



**BİLECİK
ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoteknoloji Anabilim Dalı**

**TEKSTİL ATIK SULARINDAN
FARKLI ÖZELLİKTEKİ BOYAR MADDELERİN
MEMBRAN BİYOREAKTÖR (MBR) SİSTEMİNDE
ARITIMI**

**Emine KARAÇIRAY
Yüksek Lisans**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Çağlayan AÇIKGÖZ**

BİLECİK, 2019

Ref.No:10236012



**BİLECİK
ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyoteknoloji Anabilim Dalı**

**TEKSTİL ATIK SULARINDAN
FARKLI ÖZELLİKTEKİ BOYAR MADDELERİN
MEMBRAN BİYOREAKTÖR (MBR) SİSTEMİNDE
ARITIMI**

**Emine KARAÇIRAY
Yüksek Lisans**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Çağlayan AÇIKGÖZ**

BİLECİK, 2019



**BİLECİK
ŞEYH EDEBALI UNIVERSITY**

**Graduate School of Sciences
Department of Biotechnology**

**TEXTILE WASTE WATER TREATMENT OF
DIFFERENT DYESTUFF IN MEMBRANE BIOREACTOR
(MBR) SYSTEM**

**Emine KARAÇIRAY
Master's Thesis**

**Thesis Advisor
Prof. Dr. Caglayan ACIKGOZ**

BİLECİK, 2019



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS

JÜRİ ONAY FORMU

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 16/01/2019 tarih ve E.1746 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 31/01/2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Emine KARAÇIRAY'ın "Tekstil Atık Sularından Farklı Özellikteki Boyar Maddelerin Membran Biyoreaktör (MBR) Sisteminde Arıtımı" başlıklı tez çalışması Biyoteknoloji Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/ oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Çağlayan AÇIKGÖZ

ÜYE : Prof. Dr. Nezihe AYAS

ÜYE : Doç. Dr. Ülküye DUDUĞUL "Dudugul"

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun
.../.../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/ MÜHÜR

TEŞEKKÜR

Tez çalışmalarım esnasında bilgi, deneyim ve tecrübeleriyle yolumu aydınlatan, hoşgörü ve disipliniyle çalışmalarımın her aşamasına büyük katkılar sağlayan değerli danışman hocam Prof. Dr. Çağlayan AÇIKGÖZ' e,

Sistem tasarımını ve düzenlenmesini gerçekleştiren, sistemle ilgili konularda desteğini esirgemeyen değerli hocam Öğr. Gör. Kadir ÖZAN' a,

Bilecik I. Organize Sanayi Bölgesindeki Biyolojik Atık Su arıtma tesisi çalışanlarına,

Eğitimim sırasında güzel anılar paylaştığım arkadaşlarım Emine KAYKUN ve Leyla ATAY' a,

Çalışmalarım boyunca iş hayatımdaki desteklerinden dolayı müdürüm Özcan GÖKTAŞ' a, iş arkadaşlarıma ve öğrencilerime,

Yol ve hayat arkadaşım olmanın yanı sıra tez çalışmalarım esnasında gösterdiği anlayış, maddi ve manevi açıdan verdiği destek için eşim Zafer KARAÇIRAY' a,

Uykusuz gecelerime eşlik eden biricik evladım Yunus Emre KARAÇIRAY' a,

Bu günlere gelmemde maddi ve manevi her türlü imkanını seferber eden, beni yetiştiren, değerlerime değer katan annem Rebiş BALOĞLU' na ve kardeşlerime,

Hayatıma katkısı olan ailem, akrabalarım ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

BEYANNAME

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kılavuzu'na uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında, tez içindeki tüm verileri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun olarak sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

18 / 02 / 2019

Emine KARAÇIRAY

ÖZET

Küresel ısınma, hızlı nüfus artışı, kentleşme ve endüstriyel kullanımlar sonucu kullanılabilir su kaynakları gün geçtikçe azalmaktadır. Azalan su kaynaklarının yanı sıra su kaynaklarındaki kirlenme ciddi çevre problemlerine neden olmakta doğa bu kirlilikle başa çıkmakta zorlanmaktadır. Bu nedenlerle atık suların deşarj edilmeden önce kirlilik yükünün bertaraf edilmesi, tam olarak bertaraf edilemeyenlerin ise ekosistemin kendi doğal döngüsünde bertaraf edebileceği standartlara düşürülmesi gün geçtikçe artan önemli bir parametredir.

Tekstil endüstrisi yüklü miktarda su kullanır, yüksek KOİ ve renk değerleriyle atık su deşarj alanlarında ciddi çevre sorunlarına neden olur. Bu nedenlerden ötürü tekstil endüstrisinin boyama proseslerinden kaynaklanan atık suların arıtımı ciddi önem arz etmektedir.

Bu çalışmada, tekstil endüstrisi boyama prosesleri sonucu oluşan atık suyun benzeri sentetik atık su reçete edilerek hazırlanmış ve bu atık suların membran biyoreaktör sisteminde, aktif çamur biyokütlesi aracılığıyla boyar madde ve KOİ konsantrasyonunun giderim verimleri araştırılmıştır. Sentetik atık su reçeteleri 100 ppm konsantrasyonda yedi farklı tekstil boyar maddesi ve boyama işlemlerinde kullanılan kimyasallar kullanılarak hazırlanmıştır.

Arıtım çalışmasında Dimozol Blue BRF %150 için %85,6 KOİ ve %90,6 renk giderimi, Dimozol Yellow ED için %71,1 KOİ ve %92,3 renk giderimi, Dimopers Red S5BLN için %92,4 KOİ ve %94,7 renk giderimi, Ostazin Yellow HR için %86,0 KOİ ve %46,1 renk giderimi, Everzol Black N için %88,0 KOİ ve %74,4 renk giderimi, Everzol Reaktif Blue R S/P için %85,6 KOİ ve %61,0 renk giderimi, Ostazin Red H 3B için %84,8 KOİ ve %24,3 renk giderimi sağlanmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, tekstil endüstrisi atık sularının MBR sistemleri aracılığıyla arıtılabilirliğini desteklemektedir.

Anahtar Kelimeler: Tekstil atık suları; MBR; Aktif çamur; Biyolojik arıtım, Boyar madde giderimi

ABSTRACT

As a result of global warming, rapid population growth, urbanization and industrial use, available water resources are decreasing day by day. As well as decreasing water resources, contamination of water resources causes serious environmental problems. Nature has difficulties in dealing with this pollution. For these reasons, it is an important parameter increasing the pollution load of wastewater before being discharged and decreasing of the ecosystem to the standards that can be eliminated in its own natural cycle.

The textile industry uses a large amount of water, resulting in serious environmental problems with high COD and color values in waste water discharge areas. For these reasons, the treatment of wastewater resulting from the dyeing processes of the textile industry is of great importance.

In this study, synthetic wastewater produced by the textile industry as a result of the dyeing processes was prepared by prescribing synthetic wastewater and the efficacy of dyestuff and COD concentration were investigated through activated sludge in the membrane bioreactor system of these wastewater. Synthetic wastewater recipes were prepared using seven different textile dyestuff at 100 ppm concentration and chemicals used in the dye industry.

In the purification study for Dimozol Blue BRF 85.6% COD removal and 90.6% decolorization, for Dimozol Yellow ED 71.1% COD removal and 92.3% decolorization, for Dimopers Red S5BLN 92.4% COD removal and 94.7% decolorization, for Ostazin Yellow HR 86.0% COD removal and 46.1% decolorization, for Everzol Black N 88.0% COD removal and 74.4% decolorization, for Everzol Reactive Blue R S/P 85.6% COD removal and 61.0% decolorization, for Ostazin Red H 3B 84.8% COD removal and 24.3% decolorization is provided. The results obtained from the study support the purification of textile industry wastewater by membrane bioreactor system.

Key Words: Textile Wastewater; MBR; Activated Sludge; Biological Treatment, Dye Removal

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEŞEKKÜR	
ÖZET	I
ABSTRACT	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIK SULARI.....	4
2.1. Tekstil Endüstrisi Atık Su Kaynakları	4
2.2. Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Boyar Maddeler	6
2.2.1. Asit boyar maddeler	6
2.2.2. Bazik boyar maddeler	6
2.2.3. Direkt boyar maddeler.....	7
2.2.4. Reaktif boyar maddeler	7
2.2.5. Dispers boyar maddeler.....	7
2.2.6. Küpe boyar maddeler	8
2.2.7. Mordan boyar maddeler	8
2.2.8. Sülfür boyar maddeler	8
2.2.9. Geliştirilmiş boyar maddeler	8
2.2.10. Anilin siyahı.....	8
2.2.11. Metal-kompleks boyar maddeler	9
2.3. Tekstil Endüstrisi Atık Suları	9
2.4. Boyama Proseslerinden Kaynaklanan Atık Sular	11
2.5. Tekstil Endüstrisi Atık Sularının Arıtımında Kullanılan Yöntemler	13
3. ATIK SULARDA ÖLÇÜLEN PARAMETRELER	15
3.1. Sıcaklık.....	15
3.2. Koku	15
3.3. Bulanıklık.....	15
3.4. Renk	15

3.5. pH	18
3.6. Asidite	18
3.7. Alkalinite	18
3.8. Sertlik	18
3.9. Toplam Organik Karbon (TOK)	19
3.10. Bakiye Klor ve Klor İhtiyacı.....	19
3.11. Klorür.....	19
3.12. Çözünmüş Oksijen.....	19
3.13. Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ)	20
3.14. Kimyasal Oksijen İhtiyacı.....	20
3.15. Azot.....	20
3.16. Katı Madde.....	21
3.17. Florür.....	21
3.18. Sülfat	22
3.19. Fosfor ve Fosfat	22
3.20. Yağ ve Gres.....	23
3.21. Uçucu Asitler	23
3.22. Gaz Analizleri	23
3.23. İz (Eser) Kirleticiler	23
4. ATIK SULARIN BİYOLOJİK ARITIMI	24
4.1. Mikroorganizmaların Oksijen İhtiyacına Göre Çeşitliliği.....	24
4.1.1. Aerob mikroorganizmalar	24
4.1.2. Anaerob mikroorganizmalar	25
4.1.3. Fakültatif mikroorganizmalar.....	25
4.2. Mikroorganizmaların Metabolik Çeşitliliği.....	25
4.2.1. Kemoorganotroflar	25
4.2.2. Kemolitotroflar	26
4.2.3. Fotoototroflar	26
4.2.4. Ototroflar ve heterotroflar	27
4.2.5. Ekstremofiller.....	27
4.3. Mikroorganizmaların Hücresel Çeşitliliği.....	27
4.3.1. Prokaryotik çeşitlilik	28

