xia, H. L., "Treatment of Water-based Printing Ink Wastewater by Fenton Process Combined with Coagulation", *Journal of Hazardous Materials*, 162 (1), 386-390, (2009).

Mahiroğlu, A., "Asitli Maden Drenajlarının (AMD) Fenton Prosesiyle Arıtımı", Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, Konya, (2006).

Manu, B. and Chaudhari, S., “Anaerobic Decolorisation of Simulated Textile Wastewater Containing Azo Dyes”, *Bioresource Technology*, 82 (3), 225-231, (2002).

McKay, G., “Two Resistance Mass Transfer Models for the Adsorption of Dyestuffs from Solutions Using Activated Carbon”, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 34 (6), 294-310, (1984).

Meriç, S., Kaptan, D. and Ölmez, T., “Color and COD Removal from Wastewater Containing Reactive Black 5 Using Fenton’s Oxidation Process”, *Chemosphere*, 54 (3), 435-441, (2004).

Metcalf & Eddy (Ed.), *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*, New York: McGraw-Hill Inc., (1979).

Mezarcıöz, S. and Oğulata, R. T., “Süprem Kumaşlarda Patlama Mukavemeti Değerinin Taguchi Ortogonal Dizayna Göre Optimizasyonu”, *Tekstil ve Konfeksiyon Dergisi*, 20 (4), 320-328, (2010).

Moghaddam, S. S., Moghaddam, M. R. and Arami, M., “A Comparison Study on Acid Red 119 Dye Removal Using Two Different Types of Waterwork Sludge”, *Water Science and Technology*, 61 (7), 1673-1681, (2010).

Mulder, M. (Ed.), *Basic Principle of Membrane Technology*, Enschede/Netherlands: Kluwer Academic Publishers, (1996).

Nalbant, M., Gökkaya, H. and Sur, G., “Application of Taguchi Method in the Optimization of Cutting Parameters for Surface Roughness in Turning”, *Materials and Design*, 28, 1379-1385, (2007).

Neamtu, M., Siminiceanu, I., Yediler, A. and Kettrup, A., “Kinetics of Decolorization and Mineralization of Reactive Azo Dyes in Aqueous Solution by the UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> Oxidation”, *Dyes and Pigments*, 53 (2), 93-99, (2002).

Nigam, P., Banat, I. M., Singh, D. and Marchant, R., “Microbial Process for the Decolorization of Textile Effluent Containing Azo, Diazo and Reactive Dyes”, *Process Biochemistry*, 31 (5), 435-442, (1996).

O’Neill, C., Hawkes, F. R., Esteves, S. R. R., Hawkes, D. L. and Wilcox, S. J., “Anaerobic and Aerobic Treatment of a Simulated Textile Effluent”, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 74 (10), 993-999, (1999).

O’Neill, C., Hawkes, F. R., Esteves, S. R. R., Hawkes, D. L. and Wilcox, S. J., “Anaerobic-Aerobic Biotreatment of Simulated Textile Effluent Containing Varied Ratios of Starch and Azo Dye”, *Water Research*, 34 (8), 2355-2361, (2000a).

O’Neill, C., Hawkes, F. R., Esteves, S. R. R., Hawkes, D. L., Lopez, A. and Wilcox, S. J., “Azo-Dye Degradation in an Anaerobic-Aerobic Treatment System Operating on Simulated Textile Effluent”, *Applied Microbiology and Biotechnology*, 53 (2), 249-254, (2000b).

Oğuz, E., Keskinler, B. and Çelik, Z., “Ozonation of Aqueous Bomaplex Red CR-L Dye in a Semi-batch Reactor”, *Dyes and Pigments*, 64 (2), 101-108, (2005).

Olgun, M. O. and Özdemir, G., “Önem-Memnuniyet Analizi ve Taguchi Metodu ile Eğitimde İyileştirme Önceliklerinin Belirlenmesi: Bir Uygulama Örneği”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19 (2), 81-87, (2013).

Öden, M. K., “Sentetik Tekstil Atıksularında Boyar Maddelerin Fenton Prosesi ile Arıtımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, Konya, (2010).

