

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARINDAKİ RENK
SORUNUNUN İLERİ AKTİF ÇAMURLU ARDIŞIK
KESİKLİ BİYOREAKTÖR İLE GİDERİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çev.Müh. Gülgün KÖSEOĞLU

**Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜH.
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Recep İLERİ**

HAZİRAN 2004

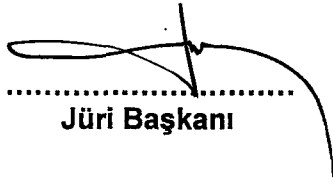
T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ


TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARINDAKİ RENK
SORUNUNUN İLERİ AKTİF ÇAMURLU ARDIŞIK
KESİKLİ BİYOREAKTÖR İLE GİDERİLMESİ


YÜKSEK LİSANS TEZİ
Çev.Müh. Gülgün KÖSEOĞLU

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜH.

Bu tez 14.06 / 2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.


Jüri Başkanı
Prof. Dr. Recep İLERİ


Jüri Üyesi
Doç. Dr. Saim
ÖZDEMİR


Jüri Üyesi
Yrd. Doç. Dr. Sabahattin
IŞIK

TEŞEKKÜR

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Bölümü'nde hazırlanan bu Yüksek Lisans Tezi çalışmasında, "Tekstil Endüstrisi Atıksularındaki Renk Sorununun İleri Aktif Çamurlu Ardışık Kesikli Biyoreaktör İle Giderilebilirliği" konusu ele alınmıştır.

Bana bu çalışmam esnasında fikir ve tecrübeleri ile katkıda bulunan ve her türlü yardım ve desteği sağlayan danışmanım sayın Prof. Dr. Recep İleri'ye teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım sırasında bana yol gösteren, yardım ve desteğini esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. Saim Özdemir'e ve laboratuvar çalışmalarım esnasında bana her türlü desteği sağlayan sayın hocam Prof. Dr. Ayhan Şengil'e teşekkür ederim.

Ayrıca her an yanımda olduklarını hissettiğim Enformatik Bölümü Araştırma Görevlilerine teşekkür ederim.

En önemlisi de her zaman yanımda olup sevgi ve desteklerini esirgemeyen hayattaki en değerli varlıklarım babam Haydar Köseoğlu, annem Seldağ Köseoğlu ve ablam Günseli Köseoğlu'na teşekkürü bir borç bilirim.

Saygılarımla
Gülgün Köseoğlu

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
TABLolar LİSTESİ	xii
ÖZET	xiv
SUMMARY.....	xv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı.....	1
BÖLÜM 2.	
TEKSTİL ENDÜSTRİSİ.....	3
2.1 Endüstrinin Tanımı.....	3
2.2 Tekstil Endüstrisi'ndeki Üretim Proses ve İşlemler.....	3
2.2.1 Yünlü tekstil endüstrisi	3
2.2.2 Pamuklu tekstil endüstrisi.....	6
2.2.3 Sentetik tekstil endüstrisi	9
2.3 Tekstil Endüstrisi'nde Alt Kategorizasyon ve Deşarj Standartları.....	10
BÖLÜM 3.	
TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARI KİRLİLİK ÖZELLİKLERİ.....	19
3.1 Tekstil Endüstrisi'nde Atıksu Kaynakları ve Kirlilik Özellikleri	19
3.2 Boyarmaddeler.....	23
3.2.1 Boyarmaddelerin çözünürlüklerine göre sınıflandırılması.....	24
3.2.1.1 Suda çözünen boyarmaddeler.....	24

3.2.1.2 Suda çözünmeyen boyarmaddeler.....	25
3.2.2 Boyarmaddelerin boyama özelliklerine göre sınıflandırılması	26
3.3 Renk.....	31
3.3.1 Rengin tanımı.....	31
3.3.2 Rengin önemi.....	31
3.3.3 Renk ölçüm metotları.....	32
3.3.3.1 Görsel karşılaştırma metodu.....	32
3.3.3.2 Spektrofotometrik metot.....	33
3.3.3.3 Tristumulus filtre metodu.....	33
3.3.3.4 Renklilik sayısı metodu.....	34

BÖLÜM 4.

TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ ARITIMI	35
4.1 Tekstil Atıksularını Arıtma Yöntemleri.....	35
4.1.1 Ön arıtma.....	35
4.1.2 Fiziksel-kimyasal arıtma.....	36
4.1.3 Biyolojik arıtma.....	36
4.1.4 İleri arıtma.....	37
4.1.5 Çamur arıtımı.....	37
4.2 Tekstil Atıksularından Renk Gidermede Kullanılan Yöntemler	38
4.2.1 Kimyasal yöntemler.....	40
4.2.1.1 Oksidasyon.....	40
4.2.1.1.1 Ozon ile renk giderimi.....	41
4.2.1.1.2 Fenton oksidasyonu.....	42
4.2.1.1.3 Klor ve hipoklorit oksidasyonu.....	43
4.2.1.2 Elektrokimyasal yöntem.....	43
4.2.1.3 Fotokimyasal yöntem.....	44
4.2.1.4 Koagülasyon-flokülasyon.....	45
4.2.2 Fiziksel yöntemler.....	46
4.2.2.1 Adsorpsiyon.....	46
4.2.2.2 Membran prosesleri.....	58
4.2.2.3 İyon değişimi.....	50
4.2.3 Biyolojik Yöntemler.....	50

4.2.3.1 Aerobik yöntem.....	50
4.2.3.2 Anaerobik yöntem.....	51
4.2.3.3 Biyosorpsiyon.....	52
4.2.3.4 İleri aktif çamur yöntemi.....	53

BÖLÜM 5.

SEÇİLEN TEKSTİL ENDÜSTRİSİNİN TANITILMASI	54
5.1 Tesisin Tanımı.....	54
5.2 Proses İşlem Tipi.....	55
5.3 Proses İşlemlerinden Kaynaklanan Atıklar.....	56
5.4 Atıksu Miktarı ve Özellikleri.....	56
5.5 Kullanılan Boyarmaddeler.....	58

BÖLÜM 6.

TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ ARDIŞIK KESİKLİ BİYOREAKTÖR İLE ARITILMASI	59
6.1 Ardışık Kesikli Biyoreaktör Teknolojisi.....	59
6.1.1 Proses tanımlama.....	61
6.1.2 AKR teknolojilerinin kullanılma sebepleri.....	64
6.1.3 Çeşitli AKR uygulamaları.....	65
6.2 Seçilen Tekstil Endüstrisi Atıksu Arıtma Tesisi	66
6.3 Substrat (Besi Maddesi) Giderme Kinetiği.....	68
6.3.1 Teorik yaklaşım.....	68
6.3.2 Substrat konsantrasyonlarının hesabı.....	71
6.3.3 Sonuçlar ve tartışma.....	76
6.4 Çökelme Kinetiği.....	84
6.4.1 Engelli çökelme.....	84

BÖLÜM 7.

TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARINDAKİ RENK SORUNUNUN İLERİ AKTİF ÇAMURLU ARDIŞIK KESİKLİ BİYOREAKTÖR İLE GİDERİLMESİ...88	
7.1 Deneysel Tasarım.....	88
7.1.1 Ardışık kesikli biyoreaktörün boyutlandırılması.....	88

7.1.2 Ardışık kesikli biyoreaktör ile yapılan çalışmalar.....	90
7.2 Deneylerde Kullanılan Funguslar.....	91
7.2.1 Fungusların üretimi ve saklanması.....	96
7.2.2 Stok fungus kültürlerinin hazırlanması.....	96
7.2.3 Kullanılan besiyeri.....	96
7.3 Laboratuvar Cihazları.....	97
7.3.1 Spektrofotometre.....	97
7.3.2 Santrifüj.....	97
7.3.3 Hassas tartı.....	97
7.3.4 Otoklav.....	97
7.4 Analitik Metot.....	97
7.5 Biyolojik Çamurun (Flok) Çökmesi.....	98

BÖLÜM 8.

BULGULAR.....	100
8.1 Hücre İlave Edilmeden Yapılan Deneylerdeki RES Değerleri ve Renk Giderim Verimleri	101
8.2 <i>Phanaerochacta chrysosporium</i> Canlı Biyokütlesi İle Yapılan Deneylerdeki RES Değerleri ve Renk Giderim Verimleri	105
8.3 <i>Trametes versicolor</i> Canlı Biyokütlesi İle Yapılan Deneylerdeki RES Değerleri ve Renk Giderim Verimleri	109
8.4 <i>Pleurotus sajor-caju</i> Canlı Biyokütlesi İle Yapılan Deneylerdeki RES Değerleri ve Renk Giderim Verimleri.....	113
8.5 Çökme Kinetiği.....	117

BÖLÜM 9.

SONUÇLAR.....	123
KAYNAKLAR	128
EKLER.....	133
ÖZGEÇMİŞ	135

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

BOİ ₅	: Biyokimyasal oksijen ihtiyacı (mg/l)
X	: Biyokütle konsantrasyonu (mg/l)
pH	: pH
KOİ	: Kimyasal oksijen ihtiyacı (mg/l)
EPA	: Environmental protection agency
TAM	: Toplam azot miktarı (mg/l)
TOK	: Toplam organik karbon (mg/l)
AKM	: Hücre konsantrasyonu (mg/l)
ÇKM	: Çözünebilen katı madde (mg/l)
λ	: Dalga boyu (nm)
UV	: Ultraviyole
S ₀ /X ₀	: Besin maddesi/Mikroorganizma miktarı (gr/gr)
EPS	: Extracellular polymeric substances
VER	: Volümetrik değişim oranı
FTR	: Doldurma zamanı oranı
SVI	: Çamur hacim indeksi (ml/gr)
SKKY	: Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği
S ₀	: Başlangıçtaki substrat konsantrasyonu (mg/l)
r _{sf}	: Doldurma süresi içerisinde alınan substratın oranı
k	: Reaksiyon sabiti
V _a	: Doldurma süreci başındaki reaktör içindeki hacim
t _f	: Her bir reaktörün doldurma zamanı
V _b	: Kesikli reaktörün boşken (toplam) hacmi
S _f	: Doldurma sürecinin sonundaki substrat konsantrasyonu (mg/l)
S _e	: Reaksiyon sürecinin sonundaki substrat konsantrasyonu (mg/l)

- t_c : Her bir reaktörün devir zamanı
 t_r : Her bir reaktörün reaksiyon zamanı
 t_s : Her bir reaktörün çökelme zamanı
 t_d : Her bir reaktörün boşaltma zamanı
 t_i : Her bir reaktörün bekleme zamanı
 α : Doldurma periyodu başlamadan önce kesikli reaktörün aktif hacminin, boşken (toplam) reaktör hacmine oranı
 V_{ab} : Kesikli reaktörün doldurma süreci başlamadan önceki mevcut hacmi
 θ_H : Hidrolik bekleme süresi
 Q : Tesise gelen atıksu debisi ($m^3/gün$)
 V_t : Havalandırma havuzlarını toplam hacmi (m^3)
 h : Havuz derinliği (m)
ZSF : Balık biyodeneyi
ÇO : Çözünmüş oksijen (mg/l)
AKR,S : Ardışık kesikli reaktör
 V : Mutlak çökelme hızı
 g : Yerçekimi ivmesi
 γ : Kinematik vizkozite, su için $0,01 \text{ cm}^2/dak$
 ρ_d : Partikül yoğunluğu
 ρ : Sıvının yoğunluğu, su için 1.0 g/cm^3
 d : Partikül çapı
 V_e : Etkin çökelme hızı
 V_w : Suyun artan çökelme hızı
 δ : Hacim/hacim olarak ifade edilmiş çamur konsantrasyonu
 γ : Biçim faktörü
 α : Katı boyar maddeden yansıyan veya bir çözeltiden geçen ışığın şiddeti
 A : α dalga boyunda su ekstinksiyonu
 d : Numunenin kalınlığı (küvet genişliği, nm)

- f : Spektral absorpsiyon değerinin m^{-1} biriminden elde etmek için faktör ($f = 1000$)
- RES : Renklilik sayısı (m^{-1})
- EI : Ekstinksiyon (belirli dalga boyunda)
- $V_{}$: Çamurun çökelleme hızı (cm/dak)
- S : Çamurun kat ettiği mesafe (cm)
- t : Zaman (dak)



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 6.1	Genel SBR prosesinin birbirini takip eden işletim fazları.....	62
Şekil 6.2	Aydın Örme tekstil endüstrisine ait atıksu arıtma tesisi akım şeması.....	67
Şekil 6.3	Atıksu arıtma tesisi Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) (mg/l) değerleri....	77
Şekil 6.4	Atıksu arıtma tesisi pH çıkış değerleri.....	77
Şekil 6.5	Atıksu arıtma tesisi Çamur Hacim İndeksi (SVI) (ml/g) değerleri.....	78
Şekil 6.6	Atıksu arıtma tesisi hücre konsantrasyonu (AKM) (mg/l)	78
Şekil 6.7	Tekstil endüstrisi atıksuyunun, çıkış BOI ₅ konsantrasyonu (S _e) kinetiğinin deneysel ve teorik karşılaştırılması.....	80
Şekil 6.8	Tekstil endüstrisi atıksuyunun, çıkış BOI ₅ konsantrasyonu (S _e) kinetiğine reaksiyon sabiti (k)' nin etkisi	80
Şekil 6.9	Doldurma sürecindeki ve reaksiyon sürecindeki substrat konsantrasyonuna, reaksiyon zamanının etkisi	82
Şekil 6.10	Doldurma sürecindeki ve reaksiyon sürecindeki substrat konsantrasyonuna, giren atıksu debisinin etkisi	83
Şekil 6.11	10 °C'de küresel tanecikler için yoğunluk farkı, tane boyutu ve çökme hızları arasındaki ilişki.....	85
Şekil 6.12	Süt endüstrisi atıksuyundan gelen farklı aktif çamur konsantrasyonları için statik çökme eğrileri.....	86
Şekil 6.13	Kanalizasyon aktif çamuru için çamur konsantrasyonu ve çökme hızı arasındaki ilişki.....	87
Şekil 7.1	Aydın Örme San. ve Tic. A.Ş. atıksu arıtma tesisi havalandırma havuzu şematik gösterimi	88
Şekil 7.2	Deneysel olarak kullanılan ardışık kesikli biyoreaktör düzeneği şematik gösterimi.....	89
Şekil 7.3	Deneysel olarak kullanılan ardışık kesikli reaktör düzeneği	90
Şekil 7.4	<i>Phanerochaete chrysosporium</i> 'un doğadaki fotoğrafı	91

Şekil 7.5	<i>Phanerochaete chrysosporium</i> 'un miselli yapısının mikro fotoğrafı (40 mikron)	91
Şekil 7.6	<i>Trametes versicolor</i> 'un doğadaki fotoğrafı.....	92
Şekil 7.7	<i>Pleurotus sajur-caju</i> 'nun doğadaki fotoğrafı.....	92
Şekil 7.8	<i>Phanaerochacta chrysosporium</i> , <i>Trametes versicolor</i> ve <i>Pleurotus sajur-caju</i> stok kültürleri.....	96
Şekil 8.1	436 nm'de ölçülen absorbans-zaman grafiği.....	103
Şekil 8.2	525 nm'de ölçülen absorbans-zaman grafiği.....	104
Şekil 8.3	620 nm'de ölçülen absorbans-zaman grafiği.....	104
Şekil 8.4	436 nm'de ölçülen absorbans-zaman grafiği.....	107
Şekil 8.5	525 nm'de ölçülen absorbans-zaman grafiği.....	108
Şekil 8.6	620 nm'de ölçülen absorbans-zaman grafiği.....	108
Şekil 8.7	436 nm'de ölçülen absorbans-zaman grafiği.....	111
Şekil 8.8	525 nm'de ölçülen absorbans-zaman grafiği.....	112
Şekil 8.9	620 nm'de ölçülen absorbans-zaman grafiği.....	112
Şekil 8.10	436 nm'de ölçülen absorbans-zaman grafiği.....	115
Şekil 8.11	525 nm'de ölçülen absorbans-zaman grafiği.....	116
Şekil 8.12	620 nm'de ölçülen absorbans-zaman grafiği.....	116
Şekil 8.13	10,6 cm sıvı yüksekliği referans alınarak elde edilen yükseklik-zaman grafiği.....	118
Şekil 8.14	10,6 cm sıvı yüksekliği referans alınarak elde edilen çökelme hızı-zaman grafiği.....	118
Şekil 8.15	35 cm sıvı yüksekliği referans alınarak elde edilen yükseklik-zaman grafiği.....	120
Şekil 8.16	35 cm sıvı yüksekliği referans alınarak elde edilen çökelme hızı-zaman grafiği.....	120
Şekil 8.17	Süt endüstrisi atıksuyundan gelen farklı aktif çamur konsantrasyonları için statik çökelme eğrileri ile 4.4 g/l biyokütle konsantrasyonunun karşılaştırılması.....	121
Şekil 8.18	Kanalizasyon aktif çamuru için çamur konsantrasyonu ve çökelme hızı arasındaki ilişkinin 4.4 g/l biyokütle konsantrasyonu için karşılaştırılması.....	122

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1	Tekstil endüstrisi alt kategorilerine göre atıksu kaynakları	16
Tablo 2.2	Alt kategorilerde konsantrasyon bazında atıksu karakterleri.....	17
Tablo 2.3	Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği alt kategorilerine ait atık su deşarj standartları	18
Tablo 3.1	Tipik bir tekstil fabrikasının yıllık kirlilik yükü	19
Tablo 3.2	Yünlü tekstil endüstrisi proseslerinden kaynaklanan atıksu karakteristikleri.....	20
Tablo 3.3	Pamuklu tekstil endüstrisi proseslerinden kaynaklanan atıksu karakteristikleri	21
Tablo 3.4	Sentetik tekstil endüstrisi proseslerinden kaynaklanan atıksu özellikleri..	21
Tablo 3.5	Tekstil atıksularında bulunan kimyasallar.....	22
Tablo 3.6	Boyama atıksularının karakteristikleri	23
Tablo 3.7	Boyama prosesinde en sık kullanılan yardımcı kimyasallar	24
Tablo 3.8	Uygulamalarına göre boya sınıflaması	30
Tablo 3.9	Işık absorpsiyonu ve renk.....	31
Tablo 4.1	Arıtma sistemlerindeki proseslerin kirlletici giderme verimleri.....	38
Tablo 4.2	Kullanılan boya türüne göre boyama suyuna geçen boya yüzdeleri değişim aralığı.....	39
Tablo 4.3	Membran proseslerinin karşılaştırılması	49
Tablo 5.1	Atıksuyun Kirlilik Parametreleri	57
Tablo 5.2	Proses Profili	58
Tablo 6.1	Değişik atıksu debilerinde elde edilen S_f (mg/l) ve S_e (mg/l) konsantrasyonları	75
Tablo 6.2	Aydın Örne tekstil endüstrisi atıksu arıtma tesisi çıkış değerleri.....	76
Tablo 6.3	Aydın Örne tekstil endüstrisi atıksu arıtma tesisi işletme parametreleri...	77

Tablo 6.4	Tekstil endüstrisi atıksuyunun çıkış BOI_5 konsantrasyonu (S_e) kinetiğinin deneysel ve teorik karşılaştırılması.....	79
Tablo 7.1	Boya giderimin de kullanılan çeşitli canlı fungal hücreler ile ilgili veriler	93
Tablo 8.1	Farklı dalga boylarında ve farklı zamanlarda hücre ilavesiz ve hücre ilaveli elde edilen çıkış suyu absorban ölçüm değerleri	101
Tablo 8.2	$\lambda = 436 \text{ nm}$, $\lambda = 525 \text{ nm}$ ve $\lambda = 620 \text{ nm}$ dalga boyları için zamana göre renk giderim verimleri.....	103
Tablo 8.3	$\lambda = 436 \text{ nm}$, $\lambda = 525 \text{ nm}$ ve $\lambda = 620 \text{ nm}$ dalga boyları için zamana göre renk giderim verimleri.....	107
Tablo 8.4	$\lambda = 436 \text{ nm}$, $\lambda = 525 \text{ nm}$ ve $\lambda = 620 \text{ nm}$ dalga boyları için zamana göre renk giderim verimleri.....	111
Tablo 8.5	$\lambda = 436 \text{ nm}$, $\lambda = 525 \text{ nm}$ ve $\lambda = 620 \text{ nm}$ dalga boyları için zamana göre renk giderim verimleri.....	115
Tablo 8.6	10,6 cm sıvı yüksekliği için elde edilen aktif çamur yükseklikleri, aktif çamurun katettiği mesafe ve çökelme hızı değerleri.....	117
Tablo 8.7	35 cm sıvı yüksekliği için elde edilen aktif çamur yükseklikleri, aktif çamurun katettiği mesafe ve çökelme hızı değerleri.....	119

ÖZET

Anahtar Kelimeler : Tekstil endüstrisi, Renk, Ardışık kesikli reaktör, Deneysel, Teorik, *phanaerochacta chrysosporium*, *trametes versicolor*, *pleurotus sajur-caju*, Çökelme kinetiği

Bu çalışmanın amacı; tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasında Ardışık Kesikli Reaktörlerin (AKR) kullanılabilirliğinin incelenmesi ve tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasında kullanılan klasik aktif çamur prosesine, biyoteknolojik yöntemlere dayanarak, rengi parçalama özelliği bulunabilen 3 farklı hücre eklenerek elde edilen İleri Aktif Çamur Yöntemi ile renk giderim verimlerinin belirlenmesi ve kıyaslanmasıdır. İrdeleme, deneysel veriler ve literatürden elde edilmiş teori üzerine yapılmıştır. Çalışmada, Aydın Örme San. ve Tic. A.Ş. tekstil endüstrisi atıksu arıtma tesisi Ardışık Kesikli Reaktör ünitesinde; çıkış suyu BOİ5'sinin (Se), reaksiyon süresince (tr) ile değişimi ve bu değişime etki eden reaksiyon sabiti (k) parametresi araştırılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalarda; adı geçen tekstil firmasının faaliyetlerdeki ardışık kesikli biyolojik arıtma tesisinden alınan aktif çamura üç beyaz çürükçül tür *phanaerochacta chrysosporium*, *trametes versicolor*, *pleurotus sajur-caju* (canlı biyokütle) ilave edilerek İleri Aktif Çamur elde edilmiş ve renk giderimin de kullanılan bu üç beyaz çürükçülün renk giderim kapasiteleri araştırılarak mevcut sistemle karşılaştırılması yapılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler grafiklere aktararak yorumlanmıştır.

Ayrıca yapılan literatür çalışmalarında klasik aktif çamur son çökeltim havuzundaki engelli çökeltim kinetiği ve davranış modeli incelenmiş ve ardışık kesikli reaktör sistemlerindeki çökeltim kinetiğinin genel olarak engelli çökeltim kinetiğine uygun olabileceği düşünülmüştür. Yapılan deneysel çalışmalarla da bunun uygunluğu saptanmaya çalışılmış, sistemin biyokütle konsantrasyonu (X, g/l) için en uygun çamur çökeltim süresini tespit etmek için yükseklik-zaman ve hız-zaman grafikleri çizilmiştir. Elde edilen değerler doğrultusunda tekstil firmasına ait ardışık kesikli biyolojik arıtma tesisi için en uygun çökeltim süresi tespit edilerek literatürdeki mevcut engelli çökeltim teorisinin ardışık kesikli reaktör sistemlerine uygunluğu saptanmaya çalışılmıştır.

REMOVIBILITY OF TEXTILE INDUSTRY WASTEWATER COLOR PROBLEM BY ADVANCED ACTIVATED SLUDGE SEQUENCING BATCH BIOREACTOR

SUMMARY

Key Words : Textile industry, sequencing batch reactor, experimental, theoretical, dye, *phanaerochacta chrysosporium*, *trametes versicolor*, *pleurotus sajur-caju*, sedimentation kinetic.

In this study the employability of sequencing batch reactor's wastewater treatment have been researched. At first, this is the out flow's BOD₅ (S_e) which has Aydın Örne textile industry wastewater treatment plant reaction period with conversion and reaction constant parameter (k) affecting this conversion has been researched. The S₀, Q, V_b, V_{ab}, V_a, S_e parameters average values which has Aydın Örne textile industry wastewater plant were determined and these parameters were substituted into the equation and obtained filling period in the end substrate concentration (S_f) and obtained value, different reaction period (t_r) applying outflow concentration (S_e) and obtained these values. Finding results have translated to graphics. At theoretical study (S₀=350 mg/l, k=0,21 h⁻¹) being for 1,5 hour reaction period was 41,5 mg BOD₅/l. Functional system's BOD₅ value (43 mg BOD₅/l) with BOD₅ value (41,5 mg BOD₅/l) which obtained theoretical equations were observed very similar to one another. In another theoretical study (S₀=2700 mg/l, k=0,8 h⁻¹), for 1,5 hour reaction period BOD₅ value was 57,1 mg BOD₅/l. Functional system's BOD₅ value (59 mg BOD₅/l) with value of BOD₅ (57,1 mg BOD₅/l) which obtained theoretical equation's values were observed very similar by us. Sequencing batch reactor textile industry wastewater can employ for biological treatment and in this study, coming to the conclusion that, these equations will be represented to sequencing batch kinetic with optimum operation conditions.

Having done, in this experimental studies tested activities sludge from going on Aydın Örne textile firm's sequencing batch biological treatment systems and three white rot fungi's added into this sludge, so that we obtained advanced activated sludge and three white rot fungi's which used color removal systems were investigated and compared with existing systems. In the experimental studies, at the end of 1,5 hour mixing and 1,5 hour within the process of sedimentation period, samples from the reactor were evaluated for kinetic studies within the period of 5,

10, 20, 30, 60, 120, 240, 1600 minutes having measured value of 436, 525 and 620 nm from sample of color absorbance's. Obtained data from experimental studies transferred and interpreted to these graphics.

In the literature studies achieved, determined and being deemed as perhaps settling hindered on the sequencing batch reactor systems. Done experiment, finished one and a half mixing period then three hours along each ten minutes measured activated sludge height from a reactor, between height-time, sedimentation rate-time relation transferred to the graphics so that being formed sedimentation kinetic curves, obtained graphics compared with literature graphics and these results considered carefully with Aydın Örne textile wastewater treatment plant's biomass (X g/l). The most acceptable sedimentation periods for treatment plant's biomass concentration (X g/l) with being existed and enforced one and a half hours sedimentation periods at treatment plant studied and determined compatibility.



BÖLÜM 1. GİRİŞ

Doğal çevreyi dikkate almayan sanayileşme ve teknoloji kullanımı, insanların doğal çevre sistemlerinde bazı dengesizliklerin ortaya çıkmasına ve “Çevre Sorunları” adı altında toplanan çeşitli sorunların önem kazanmasına yol açmıştır. Günümüzde de çevrenin kirletilmesi konusunda en büyük payı endüstri kuruluşları ve meydana getirdikleri atıksular oluşturmaktadır.

Tekstil endüstrisi atıksularında ki kirleticiler; sıcaklık, organik, inorganik maddeler, ağır metal ve renk faktörlerini içerir. Tekstil endüstrisi atıksularındaki bu kirletici parametrelerin çok çeşitli olmasından dolayı bu endüstriye ait atıksuların arıtılmasında farklı arıtma yöntemleri uygulanabilir. Başlangıçta kullanılan büyük miktarlardaki suyun sadece az bir kısmının üründe yer alması ve sonuçta üründe kullanılmayan suyun büyük hacimlerde çıktı olarak oluşması, en uygun arıtma tipinin belirlenmesini bir zorunluluk haline getirmiştir [1, 2].

1.1 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışmanın amacı; tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasında Ardışık Kesikli Reaktörlerin (AKR) kullanılabilirliğinin incelenmesi ve tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasında kullanılan klasik aktif çamur prosesine, biyoteknolojik yöntemlere dayanarak, rengi parçalama özelliği bulunabilen 3 farklı hücre eklenerek elde edilen İleri Aktif Çamur Yöntemi ile renk giderim verimlerinin belirlenmesi ve kıyaslanmasıdır. İrdeleme, deneysel veriler ve literatürden elde edilmiş teori üzerine yapılmıştır.

Çalışmada, Aydın Örme San. ve Tic. A.Ş. tekstil endüstrisi atıksu arıtma tesisi Ardışık Kesikli Reaktör ünitesinde; çıkış suyu BOI_5 'sinin (S_e), reaksiyon süresince (t_r) ile değişimi ve bu değişime etki eden reaksiyon sabiti (k) parametresi

araştırılmıştır. Aydın Örne San. ve Tic. A.Ş.'ne ait Ardışık Kesikli Reaktör biyolojik arıtma prosesi kinetiğine ait denklem literatürden araştırılmış ve faaliyette olan sistemin çıkış BOI_5 değeri ile teorik denklemden elde edilen teorik çıkış BOI_5 değerinin birbirlerine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Ardışık Kesikli Reaktörlerin tekstil endüstrisi atıksularının biyolojik arıtımında kullanılabilmesi ve teorik çalışmada kullanılan denkleminde optimum işletme şartlarında Ardışık Kesikli Reaktör kinetiğini temsil edebileceği görülmektedir.

Yapılan deneysel çalışmalarda; Örne San. ve Tic. A.Ş. tekstil firmasının faaliyetindeki ardışık kesikli biyolojik arıtma tesisinden alınan aktif çamura üç beyaz çürükçül tür (canlı biyokütle) ilave edilerek İleri Aktif Çamur elde edilmiş ve renk giderimin de kullanılan bu üç beyaz çürükçülün renk giderim kapasiteleri araştırılarak mevcut sistemle karşılaştırılması yapılmıştır. Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler grafiklere aktarılarak yorumlanmıştır.

Ayrıca yapılan literatür çalışmalarında klasik aktif çamur son çökeltim havuzundaki engelli çökeltim kinetiği ve davranış modeli incelenmiş ve ardışık kesikli reaktör sistemlerindeki çökeltme kinetiğinin genel olarak engelli çökeltme kinetiğine uygun olabileceği düşünülmüştür. Yapılan deneysel çalışmalarla da bunun uygunluğu saptanmaya çalışılmış, sistemin biyokütle konsantrasyonu (X , g/l) için en uygun çamur çökeltme süresini tespit etmek için yükseklik-zaman ve hız-zaman grafikleri çizilmiştir. Elde edilen değerler doğrultusunda Örne San. ve Tic. A.Ş. tekstil firmasına ait ardışık kesikli biyolojik arıtma tesisi için en uygun çökeltme süresi tespit edilerek literatürdeki mevcut engelli çökeltme teorisinin ardışık kesikli reaktör sistemlerine uygunluğu saptanmaya çalışılmıştır.

BÖLÜM 2. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ

2.1 Endüstrinin Tanımı

Tekstil endüstrisi kategorisi, tabii ve fabrikasyon elyaf kullanarak kumaş ve diğer tekstil ürünleri üreten tesisleri kapsar. Fabrikasyon elyafların üretimi ve giyim sanayi bu kategorinin 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 [3].

2.2 Tekstil Endüstrisinde Üretim Proses ve İşlemleri

Tekstil endüstrisinin hammaddesi elyaftır. Doğal elyaflar arasında pamuk, keten, kenevir, yün, ipek, mohair ve kıllar, fabrikasyon elyafları arasında reyon, kazein, asetat-selüloz ester, naylon, polyester, akrilik ve vinil bulunur [3].

Tekstil endüstrisinde üretimde yer alan yıkama, boyama gibi temel prosesler, işlenen elyafa bağlı olmaksızın endüstrinin bütün üretim sistemleri içerisinde yer alır. Fakat diğer üretim proseslerinde, kullanılan elyafa bağlı olarak bir takım farklılıklar ortaya çıkar. Tekstil endüstrisi; pamuk, yün ve sentetik tekstil endüstrileri şeklinde sınıflandırılır.

2.2.1 Yünlü tekstil endüstrisi

Yünlü kumaş üretiminde hammadde koyun yünüdür. Koyun yününe çoğunlukla viskoz ipeği veya sentetik lif katılarak karışım iplikler hazırlanır. Yünlü kumaş üretimi üç bölümde gerçekleşir [4].

1. İplik üretimi
 - a) Tefrik (Ayırma) b) Yıkama c) Yağlama d) Bant Birleştirme e) İnceltme f) Eğirme
2. Dokuma
 - a) Hazırlık : Çözü, Atkı, Tahar b) Dokuma
3. Terbiye
 - a) Ön Terbiye b) Boyama c) Bitirme İşlemleri

Yünün ön terbiyesinde yer alan işlemler şunlardır;

- Yıkama
- Ağartma
- Dinkleme
- Karbonizasyon
- Yakma
- Haşıl sökme
- Boyama
- Bitirme işlemleri

Yakma pamukludaki kadar yaygın değildir. Yakma ve haşıl sökme aynen pamukluda olduğu gibi yapılır.

Ön yıkama;

Yün, %20 kadar yabancı madde içerir. Yıkamadan amaç, tekstil mamullerindeki rahatsız edici bu yabancı maddeleri uzaklaştırmaktır. Yapaktan, tekstil yüzeylerine (kumaş, keçe, vb.) kadar çeşitli yünlü mamullerin ön terbiyesinde en önemli işlem yıkamadır. Bunun nedeni; yünlü mamullerin yıkanmasının en az iki veya üç kez tekrarlanması zorunluluğu, en fazla suyun tüketildiği işlem olması ve yıkamada gereken titizlik gösterilmediği takdirde mamulün kalitesini büyük ölçüde bozması gerçeğidir.

Yünün yıkanması nötr veya NH_3 'lü ortamda ($\text{pH} \leq 10.5$) ve $50-55^\circ\text{C}$ 'de yapılır. Keçeleşme nedeniyle fazla hareketten kaçınılmalıdır. Ayrıca bir yıkama maddesinin (sabun vb.) ilavesi de gereklidir.

Gerek kirli yaprak yıkama sularının, işletme atık sularını yüksek oranda yüklememesi, gerekse bu sularda bulunan yün yağının merhem veya krem yapımında kullanılan değerli bir madde olması nedeniyle büyük işletmelerde yaprak yıkama suları kanal akıtılmadan önce bir arıtmadan geçirilir.

Ağartma;

Ağartma yün sektöründe pamuklularda olduğu kadar önemli ve sık uygulanan bir işlem değildir. Ağartma daha ziyade beyaz olarak kullanılacak malzemeye, yünün doğal sarımtırak renginin giderilmesi amacıyla uygulanır. Genelde bazik veya asidik ortamda hidrojen peroksit ilavesiyle gerçekleştirilir.

Dinkleme;

Dinklemenin esası, yün liflerinin keçeleşme özelliğinden faydalanılarak kumaşın görünüm ve tutumunun değiştirilmesidir. Dinkleme sonucunda kumaşlar yalnız az veya çok keçeleşmiş bir yüzey yapısı kazanmakla kalmazlar, aynı zamanda dokuma tekniğiyle eldesi imkansız derecede sıkılaşırlar. Bunun sonucu olarak da kumaşın bütün dayanımlarında bir arıtma olduğu gibi rüzgar ve diğer dış etkenlere karşı koruma ve dolayısıyla sıcak tutma özelliği de artar. Dinkleme, suda asidik veya bazik ortamda hareket verdirilerek yapılır.

Karbonizasyon;

Kirli yün liflerinde ağırlıklarının %5-40'ı kadar bitkisel artıklar bulunmaktadır. Pıtrak, diken, ot, yaprak ve yem artıklarından oluşan bu bitkisel kaynaklı maddeleri uzaklaştırmak için bir kimyasal işlem olan karbonizasyon uygulanır. Karbonizasyon işlemi, yıkanmış yüne (yapağıya) veya yünlü kumaşlara uygulanır.

Karbonizasyonun esasını, mamulün ısıtılınca asidik özellik gösteren tuzlarla yüksek sıcaklıklarda işlem görmesi oluşturur. Genellikle derişik H₂SO₄'lü ortamda yapılır.

Boyama;

Yün boyamacılığında çok çeşitli boyarmadde türleri kullanılabilirse de en fazla kullanma sahası bulan boyarmaddeler; metal kompleks boyarmaddeleri, asit boyarmaddeleri ve reaktif boyarmaddeleridir. Boyama genellikle asidik ortamda yapılır. Boyama atıkları boya ve tuz içerirler. Boyama genellikle açık elyaf ve ipliğe uygulanır, kumaş boyamaya nadir rastlanır.

Bitirme İşlemleri;

Bitirme işlemleri kuru ve yaş bitirme işlemleri olmak üzere ikiye ayrılır. Bunlara ilave olarak yün liflerine güveden koruma ve güve yemezlik, çürüme ve küflenmeye karşı dayanıklılık, su ve kir iticilik, antimikrobik özellik kazandıran, parlaklık artırma bitirme işlemleri de uygulanır.

Kuru bitirme işlemleri;

Presleme : Yüzey düzgünleştirme işlemi.

Şardonlama : Tüylendirme işlemi.

Yaş bitirme işlemleri;

Keçeleşmezlik : Keçeleşmeyi önlemek amacıyla uygulanır.

Krablama : Yaş işlemler sonucunda mamulün daha az çeker duruma getirilmesi, kumaşta keçeleşme ve kırışıklık izleri kalma tehlikesini azaltmak ve yüzey düzgünlüğünü sağlamak amacıyla uygulanır.

Dekatür : Kumaşı dikime hazır bir duruma getirmek amacıyla uygulanır.

2.2.2 Pamuklu tekstil endüstrisi

Pamuk uzun sürelerden beri kullanılan eski ve önemli bir elyaf türüdür. Pamuklu tekstil mamullerine uygulanan ön terbiye işlemleri; yakma, liflerin haşıllanması,

bazik işlemler, haşıl sökme işlemi, ağartma, yıkama işlemleri, mercerizasyon işlemi, boyama işlemi ve bitirme işlemleridir. Bu işlemler ve bu işlemler sırasında oluşan atıklar aşağıda tanıtılmıştır [5].

Haşılama;

Haşılama işlemindeki amaç; çeşitli mekanik zorlamalarla karşı karşıya kalan liflerin birbirine daha iyi yapışarak, daha kapalı, daha sağlam bir hale gelmelerini ve kayganlıklarının artmasını sağlayarak dokumada performansı arttırmaktır [6]. Haşılama işleminde ipliklere tatbik edilen haşıl maddesi ile birlikte küf gidericiler, mantar öldürücü ilaçlar gibi önceden koruyucu maksatla kullanılmış kimyasal maddeler ve diğer yabancı maddelerin uzaklaştırılması için haşıl sökme diye tanımlanan işlem uygulanır.

Haşıl maddeleri; makromoleküllü, film oluşturabilen ve liflere belirli bir yapışma, tutunma yeteneğine sahip olan doğal veya yapay esaslı maddeler olarak tanımlanabilir [6].

Haşıl maddesi olarak kullanılan polivinil alkol, deterjan/su çözeltisi ile giderilebilir. Bu işlem sonucunda, askıda katı madde, yağ ve gres içeren atıklar suya karışır. Oluşan bu atıklar, mamul oluşumu sonucu meydana gelen katı artığın %50'sini oluşturur. Atıksulardaki KOİ'nin önemli bir bölümünü de polivinil alkol oluşturur.

Yakma;

Yakma işleminde amaç, kumaşı oluşturan ipliklerden çıkan lif uçlarını (hav tüycüklerini) uzaklaştırmaktır.

Bazik İşlemler;

Pamuk lifleri, yağ, mum, pektin, hemiselüloz gibi yabancı maddeler içerir. Bu maddelerin bir kısmı hidrofobtur ve dolayısıyla yağ terbiye işlemleri sırasında liflerin iyi ve düzgün bir şekilde ıslanmasını güçleştirir. Pamuklu liflerin içerisindeki ve

üzerindeki bütün bu yabancı maddelerin uzaklaştırılması, ham pamuklu mamulleri baz çözeltileriyle muamele ederek sağlanır. Bu şekilde pamuk lifleri hidrofilleşir ve ham bez kısmen beyazlaşır. Bazik işlemler, pişirme yada kaynatma şeklinde uygulanır.

Kostik soda ile pişme sonucunda, kostik soda içeren atıklar oluşur. Pişme işleminde kullanılan yüzey aktif maddeler ve sodyum fosfat da atıksulara karışır. Pişme işlemi sıvı artıkları, kuvvetli alkali (pH > 12) özellikte ve koyu renkli atıklardır.

Atıksu da önemli miktarda çözünmüş katı madde ve yağ bulunur, askıda katı madde içeriği ise daha düşüktür.

Ağartma;

Pamuk kendisine sarımtırak-kahverengi bir renk veren doğal boyarmaddeleri içerir. Ağartmanın amacı bu boyarmaddeleri bozuşturup, parçalayarak liflerin temiz beyaz bir görünüme sahip olmasını sağlamaktır. Ağartma sırasında, kumaşta bulunan yaprak, kapsül ve çekirdek kabuğu artıkları gibi pisliklerde uzaklaştırılmış olur.

Hidrojen peroksit (H_2O_2), tekstil için en yaygın olarak kullanılan ağartma maddesidir ve tüm liflerin %85'inden fazlası onunla ağartılır. İşlem sonucunda oluşan kirlilik yükleri düşüktür. Atıksuda çözünmüş katı maddeler, anorganik katı maddeler (sodyum silikat, sodyum hidroksit ve sodyum fosfat) ve bazı organik maddeler (deterjanlar ve şelatlaştırma maddeleri gibi) bulunur.

Merserizasyon;

Merserizasyon işleminin amacı; liflerin yüzeyindeki düzgünlüklerin azaltılması ile liflerin ışığı yansıtma yeteneğinin artırılması ve bunun sonucu olarak da iplik veya kumaşın daha parlak bir görünüme sahip olmasıdır.

Merserizasyon prosesinde derişik NaOH kullanılır. İşlem sırasında derişik NaOH liflerin arasına girerek lifleri şişirmekte ve daha açık bir yapı kazanmalarına yol

açmaktadır. Bu proses sonucunda oluşan atıklar kuvvetli alkali ($\text{pH}>12$) özellikte ve BOİ miktarı düşük atıksulardır.

Boyama;

Boyama elyaf hammaddesine, iplik ve kumaşa renk verme işlemidir. Kumaş üzerindeki renkli şekiller genellikle baskıdır. Boyama işlemi sonucunda, boya atıklarını içeren renkli atıksular oluşur. Bu atıksular da, çözülmüş madde miktarı ve KOİ yüksektir. Pamuk lifleri; direkt, kükürt, reaktif, mordan, oksidasyon, bazik, pigment boyarmaddeleri ile boyanabilirler.

Bitirme İşlemleri;

Bitirme işlemleri, tekstil mamullerine kullanılma maksadına göre arzu edilen özelliği kazandırmak için yapılan işlemlerdir. Pamuklu liflere uygulanan bitirme işlemleri kimyasal ve mekanik bitirme işlemleri olarak çok çeşitlilik gösterir. Bunlar arasında; tutum apresi (sertlik, uyuşmazlık kazandıran vb.), su itici (hidrofob) karakter kazandıran bitirme işlemleri, buruşmazlık bitirme işlemleri, çekmezlik bitirme işlemleri ve şardonlama sayılabilir.

