

**İNDİGO YIKAMA & PAMUKLU KUMAŞ  
BOYAMA YAPAN BİR TEKSTİL  
ENDÜSTRİSİNİN ARITILMIŞ ATIKSUYUNDA  
RENK GİDERİMİ İÇİN EN UYGUN  
KOAGÜLASYON / FLOKÜLASYON  
TEKNOLOJİSİNİN BELİRLENMESİ**

**ŞENAY KIRHAN SESLER**  
Yüksek Lisans Tezi  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Doç. Dr. Günay YILDIZ TÖRE

**2014**

**T.C.**  
**NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İNDİGO YIKAMA & PAMUKLU KUMAŞ BOYAMA YAPAN BİR  
TEKSTİL ENDÜSTRİSİNİN ARITILMIŞ ATIKSUYUNDA RENK  
GİDERİMİ İÇİN EN UYGUN KOAGÜLASYON / FLOKÜLASYON  
TEKNOLOJİSİNİN BELİRLENMESİ**

**ŞENAY KIRHAN SESLER**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN: DOÇ.DR. GÜNAY YILDIZ TÖRE**

**TEKİRDAĞ-2014**

**Her hakkı saklıdır**

**Bu çalışma, Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından desteklenmiştir.**

**Proje No: NKUBAP.00.17.YL.14.02**

Doç. Dr. Günay YILDIZ TÖRE danışmanlığında, Şenay KIRHAN SESLER tarafından hazırlanan ‘İndigo Yıkama & Pamuklu Kumaş Boyama Yapan Bir Tekstil Endüstrisinin Arıtılmış Atıksuyunda Renk Giderim İçin En Uygun Koagülasyon / Flokülasyon Teknolojisinin Belirlenmesi’ isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı : Doç Dr. Günay YILDIZ TÖRE

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Tuba ÖZTÜRK

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Aylin YILDIZ

İmza :

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### İNDİGO YIKAMA & PAMUKLU KUMAŞ BOYAMA YAPAN BİR TEKSTİL ENDÜSTRİSİNİN ARITILMIŞ ATIKSUYUNDA RENK GİDERİMİ İÇİN EN UYGUN KOAGÜLASYON / FLOKÜLASYON TEKNOLOJİSİNİN BELİRLENMESİ

**Şenay KIRHAN SESLER**

Namık Kemal Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Günay YILDIZ TÖRE

Tekstil endüstrisi atık suları yüksek KOİ ve renk içeriğine sahiptir. Tekstil endüstrisinden kaynaklanan atık sulardaki renk toksisite problemiyle birlikte estetik problemlere de sebep olmaktadır. Tekstil endüstrilerinden kaynaklanan atık sulardaki rengin uygun ve etkili yöntemlerle giderilmesi çevre açısından büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada tekstil endüstrisi kapsamında indigo esaslı denim kumaşı yıkama ve pamuk esaslı dokunmuş kumaş boyama işlemlerini birlikte yürüten bir endüstrinin biyolojik olarak arıtılmış atıksularında pre-hidrolize yeni tip koagülantlar ile doğal koagülantların yumaklaştırıcı olarak kullanıldığı jar test çalışmaları yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalarda, PACl ile atıksu doğal pH numunesinde; %74 renk giderimi, %53 KOİ giderimi, 79 kg/gün çamur oluşumu ve 81 \$/gün koagülant maliyeti hesaplanmıştır. PAFCl ile pH4 numunesinde; %97 renk giderimi, %55 KOİ giderimi, 71 kg/gün çamur oluşumu ve 27 \$/gün koagülant madde maliyeti tespit edilmiştir. PFS ile pH4 numunesinde; %79 renk giderimi, %47 KOİ giderimi, 31kg/gün çamur oluşumu ve 20 \$/gün koagülant madde maliyeti tespit edilmiştir. PFCl ile atıksu doğal pH numunesinde; %52 renk giderimi, %63 KOİ giderimi, 148 kg/gün çamur oluşumu ve 16 \$/gün koagülant madde maliyeti tespit edilmiştir. Nişasta ile atıksu doğal pH numunesinde %52 renk giderimi, %60 KOİ giderimi, 509 kg/gün çamur oluşumu ve 1 \$/gün koagülant madde maliyeti tespit edilmiştir. Kitosan ile pH3 numunesinde %88 renk giderimi, %56 KOİ giderimi, 24 kg/gün çamur oluşumu 14\$/gün koagülant madde maliyeti tespit edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar değerlendirildiğinde; PAFCl'nin en iyi sonuç veren pre-hidrolize metal tuzlarından ve Kitosanın en iyi sonuç veren doğal koagülantlardan olduğu tespit edilmiştir. Endüstri renk ve KOİ giderimi açısından alıcı ortam deşarj standartlarını bu koagülant maddelerle atıksuyun hem doğal pH'sında hem de pH ayarı yapılmış numunelerinde sağlayabilmektedir. Dolayısıyla, bu çalışmada çamur bertaraf maliyetleri maliyet değerlendirmesinde dikkate alınmadığı için, tesis yetkililerinin bu maliyetleri de göz önünde bulundurarak optimum çözüme ulaşması daha uygun olacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Renk giderimi, KOİ giderimi, jar test, pre-hidrolize metal tuzları, doğal koagülantlar, tekstil atıksuyu, çamur.

**2014, 171 sayfa**

## ABSTRACT

MSc. Thesis

DETERMINATION OF THE BEST AVAILABLE COAGULATION/FLOCCULATION TECHNOLOGIES FOR COLOUR REMOVAL FROM A TREATED TEXTILE INDUSTRIAL WASTEWATER ORIGINATED FROM THE PROCESSES INCLUDING INDIGO FABRIC WASHING TOGETHER WITH COTTON FABRIC DYEING

**Şenay KIRHAN SESLER**

Namık Kemal University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Environmental Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Günay YILDIZ TÖRE

Waste water of textile industry includes high COD and colour. The colour of textile waste water results in an esthetic problem as well as toxicity for receiving bodies. It is very important to decide which approach is the most suitable for colour removal from textile wastewater in terms of environment. In this study, jar tests, using novel pre-hydrolysed and natural coagulants, were performed for colour removal from an aerobic treated textile wastewater occurred from an industry running indigo based fabric washing processes together with cotton based woven fabric dyeing processes. According to the experimental results, colour removal efficiency were found as 74%, COD removal efficiency were found as 53%, the least sludge production was measured as 79kg/day and chemical cost as 81\$/day with PACl. The colour removal efficiency were found as 97%, COD removal efficiency were found as 55%, the least sludge production was measured as 71kg/day and chemical cost as 27\$/day with PAFCl. The colour removal efficiency were found as 79%, COD removal efficiency were found as 47%, the least sludge production was measured as 31kg/day and chemical cost as 20\$/day with PFS. The colour giderim efficiency were found as 52%, COD removal efficiency were found as 63%, the least sludge production was measured as 148kg/day and chemical cost as 16\$/day with PFCl. The colour removal efficiency were found as 52%, COD removal efficiency were found as 60%, the least sludge production was measured as 509kg/day and chemical cost as 1\$/day with Starch. The colour removal efficiency were found as 88%, COD removal efficiency were found as 56%, the least sludge production was measured as 24kg/day and chemical cost as 14\$/day with Chitosan. As a conclusion, according to the experimental results, the best colour removal efficiency was found both PAFCl and Chitosan at adjusted pH and natural pH samples. By the way, the system also provide the colour and COD removal discharge standarts at these pH for these coagulants too. But in this study, since sludge disposal cost didn't evaluated at these pH samples for every coagulant, investigated plant authority can decide to the optimum coagulant and pH evaluating the sludge dewatering and disposal costs of the system .

**Key words :** Colour removal, COD removal, jar test, Novel pre-hydrolysed coagulant, natural coagulant, textile wastewater, sludge.

**2014 , 171 pages**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bilgi ve deneyimiyle yol gösteren, manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen ve lisans ve yüksek lisans eğitimim boyunca yaptığı katkılardan dolayı Danışman Hocam Sn. Doç. Dr. Günay YILDIZ TÖRE 'ye;

Laboratuvar çalışmalarında yardım ve desteğini esirgemeyen, bölümümüz doktora öğrencisi Sn. Reyhan GÜRKAN'a ve Araştırma Görevlisi Sn. Dr. Gül KAYKIOĞLU ve Suna Özden ÇELİK'e;

İncelenen tesisin idari ve arıtma personeline;

Bölüm Başkanımız Sn. Prof. Dr. Lokman Hakan TECER'e sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım süresince her zaman yanımda olan ve hiçbir zaman desteğini esirgemeyen değerli eşim İlkan SESLER, biricik oğlum Mert SESLER, canım annem Nezahat KIRHAN ve canım babam Salih KIRHAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Tekirdağ, 2014

Şenay KIRHAN SESLER

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xi
SİMGELER DİZİNİ .....	xiii
KISALTMALAR DİZİNİ .....	xv
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ .....</b>	<b>8</b>
2.1 Tekstil Endüstrisinin Tanımı .....	8
2.2 Tekstil Endüstrisinin Türkiye’de Yeri ve Önemi .....	8
2.3 Tekstil Endüstrisinde Renk Oluşumuna Neden Olan Boyalar .....	9
2.3.1 Bazik (katyonik) Boyalar .....	9
2.3.2 Asit Boyalar.....	10
2.3.3 Direkt Boyalar .....	10
2.3.4 Reaktif Boyalar.....	10
2.3.5 Küp Boyalar.....	10
2.3.6 Dispers Boyalar .....	11
2.3.7 Kükürt Boyalar .....	11
2.4. Denim Endüstrisi .....	14
2.4.1 Denimin Tanımı.....	14
2.4.2 Denimin Tarihçesi .....	14
2.4.3 Türkiye’de Denim Kumaş ve Giysi.....	15
2.4.4 Denim Kumaş Üretim Süreci .....	17
2.4.5 Denim Kumaşın Özellikleri.....	18
2.4.6 Denim Kumaşların Boyanması.....	19
2.4.7 Denim Kumaş Çeşitleri .....	19
2.5 Denimin Yıkanması.....	20
2.5.1 Kuru İşlemler.....	21
2.5.2 Yaş İşlemler.....	22
2.5.2.1 Haşıl Sökme.....	22



2.5.2.2 Taş/Enzim Yıkama .....	23
2.5.2.3 Ağartma .....	24
2.5.2.4 Tint .....	26
2.5.2.5 Yumuşatma .....	26
<b>3. TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE ATIKSULAR.....</b>	<b>27</b>
3.1 Tekstil Endüstrisi Atıksu Kaynakları ve Özellikleri.....	27
3.1.1 Haşılama ve Haşıl Sökme.....	29
3.1.2 Yıkama .....	29
3.1.3 Yün Karbonizasyonu .....	30
3.1.4 Keçeleştirme .....	30
3.1.5 Ağartma .....	30
3.1.6 Merserizasyon.....	30
3.1.7 Boyama.....	31
3.1.8 Baskı .....	32
3.1.9 Apreleme (bitim işlemleri) .....	32
3.2 Tekstil Atıksularındaki Kirletici Parametreler .....	33
3.3 Tekstil Atıksularına Uygulanan Atıksu Arıtma Teknolojileri.....	34
<b>4. İNCELENEN DENİM ENDÜSTRİSİNİN TANITIMI .....</b>	<b>35</b>
4.1 Endüstrinin Genel Özellikleri.....	35
4.2 Endüstrinin Genel İş Akışı .....	35
4.3 Su Kullanımı ve Atıksu Oluşumu.....	37
4.4 Arıtma Tesisi .....	38
<b>5. ATIKSULARDA RENK PARAMETRESİ VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ.....</b>	<b>41</b>
5.1 Renk Ölçüm Yöntemleri .....	42
5.1.1 Görsel Karşılaştırma Metodu .....	42
5.1.2 Spektrofotometrik Metod .....	43
5.1.3 Tristimulus Filtre Metodu.....	43
5.1.4 ADMI Metodu .....	43
5.1.5 Alan (Dalga Boyu Taraması) Metodu .....	44
5.1.6 Platin Kobalt Metodu.. .....	45
5.1.7 Renklilik Sayısı (RES) .....	46
5.1.7.1 RES Analizinin Yapılışı (EN ISO 7887) .....	48
5.2 Uluslararası Mevzuat .....	48
<b>6. ATIKSULARDAN RENK GİDERME YÖNTEMLERİ.....</b>	<b>54</b>

6.1 Adsorpsiyon .....	56
6.1.1 Aktif Karbon .....	57
6.1.2 Kil .....	58
6.1.3 Zeolit.....	58
6.1.4 Bentonit .....	59
6.2 Membran Prosesler .....	61
6.4 Kimyasal Oksidasyon .....	61
6.4.1 Ozon .....	62
6.4.2 Sodyum Hipoklorit .....	63
6.4.3 Hidrojen Peroksit.....	63
6.5 İleri Oksidasyon Prosesleri (İOP).....	64
6.6 Biyolojik Arıtma Yöntemleri.....	68
6.6.1 Aerobik Yöntemler .....	68
6.6.2 Anaerobik Yöntemler .....	69
6.7 Biyosorpsiyon.....	71
6.8 Elektrokoagülasyon .....	72
6.9 Dekoloranlar .....	74
6.10 Kimyasal Koagülasyon ve Flokülasyon .....	76
6.10.1 Koagülant Maddeler .....	77
6.10.2 Yardımcı Koagülant Maddeler .....	81
<b>7. MATERYAL VE METOD .....</b>	<b>84</b>
7.1 Materyal.....	84
7.1.1 Atıksu .....	84
7.1.2 Ekipman ve Malzemeler .....	84
7.2 Metod.....	85
7.2.1 Renklilik Sayısı (RES) Ölçüm Metodu .....	86
7.2.2 Jar Test Metodu .....	87
7.2.3 Kimyasal Çöktürme Metodu .....	88
7.2.4 Askıda Katı Madde (AKM) Metodu .....	90
7.2.5 İletkenlik Ölçüm Metodu.....	91
7.2.6 Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) Ölçüm Metodu .....	92
7.2.7. PACl Deneysel çalışması .....	92
7.2.8. PAFCl Deneysel çalışması .....	94

7.2.9. PFS Deneysel çalışması.....	95
7.2.10. PFCİ Deneysel çalışması .....	96
7.2.11. Nişasta Deneysel çalışması.....	97
7.2.12. Kitosan Deneysel çalışması .....	99
<b>8. DENEYSEL SONUÇLAR .....</b>	<b>100</b>
8.1. Giriş Atıksuyu Özelliklerinin Tayini .....	100
8.2. PACİ Deneysel Çalışmalarının Sonuçları.....	103
8.3. PAFÇİ Deneysel Çalışmalarının Sonuçları .....	107
8.4. PFS Deneysel Çalışmalarının Sonuçları.....	110
8.5. PFCİ Deneysel Çalışmalarının Sonuçları .....	115
8.6. Nişasta Deneysel Çalışmalarının Sonuçları.....	119
8.7. Kitosan Deneysel Çalışmalarının Sonuçları .....	124
8.8. Deneysel Çalışmaların Karşılaştırılması .....	128
<b>9. TARTIŞMA ve SONUÇLAR .....</b>	<b>137</b>
<b>10. KAYNAKLAR.....</b>	<b>139</b>
<b>11. ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>153</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1	: Farklı koagülant maddelerin farklı araştırmacılar tarafından yapılmış tekstil atıksuyundaki renk giderim çalışmaları .....	6
Çizelge 2.1	: Tekstil boyamacılığında kullanılan farklı boyarmaddelerin uygulama alanları ve fikse oranları .....	12
Çizelge 2.2	: Pamuğun çektirme yöntemiyle boyanmasında tahmini yıllık istatistikler .....	12
Çizelge 2.3	: 2012-2013 Ocak-Mart döneminde en fazla denim giysi ihraç edilen ülkeler.....	16
Çizelge 2.4	: Doğal Nişastanın Haşıl Giderimi Sırasında Oluşan Atıksu Kompozisyonu...	23
Çizelge 3.1	: Farklı tekstil endüstrilerine ait işlem basamakları ve atıksu karakterizasyonu .....	28
Çizelge 3.2	: Boyama prosesinde kullanılan kimyasal maddeler .....	31
Çizelge 3.3	: Tekstil Endüstrisi Atıksularına Uygulanan Çeşitli Arıtma Yöntemleri ve Arıtma Verimleri.....	34
Çizelge 4.1	: İncelenen Tesisin Günlük Su Tüketimi.....	37
Çizelge 5.1	: Işık absorpsiyonu ve renk .....	41
Çizelge 5.2	: Avrupa Normu EN ISO 7887'ye göre renk parametresi için alıcı ortama deşarj kriterleri .....	49
Çizelge 5.3	: SKKY Tablo 10.2 Renk parametresi .....	52
Çizelge 5.4	: Bazı ülkelerin renk parametresi için alıcı ortama atıksu deşarj kriterleri veya su kaynaklarında/içme sularında olması gereken kalite değerleri .....	53
Çizelge 6.1	: Membran prosesleri ile tekstil atıksularından renk giderimi çalışmalarının Özeti .....	60
Çizelge 6.2	: İleri Oksidasyon proseslerinin sınıflandırılması .....	65
Çizelge 6.3	: İOP teknikleri ile tekstil atıksuyunda renk giderimi .....	66
Çizelge 6.4	: Gerçek tekstil atıksularının biyolojik arıtımında kullanılan prosesler .....	71
Çizelge 6.5	: Tekstil atıksuları ile yapılan çeşitli çalışmalarda kullanılan koagülant maddelerin renk giderimine etkileri .....	79
Çizelge 6.6	: Koagülant madde olarak kullanılan bazı polimerler .....	81
Çizelge 8.1	: İndigo Yıkama ve Pamuklu Kumaş Boyama yapan tekstil endüstrisinde yapılan renk ölçüm çalışmalarının sonuçları .....	100
Çizelge 8.2	: Biyolojik arıtma çıkış atıksuyu (ham atıksu) ölçüm değerleri.....	101

Çizelge 8.3 : Farklı tarihlerde alınan ham atıksu numunelerinin pH, iletkenlik ve renk ölçüm sonuçları .....	102
Çizelge 8.4 : Renk giderim tablosu .....	103
Çizelge 8.5 : % RES giderim sonuçları tablosu .....	104
Çizelge 8.6 : Çamur çalışması sonuçları .....	105
Çizelge 8.7 : Maliyet çalışması .....	105
Çizelge 8.8 : PACI Karşılaştırma tablosu.....	106
Çizelge 8.9 : Renk giderim tablosu .....	107
Çizelge 8.10 : % RES Giderim sonuçları tablosu .....	108
Çizelge 8.11 : Çamur çalışması sonuçları .....	108
Çizelge 8.12 : Maliyet çalışması .....	109
Çizelge 8.13 : PAFCl karşılaştırma tablosu .....	110
Çizelge 8.14 : Renk ölçüm sonuçları.....	111
Çizelge 8.15 : % RES giderim sonuçları .....	112
Çizelge 8.16 : Çamur çalışmasının sonuçları .....	113
Çizelge 8.17 : Maliyet çalışması .....	113
Çizelge 8.18 : PFS karşılaştırma tablosu.....	114
Çizelge 8.19 : Renk ölçüm sonuçları.....	116
Çizelge 8.20 : % RES giderim sonuçları .....	117
Çizelge 8.21 : Çamur çalışması sonuçları .....	117
Çizelge 8.22 : Maliyet çalışması .....	118
Çizelge 8.23 : PFCI karşılaştırma tablosu .....	119
Çizelge 8.24 : Renk ölçüm sonuçları.....	120
Çizelge 8.25 : % RES giderim sonuçları .....	121
Çizelge 8.26 : Çamur çalışması sonuçları .....	122
Çizelge 8.27 : Maliyet çalışması tablosu.....	122
Çizelge 8.28 : Nişasta karşılaştırma tablosu.....	123
Çizelge 8.29 : Renk ölçüm sonuçları.....	125
Çizelge 8.30 : % RES giderim sonuçları .....	126
Çizelge 8.31 : Çamur çalışması sonuçları .....	126
Çizelge 8.32 : Maliyet çalışmaları tablosu .....	127
Çizelge 8.33 : Kitosan karşılaştırma tablosu .....	128
Çizelge 8.34 : Pre-Hidrolize Metal Tuzları Renk giderim karşılaştırma tablosu.....	129
Çizelge 8.35 : Doğal koagülant maddeler renk giderim karşılaştırma tablosu .....	130

Çizelge 8.36 : Pre-Hidrolize Metal Tuzları KOİ giderim karşılaştırma tablosu .....	131
Çizelge 8.37 : Doğal Koagülant maddeler KOİ giderim karşılaştırma tablosu.....	132
Çizelge 8.38 : Pre–Hidrolize Metal Tuzları Çamur miktarı kütlese karşılaştırma tablosu .	133
Çizelge 8.39 : Doğal Koagülant maddeler çamur miktarı kütlese karşılaştırma tablosu ....	134
Çizelge 8.40 : Pre-Hidrolize Metal Tuzları günlük koagülant madde maliyeti karşılaştırma tablosu .....	135
Çizelge 8.41 : Doğal Koagülant maddeler günlük koagülant madde maliyeti karşılaştırma tablosu .....	136

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1 :	Kitin polisakkaridinden elde edilen Kitosan ve boya moleküllerinin etkileşiminin şematik gösterimi .....	6
Şekil 2.1 :	Denim Kumaş Üretimi İş Akım Şeması .....	17
Şekil 4.1 :	İşletmenin Genel Üretim Akım Şeması .....	36
Şekil 4.2 :	Endüstriye ait arıtma tesisinin akım şeması.....	40
Şekil 5.1 :	Örnek bir alan (dalga -boyu taraması) metodu ile analiz sonucunun grafiksel görünümü .....	45
Şekil 6.1 :	Azo boyar madde ve aromatik aminin anaerobik-aerobik koşullarda biyodegradasyonu .....	70
Şekil 6.2 :	Koagülant maddelerin etkilerine göre sınıflandırılması .....	78
Şekil 6.3 :	Doğal koagülant maddeler .....	81
Şekil 7.1 :	Renk ölçüm çalışmalarından örnekler .....	86
Şekil 7.2 :	Jar test deneylerinin yapıldığı düzenek ve çalışmalardan örnekler .....	88
Şekil 7.3 :	Kimyasal Çöktürme çalışmalarından örnekler.....	89
Şekil 7.4 :	Askıda Katı Madde (AKM) ölçümlerinden örnekler.....	91
Şekil 7.5 :	KOİ ölçüm sistemi .....	92
Şekil 8.1 :	Biyolojik Arıtma Çıkış Atıksuyu Renk Ölçüm Sonuçları grafiği.....	102
Şekil 8.2 :	Renk giderim grafiği .....	104
Şekil 8.3 :	% RES giderim grafiği.....	104
Şekil 8.4 :	Çamur çalışması grafiği .....	105
Şekil 8.5 :	Maliyet çalışması .....	106
Şekil 8.6 :	Renk giderim grafiği .....	108
Şekil 8.7 :	%RES giderimi grafiği.....	108
Şekil 8.8 :	Çamur çalışması grafiği .....	109
Şekil 8.9 :	Maliyet çalışması .....	109
Şekil 8.10 :	Renk ölçüm sonuçları .....	112
Şekil 8.11 :	% RES giderim grafiği .....	112
Şekil 8.12 :	Çamur çalışması grafiği .....	113
Şekil 8.13 :	Maliyet çalışması .....	114
Şekil 8.14 :	Renk ölçüm sonuçları .....	116

Şekil 8.15 :	% RES giderim sonuçları.....	117
Şekil 8.16 :	Çamur çalışması grafiği .....	118
Şekil 8.17 :	Maliyet çalışması .....	118
Şekil 8.18 :	Renk ölçüm sonuçları .....	121
Şekil 8.19 :	% RES giderim sonuçları.....	121
Şekil 8.20 :	Çamur çalışması grafiği .....	122
Şekil 8.21 :	Maliyet çalışması grafiği.....	123
Şekil 8.22 :	Renk ölçüm sonuçları .....	125
Şekil 8.23 :	% RES giderim sonuçları.....	126
Şekil 8.24 :	Çamur çalışması grafiği .....	127
Şekil 8.25 :	Maliyet çalışmaları grafiği .....	127
Şekil 8.26 :	Pre-Hidrolize Metal Tuzları renk giderim karşılaştırma grafiği .....	129
Şekil 8.27 :	Doğal Koagülant maddeler renk giderim karşılaştırma grafiği .....	130
Şekil 8.28 :	Pre-Hidrolize Metal Tuzları KOİ giderim karşılaştırma grafiği .....	131
Şekil 8.29 :	Doğal koagülant maddeler KOİ giderim karşılaştırma grafiği .....	132
Şekil 8.30 :	Pre-Hidrolize Metal Tuzları çamur miktarı kütleli karşılaştırma grafiği ....	133
Şekil 8.31 :	Doğal Koagülant maddeler çamur miktarı kütleli karşılaştırma grafiği .....	134
Şekil 8.32 :	Pre-Hidrolize Metal Tuzları günlük koagülant madde maliyeti karşılaştırma grafiği.....	135
Şekil 8.33 :	Doğal Koagülant maddeler günlük koagülant madde maliyeti karşılaştırma grafiği.....	136



## SİMGELER DİZİNİ

Ag	Gümüş
Al	Alüminyum
As	Arsenik
Ba	Baryum
Cd	Kadmiyum
Cl <sub>2</sub>	Klor
CMC	Karboksi Metil Selüloz
CN	Siyanür
Cr	Krom
DMA	Dimethoxy Alfa Methylphenethylamine
F	Flor
Fe	Demir
FeCl <sub>3</sub>	Demir (III) klorür
FeCl <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O	Demir (III) klorür Hekzahidrat
Fr	Fransız Sertliği
FeSO <sub>4</sub>	Demir Sülfat
HCl	Hidrojenklorür
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Hidrojen Peroksit
H <sub>2</sub> S	Hidrojen Sülfür
KMnO <sub>4</sub>	Potasyum Permanganat
M	Molar
MgCl <sub>2</sub>	Magnezyum Klorür
Mn	Mangan
N	Azot
N	Normal
Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	Disodyumfosfat
NaOCl	Sodyum Hipoklorit
NaOH	Kostik
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Sodyumtiyosülfat
O <sub>3</sub>	Ozon
PAlCl	Polialüminyum Klorür
PAFCl	Polialüminyum Ferriklorür

PAMIPCl	Poli(3-akrilamid-izopropanol klorür)
Pb	Kurşun
PDMDAAC	Polydimethyldiallylammonium chloride
PFCI	Poliferriklorür
PFS	Poliferro Sülfat
Pt-Co	Platin Kobalt
PVA	Polivinil Alkol
S	Sülfür
Sn	Kalay
TiO <sub>2</sub>	Titanyum Dioksit

## KISALTMALAR DİZİNİ

AB	Avrupa Birliği
ADMI	American Dye Manufacturers Institute – Amerikan Boya Üreticileri Enstitüsü
AKM	Askıda Katı Madde
A.P.E	Anyonik Polielektrolit
APHA	American Public Health Association
BOİ <sub>5</sub>	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
ÇOK	Çözünmüş Organik Karbon
DOM	Doğal Organik Madde
EPA	Çevre Koruma Ajansı
GSMH	Gayri Safı Milli Hasıla
İOP	İleri Oksidasyon Prosesi
İTKİB	İstanbul Tekstil ve Konfeksiyon İhracatçı Birlikleri
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MF	Mikrofiltrasyon
NF	Nanofiltrasyon
RES	Renklilik Sayısı
RO	Ters Osmoz
SKKY	Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
TOC	Toplam Organik Karbon
TTSD	Türkiye Tekstil Terbiye Sanayicileri Derneği
UF	Ultrafiltrasyon
UNEP	Birleşmiş Milletler Çevre Programı
WL	Dalga boyu
WW	Atıksu

## 1. GİRİŞ

Hızlı nüfus artışı ve sanayileşme sonucu yaşadığımız küresel iklim değişikliği tatlı su kaynaklarımızın kullanımında bazı sınırlamalar getirmektedir. Özellikle endüstriyel atıksuların yeterince arıtılmadan alıcı ortama deşarj edilmesi sonucunda yıllık toplam yağışın havzalar arası dengesiz dağılımı, nüfus ve endüstrinin belirli havzalarda kontrolsüz yoğunlaşması sebebiyle zaten sınırlı olan tatlı su kaynaklarımız kirlenmekte, azalmakta ve kullanılamaz hale gelmektedir.

Tekstil atıksuları yüksek oranda organik ve inorganik kirleticiler içermektedir. Bu kirleticiler içerisinde en tehlikelisi olmasa da insanları en rahatsız edeni boyarmaddelerden gelen kirliliktir. Renkli bir atık suyun doğal ortama salınması, renkli suyu görenler üzerinde zehirli bir maddenin suya karıştığı etkisini uyandırmaktadır. Oysaki çok daha fazla zehirli madde içeren tarımsal ilaçlar ya da endüstriyel atıklar doğal ortama karışmakta ama gözle görülebilir olmadığından insanlar üzerinde korku ya da endişeye neden olmamaktadırlar. Bu nedenle bu estetik olmayan kirleticinin giderilmesi, içerisinde yeni kimyasallar eklenerek yapılsa da psikolojik olarak büyük önem taşımaktadır. Sentetik boyalar tekstil, boya, kâğıt ve baskı endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde dünyada 100.000'in üzerinde sentetik boya ticari olarak kullanılmakta ve yılda 700.000 ton boya üretimi yapılmaktadır.

Renkli atık suların doğrudan alıcı ortalama deşarj edilmesinin estetik açıdan çevreye zarar vermesi yanında kontrolsüz anaerobik şartlarda zehirli ve kanser yapıcı aromatik aminlerin oluşması gibi etkisi de bulunmaktadır. Arıtıldıktan sonra renkleri giderilmeden deşarj edilen atıksular, alıcı ortamın ekolojik sisteminde rahatsızlıklara sebep olmaktadır. Renk, güneş ışığını absorblayarak alıcı ortamın fotosentez olayını engelleyerek, bu da ortamın çözünmüş oksijen değerini düşürmekte ve ekosistemde yaşayan ve oksijen azlığına toleransı olmayan canlıların yok olmasına sebep olmaktadır.

Alıcı ortama deşarj edilen endüstriyel atıksuda renk kontrolünün ulusal ve uluslararası önemi her geçen gün artmakta olup, renk parametresi ve limit değeri Avrupa Birliği (AB), İngiltere, Hindistan, Çin gibi ülkelerde uzun zamandır uygulanmaktadır. Renkli atıksuların doğrudan alıcı ortama deşarjı, ilgili su kütlesinde ışık geçirgenliğinin azalmasına bağlı olarak

fotosentetik aktiviteleri olumsuz etkilemekte ve zamanla ortamdaki çözülmüş oksijen konsantrasyonunu azaltmaktadır. Aynı zamanda boyar maddelerin ve yan ürünlerinin doğaya zehirli etkileri ve insanlar üzerindeki mutajenik ve kanserojenik etkilerinden dolayı arıtılmaları zorunludur. Bu sebeple, çözülmüş organik katı madde (ÇOK), askıda katı madde (AKM) gibi kirletici parametrelerin yanı sıra renk parametresinin de kirletici bir parametre olarak kabul edilmesi kaçınılmazdır.

Endüstriyel atık suların karakterize edilmesi için tanımlanan kirletici parametreler arasında bulunan “renklilik”, üzerinde her geçen gün daha fazla durulan parametre olmaya başlamış bulunmaktadır. Genel olarak gittikçe daralan deşarj limitleri ve arıtılan suların geri kullanım ihtiyacı renkliliği ön plana çıkarmaktadır (Barlas 1999).

Son dönemde Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde (SKKY) yapılan ilaveler ile tekstil, gıda, kağıt ve kimya gibi endüstriler için alıcı ortamı korumak amacıyla “renk parametresi” yeni bir atıksu kirletici parametresi olarak tanımlanmıştır. Ülkemizde 24.04.2011 tarih ve 27914 sayılı Resmi Gazete 'de yayımlanan değişiklik ile deşarj standartlarına renk parametresi eklenmiştir.

Bu çalışmada İndigo yıkama & Pamuklu kumaş boyama yapan bir tekstil endüstrisinin arıtılmış atıksuyundan renk giderimi için en uygun Koagülasyon/Flokülasyon teknolojisinin belirlenmesi konusunda laboratuvar çalışmaları yürütülmüştür. İncelenen endüstrinin atıksu kaynakları arasında; taş yıkama, lokal yıkama, rinse yıkama, tint boyama ve ağartma prosesleri yer almaktadır.

Tekstil Endüstrisi atıksularında nispeten ucuz sistemler olan konvansiyonel aktif çamur sistemleri yalnız başına etkili bir renk giderimi sağlayamadığı için genellikle kimyasal ya da fiziksel yöntemlerle veya anaerobik yöntemlerle birlikte kullanılır. Tekstil boyama endüstrisinde renk giderimi için flokülasyon/koagülasyon, adsorpsiyon ve kimyasal oksidasyon gibi çeşitli fiziksel/kimyasal metotlar kullanılabilir. En popüler metod adsorpsiyon olmasına karşın, boya-adsorbent etkileşimleri, adsorbentin yüzey alanı, partikül boyutu, sıcaklık ve temas süresi gibi fiziksel ve kimyasal faktörlerden ciddi anlamda etkilendiği için, uygulamada çok gerekli olmadıkça tercih edilmemektedir.

Bunun yanında, literatürde son yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde, Polialüminyum klorür (PACl), Polialüminyumferrikklorür (PAFCl), Poliferroussülfat (PFS) ve Poliferrikklorür (PFCl) gibi bazı pre-hidrolize metal tuzlarının çok etkili oldukları tespit edilmiş ve özellikle tekstil endüstrisi atıksularından renk giderim amaçlı kullanımı önerilmiştir (Jiang ve Graham 1998). Bundan başka, tekstil atıksularından renk giderimi için doğal koagülant maddelerin (bitkisel, hayvansal ve mikroorganizma bazlı) kullanımı da vurgulanmakta ve doğa ile çevre dostu olmaları dolayısıyla geçerli bir alternatif olarak teşvik edilmektedir.

PACl ile yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde; PACl'nin aynı dozdaki Alüm'e göre daha hızlı flokülasyon oluşturduğu, daha kuvvetli flok oluşumunu sağladığı tespit edilmiştir (Gregory ve Rossi 2001). Pre-hidrolize metal tuzları pH üzerinde değişime neden olduklarından pH ayarlamaya ihtiyaç bulunmaktadır.

Shi ve arkadaşları tarafından 2007 yılında yapılan çalışmada; direkt boyaların gideriminde PACl, alüm ve saf Al<sub>13</sub> performanslarının karşılaştırılmıştır. En yüksek performansın saf Al<sub>13</sub> ile yapılan çalışmada elde edildiği, 2. olarak PACl ve 3. olarak da Alüm olduğu tespit edilmiştir. Aynı çalışmada PACl ile pH 3,5 'da %80 ve üzerinde üzerinde renk giderimi elde edildiği bildirilmiştir (Shi ve ark. 2007).

Yeap ve arkadaşları tarafından 2014 yılında yapılan çalışmada; PACl'nin organik bir polimerle birleştirilerek inorganik - organik hibrit polimer (%90PACl – %10PAMIPCl) oluşturulması ile pH 7.5 olan Reaktif Blue çalışmasında yüksek renk giderimi ve %92-95 KOİ giderimi, pH 3.0 olan Direct Yellow çalışmasında yüksek renk giderimi ve %93-96 KOİ giderimi sağladığı tespit edilmiştir (Yeap ve ark. 2014).

PAFCl ile tekstil atıksularında yapılan çalışmalar oldukça sınırlı olup, Gao ve arkadaşlarının 2001 yılında yapmış oldukları çalışmada, PAFCl 'nin petrokimya endüstrisi atıksularında pH 7,0-8,4 aralığında, PACl ve PFS'ye göre renk giderimi ve bulanıklık gideriminde daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Flok oluşumu diğer koagülant maddelere göre daha hızlı gerçekleşmektedir. PAFCl içinde alüminyum ve demir iyonlarının birlikte yer almasının daha hızlı flok oluşmasına, daha hızlı sedimentasyona ve bundan dolayı renk gideriminin daha etkin olmasına yol açtığı tespit edilmiştir (Gao ve ark. 2001).

Wang ve arkadaşları tarafından 2008 yılında PFS ile denim yıkama yapılan bir tesisin arıtmasında yapılan çalışmada; pH'sı 9 olan atıksuda 150 mg/L PFS uygulanması durumunda %71 KOİ, %56 BOİ<sub>5</sub>, %62 AKM ve %50 renk giderimi sağlandığı tespit edilmiştir(Wang ve ark. 2008).

PFCİ ile yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde; Wang ve arkadaşları tarafından 2010 yılında yayınlanan çalışmalarda tekstil atıksularında ferric chloride (FeCl<sub>3</sub>) , PFCİ ve polydimethyldiallylammonium chloride (PDMDAAC) flokülantları renk giderimi açısından karşılaştırılmıştır. Çalışmada flokülantların kombine olarak kullanılmasının daha başarılı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. FeCl<sub>3</sub> – PDMDAAC ve PFCİ – PDMDAAC kombinasyonlarının renk gideriminde konvansiyonel kullanımdan daha etkili olduğu bildirilmiştir (Wang ve ark. 2010).

Chen ve arkadaşları tarafından 2010 yılında sentetik boyalı tekstil atıksularında yapılan çalışmada; PFCİ ve polyamine (EPI-DMA) nın farklı konsantrasyonlarda renk giderimi ve flok oluşumu performansları araştırılmıştır. PFCİ ile pH 7,5 şartlarında direkt yellow 201'de % 98, remazol red 24'de % 19 renk giderimi elde edilmiştir. PFCİ / EPI-DMA kombinasyonunda pH 6,0 şartlarında direkt yellow 201 ve remazol red 24'de % 97,5 renk giderimi sağlandığı ve flok oluşumunun daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir (Chen ve ark. 2010).

Wei ve arkadaşları tarafından 2009 yılında yapılan çalışmada; reaktif ve dispers boyalı tekstil atıksularında PFCİ/PDADMAAC (polydimethyldiallylammonium chloride) kombinasyonlarının farklı dozlardaki uygulamalarının renk giderimi ve flokülasyon dinamiklerine etkileri araştırılmıştır. 30 mg/L PFCİ/PDADMAAC uygulaması ile reaktif boyalarda % 60, disperse boyalarda % 95,5 renk giderimi ve en yüksek flok oluşum hızı tespit edilmiştir (Wei ve ark. 2009).

Nişasta, guar zımkı, arabik zımkı, nirmali tohumu, tanen, kaktüs gibi pek çok bitkisel kökenli polimerler koagülant madde olarak tanınmaktadır. Bu polimerlerin kağıt ve gıda endüstrisinde geniş kullanım uygulamaları bulunmaktadır. Yapılan araştırmalarda; nişastanın ağırlıklı kağıt endüstrisinde kağıt düzgünlüğünü arttırmak, lif kaybını azaltmak ve fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanıldığı tespit edilmiştir (Tutuş ve ark. 2009).

Haşçakır tarafından 2003 yılında yapılan bir çalışmada; Kağıt endüstrisi atıksularında %85-90 KOİ giderimi, evsel atıksularda %20 KOİ giderimi elde edilmiştir. Aynı çalışmada nişastanın alüm, kireç ve demir klorür ile beraber flokülant olarak kullanılması durumunda %70-75 KOİ giderimi, evsel atıksularda %30-35 KOİ giderimi tespit edilmiştir. Aynı çalışmadan çamur oluşumu ve miktarı hakkında çalışma yapılmamıştır (Haşçakır 2003).

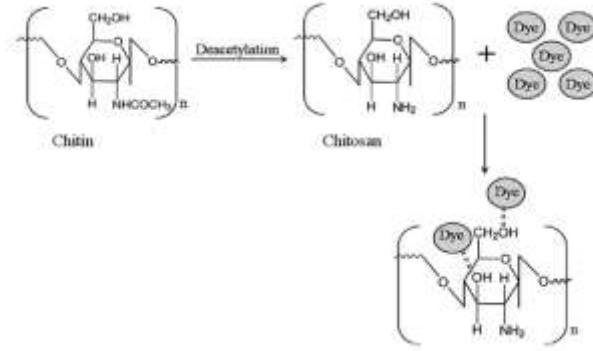
Kitosan, kırmızı kabuklu yengeç ve karideslerin kabuklarında bulunan Kitin maddesinden elde edilmektedir. Doğal bir lifli madde olması nedeniyle alternatif tıp ve zayıflama ürünü olarak kullanımı çok yaygındır. Kitosan'ın bioflokülant olarak askıda ve çözünmüş madde gideriminde başarılı uygulamaları bulunmaktadır (Renault ve ark. 2009). Kitosanın koagülasyon / flokülasyon proseslerinde kullanılmasının avantajları; non-toksik malzeme olması, korozif olmaması, cilt ve gözlerde iritasyona sebep olmaması şeklinde sayılabilir. Aynı zamanda daha düşük sıcaklıktaki sularda kullanılabilir ve metal tuzlarına göre daha az konsantrasyonlarda kullanımı yeterli olmaktadır. 70'li yılların sonlarından itibaren özellikle gıda sektörünün atıksularında kullanımı ile ilgili çalışmalar yapılmıştır (Bough 1975-1976, Bough ve ark. 1978). Biyolojik bir madde olması nedeniyle; oluşan arıtma çamurları da biyolojik olarak parçalanabilir özellikte olmaktadır. Bunun uygulanan örneği olarak; süt endüstrisi arıtma çamurlarının tarımda kullanımı sözkonusudur (Chi ve Cheng 2006).

Szygula ve arkadaşları (2009) tarafından yapılan çalışmada; pH'sı 9 olan ve Acid Blue 92 içeren tekstil atıksuyunda 100 mg/L Kitosan optimum dozajında % 99 renk giderimi elde edilmiştir (Szygula ve ark. 2009).

Mahmoodi ve arkadaşları (2011) tarafından pH'sı 2 olan ve Acid Green 25 ve Direct Red 23 içeren tekstil atıksularında Kitosan ile yapılan çalışmalarda 10 dakika boyunca 200 rpm karıştırma hızında %75 ve %95 renk giderimleri elde edilmiştir (Mahmoodi ve ark. 2011).



Kitosan ve boya molekülleri arasındaki etkileşim Şekil 1.1’de gösterilmektedir:



**Şekil 1.1.** Kitin polisakkaridinden elde edilen Kitosan ve boya moleküllerinin etkileşiminin şematik gösterimi (Zhang ve ark. 1995).

Tekstil atıksularından koagülant maddeler vasıtasıyla renk giderimleri konularında farklı araştırmacılar tarafından yapılmış çalışmalar Çizelge 1.1’de özetlenmiştir:

**Çizelge 1.1.** Farklı koagülant maddelerin farklı araştırmacılar tarafından yapılmış tekstil atıksuyundaki renk giderim çalışmaları (Akshaya ve ark. 2012).

Name of coagulant	Optimised dose (mg/L)	Coagulant aids (if any)	Type of dyes present	Optimum Ph	% Colour removal	Reference
Steel industry wastewater			Disperse	4,25	99	Anouzla et al.,2009
Potassium ferrate	100	Polyamine based polymer		6,5-8,5	95	Ciabetti et al.,2010
Polyaluminium Chloride (PACl)	10			7,2	99,9	Choo et al.,2007
Poly-epichlorohydrin-diamine	20			7	95	Kang et al.,2007
Alum	200	Polyacrylamide based polymer (Cytec)		5,3	78,9	El-Gohary and Tawfik,2009
Alum	5000	Copper sulphate as catalyst		4	74	Kumar et al.,2008
Alum	20	Commercial cationic flocculant (Colfloc-RDeCiba)	Reactive and acid	Near to neutral	98	Golob et al.,2005
Alum	7x10 <sup>4</sup>			5,7-6,5 <sup>a</sup>	74	Patel and Vashi,2010
Ferrous sulphate	200	Polyelectrolyte	Sulfur	9,4	90	Bidhendi et al.,2007
Ferric chloride	400		Sulfur	8,3	100	Bidhendi et al.,2007

Ferric chloride	293		Reactive and disperse	6	71	Kim et al.,2004
Ferric chloride	56	Cationic polymer		4	92	Suksaroj et al.,2005
Magnesium chloride	400	Polyelectrolyte (Koaret PA 3230)	Reactive	11	85	Tan et al.,2000
Magnesium chloride	120	Lime		11	100	El-Gohary and Tawfik,2009
Magnesium chloride	800	Hydrated lime	Reactive and disperse	12	98	Goa et al.,2007
Polyaluminium Chloride (PACl)	0,1	Poly acrylamide-seed gum	Reactive,acid and direct	8,5	80	Sanghi et al.,2006
Polyaluminium Chloride (PACl)	800	Anionic polyacrylamide, Exerfloc 204		7,5	75	Tun et al.,2007
Ferrous sulphate	400	Lime and Cationic polymer	Reactive	12,5	90	Gerogio et al.,2003
Ferrous sulphate	1000	Anionic polyelectrolyte (Henkel23500)		9,5	60	Selcuk, 2005
Ferrous sulphate	7x10 <sup>4</sup>			5,7-6,5 <sup>a</sup>	85	Patel and Vashi,2010
Ferric sulphate	7x10 <sup>4</sup>			5,7-6,5 <sup>a</sup>	58	Patel and Vashi,2010

Çizelge 1.1’de görüldüğü üzere, pre-hidrolize metal tuzlarının renk gideriminde yardımcı koagülant madde yardımı ile veya yardımcı koagülant madde olmadan yüksek renk giderim verimlerine sahip oldukları görülmektedir. Renk giderme verimi optimum pH, kullanılan koagülant madde miktarı, yardımcı koagülant madde varlığı ve kullanılan boya tipine göre değişiklik göstermektedir.

## **2. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ**

### **2.1. Tekstil Endüstrisinin Tanımı**

Tekstil endüstrisi doğal ve yapay lifleri kullanarak kumaş ve diğer tekstil ürünleri üreten tesisleri kapsamaktadır. Tekstil endüstrisi doğal ve yapay ipliklerin hazırlanması, dokuma örme veya başka yöntemlerle kumaş, triko, halı gibi tekstil ürünleri haline getirilmesi, iplik ve kumaşlara kasar, boya, baskı, apre gibi terbiye işlemlerinin uygulanması işlemlerini içermektedir.

Tekstil endüstrisinde üretimde yer alan proses ve işlemler, işlenen elyafa bağlı olmaksızın tanım olarak birbirine benzerler. Endüstride uygulanan ana işlemler, haşılama, haşıl sökme, ağartma, merserize etme, boyama, baskı, apreleme olmak üzere gruplandırılabilir.

Tekstil endüstrisi, üretim faaliyetlerinde en yüksek proses suyu kullanımını gerçekleştirmekte ve dolayısıyla yüksek debide atıksu oluşturmaktadır. Tekstil endüstrisi teknik gelişmeleri ve iş imkanları yönünden Türkiye ekonomisinde de önemli bir yer tutmakta, toplam endüstriyel üretimin %13'ünü ve toplam ihracat gelirlerinin % 25,8'ini oluşturmaktadır (Yıldız Töre ve ark. 2010).

### **2.2. Tekstil Endüstrisinin Türkiye'de Yeri ve Önemi**

Tekstil endüstrisi, diğer gelişmekte olan ülkelerde olduğu gibi Türkiye'de de gerek üretim ve istihdama katkısı ve gerekse ihracat yoluyla ekonomiye döviz kazandırması nedeniyle ekonominin lokomotif sektörü olma özelliğini sürdürmektedir. Tekstil endüstrisinin ekonomiye katkısı dikkate alındığında, rekabetçiliğinin artırılması ve sürdürülmesi Türkiye açısından hayati önem taşımaktadır. Türkiye tekstil endüstrisinin üstünlükleri; yüksek üretim kapasitesi, hammaddenin bolluğu, endüstrideki deneyim ve bilgi birikimi, teslimat süresinin kısalığı, uygun maliyet, kaliteli ve esnek üretim ile ürün çeşitliliği gibi faktörlerden kaynaklanmaktadır.

Cumhuriyetin ilk yıllarında Türkiye tekstil endüstrisi net tekstil ve konfeksiyon ithalatçısı iken; tekstil sektöründe 1950, konfeksiyon sektöründe ise 1970 yılından itibaren net

ihracatçı konumuna ulaşmıştır. 1980'li yıllarda ihracatta yakaladığı başarıyı, göstermiş olduğu üstün ekonomik performans ile bütünleştirerek günümüze taşıyan sektör, hammadde temininden enerji maliyetine, kapasite kullanım oranından yatırımlarına, dış ticaretten AB ülkeleriyle ilişkilerine uzanan geniş bir perspektifi ortaya koymaktadır. Özellikle ihracata yönelik kalkınma modeliyle beraber önemli bir atılım gösteren ve toplam üretiminin yarısından fazlasını ihraç eden sektör, ekonominin lokomotifi konumuna gelmiştir. İşgücünün nispi olarak ucuz, hammaddenin kaliteli ve fiyatların dünya fiyatlarının altında olmasına bağlı olarak Türkiye tekstil endüstrisi, 1980'li yıllarda başlayan yeni ekonomik süreçten ve özellikle dış ticaretin liberalleşmesi politikalarından en fazla yarar sağlayan sektörlerden birisi olmuştur.

Türkiye tekstil endüstrisi 21,5 milyar dolarlık üretim değeri ile GSMH'nın %10,7'sini, sanayi üretiminin % 17,7'sini, imalat sanayi üretiminin % 19,1'ini ve imalat sanayii katma değerinin % 15'ini gerçekleştirmektedir. İstihdam rakamları ele alındığında, sanayi istihdamının % 28'i, imalat sanayii istihdamının % 35'i ve SGK'ya kayıtlı toplam istihdamın % 10,9'u tekstil endüstrisi tarafından sağlanmaktadır. Yaklaşık 40 bin firmanın faaliyette bulunduğu endüstride firmaların 1/4'ü aktif ihracatçı konumundadır. Bu bağlamda 500 büyük sanayi kuruluşunun 1/4'ü, tekstil endüstrisinde faaliyet gösteren firmalardan oluşturmaktadır. Ayrıca, hâlihazırda 21 adet Sektörel Dış Ticaret Şirketi'nin 9'u tekstil endüstrisine yönelik olarak faaliyetlerini sürdürmektedir (Çalışır 2010).

## **2.3 Tekstil Endüstrisinde Renk Oluşumuna Neden Olan Boyalar**

### **2.3.1. Bazik (katyonik) boyalar**

Bunlar organik bazların hidroklorürleri şeklinde veya asetat tuzları şeklindedir. Yani renkli kısım katyondur. Pozitif yük taşıyıcı olarak N ve S atomu içerirler. Sulu çözeltide boya katyonu, lifin anyonik gruplarına elektrostatik çekim kuvvetleri ile bağlanır (Çalışır 2010).

### **2.3.2. Asit boyalar**

Molekülde bir ya da birden çok sülfonil grubu veya karbonil asit grubu içerirler. Renkli bileşen boya anyonudur ve anyonik sınıfa girerler. Başlıca protein liflerinin ve poliamidin boyanmasında kullanılırlar (Çalışır 2010).

### **2.3.3. Direkt boyalar**

Bunlar genellikle sülfonik asitlerin, bazen de karboksilli asitlerin sodyum tuzlarıdır. Yani renkli kısmı oluşturan iyon anyon şeklindedir. Pek çoğu yapı bakımından azo boyaları grubuna girer. Direkt boyaların ucuz olmaları, boyama işlemlerinin çok basit oluşu ve boyama esnasında elyafın yıpranmaması gibi özelliklerden dolayı tercih edilirler. Genellikle selülozik elyafın boyanmasında kullanılırlar. Bazıları ise kağıt, deri, ipek ve naylon boyamada kullanılırlar (Çalışır 2010).

### **2.3.4. Reaktif boyalar**

Reaktif boyaların kullanılmaya başlanması 1950 yılları olmasına karşın, geniş şekilde tüketimi 1970'lerden sonra başlamıştır. Reaktif boyalar, difüzyon sistemine göre çalışan direkt boyaların aksine, selülozla kovalent bağ oluşturarak yıkama haslığı yüksek boyama sağlar. Pamuklu ve rejenere selülozdan üretilmiş mamüllerin boyanmasında, günümüzde yeterli haslık sağlayan ve en yaygın kullanılan boya sınıfıdır. Haslıkları, çok yönlü kullanım alanları, parlak canlı renkleri ile pamuklu sektöründe vazgeçilmez bir öneme sahiptirler. Tüketicimin son zamanlarda ivme kazanmasının nedenleri arasında, selüloz elyafın büyüyen tüketimi, reaktif boyaların etkin olduğu pamukların ve selülozik diğer liflerin kullanımının artması sayılabilir. Işık ve yıkama haslıkları bakımından küp boyalardan daha düşük, direkt boyalardan daha üstündür. Küp boyaların renk gamı dar ve tonları mat, boyaması zor ve fiyatları yüksek olduğundan, reaktif boyaların tüketimi devamlı artmaktadır (Çalışır 2010).