4.3.2. Bakteriler	28
4.3.2.1. Ototrofik bakteriler.....	29
4.3.2.2. Heterotrofik bakteriler.....	30
4.3.3. Arkeler.....	31
4.3.4. Ökaryotik çeşitlilik.....	32
4.3.5. Protozoa.....	32
4.3.6. Mayalar ve küfler	33
4.3.7. Funguslar.....	33
4.3.8. Algler.....	34
4.3.9. Virüsler.....	34
5. MEMBRAN TEKNOLOJİLERİ.....	36
5.1. Membranların Sınıflandırılması	37
5.1.1. Ters osmoz (RO)	38
5.1.2. Ultrafiltrasyon membranlar (UFM).....	39
5.1.3. Nanofiltrasyon membranlar (NFM)	40
5.1.4. Mikrofiltrasyon membranlar (MFM)	40
6. MEMBRAN BİYOREAKTÖR SİSTEMLERİ	42
6.1. Membran Biyoreaktör Sisteminin Tanımlanması	42
6.2. Membran Yapılandırmasına göre MBR Sınıflandırması	44
6.2.1. Harici MBR yapılandırması	45
6.2.2. Batık (Dahili) MBR yapılandırması	46
6.3. Konvansiyonel Sistemler ile MBR Sistemlerinin Karşılaştırılması	47
7. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI	50
8. MATERYAL METOT	61
8.1. MBR Sistemi	61
8.2. Mikroorganizmaların Temini ve Deneysel Sürece Hazırlanması	63
8.3. Çalışmada Kullanılan Boyar Madde ve Sentetik Atık Su Özellikleri	64
8.4. Reaktörden Atık Su Numunelerinin Alınması	73
8.5. Çalışmada Kullanılan Kit ve Cihazlar.....	73
8.5.1. Merck marka koi analiz kitleri	73
8.5.2. Merck marka azot analiz kitleri.....	74
8.5.3. Merck marka fosfat analiz kitleri	74

9. SONUÇLAR.....	75
10.TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	90
KAYNAKLAR.....	93
ÖZGEÇMİŞ	



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Tekstil terbiye işlemleri.	5
Çizelge 2.2. Tekstil atık sularında kirlilik parametreleri.	9
Çizelge 2.3. Tekstil terbiye işlemine bağlı olarak oluşan atık su içeriği.	10
Çizelge 2.4. Boyama proseslerinde kullanılan yardımcı kimyasallar ve işlevi.	11
Çizelge 2.5. Boyama prosesi atık su karakteristikleri.	12
Çizelge 2.6. Atık su arıtımında kullanılan bazı renk giderim proseslerinin karşılaştırması.	14
Çizelge 3.1. Dalga boyları ile renk kavramı.	16
Çizelge 3.2. Türkiye’ de atık sularda aranan renk deşarj kriterleri.	16
Çizelge 3.3. Ülkelere göre sularda aranan renk kriterleri.	17
Çizelge 3.4. Sularda bulunan katı maddelerin sınıflandırılması.	21
Çizelge 5.1. Membranların sınıflandırılması.	37
Çizelge 6.1. Aerob ve anaerob MBR sistemlerinin karşılaştırılması.	43
Çizelge 6.2. MBR yapılandırılmaları avantaj ve dezavantajları.	47
Çizelge 8.1. Mikroorganizmaların tekstil atık suyuna daptasyonu için hazırlanan sentetik atık su reçetesi.	64
Çizelge 8.2. Dimozol Blue BRF %150 özellikleri.	66
Çizelge 8.3. Dimopers Red S5BLN özellikleri.	67
Çizelge 8.4. Ostazin Yellow HR özellikleri.	68
Çizelge 8.5. Everzol Reaktif Blue R S/P özellikleri.	69
Çizelge 8.6. Ostazin Red H3B özellikleri.	70
Çizelge 8.7. Everzol Black N 40-60 C Reaktif özellikleri.	71
Çizelge 8.8. Dimozol Yellow ED özellikleri.	71
Çizelge 8.9. Sentetik tekstil atık suyu reçetesi.	72
Çizelge 9.1. Dimozol Blue BRF %150 içeren sentetik tekstil atık suyu arıtım sonuçları.	76
Çizelge 9.2. Dimozol Yellow ED içeren sentetik tekstil atık suyu arıtım sonuçları.	78
Çizelge 9.3. Dimopers Red S5BLN içeren sentetik tekstil atık suyu arıtım sonuçları.	80
Çizelge 9.4. Ostazin Yellow HR içeren sentetik tekstil atık suyu arıtım sonuçları.	82
Çizelge 9.5. Everzol Black N içeren sentetik tekstil atık suyu arıtım sonuçları.	84

Çizelge 9.6. Everzol Reaktif Blue R S/P içeren sentetik tekstil atıksuyu arıtım sonuçları.....	86
Çizelge 9.7. Ostazin Red H 3B içeren sentetik tekstil atıksuyu arıtım sonuçları.	88
Çizelge 10.1. Boyarmadde ve KOİ giderim verimlerinin karşılaştırılması	91



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1.	Boyama prosesi atık suları arıtımında kullanılan arıtma prosesleri diyagramı.	13
Şekil 5.1.	Membranların çalışma modları	36
Şekil 5.2.	Su ve atık su ıslahında kullanılan membranlar.	38
Şekil 5.3.	Osmoz ve ters osmozun şematik gösterimi.	39
Şekil 6.1.	Membran biyoreaktör şematik gösterimi	42
Şekil 6.2.	Harici MBR yapılandırması şematik gösterimi.....	45
Şekil 6.3.	Dahili (batık) MBR yapılandırması şematik gösterimi.	46
Şekil 8.1.	Lab/Pilot ölçekte batık MBR sisteminin şematik çizimi.....	62
Şekil 8.2.	Aşılama sonrası MBR' ın görünümü.	63
Şekil 8.3.	Boyar maddelerin dalga boyu ve absorbans ölçümleri.	65
Şekil 8.4.	Dimozol Blue BRF %150 için kalibrasyon grafiği.	66
Şekil 8.5.	Dimopers Red S5BLN için kalibrasyon grafiği.	67
Şekil 8.6.	Ostazin Yellow HR için kalibrasyon grafiği.	68
Şekil 8.7.	Everzol Reaktif Blue R S/P kalibrasyon grafiği.	69
Şekil 8.8.	Ostazin Red H3B kalibrasyon grafiği.	70
Şekil 8.9.	Everzol Black N 40-60 C Reaktif için kalibrasyon grafiği.	71
Şekil 8.10.	Dimozol Yellow ED için kalibrasyon grafiği.	71
Şekil 8.11.	Merck Fosfat (PO ₄ -P), COD (KOİ), Azot (N) ölçüm kitleri.....	74
Şekil 9.1.	Sisteme ilk yüklenen sentetik tekstil atıksuyu ile MBR sisteminin görünümü (Dimozol Blue BRF %150).....	75
Şekil 9.2.	Dimozol Blue BRF %150 ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyu için KOİ konsantrasyonu ve giderim verimleri.....	77
Şekil 9.3.	Dimozol Blue BRF %150 ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyu için boya konsantrasyonu ve giderim verimleri.....	77
Şekil 9.4.	Dimozol Yellow ED ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyu için KOİ konsantrasyonu ve giderim verimleri.....	78
Şekil 9.5	Dimozol Yellow ED ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyu için boya konsantrasyonu ve giderim verimleri.....	79

Şekil 9.6. Dimopers Red S5BLN ile hazırlanan sentetik tekstil atıksuyu arıtım numuneleri.....	80
Şekil 9.7. Dimopers Red S5BLN ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyu için KOİ konsantrasyonu ve giderim verimleri.....	81
Şekil 9.8. Dimopers Red S5BLN ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyu için boya konsantrasyonu ve giderim verimleri.....	81
Şekil 9.9. Ostazin Yellow HR ile hazırlanan sentetik tekstil atıksuyu arıtım numuneleri.....	82
Şekil 9.10. Ostazin Yellow HR ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyu için KOİ konsantrasyonu ve giderim verimleri.....	83
Şekil 9.11. Ostazin Yellow HR ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyu için boya konsantrasyonu ve giderim verimleri.....	83
Şekil 9.12. Everzol Black N ile hazırlanan sentetik tekstil atıksuyu arıtım numuneleri.	84
Şekil 9.13. Everzol Black N ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyu için KOİ konsantrasyonu ve giderim verimleri.....	85
Şekil 9.14. Everzol Black N ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyu için boya konsantrasyonu ve giderim verimleri.....	85
Şekil 9.15. Everzol Reaktif Blue RS/P ile hazırlanan sentetik tekstil atıksuyu arıtım numuneleri.....	86
Şekil 9.16. Everzol Reaktif Blue R S/P ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyu için KOİ konsantrasyonu ve giderim verimleri.....	87
Şekil 9.17. Everzol Reaktif Blue R S/P ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyu için boya konsantrasyonu ve giderim verimleri.....	87
Şekil 9.18. Ostazin Red H 3B ile hazırlanan sentetik tekstil atıksuyu arıtım numuneleri.	88
Şekil 9.19. Ostazin Red H 3B ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyu için KOİ konsantrasyonu ve giderim verimleri.....	89
Şekil 9.20. Ostazin Red H 3B ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyu için boya konsantrasyonu ve giderim verimleri.....	89