Su geçirmezlik, alev almazlık, buruşmazlık ve benzeri bitirme işlemlerinden gelen atıklar hacim olarak düşük miktarlardadır. Uygulanan kimyasal maddeler; ıslatma, işleme alma ve kurutma gibi sebeplerle düşük miktarlarda atık oluştururlar.

2.2.3 Sentetik tekstil endüstrisi

Selülozik ve organik polimerlerin elyafları, pamuk ve yünülere karıştırılarak veya ayrı olarak iplik hazırlama, haşıl sökme, boyama ve apre işlemlerinden geçer. Başlangıç maddesi olarak selüloz içeren odun ve bitkiler kullanılır. Üretim yöntemlerinde selülozun değişik çözücülerle çözünmesi ve kullanılan kimyasal yöntem farklılıkları vardır.

Selüloz esaslı sentetik elyaflar içinde, yapay ipek ve viskon en önemlileridir. İpek üretimi; ipek çekimi, liflerin terbiyesi, yıkama, ağartma, boyama işlemlerinden oluşur. Halı üretimi; lateks ile taban kaplaması işlemini içerir. Keçeleştirilmiş ve dokusuz yüzeyli kumaş üretimi de keçeleştirme, yıkama, boyama vb. işlemlerini kapsar.

2.3 Tekstil Endüstrisi'nde Alt Kategorizasyon ve Deşarj Standartları

Tekstil endüstrisinde alt kategorizasyon; aynı kategoride olmakla birlikte üretim farklılıkları olan veya aynı ürünü farklı proses ve yöntemlerle üreten tesislerin atıksularında oluşacak değişiklikleri ortaya koyarak, atıksuların karakterizasyonunun, tesis içi kontrolün, arıtımın ve standartların geliştirilebilmesi amacıyla yapılır [5].

Tekstil endüstrisinde alt kategorizasyon yaparken dikkat edilmesi gereken başlıca faktörler şunlardır;

1. İmalatta kullanılan prosesler
2. Hammaddeler
3. Ürün cinsleri
4. Atıksu özellikleri

Tekstil endüstrisinin alt kategorizasyonu yapılırken kullanılan klasik metot, işlenen elyafın cinsine (yün, pamuk ve sentetik) göre üretim tesislerini gruplandırmaktadır. Benzer tekstil ürünlerinin üretiminde kullanılan tekil üretim prosesleri ve her bir birim proseste ortaya çıkan atıklar açıklanacağı zaman bu gruplandırma yaklaşımı yararlı olabilir. Ancak aynı endüstri grubunda birçok farklı ürün üretilmesi sonucu çıkan atıkların büyük farklılık göstermesi, bu şekilde bir kategorizasyon kullanımını zorlaştırmaktadır. Diğer bir yaklaşım şekli ise alt kategorizasyonun imalat proseslerine, kullanılan hammaddelere, son ürünlere, su kullanımına ve atık karakteristiklerindeki benzerliklere dayandırılarak yapılmasıdır. Burada kullanılan alt kategorizasyon kirlilik bazlı olup, tekstil endüstrisinde bu amaçla on alt kategori bulunmaktadır [11]. Bu alt kategorilere göre atıksu kaynakları Tablo 2.1'de belirtilmiştir.

1. Yapağı yıkama alt kategorisi
2. Yünlü kumaş son işlemler alt kategorisi
3. Az su kullanılan işlemler alt kategorisi
4. Dokunmuş kumaş son işlemler alt kategorisi
5. Örgü kumaş son işlemler alt kategorisi
6. Halı üretimi son işlemler alt kategorisi
7. Stok ve elyaf, iplik, boyama son işlemler alt kategorisi
8. Dokusuz yüzeyli kumaş son işlemler alt kategorisi
9. Keçeleştirilmiş kumaş son işlemler alt kategorisi
10. Koza işleme ve doğal ipek üretimi alt kategorisi

1- Yapağı yıkama alt kategorisi

Bu alt kategori, ham yün elyafı ve hayvan kıllarının temizlendiği tesisleri kapsar. Yün elyafı ve hayvan kıllarının önemli ölçüde bir ön temizlemeye ihtiyaç duymasından dolayı yapağı yıkama, tekstil endüstrisinin diğer alt kategorilerinden farklı bir özellik taşır. Bu proseste ham yapağı iplik üretimine sokulmadan önce yıkanmalıdır. Pamuk veya sentetikler bu aşamada yıkanmazlar.

Yapağı yıkama işlemi ile kirler ve yağlar emülsiyon hale geçer ve çoğunlukla yağlı bir köpükle kaplı kahverengi, kumlu, bulanık bir atıksu oluşur. Konsantrasyon bazında atıksu karakterleri Tablo 2.2’de verilmiştir.

2- Yünlü kumaş son işlemler alt kategorisi

Bu alt kategori, yün elyafı, diğer hayvansal kıl veya yün elyafı-hayvansal kıl karışımı kumaşlara ağartma, yıkama, boyama, ateşe dayanıklı hale getirme, güve yemezlik, v.b. işlemlerinden birinin uygulanmasını kapsar. Karbonizlemenin yer aldığı terbiye de bu alt kategori kapsamındadır.

Yünlü kumaş son işlemleri değişken kimyasallar ve kendine has tekstil boya kullanımı nedeniyle yüksek kirlilik yükü oluşturduğundan ayrı bir kategori olarak ele alınmıştır. Bu atıksular, yüksek hacim ve konvansiyonel kirleticiler parametrelerin

düşük konsantrasyonda olması ile karakterize edilirler. Nonkonvansiyonel kirleticilerden sülfür, renk ve toksik kirleticiler, fenol ve krom hem konsantrasyon, hem de yük bakımından yüksektir. Dinklemeden sonra yapılan yıkama, toplam BOİ'nin yaklaşık % 20-35 kadarını meydana getirirken, boyama için bu değer % 6-9'dur. Bu alt kategorideki atıksuların konsantrasyon bazında karakterleri Tablo 2.2'de verilmiştir.

3- Az su kullanılan işlemler alt kategorisi

Bu alt kategori, iplik yapımı, tekstürize iplik yapımı, dokuma, kumaş emprenyeleme, halı tabanı yapımı ve halı tafting gibi çok çeşitli kuru işlemleri kapsar.

Bu işlemlerden çıkan atıksu hacmi çok düşüktür. Suyun büyük hacimde atıldığı yerler soğutma ve proses donanımının yıkanması ve temizlenmesidir. Bu alt kategoriye ait atıksu kirletici miktarı konsantrasyon bazında Tablo 2.2'de gösterilmiştir.

4- Dokunmuş kumaş son işlemleri alt kategorisi

Bu alt kategori atıksu yükü bakımından tekstil endüstrisinin önemli bir alt kategorizasyonunu oluşturur. Dokunmuş kumaşlara uygulanan haşıl sökme, yıkama, ağartma, merserize, boyama, basma, apre gibi işlemleri kapsar.

Bu alt kategoriye ait atıksular, konvansiyonel kirletici parametreler için konsantrasyon ve yük miktarı bakımından oldukça geniş bir aralıkta karakterize edilir. Bu alt kategorideki atıksu karakterleri Tablo 2.2'de verilmiştir.

5- Örgü kumaş son işlemleri alt kategorisi

Bu alt kategori, çoğunluğu örgü olan pamuklu ve/veya sentetik kumaşlara uygulanan yıkama, ağartma, boyama, basma, apre işlemlerini kapsar. Çoğunluğu örgü kumaş terbiyesi olmakla beraber kumaş dokuma ve iplik terbiyesi işlemlerinde bulunan

entegre tesislerde bu alt kategori kapsamındadır. Dokunmuş kumaş son işlemlerinden farkı, haşıllama, haşıl sökme ve merserizasyon işlemlerine gerek duyulmamasıdır.

Atıksuları, dokunmuş kumaş son işlemleri atıksuları gibi konvansiyonel kirletici parametreler için konsantrasyon ve yük miktarı açısından geniş bir aralık gösterir. Fakat atıklar konsantrasyon bakımından, genellikle dokunmuş kumaş son işlemlerindeki kadar büyük değildir. Atıksu karakteristikleri Tablo 2.2’de verilmiştir.

6- Halı üretimi son işlemleri alt kategorisi

Tekstil esaslı halılara uygulanan yıkama, ağartma, boyama, basma ve apre işlemlerini kapsar. İşlemin çoğunluğu halı terbiyesi olup, halı tafting, halı tabanı yapımı veya iplik boyama işlemlerinde bulunan tesisler bu alt kategori kapsamındadır. Sadece halı tafting ve/veya halı tabanı yapan işletmeler az su kullanılan işlemler alt kategorisi kapsamındadır.

Atıksuları, su kullanımının diğer alt kategorilere göre nispeten düşük olmasına rağmen büyük hacimdedir. Bunun nedeni, halı üretiminin özel yapısı ve halının diğer tekstil ürünlerine nazaran daha ağır olmasıdır. Halı son işlemlerinde başlıca atık kaynakları olan boyama ve baskı prosesleri, konvansiyonel ve non-konvansiyonel kirleticilerde ekstrem değerler meydana getirmemektedir. Bu alt kategoriye ait atıksu karakterleri Tablo 2.2’de verilmiştir.

7- Stok ve elyaf son işlemler alt kategorisi

Bu alt kategori, pamuklu ve/veya sentetik iplik ve elyafa uygulanan yıkama, ağartma, merserize, boyama ve apre işlemlerini kapsar. Karbonizasyon işleminin yer almadığı yün iplik ve yün elyaf terbiyesi de bu alt kategori kapsamındadır.

Atıksuların hacmi diğer son işlem alt kategorilerindekiyle hemen hemen aynıdır. Atıksular diğer alt kategorilerdeki kadar kuvvetli değildir ve elyafların tek çeşit veya karışık olarak işlenip işlenmediğine bağlı olarak değişir. Bu alt kategorinin atıksu karakterizasyonu Tablo 2.2’de verilmiştir.

8- Dokusuz yüzeyli kumaş üretimi alt kategorisi

Bu alt kategori, yün, pamuk veya sentetik malzemenin yalnız veya karışım halinde mekanik termal ve/veya yapıştırıcılarla birleştirilerek dokusuz yüzeyli ürünlerin üretimini kapsar.

Bu üretimin yapısı, nispeten küçük hidrolik ve kirletici yüklerine sahip bir tesise benzer özellik taşır. Atıksu, lateks ve diğer kirleticileri içerebilir. Bazı tesislerde, özel üretim işlemleri veya diğer kategorilerle ortak faaliyetler, daha fazla atıksu meydana gelmesine neden olabilir. Bu alt kategoriye ait atıksu karakterizasyonu Tablo 2.2'de verilmiştir.

9- Keçeleştirilmiş yüzeyli kumaş üretimi alt kategorisi

Bu alt kategori, dinkleme ve keçeleştirme işlemleri ile dokusuz yüzeyli ürünlerin üretimini kapsar. Bu prosesle yüksek hacimli fakat genellikle seyreltik yapıda bir atıksu oluşur. Dinkleme ve boyamayı takiben durulamalar yapılıyorsa, su kullanımı ve kirletici miktarları artar. Bu alt kategoriye ait atıksu karakterizasyonu Tablo 2.2'de gösterilmiştir.

10- Koza işleme ve doğal ipek üretimi alt kategorisi

Bu alt kategori, pişirme (koza kaynatma), ipek çekimi işlemleri ile ipek ipliği üretimini kapsar. Başlıca kozanın pişirilmesi, serisin giderilmesi, boyama ve yıkamada oluşan atıksuların özelliklerini rakamlarla ifade edebilecek yeterli veri bulunmamaktadır.

4 Eylül 1988 tarihli ve 19919 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'ne göre tekstil sanayi atıksuları şu alt kategorilere ayrılmaktadır [12]. Bu alt kategorilere ait atıksuların alıcı ortam deşarj standartları Tablo 2.3'de verilmiştir.

1. Açık elyaf, iplik üretimi ve terbiye alt kategorisi

2. Dokunmuş kumaş terbiyesi ve benzerleri alt kategorisi
3. Pamuklu tekstil ve benzerleri alt kategorisi
4. Yün yıkama, terbiye, dokuma ve benzerleri alt kategorisi
5. Örgü kumaş terbiyesi, dokuma ve benzerleri alt kategorisi
6. Halı terbiyesi ve benzerleri alt kategorisi
7. Sentetik tekstil terbiyesi ve benzerleri alt kategorisi

Tekstil endüstrisinde kullanılan hammaddeler, son ürünler, su kullanımı ve atıksu özelliklerinin benzerlikleri göz önüne alınarak EPA (Environmental Protection Agency)'ya ait tekstil endüstrisi alt kategorileri ise şöyledir [13];

1. Yapağı yıkama alt kategorisi
2. Yünlü kumaş son işlemler alt kategorisi
3. Az su kullanılan işlemler alt kategorisi
4. Dokunmuş kumaş son işlemler alt kategorisi
5. Örgü kumaş son işlemler alt kategorisi
6. Halı üretimi son işlemler alt kategorisi
7. Stok ve elyaf, iplik, boyama son işlemler alt kategorisi

Halı üretimi dışında tüm yünlü kumaş işlemleri 1. ve 2. kategoriler; pamuk ve sentetik üretimi 3., 4., 5. ve 7. kategoriler; halı üretimi de 3. ve 6. kategoriler kapsamına girmektedir [14].

Tekstil endüstrisi atıksularının arıtılabilmesi için belirlenen en uygun arıtma teknolojileri alt kategoriler göz önüne alınarak yapılanlardır [11].

Bu tezde incelenecek olan Sakarya ili, Akyazı ilçesinde faaliyet gösteren Aydın Örne San. ve Tic. A.Ş. sentetik tekstil terbiye ve benzerlerini yapmaktadır. Arıtma tesisi, tesis çıkışındaki arıtılmış su kalitesinin 4 Eylül 1988 tarihli 19919 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanan Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Tablo 10.7'de (Tekstil Sanayi/Sentetik Tekstil Terbiyesi ve Benzerleri Tablosu'nda) verilen limit değerleri sağlayacak şekilde tasarlanmıştır ve çıkış suyu kalitesi de Su Kirliliği Kontrol

Yönetmeliği Sentetik Tekstil Terbiyesi ve Benzerleri alt kategorisi göz önüne alınarak değerlendirilmiştir.

Tablo 2.1 Tekstil endüstrisi alt kategorilerine göre atıksu kaynakları

Alt kategoriler	
1- Yapağı yıkama	Yıkama Durulama
2- Yünlü kumaş son işlemler	Boyama Ağartma Karboniz ve Yıkama Dinkleme ve Yıkama
3- Az su kullanılan işlemler	Haşılama
4- Dokunmuş kumaş son işlemleri	Haşıl Sökme Pişirme-Yıkama Merseze-Yıkama Ağartma-Yıkama Boyama-Yıkama
5- Örgü kumaş son işlemleri	Yıkama Pişirme-Ağartma Boyama Basma Apre-İkmal
6- Halı üretimi son işlemleri	Boyama veya Baskı Kurutma Lateks kaplama
7- Stok ve elyaf son işlemleri	Boyama Ağartma Mersezeleme Yıkama
8- Dokusuz yüzeyli kumaş üretimi	Yapıştırma
9- Keçeleştirilmiş kumaş üretimi	Durulamalar
10- Koza işleme ve doğal ipek üretimi	Pişirme İpek çekimi Serisin giderimi Ağartma Boyama Yıkama Avivaj Şarj

Tablo 2.2 Alt kategorilerde konsantrasyon bazında anksu karakterleri

Parametreler	Alt Kategoriler									
	Yapağı Yıkama	Yünlü Kumaş Son İşlemler	Az Su Kullanılan İşlemler	Dokunmuş Kumaş Son İşlemler	Örgü Kumaş Son İşlemler	Halı Üretimi Son İşlemler	Stok ve Elyaf Son İşlemler	Dokusuz Yüzeyle Kumaş Son İşlemler	Keçeleştirilmiş Kumaş Son İşlemler	
Debi [m ³ /gün]	38-2800	190-16000	23-1100	42-29000	11-13000	76-6900	45-9600	53-1900	11-1500	
BOİ ₅ [mg/lt]	310-6700	66-750	37-2600	19-2200	60-1900	190-560	43-1600	64-630	55-380	
KOİ [mg/lt]	100-18000	280-2000	120-3000	200-5100	340-19000	280-2100	140-4800	200-3900	230-2100	
TAM [mg/lt]	120-13000	17-240	10-530	16-2400	18-2200	37-210	2-4200	59-180	68-280	
Sülfür [µg/lt]	500	1100-6000	1000	25-580	20-7100	10-450	1-4400	1000	1200	
Yağ ve gres [mg/lt]	80-5000	Veri yetersiz	80	6-1400	6-460	3-93	1-180	Veri yetersiz	Veri yetersiz	
Fenol [µg/lt]	Veri yetersiz	90-160	80	10-600	1-1700	1-1100	3-620	45	Veri yetersiz	
Krom [µg/lt]	10-220	190-880	15-97	1-1200	10-600	4-300	4-1600	4-10	Veri yetersiz	
Renk [APHA]	2200	1000-2000	10	20-10000	37-1500	65-1900	57-3000	35-140	190	

BÖLÜM 3. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARI KİRLİLİK ÖZELLİKLERİ

3.1 Tekstil Endüstrisi'nde Atıksu Kaynakları ve Kirlilik Özellikleri

Tekstil atıksuları yüksek hacimli, alkali özellikte, işlenen boyanın hakim renginde ve bileşimi büyük değişimler gösterebilen atıksular olarak tanımlanmaktadır [7]. Tekstil endüstrisi atıksularının yapısının çok değişken olmasına yol açan faktörler; işlenen hammadde, kullanılan kimyasal maddeler, gerçekleştirilen işlemler ve her işlem için uygulanan teknolojilerin çeşitliliği ve su kullanımındaki farklılıklardır.

Tekstil endüstrisinde temel kirleticiler parametreler, BOİ₅, KOİ, AKM, yağ ve gres, toplam krom, fenol, sülfür, sıcaklık, pH, kükürtlü bileşikler, toplam organik karbon ve bulanıklıktır. Bunların dışında özellikle, kullanılan boya ve diğer kimyasal maddelere bağlı olarak hem organik nitelikli hem de ağır metal olarak çok sayıda mikrokirleticiler atıksularda bulunmaktadır [3].

Tablo 3.1 Tipik bir tekstil fabrikasının yıllık kirlilik yükü [20]

Atık Kaynağı	KOİ (ton/yıl)	(%)
Haşıl Sökme ve Yıkama	164	86.6
İndirgeyici Madde	8	4.2
Deterjan ve Islatıcı Maddeler	7	3.7
Son İşlemler	5	2.6
Organik Asitler	3	1.6
Boyalar ve Parlaticılar	2.5	1.3

Pamuklu, ynl ve sentetik üretim yapılan proseslerde, kimyasal madde ve bitim işlemelerinin farklı oluşu, atıksuların karakterinin de bir tekstil tesisinden diğerine çok değişmesine sebep olmaktadır [8].

Ynl tekstil endüstrisi atıkları, ynn saflığına, kalitesine, boyarmaddenin çeşidine, deterjan türlerine ve makine tiplerine göre farklılık gösterir. Bu atıklar, yıkama-temizleme, ynn boyanması ve bitirme tesislerinden gelen atıksular olup genel özellikleri; organik asitler, H₂S, yüksek asidite, çeşitli organik maddeler, boyalar, aktif yıkama maddeleri, tuzlar, yüksek konsantrasyonda yağ ve BOİ içermeleri şeklinde özetlenebilir. Ynl tekstil endüstrisindeki başlıca atıksu kaynakları; yapağı yıkama, dinkleme, karbonizasyon, ağartma ve boyama işlemleridir. Bu endüstriyi kirleticilik bakımından diğer tekstil gruplarından ayıran temel fark ise, yıkama işlemidir [5]. Başlıca atıksu kaynakları bazında önemli kirlilikler Tablo 3.2’de belirtilmiştir.

Tablo 3.2 Ynl tekstil endüstrisi proseslerinden kaynaklanan atıksu karakteristikleri

İşlem	nemli Kirlilikler
İslatma	Yüksek BOİ, yüksek yağ içeriği, yüksek alkalilik, kahverengi renk, 46-52 °C sıcaklık
Boyama	Asidik pH, yüksek renk, yüksek BOİ, yüksek zehirlilik
Yıkama	Yüksek BOİ, yüksek yağ içeriği, 43-66 °C sıcaklık

Pamuklu tekstil atıksuları ise alkali özellikte, işlenen boyanın hakim rengine ve debisi yüksek atıksulardır. Endüstriye ait atıksulardaki en önemli kirlilik problemleri; organik madde içeriğinin ve pH’ının yüksek oluşu, deterjan ve sabun içeriğinin olması, yağ ve gres, sülfür, katı maddeler ve alkalinite içermesi olarak özetlenebilir. Başlıca atıksu kaynakları; haşıllama ve haşıl sökme, yıkama, mersevizasyon, ağartma, boyama ve apre işlemleridir. Atıksulardaki kirliliğin birincil kaynağı liflerde mevcut olan doğal safsızlıklar, ikincisi ise proseslerde kullanılan kimyasal maddelerdir. Başlıca atıksu kaynakları bazında önemli kirlilikler Tablo 3.3’de verilmiştir [5].

Tablo 3.3 Pamuklu tekstil endüstrisi proseslerinden kaynaklanan atıksu karakteristikleri [9]

İşlem	Önemli Kirlilikler
Haşıl sökme	Yüksek BOİ, yüksek toplam katı, nötr pH
Yıkama	Yüksek BOİ, yüksek alkali, yüksek toplam katı madde, yüksek sıcaklık
Ağartma	Yüksek BOİ, yüksek katı madde, alkali pH
Merserizasyon	Düşük katı madde, alkali pH, düşük katılar
Boyama ve Baskı	Yüksek BOİ, yüksek katılar, nötr-alkali pH

Sentetik lif proseslerinde en önemli kirlilik, poliester ve sıcakta yumuşayabilen plastik liflerin boyanmasından kaynaklanmaktadır. En büyük kirleticiler koku, toksisite ve yüksek BOİ'dir [5]. Sentetik tekstil endüstrisindeki başlıca atıksu kaynakları ve atıksu karakteristikleri Tablo 3.4'de verilmiştir.

Tablo 3.4 Sentetik tekstil endüstrisi proseslerinden kaynaklanan atıksu özellikleri[10]

Lif	İşlem	Önemli Kirlilikler
Suni ipekli kumaş	Islatma ve boya	Yağ, boya, sentetik deterjan, Antistatik yağlar
	Islatma ve ağartma	Sentetik deterjan, hidrojen peroksit
	Tuz banyosu	Sentetik deterjan, klor yada sülfat
Asetat	Islatma ve banyo	Boya, antistatik yağlar, sentetik deterjanlar, esterler
	Islatma ve ağartma	Hidrojen peroksit yada klor, sentetik deterjanlar
Naylon	Islatma	Antistatik yağlar, sabun, soda, esterler
	Boya	Boya, Na, Na ₂ , HCl
Plastik	Ağartma Boya	Perasetik asit, boya, formik asit, nemli maddeler, aromatik aminler, sülfatlar
	Boyama Ağartma Islatma	Asit klor, sentetik deterjan, yağ, antistatik yağlar, klor yada hipoklorit, noniyonik sentetik deterjanlar
	Yüksek sıcaklık ve boyama	Boyama ve sıcak su
	Ağartma	NaNO ₂ , Asetik asit, Oksalik asit, Nitrik asit, Bisülfat, Klor

Tekstil atıksularında bulunan kimyasallar Tablo 3.5'de verilmiştir.

Tablo 3.5 Tekstil atıksularında bulunan kimyasallar [52]

Tanımlama	Örnekler	Fonksiyon
Tuzlar	Sodyum klorür Sodyum sülfat Magnezyum sülfat	Boyanın elyafa geçirilmesi Elyafın zeta potansiyelini nötralize etmek Geciktirici
Asitler (mineral)	Hidroklorik asit Sülfürik asit Fosforik asit Borik asit	pH kontrolü Nötralizasyon Reçine artıklarının temizlenmesi Arta kalan boyaların temizlenmesi
Asitler (organik)	Formik asit Asetik asit Oksalik asit Sitrik asit	pH kontrolü Reçine küründe katalizör
Alkaliler	Kostik Soda külü Trisodyum fosfat Sodyum bikarbonat Amonyak Sodyum metasilikat Potasyum ortosilikat Sodyum pirofosfat Boraks Disodyum fosfat	pH kontrolü Peroksitle kasarda aktivatör Reaktif boyalarla boyanan elyaflar için aktivatör Nötralizasyon Merserizasyon
Tampon çözeltiler	Monosodyum fosfat	pH kontrolü
Ayraçlar	Etildiamin tetraasetik asit	Kompleks sertlik sağlama Geciktirici Boyanın elyafa uygulanmasını düzenleme
Disperse olan ve yüzey aktif maddeler	Anyonik Katyonik Non-iyonik	Dispers boyalar Yumuşatıcılar Boyanın elyafa uygulanmasını düzenleme
Oksidanlar	Peroksit Sodyum klorit Sodyum hipoklorit Perkarbonat Perborat Periyodat Permanganat Dikromat	Kasar Arta kalan boyaların çıkarılması
İndirgeyici	Sodyum hidrosülfid Bisülfid Tiyosülfat Tiyüre dioksit	Vat ve sülfür boyalarının çözündürülmesi Arta kalan boyanın giderilmesi
Taşıyıcılar	Fenil fenollerini Klorlu benzenler	Absorbsiyonu artırıcı
Ağır metaller	Bakır Krom Kobalt	Boyanın elyafa tutunmasını arttırmak
Bükücü yağlar Boyar maddeler	Çeşitli	Bükme proseslerine ilave edilir Elyafi boyamak için

3.2 Boyarmaddeler

Cisimlerin yüzeyinin ya dış tesirlerden korunması yada güzel bir görünüm sağlanması için renkli hale getirilmesinde kullanılan maddelere “BOYARMADDE” denir.

Tekstil endüstrisinde boyama işlemi kumaşa renk vermek için yapılır. Boyalı atıksuların karakterizasyonu, boyaların kimyasal yapısındaki farklılıklardan ve prosesin değişim göstermesinden dolayı oldukça zordur. Tablo 3.6’da farklı boyaların kullanıldığı ve farklı elyafların boyandığı boyahane atıksularının karakterizasyonuna ilişkin bazı değerler görülmektedir [18].

Tablo 3.6 Boyama atıksularının karakteristikleri

Boya türü	Elyaf çeşidi	Renk ADMI*	BOİ, mg/lt	TOK, mg/lt	AKM, mg/lt	ÇKM, mg/lt	pH
Asit	Poliamid	4000	240	315	14	2028	5.1
1:2 Metal Kompleks	Poliamid	370	570	400	5	3945	6.8
Bazik	Akrilik	5600	210	255	13	1469	4.5
Direkt	Viskoz	12500	15	140	26	2669	6.6
Reaktif, kesikli	Pamuklu	3890	0	150	32	12500	11.2
Reaktif, sürekli	Pamuklu	1390	102	230	9	691	9.1
Vat	Pamuklu	1910	294	265	41	3945	11.8
Dispers, yüksek sıc.’da	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 grup. Literatürde kimyasal yapısına göre veya uygulandığı ipliğin tipine 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. Boyama prosesinde sıkça kullanılan yardımcı kimyasallar Tablo 3.7’de listelenmiştir [18]. Tablo 3.7, 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 yada sürekli olmasına bağlı olarak da farklılıklar göstermektedir [7].

Tablo 3.7 Boyama prosesinde en sık kullanılan yardımcı kimyasallar

Kimyasal Madde	Bileşim	Fonksiyon
Tuzlar	Sodyum klorür Sodyum sülfat	Elyafın zeta potansiyelini nötralize edici, yavaşlatıcı
Asitler	Asetik asit Sülfirik asit	pH kontrolü
Bazlar	Sodyum hidroksit Sodyum karbonat	pH kontrolü
Tamponlar	Fosfat	pH kontrolü
Kompleks yapıcılar	EDTA	Kompleks yapma, yavaşlatıcı
Dispers edici/düzenleştirici 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	Adsorbsiyonun artırılması

3.2.1 Boyarmaddelerin çözünürlüklerine göre sınıflandırılması

3.2.1.1 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 çözünebilir boyarmaddeler tuz teşkil edebilen grubun karakterine göre 3'e ayrılır.

Anyonik suda çözünen boyarmaddeler : Suda çözünen grup olarak en çok sülfonik (-SO₃), kısmen de karboksilik (-COO) asitlerin sodyum tuzlarını içerirler: (-SO₃Na ve -COONa). Renk, anyonunun mezomerisinden ileri gelir. Asit ve direkt boyarmaddeler bu gruba dahildir.

Katyonic suda çözünen boyarmaddeler : Moleküldeki çözünürlüğü sağlayan grup olarak bir bazik grup (örneğin; $-NH_2$), asitlerle tuz teşkil etmiş halde bulunur. Asit olarak anorganik asitler (HCl) veya $(COOH)_2$ gibi organik asitler kullanılır.

Zwitter iyon karakterli boyarmaddeler : Bunların molekülünde hem asidik hem de bazik gruplar bulunur. Bunlar bir iç tuz oluştururlar. Boyama sırasında bazik veya naturel ortamda anyonik boyar madde gibi davranış gösterirler.

3.2.1.2 Suda çözünmeyen boyarmaddeler

Tekstilde ve diğer alanlarda kullanılan ve suda çözünmeyen boyar maddeleri çeşitli gruplara ayırmak mümkündür.

Substratta çözünen boyarmaddeler : Suda çok ince süspansiyonlar halinde dağıtılarak, özellikle sentetik elyaf üzerine uygulanan dispersiyon boyarmaddeleri bu sınıfa girer.

Organik çözücülerde çözünen boyarmaddeler : Bu sınıfta olan 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. Küpe ve kükürt boyarmaddeleri bu prensibe göre uygulanır.

Polikondensasyon boyarmaddeleri : Son yıllarda geliştirilen ve elyaf üzerine uygulanırken veya uygulandıktan sonra birbiri ile veya başka moleküllerle kondanse olarak büyük moleküller oluşturan boyarmaddelerdir.

Elyaf içinde oluşturulan boyarmaddeler : İki ayrı bileşenden elyaf içinde kimyasal bir reaksiyonla oluşturulan boyarmaddeler bu sınıfa girer. Bunlar suda çözünmeyen

pigmentlerdir. Azoik boyarmaddeler ve ftalosiyaninler gibi çözünmeyen pigmentlerdir.

Pigmentler : Elyafa ve diğer substratlara karşı affinitesi olmayan, boyarmaddelerden farklı yapıda bileşiklerdir. Pigmentler süspansiyonları halinde kuruyan yağlar ve reçineler için de uygulanırlar [15].

3.2.2 Boyarmaddelerin boyama özelliklerine göre sınıflandırılması

Bu sınıflandırmada, boyama teknolojisindeki boyar maddenin hangi yöntemle elyafı boyadığına bakılır ve boyar maddelerin sınıflandırılması boyama özelliklerine göre yapılır. [10, 16]

Direkt boyarmaddeler : Bunlar genellikle sülfonik asitlerin, bazen de karboksilli asitlerin tuzlarıdır. Renkli kısmı oluşturan iyon, anyon şeklindedir. Yapı bakımından çoğu azoboyar maddeler grubuna girer ve $(Boya \cdot SO_3)^- Na^+$ genel formülüyle ifade edilirler. Selülozik elyafa doğrudan bağlanabilirler. Bunlara substantif boyarmaddeler de denir. Direkt boyarmaddelerin ucuz olmaları, boyama işlemlerinin basit oluşu ve boyama sırasında elyafın yıpranmaması gibi özelliklerinden dolayı tercih edilirler. Genellikle selülozik elyafın boyanmasında bazen de kağıt, deri, ipek ve naylon boyamada kullanılırlar. Boyama sırasında sıcaklık yüksek olduğu gibi, boya banyolarına sodyum klorit veya sülfat eklenir.

Bazik (katyonik) boyarmaddeler : Bunlar organik bazların genellikle hidroklorürleri şeklinde bulunurlar. Renkli kısımları katyon halinde olup $(Boya \cdot NH_3)^+ Cl^-$ genel formülüyle ifade edilirler. Pozitif yük taşıyıcı olarak N ve S atomu içerirler. Bazik olarak etki ettiklerinden sulu çözeltide bulunan boyarmadde katyonu, elyafın anyonik gruplarıyla elyaf/boyarmadde tuzunu oluştururlar. Bazik boyarmaddelerin en karakteristik özellikleri parlaklıkları ve renk şiddetleridir. Genellikle asetik asit ve tannik asit yardımı ile zayıf asidik ortamda 80-90 °C'de boyama yapılır. Günümüzde poliakrilonitril elyaf üzerinde ışığa dayanıklılıkları iyi olduğundan “orlon” boyamasında geniş olarak kullanılır. Ayrıca bazik boyalarla

akrilik, modakrilik, modifiye naylon ve polyesterler gibi sentetik elyaflarda boyanmaktadır.

Asit boyarmaddeler : Moleküllerinde bir veya birden fazla sülfonil grubu ($-SO_4H$) veya karboksillik asit ($-COOH$) grubu içerirler. Renkli bileşen boyarmadde anyonudur ve anyonik sınıfa girerler. Asit boyarmaddeler $60-80\text{ }^{\circ}C$ 'de asit veya nötr pH'da uygulanırlar. Genellikle yün, ipek, naylon gibi katyonik modifiye akrilik elyafın bazen de deri, kağıt ve gıda maddelerinin boyamalarında kullanılırlar. Özellikle protein elyafının boyanmasında uygulanırlar.

Reaktif boyarmaddeler : Reaktif boyarmaddeler, diğer bütün boyarmaddelerden farklı olarak lif makromolekülleri ile reaksiyona girebilen ve liflere gerçek kovalent bağlarla bağlanabilen boyarmaddelerdir. Bu boyarmaddeler, selülozdaki hidroksil, yündeki amino ve hidroksil ve poliamidlerdeki amino grupları ile bağ yapabilen fonksiyonel gruplara sahiptir. Kimyasal yapılarında; elyafa bağlanan ve renk veren bir kromorf grubu, elyafın aktif grubu ile reaksiyona giren bir reaktif grup, reaktif ve kromofor gruplarını bağlayan bir köprü grup ve kromofor gruba tutunmuş suda çözünürlüğü arttıran bir veya daha fazla sülfonik asit grubu bulundurlar. % 90'ına yakınında vinilsülfon veya monoklorotriazinil grubu bulunur. Kovalent bağ oluşturduklarından elde edilen boyanın yıkamaya karşı dayanıklılığı yüksektir ve renkler çok parlaktır. Boyama soğukta bekletilmeyle yapıldığından enerji tasarrufu sağlanır. Reaktif boyarmaddelerin molekülleri çok düşük olduğundan elyaf içine difüzyon hızları büyüktür dolayısıyla boyama kısa sürede, nötr pH değerlerinde ve zayıf asit banyolarında yapılır. Boya fiksasyonunun sağlanması için çok miktarda tuz kullanılır. Buna rağmen boya banyolarından önemli miktarda fikse olmamış reaktif boya, tuz ve banyonun reaktif boyadan temizlenmesi için kullanılan anyonik deterjan deşarj edilir. Tipik olarak boyanın elyafa fiksasyonu % 60-90 arasında değişir [17]. Genellikle pamuk ve rayon gibi selülozik elyafların boyanmasında bazen de yün, ipek, naylon ve deri boyanmasında kullanılırlar.

Vat (Küpe) boyarmaddeler : Moleküllerinde en az iki oksijen atomu içeren renkli bileşikleridir. İri, ince ve çok ince toz halinde bulunabilirler. Donmaya karşı dayanıklı, kurumayan, çökmeyen, dispersiyon haline getirilmiş sıvılarda yaygın

olarak kullanılır. Bu boyarmaddeler karbonik grubu içerir ve suda çözünmezler. Bunlar sadece indirgeme ile suda çözünür hale getirilerek boyamada kullanılırlar. Daha sonra oksidasyonla yeniden çözünemez hale getirilirler. İndirgeme aracı olarak Na_2SO_4 , NaOH ve NaHSO_3 kullanılır. Oksidasyon için ise hava kullanılır. Daha çok selülozik, kısmen de protein elyafın boyanmasında kullanılır. Işığa, yıkamaya, sürtünmeye karşı dayanıklıdır [5].

Mordan boyarmaddeler : Bunlar asidik veya bazik fonksiyonel grupları içeren doğal ve sentetik bir çok boyarmaddeyi kapsar. Bitkisel ve hayvansal elyaf ile kararsız bileşikler oluştururlar. Bu nedenle hem elyaf hem de boyarmaddeye karşı aynı ilgiyi gösteren bir madde önce elyafa yerleştirilir, daha sonra elyaf ile boyarmadde suda çözünmeyen bir bileşik vermek üzere reaksiyona sokulur. Mordan olarak genellikle krom, bazen de Al, Sn, Fe, Cr tuzları kullanılır. Değişik şekillerde mordanlama gerçekleştirilebilir. Boyamadan önce mordanlama yapıldığında, krom bileşikler katıldıktan sonra boyama gerçekleştirilir, daha sonra da kromu indirgemek için potasyum hidrojen tartarat kullanılır. Boyama ve kromlama işlemi aynı anda ve aynı banyoda yapıldığında ise pH 6 civarına getirilip amonyum sülfat ve potasyum kromat eklenir. En çok kullanılan ve hızlı olan, yün boyandıktan sonra krom katılarak yapılan boyama işlemidir. Mordan boyarmaddeler ipek, naylon, selülozik elyaf ve esas olarak yün boyamada kullanılırlar.

Pigment boyarmaddeler : Boyarmaddelerin özel bir grubu olan pigment boyarmaddelerin tekstil elyafa karşı afinitesi yoktur. Bu nedenle reçine gibi bağlayıcı bir madde yardımıyla elyafa fikse edilirler. Bunların üstünlüğü elyafın kimyasal bileşimine bakmaksızın basit bir teknikle her cins elyafa uygulanabilmeleridir.

Dispers boyarmaddeler : Dispers boyarmaddeler, amino ve hidroksil grupları içerirler. Küçük moleküllü bileşikler olmaları nedeniyle elyaf içine kolay nüfuz ederler. Bu nedenle poliesterlerin boyanmasında en çok dispers boyarmaddeler tercih edilir. Fakat suda çözünürlükleri çok düşük ve elyafa difüzyonu çok yavaştır. Bundan dolayı boyama uzun sürede gerçekleşir. Normal basınç altında çalışan ve maksimum $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de ısınan cihazlarda poliesterlerin ancak difüzyon hızı yüksek olan küçük

moleküllü açık ve orta şiddetteki dispers boyarmaddelerle boyanması mümkündür. Yaygın olarak sentetik elyaflarda, esas olarak polyesterlerde ve selüloz asetat rayon, naylon, akrilik elyaf gibi malzemelerin boyanmasında kullanılır.

Oksidasyon boyarmaddeleri : Bu gruba anilinyum hidroklorürün elyaf içinde yükseltgenmesiyle oluşturulan anilin siyahı girer. Pamuk ve poliamid elyafının boyanmasında, parlaklık şiddeti yüksek olduğu için tercih edilirler. Selülozik elyafın boyanmasına da yarayan bu boyarmaddenin haslığı çok yüksektir.

Kükürt boyarmaddeler : Bu grubun üyeleri kükürt içeren karmaşık yapıları organik bileşiklerdir. Sülfür boyalar nitro ve amino grupları içeren organik bileşiklerin sülfür veya sodyum sülfid ile yüksek sıcaklıkta reaksiyonu sonucu elde edilirler. Selülozik elyafın ve özellikle pamuğun renklendirilmesinde kullanılan bu boyarmaddelerin günümüzde kullanılan renk paleti içinde önemli bir yeri vardır [17]. "Colour Index"deki sınıflandırmaya göre üç sınıfa ayrılırlar; suda çözünmeyen, lokyo ve suda çözünen kükürt boyarmaddeler. Suda çözünmeyen kükürt boyarmaddeler, sodyum sülfür veya sülfidratla kaynatılarak çözülürler. Fakat bu yol çok zahmetli olduğundan az kullanılır. Ticari önemi olan birkaç özel tip ve siyah renkler bu şekilde uygulanmaktadır. Sıvı formda bulunan lokyo-kükürt boyarmaddelerin çözülmesi üretimleri sırasında gerçekleştiğinden boyama işlemi için ayrıca bir çözme işlemine gerek yoktur. Renk kuvvetleri toz halindeki boyarmaddelere oranla daha zayıftır. Suda çözünen kükürt boyarmaddeler, tiyosülfür asitlerinin türevleri yada bunte tuzları (tiyosülfatester) formunda bulunurlar. Sıcak suyla çözünüp alkali ve indirgen madde katkısıyla elyafa afiniteli duruma getirilirler. Bu tip boyarmaddelerin elyafa fiksasyonu (% 60-70) düşüktür [15].

Azoik boyarmaddeler : Bunlar suda çözünmeyen pigmentlerdir. Azoik boyalar iki kimyasal reaktif bileşikten oluşurlar ve bunlar kumaşa iki ayrı kademe uygulanırlar. Bu iki bileşiğin reaksiyonu elyafta renkli azo kromoforunu oluşturur. Boyama sırasında azoik boyalar elyafın içinde oluşurlar. Naftol boyarmaddeler olarak da bilinen azoik boyarmaddeler, selülozik elyafı, rayon, selüloz asetat, keten, jüt, kendir ve bazen de polyesterlerin boyanmasında kullanılırlar.

Metal kompleks boyarmaddeler : Bileşimlerinde azo ve anyonik gruplar bulunduklarından ve protein ve poli-amid elyaflarda dayanıklı olduklarından asit boyalar olarak da sınıflandırılırlar. Anyonik gruplar metal boya oranına bağlı olarak değişir. Metal kompleks boyalarda en çok kullanılan krom ve kobalt tuzlarıdır. 1:1 metal kompleks boyalar bir veya iki adet $-SO_3H$ grubu taşırlar ve kuvvetli asidik ortamda uygulanırlar. 1:2 metal kompleks boyalar ise iyonize grup taşımazlar ancak boyanın suda yeterli çözünürlüğünü sağlamak için $-SO_2CH_3$ veya $-SO_2NH_2$ gibi yüksek dereceden polar gruplar taşırlar. Bu tip boyalar zayıf asit ve nötr ortamlarda yün ve poliamid elyaflara uygulanırlar [17].