Ölmez, T., Kabdaşlı, I. and Tünay, O., “Reaktif Boya Banyolarında Kullanılan İyon Tutucuların Yüksek pH’da Ozon Oksidasyonu ile Renk Giderimi Üzerine Etkisi”, *İTÜ Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi*, 16 (1-3), 67-75, (2006).

Özdemir, C., Şahinkaya, S. and Onüçyıldız, M., “Treatment of Pesticide Wastewater by Physicochemical and Fenton Processes”, *Asian Journal of Chemistry*, 20 (5), 3795-3804, (2008).

Öztürk, İ., Timur, H. and Koşkan, U. (Eds.), *Atıksu Arıtımının Esasları: Eysel, Endüstriyel Atıksu Arıtımı ve Arıtma Çamurlarının Kontrolü*, İstanbul: T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, (2005).

Pachhade, K., Sandhya, S. and Swaminathan, K., “Ozonation of Reactive Dye, Procion Red MX-5B Catalyzed by Metal İons”, *Journal of Hazardous Materials*, 167 (1-3), 313-318, (2009).

Pala, A. and Tokat, E., “Color Removal from Cotton Textile Industry Wastewater in an Activated Sludge System with Various Additives”, *Water Research*, 36 (1), 2920-2925, (2002).

Palas, B., Ersöz, G. and Atalay, S., “Çevre Dostu Atıksu Arıtımı Yöntemleri ile Mikrokirletici Giderimmi Kinetiğinin İncelenmesi: LaFeO<sub>3</sub> Perovskit Tipi Katalizör Varlığında Metilen Mavisinin Fenton Benzeri Oksidasyonu”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32 (4), 1181-1192, (2017).

Parajö, J. C., Alonso, J. L., Lage, M. A. and Vazquez, D., “Empirical Modeling of Eucalyptus Wood Processing”, *Bioprocess Engineering*, 8 (3-4), 129-136, (1992).

Pekel, L. C., “Çöktürme Yönteminin Kullanıldığı Boya Atıksu Arıtma Sisteminin Genelleştirilmiş Tahmin Edici Kontrol (GPC) ile pH Kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı*, Ankara, (2009).

Perez, M., Torrades, F., Domenech, X. and Peral, J., “Fenton and Photo-fenton Oxidation of Textile Effluents”, *Water Research*, 36 (11), 2703-2710, (2002).

Perkowski, J. and Kos, L., “Treatment of Textile Dyeing Wastewater by Hydrogen Peroxide and Ferrous İons”, *Fibers and Textiles in Eastern Europe*, 78-81, (2002).

Punzi, M., Mattiasson, B. and Jonstrup, M., "Treatment of Synthetic Textile Wastewater by Homogeneous and Heterogeneous Photo-fenton Oxidation", *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 248, 30-35, (2012).

Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R. and Nigam, P., "Remediation of Dyes in the Textile Effluent: a Critical Review on Current Treatment Technologies with a Proposed Alternative", *Bioresource Technology*, 77 (3), 247-255, (2001).

Rodrigues, C. S. D., Madeira, L. M. and Boaventura R. A. R., "Optimization of the Azo Dye Procion Red H-EXL Degradation by Fenton's Reagent Using Experimental Design", *Journal of Hazardous Materials*, 164, 987-994, (2009).

Rosa, E. V. C., Mater, L., Souza-Sierra, M. M., Rörig, L. R., Vieira, L. M. and Radetski, C., "Textile Sludge Application to Non-productive Soil: Physico-chemical and Phytotoxicity Aspects", *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 68 (1), 91-97, (2007).

Rozzi, A., Antonelli, M. and Arcari, M., "Membrane Treatment of Secondary Textile Effluents for Direct Reuse", *Water Science and Technology*, 40 (4-5), 409-416, (1999).

Sandhya, S. and Swaminathan, K., "Kinetic Analysis of Treatment of Textile Wastewater in Hybrid Column Upflow Anaerobic Fixed Bed Reactor", *Chemical Engineering Journal*, 122 (1-2), 87-92, (2006).

Sevimli, M. F., "Tekstil Endüstrisi Atıksularından Ozonlama ile Renk Giderimi ve Ozonlamanın Biyolojik Arıtılabilirliğine Etkisi", Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul, (2000).

