



**T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ANAEROBİK PERDELİ REAKTÖR KULLANILARAK GERÇEK
TEKSTİL ATIKSULARININ RENK GİDERİM PERFORMANSININ
DEĞERLENDİRİLMESİ**

HATİCE ÖZBEBEK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

KAHRAMANMARAŞ 2014

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ANAEROBİK PERDELİ REAKTÖR
KULLANILARAK GERÇEK TEKSTİL
ATIKSULARININ RENK GİDERİM
PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

HATİCE ÖZBEBEK

Bu tez,
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS
derecesi için hazırlanmıştır.

KAHRAMANMARAŞ 2014

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü öğrencisi Hatice ÖZBEBEK tarafından hazırlanan “Anaerobik Perdeli Reaktör Kullanılarak Gerçek Tekstil Atıksularının Renk Giderim Performansının Değerlendirilmesi” adlı bu tez, jürimiz tarafından 13/02/2014 tarihinde oy birliği / oy çokluğu ile Çevre Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç.Dr. Kevser CIRIK (DANIŞMAN)

.....

Çevre Mühendisliği, Sütçü İmam Üniv.

Yrd. Doç.Dr. Yakup CUCİ (ÜYE)

.....

Çevre Mühendisliği, Sütçü İmam Üniv.

Yrd. Doç.Dr. İsmail TİYEK (ÜYE)

.....

Tekstil Mühendisliği, Sütçü İmam Üniv.

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. M. Hakkı ALMA

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Hatice ÖZBEBEK

Bu çalışma Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Lisansüstü Tez Projesi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: 2013/2-6 YLS

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

**ANAEROBİK PERDELİ REAKTÖR KULLANILARAK GERÇEK TEKSTİL
ATIKSULARININ RENK GİDERİM PERFORMANSININ
DEĞERLENDİRİLMESİ
(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

**Hatice ÖZBEBEK
ÖZET**

Tekstil endüstrisi atıksuları, dünya çapında ciddi kirlilik problemlerinin ana kaynaklarından biri olarak bilinmektedir. Özellikle çevreye toksik ve kalıcı etkilerinden dolayı, yüksek şekilde renkli atıksuların salınması ciddi çevresel problemler oluşturmakla birlikte bu durum halk sağlığını yakından ilgilendirmektedir. Bu sebeple, birçok araştırmacı tekstil atıksularından renklerin giderilmesi konusunda araştırma yapmaktadır.

Bu çalışmada renk içeren gerçek tekstil atıksularının anaerobik perdeli reaktör (APR) kullanılarak biyolojik olarak arıtılabilirliği ve reaktör çıkış suyuna uygulanan ozonlama prosesinin uygunluğu incelenmiştir. Çalışmada, 19 litre çalışma hacimli dört fazlı APR, ortalama 1000mg/L kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), yaklaşık RES $52\text{m}^{-1}(\lambda_{436})$, $55\text{m}^{-1}(\lambda_{525})$, $68\text{m}^{-1}(\lambda_{620})$, yaklaşık 3500 Pt-Co renk içeren gerçek tekstil atıksuyu ile beslenmiş ve farklı işletme şartları altında değerlendirilmiştir. İlk olarak APR performansı üzerinde harici substrat olarak glikozun etkisi değerlendirilmiştir. Dış substratın eklenmesi ile ortalama 1500 ve 2000 mg/L giriş KOİ ye bağlı olarak, KOİ nin arttığında APR'nin daha iyi çalıştığı ve APR'nin KOİ ve renk giderim veriminin RES((λ_{436}) , (λ_{525}) , (λ_{620})), Pt-Co(λ_{465})), sırasıyla % 66,92 ve %73,06; 70,81; 74,16; 69,69'a ulaştığı görülmüştür. Ek olarak renk ve KOİ nin giderimini araştırmak için anaerobik arıtımı takip eden ozonlama işlemi uygulanmıştır. Yaklaşık olarak 75 dakika ozonlama süresinde, son ozonlama aracılığıyla toplam KOİ ve renk giderimi ((λ_{436}) , (λ_{525}) , (λ_{620}) , Pt-Co(λ_{465})) sırasıyla, % 41,8 ve % 82,85; % 94,78; % 99,2 ve % 68,55'e ulaşmıştır.

Çalışmadan elde edilen bilimsel verilerin tekstil atık su arıtımı yapan tesislerde kullanılarak, arıtımın yapılmasına yardımcı olması amaçlanmıştır.

Keywords: Tekstil atıksuyu, renk giderimi, KOİ giderimi, ozon, ikincil arıtım (ozonlama prosesi)

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Şubat /2014

Danışman: Yrd.Doç.Dr. Kevser CIRIK

Sayfa sayısı: 53

**ASSESSMENT OF COLOR REMOVAL PERFORMANCE OF ANAEROBIC
BAFFLED REACTOR TREATING REAL TEXTILE WASTEWATERS**

(M.Sc. THESIS)

HATİCE ÖZBEBEK

SUMMARY

The textile industry wastewaters are known as one of the main sources of severe pollution problems worldwide. Mainly because of toxic and permanent effects to environment, creating serious environmental problems as a result of discharging highly coloured wastewaters, it is closely related with the public health. Dispersment of colours in textile wastewaters pushed many researchers to study on this scope.

In this study, biological treatment of coloured real textile wastewater using Anaerobic Baffled Reactor (ABR) and adequity of ozonation process for reactor effluent were investigated. In this study, four stage ABR with a working volume of 19 L was fed with real textile effluent containing chemical oxygen demand (COD) of about 1000mg/L, color of $52\text{m}^{-1}(\lambda_{436})$, $55\text{m}^{-1}(\lambda_{525})$, $68\text{m}^{-1}(\lambda_{620})$, 3500 Pt-Co and assessed under varying operational conditions. Initially effect of glucose as external substrate on ABR performance was assessed. As a result of increasing influent COD by external substrate addition, corresponding to 1500 and 2000 mg/L, ABR performed better and, COD and color removal efficiency ((λ_{436}) , (λ_{525}) , (λ_{620}) , Pt-Co(λ_{465})) of the ABR reached to 66.92 % and 73.06; 70.81; 74.16; 69.69% respectively. Additionally, ozonation was applied after anaerobic treatment to investigate the removal of the color and COD. The overall COD and color removal efficiencies ((λ_{436}) , (λ_{525}) , (λ_{620}) , Pt-Co(λ_{465})) via post-ozonation were 41.8% and % 82.85; 94.78; 99.2 and 68.55 %, respectively for 75 minutes of ozonation duration.

It is aimed to assist the plants for treatment of textile wastewater using the scientific data found out from the studies.

Keywords: Textile wastewater, color removal, ozone, COD removal, post- ozonation

UNIVERSITY of KAHRAMANMARAS SUTCU IMAM
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environment an Engineer, February /2014

Supervisor: Yrd. Doç. Dr. Kevser CIRIK

Page number: 53

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca her türlü bilgi ve deneyimleriyle danışmanlığımı yürüten ve ayrıca manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli hocalarım Prof. Dr. Özer ÇINAR ve Yrd. Doç. Dr. Kevser CIRIK’a sonsuz şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmalarımın yürütülmesinde bana her türlü laboratuvar imkanı sağlayan Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümüne ve CNR Research Gruba teşekkür ederim. Tez çalışmalarında bana destek veren sevgili arkadaşlarım Şebnem ÖZDEMİR ve Dilek AKMAN’a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Yüksek lisansımı tamamlamam noktasında beni sürekli teşvik eden mesai arkadaşım Yaşar YAŞAR ağabeyime teşekkürü bir borç bilirim.

Öğrenim hayatım boyunca gösterdikleri maddi manevi her türlü destekleri ve fedakarlıkları için anneme, babama ve kardeşlerime (özellikle Türkçe Öğretmeni Tamer OKUÇ’a) en içten teşekkürlerimi sunarım. Gücümü varlıklarından aldığım eşim Çevre Mühendisi Coşkun ÖZBEBEK’e ve biricik kızıma manevi desteklerinden ve her türlü yardımlarından dolayı teşekkür ederim.

Hatice ÖZBEBEK

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
SUMMARY	ii
TEŞEKKÜRLER	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
1.GİRİŞ	1
2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
2.1. Tekstil Endüstrisinin Tanımı ve Sınıflandırılması	3
2.1.1. Pamuklu tekstil endüstrisi	3
2.1.2. Yünlü tekstil endüstrisi	3
2.1.3. Rejenere ve sentetik tekstil endüstrisi	4
2.2. Tekstil Endüstrisinin Alt Kategorilere Ayrılması	4
2.3. Tekstil Endüstrisi Genel Prosesleri	5
2.3.1. Haşılama	8
2.3.2. Haşıl sökme	9
2.3.3. Yıkama	9
2.3.4. Yün karbonizasyonu	10
2.3.5. Keçeleştirme	10
2.3.6. Ağartma	11
2.3.7. Pamuk mersevizasyonu	11
2.3.8. Boyama	11
2.3.9. Baskı	13
2.3.10. Apreleme	13
2.4. Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Boyar Maddeler	13
2.4.1. Boyar maddelerin kimyasal yapılarına göre sınıflandırılması	16
2.4.2. Boyar maddelerin çözünürlüklerine göre sınıflandırılması	17
2.4.2.1. Suda çözünen boyarmaddeler	17
2.4.2.2. Suda çözünmeyen boyarmaddeler	17
2.4.3. Boyar Maddelerin boyama özelliklerine göre sınıflandırılması ve kullanımları	18
2.4.3.1. Bazik(katyonik) boyarmaddeler	18
2.4.3.2. Asit boyarmaddeler	18
2.4.3.3. Direkt boyarmaddeler	18
2.4.3.4. Mordan boyarmaddeler	19
2.4.3.5. Reaktif boyarmaddeler	19
2.4.3.6. Küpe boyarmaddeler	19
2.4.3.7. Dispers boyarmaddeler	19
2.4.3.8. Sülfür boyarmaddeler	20
2.4.3.9. Geliştirilmiş boyarmaddeler	20
2.4.3.10. Anilin siyahı	20
2.5. Tekstil Endüstrisinde Renk Parametresi	20

	<u>Sayfa No</u>
2.5.1. Renk ölçüm yöntemleri	21
2.6. Renk Giderme Yöntemleri	24
2.6.1. Fiziksel yöntemler	24
2.6.2. Kimyasal yöntemler	25
2.6.2.1. Ozon prosesi	27
2.6.3. Biyolojik yöntemler	29
2.6.3.1. Anaerobik perdeli reaktör (APR)	31
3. MATERYAL VE METOT	33
3.1. Deneysel Plan	33
3.1.1. Mikroorganizma temini	33
3.1.2. Atıksu içeriği	33
3.1.3. Proses aşamaları	33
3.1.3.1. I.Aşama: APR'de biyolojik arıtım	34
3.1.3.2. II.Aşama:Biyojik arıtım sonrası ozonlama prosesi	35
3.2. Analitik Yöntemler	36
3.2.1. KOİ	36
3.2.2. Renk	36
3.3. Hesaplamalar	36
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	37
4.1. Biyolojik Renk ve KOİ Gideriminin APR'de İncelenmesi	37
4.2. Biyolojik Arıtım Sonrası Ozonlama Prosesinin İncelenmesi	43
5. SONUÇ	47
KAYNAKLAR	48
ÖZGEÇMİŞ	53

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

APR	:	Anaerobik Perdeli Reaktör
AKM	:	Askıda Katı Madde
KOİ	:	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
BOİ	:	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
HRT	:	Hidrolik Bekleme Zamanı
OLR	:	Organik Yükleme Oranları
AOPs	:	İleri Oksidasyon Prosesleri

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Tekstil endüstrisinde yer alan genel proses basamakları	6
Şekil 3.1. Anaerobik Perdeli Reaktör (APR)	31
Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan deneysel plan	34
Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan anaerobik perdeli reaktör (APR)	40
Şekil 4.1. Anaerobik Perdeli Reaktör’de KOİ giderim verimleri	38
Şekil 4.2. Farklı KOİ konsantrasyonlarının renk (RES (m ⁻¹) (λ_{436})) giderimine etkisi	39
Şekil 4.3. Farklı KOİ konsantrasyonlarının renk (RES (m ⁻¹) (λ_{525})) giderimine etkisi	40
Şekil 4.4. Farklı KOİ konsantrasyonlarının renk (RES (m ⁻¹) (λ_{620})) giderimine etkisi	41
Şekil 4.5. Farklı KOİ konsantrasyonlarının renk (Pt-Co (λ_{465})) giderimine etkisi	42
Şekil 4.6. Farklı ozonlama sürelerinin KOİ giderimine etkisi	44
Şekil 4.7. Farklı ozonlama sürelerinin Renk (RES (m ⁻¹) (λ_{436} , λ_{525} ve λ_{620}) giderimine etkisi	45
Şekil 4.8. Farklı ozonlama sürelerinin Renk (Pt-Co (λ_{465})) giderimine etkisi	46

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 2.1. Farklı tekstil endüstrilerine ait işlem basamakları ve atıksu karakterizasyonu	7
Çizelge 2.2. Boyama prosesinde kullanılan kimyasal maddeler	12
Çizelge 2.3. Boyama atıksularının karakteristikleri	14
Çizelge 2.4 Tekstil endüstrisinde kullanılan boyaların özellikleri	16
Çizelge 2.5. Elektromanyetik spektrum bölgeleri ve dalga boyu/reng arasındaki ilişki	22
Çizelge 2.6. Atıksulardaki rengin ölçülmesinde kullanılan kantitatif metotlar	23
Çizelge 3.1. Anaerobik perdeli reaktörün işletme koşulları	35
Çizelge 4.1. Biyolojik arıtma sonrası atıksu karakterizasyonu	45

1. GİRİŞ

Tekstil endüstrileri yüksek miktarda su tüketirler ve boyama ve tamamlama proseslerinde farklı aşamalarda, çevresel açıdan büyük önem taşıyan renk materyalleri, büyük miktarda askıda katı madde (AKM), ve yüksek kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) içeren büyük miktarlarda atıksu üretmektedirler.

Boyama proseslerinden çıkan atıksular genellikle oldukça renkli oldukları için herhangi bir arıtmadan geçmeden alıcı su kaynaklarına verilmesi olanaksızdır. Bu atıksular içerdikleri kompleks aromatik moleküler yapıdaki boyar maddelerden dolayı gerek biyolojik olarak parçalanmalarının zor olması, gerekse de canlılar üzerinde toksik etki oluşturmaları sebebiyle arıtılmaları zorunlu ve problemlidir.

Literatürde yapılan çalışmalarda, çeşitli kimyasal arıtım prosesleri bu atıksuların renginin giderilmesinde kullanılmış fakat bu proseslerin sonucunda ayrıca uzaklaştırılması gereken yüksek miktarda kimyasal bir çamur üretimi sorunu ortaya çıkmıştır. Bunların yanı sıra, elektrokimyasal yıkım, ileri oksidasyon ve adsorpsiyon gibi çeşitli teknolojiler renk giderimi amacıyla kullanılmaktadır. Fakat bu teknikler genellikle kompleks prosesler içermektedirler veya ekonomik olarak uygun olmamaktadır.

Fiziksel ve kimyasal yöntemlerin her boya türünde renk gideriminin aynı verimlilikte olmaması, bu yöntemlerle yapılan uygulamalarının da sınırlı olmasına neden olmuştur. Bu nedenle, büyük hacimli tekstil atıksularından boyar maddelerin etkili ve ekonomik bir şekilde giderilebilmesi için, biyolojik sistemler gibi alternatif yöntemlere gereksinim duyulmuştur.

Boya malzemeleri, kimyasal ve ışık kaynaklı oksidatif etkiler sonucu renklerinin solmamasını sağlayacak şekilde sentezlenmeleri sebebiyle genellikle aerobik arıtım prosesleri ile biyolojik yıkıma uygun değildirler. Azo bileşiklerinin biyolojik ayrışmasında ilk basamak, azo bağının kırılmasıdır. Bu reaksiyon, anaerobik koşullar altında çeşitli biyolojik sistemler tarafından katalizlenir ve aromatik amin birikimine yol açar. Anaerobik arıtmada oluşan aromatik aminler görünür bölgede ışığı absorplamadığı için renksizdirler. Bu sebeple, boyar maddelerin arıtımında ilk aşama olan anaerobik basamakta azo boyaların rengi giderilir.

Anaerobik arıtım sonucunda oluşan aromatik amin metabolitlerinin büyük çoğunluğunun anaerobik koşullar altında rekalsitrant yani biyolojik parçalanmaya dayanıklı, fakat aerobik şartlar altında bakteriler tarafından biyolojik ayrışmaya uygun olduğu gözlenmiştir. Bu sebeple, azo boyaların tamamen parçalanmasını sağlamak için, iki aşamalı biyolojik arıtım sistemleri

geliştirilmiştir. İlk aşamada azo boyanın indirgenmesi ile oluşan aromatik amin bileşiklerinin ikinci aşamada aerobik oksidasyonla mineralizasyonu sağlanmaktadır.

Biyolojik arıtım prosesinde, en önemli ve ilk basamağı oluşturan anaerobik süreçte azo boyaların indirgenmesi, mikrobiyal elektron taşınım zincirinde bir son elektron alıcısı olarak boyanın indirgenmesiyle gerçekleşmektedir. Bu reaksiyonda atıksudaki organik maddeler çoğunlukla elektron vericisi olarak görev yapmaktadır. Eğer atıksularda yeterli miktarda organik madde yoksa (KOİ), renk giderimi yetersiz kalmaktadır.

Biyolojik metotlar genelde ucuzdur ve uygulamak kolaydır ve hâlihazırda boyama ve tekstil atıksularından organikleri ve rengi giderir. Ancak biyolojik arıtma genellikle atıksu rengini gidermek için yetersizdir. Biyolojik bir işlemde sonra göze çarpan bir renk giderimine ulaşmak için, tipik olarak aktif karbon ile absorpsiyon, membran filtrasyon, ozonizasyon, koagülasyon, flokülasyon, fotokatalitik ayrıştırma ve elektrokimyasal teknikler gibi tekniklerle çalışan göreceli olarak pahalı üçüncül arıtmaların daha ileri bir uygulamasını gerektirir. Ancak ozonlu kimyasal oksidasyon, yüksek renk giderim etkilerine ulaşmak ve çamur oluşumu olmaksızın bioayrışmayı geliştirmek için tekstil operasyonlarında kullanılan boyalarda en tercih edilen prosestir.

Ozonlama, oksitleme elemanı ozon olan oksidatif bir işlemdir. Atıksu arıtımda ozon kullanımına ilgi bu işlemin birçok avantajı yüzünden son yıllarda oldukça artmıştır. Ozonlama da gerçekleşen reaksiyonlar ozon ve atıktaki mevcut organik bileşikler arasında doğrudan veya OH^- radikalleri yoluyla dolaylı olarak gerçekleşir. Ozonlama prosesi hem minimum toksik yan ürünler üretir ve hem de onun atıklara öncelikli uygulaması daha yavaş bioayrışabilir KOİ'yi daha basit bileşenlere çevirerek veya inert organik madde miktarını azaltarak onların biyolojik ayrışmalarını genişletir. Diğer yandan biyolojik arıtım sonrası uygulanan ozonlama işleminin atık kalitesi üzerinde güçlendirici bir etkisi olabilir. Bundan dolayı ozon uygulaması için uygun lokasyonun seçimi temel oluşturmak adına önemlidir.

Anaerobik perdeli reaktör (APR) kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmanın ana hedefi anaerobik biyolojik parçalanma işleminde (harici substrat eklemesi yapılarak) ve sonrasında kimyasal arıtım olan ozonlama prosesi tarafından gerçek tekstil atıksuyunda KOİ ve renk gideriminin sağlanmasıdır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Tekstil Endüstrisinin Tanımı ve Sınıflandırılması

Tekstil endüstrisi kategorisi tabii ve fabrikasyon elyafları kullanarak kumaş ve diğer tekstil ürünleri üreten tesisleri kapsar. Fabrikasyon elyafların üretimi ve giyim sanayii bu kategori dışındadır. Tekstil endüstrisi tabii ve fabrikasyon ipliklerin hazırlanması, dokuma örme veya başka yöntemlerle kumaş, triko, halı gibi tekstil ürünleri haline getirilmesi, iplik ve kumaşlara boya, baskı, apre gibi terbiye işlemlerinin uygulanması işlemlerini içerir (Tünay, 1996; Gökkuş, 2006).