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

ADMI	: Amerikan boya üreticileri enstitüsü
kPa	: Kilopaskal
Lovibond	: Renk ölçüm skalası
L/m² h	: Saatte metrekaareye düşen litre
mg/L	: Litredeki miligram
MPa	: Megapaskal
MWCO	: Moleküler ağırlık kesme noktası
nm	: Nanometre
ppm	: Milyonda bir
RES	: Renklilik sayısı
Pt-Co	: Platin-Kobalt
r/dak	: Radyant bölü dakika
TCU	: Gerçek renk birimi
µm	: Mikrometre

Kısaltmalar

AKM	: Askıda katı madde
AMBR	: Aerobik membran biyoreaktör
AnMBR	: Anaerob membran biyoreaktör
AOMBR	: Anaerobik oksik membran biyoreaktör
A²O-MBR	: Anaerobik-anoksik-aerobik membran biyoreaktör sistemi
APHA	: American public health association
BOİ	: Biyolojik oksijen ihtiyacı
CSTR	: Sürekli karıştırmalı tank reaktörü
ÇO	: Çözülmüş oksijen
EDTA	: Etilendiamin tetraasetik asit
EPA	: ABD çevre koruma ajansı
FFB	: Sabit film biyoreaktörü
GAC	: Paketlenmiş anaerobik bölge

GS	: Gaz ayrımı
HPLC	: Yüksek performans sıvı kromatografisi
HRT	: Hidrolik bekleme süresi
İOP	: İleri oksidasyon prosesleri
KOİ	: Kimyasal oksijen ihtiyacı
LABSA	: Lineer alkil benzen sülfonik asit
LMH	: Saatte metrekareye düşen litre
MBR	: Membran biyoreaktör
MF	: Mikrofiltrasyon
MFM	: Mikrofiltrasyon membran
NFM	: Nanofiltrasyon membran
MLSS	: Askıda biyokütle/katı madde konsantrasyonu
NF	: Nanofiltrasyon
PET	: Polyetiletetraftalat
PMMA	: Polymetilmetakrilat
PV	: Pervoporasyon
RO	: Ters ozmos
rRNA	: Ribozomal ribonükleik asit
SAMBR	: Batık anaerobik membran biyoreaktör
SBR	: Stiren bütadien kauçuğu
SKKY	: Su kirliliği kontrolü yönetmeliği
SRT	: Çamur yaşı (çamur bekletme süresi)
TA	: Tekstil yardımcı maddeleri
TN	: Toplam azot
TOK	: Toplam organik karbon
UF	: Ultrafiltrasyon
UFM	: Ultrafiltrasyon membran
UV	: Ultraviyole
VLR	: Dikey döngü reaktörü
YPD	: Maya-pepton-dekstroz

1. GİRİŞ

Dünyadaki nüfus artışına bağlı olarak ihtiyaçların artması endüstriyel üretimi arttırmış, bu artış ise doğanın kendi döngüsünde bertaraf edebileceği kirlilik yüklerinin üzerine çıkmıştır. Endüstriyel alanlar başta olmak üzere, bilinçsiz tarım faaliyetleri, kentleşmeyle giderek artan kentsel atıklar, bilinçsiz tüketim faaliyetleri gibi etkenler nedeniyle tüm canlıların yaşamı tehdit altındadır. Bu tehditleri önlemek amacıyla dünya çapında atık bertaraf yöntemleri giderek önem kazanmaktadır. Yaşam alanımız Dünya'nın doğal seyrinin değişmesi çevre problemlerinin gün geçtikçe artması nedeniyle günümüzde çevreci üretim politikaları desteklenmekte, yasal düzenlemelerle çevre kirliliği kontrol altına alınmaya çalışılmaktadır. Ülkemizde de endüstriyel ve kentsel atıkların bertarafı konusunda yasal düzenlemeler gerçekleştirilmekte ve atık bertarafı adına güzel gelişmeler gözlenmektedir.

Tüm canlıların yaşam kaynağı olan su ve sucul ortamların giderek kirlenmesi tüm canlıların yaşamını tehdit etmektedir. Özellikle kentleşme ve endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan atık sularla doğa kendi başına başa çıkamamakta, bu sebeple desteğe ihtiyaç duymaktadır. Bu amaçla geliştirilen farklı atık su arıtma prosesleri bulunmaktadır. Bu prosesler kendi içinde fiziksel, kimyasal, biyolojik ve hibrit sistemler olmak üzere sınıflandırılabilir. Geliştirilen her sistemin kendi içinde avantaj ve dezavantajları bulunmasına rağmen doğada var olanı kullanarak doğal döngüye destek olunmasını sağlayan biyolojik arıtma uygulamaları gün geçtikçe önem kazanmaktadır (Zagal, 2008; Çalışır, 2010).

Biyolojik arıtma sistemlerinde doğada bulunan mikroorganizmaların kendi doğal döngüsünde gerçekleştirdiği faaliyetlerden yararlanılır. Atık su içerisinde bulunan kirleticiler mikroorganizmalar tarafından karbon veya enerji kaynağı olarak kullanılır. Bu sayede atık su içeriğinde bulunan kirleticiler bertaraf edilir. Kirleticilerden arındırılan suyun tekrar kullanımıyla su tasarrufu sağlanırken, kirletici miktarı doğanın bertaraf edebileceği limitlere düşürüldüğü için alıcı ortamların kirlenmesinin de önüne geçilmiş olur (Öztürk vd. , 2005).

Biyolojik arıtma sistemlerinden ülkemizde en yaygın kullanılan sistem aktif çamur sistemidir. Aktif çamur sistemlerinde farklı mikroorganizmaların karışımı olan biyokütle kullanılır. Bu biyokütle floklar halinde bulunur ve çamur görünümüne sahiptir. Konvansiyonel aktif çamur sistemleri arıtım havuzlarında mikroorganizmaların

oluşturduğu biyokütle bulunur ve bu biyokütleyle atık su içeriğindeki kirleticileri substrat olarak kullanarak atık suyun kirlilik yükünü azaltır. Ardından havuzda bulunan mikroorganizmaların çöktürülmesi ile su ve mikroorganizmaların ayrımı gerçekleştirilir. Membran biyoreaktör sistemleri çöktürme işlemlerinin yerini alan filtrasyon düzeneği ile su ve mikroorganizmaların ayrımını sağlar. Bu durum ise konvansiyonel aktif çamur prosesleri ile karşılaştırıldığında oldukça büyük avantajlara neden olur. Bu avantajlardan yararlanmak amacıyla aktif çamur sistemlerinin MBR sistemlerine dönüşümü mümkündür. Bu dönüşüm yeni bir biyolojik arıtma tesisi kurulumuna göre daha az maliyet gerektirmektedir (Eroğlu, 2014).

Ülkemizde çeşitli endüstri kuruluşlarının bir arada bulunduğu organize sanayi bölgeleri mevcuttur. Bu bölgelerde bulunan kuruluşların atık sularının arıtımı için kurulan tesisler bölgedeki su kaynakları kullanımı konusunda ciddi tasarruf sağlamakta ve deşarj durumunda da çevredeki kirlilik yükü artışının önüne geçmektedir. Organize sanayi bölgelerinde bulunmayan kuruluşlar ise bireysel atık su arıtma tesislerini bünyelerinde barındırmaktadır. Mikroorganizmaların ihtiyaç duyduğu koşulların sağlanabilmesi için bireysel atık su arıtma tesislerinde atık suya ilave edilmesi gereken maddeler bulunmaktadır.

Çevre problemlerine neden olan atık suların içeriği farklılık göstermektedir. Bu nedenle kullanılacak biyolojik arıtım tesisinin optimum koşullarda işletilebilmesi için atık suyun yapısının iyi bilinmesi gerekmektedir. Atık suları kaynaklarına göre evsel, kentsel, tarımsal ve endüstriyel atık sular olmak üzere dört grupta inceleyebiliriz. Bu atık sular içerikleri nedeniyle deşarj ortamlarında farklı problemlere neden olmaktadır. Özellikle endüstriyel atık suların çevre kirliliğine katkısı çok büyüktür. Bazı endüstriyel kuruluşlar çeşitli proseslerde fazla miktarda su tüketir ve tüketilen bu su yüklü atık içeriği ile uzaklaştırılır (Zagal, 2008).

Tekstil endüstrisi de çeşitli işlemlerde kullandığı suları çok çeşitli kimyasallarla birlikte uzaklaştırmaktadır. İçerdiği kimyasallar nedeniyle suyun tekrar kullanımı ve kimyasalın tekrar kullanımı adına birçok çalışma mevcuttur ancak deşarj suyunda bulunan boyar maddenin yüksek olması suyun tekrar kullanım olanaklarını kısıtlamaktadır. Ayrıca boyar maddeler doğaya deşarj edildiklerinde çok ciddi çevre problemlerine neden olmaktadır. Boyar madde bakımından yüksek konsantrasyonda kontamine olmuş sular toksik olabilmektedir. Toksik olmasalar bile deşarj sularında

rengin farklılaşması, sucul ortamların ışık geçirgenliğinin azalmasına ve sucul ortamdaki ekosistem dengesinin bozulmasıyla çevreye zarar vermektedirler (Zagal, 2008; Çalışır, 2010).

Gerek ekosistem dengesinin korunması, gerek çevre sağlığı gerekse atık suların tekrar kullanımı ile su tasarrufu ve kimyasal madde tasarrufunun sağlanabilmesi için tekstil atık sularında bulunan boyarmaddelerin giderimi elzemdir. Çıkış suyunda boyar madde barındıran atık suların içeriğinde 5-1500 mg/L reaktif boyar madde bulunur. Canlı renkleri ve stabil olmaları nedeniyle tercih edilen reaktif boyarmaddelerin atık sulardan giderimi de oldukça zordur. Ancak doğada bozunma oranları düşük olduğu için de çıkış suyundan giderimi sağlanmalıdır (Kavuştu, 2016).