### **2.3.5. Küp boyalar**

Küp boyalar moleküllerinde en az iki oksijen atomu ihtiva eden bileşiklerdir. İri, ince ve çok ince toz halinde bulunabilirler. Bunlar suda çözünmezler; fakat sodyum hidroksit ve sodyum hidrosülfid etkisiyle suda çözünebilir leiko bileşiklerine dönüşürler. Daha çok

selülozik, kısmen de protein elyafının boyanmasında kullanılır. Işık haslıkları en iyi boyalardır (Çalışır 2010).

### **2.3.6. Dispers boyalar**

Amino ve hidroksil grupları ihtiva eden düşük molekül ağırlıklı bileşiklerdir. Polyester elyaf, yüksek kristalinite ve belirgin hidrofobik özellik gösterdiğinden büyük moleküllü boyalar elyaf içerisine kolay nüfuz edemezler. Elyaf kimyaca aktif grup içermediği için boya anyon ve katyonlarını da bağlayamaz, polyesterin boyanmasında en çok kullanılan boyalar dispers boyalardır (Özcan 1984).

### **2.3.7. Kükürt boyalar**

Kükürt boyalar nitro ve amino grupları içeren amino bileşiklerin sülfür veya sodyumsülfid ile yüksek sıcaklıkta reaksiyonu sonucu elde edilir. Genellikle koyu mavi, siyah, kahverengi gibi koyu renkleri kullanılır (Çalışır 2010).

Tekstil mamullerinde renklendirme ticari başarı için anahtar faktördür. Bunun yanında mamul üzerindeki rengin yıkama, ışık, kuru temizleme ter v.b. dış faktörlere dayanımının, yani haslıklarının, yüksek olması amacıyla boyarmadde yapılarında yapılan modifikasyonlar bu boyarmaddelerin geleneksel atık su arıtım sistemlerine karşı da dayanım göstermelerine neden olmuştur (Cooper 1993).

Bütün boyarmaddeler aynı oranda problem oluşturmazlar. Boyarmaddelerin yapıları arıtım işlemlerine karşı davranışı belirlediği gibi boyarmaddelerin liflere bağlanma yetenekleri, dolayısıyla atık suda kalan boyarmadde miktarları da farklılık göstermektedir. Tekstil boyamacılığında kullanılan farklı boyarmaddelerin uygulama alanları ve fikse oranları Çizelge 2.1'de verilmiştir.

**Çizelge 2.1.** Tekstil boyamacılığında kullanılan farklı boyarmaddelerin uygulama alanları ve fikse oranları (Eren ve Anış 2006).

Boyar- madde	Karakteristik	Lif	% Fikse Oranı	Tipik Kirleticiler
Asit	Suda çözünebilir anyonik bileşikler	Polamid, yün	80-93	Renk, organik asitler
Bazik	Suda çözülebilir, parlak renkli	Akrilik, bazı poliestерler	97-98	Renk
Direkt	Suda çözünebilir anyonik bileşikler	Selüloz, rayon	70-95	Renk, katyonik fiksator, yüzeyaktif madde, köpük kırıcı, egalizator
Dispers	Suda çözülmez	Poliester, asetat, diğer sentetikler	80-92	Renk, organik asitler, keriyer, egalizator, köpük kırıcı, dispergator
Reaktif	Suda çözünebilir anyonik bileşikler, en geniş sınıf	Selüloz ve türevleri yün	60-90	Renk, tuz, alkali, köpük kırıcı ve yüzey aktif maddeler
Kükürt	Kükürt içeren organik bileşikler	Selüloz ve türevleri	60-70	Renk, alkali, oksidatif ve redüktif maddeler
Küp	Suda çözünmez, kompleks yapılar	Selüloz ve türevleri	80-95	Renk, alkali, oksidatif ve redüktif maddeler

Çizelgeden de görüleceği gibi tekstil sektöründe renklendirmenin önemi oldukça fazladır ve kullanılan boyaların fikse oranları oldukça yüksektir. Ağırlıklı olarak kullanılan reaktif boyaların fikse oran aralığının oldukça geniş olduğu görülmektedir (%60-90).

İngiltere’de iki atık su arıtım tesisi giriş atıksuyunda (Loughborough ve Wanlip) yapılan bir araştırmada karşılaşılan boyarmadde oranları %64 reaktif boyarmadde, %6,5 direkt boyarmadde ve %11 dispers boyarmadde şeklinde rapor edilmiştir. Kalan %18,5’lik kısmı ise metal-kompleks, bazik, asit, kükürt ve küp boyarmaddeler oluşturmuştur. Elbetteki bu değerler bölgede faaliyet gösteren fabrikaların kullandıkları lif cinsine ve boyarmadde tipine göre değişecektir. Dünyada yıllık 21 milyon tona yakın pamuğun renklendirilmesinde yıllık 120.000 ton reaktif boyarmadde tüketilmektedir (www.chemsoc.org). Boyama metotları içerisinde çektirme metodu ile reaktif boyama yaygın olup bu metot için 2006 yılına ait istatistik değerlendirme sonuçları Çizelge 2.2’de verilmiştir.

**Çizelge 2.2.** Pamuğun çektirme yöntemiyle boyanmasında tahmini yıllık istatistikler (Eren ve Anış 2006).

Boyanan pamuk miktarı	4 milyon ton
Kullanılan su miktarı	400 milyon ton
Kullanılan tuz miktarı	2,8 milyon ton
Kullanılan reaktif boyarmadde miktarı	0,08 milyon ton
Atık boyarmadde miktarı	0,024 milyon ton

Çizelge 2.2’de yer alan 2006 yılına ait istatistik değerlendirme sonuçları incelendiğinde; tekstil endüstrisinde su kullanımının önemi ve miktarının büyüklüğü oldukça dikkat çekmektedir. Boyanan 1 kg pamuk için 100 kg su kullanıldığı ve kullanılan boyanın %0,6’sının atıksuya karıştığı anlaşılmaktadır.

Tekstil proses atıksuları genellikle 10-20 mg/L konsantrasyon aralığında boyar madde içermektedirler (O’neill vd. 2000) ve oldukça renkli atıksulardır. Herhangi bir arıtım uygulanmadan alıcı ortama direkt deşarj edildiklerinde bazı problemlere neden olabilmektedirler. Bu problemlerden en önemlileri, boyaların toksik etki göstermeleri ve doğada biyoakümülyasyona neden olmalarıdır. Boyar maddeler kimyasal ve fotolitik olarak stabil olduklarından, doğal çevrede inatçı ve kalıcıdır. Tüm bu sebeplerden dolayı, arıtılmadan çevreye deşarjı ekotoksik risk oluşturma, ayrıca estetik problemlere neden olmaktadır (Işık ve Sponza 2004).

Boyar maddeler, canlılar üzerinde toksik etki oluşturmaktadırlar. Besin zincirine kadar giren boya kompleksinin besin maddesi olarak kullanılarak, sucul canlıların yanı sıra insan vücuduna kadar ulaşabildiği rapor edilmiştir (Chung ve Stevens 1993). Özellikle azo bağının indirgenmesi sonucu oluşan benzidin aromatik aminin, o-toluidinin ve fenilendiaminin insan sağlığı açısından zararlı bileşikler arasında olduğu bildirilmiştir (Lourenço vd. 2001). Memelilerde azo boyaların indirgenmesi, sindirim sisteminin anaerobik bölgesindeki bakteriyel aktiviteler ile gerçekleşir. Bağırsaklarda azo boyaların indirgenmesinden sonra açığa çıkan aromatik aminler, bağırsakta absorplanır ve idrarla dışarı atılır.

Boyar maddeler, alıcı ortamda bulanıklığa neden olarak güneş ışınlarının geçişini engellerler. Buna bağlı olarak fotosentez yavaşlar ve çözünmüş oksijen seviyesi düşerek suda yaşayan canlılar arasındaki doğal denge bozulur. Boya bileşiklerinin sucul ortam sedimentlerinde indirgendiği ve kanserojen özellikli aromatik aminler üreterek ekosisteme yayıldığı bilinmektedir. Boyar maddelerin toksik etki göstermelerinin araştırıldığı çalışmalarda, suda yaşayan canlılardan (balık, alg, bakteri vb.) insanlara kadar uzanan geniş çaplı testler yapılmış ve boyar maddelerin akut toksisitelerinin genellikle düşük olduğu bulunmuştur. Fakat insanlarda boyar maddelere karşı akut hassasiyet reaksiyonlarıyla sıklıkla karşılaşmaktadır. Özellikle bazı dispers boyar maddelerin egzama gibi alerjik reaksiyonlara neden olduğu bilinmektedir.



## 2.4 Denim Endüstrisi

### 2.4.1 Denimin Tanımı

Denim, bir Amerikan kumaş dergisinin 1960'lı yıllarda ifade ettiği gibi 'ebediyen genç kalabilen ama aslında dünyanın en eski kumaş çeşitlerinden biri' dir (İTKİB 2006).

Denim veya Blue jeans olarak isimlendirilen kumaşlar, genel tanımlamayla pamuk, polyester, naylon, viskon, lycra gibi ipliklerden üretilen, çeşitli birim ağırlıklarda olabilen genellikle çözümlü ipliği mavi indigo boyalı, atkısı boyanmamış (ham), çeşitli örgülerde dokunmuş kumaşlardır. Çözgünün boyalı olması ve atkının boyasız olması nedeniyle kumaşın yüzü ve tersi, örgünün özelliği nedeni ile renk olarak farklı gözükmektedir (Korkmaz 2009).

Denim ismi güney Fransa Rhone vadisinden gelen "Tissu de Nimes", Blue jeans ismi ise İtalyan Rivierasından gelen "Blue de Genes" deyimlerinden gelmektedir.

### 2.4.2 Denimin tarihçesi

İlk olarak 19. yüzyılda Levi Strauss tarafından ağır iş elbisesi olarak dikilen Blue Jean'lerin dünya çapında ilerleyişi 1950'lerde beyazperdeden Marlon Brando ve James Dean ile başlamıştır. O zamandan bu yana stilist, iplikçi, dokumacı ve terbiyecilerin meydana getirdiği eşi bulunmaz çeşitlilikteki bir moda içinde gelişim göstermiştir.

- ✓ 1873 Levi Strauss Californyalı madenciler için koyu kahverengi "Canvas" tan ilk Jean'i yaptı.
- ✓ 1890'lar Levi Strauss ilk Jean'leri "501 indigo" adı altında üretti.
- ✓ 1904 Kuzey Carolina, Greensboro' da Blue Bell Co. Şirketinin kuruluşu.
- ✓ 1950'ler pazarda ilk fermuarlı jean'lerin görünüşü.
- ✓ 1954 Marlon Brando ve James Dean, Blue Jean kumaş için yeni bir imaj oluşturacak şekilde jean ile göründüler.
- ✓ 1960 Blue Jean zafere doğru ilerleyişine başladı.
- ✓ 1962 Burlington, ABD Sulzer Ruti mekikçikli dokuma makinelerinde ağır Blue Jean (14,75 onz/yd<sup>2</sup>) üretimini gerçekleştirdi.
- ✓ 1974 yıkanmış Jean'ler pazarlarda göründüler.

- ✓ 1978 Endüstri, Blue Jean'ler için taş yıkama prosesini geliştirdi.
- ✓ 1986 Diğer yıkama prosesleri gelişti (Kimyasal Yıkama).

Tarihsel bir süreçten geçen "denim" günümüze gelene kadar gerek formunda, gerek üzerine yapılan süslemelerde, farklı yıkamalarla, hatta kumaşında çeşitli terbiye işlemleri geliştirilerek yenilikler sağlanmıştır. Daha iyi bir form ve daha fazla rahatlık için denim kumaşlarına ilave olarak poliamid, licra, polyester gibi karışımlar kullanılmıştır. Üzerine yapılan işlemler sonucunda değişen tarzı ile denim adeta evrim geçirmiştir (Korkmaz 2009).

### **2.4.3. Türkiye’de Denim Kumaş ve Giysi**

Türkiye denim kumaş üretiminde dünya çapında isim yapmış bulunmaktadır ki bu kaliteli kumaşlarla üretilen denim giysiler özellikle son birkaç yılda dokuma konfeksiyonun en sağlam kalesi haline gelmiştir. Mavi Jeans, Colin's, Loft, Redstar, Motor, Interpoll Jeans, Uncle Sam, Cross Jeans, Balin's Jeans gibi Türk markaları yaratılmış ve tüm dünyaya tanıtılmıştır.

Türkiye denim giysi üretiminde gerek tasarım gerek markalaşma gerekse etkin pazarlama stratejileri ile dünyanın önde gelen ülkelerinden biri durumuna gelmiştir. Denim giysi üreticilerinin dünyanın en prestijli fuarlarına katılarak, Avrupa'dan Amerika'ya dünyanın dört bir yanında mağazalar, showroamlar açarak yürüttükleri yoğun ve etkin pazarlama stratejileri, 2000’li yıllarda meyvelerini vermiştir.

Türkiye'nin toplam hazır giyim ve konfeksiyon ihracatı içerisinde denim giysilerinin payı 2000 yılında %5,6 iken 2007 yılında %14 olarak hesaplanmıştır. 2007 yılında Türkiye’den 142 ülkeye 2,1 milyar dolar değerinde denim giysisi ihracatı yapılmıştır. 2008 yılının Ocak-Mayıs döneminde ise denim giysi ihracatı 756 milyon dolar değerinde olmuş ve toplam hazır giyim ve konfeksiyon ihracatı içerisindeki payı % 11,1 olarak hesaplanmıştır (Türkant 2008).

2012 yılı %5,4 düşüşle kapanmış ancak 2013 yılının ilk üç ayı itibariyle başarılı bir ihracat performansı yakalanmıştır. 2013 yılının Ocak-Mart döneminde Türkiye’den %14,6 oranında artışla 427,9 milyon dolar değerinde denim giysi ihraç edilmiştir. Sektörel ihracat %8,1 oranında ve dokuma konfeksiyon ihracatı %7 oranında artarken denim giysi ihracatının

%14,6 oranında artması, dokuma konfeksiyon ihracatı içinde denim giysilerin payını %26,2'den %28'e yükseltmiştir. 2012-2013 Ocak-Mart döneminde en fazla denim giysi ihraç edilen ülkelere ait durum Çizelge 2.3'de verilmiştir.

**Çizelge 2.3.** 2012-2013 Ocak-Mart döneminde en fazla denim giysi ihraç edilen ülkeler (İTKİB 2013).

En Fazla Denim Giysi İhraç Edilen Ülkeler 2012 - 2013 Ocak-Mart				
Ülkeler	2012 Ocak - Mart	2013 Ocak - Mart	Değişim %	Pay %
Almanya	62.426.809	70.319.751	12,6	16,4
İngiltere	35.044.305	56.041.395	59,9	13,1
İspanya	37.836.362	52.323.095	38,3	12,2
Hollanda	32.947.591	40.528.611	23,0	9,5
İtalya	25.131.772	22.840.763	-9,1	5,3
Çek Cumhuriyeti	22.508.515	22.316.518	-0,9	5,2
Rusya Federasyonu	12.897.516	21.897.374	69,8	5,1
Danimarka	23.173.863	21.548.232	-7,0	5,0
Belçika	17.469.248	19.454.727	11,4	4,5
Fransa	15.246.659	15.417.860	1,1	3,6
İsveç	8.640.989	9.345.232	8,2	2,2
Ukrayna	8.732.719	7.913.186	-9,4	1,8
Estonya	5.220.730	6.520.216	24,9	1,5
ABD	4.644.970	5.881.742	26,6	1,4
AHL Serbest Bölge	5.053.467	4.657.442	-7,8	1,1
Cezayir	6.101.276	3.836.927	-37,1	0,9
Polonya	4.693.742	3.319.557	-29,3	0,8
Norveç	2.145.444	2.914.122	35,8	0,7
İsrail	4.726.705	2.835.630	-40,0	0,7
Kanada	2.674.971	2.810.437	5,1	0,7
İlk 20 Ülkenin Toplamı	337.317.654	392.722.817	16,4	91,8
Türkiye Toplam Denim Giysi İhr.	373.487.988	427.933.693	14,6	100,0
20 Ülkenin Payı %	90,3	91,8		
Türkiye Toplam Dokuma Konfeksiyon İhracatı	1.427.138.090	1.527.113.832	7,0	
Denim Giysi İhracatının Dokuma Konfeksiyon İhracatındaki Payı %	26,2	28,0		

Çizelge 2.3'e göre; 2013 Ocak- Mart döneminde Türkiye'den en fazla denim giysi ihraç edilen ülkeler %12,6 oranında artışla 70,3 milyon dolarlık ihracat yapılan Almanya, %59,9 oranında artışla 56 milyon dolarlık ihracat yapılan İngiltere ile %38,3 oranında artışla 52,3 milyon dolarlık ihracat yapılan İspanya olarak sıralanmaktadır.

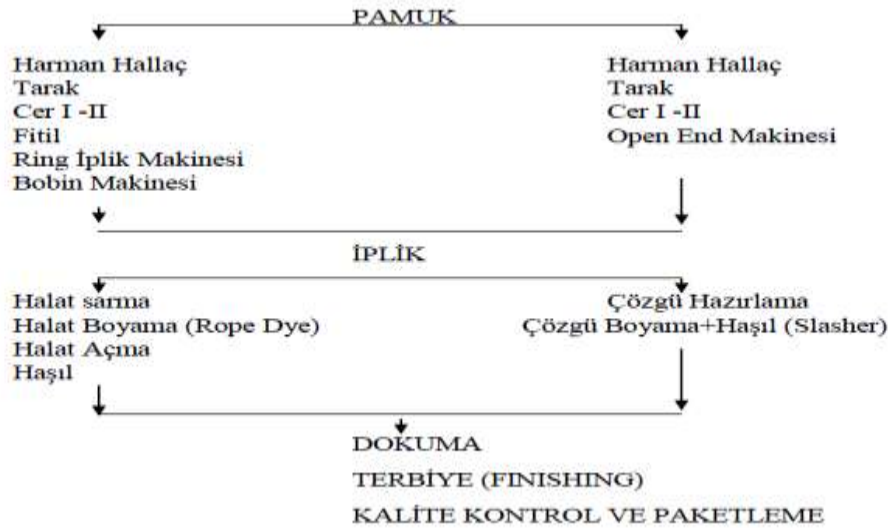
Türkiye'den en fazla denim giysi ihraç edilen ilk yirmi ülkeden onikisinde %1,1 ile %69,8 arasında değişen oranlarda artışlar kaydedilirken, sekiz ülkede %0,9 ile %40 arasında değişen oranlarda düşüşler olmuştur.

İlk yirmi ülke içerisinde denim giysi ihracatının en yüksek oranlı arttığı ülke %69,8 oranında artışla 21,9 milyon dolarlık ihracat yapılan Rusya Federasyonu'dur. %59,9 oranında artışla 59 milyon dolarlık ihracat yapılan aynı zamanda en büyük ikinci pazar olan İngiltere, %38,3 'lük artışla 52,3 milyon dolarlık ihracat yapılan, aynı zamanda en büyük üçüncü pazar olan İspanya ve %35,8 oranında artışla 2,9 milyon dolarlık ihracat yapılan Norveç ihracatın en yüksek oranlı arttığı diğer ülkelerdir.

Denim giysi ihracatının yüksek oranlı azaldığı ülke ve bölgeler ise, %40 düşüşle 2,8 milyon dolarlık ihracat yapılan İsrail, %37,1 düşüşle 3,8 milyon dolarlık ihracat yapılan Cezair, %29,3 düşüşle 3,3 milyon dolarlık ihracat yapılan Polonya ve %9,4 düşüşle 7,9 milyon dolarlık ihracat yapılan Ukrayna olmuştur (İTKİB 2013).

#### 2.4.4. Denim Kumaş Üretim Süreci

Denimin hammaddesi %100 pamuktur. Pamuk bitkisi, keten ve yün ile birlikte tekstilde kullanılan en eski elyaftır. Antarktika hariç dünyanın her yerinde yetişir. Ancak pamuk daha çok nemli ve sıcak havayı sever. Anavatanı Hindistan'dır. Bunun yanında; Çin , Meksika, Pakistan, Brezilya, Türkiye, Mısır, A.B.D., B.D.T. (Özbekistan ve Kazakistan) ve Sudan'da pamuk üretimi önemli bir yer tutmaktadır (Başer 1992). Denim kumaş üretimine ait akım şeması Şekil 2.1'de verilmiştir:



Şekil 2.1. Denim Kumaş Üretimi İş Akım Şeması

(<http://tekstiltime.blogcu.com/denim-kumasin-genel-ozellikleri/1460896>)

(erişim tarihi 23/05/2014)

Şekil 2.1’de verilen akım şemasına göre; denim iplik üretimi için, balyalar halinde alınan pamuk sırasıyla; karıştırma, açma ve temizleme işlemlerinden geçirilir. Cer makinelerinde homojen iplik karışımları elde edilerek tek şerit haline getirilir. Fital makinelerinde bu şeritler iplik makinesinde çalışılabilecek şekilde inceltip büküm verilerek fital yumağına sarılır ve ring makinelerine alınarak iplik haline getirilir. Halat sarmada boyama öncesi ipliklerin makinede hazırlanması işlemi yapılır. Halat boyamada indigo boya kullanılır. Halat açmada, boyama işleminde çok fazla silindirden geçmiş ve doğal olarak birbirine karışmış olan ipliklerin paralellliğini sağlar ve ardından ipliklerin haşıl maddesi ile kaplandığı haşıl makinelerine alınır. Haşıllanan iplikler dokuma makinelerinde dokunarak kumaş haline getirilir. Terbiye işlemi olarak germe, sanfor ve apre işlemlerinden geçirilen kumaşlar konfeksiyon üretiminde kullanılmak üzere sevkedilmektedir. Terbiye işlemlerinde önemli miktarda su kullanımı mevcuttur.

#### **2.4.5. Denim Kumaşının Özellikleri**

Denim kumaşının genel özelliklerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz (Yakartepe 2005):

1. Denim kumaşlarının çözgü ipliği indigo boya veya sülfür boylarla boyanmış pamuk ipliğidir.
2. Atkı ipliği ise beyaz pamuk ipliğidir. Bu atkı iplikleri daha sonra boyanabilir.
3. Çözgü ipliği atkı ipliğine göre daha ince ve sık bükümlüdür.
4. Denim kumaşı, çözgü yüzeyli dimi örgüleri ile dokunur. En çok 2/1 ve 3/1 çözgü dimileri kullanılır.
5. Kumaş örgüsünden dolayı ön ve arka yüzleri farklıdır. Arka yüzde beyaz atkı iplikleri belirgin, ön yüzde ise boyalı çözgü iplikleri belirgindir.
6. Denim kumaşların pH değeri 8-10 arasında olmalıdır.
7. Işık haslığı 4, ter haslığı 5, sürtünme haslığı boyalılarda en çok 3, bunun dışındakiler de ise

en çok 5 olmalıdır.

8. Çekmezlik değeri atkı ve çözgü yönlerinde en çok % 2-3, gerilme toleransı ise % 1 olmalıdır.

9. Denim kumaşları belirli bir dikim kolaylığına da sahip olmalıdır.

#### **2.4.6 Denim Kumaşların Boyanması**

Denim kumaşların bilinen özelliği, çözgü ipliklerinin indigo boyarmaddesi ile boyalı olmasıdır. İndigo boyarmaddesi sayesinde düşük yıkama haslığına, orta dereceli ışık haslığına ve düşük derecede kuru sürtme haslığına sahip denim kumaşlar üretilmekte ve bu kumaştan dikilmiş mamuller, çeşitli fiziksel ve kimyasal eskitme yöntemlerine tabi tutularak, mamul üzerinde modaya uygun eskimiş, yıpranmış hissi veren efektlerin oluşması sağlanmaktadır.

Denim kumaşların boyanmasında kullanılan doğal indigo; orijinal olarak tropik iklimlerde (özellikle Hindistan ve Çin'de) yaygın şekilde bulunan "*İndigofera tinctoria L.*" bitkisinin yapraklarından üretilmiştir. Bu bitkinin tarımı Hindistan'da 4000-5000 yıldan bu yana yapılmaktadır ve bu zaman sürecinden beri tekstil boyamacılığında kullanılmaktadır. İndigo boyarmaddesi suda çözünmeyen bir yapıya sahiptir. Suda çözünür hale gelmesi ancak alkali ve indirgen ortamda mümkün olmaktadır. Suda çözünen bu yapıya "sodyum löyko (leuco) indigo" adı verilmektedir. İndigonun yapısındaki kromofor gruplar (C=O) indirgendiğinde reaksiyon bir renk değişikliği ile yürür. Mavi renkli indigo, sodyum löyko bileşiğine indirgendiğinden çözelti sarı renkli olur. Sarı renkli bu bileşik selüloz tarafından çekilerek lifleri boyar ve daha sonra hava oksijeni ile tekrar yükseltgenerek mavi renkli indigoya dönüşür (Tahran 2005).

#### **2.4.7 Denim Kumaş Çeşitleri**

- Mavi Denim: Çözgüsü indigo boyarmaddesiyle maviye boyanmış ve atkı ipliği beyaz, çözgü dimisi şeklinde dokunmuş kumaştır.

- Siyah Denim: Çözüğü iplik halinde siyaha boyanmış veya kumaş halinde siyaha boyanmış denim cinsidir. Kumaş veya parça halindeki siyah boyamalarda kükürt boyar maddeleri kullanılmaktadır.
- Basic Colored Denim: Temel renklerde boyanmış denim kumaşların üretiminde reaktif boyarmaddeler kullanılmaktadır, fikse işlemi için soda kullanılmaktadır. Fikse işlemi ardından durulama, asitleme ve sabunlama adımları gerçekleştirilmektedir.
- Çok Renkli Denim: Çok renkli çözgü iplikleri klasik indigo ile boyanmış çözgü ipliklerinin kükürt boyarmaddeleriyle boyama işlemine alınması ile üretilmektedir.
- Çift Taraflı Denim: Ön ve arka kumaş yüzleri farklı iki değişik boya grubu ile özel metotlarla boyanarak veya basılarak renklendirilmiş denim cinsidir. Renklendirme işlemi kumaş halindeyken yapılabildiği gibi, atkı ve çözgü ipliklerinin farklı renklerde boyanmasıyla da yapılabilmektedir.
- Ring Efektli Denim: Atkısı ve/veya çözgüsü ring iplikten dokunmuş denim kumaşlar için kullanılan bir ifadedir. Sadece çözgüsünün ring olması durumunda yıkama sonrasında mamul üzerinde boyuna çizgili bir efekt elde edilmektedir. Atkı ve çözgü ipliklerinin her ikisinin de ring olması durumunda yıkama sonrasında hem atkı hem de çözgü yönünde çizgili bir efekt elde edilmektedir.
- Streç Denim: Yapısında elastan iplikler içeren denim cinsidir. Bu denimler, kumaş eni yönünde elastikiyete sahiptirler.
- Aşındırılmış İndigo Denim: İndigo boyanmış kumaşın aşındırma patı ile basılarak, desene göre zemin boyar maddesinin tahrip edilmesi ile elde edilen denim kumaşlardır (Özdemir ve Duran 2006).

## **2.5. Denimin Yıkınması**

Son birkaç yıla kadar parça yıkama denince akla gelen, siyah veya mavi indigo boyalı denim mamullerin yıkınmasıydı. Günümüzde ise yıkama; hemen her türlü hazır giyim mamulü için uygulanabilen çok farklı, değişik görünüm ve tuşelerin elde edilebildiği bir

sektör haline gelmiştir (Rotta Kimya 2005). Denim giysilere uygulanan yıkama işlemlerini aşağıdaki gibi özetleyebiliriz:

#### 1. Kuru işlemler

- ✓ Zımpara
- ✓ Kumlama (Sand blasting)
- ✓ Eskitme-Yıpratma
- ✓ Kılçıklama
- ✓ Lazer
- ✓ Reçine (Kaplama)

#### 2. Yaş işlemler

- ✓ Ön yıkama (Haşıl sökme)
- ✓ Taş/Enzim yıkama
- ✓ Ağartma
  - ❖ Sodyumhipoklorit ağartması
  - ❖ Potasyumpermanganat ağartması
  - ❖ Enzimatik ağartma
  - ❖ Ozon ağartması
- ✓ Tint
- ✓ Yumuşatma

### 2.5.1 Kuru İşlemler

Kuru işlemler; denim giysisine, istenen kullanılmış görüntüyü vermek için yapılan ve giysiye mekanik olarak uygulanan işlemlerdir. Denim kumaş üretiminde kullanılan çözümlü ipliği, dokuma sırasındaki gerilimlere karşı dayanıklı olması amacıyla haşıl denilen nişasta türevi bir malzeme ile kaplanmaktadır. Kumaş üretildikten sonra konfeksiyoncuya haşılı olarak sevk edilmektedir. Haşıl malzemesi kumaşa bir sertlik oluşturduğundan, kuru işlemler sırasında aşındırma amaçlı olarak kullanılan zımpara, daha kolay etki göstermektedir. Bu sebeple kuru işlemler, ilk proses olarak uygulanmaktadır (Çakır 2010).



## 2.5.2 Yaş işlemler

### 2.5.2.1. Haşıl sökme (Ön yıkama)

Haşıl malzemesi genellikle, nişasta veya modifiye nişasta esaslıdır ve bununla beraber bir miktar ıslatıcı kimyasal ve yumuşatıcı da haşıl reçetesinde bulunmaktadır. Yıkamada kırıksız, abrajısız ve istenilen tuşede bir yıkama yapılması için kullanılan haşıl malzemelerinin uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu işlem sentetik haşıllarda çok kolaydır çünkü bunlar su ile yıkandığında ürün üzerinden uzaklaşmaktadırlar. Ama nişasta bazlı haşıl kullanıldığında durum değişir çünkü nişasta suda çözülmediği için nişastayı parçalamak gerekmektedir. Bu amaç için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Yıkamada bu yöntemlerden en çok kullanılan haşıl sökücü enzimlerdir (alfa amilaz).

Haşıl sökücü enzimler bakterilerden elde edilirler ve etkin hale gelmeleri için uygun koşullar oluşturulmalıdır. Bu koşulları pH ve sıcaklık olarak özetleyebiliriz. Aksi takdirde düzgün ve yeterli etki gösteremezler. Ancak kumaş üzerine terbiye işlemleri sırasında tatbik edilen diğer kimyasallar veya yabancı maddeler, amilaz ile uzaklaştırılmaz. Zaman zaman bunların uzaklaştırılması için, kullanılan enzimle uyumlu çalışabilecek bir deterjan gereklidir. Deterjanlar non-iyonik ve anyonik olabilirler. Anyonik deterjanlar daha iyi bir temizleyici olmakla beraber, amilazı çökertme ihtimali olabilir. Bu sebeple amilaz ile beraber genelde non-iyonik deterjanlar kullanılır. Ayrıca kullanılan enzimin çalışabileceği pH aralığına ve en aktif olduğu sıcaklık derecesine göre, gerekiyorsa asetik asit kullanılmakta ve sıcaklık ayarlanmaktadır (Orta Anadolu 2006).

Haşıl giderme işlemi atıksuyu, genel atıksuyun organik yüküne (bazı yağ ve gresler de dahil) temelde katkıda bulunan önemli işlemlerden biridir ve nihai atıksudaki askıda katı maddenin büyük bir miktarı bu işlemde kaynaqlanmaktadır. Sentetik haşılama maddeleri (PVA, CMC, PAA) sabit bir BOİ<sub>5</sub> ve yüksek bir KOİ'ye sahipken, doğal nişasta haşılının BOİ<sub>5</sub> değeri oldukça yüksektir. Çizelge 2.4'de doğal nişasta ile enzimatik ve ait tipi haşıl gidermeden oluşan maddeler listelenmiştir. Enzim gideriminden oluşan atıksuyun pH'ı yaklaşık nötrdür. Ancak sülfürik asit giderimi sırasında pH 1 ya da 2'lere düşebilir (Yıldız Töre 2005).

**Çizelge 2.4.** Doğal Nişastanın Haşıl Giderimi Sırasında Oluşan Atıksu Kompozisyonu (Yıldız Töre 2005)

İşlemin Tipi	Üretilen Atıklar	Atık karakteristikleri
Enzim	-Nişasta -Yağ,wax -Enzimler -NaCl, Islatma kimyasalları	-(İn)organik çözülmüş katılar -AKM -Yağ ve gres - Renk: Açık
Sülfirik Asit	-Nişasta kalıntıları -Yağ,wax -Sülfirik asit	-(İn)organik çözülmüş katılar -AKM -Yağ ve gres - Renk: Açık

Haşıl giderme işlemleri tekstil endüstrisinde oluşan organik yüke %50'ye varan mertebelerde katkıda bulunabilmektedir. Haşıl giderme ünitesinden gelen organik yükler KOİ parametresini direkt etkilediğinden, atıksu kirliliği üzerine önemli bir etkiye sahiptir.

#### 2.5.2.2. Taş/enzim yıkama

Ponza taşı, kum gibi aşındırıcı materyaller kumaş yüzeyinde mekanik bir aşınma sağlar ve çözgü ipliğinin üst tabakasındaki boyar maddenin aşınma yoluyla uzaklaştırılmasını sağlar. Mekanik etkiler, kumaşın mukavemetini, kimyasal etkilere göre daha az düşürürler. Bunun sebebi ise aşındırmanın, sadece üst tabakaya yapıyor olmasıdır. Kimyasal aşındırma ise, moleküler bazda yapıldığı için kumaşın dayanımlarında zayıflığa yol açar. Ancak, belli bir ağırlığın altındaki kumaşlara uzun süre taş yıkama yapıldığında, deliklere yol açabilir. Mekanik aşındırma, tek başına kullanıldığında, çoğu zaman arzu edilen görüntüyü vermez. Bu sebeple, genelde enzim ve taş beraber kullanılır.

Tekstil mamullerinin finish işlemlerinde kullanılan enzimler çoğunlukla selülozik enzimlerdir. Aslında bu enzimler özel bir katalitik etkiye sahip olan protein molekülleridir. Temel olarak etkileri, pamuğu oluşturan büyük selüloz moleküllerini daha küçük parçalara ayırmaktır. Selüloz molekülleri, yıkama makinesinin içindeki işlem sırasında parçalanır ve kumaştan ayrılır. Dolayısı ile pamukla reaksiyona girmiş olan indigo boyar maddesi de kumaştan ayrılmış olur (Çakır 2010).

Taş/enzim yıkama atıksularında, yıkama esnasında ponza taşının ufalanması sonucu yüksek oranlarda askıda katı madde oluşurken, ponza taşı biyolojik reaksiyonlara girmemekte ve KOİ vermemektedir. Bu nedenle atıksudaki ponza taşının giderimi için çeşitli elekler ve çöktürme havuzları kullanılmalıdır. Ancak taş yıkamada ponza taşı ile birlikte çeşitli taş enzimleri de kullanılmaktadır. Enzimlerin aktiviteleri ile selüloz moleküllerinin ve indigo boyar maddesinin suya geçmesi sonucunda yüksek miktarda askıda katı maddeler oluşmakta ve KOİ parametresi de yükselmektedir. Ayrıca çözülmüş ve partiküler formda atıksuya geçen indigo boyar maddesi de atıksuyun rengini koyulaştırarak bulanıklığı arttırmaktadır.

### **2.5.2.3. Ağartma**

Ağartma işlemi kumaşın renginin açılması amacıyla yapılan, kimyasal bir işlemdir. Redüksiyon veya oksidasyon reaksiyonları ile ağartma yapılabilir:

Oksidasyon (yükseltgenme): Oksidasyon reaksiyonları, indigo boyarmaddeye direkt etki ederek, boyarmaddenin bozunması esasına göre çalışmaktadır. Hipoklorit ağartması, permanganat ağartması, ozon ve enzimatik ağartma gibi uygulama çeşitleri vardır.

Redüksiyon (indirgenme): Redüksiyon ile beyazlatma yapılırken, indigo boyar maddesi indirgenerek leyko formuna (indigo boyar maddenin suda çözülebilir hali) dönüştürülmekte ve suda çözünerek uzaklaştırılmaktadır (Sefer 2009).

#### **- Sodyumhipoklorit (NaOCl – Hipo) ağartması**

Hipo, spesifik özellikleri olan bir ağartıcı değildir. Yükseltgenme özelliği olan tüm maddeler (selüloz, boyarmadde v.b.) ile reaksiyona girer. Boyar maddeler arasında, hiponun kükürt ile girdiği reaksiyon, indigo ile olana göre daha hızlıdır. Bu sebeple kükürt zemin (bottom) veya üst boyamalı (topping) kumaşlarda, hipo önce kükürt boyar maddeyi uzaklaştırır. Potasyum Permanganat ağartmasına kıyasla, hipo ile ağartma da renk tonu daha mavi olur. Hipo ile yapılan ağartma işleminde, süre uzun olacaksa hiponun kademeli olarak beslenmesi gerekir çünkü hipo, belli bir süre sonra aktivitesini kaybeder. Kimyasal olarak

oksidatif reaksiyonun kontrol edilebildiği pH 10.0-11.0 aralığında çalışırlar. Kostik (NaOH) eklenerek pH 12.0'ye çıkarıldığında, daha yavaş ama daha kontrollü bir ağartma yapılabilir.

Hipokloritle ağartma atıksularında klorlu hidrokarbonlar oluşmaktadır. Materyal zerindeki kirleticilerin miktarlarına ve ağartma banyosunda işlenen tekstil materyalinin toplam ağırlığına bağlı olarak oluşan klorlu hidrokarbonların miktarı, atıksuyun kirliliğini etkileyen temel etmendir.

#### **- KMnO<sub>4</sub> (Potasyum permanganat) ağartması**

Ağartıcı, önce indigo ile reaksiyona girdiğinden, permanganat ağartması, hipo ağartmasına göre daha gri bir renk tonu verir. Nötralizasyon yapılmadan önce nasıl bir renk elde edildiği görülemez. Bu sebeple yıkama banyosunda yapılan ağartmalarda çok kullanılan bir yol değildir. Daha çok lokal ağartmalarda sprey veya tabanca ile uygulanır.

#### **- Enzimatik ağartma**

Ağartıcı enzim sadece indigo ile reaksiyona girerek enzimatik ağartma yapar. Mukavemet kaybına sebep olmaz. Sadece indigoya etkidiği için, kükürt boyar madde içeren denim kumaşlarda, gri renk tonunun korunmasını sağlar.

#### **- Ozon Ağartması**

Oksidasyon (yükseltgenme) sistemlerinden biri olan ozon, denim giysi üzerine gaz formunda uygulanır. Geri boyamayı çok yüksek verimle temizler ve eşsiz bir görüntü yaratır. Ayrıca denim kumaşta, kontrast görüntüyle beraber, çok hafif sarı/gri bir ton oluşturur. Islak/nemli mamule uygulandığında ise, tüm yüzeylerde homojen bir ağartma görevi görür. Ozon ve enzimatik ağartma haricindeki tüm oksidasyon sistemleri, nötralizasyon prosesini gerektirirken, redüksiyon sistemlerinde böyle bir gereksinim yoktur (.. (2009).

#### **2.5.2.4. Tint**

Denim giysilerin, son görünümlerine bir değişim verilmek amacıyla hafifçe renklendirilmesi işlemidir. Pantolonun tamamen boyanması (overdye) söz konusu değildir, sadece son görünümünde bir değişiklik meydana gelir (Goyal ve Prabhu 2006).

#### **2.5.2.5. Yumuşatma**

Final proses olarak adlandırabilecek yumuşatma işleminde, kumaşın nihai görüntüsü ve tuşesi yakalanır. Çoğu zaman katyonik yumuşatıcılar, zayıf asit ortamda (ph 5) kumaşa uygulanır. Amonyum esaslı olan bu maddeler, kimyasal olarak yağ içerikli gruplar içerir, bu grupların yapısına göre sikon veya normal yumuşatıcılar olarak adlandırılırlar.

Yumuşatma adımında kullanılan uzun karbon zincirli katyonik yumuşatıcılar, atıksuyun organik içeriğini arttırarak BOİ<sub>5</sub> ve KOİ parametresini yükseltmektedir. Ayrıca yumuşatıcının katyonik yapısı atıksuyun yağ-gres parametresini de olumsuz yönde etkilemektedir.

### 3. TEKSTİL ENDÜSTRİSİNDE ATIKSULAR

#### 3.1. Tekstil Endüstrisi Atıksu Kaynakları ve Özellikleri

Tekstil ürünleri imalatı ve buna paralel olarak tekstil endüstrisi atıksu miktarları da hızla artmakta ve dünyada endüstriyel kaynaklı kirlenmeye katkı sağlamaktadır. Tekstil endüstrisinde oluşan atıksular genel olarak miktar ve bileşim yönünden oldukça değişkenlik göstermektedir. Her geçen gün yenilenen işletme prosesleri ve uygulanan teknolojilerdeki farklılıklar, oluşan atıksuların bileşimine yansımaktadır. Örneğin, haşılama işleminde açığa çıkan atıksu miktarı düşük, fakat kirlilik yükü yüksek olabilmektedir (toplam KOİ'nin yaklaşık %30-70'ini oluşturmaktadır) (TTSD 2002). Yıkama, boyama ve ağartma işlemleri büyük miktarda su kullanımını gerektirdiğinden yüksek hacimli, renkli ve düşük organik madde içeren atıksuların oluşmasına neden olabilmektedir.

Tekstil atıksularının bileşimi uygulanan işletme koşullarına, ıslak ve kuru proses basamaklarında kullanılan farklı organik kökenli bileşiklere, boyamada ve diğer işlemlerde kullanılan organik ve inorganik formdaki kimyasalların çeşitliliğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu atıksularda genel olarak, KOİ, pH, BOİ<sub>5</sub>, renk ve tuzluluk gibi birçok kirlilik parametresi yüksek değerler göstermekte ve endüstrideki farklı teknolojiler paralelinde uygulanan her işlem, açığa çıkan atıksuların standart bir arıtma yöntemi ile arıtılmasını olanaksız hale getirmektedir (Tübitak 2013).

Tekstil sektöründe faaliyet gösteren çoğu işletme; haşılama, haşıl sökme, merserizasyon, yıkama ve boyama gibi işlem proseslerini içermektedir. Her bir işlemde kullanılan maddeler aynı zamanda atıksuyun kompozisyonunu oluşturmaktadır. Çeşitli tekstil prosesleri sırasında açığa çıkan atıksu miktarları ve atıksu bileşimi Çizelge 3.1.'de sunulmuştur.

**Çizelge 3.1.** Farklı tekstil endüstrilerine ait işlem basamakları ve atıksu karakterizasyonu  
(Bisschops ve Spanjers 2003)

Parametre	Elyaf Türü	Haşıl Sökme	Yıkama	Ağartma	Boyama	Baskı
KOİ (mg/L)	Yün	-	5000-90000	-	7920	-
	Pamuk	950-20000	8000	288-13500	1115-4585	-
	Sentetik	-	-	-	620	1515
BOİ <sub>5</sub> (mg/L)	Yün	-	2270-60000	400	400-2000	-
	Pamuk	-	100-2900	90-1700	970-1460	-
	Sentetik	-	500-2800	-	530	590
Renk (ADMI)	Yün	-	2000	-	2225	-
	Pamuk	64-1900	694	153	1450-4750	-
	Sentetik	-	-	-	1750	-
Toplam Katı (mg/L)	Yün	-	28900-49300	910	-	-
	Pamuk	-	-	2300-14400	-	-
	Sentetik	-	-	-	-	150-250
Toplam Askıdaki Katı (mg/L)	Yün	-	1000-26200	900	-	-
	Pamuk	18-800	184-17400	130-25000	120-190	-
	Sentetik	-	600-3300	-	140	-
Toplam Çözünmüş Katı (mg/L)	Pamuk	530-6900	-	4760-19500	-	-
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	Yün	-	5800	-	-	-
	Pamuk	250-2750	-	320	-	-
Toplam Kjeldahl Azotu (mg/L)	Pamuk	70	-	40	-	-
	Sentetik	-	-	-	-	164
Amonyum Azotu (mg/L)	Yün	-	604	-	-	-
	Pamuk	4-10	-	8-19	-	-
	Sentetik	-	-	-	-	129
Fosfat (mg/L)	Yün	-	89	-	-	-
Sülfür (mg/L)	Yün	-	0-2	-	-	-
	Pamuk	-	-	-	325-900	-
Sülfat (mg/L)	Pamuk	-	-	-	1750-2690	-
Klorür (mg/L)	Genel Elyaf	-	-	90-100	26000	-
Yağ-Gres (mg/L)	Yün	-	580-55000	-	-	-
Cr <sup>2+</sup> (mg/L)	Yün	-	50	-	-	-
Ph	Yün	-	7,6-10,4	6	4,6-8	-
	Pamuk	8,8-9,2	7,2-13	6,5-13,5	9,2-10,1	-
	Sentetik	-	8-10	-	11,7	-
Su Tüketimi (L.kg <sup>-1</sup> elyaf)	Yün	-	4-77,5	-	40-150	280-520
	Pamuk	-	2,5-43	30-50	38-143	-
	Sentetik	-	17-67	-	38-143	-

Çizelge 3.1'deki verilere göre; tekstil atıksularının karakterizasyonunda en fazla kirlilik yükü getiren işlem basamakları aşağıda kısaca açıklanmıştır.

### **3.1.1. Haşılama ve Haşıl Sökme:**

Haşılama; dokuma öncesi yapılan bir dokuma hazırlık işlemidir. Temel olarak iplikleri dokuma sırasındaki maruz kalacağı mekanik etkenlerden korumak ve mukavemet kazandırmak amacı ile yapılmaktadır. Haşılama, dokuma, örgü, tafting proseslerinde kolay çalışmak için ipliğin sarıldığı prosestir. Kullanılan haşıl maddeleri; makro molekülü, film oluşturabilen ve liflere belirli bir yapışma, tutunma yeteneğine sahip olan doğal veya yapay maddelerdir. En çok kullanılan haşıl maddeleri, yapay ve doğal kaynaklı olmak üzere iki çeşittir. Doğal kaynaklı haşıl maddeleri, nişasta ve türevleri (doğal nişasta, kısmen parçalanmış veya kimyasal olarak modifiye edilmiş nişasta türevleri), selüloz türevleri (metilselüloz, oksietilselüloz) ve yumurta akıdır. Stiren-maleik asit kopolimerleri, PVA, poliakrilatlar ise yapay kaynaklı haşıl maddeleri grubunda yer almaktadır.

Haşılama işlem basamağını takip eden haşıl sökme işlemi, çözgü iplikleri üzerindeki haşıl maddelerini uzaklaştırmak için uygulanır. Sonrasında doğal, doymuş ve doymamış yağları, vaksları ve sürfaktanları gidermek için bazı alkali çözeltiler (çoğu zaman sodyum hidroksit) kullanılarak yıkama işlemi gerçekleştirilir. Haşıl maddesi olarak nişastanın kullanıldığı durumlarda ise yıkama işleminde enzimler kullanılmaktadır. Haşıl sökme aşamasında oluşan atıksu, suda çözünebilir haşıl, sentetik haşıl, gres, biyositler ve antistatik çözücüler ile oldukça yüküdür. Haşıl sökme işleminde haşıl maddesi olarak nişasta kullanıldığında, oluşan atıksu toplam BOİ<sub>5</sub> yükünün yaklaşık yarısından sorumludur (Tübitak 2013).

### **3.1.2. Yıkama:**

Bu proste pamuktan vaks, yağ ve pamuğun selüloz olmayan diğer bileşenleri sıcak alkali, deterjan veya gliserol eterler gibi sabun çözeltileri ve yıkama solventleriyle uzaklaştırılır. Sentetik elyaflar yün ve pamuk elyaflara oranla daha az yıkama prosesine ihtiyaç duyarlar. Uygulama sırasında artık kimyasallar suya karışarak kimyasal ve toksik madde içeriği yüksek bir atıksu bileşimi oluştururlar. Atıksuyun pH'ı oldukça alkali olup, 10-11 civarındadır ve yüksek KOİ ve katı madde içeriğine sahiptir. Yünün yıkanması ise tekstil



endüstrisinde kirlilik yükü en fazla olan basamaktır. Ham yünün yaklaşık ağırlıkça %30-70'i safsızlık (yün yağı, katı madde, dışkı) içermektedir. Biyolojik arıtmadan önce oluşan yağın uygun bir prosesle atıksudan ayrılması atıksu arıtma verimi açısından önemli ve şarttır (Tübitak 2013).

### **3.1.3. Yün karbonizasyonu:**

Mekanik işleme veya yıkama ile giderilemeyen yünün içindeki güçlü kirleticilerin giderilmesi için uygulanmaktadır. Uygulamada, yüne zarar vermeyecek şekilde selülozu parçalamak için yüksek sıcaklıkta güçlü asitler kullanılır. Yün karbonizasyon basamağını takip eden işlem basamağına geçmeden önce, kullanılan güçlü asitlerin etkisini gidermek için nötralizasyon ve yıkama gerekmektedir. Bu basamakta oluşan atıksuların organik madde içeriği düşük fakat katı madde içeriği yüksektir.

### **3.1.4. Keçeleştirme:**

Bu basamakta daha küçük, mat ve yoğun bir materyal elde etmek için genellikle karbonizasyon basamağından sonra yün elyafa keçeleştirme işlemi uygulanır. Proseste kullanılan maddeler sıcak soda çözeltileri ve sülfürik asittir. İşlemi bitirmiş elyaf yıkandığında oluşan atıksu yüksek miktarda  $BOI_5$  içermektedir.

### **3.1.5. Ağartma:**

Ağartma işleminin amacı, istenmeyen renkleri bazı kimyasallar yardımı ile gidermektir. Daha çok sodyum hipoklorit, sodyum silikat, hidrojen peroksit ve enzimler gibi ağartma ajanları kullanılır. Yüksek seviyede klorür veya peroksitler biyolojik arıtmada inhibisyon problemlerine neden olabilirler. Birçok ülkede aktif klor içeren ağartma ajanlarının kullanımı yasaklanmıştır. Bu basamakta oluşan atıksuyun  $BOI_5$  içeriği düşük, katı madde içeriği yüksektir.

### **3.1.6. Mersevizasyon:**

Bu işlem, dokumanın parlaklığını artırmak ve boyayı daha iyi tutmasını sağlamak amacıyla uygulanmaktadır. Mersevizasyon işleminde en yaygın kullanılan maddelerden biri

pH'ı artırmak için eklenen sodyum hidroksittir. Bunun için dokuma %25 kostik soda ile kaplanır ve bu da atıksuyun pH'ını artırmaktadır. Bazen dokumanın parlaklığını artırmak için pamuk mumu da kullanılır. Oluşan atıksuların BOİ<sub>5</sub> ve katı madde içeriği düşüktür ancak doğal yağ, NaOH ve pamuk mumu içerir (Tübitak 2013).

### 3.1.7. Boyama:

Tekstil endüstrisinde dokumaya renk vermek için genellikle katran veya petrol bazlı ara ürünlerden elde edilen sentetik boyalar kullanılır. Dünyada 100 000'nin üzerinde ticari boya türü bulunmakta olup, her yıl 10<sup>9</sup> kg'ın üzerinde boyar madde üretilmektedir (Dos Santos vd. 2007). Tekstil endüstrisi atıksularında karşılaşılan en büyük problem, atıksuların yüksek miktarlarda kolay bozunmayan özellikte kimyasal ve boyar maddeler içermesidir.