Tablo 3.8 Uygulamalarına göre boya sınıflaması [17]

Boya Sınıfı	Karakteristikleri	Elyaf Tipi	Boya-Elyaf Tutunma Mekanizması
Asit	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Anyonik ➤ Suda çözünürlüğü yüksek ➤ Yaş haslıkları zayıf 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Naylon ➤ Yün 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ İyonik bağ
Metal kompleks asit boya (Boya molekülleri krom ve kobaltla kompleks halde bulunur)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Anyonik ➤ Suda çözünürlüğü yüksek ➤ Yaş haslıkları iyi 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Naylon ➤ Yün 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ İyonik bağ
Direkt	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Anyonik ➤ Suda çözünürlüğü yüksek ➤ Yaş haslıkları zayıf 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pamuk ➤ Viskon 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ İyonik bağ
Bazik veya katyonik	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Katyonik ➤ Suda çözünürlüğü yüksek 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Akrilik 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ İyonik bağ
Dispers	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Koloidal dispersiyon ➤ Suda çok düşük çözünürlük ➤ Yaş haslıkları iyi 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Polyester ➤ Naylon ➤ Akrilik ➤ Selüloz asetat 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Koloidal impregnasyon ➤ Adsorpsiyon
Reaktif	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Anyonik ➤ Suda çözünürlüğü yüksek ➤ Yaş haslıkları iyi 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pamuk ➤ Viskon ➤ Yün 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Kovalent bağ
Sülfür	<ul style="list-style-type: none"> ➤ İplikte reaksiyonundan sonra koloidal ➤ Suda çözünmez ➤ Yaş haslıkları iyi 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pamuk ➤ Viskon 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Boya, banyoda ipliğe çöktürülür
Vat	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sülfür boya gibi 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pamuk ➤ Viskon 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Boya, banyoda ipliğe çöktürülür
Azoik	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sülfür boya gibi 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Pamuk ➤ Viskon 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Boya, banyoda ipliğe çöktürülür
Mordan veya krom	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Anyonik ➤ Suda çözünür ➤ Yaş haslıkları iyi 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Yün 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ İplik-krom-boya kompleksi

3.3 Renk

3.3.1 Rengin tanımı

Renk, organik bileşiğin yapısında yer alan ve “kromofor grup” adı verilen grupların özelliklerine bağlı olarak görünür ışığın belli dalga boyundaki kısımlarını yutması ve geri kalan dalga boylarını yansıtması sonucunda göz tarafından görülen karakteristik şekilde tanımlanabilir. Kromofor grupların görünür ışığı oluşturan dalga boylarında yuttuğu kısımlara “Adsorplanan renk”, yansıttığı kısımlara ise “Komplementer renk” adları verilir. Tablo 3.9’da absorplanan dalga boylarına göre yansıtılan (komplementer) renkler verilmiştir [17].

Tablo 3.9 Işık absorpsiyonu ve renk

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

3.3.2 Rengin önemi

Yüzeysel suların hemen hemen hepsi, özellikle de bataklık alanlardan beslenenler renklidir ve bu özelliklerinden dolayı renk giderimi yapılmaksızın evsel ve endüstriyel amaçlarla kullanımları uygun değildir. Ağaçlardan dökülen çeşitli yapraklar, kabuklar ve bitki artıkları, kütük gibi maddelerin su ile teması ve organik madde olarak çürümesi, renkli maddelerin oluşmasına neden olur. Renklenmeye en çok yeşil bitkiler neden olur. Fakat gerçekte suyun doğal rengini eksi (-) yüklü koloidal partiküller oluşturur. Tanin, humik asit ve ligninin parçalanmasından ortaya çıkan humik asit tuzları en önemli renk verici yapılardır. Demirin (+3) humik asit ile oluşturduğu tuzu ve ürünleri olarak ortamda bulunması, büyük bir renk kaynağı oluşturur [8].

Askıda maddelerin neden olduğu renge “Görünen Renk” denir. Su analizlerinde, görünen ve gerçek renk arasındaki farkı belirlemek önemlidir. Suyun gerçek rengi, askıda katı maddeler tamamiyle giderildikten sonra ölçülmelidir. Renk yoğunluğu genellikle pH’ın yükselmesiyle artar [8].

Yüzey suları, renk derecesi yüksek atıksuların deşarjları ile de renklenebilir. Bu tür atıklar arasında en dikkate değer olanları tekstil endüstrilerinin boya üniteleri ve kağıt endüstrilerinin kağıt hamuru ünitelerinden gelen renkli atıksulardır. Boya endüstrisi atıksuları çok çeşitli olabilir. Kağıt hamuru ünitelerinden çıkanlar ise, içinde lignin türevleri ve çok miktarda çözünmüş madde içeren atıksulardır. Lignin türevleri çok renk verici ve biyolojik faaliyetlere dayanıklıdır. Bu maddelerin çoğu doğal su çevrimi içinde parçalanır [8].

Renk, tekstil atıksularının en karakteristik parametresi ve en azından estetik ölçüler açısından en önemli kirleticilerinden biridir. Koyu renkli sular, güneş ışınlarının geçişini engelleyerek fotosentez olayını yavaşlatıp; sudaki çözünmüş oksijen miktarını düşürdüğünden atıksuların renkli olarak deşarjı ekolojik dengenin bozulmasına ve canlıların ölümüne neden olur [34].

Bataklık ve orman alanlarından kaynaklanan, doğal maddeleri içeren sular ise zararlı yada toksik özellikler taşıyabilirler. Doğal yapıdaki renkli maddeler suya kahverengi-sarı bir renk verir. Bu tür suların estetik ve psikolojik nedenlerden dolayı içme suyu olarak kullanılması istenmez.

3.3.3 Renk ölçüm metotları

3.3.3.1 Görsel karşılaştırma metodu

Rengin, numunenin bilinen konsantrasyonlarındaki renk çözeltileri ile görsel olarak karşılaştırılması sonucu “mg/lt Pt-Birimi” şeklinde belirlendiği bir yöntemdir. Karşılaştırma, aynı zamanda kalibre edilmiş cam disklerle de yapılabilir. Platin-Kobalt metodu yada Hazen metodu standart bir metottur. 1 mg/lt platin ile üretilen renk, standart renk birimi olarak kabul edilir. Ölçümlerde 500 mg/lt platin için

K_2PtCl_6 'dan stok çözelti hazırlanır. Uygun tonu sağlamak için kobalt klorür eklenir. Stok çözeltinin rengi 500 birimdir. Çalışma standartları bu çözelti seyreltilerek hazırlanır. Standart çözeltiler, "Nessler Tüpleri" olarak adlandırılan camdan yapılmış renk karşılaştırma tüplerine konur. 0'dan 70'e kadar olan tonlarda çalışılır. Eğer numune 70 birimden fazla renge sahipse, ölçüm numunenin distile su ile seyreltilmesinden sonra yapılır ve sonuçlar seyrelme göz önüne alınarak hesaplanır.

Platin-Kobalt metodu, içilebilir suların ve doğal maddelerin oluşturduğu rengi içeren sularda yapılan renk ölçümlerinde kullanılır. Aşırı renkli ve endüstriyel atıksular için uygulanabilir değildir. Çok hafif bir bulanıklık bile, görülen rengin gerçek renkten çok büyük çıkmasına neden olur. Bu nedenle bulanıklık, gerçek rengin ölçümünden önce giderilmelidir. Suyun renk değeri pH'daki artışa da bağlı olduğundan, renk değerleri kaydedilirken, tespit edilen her renk için pH belirtilmelidir. Bu yöntemde çevre kirlenici metaller kullanıldığı için özellikle Avrupa Birliği ülkelerinde Hazen yöntemi terk edilmektedir [8].

3.3.3.2 Spektrofotometrik metot

Bir çözeltinin rengi demek, bunun içinden geçen ışığın fiziksel veya çoğunlukla psikolojik rengi demektir. Bu metot da, bir maddenin görüldüğü renginin komplementer rengindeki dalga boyu absorplanır ve spektrofotometre yardımıyla adsorplanma miktarı tespit edilip renklilik miktarı hassas bir şekilde belirlenir. Bu metot içme sularına, yüzeysel sulara, evsel ve endüstriyel atıksulara uygulanabilir [8].

3.3.3.3 Tristumulus filtre metodu

Filtre Fotometresi içindeki fotoelektrik pil ve özel ışık kaynağı ile donatılmış 3 adet tristumulus filtresi, genel kontrol amaçlarına uygun renk verileri oluşturmak için kullanılır. Çözelti vasıtasıyla her üç filtre için de tristumulus ışık iletkenliği oranı tespit edilir. İletkenlik değerleri daha sonra trikromatik sabitlere ve renk karakteristiği değerlerine dönüştürülür [8].

3.3.3.4 Renklilik sayısı metodu

1994 yılında yayınlanan uluslar arası Avrupa Normu ISO 7887'ye göre doğal sular ve açık renkli endüstriyel atıksuların rengi optik bir cihaz yardımıyla ölçülmektedir. Burada söz konusu olan, numunenin 0.45 µm membran filtreden süzülmesinden sonra ölçülen “gerçek renk”tir.

Bir su numunesinin renginin şiddeti, en yüksek absorpsiyonlarının görüldüğü dalga boylarındaki ışık absorpsiyonları ile karakterize edilir ve ekstinksiyonun bir spektrofotometre yardımıyla ölçülmesiyle de kantitatif olarak belirlenir. Genel olarak sarı-kahverengi renge çalan suların çoğu ve evsel atıksu arıtma tesislerinin çıkış suları $\lambda = 436$ nm boyunda ölçülürler. Endüstriyel atıksu arıtma tesislerinin çıkış suları kesin ve belirli ekstinksiyon maksimumları göstermezler. Bu tip suların renklerini belirleyebilmek için belirli dalga boylarında ölçümler yapılır. Endüstriyel atıksuların rengini yukarıda verilen uluslar arası norma göre belirleyebilmek için görünür ışık spektrumu içinde yer alan üç dalga boyu seçilmiştir.

$$\lambda (1) = 436 \text{ nm}$$

$$\lambda (2) = 525 \text{ nm}$$

$$\lambda (3) = 620 \text{ nm}$$

$\lambda = 436$ nm'de ölçüm zorunludur. $\lambda (2)$ ve $\lambda (3)$ dalga boylarında ise belirlenen değerlerde çok az sapmalar olabilir. Karakterizasyonun daha iyi olması için ekstinksiyon maksimumuna yakın değerlerde de ölçüm yapılması faydalı olabilir.

Ölçümden önce çözünmemiş maddelerin girişimini önlemek için su numunesi filtre edilmelidir. Fakat demir ve mangan bileşikleri de filtre tarafından tutunabilir veya bu esnada renkli bir oksidasyon basamağına yükseltgenebilirler. Çok ince kolloidlerin var olması durumunda berrak bir süzüntü elde edilemeyebilir. Bu durumda sonuçlar verilirken kolloid partiküllerin varlığından da bahsedilmelidir [8].

BÖLÜM 4. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ ARITIMI

4.1 Tekstil Atıksularını Arıtma Yöntemleri

Tekstil endüstrisi atıksularındaki kirleticiler; sıcaklık, organik, inorganik maddeler ve ağır metal faktörlerini içerir [19]. Tekstil endüstrisi atıksularındaki bu kirletici parametrelerin çok çeşitli olmasından dolayı bu endüstriye ait atıksuların arıtılmasında farklı arıtma yöntemleri uygulanabilir. Başlangıçta kullanılan büyük miktarlardaki suyun sadece az bir kısmının üründe yer alması ve sonuçta üründe kullanılmayan suyun büyük hacimlerde çıktı olarak oluşması, en uygun arıtma tipinin belirlenmesini bir zorunluluk haline getirmiştir [1, 2].

Tekstil endüstrisi arıtma uygulamaları 3 aşamada ele alınabilir. Bunlar; ilk arıtma, fiziksel-kimyasal arıtma ve biyolojik arıtma (son arıtma) olarak sıralanabilir. Yeterli gelmeyen durumlarda ileri arıtma da uygulanabilir [15].

4.1.1 Ön arıtma

Ön arıtma tesis için zararlı olabilecek veya operasyonu etkileyebilecek maddelerin uzaklaştırılmasını kapsar. Bu ünite, suyun arıtım için uygun hale getirildiği bölümdür. Ön arıtma atık sularda askıda madde giderimi ve pH ayarını kapsar. Ham suyun karakteristiğine göre ön arıtma için bazı uygulamalarda kimyasal dozajlama ve dezenfeksiyon proseslerinin uygulanabileceği gibi sadece ızgaradan geçirme, kum tutucu veya filtrasyon gibi fiziksel ön arıtma da yeterli olabilmektedir. Proje debisinden farklı akımlar için atık suyun günlük salınımlarının dengelenmesi gerekir. Bunun için dengeleme havuzundan faydalanılır. Dengeleme ünitesi ile tesise giren atıksuyun aşağı yukarı aynı karakterde olması da sağlanmış olur. Sulu proseslerle çalışan hemen hemen bütün alt kategorilerden çıkan atık sular için

ızgaradan geçirme işlemi uygulanır. Kum tutma ve çöktürme işlemleri de uygulanan fiziksel giderimler dendir [15].

4.1.2 Fiziksel-kimyasal arıtma

İki ayrı şekilde ele alınabilir. Birincisi krom indirgeme, sülfür oksidasyonu gibi ayrılmış akımlara uygulanan arıtma yöntemleridir. Diğeri ise toplam atık sulara uygulanan kimyasal çöktürme veya yüzdürme gibi organik ve zehirli atık yüklerinin kontrolüne yönelik yapılan arıtma işlemleridir.

Kimyasal arıtma arıtılacak atık suya kimyasal maddeler ilave edilerek, yumakların oluşturulması ve kirletici maddeleri de yapısında toplayan flokların çöktürme, filtrasyon veya yüzdürme proseslerinden biri veya bir kaçının kullanılması sureti ile sudan uzaklaştırılması prensibine dayanır. Kullanılacak yumaklaştırıcının tipi, dozajı ve optimum pH aralığı laboratuarda yapılan Jar-Test çalışması ile belirlenir.

Kimyasal arıtma, biyolojik arıtmayı tamamlayıcı rol oynar. Organik maddeleri, zehirli maddeleri yada her ikisini de dengelemek fazla zehirliliği yada fazla organikleri biyolojik arıtmanın büyüklüğünün optimizasyonu için gidermek, ayrışabilen ve ayrışamayan organikler, süspansiyon halindeki katı maddeler cinsinden çıkış suyu kalitesini iyileştirmek ve en çokta rengi gidermek üzere biyolojik arıtmadan önce veya sonra uygulanabilir [21].

4.1.3 Biyolojik arıtma

BOİ giderimi için biyolojik arıtma en uygun arıtma teknolojisidir. Biyolojik arıtılabilirlik, genellikle tekstil atık sularının BOİ ve KOİ değerlerinin biyolojik ayrışma oranlarıyla değerlendirilir. Askıda çoğalan aktif çamur biyolojik arıtma sistemleri, günümüzde en yaygın kullanım alanına sahip arıtma sistemleridir; aktif çamur sistemlerinin modellenmesi aşamasında, atık suyun organik madde içeriği ile niteliğine göre karakterizasyonunun yapılmasına gereksinim duyulmaktadır. Ancak bu arıtma tekstil atıksularının karakterinden dolayı yeterli olamamaktadır. Özellikle

tekstil sanayinde kullanılan boyarmaddeler, kimyasal yapılarından dolayı biyolojik arıtmadan herhangi bir değişikliğe uğramadan geçerler.

Yüzeyde çoğalma tipindeki biyolojik arıtma proseslerinden damlatmalı filtreler ile döner diskler de, tekstil atıksularının arıtımında yaygınlık kazanmaktadır; bu sistemlerin alan ve enerji gereksinimlerinin aktif çamur sistemine oranla düşük olması, önemli bir avantaj olarak nitelendirilmektedir.

Biyolojik arıtma için yeterli azot ve fosforun atık suda bulunmaması durumunda, diamonyum fosfat ve üre gibi ucuz kimyasal maddelerin ilavesi ile bu eksiklikler giderilebilir. Atıksu alkali karakterde ise, fosforik asit ilave edilebilmektedir [15].

4.1.4 İleri arıtma

Bazı hallerde biyolojik arıtma sonrasında daha ileri arıtma yapmak gerekmektedir. Biyolojik olarak ayrışamayan inert KOİ ve en önemlisi renk giderimi için bu sistem uygulanmaktadır. Kimyasal çöktürme, ozonlama, aktif karbon adsorbsiyonu ve membran prosesler bu gruba dahildir [21].

4.1.5 Çamur arıtımı

Oluşan çamur yoğunlaştırıldıktan sonra filtre pres veya belt filtre preslerle susuzlaştırılabilir[15].

Tablo 4.1 Arıtma sistemlerindeki proseslerin kirlenici giderme verimleri [21]

Arıtma Prosesi	BOİ ₅	KOİ	TAM	Yağ-Gres	Renk
Ön Arıtma					
Izgaradan Geçirme	0-5	-	5-20	-	-
Dengeleme	0-20	-	-	-	-
Nötralizasyon	-	-	-	-	-
Kimyasal Pıhtılaştırma	40-70	40-70	30-90	90-97	0-70
Flotasyon	30-50	20-70	50-60	90-98	-
Biyolojik Arıtma					
Konvansiyonel Aktif Çamur ve Çöktürme	70-95	50-70	85-95	0-15	-
Uzatmalı Havalandırma ve Çöktürme	70-94	50-70	85-95	0-15	-
Havalandırmalı Lagün ve Çöktürme	60-90	45-60	50-80	0-10	-
Aerobik Lagün	50-80	35-60	50-80	0-10	-
Damlatmalı Filtre	40-60	20-30	-	-	-
Üçüncü Kademe Arıtma					
Kimyasal Pıhtılaştırma	40-70	40-70	30-90	90-97	0-70
Karışık Ortamalı Filtrasyon	25-40	25-40	80	-	-
Karbon Adsorpsiyonu	25-40	25-60	25-40	-	80-90
Klorlama	0-5	0-5	-	0-5	0-5
Ozonlama	-	30-40	50-70	-	70-80
İleri Arıtma					
Sprey Sulama	90-95	80-90	95-98	-	-
Evaporasyon	98-99	95-98	95-99	-	-
Ters Osmoz	95-99	90-95	95-58	-	-

Giderme verimleri kimyasal madde ve kullanılan dozaj ile değişir.

4.2 Tekstil Atıksularından Renk Gidermede Kullanılan Yöntemler

Tekstil endüstrisi atıksularının ele alınması gereken en önemli kirlilik parametresi renktir. Bu nedenle renge neden olan boyar maddelerin moleküler özellikleri ile çevresel açıdan taşıdıkları önem nedeniyle artılabilirliklerinin araştırılması ve arıtma seçeneklerinin ortaya konulması büyük önem taşır. Büyük bir kısmı biyolojik olarak bozunmayan ve kimyasal maddelerle kolay reaksiyon vermeyen boyarmadde molekülleri bu özelliklerinden dolayı diğer organik maddelere nazaran daha dikkatle ele alınmalıdır [8]. Kullanılan boya türüne göre boyama suyuna geçen boya yüzdeleri değişim aralığı Tablo 4.2’de belirtilmiştir [22].

Ülkemizde Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde, deşarj standartlarında renk ile ilgili parametre olmamasından dolayı, bu atıksuların arıtımında daha çok KOİ, BOİ ve AKM giderimi amaçlanmaktadır. Buna karşın ABD ve Avrupa Birliği ülkelerinde renk ile ilgili kesin deşarj sınırlamaları getirilmesinden dolayı son yıllarda tekstil atıksularının arıtılmasında kullanılan bütün arıtma teknolojileri renk giderimi üzerinde yoğunlaşmıştır.

Tablo 4.2 Kullanılan boya türüne göre boyama suyuna geçen boya yüzdeleri değişim aralığı

Kullanılan Boya Türü	Suya Geçen Kısım %
Direkt	5-30
Vat	5-20
Kükürt	30-40
Reaktif	5-50
Dispers	8-20
Pigment	1
Asit	7-20
Bazik	2-3

Geçmişte ve günümüzde tekstil atıksularından renk giderimi üzerine yapılmış pek çok çalışma bulunmaktadır.

Stahr ve arkadaşları [23]; kükürt, asit ve vat boyarmaddeler üzerinde yaptıkları kimyasal çöktürme denemelerinde, 100-500 mg/lt aralığındaki alum dozlarında etkin bir renk giderimi gözlemladiler. Renk giderimi, 10 mg/lt dozajındaki katyonik polimer ilavesiyle artmaktaydı.

Grau [24]; biyolojik arıtmadaki kısmi renk gideriminin, boyaların aktif çamura adsorplanmasıyla oluştuğunu saptamış ayrıca koagülasyon ve flokülasyonla % 80-90 renk giderimi sağlanabileceğini belirlemiştir.

Ganjidoust ve arkadaşları [25]; ele aldıkları iki tekstil boyarmaddesinin rengini gidermek için kullandıkları çeşitli minerallerle yüksek renk giderme oranları tespit etmişlerdir. Yaptıkları çalışmalarda pH'ın 5'den yüksek ve sıcaklığında yüksek olmasının adsorpsiyon etkinliğini ters yönde etkilediğini saptamışlardır. Yine boyarmaddelerle yaptıkları denemelerde, iki asidik ve bazik boyarmaddenin rengini gideren mısır koçanının yüksek bir adsorsiyon potansiyeli olduğunu belirlemiştir.

Mehrotra ve arkadaşları [26]; tekstil boyama atıksularındaki rengi gidermek için koagülasyonu denemişler, $MgCO_3$, 1000 mg/lt dozda ve pH 10'da sülfür boyalar için % 90 verim sağlamışlardır. Fakat yaptıkları çalışmalarda, $FeSO_4$, vat boyalar için oldukça yüksek dozda kullanıldığında (14000 mg/lt) rengin giderilemediğini görmüşlerdir.

Panswad ve Wongchaisuwan [27]; reaktif kırmızı boyalı atıksulardaki rengi gidermek için magnezyum karbonat ($3MgCO_3.Mg(OH)_2.3H_2O$) kullanmayı denemişler ve yaptıkları çalışmalarda, magnezyum karbonatı, kireç ile birlikte uygulayarak % 90'ın üzerinde renk giderimi elde etmişlerdir.

Ülkemizde halen bir deşarj limiti olmayan ancak dünyanın gelişmiş pek çok ülkesinde denetlenen bir parametre olan rengin giderilmesi ile ilgili değişik arıtma yöntemleri uygulanmaktadır ve araştırmalar günümüzde de sürmektedir. Bunlara ek olarak zeolit, dolomit, perlit, yılan taşı, serpentin ve kaolin, odun kömürü renk gideriminde kullanılabilen doğal bileşiklerdir. Bu bileşiklerin karışımı da renk gideriminde verim sağlar.

4.2.1 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 değişikliklerin kullanılan kimyasalla ve uygulanan dozda yapılan değişikliklerle kolayca tolere edilebilir olmasıdır [28]. En yaygın olarak uygulanan kimyasal yöntemler; oksidasyon, kimyasal flokleştirme ve çöktürme, cucurbituril ile arıttırma.

4.2.1.1 Oksidasyon

Kimyasal oksidasyonun amacı; içme ve atıksularda bulunması istenmeyen Mn^{+2} , Fe^{+2} , S^{-2} , SO_3^{-2} gibi maddeleri, fenoller, humik asitler, toksit maddeler, koku, tat ve renk meydana getiren maddeler, bakteri ve algler gibi organik maddeleri aksi tesiri olmayan türlere dönüştürmektir. Kimyasal oksidasyon sonucu, boya molekülündeki

aromatik halka kırılarak atıksudaki boyarmadde giderilir. Oksitleme proseslerinde genellikle ozon, klor veya hipokloritler, hidrojen peroksit gibi kimyasal maddeler ile bunların kombine sistemleri kullanılır. Sıcaklık, pH, reaktanlar, ürün konsantrasyonları, kataliz varlığı gibi değişkenler oksidasyonun derecesini etkileyen temel faktörlerdir. Kimyasal oksidasyon uygulamaları; oksitleme ürünlerinin zararlı olmaması, arıtım veriminin yüksek olması ve uygun sürede gerçekleşmesi, oksitleyici maddenin ekonomik olması nedeniyle yaygın olarak kullanılır.

4.2.1.1.1 Ozon ile renk giderimi

Oksijenin 3 atomlu allotropu olan ozon güçlü bir oksitleyici olup organik maddelerle çok güçlü bir şekilde reaksiyona girer. İki tane dar yerleştirilmiş elektrot arasına yüksek voltaj uygulandığı zaman ozon, saf oksijenden veya havadan üretilebilir. Fakat bunun maliyeti yüksektir.

Ozon uygulamaları 70'li yılların başında başlamış ve ozonlama teknolojisi ile ilgili ilk endüstriyel çalışma Pasteur Enstitüsü'nde Dr. Loir ve Dr. Fernbach tarafından 1998'de gerçekleştirilmiştir [7].

Ozonlama ile dikkate değer boyutlarda renk giderimi sağlanabilmektedir. Ozonlama sonucu elde edilen renk giderimi boyanın cinsine göre farklılık göstermektedir. Strickland ve Perkins tarafından yapılan çalışmada 30 dakikalık bir zaman süresince ozonlamanın azoik, dispers/sülfür ve reaktif boya içeren atıksularda başarılı bir renk giderimi sağlanırken, vat boyar maddesi içeren atıksu için aynı başarıyı gösterememiş ve renk giderimi % 50 ile sınırlı kalmıştır [29].

Yüksek kararsızlığa bağlı olarak oldukça iyi bir yükseltgen olan ozon aynı zamanda tekstil yaş proseslerinden kaynaklanan atıksularda bulunan yüzey aktif maddeler ve taşıyıcılar gibi diğer kirleticilerin giderilmesine de yardımcı olmaktadır. Ozonla oksidasyon, klorlu hidrokarbonların, fenollerin, pestisidlerin ve aromatik hidrokarbonların parçalanmasında da oldukça etkilidir. Boya içeren atıksulara uygulanan dozaj, toplam renge bağlıdır ve giderilecek KOİ bir kalıntı yada çamur oluşumuna veya toksik ara ürünlerin oluşumuna neden olmaz. Diğer önemli bir

avantaj ise ozonun gaz durumunda uygulanabilir olması ve dolayısıyla diğer bazı yöntemlerin aksine atık çamur oluşmamasıdır. Yarı ömrünün kısa oluşu (tipik olarak 20 dakika) ozonlamanın en büyük dezavantajıdır. Alkali şartlarda ozonun bozunması hız kazandığı için atıksuyun pH'ı dikkatle izlenmelidir. Ozonlama yönteminin diğer bir dezavantajı kısa yarı ömrüne bağlı olarak ozonlamanın sürekli olması gerekliliği ve yüksek maliyettir [30].

4.2.1.1.2 Fenton oksidasyonu

Hidrojen peroksit normal şartlar altında yetersiz olmasına karşın, asidik ortamda demir (II) ile Fenton reaktifini ($H_2O_2-Fe(II)$) oluşturur. Fenton ayırıcı biyolojik arıtmayı inhibe edici yada toksik atıksuların oksidasyonu için çok uygundur. Fenton ayırıcı ile yapılan arıtım ön oksidasyon ve koagülasyon olmak üzere iki adımda gerçekleşir.

Hidrojen peroksit ve demir iyonları asidik ortamlarda çok kararlıdır. Ancak organik madde ve demir (II) iyonları bulunan kuvvetli asit bir ortama hidrojen peroksit ilave edildiğinde kompleks bir redoks reaksiyonu meydana gelir. Reaksiyonlar sonunda oluşan hidroksil radikaller doymamış boya molekülleri gibi organiklerle reaksiyona girmekte böylece kromofor veya boya molekülünün kromojeni zarar görerek renk kaybolmaktadır. Oluşan ara ürünler ise, demir iyonlarına tutunarak çökelirler [15]. Fenton ayırıcı ile arıtma bu açıdan H_2O_2 kullanılan yöntemlere göre daha avantajlı konumdadır. KOİ, renk ve toksisite giderimi gibi avantajları yanında prosesin bazı dezavantajları da mevcuttur: Proses floklaşma işlemini de içerdiği için atıksudaki kirleticiler çamura transfer olurlar ve çamur problemi ortaya çıkar [30]. En etkili renk giderimi, $pH < 3.5$ değerinde 30-60 dakikalık reaksiyon süresinde ve yüksek sıcaklıkta ($50\text{ }^{\circ}C$ 'de) gerçekleşmektedir [31]. Fenton reaktifi hem çözünür hem de çözünmeyen boyarmaddelerin rengini gidermede etkindir [47]. Fenton reaktifinin en önemli dezavantajı işletme maliyetidir.

4.2.1.1.3 Klor ve hipoklorit oksidasyonu

Renkli atıksuların kimyasal oksidasyonu klor gazı ve sodyum hipoklorit (NaOCl) bileşikleriyle de mümkündür. Bu metotta, Cl^+ ile boya molekülünün amino grubuna etki eder ve azo bağının kırılmasını sağlar. Klor konsantrasyonundaki artışla birlikte renk giderimi de artar. Sodyum hipoklorit ile renk giderimi asit ve direkt boyalar için tatmin edici sonuçlar vermektedir. Reaktif boyaların arıtımı için ise daha uzun zamana ihtiyaç vardır. Metal-kompleks boya çözeltileri arıttıktan sonra kısmen renkli kalırken dispers boya çözeltilerinde NaOCl ile renk giderimi gerçekleşmez [32]. Gerekli olan klor dozajı klor gazına eşdeğer olarak 500-1000 mg/l'tir [33].

Renk giderimi için klor gazı kullanımı, sonrasındaki biyolojik arıtma prosesine giden atıksudaki KOİ yükünü ve toksiteyi önemli ölçüde düşürür. Rengin tamamen giderilmesi için NaOCl kullanımında istenmeyen yan reaksiyonlar oluşabilmektedir. Bu reaksiyonlar sonucu kanserojen klorlu organik bileşikler açığa çıkmaktadır [34]. Bu durumda ya ozonlama ya da klorlama sonrası klor giderme yöntemleri uygulanmalıdır. Klor giderme işlemi artık klor 0.2-1 mg/l'ten az olduğunda uygulanır. Klor gidermede;

- Aktif karbon filtrelerinden geçirme
- Havalandırma
- Kimyasal yöntemler (SO_2 , $NaHSO_3$, Na_2SO_3 , $Na_2S_2O_3$) kullanılır.

Son yıllarda alıcı ortamlardaki olumsuz etkilerinden dolayı boyar madde giderimi için klor kullanımı azalmıştır.

4.2.1.2 Elektrokimyasal yöntem

Bu yöntem 1970'lerde geliştirilen bir yöntemdir. Boya gideriminin de etkili bir şekilde kullanılabilirliği açısından yöntem bazı önemli avantajlara sahiptir. Kimyasal madde tüketimi çok azdır veya yoktur ve çamur oluşumu söz konusu değildir. Oldukça etkili ve ekonomik bir boya giderimi sağlar, renk gideriminin de ve dirençli kirleticilerin parçalanmasında yüksek verim gösterir.

Sistem genel olarak alüminyum yada demir bileşiklerinin floklayıcı bileşiklerini oluşturmada bir demir yada alüminyum elektrot kullanılması temeline dayanır. Kullanılan demir elektrotuna akım verildiği zaman elektrot çözünmeyen demir hidroksil üretir. Atıksu akımı bu sistemden geçirildiği zaman boya maddeleri yumaklaşır ve çöker. Sistemin verimi kullanılan boya tipine, elektrik akımına, elektrot tipine, sıcaklığa, pH değerine ve reaksiyon süresine bağlı olarak değişir.

Son yıllarda yapılan çalışmalar elektro-oksidasyon için ince tabaka halinde soy metallerle (platin, rutenyum,...) kaplanmış titanyum elektrotlarının kullanımı üzerinde yoğunlaşmıştır. Tekstil boyarmaddesi içeren atıksuların elektro kimyasal olarak arıtıldığı bir çalışmada titanyum/platin anodu kullanılmış ve 18 dakikalık bir aktif arıtım süresinden sonra KOİ, BOİ ve renkteki azalmanın % 80'leri aştığı belirlenmiştir [35].

Yöntemin en büyük dezavantajı kloroorganik bileşikler gibi tehlikeli bileşiklerin oluşma olasılığıdır. Yüksek akım hızlarının renk gideriminde doğrudan bir azalmaya neden olması diğer bir dezavantajdır. Kullanılan elektrik maliyeti diğer yöntemlerdeki kimyasal madde giderleriyle kıyaslanabilir niteliktedir [7].

4.2.1.3 Fotokimyasal yöntem

Bu yöntem boya moleküllerini, hidrojen peroksit (H_2O_2) varlığında UV radyasyonu ile CO_2 ve H_2O 'a dönüştürür. Parçalanma yüksek konsantrasyonlardaki hidroksil (OH) radikallerinin oluşmasıyla meydana gelir. Yani UV ışığı hidrojen peroksidi aktive ederek hidroksil radikaline parçalanmasını sağlar. Böylece organik maddenin kimyasal oksidasyonu gerçekleşir [7].

Boyarmaddenin giderim hızı, UV radyasyonunun şiddetine, pH'a, boyarmaddenin yapısına ve boya banyosunun kompozisyonuna bağlıdır [30]. Genellikle pH 7 olduğunda, UV radyasyon şiddeti yüksek olduğunda, farklı boya sınıfları için farklı değerler alan optimum miktarda hidrojen peroksit uygulandığında ve boya banyosu, yükseltgenme potansiyeli peroksitten büyük olan oksitleyici maddeler içermediğinde etkili bir renk giderimi söz konusudur [32]. Boya içeren atıksuların fotokimyasal

yöntemlerle arıtılmasının en önemli avantajı atık çamur oluşmaması ve kötü kokulara neden olan organiklerin önemli derecede azaltılmasıdır.

4.2.1.4 Koagülasyon-flokülasyon

Bu proseslerin amacı, kolloidlerin çöktürülerek sudan uzaklaştırılmasıdır. Atıksu arıtımında, kolloidal maddelerle askı halindeki, çok küçük taneciklerin çökmesini kolaylaştırmak için suya ilave edilen kimyasal maddelere koagülant denilmektedir. Koagülant prosesi ise koagülantların atıksuya ilave edilmesini takiben hızlı bir şekilde atıksuya karıştırılmaları ve atıksuyun bünyesindeki kolloidal ve askıda katı maddelerle birleşerek flok oluşturmaya hazır hale gelmesi işlemidir. Flokülasyon prosesi (yumaklaştırma) atıksuyun yavaş ve uygun şekilde bir süre karıştırılarak küçük tane ve pıhtıların büyümesi, birbiriyle birleşmesi, yumaklaşması ve böylece kolayca çökebilecek flokların (yumaklar) meydana gelmesi işlemidir. Bu yöntem suya kimyasal madde ilavesi ile suda bulunan askıda ve çözünmüş maddelerin oluşturduğu fiziksel etkenlerle sudan uzaklaştırılmasını amaçlar. En çok kullanılan kimyasallar arasında, demir ve alüminyum tuzları ($Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$, $FeSO_4$) ve kireç sayılabilir. Koagülasyon-flokülasyon işlemi esas olarak, sudaki koloit haldeki maddelerin kimyasal madde ilavesiyle birbirleriyle birleşebilir yapıya dönüştürülmeleri ve yumaklaşmaya başlangıç oluşturmaları işlemidir. Yumaklaştırma işlemi, pıhtılaşmış tanelerin birleştirilerek, sudan çökme ile ayrılabilir büyüklük ve yapıda yumaklar haline getirilmesidir. Yumaklaşma, taneciklerin brownian hareketi veya yavaş karıştırılması ile sağlanır.

Tünay ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada asit boya içeren bir atıksuda kimyasal çöktürme, kimyasal oksidasyon ve adsorpsiyon yöntemleri denenmiş ve yöntemler renk giderim verimlilikleri açısından incelenmiştir. Çalışmalarında, asit boyama atıksularında 1000 mg/lit alum dozunda % 55, denenilen diğer koagülantlarda ($FeCl_3$, $FeSO_4$) % 15-22 arasında renk giderimi elde etmişlerdir. “ $FeSO_4$ + Kireç”, pH=10.5’da reaktif boyar maddelerin giderilmesi için en iyi verimi elde etmişler ve kimyasal çöktürme deneylerinde makul kimyasal dozlarıyla orta dereceden yüksek dereceye kadar renk giderimi sağlandığı ve kullanılan kimyasallar içinde alumun nispeten daha etkili olduğunu tespit etmişlerdir [36].

Renk giderimi pH'a, sıcaklığa, tuz konsantrasyonuna, boyarmadde konsantrasyonuna ve boyarmadde cinsine bağlıdır. Optimum proses koşullarında, boyarmadde sınıfına bağlı olarak çöktürme/yumaklaştırma reaksiyonlarının renk giderme verimi % 80-90 civarındadır [24].

Koagülasyonla renk giderilmesindeki bazı dezavantajlar şunlardır;

- Sadece dispers haldeki boyalar için yüksek renk giderme verimi elde edilebilmesi, çözünür haldeki boyalar için ise etkili bir şekilde renk giderilememesi
- % 70 üzerinde renk giderimi için aşırı dozda koagülant kullanılması
- Aşırı koagülant kullanımından dolayı büyük miktarda çamur oluşumu
- Kimyasal madde tüketiminin yüksek olması nedeniyle işletme maliyetinin de yüksek olması
- Sülfat miktarı fazla olan atıksularda kullanıldığında sülfat miktarının artması [36].

4.2.2 Fiziksel yöntemler

4.2.2.1 Adsorpsiyon

Adsorpsiyonun temel mekanizması, ayrılacak olan maddenin çözücüden kaçma özelliğine ve katıya duyduğu ilgiye bağlıdır. Sulu sistemlerde her iki özelliğin kombinasyonu önem taşır. Bu özellikleri etkileyen tüm faktörler, bu arada çözünürlük de, adsorpsiyon için önem taşır. Bir sıvı-katı sisteminde çözücülerden katı faz yüzeyine adsorpsiyon sırasında katı ve sıvı fazdaki maddelerin konsantrasyonları arasında dinamik bir denge oluşur. Bu denge durumunda maddenin sıvı ve katı fazlardaki konsantrasyonları arasındaki orantı adsorpsiyon verimi açısından önem taşır [37]. Adsorpsiyon prosesi, boya/sorbent etkileşimi, adsorbanın yüzey alanı, tanecik büyüklüğü, sıcaklık, pH ve temas süresi gibi pek çok faktörün etkisi altındadır.

Adsorpsiyonla renk gideriminde en çok kullanılan yöntem aktif karbon (toz veya granül) yöntemidir. Aktif karbonla renk giderimi özellikle katyonik, mordant ve asit boyalar için etkiliyken, dispers, direkt, vat, pigment ve reaktif boyalar için daha az

bir renk giderimi söz konusudur. Genel olarak aktif karbon kolonlara doldurulur ve atıksu bu kolonlardan geçirilir, doğal olarak bir müddet sonra aktif karbonun yüzeyi dolacağı için verimi düşer. Bu durumda aktif karbonun rejenere edilmesi gerekir [20]. Metodun performansı kullanılan karbonun tipine ve atıksuyun karakteristiğine bağlıdır. En iyi adsorpsiyon ise $pH < 4$ 'lerde gerçekleşmektedir. Rejenerasyon ve tekrar kullanım performansta azalmaya neden olurken bu dezavantaj aşırı miktarda aktif karbon kullanılmasıyla giderilebilir. Ancak aktif karbon pahalı bir malzemedir [7].

Aktif karbonun çok pahalı olması ve bazı boyarmaddeler için düşük renk giderme verimi elde edilmesi, bu maddenin pratikte uygulanmasını sınırlamıştır. Bu nedenle de daha ucuz olarak elde edilebilen uçucu kül, bataklık kömürü, fırın cürufu, bentonit kilinin de tekstil atıksularından renk giderilmesinde kullanılması araştırılmıştır. Fakat buna rağmen adsorpsiyon kapasitesinin diğer adsorbantlara göre oldukça yüksek olması aktif karbonun yaygın biçimde kullanılmasını sağlamıştır.

Adsorban olarak yaygın kullanılabilen diğer bir malzeme ise bataklık kömürüdür. Bataklık kömürü, boya içeren atıksulardaki polar organik bileşikleri ve geçiş metalleri adsorplayabilmektedir. Adsorban olarak bataklık kömürünün kullanımı özellikle bol bulunduğu İrlanda ve İngiltere gibi ülkelerde yaygındır. Bataklık kömürü, aktif karbona göre daha ucuzdur ancak aktif karbonun toz haldeki yapısından kaynaklanan geniş yüzey alanı daha yüksek bir adsorpsiyon kapasitesini ifade etmektedir. Ağaç kırıntıları, zeolit, şeker kamışı posası, kum, odun talaşı, odun kömürü, uçucu kül+kömür karışımı, silika jeller, doğal killer, mısır koçanı, pirinç, kitin, kemik tozu gibi malzemeler de boya gideriminde adsorban olarak kullanılabilir. Bunların ucuz ve elde edilebilir oluşu boyar madde giderimindeki kullanımını ekonomik açıdan cazip kılmaktadır [30].

Fırın cürufu ve bentonit kili için en uygun adsorpsiyon $pH=1-3$ aralığındayken, bataklık kömürü ile renk giderme boya çeşidine göre asidik veya bazik şartlarda gerçekleşmektedir. Uçucu kül ile adsorpsiyonda pH , adsorpsiyon verimini pek etkilemez. Gerekli reaksiyon süresi fırın cürufu, bentonit kili ve bataklık kömürü için sırasıyla 7, 8, 6 saat iken aktif karbon ve uçucu kül için 2 saattir [5].

4.2.2.2 Membran prosesleri

Bu yöntemle boyanın sürekli olarak arıtılması, konsantre edilmesi ve en önemlisi atıksudan ayrılması mümkündür. Membran prosesleri son yıllarda oldukça geliştirilmiş ve bu sistemlerin;

- Termal ayırma sistemlerine göre daha az enerjiye ihtiyaç göstermeleri
- Proses suyunun geri devrettirilebilmesi
- Sıvıdaki değerli maddelerin geri kazanılabilmesi
- Diğer sürekli proseslere uyum sağlaması
- Geniş pH ve sıcaklık değerlerinde çalışabilmesi
- Beklenmedik kimyasal ortama ve mikrobiyal aktiviteye karşı dirençli olması

özelliklerine sahip olmalarından dolayı daha yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Yapılan çalışmalar da, membran filtrasyonu ile, çıkış suyunda düşük konsantrasyonda boyar madde içeren tekstil endüstrilerinde suyun tesise geri kazandırılmasının mümkün olduğunu göstermiştir [38].

Membran teknolojileri; ayırmadan sonra kalan konsantre atığın bertaraf problemlerine neden olması, sermaye giderlerinin yüksek olması, membranın tıkanma olasılığı ve yenilenme gerekliliği gibi dezavantajlara da sahiptir [30].

Sıvıdaki danecik çapı $<0-10 \mu\text{m}$ olması halinde; mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve ters osmoz olarak adlandırılan membran ayırma prosesleri kullanılır.