Tekstil endüstrilerinde kullanılan hammadde göz önünde bulundurulduğunda, endüstri genel olarak yünlü tekstil, pamuklu tekstil ile rejenere ve sentetik tekstiller olarak 3'e ayrılmaktadır. Şekil 2.1.'de gösterildiği gibi proses basamakları uygulanan işleme göre değişiklik göstermektedir ve açığa çıkan atıksular uygulanan materyal ve prosese göre farklı kirlilik yüklerine sahip olmaktadır. Örneğin haşıllama işleminde açığa çıkan atıksu miktarı düşük, fakat kirlilik yükü yüksektir. Yıkama, boyama ve ağartma işlemleri büyük miktarda su kullanımını gerektirdiğinden açığa çıkan atıksu hacimleri oldukça yüksektir.

2.1.1. Pamuklu tekstil endüstrisi

Pamuk elyafı, iplik yapımı, dokuma hazırlık ve ürünlerin terbiyesi olarak üç aşamada işlenir. İplik yapımı, açma temizleme, tarama, çekme, eğirme, bobinleme gibi işlemleri kapsar. Bunlar çoğunlukla mekanik kuru işlemlerdir. Dokuma, hazırlık işlemleri, bobin ve çile hazırlanması, çözgüler, haşıllama ve dokuma işlemlerini kapsar, bu işlemler de kuru işlemlerdir. Terbiye işlemlerinde önemli miktarlarda su kullanımı vardır. Başlıca terbiye işlemleri; haşıl sökme, yıkama, pişirme, merserizasyon, kasar, boyama ve apreleme işlemlerdir (Gökkuş, 2006).

2.1.2. Yünlü tekstil

Pamuklu tekstil ile aynı aşamalarda gerçekleştirilen yünlü tekstil işlemlerinde ilk ve en önemli fark yünün yıkanmasıdır. Çok kirli yağlı atıksu oluşturan bu işlem ayrı bir altkategori oluşturur. İlk aşamada yüne, taraklama gibi işlemler yapılır ve kamgarn veya strayhgarn iplik olarak sentetik madde katkıları da yapılarak bobinlere sarılır ve dokunur. Terbiye işlemleri arasında karbonizasyon, dinkleme, yıkama, boyama ve apre işlemleri yapılır. Boyamada başlıca asit, metalize ve mordant boyalar kullanılır, sonra sıcak su

veya kimyasal maddeler ile fiksaj yapılır. Apre işlemleri keçeleşmezlik işlemi ve pamuklu kumaşlara uygulanan diğer işlemleri kapsar (Gökkuş, 2006).

2.1.3. Rejenere ve sentetik tekstiller

Selülozik ve organik polimerlerin elyafları pamuk ve yünlülere karıştırılarak veya ayrı olarak iplik hazırlama, haşıl sökme, boyama ve apre işlemlerinden geçer. Boyamada asit, bazik dispers, naftol gibi boyalar kullanılır. Sentetik, iplik üretiminde lif çekimi, liflerin terbiyesi, yıkama, ağartma, boyama işlemleri bulunur. Halı üretimi lateks ile taban kaplaması işlemlerini içerir. Keçeleştirilmiş ve dokusuz yüzeyli kumaş üretimi de keçeleştirme, yıkama, boyama vb. işlemleri kapsar (Gökkuş, 2006).

2.2. Tekstil Endüstrisinin Alt Kategorilere Ayrılması

Tekstil endüstrisinin alt kategorizasyonlara ayrılmasının amacı, üretim farklılıkları olan veya aynı ürünü farklı proses ve yöntemlerle üreten proseslerin atıksularında oluşacak karakter farklılıklarını ortaya koymaktır. Kirlenme karakterizasyonu ve kontrol önlemleri ancak bu şekilde kontrol içerisinde homojen birimlerin değerlendirilmesiyle gerçekleştirilebilir (Gökkuş, 2006).

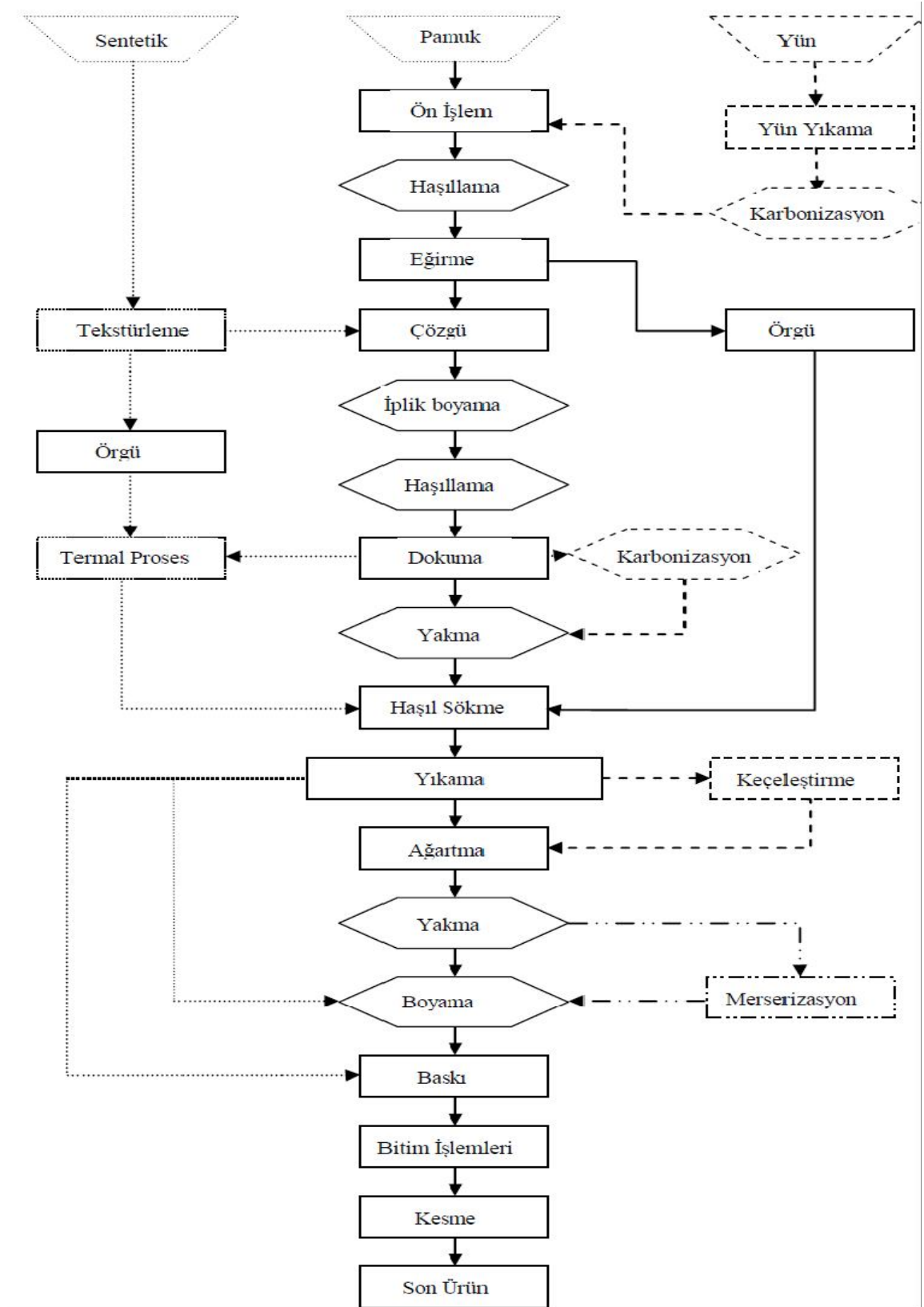
Tekstil endüstrisi yapısı gereği değişken olduğundan, bu endüstri için sağlıklı uygulanabilirliği olan kirlenme bazlı bir altkategorizasyon oluşturabilmek, ancak endüstriye ilişkin detaylı veri toplanması ve daha sonra verilerin değerlendirilmesi ile gerçekleştirilebilir (Germirli, vd., 1997).

Tekstil endüstrisi hammaddeleri, üretim işlemleri, ürünler, su kullanımı ve atıksu özellikleri kriterleri dikkate alınarak alt kategorilere ayrılmaktadır. Bu kategoriler: yapağı yıkama, yün son işlemleri, dokunmuş kumaş son işlemleri, örgü kumaş son işlemleri, açık elyaf ve iplik son işlemleri, halı son işlemleri, dokusuz yüzeyli kumaş üretimi, keçeleştirilmiş kumaş üretimi, az su kullanılan işlemler, koza işleme ve doğal ipek üretimidir (Gökkuş, 2006).

2.3. Tekstil Endüstrisi Genel Prosesleri

Tekstil endüstrisinde oluşan atıksular genel olarak miktar ve bileşim yönünden oldukça değişkenlik göstermektedir. Proseslerde, KOİ, pH, biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), renk ve tuzluluk gibi birçok parametre yüksek değerler göstermektedir. Tekstil atıksuyunun kompozisyonu, endüstrinin ıslak ve kuru proses basamaklarında kullanılan farklı organik kökenli bileşiklere, kimyasallara ve boyalara göre değişiklik göstermektedir.

Tekstil endüstrilerinde kullanılan hammadde göz önünde bulundurulduğunda, endüstri genel olarak yünlü tekstil, pamuklu tekstil ile rejenere ve sentetik tekstiller olarak 3'e ayrılmaktadır. Şekil 2.1.'de gösterildiği gibi proses basamakları uygulanan işleme göre değişiklik göstermektedir ve açığa çıkan atıksular uygulanan materyal ve prosese göre farklı kirlilik yüklerine sahip olmaktadır. Endüstride uygulanan ana işlemler, haşılama, haşıl sökme, ağartma, merserize etme, boyama, apreleme olmak üzere gruplandırılabilirler (Kırdar, 1995). Gerçekleşen işletme koşullarına bağlı olarak gerek boyamada gerekse diğer işlemlerde kullanılan organik ve inorganik formdaki bileşiklerin çeşitliliğine bağlı olarak, ortaya çıkan atıksuların özellikleri de farklı olmaktadır. Birçok tekstil endüstrisi; haşılama, haşıl sökme, merserizasyon, yıkama ve boyama gibi işlem proseslerini içermektedir. Her bir işlemde kullanılan maddeler aynı zamanda atıksuyun kompozisyonunu oluşturmaktadır.



Şekil 2.1. Tekstil endüstrisinde yer alan genel proses basamakları. Dikdörtgen şeklindeki basamaklar proste her zaman bu sırayla yer almaktadır, altıgen şeklindeki basamaklar uygulanan proseslere göre değişiklik göstermektedir. Çizgi stilleri prosesin sadece özel elyaf türlerine uygulandığını göstermektedir (.... sentetik elyaf;---•--- pamuk elyaf; — yün elyaf).

Çizelge 2.1.'de ise, Farklı tekstil endüstrilerine ait işlem basamakları ve atıksu karakterizasyonu verilmiştir.

Çizelge 2.1. Farklı tekstil endüstrilerine ait işlem basamakları ve atıksu karakterizasyonu (Bisschops ve Spanjers, 2003)

Parametre	Elyaf Türü	Haşıl Sökme	Yıkama	Ağartma	Boyama	Baskı
KOI (mg/L)	Yün Pamuk Sentetik	- 950-20000 -	5000-90000 8000 -	- 288- 13500 -	7920 1115-4585 620	- - 1515
BOI ₅ (mg/L)	Yün Pamuk Sentetik	- - -	2270-60000 100-2900 500-2800	400 90-1700 -	400-2000 970-1460 530	- - 590
Renk (ADMI)	Yün Pamuk Sentetik	- 64-1900 -	2000 694 -	- 153 -	2225 1450-4750 1750	- - -
Toplam Katı (mg/L)	Yün Pamuk Sentetik	- - -	- 28900-49300 -	910 2300- 14400 -	- - -	- - 150- 250
Toplam Askıdaki Katı (mg/L)	Yün Pamuk Sentetik	- 18-800 -	1000-26200 184-17400 600-3300	900 130- 25000 -	- 120-190 140	- - -
Toplam Çözünmüş Katı (mg/L)	Pamuk	530-6900	-	4760- 19500	-	-
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	Yün Pamuk	- 250-2750	5800 -	- 320	- -	- -
Toplam Kjeldahl	Pamuk Sentetik	70 -	- -	40 -	- -	- 164

Azotu (mg/L)						
Amonyum Azotu (mg/L)	Yün Pamuk Sentetik	- 9-19 -	604 - -	- 8-19 -	- - -	- - 129
Toplam Fosfor (mg/L)	Pamuk Sentetik	4-10 -	- -	6-60 -	- -	- 21
Sülfür (mg/L)	Yün Pamuk	- -	0.2 -	- -	- 325-900	- -
Sülfat (mg/L)	Pamuk	-	-	-	1750-2690	-
Klorür (mg/L)	Genel Elyaf	-	-	90-100	26000	-
Yağ-Gres (mg/L)	Yün	-	580-55000	-	-	-
pH	Yün Pamuk Sentetik	- 8.8-9.2 -	7.6-10.4 7.2-13 8-10	6 6.5-13.5 -	4.6-8 9.2-10.1 11.7	- - -
Su Tüketimi (L.kg ⁻¹ elyaf)	Yün Pamuk Sentetik	- - -	4-77.5 2.5-43 17-67	- 30-50 -	40-150 38-143 38-143	280- 520 - -

2.3.1. Haşılama

İnce kumaşların dokunması esnasında çok ince iplik kullanılır. Fakat bu incelikteki iplik, dokuma sırasında maruz kalacağı gerilimlerin etkisiyle kopar. Bu tür durumlarda, nişasta ve dekstrin gibi maddeler kullanılarak kumaş geçici olarak sağlamlaştırılır. Bu işleme haşılama denir (Kırdar, 1995; EPA, 1997; EPA, 2000).

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

Kullanılan haşıl maddeleri; makro molekül, 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. En çok kullanılan doğal kaynaklı haşıl maddeleri, nişasta ve türevleri (doğal nişasta, kısmen parçalanmış veya kimyasal olarak modifiye edilmiş nişasta türevleri), selüloz türevleri (karboksimetilselüloz, metilselüloz, oksietilselüloz), yumurta akı haşıl maddeleridir (tutkal, jelatin). Stiren-maleik asit kopolimerleri, polivinilalkoller (PVA), poliakrilatlar ise yapay kaynaklı haşıl maddeleri grubunda yer almaktadır (Cırık, 2010).

Kullanılan haşıl maddeleri bu prosesten çıkan atıksulardaki en büyük kirlilik kaynağını oluşturmaktadır. Oluşan atıksular hacimsel olarak düşük fakat yüksek seviyelerde Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), Biyolojik Oksijen İhtiyacı (BOİ) ve Askıda Katı Madde (AKM) içermektedir.

2.3.2. Haşıl sökme

Haşılama işlem basamağını takip eden haşıl sökme işlemi, çözgü iplikleri üzerindeki haşıl maddelerini uzaklaştırmak için uygulanır. Sonrasında doğal yağları, 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 işleminde açığa çıkan atıksular haşıl maddesi olarak nişasta kullanıldığında tekstil atıksularının BOİ₅ yükünün yaklaşık yarısından sorumludur (Cırık, 2010).

2.3.3. Yıkama

Yıkama prosesi elyaf üzerindeki tozun ve kimyasal maddelerin giderildiği bir ön yıkamayı ve enzimatik veya ön işlemler ile bazı yardımcı maddelerin uzaklaştırıldığı haşıl sökme kademelerini içermektedir. Bu işlem, tekstil atıksularında toplam kirlilik yükünün yaklaşık %50'sini oluşturur. Boyama ve apreleme için temiz kumaş hazırlamak amacıyla sodyum hidroksit, klor, silikatlar, sodyum bisülfid ve deterjanlar, nişastanın hidrolizi için asitler ve

enzimler kullanılır. Uygulanan elyafın cinsine göre; kullanılacak kimyasal, suyun sıcaklığı ve temas süreleri değişir. Yıkama toplam atık yükünün %30 artmasına sebep olur. Boyama proseslerinden önce haşıl maddelerinin giderilmesi önemlidir. Aksi halde haşıl maddeleri boyanın elyafa nüfus etmesini engeller veya boyanın rengini değiştirir (Kırdar, 1995; EPA, 1997; EPA, 2000; Gökkuş, 2006).

Yıkama prosesi ham elyafıta bulunan yağ, vaks, mineral ve bitki gibi safsızlıkların giderilmesi için su veya solvent kullanılarak uygulanmaktadır. Sentetik elyaflar yün ve pamuk elyaflara oranla daha az yıkama prosesine ihtiyaç duyarlar. Yıkama için deterjanlar, sabunlar, yüzey aktif maddeler, köpük gidericiler, yağlayıcılar gibi kimyasallar kullanılmaktadır. Uygulama sırasında artık kimyasallar suya karışarak kimyasal ve toksik madde içeriği yüksek bir atıksu bileşimi oluştururlar. Atıksu 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 yağın uygun bir prosesle atıksudan ayrılması atıksu arıtma verimi açısından önemli ve şarttır (Cırık, 2010).

2.3.4. Yün karbonizasyonu

Mekanik işlemle 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 (Cırık, 2010).

2.3.5. Keçeleştirme

Bu basamakta daha küçük, mat ve yoğun bir materyal elde etmek için genellikle karbonizasyon basamağından sonra yün elyafa uygulanır. Proseste kullanılan maddeler sıcak soda çözeltileri ve sülfürik asittir. İşlemi bitirmiş elyaf yıkandığında oluşan atıksu yüksek miktarda BOİ içermektedir (Cırık, 2010).

2.3.6. Ağartma

Haşıl sökme ve yıkama ile giderilemeyen renk verici maddeleri gidermek için ağartma prosesi uygulanır. Doğal renklendiricileri gidermek için bu aşamada hidrojen peroksit, sodyum hipoklorit, sodyum klorür ve SO₂ gazı gibi maddeler kullanılır. Bunlardan hidrojen peroksit özellikle pamuklu kumaşların ağartılmasında kullanılır. Peroksit su ve oksijene bozunur ve çözünmemiş katı parçalar yada gözlenebilen artıklar bırakır. Peroksit ilavesi atık akımında oksijen miktarını artırır (Kırdar, 1995; EPA, 1997; EPA, 2000; Gökkuş, 2006).

Ağartma prosesi 3 adımda gerçekleştirilir;

1. Kumaş; ağartıcı maddeler, aktifleştirici katkı maddeleri, stabilizör ve diğer gerekli kimyasallarla doyurulur.
2. Kumaşın, yeterli sıcaklıkta, yeterli süre ağartıcıyla teması sağlanır. Kumaş yıkanır ve kurutulur (Kırdar, 1995; EPA, 1997).
3. Tekstil atıksularında toplam BOİ'nin yaklaşık %5'i ağartma prosesinden gelmektedir (EPA, 1997).

2.3.7. Pamuk merserizasyonu

Merserizasyon işlemi genellikle kumaş yüzeyinde bir parlaklık elde etmek, boyutsal stabiliteyi sağlamak, daha yüksek mukavemet elde etmek, selüloz liflerinin muntazam şekilde şişmesini sağlamak, iç yüzeydeki artış nedeniyle daha iyi boya tutmak amacıyla uygulanmaktadır. Merseizasyon işleminde en yaygın kullanılan maddelerden biri pH'ı arttırmak için eklenen sodyum hidroksittir. Oluşan atıksuların BOİ ve katı madde içeriği düşüktür (Cırık, 2010).