Shimizu, N., Ogino, C., Dadjour, M. F. and Murata, T., "Sonocatalytic Degradation of Methylene Blue with TiO<sub>2</sub> Pellets in Water", *Ultrasonics Sonochemistry*, 14 (2), 184-190, (2007).

Slokar, Y. M. and Le Marechal, A. M., "Methods of Decoloration of Textile Wastewaters", *Dyes and Pigments*, 37 (4), 335-356, (1998).

Smith, B., O'Neal, G., Boyter, H. and Piszczek, J., "Decolorizing Textile Dye Wastewater by Anoxic/Aerobic Treatment", *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 82 (1), 16-24, (2007).

Socha, K., "Treatment of Textile Effluents", *Textile Month*, 12, 52-56, (1991).

Solozhenko, E. G., Soboleva, N. M. and Goncharuk, V. V., "Decolourization of Azodye Solutions by Fenton's Oxidation", *Water Research*, 29 (9), 2206-2210, (1995).

Soon, A. N. and Hameed, B. H., "Heterogeneous Catalytic Treatment of Synthetic Dyes in Aqueous Media Using Fenton and Photo-assisted Fenton Process", *Desalination*, 269 (1-3), 1-16, (2011).

Sreeja, P. H. and Sosamony, K. J., “A Comparative Study of Homogeneous and Heterogeneous Photo-fenton Process for Textile Wastewater Treatment”, *Procedia Technology*, 24, 217-223, (2016).

Stasinakis, A. S., “Use of Selected Advanced Oxidation Processes (AOPs) for Wastewater Treatment- A Mini Review”, *Global NEST Journal*, 10 (3), 376-385, (2008).

Su, C. C., Pukdee-Asa, M., Ratanatamskul, C. and Lu, M. C., “Effect of Operating Parameters on the Decolorization and Oxidation of Textile Wastewater by the Fluidized-bed Fenton Process”, *Separation and Purification Technology*, 83, 100-105, (2011).

Swaminathan, K., Sandhya, S., Sophia, A. C., Pachhade, K. and Subrahmanyam, Y. V., “Decolorization and Degradation of H-acid and Other Dyes Using Ferrous-hydrogen peroxide System”, *Chemosphere*, 50 (5), 619-625, (2003).

Şahin, Y., “Asit Banyosu Atıksularının Kimyasal Prosesler ile Ön Arıtılabilirliğinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul, (2006).

Şahinkaya, S., Aygun, A. and Sevimli, M. F., “The Application of  $Fe^0/H_2O_2$  for Color Removal”, *VIII th International Scientific Conference, Modern Management of Mine Producing Ecology and Environmental Protection*, SGEM, 1, Albena-Varna/Bulgaria, 803-811, (2008).

Şen, S. and Demirer, G. N., “Anaerobic Treatment of Real Textile Wastewater with a Fluidized Bed Reactor”, *Water Research*, 37 (8), 1868-1878, (2003).

Şengül, F., *Endüstriyel Atıksuların Özellikleri ve Arıtılması*, 172, İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, 388-433, (1991).

Şeremet, Ö., “Biyolojik Olarak Arıtılmış Tekstil Endüstrisi Atıksularının Ozonlama ve Granüler Aktif Karbon Adsorpsiyonu ile İleri Arıtılabilirliğinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul, (2003).

Şimşek, B. and Dilmaç, Ö. F., “Ortogonal Dizinler Kullanarak Kimyasal Buhar Çöktürme Yöntemi ile Büyütülen Grafenin Ana Etkiler Analizi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33 (2), 649-663, (2018).

Taguchi G., *System of Experimental Design*, Unipub/Kraus, International Publication, (1987).

Taguchi, G., *Taguchi on Robust Technology Development Methods*, New York: ASME Press, 1-40, (1993).

Tarr, M. A. (Ed.), *Chemical Degradation Methods for Wastes and Pollutants, Environmental and Industrial Applications*, Universtiy of New Orleans, U.S.A.: Marcel Dekker, Inc., (2003).

Tehrani-Bagha, A. R., Mahmoodi, N. M. and Menger, F. M., “Degradation of a Persistent Organic Dye from Colored Textile Wastewater by Ozonation”, *Desalination*, 260 (1-3), 34-38, (2010).