Boyama liflere renk verme prosesidir. Sadece boya banyosunda değil, boyama sonrası (durulama ve yıkama) sırasında da çok su tüketimi gerçekleşmektedir. Boyama işleminde lif üzerine boyanın tutunmasını artırmak için metaller, tuzlar, formaldehit, sülfite, sülfür, yüzey aktifler gibi atıksuda temel kirlilik yaratan kimyasallar suya eklenebilmektedir. Kullanılan boyalar, ozon, azot peroksit, ışık hidrolizi ve klor gibi kimyasallara karşı dayanıklı olmalıdır. Boyama prosesi sonrasında genellikle yüksek renk ve düşük organik madde içeriğine sahip atıksular oluşmaktadır (Kocaer ve Alkan 2002). Kullanılan bazı kimyasal maddeler ile boyar maddelerin biyolojik olarak parçalanabilirliği düşük olduğundan dolayı, oluşan atıksuyun biyolojik olarak arıtılabilirliği zordur. Boyama prosesinde en sık kullanılan kimyasal maddeler Çizelge 3.2. 'de verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Boyama prosesinde kullanılan kimyasal maddeler (Kocaer ve Alkan 2002)

Kimyasal Madde	Bilişim	Fonksiyon
Tuzlar	Sodyum klorür	
	Sodyum sülfat	Elyafın zeta potansiyelini nötralize edici
	Sodyum nitrat	
Asitler	Asetik asit	pH kontrolü
	Sülfirik asit	
Bazlar	Sodyum hidroksit	pH kontrolü
	Sodyum karbonat	
Tamponlar	Fosfat	pH kontrolü
Kompleks Yapıcılar	Etilen diamin tetra asetik asit (EDTA)	Kompleks yapma, yavaşlatıcı

Dispers edici/düzgünleştirici ve yüzey aktif maddeler	Anyonik, katyonik ve noniyonik	Boyaları dağıtma, boya uygulamasını düzene sokma
Okside Edici Maddeler	Hidrojen peroksit Sodyum Nitrat	Boyaları çözünemez yapma
İndirgeyici Maddeler	Sodyum hidrosülfid Sodyum Sülfid	Boyaları çözünebilir yapma, reaksiyona girmemiş boyanın uzaklaştırılması
Taşıyıcılar	Fenil fenoller Klorlu Bezenler	Adsorpsiyonun arttırılması

Çizelge 3.2'den boyama prosesi çıkış sularında boyar maddeler haricinde çok sayıda farklı bileşiklerin de bulunabileceği anlaşılmaktadır. Tek bir boyama işlemi için farklı kimyasal sınıftaki boyar maddelerin birlikte kullanılabilir olması çıkış suyu bileşimini daha da karmaşık hale getirmektedir. Boyama prosesi çıkış sularındaki kimyasal yük, prosesin kimyasının yanı sıra boyama işleminin kesikli ya da sürekli olmasına bağlı olarak da farklılıklar göstermektedir.

### 3.1.8. Baskı:

Bu proseste kullanılan materyaller boyamada kullanılanlarla aynıdır, basamaklar arasındaki tek fark elyafın sadece belirli bölgelerinin boyanmasıdır. Açığa çıkan atıksu renkli olup, inceltici, boyar madde, üre, sürfaktan ve solventler gibi çeşitli kimyasallar içermektedir. Ürenin kullanım amacı, pamuk viskoz ve ipeklerin baskı işlemlerinde, çözünürlüğü düşük boyar maddelerin çözünürlüklerini artırmak ve elyaf üzerinde tutunmasını sağlamaktır. Bu proses basamağında oluşan atıksu, endüstri atıksuyunun KOİ, renk ve azot parametrelerinin değerlerini artırıcı özellik taşımaktadır.

### 3.1.9. Apreleme (Bitim İşlemleri):

Apreleme, dokumaya istenilen özelliklerin kazandırıldığı son aşamadır. Pamuk dokumalara geçici nişasta aprelemesi yapılır. Bu işlemde, az miktarı atığa geçebilen çeşitli dokumalar kullanılmaktadır. Son tekstil dokumasına antimikrobiyal özellik kazandırmak ve ürünü mikrobik saldırılardan korumak için biyosit özellikli apreleme ajanları kullanılır. Biyositler (halojenli difenil alkanlar veya eterler) temelde inorganik veya organik kökenli sentetik kimyasallardır. Bunlar, üretilen tekstil materyalini mikrobiyolojik bozunmadan korumak için kullanılan dezenfektan veya kimyasallardır (Tübitak 2013).

### **3.2. Tekstil Atıksularındaki Kirletici Parametreler**

Tekstil atık suları yüksek KOİ ve BOİ<sub>5</sub>'ye sahip, askıda katı maddelerin fazla olduğu yoğun renkli atık sulardır. Tekstil atık sularında temel kirletici parametreler fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak üç grupta toplanabilir (Arıcı 2000).

#### **Fiziksel parametreler**

- Çözünmemiş bileşikler
- Sıcaklık
- Koku
- Renk
- Radyoaktivite
- Köpük
- Korozyon
- Çözünmüş oksijen

#### **Kimyasal parametreler**

- Organik ve inorganik bileşikler
- Asidite ve alkalilik
- pH
- TOC
- KOİ
- Klor iyonu
- Klor ihtiyacı
- Sertlik (Kalsiyum ve Magnezyum)
- Toplam çözünmüş tuzlar
- Fenol
- Yağ ve hidrokarbonlar
- Spesifik iyonlar (As, Ba, Cd, Cr, CN, F, Pb, Sn, Ag)

#### **Biyolojik parametreler**

- BOİ<sub>5</sub>
- Patojenik bakteriler
- Kimyasal zehirlilik

### 3.3. Tekstil Atıksularına Uygulanan Atıksu Arıtma Teknolojileri

Tekstil endüstrisi, kullanılan ham ve kimyasal maddelerin; yürütülen işlemlerin; her işlem için uygulanan teknolojilerin çeşitliliği ile farklı su kullanımlarına bağlı olarak değişken yapıya sahip bir endüstri dalıdır (Germirli ve ark. 1990, Lin ve Peng 1994, Freeman 1995, Eremektar ve ark. 1999, Lin ve Chen 1997). Bu dinamik yapı, atıksu karakterizasyonu ve uygulanan arıtma teknolojilerine de yansımaktadır. Bu nedenle, tekstil endüstrisi için tipik bir atıksu ve standart arıtma teknolojilerinden söz edilememektedir (Eremektar ve ark. 1999). Tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasında fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma yöntemleri kullanılabilir. Bu yöntemler, genellikle tek tek değil, birbirlerinin ardı sıra uygulanmaktadır (Brower ve Reed 1987, Paprowicz ve Slodezyk 1988, Tünay 1988, Tünay ve ark. 1989). Tekstil endüstrisi atıksularına uygulanan çeşitli arıtma yöntemleri ve arıtma verimleri Çizelge 3.3.'de özetlenmektedir.

**Çizelge 3.3.** Tekstil Endüstrisi Atıksularına Uygulanan Çeşitli Arıtma Yöntemleri ve Arıtma Verimleri (UNEP IE 1994)

PROSES	GİDERİM VERİMİ (%)				
	BOİ <sub>5</sub>	KOİ	AKM	Yağ ve Gres	Renk
<b>BİRİNCİL ARITMA</b>					
Izgara	0-5	-	5-20	-	-
Dengeleme	0-20	-	-	-	-
Nötralizasyon	-	-	-	-	-
Kimyasal Koagülasyon	40-70	40-70	30-90	90-97	0-70
<b>İKİNCİL ARITMA</b>					
Konvansiyonel Aktif Çamur Çökeltme	70-95	50-70	85-95	0-15	20
Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur ve Çökeltme	70-94	50-70	85-95	0-15	
Havalandırmalı Lagün ve Çökeltme	60-90	45-60	85-95	0-10	
Havalandırmalı Lagün	50-80	35-60	50-80	0-10	
Dolgu Kolon	40-70	20-40	-	-	
<b>ÜÇÜNCÜL ARITMA</b>					
Koagülasyon	40-70	40-70	30-90	90-97	0-70
Karbon Adsorpsiyonu	25-40	25-60	25-40	-	80-90
Klorlama	0-5	0-5	-	0-5	0-5
Ozonlama	-	30-40	50-70	-	70-80
<b>İLERİ ARITMA</b>					
Ters Osmoz	95-99	90-95	95-98	-	-

Çizelge 3.3'e göre; tekstil endüstrisi atıksularının arıtımında kullanılan başlıca arıtma teknolojileri arasında ızgaradan geçirme, krom indirgeme, çökeltme-yüzdürme, dengeleme, nötralizasyon, emülsiyon kırma, kimyasal çöktürme, biyolojik arıtma, aktif karbon adsorpsiyonu, kimyasal oksidasyon ve ters osmoz bulunmaktadır. Renk giderim verimlerine bakacak olursak; kimyasal koagülasyonda %70, aktif çamur sistemlerinde %20, adsorpsiyon ve ozonlama ile %80-90'lara ulaşan renk giderimi elde edildiği görülmektedir.

## 4. İNCELENEN DENİM ENDÜSTRİSİNİN TANITIMI

### 4.1. Endüstrinin Genel Özellikleri

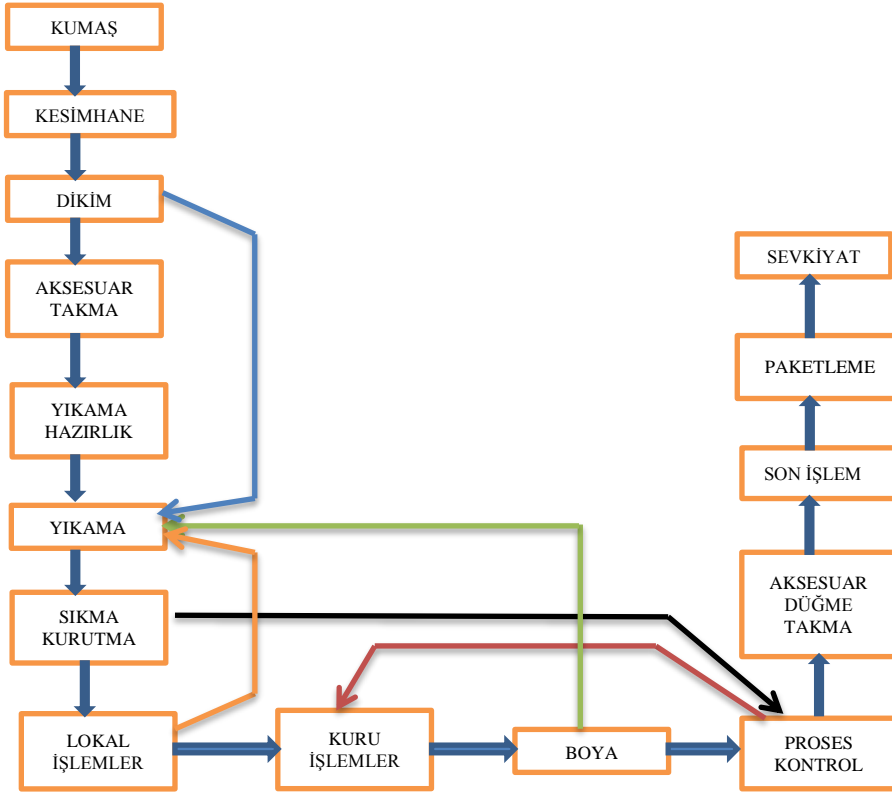
Çalışma yapılan endüstri, kirlenme bazında sınıflandırma esasına göre Tekstil endüstrisinin “Dokunmuş Kumaş Terbiyesi” alt kategorisinde yer almaktadır. Fabrikada yürütülen faaliyetler; %100 pamuk esaslı iplikten dokunmuş ve indigo boya (bitkisel kökenli boya) ile boyanmış denim kumaşı, gabardin ve benzeri kumaşlarının kullanıma hazır hale getirilmesi amacıyla uygulanması gereken tekstil terbiye işlemlerini kapsamaktadır.

Dokunmuş Kumaş Terbiyesi (denim yıkama) yapan endüstrinin kurulu kapasitesi 30.000 adet pantolon/gündür. Hali hazırda kullanılan kapasite ise bölümlere göre değişmektedir. Endüstri 27.997 m<sup>2</sup>'lik toplam alan üzerinde faaliyet gösterecek şekilde planlanmış olup, üretimin gerçekleştirildiği kapalı alan 20.585 m<sup>2</sup> ve arıtma tesisinin kurulu olduğu alan 1.916 m<sup>2</sup>'dir. Endüstride yaklaşık 2.000 işçi, günde 3 vardiya ve haftada 6 gün ve yılda yaklaşık 312 gün faaliyet göstermektedir (Güngör 2011).

### 4.2. Endüstrinin Genel İş Akışı

Pamuklu dokuma işlemlerinden çıkmış ve indigo boya ile boyanmış toplar (rulo) halinde gelen kumaşlara Tekstil Destek Bölümü'nde yıkama tiplerine göre çekme ve renk testi uygulanır. Modelhaneden gelen kalıp, çekme ve renk testi sonuçları, siparişin beden dağılımı ve kesim planı dikkate alınarak asorti planları yapılır ve ürünler kesilir. Metolama bölümünde siparişe bağlı olarak parça nakış, parça baskı, parça zımpara işlemleri yapılabilir. Bu işlemleri görmüş ya da sadece kesimi yapılmış pantolon parçaları beden ve siparişe göre etiketlenerek karışıklık olması engellenir. Amaç aynı ürün üzerinde renk farkları olmasını engellemektir. Dikim atölyesine gelen kesilmiş ürünler; dikim talimatı ve numune baz alınarak bant sistemi ile birleştirilir. Dikilmiş bütün ürünler ürün kabul bölümüne gelir ve burada fason atölyeden gelen ürünler için ölçü ve kalite kontrolü yapılır.

Endüstrinin genel üretim akım şeması Şekil 4.1'de verilmiştir. Buna göre iş akışı şu şekilde özetlenebilmektedir:



**Şekil 4.1.** Endüstrinin Genel Üretim Akım Şeması (Güngör 2011).

Dikimden gelen her ürün için deneme adı verilen bir işlem uygulanır ve deneme sonuçları onaylanmadan ürünler işleme alınmazlar. Bu işlemin amacı ürünü kütleli olarak üretmeden önce mevcut bütün işlemleri uygulayarak problem olan noktaları görmek ve üretim esnasında gereken tedbirleri almaktır. Deneme aşamasında ayrıca ürünler için reçeteler ve şarj adetleri netleştirilir ve imalata hazır hale gelir.

Deneme işlemi tamamlanan ürünler ya kuru işlemler ve/veya reçine bölümüne ya da direkt olarak yıkama bölümüne gelir. Deneme aşamasında onaylanan reçete üzerinden numunedeki istenilen efekti sağlayabilmek için ürün belirli kimyasallar ile yıkanır ve kurutulur. Yıkama bölümüne gelen her ürün rinse ya da taş yıkama işleminden geçer. Ürünün renk ve model uygunluğunun kontrolü için yıkama işleminden çıkan bütün ürünler proses kontrol bölümünde teker teker gözden geçirip kontrolleri yapılır. Yapılması gereken tamirler ve uygunluk durumu incelenerek gerekli durumlarda ürün yeniden yıkama işlemlerine tabi tutulur. Bazı siparişler için kimyasallı işlemler bölümünde istenen efektlerin elde edilmesi için işlem yapılır. Bu yapılan işlemden sonra lokal yıkama diye adlandırılan bir yıkama işlemi daha yapılır. Siparişe bağlı olarak yıkama işlemleri içinde ürün direkt boyarmadde ile yıkanır; bu işleme tint boyama adı verilir ve ardından ürün kontrol edilir. Renk ve model

kontrollerinden onay alan ürün metal aksesuar çakma bölümünde numuneye bağlı kalınarak işleme tabi tutulur ve ürün üzerindeki metal aksesuarlar çakılır.

Ürün üzerinde yıkama sonrası dikilecek herhangi bir aksesuar veya baskı işlemi varsa ekstra işlemler ve baskı bölümünde işleme alınır. Sevkiyat öncesinde ürünün son olarak uğradığı nokta son işlem bölümüdür. Amaç ürünlerin ütü–kalite kontrol-paketleme ve kolileme işlemlerini yaparak sevkiyata hazır hale getirmektir. Burada özellikle kalite kontrol işlemi son derece kritiktir. Çünkü problemlili olan ürünler bu noktada ayrılmakta ya yeniden işleme alınmakta ya da ikinci kalite olarak ayrılmaktadır. Amaç müşteriye doğru ürünü göndermektir. Bu sürecin çıktısı kolilenmiş üründür ve artık bütün ürünler müşteriye gönderilmek üzere hazır hale gelir (Güngör 2011).

#### 4.3. Su Kullanımı ve Atıksu Oluşumu

İncelenen endüstrideki su bilançosu incelendiğinde; üretimde kullanılmak üzere 3 adet kuyudan 50 m<sup>3</sup>/saat kapasite ile çalışan 2 asıl 1 yedek pompa yardımı ile ham su temin edilmektedir. Bu ham su öncelikle 350 m<sup>3</sup> kapasiteli sert su deposuna aktarılmakta ve işletmede kullanılabilir sertliğe (0-1,5 Fr) getirilmek üzere reçineli yumuşatma sisteminden geçirilerek 80 m<sup>3</sup> hacimli yumuşak su deposuna alınarak üretim proseslerine gönderilmektedir. Endüstride günlük su kullanımına ait veriler Çizelge 4.1’de verilmiştir.

**Çizelge 4.1.** İncelenen Endüstrinin Günlük Su Tüketimi (Güngör 2011).

SU KULLANILAN BÖLÜM	MİKTAR (m <sup>3</sup> )	%
YIKAMA	1320	84,6
LOKAL	40	2,6
YARDIMCI TESİS (BUHAR)	128	8,2
EVSEL	72	4,6
<b>TOPLAM</b>	<b>1560</b>	<b>100</b>

Endüstrinin 2009 yılı kayıtları değerlendirildiğinde; aylık ortalama su tüketimi 40.801 ton/ay olarak tespit edilmiştir. İşletmenin aylık ortalama buhar tüketimi 3.843 ton/ay’dır. 2007 yılı başında kurulan kojenarasyon sistemi; aylık olarak tüketilen buhar miktarının % 9’unu ve aylık sıcak su tüketiminin % 15’ ini karşılamaktadır.



Endüstrideki yıkama işlemi müşteri tarafından istenen siparişe göre belirlenmekte, herhangi bir standardı bulunmamaktadır. Genellikle birden fazla yıkama türünün kombinasyonları uygulanmaktadır. Bu nedenle endüstride oluşan atıksular belli bir karaktere sahip olmamakla birlikte, işletmede en fazla uygulanan 5 farklı alt kategori ile atıksular karakterize edilmektedir. Bu alt kategoriler taş yıkama, lokal yıkama, rinse yıkama, tint boyama ve ağartma prosesleri olarak sıralanabilir.

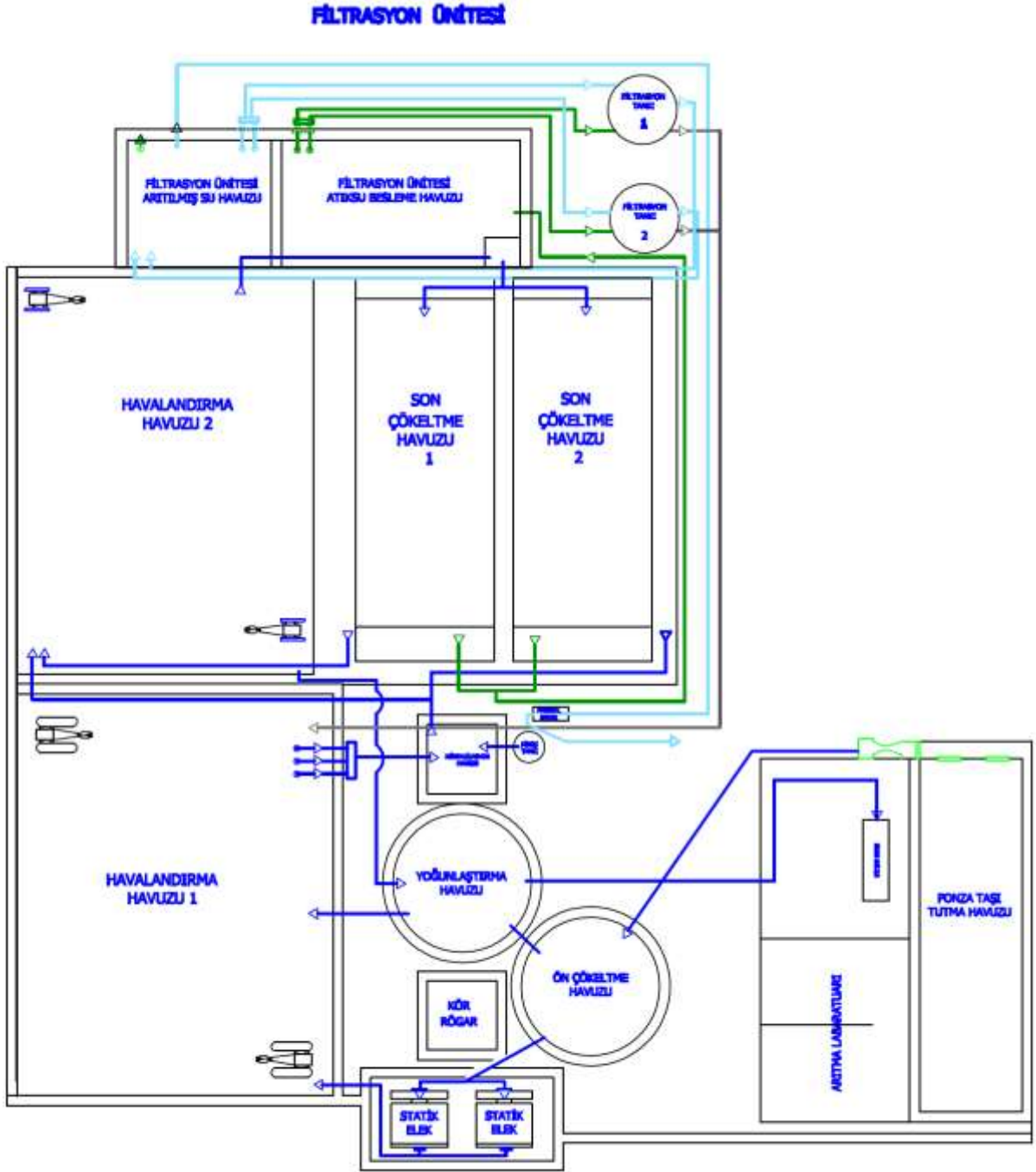
#### 4.4. Arıtma Tesisi

Denim yıkama endüstrisinin fiziksel ve biyolojik arıtma üniteleri şunlardır:

1. Fiziksel Arıtma
  - Izgara Kanalı (Kaba Izgara)
  - Ponza Taşı Tutma Havuzu
  - Ön Çökeltme Havuzu
  - Statik Elek
  - Nötralizasyon Havuzu (pH ayarlama)
2. Biyolojik Arıtma
  - Havalandırma Havuzu I (Dengeleme)
  - Havalandırma Havuzu-II
  - Çökeltme Havuzu I-II
  - Kum filtre
3. Çamur Arıtma ve Susuzlaştırma
  - Çamur Yoğunlaştırma Havuzu
  - Çamur Susuzlaştırma (Filtrepres)

Endüstriden gelen proses, proses dışı ve evsel nitelikli atıksular fiziksel ve biyolojik arıtıma tabii tutulmaktadır. Fiziksel arıtmada atıksuyun içindeki ponza taşı, ponza unu ve çökelebilen kaba elyaf parçaları önce çıkışında kademeli olarak yerleştirilmiş ince ızgaralardan geçirilmekte ve daha sonra bir ön çökeltim işlemine tabii tutulmaktadır. Ponza taşı havuzu ve ön çökeltim havuzunda tutulamayan yüzer haldeki elyaf parçaları daha sonra

0,5 mm ve 0,25 mm elek aralığına sahip statik eleklerden geçirilmekte ve daha sonra dengeleme havuzuna (havalandırma havuzu I) alınmaktadır. Dengeleme havuzunda karışım 2 adet dubalı jeneratörle sağlanıp havalandırma işlemleri yapıldıktan sonra nötralizasyon havuzuna alınarak kireç dozlaması ile pH 9,5'a yükseltildikten sonra cazibe ile biyolojik reaksiyonların gerçekleştiği bir klasik aktif çamur sistemi havalandırma havuzuna geçmektedir. Burada biyolojik olarak arıtılmış sular yaklaşık 250 m<sup>3</sup> kapasiteli iki ayrı dikdörtgen çökeltme havuzuna gönderilmekte ve buradan da kaçan askıda katı maddeler çoklu filtre ortamında, 20 mikron hassasiyetindeki granüler filtrasyon işlemine tabi tutulmaktadır. Filtre yatağındaki basınç artışına bağlı olarak mikroprosesör kontrollü valfler vasıtasıyla başlatılan ters yıkama işlemi ile yatakta tutulan askıda katı maddeler drene edilerek dengeleme havuzuna geri devrettirilmektedir. Filtrasyon sisteminden çıkan arıtılmış su, temiz su havuzunda toplandıktan sonra Ergene Nehrinin kollarından biri olan Çorlu deresine yine cazibe ile deşarj edilmektedir. Arıtma tesisine ait akım şeması Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Endüstriye ait arıtma tesisinin akım şeması.

## 5. ATIKSULARDA RENK PARAMETRESİ VE ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Boyar madde içeren atıksularda boyar maddenin sayısal değeri farklı ölçüm yöntemleri kullanılarak belirlenen renk parametresi ile ifade edilmektedir. Renk parametresi ve ölçüm yöntemleri Standart Metot' ta (APHA 1995) detaylı bir şekilde tanımlanmış ve irdelenmiştir. Renk parametresi genellikle "gerçek renk" anlamındadır ve suyun bulanıklığı giderildikten sonraki renktir. Görünür (zahiri) renk ise, sadece suyun içeriğinden kaynaklanan renk değil, aynı zamanda askıda katı maddelerden (AKM) kaynaklanan rengi de kapsamaktadır. Görünür renk, filtrasyon veya santrifüj yapmaksızın orijinal numunede belirlenen renktir (APHA 1995).

Renk aynı zamanda, organik bileşiğin yapısında yer alan ve "kromofor grup" adı verilen grupların özelliklerine bağlı olarak görünür ışığın belli dalga boyundaki kısımlarını yutması ve geri kalan dalga boylarının yansınması sonucunda göz tarafından görülen kısmı şeklinde tanımlanabilir. Kromofor grupların görünür ışığı oluşturan dalga boylarında absorbladığı kısımlara "Absorblanan renk", yansıttığı kısımlara ise "Komplementer renk" adları verilir. Çizelge 5.1'de absorblanan dalga boylarına göre yansıtılan (komplementer) renkler verilmiştir. (Sevimli 2000) :

**Çizelge 5.1.** Işık absorpsiyonu ve renk (Sevimli 2000).

Absorblanan Işık		Bileşiğin Rengi (Komplementer renk)
400-440 nm	Menekşe	Sarı-Yeşil
440-480 nm	Mavi	Sarı
480-490 nm	Yeşil-Mavi	Turuncu
490-500 nm	Mavi-Yeşil	Kırmızı
500-560 nm	Yeşil	Eflatun
560-580 nm	Sarı-Yeşil	Menekşe
580-595 nm	Sarı	Mavi
595-605 nm	Turuncu	Yeşil-Mavi
605-750 nm	Kırmızı	Mavi-Yeşil

Çizelge 5.1'deki verilere istinaden; 400 nm'de sarı, 500 nm'de kırmızı ve 750 nm'de mavi tonlarında renkler görülebilmektedir.

## 5.1. Renk Ölçüm Yöntemleri

109G083 no'lu Tübitak Kamag Projesi kapsamında; T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Tübitak, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Süleyman Demirel Üniversitesi ve Fatih Üniversitesi ortak çalışması ile 2013 yılında yayınlanan Boyar Madde İçeren Atıksu Arıtma Tesislerinin İşletilmesine Yönelik El Kitabı'nda, Renk ölçüm yöntemleri ve metotları aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

Filtre edilmiş bir numunenin rengi, numuneye bakıldığında onun renk durumunu tasvir edecek terimlerle ifade edilir. Renk tonu (kırmızı, yeşil, sarı vs. ) hâkim dalga boyu, parlaklık derecesi luminans ve doyma (soluk, pastel vs.) saflık terimleri ile ifade edilir. Bu değerler, bir fotometre yardımıyla filtre edilmiş bir numunenin ışık geçirgenlik özellikleri ile en iyi şekilde belirlenebilir.

### 5.1.1. Görsel Karşılaştırma Metodu

Bu metoda göre renk, numunenin bilinen konsantrasyonlarındaki renk çözeltileri ile görsel olarak karşılaştırılması sonucu tespit edilir. Karşılaştırma aynı zamanda kalibre edilmiş cam disklerle de yapılabilir.

Hemen hemen tüm içme suyu numunelerine tatbik edilebilir. Belli sanayi atık suları ile kirlenmeler, alışılmamış renkler üretebilir. Bu durumda bir cihazla ölçme metodunun kullanılması yerinde olur. Üçlü filtre metodu (tristimulus) ve spektrofotometre ölçüm metotları, platin-kobalt standartlarının iyi sonuç vermediği, önemli ölçüde renk değişikliği gösteren numuneler için bile üniform kromasite değişimlerini yansıtan tek bir renk değeri hesabına imkân verirler. Laboratuvarında, görsel mukayese değerlerinin kalibre edilmesi için cihaz yöntemleri ile zaman zaman kontrol yapılması gerekir.

Girişimleri engellemek için; doğal sulardaki bulanıklığın doğurduğu girişim santrifüj ve filtrasyon ile giderilmelidir. Değişen pH ile suların rengi değişmektedir. Bu nedenle ölçüm yapılan pH da rengin yanında kaydedilmelidir. Araştırma maksatlı çalışmalarda, değişik pH'lardaki renk değişimleri tek tek ölçülmelidir.

### **5.1.2. Spektrofotometrik Metot**

Spektrofotometre yardımıyla renk ölçümü, absorbans ya da tutulan ışığın fiziksel rengi demektir. Spektrofotometre yardımıyla absorplama miktarı tespit edilir ve renklilik miktarı hassas bir şekilde belirlenir. Filtre edilmiş numunenin rengi, numuneyi izlerken duyulan hisleri tarif eden terimlerle ifade edilir. Renk (kırmızı, yeşil, sarı vb.) “baskın dalga boyu” terimi ile, parlaklık derecesi “lüminans” terimi ile doygunluğu ise “saflık” terimi ile ifade edilir. Bu değerler en uygun şekilde, filtre edilmiş numunenin ışık geçirgenliği karakteristiğinden spektrofotometre yardımıyla tespit edilir. Spektrofotometrik yöntem içme sularına, yüzeysel sulara, evsel ve endüstriyel atıksulara uygulanabilir.

### **5.1.3. Tristumulus Filtre Metodu**

Filtre Fotometrisi içindeki fotoelektrik pil ve özel ışık kaynağı ile donatılmış 3 adet tristumulus filtresi, genel kontrol amaçlarına uygun renk verileri oluşturmak için kullanılır. Çözelti vasıtasıyla her üç filtre içinde tristumulus ışık iletkenliği oranı tespit edilir. İletkenlik değerleri daha sonra trikromatik sabitlere ve renk karakteristiği değerlerine dönüştürülür. Bu yöntem içme sularına, yüzeysel sulara, evsel ve endüstriyel atıksulara uygulanabilir ve bazı durumlar dışında spektrofotometrik yöntemle benzer sonuçlar verir.

### **5.1.4. ADMI (American Dye Manufacturers Institute) Metodu**

Renk parametresi ölçümünde kullanılan analitik metotlardan bir tanesi de ADMI Tristimulus Filter Metodu'dur (3 dalga boyu (WL) metodu). Bu metot Standart Metot 2120 D numaralı başlıkta tanımlanan Tristimulus Filtre Metodunun Amerikan Boya İmalatçıları Enstitüsü tarafından modifiye edilmiş şeklidir (APHA 1995). Ayrıca renk ölçümü için alternatif olarak 31 WL ADMI metodu da uygulanabilmektedir. Ön işlemden geçirilen numunenin renk ölçümü, belirlenen 3 dalga boyunda (590, 540 ve 438 nm'de) spektrofotometrede yapılmaktadır. Daha sonra 3 WL ADMI değeri, Standart Metot'ta belirtilen yöntemle göre hesaplanmaktadır (APHA 1995). 31 WL ADMI değeri ise spektrofotometrik olarak daha dar bir spektral bantta ( $\leq 10$  nm aralıklarla), 400-700 nm dalga boyları arasında ölçülmektedir (APHA 1995; Kao vd. 2001). ADMI renk değeri, su renginin gerçek ölçümüne olanak sağlamaktadır. Özellikle 31 WL ADMI metodunda görünür spektral bantta geniş bir tarama (31 adet) gerçekleştirilmekte ve bu durum su veya atıksuyun rengini

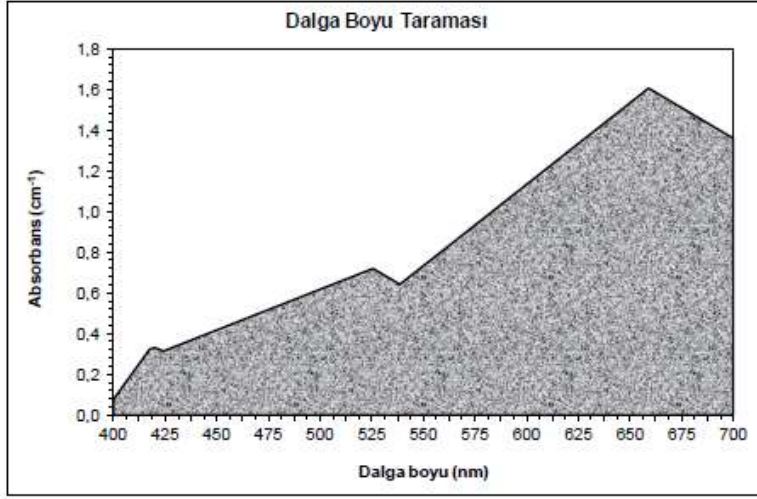
daha kapsamlı olarak belirlemeye imkan tanımaktadır. Bununla birlikte 3 WL ADMI ve 31 WL ADMI metotları arasındaki korelasyon ve güvenilirlik henüz tam olarak açık değildir (Kao vd. 2001).

Standart Metot 2120 D'de belirtilen ADMI metodu ile renk ölçümünde klasik spektrofotometreler kullanılmaktadır. Ancak bu cihazlardan elde edilen absorbans değerleri ile ADMI renk değerinin hesaplanması oldukça zordur. Bunun nedeni, metodun zaman alıcı ve pratik olmayan görsel kıyaslama (standart eğrilerinden ölçülen veriler yardımıyla başka bir değer seçilmesi) tekniklerine dayalı olmasıdır. ADMI değerlerinin hesaplanmasında kullanılan standart eğrilerin ve karmaşık denklemlerin çokluğundan dolayı Kao vd. (2001) ve Fazlı vd. (2010) yaptıkları çalışmalarda ADMI ölçümü için sırasıyla Hach Lange DR5000 ve Hach DR5000 spektrofotometresini kullanmışlardır. Bu spektrofotometreleri kullanma sebeplerini de cihazların standart eğrilere sahip olması, karmaşık ADMI değerlerini hesaplayabilmesi ve sıklıkla kullanılan ADMI renk standartlarının (potasyum kloroplatin ve kobalt klorür çözeltileri) hazırlanmasına gerek kalmadan ölçüm yapabilmesi şeklinde rapor etmişlerdir. Bu bağlamda Standart Metot 2120 D metodunu baz alarak kalibre edilmiş ve ADMI metodunun pratik ölçüm için programlanıp yüklendiği spektrofotometrelerin kullanılması, bu parametrenin belirlenmesinde hem güvenilir hem de pratik olması açısından önemlidir.

### **5.1.5. Alan (Dalga Boyu Taraması) Metodu**

Alan yöntemi her türden su ve atıksu numuneleri için uygulanabilen ve daha çok akademik çalışmalarda kullanılan bir yöntemdir. Renk parametresi değerinin alan yöntemi ile belirlenmesi atıksu numunesinin 400-700 nm arasındaki görünür dalga boyunda her 0,5 nm değerinde absorbansının ölçülmesi ile ilişkilidir. Tarama sonucunda 400-700 nm aralığında her 0,5 nm dalga boyu değerine karşılık bir absorbans değeri mevcuttur. Dalga boyu değerleri "x" ordinat eksenine, absorbans değerleri de "y" ordinat eksenine yerleştirilerek oluşan eğrinin altında kalan alanın hesaplanmasıyla elde edilen değer numuneye ait rengin sayısal bir büyüklüğüdür. Örnek olması açısından bir atıksu numunesinin 400-700 nm dalga boyu aralığında her 0,5 nm dalga boyunda ölçülen absorbans değerleri ile oluşmuş alan Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Şekildeki taralı alanın büyüklüğü en küçük kareler yöntemi veya integral denklemleri kullanılarak hesaplanabilir. Ancak bu yöntemde alan değerinin hesaplanmasında

çok dikkat ve zaman gereklidir. Alan yöntemi ile renk parametresinin ölçümü Hach Lange DR5000 spektrofotometresinde çok hızlı ve güvenilir bir şekilde yapılabilmektedir.



**Şekil 5.1.** Örnek bir alan (dalga boyu taraması) metodu ile analiz sonucunun grafiksel Görünümü (Tübitak 2013)

#### 5.1.6. Platin-Kobalt (Pt-Co) Metodu

Pt-Co renk metodu bir renk ölçüm yöntemidir ve 1982’de Kimyager “Allen Hazen” tarafından geliştirilmiştir. Bu metot sulardaki renklilik seviyelerini belirlemek ve değerlendirmek için geliştirilmiştir. O zamandan günümüze kadar sarı tonlarda renk içeren numunelerin renk değerlerinin belirlenmesi için kullanılmıştır. Bu metoda göre numunenin rengi, konsantrasyonu bilinen renkli çözeltilerle görsel olarak karşılaştırılarak belirlenir. Karşılaştırma özel, kalibre edilmiş, renkli cam disklerle de yapılabilir. Pt-Co metodu, renk ölçümünde standartlaşmış yaygın kullanılan bir metottur. Kloroplatinat iyonunun sebep olduğu 1 mg platin/L renk birimidir. Özel durumlarda dalga boylarını eşlemek için kobaltdan platine kadar oranlar farklılık gösterebilir. Renk tonları ile ilgili verilen oranlar genellikle doğal suların renklerini belirlemede başarılıdır. Pt-Co renk metodu, içilebilir suların ve doğal olarak suyun yapısında bulunan maddelerin sebep olduğu rengin belirlenmesinde kullanışlıdır. Yoğun renkli endüstriyel atıksularda uygulanamamaktadır. Endüstriyel atıkların karıştığı yoğun renkli suların bulunması durumunda, renk tonları platin-kobalt standartlarından uzaklaşabilir ve standart metot ile karşılaştırma yapmak çok zor veya imkânsız olabilir (APHA 1995).



Platin-kobalt metodu (Hazen metodu) standart bir metottur. 1 mg/l platin ile üretilen renk, standart birim olarak kabul edilir. Ölçümlerde 500 mg/l platin içeren  $K_2PtCl_6$ ' dan stok çözelti hazırlanır. Uygun tonu sağlamak için kobalt klorür eklenir. Stok çözeltinin rengi 500 birimdir. Çalışma standartları bu çözelti seyreltilerek hazırlanır. Standart çözeltiler, "Nessler Tüpleri" olarak adlandırılan camdan yapılmış renk karşılaştırma tüplerine konur. 0'dan 70'e kadar olan tonlarda çalışılır. Eğer numune 70 birimden fazla renge sahipse, ölçüm numunenin distile su ile seyreltilmesinden sonra yapılır ve sonuçlar seyrelme göz önüne alınarak hesaplanır. Bu metot, içilebilir suların ve doğal maddelerin oluşturduğu rengi içeren sularda yapılan renk ölçümlerinde kullanılır. Aşırı renkli ve endüstriyel atıksular için uygun değildir.

### 5.1.7. Renklilik Sayısı (RES)

AB'ye üye ülkelerde endüstrilerden kaynaklanan renkli atıksuların alıcı ortamlara deşarjı ile ilgili EN ISO 7887'de belirlenen standartlar esas alınarak, renklilik sayısı (RES) uygulanmaktadır. EN ISO 7887'ye göre renk parametresinin RES metodu ile ölçülmesi 3 kategoriye (Remazol Yellow RR gran için 436 nm, Remazol Red RR gran için 525 nm, Remazol Blue RR gran için 620 nm dalga boylarında ölçüm yapılır) ayrılmaktadır ve  $m^{-1}$  biriminde RES-436, RES-525 ve RES-620 şeklinde renk değerleri ölçülmektedir (EPA 2009). RES metodu ile renk ölçümünde 3 farklı dalga boyunun kullanılmasının amacı; 400-500 nm bandında sarı ve tonları, 500-600 nm bandında kırmızı ve tonları, 600-700 nm bandında ise mavi ve tonlarının absorpsiyon vermesinden kaynaklanmaktadır. 400-700 nm bandında dalga boyu arttıkça renkler koyu tonlarına doğru geçiş göstermektedir.

EN ISO standardında "Ölçülen RES değeri eğer  $10 m^{-1}$ 'den daha düşük (düşük renklilik) ise, küvet genişliğinin 10 mm'den daha fazla olması gerektiği" vurgulanmaktadır. Elde edilen sonuçlar  $10 m^{-1}$ 'den daha düşük olursa RES ölçümünde 1 inç (25,4 mm) kalınlığında olan (daha fazla numune hacmi alan) küvet kullanılır (Tübitak 2013).

Burada söz konusu olan, numunenin filtreden süzülmesinden sonra ölçülen 'gerçek renk'tir. Bir su numunesinin renginin şiddeti, en yüksek maksimum absorpsiyonlarının görüldüğü dalga boylarındaki ışık absorpsiyonları ile karakterize edilir. Renk gideriminin bir spektrofotometre yardımıyla ölçülmesiyle de kantitatif olarak belirlenir. Endüstriyel

atıksuların rengini 1994 yılında yayınlanan uluslararası Avrupa Normu EN ISO 7887'ye göre belirleyebilmek için görünür ışık spektrumu içinde yer alan üç dalga boyu seçilmiştir. Bu dalga boyları ve getirilen sınır değerleri aşağıda verilmiştir:

$$\lambda(1)=436 \text{ nm (sarı) : } 7 \text{ m}^{-1}$$

$$\lambda(2)=525 \text{ nm (Kırmızı) : } 5 \text{ m}^{-1}$$

$$\lambda(3)=620 \text{ nm (Mavi) : } 3 \text{ m}^{-1}$$

436 nm'de ölçüm zorunludur. 525 ve 620 nm dalga boylarında ise belirlenen değerlerde çok az sapmalar olabilir. Karakterizasyonun daha iyi olması için ekstinksiyon maksimumuna yakın değerlerde de ölçüm yapılması faydalı olur. Ölçümden önce çözünmemiş maddelerin girişimini önlemek için su numunesi filtre ya da santrifüj edilmelidir. Sudaki bulanıklık kil, silt, parçalanmış organik ve inorganik maddeler, çözünmüş renkli organik bileşikler, plankton ve mikroskobik organizmaların meydana getirdiği askıdaki katı maddelerden kaynaklanır. Bulanıklık, çözeltide ışığın saçılma ve absorbe olmasına neden olan optik bir özelliktir.

Renk parametresinin kabul edilen metotlarla ölçülebilmesi için, analizden önce atıksu içerisindeki bulanıklığın giderilmesi gerekmektedir. Bulanıklık gidermek için kullanılan yöntemler rengi gidermemelidir. Bazı filtrasyon teknikleri (özellikle membran filtre kağıtları kullanımında), bulanıklıkla beraber gerçek rengin bir kısmını da giderebilmektedir. Filtre kağıdı seçimlerinde bu husus göz ardı edilmemelidir. Bulanıklık giderimi için uygulanan diğer bir yöntem ise santrifüj uygulamasıdır. Santrifüj uygulanması ile bazı filtre kağıtları ile yapılan filtrasyondan kaynaklanan dezavantaj önlenilmekte, fakat santrifüjün hızı, numunenin yapısı, boyutu gibi sebepler de santrifüjleme işlemi olumsuz kılabilir. Numunenin seyrelmesi gerektiğinde, ölçülen renk değeri değişebilmektedir. Bahsedilen metotların her biri ön işlem olarak kullanılabilir. Sonuçlar rapor edilirken hangi ön işlemin kullanıldığının belirtilmesi gerekmektedir (Erciyes Ü. Laboratuvar Notları).

### 5.1.7.1. RES Analizinin Yapılışı (EN ISO 7887)

Analizi yapılacak numuneler süzme işlemine tabi tutulur. Spektrofotometre cam küveti (10 veya 25,4 mm) numune ile yıkanır. Numune cam küvete aktarılır. Cam küvetin dış kısmı yumuşak kağıt peçete ile iyice silinmelidir. Cam küvetin dışında herhangi bir parmak izi veya leke kalmamalıdır. Spektrofotometrede sırasıyla 436, 525 ve 620 nm dalga boylarında numunenin absorbans değerleri ölçülür ve kaydedilir. Ölçülen bu absorbans değerleri aşağıdaki Denklem 5.1'de yerine koyularak RES-436, RES-525 ve RES-620 değerleri hesaplanır (Tübitak 2013).

$$RES(\lambda) = \frac{A}{d} \times f \quad (5.1)$$

A:  $\lambda$  dalga boyunda numunenin absorbans değeri (okunan absorbans) ( $\text{cm}^{-1}$ )

d: Küvet kalınlığı (mm)

f: Spektral absorbans değerini  $\text{m}^{-1}$  biriminde elde etmek için faktör,  $f=1000$

RES ( $\lambda$ ):  $\lambda$  dalga boyundaki renklilik sayısı (RES) değeri ( $\text{m}^{-1}$ )

## 5.2. Uluslararası Mevzuat

Boyar madde içeren renkli atıksuların alıcı ortamlara deşarjı, boyar maddelerin ve parçalanma ürünlerinin toksik ve/veya mutajenik etkileri açısından istenmemektedir. Ayrıca, renkli atıksu deşarjları estetik açıdan kötü bir görünüm arz etmektedir. Boyar maddeler yetersiz arıtma sonucunda alıcı ortamda uzun yıllar boyunca kalabilmektedir. Atıksulardaki renk veren maddelerin konsantrasyonu 1 ppm'den küçük olsa dahi renk gözle görülebilir (Ip 2009). Çevresel problemlerin yanı sıra, boyar madde kullanılan sektörlerde, özellikle tekstil endüstrisinde yüksek miktarda su kullanılmaktadır. Bu nedenle yüksek su tüketimini önlemek ve kullanılan suların tekrar üretim prosesine kazandırılması amacıyla, atıksu deşarj kriterlerinin tekrar değerlendirilmesi ve birçok ülkenin mevzuatında bulunmayan renk deşarj kriterlerini belirlemeleri büyük önem taşımaktadır (Dos Santos vd. 2007).

Bazı ülkeler renkli atıksu deşarjı ile ilgili sadece kendi durumlarına özel kantitatif standartlar geliştirmekte, ya da 'kabul edilebilir' veya 'çıkış suyunda renk istenmemektedir' benzeri kalitatif standartları baz alabilmektedirler (EPA 1986). Bununla birlikte yapılan

araştırmalar, dünya çapında bazı ülkelerin renk deşarj kriterlerini henüz belirlemediği gerçeğini ortaya çıkarmaktadır.

AB'ye ye ülkelerde endüstriyel atıksuların alıcı ortamlara deşarjlarında renk parametresi için deşarj limitleri mevcuttur. Avrupa Normu EN ISO 7887'ye göre belirlenen standartlar esas alınarak, RES (Renklilik Sayısı) deşarj standardı olarak uygulanmaktadır. EN ISO 7887'ye göre RES birimiyle renk ölçümleri 3 kategoriye (Remazol Yellow RR gran için 436 nm'de, Remazol Red RR gran için 525 nm'de, Remazol Blue RR gran için 620 nm'de) ayrılmaktadır. RES parametresi m<sup>-1</sup> birimiyle ifade edilmektedir (EPA 2009). Bu Norm'a göre endüstrilerden kaynaklanan atıksuların alıcı ortamlara deşarj renk limit değerleri izelge 5.2'de sunulmuştur:

**Çizelge 5.2.** Avrupa Normu EN ISO 7887'ye göre renk parametresi için alıcı ortama deşarj Kriterleri

RENK	RES (m <sup>-1</sup> )
436 nm (Remazol Yellow RR gran)	7
525 nm ( Remazol Red RR gran)	5
620 nm ( Remazol Blue RR gran)	3

Tayvan hkmeti 1998 yılında atıksular için renk deşarj standartını yürürlüğe koymuştur. Tayvan hkmetinin belirlemiş olduğu renk deşarj limiti 400 ADMI (American Dye Manufactures Institute) birimidir. Renk lmnde uygulanan analitik metot, ADMI Tristimulus Filter Metodu'dur (3 dalga boyu (WL) metodu). Ayrıca renk ölçümü için alternatif olarak 31 WL ADMI metodu da uygulanabilmektedir. n işlemde geçirilen numunenin renk ölçümü, belirlenen 3 dalga boyunda (590, 540 ve 438 nm'de) spektrofotometrede yapılmaktadır. Daha sonra 3 WL ADMI değeri, Standart Metot'ta belirtilen yönteme göre hesaplanmaktadır (APHA 1995). 31 WL ADMI değeri de spektrofotometrik olarak daha dar bir spektral bantta ( $\leq 10$  nm aralıklarla), 400-700 nm dalga boyları arasında ölçülmektedir (APHA 1995; Kao vd. 2001). ADMI renk değeri, su renginin gerçek ölçümüne olanak sağlamaktadır. Özellikle 31 WL ADMI metodunda görünür spektral bantta geniş bir tarama gerçekleştirilmekte ve bu durum su veya atıksuyun rengini tam olarak belirlemeye imkan tanımaktadır. Bununla birlikte 3 WL ADMI ve 31 WL ADMI metotları arasındaki korelasyon ve güvenilirlik henüz tam olarak açık değildir. Tayvan Tekstil

Endüstrisi, renk deşarj kriteri olarak belirlenen 400 ADMI değerini sağlamada oldukça zorlanmaktadır (Kao vd. 2001).

Malezya'da renkle ilgili bir deşarj limit değeri mevcut değildir (Ahmad ve Hameed 2009). Fakat Malezya'da su kaynağı olarak kullanılan sularda (I. sınıf sular) renk değerinin 15 TCU (True Color Unit), rekreasyon amaçlı kullanılan sularda ise (II. sınıf sular) renk değerinin 150 TCU olarak belirlenmesi önerilmiştir (Proposed National Water Quality Standards for Malaysia 2010).

Kenya'da kanalizasyona deşarjda izin verilen maksimum renk değeri 40 Hazen birimidir. Alıcı ortama deşarj için ise izin verilen maksimum renk değeri 15 Hazen birimi olarak tanımlanmıştır. Rekreasyon kullanımı için izin verilen renk değeri ise maksimum 100 TCU olarak belirtilmiştir (Kenya Water Quality Regulations 2006).

Hindistan'da içme suyunda renk parametresi için istenilen limit değer maksimum 5 Hazen birimi, alternatif kaynak yokluğunda izin verilen limit değer ise 25 Hazen birimi olarak belirlenmiştir. Karasal yüzey sularına deşarj için izin verilen maksimum renk parametresi değeri de 300 Hazen birimi olarak tanımlanmıştır (Environmental Standards 1991). Yüzey suyu kalite standartlarına göre A, B ve C sınıfı sular için renk değerleri sırasıyla 10, 300, >300 Hazen birimi olarak belirlenmiştir. Atıksu deşarjları açısından ise, yüzey suyuna, kanalizasyona ve denize deşarjlarda ve deşarjın sulama suyu olarak kullanılması durumunda, pratik olarak mümkün olabildiğince sulardan renk ve kokunun uzaklaştırılması gerekmektedir (Relevant Indian Standards 2012).

Singapur'da alıcı ortam için verilen renk deşarj limit değeri 7 lovibond birimi, kontrollü alıcı ortamlar için de gerekli renk deşarj limiti 7 lovibond birimi olarak verilmiştir (Code of Practice on Pollution Control 2000).

Guatemala'da kanalizasyon için izin verilen maksimum renk deşarj standart değeri 500 Pt-Co birimi olarak tespit edilmiştir (Guatemala Acuerdo Gubernativo 2006).

Dubai Devleti'nin deniz ortamına deşarj için izin vermiş olduğu limit renk değeri, 50 renk birimi ile sınırlandırılmıştır (Water Environment Guidelines 2010).

İngiltere'de ise renk standardı tipik olarak 550 nm'de 0,055 absorbans birimidir (O'Neill vd. 2000).

Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Çevre Koruma Ajansı'nın (EPA) su sistemlerinde (alıcı ortamlarda) öngördüğü renk değeri 15 renk birimi olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte bazı eyaletler kendi deşarj standartlarını uygulamaktadır (EPA 2009). ABD'de renk deşarj standartları tüm eyaletler için tek mevzuat altında toplanmamış, her eyalet için ayrı standartlar getirilmiştir. Bunun nedenleri ABD'de deşarj standartlarının ve deşarj izinlerinin alıcı ortam bazlı olması, su kalite unsurlarının yerel olarak değişebilmesi ve estetik sebeplerdir (Mendez-Sanchez 2009). Örneğin, Kuzey Carolina Eyaletinde, renk deşarj değerleri ile ilgili herhangi bir düzenleme mevcut değildir (NCDEHNR 1999). Bununla birlikte Rhode Island Eyaleti deşarj renk standardını 200 ADMI (3 WL) olarak belirlemiş, Wisconsin Eyaleti ise daha esnek standart uygulamıştır (225-600 ADMI) (Wisconsin State Government 1997; Kao vd. 2001; Lu vd. 2010).