Bu çalışmada tekstil endüstrisi atık sularının tekrar kullanımını sağlamak, oluşabilecek çevresel sorunların önüne geçmek için kısa süre ve düşük maliyetle arıtılabilirliğini araştırmak amaçlanmıştır. Bu doğrultuda üniversitemiz kimya ve süreç mühendisliği laboratuvarında bulunan tasarım ve imalatı üniversitemize ait lab/pilot ölçekte membran biyoreaktör (MBR) sistemi kullanılmıştır. Sisteme Bilecik I. Organize Sanayi Bölgesi Biyolojik Arıtma Tesisi'nden alınan aktif çamur biyokütle olarak aşılanmıştır. Arıtım çalışmaları yedi farklı tekstil boyar maddesi (Dimozol Blue BRF %150, Dimozol Yellow ED, Dimopers Red S5BLN, Ostazin Yellow HR, Everzol Black N, Everzol Reaktif Blue R S/P ve Ostazin Red H 3B) ve tekstil endüstrisinde kullanılan kimyasallarla hazırlanan sentetik tekstil atık su reçetelerinin MBR sistemine yüklenmesiyle gerçekleştirilmiştir. Sistem yarı kesikli şartlar altında işletilmiştir.

2. TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIK SULARI

Dünyadaki nüfus artışına bağlı olarak ihtiyaçların artması endüstriyel üretimi arttırmış, bu artış ise doğanın kendi döngüsünde bertaraf edebileceği kirlilik yüklerinin üzerine çıkmıştır. Endüstriyel alanlar başta olmak üzere, bilinçsiz tarım faaliyetleri, kentsel atıklar, bilinçsiz tüketim faaliyetleri gibi etkenler nedeniyle gün geçtikçe kirlenen çevremizde artık canlıların yaşamı tehdit altındadır. Bu tehditleri önlemek amacıyla dünya çapında atık bertaraf yöntemleri giderek önem kazanmaktadır.

Canlıların temel gereksinimi olan suyun endüstriyel alanda kullanımı da oldukça gerekli ve kaçınılmazdır. Ancak birçok endüstride kullanılan su, çeşitli proses aşamalarında kirlenmekte ve doğal çevreye deşarjı durumunda ciddi sorunlara neden olmaktadır. Çeşitli işlemlerde kullandığı su miktarının fazla olması nedeniyle su kirliliğine neden olan endüstriyel faaliyetlerin başında tekstil endüstrisi gelmektedir (Yılmaz, 2013).

Tekstil endüstrisi, doğal ve sentetik elyafları kullanarak tekstil ürünlerinin elde edildiği tesislerdir. Sentetik elyaf üretim aşaması ve giyim sanayi tekstil endüstrisi kapsamında yer almamaktadır. Tekstil endüstrisinin kapsamı, doğal ve sentetik ipliklerin farklı yöntemler aracılığıyla triko, halı, kumaş gibi ürünler haline getirilmesi sürecini içerir. Bu yöntemler arasında boya, baskı, apre gibi terbiye işlemleri yer almaktadır (Biroğlu, 2012).

2.1. Tekstil Endüstrisi Atık Su Kaynakları

Tekstil endüstrisinde işlenen materyaller pamuk, yün ve sentetik elyaflar olmak üzere üç grupta toplanır. Bu materyallerin işlenmesi ve tekstil ürünü haline getirilmesi sürecinde gerçekleşen işlemlerin tümüne terbiye işlemleri adı verilir. Terbiye işlemlerinde materyale göre ufak farklılıklar görülmesine rağmen tanım olarak birbirlerine benzemektedirler. Terbiyede kullanılan ana işlemler; ön terbiye, haşıllama, haşıl sökme, yakma, ağartma, merserizasyon, boyama, apreleme şeklinde sıralanabilir (Aktan, 2011).

Tekstil terbiye işlemlerinde farklı oranlarda kullanılan çeşitli kimyasallar kullanım suyuna karışarak atık sularda kirlilik yüküne neden olurlar. Çizelge 2.1’de tekstil terbiye işlemleri kısaca gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. Tekstil terbiye işlemleri (Aktan, 2011).

İŞLEM	ÖZELLİĞİ
ÖN TERBİYE	Tekstil ürününe doğrudan maddi bir değer katmayan ancak doğru uygulanmaması halinde diğer işlemlerde hata payını %60-%70'e çıkaran bir işlemdir. Tekstil ürününün işleme alındığı ve diğer işlemlere hazırlandığı aşamadır.
HAŞILLAMA	İnce kumaş dokuması esnasındaki gerilime dayanamayacak nitelikteki ince ipliklerin geçici olarak sağlamlaştırılması işlemidir. Bu işlem sırasında çoğunlukla doğal nişastalar, modifiye selülozlar ve sentetikler kullanılır.
YIKAMA VE HAŞIL SÖKME	Haşıl maddeleri, boyama aşamasında boyanın ürüne işlemesini engeller ve boya renginde değişime neden olur. Bu nedenle materyali boyama işlemine hazırlamak için yapılan işleme haşıl sökme denir. Bu aşamada haşıl maddelerinin giderimi için; NaHSO_3 , NaOH , Cl , silikatlar, deterjanlar, asitler ve enzimler kullanılır.
YAKMA	Ürünü oluşturan ipliklerden çıkan lif uçlarının uzaklaştırılması amacıyla uygulanan işlemdir. Bu lif uçlarına hav tüycükleri adı verilir.
AĞARTMA	Önceki işlemlerde giderilememiş doğal renklendiricilerin boyama işlemi sırasında boya renginin değişimine neden olmasını engellemek amacıyla uygulanan işlemdir. NaCl , NaClO , H_2O_2 ve SO_2 gazı gibi maddeler bu aşamada kullanılan maddelere örnek olarak verilebilir.
MERSERİZE ETME	Dokumanın boyanabilmesi ve absorblama kapasitesinin düzenlenmesi için gerçekleştirilen bu işlemde temel amaç dokumanın afinitesini arttırmaktır. Mersevizasyon sonucunda dokumanın parlaklığı artar, dokuma %20 oranında kuvvetlenir ve lifler daha pürüzsüz bir görünüm alır. Bu işlem için çoğunlukla NaOH kullanılır.
BOYAMA	Dokumanın renklendirilmesini içeren bu işlem, farklı yöntemler, farklı boyar maddeler ve birçok yardımcı kimyasallar kullanılarak gerçekleştirilir. Bu işlem sonucunda oluşan atık su kirlilik yükünün %20- %40 ını oluşturmakta ve aynı zamanda yüksek derecede renkliliğe neden olmaktadır.
APRELEME	Bu işlem dokumanın özelliklerinin iyileştirilmesi ve dokumaya yeni özellikler kazandırılması gibi işlemleri içerir. Dokumanın aşınma kalitesinin düzenlenmesi ve dokumaya su geçirmeme, küflenmeme, yanmama gibi ek özelliklerin kazandırılması sürecidir. Bu aşamada; nişasta, kola, balmumu, amonyum klorit, çinko klorit, sentetik reçineler, çeşitli özel kimyasallar ve yumuşatıcı maddeler kullanılır.

2.2. Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Boyar Maddeler

Tekstil endüstrisinde kullanılan maddelerden atık sulara karışan ve endüstrisine has özellikler taşıyan en tipik kirleticilerden biri renk parametresidir. Canlılar üzerinde toksik, kanserojen etkilere neden olmanın yanı sıra deşarj alanlarındaki sularda meydana getirdikleri renk değişimi fotosentezi yavaşlatmakta ve her açıdan ekolojik dengeyi bozmaktadır. Deşarj edildikleri alanlarda ekolojik olarak ciddi sorunlara neden olan renkli atık suların arıtımı, renginin giderilmesi oldukça zordur. Bu nedenle dünya çapında yapılan yasal değişikliklerle atık su deşarj limitleri arasına renk parametresi de eklenmektedir. Tekstil endüstrisi atık sularının deşarj limitlerine uygun hale getirilebilmesi için öncelikle kullanılan boyar maddelerin ve tekstil atık suyu özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir.

Tekstil endüstrisinde kullanılan boyar maddeler çözünürlük, kullanım yeri, boyama özellikleri veya kimyasal yapılarına göre sınıflandırılabilir. Ancak boyama özelliklerine göre sınıflandırma daha yaygın bir kullanım alanına sahiptir (Biroğlu, 2012).

Tekstil endüstrisinde kullanılan boyar maddeler boyama özelliklerine göre 11 farklı grupta incelenebilir.

2.2.1. Asit boyar maddeler

Molekülünde en az bir sülfonil grubu veya karbonil asit grubu ihtiva ederler. Maddenin renkli bileşeni anyondur. Bu boyar maddelerin büyük bir çoğunluğu organik asitlerin tuzlarıdır. Uygulama esnasında ise asit banyolar kullanılmaktadır. Bu sebeplerden ötürü asit boyar maddeler adını almaktadırlar. Farklı endüstriyel alanlarda da kullanılabilen bu boyar maddeler tekstil endüstrisinde öncelikle yün, ipek, deri, sentetik ve modifiye elyafın boyanmasında kullanılır. Farklı yöntemlerle endüstrinin birçok aşamasında kullanımı mümkündür (Yılmaz, 2013; Biroğlu, 2012).

2.2.2. Bazik boyar maddeler

Bu maddeler organik bazların hidroklorürleri veya asetat tuzları şeklinde bulunurlar. Maddenin renkli bileşeni katyondur. Yapılarından dolayı bazik boyar maddeler olarak isimlendirilirler. Farklı endüstriyel alanlarda da kullanılabilen bu boyar maddeler tekstil endüstrisinde yün, ipek, pamuk ve akrilik elyafın boyanmasında

kullanılır. Genellikle asetik asit ve tannik asit gibi asitler yardımıyla uygulanırlar. Uygulama esnasında tuz oluşumu görülür (Biroğlu, 2012; Delikanlı, 2013).