2.3.8. Boyama

Boyama işleminde elyafa renk verilir ve genellikle büyük hacimlerde su kullanılır. Boyama prosesine bağlı olarak; metaller, tuzlar, sürfaktanlar, sülfür ve formaldehit gibi birçok kimyasal madde, elyaf üzerindeki boya adsorpsiyonunu arttırmak için kullanılır. Boya banyosunda en çok kullanılan tuzlar ise, sodyum nitrat, sodyum sülfat ve sodyum klorittir (Carliell vd., 1998). Boyama prosesinde en sık kullanılan kimyasal maddeler ve prostesteki fonksiyonu Çizelge 2.2.'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Boyama prosesinde kullanılan kimyasal maddeler (Kocaer ve Alkan, 2002)

Kimyasal Madde	Bileşim	Fonksiyon
Tuzlar	Sodyum klorür Sodyum sülfat Sodyum nitrat	Elyafın zeta potansiyelini nötralize edici, yavaşlatıcı
Asitler	Asetik asit Sülfürik asit	pH kontrolü
Bazlar	Sodyum hidroksit Sodyum karbonat	pH kontrolü
Tamponlar	Fosfat	pH kontrolü
Kompleks Yapıcılar	Etilen daimin tetraasetik 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 nitrit	Boyaları çözünemez yapma
İndirgeyici Maddeler	Sodyum hidrosülfid Sodyum sülfid	Boyaları çözünebilir yapma, reaksiyona girmemiş boyanın uzaklaştırılması
Taşıyıcılar	Fenil fenoller Klorlu benzenler	Adsorpsiyonun artırılması

Boyama prosesi sonrasında oluşan atıksular genellikle yüksek renk içeren atıksulardır. Kullanılan kimyasal madde içeriği yüksek olduğundan atıksu toksik özellikte ve biyolojik arıtılabilirliği içerdiği boyar maddelerden dolayı zordur. Endüstri atıksuyunun metal, tuz ve renk içeriğinin neredeyse tamamı bu prosesten gelmektedir (Cırık, 2010).

2.3.9. 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 arttırmak ve elyaf üzerinde tutunmasını sağlamaktır. Bu basamakta oluşan atıksu, endüstri atıksuyunun KOİ, renk ve azot parametrelerinin değerini arttırıcı özellik taşımaktadır (Cırık, 2010).

2.3.10. Apreleme

Fiziksel ve kimyasal özellikleri değişen kumaşın işlenmesi apreleme olarak adlandırılır. Apreleme işlemi ile görünüş, yumuşaklık, sağlamlık, pürüzsüzlük ve parlaklık gibi özelliklerin daha iyi olması sağlanır. Kullanılan maddeler; nişasta (kola) ve dekstrin kolası, doğal ve sentetik balmumu, sentetik reçineler, amonyum ve çinko klorit, yumuşatıcı maddeler ve çeşitli özel kimyasallar içerir. Bu kimyasalların kullanımı ile aşınma kalitesi düzelir, su geçirmeme, yanmama ve küflenmeme gibi özellikler sağlanır (Kırdar, 1995; EPA, 1997; EPA 2000; Gökkuş, 2006).

2.4. Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Boyar Maddeler

Cisimlerin yüzeyinin ya dış tesirlerden korunması ya da güzel bir görünüm sağlanması için renkli hale getirilmesinde kullanılan maddelere “boyarmadde” denir (Köseoğlu, 2004).

Tekstil endüstrisinde boyama işlemi kumaşa renk vermek için yapılır. Boyalı atıksuların karakterizasyonu, boyaların kimyasal yapısındaki farklılıklardan ve prosesin değişim göstermesinden dolayı oldukça zordur. Çizelge 2.3’de farklı boyaların kullanıldığı ve farklı elyafların boyandığı boyahane atıksularının karakterizasyonuna ilişkin bazı değerler görülmektedir (Correia vd., 1994).

Çizelge 2.3. Boyama atıksularının karakteristikleri

Boya Türü	Elyaf Çeşidi	Renk ADMI*	BOI mg/L	TOK mg/L	AKM mg/L	ÇKM mg/L	pH
Asit	Poliamid	4000	240	315	14	2028	5.1
1:2Metal Kompleks	Poliamid	370	570	400	5	3945	6.8
Bazik	Akrilik	5600	210	255	13	1469	4.5
Direkt	Viskoz	12500	15	140	26	2669	6.6
Reaktif, Kesikli	Pamuklu	3890	0	150	32	12500	11.2
Reaktif, Sürekli	Pamuklu	1390	102	230	9	691	9.1
Vat	Pamuklu	1910	294	265	41	3945	11.8
Dispers, yüksek sıcaklık	Polyester	1245	198	360	76	1700	10.2

*Amerikan Boya İmalatçıları Enstitüsü renk birimi

Boyarmaddeler genellikle iki ana bileşenden oluşan küçük moleküllerdir. Rengi veren kromofor ve boyayı ipliğe bağlayan fonksiyonel gruptur. Literatürde kimyasal yapısına göre veya uygulandığı ipliğin türüne göre sınıflandırılmış yüzlerce çeşit boya mevcuttur. Boyanın iplik üzerine adsorbe olması tekstil ipliğine ve boyanın tipine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Adsorbsiyonun derecesi zaman, sıcaklık, pH ve yardımcı kimyasallar gibi çeşitli faktörlerin de etkisi altındadır (Kocaer, 2002).

Boyama prosesinde sıkça kullanılan yardımcı kimyasallar gibi çeşitli faktörlerin de etkisi altındadır. Boyama prosesinde sıkça kullanılan yardımcı kimyasallar Çizelge 2.3'de listelenmiştir (Correia vd., 1994; Kocaer ve Alkan, 2002). Çizelge 2.3, boyama prosesi çıkış sularında boyarmaddeler haricinde çok sayıda farklı bileşenlerin de bulunacağını göstermektedir.

Tek bir boyama işlemi için farklı kimyasal sınıftaki boyarmaddelerin 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 (Kocaer, 2002).

Tekstil endüstrisinde kullanılan boyar maddeler her çeşit tabii ve sentetik elyafın renklendirilmesinde kullanılan kimyasal maddelerdir. Boyar maddeler organik yapıda olup, çözelti veya süspansiyon halinde çeşitli yöntemlerle cismin yüzeyi ile kimyasal veya fizikokimyasal bir reaksiyona girerek birleşirler ve cismin yüzey yapısını değiştirerek renk oluştururlar. Tekstil endüstrisinde kullanılan boyar maddeler, zararlı atık olarak kabul

edilmektedirler. Boyalar kompleks organik bileşikler olup, biyolojik olarak indirgenmeye uygun değildirler (Ölmez, 1999).

Boyar maddeler genellikle suda çözünabilir yapıda oldukları halde, bazıları proses sırasında çözünabilirlik kazanır ve sonra çözünemez duruma gelirler (Ölmez, 1999).

Tüm renkli organik bileşikler, rengi oluşturan doymamış kromofor grubunu içerirler. Bu grupları taşıyan bileşiklere kromojen denir. Kromojen gruplar, kromofor adı verilen grupları içeren aromatik yapılardır. Kromofor renk veren anlamına gelmektedir. Kromofor içeren boyar maddelerin içerisinde en önemli yeri azo boyar maddeler teşkil eder. Azo boyalar en az bir tane $N=N$ bağı içeren boyar maddelerdir. Monoazo boyar maddeler bir tek çift bağı azot içerirken diazo ve triazo boyaları 2 ve 3 adet $N=N$ bağı içerir. Azo boyalar genelde benzen ve naftalin halkaları içermektedirler (Zollinger, 1991).

Bir kromojenin boyarmadde olması için molekülde kromofordan başka oksokrom denilen amino $[-NH_2]$, yer değiştiren amino $[NHR, -NR_2]$, hidroksil $[-OH]$, metoksil $[-OCH_3]$, sülfonik $[SO_3H]$ ve karboksil $[COOH]$ gruplarının da bulunması gerekir. Bu gruplar aynı zamanda molekülün suda çözünmesi ve elyafa karşı afiniteye sahip olmasını da sağlar. Kromofor grupları; nitro $[R.NO_2]$, nitrozo $[-N_2O]$, azo $[-N=N-]$, karbonil $[C=O]$, etilenik çift bağ $[-C=C-]$, tiyokarbonil $[-C=S]$ gibi çift bağı gruplardan oluşur (Ölmez, 1999).

Boyarmaddeler 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 boyarmaddeleri, boyama özelliklerine göre yapılan bir sınıflandırmada her grupta yer alırlar. Boyamada boyar maddelerin kimyasal yapısından boyama özellikleri bakımından hangi gruba girdiği daha yaygın olarak kullanılmaktadır (Ölmez, 1999).

Bu sınıflamalardan farklı olarak boyar maddeler, çözünürlüklerine göre suda çözen ve su da çözünmeyen boyarmaddeler olarak iki ayrı grupta sınıflandırılmaktadır (Köseoğlu, 2004).

Çizelge 2.4'de Tekstil endüstrisinde kullanılan boyar maddeler sınıflandırılarak özellikleri verilmiştir.

Çizelge 2.4. Tekstil endüstrisinde kullanılan boyaların özellikleri (EPA, 1997)

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

2.4.1. Boyar maddelerin kimyasal yapılarına göre sınıflandırılması

Boyar maddeler kimyasal yapılarına göre;

- Nitro ve Nitrozo boyar maddeler
- Trifenilmetan boyarmaddeler
- Fitaleyn ve Ksanten boyarmaddeler
- Azo boyarmaddeler
- Antrakinon boyarmaddeler
- İndigo boyarmaddeler
- Fitalosiyanin boyarmaddeler olarak sınıflandırılırlar.

2.4.2. Boyar maddelerin çözünürlüklerine göre sınıflandırılması

2.4.2.1. Suda çözünen boyarmaddeler

Boyarmadde molekülü en az bir tane tuz oluşturabilen grup taşır. Boyarmaddenin sentezi sırasında kullanılan başlangıç maddeleri suda çözündürücü grup içermiyorsa, bu grubu boyarmadde molekülüne sonradan eklemek suretiyle de çözünürlük sağlanabilir. Ancak tercih edilen yöntem, boyarmadde sentezinde başlangıç maddelerinin iyonik grup içermesidir. Suda çözünebilen boyarmaddeler tuz teşkil edebilen grubun karakterine göre Anyonik, katyonik suda çözünen ve zwitter iyon karakterli boyarmaddeler olmak üzere 3'e ayrılmaktadır.

Anyonik suda çözünen boyarmaddeler suda çözünen grup olarak en çok sülfonik ($-\text{SO}_3$), kısmen de karboksilik ($-\text{COO}$) asitlerin sodyum tuzlarını içermektedirler. ($-\text{SO}_3\text{Na}$ ve $-\text{COONa}$). Renk, anyonunun mezomerisinden ileri gelir. Asit ve direkt boyarmaddeler bu gruba dahildir. Katyonik suda çözünen boyarmaddeler; moleküldeki çözünürlüğü sağlayan grup olarak bir bazik grup (örneğin; $-\text{NH}_2$), asitlerle tuz teşkil etmiş halde bulunur. Asit olarak anorganik asitler (HCl) veya $(\text{COOH})_2$ gibi organik asitler kullanılır. Zwitter iyon karakterli boyarmaddeler ise molekülünde hem asidik hem de bazik gruplar bulunur. Bunlar bir iç tuz oluştururlar. Boyama sırasında bazik veya naturel ortamda anyonik boyarmadde gibi davranış göstermektedir.

2.4.2.2. Suda çözünmeyen boyarmaddeler

Tekstilde ve diğer alanlarda kullanılan ve suda çözünmeyen boyar maddeleri substratta çözünen, organik çözücülerde çözünen, geçici çözünürlüğü olan boyarmaddeler olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır.

Substratta çözünen boyarmaddeler; suda çok ince süspansiyonlar halinde dağıtılarak, özellikle sentetik elyaf üzerine uygulanan dispersiyon boyarmaddeleri bu sınıfa girer. Organik çözücülerde çözünen boyarmaddeler; her çeşit organik çözücüde çözünürler. Solvent boyarmaddeleri de denilen bu boyarmaddeler spray veya lak halinde uygulanabilirler. Matbaa mürekkebi, vaks ve petrol ürünlerinin renklendirilmesinde kullanılırlar. Geçici çözünürlüğü olan boyarmaddeler; çeşitli indirgeme maddeleri ile suda çözünebilir hale getirildikten sonra elyafa uygulanabilirler. Daha sonra elyaf içinde iken yeniden yükseltgenerek suda çözünmez hale getirilirler.

2.4.3. Boyar maddelerin boyama özelliklerine göre sınıflandırılması ve kullanımları

Bu sınıflandırmada, boyama teknolojisinde boyar maddenin kimyasal yapısı ile değil onun hangi yöntemle elyafı boyadığına bakılır ve boyar maddenin sınıflandırılması boyama özelliklerine göre yapılır (Dikmen, 1998).

2.4.3.1 Bazik (katyonik) boyarmaddeler

Bazik boyar maddeler parlak ve canlı renk vermelerine rağmen yaş haslıkları ve ışık haslıkları düşüktür. Yapılarından dolayı proton alan olarak etki ettiklerinden anyonik grup içeren liflerle bağlanırlar (Seventekin, 1988). Bunlar organik bazların hidroklorürleri şeklinde veya asetat tuzları şeklindedir. Yani renkli kısım katyondur. Pozitif yük taşıyıcı olarak N ve S atomu içerirler. Bazik olarak etki ettiklerinden sulu çözeltide boyarmadde katyonu, elyafın anyonik gruplarıyla, elyaf-boyarmadde tuzunu meydana getirir. Bazik boyarmaddelerin en karakteristik özellikleri parlaklıkları ve renk şiddetidir. Genellikle asetik asit ve tannik asit yardımıyla boyama yapılır. 80-90°C de polyakrilik elyafını hızlı bir şekilde boyarlar ve kumaştan ayrılmazlar (Özcan ve Ulusoy 1984; Dikmen, 1998).

2.4.3.2 Asit boyarmaddeler

Asidik boyar maddeler genellikle yün, ipek, poliamid, kâğıt, deri ve besin maddelerinin boyanmasında kullanılırlar (Başer ve İnancıcı, 1990).

Molekülde bir ya da birden çok sülfonil grubu veya karbonil asit grubu içerirler. Renkli bileşen boyarmadde anyonudur ve anyonik sınıfa girerler. Başlıca protein ve poliamid elyafın boyanmasına yararlar (Özcan ve Ulusoy 1984; Dikmen, 1998).

2.4.3.3 Direkt boyarmaddeler

Direkt boyar maddeler anyonik boyar maddeler olup çözücü grup olarak $-SO_3Na$ grubu içermektedirler. Sudaki çözünürlükleri fazla olduğundan düşük yaş haslıklarına sahiptirler (Yılmaz, 2010).

Bunlar genellikle sülfonik asitlerin, bazen de karboksilli asitlerin sodyum tuzlarıdır. Yani renkli kısmı oluşturan iyon anyon şeklindedir. Pek çoğu yapı bakımından azo-boyarmaddeleri grubuna girer (Özcan ve Ulusoy 1984; Dikmen, 1998).

Direkt boyarmaddelerin ucuz olmaları, boyama işlemlerinin çok basit oluşu ve boyama esnasında elyafın yıpranmaması gibi özelliklerden dolayı tercih edilirler. Genellikle selülozik elyafın boyanmasında kullanılırlar. Bazıları ise kâğıt, deri, ipek ve naylon boyamada

kullanılırlar (Özcan ve Ulusoy 1984; Dikmen, 1998).

2.4.3.4 Mordan boyarmaddeler

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

2.4.3.5 Reaktif boyarmaddeler

Reaktif boyar maddeler diğer bütün boyar maddelerden farklı olarak lif makro molekülleriyle reaksiyona girebilen ve liflere gerçek kovalent bağlarla bağlanabilen boyar maddelerdir (Mavruz, 2004). Boyar maddenin su içerisinde üniform bir şekilde çözünmesini sağlayan çözünür gruplardır. Genellikle sülfon grupları bulunur. Boyar maddeye renk veren kısım renkli kromofor grubudur. Boyar maddeyi reaktif gruba bağlayan ise köprü grubudur. $-NH_2$, $-CO$ ve $-SO_2$ gibi gruplardır. Bu grupların köprü görevi görmesinin dışında reaktif grup reaktivitesi gibi etkileri de vardır (Yılmaz, 2010).

Elyaf üzerine kimyasal kovalent bağ ile bağlanan bu boyarmaddeler selülozik elyaf, yün, ipek, poliamid boyamada kullanılırlar. Boyama sürekli, yarı sürekli yapılabilir (Dikmen, 1998).

2.4.3.6 Küpe boyarmaddeler

Küpe boyarmaddeler 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 gibi bir indirgenin etkisiyle suda çözünebilen leuko bileşiklerine dönüşürler. Daha çok selülozik kısmen de protein elyafının boyanmasında kullanılır. Işığa, yıkamaya, sürtünmeye karşı mukavemetleri oldukça yüksektir (Özcan ve Ulusoy 1984; Dikmen, 1998).

2.4.3.7 Dispers boyarmaddeler

Amino ve hidroksil grupları ihtiva eden düşük molekül ağırlıklı bileşiklerdir (Dikmen, 1998). Polyester elyaf, yüksek kristalinite ve belirgin hidrofob özellik gösterdiğinden büyük moleküllü boyarmaddeler elyaf içerisine kolay nüfuz edemezler. Elyaf kimyaca aktif grup içermediği için boyarmadde anyon ve katyonlarını da bağlayamaz, polyesterin kullanılmasında en çok kullanılan boyarmaddeler dispers boyarmaddelerdir (Özcan, 1984).

2.4.3.8 Sülfür boyalar

Sülfür boyalar nitro ve amino grupları içeren amino bileşiklerin sülfür veya sodyum sülfid ile yüksek sıcaklıkta reaksiyonu sonucu elde edilir. Genellikle koyu mavi, siyah, kahverengi gibi koyu renkleri kullanılır (Dikmen, 1998).

2.4.3.9 Geliştirilmiş boyarmaddeler

Bu boyalar pamuk ve poliamid elyaflarının boyanmasında kullanılır. Her ne kadar ışığa karşı mukavemetleri az ise de boyanan elyafın çabuk yıkanmasından dolayı tercih edilirler (Dikmen, 1998).

2.4.3.10 Anilin siyahı

Oksitleyici bir boyadır, çözülmez bir pigmenttir ve anilin oksitlenmesiyle elde edilir. Pamuk ve poliamid elyafının boyanmasında kullanılır. Mükemmel parlaklık şiddetinden ve ekonomik olmasından dolayı tercih edilir (Dikmen, 1998).

2.5. Tekstil Endüstrisinde Renk Parametresi

Boyar madde içeren atıksularda boyar maddenin sayısal değeri farklı ölçüm yöntemleri kullanılarak belirlenen renk parametresi ile ifade edilmektedir. 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).

Tekstil proses atıksuları genellikle 10-20 mg/L konsantrasyon aralığında boyar madde içermektedirler (O’Neill vd., 1999) ve oldukça renkli atıksulardır (Cırık, 2010).

Yeterli arıtmalar olmaksızın bu boyalar istikrarlıdır ve uzun bir süre aralığında çevrede kalabilir. Örneğin hidrolize edilmiş yarı ömürlü Reactive Blue 19 (RB19) Ph 7 ve 25 °C’de yaklaşık 46 yıl kalabilir (Hao vd., 2000).

Boyar madde içeren atıksuların doğrudan olarak alıcı ortama verilmesinin kontrolsüz anaerobik şartlarda toksik ve karsinogenik aromatik aminlerin oluşması gibi önemli bir çevresel etkisi ile birlikte estetik problemleri de birlikte getirir (Kapdan ve Kargı, 1998). Düşük konsantrasyonlar da bile boyar madde içeren atıksular alıcı ortama deşarj edildiklerinde istenmeyen estetik problemlere yol açarlar (Nigam vd., 2000). Kimyasal yapılarından dolayı ışığın suya geçişini engellerler bu da alıcı ortamda olumsuz etkilere

neden olur (McKay, 1979).

Boyar maddelerde bulunan sentetik organik pigmentlerin kompleks kimyasal yapılarından dolayı bakteriyolojik olarak ayrıştırılmaya karşı dirençlilik gösterirler (Banat vd., 1996). Bazı azoik boyalar anaerobik parçalanmaya uğramasına rağmen parçalanma sırasında aromatik aminler oluştuğundan dolayı çevre üzerine oldukça olumsuz etkiler oluşturabilmektedir (Brown ve DeVito, 1993).