ABD Oklahoma Eyaletinde, nümerik renk kriterlerine göre renk değerlendirilmektedir. Renk kriteri için sadece birkaç eyalet nümerik kritere sahiptir. 1979 yılında yürürlüğe giren Oklahoma Su Kalite Standartlarında, renk için belirlenen sınır değer 75 Pt-Co birimidir. 1981 yılında sınır değer 70 Pt-Co olarak revize edilmiştir. 2009 yılında yapılan revizyonda ise, renk kriterinin uygulanmasında yeni sınırlamalar getirilmiştir. EPA kriterini baz alarak uygulanan kalite standardının uygun olmadığı, bir düzenleme yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır (Water Sources Board 2012). Kaliforniya Su Kodu ve Düzenlemesine göre suyun yararlı kullanımına ters etkide bulunacak ve suya renk verecek maddelerin bulunmaması gerekmektedir (Caltrans 2001). ABD Atlanta şehrinde, Ulusal İçme Suyu Düzenlemesine göre, içme sularında rengin 15 renk birimi olması gerektiği belirlenmiştir. Estetik etkiler (koku, renk, tat gibi) ile ilgili limit değerler Ulusal İçme Suyu Düzenlemesinde tavsiye niteliğinde olup, zorlayıcı değildir. EPA belirlenen bu standarda uyulmasını önermekle birlikte, eyaletler kendi standartlarını da belirleyebilmektedir (National Secondary Drinking Water Regulations 2012). New York Eyaleti Su Kalite Standardına göre yeraltı suyunda renk değeri 15 Pt-Co birimini geçmemelidir (Environmental Conservation 2012).

Sularda renk veren maddeler, humik maddeler, demir ve mangan gibi metaller, oldukça renkli endüstriyel atıklar olarak sayılabilir. Yapılan çalışmalar sulardaki rengin 15 TCU'dan büyük olduğu durumlarda suyun estetik olarak hoş görünmediğini, güvenli olmayan

bir kaynaktan su temin edildiğini gösterebileceğini belirtmektedir. İçme sularının renksiz olması istenmektedir. Bu sebeple, Kanada İçme Suyu Kalitesi Kılavuzu'na göre estetik açıdan sudaki rengin 15 TCU'dan az olması istenmektedir (Nova Scotia Environment 2012).

Avustralya Atıksu Sistemleri Kılavuzu'na göre atıksu deşarjlarında renk kriteri dikkate alındığında, mevcut alıcı ortam suyunun renginde herhangi bir değişiklik veya artışın olmaması istenmektedir (Australian Guidelines for Sewerage Systems 1997).

Vietnam'da içme suyu kaynağında izin verilebilir maksimum renk miktarı 15 Pt-Co, yeraltı suyunda izin verilebilir maksimum renk miktarı ise 5-50 Pt-Co olarak belirlenmiştir (WEPA Forum 2007).

Nijerya Federal Çevre Koruma Ajansı'nın kriterlerine göre yüzey sularına deşarjlarda renk kriteri 7 lovibond olarak belirlenmiştir (UNEP 1991).

Çin'de belirlenmiş deşarj limitlerine göre, atıksulardaki kalıntı boya içeriği 300 ADMI biriminden küçük olmalıdır (Lu vd. 2010). Ulusal Çin Entegre Su Deşarj Standardına göre, renk parametresi için (seyrelme faktörü dikkate alınarak) maksimum izin verilebilir deşarj standardı, boya endüstrisi için A sınıfı sulara 50, B sınıfı sulara 180 olarak belirlenmiştir. Diğer endüstriler için ise A sınıfı sulara 50, B sınıfı sulara 80 olarak belirlenmiştir (Integrated Water Discharge Standard 1998).

Ülkemizde SKKY' ne renk parametresi 24/04/2011 tarih ve 27914 sayılı Resmi Gazete ile girmiştir. Çalışma yaptığımız endüstrinin tabî olduğu tablodaki sınır değerler Çizelge 5.3'de özetlenmiştir:

**Çizelge 5.3.** SKKY Tablo 10.2 Renk parametresi (SKKY 2011)

Parametre	Birim	Kompozit numune 2 saatlik	Kompozit numune 24 saatlik
Renk	Pt-Co	280	260

Endüstri, sözkonusu yönetmeliğin Geçici 9. Maddesine göre; Ergene Havzasında Islah OSB'ye dahil olduğu için 31/12/2014 tarihine dek renk parametresinden muaf tutulmuştur.

Literatür çalışmalarından derlenen, bazı ülkelerin alıcı ortama atıksu deşarj renk kriterleri veya su kaynaklarında renk kalite değerleri ile ilgili detaylar Çizelge 5.4'de sunulmuştur:

**Çizelge 5.4.** Bazı ülkelerin renk parametresi için alıcı ortama atıksu deşarj kriterleri veya su kaynaklarında/içme sularında olması gereken kalite değerleri (Tübitak 2013)

ÜLKE	DEŞARJ / SU ORTAMI	RENK STANDARDI
Avrupa Birliği	Alicı ortama atıksu deşarjı	7 RES 436 nm (m <sup>-1</sup> ) 5 RES 525 nm (m <sup>-1</sup> ) 3 RES 620 nm (m <sup>-1</sup> )
Tayvan	Alicı ortama atıksu deşarjı	400 ADMI
Malezya	I. Sınıf sularda (su kaynağı olarak kullanılan) su kalitesi II. Sınıf sularda (rekreasyon amaçlı kullanılan) su kalitesi	15 TCU 150 TCU
Hindistan	İçme sularında	5 Hazen
	Alternatif kaynak yokluğunda içme sularında	25 Hazen
	Karasal yüzey sularına atıksu deşarjı	300 Hazen
	A sınıfı yüzey sularında su kalitesi	10 Hazen
	B sınıfı yüzey sularında su kalitesi	300 Hazen
	C sınıfı yüzey sularında su kalitesi	> 300 Hazen
Kenya	Kanalizasyona deşarj	40 Hazen
	Alicı ortama atıksu deşarjı	15 Hazen
	Rekreasyon amaçlı kullanımda su kalitesi	100 TCU
Singapur	Alicı ortama atıksu deşarjı	7 lovibond birimi
	Kontrollü alıcı ortama atıksu deşarjı	7 lovibond birimi
Guatemala	Kanalizasyona deşarj	500 Pt-Co
Dubai	Denize atıksu deşarjı	50 Renk birimi
İngiltere	Su kaynaklarında su kalitesi	550 nm'de 0,055 abs. birimi
	Alicı ortam su kalitesi (Eyaletler arasında ve alıcı ortam/deşarj izni bazlı olarak değişebilmektedir.)	15 renk birimi
ABD EPA		
ABD Oklahoma Eyaleti	Alicı ortama atıksu deşarjı	70 Pt-Co
ABD New York Eyaleti	Yeraltı suyu	15 Pt-Co
ABD Rhode Island Eyaleti	Alicı ortama atıksu deşarjı	200 ADMI (3 WL)
ABD Wisconsin Eyaleti	Alicı ortama atıksu deşarjı	225-600 ADMI
ABD Atlanta Şehri	İçme Suyu	15 renk birimi
Kanada	İçme Suyu	15 TCU
Avustralya	Alicı ortama atıksu deşarjı	Alicı ortam renginde değişiklik/artış olmamalı
Vietnam	İçme suyu kaynağında	15 Pt-Co
	Yeraltı suyunda	5-50 Pt-Co
Nijerya	Yüzey suyuna atıksu deşarjı	7 lovibond birimi
Çin	Atıksulardaki kalıntı boya	300 ADMI
	Boya endüstrisi (seyrelme dikkate alınarak) A sınıfı sulara atıksu deşarjı	50 ADMI
	B sınıfı sulara atıksu deşarjı	180 ADMI
	Diğer endüstriler (seyrelme dikkate alınarak) A sınıfı sulara atıksu deşarjı	50 ADMI
	B sınıfı sulara atıksu deşarjı	80 ADMI

RES : Renklilik Sayısı, TCU: True Color Unit, ADMI:American Dye Manufacturers Institute Birimi

Bu çizelgeden de görüldüğü üzere; renk deşarj kriterini belirleyen ülkeler arasında renk birimleri konusunda farklılıklar bulunmaktadır. Bu durum kirlilik değerlerini karşılaştırmak açısından sorun oluşturmaktadır.



## 6. ATIKSULARDAN RENK GİDERME YÖNTEMLERİ

Tekstil mamullerinde renklendirme ticari başarı için anahtar faktördür. Bunun yanında mamul üzerindeki rengin yıkama, ışık, kuru temizleme ter vb. faktörlere dayanımının, yani haslıklarının, yüksek olması amacıyla boya yapılarında yapılan modifikasyonlar bu boyaların geleneksel atık su arıtım sistemlerine karşı da dayanım göstermelerine neden olmuştur. Tüm renkli organik bileşikler, rengi oluşturan doymamış kromofor grubu içerirler. Bu grupları taşıyan bileşiklere kromojen denir. Bir kromojenin boya olması için molekülde kromofordan başka oksokrom denilen amino [ - NH<sub>2</sub> ], yer değiştiren amino [NHR, -NR<sub>2</sub>], hidroksil [-OH], metoksi [-OCH<sub>3</sub>], sülfonik asit [SO<sub>3</sub>H] veya karboksil [COOH] gruplarının da bulunması gerekir. Bu gruplar aynı zamanda molekülün suda çözünmesi ve elyafa karşı afiniteye sahip olmasını da sağlar. Kromofor grupları nitro [R.NO<sub>2</sub>], nitrozo [-N<sub>2</sub>O], azo [-N=N-], karbonil [C=O], etilenik çifte bağ [-C=C-], tiyokarbonil [-C=S] gibi çifte bağlı gruplardan oluşur. Atık suyun renginin giderilmesinde; rengi oluşturan kromoforların ve çift bağların oksidatif yollarla parçalanması ve renksizleştirilmesi en temel yaklaşımdır. Boyalar ya kimyasal yapılarına göre ya da boyama özelliklerine göre sınıflandırılırlar. Bu iki sınıflandırma şekli arasında çok az ilişki vardır. Örneğin kimyasal yapı bakımından büyük bir grubu meydana getiren azo boyaları, boyama özelliklerine göre yapılan bir sınıflandırmada her grupta yer alırlar. Boyamada, boyaların kimyasal yapısından boyama özellikleri bakımından hangi gruba girdiği daha yaygın olarak kullanılmaktadır (Ölmez 1999).

Klasik atık su arıtımının yanında tekstil boyama endüstrisi atık suyunun temel karakteristiği olan rengin giderilmesi için ilave tedbirler gerekmektedir. Çünkü klasik arıtma tesisleri atık suyun rengini gidermede ancak kısmi başarı sağlayabilmektedir (Aniş ve Eren 1998). Boyalar organik yapıda olup, çözelti veya süspansiyon halinde çeşitli yöntemlerle cismin yüzeyi ile kimyasal veya fiziko kimyasal bir reaksiyona girerek birleşirler ve cismin yüzey yapısını değiştirerek renk oluştururlar. Tekstil endüstrisinde kullanılan boyaların, zararlı atık olarak kabul edilmektedirler. Boyalar kompleks organik bileşikler olup, biyolojik olarak indirgenmeye uygun değildirler (Aniş ve Eren 1998).

Tekstil atık suları, boyaların yanı sıra boyamada kullanılan yardımcı kimyasal maddeler içermektedir. Tekstil atık suları biyolojik olarak ayrışabilmektedir fakat toksik

bileşenlerden (kromat, sülfür, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> gibi) dolayı biyolojik proseslerde olumsuzluklara neden olmaktadır.

Tekstil endüstrisi atık suları ve diğer renkli atık suların arıtılmasında kimyasal ve biyolojik yöntemler yaygın bir şekilde uygulanmaktadır. Konvansiyonel parametreler bakımından etkili olan bu sistemler, boyaların yüksek moleküllü bileşikler olması nedeniyle renk giderimi bakımından biyolojik arıtmanın fazla etkili olmadığını, kimyasal yöntemlerin daha verimli olduğunu göstermiştir.

Dünya lif tüketiminin %40'ını pamuk ve %30'unu polyester liflerinin oluşturduğu tahmin edilmektedir. Pamuklu mamullerin renklendirilmesinde en çok reaktif, polyesterin boyanmasında hemen hemen tamamen dispers boyalar kullanılır (Aspland 1993). Gerek pamuk lifi üretiminin çokluğu gerekse pamuğu renklendirmede kullanılan reaktif boyaların fiksaj verimlerinin düşüklüğü sebebiyle en sorunlu durumun pamuklu mamullerin reaktif boyanmasından kaynaklandığı söylenebilir.

Ülkemizde ve dünyanın gelişmiş bir çok ülkesinde denetlenen bir parametre olan rengin giderilmesi ile ilgili değişik arıtma yöntemleri uygulanmaktadır. Adsorpsiyon, iyon değişimi, membran prosesleri, kimyasal koagülasyon, kimyasal oksidasyon ve ileri oksidasyon teknikleri renk giderimi konusunda üzerinde durulan arıtma teknolojileridir (Sevimli 2000).

Son yıllarda yapılan çalışmalarda atıksulardan renk gideriminde kombine edilen proseslerin daha başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. Akışkan yataklı biyofilm prosesleri, kimyasal koagülasyon ve elektrokimyasal oksidasyon, kimyasal oksidasyon/elektrokimyasal oksidasyon, ardışık anaerobik/aerobik prosesler, kimyasal oksidasyon / kimyasal çöktürme, UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kombinasyonları ile ileri oksidasyon prosesleri bu yöntemlere örnek olarak verilebilir.

## 6.1. Adsorpsiyon

Atıksulardan boyar maddelerin gideriminde kullanılan fiziko-kimyasal prosesler içinde adsorpsiyon teknolojisi etkili ve ekonomik olması nedeniyle son yıllarda önerilen teknolojilerden biridir. Adsorpsiyon, atom, iyon ya da moleküllerin temas ettikleri yüzeydeki çekim kuvvetinin etkisi ile yüzeyde tutunması işlemidir. Adsorpsiyon işleminde adsorplanan türlere yani yüzeye tutunan maddelere adsorban denir. Yüzeyinde adsorpsiyon gerçekleşen madde ise adsorbenttir. Diğer bir anlamıyla tutan maddedir.

Adsorpsiyonla atıksulardan rengin giderilmesi amacıyla çeşitli organik ve inorganik adsorbentler (sorbent) kullanılmaktadır ve her birinin adsorpsiyon kapasitesi birbirinden farklıdır. İnorganik materyaller, mekanik ve kimyasal olarak dayanıklılık, yüksek özel yüzey alanı, mikrobiyal parçalanmaya karşı direnç gösterme gibi avantajlara sahipken; organik materyallerin yenilenebilir olmaları, ticari değeri düşük endüstriyel yan ürün veya atıklar olmaları gibi avantajları bulunmaktadır (Forgacs vd. 2004). İnorganik sorbentler içerisinde karbon bazlı sorbentler farklı kategorilerdeki boyar maddelerin gideriminde kullanılmaktadır.

Boyanın moleküler yapısı ve çözünürlüğü adsorpsiyon mekanizmasını etkileyen önemli faktörler arasında yer almaktadır. Örneğin, suda çözünebilen hidrofilik boyaların karbon üzerine zayıf adsorpsiyonunun nedeni boyanın polar yapısına karşılık karbonun apolar olmasıdır (Joshi ve Purwar 2004). Bunlara ek olarak adsorpsiyonla renk giderimi; boya / sorbent etkileşimi, sorbent yüzey alanı, partikül büyüklüğü, sıcaklık, pH ve temas süresi gibi birçok fiziko kimyasal faktörlere bağlıdır (Kumar vd. 1998). Genellikle düşük moleküler ağırlıklı asit ve reaktif boyaların adsorpsiyonunun düşük, yüksek moleküler ağırlıklı bazik ve direkt boyaların adsorpsiyonunun yüksek, hidrofobik özellikli reaktif boyaların ise adsorpsiyonunun orta-yüksek derecede olduğu belirlenmiştir. Dispers, küp boyaların ve pigmentlerin suda çözünürlüğünün düşük olması, karbon üzerine adsorpsiyonunun düşük olmasına neden olmaktadır (Reife ve Freeman 1996).

Karbon bazlı sorbentler kullanılarak yapılan çalışmalar, atıksulardan önemli sayıdaki sentetik boyaların gideriminde karbonun mükemmel bir giderim verimine sahip olduğunu göstermiştir. Fakat karbon sorbentlerin ön hazırlığı genellikle enerji gerektiren bir işlemdir ve bu sebeple karbon sorbentlerin ticari olarak temini pahalıdır. Yüksek hacimli bir atıksudan renk gideriminde kullanılacak karbon sorbent miktarı da oldukça yüksek olacağından

karbonun renk gideriminde kullanımında maliyet önemli bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır (Forgacs vd. 2004).

Amino asit içeren kitin gibi adsorbentler, asit boyar maddelerinde oldukça büyük bir adsorpsiyon kapasitesine sahiptirler. Bunlara örnek olarak, ağaç kabuğu, pirinç kabukları (Rahman vd. 2005), şeftali çekirdekleri (Attia vd. 2008), talaş (Malik 2003), çam talaşı (Özacar ve Şengil 2005), sepiyolit (Doğan vd. 2007), kum (Rauf vd. 2007; Lisi vd. 2007), kömür, bentoksit, kil ve pamuk atıkları verilebilir. Aynı zamanda yapılan çalışmalarda doğal kil, küspe, fındikkabuğu, yer fıstığı kabuğu, alkali çamur, kalsiyum metasilikat, aktif alümina, boksit, dolomit, silika, şekerpancarı tozu ve mısır koçanının atıksulardan tekstil boyalarının gideriminde oldukça etkili olduğu gösterilmiştir. Organik sorbentler içerisinde kuru biyogaz atık çamuru ve portakal kabuğu CI Basic Violet 10 ve bazı reaktif boyaların atıksudan uzaklaştırılmasında kullanılmıştır. Asidik pH'nın boya adsorpsiyonunu artırdığı, bazik pH'sında desorpsiyonu teşvik ettiği bulunmuştur. Bu sonuç, adsorbentler tarafından tutulan bu boyaların atıksudan gideriminde etkin olan mekanizmanın, çoğunlukla iyon değişimi olduğunu ortaya koymaktadır. Ölü makrofungusların (mantarlar) yüksek pH'larda iyi bir sorbent olduğu bulunmuştur (Mittal ve Gupta 1996). Su sümbülü kökleri gibi bazı bitki materyalleri de asit ve reaktif boyaların gideriminde kullanılmıştır (Forgacs vd. 2004).

Doğal zeolitler ile yapılan çalışmalarda, ham klinoptilolit'in oldukça düşük sorpsiyon kapasitesinden dolayı reaktif boyaların gideriminde verimli olmadığı bulunmuştur (Armagan vd. 2004; Karcher vd. 2001). Ancak, çeşitli kimyasal modifikasyonlar ile adsorpsiyon kapasitesi artırılabilir de, gerçek uygulamada bu doğal materyallerin kullanımı ile ilgili veriler kısıtlıdır. İnorganik sentetik kil adsorbentleri ile biyolojik adsorbentler adsorpsiyon prosesinde cazip bir alternatif sunmaktadır. Fakat kullanılan adsorbentin uzaklaştırılması probleminde bir çözüm bulunması gerekmektedir. Adsorbsiyon ile renk gideriminde kullanılan en önemli adsorbent maddeler aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

### **6.1.1. Aktif karbon**

Adsorbsiyonla renk gideriminde en çok kullanılan yöntem aktif karbon yöntemidir (Kocaer ve Alkan 2002). Aktif karbonun adsorbent olarak kullanılmasıyla boya gideriminde başarı sağlanmıştır ancak maliyeti oldukça yüksektir. Tekstil atık sularının arıtılmasında sabit yataklı kolonlar kullanılmaktadır. Aktif karbon, karbonunun gaz aktivasyonu tarafından iki

adında üretilir; bunlar; karbonizasyon ve aktivasyondur. Proseste aktif karbon üretimi gözenekli yüzeylerden önemli bir taşınım ve iyi bir mekanik sertlik sağlamaktadır (Walker ve Weatherley 1997).

Kâr amaçlı aktif karbon eldesinde genellikle Hindistan cevizi kabuğu, odun ya da kömür gibi doğal materyaller kullanılabilir, fakat aktif karbonun hazırlanmasında neredeyse hiç karbon içermeyen maddeler de kullanılabilir (Rozada ve Diğerleri 2002). Aktif karbonla renk giderimi özellikle katyonik, mordant ve asit boyalar için etkiliyken, dispers, direkt, küp, pigment ve reaktif boyalar için daha az bir renk giderimi söz konusudur. Metodun performansı kullanılan karbonun tipine ve atık suyun karakteristiğine bağlıdır. Rejenerasyon ve tekrar kullanım performansta azalmaya neden olurken bu dezavantaj aşırı miktarda aktif karbon kullanılmasıyla giderilebilir. Ancak aktif karbonun pahalı bir malzeme olması bu durumu zorlaştırmaktadır (Kocaer ve Alkan 2002).

### **6.1.2. Kil**

Tekstil atık sularında, boyaların gideriminde etkin ve ucuz materyallerin araştırılması son yıllarda büyük bir önem kazanmıştır. Bu materyallerden biride kildir. Killerin çeşitli kirleticileri tutması adsorbsiyon olayı ile açıklanmaktadır (Turabik ve Kumbur 2002). Kilin adsorbsiyon kapasitesi, ince tane yapılı silikat minerallerinde bulunan negatif yükten ileri gelmektedir. Bu negatif yük pozitif yüklü türlerin adsorbsiyonu ile nötralize olmaktadır. Killerin 800 m<sup>2</sup>/g'a ulaşan geniş yüzey alanı da yüksek adsorbsiyon kapasitelerine katkıda bulunmaktadır.

### **6.1.3. Zeolit**

Zeolit, adsorbent olarak kullanılan doğal kil mineralidir. Potansiyel adsorbentlerin kullanılarak endüstriyel atık sulardan renkli ve renksiz organik kirleticilerin giderilmesi, adsorbsiyon proseslerinin önemli bir uygulaması olarak gösterilebilir. Zeolit yapısındaki kanallar ve değişebilir katyonlar sayesinde iyon değiştirici, adsorbent ve az oranda katalizör olarak uygulama alanına sahiptir. Doğal zeolitin formülü Na<sub>6</sub>[(AlO<sub>2</sub>) (SiO<sub>2</sub>)<sub>3</sub>O] 24 H<sub>2</sub>O olarak verilmektedir. Zeolitin iyon değiştirme kapasitesi 1,8-2,5 miliekivalent/gr olup, iyon değiştirme özelliğine sahip diğer kil minerallerine göre 2-4 kat daha fazla iyon değiştirme kapasitesine sahiptir (Armağan ve diğerleri 2004).

#### **6.1.4. Bentonit**

Simektit grubu kil minerallerinin birini veya daha fazlasını büyük oranda içeren killere genel olarak “bentonit” adı verilir (Turabik ve Kumbur 2002). Bentonit, kile göre daha az kompleks arıtım işlemleri, sıcak ve asidik arıtmaları içerir. İnorganik ve organik molekül ya da iyonları adsorblama ve değiştirme güçleri yanında katalitik etkileri de yüksek olan bentonitler, en yaygın olarak kullanılan hammaddelerdir (Sarıkaya ve Diğerleri 1989).

#### **6.2. Membran prosesler**

Membran iki fazı birbirinden ayıran ve özel bir şekilde kimyasal veya organik bileşiklerin transferini sınırlayan bir filtrasyon aracıdır. Membran kullanılarak uygulanan filtrasyon teknikleri; mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, ters ozmoz ve elektrodializ olarak 4’e ayrılmaktadır. Membranlar çok ince olmakla beraber sahip oldukları boşluk yapısına bağlı olarak organik veya inorganik yapıdaki iyon veya moleküllere geçiş sağlarlar veya sağlamazlar. Membran sistemlerin çalışma prensibi, farklı iyon konsantrasyonuna sahip olan ve aralarında yarı geçirgen (bazı maddelerin geçişine izin verirken, bazılarına izin vermeyen) membran bulunan iki çözeltinin ozmotik basınç vasıtasıyla iyon konsantrasyonlarının eşitlenmesinden ibarettir (Topacık ve Koyuncu 1998).

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

Membran sistemleri kullanıldığı zaman ortaya çıkan oldukça önemli bir konu ise membranda yoğunlaşan maddenin uzaklaştırılmasıdır. Bu sistemin tekstil endüstrisinde kullanılabilmesi için membran sistemin ve membranda yoğunlaşan maddenin arıtımının beraber sunulması gerekir. Membran sistemi tek başına sorunu çözmeyecektir (Başibüyük ve Diğ. 1998).

Yapılan çalışmalar, membran filtrasyonu ile, çıkış suyunda düşük konsantrasyonda boya içeren tekstil endüstrisi suyunun tesise geri kazandırılmasının mümkün olduğunu göstermektedir. Ancak yöntem, suyun yeniden kullanımı açısından önemli bir parametre olan çözünmüş katı madde içeriğini düşürmemektedir (Kocaer ve Alkan 2002). Membran filtrasyon sistemi ile gerçekleştirilen çalışmalar sonucu, süzüntü suyunun %97 - 99 oranında geri kazanıldığı ve boyaların %99 - 100 oranında tutulduğu rapor edilmektedir. Yine benzer olarak, küçük molekül ağırlığına sahip boyalar için kullanılan nanofiltrasyon (NF) prosesi ile oldukça yüksek KOİ (%79-81), renk (%96) ve yüzey aktif madde (%99) giderimi elde edilmiştir (Çapar ve Diğerleri 2004). Membran prosesleri ile tekstil endüstrisi atıksularından renk giderimine dair literatürdeki belli başlı güncel çalışmalar Çizelge 6.1’de özetlenmiştir.

**Çizelge 6.1.** Membran prosesleri ile tekstil atıksularından renk giderimi çalışmalarının özeti (Tübitak 2013).

Membran	Atıksu Kaynağı	Boya Cinsi	Renk Giderimleri	Referans
Desal 5DK (150-300 g/mol)	Model boya çözeltisi	Asit,baz, dispers, direkt, reaktif 7 farklı boya	Yüksek molekül ağırlıklı boyalarda %100 giderim. Diğer boyalarda %75-96 giderim	Akbari vd., 2002
UF ( 1kDa) +NF (NF 270 ve Duraslick NF)	Gerçek tekstil atıksuyu	-	Ulaşılan en yüksek giderimler NF 270 için % 94, Duraslick NF için %97	Alcaina-Miranda vd., 2009
NF (Osmonics HL-150-300 Da)	Gerçek tekstil atıksuyu	-	Elektrogülasyon sonrası renk giderimleri %99,6'nın üzerindedir.	Aoundi vd., 2009
Seramik UF (30, 50, 150 Kda)	Gerçek tekstil atıksuyu	-	Renk giderimleri %82-98 arasındadır	Barredo-Damas vd., 2010
Permionics (400 Da)	Gerçek tekstil atıksuyu	Cibacron Black B, Cibacron Red RB	Renk giderimleri %92-94 arasındadır	Chakraborty vd., 2003
Osmonics MF (0,1 mikron)+ Osmonics NF DK (200 Da)	Gerçek tekstil atıksuyu	Reaktif ve direkt	En iyi renk giderimi %100'dür.	Ellouze vd., 2012
UF+ NF (P28 CELFA)	Gerçek tekstil atıksuyu	-	UF+NF için %99. Sadece NF için %90 civarındadır.	Fersi ve Dhahbi, 2008
Osmonics NF DK (200 Da)	Model boya çözeltisi	Blue Bezaktiv S- GLD 150 ve Balck Novacron R	NF için %99,6 renk giderimi.	Khouni vd., 2011
DOW FilmTec NF 270 (200-300 Da) ve DOW FilmTec BW30	Gerçek tekstil atıksuyu	-	NF için %98,6. RO için yaklaşık %100	Kurt vd., 2012
DOW FilmTec NF 90 DOW FilmTec BW30	Gerçek tekstil atıksuyu	-	Her iki membranda da renksiz çıkış suyu üretmiştir.	Liu vd., 2011
RO (Permonics PPT 9908)	Model boya çözeltisi	Azo boyar madde (metiloranji)	%99,1-99,9 (metalar,anj) giderimi	Nataraj vd., 2009
MF (5 mikron)+NF 270 (200-300 Da)	Gerçek tekstil atıksuyu	-	Çıkış suyu <10 Pt-Co.	Sahinkaya vd., 2008
Osmonics NF DL	Model boya çözeltisi	Reactive Red 120	Geri kullanılabilir kalitede su elde edilmiştir.	Sojka-Ledakowicz vd., 2010
Modifiye PVDF-SAN (3-15 nm)	Model boya çözeltisi	Reactive Balck 5 Congo Red	%57,9-98,4 (RB5). %92,0-99,9 (CR).	Srivastava vd., 2011
MBR (0,4 mikron) +RO	Model boya çözeltisi	Reactive Balck 5	Çıkış suyu 32 ADMI.	You vd., 2008
DowFilmTec NF 270 (0,84 nm)	Model boya çözeltisi	Remazol Yellow RR Remazol Blue RR Remazol Red RR	Red RR ve Yellow RR için %85-90. Blue RR için %70-75.	Zuriaga Agusti vd., 2010

Bu çizelgede, membran filtrasyon sistemi ile gerçekleştirilen çalışmalar renk gideriminde oldukça başarılı sonuçlar (%75-100) alındığı görülmektedir.

### 6.3. İyon değişimi

İyon değişimi atıksudan rengin gideriminde yaygın olarak kullanılmamaktadır. Bunun temel sebebi iyon değiştiricilerin çok çeşitli boyalara uyum göstermemesidir (Slokar ve Le Marechal 1998).

Renk içeren atıksular iyon değiştiricinin reçinesinden mevcut iyon değiştiren alanlar doğunluğa ulaşıncaya kadar geçirilir. Bu metodu kullanarak katyonik ve anyonik boyar maddeler atıksulardan başarılı bir Şekilde uzaklaştırılabilmektedir. Bu metodun avantajları, rejenerasyonda adsorbant kaybının olmaması, çözücünün yeniden kullanılabilmesi ve çözünebilir boyar maddelerin etkili bir Şekilde uzaklaştırılabilmesidir. Bu metodun tek dezavantajı yüksek işletim maliyetidir. Organik özücüler pahalıdır ve iyon değiştirme metodu dispers boyaların gideriminde etkili değildir (Mishra ve Tripathy 1993). Standard iyon değiştirme sistemleri boyar madde içeren atıksuların arıtımında yaygın olarak kullanılmamaktadır. Yapılan çalışmalara göre, son yıllarda kuaternize selülozun anyon değiştirici olarak kullanımı yaygınlık kazanmıştır. Atıksulardan boyaların ve boyar maddelerin gideriminde iyon değiştiricilerin kullanım etkinliği, reçine ile boyar madde arasındaki kolumbik etkileşimlere bağlıdır. Laszlo (1995) sülfat ve karbonat gibi anyonların reaktif boyaların bağlanma kapasitesini etkilemediğini belirtmiştir. Fakat klorür konsantrasyonu arttıça boya ve reçine arasındaki bağlanma hızı artmaktadır. NaOH, boyar madde ile doğun olan reçinenin rejenerasyonunda kullanılan bir ajandır. Rejenerasyon işleminde NaOH ilavesi, boyar madde ile reçine arasındaki bağlanma hızını olumsuz yönde etkilemektedir.

### 6.4. Kimyasal oksidasyon

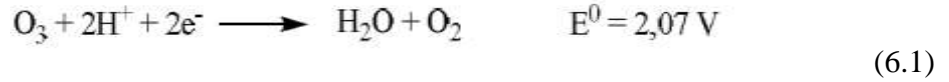
Kimyasal oksidasyon prosesleri kimyasal ortamdaki kimyasal türler arasında elektron transferine dayanır. Bu proses indirgenme-yükseltgenme prosesi olarak da bilinir. Kimyasal oksidasyonun amacı, su içerisinde bulunan bir maddenin kimyasal olarak oksitlenerek kararsız son ürüne dönüştürülmesidir. Bu amaçla oksidant olarak ozon ( $O_3$ ), klor ( $Cl_2$ ), hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ), potasyum permanganat ( $KMnO_4$ ) gibi oksitleyiciler kullanılmaktadır (Arııcı 2000).



Kimyasal oksidasyon istenmeyen kimyasal bileşiklerin ve beraberinde atık suyun içerdiği rengin oksitlenerek azaltılması ve uzaklaştırılmasını sağlamak amacıyla ozon, klor veya hidrojen peroksitin kullanıldığı işlemleri kapsamaktadır (Tünay 1996). Kimyasal oksidasyon, genelde bir son arıtma olarak veya istenmeyen bileşiklerin azaltılarak daha sonraki arıtma işlemleri için kirlilik yükünün azaltılması için ön arıtma olarak uygulanmaktadır ve rengin yanında ilave organik madde giderimini de sağlamaktadır.

#### 6.4.1. Ozon

Ozon (O<sub>3</sub>) oksijenin üç atomlu bir allotropu olup kendine has bir kokuya ve mavimsi renge sahiptir. Bazen “aktif” veya “atomik” oksijen olarak adlandırılır. Ozon oldukça kuvvetli bir oksidan olup, oksidasyon etkisini aşağıdaki denkleme göre gerçekleştirir.



Boyaların ozonla oksidasyonu çok sayıda araştırmacı tarafından çalışılmıştır. Boyalarda renk gideriminde kimyasal arıtma alternatif olarak en yaygın olarak ozonlama prosesi kullanılmaktadır. Bu proses sadece suda çözünebilir, hidrofilik yapılu tekstil boyalarının (reaktif, asit ve direkt boyalar) parçalanmasında etkili olmaktadır (Lin ve Liu 1997; Aslan ve Balcıoğlu 2000). Bu çalışmalar genel olarak birçok boya grubu ile denenmiş ancak sentetik numuneler, tek boya kullanılarak hazırlanmıştır. Tekstil endüstrisinde boyama prosesinde bir veya birden fazla boyanın bir arada kullanıldığı unutulmamalıdır (Ölmez 1999). Çalışmalar genellikle azo boyaların üzerine yoğunlaşmıştır. Shu ve Hang (1995) sekiz değişik azo boyanın ozonla dekompozisyonunu inceledikleri çalışmalarında boyaların ozonla oksidasyonunun pseudo birinci derece kinetiğine uyduğunu, giriş ozon konsantrasyonunun oksidasyon hızını çok az etkilediğini ifade etmişlerdir. Giriş boya konsantrasyonunun dekompozisyon süresini etkilediğini belirten araştırmacılar, ozonlanma sonrası oluşan ara ürünlerin biyolojik indirgenabilirliğinin arttığını da ifade etmişlerdir. Araştırmacılar pH'ın ozonla oksidasyon üzerine fazla bir etkisinin olmadığını ancak yüksek pH değerlerinde sıcaklığın artırılması ile reaksiyon hızının arttığını, bazik çözeltilerin oksidasyon hızının asit çözeltilere oranla daha büyük olduğunu yüksek boya konsantrasyonlarında ve bazik ortamda ozon tüketiminin asit ortama göre daha fazla olduğunu belirtmişlerdir (Ölmez 1999).

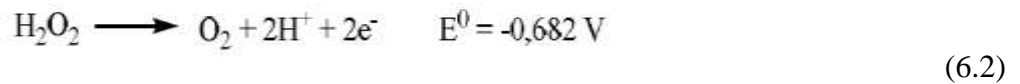
Ozonlama ile renk gideriminde etkili olan başlıca faktörler: pH, sıcaklık, çözelti bileşenleri ve ozon dozu olarak sayılabilir.

#### 6.4.2. Sodyum hipoklorit (NaOCl)

Renkli atık suların kimyasal oksidasyonu klorlu bileşiklerle de mümkündür. Bu metotta, Cl boya molekülünün amino grubuna etki eder ve azo bağının kırılmasını sağlar. Klor konsantrasyonundaki artışla birlikte renk giderimi de artar. Sodyum hipoklorit ile renk giderimi asit ve direkt boyalar için tatmin edici sonuçlar vermektedir. Reaktif boyaların arıtımı için ise daha uzun zamana ihtiyaç vardır. Metal kompleks boya çözeltileri arıtmadan sonra kısmen renkli kalırken dispers boya çözeltilerinde NaOCl ile renk giderimi gerçekleşmez (Slokar ve Marechal 1998). Son yıllarda alıcı ortamlardaki olumsuz etkilerinden dolayı boya giderimi için sodyum hipoklorit kullanımı azalmıştır.

#### 6.4.3. Hidrojen peroksit (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)

Hidrojen peroksit, suda çözünen ve sulu çözeltide oldukça kararlı olan bir bileşiktir. Ekonomiktir ve elde edilmesi kolaydır. Oksidasyon gücü oldukça yüksek olan hidrojen peroksitin asidik ortamdaki reaksiyonu aşağıda verilmektedir (Arıcı 2000).



Hidrojen peroksit sudaki organik maddeleri oksitleyerek zarar vermeyecek hale dönüştürür. Hidrojen peroksit reaksiyona girdiğinde oluşan OH radikali aktif görev görür ve oksidasyon olayını gerçekleştirir (Arıcı 2000). Renkli organik maddelerdeki kromofor grupları parçalayarak renk giderimi işlevini yerine getirir. Hidrojen peroksit, çeşitli organik maddelerin metal iyonları katalizliğinde oksidasyonu için kullanılmaktadır (Soyhan 1998). Demir oksidasyonunda, klor gideriminde, renk gideriminde ve metal iyonları katalizi eşliğinde çeşitli organik maddelerin oksidasyonu için kullanılır (Tünay 1996).

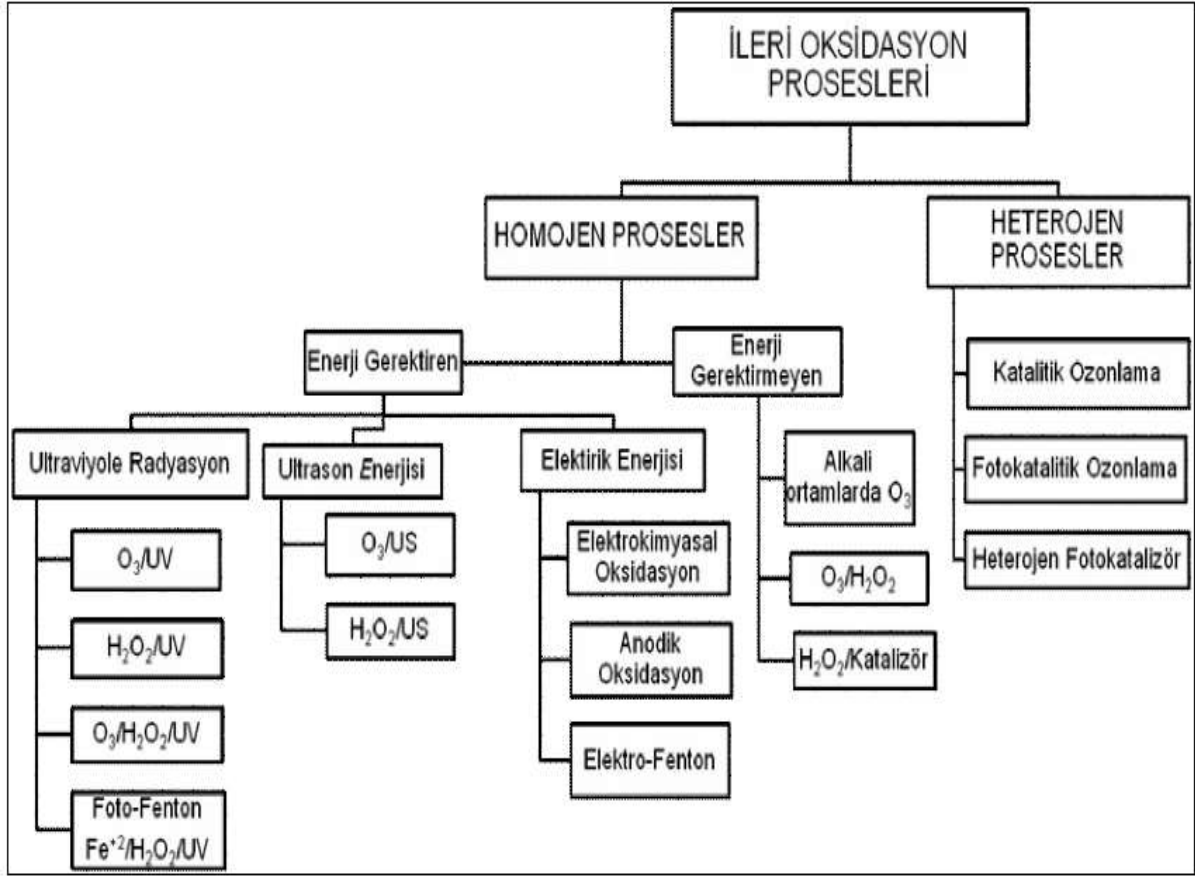
## 6.5. İleri oksidasyon prosesleri (İOP)

Bir ışık kaynağının varlığında veya yokluğunda, güçlü oksidasyon elemanlarının ( $O_3$ ,  $H_2O_2$ ) ve/veya katalizörlerin (Fe, Mn,  $TiO_2$ ) kullanıldığı prosesler ileri oksidasyon prosesleri olarak adlandırılabilir. Konvasiyonel oksidasyon proseslerindeki sorunlar ileri oksidasyon prosesleri ile aşılabılır. İleri oksidasyon prosesleri genellikle, ayrışmaya karşı dirençli ve tehlikeli kirleticileri içeren yeraltı suyu, yüzey suyu ve endüstriyel atık suları arıtmak için çok güçlü ve seçici olmayan oksitleyici elemanların (hidroksil radikalleri) oluşumunu kapsar (Balcıoğlu ve Diğerleri 2001).

İOP proseslerinin su ve atık su arıtımında kullanımı son yıllarda artmaktadır. Ayrıca ozonlama, ozon /  $H_2O_2$ , UV radyasyonu ve bu oksidanların kombinasyonu, su arıtımında dezenfeksiyon amacıyla uzun yıllardır kullanılmaktadır. İOP, klor ve  $H_2O_2$  gibi geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında yüksek maliyetlidir. Ancak, bu prosesler aktif karbon adsorpsiyonu gibi üçüncül arıtma prosesleri ile mali olarak rekabet edebilir. Diğer bir dezavantaj ise serbest radikaller oldukça reaktiftir ancak seçici değildirler. Bu yüzden hedef kirleticiler dışında su ortamında bulunan diğer bileşikler ile reaksiyona girer ve oluşan bu radikallerin tüketici maddeler tarafından kullanılması oksidasyon verimini düşürür. Hümik maddeler, karbonat-bikarbonat alkalinitesi, fosfat iyonu, demir, mangan, klorür ve bakır iyonu sucul ortamda oluşan radikalleri tüketen maddelerdir.

İleri oksidasyon proseslerinin verimini etkileyen su kalitesi parametreleri; Alkalinite, Doğal organik madde (DOM), Nitrat ve Nitrit, Fosfat ve Sülfat, Bulanıklıktır. İleri Oksidasyon proseslerinin sınıflandırılması Çizelge 6.2'de ve ileri oksidasyon prosesleri ile tekstil atıksuyunda renk giderimi literatür çalışmaları Çizelge 6.3'de verilmiştir.

**Çizelge 6.2.** İleri Oksidasyon proseslerinin sınıflandırılması (Çalışır 2010)



Son yıllarda, geniş bir aralıktaki organik maddeleri hızlı ve seçici olmadan oksitleyen hidroksil radikallerini (OH<sup>-</sup>) üreten ileri oksidasyon prosesleri (İOP), klasik arıtma yöntemlerine alternatif olarak önem kazanmaya başlamıştır.

**Çizelge 6.3.** İOP teknikleri ile tekstil atıksuyunda renk giderimi (Tübitak 2013)

İOP tekniği	Boyar madde/atıksu	Detaylar	Maliyet	Referans
O <sub>3</sub>	Gerçek atıksu (boya banyosu)	pilot ölçekli sistem, 40mg/L ozon ile 30 dakikada %95-99 renk giderimi, arıtılmış atıksuyun açık renk boyamada güvenli geri kullanımı, kum filtresi gerekli	0,57 USD/m <sup>3</sup>	Ciardelli ve Ranieri, 2001
O <sub>3</sub>	Gerçek atıksu (yönlü tekstil terbiye) (Biyolojik arıtım sonrası)	58 mg/L ozon ile 40 dakikada %98-99 renk giderimi (Ph:8,3), KOİ giderimi zayıf, (Renk, m <sup>-1</sup> :436 nm: 31,8 →2,8, 525 nm: 25,4→1,1 ,620 nm: 20,9→0,7)	-	Baban vd., 2003
UV/O <sub>3</sub>	Model boya çözeltisi (2naphthalenesulfonate)	40 mg/L ozon ve UV, (60,35 W/m <sup>2</sup> , 254 nm ile > %95 giderim	-	Chen vd., 2002
UV/O <sub>3</sub> , UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Model boya çözeltisi (Acid-red1, black1, red14, red18, orange10, yellow17, yellow23, direct yellow4)	(6 L/dk O <sub>2</sub> ) ozonlama ile 10 dakikada 20 mg/L boyada %100 renk giderimi, UV ilavesi renk giderimine etkisi, UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ile 25 dakikada %80 renk giderimi	-	Shu ve Hung, 1995
UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> solar/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Model boya çözeltisi (Chlorotriazine Reactive Orange 4)	0,5 mmol/l boyada 150 dakikada UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (UV:64W, 365 nm, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 10 mmol) ile %89 renk giderimi, güneş ışığı/ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ile %80 renk giderimi Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ve NaOH reaksiyonu yavaşlatıyor, NaCl etkisiz	-	Muruganandham Swaminathan, 2004
O <sub>3</sub> sonrası UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Gerçek atıksu (Pamuklu/polyester boyama)	5 dakika 293mg/L ozonlama sonrası 55 dakika UV(25 W , 254 nm)/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (50mmol/l) tam renk giderimi	-	Arslan ve Balçioğlu, 2001

UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /O <sub>3</sub>	Gerçek atıksu (dispers boya)	90 dakikada %96 renk giderimi (pH:3, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 200mg/L, O <sub>3</sub> : 2g/saat, UV: 15 W, 254 nm). Sadece UV/O <sub>3</sub> ile > %90 renk giderimi , Ph ayarı ve H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ilavesi olmadığından düşük maliyet	6,54 USD/m <sup>3</sup>	Azbar vd., 2004
UV/Fenton	Model boya çözeltisi (reactive brilliant red X-3B)	20 dakikada tam renk giderimi (boyar madde: 100mg 7,7x10 <sup>-5</sup> M, UV: 75W, 320 nm, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 18x10 <sup>-4</sup> M Fe <sup>+2</sup> : 1,1x10 <sup>-4</sup> M)	-	Xu, 2001
Solar/Fenton	Model boya çözeltisi (reactive procion red H-E7B)	15-30 dakika da tam renk giderimi (boyar madde: 100mg/L, güneş ışığı: 3-4 x10 <sup>-3</sup> W/cm <sup>2</sup> ,H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 100-250 mg/L, Fe <sup>+2</sup> : 10mg/L, Ph:3 )	-	Torrades vd., 2004
Ultrases/O <sub>3</sub>	Model boya çözeltisi (reactive black 5)	15 dakikada tam renk giderimi (520 kHz, 50L/saat O <sub>3</sub> )	-	İnce ve Tezcanlı, 2001
Ultrases/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Model boya çözeltisi (Reactive-yellow 15, black5, red22, blue28, blue 220)	4 saatte %99 renk giderimi (20 kHz, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 3,49mg/L)	-	Voncina ve Marachel, 2003
Koagulasyon/O <sub>3</sub>	Gerçek atıksu	Tam renk giderimi, Koagulasyon (2,5 % v/v, FeCl <sub>2</sub> : 35mg/L polimer, (pH:8,5) sonrası 90 dakika ozonlama ( Ph:11)	1,57 USD/ton ozon) üretim elektrik maliyeti )	Hsu vd., 1998
GAC+UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Model boya çözeltisi (Reactive everzol black-GSP)	30 dakikada tam renk giderimi (boyar madde :36 ppm, GAC: 8 g/L, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 0,0009 M)	1 USD/m <sup>3</sup>	İnce vd., 2002
UV/H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Gerçek atıksu (biyolojik arıtma çıkışı)	20 dakikada deşarj standart sağlama (<400 ADMI, Tayvan 1998): H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> : 560mg/L, UV: 14W, 254 nm	0,85 USD/m <sup>3</sup> (kimyasal+elektrik)	Liao vd., 2000

Bu çizelgeye göre, İOP teknikleri ile tekstil atıksuyunda renk giderimi çalışmalarında %95-100 renk giderim verimi ve birim atıksu arıtma maliyeti olarak da 0,57-6,54 \$/m<sup>3</sup> maliyetlerinin elde edildiği anlaşılmaktadır.

## **6.6. Biyolojik Arıtma Yöntemleri**

Biyolojik arıtım, endüstriyel proseslerden alıcı sistemlere transfer olan organikler için en önemli giderim prosesidir. Tekstil endüstrisi atık suları için önerilen fiziksel ve kimyasal yöntemlerin yüksek maliyet gerektirmeleri ve her boya için kullanılmıyor olmaları, uygulamalarının sınırlı olmasına neden olmuştur (Kocaer ve Alkan 2002).

Literatürde biyolojik arıtma esnasında renk giderimi konusunda yapılmış çalışmalar mevcuttur. Biyolojik arıtmadaki sınırlı renk giderimi temel olarak yumaklaştırma ve aktif çamurdaki katı maddelere adsorbsiyon ile gerçekleşir (Porter ve Diğerleri 1976). Biyolojik arıtmada mikroorganizmalar anahtar rol oynamaktadır. En yaygın kullanılan mikroorganizma grupları: bakteriler, mantarlar ve alglerdir.

Biyolojik yöntemler hem maliyet hem de çevre açısından daha uygun arıtma teknikleri olarak karşımıza çıkmakta ancak boyaların kolay parçalanabilir olmamalarından dolayı arıtmadaki etkinlikleri düşük olmaktadır. Bu sebeple uygun mikroorganizma türlerinin tespiti / izolasyonu ve bunları kullanan yeni arıtım süreçlerinin araştırılması son yıllarda büyük önem kazanmıştır (Acuner 2002).

### **6.6.1. Aerobik yöntemler**

Tekstil endüstrisi atık suları, pH değişimlerine duyarlılığı, yüksek olan konvansiyonel biyolojik arıtma tesislerinde önemli zorluklara sebep olmaktadır. Endüstriyel atık suların arıtılmasında yaygın olarak kullanılan konvansiyonel aktif çamur sistemleri için tekstil endüstrisindeki birçok boya ya biyolojik olarak çok zor indirgenebilmekte ya da inert kalmaktadır. Suda iyi çözünen bazik ve direkt boya atıklarının olması durumunda bazı mikroorganizmalar bu tür bileşikler biyolojik olarak indirgeyememekle birlikte boyanın bir kısmını adsorbe ederek atık suyun rengini almakta ve renk giderimi sağlanabilmektedir.

### 6.6.2. Anaerobik yöntemler

Anaerobik arıtımın ilk basamağında asidojenik bakteriler, karbonhidratlar, yağlar ve proteinler gibi organikleri düşük moleküler ağırlıklı ana ürünlere dönüştürebilirler. Bu fermantasyon ürünleri daha sonra asetojenik bakteri tarafından kullanılır ve asetat, karbondioksit ve moleküler hidrojen açığa çıkar. Son olarak metanojenik bakteriler asetat ve karbondioksiti metana indirgerler. Metan ve karbondioksit içeren biyogaz, anaerobik parçalanma testlerinde parçalanmanın seviyesini belirleme amacıyla kullanılabilir (Kocaer ve Alkan 2002).

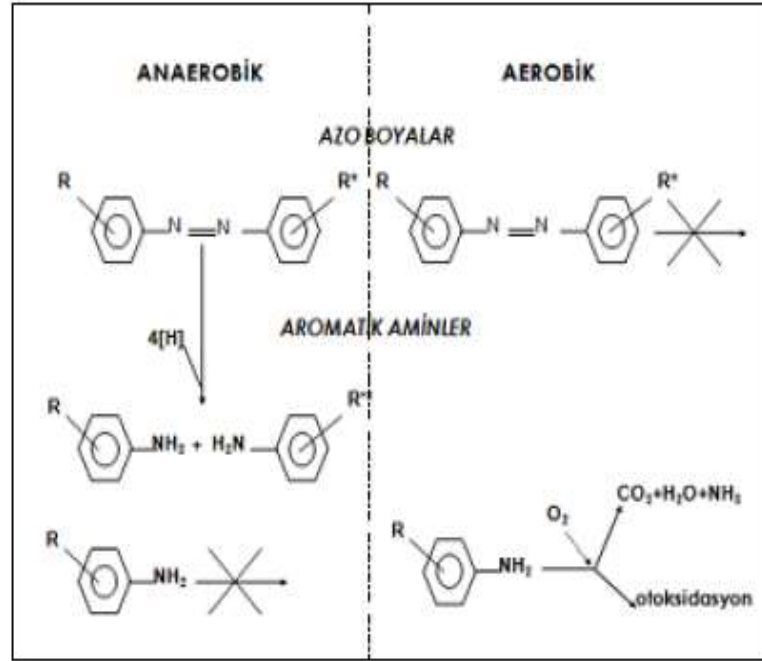
Son zamanlarda, tekstil atık sularının arıtımında anaerobik ve aerobik sistemlerin birlikte kullanılması üzerine çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Burada anaerobik sistem birinci aşamada azo boyaların sahip olduğu çift azo bağının parçalanması ve ortaya çıkan parçalanma ürünlerinin ise aerobik bir sistem tarafından son ürünlere oksitlenmesinden oluşmaktadır. Aerobik biofilm sistemler ise tekstil atık sularının arıtımındaki en uygun sistemlerdir.