Mikrofiltrasyon; 0.1-10 mikron büyüklüğündeki askıda katı maddelerin, bakterilerin, renk oluşturan boyar maddelerin tutulmasında kullanılır. Partiküllerin ayrılması % 100'e yakın oranda ve membran üzerinde gerçekleşir. Düşük basınç (0.5-5 Bar) altında, düşük ve yüksek pH (1-13) değerleri arasında ve yüksek sıcaklıklarda düşük enerji ile çalışabilen mikrofiltreler oksidantlara karşı dayanıklıdır. Membranın dezavantajlarından biri askıda madde birikimine bağlı olarak tıkanmasıdır.

Ultrafiltrasyon; yüksek molekül ağırlığına sahip maddeleri, mikroorganizmaları ve askıda maddeleri sıvıdan ayıran bir ayırma prosesidir. Gözenek çapı 0.001-0.1 mikron arasındadır. Düşük enerji ile düşük basınçta (2-10 Bar) ve 1-13 pH aralığında

kullanılabilir. Ultrafiltrasyon ile geri kazanımda % 95'e kadar verim elde edilebilmektedir.

Ters osmoz; gözenek çapı 0.001 mikrondan küçük, fazla enerji tüketen, yüksek basınç ile maksimum 45 °C'de çalışan ters osmoz membran prosesleri ile tuz dahil tüm maddeler arıtılarak atıksuyun yaklaşık % 95'i tekrar proses suyu olarak kullanılmaktadır. Ters osmoz membranların yüksek sıcaklıkta çalışmaması ve oksidantlara karşı dayanıklılığının sınırlı oluşu bazı endüstrilerde kullanımını sınırlamaktadır [5]. Tablo 4.3'de membran proseslerinin karşılaştırılması verilmiştir [39].

Tablo 4.3 Membran proseslerinin karşılaştırılması [15]

Ultrafiltrasyon	Ters Osmoz	Mikrofiltrasyon
Düşük basınç (2-10 Bar)	Yüksek basınç (10-30 Bar)	Düşük basınç (0.5-5 Bar)
Az enerji gereksinimi	Fazla enerji tüketimi	Az enerji gereksinimi
Yüksek geri kazanım (% 95'e kadar)	Düşük geri kazanım (% 50-80)	-
pH = 1-13	pH = 2-11	PH = 1-13
Yüksek sıcaklıkta işletme 80 °C	Maksimum 45 °C'ye kadar	Yüksek sıcaklıkta işletme
Oksidantlara karşı dayanıklı	Oksidantlara karşı dayanıklılığı sınırlı	Oksidantlara karşı dayanıklı
Yağ/su emülsiyonları, deterjan, organik maddeler, renk ve moleküllerin makro moleküllerin giderilmesinde kullanılırlar.	İyonların, ağır metallerin giderimin de kullanılırlar	Yağ/su emülsiyonları, aktif çamur sistemlerinden biyokütle ayrılması, sertlik, bulanıklık ve renk gideriminde kullanılırlar

Tekstil endüstrisinde, büyük miktarda kimyasal madde ve boyarmadde kullanılır ve buna bağlı olarak değişik karakterde önemli miktarda atıksu oluşur. Kullanılan maddelerin geri kazanımı için tekstil endüstrisinde membran prosesler uygulamada iki değişik şekilde kullanılır.

1. Boyarmaddelerin geri kazanılmasında, kullanılan boya çeşidine bağlı olarak ters osmoz veya ultrafiltrasyon membranlar kullanılır. Geri kazanılan boya maddeler tekrar boyamada ve arıtılan atıksu da tekrar yıkama suyu olarak kullanılır.
2. Ultrafiltrasyon kullanılarak polivinil asetat bileşikleri geri kazanılıp, tekrar kullanılabilir [5].

4.2.2.3 İyon değişimi

Boya içeren atıksuların arıtılmasında iyon değiştiricilerin kullanılması henüz yeterince yaygın değildir. Bunun ana nedeni, iyon değiştiricilerle arıtılarak olumlu sonuç alınan boya sınıfının kısıtlı olduğu dūřüncesidir. Yöntemde, atıksu, mevcut değişim bölgeleri doygunluğa erişene kadar iyon değiştirici 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 dezavantaj ise kuşkusuz yöntemin maliyetidir. Organik özücüler oldukça pahalıdır. Ayrıca iyon değişimi metodu dispers boyalar için pek etkili değildir [30].

4.2.3 Biyolojik yöntemler

Biyolojik arıtım, endüstriyel proseslerden alıcı sistemlere transfer olan organikler için en önemli giderim prosesidir. Tekstil endüstrisi atıksuları için önerilen fiziksel ve kimyasal yöntemlerin yüksek maliyet gerektirmeleri ve her boya için kullanılamıyor olmaları, uygulanmalarının sınırlı olmasına neden olmuştur. Son zamanlarda yapılan çalışmalar birçok boya türünü atıksudan giderebilme yeteneğine sahip yaygın mikroorganizma türlerinin mevcudiyetini vurgulamış ve biyoteknolojik metotları ön plana çıkarmıştır. Yani, 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 [7].

4.2.3.1 Aerobik yöntem

Tekstil endüstrisi atıksuları, pH değişimlerine duyarlılığı yüksek olan biyolojik arıtma tesislerinde önemli zorluklara sebep olur. Endüstriyel atıksuların arıtılmasında yaygın olarak kullanılan aktif çamur sistemleri için tekstil endüstrisindeki birçok boya bileşiği ya biyolojik olarak çok zor indirgenebilmekte yada 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 [7].

Azo boyarmaddeler 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 [40]. Azo ve reaktif boyarmadde içeren bir tekstil atıksuyu renginin mikrobiyal proseslerle giderilmesinin araştırıldığı bir çalışmada aerobik kolonlardan izole edilmiş saf bakteri kültürlerinin renk giderimini gerçekleştirmediği belirlenmiştir [41]. Bir başka çalışmada ise atıksudaki azo boyarmaddeler ile reaktif boyaların ortalama % 10'unun aerobik biyokütleyle adsorbe olduğunu, geri kalanının ise aktif çamur tesisinden herhangi bir değişime uğramadan geçtiğini belirtmişlerdir ve azo boyar madde içeren tekstil atıksularının renginin giderilmesinde aerobik arıtmanın yetersizliği vurgulanmıştır [42].

Ancak bazı boyar maddelerin aerobik olarak parçalanabileceği doğrultusunda çalışmalar da mevcuttur [43]. Odunsu bitkilerde bulunan, yapısal polimer lignini parçalayabilen ve ksenobiyotik maddelerin parçalanması amaçlı çalışmalarda en yaygın olarak kullanılan beyaz çürükçül küf *Phanerochaete chrysosporium*'un, lignin peroksidaz, manganzeze bağlı peroksidaz gibi enzimleri kullanarak boyarmaddeleri parçalayabildiği bilinmektedir [30, 44]. Ancak beyaz küflerin, ligninolitik enzimlerin düşük pH değerlerinde (pH = 4.5-5) aktif olması ve atıksularda bulunma ihtimali düşük olan tiamin ile veratril alkol maddelerine ihtiyaç duyması gibi dezavantajları vardır [45].

4.2.3.2 Anaerobik yöntem

Boyarmaddelerle yapılan anaerobik parçalanma çalışmaları, özellikle aerobik ortamda parçalanamayan suda çözünebilir reaktif azo boyarmaddeler üzerinde

yoğunlaşmıştır. Çift bağlı azot halkasına bağlı bu boyaların aerobik proseslerle arıtılabilirliğinin mümkün olmaması anaerobik arıtmanın ön arıtma olarak kullanılmasını gerektirmektedir. Anaerobik olarak renk gideriminin gerçekleşebilmesi için ilave karbon kaynağına ihtiyaç vardır. İlave karbon metan ve karbondioksite dönüştürülmekte ve elektronlar açığa çıkmaktadır. Bu elektronlar, elektron taşıma zincirinden son elektron alıcısına yani azo-reaktif boyaya taşınmakta ve boyayla reaksiyona girerek azo bağına indirgemektedir. Böylece anaerobik parçalanma sonucunda azo boyar maddelerdeki renkten sorumlu azo bağı kırılmakta ve renk giderimi sağlanmaktadır [7].

Azo bağına kırılmasıyla, anaerobik olarak parçalanamayan aromatik aminler de oluşabilmektedir. Boyarmaddeler normalde kanserojenik değilken, anaerobik parçalanma sonucu oluşan aminler bu özellikleri gösterebilmektedir. Bu nedenle anaerobik sistemler, aerobik arıtmadan önce yer alan bir ön arıtım yöntemi olarak önerilmektedir. Çünkü aromatik aminler, aerobik ortamda mineralize olabilmektedir. 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 [46].

4.2.3.3 Biyosorpsiyon

Kimyasal maddelerin mikrobiyal kütle tarafından adsorpsiyonu veya kütlede birikimi biyosorpsiyon olarak ifade edilmektedir. Ölü bakteriler, maya ve mantarlar, boyarmadde içeren atıksuların renginin giderilmesinde kullanılabilirlerdir. 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. Boyarmadde içeren atıksu çok toksik olduğunda biyosorpsiyon avantajlı olmaktadır [30].

Biyosorpsiyon da;

- Ölü biyokütlelerin canlı biyokütlelere göre 3-4 kat daha fazla adsorplama kapasitesine sahip olduğu
- Adsorpsiyon yüzeyinin genişlemesiyle ölü biyokütlelerin biyosorpsiyon kapasitesini arttırdığı
- En yüksek adsorplama kapasitesi sırasıyla ölü *Aeromanos sp.*, *Pluteola* ve *E. Coli* biyokütlelerinde görülürken, aktif çamur ve bazı bakteri türlerinde biyosorpsiyon kapasitesinin çok az olduğu
- Biyosorpsiyonun asidik şartlarda olduğu
- Farklı boya bileşiklerinde bakteriyel biyokütlelerin sabit adsorpsiyon özelliği gösterdiği

yapılan laboratuvar çalışmaları sonucundan elde edilmiştir [5].

4.2.3.4 İleri aktif çamur yöntemi

Son zamanlarda yapılan çalışmalar birçok boya türünü atıksudan giderebilme yeteneğine sahip yaygın mikroorganizma türlerinin mevcudiyetini vurgulamış ve biyoteknolojik metotları ön plana çıkarmıştır. Özellikle bazidli mantarların bir grubu olan beyaz çürükçül mantarlara olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Lignin degradasyon kabiliyeti olan bu mantarlar tarafından sentezlenen enzimler atıksulardaki boyarmaddeleri giderebilmektedir.

İleri ve arkadaşları [49] yaptıkları bir çalışmada; tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasında kullanılan klasik aktif çamur prosesine, biyoteknolojik yöntemlere dayanarak, dört farklı tip beyaz çürükçül mantar hücresi ekleyerek renk giderme verimlerine bakmışlardır. Mantar hücreleri, tek tek ve hepsi birlikte aktif çamura eklenmiş ve renk giderimi veriminin benzer olarak sırası ile % 37 - % 87 (12 saat – 10 gün bekleme süresi) ve % 36 - % 88 (12 saat – 10 gün bekleme süresi) arttığı gözlemlenmiştir.

BÖLÜM 5. SEÇİLEN TEKSTİL ENDÜSTRİSİNİN TANITILMASI

5.1 Tesisin Tanımı

Aydın Örne San. ve Tic. A.Ş. 1989 yılında İstanbul-Sarıgazi'de kurulmuş ve asıl üretim konusu, perdelik tül ve elastik danteldir. Firma bugün entegre olma yolunda neredeyse tüm üretim zincirlerini tamamlamıştır. İplik (tekstüre, büküm, fantezi), desen tasarım, dokuma, örme (çözgülü, triko), boyahane ve konfeksiyon aşamalarının hepsi tamamlanmış ve hızla büyümektedir.

Ev tekstili alanında faaliyet gösteren Aydın Örne San. ve Tic. A.Ş., boyahane ve konfeksiyon ihtiyacını karşılamak amacı ile 1996 yılında Akyazı ilçesinde Aydın Örne San. ve Tic. A.Ş.-Akyazı Şubesini kurmuştur.

Aydın Örne, İstanbul-Sarıgazi tesislerinde yılda 3000 ton dokuma ipliği, 25.000.000 m² jakarlı perde, 3.500.000 m dokuma vual perde, 11.000.000 m 15 cm'lik elastik dantel bant ve 2.000.000 m elastik jarse üretmektedir. Bu üretimin % 60'ı, dünya çapındaki mümessilleri aracılığıyla Rusya başta olmak üzere Avrupa ve Amerika'ya ihraç edilmekte, % 40'ı da iç piyasada değerlendirilmektedir.

Akyazı şubesinde aylık 450 ton olan boyama kapasitesi, yeni yapılan yatırımlarla 600 ton'a çıkarılmıştır. Ürün çeşitliliğini artırmak için, baskılı tül perde ve baskılı fantezi kumaşlar işlenmek üzere rotasyon baskı yatırımı yapan şirket, aylık 6.000.000 m kumaş işlemeyi planlamaktadır.

Aydın Örne'nin ihracatında önemli bir role sahip olan konfeksiyon bölümünde aylık 250.000 adet hazır pano perde dikilmekte ve 500.000 m'ye yakın tül perdenin etek kesimi yapılmaktadır [48].

Aydın Örme San. ve Tic. A.Ş.-Akyazı şubesi şu ana birimlerden oluşur:

ÜRETİM BÖLÜMLERİ

1. Boyahane İşletme

- a- Laboratuvar
- b- Ar-Ge
- c- Boya ve Terbiye
- d- Apre
- e- Kırışık-Kalender

2. Konfeksiyon İşletme

- a- Metre Malı
- b- Hücreler

3. Baskı İşletme

- a- Desen Dairesi
- b- Şablon Dairesi
- c- Varyant Dairesi
- d- Boya Mutfağı
- e- Baskı makinası

YARDIMCI BÖLÜMLER

- 1. Kalite Kontrol ve Katlama
- 2. Mefruşat Ürün Müdürlüğü
- 3. Elastik Ürün Müdürlüğü
- 4. İnsan Kaynakları
- 5. Makine-Enerji
- 6. Kalite Güvence
- 7. Satınalma

5.2 Proses İşlem Tipi

- 1. Ön yıkama + Boyama (Rahm'da) → Gipür, Saten
- 2. Boyama (Rahm'da) → Tülle

3. Ön yıkama + Ön fiske + Boyama (Boyahane) + Kurutma → Fikseli saten, Tergal
4. Ön fiske + Boyama (Boyahane) + Kurutma → Fikseli saten, Tergal
5. Boyama + Kurutma → Saten, Tergal
6. Yıkama + Kurutma + Son fiske (Kurutma) → Tüm mallar

5.3 Proses İşlemlerinden Kaynaklanan Atıklar

- a) Ön yıkama : Yağlı su
- b) Boyama : İhmal edilebilir baca gazı (yağ + boya), az miktarda boyalı su
- c) Ön fiske : İhmal edilebilir baca gazı (yağ)
- d) Boyama (Boyahane) : Sulu boya, yağlı su
- e) Kurutma : İhmal edilebilir baca gazı
- f) Bütün proses işlemlerinden sonra tekstil kırıntısı oluşmaktadır.

5.4 Atıksu Miktarı ve Özellikleri

Fabrikada günde yaklaşık olarak 1800-2000 m³/gün su kullanılmakta ve bu suyun 700 m³ soğutma suyu olarak kullanılmaktadır. Soğutma suyunun yarıdan fazlası (400 m³) geri dönüş yaptığında arıtma tesisine günlük olarak yaklaşık 1400 m³ (940-2000 m³/gün) atıksu gelmektedir. Fabrika ünitelerinden kaynaklanan bütün atıksular (evsel ve endüstriyel) altyapı sistemi ile birlikte arıtma tesisine gelmektedir.

Endüstriyel ve karışan evsel atıksu debisi değişimi sırası ile 900-1900 m³/gün ve 40-100 m³/gün'dür. Atıksu arıtma tesisi dizaynında esas alınan ham tekstil endüstrisi karakteristiği;

BOİ₅ : 300-3000 mg/l

KOİ : 500-5000 mg/l

AKM : 10-50 mg/l

Sülfür : 2 mg/l

pH : 4-12

Sıcaklık : 40 °C

Optimum Çamur Yaşının Hesabı;

$$P_x = Y \cdot (S_o - S_e) \cdot Q - b \cdot X \cdot V$$

$$P_x = 0,6 \cdot (350 - 40) \cdot 60 - 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 4600 \cdot 955$$

$$P_x = 177,5 \text{ kg/saat}$$

$$Q_w = P_x / KMM$$

$$Q_w = 177,5 / 0,03 = 5,9 \text{ m}^3/\text{saat}$$

$$X_r(\text{g/l}) = 1000 / \text{SVI} = 1000 / 150 \text{ ml/g} = 6,67 \text{ kg/m}^3 = 6700 \text{ mg/l}$$

$$\theta_T = V_B \cdot X_v / (Q X_v)_w$$

X_v = Reaktör içindeki ortalama çamur konsantrasyonu

$(Q X_v)_w$ = Günlük olarak çıkarılan çamur miktarı

$$\theta_T = 955 \cdot 4600 / 5,9 \cdot 6700 = 111 \text{ saat} = 4,6 \text{ gün} \text{ (İdeal çamur yaşı 3-5 gün arasında olduğundan uygundur)}$$

θ_{Tmin} hesabı;

$$1 / \theta_{Tmin} = Y \cdot k \cdot S_o / (K_s + 350) - b$$

$$1 / \theta_{Tmin} = 0,6 \cdot 0,21 \cdot 350 / (50 + 350) - 2,5 \cdot 10^{-3} = 0,10775$$

$$\theta_{Tmin} = 1 / 0,10775 \Rightarrow \theta_{Tmin} = 9,28 \text{ saat} = 0,4 \text{ gün}$$

Tablo 5.1 Atıksuyun Kirlilik Parametreleri [15]

Atıksu Kaynağı	KOİ (mg/l)	BOİ (mg/l)
Boyahane	615	346
Rahm	393	221
Baskı	473	266

Toplam Ürün : 5800 ton/yıl = 16 ton/gün

Tablo 5.2 Proses Profili [15]

Proses	Su Kullanımı		Atıksu Oluşumu	
	m ³ /gün	m ³ /ton ürün	m ³ /gün	m ³ /ton ürün
Boyahane	600	37.5	1000	62.5
Rahm	250	15.62	250	15.62
Baskı	125	7.8	150	9.37
Toplam	1000	-	1400	-

5.5 Kullanılan Boyarmaddeler

Aydın Örme San. ve Tic. A.Ş.'de kullanılan boyaların listesi Ek'te verilmiştir.



BÖLÜM 6. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARININ ARDIŞIK KESİKLİ BİYOREAKTÖR İLE ARITILMASI

6.1 Ardışık Kesikli Biyoreaktör Teknolojisi

1920'lerde vazgeçilmez değişken hacimli askıda büyüme aktif çamur sistemleri, 1970'lerde Amerika ve Avustralya'da tekrar canlandı ve kullanıldı. Irvine, kendi değişken hacim sistemine 1967'de AKR dediği bir periyodik çıkış suyu ve bir periyodik deşarj içeren bir sistem üzerinde odaklandı. 1980-1982 yılları arasında Hindistan'daki bir çalışma, reaksiyon fazı olan (havalandırma ve/veya karıştırmalı bir periyot fakat atıksu girişi yok) periyodik bir deşarj ve periyodik bir girişi birleştiren bir SBR'nin potansiyelini gösterdi. 1980'lerin ortalarına kadar periyodik proses teknolojisi aktif çamur sistemlerine oldukça nadir uygulandı. O zaman sadece askıda olmayan büyümeyle periyodik olarak işletilmiş sistemlere biraz dikkat verildi. Bir sabit yataklı ardışık kesikli biyofilm reaktör ile kirli yer altı suyunun biyolojik arıtılması üzerine raporlar yayınlandı. Diğer adım periyodik olarak işletilmiş katı bulamaç ardışık kesikli reaktör de kirlenmiş katıların biyolojik arıtımıydı. 1990'ların ortalarında endüstriyel atıksuların arıtımı için periyodik olarak işletilmiş anaerobik reaktörler ve kirlenmiş katıların arıtılması için katı faz reaktörleri kullanıldı. Son olarak kontrol edilmiş yatışkan olmayan durum işletimi periyodik olarak işletilmiş bir biyofiltrede kirlenmiş gazların arıtımı yapıldı.

Görüldüğü gibi AKR uygulamaları için önemli bir potansiyel vardır. Yeni AKR sistemlerinin bazıları kirlenmiş gazları, katıların, katı atığı ve diğerlerini arıtmayı amaçlar fakat çoğunlukla atıksu arıtımında kullanılır.

6.1.1 Proses tanımlama

Ardışık Kesikli Biyoreaktör (AKR) prosesi; her biri belirli bir periyot boyunca süren proses fazları serisiyle (doldurma, reaksiyon, çökeltme, boşaltma ve bekleme) tanımlanır.

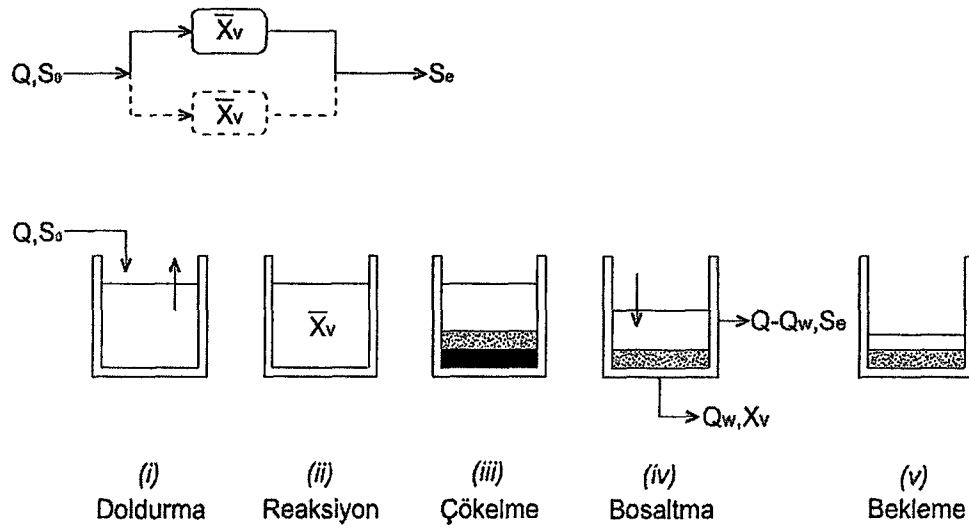
Doldurma fazı; reaktör muhtevası sürekli olarak gelen atıksu ile karışır. Bu faz sırasında mikroorganizmaların büyüyerek bloklar haline gelmesini temin ederek çamurun çökelebilmelerini hızlandırmak ve geliştirmek için havalandırma ve karıştırma uygulanmaz [50].

Reaksiyon fazı; doldurma fazının sonunda karıştırma ve havalandırma başlar. Nitrifikasyonun tamamlanması veya organik karbonun stabilizasyonu gibi arzu edilen reaksiyonları tamamlamak için deneyimlerden elde edilmiş yeterli bir periyot süresince reaksiyon sona erer. Çözünmüş oksijen konsantrasyonu veya indirgenme-yükseltgenme potansiyeli istenilen seviyeye ulaştığı zaman reaksiyon durdurulur.

Çökeltme fazı; reaksiyon için gerekli havalandırma ve karıştırma durdurulur ve çökeltmenin başlamasına izin verilir. İdeal bir sakın çökeltme herhangi bir akıntı veya düzensizliğe maruz kalmamalıdır. Genellikle değişik mevsimler arasında çökeltme hızı çok az değişir, bu nedenle gerekli olan zamanın ayarlanması ile sabit bir periyot uygulanır.

Boşaltma fazı; çökeltme sona erdiği anda boşaltma başlar. Eğer bir çamur seviye göstergesi kullanılıyorsa ve çamur kalınlığı istenilen seviyeye ulaştığında, boşaltma daha önce başlatılabilir.

Bekleme fazı; azami dizayn akım hızında bekleme mümkün olduğu kadar kısadır, yaklaşık birkaç dakika. Alternatif olarak, statik doldurma ve boşaltma fazı tayin edilmiş periyot için üst üste bindirilebilir. AKR işletiminin fazları Şekil 6.1'de [53] gösterilmiştir.



Şekil 6.1 Genel AKR prosesinin birbirini takip eden işletim fazları [53]

Üstteki tanımlamalara ek olarak, doldurma ve reaksiyon fazları çeşitli havalandırma ve karıştırma işletim stratejilerinin sonucu olarak sisteme enerji girişiyle oluşmuş birkaç alt faza sahip olabilir. Bunlar;

- Statik doldurma; sisteme enerji girişi yoktur, besi maddesi birikmesine izin verir.
- Karışık doldurma; basınçlı havalandırma yapılmadan karıştırma, minimal aerobik aktivite ya anoksik yada anaerobik reaksiyonlara müsaade eder.
- Havalandırmalı doldurma; basınçlı havalandırma yapılarak karıştırma, aerobik reaksiyonlara izin verir, sık sık eş zamanlı anoksik ve aerobik reaksiyonlara müsaade eder.
- Karıştırmalı reaksiyon; basınçlı havalandırmasız karıştırma minimal aerobik aktivite anoksik ve belki anaerobik reaksiyonlara izin verir.
- Havalandırmalı reaksiyon; basınçlı havalandırmalı karıştırma aerobik reaksiyona izin verir.

AKR tesislerinin genel özellikleri şunlardır;

- Bu tesisler, ardışık olarak işletilmiş, bir tankta veya daha fazla tankta katı-sıvı ayrımını ve atıksu kirleticilerinin biyolojik arıtımını sağlar.
- Doldurma fazı esnasında tanklardaki sıvı hacmi artar, boşaltma fazı esnasında tanklardaki sıvı hacmi azalır.
- Her devrim esnasında ardışık olarak havalandırma-karıştırma veya onların kapatılması ile metabolik aktiviteyi sağlar.
- Aynı tankta katı-sıvı ayrımına yada besi maddesi birikmesine izin veren karıştırmaz/havalandırmaz işlemleri kullanırlar.
- Fazların ardışığını kontrol etmek için sensörler kullanılabilir.
- Periyodik olarak adım adım tekrarlanan birbirini takip eden ünite işletmeleri ve prosesleri kullanılır.
- Şok yük periyodunda yüksek performans sağlarlar.
- Deşarj edilmeden önce analiz etmek için arıtılmış atıksuyu tutabilirler.
- Yükteki çeşitlikleri karşılamak için işletmeye yerleştirilmiş tank sayısı, her bir tankın hacmi ve enerji girişi ayarlanabilir.

Sürekli akım aktif çamur sistemlerinden AKR'yi ayıran özellikler;

1. Giriş ve çıkış akımları ayrılır.
2. Biyokütle ayrımı biyolojik reaktörde yapılır ve ayrı çöktürücü yoktur.
3. Periyodik olarak tekrarlanan bir zaman ardışığında birbirini takip eden her bir reaktörde oluşan birim işletimler ve prosesler söz konusudur.
4. Arıtılmış suyun bir bölümü yeni atıksu devri için periyodik olarak her tanktan deşarj edilir.

Bu özelliklerinden dolayı AKR'ler; periyodik prosesler, tek-tank sistemleri, doldur-boşalt reaktörleri veya değişken hacimli reaktörler olarak da adlandırılabilirler.

6.1.2 AKR teknolojilerinin kullanılma sebepleri

Uygun işletme stratejileri tatbik edildiği zaman, başarılı bir biyolojik atıksu arıtımı için gerekli prosesler AKR içine kolaylıkla uygulanabilir. Geleneksel sürekli akım teknolojilerinin üzerine AKR teknolojilerinin kullanımı için önemli sebepler şunlardır;

- Doldurma esnasında uygun S_0/X_0 (besinmaddesi/mikroorganizma miktarı) oranının kurulmasıyla seçilmiş basınçla bağlantılı bolluk-kıtlık arasındaki filamentli çamur patlamasını ve fazla hava şiddetini kontrol eder ve EPS (extracelülüler polimerik maddeler) reaksiyon esnasında endojen metabolik reaksiyonlara izin verir.
- Basit bir havalandırma şiddeti ayarlamasıyla bir devir zamanı içinde nitrifikasyon ve denitrifikasyon gerçekleşir.
- Atıksu bileşimindeki hem kısa süreli günlük hem de uzun zamanlı mevsimsel çeşitliliği karşılamak için sistem yapısı ve işletme tarzı ayarlanabilir.
- Eğer müsaade edilirse yük dengeleme yapılarını çıkarır ve her bir AKR tankını bir dengeleme tankı olarak kullanır.
- Doldurma ve reaksiyon fazları esnasında eksik araçların eklenmesiyle fosfor giderimi yapar.
- Denitrifikasyon yada ileri biyolojik fosfor giderimi esnasında nütrient giderimi için enerji temelli karbon kullanarak çamur üretimini ve kümülatif oksijen ihtiyacını azaltır.
- Volümetrik değişim oranının (VER), havalandırma zamanının, çeşitli proses fazlarının süresinin gerçek ihtiyaca göre ayarlanmasıyla organik ve/veya hidrolik yükteki değişiklikler nedeniyle ortaya çıkmış şok yüklere müsaade eder.
- Çökme fazındaki türbülansı ve küçük girdapları azaltmakla çıkış suyundaki askıdaki katı madde miktarını düşük tutar.
- Reaktörden gelen atık çamurun su içeriğini azaltmak için çökme fazı esnasında çamur yoğunlaştırmayı sağlar.

6.1.3 Çeşitli AKR uygulamaları

Periyodik olarak işletilmiş sistemler için eğilim, onları AKR olarak isimlendirerek tek bir kategoriye toplamaktır. Bütün değişken hacim aktif çamur prosesleri, kesikli reaktör proseslerinin temel prensiplerini gerektirir. Her biri kullandıkları belirli doldurma stratejileri veya reaksiyon ve dinlenme fazının bulunmasıyla karakterize edilmiş AKR'ler dört temel gruba ayrılır.

a) Bir periyodik giriş, bir reaksiyon fazı ve bir dinlenme fazı içeren sistemler. İki veya daha fazla tank kullanılır. Tank maksimum su seviyesine ulaşana kadar doldurulur. Her tank için doldurma zamanı oranı (FTR) 1'den azdır. Doldurma periyodunun süresi $t_f = tc/n$ ile ifade edilir. Bu sistemde selektöre denk olan bir statik doldurmanın kurulmasıyla bolluk şartları sağlanabilir ve açlığı sağlamak için besinsiz uzun havalandırılmalı reaksiyon fazına sahip olunmasıyla kıtlık şartları başarılabilir. Havalandırılmalı ve karıştırmalı doldurma biyolojik nütrient giderimini sağlamak için kullanılır. Tanka atıksu ekmeden çökeltme ve boşaltma meydana gelir. Bekletme bir tutma veya dengeleme tankına denktir. Sistemin çeşitli akım durumlarıyla baş etmesini sağlar.

b) Bir periyodik giriş ve reaksiyon fazı içeren sistemler, bekletme fazı yok. Atıksu bekletme tanklarına dağılmadan önce bir tutma tankına girer. İki veya daha fazla tank kullanılır. Hızlı doldurma veya ilaveli doldurmayı içeren çeşitli doldurma stratejilerinden biriyle tanklar sistemin işletilmesine izin verirler. Bu sebepten dinlenme fazı çeşitli akım şartlarında sistemi kontrol etmek için gerekli değildir. Benzer şekilde hızlı doldurma, statik doldurma veya selektöre sahip olmaya denktir. Her iki harekette, bolluk şartlarını sağlayan yüksek besi maddesi konsantrasyonuna neden olur. Statik doldurma fazı gereken şekilde tamamlanır.

c) Kesintili girişli sistemler, selektör var, reaksiyon ve dinlenme fazı yok. Bu sistemde doldurma ya boşaltma esnasında yada çökme ve boşaltma fazları esnasında kesiklidir. Bu sistemlerin hepsi ana reaktörden selektöre karışık sıvıyı geri döndüren bir geri dolaşım hattına sahiptir. Devirli Aktif Çamur Sistemleri çökeltme esnasında akışı tamponlamak için bir depoya sahiptir. Doldurma esnasında

havalandırma sistemi kapalı olabilir veya doldurma fazının sonu için açık olabilir. Havalandırma sisteminin açık veya kapalı tutulması gereken zamanlar arasındaki oran atık yük ve azot giderim ihtiyacına bağlıdır.

d) Sürekli Akımlı Sistemler

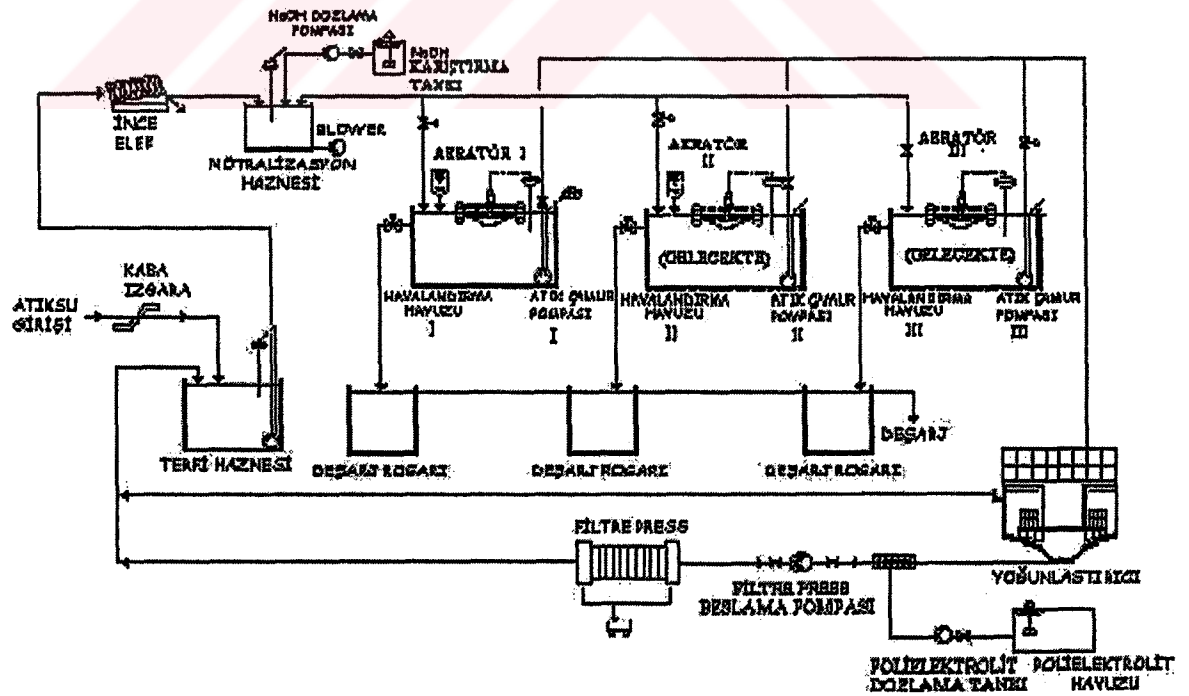
Bu AKR'ler, tek tank veya paralel olarak işletilmiş seri tanklar olarak işletilebilir. İlk olarak bir tanktaki su seviyesi belirlenmiş maksimum seviyeye ulaştığı zaman, havalandırıcılar ve karıştırıcılar kapatılır, aktif çamurun çökmesine izin verilir ve süpernatant reaktörden süzülür. Boşaltma esnasında artılmış suyun giren atıksu ile kirlenmesini önlemek için reaktör bir bölge ile ayrılmış iki kısma bölünür. Tankların biri karşı kirlenmeyi sınırlar ve bir selektör gibi çalışır. Kesikli Devirli Havalandırma Sistemi gibi AKR'ler normal olarak tam havalandırılmalı doldurma ile çalışırlar [51].

6.2 Seçilen Tekstil Endüstrisi Atıksu Arıtma Tesisi

Fabrikanın atıksuları ardışık kesikli reaktörlü bir atıksu arıtma tesisi ile arıtılmaktadır. Boyama ile yıkama kazanlarından gelen endüstriyel atıksular ile lavabo, yemekhaneden gelen evsel atıksular önce kaba ızgaradan geçirilerek terfi haznesine alınır. Terfi haznesindeki pompa ile tesise terfi ettirilir. Bu aşamada, ince elek kullanılması halinde, atıksu içerisindeki iplik ve elyaf tutulur. Atıksu, biyolojik arıtmadan önce düşük pH içermesi nedeni ile pH'ın nötr hale getirilmesi için nötralizasyon tankına alınır. Bu tankta, pH metrenin gerekli kimyasal (asit veya kostik) dozlaması ile pH nötr değerde tutulur. Atıksudaki kirlilik kaynağı çözülmüş karbonun biyolojik olarak arıtılması için atıksu havalandırma havuzuna alınır. Havalandırma havuzları ardışık kesikli reaktör olarak dizayn edilmiştir. 3 adet paralel olarak yapılmış Ardışık Kesikli Reaktör mevcuttur. İhtiyaca göre biri veya diğerleri de çalıştırılabilmektedir. Her bir Ardışık Kesikli Reaktör'ün toplam ve aktif hacmi sırası ile, 1000 m³ ve 160 m³'tür. Atıksu bir havuza doldurulurken diğer havuzda, aeratörler durdurularak havuz içerisindeki bakteriler çöktürülür. Sistemde üreyen fazla çamur, atık çamur pompası ile yoğunlaştırıcıya gönderilir. Yoğunlaştırıcıdan hacmi azalan atık çamur susuzlaştırılması amacıyla çamur pompası ile filtre prese alınır. Havalandırma havuzlarından atılması gereken fazla çamur miktarı yaklaşık 115'er kg/gün civarındadır. Filtre pres iki haftada bir çalıştırılır. Bu ünite

sıkıştırılarak su içeriği düşürülen çamur katı atık olarak uzaklaştırılabilecek hale getirilir. Çamurun kolay sıkıştırılabilmesi için gerekli olan polielektrolit, bir dozaj pompası aracılığı ile çamura dozlanır. Filtre presten çıkan süzöntü suları ise tekrar arıtmak üzere arıtma tesisi girişine verilir. Reaktörlerin çalışma süreleri; 1.5 saat reaksiyon, 1.5 saat çökelme ve 1 saat boşaltma olmak üzere toplam 4 saattir. Tesiste günde 6 seans yapılmaktadır [48].

Arıtma sisteminde çözülmüş oksijen konsantrasyonu 1-3 mg/l arasında, çamur hacim indeksi (SVI) 100-150 ml/g arasında, hücre konsantrasyonu (AKM) 3000-6000 mg/l arasında, pH'da 6.2-8 arasında tutulur. Ardışık kesikli biyoreaktörde deneylerin yapıldığı zama, giriş suyu BO_5 konsantrasyonu 350-2700 mg BO_5/l olduğu, 1.5 saatlik reaksiyon süresi ve 1.5 saatlik çökelme süresi sonucundaki çıkış suyu BO_5 konsantrasyonu 43-59 mg BO_5/l olduğu tespit edilmiştir. 2 saatlik ve 24 saatlik kompozit numuneler için standart BO_5 değerleri (SKKY Tablo 10.7) sırası ile; 100 ve 80 mg BO_5/l 'dir [48]. Aydın Örne tekstil endüstrisine ait atıksu arıtma tesisi akım şeması aşağıda verilmiştir.



Şekil 6.2 Aydın Örne tekstil endüstrisine ait atıksu arıtma tesisi akım şeması

6.3 Substrat (Besi Maddesi) Giderme Kinetiği

6.3.1 Teorik yaklaşım

Doldurma fazı sonunda kalan substrat konsantrasyonu, hacmin ve doldurma süresince uzaklaştırılan substratın kinetik ifadesinin değişken bir fonksiyonudur [53]. Bu fonksiyonu formüle etmek için doldurma sürecindeki kütle değişiminin eşitliği yazılırsa [50];

Giren - Çıkan + Üretilen = Biriken

$$Q S_0 - 0 + r_{sf} V = \frac{d}{dt}(V S) \quad (6.1)$$

Burada; r_{sf} , doldurma süresi içerisinde alınan substratın oranını ifade eder.

$$r_{sf} = -kS \quad (6.2)$$

(6.2) eşitliğini (6.1)'de yerine koyarak,

$$Q S_0 - kSV = S \frac{dV}{dt} + V \frac{dS}{dt} \quad (6.3)$$

$dV/dt = Q$ eşitliği kullanılarak, eşitliğin her iki tarafı V ile bölünürse;

$$\frac{dS}{dt} + \frac{Q}{V}S + kS = \frac{Q}{V}S_0 \quad (6.4)$$

$Q/V = 1/t$. Doldurma süreci başında reaktör içindeki hacim V_a ve $t = V_a / Q$;

doldurma süreci sonunda $t = V_b / Q$. Yukarıdaki diferansiyel denklem çözülürse;

$$\frac{dS}{dt} + \frac{S}{t} + kS = \frac{S_0}{t} \quad (6.5)$$

olur. Denklem çözüldüğü zaman;

$$S = e^{-\int \left(\frac{1}{t} + k\right) dt} \int \frac{S_0}{t} e^{-\int \left(\frac{1}{t} + k\right) dt} dt + C e^{-\int \left(\frac{1}{t} + k\right) dt} \quad (6.6)$$

elde edilir. Burada, C integral sabitidir.

$$S = \frac{S_0}{t} e^{-kt} \int e^{kt} dt + \frac{C}{t} e^{-kt} \quad (6.7)$$

integrali alınarak;

$$S = \frac{S_0}{kt} + \frac{C}{t} e^{-kt} \quad (6.8)$$

Başlangıç şartını kullanarak $t = V_a / Q$ ve $S = S_e$.

$$S_e = \frac{S_0 Q}{k V_a} + \frac{C Q}{V_a} e^{-k \left(\frac{V_a}{Q}\right)} \quad (6.9)$$

$$C = \left(\frac{V_a}{Q} S_e - \frac{S_0}{k} \right) e^{-k \left(\frac{V_a}{Q}\right)} \quad (6.10)$$

Burada C değeri denklemde yerine konulursa,

$$S = \frac{S_0}{kt} + \left(\frac{V_a}{Q} S_e - \frac{S_0}{k} \right) \frac{1}{t} e^{-k \left(\frac{V_a}{Q} - t\right)} \quad (6.11)$$

$t_f = \frac{V_b}{Q}$ ve $S = S_f$ eşitlikleri kullanılarak doldurma süreci sonundaki substrat

konsantrasyonu bulunur;

$$S_f = \frac{S_0 Q}{k V_b} + \left(\frac{V_a}{Q} S_e - \frac{S_0}{k} \right) \frac{Q}{V_b} e^{k \left(\frac{V_a}{Q} - \frac{V_b}{Q} \right)} \text{ veya}$$

$$S_f = \frac{S_0 Q}{k V_b} + \left(\frac{V_a}{V_b} S_e - \frac{Q S_0}{V_b k} \right) e^{k \left(\frac{-V_{ab}}{Q} \right)} \quad (6.12)$$

Reaksiyon süresi (t_r) boyunca alınan substratın hesap edilmesi, direkt olarak integralinin alınması ile olur, (6.2) eşitliğinden,

$$\frac{dS}{dt} = -kS \quad (6.13)$$

$$\int_{S_f}^{S_e} \frac{dS}{S} = -k \int_0^{t_r} dt \text{ veya}$$

$$S_e = S_f e^{-kt_r} \quad (6.14)$$

Burada,

S_f , doldurma sürecinin sonundaki substrat konsantrasyonu.