2.2.3. Direkt boyar maddeler

Direkt boyar maddeler çoğunlukla sülfonik asitlerin sodyum tuzlarıdır. Karboksilli asitlerin sodyum tuzları olarak da bulunabilirler. Maddenin renkli bileşeni anyondur. Asit boyar maddelere çok benzerler hatta aralarında kesin bir ayırım yapabilmek mümkün değildir. Tekstil endüstrisinde deri, ipek ve naylonun boyanmasında da kullanılmasına karşın, çoğunlukla selülozik elyafın boyanmasında kullanılır (Çalışır, 2010).

2.2.4. Reaktif boyar maddeler

Son yıllarda geliştirilen bu boyar madde sınıfı, yüzeye tutunurken kovalent bağ oluşturan tek boyarmadde sınıfıdır. Suda çözünebilir, çok parlak renklere sahiptirler. Genellikle sarı, kırmızı, turuncu ve maviye boyamada kullanılır (Biroğlu, 2012).

Kimyasal yapısında kromofor taşıyan renkli grup, reaktif grup ve çözünürlüğü sağlayan bir grup bulunur. Reaktif grup ($\text{pH} > 7$), selülozun hidroksil gruplarıyla kovalent bağlanır. Bu nedenle bu boyar maddelerin dayanımları ve haslıkları yüksektir. Elyafın yanı sıra, yün, ipek, poliamidin boyanmasında da kullanılabilir (Yılmaz, 2013; Delikanlı, 2013).

Reaktif boyar maddelerin mukavemetinin yüksek olması boyamada ciddi avantajlar sağlamaktadır ancak bu mukavemet atık sulardan giderimi engellemektedir. Özellikle biyolojik parçalanabilirliği düşüktür. Bu nedenle ileri düzey arıtım metotlarıyla atık sulardan giderimi mümkündür (Yılmaz, 2013).

2.2.5. Dispers boyar maddeler

Dispers boyar maddeler, molekül ağırlığı düşük, suda çözünmeyen, selüloz asetat yapılı elyafı renklendirmek amacıyla üretilmiş maddelerdir. Kimyasal yapılarında amino ve hidroksil grubu içerirler (Çalışır, 2010).

Boyama esnasında boyar madde elyaf içerisinde çözünerek elyafa difüze olur. Madde dengede iken elyaf içerisinde çözünme gayet iyi ancak difüzyon yavaştır. Maddenin dengeye ulaşması ve difüzyon uzun zaman aldığı için pratik değildir (Yılmaz, 2013).

2.2.6. Küpe boyar maddeler

Minimum iki oksijen atomu içeren bu bileşikler suda çözünmeyen, farklı tanecik büyüklüklerinde bulunabilen boyar maddelerdir. Kullanım aşamasında NaOH ve $\text{Na}_2\text{O}_4\text{S}_2$ gibi indirgen bir madde kullanılarak suda çözünebilen bileşiklere dönüştürülürler. Genellikle selülozik elyafın, nadiren de poliamid elyafın boyanmasında kullanılmalarının yanı sıra pamuk boyamada kullanılanları da vardır. Işık, yıkama, sürtünme gibi etkenlere karşı mukavemetleri yüksektir (Çalışır, 2010).

2.2.7. Mordan boyar maddeler

Asidik veya bazik fonksiyonel grup içeren, doğal ve yapay birçok boyar madde bu sınıfa girer. Bu boyar maddeler, elyafa (bitki-hayvan kökenli) bağlanırken kararsız bileşikler oluştururlar. Bu kararsızlığı gidermek amacıyla mordanlama işlemi uygulanır. Mordanlama, boyar madde ve elyafa aynı kimyasal ilgiyi gösteren bir maddenin elyaf üzerine yerleştirilmesidir. Mordanlamanın ardından boyar madde ve elyaf kimyasal tepkimeye sokulur. Mordanlama işleminde Alüminyum, Krom, Demir ve Kalay tuzları kullanılır. Mordanlama işlemi sayesinde elyaf üzerinde suda çözünmeyen kompleksler oluşur (Delikanlı, 2013).

2.2.8. Sülfür boyar maddeler

Yüksek sıcaklıkta gerçekleşen bir reaksiyonla elde edilirler. Bu reaksiyonda amino ve nitro grubu içeren amino bileşikler sodyum sülfid veya sülfür ile tepkimeye girer. Selülozik elyaf ve pamuğun boyanmasında önemli bir yere sahiptir. Çoğunlukla koyu renkleri kullanılır (Delikanlı, 2013; Biroğlu, 2012).

2.2.9. Geliştirilmiş boyar maddeler

Pamuk ve poliamid elyafın renklendirilmesi amacıyla geliştirilmiştir. Işığa karşı mukavemeti düşük olmasına rağmen, boyama sürecinin hızlı ilerlemesi nedeniyle tercih edilirler (Biroğlu, 2012).

2.2.10. Anilin siyahı

Anilinin oksitlenmesiyle elde edilir. Oksitleyici özelliğe sahip, çözünmez bir maddedir. Pamuk ve poliamid elyafın renklendirilmesini sağlar. Parlaklık şiddeti çok iyi ve ekonomiktir (Biroğlu, 2012).

2.2.11. Metal-kompleks boyar maddeler

Bu boyar maddeler, metal iyonları ile belirli gruplara sahip bazı azo boyar maddelerinin kompleks oluşturmasıyla meydana gelir. Kompleks oluşumu azo grubu ve metal katyonu ile oluşur. Metal olarak başta Kobalt ve Krom olmak üzere, Bakır ve Azot iyonları kullanılır. Cr içeren metal-kompleksler, genellikle yün ve poliamidin renklendirilmesi amacıyla kullanılır (Delikanlı, 2013).

2.3. Tekstil Endüstrisi Atık Suları

Tekstil endüstrisi terbiye işlemlerinde fazla miktarda su kullanılmakta ve kullanılan bu su yüksek debili atık su oluşumuna neden olmaktadır. Bu atık suların yapısındaki kimyasallar, içeriğinde bulunan organik maddeler ve özellikle boyarmaddeler ekosistem dengesini olumsuz etkilemektedir (Zagal, 2008).

Çizelge 2.2. Tekstil atık sularında kirlilik parametreleri (Delikanlı, 2013).

Tekstil Endüstrisi Atık Sularında Kirlilik Parametreleri		
Fiziksel Parametreler	Kimyasal Parametreler	Biyolojik Parametreler
Çözünmemiş maddeler	Organik ve inorganik bileşikler	
Sıcaklık	pH	
Koku	TOK	
Renk	KOİ	BOİ
Radyoaktivite	Cl iyonu, Cl ihtiyacı	Patojen organizmalar
Köpük	Sertlik (Ca^{++} ve Mg^{++})	Toksik kimyasallar
Korozyon	Toplam çözünmüş tuzlar	
Ç.O	Fenol	
	Yağ ve hidrokarbonlar	
	Spesifik iyonlar	

Su kirliliği fiziksel, kimyasal ve biyolojik kirlilik olmak üzere üç kısımda incelenir. Tekstil endüstrisi atık suları üç kısım kirleticiyi de içermeleri nedeniyle biyolojik çevre için oldukça zararlıdır. Tekstil endüstrisi atık sularının genel özelliklerini bilmek arıtım için kullanılacak sistem seçimi için oldukça yararlıdır.

Tekstil endüstrisinde oluşan atık sular farklı terbiye işlemlerinden kaynaklandığı için, atık suyun niteliği de işleme göre farklılık göstermektedir. Çizelge 2.3’de terbiye işleminin niteliğine bağlı olarak oluşan atık suların içeriği verilmiştir (Biroğlu, 2012; Delikanlı 2013).

Çizelge 2.3. Tekstil terbiye işlemine bağlı olarak oluşan atık su içeriği (Biroğlu, 2012; Delikanlı 2013).

İŞLEM	ATIK SU İÇERİĞİ
ÖN TERBİYE	90 °C < çözünmüş NaOH, Permetrin ($C_{21}H_{20}Cl_2O_3$), Elyaf atıkları
HAŞILLAMA	Doğal nişastalar Modifiye selülozlar Sentetikler Polivinil alkol Karboksimetil selüloz Poliakrilik asit
YIKAMA VE HAŞIL SÖKME	Sodyum hidroksit Klor Silikatlar Sodyum bi sülfid Deterjanlar Asitler Enzimler Ön terbiye ve haşıllama işlemlerinde kullanılan kimyasallar AKM Yağ ve gres içeriğine sahip atıklar Yüksek KOİ (kaynağı da polivinil alkol).
YAKMA	Sülfürik asit Sodyum karbonat Düşük organik madde Yüksek çözünmüş madde
AĞARTMA	Hidrojen peroksit Sodyum hipoklorit Sodyum klorür SO ₂ gazı
MERSERİZASYON	NaOH Sülfürik asit veya Hidroklorik asit Nötralleşme sonucu oluşan tuzlar ve kimyasallar Atık su sıcaklığı 15 °C
BOYAMA	Bu işlem sonucunda oluşan atık su kirlilik yükünün %20- %40 ını oluşturmaktadır. Kirlilik yükünün yanı sıra kullanılan boyar madde türüne bağlı olarak da atık sudaki kirlilik yükü değişkenlik göstermektedir. Ayrıca ele alınacaktır.
APRELEME	Nişasta Kola Balmumu Sentetik reçineler NH ₄ ⁺ ve ZnCl ₂ Yumuşatıcı maddeler Çeşitli özel kimyasallar Pentaklorofenoller, Etilklorofosfatlar vb. toksik bileşenler

Tekstil endüstrisi atık suları canlılar üzerinde toksik etki göstermenin yanı sıra, içeriğindeki boyar maddeler nedeniyle suyun ışık geçirgenliği azalır. Atık suyun deşarj edildiği ortamlarda ışık geçirgenliğinin azalması, canlıların fotosentetik aktivitesini olumsuz etkiler. Atık suların tekrar kullanımı, deşarj edilecekse yasal düzenlemelerle belirlenen deşarj kriterlerine uygun deşarjının sağlanabilmesi giderek önem kazanmaktadır. Ancak tekstil endüstrisi atık su özellikleri terbiye işlemi türüne göre farklılık gösterdiği için arıtımı oldukça zordur (Uçar, 2008; Çalışır,2010).