Anaerobik arıtma yöntemleri üzerine yapılan laboratuvar şartlarında ise renk giderimi için iyi sonuçlar alınmasına rağmen, bir takım problemler mevcuttur. Gerçek bir tekstil atık suyunda sülfat ve nitrat gibi iyonların bulunması sistemin verimini azaltabilmektedir. Ayrıca anaerobik arıtımda oluşan  $H_2S$  gazı diğer önemli bir problemdir. Tekstil atık sularının anaerobik arıtımında azo boyaların parçalanması sonucu aromatik aminlerin oluşumu ancak anaerobik bir ortamda gerçekleşmektedir (Başbüyük ve diğerleri 1998). Anaerobik arıtma işleminin azo boyası içeren karışımlardan renk giderimi incelenmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda, orijinal atığın anaerobik arıtımında 5 gün içerisindeki KOİ değerinde % 58 bir azalma gözlemlendiği tespit edilmiştir. Hazırlanan sentetik numunelerde ise boya miktarı arttıkça KOİ giderim oranının azaldığı görülmüştür. Renk parametrelerinde kısa sürede meydana gelen değişim azo çift bağlarının anaerobik arıtımı esnasında oluştuğu sonucuna varılmıştır.

Azo boyar maddelerin aerobik koşullara dirençli olması, anaerobik koşullarda giderilebiliyor olması ve anaerobik koşullarda renk gideriminin bir sonucu olarak oluşan aromatik aminlerin bu koşullara dirençli olması ve aerobik koşullarda giderilebiliyor olmasından dolayı boya madde içeren renkli tekstil atıksularının tam olarak arıtımı ancak ardışık anaerobik ve aerobik süreçlerin birlikte kullanılması ile sağlanabilmektedir (Şekil 6.1). Anaerobik renk gideriminin sağlandığı süreç 1. basamak, renk giderimi sonucu oluşan toksik



ve renksiz aromatik aminlerin aerobik koşullarda giderildiği s¼reç arıtmanın 2. aşamasını oluşturmaktadır.



**şekil 6.1.** Azo boyar madde ve aromatik aminin anaerobik-aerobik koşullarda biyodegradasyonu (Cırık 2010)

Kapdan ve Alparslan (2004), anaerobik-aerobik ardışık sistemler kullanarak gerçek tekstil atıksularının arıtılabilirliği üzerine araştırmalar yapmıştır. Çalışmalarında anaerobik dolgulu kolon reaktör ve aktif çamur reaktörü kullanmışlardır. 2 günlük reaksiyon süresi ile %90 KOİ ve %85 renk giderimi elde etmişlerdir. Çizelge 6.4'de yapılan çalışmaların sonuçları yer almaktadır:

## Çizelge 6.4. Gerçek tekstil atıksularının biyolojik arıtımında kullanılan prosesler

Arıtma Sistemi	Açıklama	Giderilen kirlilik parametreleri
Hibrid sistem	Baskı atıksuları kullanılmıştır	Atıksuda başlangıç renk ve KOİ değeri 1425 Pt-Co ve 690 mg/L KOİ'dir. %63 KOİ ve %84 renk giderme verimleri elde edilmiştir. (Chang vd., 2009)
Bacthis adusta ile zenginleştirilmiş sabit yataklı biyoreaktör	Yünlü ve pamuklu tekstil atıksuyu kullanılmıştır.	%84 renk giderme verimi elde edilmiştir. (Anastasia vd., 2010).
Aktif çamur sistemi	Denim tekstil atıksularının arıtımında ön arıtma olarak kullanılmıştır.	%75 renk giderimi ve %91 KOİ giderimi elde edilmiştir. (Sahinkaya vd., 2008).
Anaerobik akıştan yataklı reaktör (dolgu malzemesi aktif karbon)	Boyama prosesi atıksularının arıtılması amaçlanmıştır. Bazı işletme parametrelerinin arıtma ( OLR, HRT ve harici substrat olarak glukoz eklenmesi) performansına olan etkileri araştırılmıştır.	%95 çözülmüş KOİ giderimi ve %95 BOİ <sub>5</sub> giderimi ve %65 renk giderimi elde edilmiştir. ( Haroun ve Idris, 2009)
Mikroaerobik-aerobik hibrid reaktör	Tüm işletme prosesi atıksularını içermektedir.	%99 renk giderimi ve %94 KOİ giderimi sağlanmıştır. (Sandhya vd., 2008)
Batık membran fungal reaktör	Tüm işletme prosesi atıksularını içermektedir.	%99 renk giderimi ve %97 toplam organik karbon (TOC) giderimi sağlanmıştır. (Hai vd., 2006)
Anaerobik-aerobik ardışık sistem	Tüm işletme prosesi atıksularını içermektedir.	%85 renk giderimi %90 KOİ giderimi sağlanmıştır. (Kapdan ve Alparslan, 2005)
Anaerobik akışkan yataklı reaktör	Tüm işletme prosesi atıksularını içermektedir.	%92 renk giderimi ve %90 KOİ giderimi sağlanmıştır (Somasiri vd., 2008).

Çizelge 6.4'de görüldüğü üzere; hibrit sistemler, tekstil atıksularında renk ve diğer kirleticilerin gideriminde yüksek verime sahiptir. Yapılan çalışmalarda %65-99 renk giderim verimleri elde edilmiştir.

## 6.7. Biyosorpsiyon

Biyosorpsiyon canlı veya ölü biyolojik materyallerin sulu çözeltilerden çeşitli kirlilik parametrelerinin (genellikle renk ve ağır metal) giderilmesi amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Biyosorpsiyon prosesinde kirletici, canlı veya ölü hücre yüzeyi üzerinde tutunur, biriktirilir veya hücre içinde akümüle edilir. Bu biyolojik materyaller; mantarlar, bakteriler, algler vb. canlılardır (Sternberg ve Dorn 2002, Keskinan ve ark. 2004). Bu canlıların genellikle ölü biyokütleri boyar madde içeren atık suların renginin giderilmesinde kullanılabilir. Özellikle atıksu toksik özellik gösteriyorsa canlı ile biyolojik arıtım uygulaması zor veya imkânsız olduğunda biyosorpsiyon yöntemi avantajlı olmaktadır.

Biyosorpsiyon teknolojisi diğer mevcut arıtma teknolojileri ile (örn; çöktürme, iyon değiştirme, ters ozmos ve kimyasal oksidasyon gibi) karşılaştırıldığında boyar madde içeren atıksulardan renk gideriminde oldukça düşük maliyetli ve verimli bir alternatif sunmaktadır.

Biyosorpsiyon teknolojisinin diğer önemli bir avantajı, biyoadsorbantın yüksek verimlilikle yeniden kullanılabilmesi (Bayramoglu vd. 2006), yüksek seçicilik göstermesi, büyük hacimli atıksularda verimli bir şekilde uygulanabilmesi ve maliyetinin düşük olmasıdır.

Biyosorpsiyonda canlı ve ölü biyokütleler kullanılabilse de, ölü biyokütleler toksik bileşiklerden etkilenmedikleri ve çevreye zarar verebilen çeşitli toksin ve/veya salgı maddeleri salıvermediklerinden dolayı daha çok tercih edilirler (Aksu 2005).

Biyosorpsiyonla atıksulardan renk ve çeşitli organik kirleticilerin giderimi konusunda yapılan birçok çalışma mevcuttur. Pek çok biyolojik kökenli materyalin boyar madde giderimi amacıyla kullanıldığı bilinmektedir. Tekstil boyalarının kimyası geniş bir yelpazede değişiklik gösterdiği için, mikroorganizmalarla olan etkileşimler boyanın kimyasal yapısına ve mikrobiyal kütlelerin spesifik kimyasına dayanmaktadır (Levin vd. 2004). Bu nedenle, kullanılan mikroorganizmanın cinsine ve boyaya bağlı olarak farklı bağlanma hızları ve kapasiteleri söz konusudur. Mikrobiyal kütlelerin biyosorpsiyon ile çeşitli kirleticileri alması veya akümüle etmesi, öncelikle bu kimyasalları hücre yüzeyine adsorbe ederek aktif veya pasif taşıma ile ortamdan alımını kapsar. Bu amaçla, bazı düşük maliyetli mantar türleri atıksulardan boyar maddelerin gideriminde kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanları, *Lentinus sajor caju*, *Trametes versicolor*, *Lentinus edodes*, *Aspergillus niger* türleridir. Özellikle beyaz çürükçül fungus *T. versicolor* biyosorpsiyon çalışmalarında oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır.

## 6.8. Elektrokoagülasyon

Halihazırda uygulanan fizikokimyasal ve biyolojik prosesler, fazla çamur oluşumu, yüksek işletme maliyetleri, atıksu türüne bağlı olarak renk giderim verimlerindeki değişkenlikler, bazı boyar maddelerin mikroorganizmalar üzerine toksik etkisi gibi dezavantajlara sahiptir.

Tekstil atıksuları genellikle yüksek pH ve renk içeriği, düşük biyolojik parçalanabilirlik gibi özellikler göstermektedir (Lin ve Chen 1997). Tekstil ürünlerinin çeşitliliğindeki artış ve buna bağlı olarak yüksek değişkenlikte kimyasal özelliklere sahip

birçok boyar maddenin kullanılması, bu sektörün atıksularının arıtılmasını daha zor hale getirmektedir (O'Neill ve diğerleri 2000).

Koagülantların tekstil atıksularından renk giderim verimleri çok değişkenlik gösterebilmektedir. Öte yandan, yapılan bazı çalışmalar, tekstil atıksularının arıtımında KOİ, bulanıklık ve çözünmüş katı maddelerin elektrokoagülasyon prosesi ile etkili bir şekilde giderildiğini göstermektedir (Lin ve Chen 1997; Can vd. 2003; Kobyva vd. 2003; Bayramoglu vd. 2004; Daneshvar vd. 2004; Eyvaz vd. 2006).

Elektrokoagülasyon prosesinin kirleticileri uzaklaştırmadaki prensibi koagülasyon, adsorpsiyon, çöktürme ve flotasyon mekanizmalarının biri veya birkaçına dayanmaktadır (Lin ve Chen 1997). Elektrokoagülasyonda pıhtılaşma ve çökeltme mekanizmaları, sisteme kimyasal madde ilave etmeden, elektrokimyasal reaktördeki elektrotlar aracılığı ile gerçekleştirilmektedir. Elektrokoagülasyon, kolloidlerin, süspansiyonların ve emülsiyonların elektriksel yüklerden etkilenmesi prensibine dayanır. Alüminyum ve demir gibi metal anotlar, anodik çözülmeye uğramakta ve hidroliz ile metal hidroksitler oluşmaktadır. Bazı avantajlarından dolayı elektrokoagülasyon prosesi, farklı endüstriyel atıksuların arıtılmasında etkili bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Elektrokimyasal prosesler uzun süreli kullanımlarda az problemlili ve daha az masraflı olabilir. Bu avantajlar elektro-koagülasyon yönteminin yaygın olarak kullanılmasını sağlamaktadır (Birgül 2006).

Laboratuvar çalışmalarında tekstil atıksularından renk giderilmesinde kullanılan elektrokoagülasyon sistemi, elektrik akımının verildiği, demir anot ve katottan oluşan elektrot plakalarının bulunduğu kapalı bir boru sisteminden oluşmaktadır. Kullanılan demir elektrotuna elektrik akımı verildiği zaman elektrot çözünmeyen demir hidroksil üretmektedir. Atıksu, bu sistemden geçirildiği zaman boyar maddeler yumaklaşmakta ve çökelmektedir. Renk giderilmesinde kimyasal indirgenme, elektroflotasyon gibi fiziksel ve kimyasal reaksiyonlar etkili olmaktadır. Sistemin verimi kullanılan boya tipine, elektrik akımına, elektrot tipine, sıcaklığa, pH, ve reaksiyon süresine bağlı olarak değişebilmektedir. Farklı boya tipleri (dispers, direkt ve asit boyalar) üzerinde alüminyum ya da demir elektrotlar kullanılarak yapılan elektrokimyasal işlemler renk gideriminde iyi sonuçlar vermiştir.

Elektrokoagülasyon prosesi, genellikle çözünür ve çözünemeyen boyaların gideriminde etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak, reaktif boyalar, elektrokimyasal arıtma

proseslerini zorlaştırmaktadır. Ayrıca, herhangi bir çamur oluşumuna sebep olmazken, yüksek elektrik maliyeti prosesin uygulanabilirliğini kısıtlamaktadır (Verma vd. 2012). Bir diğer dezavantaj ise, elektrotlardan suya salınabilecek çözünmüş metaller ve klorlanmış organiklerden kaynaklanan ikincil kirletici oluşma hususlarıdır. Liu vd. (2007), elektrokoagülasyon metodu ile tekstil atıksuyundan renk giderimini araştırmışlardır. pH 6-7 değerlerinde, 1,5 A akımda, 20 dakika çalışma sonrasında %90'ın üzerinde renk giderimi elde etmişlerdir. Akım şiddetinin 1 A'dan 2,5 A'ya çıkarılması renk giderimini az miktarda değiştirmiştir. pH 5-8 değerlerinde akım şiddetinin 1 A'dan 2,5 A'ya çıkarılmasıyla renk giderimi %80'lere ulaşmıştır (Liu vd. 2007).

## 6.9. Dekoloranlar

Fizikokimyasal prosesler içerisinde, boyar madde içeren endüstriyel atıksulardan renk giderimi için dekoloranlar da kullanılmaktadır. Dekoloranlar polimer bazlı olup, katyonik, anyonik, ya da iyonik olmayan türlerdedir. Yüksek renk giderme özelliğine sahip organik polimerik koagülant olan dekoloranlar genellikle tekstil atıksularındaki boya pigmentlerinin giderilmesinde kullanılır. Renk gideriminin yanında KOİ, bulanıklık ve AKM miktarlarını da ciddi anlamda azaltmaktadırlar.

Dekoloranların temel uygulama alanları tekstil atıksuları ve sızıntı suları olmakla birlikte, metal, gıda, kimya, içki sanayi, maden, deri, petrol, kağıt, organize sanayiler v.b sektörlerin atıksularında da renk giderimi sağlamaktadır (Marmara Kimyasal 2012). Ülkemizde boyar madde içeren endüstriyel atıksulardan özellikle de tekstil atıksularından renk gideriminde ve deşarj renk standartlarının sağlanmasında dekoloranlar son yıllarda atıksu arıtma tesislerinde kullanılmaya başlanmıştır. Bir çok tesisten elde edilen verilere göre, dekoloranlar etkin bir şekilde renk giderimi sağlamaktadır. Ticari olarak satılan çeşitli dekoloranlar mevcuttur. Bunların çoğunluğu genellikle katyonik özelliktedir. Bu dekoloranlara örnek olarak polialüminyum klorür hidroksit, DMA-Epiklorohidrin, polidamac, poliamin ve poliamidik polimerler gösterilebilir (AKKİM 2012; ÜLKEM Kimya 2012). Polialüminyum klorür hidroksit katyonik bir inorganik polimerdir. Katyonik özelliğinden dolayı sudaki negatif yüklü kolloidleri ve bileşiklerini nötralize edip birbirlerine yaklaştırarak koagülasyonu sağlar. pH 6,5-8,0 arası uygulanmaktadır. Renk giderimi

uygulamalarında, uygulanacak olan dozaj miktarı jar testi ile belirlenmelidir. Jar testi yaparken işletme şartları da göz önünde bulundurulmalıdır (Hidrosiskimya 2012).

DMA-Epiklorohidrin ve polidadmac dekoloranları, atık yağlardan suyun ayrılması ve boya koagülasyonu için uygundur. Bu dekoloranlar su içinde çözülmüş katyonik polimerlerdir (AKKİM 2012). Metal tuzları içermedikleri için çamur oluşturmazlar. Askıdaki anyonik maddelerin yüklerini nötralize ederek ve bir araya getirerek çökeltirler. Geniş pH aralıklarında (1-14) kullanılabilirler (AKKİM 2012; Hidrosiskimya 2012). Polyamidik polimerler de katyonik özellik göstermektedir. Tekstil atıksularından renk gideriminde kullanılan organik polyamidik bir dekolorandır. Daha iyi bir sonuç alabilmek için doğrudan biyolojik veya çökeltim tankının içerisine enjekte edilebilmektedir. Eklenecek dekoloran dozu, arıtılması istenen atıksuyun renk değerlerine göre ayarlanabilir. Suyun pH aralığının 7,5-8 aralığında olması önemlidir (Hidrosiskimya 2012).

Dekoloranlar ile endüstriyel atıksulardan renk giderimi üzerine yapılan çeşitli bilimsel çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda organik polimerik flokülânların, inorganik flokülânlara göre daha avantajlı olduğu belirtilmektedir. Bu sebeple, yeni organik flokülânların üretimine yönelik çeşitli yayınlar da mevcuttur. Wang ve Wang (2004)'ın Çin'de ve gelişmiş ülkelerde polidadmac ve poliamin üretim teknolojilerinin karşılaştırılmasına yönelik bir çalışması bulunmaktadır. Xu vd. (2003), atıksulardan boya giderimi sağlamak üzere disiyandiamid formaldehit ile polialüminyum klorürün karışımından oluşan katyonik organik bir flokülân sentezlemişlerdir. Flokülân ve eklenen kimyasalların dozları, eklenme sıraları, pH etkisi gibi faktörlerin renk giderimine olan etkilerini araştırmışlardır. Xu vd. (2003)'nin yapmış oldukları çalışma sonucunda, test edilen 100 mg/L boya konsantrasyonunda (8 farklı boya), pH 8-9 civarlarında, 0,4-1,5 ml/L dekoloran ve 40-80 mg/L PACl konsantrasyonlarında, %96'nın üzerinde renk giderimi sağlanmıştır. KOİ giderimleri dikkate alındığında ise, farklı boya çeşitlerine göre giderim verimlerinin değiştiğini tespit etmişlerdir.

Li vd. (2008)'nin yapmış oldukları bir çalışmada disiyandiamid ve formaldehit kullanarak sentezledikleri flokülân ile renk giderimini araştırmışlardır. Disiyandiamid-formaldehit karışımına  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  ekleyip/eklememe durumunun renk giderimine olan etkisini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışma sonunda,  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  eklenen durumlarda renk gideriminde önemli miktarda artış olduğu gözlenmiştir. pH 7-12 aralığında, %98'den fazla renk giderimi elde edilmiştir (Li vd. 2008). Yu vd. (2004), boya endüstrisi atıksularından

disiyandiamid - formaldehit karışımının, polialüminyum klorürün ve demir sülfatın renk ve KOİ giderimine olan etkilerini karşılaştırmışlardır. Bu çalışmanın sonucu olarak, 200 mg/L dozda, pH 11-13 civarlarında, disiyandiamid-formaldehit, polialüminyum klorür ve demir sülfata göre daha iyi giderim verimleri sağlamıştır. Daha az miktarlarda dekoloran kullanımı ile işletme maliyetleri de düşebilir (Yu vd. 2004).

## **6.10. Kimyasal Koagülasyon ve Flokülasyon**

Boyar madde içeren atıksuların arıtımında veya ön arıtımında düşük maliyet sebebiyle koagülasyon uzun yıllardan beri uygulanmaktadır (Anjaneyulu vd. 2005; Golob vd. 2005). Bununla birlikte çamur üretimine sebep olmaktadır ve bazı çözünebilir boyaların gideriminde etkili olamamaktadır (Anjaneyulu vd. 2005; Hai vd. 2007). Boyama işleminden sonra oluşan küçük hacimdeki oldukça renkli atıksulardan renk gideriminde kullanılması durumunda, oluşan çamur miktarı daha az olmaktadır (Golob vd. 2005). Suda çözünebilir boyaların koagülasyonla giderilmesi zordur. Ayrıca sentez teknolojilerinin gelişmesiyle, kompleks yapıda birçok boya sentezlenmekte ve bu durum doğru koagülant seçiminde sorun oluşturmaktadır (Yu vd. 2002).

Koagülasyon/flokülasyon ile renk giderimi hedeflendiğinde, öncelikle arıtılması istenen renkli atıksuyun özelliğine, kullanılan boyaların özelliğine göre bir seçimde bulunulmalıdır. Genellikle, boya konsantrasyonu ve boya çözünürlüğünün artmasıyla renk giderimi azalmaktadır. Kimyasal koagülasyon kompleks bir olaydır. Bu sebeple belli şartlar altında koagülantın ne şekilde reaksiyon vereceğini bilmek oldukça kritiktir. Farklı boya çeşitleri için optimum koagülasyon koşullarının ayrı ayrı belirlenmesi gerekmektedir. Koagülasyonun verimliliği, doğru koagülant seçimi ve uygun pH, koagülant dozu, karıştırma süresi gibi proses değişkenlerinin optimizasyonu ile artırılabilir (Verma vd. 2012). Boya ile birlikte önemli miktarda AKM, çözünmüş maddeler, tuz ve metal içeren tekstil atıksularından, koagülasyonla etkili bir biçimde renk ve KOİ giderimi sağlanabilmektedir (Joo vd. 2007).

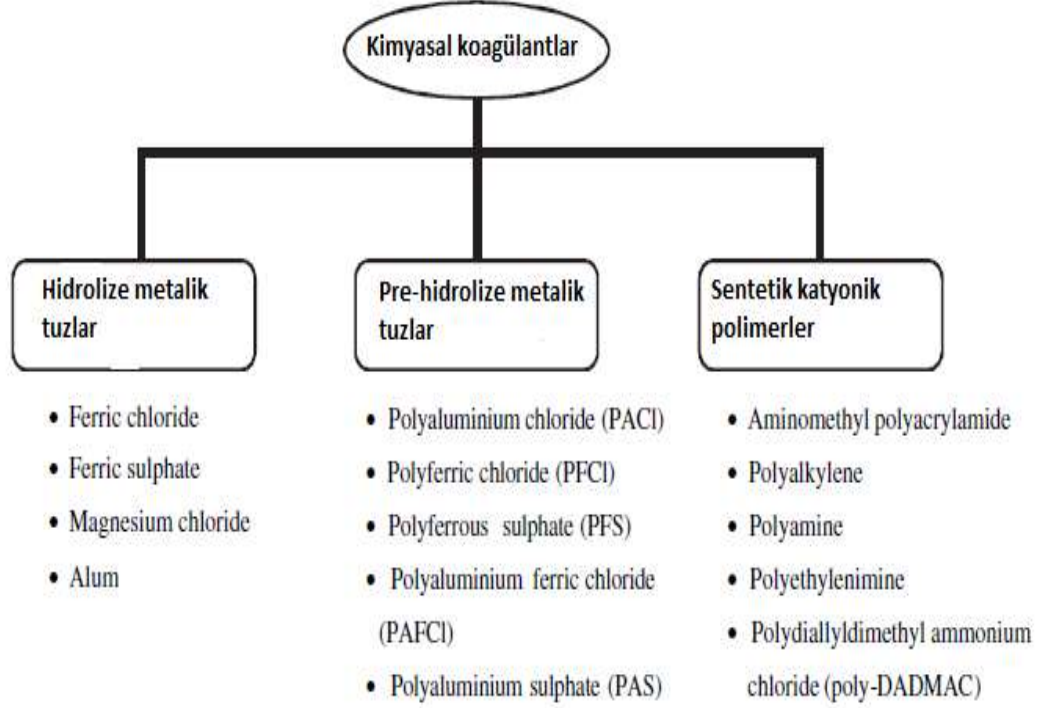
### 6.10.1. Koagülant Maddeler

Doğal renk sularda özellikle negatif yüklü kolloidal partiküller ve doğal organik maddeler sebebiyle bulunmaktadır. Bu nedenle renk giderimi, alüminyum ve demir gibi katyonik metal iyonları içeren tuzlar vasıtasıyla koagülasyon ile sağlanmaktadır (Birgül 2006). Askıda veya kolloid haldeki partiküllerin destabilizasyonu, solüsyon pH'sının ayarlanması ve koagülantların eklenmesi ile mümkün olmaktadır. Vat boyaların arıtımında genel olarak koagülasyon metodu uygulanmaktadır. Suda çözünemeyen vat boyalar, kireç, alüm, demir sülfat ve polielektrolit gibi koagülantlar kullanılarak uzaklaştırılmaktadır (Uzal 2007). Koagülasyon prosesinde organik koagülantlarla ya da organik polimerlerle renk gideriminde başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Organik polimerler pahalı olmalarına rağmen, daha az çamur oluşumuna sebebiyet verdiklerinden daha çok tercih edilmektedir (EPRI 1996; Birgül 2006).

Polielektrolitler ile de etkili renk giderimi yapılabilmektedir. Polielektrolitlerin eklenmesi ile flokların büyümesi sağlanmakta ve çökeltme daha hızlı gelişmektedir. Polielektrolitler yüksek moleküler ağırlıklı polimerlerdir. Koagülantla birlikte 1-5 mg/L gibi küçük dozlarda polielektrolit eklendiğinde, koagülant yardımcısı olarak adlandırılırlar. Genel olarak polielektrolitler pH değişimlerinden etkilenmemekte, koagülant gibi işlev görmektedir. Çok miktarda iyon oluşumuna sebep olup, polimer ve elektrolit özellikleri göstermektedir. Polielektrolitlerin en büyük özelliği, büyük flok oluşumuna sebep olmalarıdır.

Dolayısıyla flok çökelmeleri daha hızlı olmakta, renk giderim maliyetleri azalmakta ve çökelen çamur hacmi daha az olmaktadır (Bidhendi vd. 2007; Verma vd. 2012). Tekstil atıksularından renk gideriminde kullanılan koagülant maddeler Şekil 6.2'de üç kısımda sınıflandırılmıştır.





**Şekil 6.2.** Koagülant maddelerin etkilerine göre sınıflandırılması (Verma vd. 2012)

Pre-hidrolize metalik tuzların genellikle alüm, demir klorür, demir sülfat gibi hidrolize olan tuzlardan daha etkili olduğu belirtilmiştir (Jiang ve Graham 1998). Polialüminyum klorür (PACl), polialüminyum demir klorür (PAFCI), polidemir sülfat (PFS) gibi pre-hidrolize koagülantlar ile düşük sıcaklıklarda bile etkili renk giderimi elde edilmiştir. Gregory ve Rossi (2001)'nin yapmış olduğu bir çalışmada eşit dozlarda kullanılan PACl'nin, alüme göre daha hızlı ve daha güçlü flok oluşturduğu sonucuna varılmıştır. Pre-hidrolize koagülantlar, önce nötrale edildiği için, suyun pH'sını daha az etkilemekte, dolayısıyla pH kontrolü ihtiyacını azaltmaktadır.

Tekstil endüstrisinde kullanılan boyaların birçoğu negatif yüklü olduğundan, daha iyi renk giderimi sağlamları bakımından katyonik polimerler tercih edilmektedir. Bununla birlikte mekanizmaları tam olarak bilinmemektedir. Bu bakımdan giderim mekanizmasını kontrol eden tüm kritik parametrelerin dikkate alınması gerekmektedir. Bazı araştırmacılar koagülasyonu etkileyen en önemli parametrelerin pH ve alüm (El-Gohary ve Tawfik 2009), FeCl<sub>3</sub> (Kim vd. 2003; Bidhendi vd. 2007), MgCl<sub>2</sub> (Tan vd. 2000; Semerjian ve Ayoub 2003; Gao vd. 2007), PACl (Sanghi ve Bhattacharya 2005; Choo vd. 2007), kireç (Mishra vd. 2002; Georgiou vd. 2003), demir sülfat ve organik polimerik koagülantlar (Mishra vd. 2002;

Bidhendi vd. 2007) gibi uygulanan koagülant dozları olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, karıştırma hızı ve süresi (Gurses vd. 2003), sıcaklık ve reaksiyon süresi de (Ong vd. 2005; Naimabadi vd. 2009) renk giderimini etkilemektedir. Tüm bu faktörlerin optimizasyonu proses etkinliğini artırmaktadır.

Tekstil atıksularından renk gideriminde kullanılan çeşitli koagülantlar ve renk giderim verimleri Çizelge 6.5’de gösterilmiştir. Bu veriler baz alınırken, koagülantların renk giderim etkinliklerinin, doz, pH, karıştırma süreleri gibi proses değişkenlerinin boyar madde türü ve atıksu içeriğine bağlı olarak değişebileceği unutulmamalıdır.

**Çizelge 6.5.** Tekstil atıksuları ile yapılan çeşitli çalışmalarda kullanılan koagülant maddelerin renk giderimine etkileri (Verma vd. 2012)

Koagülantlar	Optimum doz (mg/L)	Boya Cinsi	Optimum Ph	Renk giderimi (%)	Referans
Potasyum ferrat	100		6,5-8,5	95	Ciabatti vd., 2010
Polialüminyum klorür (PACl)	10		7,2	99,9	Choo vd., 2007
Alüm	200		5,3	78,9	El-Gohary ve Tawfik, 2009
Alüm	5000		4	74	Kumar vd.,2003
Alüm	20	Reaktif ve asidik	Nötral pH	98	Golob vd., 2008
Demir sülfat	200	Sülfür	9,4	90	Bidhendi vd., 2007
Demir sülfat	400	Reaktif	12,5	90	Georgiou vd., 2003
Demir sülfat	1000		9,5	60	Selçuk, 2005
Demir klorür	400	Sülfür	8,3	100	Bidhendi vd., 2007
Demir klorür	293	Reaktif ve dispers	6	71	Kim vd., 2004
Magnezyum klorür	400	Reaktif	11	85	Tan vd.,2000
Magnezyum klorür	120		11	100	El-Gohary ve Tawfik, 2009
Magnezyum klorür	800	Reaktif ve dispers	12	98	Goa vd., 2007
Polialüminyum klorür (PACl)	800		7,5	75	Tun vd., 2007

Çizelgede görüldüğü üzere, asidik ve reaktif boyaların alüm ile koagülasyonunda optimum pH; nötral pH değeri olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte, polielektrolit eklenmesi ile renk giderimi artmıştır.

PACl, alüminyum bazlı bir koagülanttır. PACl’ler, alüme çok benzemesine rağmen birkaç önemli farkı bulunmaktadır. Bu farklar, kısmen önce nötralize edilmesi, sülfat yerine klorür içermesi, alüminyum içeriğinin üç kat daha fazla olması, hızlı agrega olması, büyük ve

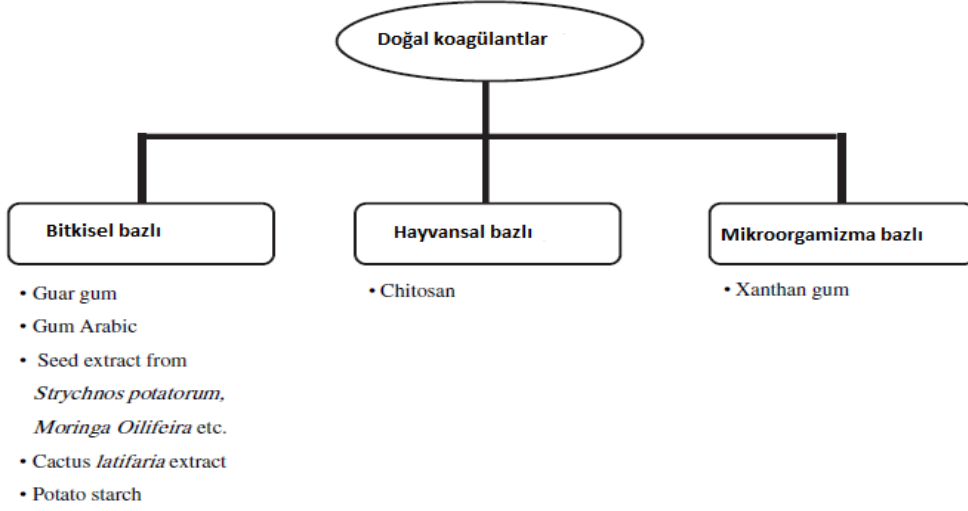
ağır flok oluşturmasıdır. Ayrıca PACl'ler geniş pH aralıklarında (pH 7-10) iyi renk giderimi sağlamaktadır. FeSO<sub>4</sub> için boyar madde türü ve atıksu içeriğine bağlı olarak optimum pH aralığı 7-9 olabilir. Bazı araştırmacılar polielektrolit eklenmesi ile genellikle bulanıklığın arttığını ve çökelen çamur miktarının arttığını belirtmişlerdir. İstenmeyen bu durum, polielektrolit dozunun 2 mg/L'den daha az konsantrasyonda seçilmesi ile elimine edilebilir (Bidhendi vd. 2007). Magnezyum klorür için optimum pH aralığı 9-12 aralığındadır (Gao vd. 2007; El-Gohary ve Tawfik 2009).

Alüm ve magnezyum klorürün fazla çamur miktarları üretmesi dezavantajlı yönlerinden biridir. Düşük konsantrasyonlarda demir klorürün renk gideriminde çok başarılı olmadığı görülmüştür (Kim vd. 2004; Golob vd. 2005; Bidhendi vd. 2007). Bununla birlikte, demir klorür ile birlikte az miktarda katyonik polimer kullanıldığında renk giderimi önemli ölçüde artmıştır (Suksaroj vd. 2005).

PFS'nin koagülant olarak kullanılması ile ilgili oldukça az bilgi mevcuttur. PFS suda pratik olarak çözüdüğünden ve (Fe<sub>2</sub>(OH)<sub>3</sub>)<sup>3+</sup>, (Fe<sub>2</sub>(OH)<sub>2</sub>)<sup>2+</sup>, (Fe<sub>8</sub>(OH)<sub>20</sub>)<sup>4+</sup> gibi çökelmeye eğilimli büyük miktarda polinükleik kompleks bileşikler oluşturduğundan, oldukça iyi koagülant olarak görünmektedir. Avantajları, flokların kolay çökmesi, geniş pH aralığında çalışılabilmesi, düşük demir içeriği, yüksek ağır metal giderim oranı olarak sayılabilir (Verma vd. 2012).

Yapılan çalışmalarda pıhtılaşma sürecinin verimliliğini arttırmak için yüksek molekül ağırlıklı sentetik veya doğal kökenli polimerler tercih edilebilmektedir. Bu polimerler atıksu ve polimer özelliklerine bağlı olarak, ya kendisi koagülant olarak ya da yardımcı koagülant olarak kullanılabilirler.

Organik polimerik bileşikler, güçlü ve iyi çöktürme özelliklerine sahip, büyük, yoğun ve kompakt yumakları üretme kabiliyetlerinden dolayı inorganik polimerlere göre daha avantajlıdır (Renault ve ark. 2009). Şekil 6.3'de doğal koagülant maddeler gösterilmektedir:



**Şekil 6.3.** Doğal koagülant maddeler

Doğal koagülant maddeler, alum gibi geleneksel koagülant maddelere göre; daha az miktarlarda kullanılması, düşük sıcaklıklarda etkili olması, inorganik koagülantların birim fiyatlarının yüksek olması, biyolojik olarak parçalanamamasından ve toksite etkilerinden dolayı avantajlı konuma geçmektedir.

### 6.10.2. Yardımcı Koagülant Maddeler

Yardımcı koagülant madde denildiğinde ilk akla gelen polimerlerdir. Sentetik polimerler iyonize olabilen ve iyonize olamayanlar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Yapısında iyonize olabilen grup taşıyan polimerler polielektrolitler olarak adlandırılır. Polielektrolitler iyonlaşabilen gruplara göre anyonik ve katyonik olarak iki gruba ayrılır. Yapısında iyonize olabilen grup içermeyen polimerler noniyonik olarak adlandırılır. Çizelge 6.6.'de bazı polimerler ve özellikleri verilmiştir.

**Çizelge 6.6.** Koagülant madde olarak kullanılan bazı polimerler ( Şengül 1995)

Polimer Adı	Özelliği
Poliyeten Oksit	Noniyonik
Poliakrilamid (PAM)	Noniyonik
Poliakrilik (PAA)	Anyonik
Hidrolize Poliakrilamid (HPAM)	Anyonik
Polidialdimetil Amonyum	Katyonik

Kimyasal koagülasyon ve flokülasyon yöntemlerinde inşaat masraflarından ziyade işletme masrafları önem taşımaktadır. Özellikle koagülant maddelerin temini ve meydana gelen çamurun bertaraf edilmesi, giderlerin önemli bir kısmını teşkil etmektedir (Arıcı 2000).

Son yıllarda boyaların yapılarında meydana gelen değişimler boyaların sadece koagülant maddelerle uzaklaştırılmasını zorlaştırmaktadır. Bu amaçla kullanılan organik polimerler inorganik maddelere göre daha iyi renk giderimi verimi ve daha az çamur oluşumunu sağlamasına rağmen; polimer kullanımı da tam bir renk giderimini sağlayamamaktadır.

Katyonik boyalar kimyasal yapılarından dolayı son derece zayıf koagüle olmakta veya hiç koagüle olamamaktadır. Asit, direkt, küp, mordant ve reaktif boyalar ise koagüle olmakla birlikte oluşan flokların kalitesi zayıf olup, ortama flokülant ilave edilmesi bile çökeltme verimini pek arttırmamaktadır. Bu bakımdan yukarıda bahsedilen tipteki boyaların kimyasal çöktürme ve yumaklaştırma ile uzaklaştırılmasında pek iyi sonuçlar alınamamaktadır.

Öte yandan kükürt ve dispers boyalar çok iyi koagüle olmakta ve bu nedenle son derece kolay çökeltme olup iyi bir renk giderimi sağlanabilmektedir. Kimyasal çöktürme ve yumaklaştırma işlemi bu tür boyalar için oldukça uygun bir renk giderim yöntemidir (Başbüyük ve diğerleri 1998).

Sıcaklık, pH, tuz konsantrasyonu, boya cinsi ve konsantrasyonu renk giderimini etkileyen parametrelerdir. Çöktürme ve yumaklaştırma ile optimum koşullar sağlandığında %80-90 renk giderim verimi elde edilebilmektedir (Arıcı 2000).

Çöktürme ve yumaklaştırma yönteminin dezavantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Arıcı 2000):

- Optimum çöktürme / yumaklaştırma koşulları birçok denemeden sonra bulunur. Fakat bu denemeler genellikle pahalıdır, zaman alır ve renk giderimi gerektiren her atık su için tekrarlanır.

- Katyonik yumaklaştırıcıların fazlalığı amonyak konsantrasyonunun artmasına neden olur.
- Boyaya bağlı olarak % 4 - 10 oranında kalıntı renk oluşur.
- Dispers boyaların renginin giderilebilmesine karşılık çözünür haldeki boyaların rengi giderilememektedir.
- Aşırı koagülant kullanılması halinde büyük miktarda çamur oluşmaktadır.
- Devamlı olarak koagülant madde kullanımı işletme maliyetini artırmaktadır.

## **7. MATERYAL VE METOD**

### **7.1. Materyal**

#### **7.1.1. Atıksu**

Endüstride bulunan 1.500 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli arıtma tesisinde, proses ve evsel kaynaklı atıksular fiziksel ve biyolojik arıtmadan geçirilerek deşarj edilmektedir. Atıksu karakterizasyonu için; 2013 / Kasım - Aralık ve 2014 / Ocak tarihleri arasında biyolojik arıtma çıkışından periyodik olarak günlük kompozit numuneler alınarak renk ölçümleri yapılmış ve renk giderim çalışmalarına esas olacak atıksu karakteri belirlenmiştir.

Endüstriden farklı tarihlerde alınan biyolojik arıtma çıkışı günlük kompozit atıksu numuneleri, deneysel çalışmalarda 'Ham Atıksu' olarak adlandırılmıştır.

#### **7.1.2. Ekipman ve Malzemeler**

Bu çalışma kapsamında yürütülen deneylerde aşağıda belirtilen ekipman ve malzemeler kullanılmıştır:

- Aquamate (2005) model UV Spektrofotometre
- Sartorius Süzme Seti ve Vakum Pompası
- AND HM-200 Marka Hassas tartı (0,0001–210 gr)
- Elektro – Mag marka Etüv
- Velp Scientifica Marka 6'lı Jar test cihazı
- WTW pH 330i pH metre
- Hach marka pH ve iletkenlik ölçer
- KOİ ölçüm seti ve kimyasalları
- RCT basic marka manyetik karıştırıcı
- Sartorius 0,45 µm Filtre Kağıdı
- Kaba filtre kağıdı
- 10 mm'lik Quartz Küvet
- Desikatör

- Imhoff hunileri
- Muhtelif Cam Laboratuar Malzemeleri
- pH ayarı için 0,1 N HCl
- pH ayarı için 0,1 N NaOH
- 0,1 M HCl
- %0,2 Anyonik Polielektrolit (A.P.E)
- PACl (Shanghai Sungo Technology&Trade Co.)
- PAFCl (Henan Sigma Aldrich Chemical Co.)
- PFS (DHXY Entech (Nanning, Guangxi) Co.)
- Demirklorür ( $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  - Huizhou 3R Environmental Chemical Co.)
- Sodyum Fosfat ( $Na_2HPO_4$  - Nanjing Lead Food International Trade Co.)
- Sodyum Karbonat ( $Na_2CO_3$  - Tetra Kimya)
- Nişasta (Tetra Kimya)
- Kitosan (Wuxi Sigma Chemical Product Co.)

## 7.2. Metod

Yürütülen deneysel çalışmalarda KOİ ve renk ölçümü hariç, tüm analizler Standart Methodlara göre yapılmıştır. KOİ; ISO 6060 ve renk; ISO 7887 metodlarına göre yapılmıştır. pH ayarlama ve ölçme işlemleri için WTW pH315i el tipi pHmetre kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda farklı pH 'larda atıksu elde edebilmek için 0,1 N HCl ve 0,1 N NaOH kullanılmıştır.

Ön çalışma olarak; tesisin mevcut biyolojik arıtma tesisi çıkışından 2013 yılı Kasım, Aralık ve 2014 Ocak aylarında tesisten her gün 24 saatlik kompozit numuneler alınarak laboratuvarda renk ölçümleri yapılmıştır. Ön çalışmanın amacı; uzun vadede izleme yaparak tesisin genel atıksu renk karakteristiği hakkında bilgi sahibi olmaktır.

Jar test ve kimyasal çöktürme işlemlerinin sonucunda; üstte kalan duru sudan numuneler alınarak renk ölçümleri yapılmış ve ham sudaki değerler ile karşılaştırmalar yapılmıştır.



Renk ölçümleri ISO 7887 standardına göre yapılmış olup, incelenen endüstrinin biyolojik arıtma tesisi çıkış suyundan 1 ay boyunca toplanan numunelerde Absorbans ölçümleri 436 nm, 525 nm ve 620 nm dalga boylarındaki ortalamaları bazında, bu tez çalışmasına esas olacak atıksu renk değeri hesaplanmıştır. Şekil 7.1'de yapılan renk ölçümlerine ait resimler bulunmaktadır:



Şekil 7.1. Renk ölçüm çalışmalarından örnekler

### 7.2.1. Renklilik Sayısı (RES) Ölçümleri Metodu

EN ISO 7887 Avrupa Normuna göre çalışmalar yapılmıştır. Ham atıksuyun spektrofotometrede 436 nm, 525 nm ve 620 nm dalga boylarında RES değerleri

hesaplanmıştır. Yapılan jar test ve kimyasal çöktürme çalışmaları sonucunda oluşan üst duru suyun RES değerleri hesaplanmış ve karşılaştırma yapılarak ve % RES giderim verimleri hesaplanmıştır.

$$\left. \begin{array}{l} \text{RES} = \text{Renklilik sayısı, m}^{-1} \\ E_{\lambda}: \text{Absorbans} \\ d: \text{Işık yolu mesafesi (1.0 cm)} \end{array} \right\} \text{RES} = 100 \left( \frac{E_{\lambda}}{d} \right) \quad (7.1)$$

### 7.2.2. Jar Test Metodu

Jar test ve kimyasal çöktürme çalışmalarında uygulanacak koagülant dozları, karıştırma hızları ve süreleri, çalışılacak pH aralıkları; ilgili koagülantlarla tekstil endüstrisinde yapılmış olan deneysel çalışmalara ait literatürlerde uygulanan çalışma şartları dikkate alınarak belirlenmiştir.

Tüm koagülasyon / flokülasyon deneysel çalışmaları 1,0 litre cam beher kullanılarak geleneksel jar test cihazında yapılmıştır. Yardımcı koagülant olarak %0,2 şartlarında hazırlanmış Anyonik Polielektrolit (A.P.E) kullanılmıştır. Koagülant madde ilavesi ile 200 rpm'de 2 dakika hızlı karıştırma uygulanmış, yardımcı koagülant madde ilavesi ile yavaş karıştırma 45 rpm'de 15-20 dakika olarak gerçekleştirilmiştir. Ardından numuneler 30 dakika çökelme işlemine tabi tutulmuştur. Çöktürmeden sonra üstte kalan su kaba filtreden süzülerek renk, KOİ ve iletkenlik ölçümleri yapılmıştır. 30 dakikada çöken çamur miktarı ve tam karışımdaki Askıda Katı Madde miktarları üzerinden günlük oluşması beklenen çamur miktarı kütle ve hacim bazında hesaplanmıştır. Şekil 7.2'de yapılan çalışmalara ait resimler bulunmaktadır:



**Şekil 7.2.** Jar test deneylerinin yapıldığı düzenek ve çalışmalardan örnekler.

### **7.2.3. Kimyasal Çöktürme Metodu**

Kimyasal çöktürme çalışmaları Jar Test çalışmalarını takiben yapılmıştır. Çalışmanın amacı; kimyasal arıtma işlemi sırasında tesiste oluşacak çamur yoğunluğunun belirlenmesi ve çamur miktarının kütleli ve hacimsel bazda hesaplanmasıdır.

Yapılan jar test çalışmalarında en iyi sonuç alınan numuneler imhoff hunilerinde çökme işlemine tabi tutularak, 30 ve 60 dakikalardaki çökme miktarları (ml/L atıksu) olarak ölçülmüştür (Şekil 7.3).



**Şekil 7.3.** Kimyasal Çöktürme çalışmalarından örnekler

Atıksuda tam karışımdan yapılacak Askıda Katı Madde (AKM) tayini ve 30 dakikalık çökeltme ölçüm sonuçlarına göre günlük oluşabilecek kimyasal çamur miktarı ve çamur yoğunluğu hesaplanabilmektedir.

Öncelikli olarak tam karışımdaki konsantrasyon ( $m_x$ ) hesaplanır:

$m_x$  = Tam karışımdaki konsantrasyon  
(mg/L)

$V$  = İmhoff hunisindeki numune hacmi (ml)

AKM = Askıda Katı Madde (mg/L)

$$\left. \begin{array}{l} m_x = \text{AKM} * V/1000 \end{array} \right\} \quad (7.2)$$

Çamur yoğunluğunun ( $d_{\text{ç}}$ ) hesaplanması :

$$\left. \begin{array}{l} d_{\text{ç}} = \text{Çamur yoğunluğu (gr/L)} \\ V_1 = 30 \text{ dakikalık çökme sonucu (ml/L)} \end{array} \right\} d_{\text{ç}} = \text{AKM} / V_1 \quad (7.3)$$

Tesiste oluşacak günlük çamur miktarının hesaplanması ;

a) Ağırlık bazında hesaplama;

$$\left. \begin{array}{l} M_x = \text{Günlük çamur miktarı (kg /gün)} \\ m_x = \text{Tam karışımdaki konsantrasyon} \\ \text{(mg/L)} \\ Q = \text{günlük debi (m}^3\text{/gün)} \end{array} \right\} M_x = m_x * Q \quad (7.4)$$

b) Hacim bazında hesaplama;

$$\left. \begin{array}{l} V_x = \text{Günlük çamur miktarı (m}^3\text{/gün)} \\ M_x = \text{Günlük çamur miktarı (kg/gün)} \\ d_{\text{ç}} = \text{Çamur yoğunluğu (gr/L)} \end{array} \right\} V_x = M_x / d_{\text{ç}} \quad (7.5)$$

#### 7.2.4. Askıda Katı Madde (AKM) Metodu

Jar test deneyleri sonucunda, en iyi sonuç alınan iki numunenin tam karışım halinden AKM ölçümleri yapılmıştır.

Deneysel çalışmada Sartorius marka 0,45 mikrometre filtre kağıtları kullanılmış, filtre kağıtları 105°C'de etüvde 1 saat bekletilip, desikatörde soğutularak sabit tartımları alınmıştır. Numunenin tam karışım halinden belirlenen hacimde alınan atıksu numuneleri vakum süzme setinde süzülmüştür. Etüv'de 105°C'de 1 (bir) saat kurutularak, desikatörde soğutulan numuneler, analitik terazide tartılarak AKM hesaplamaları yapılmıştır (Şekil 7.4).



Şekil 7.4. AKM ölçümlerinden örnekler

### 7.2.5. İletkenlik Ölçüm Metodu

Öncelikli olarak ham suyun, sonra Jar test ve kimyasal çöktürme sonrasında oluşan üst duru suyun iletkenlik ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerin karşılaştırılması sonucunda atıksudaki iyon miktarlarındaki artış gözlemlenmiştir. Bu işlem için HACH marka pH ve iletkenlik ölçer kullanılmıştır.

### 7.2.6. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) Ölçüm Metodu

KOİ ölçümü; atıksu numunelerinin, tanımlanan koşullarda dikromat ile oksidasyonu sırasında, atıksu içerisindeki çözülmüş ve askıda maddelerin harcadığı dikromat miktarının oksijen değeri cinsinden ölçülmesi işlemidir. Yapılan deneysel çalışmalar Open Reflux Metodu kullanılarak, ASTM metodlarına göre yapılmıştır.

Ham atıksuda KOİ ölçümleri yapılmış, jar test ve kimyasal çöktürme deneysel çalışmalarının sonunda oluşan üst duru sudan yapılan KOİ ölçümleri ile karşılaştırılarak KOİ giderim verimleri hesaplanmıştır (Şekil 7.5).



Şekil 7.5. KOİ ölçüm sistemi

### 7.2.7. PACI Deneysel çalışması

- ✓ Öncelikli olarak çalışılacak olan PACI çözeltisi %10 konsantrasyonda hazırlanmıştır.
- ✓ Çalışılacak olan atıksu numuneleri 0,1 N HCl ve 0,1 N NaOH kullanılarak; pH 4, pH 6,98 (doğal), pH 9 ve pH 10 olacak şekilde hazırlanmıştır.
- ✓ Deneysel çalışmalar 1000 ml'lik beherler içinde aynı hacimde atıksu numuneleri olacak şekilde; Jar test cihazında gerçekleştirilmiştir.

- ✓ Her numuneye 1ml (10 mg/L) %10 PACl eklenerek çalışmalar başlatılmıştır. 200 rpm'de 2(iki) dakika karıştırılmıştır.
- ✓ Her adım sonrasında karıştırma durdurularak; bütün numunelerde koagülasyonun gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilmiştir. Her adımda pH kontrol edilmiş ve pH değişikliği olup-olmadığı gözlemlenmiştir.
- ✓ Her bir numuneye toplamda 70 mg/L % 10'luk PACl eklendiğinde; pH 6,98 (doğal) numunesinde koagülasyonun oluşmaya başladığı gözlemlenmiş ve numunedeki konsantrasyon 80 mg/L olduğunda koagülasyon gerçekleşmiştir.
- ✓ Bu aşamada imhoff hunilerinde 30 dakika çökeltme deneyi yapılmıştır. Çökeltme sonucu oluşan üst duru sudan iletkenlik ve renk ölçülmüş ve tam karışımdan AKM deneyi yapılmıştır.
- ✓ Numunelerde koagülasyon gözlemlendikten sonra yardımcı koagülant olarak %0,2 A.P.E'den 1 ml eklenerek, 45 rpm'de 15 dakika karıştırılmıştır ve flokülasyon gözlemlenmiştir.
- ✓ Flokülasyon ve renk giderimi için toplamda 80 mg/L (%10) PACl ve 1 ml %0,2 A.P.E kullanılmıştır. Çalışma sonucunda en iyi sonucun pH 6,98 (doğal)'da ve ardından pH 4 numunesinde gerçekleştiği gözlemlenmiştir.
- ✓ Bu aşamada her iki numuneden imhoff hunilerinde 30 dakika çökeltme deneyi yapılarak oluşan üst duru sudan renk ve iletkenlik ölçümleri yapılmış, % RES giderimleri hesaplanmış ve tam karışımdan AKM ölçümü yapılmıştır. pH 6,98 (doğal) numunesi en iyi sonuç veren numune olarak KOİ ölçümü yapılmıştır.
- ✓ 1. çalışmada en iyi sonucun alındığı kabul edilen pH 4 ve pH doğal numunelerinde çalışma tekrarlanarak doğrulama sağlanmıştır.
- ✓ Çalışma sonucunda başlangıçta pH 6,98 olan numunenin pH'nın 6,35'e , pH'sı 4 olan numunenin pH'nın 3,50'ye düştüğü tespit edilmiştir.