Tekstil ürünlerine taleplerin artmasıyla birlikte tekstil sanayi ve atıksuları dünya üzerinde ciddi çevre kirliliği problemlerinin ana kaynaklarından biri olarak orantılı bir şekilde artış göstermektedir. Özellikle renkli atıkların çevreye saliverilmesi arzu edilmemektedir; bu durum yalnızca renkleri sebebiyle değil, aynı zamanda atıksularındaki çoğu boyanın ve bozuk ürünlerinin zehirli olması ve yaşamı mutasyona uğratabilecek olması nedeniyledir (Weisburger, 2002).

Çevresel problemlere ek olarak, tekstil sanayi geniş meblağlarda içilebilir su tüketir. İçilebilir suyun az bulunduğu çoğu ülkede, bu geniş çaplı su tüketimi hoş karşılanmamaya başlanmış ve atıksuların geri dönüşümü, su gereksiniminin azaltılması için tavsiye edilmektedir (Dos Santos vd., 2007).

Sonuç olarak incelendiğinde boyar maddelerin ve yan ürünlerinin tehlikeli etkilerini yok etmek veya minimize etmek için, bu tür maddeleri içeren atıksuların arıtılmaları zorunlu hale gelmiştir.

2.5.1. Renk ölçüm yöntemleri

Renk parametresi, tekstil atıksuları gibi renk içeren atıksularda ölçülmesi ve karşılaştırılması en zor parametredir. Genelde sular içerisindeki renk, görünür renk ve gerçek renk olmak üzere iki şekilde sınıflandırılmaktadır. Gerçek rengin belirlenebilmesi için su içerisindeki bulanıklığın bir ön işlem olarak giderilmesi, sonrasında renk ölçümünün gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Görünür renk ise, sudaki rengin herhangi bir ön işleme tabi tutulmadan direk ölçümü ile belirlenebilmektedir (Dos Santos vd., 2007).

Renk ölçüm metotları karşılaştırılırken, Amerikan Boya İmalatçıları Enstitüsü (ADMI), seyreltme oranı ve Lovibond metotları arasındaki ilişki keşfedilmiştir ve birimler arasındaki kantitatif dönüşümün mümkün olduğu görülmüştür. Literatürde renk genellikle tek bir dalga boyundaki absorbans değeri (genellikle 465 nm) ile karakterize edilmektedir. Tüm renklerin maksimum absorbans verdiği dalga boyları farklı olduğu için, bu metot özellikle karışık boyar madde içeren tekstil atıksularındaki rengin ölçülmesinde etkin bir metot olmamaktadır (Cırık, 2010).

Görsel karşılaştırma ve spektrofotometri, su ve atıksulardaki rengi ölçmek için kullanılan en yaygın metotlardır. Görsel karşılaştırma metodunda numune rengi; ya konsantrasyonu bilinen renkli standartlarla (çoğunlukla platinyum kobalt çözeltileri) veya kalibreli renkli plaklarla belirlenir. Bu metot kolaylığı açısından günümüzde su arıtma tesislerinde kontrol parametresi olarak kullanılmasına rağmen yüksek renk içeren endüstriyel atıksu analizlerinde kullanımı uygun değildir. Spektrofotometrik yöntemde ise renk ölçüm protokolleri metodolojiler arasında farklılık göstermekte olup en yaygın kullanılanları, Tristimulus Filtre Metodu, ADMI, Tristimulus Filtre Metodu ve Spektrum Kaydı'dır.

Elektromanyetik spektrum; ultraviyole, görünür ışık ve kızıl ötesi olmak üzere üç farklı bölgeye ayrılabilir (Çizelge 2.6.). Görünür ışığın, 350 nm ve 780 nm dalga boyları arasında olduğu düşünülse de, insan gözü normalde 380 nm ve 720 nm arasındaki ışınımı algılayabilmektedir (Van der Zee, 2002).

Çizelge 2.5. Elektromanyetik spektrum bölgeleri ve dalga boyu/reng arasındaki ilişki (Van der Zee, 2002)

Elektromanyetik bölge	Dalga boyu (nm)	Algılanan Renk
Ultraviyole	<350	Gözle fark edilemez
Görünür bölge (visible light)	350-400	Gözle fark edilemez
	400-435	Violet
	435-480	Mavi
	480-490	Yeşilimsi mavi
	490-500	Mavimsi yeşil
	500-560	Yeşil
	560-580	Sarımsı yeşil
	580-595	Sarı
	595-605	Turuncu
	605-750	Kırmızı
	750-780	Gözle fark edilemez
Kızılötesi (infrared)	>780	Gözle fark edilemez

Atıksulardaki rengin ölçülmesinde kullanılan tüm metotlar Çizelge 2.7.'de ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir.

Çizelge 2.6. Atıksulardaki rengin ölçülmesinde kullanılan kantitatif metotlar (BisschopsSpanjers, 2003)

Metot Tipi	Metot Adı	Tanım	Açıklama
Görsel	Platinyum-kobalt	Numune ile konsantrasyonu bilinen platinyum kobalt çözeltileri arasındaki karşılaştırmaya dayanmaktadır. Genellikle içme suyu analizlerinde kullanılmaktadır.	Yoğun renk içeren endüstriyel atıksulardaki rengin ölçümü için uygun değildir.
	Saydamlık Görünebilirlik	Kalibre edilmiş cam disklerle yapılmaktadır. Atıksudaki askıda katı madde içeriğinin analiz sonuçlarına etkisi büyüktür.	Kolaylığından dolayı arazi uygulamalarında tercih edilmektedir. Renk ve askıda katı madde içeren endüstriyel atıksuların analizi için uygun değildir.
	Seyreltme Oranı	Numune temiz görüne kadar saf su ile seyreltilir ve seyreltme oranı belirlenir.	Tamamen görselliğe dayanır. Pt-Co ve saydamlık metotlarına benzerlik gösterir.
Spektrofotometrik	Tek Dalga Boyu (simüle atıksu)	Bilinen bir boya için maksimum absorbans verdiği dalga boyunda ölçüm yapılır.	Tek bir boyar madde kullanılarak hazırlanan simüle atıksuların analizinde kullanılır.
	Tek Dalga Boyu (gerçek atıksu)	Numunenin bileşimine bağlı olarak, tek bir dalga boyunda gerçek atıksulardaki renk ölçümü yapılabilir.	Kullanılan dalga boyları, 426 nm, 455 nm, 465 nm
	3 dalga boyu	Atıksudaki renk 3 renk bölgesinde tanımlanır (sarı, kırmızı ve mavi). Seçilen 3'lü dalga boyları değişkenlik gösterebilir.	435 nm,500 nm ve 620 nm 426 nm,558 nm ve 660 nm
	DFZ (Durchsichts Farb Zahl) Alman Metodu	Küvet uzunluğu ve spektral absorbans değerleri kullanılarak hesaplanmaktadır.	Alman standardı olarak bilinmektedir. Dalga boyları: 436 nm,525 nm ve 620 nm'dir.
Spektrofotometrik	ADMI Tristimulus Filtre metodu	3 dalga boyu (438 nm,540 nm,590 nm) veya 31 dalga boyu (400 ile 700 nm arasında her 10 nm'de ölçüm yapılır) kullanılmaktadır.	Analiz uğraştırıcı olduğundan laboratuvar çalışmalarında ve data analizlerinde uygulanmaz. Genellikle bilgisayar ile uygulanan metotlar ile online ölçümler tüm renkler için mümkündür.
	Spektrum Kaydı	Seçilen dalga boyları arasında atıksuyun tüm spektrum kaydı yapılır.	Spektrum kaydı dikkate alınarak uygun dalga boyu seçilir
	Alan Metodu	Ekstinksiyon eğrisinin altında kalan alan renk yoğunluğunu ifade etmek için kullanılır, alan birimi ile ifade edilir.	Endüstriyel atıksularda renk ölçümü için Pt-Co metoduna göre daha güvenilir bir metottur. Renk alan birimi ile ifade edilir.

2.6. Renk Giderme Yöntemleri

Boyarmadde içeren atıksulardan renk giderimi için kullanılan kesin bir yöntem yoktur. Atıksuyun çeşidine göre uygulanacak yöntem de değişiklik göstermektedir. Bu yöntemler fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler olarak sıralanabilir.

2.6.1. Fiziksel yöntemler

Fiziksel renk giderme yöntemleri adsorpsiyon, membran prosesler, iyon değişimi ve radyasyon (ışınlama) olarak sınıflandırılmaktadır.

Adsorpsiyon, su ve atıksu arıtımında fizikokimyasal metotlar arasında en etkin metotlardan biri olarak düşünülmektedir. Adsorpsiyon ile renk giderim prosesi adsorpsiyon ve iyon değişimi mekanizmalarının bir sonucu olarak gerçekleşmekte olup, boya/adsorban etkileşimi, adsorban yüzey alanı, partikül büyüklüğü, sıcaklık, pH ve temas süresi gibi birçok parametreden etkilenmektedir (Anjaneyulu vd., 2005).

Proseste düşük maliyetli adsorbanların seçimi önemlidir. En yaygın olarak kullanılan adsorban madde aktif karbon olmakla birlikte, zeolit, bentonit, bataklık kömürü, ağaç kırıntıları, uçucu kül+kömür karışımı, silika jeller, doğal killer, mısır koçanı gibi bazı üretimi kolay ve ucuz adsorban maddeler de renk gideriminde kullanılmaktadır. Kitin gibi amino nitrojen içeren adsorbanların asit boyalar üzerinde adsorpsiyon kapasitesi daha yüksektir. Ancak adsorpsiyonda ilk yatırım maliyetinin yüksek olması ve adsorbanın periyodik olarak yenilenmesi gerekliliği işletim maliyetini arttırmaktadır (Cırık, 2010).

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 (Gökkuş, 2006). Membran prosesleri, tekstil endüstrisi atıksularının arıtımında kullanılan en yaygın metotlardan birisidir. Her ne kadar filtrasyon yüksek yatırım maliyetleri gerektirse de, bu maliyet atıksuyun, tuzların ve boyaların geri kazanımı ile elde edilen yüksek kazançlarla karşılanmaktadır (Cırık, 2010).

Membran ayırma teknolojisinin tekstil atıksuyunda ulaşılan arıtım verimi ve kıymetli hammaddenin geri kazanımı, geleneksel arıtım teknolojilerine göre avantajları arasında yer almaktadır. Tekstil atıksularının arıtımında elde edilen renk giderme verimleri genellikle %70'in üzerindedir (Alves ve Pinho, 2000; Frank vd., 2002; Mutlu vd., 2002). Bunun yanında, membranların tıkanma problemleri ve sık temizlik gereksinimleri, modüllerin

düzenli yer değıştirmesi gibi işletme titizliğı gerektirmesi işletme maliyeti açısından yüksektir (Cırık, 2010). Bu sistemin tekstil endüstrisinde kullanılabilmesi için membran sistemin ve membranda yoğunlaşan maddenin arıtımının beraber sunulmasıdır. Membran sistemi tek başına sorunu çözmeyecektir (Başbüyük vd., 1998).

Boya içeren atıksuların arıtılmasında iyon değıştiricilerin kullanılması henüz yeterince yaygın değildir. Bunun ana nedeni, iyon değıştiricilerle arıtılarak olumlu sonuç alınan boya sınıfının kısıtlı oluşudur. Yöntemde, atıksu mevcut değışim bölgeleri doygunluğı erişene kadar iyon değıştirici reçineler üzerinden geçer. Bu şekilde, boyarmadde içeren atıksulardaki hem katyonik, hem de anyonik boyalar uzaklaştırılabilmektedir.

Yöntemin avantajları, rejenerasyonla adsorban kaybının bulunmaması, çözücünün kullanıldıktan sonra iyileştirilebilmesi ve çözünebilir boyaların etkin şekilde giderilebilmesidir. En büyük dezavantajı ise yöntemin maliyetidir. Organik çözücüler oldukça pahalıdır. Ayrıca iyon değışimi metodu dispers boyalar için pek etkili değildir (Robinson vd., 2001).

Gamma veya elektron demeti kullanılarak uygulanan radyasyon yöntemi ile renk gideriminin, hem kolay hem de geniş aralıkta organik kirleticileri elimine etmesi ve zararlı mikroorganizmaları dezenfekte etmesi açısından etkili bir yöntem olduğu düşünülür. Fakat tam ölçekli bir arıtma tesisinde uygulanabilirliğı düşük, işletme maliyeti yüksektir (Cırık, 2010).

2.6.2. Kimyasal yöntemler

Tekstil atıksularının kimyasal yöntemlerle arıtılması uzun yıllardan beri en çok rağbet gören yöntem olmuştur. Bunun en büyük nedeni şüphesiz atıksu kalitesinde meydana gelen değışikliklerin kullanılan kimyasal da veya uygulanan dozda yapılan değışikliklerle kolayca tolere edilebilir olmasıdır (Socha, 1991).

Tekstil endüstrisi atıksularının arıtımında en yaygın olarak kullanılan kimyasal yöntemler oksidasyon yöntemleri, kimyasal çöktürme ve flokülasyon yöntemi ve Cucurbituril ile arıttır (Kocaer ve Alkan, 2002).

Kimyasal Çöktürme ve Yumaklaştırma yönteminde; floklaşma ve çökelme kimyasal maddeler yardımıyla sağlanır. Atıksuya katılan kimyasal maddeler yardımıyla meydana gelen floklaşma ile çözünmüş maddeler ve kolloidler giderilirler. En çok kullanılan kimyasallar arasında, $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, $FeSO_4$ ve kireç sayılabilir. Kimyasal çöktürme yönteminde inşaat masraflarından ziyade işletme masrafları önem taşımaktadır. Özellikle floklaşma maddeleri ve meydana gelen çamurun bertaraf edilmesi, giderlerin önemli bir

kısmını teşkil etmektedir. Koagülasyon/flokülasyon ham atıksudan kısmi bir KOİ ve renk giderimi sağlamak için ön arıtma olarak veya ileri arıtma bazen de atıksu arıtımı olarak uygulanmaktadır. Prosesin prensibi, koagülant eklenerek flok oluşturulması, flokların çökelti oluşturarak veya flotasyonla atıksudan ayrılmasına dayanır (Kocaer ve Alkan, 2002).

Sıcaklık, pH, tuz konsantrasyonu, boyarmadde cinsi ve konsantrasyonu renk giderimini etkileyen parametrelerdir. Çöktürme ve yumaklaştırma ile optimum koşullar sağlandığında % 80-90 verim elde edilebilir (Arıcı, 2000).

Kimyasal Oksidasyon yöntemi; renk giderimi için uygulanan en yaygın kimyasal yöntemdir. H_2O_2 -Fe(II) Tuzları (Fenton ayracı), UV/peroksit, UV/ozon ve bunların kombinasyonu en sık kullanılan kimyasal oksidasyon prosesleridir. Fenton oksidasyonunda yüksek oranda KOİ, renk ve atıksudaki toksisite giderilebilmektedir. Bu yöntemin dezavantajı ise kirliliğin çamurda tutunması ve tekrar giderilmesi gereken bir kirliliğin oluşmasıdır (Robinson vd., 2001).

Kimyasal oksidasyon prosesi; kimyasal türler arasında elektronların transferine dayanır. Bu proses indirgenme-yükseltgenme prosesi olarak da bilinir. Kimyasal oksidasyonun amacı, su içerisinde bulunan bir maddenin kimyasal olarak oksitlenerek kararsız son ürüne dönüştürülmesidir (Arıcı, 2000).

Kimyasal oksidasyon, 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 (Dikmen, 1998).

Cucurbituril; glikoluril ve formaldehitten oluşan bir polimerdir. Şeklinin, Cucurbitaceae bitki sınıfının bir üyesi olan balkabağına benzemesinden dolayı bu şekilde isimlendirilmiştir. İsimdeki uril, bu bileşiğin üre monomerini de içerdiğini ifade etmektedir.

Endüstriyel açıdan uygulanabilir bir proses için sabit yataklı sorpsiyon filtrelerine ihtiyaç vardır. Böylece adsorbanın fiziksel kuvvetlerle yıkanması ve cucurbiturilin katyonların varlığıyla bozunması engellenebilir. Son yıllarda yapılan çalışmalar kimyasal mekanizmaların anlaşılması üzerinde yoğunlaşmakta ve proses üzerine pH'ın, sıcaklığın ve hidrolizin etkileri araştırılmaktadır (Karcher vd., 1999). Çoğu kimyasal yöntem gibi bu yöntemde de en büyük dezavantaj maliyettir (Kocaer ve Alkan, 2002).

Konvansiyonel kimyasal oksidasyon tekniklerinin kimyasal sınırlamaları, bir ışık kaynağının varlığında veya yokluğunda, güçlü oksidasyon elemanlarının (O_3 , H_2O_2) ve/veya katalizörlerin (Fe, Mn, TiO_2) kullanıldığı, ileri oksidasyon prosesleri olarak adlandırılan gelişmeler yoluyla aşılabılır. İleri oksidasyon prosesleri (AOPs) genellikle, ayrışmaya karşı dirençli ve tehlikeli kirleticileri içeren yer altı suyu, yüzey suyu ve endüstriyel atıksuları gidermek için çok güçlü ve seçici olmayan oksitleyici elemanların (hidroksil radikalleri) oluşumunu kapsar (Alaton ve diğ. 2001; Gökkuş, 2006).

2.6.2.1. Ozon prosesi

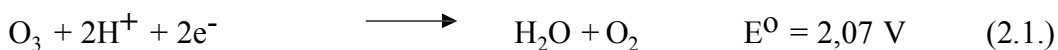
Ozonun varlığı ilk defa 1785 tarihinde Van Marum tarafından belirtilmiştir. Alman bilim adamı Christian F. Schonbein 1840'da bunun yeni bir madde olduğunu keşfetmiş ve ancak yıllar sonra 3 atomlu oksijen (O_3) olduğu gösterilmiştir. Ozon ticari anlamda ilk defa içme sularının dezenfeksiyonunda kullanılmıştır. 1886'da Meritens Ozonun dezenfeksiyon özelliğinin olduğunu belirtmiştir. Atıksuların dezenfeksiyonu için ozonun kullanılması ilk olarak 1975 yılında ABD'de Florida-Indiantown'da olmuştur ve 1980'e kadar yaklaşık 10 tesis bu amaçla çalışmaya başlamıştır (Lamarre, 1997; Sevimli, 2000).

Atıksu arıtımında ozonun yaygın olarak kullanılması 1970'li yıllarda ilk olarak ABD'de olmuştur (Robson ve Rice, 1991). Daha sonraki yıllarda ozonun kullanım alanları bir hayli artmış ve yüzeysel sulardan renk ve bulanıklık giderimi, koagülasyona yardımcı olarak, mikrokirleticilerin (pestisitler ve fenolik bileşikler) giderilmesinde, dezenfeksiyon yan ürünlerinin ve uçucu organik karbonların kontrolünde, özellikle tekstil ve kağıt endüstrilerinde renk giderim amaçlı olarak kullanılmaya başlanmıştır (Sevimli, 2000).

Kararsız bir gaz olan ozon, oksijen (O_2) molekülünün oksijen atomlarına ayrıldıktan sonra başka bir oksijen molekülü ile birleşmesi sonucu meydana gelir. Oksijen molekülünü ayırmak için gerekli enerji kaynağı ticari olarak üretilebilir veya tabii olaylardan oluşur. Ozon elektrolizle, fotokimyasal reaksiyonlarla, radyokimyasal reaksiyonlarla veya oksijenin gaz ortamına elektrik deşarj edilmesiyle elde edilebilir. Ultraviyole ışığı, güneş ışığı ve şimşek çakması tabii olarak ozon oluşumuna yol açabilecek kaynaklardır (Sevimli, 2000).

Ozon (O_3) oksijenin üç atomlu bir allotropu olup kendine has bir kokuya ve mavimsi renge sahiptir. Bazen “aktif” veya “atomik” oksijen olarak adlandırılır.

Ozon oldukça kuvvetli bir oksidan olup, oksidasyon etkisini



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

Ozonun yoğunluğu oksijenin 1,5 katı ve suda çözünürlüğü şartlara bağlı olarak 10 kat daha fazladır (Evans, 1972).

Boyar maddelerin ozonla oksidasyonu çok sayıda araştırmacı tarafından çalışılmıştır. Boyalarda renk gideriminde alternatif kimyasal arıtmada en yaygın olarak ozonlama prosesi kullanılmaktadır. Bu proses sadece suda çözünebilen, hidrofilik yapılı tekstil boyalarının (reaktif, asit ve direkt boyalar) parçalanmasında etkili olmuştur (Arslan ve Balcıoğlu, 2000).