2.4. Boyama Proseslerinden Kaynaklanan Atık Sular

Boyama prosesinden kaynaklanan atık suyun özellikleri bünyesindeki boyar maddeye göre değişiklik göstermektedir. Tekstil boyahanesinden kaynaklanan atık suyun özelliği boyar maddenin kendi özelliğinin yanı sıra boyar maddenin cinsine göre farklılıklar gösterebilen yardımcı kimyasallar ve boyama prosesindeki farklılıklar nedeniyle de değişkenlik göstermektedir. Boyama proseslerinde, boyama işlemini gerçekleştirmek için sıklıkla kullanılan kimyasallar işlevleriyle birlikte Çizelge 2.4' de belirtilmiştir.

Çizelge 2.4. Boyama proseslerinde kullanılan yardımcı kimyasallar ve işlevi (Kocaer, 2002; Zagal, 2008).

KİMYASAL	BİLEŞİM	İŞLEV
TUZ	NaCl Na ₂ SO ₄	Elyafın zeta potansiyelini nötralize etmek (yavaşlatmak)
ASİT	CH ₃ COOH H ₂ SO ₄	pH'ı düzenlemek
BAZ	NaOH Na ₂ CO ₃	pH'ı düzenlemek
TAMPON	PO ₄ ⁻³	pH'ı düzenlemek
KOMLEKS YAPICI	EDTA	Kompleks yapmak
DİSPERS EDİCİ VE YÜZEY AKTİF	Anyonik Katyonik Noniyonik	Boyar maddeyi dağıtmak
OKSİDE EDİCİ	H ₂ O ₂ NaNO ₂	Boyar maddeyi çözünmez yapmak
İNDİRGEYİCİ	Na ₂ SO ₃ NaHS	Boyar maddeyi çözünür yapmak
TAŞIYICI	Fenilfenoller Klorlubenzenler	Adsorbsiyonu arttırmak

Boyama proseslerinde boyar maddenin cinsine göre boyar madde kaybı da değişkenlik gösterir. Örneğin bazık boyar maddelerde %2, reaktif boyar maddelerde %50 boyar madde kaybı gerçekleşir. Boyar maddede gerçekleşen bu madde kaybı ise atık sularla deşarj edilir. Bu nedenle renk parametresinin atık sulardaki değişimi uygulanan boyar maddeye ve uygulanan prosese göre değişmektedir (Uçar, 2008).

Tabloda verilen kimyasallar ve kullanılan ek kimyasallarla birlikte boyar madde kaybı tekstil boyama prosesinde oluşan atık suyun karakteristik özelliklerini oluşturmaktadır. Tekstil endüstrisi boyama prosesinde kullanılan farklı boyar maddelerle farklı tekstil ürünlerinin boyanması sonucu oluşan atık suyun karakteristik özellikleri Çizelge 2.5 ‘de verilmektedir (Correia, 1994; Delikanlı, 2013).

Çizelge 2.5. Boyama prosesi atık su karakteristikleri (Correia, 1994; Delikanlı, 2013).

BOYAR MADDE	ELYAF ÇEŞİDİ	Renk (ADMI)	AKM (mg/l)	ÇKM (mg/l)	TOK (mg/l)	BOİ (mg/l)	pH
Asit	Poliamid	4000	14	2028	315	240	5,1
1:2 Metal Kompleks	Poliamid	370	5	3945	400	570	6,8
Bazık	Akrilik	5600	13	1469	255	210	4,5
Direkt	Viskoz	12500	26	2669	140	15	6,6
Reaktif, kesikli	Pamuklu	3890	32	12500	150	0	11,2
Reaktif, sürekli	Pamuklu	1390	9	691	230	102	9,1
Vat	Pamuklu	1910	41	3945	265	294	11,8
Dispers, yüksek sıc.’da	Polyester	1245	76	1700	360	198	10,2

Çizelge 2.5’de de görüldüğü gibi boyama prosesi atık su karakteristikleri, kullanılan boyar madde, elyaf çeşidi ve proses türü (kesikli, sürekli) gibi etkenler nedeniyle oldukça farklılaşmaktadır. Bu farklılaşmanın sonucu olarak boyama prosesi atık sularının artımı da güçleşmektedir. Bu güçlük nedeniyle tekstil endüstrisi atık sularının arıtımı için birçok yöntem geliştirilmiş ve geliştirilmeye devam etmektedir.

Çizelge 2.6. Atık su arıtımında kullanılan bazı renk giderim proseslerinin genel olarak karşılaştırması (Cebeci, 2014).

Proses	Avantaj	Dezavantaj
Biyolojik	-Düşük maliyet -Direkt, dispers ve bazik boyarmaddelerde giderim verimi yüksek	-Boyalar genellikle toksiktir ve biyolojik arıtmaya dirençlidir. -Asit ve reaktif boyar maddelerde giderim verimi düşük
Koagülasyon	-Maliyeti uygun -Sülfür, dispers ve vat boyar maddelerde giderim verimi yüksek	-Giderim verimi pH'a bağlı. -Çamur üretimi yüksek -Giderim verimi azo, asit, reaktif ve bazik boyar maddeler için düşük
Aktif Karbon Adsorpsiyonu	-Azo, reaktif, asit ve bazik boyarmaddelerde giderim verimi yüksek	-Giderim verimi pH'a bağlı -Dispers, sülfür ve vat boyar maddeler için giderim verimi düşük -Rejenerasyon maliyeti yüksek -Adsorbant kaybı yaşanmakta -Bertaraf maliyeti yüksek
İyon Değiştirme	-Adsorbant rejenerasyonu -Boyar madde geri kazanımı mümkün	-Rejenerasyon maliyeti yüksek -Büyük ölçekte boya geri kazanım maliyeti yüksek
Membran Filtrasyonu	-Tüm boyarmaddeler için giderim (farklı membranlarla) -Boya banyosu atıksuyunun gerikazanımı mümkün	-Konsantre çamur üretimi -Membran maliyeti yüksek
Kimyasal Oksidasyon	-Boyar madde azo bağlarının etkili kırılması	-Termodinamik ve kinetik kısıtlamalar -İkincil kirletici üretimi (oksitleyicilere bağlı) -Dispers boyar maddelerde başarısız -Mineralizasyon düşük -Aromatik amin oluşumu ve klorürlü kirleticilerin oluşumu muhtemel
İleri Oksidasyon Prosesleri	-Serbest radikal oluşumu -Konvansiyonel oksitleyicilerden çok daha etkili -Çamur oluşumu yok (Fentonda az miktarda)	-Toksik ara ürün oluşumu muhtemel -Tam mineralizasyona ulaşılamayabilir -Ortamda bulunan radikallerin giderimi için pH'a bağımlı -Maliyeti yüksek
Elektrokimyasal	-Çözünen veya çözünmeyen boyar maddelerin etkili giderimi -KOİ giderimi -Tuz konsantrasyonundan etkilenmez	-Çamur üretimi -Elektrokoagülasyon sonucu ikincil kirletici oluşumu var. -Elektrik maliyeti yüksektir -Verim boyar maddeye bağlıdır
Islak Hava Oksidasyonu	-Özellikle yakma işlemi için çok seyreltik, biyolojik yöntem için çok toksik, konsantre çözeltilere uygulanabilir	-Tam mineralizasyona ulaşılamayabilir. -Düşük molekül ağırlıklı bileşikler için uygun değil -Yüksek yatırım ve işletme maliyeti (basınç ve sıcaklığa bağlı)

3. ATIK SULARDA ÖLÇÜLEN PARAMETRELER

3.1. Sıcaklık

Atık suların sıcaklığının uygulanan proses sonucu değişkenlik gösterdiği bilinmektedir. Alıcı ortam ile atık su sıcaklığının eşit olmaması halinde alıcı ortamlarda bulunan ekosistem olumsuz etkilenmektedir. Nitekim bazı canlı türleri için 1 °C'lik sıcaklık farkı bile yaşamsal fonksiyonları olumsuz etkileyebilmektedir.

3.2. Koku

Sularda bulunan kirleticilerin kendine has bir kokusu bulunmasının yanı sıra, özellikle organik kirleticilerin bozunması sonucu da kötü koku oluşumu meydana gelmektedir. Bozunma sonucu oluşan H₂S gazı en belirgin kokuyu oluşturmaktadır (Boduroğlu, 2008).

3.3. Bulanıklık

Bulanıklık ışığın sudan geçmemesi sonucu oluşan bir olguyu ifade eder. Bulanıklığın nedeni, AKM' nin ışık geçişine izin vermemesi veya sınırlı izin vermesidir. Farklı tanecik büyüklüklerine sahip olan bu maddeler kolloidal yapıda da olabilirler. Tanecik büyüklüğü ve miktarı bulanıklık miktarını etkiler. Bulanıklık tayininde gözle mukayese metodu kullanılabilir. Ancak enstürimental metotla bulanıklık tayini güvenilirliğinin daha yüksek olması nedeniyle tercih edilmektedir (Özan, 2012).

3.4. Renk

İlk bakışta önemsiz gibi görünen renk, renkliliğe neden olan maddenin toksisitesi ve sucul ortamlarda ışık geçirgenliğini düşürmesi nedeniyle ekosistem üzerine oldukça ciddi tehditler oluşturmaktadır (Çalışır, 2010).

Renk, organik bileşiğin ihtiva ettiği “kromofor grup” vasıtasıyla oluşur. Kromofor grubun, 400 nm – 750 nm arasında olan görünür ışığın bir kısmını soğurması, bir kısmını ise yansıtması sonucu renk kavramı ortaya çıkar. Işığın soğurulan kısımlarına "Absorblanan renk", yansıtılan kısımlarına "Komplementer renk" denir. Çizelge 3.1'de renk kavramı dalga boyları ile birlikte verilmiştir (Delikanlı, 2013).