S_e , reaksiyon sürecinin sonundaki substrat konsantrasyonu.

Bir komple devir sırasıyla; doldurma, reaksiyon, çökeltme, boşaltma, bekleme safhalarından oluşur [58].

$$t_c = t_f + t_r + t_s + t_d + t_i \quad (6.15)$$

Burada, c, f, r, s, d ve i harfleri sırayla devir, doldurma, reaksiyon, çökeltme, boşaltma ve bekleme safhalarını ifade eder.

AKR sistemi içerisinde her bir reaktörün doldurma zamanı (t_f) reaktörün mevcut hacmine bağlıdır. Mevcut hacim ifadesi ile, reaktörün toplam hacminden; bir önceki

devirden sonra reaktör içine çökelen çamurun işgal ettiği hacmin çıkarılması ile elde edilen hacim olduğu anlaşılmalıdır. Denklem olarak ifade edilirse [53];

$$V_{ab} = \alpha V_b \quad (6.16)$$

$$t_f = \frac{V_{ab}}{Q} = \frac{\alpha V_b}{Q} \quad (6.17)$$

Burada,

Q , doldurma sürecindeki akış debisi.

α , doldurma periyodu başlamadan önce kesikli reaktörün aktif hacminin, boşken (toplam) reaktör hacmine oranı.

V_b , kesikli reaktörün boşken (toplam) hacmi.

V_{ab} , kesikli reaktörün doldurma süreci başlamadan önceki aktif hacmi.

6.3.2 Substrat konsantrasyonlarının hesabı

Girişte $BOI_5 = 350 \text{ mg/l}$

Çıkışta $BOI_5 = 40 \text{ mg/l}$

AKM = 4600 mg/l, KMM = 0,03 kg/l, SVI = 150 ml/gr

$\theta_H = 4$ saat (hidrolik bekleme zamanı)

Büyüme sabitleri; $Y = 0,6 \text{ mgAKM/mg}$, $K_s = 50 \text{ mg/l}$, $k = 5 \text{ gün}^{-1} = 0,21 \text{ saat}^{-1}$,

$b = k_d = 0,06 \text{ gün}^{-1}$

Sıvı içerisinde muhafaza edilmesi gerekli minimum oksijen konsantrasyonu 1 mg/l

Tesise gelen toplam atık su miktarı $Q_t = 1400 \text{ m}^3/\text{gün} = 60 \text{ m}^3/\text{saat}$

Havalandırma havuzlarının toplam hacmi $V_t = 2858 \text{ m}^3$, derinliği $h = 3,5 \text{ m}$, havuzlar kare planlı ve 3 adettir.

$V_B = 955 \text{ m}^3$ (kesikli reaktörün boşken hacmi)

$V_{BA} = 160 \text{ m}^3$ (doldurma süreci başlamadan önceki mevcut hacim)

Havuzlara aynı karakterde atıksu geldiğinden ve üç'üne de uygulanan işlem aynı olduğundan, biri için yapılan hesaplar diğerleri için de geçerlidir. Bütün hesaplar tek havuz için yapılacaktır.

Reaksiyon süresi sonundaki substrat konsantrasyonu;

$$S_e = 40 \text{ mg/l'dir.}$$

$$k = 5 \text{ gün}^{-1} = 0,21 \text{ saat}^{-1} \text{ olarak verilmiştir.}$$

Sisteme giren atıksu debisi $Q=60 \text{ m}^3/\text{saat}$ 'dir.

Veriler (6.12) nolu denklemde uygulandığı zaman;

$$S_f = \frac{350 \text{ mg/l} * 60 \text{ m}^3 / \text{saat}}{0,21 \text{ saat}^{-1} * 955 \text{ m}^3} + \left(\frac{500 \text{ m}^3}{955 \text{ m}^3} * 40 \text{ mg/l} - \frac{60 \text{ m}^3 / \text{saat} * 350 \text{ mg/l}}{955 \text{ m}^3 * 0,21 \text{ saat}^{-1}} \right) e^{0,21 \text{ saat}^{-1} \left(\frac{-160 \text{ m}^3}{60 \text{ m}^3 / \text{saat}} \right)}$$

$$S_f = 56,9 \text{ mg/l}$$

S_e ise (6.14) nolu denklem kullanılarak ve reaksiyon fazı süresi 1,5 saat olarak kabul edilerek;

$$S_e = 56,9 \text{ mg/l} * e^{-0,21 \text{ saat}^{-1} * 1,5 \text{ saat}} = 41,5 \text{ mg/l} \text{ bulunur.}$$

Doldurma sürecinde elde edilen substrat reaksiyon sürecinde elde edilen substrat miktarından daha fazla olmalıdır ($S_f > S_e$). Bulmuş olduğum değerler bu şartı sağlamaktadır.

Aynı debide reaksiyon süresinin 2 saat olarak kabul edilmesi ile yapılan hesaplamada;

$$S_f = 56,9 \text{ mg/l}$$

$$S_e = 56,9 \text{ mg/l} * e^{-0,21 \text{ saat}^{-1} * 2 \text{ saat}} = 37,4 \text{ mg/l}$$

($S_f > S_e$) şartını sağlıyor.

Aynı debide reaksiyon süresinin 2,5 saat olarak kabul edilmesi ile yapılan hesaplamada;

$$S_f = 56,9 \text{ mg / l}$$

$$S_e = 56,9 \text{ mg / l} * e^{-0,21 \text{ saat}^{-1} * 2,5 \text{ saat}} = 33,6 \text{ mg / l}$$

$(S_f > S_e)$ şartını sağlıyor.

Aynı debide reaksiyon süresinin 3 saat olarak kabul edilmesi ile yapılan hesaplamada;

$$S_f = 56,9 \text{ mg / l}$$

$$S_e = 56,9 \text{ mg / l} * e^{-0,21 \text{ saat}^{-1} * 3 \text{ saat}} = 30,3 \text{ mg / l}$$

$(S_f > S_e)$ şartını sağlıyor.

Aynı debide reaksiyon süresinin 3,5 saat olarak kabul edilmesi ile yapılan hesaplamada;

$$S_f = 56,9 \text{ mg / l}$$

$$S_e = 56,9 \text{ mg / l} * e^{-0,21 \text{ saat}^{-1} * 3,5 \text{ saat}} = 27,2 \text{ mg / l}$$

$(S_f > S_e)$ şartını sağlıyor.

Atıksu debisinin değişmesi durumunda elde edilen S_f (mg/l) ve S_e (mg/l) konsantrasyonları Tablo 6.1'de verilmiştir.

Tablo 6.1 Değişik atıksu debilerinde elde edilen S_r (mg/l) ve S_e (mg/l) konsantrasyonları

t_r (saat)	S_e (mg/l)																			
	$Q=100$ m ³ /saat $S_r=64,7$ mg/l	$Q=95$ m ³ /saat $S_r=64,4$ mg/l	$Q=90$ m ³ /saat $S_r=63,1$ mg/l	$Q=85$ m ³ /saat $S_r=63$ mg/l	$Q=80$ m ³ /saat $S_r=62,6$ mg/l	$Q=75$ m ³ /saat $S_r=61,6$ mg/l	$Q=70$ m ³ /saat $S_r=60,4$ mg/l	$Q=65$ m ³ /saat $S_r=58,43$ mg/l	$Q=60$ m ³ /saat $S_r=56,9$ mg/l	$Q=55$ m ³ /saat $S_r=55,2$ mg/l	$Q=50$ m ³ /saat $S_r=53,4$ mg/l	$Q=45$ m ³ /saat $S_r=51$ mg/l	$Q=40$ m ³ /saat $S_r=48,7$ mg/l	$Q=35$ m ³ /saat $S_r=45,8$ mg/l	$Q=30$ m ³ /saat $S_r=42,2$ mg/l	$Q=25$ m ³ /saat $S_r=37,7$ mg/l	$Q=20$ m ³ /saat $S_r=32,3$ mg/l	$Q=15$ m ³ /saat $S_r=25,4$ mg/l	$Q=10$ m ³ /saat $S_r=18$ mg/l	$Q=5$ m ³ /saat $S_r=8,9$ mg/l
1,5	47,2	47	46	45,9	45,7	45	44	42,6	41,5	40,3	39	37,3	35,5	33,5	30,8	27,5	23,5	18,5	13,2	6,5
2	42,5	42,3	41,4	41,4	41,2	40,5	39,7	38,4	37,4	36,3	35,1	33,5	32	30,1	27,2	24,7	21,3	16,7	11,8	5,9
2,5	38,3	38,1	37,3	37,2	37	36,5	35,8	34,5	33,6	32,6	31,6	30,2	28,8	27,1	25	22,3	19	15	10,6	5,3
3	34,4	34,3	33,6	33,5	33,4	32,8	32,2	31,2	30,3	29,4	28,5	27,2	26	24,4	22,5	20	17,2	13,5	9,6	4,8
3,5	31	30,9	30,2	30,2	30	29,5	29	28,2	27,2	26,5	25,6	24,5	23,4	22	20,3	18	15,5	12,2	8,7	4,3
4	27,9	27,8	27,2	27,2	27	26,6	26	25,2	24,5	23,8	23	22	21	19,8	18,2	16,3	14	11	7,8	4
4,5	25,1	25	24,5	24,5	24,4	24	23,5	22,7	22,1	21,5	20,8	19,8	19	17,8	16,4	14,7	12,5	9,8	7	3,5
5	22,6	22,5	22,1	22,1	22	21,6	21,2	20,4	20	19,3	18,7	17,8	17	16	14,8	13,2	11,3	8,9	6,3	3,2
5,5	20,4	20,3	19,9	19,9	19,8	19,4	19	18,4	18	17,4	16,8	16	15,8	14,4	13,3	11,9	10,2	8	5,7	2,8
6	18,4	18,3	17,9	17,9	17,8	17,5	17,2	16,5	16	15,6	15,1	14,5	13,8	13	12	10,7	9,2	7,2	5,1	2,5

6.3.3 Sonuçlar ve tartışma

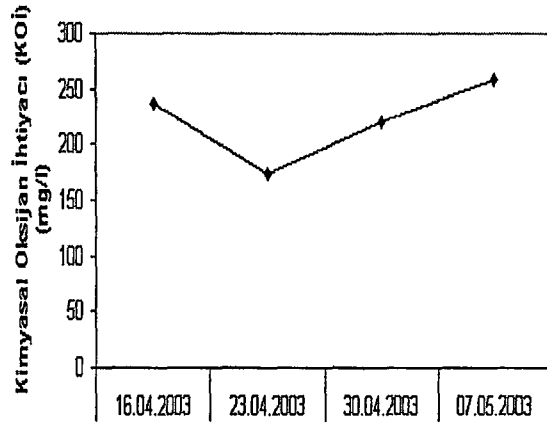
Aydın rme tekstil endüstrisi atıksu arıtma tesisi çıkış değerleri Tablo 6.2’de verilmiştir.

Tablo 6.2 Aydın rme tekstil endüstrisi atıksu arıtma tesisi çıkış değerleri

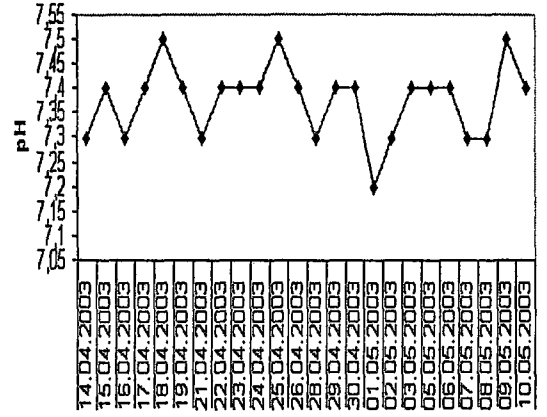
İşletme Parametreleri	16.04.2003	23.04.2003	30.04.2003	07.05.2003	Yönetmelik Standart Değerleri SKKY (Tablo:10.7)
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ ₅) (mg/l)	59	44	55	65	100
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) (mg/l)	237.3	174.3	221	259	400
Sülfür (S ²⁻) (mg/l)	-	-	-	-	0.1
Fenol (C ₆ H ₅ OH) (mg/l)	1.52	0.54	0.53	0.68	1
Çinko (Zn) (mg/l)	1.27	1.17	1.53	1.5	12
Balık Biyodenyi (ZSF)	-	-	-	-	3
pH	7.3	7.4	7.3	7.2	6-9

Atıksu arıtma tesisi Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) (mg/l) ıkış değerleri şekil 6.3’de gösterilmiştir. Üç adet ardışık kesikli reaktör çıkış suyu KOİ değerleri 150-332 mg/l arasında değişmektedir. şekil 6.3’de verilen değerler, aynı tarihte ölçülmüş üç adet havuzun ortalama KOİ değerleridir. Tüm ölçümlerin ortalama KOİ değeri 223 mg/l olarak hesaplanmıştır. Atıksu arıtma tesisi pH çıkış değerleri şekil 6.4’de gösterilmiştir. Üç adet ardışık kesikli reaktör çıkış suyu pH 7.1-7.9 değerleri arasında değişmektedir. şekil 6.4’de verilen değerler, aynı tarihte ölçülmüş üç adet havuzun ortalama pH değerleridir.

Aydın rme tekstil endüstrisi atıksu arıtma tesisi işletme parametreleri Tablo 6.3’de verilmiştir. Atıksu arıtma tesisi amur Hacim İndeksi (SVI) (ml/g) değerleri şekil 6.5’de gösterilmiştir. Üç adet ardışık kesikli reaktör (SVI) değerleri 144-200 ml/g arasında değişmektedir. şekil 6.5’de verilen değerler, aynı tarihte ölçülmüş üç adet havuzun ortalama SVI değerleridir. Atıksu arıtma tesisi hücre konsantrasyonu (AKM) (mg/l) değerleri şekil 6.6’da gösterilmiştir. Üç adet ardışık kesikli reaktör AKM 3460-5300 mg/l arasında değişmektedir. şekil 6.6’da verilen değerler, aynı tarihte ölçülmüş üç adet havuzun ortalama AKM değerleridir.



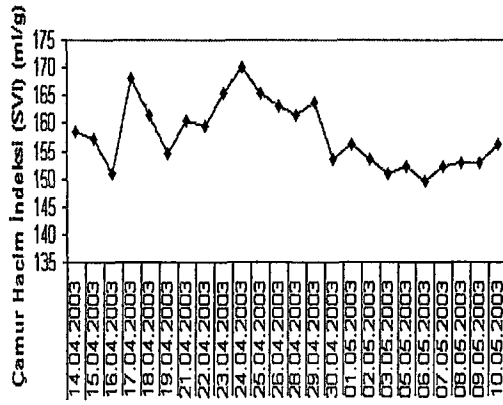
Şekil 6.3 Atıksu arıtma tesisi Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) (mg/l) değerleri



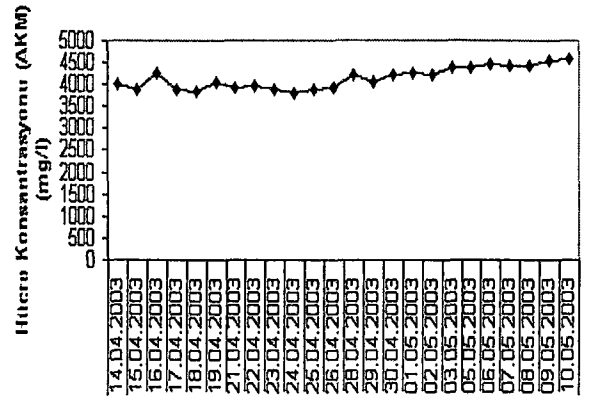
Şekil 6.4 Atıksu arıtma tesisi pH çıkış değerleri

Tablo 6.3 Aydın Örne tekstil endüstrisi atıksu arıtma tesisi işletme parametreleri

İşletme Parametreleri	14.04.2003-19.04.2003		21.04.2003-26.04.2003		28.04.2003-03.05.2003		05.05.2003-10.05.2003		Tavsiye Edilen Değerler
	Aralık değer	Ortalama değer	Aralık değer	Ortalama değer	Aralık değer	Ortalama değer	Aralık değer	Ortalama değer	
Çözünmüş Oksijen (Ç.O) (mg/l)	1-3	2	1-3	2	1-3	2	1-3	2	1-3
Çamur Hacim İndeksi (SVI) (ml/g)	147-200	159	147-183	164	144-172	157	148-160	153	100-150
Hücre konsantrasyonu (AKM) (mg/l)	3460-4600	3990.5	3550-4090	3897.2	3920-4900	4223	3820-5300	4466.6	3000-6000



Şekil 6.5 Atıksu arıtma tesisi Çamur Hacim İndeksi (SVI) (ml/g) değerleri



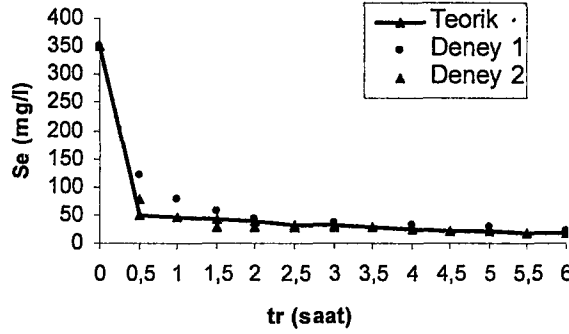
Şekil 6.6 Atıksu arıtma tesisi hücre konsantrasyonu (AKM) (mg/l) değerleri

Burada, Aydın Örne tekstil endüstrisi atıksu arıtma tesisine ait S_0 , Q , V_b , V_a , V_{ab} , S_e parametrelerinin ortalama değerleri belirlenmiş ve (6.12) denkleminde doldurma sürecinin sonundaki substrat konsantrasyonu (S_f) elde edilmiştir. Elde edilen değerler doğrultusunda (6.14) denkleminde farklı reaksiyon süreleri (t_r) uygulanarak çıkış suyu (S_e) konsantrasyonları elde edilmiştir. Bulunan sonuçların; AKR çıkış suyunun (S_e), reaksiyon süresi (t_r) ile değişimine etkisi, grafiklere aktarılmıştır. Çalışılan tekstil endüstrisi atıksuyunun, çıkış BOI_5 konsantrasyonu (S_e) kinetiğinin literatürden seçilerek adapte edilen teorik Ardışık Kesikli Reaktör (AKR, SBR) kinetiği ile uyumunu anlayabilmek amacıyla, 3 adet kinetik deneyi çalışması mevcut tesiste yapılmıştır. Deney 1 ve Deney 2'de başlangıç substrat konsantrasyonu (S_0) 350 mg BOI_5/l iken, Deney 3'de bu değer 2700 mg BOI_5/l 'dir. Bu çalışmalara ait veriler Tablo 6.4'de verilmiştir. Bu değerlere dayanılarak üretilen grafikler ise Şekil 6.7 ve Şekil 6.8'de gösterilmiştir. Doldurma ve reaksiyon süreçlerindeki substrat konsantrasyonuna (S_f ve S_e), reaksiyon zamanının ve giren atıksu debisinin etkileri Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da verilmiştir.

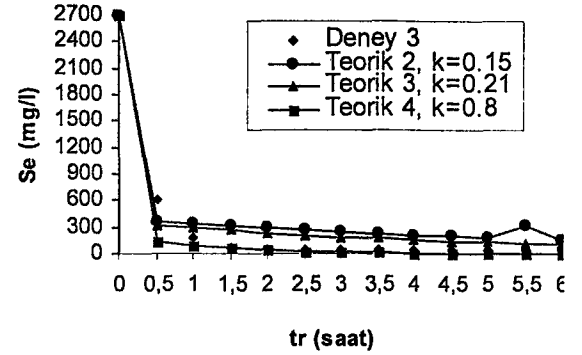
Tablo 6.4 Tekstil endüstrisi atıksuyunun çıkış BOI_5 konsantrasyonu (S_e) kinetiğinin deneysel ve teorik karşılaştırılması

	$k=0.21$ saat ⁻¹ $S_f=56.9$ mg/l			$k=0.15$ saat ⁻¹ $S_f=386.9$ mg/l	$k=0.21$ saat ⁻¹ $S_f=358.5$ mg/l	$k=0.8$ saat ⁻¹ $S_f=189.5$ mg/l	
t_r (saat)	Teorik 1	Deney 1	Deney 2	Teorik 2	Teorik 3	Teorik 4	Deney 3
	Se (mg/l)	Se (mg/l)	Se (mg/l)	Se (mg/l)	Se (mg/l)	Se (mg/l)	Se (mg/l)
0	350	350	350	2700	2700	2700	2700
0.5	51.2	121	79	359.3	322.8	127	600
1	46.1	79	45	333.4	290.5	85.2	172
1.5	41.5	55	30	309.3	261.6	57.1	59
2	37.4	44	29	287	235.5	38.3	55
2.5	33.6	-	28	266	212	25.7	54
3	30.3	36	27	247	191	17.2	50
3.5	27.2	-	-	228.9	172	11.5	-
4	24.6	32	26	212.4	154.7	7.7	53
4.5	22.1	-	-	197	139.4	5.2	-
5	19.9	30	25	182.7	125.4	3.5	52
5.5	17.9	-	-	319.2	113	2.3	-
6	16.1	23	20	157.3	101.7	1.5	50

Çalışma alanı olarak seçilen Sakarya ili, Akyazı ilçesinde faaliyet gösteren Aydın Örme San. ve Tic. A.Ş.'ne ait atıksuların ardışık kesikli reaktör ile 1.5 saatlik reaksiyon süresi ve 1.5 saatlik çökelme süresi sonucunda çıkış suyu BOI_5 konsantrasyonu (S_e) ortalamalarının yaklaşık 43 mg BOI_5/l olduğu tespit edilmiştir. 2 saatlik ve 24 saatlik kompozit numuneler için standart BOI_5 değerleri (SKKY Tablo 10.7) sırası ile, 100 ve 80 mg BOI_5/l 'dir. $t_r=1.5$ saat'lik süre içerisinde standart değerler sağlandığından dolayı, uygulamada reaksiyon süresinin 1.5 saat seçilmesinin uygun olduğu görülmüştür. 1.5 saat reaksiyon süresi; 1.5 saat çökelme süresi; 1 saat boşaltma süresi olmak üzere toplam 4 saatlik bir seans zamanı seçilmiştir. Bu durumda sistem günde 6 seans olarak çalıştırılmaktadır. Her seansta da ortalama 160 m³ atıksu arıtmak suretiyle, 6 seansta toplam 960 m³/gün atıksu bir ardışık kesikli reaktörde arıtılmaktadır.



Şekil 6.7 Tekstil endüstrisi atıksuyunun, çıkış BOI_5 konsantrasyonu (S_e) kinetiğinin deneysel ve teorik karşılaştırılması ($S_0=350$ mg/l, $Q=60$ m³/saat, $k=0.21$ saat⁻¹, $V_b=955$ m³, $V_{ab}=160$ m³, $V_a=500$ m³, $S_f=56.9$ mg/l)



Şekil 6.8 Tekstil endüstrisi atıksuyunun, çıkış BOI_5 konsantrasyonu (S_e) kinetiğine reaksiyon sabiti (k)'nin etkisi ($S_0=2700$ mg/l, $Q=60$ m³/saat, $V_b=955$ m³, $V_{ab}=160$ m³, $V_a=500$ m³)

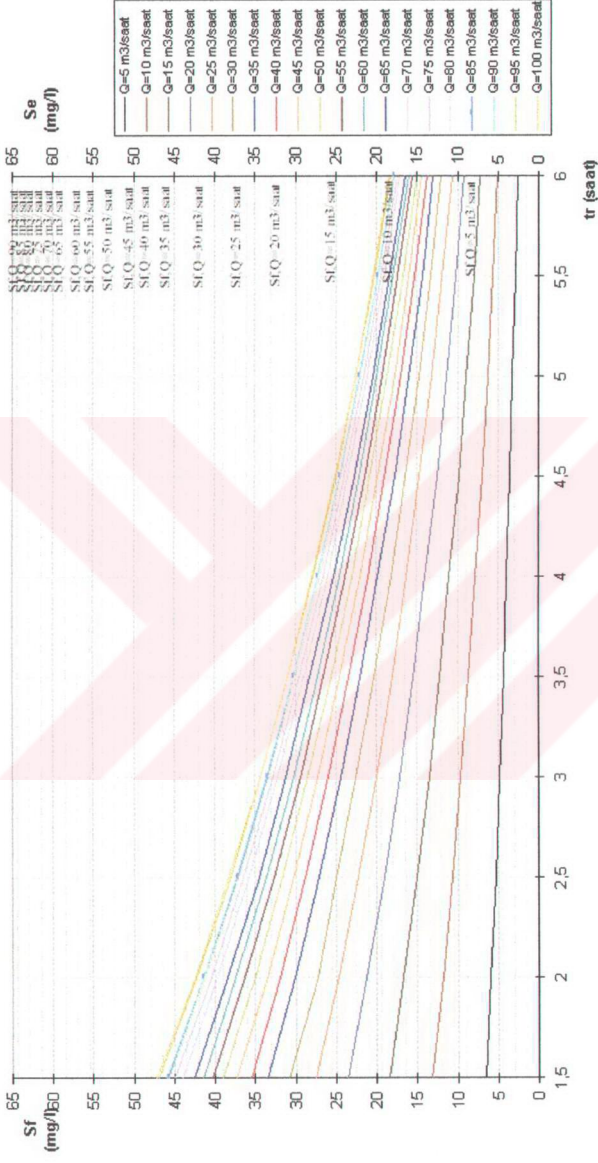
Teorik çalışmada ($S_0=350$ mg/l, $k=0.21$ sa⁻¹) ise, ardışık kesikli reaktörün kinetiğini temsil edecek şekilde oluşturulan teorik denklemden aynı reaksiyon süresi ($t_r=1.5$ saat) için elde edilen BOI_5 değeri 41.5 mg BOI_5 /l bulunmuştur. Faaliyette olan sistemin BOI_5 değeri (43 mg BOI_5 /l) ile teorik denklemden elde edilen BOI_5 değerinin (41.5 mg BOI_5 /l) birbirlerine yakın olduğu gözlemlenmektedir. Diğer bir teorik çalışmada ise ($S_0=2700$ mg/l, $k=0.8$ sa⁻¹), ardışık kesikli reaktörün kinetiğini temsil edecek şekilde oluşturulan teorik denklemden aynı reaksiyon süresi ($t_r=1.5$ saat) için elde edilen BOI_5 değeri 57.1 mg BOI_5 /l bulunmuştur. Faaliyette olan sistemin BOI_5 değeri (59 mg BOI_5 /l) ile teorik denklemden elde edilen BOI_5 değerinin (57.1 mg BOI_5 /l) birbirlerine yakın olduğu gözlemlenmektedir.

Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'u incelediğimizde ise; reaksiyon zamanının artması ile bu sürecin sonundaki substrat konsantrasyonunun azaldığı, fakat doldurma süreci sonundaki substrat konsantrasyonunun sabit kaldığı görülmektedir. Giren atıksu debisinin bu tesis için 5 m³/saat ile 100 m³/saat arasında değişmesi halinde reaksiyon zamanının artması ile substrat konsantrasyonunun azalma hızı ve miktarı birbirine yakın değerlerde seyretmekte ancak bilhassa 10 m³/saat'in altındaki bir giriş atıksu debisinde reaksiyon zamanının artması ile birlikte substrat konsantrasyonunun azalma hızı aynı davranışı göstermesine rağmen konsantrasyon değeri olarak hızla azalmaktadır.

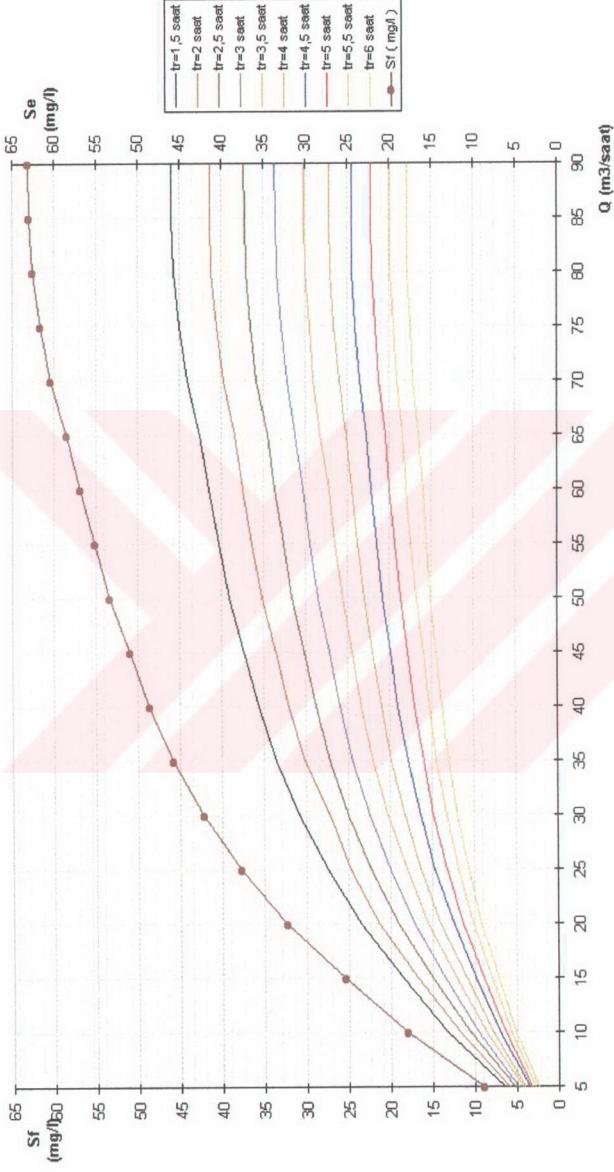
Şekil 6.10'dan da görüldüğü gibi giren atıksu debisinin artması ile doldurma fazı sonundaki substrat konsantrasyonu artmakta ve 80 m³/saat ile 85 m³/saat arasında yaklaşık olarak 84 m³/saat değerinde doldurma süreci sonundaki substrat konsantrasyonu maksimum noktaya ulaşmaktadır. Bu değerden sonra bir sabitlik görülür. Aynı şekilde reaksiyon fazı sonundaki substrat konsantrasyonu yaklaşık 84 m³/saat değerinde maksimum noktaya ulaşmakta ve değişik reaksiyon zamanları için aynı davranışı göstermektedir.

Sonuç olarak, ardışık kesikli reaktörün (AKR, SBR), tekstil endüstrisi atıksularının arıtımında ve teorik çalışmada kullanılan denklemin de ardışık kesikli reaktör kinetiğini temsil etmede kullanılabileceği görülmektedir.





Şekil 6.9 Doldurma sürecindeki substrat konsantrasyonuna, reaksiyon zamanının etkisi



Şekil 6.10 Doldurma sürecindeki ve reaksiyon sürecindeki substrat konsantrasyonuna, giren atıksu debisinin etkisi

6.4 Çökeltme Kinetiği

Çevre mühendisliği uygulamalarında, bazı su ve atıksularda bulunan katı tanecikler, birbirinden farklı özellikler içerebilmektedir. Bu taneciklerin bazıları elektrostatik yük içerirken bazıları içermemekte ve bazı tanecikler de diğer taneciklere nazaran daha fazla Vander Walls Kuvvetine sahip olabilmektedir. Bu tür taneciklerin bulunduğu su ortamında tanecikler arası kuvvetler diğer taneciklerin çökmesini çeşitli şekillerde engelleyebilir. Ancak bu parçacıklar birbirine göre sabit pozisyonlarda kalmakta ve tanecik kütlesi bir birim halinde çökeltmektedir. Çökelen kütlelerin üzerinde ise, bir katı-sıvı ara fazı oluşmaktadır [54].

6.4.1 Engelli çökeltme

Bu çökeltme türüne, biyolojik çökeltme (son çöktürme) biriminde rastlanır. Yapılan literatür çalışması [54,56] sonucunda da AKR sistemlerindeki çökeltme kinetiğinin genel olarak engelli çökeltme kinetiğine uyabileceği düşünülmektedir.

Bu çökeltme türünde, partikül maddelerin çökmesi Stokes Kanunları (Hazen ve Newton) ile ifade edilir.

$$V = \frac{1}{18} * \frac{g}{\gamma} \left(\frac{\rho_d}{\rho} - 1 \right) d^2 \quad (6.18)$$

V = mutlak çökeltme hızı

g = yerçekimi ivmesi

γ = kinematik viskozite, su için 0,01 cm²/dak

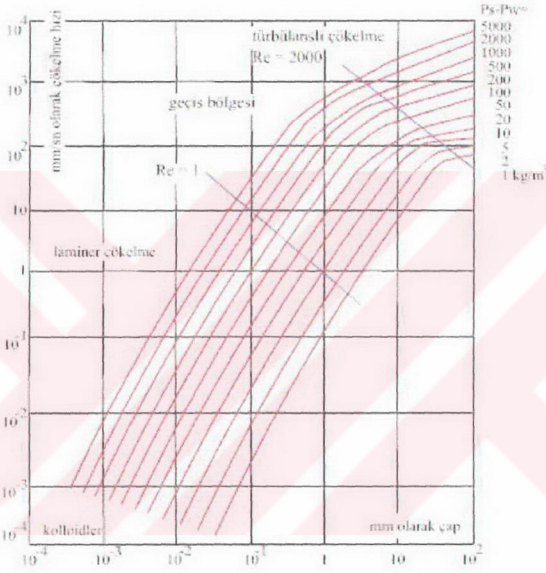
ρ_d = partikül yoğunluğu

ρ = sıvının yoğunluğu, su için 1.0 g/cm³

d = partikül çapı

Bu kanun partikülün etrafındaki sıvı akışının laminer olduğu durumlarda geçerlidir. Ayrıca bu kanun sadece sıvı fazının sabit olduğu durumlar için geçerlidir. Bu nedenle o mutlak çökeltme hızını verir. Aktif çamur durumunda, çökelen floklar tankın

dibinden yukarıya doğru eşit su hacimlerini çıkarırlar. Çökelen katı akışının yanında, çamurun çökmesini engelleyen yükselen bir sıvı akışı vardır. Bu özellikle, yüksek çamur seviyesi ve büyük çamur flokları durumunda bu şekildedir. Şekil 6.11'de [54] 10 °C'de küresel tanecekler için yoğunluk farkı, tane boyutu ve çökme hızı arasındaki ilişkiler verilmiştir.



Şekil 6.11 10 °C'de küresel tanecekler için yoğunluk farkı, tane boyutu ve çökme hızları arasındaki ilişki [54]

Şekil 6.11 [54] bütün olayları şematize eder. Lineer çökme periyodu, başlangıç konsantrasyonundaki çamurun çökebilirliği için örnek olarak alınır.

$$\text{Etkili çökme; } V_e = V - V_w \quad (6.19)$$

denklemleriyle ifade edilir.

V_e = etkin çökme hızı

V = mutlak çökme hızı

V_w = suyun artan çökme hızı

V_w , hacimsel çamur konsantrasyonunun bir fonksiyonu olduğundan dolayı yukarıda verilen denkleme dönüştürülebilir.

$$V_e = V(1 - \gamma\delta^{2/3}) \quad (6.20)$$

δ = hacim/hacim olarak ifade edilmiş çamur konsantrasyonu

γ = biçim faktörü

γ değerleri;

Türbülanslı çökeltme, Küresel tanecikler için; $\gamma=1,2$

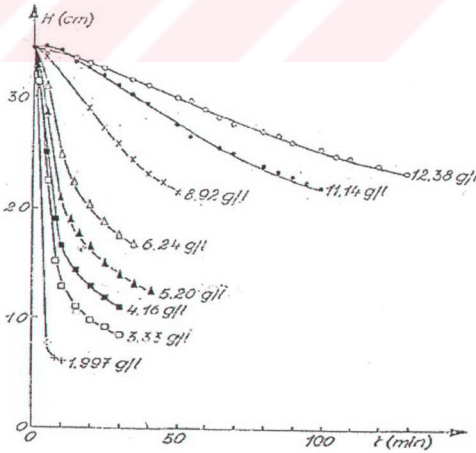
Kum taneler için; $\gamma=1,4$

Laminer çökeltme, Küresel tanecikler için; $\gamma=2,0$

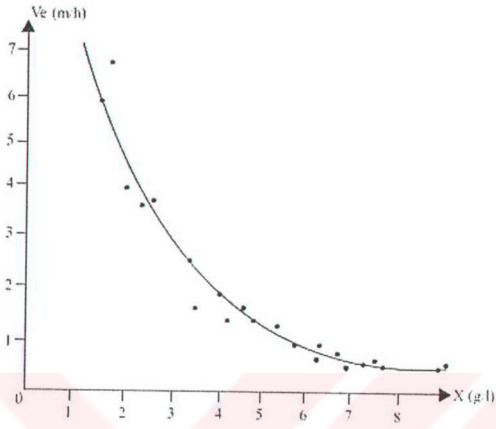
Kırmızı kan hücreleri için; $\gamma=2,5$

Kireç ve şap çamurları için; $\gamma=2,8$ [54].

δ 'nın ölçülmesi kolay değildir. Bu sebepten $V_e=f(x)$ ilişkisi deneysel olarak belirlenir. Artan çamur konsantrasyonlu bir çökme silindirleri serisi kurulur. Normal olarak, çöken çamur ve supernatant arasında belirgin bir ara faz oluşur. Zamanın bir fonksiyonu olarak bu ara fazın yüksekliğinin takip edilmesiyle Şekil 6.12'de [56] verilmiş olan statik çökeltme eğrisi belirlenir.



Şekil 6.12 Süt endüstrisi atıksuyundan gelen farklı aktif çamur konsantrasyonları için statik çökeltme eğrileri [56]



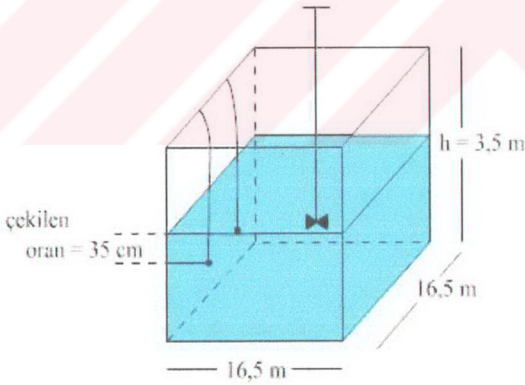
Şekil 6.13 Kanalizasyon aktif çamuru için çamur konsantrasyonu ve çökelme hızı arasındaki ilişki [56]

BÖLÜM 7. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSULARINDAKİ RENK SORUNUNUN İLERİ AKTİF ÇAMURLU ARDIŞIK KESİKLİ BİYOREAKTÖR İLE GİDERİLMESİ

7.1 Deneysel Tasarım

7.1.1 Ardışık kesikli biyoreaktörün boyutlandırılması

Deneyselerde kullanılan ardışık kesikli biyoreaktörün boyutlandırılmasında Aydın Örne San. ve Tic. A.Ş. atıksu arıtma tesisi havalandırma havuzu boyutları esas alınmıştır.



Şekil 7.1 Aydın Örne San. ve Tic. A.Ş. atıksu arıtma tesisi havalandırma havuzu şematik gösterimi

Tesiste bulunan havalandırma havuzlarındaki sensörler sayesinde çekilen su miktarı 35 cm düşmeyi sağlayacak şekilde ayarlanmıştır. Su seviyesi 35 cm alçaldığında

boşaltım durdurulur. Bu miktar havuz yüksekliğine oranlanarak 0,1 değeri elde edildi. Havuzun toplam hacmi;

$$V_{ger} = 16,5 * 16,5 * 3,5 = 953m^3$$

Buradan deney reaktörünün hacmi;

$$V_{lab} = 953 * \frac{1}{100} = 9,53m^3 = 9530cm^3 \text{ elde edilir}$$

Orijinal havuz boyutu 1/100,000 ölçeğinde küçültülerek laboratuvar düzeneğinin boyutları elde edilmiştir.

Deney reaktörünün yüksekliği başta $h = 10 \text{ cm}$ kabul edilerek;

$$V_{lab} = h * a * a \quad (7.1)$$

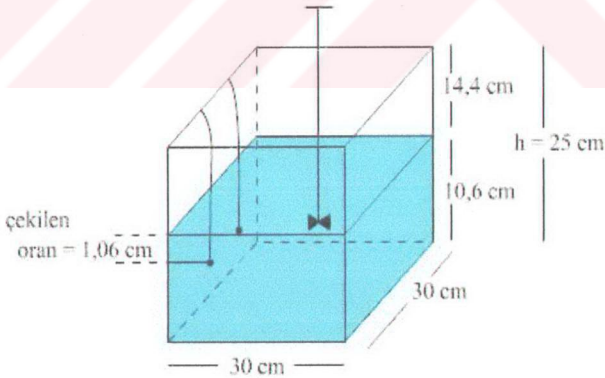
$$9530cm^3 = 10 * a^2$$

$$a = 30,8cm = 30cm$$

$$9530cm^3 = 30 * 30 * h$$

$$h = 10,6cm \text{ elde edilir.}$$

Reaktörde 14,4 cm hava payı bırakılmıştır.



Şekil 7.2 Deneylerde kullanılan ardışık kesikli biyoreaktör düzeneği şematik gösterimi

Deney düzeneğinde arıtılacak ham su miktarı, testteki 0,1 çekilen oran doğrultusunda;

$$9530\text{cm}^3 * 0,1 = 953\text{cm}^3$$

Aktif çamur miktarı ise;

$$9530\text{cm}^3 - 953\text{cm}^3 = 8577\text{cm}^3$$

7.1.2 Ardışık kesikli biyoreaktör ile yapılan çalışmalar

Deneyisel çalışmalarda kullanılan atıksu Aydın Örne San. ve Tic. A.Ş. atıksu arıtma tesisinden temin edilmiştir. Yapılan deneylerde; 8577 cm^3 aktif çamur Aydın Örne San. ve Tic. A.Ş. atıksu arıtma tesisi havalandırma havuzundan ve 953 cm^3 atıksuda havalandırma havuzu girişinden alınarak laboratuvar ortamındaki reaktöre konulmuştur. Reaktördeki toplam sıvı yüksekliği $10,6\text{ cm}$ 'dir. İlk olarak hücre ilave edilmeden bir deney yapılmış ve pilot tesise ait arıtma verimi ile deney düzeneğinin arıtma verimleri karşılaştırılmıştır. Daha sonra üç farklı canlı beyaz çürükçül mantar türü (fungus) tesisten alınmış aktif çamura eklenerek İleri Aktif Çamur elde edilmiş ve yapılan deneylerle renk giderimi çalışması yapılmıştır. İlave edilen fungusların miktarı, 100 ml 'ye 1 ml hücre ilavesi kabul edilerek, toplam 9530 ml 'lik hacme $95,3\text{ ml}$ hücre ilave edilmiştir. Yapılan deneylerde $1,5$ saat karıştırma ve $1,5$ saat çökeltme süreci sonunda reaktörden $1,06\text{ cm}^3$ 'lik düşmeyi sağlayacak şekilde peristaltik pompa ile su çekilmiştir. Çekilen su miktarı $0,96\text{ ml}$ 'dir. Çökeltme süreci tamamlandıktan sonra kinetik çalışmaları için $5, 10, 20, 30, 60, 120, 240$ ve 1600 dakika sürelerle reaktörden numuneler alınmıştır. Alınan numuneler 1 saat boyunca santrifüjde tutulmuş ve 1 saat süreyle de ince partiküllerin çökeltmesi için beklenmiştir. Daha sonra numunelerin renk absorbansları $436, 525$ ve 620 nm değerlerinde ölçülmüştür.