Ozon ile oksidasyonla KOİ, BOİ, renk ve koku giderimi sağlanmakla birlikte çözünmüş oksijenin arttırılması, bulanıklığın azaltılması, arıtma tesisi çıkış sularının dezenfeksiyonu gibi uygulamaları gerçekleştirilmektedir (Sevimli, 2000).

Ayrıca ozon ile oksidasyon, klorlu hidrokarbonların, fenollerin, pestisitlerin ve aromatik hidrokarbonların gideriminde etkilidir. Düşük pH'larda daha iyi arıtma performansı göstermektedir. Boyarmadde içeren atıksularının arıtımı için uygulanan dozaj, giderilmesi gereken KOİ ve rengin miktarına bağlıdır. (Cırık, 2010).

Ozonun diğer oksidanlara göre çok kuvvetli olması bir avantajdır. Kısa reaksiyon süresinden dolayı temas tankı hacmi küçüktür. Dolayısıyla yer ihtiyacı azdır. Ozon ihtiyaç durumunda üretildiğinden depolama söz konusu olmaması avantajlarından bir diğeridir (Sevimli, 2000).

Ozonun bu avantajlarının yanında dezavantajları da vardır. Ozonun tek başına bir arıtma prosesi olmaması ancak arıtma proseslerinde bir adım olarak kullanılması dezavantajlarından biridir. Ayrıca ozonatör ve temas tanklarının ilk yatırım maliyetleri ve ozonlama prosesinin işletme maliyeti yüksek olduğundan bir diğer dezavantajdır (Sevimli, 2000). Yarı ömür süresinin kısa olmasından dolayı ozonlamanın sürekli olması gerekmektedir ve pahalı bir prosestir (Cırık, 2010).

Oğuz ve diğ. (2004), Bomaplex Red C-RL tekstil boyasının 1000 ppm'lik çözeltisi ile yarı kesikli ozon reaktöründe sıcaklık, pH, ozon-hava karışımı debisi, elektrik potansiyeli gibi farklı parametreler kullanarak yaptıkları çalışmaların sonucunda KOİ giderim verimini % 53 olarak bulmuşlardır.

Szpyrkowicz ve diğ. (2001), üç dispers boyanın karışımı sonucu elde edilen 1425 mg/L KOİ'ye sahip sentetik atıksuya 0,5 g/L ozon dozu uyguladıklarında %90 renk giderimi elde ederken, KOİ giderim verimini %10 bulmuşlardır.

2.6.3. Biyolojik yöntemler

Teorik olarak biyolojik arıtma sistemleri kimyasal ve fiziksel arıtma yöntemlerine göre daha az çamur üretmesi, maliyetinin daha düşük olması veya alıcı ortamlar için zararlı yan ürünlerin oluşmaması gibi özelliklerinden dolayı tekstil endüstrisi atıksularının arıtımı için ideal çözüm olarak kabul edilmektedir (Kocaer ve Alkan, 2002).

Biyosorpsiyon; kimyasal maddelerin mikrobiyal kütle tarafından adsorpsiyonu veya küttele birikimi biyosorpsiyon olarak ifade edilmektedir. Ölü bakteriler, maya ve mantarlar boyar madde içeren atıksuların renginin giderilmesinde kullanılabilmektedir.

Tekstil boyalarının kimyası geniş bir yelpazede değişiklik gösterdiği için mikroorganizmalarla olan etkileşimler boyanın kimyasına ve mikrobiyal kütlenin spesifik kimyasına dayanmaktadır. Bu nedenle kullanılan mikroorganizmanın cinsine ve boyaya bağlı olarak farklı bağlanma hızları ve kapasiteleri söz konusudur. Boyar madde içeren atıksu çok toksik olduğunda biyosorpsiyon avantajlı olmaktadır (Robinson vd., 2001; Kocaer ve Alkan, 2002)

Aerobik yöntemler; tekstil endüstrisi atıksuları, pH değişimlerine duyarlılığı yüksek olan konvansiyonel biyolojik arıtma tesislerinde önemli zorluklara sebep olmaktadır. Endüstriyel atıksuların arıtılmasında yaygın olarak kullanılan konvansiyonel aktif çamur sistemleri için tekstil endüstrisindeki birçok boya bileşiği ya biyolojik olarak çok zor indirgenebilmekte ya da inert kalmaktadır. Suda iyi çözünen bazik, direkt ve bazı azo boya atıklarının olması durumunda mikroorganizmalar bu tür bileşikleri biyolojik olarak indirgeyememekle birlikte boyanın bir kısmını adsorbe ederek atıksuyun rengini almakta ve renk giderimi sağlanabilmektedir (Kocaer ve Alkan, 2002).

Azo boyar maddeler gibi sentetik boyaların aerobik şartlar altında mikrobiyal parçalanmaya karşı dirençli olmasının nedeni boya malzemelerinin, kimyasal ve ışık kaynaklı oksidatif etkiler sonucu renklerinin solmamasını sağlayacak şekilde sentezlenmeleridir. Boyar maddelerin aerobik biyodegradasyonunu zorlaştıran diğer bir faktör ise moleküler ağırlıklarının yüksek olması nedeniyle biyolojik hücre zarından geçişlerinin zor olmasıdır (Willmott vd., 1998). Genel olarak tekstil endüstrisi atıksularında aktif çamur prosesi ile renk giderimi boyar maddenin aktif çamura

adsorpsiyonu ile gerçekleşmektedir (Grau, 1991).

Anaerobik yöntemler; boyar maddelerle yapılan anaerobik parçalanma çalışmaları, özellikle aerobik ortamda parçalanamayan suda çözünabilir reaktif azo boyar maddeler üzerinde yoğunlaşmıştır. Çift bağlı azot halkasına bağlı bu boyaların aerobik proseslerle arıtılabilirliğinin mümkün olmaması anaerobik arıtmanın ön arıtma olarak kullanılmasını gerektirmektedir (Kocaer ve Alkan, 2002).

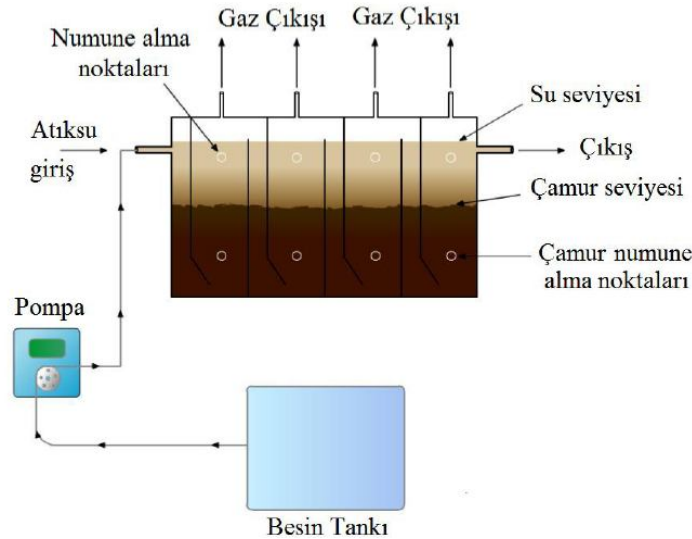
Boyar maddelerin anaerobik parçalanması, özellikle aerobik ortamda parçalanamayan reaktif azo boyar maddelerde etkili olmaktadır. Anaerobik olarak renk gideriminin gerçekleşebilmesi için ilave karbon kaynağına ihtiyaç vardır. İlave karbon, metan ve karbondioksit dönüştürülmekte ve elektronlar açığa çıkmaktadır. Bu elektronlar elektron taşıma zincirinden son elektron alıcısına yani azo-reaktif boyaya taşınmakta ve boyayla reaksiyona girerek azo bağı kırılmaktadır. Böylece anaerobik parçalanma sonucunda azo boyar maddelerdeki renkten sorumlu azo bağı kırılmakta ve renk giderimi sağlanmaktadır. Bu olay oksijen tarafından inhibe edilmektedir. Bu nedenle boya atıklarını renksizleştirmek için ilk adım azo köprüsünün indirgenerek parçalandığı anaerobik koşullar altında arıtım olmalıdır. (Robinson vd., 2001).

Azo bağı kırılmasıyla, anaerobik olarak parçalanamayan aromatik aminler de oluşabilmektedir. Boyar maddeler normalde sitotoksik, mutajenik veya kanserojenik değilken, anaerobik parçalanma sonucu oluşan aminler bu özellikleri gösterebilmektedir. Bu nedenle anaerobik sistemler aerobik arıtmadan önce yer alan bir ön arıtım yöntemi olarak önerilmektedirler. Çünkü aromatik aminler, aromatik bileşiğin halkasının açılması ve hidroksilasyonla aerobik ortamda mineralize olabilmektedirler. Böylece boyar madde içeren atıksuların kombine anaerobik-aerobik proseslerle arıtılması sonucu ilk basamakta etkili bir renk giderimi sağlanmakta ve anaerobik ortamda dirençli olan aromatik aminler aerobik basamakta giderilebilmektedir (O'Neill vd., 2000b).

Bu çalışmada, anaerobik arıtım yöntemi olan APR kullanılarak gerçek tekstil atık sularının renk giderim performansının değerlendirilmesi yapılarak renk giderimini iyileştirmeye yönelik çalışmalar yapılmıştır. Bu doğrultuda harici substrat eklemesi yapılarak ve anaerobik reaktörün çıkış suyuna farklı sürelerde ozon verilerek sistem performansına etkisi değerlendirilmiştir.

2.6.3.1. Anaerobik perdeli reaktör (APR)

APR, anaerobik koşulların gerektirdiği biyolojik proseslerde kullanılan bir reaktör çeşididir (Barber ve Stuckey 1999). APR basit bir dikdörtgen tanktır ve 4 ya da 5 eşit bölmeye bölünmüştür. APR reaktör atıksu kuvvetlerinin atıksu girişinden çıkışına akması için bir seri perdeler içerir. Akış perdelerin altında ve üstündedir. Yukarı akış esnasında atıksu aktif biyokütle ile temas eder (Şekil 3.1). İlave olarak, ölü bölgelerin olmasını engellemek ve atıksu-bakteri temasını maksimum yapabilmek için yönlendirme perdelerinin uç kısmına 45 derecelik bir açığa sahip küçük yönlendiriciler ilave edilmiştir. Bu tip reaktörde, perdeler ve farklı sayıda bölmeler nedeniyle, iyi bir granülasyon gözlenmekle beraber her bölmede farklı bakterilerin gelişebilmesine olanak sağlayıp yüksek bir arıtım verimi de elde edilebilmektedir (Demirden, 2005; Kuşçu, 2007; Tüzün, 2009).



Şekil 3.1. Anaerobik Perdeli Reaktör (APR)

APR, geleneksel anaerobik reaktörlerle karşılaştırıldığında, basit dizayn, ucuz inşaat, düşük sermaye ve işletim maliyeti, hidrolik ve organik şok yükler için daha yüksek esneklik, daha uzun biyokütle, alıkonma zamanları ve daha düşük çamur oluşumu içerir. Biyokütle için alışılmadık bir yerleşme özellikleri gerektirmez. APR'nin diğer faydalı özelliği düşük bekleme zamanlarında (10-20 saat) yüksek giderim etkileri ile atıksuyu arıtabilir olmasıdır (Demirden, 2005; Kuşçu, 2007; Tüzün, 2009).

Bir anaerobik perdeli reaktörün istikrarı ve performansı, bir dondurma atıksuyunun arıtımında 0,43-10 gün arasında değişen HRT (hidrolik bekleme zamanı)'lerde

araştırılmıştır (Uyanık vd., 2002). Bütün HRT'lerde KOİ giderim verimi % 99'a kadar bulunmuştur. APR'de yüksek KOİ giderim verimi onun bölümlere ayrılmış yapısından geldiği söylenebilir. Giriş KOİ'nin çoğunluğu çalışma boyunca (yaklaşık %80'i) 1. bölmede giderilmiştir.

APR ile yapılan farklı atıksuların arıtımı için birçok çalışmalar vardır; örneğin viski içki atıksu (Akunna ve Clark, 2000), tekstil boya atıksu (Bell ve Buckley, 2003), azo boyalar içeren atıksu (Bell vd., 2000), azot içeren atıksular (Bodik vd., 2003), swine(domuz) atıksu (Boopathy, 1998), evsel atıksu (Dama vd., 2002), kağıt hamuru ve kağıt siyah likör fabrikası (Grover vd., 1999), palmiye yağı fabrikası çıkış atıksu (Setiadi vd., 1996), ve dondurma atıksu (Uyanık vd., 2002), sülfat ve krom(III) içeren sentetik tabakhane atıksu (Barber ve Stuckey, 2000), p-nitrophenol içeren atıksular (Kuşçu ve Sponza, 2006), sülfat içeren atıksular (Vossoughi vd., 2003).

Bell ve Buckley, (2003) laboratuvar ölçekli anaerobik perdeli reaktörde CI Reactive Red 141 boyasının giderimini araştırdı. HRT 20 saat ve KOİ yükleme oranı 4,8 l/gün de KOİ ve renk giderim etkileri sırasıyla % 90 ve %86 buldu. Diğer bir çalışma da 250 mg/l tartrazine boyanın giderimi laboratuvar ölçekli ABR'de incelenmiştir (Bell vd., 2000). KOİ giderimi %50-60 ve renk giderimi %95 olduğu 20 saatlik HRT'de APR'de ulaşılmıştır. Bir gıda boyası üreticisi endüstriyel atıksuyu da aynı çalışmada araştırıldı. APR de %70 organik madde giderimi ve %90 renk azaltımına ulaşıldı.

Grover vd., (1999) kağıt hamuru ve kağıt fabrikalarından siyah likör (liquor) arıtımı ABR üzerinde farklı pH, sıcaklıklar, hidrolik bekleme zamanları ve organik yükleme oranlarının etkisi araştırılmıştır. HRT 2 günde maksimum KOİ giderimi % 60 bulunmuştur.

3. MATERYAL VE METOD

3.1. Deneysel Plan

3.1.1.Mikroorganizma temini

Bu çalışmada kullanılan çamur, Gaziantep Su ve Kanal İdaresi'ne bağlı atıksu arıtma tesisindeki anaerobik çamur çürütücünden alınarak aşılanmıştır. Çamur hava almayacak şekilde depolanmıştır.

3.1.2.Atıksu içeriği

Bu çalışma da kullanılan gerçek tekstil atıksuyu, Kahramanmaraş Merkez'de faaliyet gösteren KİPAŞ İPL. PAMUK TİC. ve SAN. A.Ş endüstrisine ait atıksu arıtma tesisinden haftada bir kez alınmıştır (Giriş atıksuyu +4 °C'de depolanmıştır). Bu fabrikanın boyama prosesi aktif olarak hergün faaliyette olup birçok farklı reaktif boya kullanılmaktadır. Bu atıksuyun karakterizasyonu Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

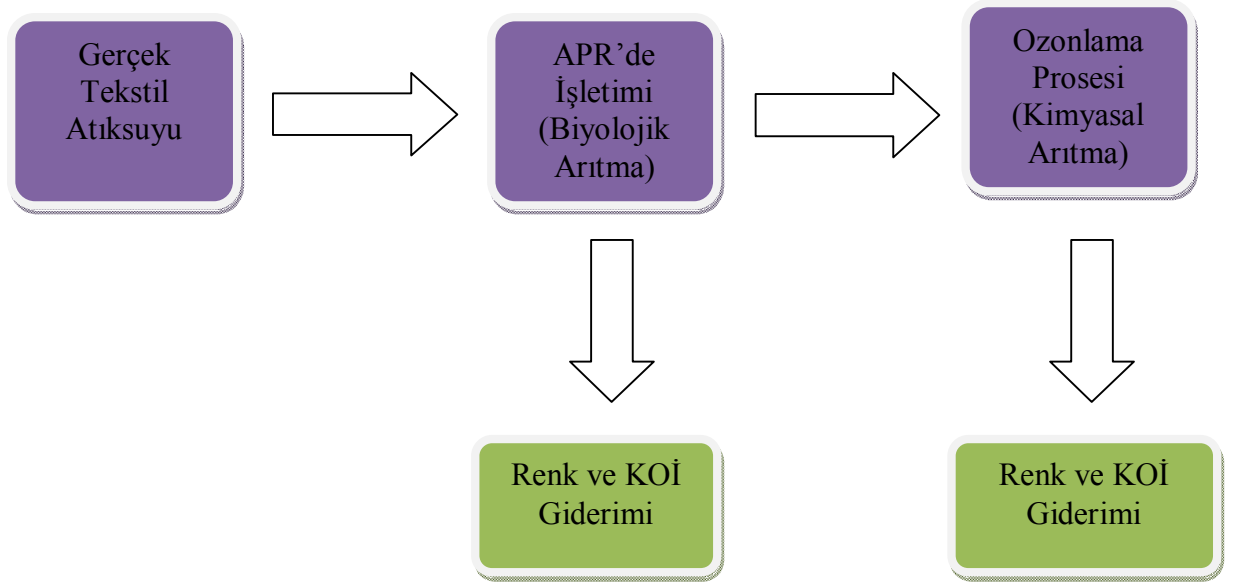
Çizelge 3.1. Gerçek tekstil atıksuyunun karakteristikleri

Parameters		Unit	Value
pH		-	11±0,5
Sıcaklık		(°C)	20,6±3,5
KOI		(mg/L)	~1000
Renk	λ_{436} nm	m ⁻¹	~52,07
	λ_{525} nm	m ⁻¹	~55,01
	λ_{620} nm	m ⁻¹	~68,04
Renk		Pt-Co	~3348

Çalışma gerçek atıksu ile yapıldığından dolayı gerçeği yansıtması açısından oldukça büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma gerçek tekstil atıksuyu kullanılarak gerçekleştirildiği için literatüre ve gerçek ölçekli atıksu arıtma tesislerinde karşılaşılan problemlere ışık tutacaktır.

3.1.3.Proses aşamaları

Çalışma iki aşamadan oluşmuştur. Birinci aşama biyolojik arıtma olup, APR kullanılarak gerçek tekstil atıksuyunda renk ve KOİ giderim verimleri araştırılmıştır. İkinci aşama ise biyolojik arıtmayı takip eden kimyasal arıtmadır. Bu aşamada ise anaerobik perdeli reaktörde renk ve KOİ giderimi yapılan çıkış suyunda kalan kalıntı renk ve KOİ giderimini sağlamak amacıyla çıkış suyuna uygulanan ozonlama prosesidir. Tez çalışmalarına ait deneysel plan Şekil 3.2.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan deneysel plan

3.1.3.1. I. Aşama: APR'de biyolojik arıtım

Deneyler, dikey yönlendiricilerle ayrılmış dört eşit hücreden oluşan 19 L hacimli APR de yürütülmüştür. Sistem +30 °C de kalacak şekilde derece kontrollü bir odaya yerleştirilmiştir. Sistem içerisindeki gerçek tekstil atıksuyuna ait her bir damlacık sistemin tüm perdelerini dolaşarak sistemi terk etme süresi HRT 2 gündür. Çalışma boyunca 2 günlük bir kalıcı HRT ye sahip olmak için reaktöre peristaltik bir pompa ile sürekli besin çözeltisi pompalanmıştır. Sistemin herbir perdesindeki renk ve KOİ giderimini tespit etmek için numune alma noktalarından numuneler alınarak haftada 3 kez analiz edilmiştir. Çalışma da kullanılan APR, Şekil 3.3'de gösterilmiştir.



Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan anaerobik perdeli reaktör (APR)

APR'nin performansı üç farklı periyot altında 143 gün değerlendirilmiştir. İlk periyotta (0-90 gün) sisteme karbon kaynağı ilavesi yapılmamış KOİ konsantrasyonu ortalama 1000 mg/L olan gerçek tekstil atıksuyu ile çalıştırılmıştır. İkinci (91-127. gün) ve üçüncü (128-143. günler) periyotlarda sisteme sırasıyla ortalama 500mg/L ve 1000mg/L glikoz ilavesi yapılarak KOİ konsantrasyonlarını ortalama 1500mg/L ve 2000mg/L olacak şekilde artan elektron vericisi kaynağının sistem performansına etkisi değerlendirilmiştir. Sistem performansını belirlemek için reaktörden alınan örnekler ile haftada 3 kez analiz yapılmıştır. Anaerobik perdeli reaktörün işletme koşulları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Anaerobik perdeli reaktörün işletme koşulları

Parametreler	Periyotlar		
	I	II	III
Günler	0-90	91-127	128-143
KOİ konsantrasyonu (mg L⁻¹)	~1000	~1500	~2000

3.1.3.2. II. Aşama: Biyolojik arıtım sonrası ozonlama prosesi

APR'nin 3. periyodunun çıkış suyu, ozonlama prosesi için kullanılmıştır. Ozon deneyleri oda sıcaklığında 500 ml lik cam bir reaktörde yürütülmüştür. Havadan ozon üretmek için

bir ozon jeneratörü (Opal OG-400, Ankara, Türkiye) kullanılmış ve 400 mg/saat kapasitesinde ozon jeneratör ile ozon bir difüzör aracılığıyla reaktöre verilmiştir. Ozonlama deneyleri 5 dakikadan 75 dakikaya ozonlama dozlarında yürütülmüştür. KOİ ve renk ölçümleri için düzenli aralıklarla örnekler alınmıştır. pH değerleri deneysel periyotlarda 7.0 ± 0.5 civarında sabit tutulmuştur.

3.2. Analitik Yöntemler

Sistem performansını değerlendirmek amacıyla reaktörden alınan numunelerden KOİ ve renk analizleri yapılmıştır. Ölçümlerinden önce numuneler 4000 rpm'de 5 dakika santrifüj edilerek analizler yapılmıştır.

3.2.1. KOİ

Hach-Lange DR 5000 spektrofotometre cihazı kullanılarak KOİ test kitleri ile ölçüm yapılmıştır. Metot US EPA onaylıdır (Standard Method COD, 5220D) ve işlemler standart metodlara eşdeğerdir. Birimi mg/L'dir.

3.2.2. Renk

Çalışma sırasında, renk iki tayin metoduyla yapılmıştır. Bunlardan biri RES (436, 525 ve 620 nm olmak üzere 3 farklı dalga boyunda) ve diğeri ise Pt-Co (465 nm) dır. Seyreltilmiş atıksu numunesi 10 ml cam küvete konularak spektrofotometrede sırasıyla RES ölçüm metodu için 436, 525 ve 620 nm dalga boylarında absorbans; Pt-Co ölçüm metodunda ise 465 nm'de konsantrasyon değerleri ölçülmüştür.

3.3. Hesaplamalar

RES ölçüm metodunda ölçülen bu absorbans değerleri denklem 3.1'de yerine konularak RES-436, RES-525 ve RES-636 değerleri hesaplanmıştır.

$$RES(\lambda) = \left(\frac{A}{d} \right) \cdot f \quad (3.4)$$

A, dalga boyunda numunenin absorbans değeri (okunan absorbans) (cm^{-1})

d: Küvet kalınlığı (mm)

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

RES (λ): λ dalga boyundaki renklilik sayısı (RES) değeri (m^{-1})

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Tez kapsamında elde edilen çalışma bulguları bu bölümde sunulmuş ve tartışılmıştır. Bu sistemde çalışmanın amacı, APR kullanılarak gerçek tekstil atıksuyunda renk ve KOİ gideriminin biyolojik olarak arıtılabilirliğinin incelenmesi ve sonrasında reaktör çıkış suyunda giderilemeyen kalıntı renk ve KOİ gideriminin bir kimyasal arıtım olan ozonlama prosesi ile arıtılabilirliğinin incelenmesidir. Bu kapsamda APR'ye farklı oranlarda karbon kaynağı (glikoz) ilavesi yapılmış, bu işlem 3 periyotta gerçekleştirilmiştir. Daha sonra çıkış suyuna ozonlama prosesi uygulanmış ve veriler toplanmıştır. Deneysel veriler toplanarak, çalışmanın teorik altyapısı ve amacı tanımlanmış elde edilen bulgular aşağıda sunulmuştur.

4.1. Biyolojik Renk ve KOİ Gideriminin APR'de İncelenmesi

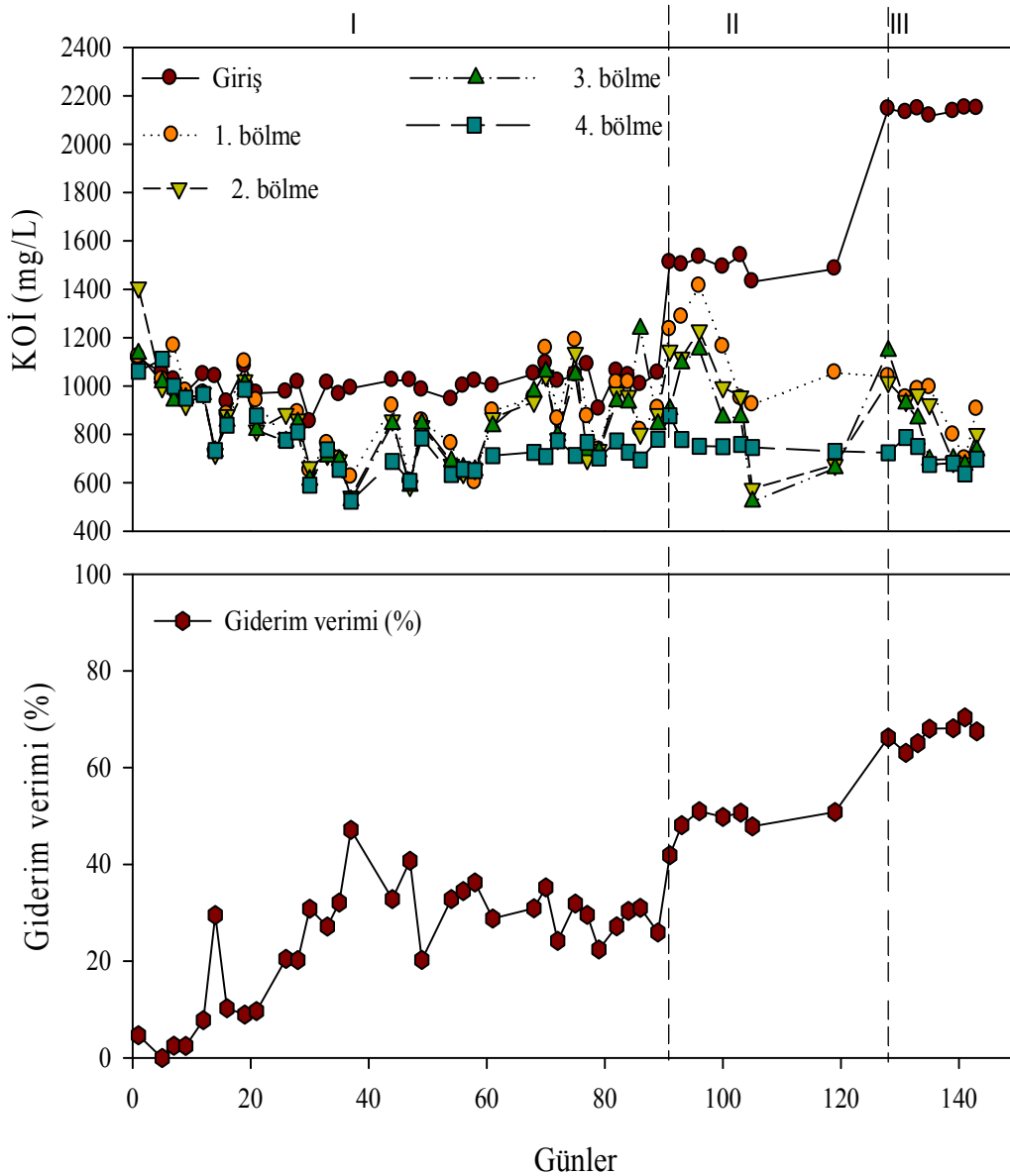
Çalışmanın biyolojik bölümü üç periyottan oluşmuştur (Çizelge 3.1.). APR sabit sıcaklıkta 143 gün boyunca farklı glikoz konsantrasyonlarında işletilerek KOİ ve renk arıtım performansları incelenmiştir. APR'nin KOİ performansı Şekil 4.1.'de gösterilmiştir. APR'nin ilk periyodunda ortalama 1000 mg/L KOİ ye sahip giriş suyu reaktöre verilmiştir. Bu periyotta çıkış suyunda ortalama % 23,11 seviyelerinde düşük KOİ giderimi gözlenmiştir (Şekil 4.1.). II. ve III. periyotlarda giriş atıksuyuna elektron verici kaynağı (glikoz) ilave edilerek renk giderimini artırmak amaçlanmıştır. II. periyotda KOİ konsantrasyonu 1000 mg/L'den, glikozla 1500 mg/L'ye artırıldığında etkili KOİ giderimi her kompartmanda artış göstermiş ve çıkış atıksuyu giderim verimi yaklaşık % 48,60' a yükseldiği gözlemlenmiştir. III. periyotta reaktör giriş suyu KOİ konsantrasyonu 1500 mg/L'den, 2000 mg/L'ye çıkartıldığında ise çıkış atıksuyu KOİ giderimi % 66,92 civarında arttığı ve çıkış suyu KOİ konsantrasyonunun ortalama 636,55 mg/L civarında olduğu görülmüştür (Şekil 4.1.).

Çalışmada harici substrat eklenmesiyle II. ve III. periyotlardaki KOİ giderim verimi artmasına rağmen bütün periyotlardaki çıkış KOİ konsantrasyonunun değişmediği gözlemlenmiştir. KOİ giderim verimindeki bu artış eklenen harici substratın kolay parçalanabilir olmasıyla ilişkilendirilebilir. Yani gerçek tekstil atıksularının biyolojik olarak parçalanması zor atıksular olmasından dolayı Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre belirlenen tekstilin türüne göre değişiklik arz eden tekstil atıksularının alıcı ortama

deşarj standartlarında KOİ (200-300 mg/L) parametresini sağlayamamaktadır ve tek başına biyolojik arıtım yeterli olmadığından ikincil bir arıtmaya ihtiyaç duyulmaktadır.

Gianluca ve Nicola (2001) yaptıkları bir çalışmada tekstil atıksularının biyolojik renk giderme prosesinin sistemin KOİ konsantrasyonuna bağlı olduğunu, sistemde KOİ konsantrasyonu arttıkça renk gideriminin de artacağını vurgulamışlardır. Sürekli olarak işletilen yukarı akışı bir kolon reaktörde yapılan bir çalışmada 1 ve 8 g/L organik yükleme oranlarında sırasıyla % 5 ve % 35 KOİ giderim verimi gözlenmiştir (Kapdan, 2005).

PERİYOTLAR



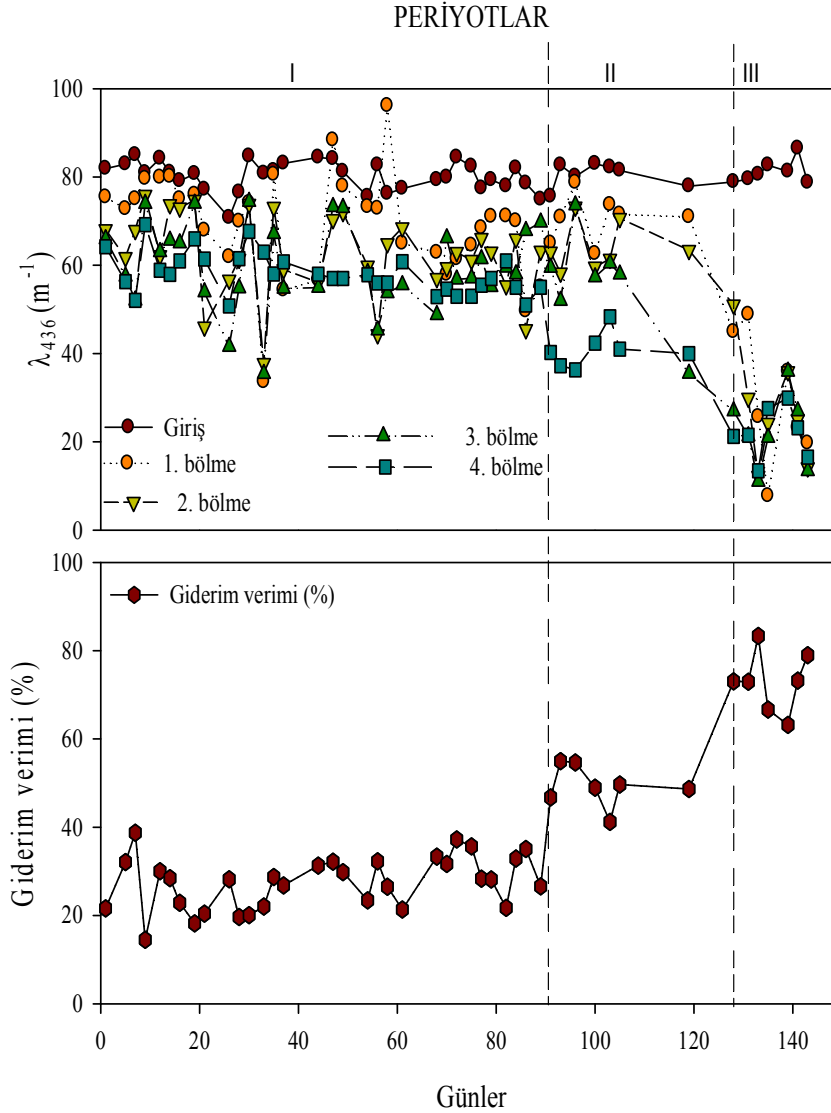
Şekil 4.1. Anaerobik Perdeli Reaktör'de KOİ giderim verimleri

Gerçek atıksuya biyolojik arıtmanın uygulandığı işletme koşullarında, genel olarak rengin dördüncü bölmede giderildiği gözlemlenmiştir. I. Periyotta yani sisteme harici substratın

eklenmediği işletme koşullarında RES (λ_{436} , λ_{525} , λ_{620}) ve Pt-Co (λ_{465}) da sırasıyla ortalama renk giderim verimleri % 27,51; % 25,24; % 33,21 ve % 35,27 gözlemlenmiştir.

Sisteme II. periyot da (yani 91-127 günler arasında) giriş atıksuyu KOİ konsantrasyonu ortalama 1500 mg/L iken renk giderim verimleri RES (λ_{436} , λ_{525} , λ_{620}) ve Pt-Co (λ_{465}) da sırasıyla ortalama % 49,28; % 50,82; % 51,24 ve % 65,88 olarak artış gözlenmektedir.

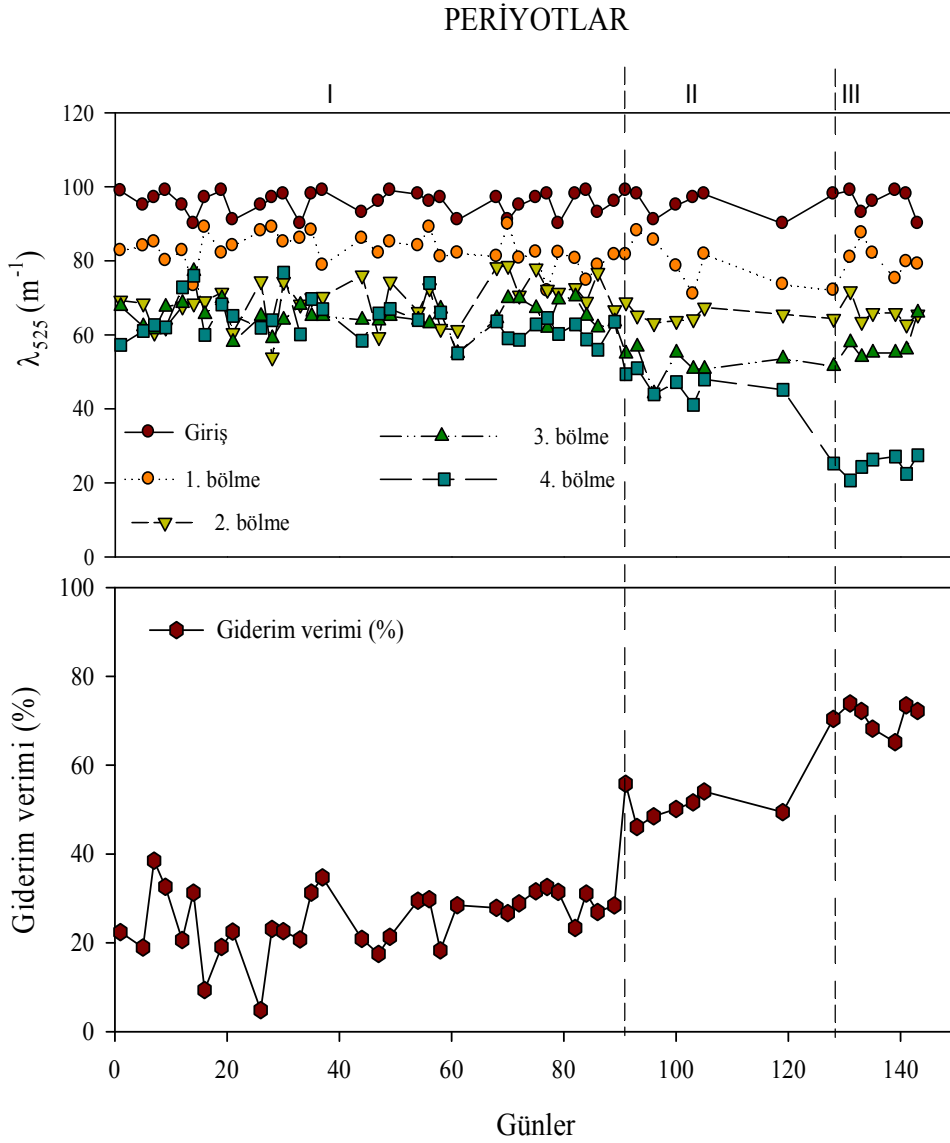
Sistemde elektron verici kaynağının ortalama 1500 mg/L'den 2000 mg/L'ye artırıldığı işletme koşullarında yani III. Periyot da ise renk giderim verimlerinde iyileşme gözlemlenmiştir. III. Periyotta RES (λ_{436} , λ_{525} , λ_{620}) ve Pt-Co (λ_{465}) da sırasıyla ortalama renk giderim verimleri % 73,06; % 70,81; % 74,16; % 88,39 olarak gözlemlenmiştir.



Şekil 4.2. Farklı KOİ konsantrasyonlarının renk (RES λ_{436}) (m⁻¹) giderimine etkisi.