Çizelge 3.1. Dalga boyları ile renk kavramı (Çalışır, 2010).

Absorbans Rengi	Absorbans	Komplementer Renk
Menekşe	400 – 440 nm	Sarı – Yeşil
Mavi	440 – 480 nm	Sarı
Yeşil – Mavi	480 – 490 nm	Turuncu
Mavi – Yeşil	490 – 500 nm	Kırmızı
Yeşil	500 – 560 nm	Eflatun
Sarı – Yeşil	560 – 580 nm	Menekşe
Sarı	580 – 595 nm	Mavi
Turuncu	595 – 605 nm	Yeşil – Mavi
Kırmızı	605 – 750 nm	Mavi – Yeşil

Su ve atık sularda gerçek renk ve zahiri renk olmak üzere iki çeşit renkten bahsetmek mümkündür. Zahiri renk doğrudan ölçüm yapılarak, gerçek renk ise bulanıklığın giderilmesi sonrası ölçüm yapılarak elde edilir (Çalışır, 2010).

Sularda renk tayininde görsel mukayese, spektrofotometre cihazları, kolorimetre cihazları kullanılabilir. Cihaz kullanımına da paralel olarak Hazen testi (Pt-co testi), RES metodu, ADMI metodu ve ALAN metodu gibi farklı metotlarla renk tayini yapabilmek de mümkündür (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2013).

Atık suların deşarjında renklilik parametresine yer veren mevzuatlar da gün geçtikçe artmaktadır. Ülkemizde SKKY’de (Su kirliliği kontrol yönetmeliği) yapılan değişiklikle, tekstil endüstrisi atık sularının alıcı ortama deşarjı için renk parametresi ile ilgili standartlar eklenmiştir. 2012’de yayınlanan yönetmelik ile de 24.04.2012 tarihinden itibaren standartların uygulanması zorunlu hale getirilmiştir. Çizelge 3.2’de Türkiye’de tekstil endüstrisi atık sularında aranan renk deşarj standartları verilmiştir (Resmi Gazete, 2011; Resmi Gazete, 2012).

Çizelge 3.2. Türkiye’ de atık sularda aranan renk deşarj kriterleri (Resmi Gazete, 2011).

Parametre	2 saatlik Kompozit Numune	24 saatlik Kompozit Numune
Renk	280 Pt-co	260 Pt-co

Ülkemiz dışında da atık suların deşarjında aranan renklilik kriterlerine dair yasal düzenlemeler mevcuttur. Bazı ülkelerin yasal düzenlemelerle sular için belirlediği standartlar Çizelge 3.3’de belirtilmiştir.

Çizelge 3.3. Ülkelere göre sularda aranan renk kriterleri (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2013).

ÜLKE	RENK STANDARDI	DEŞARJ / SU ORTAMI
ABD EPA	15 renk birimi	Alicı ortam su kalitesi (genel)
ABD Oklahoma	70 Pt-Co	Alicı ortama atık su deşarjı
ABD New York	15 Pt-Co	Yer altı suyu
ABD Rhode Island	200 ADMI (3 WL)	Alicı ortama atık su deşarjı
ABD Wisconsin	225-600 ADMI	Alicı ortama atık su deşarjı
ABD Atlanta	15 renk birimi	İçme sularında
Kanada	15 TCU	İçme sularında
Vietnam	15 Pt-Co	İçme suyu kaynağı
	5-50 Pt-Co	Yer altı sularında
Guatemala	500 Pt-co	Kanalizasyona deşarj
Avrupa Birliği	7 RES _{436 nm} (m ⁻¹)	Alicı ortam deşarjı
	5 RES _{525 nm} (m ⁻¹)	
	3 RES _{620 nm} (m ⁻¹)	
İngiltere	550 nm’de 0,055 abs	Su kaynaklarında su kalitesi
Nijerya	7 lovibond	Yüzey suyuna atık su deşarjı
Kenya	40 Hazen	Kanalizasyon deşarj
	15 Hazen	Alicı ortama deşarj
	100 TCU	Rekreasyon amaçlı kullanımda su kalitesi
Hindistan	5 Pt-Co	İçme suları
	25 Pt-Co	Alternatif kaynak yokluğunda içme suları
	300 Pt-Co	Karasal yüzey sularına deşarj
	10 Pt-Co	A sınıfı yüzey suları
	300 Pt-Co	B sınıfı yüzey suları
	>300 Pt-Co	C sınıfı yüzey suları
Singapur	7 lovibond	Alicı ortama deşarj
	7 lovibond	Kontrollü alıcı ortama deşarj
Dubai	50 renk birimi	Denize deşarj
Tayvan	400 ADMI	Alicı ortama deşarj
Malezya	15 TCU	I.Sınıf sular (su kaynağı)
	150 TCU	II. Sınıf sular (rekreasyon)
Çin	300 ADMI	Atık sularda boya kalıntısı
		Boya endüstrisi
	50 ADMI	A sınıfı suya deşarj
	180 ADMI	B sınıfı suya deşarj
		Diğer endüstriler
	50 ADMI	A sınıfı suya deşarj
	80 ADMI	B sınıfı suya deşarj
Avustralya	Alicı ortamın renginde değişim olmamalı	Alicı ortama deşarj

3.5. pH

pH genel tanımıyla çözeltilerde asitlik-bazlık derecesini gösteren bir ölçü birimidir. pH terimi “Power of Hydrogen” kelimelerinin kısaltmasıdır. Terimsel açımdan da anlaşılabilceği üzere pH, H^+ iyonunun aktivitesini göstermektedir. Çözeltideki H^+ iyonu konsantrasyonunu ifade ettiğini belirten kaynaklar da bulunmaktadır. Bir çözeltideki H^+ iyonunun aktivitesinin belirlenmesinde elektrometrik veya kolorimetrik prosedürler kullanılabilir. Ölçüm kolaylığı, hassasiyet ve güvenilirliğinin yüksek olması nedeniyle elektrometrik prosedürün uygulanması tercih sebebidir (Özan, 2012).

3.6. Asidite

Bir çözeltinin içeriğindeki CO_2 ve asit özelliği gösteren bileşiklerin ölçümü ile belirlenir. CO_2 ve asit minerallerin ölçümünde standart alkali çözeltiler kullanılır. Mineral asiditesi ölçümü için yapılan titrasyonda metil oranj indikatörü kullanılır. Toplam asidite ölçümü için yapılan titrasyonda ise fenolftaleyn indikatör olarak kullanılır (Kavuştu, 2016).

3.7. Alkalinite

Atık suların genellikle alkali bir yapıya sahip olması nedeniyle önemli bir parametredir. Alkalinite, suyun tamponlanabilme kapasitesini gösteren bir ölçümdür. Atık sularda alkalinite; Ca, Mg, Na, K gibi elementlerin hidroksitlerinin veya karbonatlarının varlığından oluşabileceği gibi amonyaktan da oluşabilmektedir. Alkalinite ölçümünde N/50 H_2SO_4 çözeltisi ile numunenin titrasyonu gerçekleştirilir. Harcanan hacim aracılığıyla ölçüm gerçekleştirilir. Eğer $pH > 8,3$ ise iki aşamalı titrasyon yapılır. Birinci aşamada fenolftaleyn, ikinci aşamada ise metil oranj indikatör olarak kullanılır (Boduroğlu, 2008; Özan, 2012).

3.8. Sertlik

Sularda sertlik, çok değerlikli metal iyonlarının varlığını temsil eder. Sertliğe neden olan başlıca iyonlar; Mg^{++} , Ca^{++} , Fe^{++} , Sr^{++} , Mn^{++} iyonlarıdır. Bu iyonlar sularda çökelek oluşumuna ve kireç taşı oluşumuna neden olabilmektedir. Özellikle kullanım sularında (evsel ve endüstriyel) ölçülen önemli bir parametredir. Atık suların sucul ortamlara deşarjı için de göz önünde bulundurulmalıdır (Toröz, 2013).

3.9. Toplam Organik Karbon (TOK)

TOK, atık su içeriğindeki organik maddelerin toplamının belirlenmesi için kullanılan bir yöntemdir. Bu test düşük organik madde içeriğine sahip atık sulara uygulanabilmektedir. Testin uygulanma sürecinde, organik karbon bir katalizör aracılığıyla oksitlenir. Oksitlenme sonucu oluşan CO₂ numune içeriğindeki organik karbonu temsil eder. Bu testte ara ürünler de oluşabildiği için, elde edilen sonuçlar gerçek organik karbon miktarından düşüktür (Öztürk, 2005).

3.10. Bakiye Klor ve Klor İhtiyacı

Su ve atık su kaynaklarında bulunan patojen mikroorganizmaların yayılmasını önlemek amacıyla dezenfekte edilmesi gerekmektedir. Klorlama işlemi, dezenfeksiyon amacıyla kullanılan en yaygın yöntemdir. Ancak kullanım sırasında ve sonrasında oluşan yan ürünler de canlıları tehdit etmektedir. Patojen mikroorganizmaların bertaraf edilmesini sağlamanın yanı sıra suda veya atık suda bulunan diğer mikroorganizmaların da canlılığını tehdit ettiği göz önünde bulundurulmalıdır. Deşarj ortamlarında ekosistemi tehdit edebileceği gibi mikroorganizmalar aracılığıyla giderim yapıldığında mikroorganizmaların canlılığını tehdit edebileceği de göz önünde bulundurulmalıdır (Toröz, 2013).