Şekil 7.3 Deneylerde kullanılan ardışık kesikli reaktör düzeneği

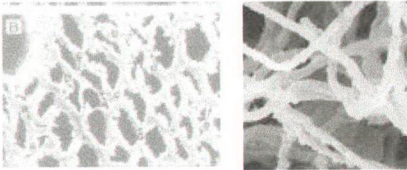
7.2 Deneylerde Kullanılan Funguslar

Deneysel çalışmalarda kullanılan Basidiomycetes sınıfına dahil olan beyaz çürükçül funguslardan *Phanerochaete chrysosporium*, *trametes versicolor* ve *pleurotus sajur-caju* Fatih Üniversitesi, Biyoloji Bölümü tarafından sağlanmış olup Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü laboratuvarlarında korunmaktadır.

Phanerochaete chrysosporium; ağaçların dış yüzeyinde tabaka şeklinde yaşar. İçerdiği lignin-degradasyon enzimleri ile ağaçlardaki lignini yıkıp sellüloz ve hemiselluloza zarar vererek ağaçların çürümmesine sebep olur. *Phanerochaete* enzimleri, oksidasyon bileşiklerinin oluşmasını sağlar. Hidrojen peroksit (H_2O_2), kompleks lignin moleküllerine hücum ederek molekül yapısını bozar. *Phanerochaete* lignin yıkımı dışında kararlı, toksik bileşiklerin (DDT pestisit gibi) yıkımında da kullanılmaktadır [55].



Şekil 7.4 *Phanerochaete chrysosporium*'un doğadaki fotoğrafı [58]



Şekil 7.5 *Phanerochaete chrysosporium*'un miselli yapısının mikro fotoğrafı (40 mikron) [57]

Trametes versicolor; ilkbahar ve sonbaharda ölü ve kurumak üzere olan ibrelili ağaç kültürlerinde toplu şekilde çıkar. Yüzeyi ince tüylü ve değişik renk tonlarına sahip

konsantrik renkli halkalar yeşil, gri, mavi, kahverengi, sarı, pas sarısı kuşaklar kenarları krem veya beyaz renkli bir kuşakla çevrelenmiştir. Dünyada çok yaygın olup odun tahripçisidir. Bu mantar bazen beyaz çürükçül etmen bazen de parazit olarak ağaçlar üzerinde görülür.



Şekil 7.6 *Trametes versicolor* 'un doğadaki fotoğrafı [59, 60]

Pleurotus sajur-caju; büyüme ortamı olarak atıksu arıtım sistemlerinde de kullanılan Su Sümbülü bitkisini tercih eder. Bu fungus türü, Su Sümbülü'nün doğal atıksu arıtım proseslerinde büyümesine izin verirken bir yandan da bu bitkileri kontrol altında tutar.



Şekil 7.7 *Pleurotus sajur-caju* 'nun doğadaki fotoğrafı [61]

Boya giderimin de kullanılan çeşitli canlı fungal hücreler ile ilgili veriler Tablo 7.1'de verilmiştir [55].

Tablo 7.1 Boya giderimin de kullanılan çeşitli canlı fungal hücreler ile ilgili veriler [55]

Kültür	Boya ve konsantrasyon	Boya giderimi yüzdesi/zaman	Mekanizma
<i>Acremonium sp.</i>	Kağıt endüstrisi atıkları	44	Biyodegradasyon
<i>Aspergillus foetidus</i>	Remazole Red (50 mg/l)	98,4 (2 gün)	Biyosorsiyon
	Remazole Dark Blue HR (50 mg/l)	99,2 (2 gün)	
		68,0 (2 gün)	Lignolitik proses
	Remazole Brilliant Orange (50 mg/l)	98,7 (2 gün)	
	Remazole Brown GK (50 mg/l)	95 (2 gün)	
	Lignin (0,05 %)	90 (2 gün)	Biyodegradasyon
	Lignin (0,10 %)	90 (80 sa)	
	Lignin (0,15%)	90 (2 gün)	
Black liquor (10*seyreltme)	90 (2 gün)		
Alkali liquor (5*seyreltme)	90 (2 gün)		
<i>A. niger</i>	Basic Blue 9 (50 mg/l)	1,17 (2 gün)	Biyosorsiyon
<i>A. niger</i>	Asid Blue 29 (50 mg/l)	6,63 (30 sa)	Biyosorsiyon
<i>A. niger</i>	Melas atıkları	53 (3-4 gün)	Biyodegradasyon ve adsorpsiyon)
<i>A. sojae B-10</i>	Amaranth (10 mg/l)	97,8 (5 gün)	Belirtilmemiş
	Sudan III (10 mg/l)	97,4 (5 gün)	Belirtilmemiş
	Congo Red (10 mg/l)	93,0 (5 gün)	Belirtilmemiş
<i>Botrytis cinerea</i>	Reactive Blue 19 boya atık	13	Adsorpsiyon
	Sulfur Black 1 boya atık	49,7	
<i>Candida sp. (maya)</i>	Procyon Black (100 mg/l)	93,8 (2 gün)	Adsorpsiyon
	Procyon Blue (100 mg/l)	96,8 (2 gün)	
<i>Candida sp. (maya)</i>	Procyon Red (100 mg/l)	98,9 (2 gün)	Adsorpsiyon
	Procyon Orange (100 mg/l)	96,8 (2 gün)	
<i>C. rugosa (maya)</i>	Reactive Black 5 boya atık	31	Adsorpsiyon
	Reactive Blue 19 boya atık	8	
	Sulfur Black 1 boya atık	308	
<i>Coriolus sp. No. 20</i>	Melanoidin (0,5%)	80 (14 gün)	Aktif oksijen
<i>C. versicolor</i>	Diazo-linked chromophore Atıkları (5-40%, v/v)	70-80 (14-18 gün)	Belirtilmemiş
<i>C. versicolor</i>	Acid Green 27	100	Biyosorsiyon ve Adsorpsiyon
	Copper Phthalocyanine	99	
	Tetrasulphonic Acid		
	Indigo Carmine	100	
	Neutral Red	91	
	Acid Red 106	100	
	Mordant Yellow	84	
	Brilliant Yellow	99	
	Reactive Red 4	90	
	Orange II	100	
Brilliant Green	100		
<i>Cryptococcus heveanensis (maya)</i>	Reactive Black 5 boya atık	60	Adsorpsiyon
	Reactive Blue 19 boya atık	22	
	Sulfur Black 1 boya atık	360	
<i>Cyathus bulleri</i>	Crystal Violet	87,5 (2 gün)	Laccase aktivitesi
	Bromophenol Blue	98,7 (2 gün)	
<i>Cyathus bulleri</i>	Malachite Green	96,2 (2 gün)	Laccase aktivitesi
<i>Dekkera bruxellensis (maya)</i>	Reactive Black 5 boya atık	38	Adsorpsiyon
	Reactive Blue 19 boya atık	36	
	Sulfur Black 1 boya atık	527	
<i>Endothiella aggregata</i>	Reactive Black 5 boya atık	44	
	Sulfur Black 1 boya atık	300	
<i>Funalia trogii</i>	Yağ atıklar (30% v/v)	31 (6 gün) durgun	Belirtilmemiş
		38 (9 gün)	

		çalkalamalı	
<i>Geotrichum fici</i>	Reactive Black 5 boya atık Reactive Blue 19 boya atık Sulfur Black 1 boya atık	7 60 60	Adsorpsiyon
<i>Halosarpheria ratnagiriensis</i>	Kağıt endüstrisi atıkları	85 (14 gün)	Lignin enzimleri
<i>Kluyveromyces waltii</i> (maya)	Reactive Black 5 boya atık Reactive Black 19 boya atık Sulfur Black 1 boya atık	60 20 445	Adsorpsiyon
<i>Merulius tremellosus</i>	Kağıt endüstrisi (40v/v)	50 (14 gün)	Peroksidaz
<i>Myrothecium verrucaria</i>	Orange II (200 mg/l) 10 B (Blue) (200 mg/l) RS (Red) (100 mg/l)	70 (5 sa) 86 (5 sa) 95 (5 sa)	Adsorpsiyon
<i>M. sp.</i>	Orange II (100 mg/l) 10 B (Blue) RS (Red) (100 mg/l)	25 91 (2 gün) 58 98 (2 gün) 81 98 (2 gün)	Adsorpsiyon
<i>Neurospora crassa</i>	Vermelho Reanil p88 (16,0-32,0 mg/l)	91,3-89,1 (1 gün)	Belirlenememiş
<i>Phanerochaete chrysosporium</i>	Congo Red (500 mg/l)	70 (2 gün) sıvı kültür 90 (7 gün) katı kültür	Lignin degradasyonu
<i>P. chrysosporium</i>	Indigo Carmine (40 50 mg/l) Reactive Blue 15 (40 50 mg/l) Acid Violet 7 (40 50 mg/l) Reactive Black 5 (40 50 mg/l) Acid Green 27 (40 50 mg/l) Acid Blue 25 (40 50 mg/l)	29,8 (9 gün) 75,6 (9 gün) 26,9 (9 gün) 11,3 (9 gün) 0,2 (9 gün) 55,6 (9 gün)	Ligninaz-katalizi
<i>P. chrysosporium</i>	Acid Orange 74 (40 50 mg/l) Acid Black 24 (40 50 mg/l) Yağ endüstrisi Bromophenol Blue (44,8 µm) Congo Red (28,7 µm) Methylene Blue (10,3 µm) Methyl Gren (29 µm) Methyl Orange (21,3 µm) Remazol Brilliant Blue R (79,8 µm) Toluidine blue O (16,3 µm) Poly R-478 (0,002%) Poly S-119 (0,002%) Poly T-128 (0,002%)	6,6 (9 gün) 98 (9 gün) 70 (10) 93 (15 dak) 54 (15 dak) 86 (15 dak) 88 (15 dak) 88 (15 dak) 75 (15 dak) 81 (15 dak) 46 (15 dak) 78 (15 dak)48 (15 dak)	Ligninaz-katalizi Lignin peroksidaz Lignin peroksidaz Lignin peroksidaz
<i>P. chrysosporium</i>	Methyl Orange 52 (150 mg/l) Methyl Orange 52 (300 mg/l) Ethyl Orange (150 mg/l) Ethyl Orange (300 mg/l) Acid Yellow 9 (150 mg/l) Acid Yellow 9 (300 mg/l)	92 (15 dak) 88 (15 dak) 93 (15 dak) 94 (15 dak) 79 (15 dak) 74 (15 dak)	Peroksidaz enzimleri
<i>P. chrysosporium</i>	Orange II (150 mg/l) Orange II (300 mg/l) Orange I (150 mg/l) Orange I (300 mg/l)	99 (15 dak) 53 (15 dak) 67 (15 dak) 71 (15 dak)	Peroksidaz enzimleri
<i>P. chrysosporium</i>	Five sulfonated azo dyes	mineralize edilmiş	Lignosellulitik
<i>P. chrysosporium</i>	4-Phenylazophenol 4-Phenylazo-2-methoxyphenol Disperse yellow 3 4-Phenylazoaniline N,N-Dimethyl-4-phenylazoaniline Disperse Orange 3	28,4-38,2 (12 gün) 20,7-48,1 (12 gün) 42,7 (12 gün) 25,8 (12 gün) 29,9-46 (12 gün) 40,1-42,5 (12 gün)	Lignin degradasyonu Lignin degradasyonu

	Solvent Yellow 14	4,5-23,1 (12 gün)	
<i>P. chrysosporium</i>	Poly B-411 Poly R-481 Poly Y-606	Belirlenmemiş Belirlenmemiş Belirlenmemiş	Ligninolitik degradasyon
<i>P. chrysosporium</i>	Alkali ekstraksiyon safhasında beyazlatma sonucu oluşan atıklar	90 (3 gün)	Lignin peroksidaz
<i>Phlebia radiata</i>	Kağıt endüstrisi atıkları (40 v/v)	76 (14 gün)	Peroksidaz
<i>Pichia carsonii</i> (maya)	Reactive Black 5 boya atık Reactive Blue 19 boya atık Sulfur Black 1 boya atık	25 3 499	Adsorpsiyon
<i>Pycnoporus cinnabarinus</i>	Pigment atıkları	90 (3 gün)	Ekstrasellular oksidaz
<i>Rhizopus arrhizus</i>	Humid acid (HPO-A) Humid acid (HPI-N)	3-6,5 (2 saat) 1,5-3,8 (2 saat)	Biyodegradasyon
<i>R. oryzae</i>	Reactive Black 5 boya atık Sulfur Black 1 boya atık	99 1107	Adsorpsiyon
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> (maya)	Reactive Blue 19 boya atık	57	
<i>Sagenomella striatispora</i>	Kağıt endüstrisi atıkları (ikincil arıtma sonrası)	74 (15 gün)	Biyodegradasyon
<i>Schizophyllum commune</i>	Baggase-based pulp mill effluent	80-90 (2 gün)	Lignin enzimleri
<i>Sordaria fimicola</i>	Kağıt endüstrisi	55 (14 gün)	Lignin enzimleri
<i>Trametes versicolor</i>	Acid Green 27 Acid Violet 7 Indigo carmine	165 50 50	Lakkaz-katalizi
<i>T. versicolor</i>	Alkolik fermentasyon atıkları	80 (3 gün)	Biyodegradasyon ve adsorpsiyon
<i>T. versicolor</i>	Kağıt endüstrisi atıkları kaustik Kağıt endüstrisi atıkları asidik Kağıt endüstrisi atıkları kaustik ve asidik	69 (1 gün) 48 (1 gün) 61-72 (10-24 sa)	Biyodegradasyon
<i>T. versicolor</i>	Indigo Carmine (40 50 mg/l) Reactive Blue 15 (40 50 mg/l) Acid Violet 7 (40 50 mg/l) Reactive Black 5 (40 50 mg/l) Acid Green 27 (40 50 mg/l) Acid Blue 25 (40 50 mg/l) Acid Orange 74 (40 50 mg/l) Acid Black 24 (40 50 mg/l)	29,8 (9 gün) 75,6 (9 gün) 26,9 (9 gün) 11,3 (9 gün) 0,2 (9 gün) 55,6 (9 gün) 6,6 (9 gün) 98 (9 gün)	Ligninaz-katalizi
<i>Tremella fuciformis</i>	Reactive Black 5 boya atık Reactive Blue 19 boya atık Sulfur Black 1 boya atık	92 41 934	Adsorpsiyon
<i>Trichoderma sp.</i>	Hardwood extraction atıkları	85 (3 gün)	Ligninolitik enzimler
<i>Wood rotting fungus</i>	Cotton bleaching atıkları (20-50%)	81,5-43,8 (5 gün)	Manganez peroksidaz
<i>Xeromyces bisporus</i>	Reactive Black 5 boya atık Reactive Blue 19 boya atık Sulfur Black 1 boya atık	11 0 63	Adsorpsiyon

7.2.1 Fungusların üretimi ve saklanması

Deneysel çalışmalarda kullanılan fungusların sürekliliğini sağlamak için funguslar Malt Extract Agar plaklarda 37 °C'de, 4-6 gün süreyle inkübe edilmiştir. Funguslar 3-4 haftada bir taze besiyerlerine aktarılmıştır. Fungus kültürleri +4°C'de buzdolabında saklanmıştır.

7.2.2 Stok fungus kültürlerinin hazırlanması

Fungusların kültür ortamlarına ekimi amacıyla Malt Extract Agar eğik besiyerleri tüplerinde üretilmiş olan kültürler aseptik koşullarda 250 ml'lik erlenlere ekilmiştir. Hazırlanan fungus kültürleri 37 °C'de inkübitörde üretilmiş ve çalışmada kullanılacak besiyerlerine ekim için temel fungus kültürleri olarak ekilmiştir.



Şekil 7.8 *Phanaerochacta chrysosporium*, *Pleurotus sajor-caju* ve *Trametes versicolor* stok kültürleri

7.2.3 Kullanılan besiyeri

Çalışmada Malt Extract Agar (MERCK) besiyeri kullanılmıştır. Besiyerleri 115 °C'de 1 atm basınç altında 10 dakika otoklavize edilmiş ve çalışmalarda kullanılmıştır.

7.3 Laboratuvar Cihazları

7.3.1 Spektrofotometre

Absorbans ölçümlerinde UV/visible tarayıcı spektrofotometre (DRLANGE CADAS 30S) kullanılmıştır.

7.3.2 Santrifüj

Deneylerde Elektro-mag M615E (5000 devir/dak) santrifüj kullanılmıştır.

7.3.3 Hassas tartı

Deneylerde Sartorius BP 310S hassas tartı kullanılmıştır.

7.3.4 Otoklav

Besiyerlerinin sterilizasyonunda Sanyo Labo Autoclave kullanılmıştır.

7.4 Analitik Metot

Ardışık kesikli biyoreaktör çıkışından alınan numuneler 1 saat santrifüjden geçirildikten sonra 1 cm'lik kuvarz küvete konularak 436, 525 ve 620 nm dalga boylarında absorbansları okunmuş ve RES (Renklilik Sayısı) değerleri hesaplanmıştır. Renk analizleri uluslararası standart metotlara göre yapılmıştır. RES parametresinin birimi m^{-1} olarak verilmiştir.

RES parametresinin belirli dalga boylarında Avrupa Normu EN ISO 7887 limit değerleri; dalga boyu 436 nm için $7 m^{-1}$, 525 nm için $5 m^{-1}$, 620 nm için $3 m^{-1}$ 'dir. Absorbans değerinin RES sayısına dönüştürülmesi aşağıdaki şekilde hesaplanır [55].

$$\alpha = A / d \cdot f \quad (7.2)$$

α : katı boyar maddeden yansıyan veya bir çözültiden geçen ışığın şiddeti

A : α dalga boyunda su ekstinksiyonu

d : numunenin kalınlığı (küvet genişliği, nm)

f : spektral absorpsiyon değerinin m^{-1} biriminden elde etmek için faktör (f = 1000)

$$RES = 100 \cdot (El / d) \quad (7.3)$$

El : Ekstinksiyon (belirli dalga boyunda)

d : su numunesi kalınlığı (cm)

7.5 Biyolojik Çamurun (Flok) Çökmesi

Atıksuyun havalandırılması sırasında kirliliğe neden olan organikler adsorbe edilir. Arıtmadaki sonraki adım askıdaki katıların ayrılmasıdır. Normal olarak aktif çamur çöktüğünden dolayı bu ayırma genellikle çökmeyle yapılır. Yerçekimsel çökme ile parçacıkların hareketi hem doğal sularda hem de inşa edilmiş arıtma sistemlerinde önemlidir. İnşa edilmiş su ve atıksu tesislerinde çoğu proses, çökme ile biyokütle ve partikülleri gidermek için dizayn edilir. Örneğin aktif çamur havalandırma havuzunda oluşmuş mikrobiyal topluluklar çöktürücüde çıkış suyundan ayrılır. Doğal sularda ve çöktürme tanklarındaki çökme esnasında, büyük topluluklar koloidal partikül ve materyalleri kendileri ile birlikte uzaklaştırmaya devam ederler ve böylece su kolonundaki kütle transfer hareketi artar. Ardışık kesikli reaktör sistemlerinde genel olarak engelli çökme görülür.

Çökme kinetiği deneysel çalışmalarında kullanılan atıksu Aydın Örne San. ve Tic. A.Ş. atıksu arıtma tesisinden temin edilmiştir. Yapılan deneylerde, 8577 cm³ aktif çamur Aydın Örne San. ve Tic. A.Ş. atıksu arıtma tesisi havalandırma havuzundan ve 953 cm³ atıksuda havalandırma havuzu girişinden alınarak laboratuvar ortamındaki reaktöre konulmuştur. Reaktördeki toplam sıvı yüksekliği 10,6 cm'dir. Yapılan deneylerde 1,5 saatlik karıştırma süreci bittikten sonra her 10 dakikada bir reaktördeki aktif çamur yüksekliği ölçülerek 3 saat boyunca aktif çamur yükseklik tespiti yapılmış ve yükseklik -zaman arasındaki ilişki grafiğe aktarılarak çökme

kinetiği eğrisi elde edilmiştir. Elde edilen bu grafik Şekil 6.12'deki statik çökeltme eğrileri ile karşılaştırılarak Aydın Örne San. ve Tic. A.Ş. atıksu arıtma tesisine ait biyokütle konsantrasyonu X (g/l) için en uygun çökeltme süresi ile arıtma tesisinde uygulanan 1,5 saatlik çökeltme sürecinin uygunluğu tespit edilmeye çalışılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalarda ayrıca laboratuvar ortamındaki ardışık kesikli biyoreaktördeki aktif çamurun çökeltirken kat ettiği mesafe ölçülerek ve;

$$V_{\phi} = S / t \quad (7.4)$$

Formülü kullanılarak çökeltme hızı –zaman arasında bir grafik elde edilmiştir. Burada;

V_{ϕ} : Çamurun çökeltme hızı (cm/dak)

S : Çamurun kat ettiği mesafe (cm)

t : zaman (dak)

Elde edilen bu grafik ile Şekil 6.13'deki eğri karşılaştırılarak Aydın Örne San. ve Tic. A.Ş. atıksu arıtma tesisine ait biyokütle konsantrasyonu, X (g/l) için en uygun tanecik çökeltme hızı tespit edilmeye çalışılmıştır.

BÖLÜM 8. BULGULAR

Yapılan deneysel çalışmalarda; Aydın Örne San. ve Tic. A.Ş. atıksu arıtma tesisinden alınan aktif çamura eklenen canlı üç beyaz çürükçül mantar türünün renk giderme kapasiteleri incelenmiştir. Canlı *phanaerochacta chrysosporium*, *trametes versicolor* ve *pleurotus sajur-caju* biyokütleleri ile yapılan çalışmalarda farklı dalga boylarında yapılan ölçümler ile bu çürükçül mantarların renk giderim kapasiteleri hesaplanmıştır.

Deneysel çalışmaların ikinci bölümünde ise; 1,5 saatlik karıştırma süreci sonunda laboratuvar ortamındaki reaktördeki aktif çamur yüksekliği 3 saat boyunca ve 10'ar dakika aralıklarla ölçülerek yükseklik-zaman, çökelme hızı-zaman arasındaki ilişki tespit edilmeye çalışılmış, elde edilen grafikler literatürdeki grafiklerle karşılaştırılmış ve sonuçlar Aydın Örne San. ve Tic. A.Ş. atıksu arıtma tesisine ait biyokütle konsantrasyonu X (g/l) dikkate alınarak irdelenmiştir.

Rengi giderilmesi istenen Aydın Örne San. ve Tic. A.Ş. arıtma tesisi giriş suyunun özellikleri şunlardır; RES (436 nm) için 59 m^{-1} , RES (525 nm) için 45 m^{-1} , RES (620 nm) için $32,4 \text{ m}^{-1}$ 'dir.

Tablo 8.1 Farklı dalga boylarında ve farklı zamanlarda hücre ilavesiz ve hücre ilaveli elde edilen çıkış suyu absorbands ölçüm değerleri

Zaman (dk)	Hücre İlavesiz			<i>Phanaerochacta chrysosporium</i>			<i>Trametes versicolor</i>			<i>Pleurotus sajor-caju</i>		
	Absorbans			Absorbans			Absorbans			Absorbans		
	$\lambda=436$ nm	$\lambda=525$ nm	$\lambda=620$ nm	$\lambda=436$ nm	$\lambda=525$ nm	$\lambda=620$ nm	$\lambda=436$ nm	$\lambda=525$ nm	$\lambda=620$ nm	$\lambda=436$ nm	$\lambda=525$ nm	$\lambda=620$ nm
0	0,101	0,097	0,057	0,193	0,162	0,102	0,174	0,124	0,097	0,156	0,115	0,091
5	0,094	0,092	0,054	0,192	0,160	0,101	0,164	0,100	0,080	0,150	0,110	0,088
10	0,102	0,087	0,066	0,190	0,155	0,099	0,163	0,095	0,079	0,146	0,106	0,085
20	0,106	0,091	0,066	0,201	0,163	0,102	0,165	0,103	0,081	0,168	0,124	0,098
30	0,108	0,087	0,066	0,204	0,164	0,103	0,167	0,111	0,094	0,152	0,120	0,090
60	0,108	0,084	0,065	0,203	0,146	0,094	0,161	0,110	0,089	0,144	0,104	0,087
120	0,103	0,086	0,066	0,191	0,136	0,088	0,154	0,109	0,085	0,151	0,104	0,087
240	0,099	0,077	0,059	0,176	0,125	0,086	0,151	0,106	0,083	0,148	0,102	0,086
1600	0,095	0,073	0,055	0,134	0,095	0,079	0,097	0,069	0,065	0,117	0,085	0,070

8.1 Hücre İlave Edilmeden Yapılan Deneylerdeki RES Değerleri ve Renk Giderim Verimleri

RES değerleri denklem 7.1'e göre hesaplanmıştır.

$\lambda = 436$ nm dalga boyu için;

0. dakika	Absorbans değeri=0,101	RES değeri $\alpha=0,101/10*1000=10,1$
5. dakika	Absorbans değeri=0,094	RES değeri $\alpha=0,094/10*1000=9,4$
10. dakika	Absorbans değeri=0,102	RES değeri $\alpha=0,102/10*1000=10,2$
20. dakika	Absorbans değeri=0,106	RES değeri $\alpha=0,106/10*1000=10,6$
30. dakika	Absorbans değeri=0,108	RES değeri $\alpha=0,108/10*1000=10,8$
60. dakika	Absorbans değeri=0,108	RES değeri $\alpha=0,108/10*1000=10,8$
120. dakika	Absorbans değeri=0,103	RES değeri $\alpha=0,103/10*1000=10,3$
240. dakika	Absorbans değeri=0,099	RES değeri $\alpha=0,099/10*1000=9,9$
1600. dakika	Absorbans değeri=0,095	RES değeri $\alpha=0,095/10*1000=9,5$

$\lambda = 525$ nm dalga boyu için;

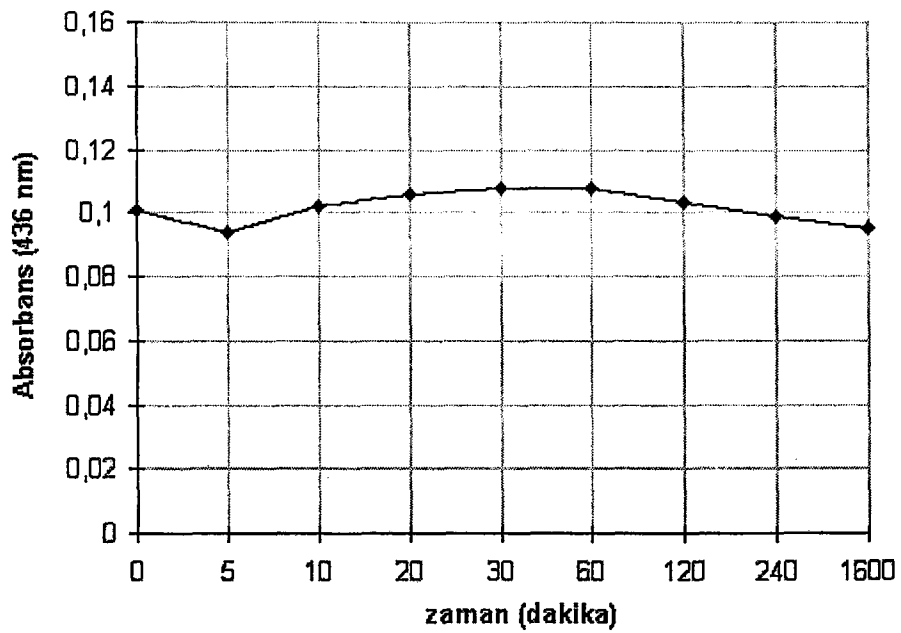
0. dakika	Absorbans değeri=0,097	RES değeri $\alpha=0,097/10*1000=9,7$
5. dakika	Absorbans değeri=0,092	RES değeri $\alpha=0,092/10*1000=9,2$
10. dakika	Absorbans değeri=0,087	RES değeri $\alpha=0,087/10*1000=8,7$
20. dakika	Absorbans değeri=0,091	RES değeri $\alpha=0,091/10*1000=9,1$
30. dakika	Absorbans değeri=0,087	RES değeri $\alpha=0,087/10*1000=8,7$
60. dakika	Absorbans değeri=0,084	RES değeri $\alpha=0,084/10*1000=8,4$
120. dakika	Absorbans değeri=0,086	RES değeri $\alpha=0,086/10*1000=8,6$
240. dakika	Absorbans değeri=0,077	RES değeri $\alpha=0,077/10*1000=7,7$
1600. dakika	Absorbans değeri=0,073	RES değeri $\alpha=0,073/10*1000=7,3$

$\lambda = 620$ nm dalga boyu için;

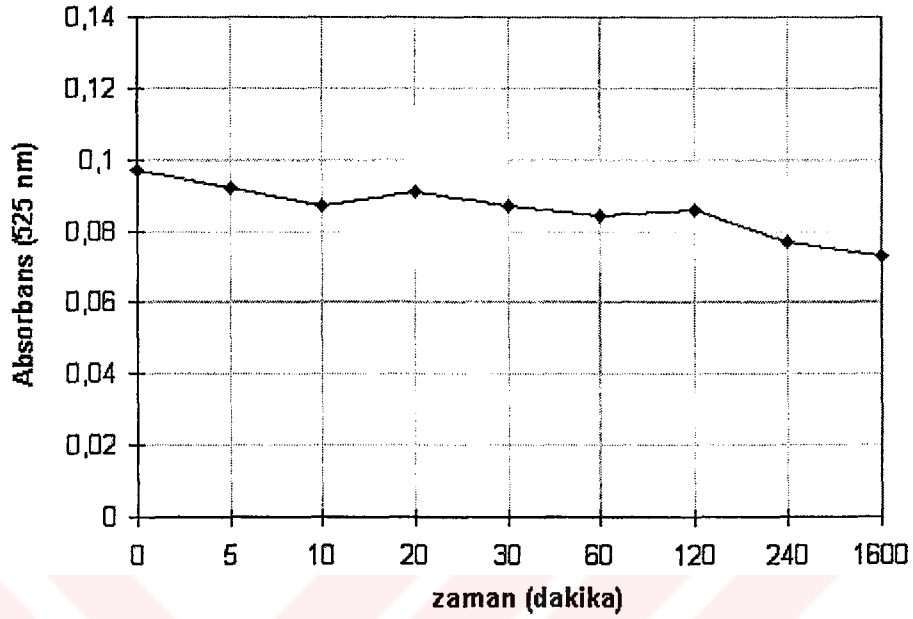
0. dakika	Absorbans değeri=0,057	RES değeri $\alpha=0,057/10*1000=5,7$
5. dakika	Absorbans değeri=0,054	RES değeri $\alpha=0,054/10*1000=5,4$
10. dakika	Absorbans değeri=0,066	RES değeri $\alpha=0,066/10*1000=6,6$
20. dakika	Absorbans değeri=0,066	RES değeri $\alpha=0,066/10*1000=6,6$
30. dakika	Absorbans değeri=0,066	RES değeri $\alpha=0,066/10*1000=6,6$
60. dakika	Absorbans değeri=0,065	RES değeri $\alpha=0,065/10*1000=6,5$
120. dakika	Absorbans değeri=0,066	RES değeri $\alpha=0,066/10*1000=6,6$
240. dakika	Absorbans değeri=0,059	RES değeri $\alpha=0,059/10*1000=5,9$
1600. dakika	Absorbans değeri=0,055	RES değeri $\alpha=0,055/10*1000=5,5$

Tablo 8.2 $\lambda = 436 \text{ nm}$, $\lambda = 525 \text{ nm}$ ve $\lambda = 620 \text{ nm}$ dalga boyları için zamana göre renk giderim verimleri

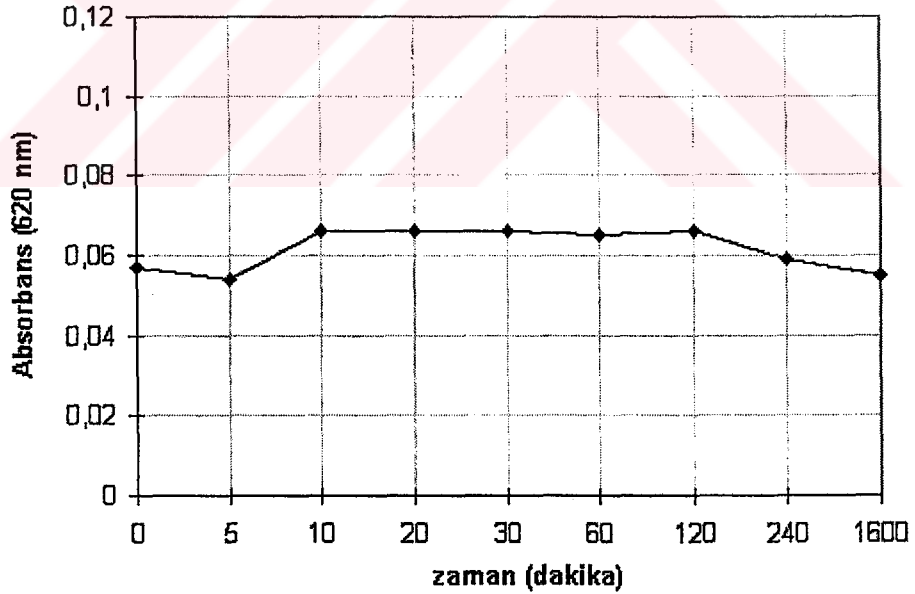
Zaman (dk)	$\lambda = 436 \text{ nm}$			$\lambda = 525 \text{ nm}$			$\lambda = 620 \text{ nm}$		
	Giriş renği (m^{-1}) RES	Çıkış renği (m^{-1}) RES	Renk giderimi (%)	Giriş renği (m^{-1}) RES	Çıkış renği (m^{-1}) RES	Renk giderimi (%)	Giriş renği (m^{-1}) RES	Çıkış renği (m^{-1}) RES	Renk giderimi (%)
0	59	10,1	83	45	9,7	78	32,4	5,7	83
5	59	9,4	84	45	9,2	80	32,4	5,4	83
10	59	10,2	83	45	8,7	81	32,4	6,6	79
20	59	10,6	82	45	9,1	79	32,4	6,6	79
30	59	10,8	81	45	8,7	81	32,4	6,6	79
60	59	10,8	81	45	8,4	81	32,4	6,5	80
120	59	10,3	83	45	8,6	80	32,4	6,6	79
240	59	9,9	83	45	7,7	82	32,4	5,9	82
1600	59	9,5	84	45	7,3	84	32,4	5,5	83



Şekil 8.1 436 nm'de ölçülen absorbans-zaman grafiği



Şekil 8.2 525 nm’de ölçülen absorbans-zaman grafiği



Şekil 8.3 620 nm’de ölçülen absorbans-zaman grafiği

Elde edilen grafikler doğrultusunda belli zaman aralıklarında alınan numunelerin renk okumalarına baktığımızda; 0. dakikada alınan numunenin $\lambda=436$ nm’deki RES değeri $10,1 \text{ m}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Sistemin renk giderim verimi %83’dür. 1600

dakikada alınan numunenin $\lambda=436$ nm'deki RES değeri ise $9,5 \text{ m}^{-1}$ 'dir. 1600 dakikalık (yaklaşık 1 gün) bekleme sürecinin sonunda elde edilen renk giderim verimi %84 olmuştur. $\lambda=525$ nm'deki ölçüm sonuçlarına baktığımızda; 0. dakikadaki RES değeri $9,7 \text{ m}^{-1}$, renk giderim verimi %78 olmuştur. 1600 dakika ise RES değeri $7,3 \text{ m}^{-1}$ 'e düşmüştür, verim % 84'dür. $\lambda=620$ nm'de ise 0. dakikada RES değeri $5,7 \text{ m}^{-1}$ iken 1600 dakikada RES= $5,5 \text{ m}^{-1}$, verim ise her iki zaman süreci için %83 olarak kalmıştır.

8.2 *Phanaerochacta chryso sporium* Canlı Biyokütlesi İle Yapılan Deneylerdeki RES Değerleri ve Renk Giderim Verimleri

RES değerleri denklem 7.1'e göre hesaplanmıştır.

$\lambda =436$ nm dalga boyu için;

0. dakika	Absorbans değeri=0,193	RES değeri $\alpha=0,193/10*1000=19,3$
5. dakika	Absorbans değeri=0,192	RES değeri $\alpha=0,192/10*1000=19,2$
10. dakika	Absorbans değeri=0,190	RES değeri $\alpha=0,190/10*1000=19$
20. dakika	Absorbans değeri=0,201	RES değeri $\alpha=0,201/10*1000=20,1$
30. dakika	Absorbans değeri=0,204	RES değeri $\alpha=0,204/10*1000=20,4$
60. dakika	Absorbans değeri=0,203	RES değeri $\alpha=0,203/10*1000=20,3$
120. dakika	Absorbans değeri=0,191	RES değeri $\alpha=0,191/10*1000=19,1$
240. dakika	Absorbans değeri=0,176	RES değeri $\alpha=0,176/10*1000=17,6$
1600. dakika	Absorbans değeri=0,134	RES değeri $\alpha=0,134/10*1000=13,4$

$\lambda =525$ nm dalga boyu için;

0. dakika	Absorbans değeri=0,162	RES değeri $\alpha=0,162/10*1000=16,2$
5. dakika	Absorbans değeri=0,160	RES değeri $\alpha=0,160/10*1000=16$

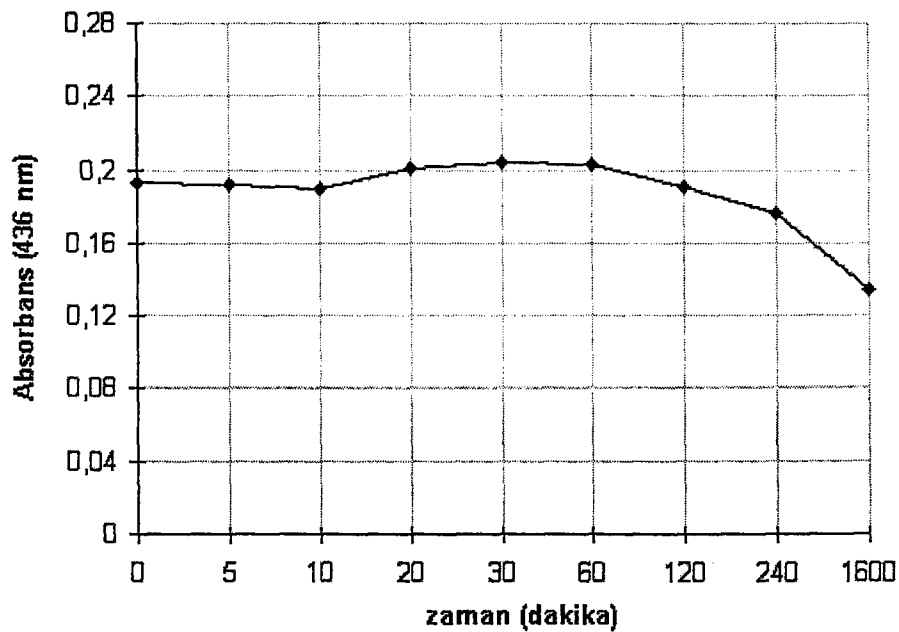
10. dakika	Absorbans değeri=0,155	RES değeri $\alpha=0,155/10*1000=15,5$
20. dakika	Absorbans değeri=0,163	RES değeri $\alpha=0,163/10*1000=16,3$
30. dakika	Absorbans değeri=0,164	RES değeri $\alpha=0,164/10*1000=16,4$
60. dakika	Absorbans değeri=0,146	RES değeri $\alpha=0,146/10*1000=14,6$
120. dakika	Absorbans değeri=0,136	RES değeri $\alpha=0,136/10*1000=13,6$
240. dakika	Absorbans değeri=0,125	RES değeri $\alpha=0,125/10*1000=12,5$
1600. dakika	Absorbans değeri=0,095	RES değeri $\alpha=0,095/10*1000=9,5$

$\lambda =620$ nm dalga boyu için;

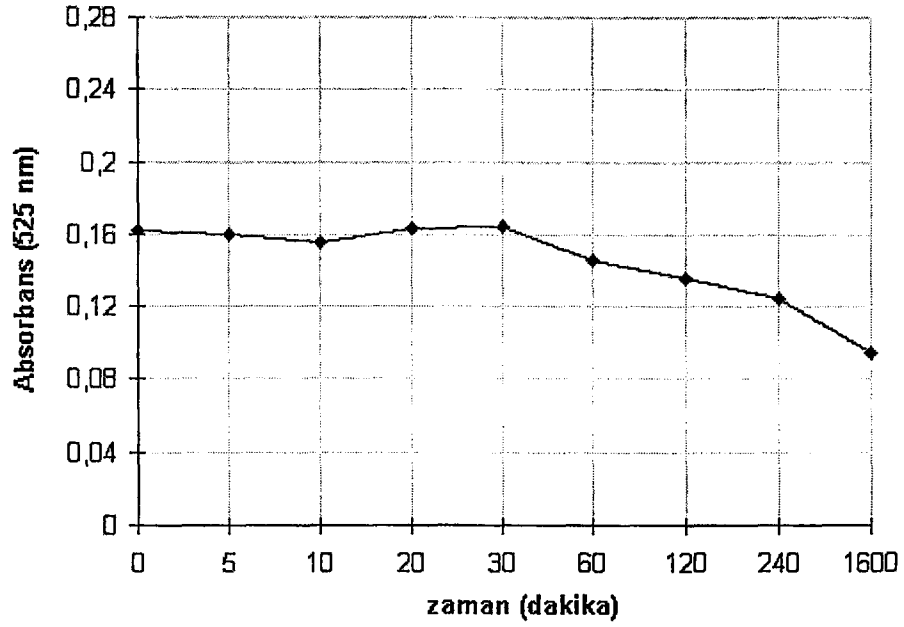
0. dakika	Absorbans değeri=0,102	RES değeri $\alpha=0,102/10*1000=10,2$
5. dakika	Absorbans değeri=0,101	RES değeri $\alpha=0,101/10*1000=10,1$
10. dakika	Absorbans değeri=0,099	RES değeri $\alpha=0,099/10*1000=9,9$
20. dakika	Absorbans değeri=0,102	RES değeri $\alpha=0,102/10*1000=10,2$
30. dakika	Absorbans değeri=0,103	RES değeri $\alpha=0,103/10*1000=10,3$
60. dakika	Absorbans değeri=0,094	RES değeri $\alpha=0,094/10*1000=9,4$
120. dakika	Absorbans değeri=0,088	RES değeri $\alpha=0,088/10*1000=8,8$
240. dakika	Absorbans değeri=0,086	RES değeri $\alpha=0,086/10*1000=8,6$
1600. dakika	Absorbans değeri=0,079	RES değeri $\alpha=0,079/10*1000=7,9$

Tablo 8.3 $\lambda = 436 \text{ nm}$, $\lambda = 525 \text{ nm}$ ve $\lambda = 620 \text{ nm}$ dalga boyları için zamana göre renk giderim verimleri

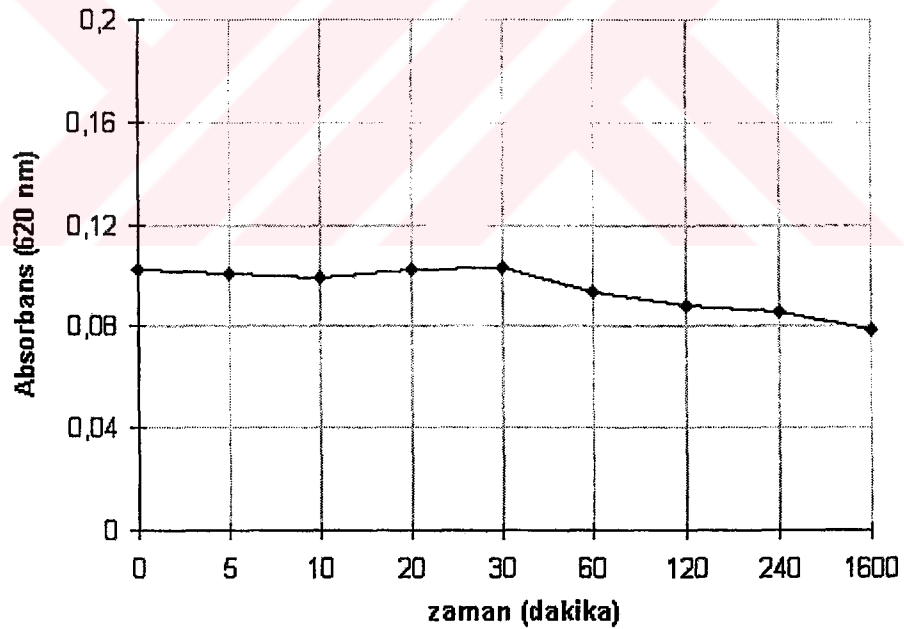
Zaman (dk)	$\lambda = 436 \text{ nm}$			$\lambda = 525 \text{ nm}$			$\lambda = 620 \text{ nm}$		
	Giriş rengi (m^{-1}) RES	Çıkış rengi (m^{-1}) RES	Renk giderimi (%)	Giriş rengi (m^{-1}) RES	Çıkış rengi (m^{-1}) RES	Renk giderimi (%)	Giriş rengi (m^{-1}) RES	Çıkış rengi (m^{-1}) RES	Renk giderimi (%)
0	59	19,3	67	45	16,2	64	32,4	10,2	68,5
5	59	19,2	67,5	45	16	65	32,4	10,1	69
10	59	19	67,7	45	15,5	66	32,4	9,9	69
20	59	20,1	66	45	16,3	64	32,4	10,2	68,5
30	59	20,4	65,5	45	16,4	64	32,4	10,3	68
60	59	20,3	65,6	45	14,6	68	32,4	9,4	71
120	59	19,1	67	45	13,6	70	32,4	8,8	73
240	59	17,6	70	45	12,5	72	32,4	8,6	74
1600	59	13,4	77	45	9,5	79	32,4	7,9	76



Şekil 8.4 436 nm'de ölçülen absorbans-zaman grafiği



Şekil 8.5 525 nm'de ölçülen absorbans-zaman grafiği



Şekil 8.6 620 nm'de ölçülen absorbans-zaman grafiği

Elde edilen grafiklere baktığımızda; 0. dakikada alınan numunenin $\lambda=436$ nm'deki RES değeri $19,3 \text{ m}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Renk giderim verimi %67'dir. Aynı dalga boyunda 1600 dakika da alınan numunenin RES değeri ise $13,4 \text{ m}^{-1}$ 'dir, verim ise %77'dir. Aynı şekilde $\lambda=525$ nm için 0. dakikadaki RES değeri $16,2 \text{ m}^{-1}$, renk

giderim verimi %64 olmuştur. 1600 dakika ise RES değeri $9,5 \text{ m}^{-1}$ 'dir, verim % 79'dur. $\lambda=620 \text{ nm}$ için 0. dakikada RES değeri $10,2 \text{ m}^{-1}$, verim %68,5, 1600 dakikada $\text{RES}=7,9 \text{ m}^{-1}$, verim %76'dır.