### 7.2.8. PAFCl Deneysel çalışması

- ✓ Öncelikli olarak çalışılacak olan PAFCl çözeltisi %10 konsantrasyonda hazırlanmıştır.
- ✓ Çalışılacak olan atıksu numuneleri 0,1 N HCl ve 0,1 N NaOH kullanılarak; pH 4, pH 6,98 (doğal), pH 8 ve pH 9 olacak şekilde hazırlanmıştır.
- ✓ Deneyler 1000 ml'lik beherler içinde aynı hacimde atıksu numuneleri olacak şekilde; Jar test cihazında gerçekleştirilmiştir.
- ✓ Her numuneye 1ml (10 mg/L) %10 PAFCl eklenerek çalışmalar başlatılmıştır. 200 rpm'de 2(iki) dakika karıştırılmıştır.
- ✓ pH 4 ve pH 6,98 (doğal) numulerinde koagülasyon gözlemlenmiştir. Diğer pH'larda da koagülasyonun çok az gerçekleştiği gözlemlenmiştir.
- ✓ Bu aşamada imhoff hunilerinde 30 dakika çökeltme deneyi yapılmıştır. Çökeltme sonucu oluşan üst duru sudan iletkenlik ve renk ölçülmüş ve tam karışımdan AKM deneyi yapılmıştır.
- ✓ Numunelerde koagülasyon gözlemlendikten sonra yardımcı koagülant olarak %0,2 A.P.E'den 1 ml eklenerek, 45 rpm'de 15 dakika karıştırılmıştır ve flokülasyon gözlemlenmiştir.
- ✓ Flokülasyon ve renk giderimi için toplamda 10 mg/L (%10) PAFCl ve 1 ml %0,2 A.P.E kullanılmıştır. Çalışma sonucunda en iyi sonucun pH 4 ve pH 6,98 (doğal) 'da gerçekleştiği gözlemlenmiştir.
- ✓ Bu aşamada her iki numuneden imhoff hunilerinde 30 dakika çökeltme deneyi yapılarak oluşan üst duru sudan renk, iletkenlik ve KOİ ölçümleri yapılmış, % RES giderimleri hesaplanmış ve tam karışımdan AKM ölçümü yapılmıştır.

- ✓ 1. çalışmada en iyi sonucun alındığı kabul edilen pH 4 ve pH doğal numunelerinde çalışma tekrarlanarak doğrulama sağlanmıştır.
- ✓ Çalışma sonucunda başlangıç pH'sı 4 olan numunenin pH 3,53'e, başlangıç pH'sı 6,98 (doğal) olan numunenin pH 5,73'e düştüğü tespit edilmiştir.

### 7.2.9. PFS Deneysel çalışması

- ✓ Öncelikli olarak çalışılacak olan PFS çözeltisi %10 konsantrasyonda hazırlanmıştır.
- ✓ Çalışılacak olan atıksu numuneleri 0,1 N HCl ve 0,1 N NaOH kullanılarak; pH 4, pH 6,98 (doğal), pH 8 ve pH 9 olacak şekilde hazırlanmıştır.
- ✓ Deneyle 1000 ml'lik beherler içinde aynı hacimde atıksu numuneleri olacak şekilde; Jar test cihazında gerçekleştirilmiştir.
- ✓ Her numuneye 0,1ml (1 mg/L) %10 PFS eklenerek çalışmalar başlatılmıştır. 200 rpm'de 2(iki) dakika karıştırılmıştır.
- ✓ Her adım sonrasında karıştırma durdurularak; bütün numunelerde koagülasyonun gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilmiştir. Her adımda pH kontrol edilmiş ve pH değişikliği olup-olmadığı gözlemlenmiştir.
- ✓ Her bir numuneye 3 mg/L %10 PFS eklendiğinde; pH 4 numunesinde koagülasyon net olarak gözlemlenmiştir. pH 9 hariç, bütün numunelerde koagülasyon gözlemlenmiş fakat en iyi sonucun pH 4 numunesinde olduğu tespit edilmiştir.
- ✓ Numunelerde koagülasyon gözlemlendikten sonra yardımcı koagülant olarak %0,2 A.P.E'den 2 ml eklenmiş, 45 rpm'de 20 dakika karıştırılarak ve flokülasyon gözlemlenmiştir.

- ✓ Flokülasyon ve renk giderimi için toplamda 3 mg/L (%10) PFS ve 2 ml %0,2 A.P.E kullanılmıştır. Çalışma sonucunda en iyi sonucun pH4'de gerçekleştiği gözlemlenmiştir.
- ✓ Bu aşamada her pH 4 ve pH 6,98 (doğal) numunelerinden imhoff hunilerinde 30 dakika çökeltme deneyi yapılarak oluşan üst duru sudan renk ve iletkenlik ölçümleri yapılmış, % RES giderimleri hesaplanmış ve tam karışımdan AKM ölçümü yapılmıştır. pH 4 numunesinden KOİ ölçümü yapılmıştır.
- ✓ İkinci çalışma, birinci çalışmada en iyi sonucu veren pH 4 numunesi hazırlanarak tekrarlanmıştır.
- ✓ Çalışma sonucunda başlangıç pH'sı 4 olan numunenin pH 3,33'e düştüğü tespit edilmiştir.

#### 7.2.10. PFCİ Deneysel çalışması

- ✓ Öncelikli olarak 7 gr  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  distile suda çözdürülerek %7 lik çözelti hazırlanmıştır. 1.1 gr  $Na_2CO_3$  çözeltiye eklenerek ve karıştırılarak ,  $[OH^-] / [Fe] = 0.5$  olarak ayarlanmıştır. Ardından  $[Na_2HPO_4] / [Fe] = 0.08$  olacak şekilde; 0.07 gr  $Na_2HPO_4$  eklenerek karışım homojen hale gelene dek karıştırılmıştır.
- ✓ Çalışılacak olan atıksu numuneleri 0,1 N HCl ve 0,1 N NaOH kullanılarak; pH 4, pH 6,81 (doğal), pH 8,3 olacak şekilde hazırlanmıştır.
- ✓ Deneyler 1000 ml'lik beherler içinde aynı hacimde atıksu numuneleri olacak şekilde; Jar test cihazında gerçekleştirilmiştir.
- ✓ Her numuneye 0,286ml (20 mg/L) PFCİ eklenerek çalışmalar başlatılmıştır. 200 rpm'de 2 (iki) dakika karıştırılmıştır.

- ✓ Her adım sonrasında karıştırma durdurularak; bütün numunelerde koagülasyonun gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilmiştir. Her adımda pH kontrol edilmiş ve pH değişikliği olup-olmadığı gözlemlenmiştir.
- ✓ Her bir numuneye 40 mg/L PFC1 eklendiğinde; koagülasyonun pH4 ve pH doğal numunelerinde oldukça belirginleştiği gözlemlenmiştir.
- ✓ Numunelerde koagülasyon gözlemlendikten sonra yardımcı koagülant olarak %0,2 A.P.E'den 0,1ml eklenerek, 45 rpm'de 20 dakika karıştırılmış ve flokülasyon gözlemlenmiştir.
- ✓ Flokülasyon ve renk giderimi için toplamda 40 mg/L PFC1 ve 0,1 ml %0,2 A.P.E kullanılmıştır.
- ✓ Bu aşamada her pH 4 ve pH 6,81 (doğal) numunelerinden imhoff hunilerinde 30 dakika çökeltme deneyi yapılarak oluşan üst duru sudan renk, iletkenlik ve KOİ ölçümleri yapılmış, % RES giderimleri hesaplanmış ve tam karışımdan AKM ölçümü yapılmıştır.
- ✓ İkinci çalışma, birinci çalışmada en iyi sonucu veren pH 4 ve pH doğal numuneleri hazırlanarak tekrarlanmıştır.
- ✓ Çalışma sonucunda başlangıç pH'sı 4 olan numunenin pH 3,54'e, başlangıç pH'sı 6,81 olan numunenin pH 6,17'ye düştüğü tespit edilmiştir.

#### **7.2.11. Nişasta Deneysel çalışması**

- ✓ Öncelikli olarak çalışılacak olan Nişasta çözeltisi %10 konsantrasyonda hazırlanmıştır.
- ✓ Çalışılacak olan atıksu numuneleri 0,1 N HCl ve 0,1 N NaOH kullanılarak; pH 4, pH 6,36 (doğal), pH 9 olacak şekilde hazırlanmıştır.

- ✓ Deneyleer 1000 ml'lik beherler içinde aynı hacimde atıksu numuneleri olacak Şekilde; Jar test cihazında gerçekleştirilmiştir.
- ✓ Her numuneye 2ml (100 mg/L) %10 Nişasta eklenerek çalışmalar başlatılmıştır. 200 rpm'de 2(iki) dakika karıştırılmıştır.
- ✓ Her adım sonrasında karıştırma durdurularak; bütün numunelerde koagölasyonun gerçekleşip gerçekleşmediği kontrol edilmiştir. Her adımda pH kontrol edilmiş ve pH değişikliği olup-olmadığı gözlemlenmiştir.
- ✓ Her bir numuneye 6ml (600 mg/L) %10 Nişasta eklendiğinde; pH 4 ve pH 6,36 (doğal) numunelerinde bulanıklık oluştuğu, pH 9 numunesinde koagölasyon oluştuğu gözlemlenmiştir.
- ✓ Numunelerde koagölasyon gözlemlendikten sonra yardımcı koagölant olarak %0,2 A.P.E kullanılmıştır. Her bir numuneye 0,1 ml'den başlayan miktarlarda eklenmiştir. Her bir adımda 45 rpm'de 20 dakika karıştırılmış ve 0,3 ml miktarına ulaŐıldıĐında flokülasyon gözlemlenmiştir.
- ✓ Flokülasyon ve renk giderimi için toplamda 600 mg/L (%10) Nişasta ve 0,3 ml %0,2 A.P.E kullanılmıştır. Çalışma sonucunda en iyi sonucun pH 9 numunesinde elde edildiği gözlemlenmiştir.
- ✓ Bu aşamada her pH 4 ve pH 6,36 (doğal) numunelerinden imhoff hunilerinde 30 dakika çökeltme deneyi yapılarak oluşan üst duru sudan renk, iletkenlik ve KOİ ölçümleri yapılmış, % RES giderimleri hesaplanmış ve tam karışımdan AKM ölçümü yapılmıştır.
- ✓ Yapılan çalışmada numunede pH değişimi gözlemlenmemiştir.

### 7.2.12. Kitosan Deneysel çalışması

- ✓ Öncelikli olarak 0,1 M HCl hazırlanmıştır. Ardından 5 ml 0,1 M HCl'ye 0,05 gr Kitosan eklenerek, distile su ile 100 ml'ye tamamlanmış ve manyetik karıştırıcıda 1 saat süreyle karıştırılarak Kitosan çözeltisi hazırlanmıştır.
- ✓ Çalışılacak olan atıksu numuneleri 0,1 N HCl ve 0,1 N NaOH kullanılarak; pH 3, pH5, pH 6,99 (doğal), pH 9 olacak şekilde hazırlanmıştır.
- ✓ Deneyler 1000 ml'lik beherler içinde aynı hacimde atıksu numuneleri olacak şekilde; Jar test cihazında gerçekleştirilmiştir.
- ✓ Her bir numuneye 2ml'den başlayarak toplamda 7ml (3,5 mg/L) Kitosan çözeltisi eklendiğinde pH 3 ve pH 6,99 (doğal) numunelerinde koagülasyonun başladığı gözlemlenmiştir. Her bir adımda numune 200 rpm'de 2(iki) dakika karıştırılmıştır.
- ✓ Her bir numuneye toplamda 9ml (4,5mg/L) Kitosan çözeltisi eklendiğinde; pH 3 ve pH 6,99 (doğal) numunelerinde koagülasyon çok net olarak gözlemlenmiş, pH 5 numunesinde koagülasyon yeni oluşmaya başlamıştır.
- ✓ Numunelerde koagülasyon gözlemlendikten sonra yardımcı koagülant olarak; %0,2 A.P.E'den 0,1ml eklenmiş ve 45 rpm'de 20 dakika karıştırılmıştır. Çalışmanın sonunda flokülasyon ve renk giderimi gözlemlenmiştir.
- ✓ Flokülasyon ve renk giderimi için toplamda 9ml (4,5mg/L) Kitosan ve 0,1 ml %0,2 A.P.E kullanılmıştır. Çalışma sonucunda en iyi sonucun pH 9'de gerçekleştiği gözlemlenmiştir.
- ✓ Bu aşamada her pH 3 ve pH 6,99 (doğal) numunelerinden imhoff hunilerinde 30 dakika çökelme deneyi yapılarak oluşan üst duru sudan renk ve iletkenlik ölçümleri yapılmış, % RES giderimleri hesaplanmış ve tam karışımdan AKM ölçümü yapılmıştır. En iyi sonuç elde edilen pH 3 numunesinden KOİ ölçümü yapılmıştır.
- ✓ Yapılan çalışmada numunelerde pH değişimi gözlemlenmemiştir.

## 8. DENEYSEL SONUÇLAR

### 8.1. Giriş Atıksuyu Özelliklerinin Tayini

Endüstriye ait arıtma tesisi; 1500 m<sup>3</sup>/gün kapasiteli fiziksel ve biyolojik arıtma ünitelerine sahip konvansiyonel arıtma tesisidir. Arıtma tesisine gelen atıksular %70 yıkama, %30 reaktif boyama atıksuları içermektedir.

KOİ ve renk ölçümleri hariç, tüm analizler Standart Methodlara, KOİ ve renk ölçümü ISO 6060 ve ISO 7887 metodlarına göre yapılmıştır. Tesisin genel atıksu renk karakteristiği hakkında bilgi sahibi olmak amacıyla; 2013 Kasım - Aralık ve 2014 Ocak aylarında tesisten periyodik olarak alınan günlük kompozit biyolojik arıtma çıkış numunelerinin (ham atıksu) pH, renk, iletkenlik ölçümleri yapılmıştır. Numuneler kaba filtreden süzülerek, Aquamate (2005) model UV Spektrofotometre’de 436 nm, 525 nm, 620 nm dalga boylarında renk ölçümleri yapılmıştır. Tesise ait genel atıksu karakterizasyonu Çizelge 8.1’de, yapılan renk ölçüm çalışmalarının sonuçları Çizelge 8.2 ve Şekil 8.1’de özetlenmiştir.

**Çizelge 8.1.** Tesis genel atıksu karakterizasyonu (Yıldız Töre 2014).

Parametre	Birim	Ham Atıksu	Bio.Arıtma çıkışı	Deşarj Kriterleri
<b>KOİ</b>	mg/L	495	305	300**
<b>AKM</b>	mg/L	85	6	100**
<b>İletkenlik</b>	$\mu\text{mho.cm}^{-1}$	-	2013	-
<b>Renk 436 nm</b>	RN*(m <sup>-1</sup> )	-	26,2	7***
<b>525 nm</b>	RN*(m <sup>-1</sup> )	-	23,3	5***
<b>620 nm</b>	RN*(m <sup>-1</sup> )	-	23,7	3***
<b>pH</b>	-	6,3	6,95	6-9

\*RN: Renk Numarası

\*\* Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği

\*\*\* Avrupa Birliği Renk Standartları

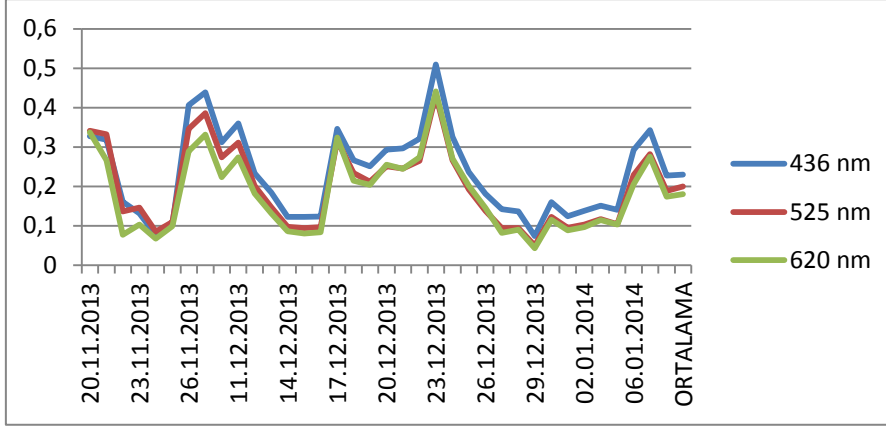
Tesisin biyolojik arıtma çıkış suyu karakterizasyonu değerlendirildiğinde, KOİ parametresi SKKY’ni ve renk parametresi alıcı ortam için AB standardı EN ISO 7887’yi sağlayamamaktadır. Biyolojik arıtma çıkış suyunu renk ve KOİ açısından iyileştirecek çalışmaların yapılması gerekmektedir.

**Çizelge 8.2. Biyolojik Arıtma Çıkış Atıksuyu (ham atıksu) Renk Ölçüm Sonuçları**

Biyolojik Arıtma Çıkış Atıksuyu (ham atıksu) Renk Ölçüm Sonuçları						
ÖLÇÜM TARİHİ	TARİH	DALGA BOYU (λ)			PH	HAVA DURUMU
		436	525	620		
02.12.2013	20.11.2013	0,327	0,341	0,337	6,81	YAĞMUR YOK
	21.11.2013	0,318	0,332	0,266	6,89	YAĞMUR YOK
	22.11.2013	0,161	0,136	0,077	6,92	YAĞMUR YOK
	23.11.2013	0,131	0,146	0,103	7,02	YAĞMUR YOK
	24.11.2013	0,076	0,085	0,067	6,89	YAĞMUR YOK
	25.11.2013	0,102	0,109	0,099	7,01	YAĞMUR !!!
	26.11.2013	0,406	0,346	0,289	6,9	YAĞMUR !!!
	27.11.2013	0,439	0,386	0,331	6,87	YAĞMUR !!!
28.11.2013	0,312	0,274	0,223	7,00	YAĞMUR !!!	
18.12.2013	11.12.2013	0,360	0,311	0,274	7,13	YAĞMUR YOK
	12.12.2013	0,233	0,201	0,182	7,05	YAĞMUR YOK
	13.12.2013	0,184	0,147	0,131	7,00	YAĞMUR !!!
	14.12.2013	0,122	0,097	0,086	6,90	YAĞMUR YOK
	15.12.2013	0,122	0,094	0,080	6,88	YAĞMUR YOK
	16.12.2013	0,123	0,096	0,083	6,60	YAĞMUR YOK
	17.12.2013	0,346	0,317	0,324	6,54	YAĞMUR YOK
25.12.2013	18.12.2013	0,266	0,234	0,214	6,73	YAĞMUR YOK
	19.12.2013	0,251	0,212	0,204	6,43	YAĞMUR YOK
	20.12.2013	0,293	0,251	0,255	6,53	YAĞMUR YOK
	21.12.2013	0,296	0,245	0,244	6,54	YAĞMUR YOK
	22.12.2013	0,321	0,265	0,274	6,61	YAĞMUR YOK
	23.12.2013	0,509	0,432	0,441	6,68	YAĞMUR YOK
	24.12.2013	0,326	0,266	0,270	6,64	YAĞMUR YOK
08.01.2014	25.12.2013	0,236	0,192	0,201	6,86	YAĞMUR YOK
	26.12.2013	0,181	0,138	0,145	6,88	YAĞMUR YOK
	27.12.2013	0,142	0,094	0,082	buzlu	YAĞMUR YOK
	28.12.2013	0,136	0,094	0,090	6,95	YAĞMUR YOK
	29.12.2013	0,074	0,049	0,043	7,00	YAĞMUR YOK
	30.12.2013	0,160	0,122	0,115	7,11	YAĞMUR YOK
	31.12.2013	0,124	0,095	0,088	7,48	YAĞMUR YOK
	02.01.2014	0,138	0,103	0,096	7,77	YAĞMUR YOK
	03.01.2014	0,151	0,117	0,114	7,32	YAĞMUR YOK
	04.01.2014	0,140	0,104	0,103	7,26	YAĞMUR YOK
	06.01.2014	0,292	0,229	0,205	7,18	YAĞMUR YOK
	07.01.2014	0,343	0,282	0,275	7,32	YAĞMUR YOK
	08.01.2014*	0,227	0,188	0,174	7,22	YAĞMUR YOK
08.01.2014*	0,207	0,166	0,152	7,19	YAĞMUR YOK	
<b>ORTALAMA</b>		<b>0,23</b>	<b>0,20</b>	<b>0,18</b>		
<b>STD.SAPMA</b>		<b>0,11</b>	<b>0,10</b>	<b>0,10</b>		

\*08/01/2014 tarihinde yapılan ilk ölçüm biyolojik arıtma çıkışından, ikinci ölçüm ise biyolojik arıtma sonrasında bulunan filtrasyon işleminden sonra yapılan ölçüm sonuçlarını ifade etmektedir.





Şekil 8.1. Biyolojik Arıtma Çıkış Atıksuyu Renk Ölçüm Sonuçları grafiği

Endüstrideki yıkama işlemlerinin herhangi bir standardı bulunmamakta ve müşteriler tarafından verilen siparişlere göre yapılmaktadır. Genellikle birden fazla yıkama türünün kombinasyonları uygulanmaktadır. Bu nedenle, endüstride oluşan atıksular belli bir karaktere sahip olmamaktadır. Ancak, Şekil 8.1'deki absorbans değerlerinin ortalaması alındığında %10 standart sapma göstermesi nedeniyle; ortalama absorbans değerlerine yakın ham atıksu örnekleri üzerinde arıtılabilirlik çalışmaları yürütülmüştür. Yürütülen çalışmalarda kullanılan ham atıksu numunelerine ait pH, iletkenlik ve renk ölçüm sonuçları Çizelge 8.3'de gösterilmiştir:

Çizelge 8.3. Farklı tarihlerde alınan ham atıksu numunelerinin pH, iletkenlik ve renk ölçüm sonuçları

Parametre	pH	İletkenlik µS/cm	RENK		
			(436 nm)	(525 nm)	(620 nm)
Ham Atıksu - 1	6,98	2013	0,262	0,233	0,237
Ham Atıksu - 2	6,81	2168	0,145	0,123	0,106
Ham Atıksu - 3	6,36	2200	0,160	0,124	0,099
Ham Atıksu - 4	6,99	2190	0,210	0,183	0,173

Çizelge 8.3'ten de anlaşılacağı üzere; tesisten farklı tarihlerde alınan ve deneysel çalışmalarda kullanılan ham atıksu numuneleri ortalama absorbans değerine yakın değerlerdedir. Bu numunelerde arıtılabilirlik çalışmaları yapılmıştır.

## 8.2. PACl Deneysel Çalışmalarının Sonuçları

PACl ile yapılan deneysel çalışmada; 4 (dört) adet farklı pH’da numune ile çalışmalara başlanmış ve çalışmalarda alınan sonuçlara istinaden, pH 4 ve pH(doğal) en iyi sonuç alınan numuneler olarak belirlenmiştir. pH4 ve pH doğal numuneleri ile çalışmaların ikinci kez tekrarı yapılarak alınan sonuçlar doğrulanmıştır.

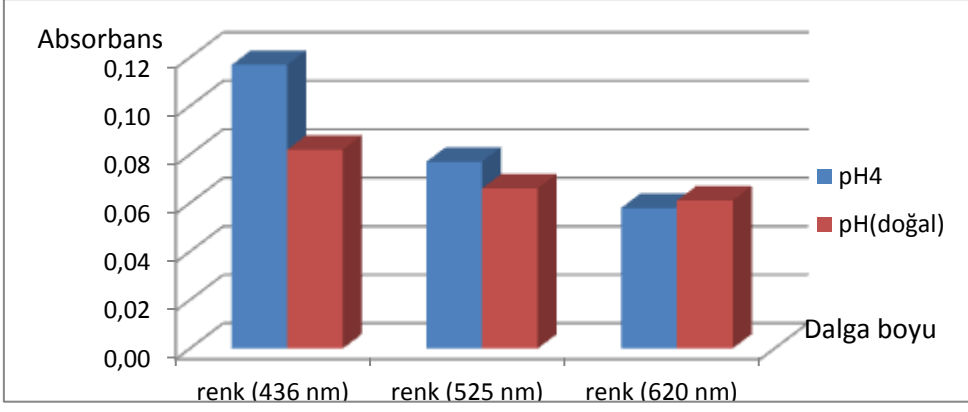
80 mg/L %10 PACl ve 2 mg/L %0,2 A.P.E kullanımı ile yapılan çalışmada; pH(doğal) şartlarında %74 renk giderimi, %53 KOİ giderimi ve 79 kg/gün miktarında çamur oluşumu ve pH 4 numunesinde; %76 renk giderimi, 56 kg/gün çamur oluşumu tespit edilmiştir.

Maliyet açısından incelendiğinde; pH 4 numunesinde 94 \$/gün koagülant madde maliyeti, pH (doğal) numunesinde yapılan çalışmada 81 \$/gün koagülant madde maliyeti tespit edilmiştir. Aradaki fark pH ayarlama maliyetinden kaynaklanmaktadır.

Shi ve arkadaşları tarafından 2006 yılında yapılan çalışmada; pH 3,5 olan atıksu numunesinde PACl ile renk gideriminde %80 ve üzerinde sonuçlar alındığı bildirilmiştir. Bizim deneysel çalışmamızda; pH4 numunesinde %76, pH (doğal) numunesinde %74 renk giderimi ile literatür çalışmasına yakın sonuçlar alınmıştır (Shi ve ark. 2006). Çizelge 8.4, 8.5, 8.6, 8.7, 8.8 ve Şekil 8.2, 8.3, 8.4, 8.5 ‘de yapılan çalışmaların özetleri gösterilmektedir:

**Çizelge 8.4.** PACl renk giderim tablosu

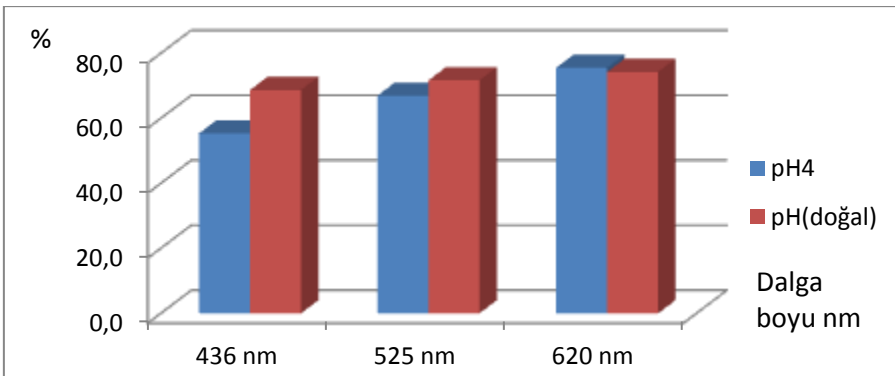
parametreler	pH	iletkenlik	renk (436 nm)	renk (525 nm)	renk (620 nm)
<b>Ham atıksu</b>	6,98	2.013	0.262	0,233	0,237
80 mg PACl (%10) + 1 ml %0,2 A.P.E	4,00	2.184	0.117	0,077	0,058
	<b>verim (%)</b>	<b>***</b>	<b>55,34</b>	<b>66,95</b>	<b>75,53</b>
	6,98(doğal)	2.047	0.082	0,066	0,061
	<b>verim (%)</b>	<b>***</b>	<b>68,70</b>	<b>71,67</b>	<b>74,26</b>



Şekil 8.2. PACI Renk giderim grafiği

Çizelge 8.5 % RES giderim sonuçları tablosu

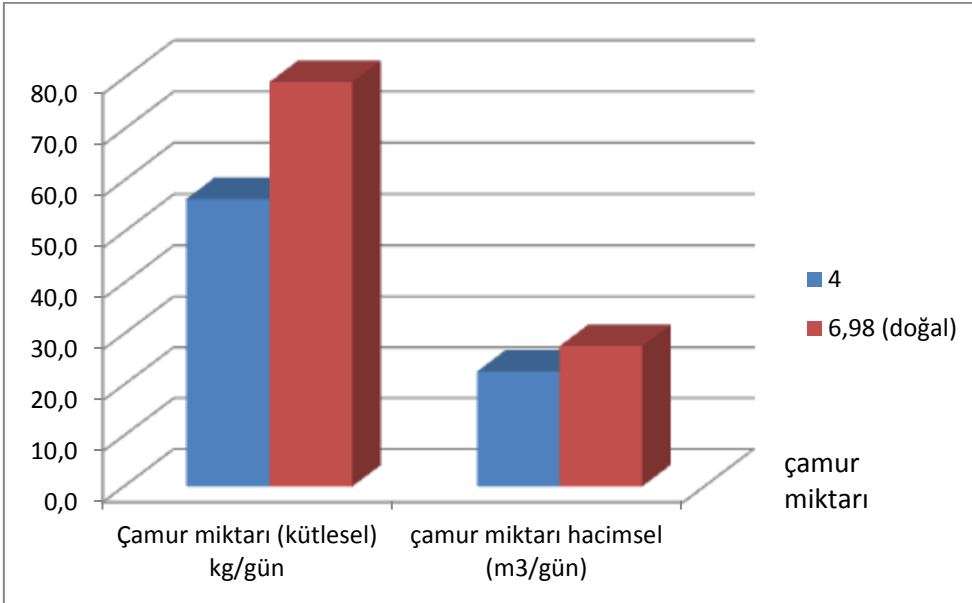
numune	pH	Dalga boyu (nm)	RES (m-1)	% RES giderim
80 mg/L PACI (%10) + 1 ml %0,2 A.P.E	pH4	436	11,7	55,3
		525	7,7	67,0
		620	5,8	75,5
	pH(doğal)	436	8,2	68,7
		525	6,6	71,7
		620	6,1	74,3



Şekil 8.3. % RES giderim grafiği

**Çizelge 8.6.** Çamur çalışması sonuçları

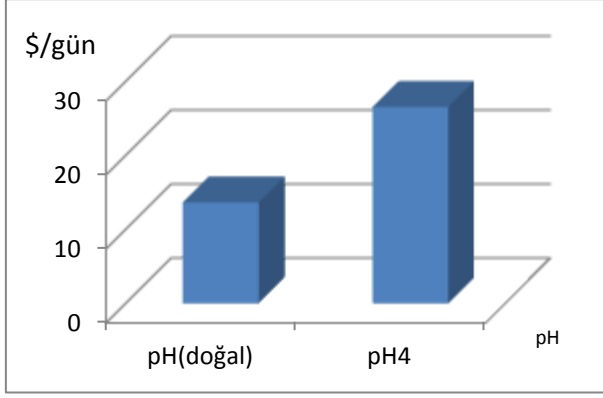
Kullanılan Koagülant madde	pH	çamur yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	çamur yüzdesi (%)	Tam karışım AKM (mg/L)	Çamur miktarı (kütlesel) kg/gün	çamur miktarı hacimsel (m <sup>3</sup> /gün)
80 mg/L PACI (%10) + 1 ml %0,2 A.P.E	4	2,5	0,3	40,0	56,4	22,6
	6,98 (doğal)	2,9	0,3	66,0	79,2	27,6



**Şekil 8.4.** Çamur çalışması grafiği

**Çizelge 8.7.** Maliyet çalışması

80 mg/L PACI (%10) + 1 ml %0,2 A.P.E		
pH	pH(doğal)	pH4
Koagülant madde maliyeti (\$/m <sup>3</sup> )	54,1 * 10 <sup>-3</sup>	54,1 * 10 <sup>-3</sup>
pH ayarlama maliyeti (\$/m <sup>3</sup> )	0	8,6 * 10 <sup>-3</sup>
Debi (m <sup>3</sup> /gün)	1500	1500
Günlük maliyet (\$/gün)	81	94
Günlük maliyet (₺/gün)	183	213



Şekil 8.5. Maliyet çalışması

Çizelge 8.8. PACl Karşılaştırma tablosu

Parametre	pH	İletkenlik µS/cm	RENK (m <sup>-1</sup> )			Çamur % (kg SS/100 L) %	Çamur miktarı		KOİ mg/L	AKM mg/L
			(436 nm)	(525 nm)	(620 nm)		kg/gün	m <sup>3</sup> /gün		
<b>Ham Atıksu</b>	6,98	2013	26,2	23,3	23,7	-	-	-	305	6
80 mg/L PACl (%10) + 1 ml %0,2 A.P.E	4	2184	11,7	7,7	5,8	0,3	56,4	22,6	-	-
	Renk Giderim (%)	**	55,4	67,0	75,5	-	-	-	-	-
	6,98 (Doğal)	2047	8,2	6,6	6,1	0,3	79,2	27,6	144,0	228,0
	Renk Giderim (%)	**	68,7	71,7	74,2	-	-	-	52,8	-

Yürütülen deneysel çalışmalar sonucunda; 80 mg/L %10 PACl ve 2 mg/L %0,2 A.P.E kullanımı ile yapılan çalışmada, pH 4 ve pH doğal numunelerinde %74-76 renk giderimi ve pH doğal numunesinde %53 KOİ giderimi elde edilmiştir. Günlük çamur oluşumları incelendiğinde; pH 4 numunesinde 56 kg/gün, pH doğal numunesinde 79 kg/gün çamur miktarları elde edilmiştir. Koagülant madde eklendikten sonra atıksuyun iletkenlik değerlerinin arttığı, pH 4 numunesinde artışın daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

### 8.3. PAFCl Deneysel Çalışmalarının Sonuçları

PAFCl ile yapılan deneysel çalışmada; 4 (dört) adet farklı pH'da numune ile çalışmalara başlanmış ve çalışmalarda alınan sonuçlara istinaden, pH 4 ve pH(doğal) en iyi sonuç alınan numuneler olarak belirlenmiştir. pH4 ve pH doğal numuneleri ile çalışmaların ikinci kez tekrarı yapılarak alınan sonuçlar doğrulanmıştır.

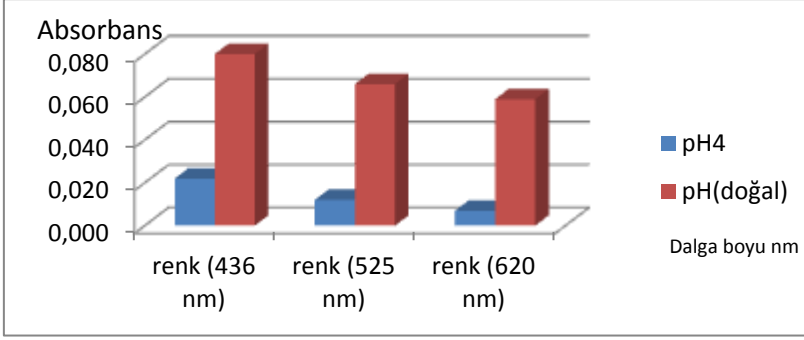
10 mg/L PAFCl ve 2 mg/L %0,2 A.P.E kullanımı ile gerçekleşen çalışmada; pH 4 numunesinin daha başarılı sonuçlar verdiği; %97'lere ulaşan renk giderimi, 71 kg/gün çamur oluşumu ve %55 KOİ giderimi tespit edilmiştir. Atıksuyun doğal pH'sında yapılan çalışmada; %74 renk giderimi, %45 KOİ giderimi ve 60 kg/gün çamur oluşumu tespit edilmiştir.

Maliyet açısından incelendiğinde; pH 4 çalışmasında 27 \$/gün, pH (doğal) ile yapılan çalışmada 14 \$/gün koagülant madde maliyeti hesaplanmıştır. Aradaki fark pH ayarlama maliyetinden kaynaklanmaktadır.

PAFCl ile petrokimya endüstrisi atıksularında yapılmış çalışma mevcut olup, PAFCl içinde alüminyum ve demir iyonlarının birlikte yer almasının daha hızlı flok oluşmasına, daha hızlı sedimentasyona ve bundan dolayı renk gideriminin daha etkin olmasına yol açtığı tespit edilmiştir (Gao ve ark. 2001). Bu nedenle aynı sektörde literatür karşılaştırması yapılamamıştır. Çizelge 8.9, 8.10, 8.11, 8.12, 8.13 ve Şekil 8.6, 8.7, 8.8, 8.9 'de yapılan çalışmaların özetleri gösterilmektedir:

**Çizelge 8.9.**Renk giderim tablosu

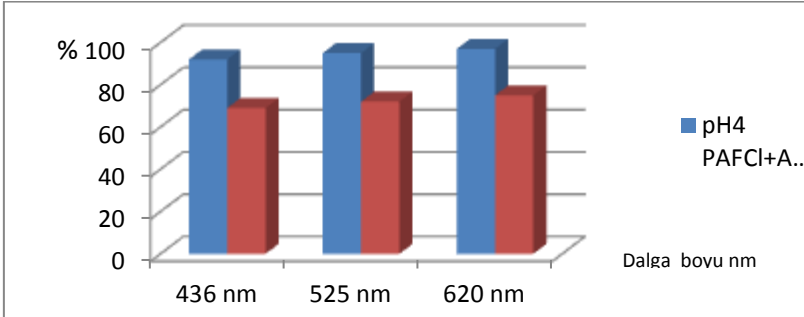
parametreler	pH	iletkenlik	renk (436 nm)	renk (525 nm)	renk (620 nm)
<b>Ham atıksu</b>	6,98	2.013	0,262	0,233	0,237
10 mg PAFCl (%10) + 1 ml %0,2 A.P.E	4,00	2210	0,022	0,012	0,007
	<b>verim (%)</b>	-	<b>91,60</b>	<b>94,85</b>	<b>97,05</b>
	6,98(doğal)	2065	0,080	0,066	0,059
	<b>verim (%)</b>	-	<b>69,47</b>	<b>71,67</b>	<b>75,11</b>



Şekil 8.6. Renk giderim grafiği

Çizelge 8.10. % RES Giderim sonuçları tablosu

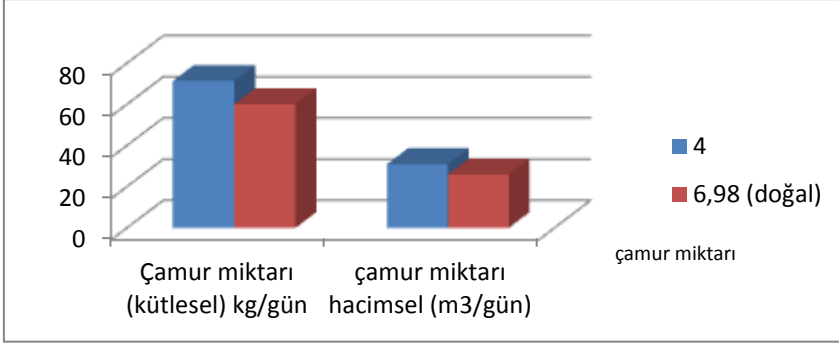
pH	numune	Dalga boyu (nm)	RES (m-1)	% RES giderim
4	10 mg PAFCl (%10)	436 nm	2,20	91,60
		525 nm	1,20	94,85
		620 nm	0,70	97,05
6,98 (doğal)	+ 1 ml %0,2 A.P.E	436 nm	8,00	69,47
		525 nm	6,60	71,67
		620 nm	5,90	75,11



Şekil 8.7. %RES giderimi grafiği

Çizelge 8.11. Çamur çalışması sonuçları

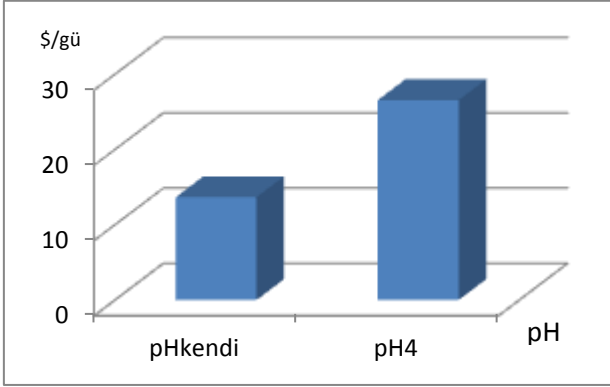
parametreler	pH	çamur yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	çamur yüzdesi (%)	Tam karışım AKM (mg/L)	Çamur miktarı (kütlesel) kg/gün	çamur miktarı hacimsel (m <sup>3</sup> /gün)
10 mg PAFCl (%10) + 1 ml %0,2 A.P.E	4	2,26	0,226	68	71,4	31,5
	6,98 (doğal)	1,714	0,1714	60	60,03	25,88



Şekil 8.8. Çamur çalışması grafiği

Çizelge 8.12. Maliyet çalışması

10 mg PAFCl (%10) + 1 ml %0,2 A.P.E		
pH	pH(doğal)	pH4
Koagülant madde maliyeti (\$/m <sup>3</sup> )	17,7 * 10 <sup>-3</sup>	17,7 * 10 <sup>-3</sup>
pH ayarlama maliyeti (\$/m <sup>3</sup> )	0	8,6 * 10 <sup>-3</sup>
Debi (m <sup>3</sup> /gün)	1500	1500
Günlük maliyet (\$/gün)	14	27
Günlük maliyet (₺/gün)	31	60



Şekil 8.9. Maliyet çalışması



**Çizelge 8.13.** PAFCl karşılaştırma tablosu.

Parametre	pH	İletkenlik µS/cm	RENK (m <sup>-1</sup> )			Çamur % (kg SS/100 L)	Çamur miktarı		KOİ mg/L	AKM mg/L
			(436 nm)	(525 nm)	(620 nm)	%	kg/gün	m <sup>3</sup> /gün		
<b>Ham Atıksu</b>	6,98	2013,00	26,2	23,3	23,7	-	-	-	305,00	6
10 mg PAFCl (%10) + 1 ml %0,2 A.P.E	4	2210,00	2,2	1,2	0,7	0,23	71,40	31,50	138,00	68,0
	<b>Renk Giderim (%)</b>	**	<b>91,59</b>	<b>94,85</b>	<b>97,03</b>	-	-	-	<b>54,75</b>	-
	6,98 (Doğal)	2065,00	8,00	6,6	5,9	0,17	60,03	25,88	169,00	60,0
	<b>Renk Giderim (%)</b>	**	<b>69,49</b>	<b>71,67</b>	<b>75,13</b>	-	-	-	<b>44,59</b>	-

Yürütülen deneysel çalışmalar sonucunda; 10 mg/L PAFCl ve 2 mg/L %0,2 A.P.E kullanımı ile gerçekleşen çalışmada; pH 4 numunesinde %97 ve pH doğal numunesinde %75 renk giderimi elde edilmiştir. KOİ açısından incelendiğinde; pH4 numunesinde %55 ve pH doğal numunesinde %45 KOİ giderimi elde edilmiştir. Günlük çamur oluşumları incelendiğinde; pH 4 numunesinde 71 kg/gün, pH doğal numunesinde 60 kg/gün çamur miktarları elde edilmiştir. Koagülant madde eklendikten sonra atıksuyun iletkenlik değerlerinin arttığı, pH 4 numunesinde artışın daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

#### 8.4. PFS Deneysel Çalışmalarının Sonuçları

PFS ile yapılan deneysel çalışmada; 4 (dört) adet farklı pH'da numune ile çalışmalara başlanmış ve çalışmalarda alınan sonuçlara istinaden, pH 4 ve pH(doğal) en iyi sonuç alınan numuneler olarak belirlenmiştir. pH4 ve pH doğal numuneleri ile çalışmaların ikinci kez tekrarı yapılarak alınan sonuçlar doğrulanmıştır.

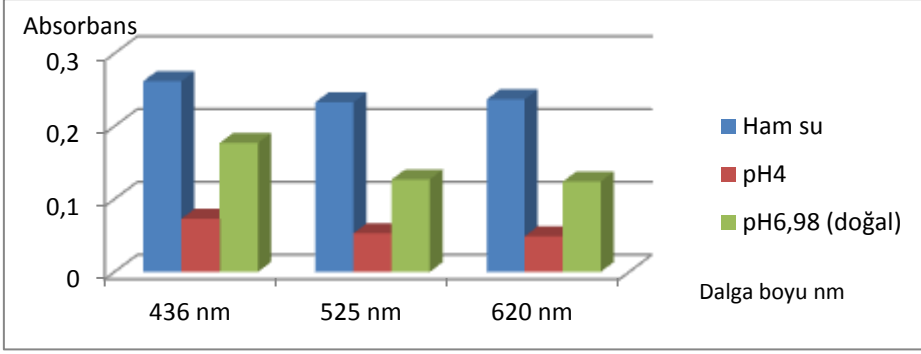
3 mg/L (%10) PFS ve 2 ml %0,2 A.P.E kullanılarak yapılan çalışmada; pH4 numunesinde %79 renk giderimi, %47 KOİ giderimi ve 31,35 kg/gün çamur oluşumu tespit edilmiştir. pH(doğal) numunesi ile yapılan çalışmada; %48 renk giderimi, %67 KOİ giderimi, 13,5 kg/gün çamur oluşumu tespit edilmiştir.

Maliyet açısından incelendiğinde, pH(doğal) ile yapılan çalışmada; 7 \$/gün koagülant madde maliyeti, pH 4 ile yapılan çalışmada maliyeti 20 \$/gün koagülant madde maliyeti elde edilmiştir. Aradaki fark pH ayarlama maliyetinden kaynaklanmaktadır.

Wang ve arkadaşları tarafından 2008 yılında denim yıkama yapılan bir tesisin arıtmasında yapılan çalışmada; pH 9 olan atıksuda 150 mg/L PFS uygulanması durumunda %71 KOİ, %56 BOİ<sub>5</sub>, %62 AKM ve %50 renk giderimi sağlandığı tespit edilmiştir (Wang ve ark. 2008). Bizim deneysel çalışmamızda; 3 mg/L PFS kullanımı ile atıksuyun doğal pH'ında yapılan çalışmada %48 renk giderimi bulunarak literatür çalışmasına yakın bir değer elde edilmiştir. pH 4 ile yapılan numunede daha başarılı sonuç elde edilmiş, %79 renk giderimi tespit edilmiştir (Wang ve ark. 2008). 8.14, 8.15, 8.16, 8.17, 8.18 ve Şekil 8.10, 8.11, 8.12, 8.13 'de yapılan çalışmaların özetleri gösterilmektedir:

**Çizelge 8.14.** Renk ölçüm sonuçları

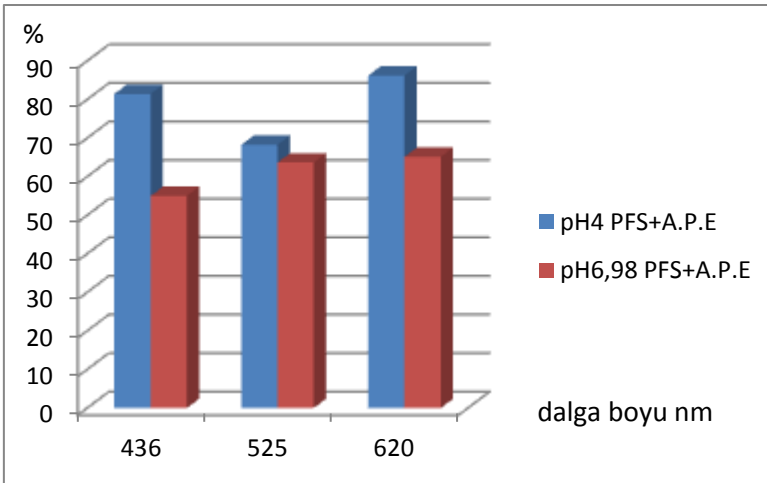
Koagülant madde	Renk / Numune	436 nm	525 nm	620 nm
		Ham su	0,262	0,233
3 mg/L (%10) PFS ve 2 ml %0,2 A.P.E	pH4	0,073	0,053	0,049
	% giderim	72,14	77,25	79,32
	pH6,98 (doğal)	0,177	0,127	0,124
	% giderim	32,44	45,49	47,68



Şekil 8.10. Renk ölçüm sonuçları

Çizelge 8.15. % RES giderim sonuçları

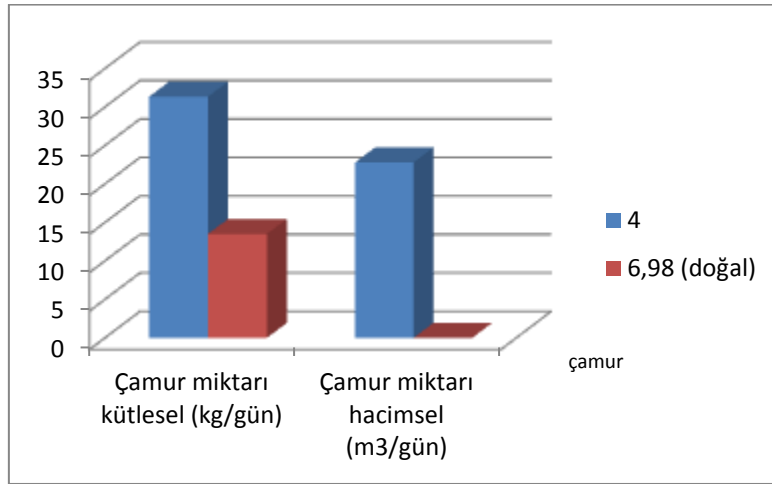
numune	pH	Dalga boyu (nm)	RES (m-1)	% RES giderim
3 mg/L (%10) PFS ve 2 ml %0,2 A.P.E	4	436 nm	7,30	72,14
		525 nm	5,30	77,25
		620 nm	4,90	79,32
	6,98 (doğal)	436 nm	17,70	32,44
		525 nm	12,70	45,49
		620 nm	12,40	47,68



Şekil 8.11. % RES giderim grafiği

Çizelge 8.16. Çamur çalışmasının sonuçları

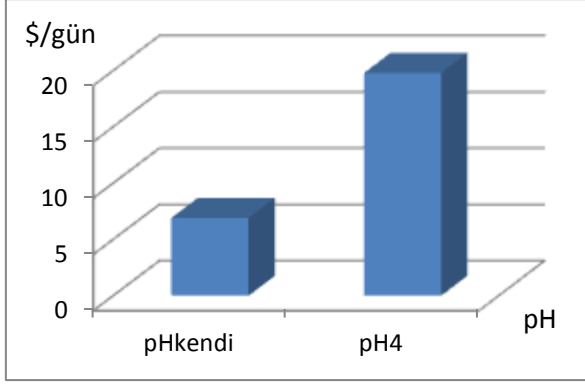
parametreler	pH	çamur yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	çamur yüzdesi (%)	Tam karışım AKM (mg/L)	Çamur miktarı kütleli (kg/gün)	Çamur miktarı hacimsel (m <sup>3</sup> /gün)
3 mg/L (%10) PFS ve 2 ml %0,2 A.P.E	4	1,38	0,14	20,9	31,35	22,8
	6,98 (doğal)	0	0	9	13,5	0



Şekil 8.12. Çamur çalışması grafiği

Çizelge 8.17. Maliyet çalışması

3 mg/L (%10) PFS ve 2 ml %0,2 A.P.E		
pH	pH(doğal)	pH4
Kogülant madde maliyeti (\$/m <sup>3</sup> )	4,59* 10 <sup>-3</sup>	4,59* 10 <sup>-3</sup>
pH ayarlama maliyeti (\$/m <sup>3</sup> )	0	8,6 * 10 <sup>-3</sup>
Debi (m <sup>3</sup> /gün)	1500	1500
Günlük maliyet (\$/gün)	7	20
Günlük maliyet (₺/gün)	16	45



Şekil 8.13. Maliyet çalışması

Çizelge 8.18. PFS karşılaştırma tablosu

Parametre	pH	İletkenlik µS/cm	RENK (m <sup>-1</sup> )			Çamur % (kg SS/100 L) %	Çamur miktarı		KOİ mg/L	AKM mg/L
			(436 nm)	(525 nm)	(620 nm)		kg/gün	m <sup>3</sup> /gün		
Ham Atıksu	6,98	2013,00	26,2	23,3	23,7	-	-	-	305,00	6
3 mg/L (%10) PFS ve 2 ml %0,2 A.P.E	4,00	2230,00	7,3	5,3	4,9	4,00	31,35	22,08	163,00	22,0
	Renk Giderim (%)	**	72,12	77,27	79,30	-	-	-	46,56	-
	6,98 (Doğal)	2059	17,7	12,7	12,4	0	13,5	0	102,00	10,0
	Renk Giderim (%)	**	32,46	45,46	47,66				66,56	-

Yürütülen deneysel çalışmalar sonucunda; 3 mg/L (%10) PFS ve 2 ml %0,2 A.P.E kullanılarak yapılan çalışmada; pH 4 numunesinde %79 ve pH doğal numunesinde %48 renk giderimi elde edilmiştir. KOİ açısından incelendiğinde; pH4 numunesinde %47 ve pH doğal numunesinde %67 KOİ giderimi elde edilmiştir. Günlük çamur oluşumları incelendiğinde; pH 4 numunesinde 31 kg/gün, pH doğal numunesinde 14 kg/gün çamur miktarları elde edilmiştir. Koagülant madde eklendikten sonra atıksuyun iletkenlik değerlerinin arttığı, pH 4 numunesinde artışın daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

## 8.5. PFCİ Deneysel Çalışmalarının Sonuçları

PFCİ ile yapılan deneysel çalışmada; 3(üç) adet farklı pH'da numune ile çalışmalara başlanmış ve çalışmalarda alınan sonuçlara istinaden pH 4 ve pH(doğal) en iyi sonuç alınan numuneler olarak belirlenmiştir. pH4 ve pH doğal numuneleri ile çalışmaların ikinci kez tekrarı yapılarak alınan sonuçlar doğrulanmıştır.