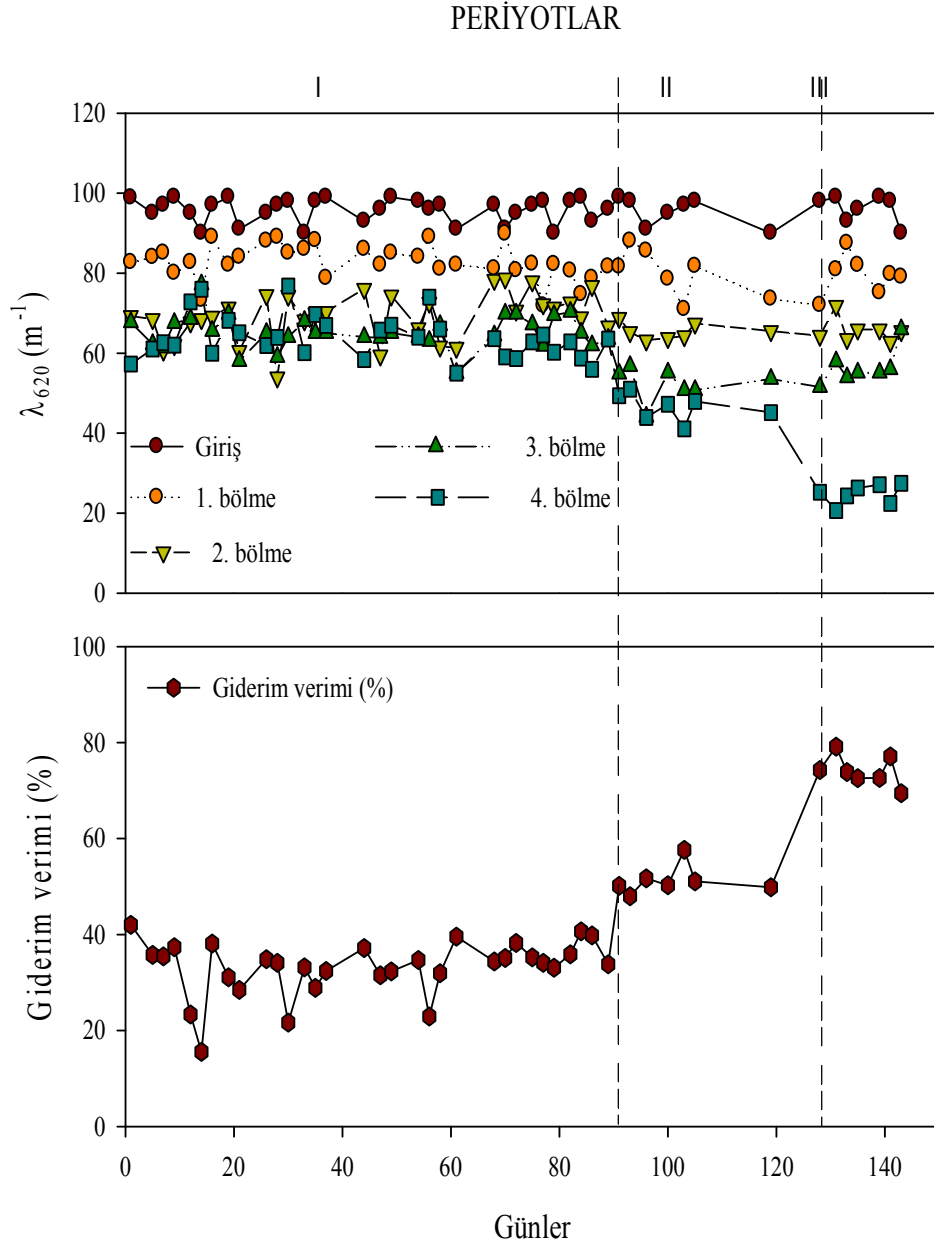
Şekil 4.2.'de farklı KOİ konsantrasyonlarının renk (RES λ_{436}) (m⁻¹) giderimine etkisi her üç periyotta da APR'ye giriş atıksuyu ve APR'deki dört bölmeye ait renk giderimleri ile her

bir periyottaki giderim verimleri verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi, $(RES \lambda_{436}) (m^{-1})$ için I. Periyottaki giderim verimi ortalama 27,51; II. Periyottaki giderim verimi ortalama 49,28 ve III. Periyottaki giderim verimi ortalama 73,06 ‘dır.



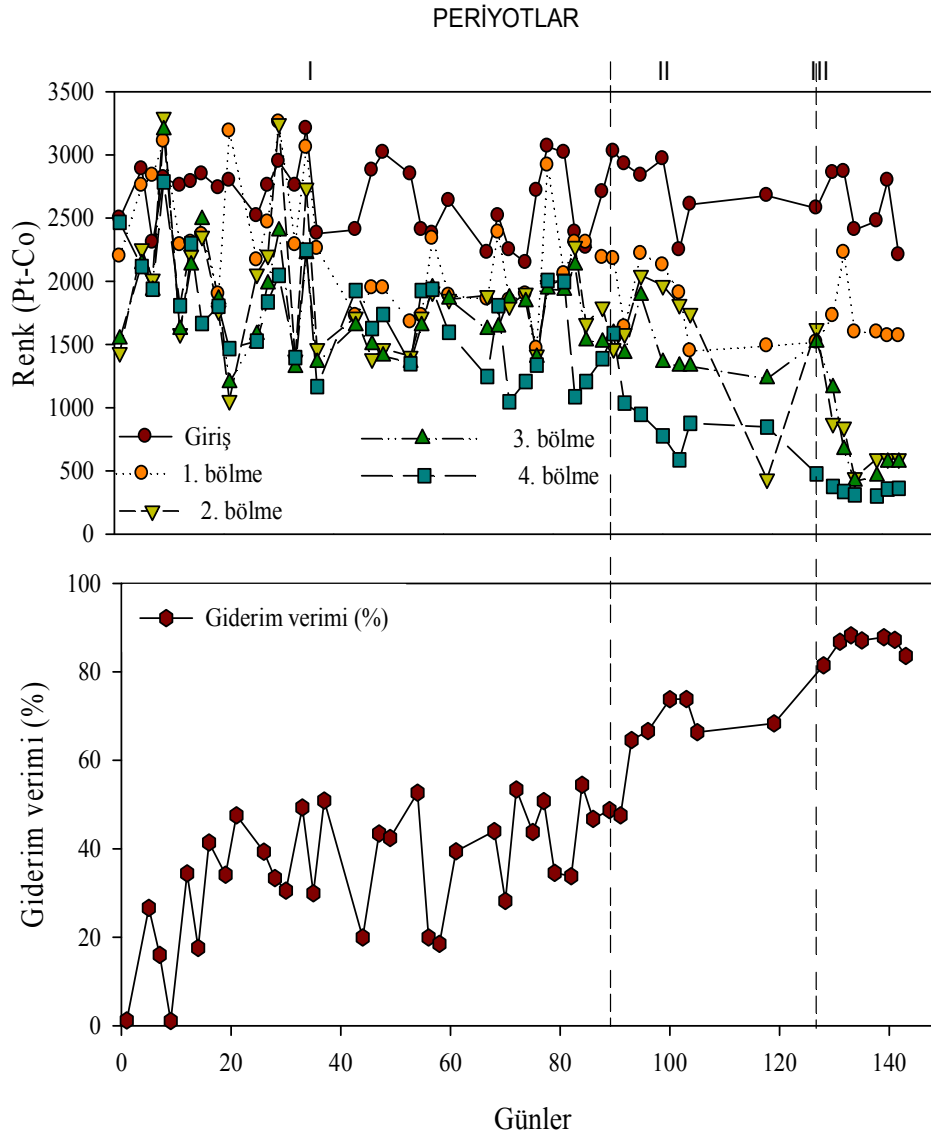
Şekil 4.3. Farklı KOİ konsantrasyonlarının renk $(RES \lambda_{525}) (m^{-1})$ giderimine etkisi.

Şekil 4.3.'de farklı KOİ konsantrasyonlarının renk $(RES \lambda_{525}) (m^{-1})$ giderimine etkisi her üç periyotta da APR'ye giriş atıksuyu ve APR'deki dört bölmeye ait renk giderimleri ile her bir periyottaki giderim verimleri verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi, $(RES \lambda_{525}) (m^{-1})$ için I. Periyottaki giderim verimi ortalama 25,24; II. Periyottaki giderim verimi ortalama 50,82 ve III. Periyottaki giderim verimi ortalama 70,81'dir.



Şekil 4.4. Farklı KOİ konsantrasyonlarının renk ($RES \lambda_{620}$) (m^{-1}) giderimine etkisi.

Şekil 4.4.'de farklı KOİ konsantrasyonlarının renk ($RES \lambda_{620}$) (m^{-1}) giderimine etkisi her üç periyotta da APR'ye giriş atıksuyu ve APR'deki dört bölmeye ait renk giderimleri ile her bir periyottaki giderim verimleri verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi, ($RES \lambda_{620}$) (m^{-1}) için I. Periyottaki giderim verimi ortalama 33,21; II. Periyottaki giderim verimi ortalama 51,24 ve III. Periyottaki giderim verimi ortalama 74,16'dır.



Şekil 4.5. Farklı KOİ konsantrasyonlarının renk Pt-Co (λ_{465}) giderimine etkisi.

Şekil 4.5.'de farklı KOİ konsantrasyonlarının renk Pt-Co (λ_{465}) giderimine etkisi her üç periyotta da APR'ye giriş atıksuyu ve APR'deki dört bölmeye ait renk giderimleri ile her bir periyottaki giderim verimleri verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi, Pt-Co (λ_{465}) için I. Periyottaki giderim verimi ortalama 35,27; II. Periyottaki giderim verimi ortalama 65,88 ve III. Periyottaki giderim verimi ortalama 88,39'dur.

Çalışmanın birinci aşamasında gerçek tekstil atıksularının biyolojik olarak arıtılması amaçlanmıştır. Çalışmanın 3. Periyodunda yani sistemin elektron verici kaynağının ortalama 2000 mg/L olduğu işletme koşullarında çıkış atıksuyu karakterizasyonu Çizelge 4.1’de verilmiştir. Özellikle gerçek atıksuların arıtımında anaerobik biyolojik arıtmanın tek başına yetersiz kaldığı görülmüştür. Sistemin çıkış suyuna ozonlama prosesi ilave edilerek sistem performansına etkisi incelenmiştir.

Çizelge 4.1. Biyolojik arıtma sonrası atıksu karakterizasyonu

Parametreler		Birim	Değer
pH		-	7,5±0,5
Sıcaklık		(°C)	20,6±3,5
KOİ		(mg/L)	650±20
Renk	λ_{436} nm	m ⁻¹	16,54±0,05
	λ_{525} nm	m ⁻¹	25,00±0,06
	λ_{620} nm	m ⁻¹	27,48±0,03
Renk		Pt-Co	360±5

4.2. Biyolojik Arıtım Sonrası Ozonlama Prosesinin İncelenmesi

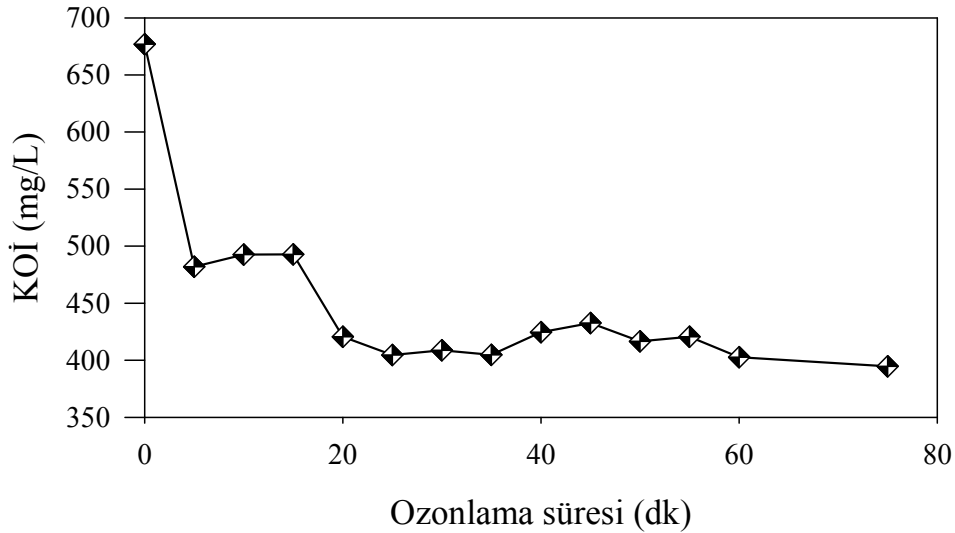
Biyolojik olarak arıtılan anaerobik perdeli reaktör çıkış suyunda renk ve KOİ giderimi üzerinde uygulanan ozonlama süresinin etkisi ph 7.2±0.1 de uygulanan ozon süresi arttırılarak çalışılmıştır. Bu amaç için 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60 ve 75 dakikalık ozon besleme süreleri uygulanmıştır. Şekil 4.6 da, 5 dakikalık ozonlama süresinde % 28,8 lik KOİ giderimi ile sonuçlanırken 35 dakikalık ozonlama süresinde ise KOİ gideriminin % 40,32’ ye yükseldiğini ve 35 dakikadan sonra dikkate değer bir giderimin olmadığı gözlemlenmiştir. 5 dakikadan 75 dakikaya ozonlama süresindeki artışın renk giderme verimini artırdığı görülmüştür. Yani ozonlama süresinin artırılmasının KOİ ve renk giderim verimi üzerine pozitif bir etkiye sahip olduğu saptanmıştır.

Sistemde Pt-Co (λ_{465}) için; 5, 25, 50 ve 75 dakika ozonlama sürelerinde renk giderim verimleri % 14,33; % 24,19; % 44,22 ve % 68,55 olduğu görülmüştür.

Esasen ilk 20 dakikalık ozonlama süresinde RES (λ_{436} , λ_{525} , λ_{620}) ve Pt-Co (λ_{465}) için renk giderim verimleri Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği’nde yer alacak olan renk parametresi

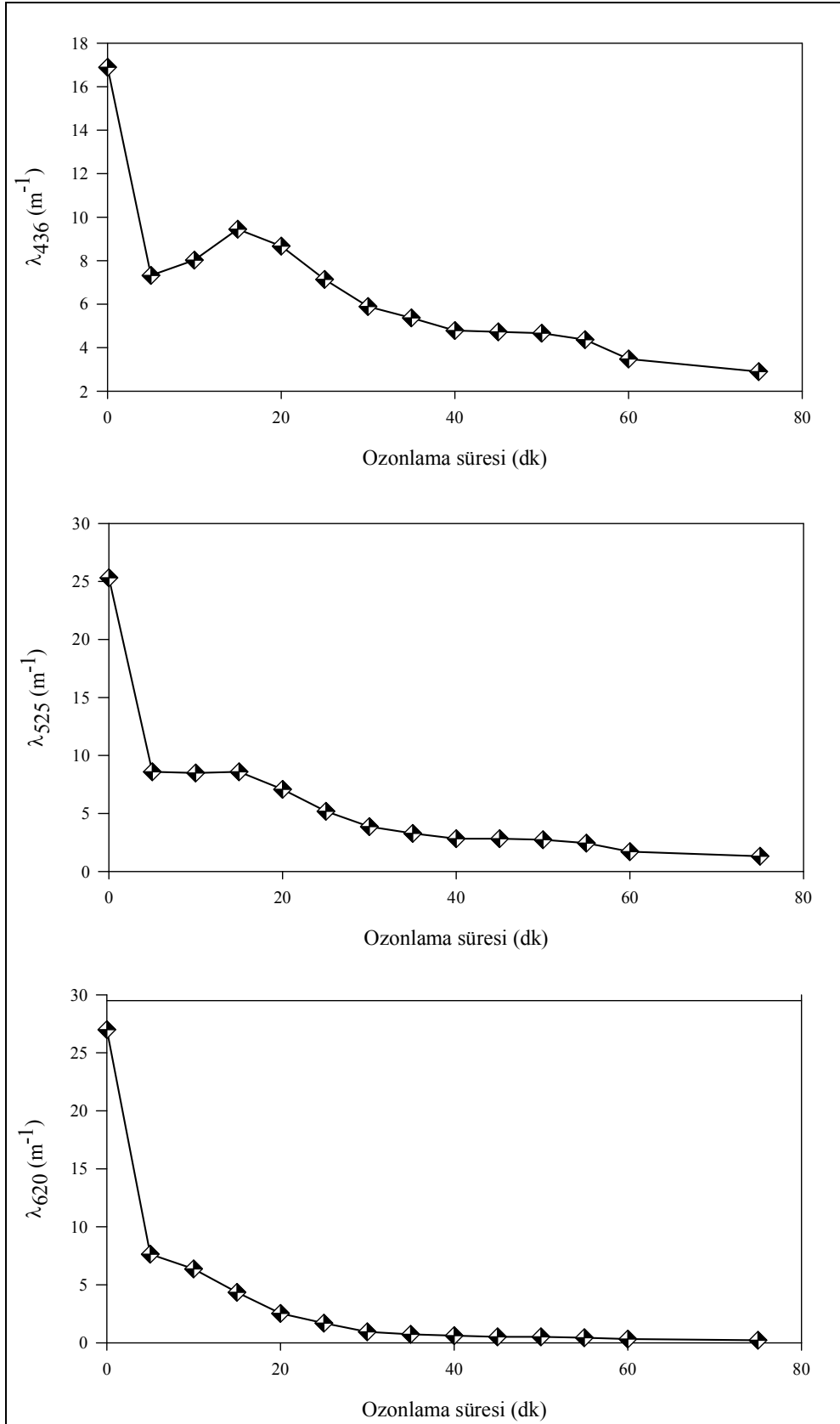
için öngörülen 9 (m^{-1}), 7 (m^{-1}), 5 (m^{-1}) ve 280 Pt-Co sınır değerlerine RES (λ_{436} , λ_{525} , λ_{620}) için sırasıyla 8,67 (m^{-1}); 7,08 (m^{-1}); 2,54 (m^{-1}) ve 281,35 Pt-Co olarak ulaşılmıştır.

Biyolojik arıtım sonrası uygulanan ozonlama prosesi aracılığıyla toplam renk giderim etkileri özellikle 75 dakikalık ozonlama süresi için RES (λ_{436} , λ_{525} , λ_{620}) ve Pt-Co (λ_{465}) sırasıyla ortalama renk giderim verimleri % 82,86; % 94,8 ve % 99,2 ve % 68,55 dir. Uygulanan ozonlama süreleri boyunca yüksek renk giderimleri elde edilirken düşük KOİ giderimi elde edilmiştir. Bu sistemde bulunan organik materyallerin ve rengi oluşturan maddelerin tam olarak okside olamaması (tam gideriminin gerçekleşmemesi) ile küçük organik moleküler parçacıkların üretimi ile açıklanabilmektedir. Birçok araştırmacı ozonlama ile KOİ gideriminin organik substratın kısmi oksidasyonunun bir sonucu olduğunu gözlemlemişlerdir (Wang vd., 2003).



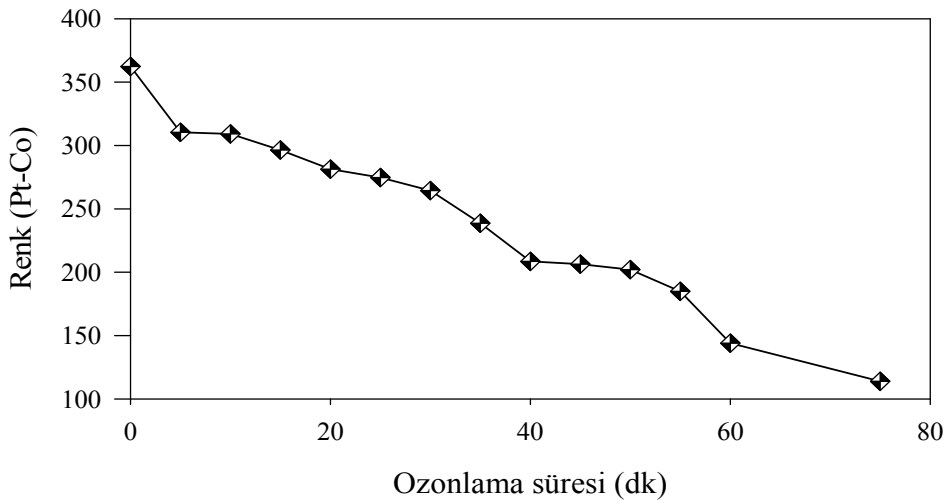
Şekil 4.6. Farklı ozonlama sürelerinin KOİ giderimine etkisi

Şekil 4.6 da farklı ozonlama sürelerinin KOİ giderimine etkisi verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi ilk 5 dakika da % 28,8 lik bir artış söz konusu iken 20 dakikalık ozonlama süresinde % 37,9'lık bir artış görülmektedir. 25-35 dakikalık ozonlama sürelerinde KOİ miktarında değişim olmamış denilebilir. 75 dakikalık ozonlama süresinde ise % 41,7'lik bir artış görülmektedir.



Şekil 4.7. Farklı ozonlama sürelerinin renk (RES λ_{436} , λ_{525} ve λ_{620}) (m⁻¹) giderimine etkisi

Şekil 4.7 de farklı ozonlama sürelerinin renk (RES λ_{436} , λ_{525} ve λ_{620}) (m^{-1}) giderimine etkisi verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi ilk 25 dakikalık ozonlama süresinde RES (λ_{436}) için ortalama renk giderim verimi % 57,73 olduğu gözlemlenmiştir. 75 dakikalık ozonlama süresinde ise ortalama renk giderim verimi % 82,86'dır. RES (λ_{525}) için; ilk 5 dakikalık ozonlama süresinde ortalama renk giderim verimi % 66,06 olup, 5-20 dakikalar arasında fazla bir değişiklik olmadığı görülmektedir. 25 dakikalık ozonlama süresinde ortalama renk giderim verimi % 79,53 ve 75 dakikalık ozonlama süresinde ise ortalama renk giderim verimi % 94,8'dir. RES (λ_{620}) için ilk 5 dakikalık ozonlama süresinde ortalama renk giderim verimi % 71,7 olup, 25 dakikalık ozonlama süresinde ortalama renk giderim verimi % 93,7'dir. 75 dakikalık ozonlama süresinde ise ortalama renk giderim verimi % 99,2'dir.