8.3 *Trametes versicolor* Canlı Biyokütlesi İle Yapılan Deneylerdeki RES Değerleri ve Renk Giderim Verimleri

RES değerleri denklem 7.1'e göre hesaplanmıştır.

$\lambda =436 \text{ nm}$ dalga boyu için;

0. dakika	Absorbans değeri=0,174	RES değeri $\alpha=0,174/10*1000=17,4$
5. dakika	Absorbans değeri=0,164	RES değeri $\alpha=0,164/10*1000=16,4$
10. dakika	Absorbans değeri=0,163	RES değeri $\alpha=0,163/10*1000=16,3$
20. dakika	Absorbans değeri=0,165	RES değeri $\alpha=0,165/10*1000=16,5$
30. dakika	Absorbans değeri=0,167	RES değeri $\alpha=0,167/10*1000=16,7$
60. dakika	Absorbans değeri=0,161	RES değeri $\alpha=0,161/10*1000=16,1$
120. dakika	Absorbans değeri=0,154	RES değeri $\alpha=0,154/10*1000=15,4$
240. dakika	Absorbans değeri=0,151	RES değeri $\alpha=0,151/10*1000=15,1$
1600. dakika	Absorbans değeri=0,097	RES değeri $\alpha=0,097/10*1000=9,7$

$\lambda =525 \text{ nm}$ dalga boyu için;

0. dakika	Absorbans değeri=0,124	RES değeri $\alpha=0,124/10*1000=12,4$
5. dakika	Absorbans değeri=0,100	RES değeri $\alpha=0,100/10*1000=10$
10. dakika	Absorbans değeri=0,095	RES değeri $\alpha=0,095/10*1000=9,5$
20. dakika	Absorbans değeri=0,103	RES değeri $\alpha=0,103/10*1000=10,3$
30. dakika	Absorbans değeri=0,111	RES değeri $\alpha=0,111/10*1000=11,1$

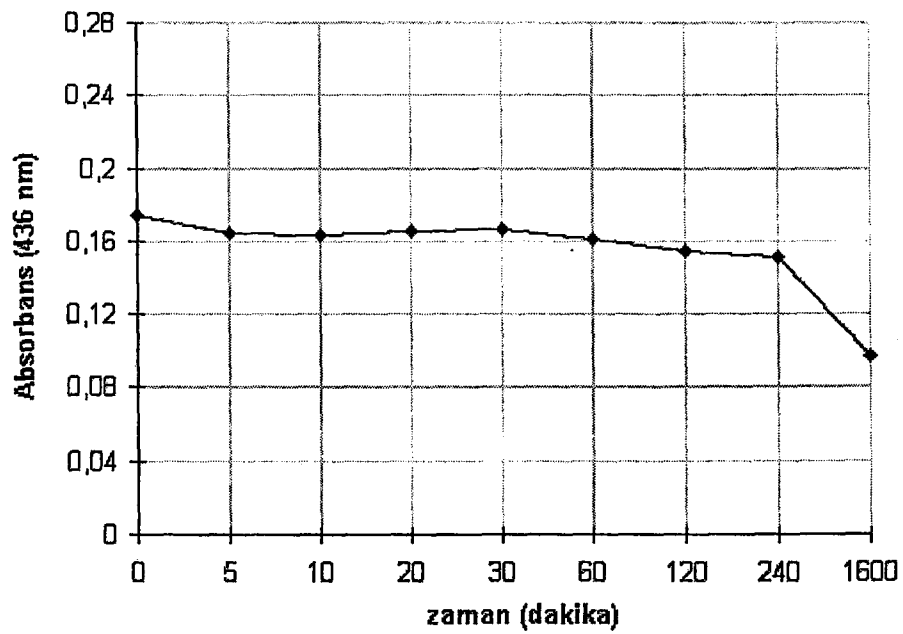
60. dakika	Absorbans değeri=0,110	RES değeri $\alpha=0,110/10*1000=11$
120. dakika	Absorbans değeri=0,109	RES değeri $\alpha=0,109/10*1000=10,9$
240. dakika	Absorbans değeri=0,106	RES değeri $\alpha=0,106/10*1000=10,6$
1600. dakika	Absorbans değeri=0,069	RES değeri $\alpha=0,069/10*1000=6,9$

$\lambda =620$ nm dalga boyu için;

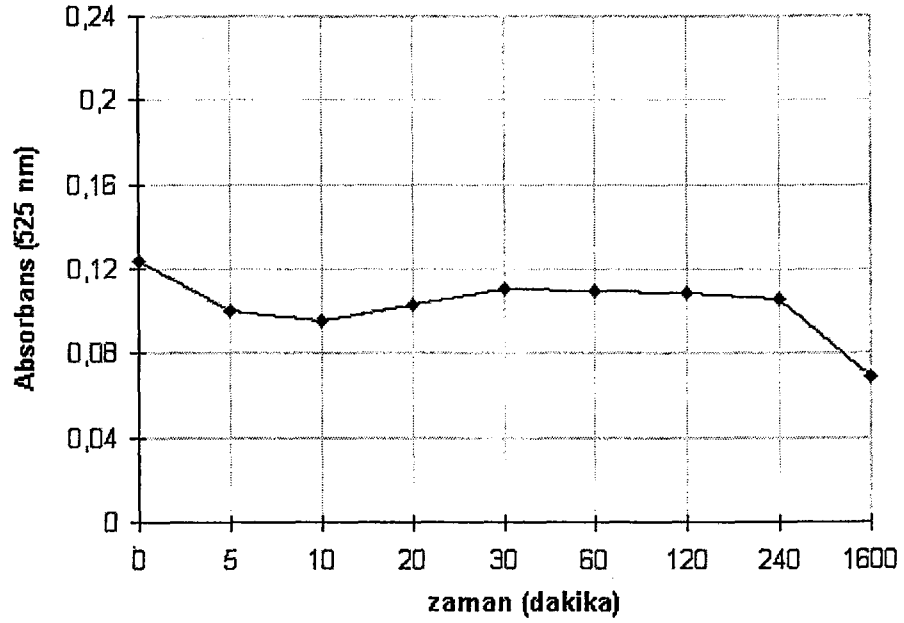
0. dakika	Absorbans değeri=0,097	RES değeri $\alpha=0,097/10*1000=9,7$
5. dakika	Absorbans değeri=0,080	RES değeri $\alpha=0,080/10*1000=8$
10. dakika	Absorbans değeri=0,079	RES değeri $\alpha=0,079/10*1000=7,9$
20. dakika	Absorbans değeri=0,081	RES değeri $\alpha=0,081/10*1000=8,1$
30. dakika	Absorbans değeri=0,094	RES değeri $\alpha=0,094/10*1000=9,4$
60. dakika	Absorbans değeri=0,089	RES değeri $\alpha=0,089/10*1000=8,9$
120. dakika	Absorbans değeri=0,085	RES değeri $\alpha=0,085/10*1000=8,5$
240. dakika	Absorbans değeri=0,083	RES değeri $\alpha=0,083/10*1000=8,3$
1600. dakika	Absorbans değeri=0,065	RES değeri $\alpha=0,065/10*1000=6,5$

Tablo 8.4 $\lambda = 436 \text{ nm}$, $\lambda = 525 \text{ nm}$ ve $\lambda = 620 \text{ nm}$ dalga boyları için zamana göre renk giderim verimleri

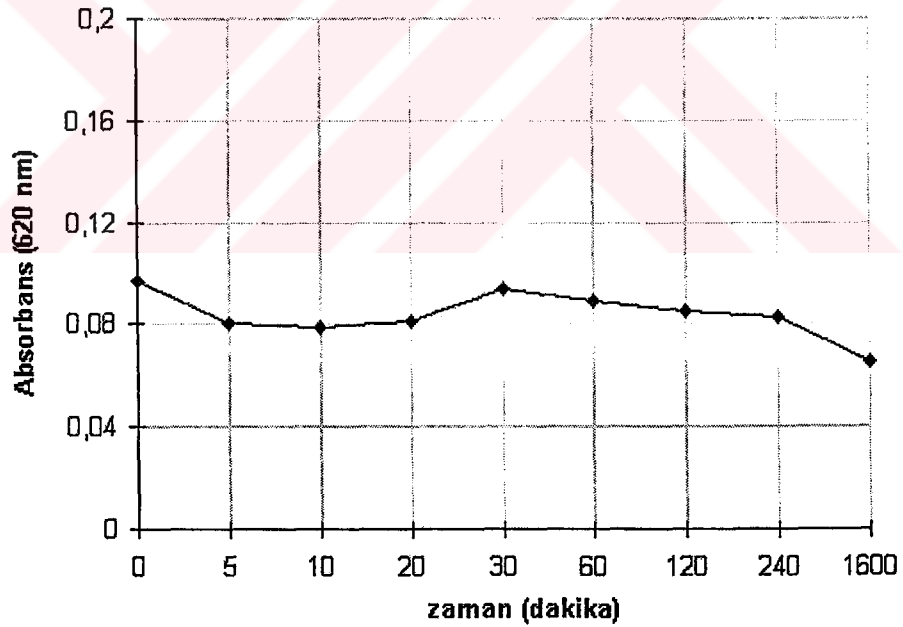
Zaman (dk)	$\lambda = 436 \text{ nm}$			$\lambda = 525 \text{ nm}$			$\lambda = 620 \text{ nm}$		
	Giriş rengi (m^{-1}) RES	Çıkış rengi (m^{-1}) RES	Renk giderimi (%)	Giriş rengi (m^{-1}) RES	Çıkış rengi (m^{-1}) RES	Renk giderimi (%)	Giriş rengi (m^{-1}) RES	Çıkış rengi (m^{-1}) RES	Renk giderimi (%)
0	59	17,4	71	45	12,4	72	32,4	9,7	70
5	59	16,4	72	45	10	78	32,4	8	75
10	59	16,3	72,5	45	9,5	79	32,4	7,9	75,6
20	59	16,5	72	45	10,3	77	32,4	8,1	75
30	59	16,7	72	45	11,1	75	32,4	9,4	71
60	59	16,1	73	45	11	75,5	32,4	8,9	73
120	59	15,4	74	45	10,9	76	32,4	8,5	74
240	59	15,1	75	45	10,6	77	32,4	8,3	75
1600	59	9,7	83,5	45	6,9	85	32,4	6,5	80



Şekil 8.7 436 nm'de ölçülen absorbans-zaman grafiği



Şekil 8.8 525 nm'de ölçülen absorbans-zaman grafiği



Şekil 8.9 620 nm'de ölçülen absorbans-zaman grafiği

Elde edilen grafikler doğrultusunda; 0. dakikada alınan numunenin $\lambda=436$ nm'deki RES değeri $17,4 \text{ m}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Renk giderim verimi %71'dir. Aynı dalga boyunda 1600 dakika da alınan numunenin RES değeri ise $9,7 \text{ m}^{-1}$ 'dir, verim ise %83,5'dir. Aynı şekilde $\lambda=525$ nm için 0. dakikadaki RES değeri $12,4 \text{ m}^{-1}$, renk

giderim verimi %72 olmuştur. 1600 dakika ise RES değeri $6,9 \text{ m}^{-1}$ 'dir, verim % 85'dur. $\lambda=620 \text{ nm}$ için 0. dakikada RES değeri $9,7 \text{ m}^{-1}$, verim %70, 1600 dakikada RES= $6,5 \text{ m}^{-1}$, verim %80'dir.

8.4 *Pleurotus sajur-caju* Canlı Biyokütlesi İle Yapılan Deneylerdeki RES Değerleri ve Renk Giderim Verimleri

RES değerleri denklem 7.1'e göre hesaplanmıştır.

$\lambda =436 \text{ nm}$ dalga boyu için;

0. dakika	Absorbans değeri=0,156	RES değeri $\alpha=0,156/10*1000=15,6$
5. dakika	Absorbans değeri=0,150	RES değeri $\alpha=0,150/10*1000=15$
10. dakika	Absorbans değeri=0,146	RES değeri $\alpha=0,146/10*1000=14,6$
20. dakika	Absorbans değeri=0,168	RES değeri $\alpha=0,168/10*1000=16,8$
30. dakika	Absorbans değeri=0,152	RES değeri $\alpha=0,152/10*1000=15,2$
60. dakika	Absorbans değeri=0,144	RES değeri $\alpha=0,144/10*1000=14,4$
120. dakika	Absorbans değeri=0,151	RES değeri $\alpha=0,151/10*1000=15,1$
240. dakika	Absorbans değeri=0,148	RES değeri $\alpha=0,148/10*1000=14,8$
1600. dakika	Absorbans değeri=0,117	RES değeri $\alpha=0,117/10*1000=11,7$

$\lambda =525 \text{ nm}$ dalga boyu için;

0. dakika	Absorbans değeri=0,115	RES değeri $\alpha=0,115/10*1000=11,5$
5. dakika	Absorbans değeri=0,110	RES değeri $\alpha=0,110/10*1000=11$
10. dakika	Absorbans değeri=0,106	RES değeri $\alpha=0,106/10*1000=10,6$
20. dakika	Absorbans değeri=0,124	RES değeri $\alpha=0,124/10*1000=12,4$
30. dakika	Absorbans değeri=0,120	RES değeri $\alpha=0,120/10*1000=12$

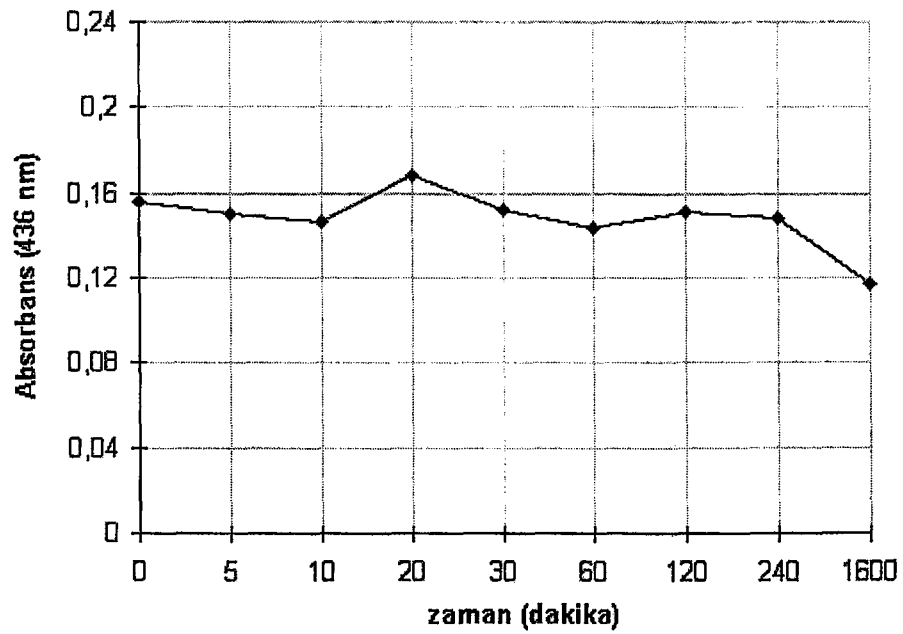
60. dakika	Absorbans değeri=0,104	RES değeri $\alpha=0,104/10*1000=10,4$
120. dakika	Absorbans değeri=0,104	RES değeri $\alpha=0,104/10*1000=10,4$
240. dakika	Absorbans değeri=0,102	RES değeri $\alpha=0,102/10*1000=10,2$
1600. dakika	Absorbans değeri=0,085	RES değeri $\alpha=0,085/10*1000=8,5$

$\lambda =620$ nm dalga boyu için;

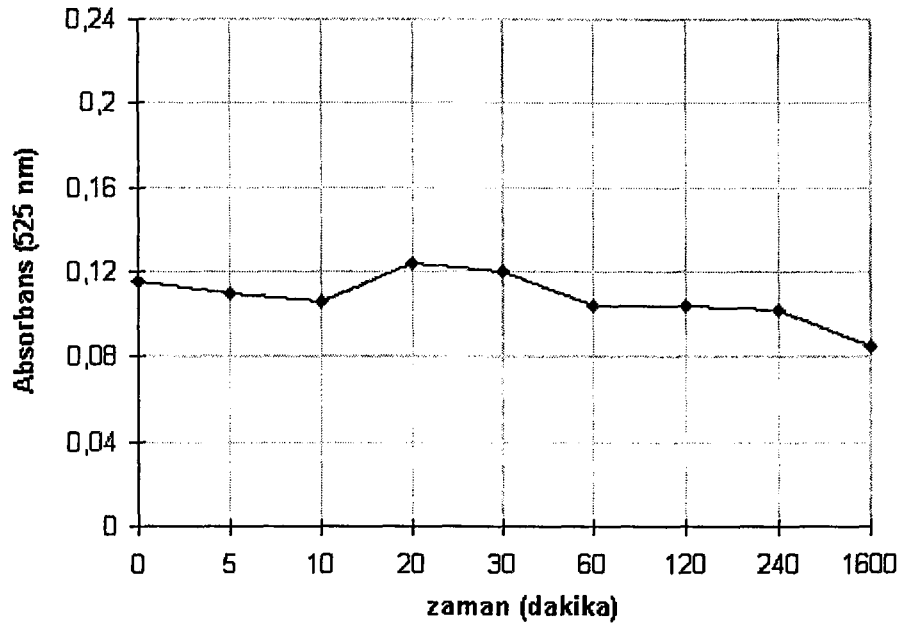
0. dakika	Absorbans değeri=0,091	RES değeri $\alpha=0,091/10*1000=9,1$
5. dakika	Absorbans değeri=0,088	RES değeri $\alpha=0,088/10*1000=8,8$
10. dakika	Absorbans değeri=0,085	RES değeri $\alpha=0,085/10*1000=8,5$
20. dakika	Absorbans değeri=0,098	RES değeri $\alpha=0,098/10*1000=9,8$
30. dakika	Absorbans değeri=0,090	RES değeri $\alpha=0,090/10*1000=9$
60. dakika	Absorbans değeri=0,087	RES değeri $\alpha=0,087/10*1000=8,7$
120. dakika	Absorbans değeri=0,087	RES değeri $\alpha=0,087/10*1000=8,7$
240. dakika	Absorbans değeri=0,086	RES değeri $\alpha=0,086/10*1000=8,6$
1600. dakika	Absorbans değeri=0,070	RES değeri $\alpha=0,070/10*1000=7$

Tablo 8.5 $\lambda = 436 \text{ nm}$, $\lambda = 525 \text{ nm}$ ve $\lambda = 620 \text{ nm}$ dalga boyları için zamana göre renk giderim verimleri

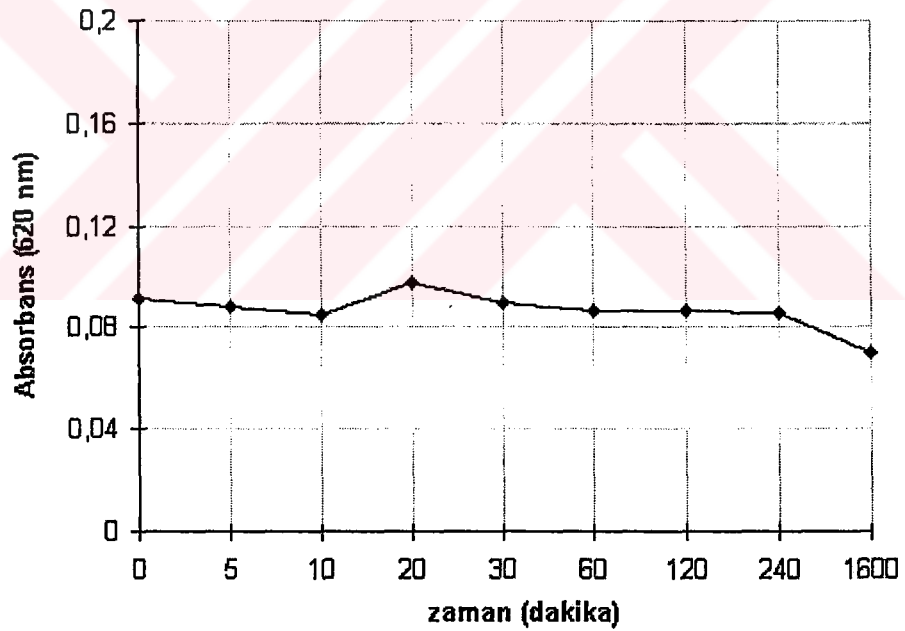
Zaman (dk)	$\lambda = 436 \text{ nm}$			$\lambda = 525 \text{ nm}$			$\lambda = 620 \text{ nm}$		
	Giriş rengi (m^{-1}) RES	Çıkış rengi (m^{-1}) RES	Renk giderimi (%)	Giriş rengi (m^{-1}) RES	Çıkış rengi (m^{-1}) RES	Renk giderimi (%)	Giriş rengi (m^{-1}) RES	Çıkış rengi (m^{-1}) RES	Renk giderimi (%)
0	59	15,6	73,6	45	11,5	74,5	32,4	9,1	72
5	59	15	75	45	11	76	32,4	8,8	73
10	59	14,6	75	45	10,6	76,5	32,4	8,5	74
20	59	16,8	72	45	12,4	73	32,4	9,8	70
30	59	15,2	74	45	12	73	32,4	9	72
60	59	14,4	76	45	10,4	77	32,4	8,7	73
120	59	15,1	74	45	10,4	77	32,4	8,7	73
240	59	14,8	75	45	10,2	77,4	32,4	8,6	74
1600	59	11,7	80	45	8,5	81	32,4	7	78



Şekil 8.10 436 nm'de ölçülen absorbans-zaman grafiği



Şekil 8.11 525 nm'de ölçülen absorbans-zaman grafiği



Şekil 8.12 620 nm'de ölçülen absorbans-zaman grafiği

Elde edilen grafiklere bakıldığında; 0. dakikada alınan numunenin $\lambda=436$ nm'deki RES değeri $15,6 \text{ m}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Renk giderim verimi %73,6'dır. Aynı dalga boyunda 1600 dakika da alınan numunenin RES değeri ise $11,7 \text{ m}^{-1}$ 'dir, verim ise %80'dir. Aynı şekilde $\lambda=525$ nm için 0. dakikadaki RES değeri $11,5 \text{ m}^{-1}$, renk

giderim verimi %74,5 olmuştur. 1600 dakika ise RES değeri $8,5 \text{ m}^{-1}$ 'dir, verim % 81'dur. $\lambda=620 \text{ nm}$ için 0. dakikada RES değeri $9,1 \text{ m}^{-1}$, verim %72, 1600 dakikada $\text{RES}=7 \text{ m}^{-1}$, verim %78'dir.

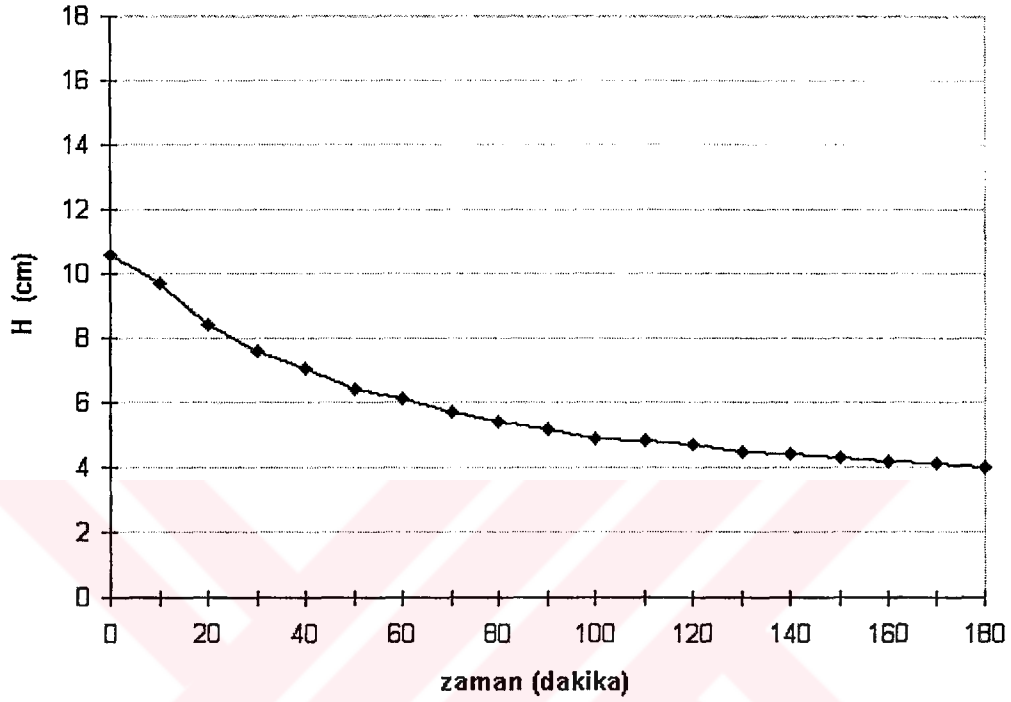
8.5 Çökelme Kinetiği

1,5 saatlik karıştırma süreci sonunda laboratuvar ortamındaki ardışık kesikli biyoreaktördeki aktif çamur yüksekliği her 10 dakikada bir 3 saat boyunca ölçülerek yükseklik – zaman (Şekil 8.13, Şekil 8.15), çökelme hızı – zaman (Şekil 8.14, Şekil 8.16) grafikleri oluşturulmuştur. Bu grafikler, Şekil 6.12 ve Şekil 6.13 ile karşılaştırılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır.

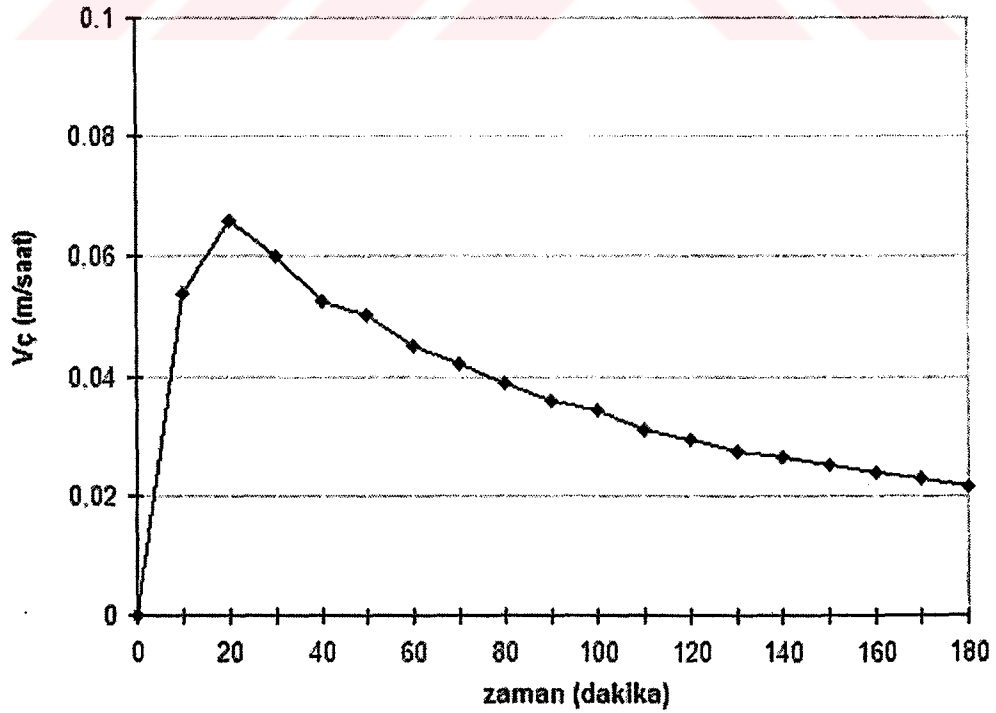
Tablo 8.6 10,6 cm sıvı yüksekliği için elde edilen aktif çamur yükseklikleri, aktif çamurun katettiği mesafe ve çökelme hızı değerleri

Zaman (dk)	Sıvı yüksekliği=10,6 cm			
	Aktif çamur yüksekliği (cm)	Aktif çamurun katettiği mesafe (cm)	Çökelme hızı ($V_{\text{ç}}$, cm/dk)	Çökelme hızı ($V_{\text{ç}}$, m/saat)
0	10,6	0	0	0
10	9,7	0,9	0,09	0,054
20	8,4	2,2	0,11	0,066
30	7,6	3	0,1	0,06
40	7,05	3,5	0,0875	0,0525
50	6,4	4,2	0,084	0,0504
60	6,1	4,5	0,075	0,045
70	5,7	4,9	0,07	0,042
80	5,4	5,2	0,065	0,039
90	5,2	5,4	0,06	0,036
100	4,9	5,7	0,057	0,0342
110	4,8	5,8	0,052	0,0312
120	4,7	5,9	0,049	0,0294
130	4,5	6,1	0,046	0,0276
140	4,4	6,2	0,044	0,0264
150	4,3	6,3	0,042	0,0252
160	4,2	6,4	0,04	0,024
170	4,1	6,5	0,038	0,0228
180	4	6,6	0,036	0,0216

Laboratuar ortamındaki ardışık kesikli reaktör düzeneği ile yapılan deneylerde mevcut sıvı yüksekliği 10,6 cm'dir. Mevcut sıvı yüksekliği referans alınarak yapılan aktif çamur çökeltme yükseklik değerleri aşağıdaki grafikde yer almaktadır.



Şekil 8.13 10,6 cm sıvı yüksekliği referans alınarak elde edilen yükseklik-zaman grafiği

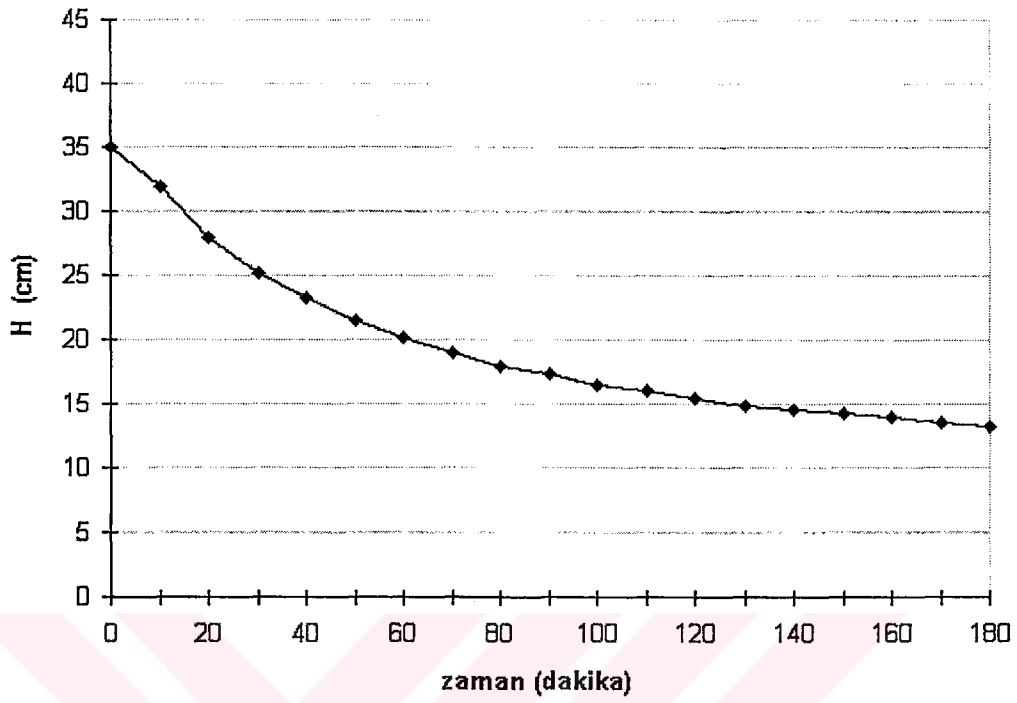


Şekil 8.14 10,6 cm sıvı yüksekliği referans alınarak elde edilen çökeltme hızı-zaman grafiği

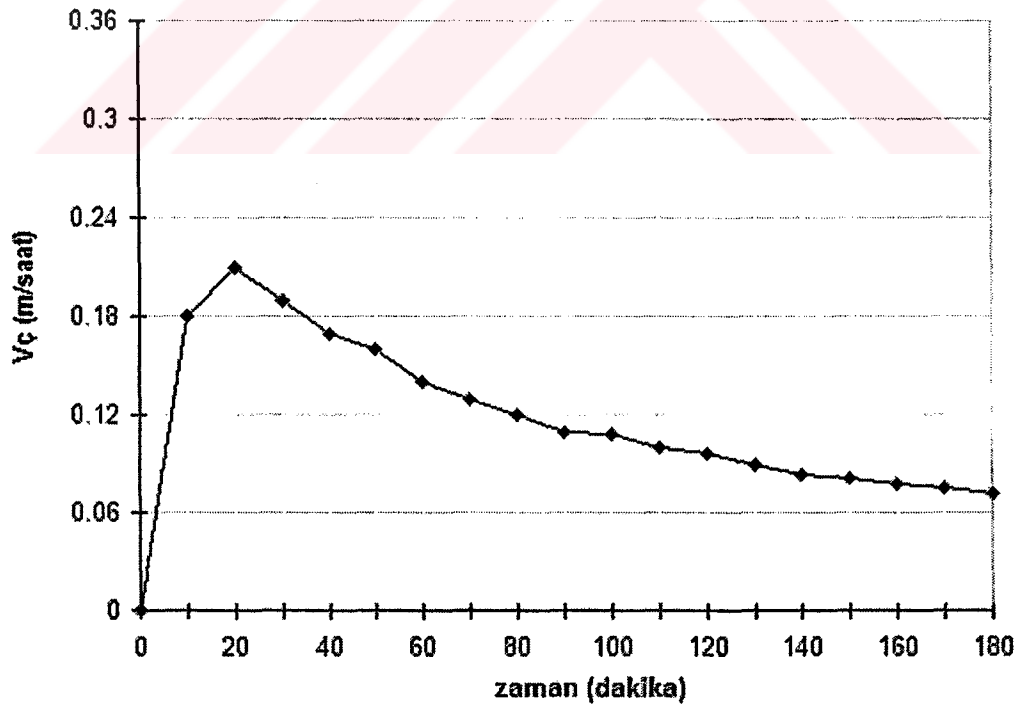
Tablo 8.7 35 cm sıvı yüksekliği için elde edilen aktif çamur yükseklikleri, aktif çamurun katettiği mesafe ve çökme hızı değerleri

Zaman (dk)	Sıvı yüksekliği=35 cm			
	Aktif çamur yüksekliği (cm)	Aktif çamurun katettiği mesafe (cm)	Çökme hızı (Vç, cm/dk)	Çökme hızı (Vç, m/saat)
0	35	0	0	0
10	31,9	3,1	0,31	0,18
20	27,9	7,1	0,35	0,21
30	25,1	9,9	0,33	0,19
40	23,2	11,7	0,29	0,17
50	21,4	13,6	0,27	0,16
60	20,1	14,9	0,24	0,14
70	18,9	16,1	0,23	0,13
80	17,9	17,1	0,21	0,12
90	17,3	17,7	0,19	0,11
100	16,4	18,6	0,18	0,108
110	16,1	18,9	0,17	0,10
120	15,5	19,5	0,16	0,096
130	14,9	20,1	0,15	0,09
140	14,5	20,5	0,14	0,084
150	14,2	20,8	0,135	0,081
160	13,9	21,1	0,13	0,078
170	13,6	21,4	0,125	0,075
180	13,3	21,7	0,121	0,072

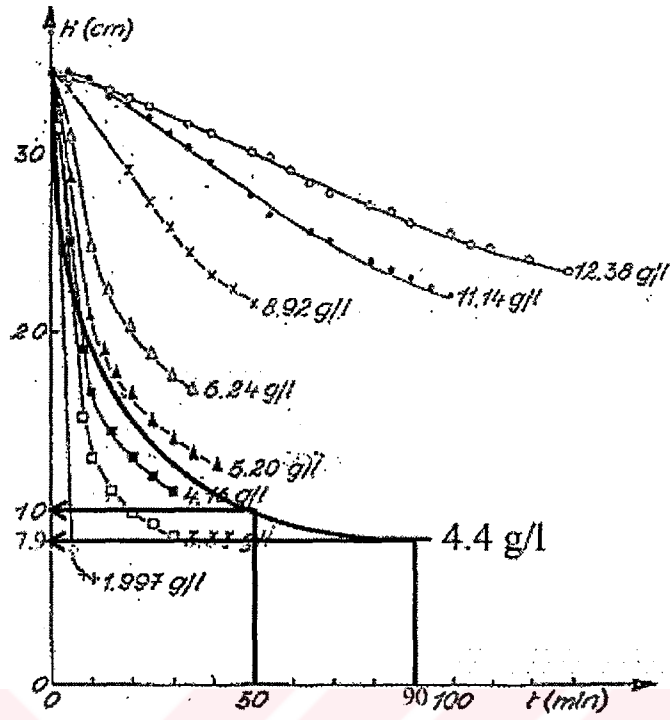
Literatür çalışmasından elde edilen farklı aktif çamur konsantrasyonları için verilen statik çökme eğrileri (Şekil 6.12) dikkate alındığında 35 cm sıvı yüksekliğinin referans alındığı görülmüştür. Deneylerden elde edilen sonuçların literatür bilgileri ile sağlıklı bir şekilde karşılaştırılabilmesi amacıyla bir çökeltim deneyi daha yapılmış ve burada aktif çamur 35 cm yüksekliğinde silindir bir behere konarak aktif çamur yükseklikleri tespit edilmiş ve grafiğe aktarılmıştır.