Tezcanli-Güyer, G. and İnce, N. H., “Individual and Combined Effects of Ultrasound, Ozone and UV Irradiation: a Case Study with Textile Dyes”, *Ultrasonics*, 42 (1-9), 603-609, (2004).

Titu, A. M., Sandu, A. V., Pop, A. B., Titu, S. and Ciungu, T. C., “The Taguchi Method Application to Improve the Quality of a Sustainable Process”, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 374, 1-7, (2018).

Toprak, F., “Reaktif Red 198’in Fıstık Kabuğu ile Adsorpsiyonunda Optimum Deneysel Şartların Taguchi Metoduyla Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, Erzurum, (2010).

Toröz, İ. (Ed.), *Çevre Mühendisliğine Giriş*, Ankara: Nobel Yayınları, (2011).

Turgut E. and Dikici A., “Eş Eksenli Bir Isı Değiştiricisinin Tasarım Parametrelerinin Taguchi Metodu ile Optimizasyonu”, *6th International Advanced Technologies Symposium (LATS’11)*, (2011).

Turhan, K. and Turgut, Z., “Decolorization of Direct Dye in Textile Wastewater by Ozonation in a Semi-batch Bubble Column Reactor”, *Desalination*, 242 (1-3), 256-263, (2009).

Tünay, O., Kabdasli, I., Eremektar, G. and Orhon, D., “Colour Removal from Textile Wastewaters”, *Water Science and Technology*, 34 (11), 9-16, (1996).

US EPA, *Textile Processing Industry*, Washington: U.S Environmental Protection Agency Office of Research and Development, EPA/625-R-7-78-002, (1978).

US EPA, *Manual: Best Management Practices for Pollution Prevention in the Textile Industry*, Washington: U.S Environmental Protection Agency Office of Research and Development, EPA/625-R-96-004, (1996).

US EPA, *Office of Compliance Sector Notebook Project: Profile of the Textile Industry*, Washington: U.S Government Printing Office Superintendent of Documents, EPA/310-R-97-009, (1997).

US EPA, *Emergency Planning and Community Right to Know Act Section 313 Reporting Guidance for the Textile Processing Industry*, Washington, EPA/745-B-00-008, (2000).

Vajnhandl, S. and Le Marechal, A. M., “Ultrasound in textile dyeing and the decolouration/mineralization of textile dyes”, *Dyes and Pigments*, 65 (2), 89-101, (2005).

Van der Bruggen, B., Cornelis, G., Vandecasteele, C. and Devreese, I., "Fouling of Nanofiltration and Ultrafiltration Membranes Applied for Wastewater Regeneration in the Textile Industry", *Desalination*, 175 (1), 111-119, (2005).

Vandevivere, P.C., Bianchi, R. and Verstraete, W., "Treatment and Reuse of Wastewater from the Textile Wet-processing Industry: Review of Emerging Technologies", *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 72 (4), 289-302, (1998).

Verma, A. K., Dash, R. R. and Bhunia, P., "A Review on Chemical Coagulation/Flocculation Technologies for Removal of Colour from Textile Wastewaters", *Journal of Environmental Management*, 93 (1), 154-168, (2012).

Vlyssides, A. G., Papaioannou, D., Loizidou, M., Karlis, P. K., and Zopras, A. A., "Testing an Electrochemical Method for Treatment of Textile Dye Wastewater", *Waste Management*, 20, 569-574, (2000).

Walker, G. M. and Weatherley, L. R., "Adsorption of Acid Dyes on to Granular Activated Carbon in Fixed Beds", *Water Research*, 31 (8), 2093-2101, (1997).

Wang, J., Guo, B., Zhang, X., Zhang, Z., Han, J. and Wu, J., "Sonocatalytic Degradation of Methyl Orange in the Presence of TiO<sub>2</sub> Catalysts and Catalytic Activity Comparison of Rutile and Anatase", *Ultrasonics Sonochemistry*, 12 (5), 331-337, (2005).