Şekil 4.8. Farklı ozonlama sürelerinin renk Pt-Co (λ_{465}) giderimine etkisi

Şekil 4.8 de farklı ozonlama sürelerinin renk Pt-Co (λ_{465}) giderimine etkisi verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi 20 dakikalık ozonlama süresinde renk giderim verimi % 22,34 iken 75 dakikalık ozonlama süresinde ise renk giderim verimi % 68,55 olduğu görülmektedir. 20 dakikalık ozonlama süresinde 281,35 Pt-Co'dır.

5. SONUÇ

Tez çalışmasında gerçek tekstil atıksuyunun renk ve KOİ gideriminin öncelikle APR kullanılarak biyolojik olarak arıtımının incelenmesi ve sonrasında APR'den çıkan çıkış atıksuyuna ozonlama prosesi uygulanarak kimyasal olarak arıtımı incelenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Gerçek tekstil atıksularının APR'de biyolojik arıtımında sisteme harici substrat ilavesi ile renk ve KOİ giderim verimlerinin arttığı ancak Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinde yer alan renk parametresi için öngörülen sınır değerleri olan 280 Pt-Co λ_{465} için; tam olarak sağlayamadığından biyolojik arıtma sonrası ikincil bir arıtım prosesi gerektiği gözlemlenmiştir. Her ne kadar KOİ giderim verimi % olarak artış gösterse de sistemde arıtma sonrası giderilemeyen KOİ miktarının artan harici karbon ilavesi ile değişmediği ve bu değer yaklaşık olarak 600-700 mg/L değerleri arasında kaldığı gözlemlenmiştir.
- Tez çalışmasında APR'den çıkan çıkış suyuna ilk 20 dakika uygulanan ozonlama prosesi ile öngörülen renk sınır değerlerine hem RES için hem de Pt-Co için ulaşılmıştır. 75 dakikalık ozonlama süresinin sonunda ise tamamen rengin giderildiğini yani renksizleşme noktasına ulaşıldığı görülmektedir.
- 75 dakikalık ozonlama süresinin sonunda RES λ_{436} , RES λ_{525} ve RES λ_{620} de % 82,85; % 94,78 ve % 99,2 ye renk giderim verimleri elde edilirken, Pt-Co renk biriminde % 68,55 giderim verimi elde edilmiştir. KOİ giderimi ise % 41,8 dir.
- Biyolojik arıtım sonrası reaktörden çıkış suyuna uygulanan ozonlama prosesinin renk ve KOİ giderimi için iyi performans sergilediği görülmüştür. Bu sistemlerin her iki parametrenin hızlı bir şekilde giderimi için uygun olduğu anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- Akunna, J. C., and Clark, M., 2000. Performance of a Granular-bed Anaerobic Baffled Reactor (GRABBR) Treating Whisky Distillery Wastewater. *Bioresource Technol.*, 74, 257–261.
- Alaton Arslan, İ., Balcıoğlu Akmehmet, İ., 2001. “Photochemical and Heterogeneous Photocatalytic Degredation of Waste Vinylsulphone Dyes:A Case Study with Hydroyzed Reactive Black 5”. *J. Photochemistry and Photobiology A Chemistry*, Vol. 141, pp. 247-254.
- Alves ve Pinho, M.N., 2000. ‘Ultrafiltration for Colour Removal of Tannery Dyeing Wastewaters’. *Desalination*, vol. 130, pp.147-154.
- APHA, 1995. Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater. American Public Health Association, American Water Works Association and Water Pollution Control Federation, Washington, D.C., 19th edition.
- Anjaneyulu,Y., Sreedhara Chary,N. and Samuel Suman Raj, D., 2005. Decolourization of Industrial Effluents – Available Methods and Emerging Technologies A Review. *Rev. Env. Sci. Biotech.*, 4, 245–273.
- ARICI Y., 2000. Tekstil Endüstrisinde Reaktif Boyarmaddelerden Kaynaklanan Rengin Fenton Prosesi ile Giderilmesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
- Arslan, I. and Balcıoglu, I.A., 2000. Effect of Common Reactive Dye Auxiliaries on The Ozonation of Dyehouse Effluents Containing Vinylsulphone and Aminochlorotriazine Dyes. *Desalination*, 130, 1, 61-71.
- Banat, I.M., Nigam, P., Singh, D. and Marchant, R., 1996. Microbial Decolorization of Textile-Dye-Containing Effluents: A review. *Bioresource Technology*, 58, 217-227.
- Barber, WP. and Stuckey, DC., 2000. Effect of Sulfate Reduction On Chemical Oxygen Demand Removal in an Anaerobic Baffled Reactor. *Water Environment Research*, Vol:72, ISSN:1061-4303, Pages:593-601.
- Barber, W. P. and Stuckey, D., 1999. The Use of The Anaerobic Baffled Reactor (ABR) for Wastewater Treatment. A Rewiew. *Water Research*, 33, 7, 1559-1578.
- Başer, İ. ve İnancı, Y., 1990. Boyarmadde Kimyası. *Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Tekstil Eğitimi Bölümü yayını*, İstanbul, 216 s.
- Başıbüyük, M., Yüceer, A., Yılmaz, T., 1998. Tekstil Atıksularında Renk Giderilmesinde Kullanılan İleri Teknolojiler. *Kayseri I. Atıksu Sempozyumu*, Kayseri, s. 82-86.
- Bell, J., and Buckley, C. A., 2003. Treatment of a Ttextile Dye in Tthe Anaerobic Baffled Reactor. *Water S.A*, 29(2), 129–134.
- Bell, J., Plumb, J., Buckley, C., and Stuckey, C., 2000. Treatment and Decolorization of Dyes in an Anaerobic Baffled Reactor. *J Environ Eng.*, 126 (11), 1026-1032.
- Bisschops, I., Spanjers, H., 2003. Literature Review on Textile Wastewater Characterisation. *Environmental tecnology*, 24(11), 1399-1411.
- Bodik, I., Kratochvil, K., Gasparikova, E., and Hutnan, M., 2003. Nitrojen Removal in an Anaerobic Baffled Reactor With Aerobic Post–Ttreatment. *Bioresource Technol.*, 86,79- 84.
- Boopathy, R., 1998. Biological Treatment of Swine Waste Using ABR. *Bioresource Technol.*, 64, 1–6.
- Brown, Mark A. and Stephen C. DeVito., 1993. Predicting Azo Dye Toxicity. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 23(3), 249-324.

- Carliell, C.M., Barclay, S.J., Shaw, C., Wheatley, A.D. and Buckley, C.A., 1998. The Effect of Salts Used in Textile Dyeing on Microbial Decolorization of a Reactive Azo Dye. *Environ. Technol.* 19(11), 1133-1137.
- Chinwetkitvanich, S., Tuntoolvest, M. and Panswad, T., 2000. Anaerobic Decolorisation of Reactive Dyebath Effluents By a Two Stage UASB System With Tapioca As a Co-Substrate. *Water Research*, 34(8), 2223-2232.
- Cırık, K., 2010. Farklı Elektron Alıcılarının Anaerobik Renk Giderme Verimine Etkisi. Doktora Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı.
- Correia, V.M., Stephenson, T. and Judd, S. J., 1994. Characterisation of Textile Wastewaters a Review. *Environmental Technology*, 15, 917-929.
- Coughlin, M. F., Kinkle, B. K. Teper, A. and Bishop, P. L., 1997. Characterisation of Aerobic Azo- Dye Degrading Bacteria and Their Activity In Biofilms. *Water Science and Technology*, 36(1), 215-220.
- Dama, P., Bell, J., Faxon, K. M., Brouckaert, C. J., Huany, T., and Buckley, C. A., 2002. Pilot Scale Study of An Anaerobic Baffled Reactor for The Treatment of Domestic Wastewater. *Water Sci. and Technol.*, 26(9), 263-270.
- Demirden, P., 2005. Treatability Of Pharmaceutical Industry Wastewaters Containing Antibiotic in Anaerobic/Aerobic Sequential Processes. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Çevre Bilimleri Programı. 158s.
- Dikmen, F., 1998. Tekstil Atıksularında Ozonla Renk Giderimi Üzerine Bir Çalışma. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul. 75s.
- Dos Santos, A. B., Cervantes, F. J. and Van Lier, J. B., 2007. Review Paper on Current Technologies for Decolourisation of Textile Wastewaters: Perspectives for Anaerobic Biotechnology. *Bioresour. Technol.*, 98, 2369.
- EPA, 1997. Profile Of The Textile Industry. *U.S Government Printing Office Superintendent of Documents*, Washington.
- EPA, 2000. Emergency Planning And Community Right- To- Know Act Section 313 Reporting Guidance For The Textile Processing Industry.
- Evans, F.L., 1972. Ozone in Water and Wastewater Treatment. *Ann Arbor Science Publisher Inc.*, Michigan.
- Frank, N., A. Mangini and M. Korfmann, 2002. "TH/U Dating of the Trojan 'Water Quarries'." *Archaeometry*, 44:305-14
- Germirli F., Tünay O., Orhon D., Meriç S., 1997. A Systematic Approach to Assess the Pollution Characteristic in the Textile Industry. *Fresenius Environmental Bulletin*, 6, pp.254-259.
- Gianluca C., Nicola R., **2001**. Technical Note, The Treatment and Reuse of Wastewater in The Textile Industry Means of Ozonation and Electroflocculation. *Water Res.*, **35**, 567-572.
- Gökkuş, Ö., 2006. Dispers Boyarmadde İçeren Tekstil Atıksularında Renk Giderimi,. Yüksek Lisans Tezi. Cumhuriyet Üniversitesi Çevre Mühendisliği Ana Bilim Dalı. 85s.
- Grau, P., 1991. Textile Industry Wastewaters Treatment. *Water Science and Technology*, 24, pp., 97-103.
- Grover, R., Marwaha, S. S., and Kennedy, J.F., 1999. Studies on The Use of An Anaerobic Baffled Reactor for The Continuous Anaerobic Digestion of Pulp and Paper Mill Black Liquors. *Process Biochem.*, 34, 653-657.
- Hao O.J., 2000. Metal Effects on Sulfur Cycle Bacteria and Metal Removal by Sulfate Reducing Bacteria. Environmental technologies to treat sulfur pollution, Principles and engineering. *IWA Publishing*, London. 393-414.

- Kanlıoğlu, B.Ü., 2000. Pamuklu Tekstil Endüstrisi Atıksularında İyon Çifti Ekstraksiyonu Metodu İle Renk Giderimi. U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi. Bursa. 83 s.
- Kapdan İ., Kargı F., 1998. Atıksulardan Tekstil Boyar Maddelerinin Adsorpsiyonlu Biyolojik Arıtım ile Giderimi. *TÜBİTAK*, 9, 161-169.
- Kapdan, I. K., 2005. Kinetic Analysis of Dyestuff and COD Removal from Synthetic Wastewater in An Anaerobic Packed Column Reactor. *Process Biochemistry*, 40, 2545-2550.
- Kapdan, İ. A. ve Kargı, F., 2000. Atıksulardan Tekstil Boyarmaddesinin Coriolus Versicolor ile Dolgulu Kolon Reaktörde Giderimi. İ.T.Ü. 7. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu, İstanbul. 1-7.
- Karcher, S. Kornmüller, A. and Jekel, M., 1999. Removal of Reactive Dyes By Sorption/Complexation With Cucurbituril. *Water Science and Technology*, 40 (4-5), 425-433.
- Kırdar, E., 1995. Tekstil Atıksularında Renk Giderimi. İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul. 116 s.
- Kocaer, F. O., Alkan, U., 2002. Boyar madde İçeren Tekstil Atıksularının Arıtım Alternatifleri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Bursa. Cilt 7, Sayı 1.
- Köseoğlu, G., 2004. Tekstil Endüstrisi Atıksularındaki Renk Sorununun İleri Aktif Çamurlu Ardışık Kesikli Biyoreaktör İle Giderilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 151s.
- Kuşçu, O. S., and Sponza, D.T., 2006. Performance of *p*-nitrophenol (*p*-NP) Fed Sequential Anaerobic Migrating Blanket Reactor (AMBR)/Aerobic Completely Stirred Tank Reactor (CSTR) System Under Increasing Organic Loading Conditions. *Microb. Technol.*, 36, 888-895.
- Kuşçu, Ö., 2007. Comparison Of Anaerobic Baffled (ABR) and Migrating Blanket Reactors (AMBR) In The Anaerobic Treatability Of Nitroorganic Compounds. Doktora Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Çevre Teknolojisi. 260s.
- Lamarre L., 1997. A fresh looks at ozone. *EPRI Journal*, 22(4), 6-10.
- Mavruz, S., 2004. Tekstilde Suyun, Jet Makinelerinde Uygulanan Reaktif Boyamalara Etkisinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tekstil Mühendisliği Anabilim Dalı. s: 36-61.
- Mc Kay, G., 1979. Waste Color Removal from Ttextile Effluents. *J. American. Dyestuff. Reporter.*, 68 , 29-36.
- Mutlu, S.H., Yetiş, U., Gürkan, T., Yılmaz, L., 2002. Decolorization of Wastewater of a Baker's Yeast Plant by Membrane Processes. *Water Res.* 36, 609-616
- Nigam, P., Armour, G., Banat, I.M., Singh, D., Marchant, R., 2000. Physical Removal of Textile Dyes and Solid State Fermentation of Dye-Adsorbed Agricultural Residues. *Bioresour. Technol.*, 72, 219-226.
- Nigam, P., Banat, İ. M., Singh, D. and Marchant, R., 1996. Microbial Process for The Decolorization of Textile Effluent Containing Azo, Diazo and Reactive Dyes. *Process Biochemistry*, 31(5), 435-442.
- Oğuz, E., Keskinler, B., Demircioglu, N., 2004. Ozonlama ile Sentetik Tekstil Atıksularından KOİ giderimi. *1. Ulusal Çevre Kongresi*, Sivas. s. 201-206.
- Oneill, C., Hawkws, F. R., Hawkws, D. L., Esteves, S. and Wilcox, S. J., 2000. Anaerobic-Aerobic Biotreatment of Simulated Textile Effluent Containing Varied Ratios of Starch and Azo Dye. *Water Research*, 34(8), 2355-2361.

- Oneill, C., Lopez, A., Esteves, S., Hawkes, F. R., Hawkes, D.L. and Wilcox, S., 2000. Azo Dye Degredation in an Anaerobic-Aerobic Treatment System Operating on Simulated Textile Effluent. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 53, 249-254.
- Ölmez T., 1999. Tekstil Endüstrisinde Reaktif Boya Banyolarında Ozon ile Renk Giderimi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi. İstanbul. 103s.
- Özcan, Y., Ulusoy, E. 1984. Tekstil Elyaf ve Boyama Tekniği. İ.Ü, Fatih Yayınevi, İstanbul. s56,
- Pagga U., Brown D., 1986. The Degredation of Dyestuffs: Part II Behaviour of Dyestuffs in Aerobic Biodegradation Tests. *Chemosphere*, 15(4), pp. 479-491.
- Palma, C. Moreira, M.T. Mielgo, I. Feijoo, G. and Lema, J. M., 1999. Use of Fungal Bioreactor As a Pretreatment or Post Treatment Step For Continuous Decolorisation of Dyes. *Water Science and Technology*, 40(8), 131-136.
- Rice R.J., 1997. Applications of Ozone for Industrial Wastewater Treatment-A Review. *Ozone Sci. Eng.*, 18, 477-515.
- 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, pp. 247-255.
- Robson M.C. and Rice R.G., 1991. Wastewater Ozonation in The U.S.A.-History and Current Status- 1989. *Ozone: Science and Engineering*, 13(1), 23-40
- Setiadi, T., Husaini, L., & Djajadiningrat, A., 1996. Palm Oil Mill Effluent Treatment by Anaerobic Baffled Reactors: Recycle Effects and Biokinetic Parameters. *Wat. Sci. Technol.*, 34(11), 59-66.
- Seventekin, N., 1988. Effect of Yarn Properties on Thermal Comfort of Knitted Fabrics.
- Sevimli, M.F., 2000. Tekstil Endüstrisi Atıksularından Ozonlama İle Renk Giderimi ve Ozonlamanın Biyolojik Arıtılabilirliğe Etkisi. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. 238s.
- Socha, K., 1991. Treatment of Textile Effluents. *Textile Month*, 12, 52-56.
- Sponza, D., Işık, M. ve Atalay, H., 2000. Reaktif Black 5 ve Synozol Red Azo Boyalarının Anaerobik Arıtılabilirliği. *I.T.Ü. 7. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu*, İstanbul. 19-34.
- Szpyrkowicz ., Juzzolino C. and Kaul S. N., 2001. A Comparative Study on Oxidation of Disperse Dyes by Electrochemical Process, Ozone, Hypochlorite and Fenton Reagent. *Water Research*, 35, pp. 2129-2136.
- Tünay O., 1996. Çevre Mühendisliğinde Kimyasal Süreçler. *İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Basımevi*, İstanbul.
- Tünay, O., Kabdashlı, I., Eremektar, G. ve Orhon, D., 1996. Color Removal from Textile Wastewaters. *Water Science and Technology*, 34(11), 9-16.
- Tüzün, S., 2009. Anaerobic/Aerobic Sequential Treatment Of Chloramphenicol and Streptomycin Antibiotics Using Anaerobic Baffled and Aerobic Sludge Reactors. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Çevre Mühendisliği Çevre Teknolojisi Programı. 131s.
- Uyanik, S., Sallis, P. J., & Anderson, G. K., 2002. The Effect of Polymer Addition on Granulation in An Anaerobic Baffled Reactor (ABR). Part I: Process Performance. *Wat. Res.*, 36, 933-943.

- Van der Zee, F., 2002. Anaerobic Azo Dye Reduction. PhD Thesis, *Wageningen University*, Wageningen, The Netherlands.
- Vossoughi, M., Shakeri, M., & Alemzadeh, I., 2003. Performance of Anaerobic Baffled Reactor Treating Synthetic Wasterwater Influenced by Decreasing COD/SO₄ Rations. *Chem. Eng and Process.*, 42, 811-816.
- Wang C., Yediler A., Liernert D., Wang Z., Kerruo A., 2003. Ozonation of An Azo Dye C.I. Remazol Black 5 and Toxicological Assessment of Its Oxidation Products. *Chemosphere*, 52, 1225–1232.
- Weisburger JH, 2002. Comments on The History and Importance of Aromatic and Heterocyclic Amines in Public Health. *Mutat. Res.*, 506/507: 9-20.
- Willmott, N., Guthrie, J. and Nelson, G., 1998. The Biotechnology Approach to Colour Removal from Textile Effluent. *Journal of the Society of Dyers and Colorists*, 114, 38-41.
- Yılmaz K., 2010. Tekstil Endüstrisi Atıksularının Mağnezyum Flokülasyonu İle Arıtılabilirliğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Adana.
- Zollinger, Heinrich., 1991. Color Chemistry: Synteheeses, Properties and Applications of Organic Dyes and Pigments. 496 pp.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı, soyadı : Hatice ÖZBEBEK
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 15.11.1981 Kahramanmaraş
Medeni hali : Evli
Telefon : 0 (344) 228 46 00
Faks : 0 (344) 228 46 98
e-posta : tubaa_okuc@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	FÜ/ Çevre Mühendisliği Bölümü	2005
Lise	Atatürk Kız Lisesi	1998

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görevi
2005- Halen	Kahramanmaraş Belediyesi	Çevre Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Kitap Okumak, Araştırma yapmak.

Yayınlar

Ozbebek H., Ozdemir S., Akman D., Cırık K., Cinar O. (2013). Investigation of color removal from real textile wastewater in ABR followed by ozonation as post treatment. . 6th. International Conference on Chemistry and the Environment (ICCE), 50, 08-10 July, Antwerp, Belgium