40 mg/L PFCİ ve 2 mg/L %0,2 A.P.E ile yapılan çalışmada; pH 4 numunesinde %23 renk giderimi, %67 KOİ giderimi, 123 kg/gün çamur oluşumu tespit edilmiştir. pH(doğal) numunesinde %52 renk giderimi, %63 KOİ giderimi, 148 kg/gün çamur oluşumu tespit edilmiştir.

Maliyet açısından incelendiğinde; pH4 numunesinde 29 \$/gün, pH(doğal) numunesinde 16 \$/gün koagülant madde maliyeti hesaplanmıştır. Aradaki fark pH ayarlanmasından kaynaklanmaktadır.

PFCİ ile yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde; Wang ve arkadaşları tarafından 2010 yılında yayınlanan çalışmalarda tekstil atıksularında ferric chloride ( $FeCl_3$ ), PFCİ ve polydimethyldiallylammonium chloride (PDMDAAC) flokülantları renk giderimi açısından karşılaştırılmıştır. Çalışmada flokülantların kombine olarak kullanılmasının daha başarılı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.  $FeCl_3$  – PDMDAAC ve PFCİ – PDMDAAC kombinasyonlarının renk gideriminde konvansiyonel kullanımdan daha etkili olduğu bildirilmiştir (Wang ve ark. 2010). Bizim deneysel çalışmamızda da yardımcı koagülant olarak polielektrolit kullanımı ile uygun sonuç alınmıştır.

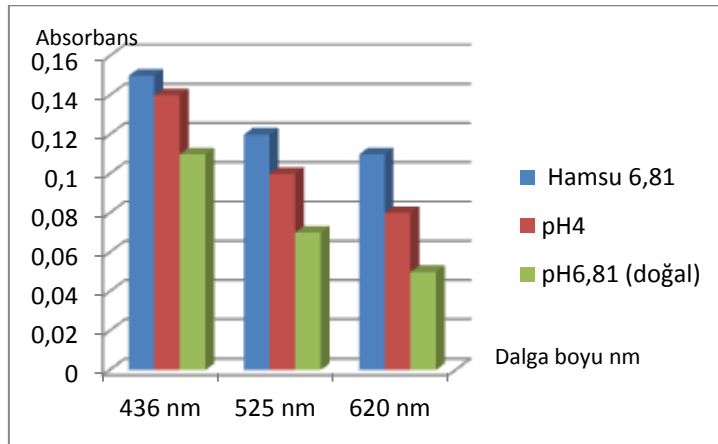
Chen ve arkadaşları tarafından 2010 yılında sentetik boyalı tekstil atıksularında yapılan çalışmada; PFCİ ve polyamine (EPI-DMA) 'nin farklı konsantrasyonlarda renk giderimi ve flok oluşumu performansları araştırılmıştır. PFCİ ile pH 7,5 olacak şekilde direkt yellow 201'de %98, remazol red 24'de % 19 renk giderimi elde edilmiştir. PFCİ / EPI-DMA kombinasyonunda pH 6 olacak şekilde direkt yellow 201 ve remazol red 24'de %97,5 renk giderimi sağlandığı ve flok oluşumunun daha iyi sonuç verdiği tespit edilmiştir (Chen ve ark. 2010). Bizim deneysel çalışmamızda pH(doğal) numunesinde %52 renk giderimi sağlanmış,

literatür değerinden daha düşük bir sonuç elde edilmiştir. Bunun bizim deneysel çalışmalarımızda gerçek atıksu kullanmamızdan kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Wei ve arkadaşları tarafından 2009 yılında yapılan çalışmada; reaktif ve dispers boyalı tekstil atıksularında PFCI / PDADMAAC (polydimethyldiallylammonium chloride) kombinasyonlarının farklı dozlardaki uygulamalarının renk giderimi ve flokülasyon dinamiklerine etkileri araştırılmıştır. 30 mg/L PFCI/PDADMAAC uygulaması ile reaktif boyalarda % 60, disperse boyalarda %95,5 renk giderimi ve en yüksek flok oluşum hızı tespit edilmiştir (Wei ve ark. 2009). Bizim deneysel çalışmamızda; 40 mg/L PFCI + 2 mg/L %0,2 A.P.E kullanımı ile %52 renk giderimi elde edilmiştir. Atıksuyumuzda ağırlıklı reaktif boyaların bulunduğu göz önüne alındığında literatür değerine yakın değer elde edildiği görülmektedir. Çizelge 8.19, 8.20, 8.21, 8.22, 8.23 ve Şekil 8.14, 8.15, 8.16, 8.17 'de yapılan çalışmaların özetleri gösterilmektedir:

**Çizelge 8.19.** Renk ölçüm sonuçları

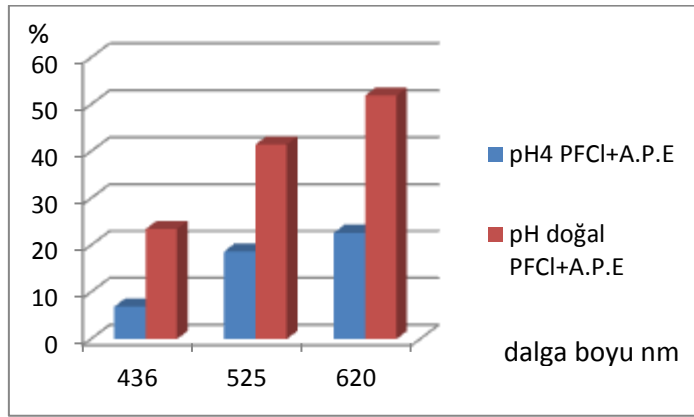
Koagülant madde	Renk / Numune	436 nm	525 nm	620 nm
	Ham su		0,15	0,12
40 mg/L PFCI + 1ml %0,2 A.P.E	pH4	0,14	0,1	0,08
	% giderim	6,9	18,7	22,64
	pH6,81 (doğal)	0,11	0,07	0,05
	% giderim	23,45	41,46	51,89



**Şekil 8.14.** Renk ölçüm sonuçları

**Çizelge 8.20.** % RES giderim sonuçları

numune	pH	Dalga boyu (nm)	RES (m-1)	% RES giderim
40 mg/L PFCİ + 1ml %0,2 A.P.E	pH4	436	13,5	6,90
		525	10,0	18,7
		620	8,20	22,63
	pH(doğal)	436	11,1	23,47
		525	7,2	41,46
		620	5,10	51,91

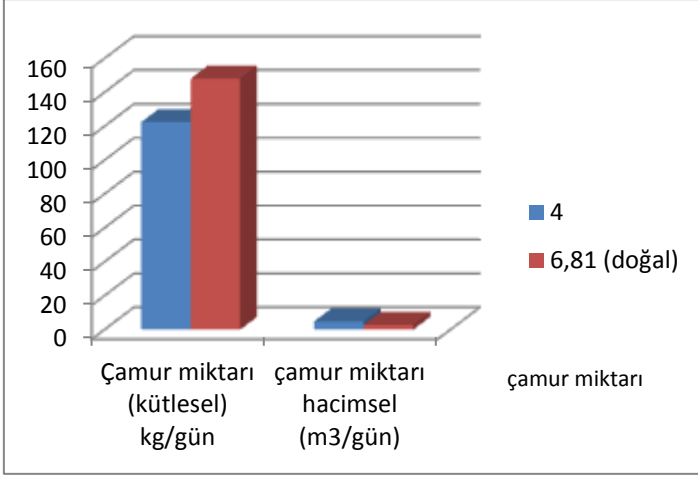


**Şekil 8.15.** % RES giderim sonuçları

**Çizelge 8.21.** Çamur çalışması sonuçları

Parametreler	pH	çamur yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	çamur yüzdesi (%)	Tam karışım AKM (mg/L)	Çamur miktarı (kütlesel) kg/gün	çamur miktarı hacimsel (m <sup>3</sup> /gün)
40 mg/L PFCİ + 1ml %0,2 A.P.E	4	24,57	0,24	86	122,55	4,98
	6,81 (doğal)	52	0,52	104	148,2	2,85

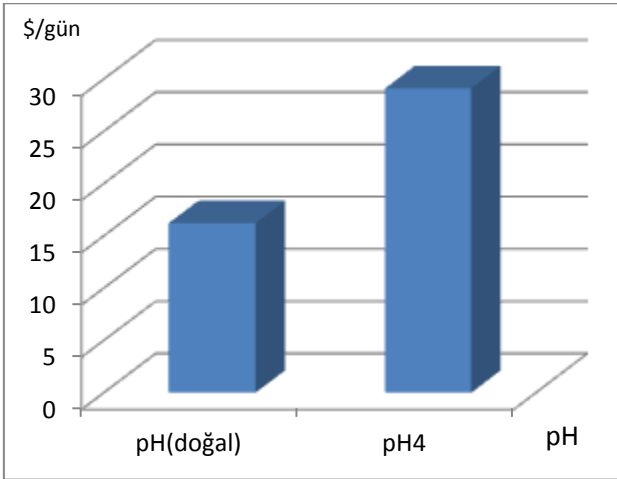




Şekil 8.16. Çamur çalışması grafiği

Çizelge 8.22. Maliyet çalışması

40 mg/L PFCİ + 1ml %0,2 A.P.E		
pH	pH(doğal)	pH4
Koagülant madde maliyeti (\$/m <sup>3</sup> )	10.8* 10 <sup>-3</sup>	10.8* 10 <sup>-3</sup>
pH ayarlama maliyeti (\$/m <sup>3</sup> )	0	8,6 * 10 <sup>-3</sup>
Debi (m <sup>3</sup> /gün)	1500	1500
Günlük maliyet (\$/gün)	16	29
Günlük maliyet (₺/gün)	37	66



Şekil 8.17. Maliyet çalışması

**Çizelge 8.23.** PFCİ karşılaştırma tablosu

Parametre	pH	İletkenlik µS/cm	RENK (Renk , m <sup>-1</sup> )			Çamur % (kg SS/100 L) %	Çamur miktarı		KOİ mg/L	AKM mg/L
			(436 nm)	(525 nm)	(620 nm)		kg/gün	m <sup>3</sup> /gün		
Ham Atıksu	6,81	2168	14,50	12,3	10,6	-	-	-	305	6
40 mg PFCİ + 1ml %0,2 A.P.E	4,00	2360	13,5	10,0	8,2	0,24	122,6	5,0	101	86
	Renk Giderim (%)	**	6,93	18,66	22,63	-	-	-	67	-
	6,81 (Doğal)	2240	11,1	7,2	5,1	0,52	148,2	2,9	112	104
	Renk Giderim (%)	**	23,47	41,46	51,91	-	-	-	63,3	-

Yürütülen deneysel çalışmalar sonucunda; 40 mg/L PFCİ ve 2 mg/L %0,2 A.P.E ile yapılan çalışmada, pH 4 numunesinde %23 ve pH doğal numunesinde %52 renk giderimi elde edilmiştir. KOİ açısından incelendiğinde; pH 4 numunesinde %67 ve pH doğal numunesinde %63 KOİ giderimi elde edilmiştir. Günlük çamur oluşumları incelendiğinde; pH 4 numunesinde 123 kg/gün, pH doğal numunesinde 148 kg/gün çamur miktarları elde edilmiştir. Koagülant madde eklendikten sonra atıksuyun iletkenlik değerlerinin arttığı, pH 4 numunesinde artışın daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

## 8.6. Nişasta Deneysel Çalışmalarının Sonuçları

Nişasta ile yapılan deneysel çalışmalarda 3 (üç) farklı pH'da numune ile çalışmalara başlanmış ve çalışmalarda alınan sonuçlara istinaden, pH(doğal) ve pH 9 en iyi sonuç alınan numuneler olarak belirlenmiştir.

600 mg/L (%10) Nişasta ve 0,3 ml %0,2 A.P.E kullanımı ile yapılan çalışmada; pH (doğal) ve pH 9 numunelerinde aynı oranda (%52) renk giderimi tespit edilmiştir. pH 9

numunesinde % 65 KOİ giderimi, 560 kg/gün çamur oluşumu ve pH (doğal) numunesinde %60 KOİ giderimi ve 509 kg/gün çamur oluşumu tespit edilmiştir. Nişasta kullanımının çamur oluşumunu arttırdığı gözlemlenmiştir. Oluşan çamur miktarı göz önüne alındığında, çamur susuzlaştırma ve bertaraf maliyeti de göz önüne alınarak koagülant madde seçimine karar verilmesi gerekmektedir.

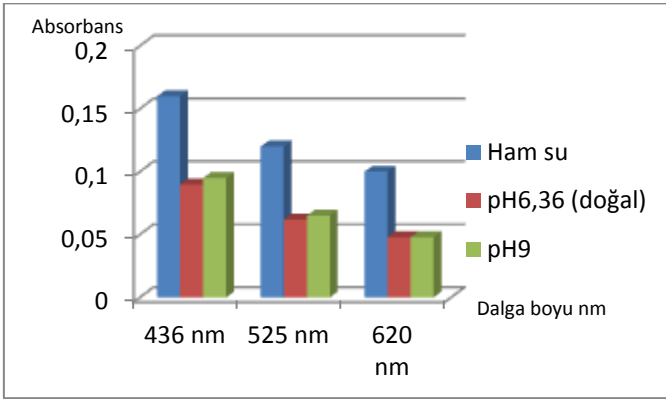
Maliyet açısından değerlendirildiğinde; uygun maliyetli bir koagülant madde olarak değerlendirilmiştir. pH 9 ve pH (doğal) numunelerinde 1 \$/gün koagülant madde maliyeti ile eşit rakamlar elde edilmiştir.

Literatür çalışmaları incelendiğinde; nişasta, guar zımkı, arabik zımk, nirmali tohumu, tanen, kaktüs gibi pek çok bitkisel kökenli polimerlerin koagülant madde olarak kullanıldıkları görülmektedir. Bu polimerlerin kağıt ve gıda endüstrisinde geniş kullanım uygulamaları bulunmaktadır. Yapılan araştırmalarda; nişastanın ağırlıklı kağıt endüstrisinde kağıt düzgünlüğünü arttırmak, lif kaybını azaltmak ve fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanıldığı tespit edilmiştir (Tutuş A ve ark. 2009).

Haşçakır tarafından 2003 yılında yapılan çalışmada; kağıt endüstrisi atıksularında %85-90 KOİ giderimi, evsel atıksularda %20 KOİ giderimi elde edilmiştir. Aynı çalışmada; nişastanın alüm, kireç ve demir klorür ile beraber flokülant olarak kullanılması durumunda %70-75 KOİ giderimi, evsel atıksularda %30-35 KOİ giderimi tespit edilmiştir (Haşçakır 2003). Bizim deneysel çalışmamızda; %52 renk giderimi ve %60-65 KOİ giderimi elde edilmiştir. Tekstil sektöründe literatür çalışması bulunamadığından karşılaştırma yapılamamıştır. Çizelge 8.24, 8.25, 8.26, 8.27, 8.28 ve Şekil 8.18, 8.19, 8.20, 8.21 'de yapılan çalışmaların özetleri gösterilmektedir:

**Çizelge 8.24.** Renk ölçüm sonuçları

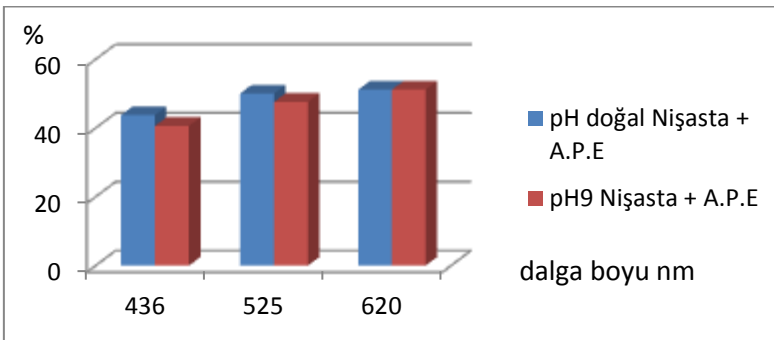
Koagülant madde	Renk / Numune	436 nm	525 nm	620 nm
	Ham su		0,16	0,12
600 mg/L (%10) Nişasta ve 0,3 ml %0,2 A. P.E	pH6,36 (doğal)	0,09	0,062	0,048
	% giderim	43,75	50	51,52
	pH9	0,095	0,065	0,048
	% giderim	40,63	47,58	51,52



Şekil 8.18. Renk ölçüm sonuçları

Çizelge.8.25. % RES giderim sonuçları

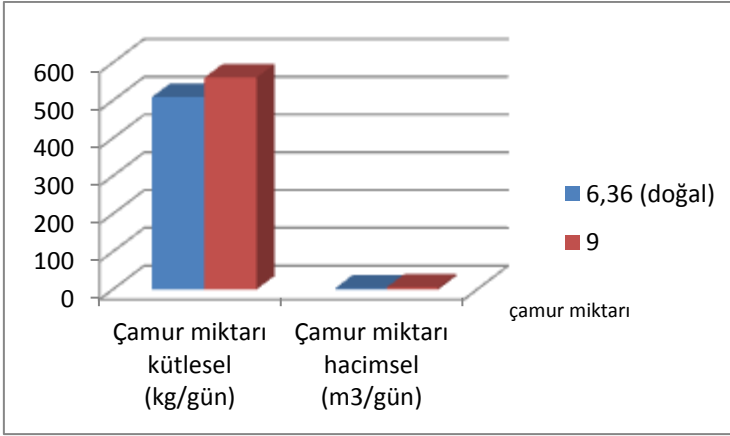
numune	pH	Dalga boyu (nm)	RES (m-1)	% RES giderim
600 mg/L (%10) Nişasta ve 0,3 ml %0,2 A.P.E	pH(doğal)	436	9	43,77
		525	6,2	50,06
		620	4,8	51,52
	pH9	436	9,5	40,67
		525	6,5	47,64
		620	4,8	51,52



Şekil 8.19. % RES giderim grafiği

**Çizelge 8.26.** Çamur çalışması sonuçları

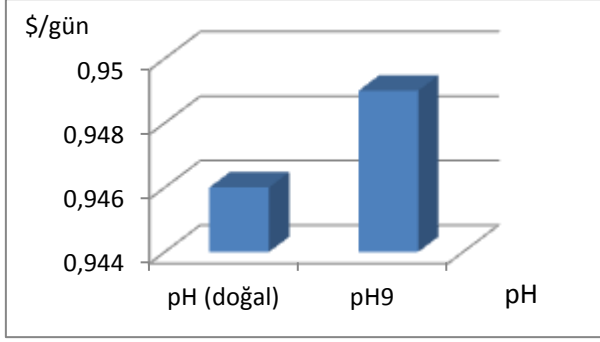
Parametreler	pH	çamur yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	çamur yüzdesi (%)	Tam karışım AKM (mg/L)	Çamur miktarı kütleli (kg/gün)	Çamur miktarı hacimsel (m <sup>3</sup> /gün)
600 mg/L (%10) Nişasta ve 0,3 ml %0,2 A.P.E	6,36 (doğal)	269,33	26,93	404	509,04	1,89
	9	112,5	11,25	450	560,25	4,98



**Şekil 8.20.** Çamur çalışması grafiği

**Çizelge 8.27.** Maliyet çalışması tablosu

600 mg/L (%10) Nişasta ve 0,3 ml %0,2 A. P.E		
pH	pH(doğal)	pH9
Koagülant madde maliyeti (\$/m <sup>3</sup> )	0,63* 10 <sup>-3</sup>	0,63* 10 <sup>-3</sup>
pH ayarlama maliyeti (\$/m <sup>3</sup> )	0	1,98* 10 <sup>-6</sup>
Debi (m <sup>3</sup> /gün)	1500	1500
Günlük maliyet (\$/gün)	1	1
Günlük maliyet (₺/gün)	2	2



Şekil 8.21. Maliyet çalışması grafiği

Çizelge 8.28. Nişasta karşılaştırma tablosu

Parametre	pH	İletkenlik µS/cm	RENK (Renk , m <sup>-1</sup> )			Çamur % (kg SS/100 L) %	Çamur miktarı		KOİ mg/L	AKM mg/L
			(436 nm)	(525 nm)	(620 nm)		kg/gün	m <sup>3</sup> /gün		
Ham Atıksu	6,36	2200	16,00	12,40	9,90	-	-	-	305	6
600 mg/L (%10) Nişasta ve 0,3 ml %0,2 A.P.E	6,36 (doğal)	2350	9,00	6,2	4,8	26,93	509,04	1,89	121	404
	Renk Giderim (%)	**	43,75	50,00	51,52	-	-	-	60,33	-
	9,00	2310	9,5	6,5	4,8	11,25	560,25	4,98	106	450
	Renk Giderim (%)	**	40,63	47,58	51,52	-	-	-	65,25	-

Yürütülen deneysel çalışmalar sonucunda; 600 mg/L (%10) Nişasta ve 0,3 ml %0,2 A.P.E kullanımı ile yapılan çalışmada, pH doğal numunesinde %52 ve pH 9 numunesinde %52 renk giderimi elde edilmiştir. KOİ açısından incelendiğinde; pH doğal numunesinde %60 ve pH 9 numunesinde %65 KOİ giderimi elde edilmiştir. Günlük çamur oluşumları incelendiğinde; pH doğal numunesinde 509 kg/gün, pH 9 numunesinde 560 kg/gün çamur miktarları elde edilmiştir. Koagülant madde eklendikten sonra atıksuyun iletkenlik değerlerinin arttığı, pH doğal numunesinde artışın daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

## 8.7. Kitosan Deneysel Çalışmalarının Sonuçları

Kitosan ile yapılan deneysel çalışmada; 4 (dört) adet farklı pH'da numune ile çalışmalara başlanmış ve çalışmalarda alınan sonuçlara istinaden, pH 3 ve pH (doğal) en iyi sonuç veren numuneler olarak belirlenmiştir.

4,5mg/L Kitosan ve 0,1 ml %0,2 A.P.E kullanımı ile yapılan çalışmada; pH 3 numunesinde %88 renk giderimi, %56 KOİ giderimi, 24,3 kg/gün çamur oluşumu tespit edilmiştir. pH (doğal) numunesinde; %55 renk giderimi, 124 kg/gün çamur oluşumu tespit edilmiştir. pH 3 numunesi renk giderimi ve çamur oluşumu açısından daha avantajlı olarak değerlendirilmiştir.

Maliyet açısından incelendiğinde; en büyük maliyetin pH ayarından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Doğal pH'sında yapılan çalışmada 0,01 \$/gün, pH3 ile yapılan çalışmada 14 \$/gün olarak koagülant madde maliyeti hesaplanmıştır.

Kitosan, kırmızı kabuklu yengeç ve karideslerin kabuklarında bulunan Kitin maddesinden elde edilmektedir. Doğal bir lifli madde olması nedeniyle alternatif tıp ve zayıflama ürünü olarak kullanımı çok yaygındır. Kitosan'ın bioflokülant olarak askıda ve çözünmüş madde gideriminde başarılı uygulamaları bulunmaktadır (Renault ve ark. 2009).

Kitosanın koagülasyon / flokülasyon proseslerinde kullanılmasının avantajları; non-toksik malzeme olması, korozif olmaması, cilt ve gözlerde iritasyona sebep olmaması şeklinde sayılabilir. Aynı zamanda daha düşük sıcaklıktaki sularda kullanılabilir ve metal tuzlarına göre daha az konsantrasyonlarda kullanımı yeterli olmaktadır. 70'li yılların sonlarından itibaren özellikle gıda sektörünün atıksularında kullanımı ile ilgili çalışmalar yapılmıştır (Bough 1975-1976, Bough ve ark. 1978). Biyolojik bir madde olması nedeniyle; oluşan arıtma çamurları da biyolojik olarak parçalanabilir özellikte olmaktadır. Bunun uygulanan örneği olarak; süt endüstrisi arıtma çamurlarının tarımda kullanımı söz konusudur (Chi ve Cheng 2006).

Szygula ve arkadaşları (2009) tarafından yapılan çalışmada; Acid Blue 92 içeren ve pH 9 olan tekstil atıksuyunda 100 mg/L Kitosan optimum dozajında % 99 renk giderimi elde edilmiştir. Bizim deneysel çalışmamızda; 4,5 mg/L Kitosan ve 0,1 ml %0,2 A.P.E

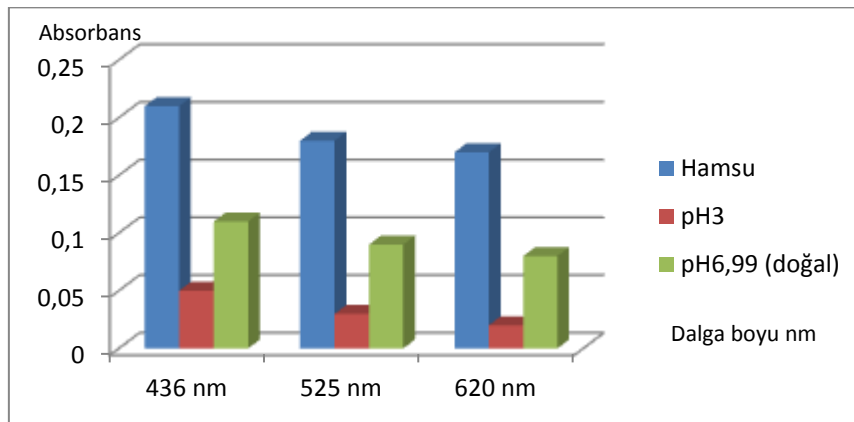
uygulanması ile pH 3 numunesinde %88 renk giderimi elde edilmiş, daha başarılı sonuç alınmıştır (Szygula ve ark. 2009).

Mahmoodi ve arkadaşları (2011) tarafından; Acid Green 25 ve Direct Red 23 içeren pH 2 olan tekstil atıksularında Kitosan ile yapılan çalışmalarda; 10 dakika boyunca 200 rpm karıştırma hızında %75 ve %95 renk giderimleri elde edilmiştir. Bizim deneysel çalışmamızda pH 3 numunesinde %88 renk giderimi elde edilmiş ve literatür çalışması ile uyumlu olduğu gözlemlenmiştir (Mahmoodi ve ark. 2011).

Çizelge 8.29, 8.30, 8.31, 8.32, 8.33 ve Şekil 8.22, 8.23, 8.24, 8.25 'de yapılan çalışmaların özetleri gösterilmektedir:

**Çizelge 8.29.** Renk ölçüm sonuçları

Koagülant madde	Renk / Numune	436 nm	525 nm	620 nm
Ham su	6,99	0,21	0,18	0,17
4,5mg/L Kitosan ve 0,1 ml %0,2 A.P.E	pH3	0,05	0,03	0,02
	% giderim	78,57	84,7	87,86
	pH6,99 (doğal)	0,11	0,09	0,08
	% giderim	45,71	50,27	54,91

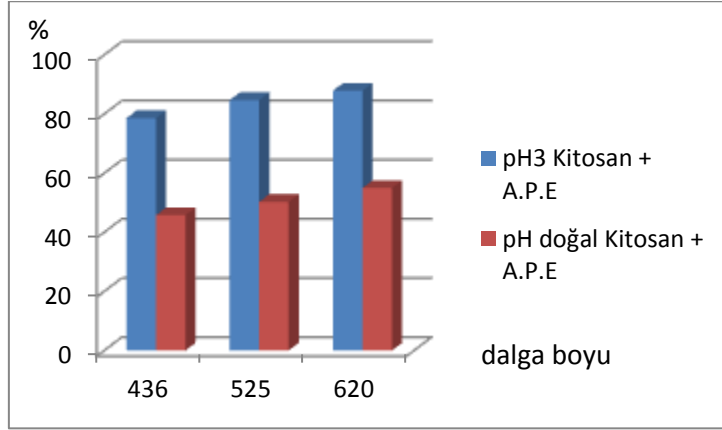


**Şekil 8.22.** Renk ölçüm sonuçları



**Çizelge 8.30.** % RES giderim sonuçları

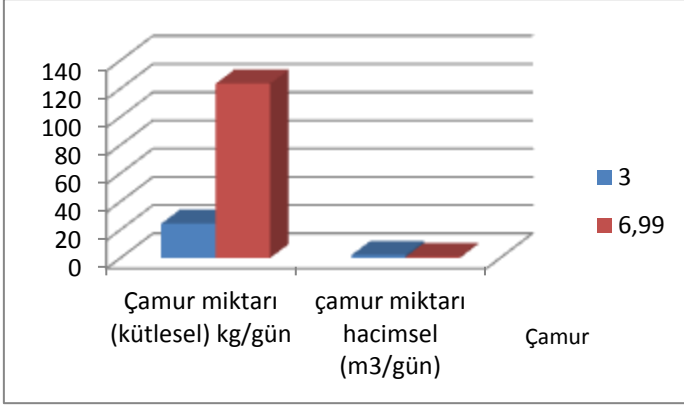
numune	pH	Dalga boyu (nm)	RES (m-1)	% RES giderim
4,5mg/L Kitosan ve 0,1 ml %0,2 A.P.E	pH 3	436	3	78,57
		525	1,87	84,67
		620	1,4	87,86
	pH6,99 (doğal)	436	7,6	45,71
		525	6,07	50,25
		620	5,2	54,9



**Şekil 8.23.** % RES giderim grafiği

**Çizelge 8.31.** Çamur çalışması sonuçları

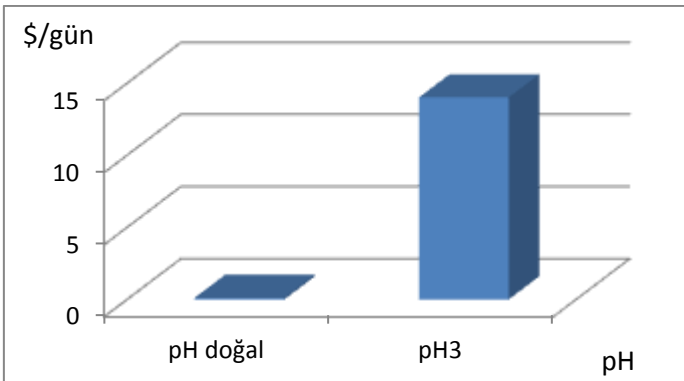
Parametreler	pH	çamur yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )	çamur yüzdesi (%)	Tam karışım AKM (mg/L)	Çamur miktarı (kütlesel) kg/gün	çamur miktarı hacimsel (m <sup>3</sup> /gün)
4,5mg/L Kitosan ve 0,1 ml %0,2 A.P.E	3	12	1,2	18	24,3	2,025
	6,99 (doğal)	168	16,8	84	123,48	0,735



Şekil 8.24. Çamur çalışması grafiği

Çizelge 8.32. Maliyet çalışmaları tablosu

4,5mg/L Kitosan ve 0,1 ml %0,2 A. P.E		
pH	pH(doğal)	pH3
Koagülant madde maliyeti (\$/m <sup>3</sup> )	0,0041* 10 <sup>-3</sup>	0,0041* 10 <sup>-3</sup>
pH ayarlama maliyeti (\$/m <sup>3</sup> )	0	9,5* 10 <sup>-3</sup>
Debi (m <sup>3</sup> /gün)	1500	1500
Günlük maliyet (\$/gün)	0,01	14
Günlük maliyet (₺/gün)	0,01	32



Şekil 8.25. Maliyet çalışmaları grafiği

**Çizelge 8.33.** Kitosan karşılaştırma tablosu

Parametre	pH	İletkenlik µS/cm	RENK (Renk , m <sup>-1</sup> )			Çamur % (kg SS/100 L) %	Çamur miktarı		KOİ mg/L	AKM mg/L
			(436 nm)	(525 nm)	(620 nm)		kg/gün	m <sup>3</sup> /gün		
Ham Atıksu	6,99	2190	14,00	12,20	11,53	-	-	-	305	6
4,5mg/L Kitosan ve 0,1 ml %0,2 A.P.E	3,00	2450	3,00	1,87	1,40	1,20	24,30	2,03	135	18
	Renk Giderim (%)	**	78,57	84,67	87,86	-	-	-	55,74	-
	6,99 (doğal)	2230	7,60	6,07	5,20	16,80	123,48	0,74	-	84
	Renk Giderim (%)	**	45,71	50,25	54,90	-	-	-	-	-

Yürütülen deneysel çalışmalar sonucunda; 4,5 mg/L Kitosan ve 0,1 ml %0,2 A.P.E kullanımı ile yapılan çalışmada, pH 3 numunesinde %88 ve pH doğal numunesinde %55 renk giderimi elde edilmiştir. KOİ açısından incelendiğinde; pH 3 numunesinde %56 KOİ giderimi elde edilmiştir. Günlük çamur oluşumları incelendiğinde; pH 3 numunesinde 24 kg/gün, pH doğal numunesinde 124 kg/gün çamur miktarları elde edilmiştir. Koagülant madde eklendikten sonra atıksuyun iletkenlik değerlerinin arttığı, pH 3 numunesinde artışın daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

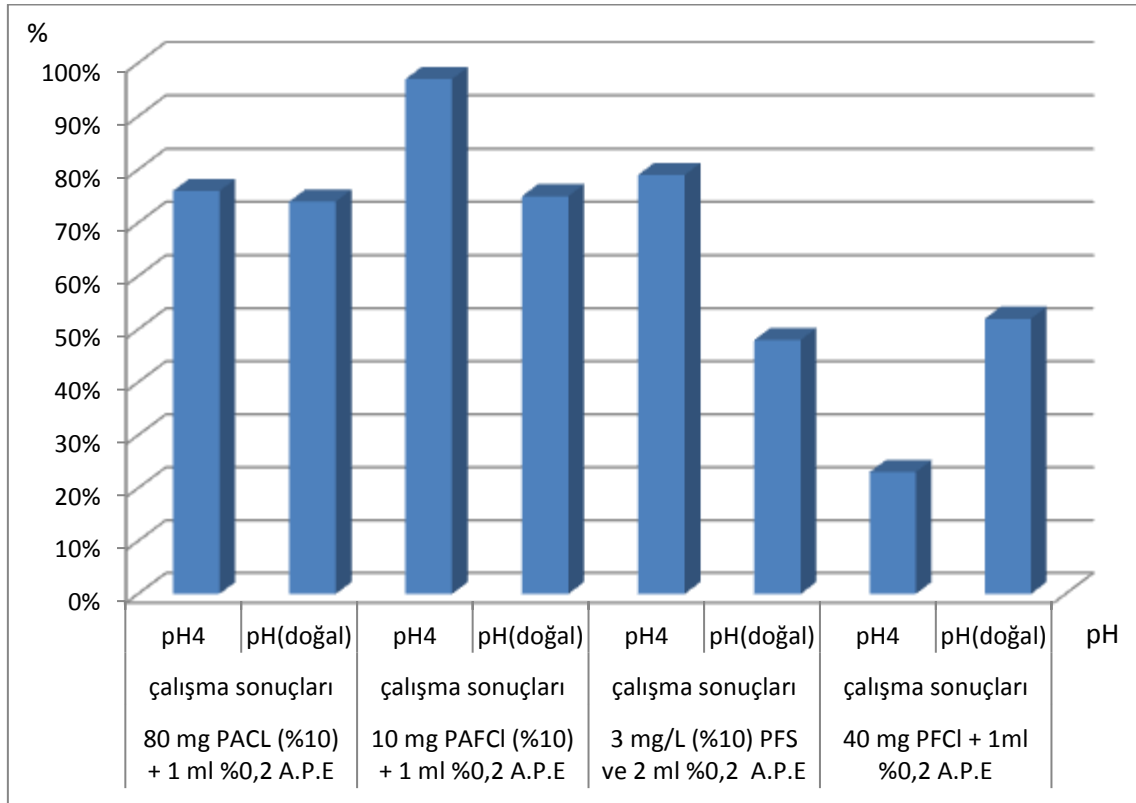
### 8.8. Deneysel Çalışmaların Karşılaştırılması

Yapılan deneysel çalışmalar Pre – Hidrolize Metal Tuzları ve Doğal Koagülant Maddeler bazında olacak şekilde, Çizelge 8.34 - 8.35 - 8.36 - 8.37 – 8.38 – 8.39 – 8.40 – 8.41 ve Şekil 8.26 - 8.27 - 8.28 – 8.29 – 8.30 – 8.31 – 8.32 – 8.33’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

**Çizelge 8.34.** Pre-Hidrolize Metal Tuzları Renk giderim karşılaştırma tablosu

80 mg/L PACl (%10) + 1 ml %0,2 A.P.E		10 mg PAFCl (%10) + 1 ml %0,2 A.P.E		3 mg/L (%10) PFS + 2 ml %0,2 A.P.E		40 mg PFCl + 1ml %0,2 A.P.E	
çalışma sonuçları		çalışma sonuçları		çalışma sonuçları		çalışma sonuçları	
pH4	pH(doğal)	pH4	pH(doğal)	pH4	pH(doğal)	pH4	pH(doğal)
76%	74%	97%	75%	79%	48%	23%	52%

Pre-hidrolize metal tuzları ile yapılan deneysel çalışmalarda; en düşük renk giderimi PFCl pH 4 numunesi (%23) ve PFS pH doğal numunesinde (%48), en yüksek renk giderimi PAFCl pH 4 numunesinde (%97) elde edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda pre-hidrolize metal tuzları için %23-97 aralığında renk giderimleri elde edilmiştir.

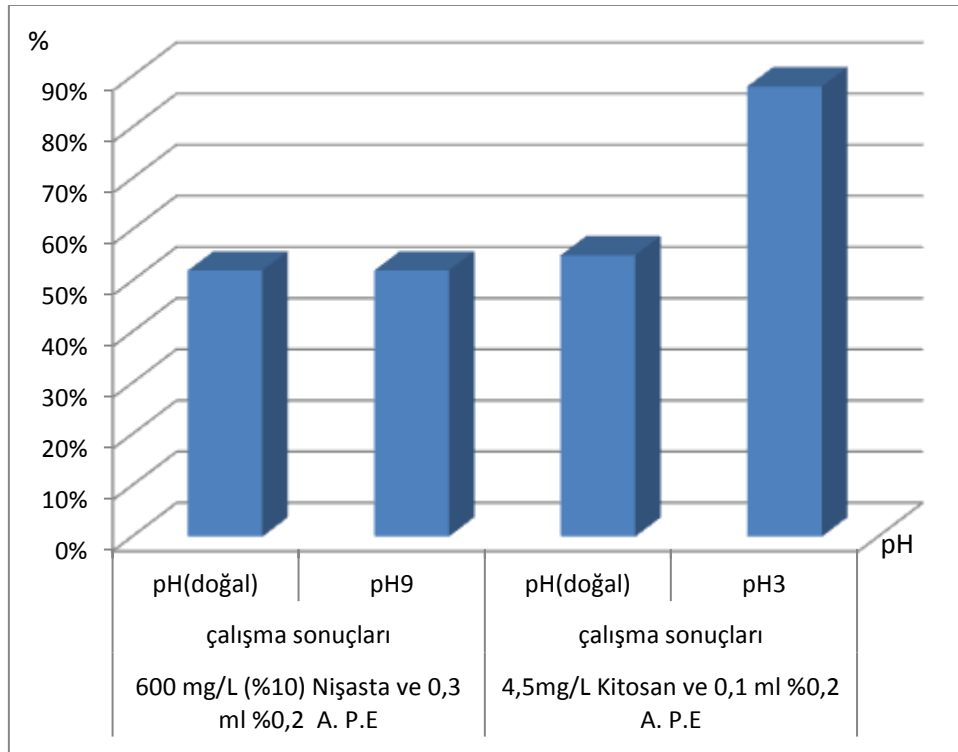


**Şekil 8.26.** Pre-Hidrolize Metal Tuzları Renk giderim karşılaştırma grafiği

**Çizelge 8.35.** Doğal koagülant maddeler renk giderim karşılaştırma tablosu

<b>600 mg/L (%10) Nişasta + 0,3 ml %0,2 A.P.E</b>		<b>4,5mg/L Kitosan + 0,1 ml %0,2 A.P.E</b>	
çalışma sonuçları		çalışma sonuçları	
pH(doğal)	pH9	pH(doğal)	pH3
52%	52%	55%	88%

Doğal koagülant maddeler ile yapılan deneysel çalışmalarda; Nişastanın pH doğal ve pH 9 numunelerinde aynı renk giderim verimi (%52) elde edilmiştir. Kitosan ile yapılan çalışmalarda pH doğal numunesinde %55 ve pH 3 numunesinde %88 renk giderimi elde edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalarda doğal koagülant maddeler ile %52-88 aralığında renk giderimleri elde edilmiştir.

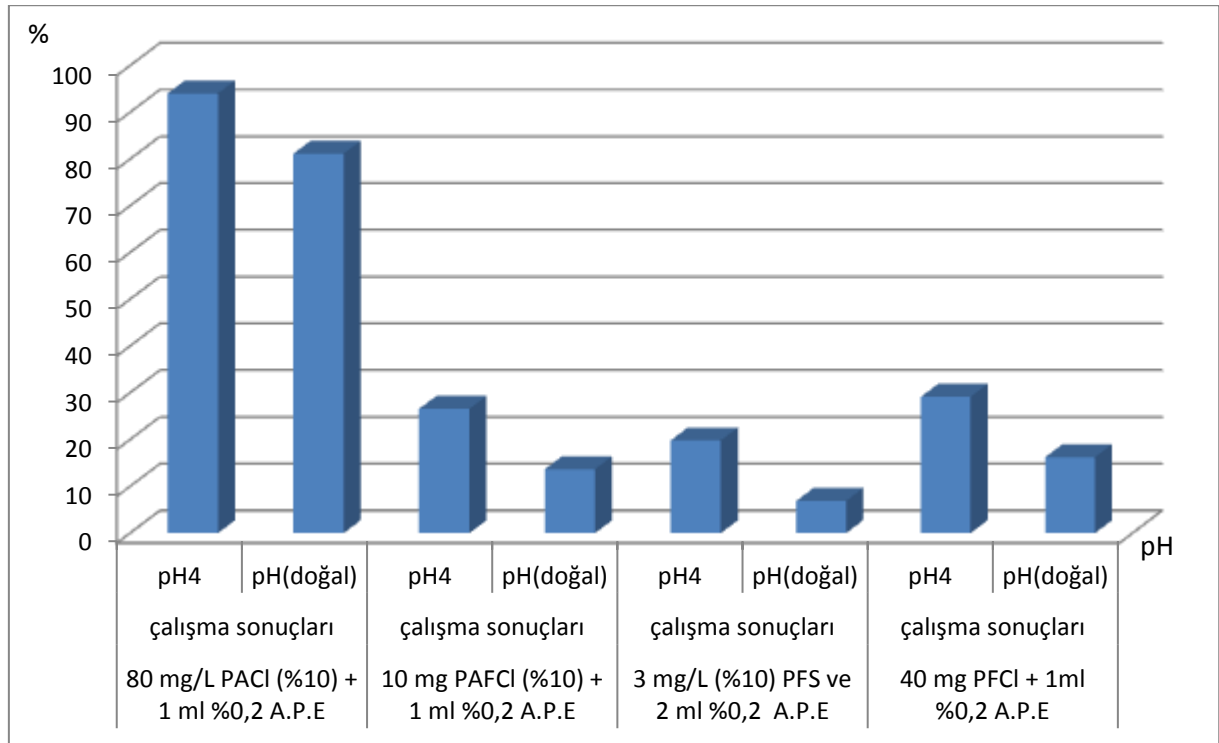


**Şekil 8.27.** Doğal Koagülant maddeler renk giderim karşılaştırma grafiği

**Çizelge 8.36.** Pre-Hidrolize Metal Tuzları KOİ giderim karşılaştırma tablosu.

<b>80 mg/L PACl (%10) + 1 ml %0,2 A.P.E</b>	<b>10 mg PAFCl (%10) + 1 ml %0,2 A.P.E</b>		<b>3 mg/L (%10) PFS + 2 ml %0,2 A.P.E</b>		<b>40 mg PFCI + 1ml %0,2 A.P.E</b>	
çalışma sonuçları	çalışma sonuçları		çalışma sonuçları		çalışma sonuçları	
pH(doğal)	pH4	pH(doğal)	pH4	pH(doğal)	pH4	pH(doğal)
53%	55%	45%	47%	67%	67%	63%

Pre-hidrolize metal tuzları ile yapılan deneysel çalışmalarda; %45-67 aralığında KOİ giderimleri elde edilmiştir. En yüksek KOİ giderimi %67 ile PFS pH doğal ve PFCI pH4 numunelerinde, en düşük KOİ giderimi %45 ile PAFCl pH doğal numunesinde elde edilmiştir.

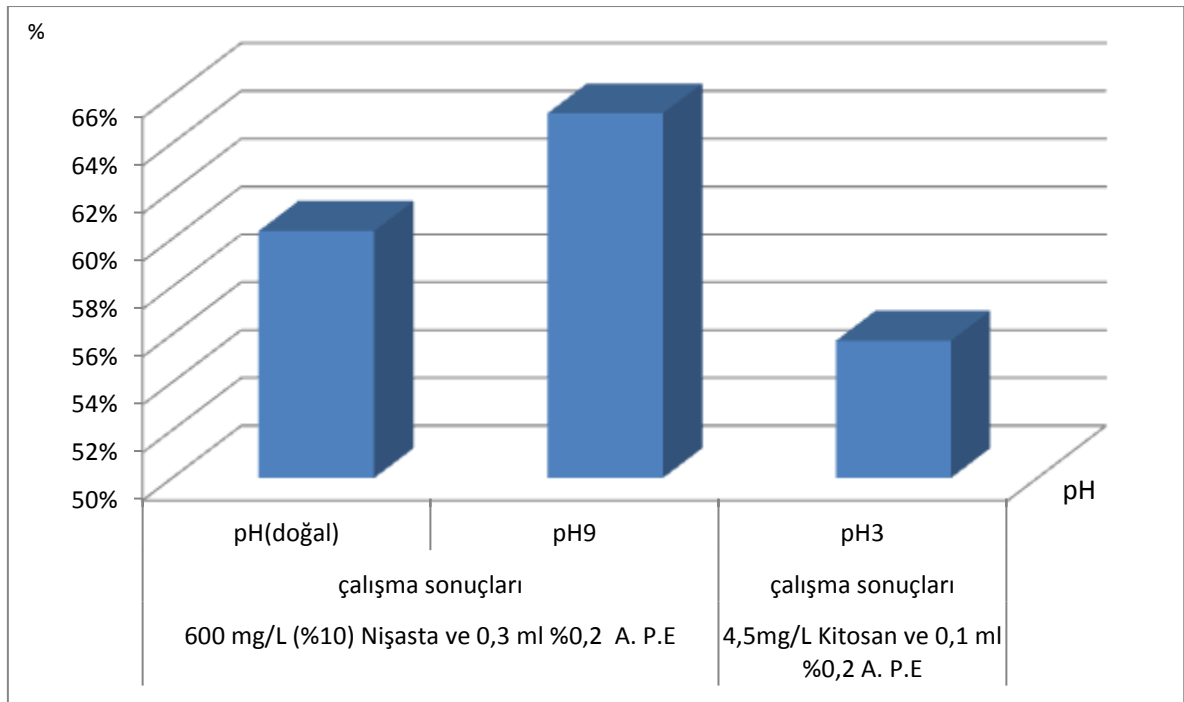


**Şekil 8.28.** Pre – Hidrolize Metal Tuzları KOİ giderim karşılaştırma grafiği

**Çizelge 8.37.** Doğal Koagülant maddeler KOİ giderim karşılaştırma tablosu.

<b>600 mg/L (%10) Nişasta + 0,3 ml %0,2 A.P.E</b>		<b>4,5mg/L Kitosan + 0,1 ml %0,2 A.P.E</b>
çalışma sonuçları		çalışma sonuçları
pH(doğal)	pH9	pH3
60%	65%	56%

Doğal koagülant maddeler ile yapılan deneysel çalışmalarda; %56-65 arasında KOİ giderimleri elde edilmiştir. En yüksek KOİ giderimi; Nişasta pH 9 numunesinde (%65) ve en düşük KOİ giderimi Kitosan pH 3 numunesinde (%56) elde edilmiştir.

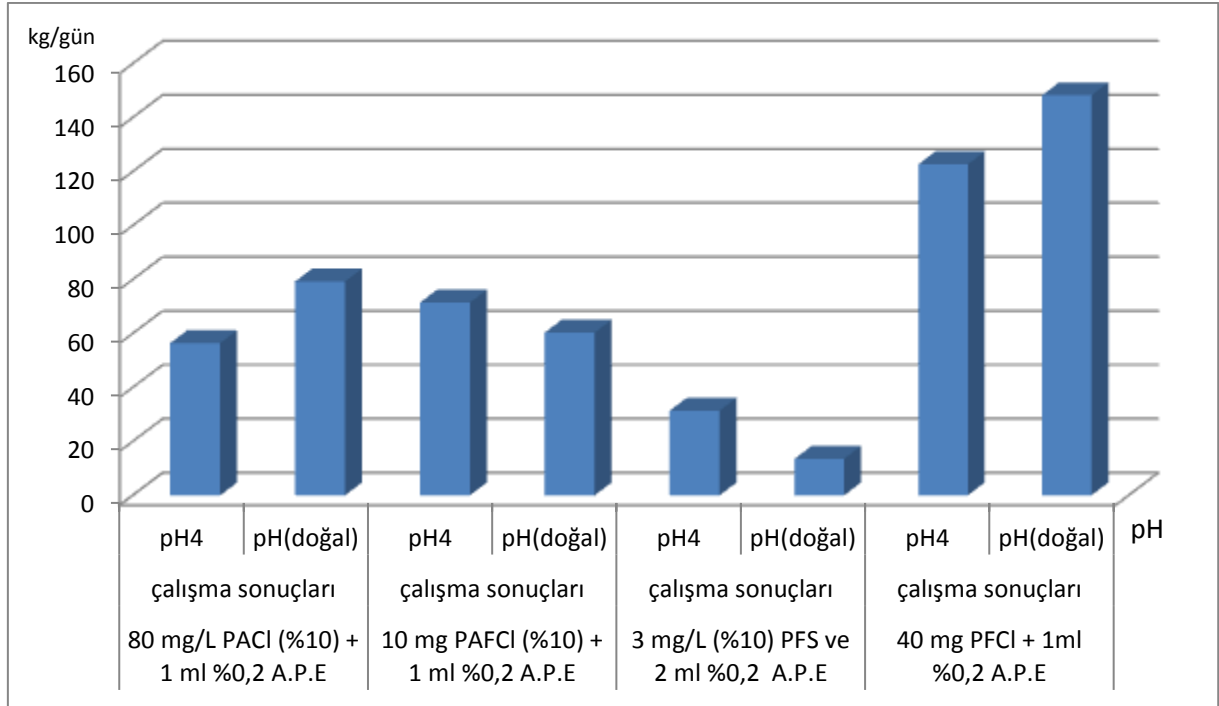


**Şekil 8.29.** Doğal koagülant maddeler KOİ giderim karşılaştırma grafiği

**Çizelge 8.38.** Pre – Hidrolize Metal Tuzları Çamur miktarı kütleli (kg/gün) karşılaştırma tablosu

80 mg/L PACl (%10) + 1 ml %0,2 A.P.E		10 mg PAFCl (%10) + 1 ml %0,2 A.P.E		3 mg/L (%10) PFS + 2 ml %0,2 A.P.E		40 mg PFC + 1ml %0,2 A.P.E	
çalışma sonuçları (kg/gün)		çalışma sonuçları (kg/gün)		çalışma sonuçları (kg/gün)		çalışma sonuçları (kg/gün)	
pH4	pH(doğal)	pH4	pH(doğal)	pH4	pH(doğal)	pH4	pH(doğal)
56	79	71	60	31	14	123	148

Pre-hidrolize metal tuzları ile yapılan deneysel çalışmalarda; maksimum çamur oluşumu 148 kg/gün ile PFCI pH doğal numunesinde, minimum çamur oluşumu 14 kg ile PFS pH doğal numunesinde elde edilmiştir.