Şekil 8.15 35 cm sıvı yüksekliği referans alınarak elde edilen yükseklik-zaman grafiği

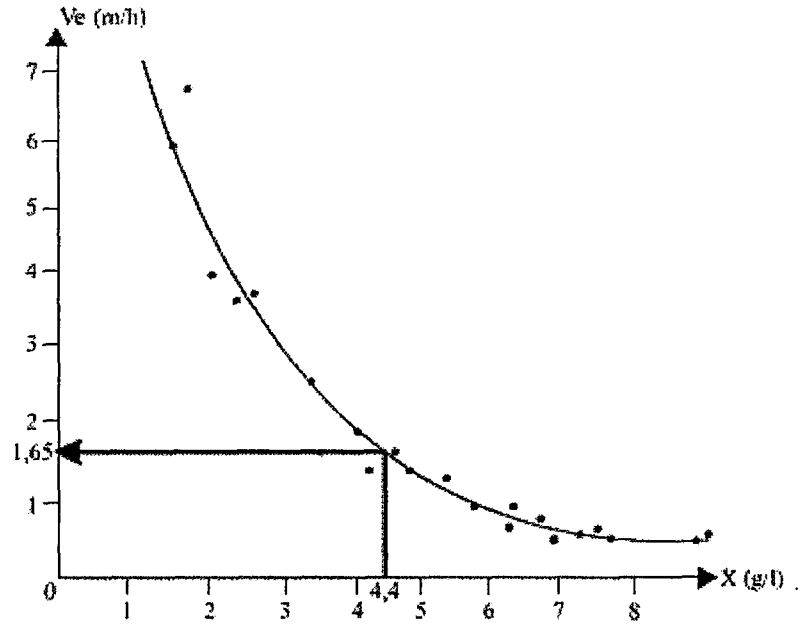


Şekil 8.16 35 cm sıvı yüksekliği referans alınarak elde edilen çökelme hızı-zaman grafiği



Şekil 8.17 Süt endüstrisi atıksuyundan gelen farklı aktif çamur konsantrasyonları için statik çökeltme eğrileri ile 4.4 g/l biyokütle konsantrasyonunun karşılaştırılması [56]

Şekil 8.15'i incelediğimizde; 50 dakika zaman aralığına denk gelen çamur yüksekliği 21,4 cm'dir. Literatürden elde ettiğimiz süt endüstrisi atıksuyundan gelen farklı aktif çamur konsantrasyonları için statik çökeltme eğrilerine baktığımızda (Şekil 6.12) ise Aydın Örme tekstil firması atıksu arıtma tesisine ait biyokütle konsantrasyonu $X=4,4$ g/l değerinin statik çökeltme eğrisi için 50 dakika zaman aralığındaki çamur yüksekliği değeri 10 cm olmuştur (Şekil 8.17). Aydın Örme tekstil firması atıksu arıtma tesisinde uygulanan 1,5 saatlik (90 dakika) çökeltme süresi dikkate alındığında ise, 90 dakikalık süre sonundaki çamur yüksekliği 17,3 cm olurken, literatürdeki $X=4,4$ g/l'ye denk gelen değer 7,9 cm olmuştur.



Şekil 8.18 Kanalizasyon aktif çamuru için çamur konsantrasyonu ve çökeltme hızı arasındaki ilişkinin 4,4 g/l biyokütle konsantrasyonu için karşılaştırılması [56]

Çökeltme hızı-zaman arasındaki ilişkiyi ifade eden grafiğe (Şekil 8.16) baktığımızda ise Aydın Örme tekstil firması atıksu arıtma tesisi havalandırma havuzuna ait aktif çamur, ortalama 0,11 m/saat'lik bir hız ile çökelirken, literatürdeki evsel aktif çamuru için çamur konsantrasyonu ve çökeltme hızı arasındaki ilişkiyi açıklayan grafikte (Şekil 6.13) ise, 4,4 g/l biyokütle konsantrasyonu için ortalama hız 1,65 m/saat olmaktadır (Şekil 8.18).

BÖLÜM 9. SONUÇLAR

Ardışık Kesikli Reaktörlerin (AKR) tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasında kullanılabilirliğinin incelendiği bu çalışmada ilk olarak; Aydın Örne tekstil endüstrisi atıksu arıtma tesisine ait çıkış suyu BOI_5 'sinin (S_e), reaksiyon süresi (t_r) ile değişimi ve bu değişime etki eden reaksiyon sabiti (k) parametresi araştırılmıştır. Aydın Örne tekstil endüstrisi atıksu arıtma tesisine ait S_o , Q , V_b , V_a , V_{ab} , S_e parametrelerinin ortalama değerleri belirlenmiş ve literatürdeki denklemde yerine koyularak doldurma sürecinin sonundaki substrat konsantrasyonu (S_f) elde edilmiştir. Elde edilen değere farklı reaksiyon süreleri (t_r) uygulanarak çıkış suyu (S_e) konsantrasyonları elde edilmiştir. Bulunan sonuçlar grafiklere aktarılmıştır. Teorik çalışmada ($S_o=350$ mg/l, $k=0.21$ sa⁻¹), 1,5 saatlik reaksiyon süresi için BOI_5 değeri 41.5 mg BOI_5 /l'dir. Faaliyette olan sistemin BOI_5 değeri (43 mg BOI_5 /l) ile teorik denklemden elde edilen BOI_5 değerinin (41.5 mg BOI_5 /l) birbirlerine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Diğer bir teorik çalışmada ise ($S_o=2700$ mg/l, $k=0.8$ sa⁻¹), 1,5 saatlik reaksiyon süresi için BOI_5 değeri 57.1 mg BOI_5 /l'dir. Faaliyette olan sistemin BOI_5 değeri (59 mg BOI_5 /l) ile teorik denklemden elde edilen BOI_5 değerinin (57.1 mg BOI_5 /l) birbirlerine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Ardışık Kesikli Reaktörlerin tekstil endüstrisi atıksularının biyolojik arıtımında kullanılabileceği ve teorik çalışmada kullanılan denkleminde optimum işletme şartlarında Ardışık Kesikli Reaktör kinetiğini temsil edebileceği sonucuna varılmıştır.

Yapılan deneysel çalışmalarda; Aydın Örne tekstil firmasının işleyen ardışık kesikli reaktör atıksu arıtma tesisinden alınan aktif çamura ve havalandırma havuzu giriş suyuna eklenen 3 farklı beyaz çürükçülün renk giderim verimleri gözlenmiştir. İşleyen sistemden alınan aktif çamur ve giriş suyu ile laboratuvar ortamında yapılan deneylerde ilave edilen canlı hücrelerin tekstil atıksularındaki renk giderim verimini arttırdığı belirlenmiştir.

Rengi giderilmesi istenen Aydın Örne San. ve Tic. A.Ş. arıtma tesisi giriş suyunun özellikleri şunlardır; RES (436 nm) için 59 m^{-1} , RES (525 nm) için 45 m^{-1} , RES (620 nm) için $32,4 \text{ m}^{-1}$ 'dir. Hücre ilavesiz ve 3 farklı beyaz çürükçülün teker teker ilave edilmesiyle toplam 4 adet deney yapılmıştır.

Hücre ilave edilmeden yapılan deneylerde 0-1600 dakika zaman aralığında 0, 5, 10, 20, 30, 60, 120, 240, 1600 dakika aralıklarla alınan numunelerin renk okumalarına baktığımızda; 1,5 saat reaksiyon ve 1,5 saat de çökelme süresi olmak üzere toplam 3 saatlik sürecin sonunda 0. dakikada alınan numunenin $\lambda=436 \text{ nm}$ 'deki RES değeri $10,1 \text{ m}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Sistemin renk giderim verimi %83'dür. 1600 dakika sonra alınan numunenin $\lambda=436 \text{ nm}$ 'deki RES değeri ise $9,5 \text{ m}^{-1}$ 'dir. 1600 dakikalık (yaklaşık 1 gün) bekleme sürecinin sonunda elde edilen renk giderim verimi %84 olmuştur. $\lambda=525 \text{ nm}$ 'deki ölçüm sonuçlarına baktığımızda; 0. dakikadaki RES değeri $9,7 \text{ m}^{-1}$, renk giderim verimi %78 olmuştur. 1600 dakika ise RES değeri $7,3 \text{ m}^{-1}$ 'e düşmüştür, verim % 84'dür. $\lambda=620 \text{ nm}$ 'de ise 0. dakikada RES değeri $5,7 \text{ m}^{-1}$ iken 1600 dakikada RES= $5,5 \text{ m}^{-1}$, verim ise her iki zaman süreci için %83 olarak kalmıştır.

Phanerochacta chrysosporium canlı biyokütlesi ile yapılan deneylerde 0-1600 dakika zaman aralığında 0, 5, 10, 20, 30, 60, 120, 240, 1600 dakika aralıklarla alınan numunelerin renk okumalarına baktığımızda ise; 1,5 saat reaksiyon ve 1,5 saat de çökelme süresi olmak üzere toplam 3 saatlik sürecin sonunda 0. dakikada alınan numunenin $\lambda=436 \text{ nm}$ 'deki RES değeri $19,3 \text{ m}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Renk giderim verimi %67'dir. Aynı dalga boyunda 1600 dakika da alınan numunenin RES değeri ise $13,4 \text{ m}^{-1}$ 'dir, verim ise %77'dir. Aynı şekilde $\lambda=525 \text{ nm}$ için 0. dakikadaki RES değeri $16,2 \text{ m}^{-1}$, renk giderim verimi %64 olmuştur. 1600 dakika ise RES değeri $9,5 \text{ m}^{-1}$ 'dir, verim % 79'dur. $\lambda=620 \text{ nm}$ için 0. dakikada RES değeri $10,2 \text{ m}^{-1}$, verim %68,5, 1600 dakikada RES= $7,9 \text{ m}^{-1}$, verim %76'dır. Bulunan sonuçlara baktığımızda; 1,5 saatlik reaksiyon ve 1,5 saatlik de çökelme süresine ilave olarak beklenen 1600 dakikalık sürenin verimi ortalama %10-11 civarında arttırdığı saptanmıştır.

Trametes versicolor canlı biyokütlesi ile yapılan deneylerde 0-1600 dakika zaman aralığında 0, 5, 10, 20, 30, 60, 120, 240, 1600 dakika aralıklarla alınan numunelerin renk okumalarına baktığımızda ise; 1,5 saat reaksiyon ve 1,5 saat de çökelme süresi olmak üzere toplam 3 saatlik sürecin sonunda 0. dakikada alınan numunenin $\lambda=436$ nm'deki RES değeri $17,4 \text{ m}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Renk giderim verimi %71'dir. Aynı dalga boyunda 1600 dakika da alınan numunenin RES değeri ise $9,7 \text{ m}^{-1}$ 'dir, verim ise %83,5'dir. Aynı şekilde $\lambda=525$ nm için 0. dakikadaki RES değeri $12,4 \text{ m}^{-1}$, renk giderim verimi %72 olmuştur. 1600 dakika ise RES değeri $6,9 \text{ m}^{-1}$ 'dir, verim % 85'dur. $\lambda=620$ nm için 0. dakikada RES değeri $9,7 \text{ m}^{-1}$, verim %70, 1600 dakikada RES= $6,5 \text{ m}^{-1}$, verim %80'dir. Bulunan sonuçlara baktığımızda; 1,5 saatlik reaksiyon ve 1,5 saatlik de çökelme süresine ilave olarak beklenen 1600 dakikalık sürenin verimi ortalama %11-12 civarında arttırdığı saptanmıştır.

Pleurotus sajur-caju canlı biyokütlesi ile yapılan deneylerde 0-1600 dakika zaman aralığında 0, 5, 10, 20, 30, 60, 120, 240, 1600 dakika aralıklarla alınan numunelerin renk okumalarına baktığımızda ise; 1,5 saat reaksiyon ve 1,5 saat de çökelme süresi olmak üzere toplam 3 saatlik sürecin sonunda 0. dakikada alınan numunenin $\lambda=436$ nm'deki RES değeri $15,6 \text{ m}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Renk giderim verimi %73,6'dir. Aynı dalga boyunda 1600 dakika da alınan numunenin RES değeri ise $11,7 \text{ m}^{-1}$ 'dir, verim ise %80'dir. Aynı şekilde $\lambda=525$ nm için 0. dakikadaki RES değeri $11,5 \text{ m}^{-1}$, renk giderim verimi %74,5 olmuştur. 1600 dakika ise RES değeri $8,5 \text{ m}^{-1}$ 'dir, verim % 81'dur. $\lambda=620$ nm için 0. dakikada RES değeri $9,1 \text{ m}^{-1}$, verim %72, 1600 dakikada RES= 7 m^{-1} , verim %78'dir. Bulunan sonuçlara baktığımızda; 1,5 saatlik reaksiyon ve 1,5 saatlik de çökelme süresine ilave olarak beklenen 1600 dakikalık sürenin verimi ortalama %6-7 civarında arttırdığı saptanmıştır.

Aydın Örme tekstil endüstrisinde mevcut işletilmekte olan ardışık kesikli reaktörün 1,5 saatlik reaksiyon ve 1,5 saatlik çökelme süreci olmak üzere toplam 3 saatlik sürenin sonunda renk giderim verimi 436 nm için %83, 525 nm için %78 ve 620 nm için %83 olmuştur. 3 saatlik süreye ilave olarak beklenen 24 saatin sonucunda ise renk giderim verimi 436 nm için %84, 525 nm için %84 ve 620 nm için %83 olmuştur. 1,5 saatlik reaksiyon süresi ve 1,5 saatlik çökelme süresi olmak üzere toplam 3 saatlik tekstil atıksuyu ve klasik aktif çamurun temasından sonra arıtılmış

sudaki yapılan renk ölçüm sonuçlarına göre arada önemli bir fark olmadığı, değerlerin birbirine çok yakın görülmüştür. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda, reaksiyon (1,5 saat) ve çökeltme süresi (1,5 saat) olmak üzere toplam 3 saatin sonunda renk giderim sonuç noktasına varıldığı görülmektedir. 3 saate ilave olarak beklenen 24 saatin renk giderici bir etkisi olmamıştır.

Aydın Örme tekstil endüstrisi mevcut atıksu arıtma sisteminden alınan aktif çamur ve ham atıksu üzerine *Phanerochaeta chrysosporium*, *Trametes versicolor*, *Pleurotus sajor-caju* hücrelerinin ayrı ayrı ilave edilmesi ile yapılan üç farklı ileri aktif çamurlu ardışık kesikli biyoreaktör çalışmalarında ise; 620 nm ve 0. dakika (1,5 saat reaksiyon ve 1,5 saat çökeltme süresi sonu) dikkate alındığında sırası ile renk giderim verimleri; %68,5, %70, %72 olduğu görülmektedir. 620 nm ve 1600. dakika (1,5 saat reaksiyon ve 1,5 saat çökeltme süresine ilave olarak) dikkate alındığında sırası ile renk giderim verimleri; %76, %80, %78 olduğu ve hücreler arasında büyük farklılıklar olmadığı görülmektedir. Klasik aktif çamur (yeni hücre ilave edilmemiş) ile ileri aktif çamur (yeni hücre ilave edilmiş) sistemleri tekstil endüstrisindeki renk giderim verimleri açısından karşılaştırıldığında; klasik aktif çamur için 1600 dakika ilave beklemenin verimde bir artışa sebep olmadığı fakat ileri aktif çamur için ise 1600 dakikalık ilave beklemenin renk giderim veriminde yaklaşık %10'luk bir artışa neden olduğu gözlemlenmiştir. Buna sebep olarak, klasik aktif çamurun optimum çamur yaşına erişmiş olmasına (4,6 gün) rağmen, ileri aktif çamur için ise optimum çamur yaşı oluşmasının devam etmekte olduğu söylenebilir. Ayrıca optimum çamur yaşı oluşum süresince de biyolojik parçalanabilirlik artabilmektedir.

Yapılan literatür çalışmalarında [54, 56]; klasik aktif çamur son çökeltim havuzundaki engelli çökeltim kinetiği ve davranış modeli incelenmiş ve ardışık kesikli reaktör sistemlerindeki çökeltme kinetiğinin genel olarak engelli çökeltme kinetiğine uygun olabileceği düşünülmüştür. Yapılan deneysel çalışmalarla da bunun uygunluğu saptanmaya çalışılmış, elde edilen veriler doğrultusunda yükseklik-zaman ve çökeltme hızı-zaman grafikleri $h_0=10,6$ cm ve $h_0=35$ cm için çizilmiştir (Şekil 8.13, Şekil 8.14, Şekil 8.15, Şekil 8.16). Aydın Örme tekstil firması atıksu arıtma tesisi havalandırma havuzundan alınan aktif çamur ile $h_0=35$ cm'ye uygun olarak yapılan çökeltim deneylerinden elde edilen verilerle statik çökeltme eğrisi

çizilmiştir (Şekil 8.15). Bu grafiği incelediğimizde; 50 dakika zaman aralığına denk gelen çamur yüksekliği 21,4 cm'dir. Literatürden elde ettiğimiz süt endüstrisi atıksuyundan gelen farklı aktif çamur konsantrasyonları için statik çökeltme eğrilerine baktığımızda (Şekil 6.12) ise Aydın Örne tekstil firması atıksu arıtma tesisine ait biyokütle konsantrasyonu $X=4,4$ g/l değerinin statik çökeltme eğrisi için 50 dakika zaman aralığındaki çamur yüksekliği değeri 10 cm olmuştur. Aydın Örne tekstil firması atıksu arıtma tesisinde uygulanan 1,5 saatlik (90 dakika) çökeltme süresi dikkate alındığında ise, 90 dakikalık süre sonundaki çamur yüksekliği 17,3 cm olurken, literatürdeki $X=4,4$ g/l'ye denk gelen değer 7,9 cm olmuştur. Literatürdeki grafikten elde edilen değer (50 dakika için 10 cm ve 90 dakika için 7,9 cm) ile deneysel çalışmalardan elde edilen değerlerin (50 dakika için 21,4 cm ve 90 dakika için 17,3 cm) üst üste çakışmadığı görülmektedir.

Çökeltme hızı-zaman arasındaki ilişkiyi ifade eden grafiğe (Şekil 8.16) baktığımızda ise Aydın Örne tekstil firması atıksu arıtma tesisi havalandırma havuzuna ait aktif çamur, ortalama 0,11 m/saat'lik bir hız ile çökeltirken, literatürdeki evsel aktif çamuru için çamur konsantrasyonu ve çökeltme hızı arasındaki ilişkiyi açıklayan grafikte (Şekil 6.13) ise, 4,4 g/l biyokütle konsantrasyonu için ortalama hız 1,65 m/saat olmaktadır.

Sonuç olarak, klasik aktif çamur son çökeltim havuzundaki çökeltme kinetiği (engelli çökeltme kinetiği) davranış modeli ile ardışık kesikli reaktör çamur çökeltme kinetik modelinin bire bir benzerlik göstermediği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Metcalf and Eddy. Inc., Wastewater Engineering, NY; McGraw-Hill, 1991.
- [2] Wilderer, A.P., Irvine, L. R. And Goronszy, C. M., Sequencing Batch Reactor Technology. Scientific and Technical Report, IWA, 2001.
- [3] Tünay, O., Endüstriyel Kirlenme Kontrolü, İstanbul Teknik Üniversitesi, 1996.
- [4] Şengül, F., Endüstriyel Atıksuların Arıtılması, 9 Eylül Üniversitesi, İzmir, 1989.
- [5] Gezergeçen Asma, S., Tekstil Sanayi Atıksularının Arıtılması Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans tezi, Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, 1998.
- [6] Anış, P., Tekstil Ön Terbiyesi, Uludağ Üniversitesi, 1998.
- [7] Kocaer, F. O., Aklan, U., Boyar Madde İçeren Tekstil Atıksularının Arıtım Alternatifleri, Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 7, Sayı 1, 2002.
- [8] Akgün, T., Adsorpsiyon Teknikleriyle Tekstil Atıksularının Renklerinin Giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1999.
- [9] Selçuk, H., Tekstil Atıksularında Kimyasal Yöntemlerle Renk Giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 1997.
- [10] Germirli, F., Physical-Chemical Systems for Treatment of Textile Dying Wastewaters, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., 1986.
- [11] Göknil, H., Toröz, İ., Çimşit, Y., Endüstriyel Atıksuların Kontrol ve Kısıtlama Esasları Projesi, Tekstil Endüstrisi, Çevre Şehircilik Uygulama Araştırma Merkezi, İ.T.Ü., Aralık, 1984.
- [12] Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği, 1988. T.C. Çevre Bakanlığı.
- [13] EPA, 1996. Manula Best Management Practices for Pollution Prevention in the Textile Industry, US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, EPA/625/R-96/004, Washington.
- [14] Yapraklı, B., Tekstil Endüstrisi Boyama Atıksularının Karakterizasyonu ve Biyolojik Arıtılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., 1997.

- [15] Kırıl, B., *Tekstil Atıksularından Koagülasyon Yöntemiyle Boyarmadde Giderimi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, 2002.
- [16] Koyugölge, T., *Yünlü Tekstil Endüstrisi Atıksuyunun Biyolojik Arıtımı ve Renk Giderimi*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., 1994.
- [17] Sevimli, M. F., *Tekstil Endüstrisi Atıksularından Ozonlama İle Renk Giderimi ve Ozonlamanın Biyolojik Artılabirliğe Etkisi*, 2000.
- [18] Correia, V. M., Stephonson, T. And Judd, S. J., 1994, *Characterisation of Textile Wastewaters-A Review*, *Environmental Technology*, 15, 917-929.
- [19] Jamrah, I. A. And Abu-Ghunmi, N. L. *Biological Treatment of Textile Wastewater Using Sequencing Batch Reactor Technology*. *Water Science & Technology*, 2001, vol. 44, no. 5, pp 85-92.
- [20] Başıbüyük, M., Yüceer, A., Yılmaz, T., *Tekstil Atıksularında Renk Giderilmesinde Kullanılan İleri Teknolojiler*, Kayseri I. Atıksu Sempozyumu, 1998.
- [21] Güneş, Y., *Ozonlama Oksidasyonun Tekstil Endüstrisi Atıksularının Artılabirliğine Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., 1999.
- [22] Aydın, A.A., Kıyaklı, G. *İçme Suyu Arıtımında Paket Sistemlerin Kullanılması, Bitirme Ödevi*, İ.Ü. Müh. Fak. Çevre Mühendisliği, 1997.
- [23] Stahr, R. W., Boepple, C. P., Knocke, W. R., 1980. *Textile Waste Treatment: Color Removal and Solids Handling Characteristics*. *Proc. 35, Purdue*, 186-199.
- [24] Grau, P., 1991. *Textile Industry Wastewaters Treatment*. *Wat. Sci. Techn.*, 24, 97-103.
- [25] Ganjidoust, H., Samadian, M., Deyhool, F., 1995. *Removal of Dyes by Sorption on Soil From Textile Industries*. *Prep. 3rd Int. Conference Appropriate Waste Management Technologies for Developing Countries*, 617-629, Nagpur, India.
- [26] Mehrotra, R., Prasad, S., Srivastav, B. K., 1995. *Removal of Colour From Dye-House Effluents by Phisico-Chemical Processes*. *Prep. 3rd Int. Conference Appropriate Waste Management Technologies for Developing Countries*, 617-629, Nagpur, India.
- [27] Panswad, T., Wongchaisuwan, S., 1986. *Mechanism of Dye Wastewater Colour by Magnesium Carbonate-Hydrates Basic*. *Wat. Sci. Techn.*, 18, 3, 139-144.
- [28] Socha, K., 1991. *Treatment of Textile Effluents*, *Textile Month*, 12, 52-56.
- [29] Strickland, A. F. and Perkins, W. S. 1995. *Decolorization of Continuous Dyeing Wastewater by Ozonation*, *Textile Chemist and Colorist*, 27(5), 11-15.

- [30] Robinson, T. McMullan, G. Marchant, R. and Nigam, P. 2001. Remediation of Dyes in Textile Effluent: A Critical Review on Current Treatment Technologies With a Proposed Alternative, *Bioresource Technology*, 77, 247-255.
- [31] Kuo, W. G., Decolorization Dye Wastewater With Fenton's Reagent, *Wat. Res.* Vol. 26, No. 7, pp 881-886, 1992.
- [32] Slokar, Y. M. And Marechal, A.M.L. 1998. Methods of Decolorization of Textile Wastewaters, *Dyes and Pigments*, 37 (4), 335-356.
- [33] Kabdaşlı, I., Tünay, O., Artan, N., Orhon, D., Acrylid Dyeing Wastewaters Characterization and Treatability, *Prep, 3rd Int., Conf., Appropriate Waste Tech. For Deo. Countries*, pp 339-348. India, 1995.
- [34] Ölmez, T., *Tekstil Endüstrisinde Reaktif Boya Banyolarında Ozon İle Renk Giderimi*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü., 1999.
- [35] Vlyssides, A. G., Papaioannou, D. Loizidou, M. Karlis, P. K. and Zorpas, A. A., 2000. Testing an Electrochemical Method for Treatment of Textile Dye Wastewater, *Waste Management*, 20, 569-574.
- [36] Tünay, O., Kabdaşlı, I., Eremektar, G., Orhon, D., Color Removal from Textile Wastewaters, *Wat. Sci. Tech.* Vol. 34, no. 11, pp 9-16, 1996.
- [37] Tünay, O., Tanılı, İ., Övez, S., Artan, N., *Bir Tekstil Boyama Tesisinin Atıksularının Karakterizasyonu ve Arıtılabilirliği*.
- [38] Rozzi, A., Antonelli, M. and Arcari, M., 1999. Membrane Treatment of Secondary Textile Effluents For Direct Reuse, *Water Science and Technology*, 40 (4-5), 409-416.
- [39] İnce, O., *Endüstriyel Atıksuların Arıtma Verimini Arttıran Yeni Bir Teknoloji; Membran Crossflow Ultrafiltrasyon Tekniği*, İ.T.Ü. 2. Endüstriyel Kirlenme Sempozyumu, S. 109-118, İstanbul, 1990.
- [40] Wilmott, 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.
- [41] 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 Processes, *Biochemistry*, 31 (5), 435-442.
- [42] Oneill, C., Hawkewes, F. R., Hawkewes, 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.

- [43] 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.
- [44] 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 Decolorization of Dyes, *Water Science And Technology*, 40 (8), 131-136.
- [45] Kapdan, İ. A. ve Kargı, F., 2000. Atıksulardan Tekstil Boyarmaddesinin *Coriolus Versicolor* İle Dolgulu Kolon Reaktörde Giderimi, İ.T.Ü. 7. Endüstriyel Kirlenme Kontrolü Sempozyumu, İstanbul, 1-7.
- [46] Oneill, C., Lopez, A., Estevez, 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.
- [47] S. H. Lin ve C. F. Peng. Acontinuous Fenton's Process for Treatment of Textile Wastewater. *Environmental Technology*, 16 pp. 693-699, 1995.
- [48] Aydın Örme Tekstil Fabrikası İşletme Notları
- [49] Şeker, S., İleri, R., Öztürk, M., Tekstil Endüstrisi Atıksularındaki Renk Sorununun Biyoteknolojik Metod İle Giderilmesi, Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi ve Ziraat Fakültesi, 2000 GAP-Çevre Kongresi, 16-18 Ekim 2000, Şanlıurfa.
- [50] Burcu Özerkan, Ardışık Kesikli Biyoreaktör ve Kinetiği, Bitirme Ödevi, 2001.
- [51] Sequencing Batch Reactor Technology, Peter A. Winderer, Robert L. Irvine and Mervyn C. Goronszy. Scientific and Technical Report No 10, IWA Publishing, 2001.
- [52] Demircanlı, Ü., Renkli Tekstil Atıksularının Arıtılması Üzerine Bir Araştırma, Doktora Tezi, Ege Üni. Tekstil Müh. Böl., İzmir, 1995.
- [53] Droste, R. L., Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment, John Wiley & Sons. Inc. p. 557, pp 574-578, 1997.
- [54] Kadir Kestioğlu, Mehmet Şen, Su ve Atıksu Arıtımında Fiziksel Temel İşlemler, Çevre Müh. Böl. Bursa, 2003.
- [55] Nursel Kıratlı, Tekstil Atıksularındaki Renk Sorununun Biyosorpsiyon Yöntemi İle Giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Ocak 2004.
- [56] Verstraete, W., "Biotechnological Processes in Environmental Technology, Course Notes", University of Gent, Belgium, 1998-1999.
- [57] www.microbes.org/microbes/phanero.htm

[58] botit.botany.wisc.edu/toms_fungi/may97.html

[59] www.pilzfotopage.de/Aphyllos/pages/Trametes%2...

[60] www.elessar.nl/paddo/paddos3.html

[61] www.fungiphotos.com/.../pleurotus_pulmonarius.jpg





EKLER

		BOYALAR FORMU İŞLETME (OCAK 2003)										
Sıra No	Ürün Adı	Marka	Renk	Kullanım Yeri	Kullanım Miktarı	Güç	Yük	Yük	Yük	Yük	Yük	Toplam
1	Dipers (PFS Boya)											
1	Foron Brilliant Yellow S-6GL	Clasat	Pa Boya	84,720	84,720	0,80	0,01	40,20	SFR	0,300		419.659,84
1	Foron Rubin S-2GFL 150	Clasat	Pa Boya	13,997	13,997	0,80	0,00	70,00	SFR	0,300		77.714,00
1	Foron Blue S-BGL 300	Clasat	Pa Boya	27,171	27,171	0,80	0,03	74,00	SFR	0,300		26.054.264,46
1	Foron Black S-2RLS 200	Clasat	Pa Boya	43,041	43,041	0,80	2,46	10,00	SFR	0,300		30.600.800,90
1	Foron Navy S-2GRI 200	Clasat	Pa Boya	65,000	65,000	0,80	0,00	10,00	SFR	0,300		0,00
1	Foron Brown S - 2 BL	Clasat	Pa Boya	5,000	5,000	0,80	0,00	10,00	SFR	0,300		0,00
1	Foron Yellow Brown S-2 KFL 150	Clasat	Pa Boya	26,417	26,417	0,80	0,00	10,00	SFR	0,300		23.714.610,19
1	Foron Turquoise S - 2 BN	Clasat	Pa Boya	23,918	23,999	0,80	0,19	4,00	SFR	0,300		8.339.782,27
1	Foron Yellow RD - 4 GRI	Clasat	Pa Boya	100,273	74,827	1,00	13,97	17,15	SFR	1,000.000		1.089.577.343,80
1	Foron Rubin RD - CFL 200	Clasat	Pa Boya	63,330	144,649	0,80	0,01	17,21	SFR	1,000.000		1.698.049.114,36
1	Foron Navy RD - RLS 300	Clasat	Pa Boya	117,268	113,012	1,00	0,00	22,34	SFR	1,000.000		788.348.483,76
1	Foron Blue RD - GLF	Clasat	Pa Boya	84,270	123,099	0,80	0,10	20,01	SFR	1,000.000		2.279.215.343,09
1	Foron Yellow Brown RD-ERS	Clasat	Pa Boya	156,070	174,344	0,80	0,10	37,74	SFR	0,300		789.608.336,80
1	Foron Scarlet RD-FRS 200	Clasat	Pa Boya	36,029	41,730	0,80	0,00	0,00	SFR	0,300		164.167.429,82
1	Foron Black RD - J GN 300	Clasat	Pa Boya	32,892	35,663	0,80	0,00	0,27	SFR	0,300		366.283.041,71
1	Foron Brilliant Violet S 3 - RI	Clasat	Pa Boya	24,924	24,998	0,80	0,00	0,00	SFR	0,300		0,00
1	Dianz Brilliant Violet B	Dyanz	Nano	24,990	24,990	0,50	0,00	0,00				PARA ÇIKIŞI SAĞI
1	Dianz Brilliant Violet 4RS - FS % 400	Dyanz	Nano	1,98	1,98	0,81	0,04	0,00				PARA ÇIKIŞI SAĞI
1	Setapers Red RL % 200	Seta	Pa Boya	56,841	80,000	1,00	0,11	75,28	SFR	0,300		876.241.236,73
1	Setapers Yellow 6-CBL % 200	Seta	Pa Boya	23,244	4,17	1,11	1,37	10,59	SFR	0,300		60.553.143,87
1	Setapers Navy Blue SBL % 200	Seta	Pa Boya	48,078	64,458	0,80	0,18	4,00	SFR	0,300		62.696.800,88
1	Setapers Blue FBI % 150	Seta	Pa Boya	42,371	19,249	0,80	1,89	4,00	SFR	0,300		13.362.350,20
1	Setapers Blue HSE % 200	Seta	Pa Boya	49,809	50,158	0,80	0,20	11,50	SFR	0,300		3.638.828,19
1	Setapers Orange J - RLS % 150	Seta	Pa Boya	46,876	21,506	0,80	0,11	11,23	SFR	0,300		165.187.484,89
1	Setapers Scarlet 2 BLS % 200	Seta	Pa Boya	12,695	44,268	0,80	1,07	7,01	SFR	0,300		18.643.882,48
1	Setapers Blue TFBL % 300	Seta	Pa Boya	47,397	47,197	0,80	0,10	10,00	SFR	0,300		0,00
1	Setapers Yellow SG % 200	Seta	Pa Boya	47,011	47,011	0,80	0,10	13,64	SFR	0,300		0,00
1	Setapers Blue RGFN % 200	Seta	Pa Boya	23,448	24,144	0,80	0,10	10,00	SFR	0,300		24.611.782,24
1	Setapers Yellow S G-CD % 200	Seta	Pa Boya	1,00	1,00	0,80	0,00	0,00	SFR	0,300		0,00
1	Setapers Blue FG-CD % 200	Seta	Pa Boya	1,00	1,00	0,80	0,00	0,00	SFR	0,300		0,00
1	Setapers Red FG-CD % 200	Seta	Pa Boya	1,00	1,00	0,80	0,00	0,00	SFR	0,300		0,00
1	Nylonan Yellow ERIM	Clasat	Pa Boya	17,437	17,437	0,80	0,00	0,00	SFR	0,300		0,00
1	Nylonan Red EBL	Clasat	Pa Boya	30,000	30,000	0,80	0,00	0,00	SFR	0,300		0,00
1	Nylonan F. d EBNI	Clasat	Pa Boya	21,958	21,958	0,80	0,00	0,00	SFR	0,300		0,00
1	Nylonan Blue EBL	Clasat	Pa Boya	22,382	22,382	0,80	0,00	0,00	SFR	0,300		0,00
1	Nylonan Yellow NGRH	Clasat	Pa Boya	24,882	25,195	0,80	0,50	0,00	SFR	0,300		11.805.876,72
1	Nylonan Red NGRH	Clasat	Pa Boya	42,478	44,311	0,80	0,74	0,00	SFR	0,300		68.297.548,11
1	Nylonan Red-Blue NFL	Clasat	Pa Boya	28,037	29,187	0,80	0,10	0,00	SFR	0,300		68.926.984,47
1	Nylonan Yellow N-TGL	Clasat	Pa Boya	23,779	23,779	0,80	0,00	0,00	SFR	0,300		0,00
1	Lanasan Brill Yellow CF-BA	Clasat	Pa Boya	40,000	40,000	0,80	0,00	0,00	SFR	0,300		0,00
1	Lanasan Brill Red CF - BA	Clasat	Pa Boya	18,297	44,726	0,80	0,41	44,08	SFR	0,300		836.335.883,90
1	Lanasan Brill Blue CF - BA	Clasat	Pa Boya	46,597	35,547	0,80	0,31	0,00	SFR	0,300		0,00
1	Lanasan Yellow CF B	Clasat	Pa Boya	26,000	28,217	0,80	0,10	0,00	SFR	0,300		63.663.207,88
1	Lanasan Navy CFA	Clasat	Pa Boya	18,584	25,656	0,80	0,10	0,00	SFR	0,300		689.492.689,00
1	Lanasan Red N-GA (CFB)	Clasat	Pa Boya	20,768	16,718	0,80	0,00	0,00	SFR	0,300		0,00
1	Lanasan Brown S - DL	Clasat	Pa Boya	24,000	24,000	0,80	0,00	0,00	SFR	0,300		0,00
1	Lanasan Navy S - DL	Clasat	Pa Boya	49,000	49,000	0,80	0,00	0,00	SFR	0,300		0,00
1	Lanasan Black S - DL	Clasat	Pa Boya	25,000	25,000	0,80	0,00	0,00	SFR	0,300		0,00

Handwritten note or signature at the bottom of the page.

		BOYALAR FORMU İŞLETME (OCAK 2002)											Kısmi No: 601.001 Tarih: 01.01.2002 Sayfa No: 2
İSTİFA	BOYA ADI	FİRMA	COĞRAFI	WGT	ORJENEL YATIRIM (KURU)	YATIRIM FİYATI	AYLIK TÜKETİM	AYLIK ÜRETİM	AYLIK FİYAT	AYLIK ÜRETİM FİYATI	AYLIK ÜRETİM FİYATI	AYLIK ÜRETİM FİYATI	AYLIK ÜRETİM FİYATI
1	Sandolan Brill Red K-3B	Clucel	PA Boya	17,94	17,94	0,00	0,00			2,60			PARA cinsinde
1	Sandolan Blue MF-DIN	Clucel	PA Boya	14,00	14,00	0,00	0,00	11,00	3,00	0,00			370.898,64
1	Solar Turquoise Blue FBI, 400	Clucel	PA Boya	11,683	11,683	0,00	0,00	11,68	0,00	0,00			0,00
1	Neutran Black M-RX	Beau	PA Boya	200,012	198,009	800,30	457,20	11.517.000,00					6.655.649.716,00
1	Lanaset Yellow 2R	Clucel	PA Boya	52,854	136,122	0,00	77,73	10,00					866.463.426,48
1	Lanaset Yellow 4GN	Clucel	PA Boya	58,411	58,260	0,00	0,20	0,00					6.571.706,78
1	Lanaset Bordeaux D	Clucel	PA Boya	111,931	108,503	0,00	28,54	28,00					497.883.604,03
1	Lanaset Bruves B	Clucel	PA Boya	29,530	30,900	0,00	0,30	10,50					5.914.532,57
1	Lanaset Navy R	FVA	PA Boya	29,128	57,730	0,00	0,20	0,00					132.752.696,31
1	Lanaset Blue 2 RA	Clucel	PA Boya	6,702	76,414	0,00	1,10	71,80					216.218.835,48
1	Lanaset Blue 5C	Clucel	PA Boya	20,334	21,699	0,00	1,20	10,00					78.392.831,79
1	Lanaset Grey G	Clucel	PA Boya	26,264	28,750	0,00	0,50	10,00					13.458.351,97
1	Lanaset Violet B	Clucel	PA Boya	59,919	59,610	0,00	0,00	0,00					0,00
1	Lanaset Red C	Clucel	PA Boya	73,714	79,127	0,00	1,00	10,00					108.650.577,85
1	Tecilton Yellow 2G	Clucel	PA Boya	30,929	33,520	0,00	0,50	10,00					0,00
1	Tecilton Yellow 3R	Clucel	PA Boya	15,809	16,122	0,00	0,00	10,00					17.737.279,21
1	Tecilton Red 2B	Clucel	PA Boya	23,670	23,847	0,00	0,17	10,00					6.118.121,89
1	Tecilton Blue 4R	Clucel	PA Boya	17,594	17,513	0,00	0,10	10,00					3.349.892,40
1	Ertonyl Black M-R	Clucel	PA Boya	173,932	153,771	0,00	0,50	10,00					4.500.637,36
1	Ertonyl Red A-3G	Clucel	PA Boya	42,878	51,793	0,00	0,00	10,00					223.876.964,68
1	Ertonyl Red A-3R	Clucel	PA Boya	47,068	58,291	0,00	1,20	10,00					185.172.811,46
1	Ertonyl Yellow A-R	Clucel	PA Boya	31,928	44,782	0,00	1,20	10,00					222.756.148,81
1	Ertonyl Blue A-R	Clucel	PA Boya	33,028	38,757	0,00	1,10	10,00					228.270.088,60
1	Solopencyl Scarlet HNF 200%	Clucel	Dark Boya	2,00	1,00	0,00	0,00	10.000.000,00					2.666.565,66
1	Solopencyl Blue PGLE 270 %	Clucel	Dark Boya	2,00	2,00	0,00	0,00	10.000.000,00					628.672,25
1	Solopencyl Yellow ARI E 150 %	Clucel	Dark Boya	2,00	2,00	0,00	0,00	10.000.000,00					5.374.455,04
1	Solopencyl Red 7 HNF	Clucel	Dark Boya	2,00	2,00	0,00	0,00	10.000.000,00					85.781,15
1	Erzal Red SL	Erkal	Dark Boya	24,877	24,737	0,00	0,00	0,00					1.248.941,35
1	Erzal Yellow SL	Erkal	Dark Boya	22,592	25,419	0,00	0,20	0,00					8.201.494,20
1	Erzal Yellow 4CL	Erkal	Dark Boya	24,700	24,970	0,00	0,00	0,00					0,00
1	Erzal Blue SL	Erkal	Dark Boya	24,154	24,419	0,00	0,20	10,00					5.806.135,04
1	Erzal Blue HB	Erkal	Dark Boya	19,970	19,970	0,00	0,00	10,00					0,00
1	Erzal Blue R Special	Erkal	Dark Boya	24,570	24,570	0,00	0,00	10,00					0,00
1	Erzal T.Blue G 133 %	Erkal	Dark Boya	24,502	24,570	0,00	0,00	0,00					2.360.310,29
1	Erzal Black RL	Erkal	Dark Boya	24,994	25,000	0,00	0,00	10,00					84.410,56
1	Erzal Black GSP	Erkal	Dark Boya	44,864	46,833	0,00	0,00	0,00					9.291.133,01
1	Erzal Black D 133 %	Erkal	Dark Boya	49,975	49,975	0,00	0,00	0,00					0,00
1	Erzal Red SF 3B 180 %	Erkal	Dark Boya	21,540	21,720	0,00	0,18	0,00					1.261.717,46
1	Erzal Yellow SF 3R	Erkal	Dark Boya	24,375	24,720	0,00	0,30	0,00					1.313.937,80
1	Erzal Red BL	Erkal	Dark Boya	2,00	2,00	0,00	0,00						PARA CİNSİNDE
1	Erzal Blue RR	Erkal	Dark Boya	1,70	1,70	0,00	0,00	10.000.000,00					0,00
1	Erzal Yellow SF-CL	Clucel	Dark Boya	0,00	0,00	0,00	0,00						PARA CİNSİNDE
1	Erzal Rabinal SF-RCN	Clucel	Dark Boya	0,70	0,00	0,00	0,00						PARA CİNSİNDE
1	Erzal Grey SF-BL	Clucel	Dark Boya	1,00	0,00	0,00	0,00						253.315,48

SÜR 36302 Fİ
MİSO 199710 Fİ
MİSO 177145 Fİ
MİSO 170422 Fİ

Model 1-01

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında İstanbul'da doğdu. Lise öğrenimini 1996 yılında Özel Sakarya Lisesi'nde tamamladıktan sonra 1997 yılında girdiği Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden 2001 yılında mezun oldu. 2001 yılında aynı bölümde yüksek lisans eğitimine başladı. 2004 yılı Ocak ayında Araştırma Görevlisi olarak Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nde göreve başladı. Halen aynı bölümde görevini sürdürmektedir.