Wang, J., Jiang, Y., Zhang, X., Zhang, Z., Ma, T., Zhang, G., Zhao, G., Zhang, P. and Li, Y., "Investigation on the Sonocatalytic Degradation of Acid Red B in the Presence of Nanometer TiO<sub>2</sub> Catalysts and Comparison of Catalytic Activities of Anatase and Rutile TiO<sub>2</sub> Powders", *Ultrasonics Sonochemistry*, 14 (5), 545-551, (2007).

Willmott, N., Guthrie, J. and Nelson, G., "The Biotechnology Approach to Colour Removal from Textile Effluent", *Journal of the Society of Dyers and Colourists*, 114 (2), 38-41, (1998).

Xu, X. R., Li, H. B., Wang, W. H. and Gu, J. D., "Degradation of Dyes in Aqueous Solutions by the Fenton Process", *Chemosphere*, 57 (7), 595-600, (2004).

Yamaç, D., "Tekstil Boyar Maddesinin Sulu Çözeltilerinden Elektrokimyasal Yöntemler ile Giderimi", Yüksek Lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı*, Eskişehir, (2016).

Yavuz, Y., "Tekstil Atıksularından Boyar Maddelerin Elektroadsorpsiyonla Giderimi", Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, Eskişehir, (1998).

Yıldırım, A. Ö., “Bazı Reaktif Boyar Maddelerin İleri Oksidasyon Yöntemleriyle Parçalanmasının İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı*, Adana, (2009).

Yıldız, Y. Ş., “Optimization of Bomaplex Red CR-L Dye Removal from Aqueous Solution by Electrochemically Generated Fenton’s Reagent”, *Journal of Hazardous Materials*, 153, 194-200, (2008).

Yılmaz K., “Tekstil Endüstrisi Atıksularının Magnezyum Flokülasyonu ile Arıtılabilirliğinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, Adana, (2010).

Yılmaz, Z., “Taguchi Metodu Kullanılarak Gerçek Tekstil Atıksuyunun Arıtımında Elektrokoagülasyon Prosesinin Optimizasyonu”, *I. Uluslararası Katılımlı Çevre Sempozyumu*, (2013).

Yüce, M., “Arıtma Yapılmamış Tekstil Atıksularından İzole Edilen Mikroorganizmalarla Reaktif Black B ve Krom (VI) Giderimi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ankara Üniversitesi Biyoteknoloji Enstitüsü, Temel Biyoteknoloji Anabilim Dalı*, Ankara, (2007).

Zielinska, B., Grzechulska, J., Grzmil, B. and Morawski, A. W., “Photocatalytic Degradation of Reactive Black 5 A Comparison Between TiO<sub>2</sub>-Tytanpol A11 and TiO<sub>2</sub>-Degussa P25 Photocatalysts”, *Applied Catalysis B: Environmental*, 35, L1-L7, (2001).

Zylla, R., Sojka-Ledakowicz, J., Stelmach, E. and Ledakowicz, S., “Coupling of Membrane Filtration with Biological Methods for Textile Wastewater Treatment”, *Desalination*, 198 (1-3), 316-325, (2006).



### 13. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : ALİ ÖZTÜRK

Doğum Yeri ve Tarihi : DENİZLİ - 08.03.1989

Lisans Üniversite : Cumhuriyet Üniversitesi

Elektronik posta : aozturk\_89@hotmail.com

İletişim Adresi : Sırapıklar Mah. 1524 Sok. No:5 Daire:5  
Merkezefendi / DENİZLİ

**Yayın Listesi** :

-

**Konferans listesi** :

- Göçmez, S., Güngör, M., Akyürek, A., Şenyurt, M., Öztürk, A., Karabuğa, M. Ç., “Denizli İlinde Yapay Sulak Alanların Revizyonu: Bozkurt-Alikurt Yapay Sulak Alan Örneği”, *International Symposium on Urban Water and Wastewater Management*, 413-420, (2018).
- Güngör, M., Akyürek, A., Şenyurt, M., Öztürk, A., Karabuğa, M. Ç., “Denizli İlindeki Gümüşsu, Bozkurt ve Akköy Atıksu Arıtma Tesislerinin Tasarım Parametreleri ile İşletme Verilerinin Karşılaştırılması”, *International Symposium on Urban Water and Wastewater Management*, 697-703, (2018).