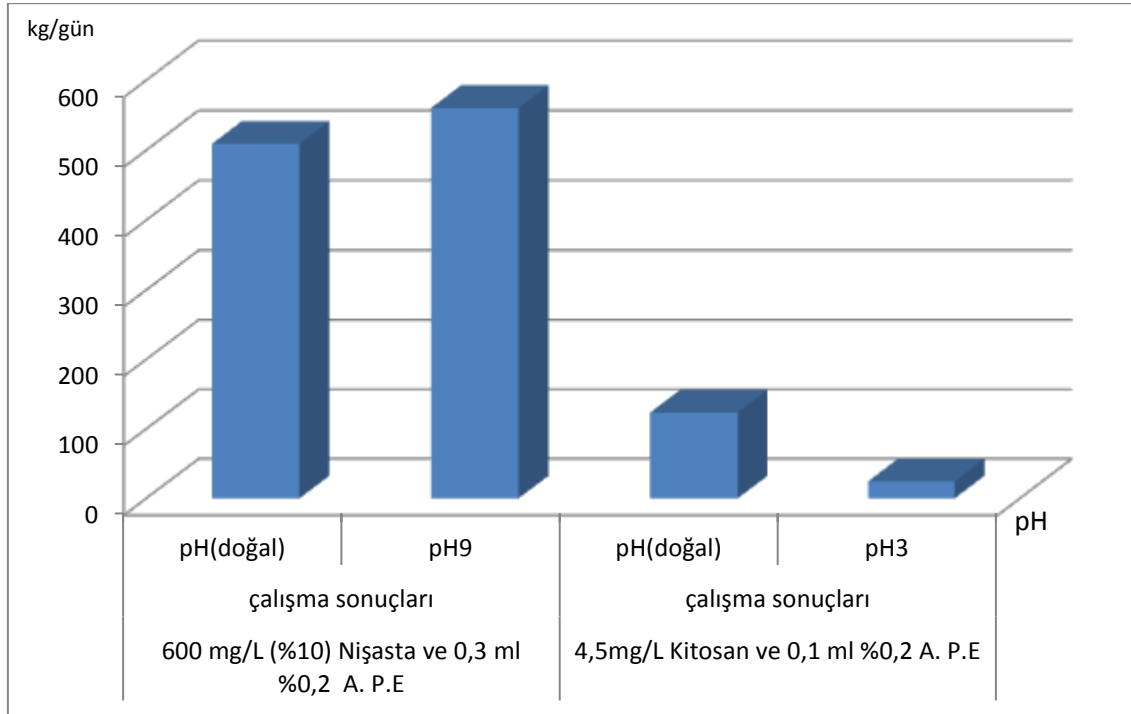
**Şekil 8.30.** Pre – Hidrolize Metal Tuzları Çamur miktarı kütleli (kg/gün) karşılaştırma grafiği



**Çizelge 8.39.** Doğal Koagülant maddeler çamur miktarı kütleli (kg/gün) karşılaştırma tablosu

<b>600 mg/L (%10) Nişasta + 0,3 ml %0,2 A.P.E</b>		<b>4,5mg/L Kitosan + 0,1 ml %0,2 A.P.E</b>	
çalışma sonuçları (kg/gün)		çalışma sonuçları (kg/gün)	
pH(doğal)	pH9	pH(doğal)	pH3
509	560	123	24

Doğal koagülant maddeler ile yapılan deneysel çalışmalarda; maksimum çamur oluşumu 560 kg/gün ile Nişasta pH 9 numunesinde, minimum çamur oluşumu 24 kg/gün ile Kitosan pH 3 numunesinde elde edilmiştir.

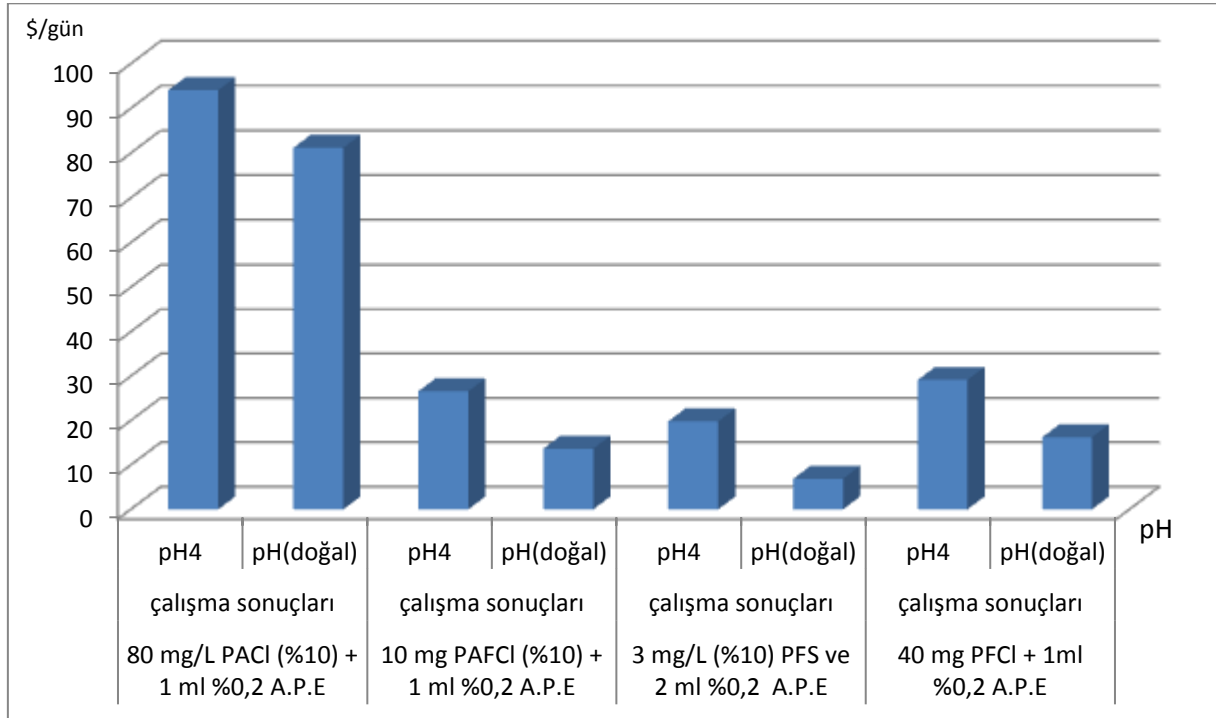


**Şekil 8.31.** Doğal Koagülant maddeler çamur miktarı kütleli (kg/gün) karşılaştırma grafiği

**Çizelge 8.40.** Pre-Hidrolize Metal Tuzları günlük koagülant madde maliyeti (\$/gün) karşılaştırma tablosu

<b>80 mg/L PACl (%10) + 1 ml %0,2 A.P.E</b>		<b>10 mg PAFCl (%10) + 1 ml %0,2 A.P.E</b>		<b>3 mg/L (%10) PFS + 2 ml %0,2 A.P.E</b>		<b>40 mg PFCI + 1ml %0,2 A.P.E</b>	
çalışma sonuçları (\$/gün)		çalışma sonuçları (\$/gün)		çalışma sonuçları (\$/gün)		çalışma sonuçları (\$/gün)	
pH4	pH(doğal)	pH4	pH(doğal)	pH4	pH(doğal)	pH4	pH(doğal)
94	81	27	14	20	7	29	16

Pre-hidrolize metal tuzları yapılan deneysel çalışmalarda; maksimum koagülant madde maliyeti 94 \$/gün ile PACl pH 4 numunesinde, minimum koagülant madde maliyeti 7 \$/gün ile PFS pH doğal numunesinde elde edilmiştir.

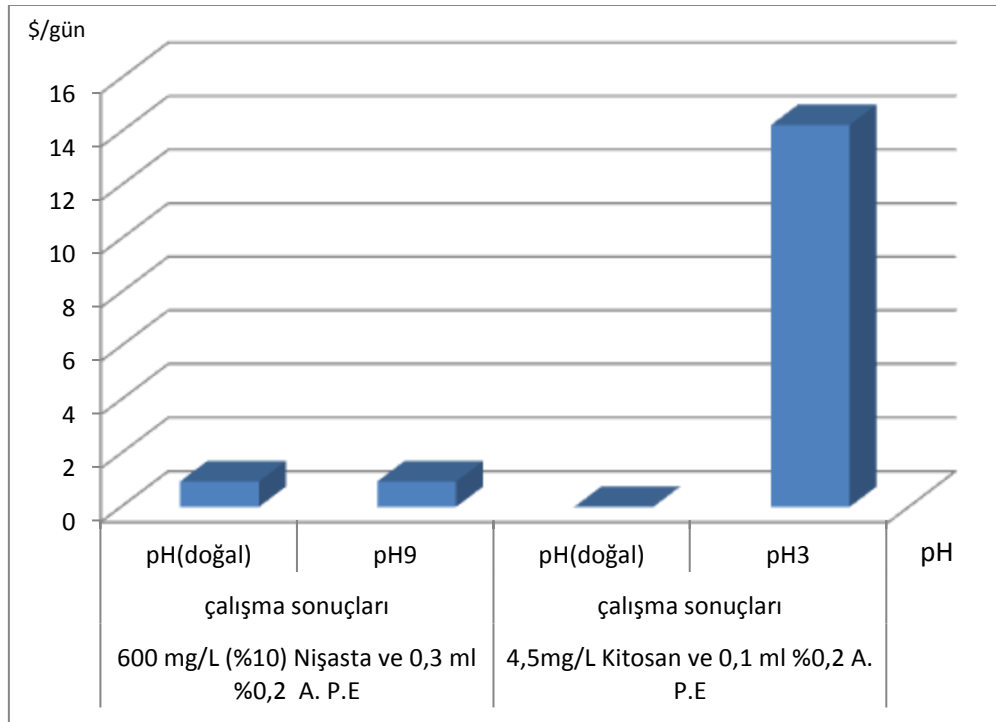


**Şekil 8.32.** Pre – Hidrolize Metal Tuzları günlük koagülant madde maliyeti (\$/gün) karşılaştırma grafiği

**Çizelge 8.41.** Doğal Koagülant maddeler günlük koagülant madde maliyeti (\$/gün) karşılaştırma tablosu

600 mg/L (%10) Nişasta + 0,3 ml %0,2 A.P.E		4,5mg/L Kitosan + 0,1 ml %0,2 A.P.E	
çalışma sonuçları (\$/gün)		çalışma sonuçları (\$/gün)	
pH(doğal)	pH9	pH(doğal)	pH3
1	1	0,01	14

Doğal koagülant maddeler ile yapılan deneysel çalışmalarda; maksimum koagülant madde maliyeti 14 \$/gün ile Kitosan pH 3 numunesinde, minimum koagülant madde maliyeti 0,01 \$/gün ile Kitosan pH doğal numunesinde elde edilmiştir. Nişastanın pH doğal ve pH 9 numunelerinde 1\$/gün ile eşit koagülant madde maliyetleri elde edilmiştir.



**Şekil 8.33.** Doğal Koagülant maddeler günlük koagülant madde maliyeti (\$/gün) karşılaştırma grafiği

## 9. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Bu çalışmada tekstil endüstrisi kapsamında indigo esaslı denim kumaşı yıkama ve pamuk esaslı dokunmuş kumaş boyama işlemlerini beraber yürüten bir tekstil endüstrisinin, biyolojik olarak arıtılmış atıksularında pre - hidrolize metal tuzları ve doğal koagülant maddelerin kullanıldığı jar test denemeleri yapılmıştır. Her çalışmada renk giderimi açısından en uygun koagülasyon / flokülasyon teknolojisinin belirlenmesi çalışmaları yapılmıştır. Çalışma sırasında renk giderimi için optimum koşullar tanımlanmış, KOİ giderim ve çamur oluşum miktarları ve maliyet analizleri yapılarak karşılaştırılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalarda, maksimum renk giderimi % 97 ile PAFCl pH 4 numunesinde, minimum renk giderimi %23 ile PFCI pH 4 numunesinde elde edilmiştir.

KOİ giderimi açısından incelendiğinde; maksimum KOİ giderimi % 67 ile PFS pH (doğal) numunesinde ve PFCI pH 4 numunesinde elde edilmiştir.

Günlük çamur oluşumu açısından incelendiğinde; minimum çamur oluşumu 14 kg/gün ile PFS pH (doğal) çalışmasında, maksimum çamur oluşumu ise Nişasta pH 9 numunesinde 560 kg/gün olarak elde edilmiştir.

Endüstri günlük koagülant madde maliyeti bazında incelendiğinde; maksimum maliyet 94 \$/gün ile PACI pH 4 numunesinde elde edilmiştir. Minimum koagülant madde maliyeti; 0,01 \$/gün ile Kitosan pH (doğal) numunesinde elde edilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalarda %97 renk giderimi ile PAFCl pH 4 numunesi en iyi sonuç veren koagülant maddedir. Kitosan, pH 3 numunesinde %88 renk giderimi ile en iyi renk giderimi sağlayan ikinci koagülant madde olarak seçilmiştir. PAFCl ve Kitosan'ı diğer parametreler açısından karşılaştırdığımızda; PAFCl pH (doğal) numunesinde %45, pH 4 numunesinde %55 ve Kitosan pH 3 numunesinde %56 KOİ giderimi elde edilmiştir. Çamur oluşumu açısından incelendiğinde; PAFCl pH (doğal) numunesinde 60 kg/gün, pH 4 numunesinde 71 kg/gün ve Kitosan pH 3 numunesinde 24 kg/gün, pH (doğal) numunesinde 123 kg/gün çamur oluşumu elde edilmiştir. Koagülant madde maliyeti açısından karşılaştırdığımızda; PAFCl pH (doğal) numunesinde 14 \$/gün, pH 4 numunesinde 27 \$/gün

ve Kitosan pH (doğal) numunesinde 0,01 \$/gün, pH 3 numunesinde 14 \$/gün koagülant madde maliyeti elde edilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalar değerlendirildiğinde; PAFCl'nin en iyi sonuç veren pre-hidrolize metal tuzlarından ve Kitosanın en iyi sonuç veren doğal koagülantlardan olduğu tespit edilmiştir. Endüstri renk ve KOİ giderimi açısından alıcı ortam deşarj standartlarını bu koagülant maddelerle atıksuyun hem doğal pH'sında hem de pH ayarı yapılmış numunelerinde sağlayabilmektedir. Dolayısıyla, bu çalışmada çamur bertaraf maliyetleri maliyet değerlendirmesinde dikkate alınmadığı için, tesis yetkililerinin bu maliyetleri de göz önünde bulundurarak optimum çözüme ulaşması daha uygun olacaktır.

## KAYNAKLAR

- Acuner D (2002). Algal Treatment of Textile Dye - house Wastewater by Algae, WEFTEC 2002, 28 September- 2 October 2002, Illinois, USA.
- Ahmad A.A, Hameed B.H (2009). Reduction of COD and color of dyeing effluent from a cotton textile mill by adsorption onto bamboo-based activated carbon. *Journal of Hazardous Materials*, 172(2-3), 1538-1543.
- AKKİM (2012). <http://www.akkim.com.tr>
- Akshaya K, Rajesh R, Puspendu B (2012). A review on chemical coagulation / flocculation technologies for removal of Renk from textile wastewaters. *India Journal of Environmental Management*, 93 : 154-168.
- Akshaya K, Rajesh R, Puspendu B, Dash R (2013). Applicability of a new pre - hydrated industrial grade polyaluminium salt for the decolourisation of textile wastewater. *Desalination and Water Treatment*, volume 37, Issue 1-3.
- Aksu Z, Tezer S (2005). Biosorption of reactive dyes on the green alga *Chlorella vulgaris*. *Process Biochem*, 40, 1347–1361.
- Anjaneyulu Y, Chary N.S, Raj D.S.S (2005). Decolourization of industrial effluents available methods and emerging technologies-a review. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 4, 245-273.
- APHA (1995). Standard methods. 19<sup>th</sup> Edition. American Public Health Association, Washington, DC.
- Arıcı Y. (2000). Tekstil Endüstrisinde Reaktif Boyarmaddelerden Kaynaklanan Rengin Fenton Prosesi İle Giderilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Armağan B, Turan M, Çelik M (2003). Modifiye Sepiyolit Ve Zeolitin Tekstil Endüstrisi Atık sularında Adsorbant Olarak Kullanılması : Karşılaştırmalı Değerlendirme. İTÜ 8. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu, s.25 – 31, İstanbul.
- Armağan B, Turan M, Özdemir O, Çelik M (2004). Color Removal of Reactive Dyes from Water by Clinoptilolite, *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, Volume 39, Issue 5 December 2004 , pages 1251 - 1261
- Arslan I, Balcioglu I. A (2000). Effect of common reactive dye auxiliaries on the ozonation of dyehouse effluents containing vinylsulphone and aminochlorotriazine dyes. Elsevier, *Desalination* volume 130, issue 1 61-71.
- Aspland J (1993). Chapter 13: Dyeing Blends: Polyester / Cellulose, *Textile Chemist and Colorist*, 25(8), 21-26.

- Attia A. A, Girgis S. B, Fathy N. A (2008). Removal of methylene blue by carbons derived from peach stones by H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> activation: Batch and column studies. *Dyes Pigments*. 76, 282–289.
- Australian Guidelines for Sewerage Systems (1997). [http:// www.environment. gov.au/water/ publications/quality/pubs/sewerage-systems-effluent-man-paper11.pdf](http://www.environment.gov.au/water/publications/quality/pubs/sewerage-systems-effluent-man-paper11.pdf)
- Balcioglu İ, Alaton İ, Sacan M (2001). Homogenous and heterogenous advanced oxidation of two commercial reactive dyes, *Environmental Technology*, Volume 22, Issue 7 July 2001, pages 813 – 822.
- Barlas H (1999). Endüstriyel Atık sular İçin Renk Parametresi Önerisi. Türkiye’ de Çevre Kirlenmesi Öncelikleri Sempozyumu, 14 (s.15), 576-585, Gebze YTE.
- Başer İ (1992). Elyaf Bilgisi. Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yayını, s.27 İstanbul.
- Başbüyük M (1998). Biological Treatment Of A Simulated Textile Wastewater. PhD. Thesis University of Birmingham, England.
- Bayramoglu M, Kobya M, Can O.T, Sozbir M (2004). Operating cost analysis of electro coagulation of textile dye wastewater. *Separation and Purification Technology*, 37, 117–125.
- Bayramoglu G, Celik G, Arica M.Y (2006). Studies on accumulation of uranium by fungus *Lentinus sajor-caju*, *J. Hazard. Mater.* 136, 343–351.
- Bergamasc R, Bouchard C, Silva F.V, Reis M.H, Fagundes-Klen M.R (2009). An application of chitosan as a coagulant/flocculant in a microfiltration process of natural water. *Science Direct, Desalination* 245 (2009) 205–213.
- Bidhendi GR. N, Torabian A, Ehsani H, Razmkhah N (2007). Evaluation of industrial dyeing waste water treatment with coagulants and polyelectrolyte as a coagulant aid. *Iranian Journal of Environmental Health, Science and Engineering*, 4, 29-36.
- Birgöl A. (2006). Tekstil atıksu arıtımında ileri oksidasyon proseslerinin kullanımı. Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa.
- Birgöl A, Kutlu S, Solmaz A (2007). Tekstil Endüstrisi Atıksuları Üzerinde İleri Oksidasyon ve Kimyasal Arıtma Prosesleri Kullanılarak KOİ ve Renk Gideriminin Araştırılması. *Ekoloji*, 72 – 80.
- Bisschops I, Spanjers H (2003). Literature review on textile wastewater characterization. *Environmental Technology*, 24, 1399-1411.
- Bough W.A, (1975). Coagulation with Chitosan - an aid to recovery of by products from egg breaking wastes. *Poultry Science* 54, 1904-1912.
- Bough W.A, (1976). Chitosan - a polymer from seafood wastes for use in treatment of food processing wastes and activated sludge. *Process Biochemistry* 11, 13-16.

- Bough W.A, Salter W.L, Wu A.C.M, Perkins B.E (1978). Influence of manufacturing variables on the characteristics and effectiveness of chitosan products. *Biotechnology and Bioengineering* 20, 1931-1943.
- Bolto B (1995). *Soluble Polymers in Water Purification*. Pergamon, Prog. Polym. Sci., Vol. 20, 987-1041.
- Brower G, Reed G (1987). Economic Pretreatment for Color Removal from Textile Dye Wastes. *Purdue Industrial Waste Conference, Proc. 41st*, Lafayette, Ind., USA.
- Can O. T, Bayramoglu M, Kobya M (2003). Decolorization of reactive dye solutions by electrocoagulation using aluminum electrodes. *Industrial Engineering Chemistry Research*, 42, 3391–3396.
- Caltrans (2001). *Field Guide to Construction Site Dewatering*.
- Chen T, Gao B, Yue Q(2010). Effect of dosing method and pH on color removal performance and floc aggregation of polyferric chloride–polyamine dual-coagulant in synthetic dyeing wastewater treatment. *Elsevier, Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 355 (2010) 121–129.
- Chi F.H, Cheng W.P (2006). Use of chitosan as coagulant to treat wastewater from milk processing plant. *Journal of Polymers and the Environment* 14, 411-417.
- Choo K-H, Choi S-J, Hwang E-D (2007). Effect of coagulant types on textile wastewater reclamation in a combined coagulation/ultrafiltration system. *Elsevier, Desalination* 202 : 262–270.
- Chung K.T, Stevens S.E (1993). Degradation of azo dyes by environmental microorganisms and helminths. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 12, 2121-2132.
- Chung K. T, Stevens S.E (2009). Degradation Azo Dyes by Environmental Microorganisms and Helminths. *Memphis State univ., dep. biology, vol. 12, 11: 2121-2132*.
- Code of Practice on Pollution Control(2000). [http://www.nea.gov.sg/cms/pcd/coppcc\\_2002pdf](http://www.nea.gov.sg/cms/pcd/coppcc_2002pdf).
- Cooper P (1993). Removing Colour From Dyehouse Waste Waters – A Review of Tecnology Available. *JSDC*, 109 (3), 97-100.
- Çakır N (2010). Kot Pantolon Üretiminde Bitim İşlemlerinin ve Farklı Denim Kumaşları Fit Üzerine Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Çalışır M (2010). Ardışık Kesikli Aktif Çamur Sisteminde Arıtılmış Sentetik Tekstil Terbiyesi Atık Sularında Renk Giderimi ve Ekonomik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Çorlu Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ.



- Çapar G, Yetiş Ü, Yılmaz L (2004). Halı Boyama Atık sularının Membran Prosesleri İle Arıtımı. SKKD, Cilt:14, Sayı 2, 9-15.
- Çukurova Üniversitesi Tekstil Mühendisliği (İ.Ö.) (2009). Denim Giysiye Yapılan Bitim İşlemleri. <http://cutekstil.blogcu.com/denim-giysiye-yapilan-bitim-islemleri/4711665> (erişim tarihi, 23/05/2014).
- Daneshvar N, Sorkhabi H. A, Kasiri M. B (2004). Decolorization of dye solution Containing Acid Red 14 by electrocoagulation with a comparative investigation of different electrode connections. Journal of Hazardous Materials, B112, 55–62.
- Doğan M, Ozdemir Y, Alkan M (2007). Adsorption kinetics and mechanism of cationic methyl violet and methylene blue dyes onto sepiolite. Dyes Pigments. 75, 701–713.
- Dong H, Gao B, Yue Q, Rong H, Sun S, Zhao S (2014). Effect of Fe (III) species in polyferric chloride on floc properties and membrane fouling in coagulation–ultrafiltration process. Elsevier, Desalination 335 (2014) 102–107.
- Dos Santos A.B, Cervantes F.J, Van Lier J.B (2007). Review Paper on Current Technologies for DeRenkisation of Textile Wastewaters Perspectives for Anaerobic Biotechnology. Bioresearch Technology, 98, 2369-2385.
- El-Gohary F, Tawfik A (2009). Decolourisation and COD reduction of disperse and reactive dyes wastewater using chemical - coagulation followed by sequential batch reactor ( SBR) process. Desalination, 249, 1159-1164.
- Environmental Conservation (2012). <http://www.dec.ny.gov/regs/4590.html#16132>
- EPA (1986). Quality Criteria for Water. US EPA, Washington, DC.
- EPA (2009). <http://water.epa.gov/drink/contaminants/upload/mcl-2.pdf> Europa Norm, 1994. EN ISO 7887.
- EPRI (1996). The Efficacy of Color Removal Techniques in Textile Wastewater Treatment, Hydrosience, Epri Project 3329-01.
- Erciyes Üniversitesi Çevre Müh. Böl., Çevre Kimyası - I Lab. Bulanıklık ve Renk Tayini <http://cevre.erciyes.edu.tr/dosyalar/dokumanlar/1.D%C3%B6nem%20deney%20f%C3%B6yleri/Bulan%C4%B1kl%C4%B1k%20ve%20Renk%20Tayini.pdf> (erişim tarihi: 23/05/2014).
- Eremektar G, Germirli F, İnce O (1999). Fate of Inert COD Fractinations in Two-Stage Biological Treatment of a Strong Wastewater. J. Environ. Sci. Health, A34(6), 1329-1340.
- Eren H.A, Anış P (2006). Tekstil Boyama Atıksularının Ozonlama ile Renk Giderimi. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 11, Sayı:1,83-91.

- Eyvaz M, Bayramoğlu M, Koby M (2006). Tekstil endüstrisi atıksularının elektro koagülasyon ile arıtılması: Teknik ve ekonomik değerlendirme. İtü Dergisi/e Su Kirlenmesi Kontrolü, 16, 1-3, 55-65.
- Fazli M. M, Mesdaghinia A. R, Naddafi K, Nasserı S, Yunesian M, Mazaheri Assadi M, Rezaie S, Hamzehei H (2010). Optimization of reactive blue 19 decolorization by Ganodermasp. Using response surface methodology. Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering, 7: 35-42.
- Forgacs E, Cserhati T, Oros G (2004). Removal of synthetic dyes from wastewaters : A review, Environ. Int. 30, 953.
- Freeman H. M (1995). Pollution prevention in the textile industries, in Industrial Pollution. Prevention Handbook, pp. 829-847, McGraw-Hill, Inc.
- Gao B, Yue Q, Miao J (2001). Evaluation of polyaluminium ferric chloride (PAFC) as a composite coagulant for water and wastewater treatment. Water Science and Technology 47, 127-32.
- Gao B.Y, Yue Q.Y, Wang Y, Zhou W.Z (2007). Color removal from dye - containing waste water by magnesium chloride. Journal of Environmental Management, 82, 167-172.
- Georgiou D, Aivazidis A, Hatiras J, Gimouhopoulos K (2003). Treatment of cotton textile wastewater using lime and ferrous sulfate. Water Research, 37, 2248-2250.
- Germirli, F, Orhon D, Tünay O (1990). Tekstil Endüstrisinde Atıksu Özelliklerini Etkileyen Faktörler - Örnek Tesislerde Uygulama. İ.T.Ü. 2. Endüstriyel Kirlenme sempozyumu, 95-108, İstanbul.
- Golob V, Vinder A, Simonic M (2005). Efficiency of coagulation / flocculation method for treatment of dye bath effluents. Dyes and Pigments, 67, 93-97.
- Goyal R, Prabhu N.C (2006). Denim Magic. Colourage, 53 (10), 83-86.
- Guatemala Acuerdo Gubernativo (2006). <http://www.elaw.org/node/3734>
- Güngör R (2011). Tesis İçi Geri Kazanım – Yeniden Kullanım Alternatifi Sonrasında Denim Yıkama Atıksularının İnert KOİ'sinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniv. Çorlu Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Tekirdağ.
- Gürses A, Yolcin M, Dogar D (2003). Removal of remazol red RB by using Al (III) as coagulant flocculant; effect of some variables on settling velocity. Water, Air and Soil Pollution, 146, (1-4), 297-318.
- Gregory J, Rossi L (2001). Dynamic testing of water treatment coagulants. Water Science and Technology, Water Supply 1 (4), 65-72.
- Haşçakır B (2003). Utilization of Natural Polyelectrolytes in Wastewater Treatment. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, İzmir.

- He Y, Li F, Jiang J-Q, Wang H (2011). Preparation and Application of Poliferric Sulfate in Drinking Water Treatment. 12<sup>th</sup> International Conference on Environmental Science and Technology, Greece.
- Hidrosiskimya. (2012). <http://hidrosiskimya.net/>
- Hutchings M.G, Ebenezer W.J (1995). Super-Efficient Dyes for the Coloration of Cotton:The Procion XL+Range. Dystar UK Ltd. <http://www.greenchemistrynetwork.org/pdf/Dystar.pdf> (erişim : 23/05/2014).
- Ip W.M. (2009). Enhanced Biodegradation and Adsorption for Treating Dye - Containing Effluents . Yüksek Lisans Tezi, Hong Kong Universitesi, Bilim ve Teknoloji , 403 sayfa.
- Işık M, Sponza T.D (2004).Anaerobic/aerobic Sequential Treatment of a Cotton Textile Mill Wastewater. Journal of Chemical Technology and Biotechnology, Volume 79, Ussue 11 : 1268-1274.
- Integrated Water Discharge Standard (1998). [http:// www.sinoequipment. Com / knowledge detail. asp?Id=56&category=engineering](http://www.sinoequipment.com/knowledge/detail.asp?Id=56&category=engineering)
- İTKİB (2006). Denim Kumaşlar ve Denim Giysiler Üzerine Kısa Bilgiler ile 2010 Yılı tahminleri. İTKİB Genel Sekreterliği Ar & Ge ve Mevzuat Şubesi, [http://www.itkib.org.tr/ihracat/DisTicaretBilgileri/raporlar/dosyalar/DENIM\\_RAPOR\\_2005\\_KAPAKLI.pdf](http://www.itkib.org.tr/ihracat/DisTicaretBilgileri/raporlar/dosyalar/DENIM_RAPOR_2005_KAPAKLI.pdf) (erişim tarihi: 23/05/2014).
- İTKİB (2013). Hazır Giyim ve Konfeksiyon Sektörü 2013 Ocak – Mart İhracat Performans Değerlendirmesi. İTKİB Genel Sekreterliği Ar & Ge ve Mevzuat Şubesi, [https://www.itkib.org.tr/ihracat/DisTicaretBilgileri/raporlar/dosyalar/2013/2013\\_ocak\\_mart\\_konfeksiyon\\_performans.pdf](https://www.itkib.org.tr/ihracat/DisTicaretBilgileri/raporlar/dosyalar/2013/2013_ocak_mart_konfeksiyon_performans.pdf) (erişim tarihi: 23/05/2014)
- Jiang, J.Q, Graham, N.J.D (1998). Pre – polymerised inorganic coagulants and phosphorus removal by coagulation-a review. Water SA 24, 237-244.
- Joo D. J, Shin W. S, Choi J. H, Choi S. J, Kim M. C, Han M. H, Ha T. W, Kim Y. H (2007). Decolorization of reactive dyes using inorganic coagulants and synthetic polymer. Dyes and Pigments, 73, 59-64.
- Joshi M, Purwar R (2004). Developments in new processes for colour removal from effluent, Rev. Prog.Color. 34, 58–71.
- Kao C. M, Chou M. S, Fang W. L, Liu B. W, Huang B. R (2001). Regulating color textile Wastewater by 3/31 wavelength admi methods in Taiwan. Chemosphere, 44, 1055-1063.
- Kapdan İ, Kargı F (2000). Atıksulardan Tekstil Boyar Maddelerinin Adsorpsiyonlu Biyolojik Arıtma ile Giderimi. Turk J Engin Environ TUBİTAK, Sci 24: 161-169.

- Kapdan İ.K, Alparslan S (2004). Tekstil endüstrisi atıksularından anaerobik-aerobik ardışık reaktör sisteminde KOI ve renk giderimi. ÇEVRE 2004 I. Ulusal Çevre Kongresi Cumhuriyet Üniversitesi, Ekim 2004, 217-223.
- Kenya Water Quality Regulations (2006). Licence Application and Renewal As Per Legal Notice 120, <http://www.elaw.org/system/files/ke.WaterQualityReg.pdf>
- Keskinkan O, Göksu M.Z.L, Başbüyük M, Forster C.F (2004). Heavy metal adsorption properties of submerged aquatic plant (*Ceratophyllum demersum*). *Bioresource Technology* 92, 197-200.
- Kim T, Park C, Shin E, Kim S (2003). Effects of Cl-based chemical coagulation on Electrochemical oxidation of textile wastewater. *Desalination*, 155, 59-65.
- Kim T.H, Park C, Shin E.B, Kim S (2004). Decolorization of disperse and reactive dye solutions using ferric chloride, *Desalination* 161, 49-58.
- Koby M, Can O. T, Bayramoglu M. (2003). Treatment of textile wastewaters by Electrocoagulation using iron and aluminium electrodes. *Journal of Hazardous Materials*, B110, 163–178.
- Kocaer O, Alkan U (2002). Boyar Madde İçeren Tekstil Atıksularının Arıtım Alternatifleri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi* 7, 1, 47-55.
- Korkmaz B (2009). Denim Kumaş İmalatı ve Üzerine Uygulanan İşlemler. Yüksek Lisans Tezi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Haliç Üniversitesi.
- Koyuncu I, Topacık D (2003). Effects of Operating Conditions on The Salt Rejection of Nanofiltration Membranes in Reactive Dye / Salt Mixtures. *Separation and Purification Technology*, Elsevier, Volume 33, Issue 3, 1 November 2003, Pages 283–294.
- Kumar M.N.V.R, Sridhar T.R, Bhavani K.D, Dutta P.K (1998). Trends in colour removal in textile mill effluents. *Colourage*. 40, 25–34.
- Laszlo J.A. (1995). Electrolyte effect on hydrolyzed reactive dye binding to quartzized cellulose. *Textile Chemist and Colorists*.27(4), 25.
- Levin L, Papunutti L, Forchiassin F (2004). Evaluation of Argentinean white rot fungi for their ability to produce lignin-modifying enzymes and decolorize industrial dyes. *Bio resource Technology* 94, 2, 169-176.
- Li Y, Ren H, Luan Z (2008). Removal of acid red B from solutions by flocculation with dicyandiamide formaldehyde condensation product. *Chinese journal of Environmental Engineering*, 2008-3.
- Lin S.H, Peng C. F (1994). Treatment of Textile Wastewater by Electrochemical Method, *Water Research*, 28 (2), 277-282.

- Lin S. H, Chen M. L (1997). Treatment of textile wastewater by chemical methods for reuse, *Water Research*, 31 (4), 868-876.
- Lisi, R. D., Lazzara, G., Milioto, S., Muratore, N. (2007). Adsorption of a dye on clay and sand. Use of cyclodextrins as solubility-enhancement agents. *Chemosphere*. 69, 11–20.
- Liu Z, Liu W, Zheng X (2007). Study on the treatment for dyeing wastewater by electro - coagulation floatation method. *Industrial Safety and Environmental Protection*, 2007-4.
- Lourenço N.D, Novais J.M, Pinheiro H.M (1997). Effect of some operational Parametre on textile dye biodegradation in a sequential batch reactor. *Journal of Biotechnology* Volume 89, Issues 2–3, 163–174.
- Lourenço N.D, Novais J.M, Pinheiro H.M (2001). Effect of some operational parameters on textile dye biodegradation in a sequential batch reactor. *Journal of Biotechnology*, 89, 163-174.
- Lu K, Zhang X.L, Zhao Y.L, Wu Z.L (2010). Removal of color from textile dyeing waste water by foam separation. *Journal of Hazardous Materials*, 182, 928-932.
- Mahmoodi N.M, Salehi R, Arami M, Bahrami H (2011). Dye removal from Coloured textile wastewater using chitosan in binary systems. *Desalination* 267, 64-72.
- Malik P. K (2003). Use of activated carbons prepared from sawdust and rice - husk for adsorption of acid dyes: a case study of Acid Yellow 36. *Dyes Pigm.* 56 (3), 239-249.
- Mendez-Sanchez N.C. (2009). Biodecolorization of Paper Mills Wastewater Using Anaerobic Composting, Ph.D. Thesis, Auburn University, Alabama, 197 pages.
- Mishra G, Tripathy M (1993). A Critical review of the treatments for decolouration of textile effluent. *Colourage*. 40, 35–38.
- Mishra A, Srinivasan R, Dubey R (2002). Flocculation of textile wastewater by plantago psyllium mucilage. *Macromolecular Materials and Engineering*, 287, 592-596.
- Mittal A. K, Gupta S.K (1996). Biosorption of cationic dyes by dead macro - fungus *Fomitopsis cornea*: batch studies. *Water Sci. Technol.* 34, 81–87.
- Naimabadi A, Attar H.M, Shahsavani A (2009). Decolorization and biological degradation of azo dye reactive Red2 by anaerobic/aerobic sequential process. *Iranian Journal of environmental Health, Science and Engineering*, 6(2), 67-72.
- Nanda R, Vyas R (2013). Comparative Study of Removal of Colour from Textile Waste Water using Trivalent & Bivalent Metal Ions (Coagulation). *International Journal for Research in Science & Advanced Technologies* Issue-2, Volume-5, 176-181.
- National Secondary Drinking Water Regulations (2012). [http:// www.ehso.com/ehshome/DrinkingWater/drinkingwaterepastds.php](http://www.ehso.com/ehshome/DrinkingWater/drinkingwaterepastds.php)

- NCDEHNR, North Carolina Department of Environment, Health, and Natural Resources (1999). Title 15A, Chapter 2, Subchapter 2B, Section 0400-Effluent Limitations. Raleigh, NC.
- Ng M, Liana A.E, Liu S, Lim M, Chow C.W.K, Wang D, Drikas M, Amal R (2012). Preparation and characterisation of new-polyaluminum chloride-chitosan composite coagulant. Elsevier, water research 46(2012):4614-4620.
- Nova Scotia Environment (2012). [www.gov.ns.ca/nse/water/](http://www.gov.ns.ca/nse/water/)
- O'Neill C, Lopez A, Esteves S, Hawkes F. R, Hawkes D. L, Wicox S (2000). Azo - dye Degradation in an Anaerobic-Aerobic Treatment System Operating on Simulated Textile Effluent. Volume 53, Issue 2, 249-254.
- Ong S.A, Toorisaka E, Hirata M, Hano T (2005). Decolorization of azo dye (Orange II) in a sequential UASB-SBR system. Separation and Purification Technology, 42, 297-302.
- Orta Anadolu, 2006. Denim Yıkama Kitapçığı. Denim Academy, Kayseri.
- Ölmez T (1999). Tekstil Endüstrisinde Reaktif Boya Banyolarında Ozon ile Renk Giderimi, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 103s.
- Özacar M, Sengil A. I (2005). Adsorption of metal complex dyes from aqueous solutions by pine sawdust, Biores. Technol. 96, 791–795.
- Özcan Y, Ulusoy E (1984). Tekstil Elyaf ve Boyama Tekniği, Fatih Yayınevi, İstanbul, 598 s
- Özdemir D, Duran K (2006). Denim Mamullerinin Ağartılmasında Kullanılan Sodyum hipoklorit ve Potasyum permanganat Yöntemlerine Alternatif Yöntemlerin Araştırılması. Ege Üniversitesi.
- Paprowicz J, Slodczyk S (1988). Application of Biologically Activated Sorptive Columns for Textile Wastewater Treatment, Environmental Tech. Lett, 9.
- Porter J, Snider E (1976). Long - Term Biodegradability of Textile Chemicals, J. Water Pollution Control Federation, 48.
- Proposed National Water Quality Standards for Malaysia (2010). [http://www.sabah.gov.my/jpas/Assessment/eia/speias/Benta/eia/AnnexB/AnnexB\\_1.pdf](http://www.sabah.gov.my/jpas/Assessment/eia/speias/Benta/eia/AnnexB/AnnexB_1.pdf)
- Rahman I. R, Saad B, Shaidan S, Sya R. E. S (2005). Adsorption characteristics of malachite green on activated carbon derived from rice husks produced by chemical-thermal process. Biores. Technol. 96, 1578–1583.
- Rauf M. A, Shehadi I. A, Hassan W. W (2007). Studies on the removal of neutral red on sand from aqueous solution and its kinetic behaviour. Dyes Pigments. 75, 723–726.
- Reife A, Freeman H. S (1996). Environmental chemistry of dyes pigments. Wiley, New York.

- Relevant Indian Standards (2012). [http://www.pcbassam.org/EIAREPORT/OIL/APPENDICES .pdf](http://www.pcbassam.org/EIAREPORT/OIL/APPENDICES.pdf)
- Renault F, Sancey B, Badot P. M, Crini G (2009). Chitosan for coagulation / flocculation processes – An eco-friendly approach. Elsevier, European Polymer Journal 45 (2009) 1337–1348.
- Robinson T, McMullan G, Marchant R and Nigam P (2001). Remediation of Dyes in Textile Effluent: A Critical Review on Current Treatment Technologies With a Proposed Alternative. *Bioresource Technology*, 77, 247-255.
- Rotta Kimya (2005). Yıkama semineri.
- Rozada F, Calvo L, Garcia A, Martin - Villacorta J, Otero M (2002). Dye Adsorption by Sewage Sludge-Based Activated Carbons in Batch and Fixed-Bed Systems. *Bioresource Technology*, 87, pp. 221-230.
- Sanghi R, Bhattacharya B (2005). Comparative evaluation of natural polyelectrolytes psyllium and chitosan as coagulant aids for decolourisation of dye solutions. *Water Quality Research Journal of Canada*, 40, 97-101.
- Sanghi R, Bhattacharya B, Dixit A, Singh V (2006). Ipomoea dasysperma seed gum: An effective natural coagulant for the decolorization of textile dye solutions. Elsevier, *Journal of Environmental Management* 81 (2006) 36–41.
- Sarıkaya Y, Ceylan H, Bozdoğan (1989). Asitle Aktivasyonun Bir Bentonitin Gözenekli Yapısına Etkisi. IV. Ulusal Kil Sempozyumu, 203-211, Sivas.
- Sefer O (2009). Çevre Dostu Organik Denim Terbiyesinin Klasik Denim Terbiyesiyle Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Semerjian L, Ayoub G.M (2003). High pH magnesium coagulation flocculation in wastewater treatment. *Advances in Environmental Research*, 7, 389-403.
- Sevimli M.F (2000). Tekstil Endüstrisi Atıksularından Ozonlama ile Renk Giderimi ve Ozonlamanın Biyolojik Arıtılabilirliğe Etkisi. İTÜ İnşaat Fakültesi.
- Shi B, Li G, Wang D, Feng C, Tang H (2007). Removal of direct dyes by coagulation: The performance of preformed polymeric aluminum species. Elsevier, *Journal of Hazardous Materials* 143 (2007) 567–574.
- Shi Y, Ju B, Zhang S (2012). Flocculation behavior of a new recyclable flocculant based on pH responsive tertiary amine starch ether. Elsevier, *Carbohydrate Polymers* 88 (2012) 132–138.
- Shu H, Huang C (1995). Ultraviolet Enhanced Oxidation for Colour Removal of Azo Dye Wastewater. *American Dyestuff Reporter*, 1995, pp. 30-34.
- SKKY (2011). Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği , TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.

- Slokar Y.M, Majcen L.M.A (1998). Dyes and Pigments. Elsevier Methods of Decoloration of Textile Wastewaters, volume 37, Issue 4, 353-356.
- Snider E. H, Porter J. J (1974). Ozone Destruction of Selected Dyes in Wastewater. American Dyestuff Reporter, August, 36-48.
- Soyhan B (1998). Tekstil Boyama Atıksularının Arıtılabilirliği, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Y. Lisans Tezi, İstanbul.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998). 20th edn, American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, USA.
- Sternberg P.K, Dorn W (2002). Cadmium removal using Cladophora in batch, semi batch and flow reactors. Bioresource Technology 81, 249-255.
- Suksaroj C, Heran M, Allegre C, Persin F (2005). Treatment of textile plant effluent by nano filtration and /or reverse osmosis for water reuse. Desalination, 178, 333-341.
- Szygula A, Guibal E, Palacin M.A, Ruiz M, Sastre A.M (2009). Removal of an anionic dye (Acid Blue 92) by coagulation-flocculation using chitosan. Journal of Environmental Management 90, 2979e2986.
- Şengül F, Küçükgül Y (1995). Çevre Mühendisliğinde Fiziksel – Kimyasal Temel İşlemler ve Süreçler. D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Yayın No:153 3.baskı 1995
- Tahran M (2005). Eskitme Yöntemlerinin Denim Mamullerinin Performans Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tan B.H, Teng T.T, Omar A.K.M (2000). Removal of dyes and industrial dye wastes by magnesium chloride. Water Research, 34, 597-601.
- Topacık D, Koyuncu I (1998). "Cost of Water Treatment with Membrane Technology", International Symposium on Water Supply and Treatment , 25-26 May 1998, İstanbul.
- Turabik M, Kumbur H (2002). Sulu Çözeltilerinden Bazı Azo Boyaların Bentonit Kili Kullanımı ile Giderilmesi. 8.Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu, 391-400, İstanbul.
- Tutuş A, Çelik M.S (2009). Kağıt Endüstrisinde Bentonit ile birlikte Kullanılan Polimerlerin Tutunma ve Kağıt Özellikleri Üzerine Etkisi. Engineerinf Sciences, e-Journal of New World Sciences Academy 2010, Volume: 5, 2.
- Tübitak (2013). Boyar Madde İçeren Atıksular için Deşarj Renk Standardının Belirlenmesi ve Arıtım Teknolojilerinin Araştırılması, 109G083 no'lu Tübitak Kamag Projesi El Kitabı.
- Tünay O (1996). Çevre Mühendisliğinde Kimyasal Süreçler İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Basımevi, İstanbul.



- Türkant B (2008). Türkiye'nin Denim Kumaş ve Konfeksiyon Dış Ticareti ile Dünya Denim Pazarı İçin 2014 Tahminleri, İTKİB Genel Sekreterliği AR-GE ve Mevzuat Şubesi.
- Tünay O (1988). Tekstil Endüstrisi Atıksularının Arıtılmasında Kullanılan Yöntem ve Yaklaşımlar, Tekstil ve Teknik, Mayıs 1988, 98-101.
- Tünay O, Tameroglu O, Baykal N, Afşarunal F, Ödemiş E (1989). Pretreatment of Textile Processing Wastewaters. International Symposium on Waste Management Problems in Agro-Industries, Istanbul, 25-27 September, 17-24.
- TTSD (2002). IPPC Tekstil Sanayi için En Uygun Teknikler (MET) Referand Dökümanı ve İlgili Yönetmelikler. Türkiye Tekstil Terbiye Sanayicileri Derneği, Meta Basım Matbaacılık Hizmetleri, 747, İzmir.
- UNEP (1991). <http://www.unep.org/padeli/publications/comp6Nigeria.pdf>
- UNEP IE, 1994. The Textile Industry and The Environment, Technical Report.
- Uzal N (2007). Recovery and reuse of indigo dyeing wastewater using membrane technology Doktora tezi, ODTÜ, Ankara.
- ÜLKEM Kimya (2012). [www.ulkemkimya.com.tr](http://www.ulkemkimya.com.tr)
- Verma A. K, Dash R. R, Bhunia P (2012). A review on chemical coagulation / flocculation technologies for removal of colour from textile wastewaters. Journal of Environmental Management, 93, 154-168.
- Walker M, Weatherley R (1997). Adsorbtion of Acid Dyes On to Granular Activated Carbon in Fixed Beds, Water Resource, 31, 2093-2101.
- Wang H, Min X, Chai L, Shu Y (2011). Biological preparation and application of poly-ferric sulfate flocculant. Elsevier, Trand Nonferrous Met. Soc. China 21, 2542-2547.
- Wang X, Zeng G, Zhu J (2008). Treatment of jean-wash wastewater by combined oagulation, hydrolysis/acidification and Fenton oxidation. Elsevier, Journal of Hazardous Materials 153 (2008) 810–816.
- Wang Y, Gao B-Y, Yue Q-Y, Wei J-C, Zhou W-Z, Gu R (2010). Color removal from textile industry wastewater using composite flocculants. Environmental Technology, Vol. 28. 629-637.
- Wang L, Wang W (2004). Application research on polymer organic flocculants. Science & Technology of Baotou Steel (Group)Corporation, 2004-05.
- Water Environment Guidelines (2010). Guideline No. EN-016 Water Environment Guidelines ,July.
- Water Sources Board (2012). Proposed removal of the numeric criteria for color, State of Oklahoma.

- Wei J, Gao B, Yue Q, Wang Y (2009). Effect of dosing method on color removal performance and flocculation Dynamics of polyferric-organic polymer dual-coagulant in synthetic dyeing solution. Elsevier, Chemical Engineering Journal 151 (2009) 176–182.
- Wei Y, Cheng F, Zheng H (2008). Synthesis and flocculating properties of cationic starch derivatives. Elsevier, Carbohydrate Polymers 74 (2008) 673–679.
- WEPA Forum (2007). <http://www.wepa-db.net/pdf/0712forum/presentation04.pdf>
- Wisconsin State Government, Department of Natural Resources (1997). Categories and Classes of Point Sources and Effluent Limitations, Chapter NR 220, Wisconsin State Government, Wisconsin.
- Xu X, Zeng X, Lu X, Chen Y, Sun H (2003). Study of a high - efficiency decolorant for treatment of wastewater from dye-stuff production. Industrial Water & Wastewater, 2003-01.
- Yakartepe Z (2005). Büyük Tekstil / Büyük Terbiye Ansiklopedisi / Büyük Konfeksiyon Ansiklopedisi / 1.baskı Tekstil ve Konfeksiyon Araştırma Merkezi Yayınları.
- Yeap K.L, Teng T.T, Poh B.T, Morad N, Lee K.E (2014). Preparation and characterization of coagulation/flocculation behavior of a novel inorganic–organic hybrid polymer for reactive and disperse dyes removal. Chemical Engineering Journal.
- Yıldız Töre G (2005). Akrilik ve Polyamid Esaslı Halı Terbiyesi Atıksularının Karakterizasyonu ve Biyolojik Arıtılabilirliği, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Yıldız Töre G, Güngör R, Yavuz S (2010). Biyolojik Arıtma Sonrası Granüler Filtrasyon ile Denim Yıkama Atıksularının Geri Kazanım Verimliliğinin Değerlendirilmesi, sh. 227-240, İTÜ 12. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu, 16-18 Haziran 2010, İstanbul, Türkiye.
- Yıldız Töre G, Çelik S.Ö, Gürkan R, Kırhan Sesler Ş (2014). Determination of the Best Available Coagulation/Flocculation Technology with novel pre-hydrolysed coagulants for Colour removal from biologically treated textile wastewater. 2<sup>nd</sup> International Conference On Environmental Science and Technology – ICOES’-2014-SIDE, 14-17 Mayıs 2014 (Basım aşamasında).
- Yiğit N.Ö (2013). Atıksularda Renk Parametresi ve Ölçüm Yöntemleri. Süleyman Demirel Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Isparta.
- Yu Y, Zhuang Y.Y, Li Y, Qiu M.Q (2002). Effect of dye structure on the interaction between organic flocculant PAN-DCD and dye. Industrial & Engineering Chemistry Research, 41(6), 1589-1596.
- Yu Y, Feng H, Yang W (2004). Research on high efficiency flocculation of dicyandiamide-Formaldehyde for treatment of wastewater from dyeing industry. Jiangsu Chemical Industry, 2004-2.

Zahrim A.Y, Tizaoui C, Hilal N (2011). Coagulation with polymers for nanofiltration pre-treatment of highly concentrated dyes: A review. Elsevier, Desalination 266 (2011) 1 - 16.

Zhang Q.H, Tang X, Luo T.C, (1995). Carboxymethyl chitosan treatment of dyeing wastewater. Journal of Environmental Pollution and Control 17 (50), 7-9.

Zhu G, Zheng H, Chen W, Fan W, Zhang P, Tshukudu P (2012). Preparation of a composite coagulant: Polymeric aluminum ferric sulfate (PAFS) for wastewater treatment. Elsevier, Desalination 285 (2012) 315–323.

[www.alibaba.com](http://www.alibaba.com) (erişim tarihi 23/05/2014)

<http://www.tekstilokulu.net/smfforum/index.php?topic=5.0> (erişim tarihi 23/05/2014)

<http://tekstilttime.blogcu.com/denim-kumasin-genel-ozellikleri/1460896>  
(erişim tarihi:23.05.2014)

## **ÖZGEÇMİŞ**

Şenay KIRHAN SESLER 1973 yılında Babaeski’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Babaeski’de, lise öğrenimini İstanbul’da, lisans Eğitimini Trakya Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi’nde tamamladı. Özel bir firmada Çevre Yönetim Sistem Müdürü olarak çalışmaktadır.