3.11. Klorür

Klorür suyun normal bileşenleri arasında bulunan, doğrudan toksik etki göstermemesine karşın dolaylı olarak ekosistemi tehdit eden unsurlar arasında yer alır. Suların tuzluluk oranını arttırması nedeniyle evsel, endüstriyel ve tarımsal kullanım için önem arz etmektedir. Biyolojik açıdan parçalanabilirliğin mümkün olmaması, KOİ belirlenmesinde girişimde bulunması, tuz toleransı düşük olan canlıların canlılık faaliyetlerini tehdit etmesi su ve atık sularda bulunan klorür miktarının önemini göstermektedir (Toröz, 2013).

3.12. Çözünmüş Oksijen

Aerob canlılar, canlılık faaliyetlerini sürdürebilmek için oksijene ihtiyaç duyan canlılardır. Sucul ekosistemlerde bulunan aerob organizmalar suda çözünmüş halde bulunan oksijeni kullanabilmektedirler. Bu nedenle atık sularda bulunan çözünmüş oksijen miktarı alıcı ortamlarda bulunan canlılar için önem arz etmektedir. Bunun yanı sıra atık sulardaki organik atıkların bertaraf edilmesini sağlayan mikroorganizmalar

arasında aerob olanlarının bulunması, atık suyun arıtımı için de çözünmüş oksijen miktarının önemini ortaya koymaktadır (Özan, 2012).

3.13. Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ)

Aerob koşullarda organik maddelerin mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılabilmesi için gerekli oksijen miktarı olarak tanımlanabilir. BOİ belirlenmesinde ‘Doğrudan ölçüm metodu’ ve ‘Seyreltme metodu’ uygulanabilmektedir. Numunelerin çok az bir miktarı doğrudan ölçüm metodu için uygundur. Ölçümlerde karışık mikroorganizma kültürü kullanılır. Ölçümü gerçekleştirilecek numunenin ÇO değeri belirlenir. Ardından Oksijen çözünürlüğünün dış etmenlerden etkilenmemesi amacıyla 20 °C’ de inkübasyona bırakılır. 5 gün süren inkübasyon sonrası tekrar ÇO belirlenir. ÇO değerleri arasındaki fark BOİ değerini verir. Alternatif yöntem olarak kullanılan KOİ testi, BOİ testine göre çok az sapma göstermektedir (Öztürk, 2005; Boduroğlu, 2008).

3.14. Kimyasal Oksijen İhtiyacı

Kimyasal oksijen ihtiyacı, atık sularda organik madde konsantrasyonunu belirlemek amacıyla kullanılan bir parametredir. Ölçüm, $K_2Cr_2O_7$ (Potasyumdikromat) aracılığıyla organik maddenin oksitlenmesine dayanır. Biyolojik oksijen ihtiyacına göre daha yüksek değerler vermesinin nedeni biyolojik oksitlenebilirlik ve kimyasal oksitlenebilirlik arasındaki farktır. Literatür çalışmalarında KOİ testi BOİ testi yerine tercih edilmektedir. Tercih edilmesinin en önemli nedeni zaman konusundaki üstünlüğüdür. Kimyasal oksijen ihtiyacının belirlenmesi 3 saatlik bir zaman diliminde mümkün iken, biyolojik oksijen ihtiyacının belirlenmesi için 5 günlük bir zaman dilimine ihtiyaç bulunmaktadır (Öztürk, 2005; Özan, 2012).

3.15. Azot

Özellikle protein sentezi için çok büyük öneme sahip olan azot, mikroorganizmalar için de elzem bir elementtir. Atık sularda bulunan azot, yüksek oksijen tüketimine ve ötrifikasyona neden olabilmektedir. Atık sulardaki azot kaynaklarının başında proteinler ve üre gelmektedir. Bu azot kaynaklarını mikroorganizmalar parçalayarak amonyak oluştururlar. Oluşan amonyak yine mikroorganizmalar aracılığıyla Nitrit ve Nitrat’ a oksitlenir. Atık sular için bir anlamda tehlike olarak görünen azot biyolojik arıtma yöntemleri için elzemdir. Evsel atık sularda

yeterli oranda bulunmasına rağmen endüstriyel atıksuların biyolojik arıtımı için dışarıdan eklenmesi gereken bir madde olabilmektedir. Biyolojik arıtma yöntemlerinin atık suya uygulanabilmesi için gerekli azot miktarı karbonlu maddenin %5'inin üzerinde olmalıdır (Boduroğlu 2008; Kavuştu, 2016).

3.16. Katı Madde

Su veya atık suda çözünmüş veya çözünmemiş olarak bulunan maddelere katı madde denir. Genel tanımlamada; süzütünün 103–105 °C'de buharlaştırılarak kurutulması sonrasında kalan katının tümüdür. Katı madde konsantrasyonu belirli bir limitin üzerinde olduğunda alıcı ortamlarda çökelme ve dip çamuru oluşumuna neden olur (Özan, 2012).

Çizelge 3.4. Sularda bulunan katı maddelerin sınıflandırılması.

Katı Madde	Açıklaması
Toplam Katı Madde	Filtrelenebilir ve filtrelenemeyen tüm katılar toplamıdır.
Toplam Askıda Katı Madde (AKM)	Filtrelenemeyen katı maddeleri ifade eder. (numunenin filtreden geçemeyen katıları)
Çözünmüş Katı Madde	Filtrelenebilir katı maddeleri ifade eder. (numunenin filtreden geçebilen katılarıdır)
Toplam Çökebilir Katı Madde	Ağırlıkları etkisiyle kendiliğinden çökebilir katıları ifade eder.
Toplam Uçucu Katı Madde	Toplam katı madde içerisinde 550°C'de buharlaşabilen miktarını ifade eder.

3.17. Florür

Bilindiği üzere florürün yetersiz miktarda olması ağız ve diş sağlığına olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle içme sularında florür eksikliği bulunan bölgelerde ek uygulamalar yapılarak bu eksiklik giderilmeye çalışılmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucu tüketilen florür miktarının fazla olması durumunda da ciddi sağlık sorunlarının ortaya çıkabildiği saptanmıştır. Bu nedenlerle sularda florür belirlenmesi, suya florür takviyesi yapılacaksa miktarının ayarlanarak zararlı düzeylere ulaşmasının engellenmesi gibi yasal düzenlemeler getirilmeye başlanmıştır (Toröz, 2013).

3.18. Sülfat

İçme sularında belirli bir miktarın üzerinde bulunan sülfat bağırsak florasını olumsuz etkileyerek ishal oluşumuna neden olur. Endüstriyel uygulama sularında fazla miktarda bulunan sülfat, kazan ve ısı jeneratörlerinde çökmelere neden olarak kazan taşı oluşturur. Sülfat arıtma çamuru ve endüstriyel atıkların anaerobik çürütmeleri sonucu oluşan biyogazın niteliğini de etkileyen önemli bir parametredir. Sülfat tayini için iyon kromatografisi, kapiler iyon elektroforezi, gravimetrik analiz, türbidimetrik analiz, otomatik metiltimol mavisi analizi olmak üzere beş standart kullanılmaktadır (Toröz, 2013).

3.19. Fosfor ve Fosfat

Alıcı ortamlarda azot ve fosfor konsantrasyonu artması sonucunda ötrofikasyon meydana gelir. Ötrofikasyon, sucul ekosistemler için ciddi tehdit oluşturan bir durumdur. Bu nedenle atık sularda fosfor tayini oldukça önemli bir parametredir. Ayrıca atık su ıslahı mikroorganizmalar aracılığıyla gerçekleştirilecek ise atık suda belirli oranda fosfor bulunması gerekmektedir. Ayrıca mikroorganizmalar aracılığıyla yapılan giderim faaliyetleri sonucu oluşan çamurun içeriğinde bulunan azot ve fosfor, çamurun gübre olarak kullanılabilmesi için önem arz etmektedir. Evsel atık sularda fosfor konsantrasyonu oldukça yüksek ancak endüstriyel atık sularda fosfor konsantrasyonu oldukça düşük olabilmektedir. Gerek atık su ıslahı gerek atık su deşarjı söz konusu olduğunda fosfor konsantrasyonunun belirlenmesi elzem hale gelmektedir (Özan, 2012; Boduroğlu, 2008).

Fosfor ortofosfat, polifosfat ve organik fosfor bileşikleri formlarında bulunabilir. Ortofosfatlar, düşük polifosfat girişiyle belirlenebilir. Ancak polifosfat ve organik fosfor bileşiklerindeki fosforun tayini için ortofosfatlara dönüştürülmesi gerekmektedir. Sülfürik asit çözeltisi ile kaynatarak polifosfatlar ortofosfatlara dönüştürülebilmektedir. Ortofosfatlara dönüşümün ardından ilave edilen amonyummolibdat çözeltisi fazla asidi nötralize eder. Organik fosfor bileşikleri de oksitleyici bir ajan vasıtasıyla parçalanabilmektedir. Gerektiğinde toplam fosfor da ortofosfat üzerinden bulunur (Toröz, 2013).

3.20. Yağ ve Gres

Suda çözünmeyen bu maddeler atıkların borular aracılığıyla naklini, atıkların biyolojik giderimini ve atıkların alıcı ortama deşarjını zorlaştırmaktadır. Bu zorlukların yanı sıra sucul ortamlara deşarj edildiklerinde, su yüzeyinde oluşturdıkları tabaka nedeniyle ışık geçirgenliği, ÇO gibi önemli parametreleri de olumsuz yönde etkilerler (Toröz, 2013).

3.21. Uçucu Asitler

Organik moleküllerin biyolojik hidrolizi sonucunda oluşan küçük molekülü asitler oluşur. Bu asitler atmosferik basınç altında distile edilebilmektedirler. Bu nedenle uçucu asitler olarak adlandırılırlar. Sistem tamponlamasının yetersiz kalması anaerobik proseslerde pH düşüşüne neden olur ve hatta prosesin yıkımına kadar gidebilir. Uçucu asitler, kolon-ayırma kromatografisi ve distilasyon yöntemleriyle tayin edilebilirler (Toröz, 2013).

3.22. Gaz Analizleri

Atık su arıtma tesislerinde oluşan gazların yakıt değerine sahip olduğu durumlarda önem arz etmektedir. Anaerobik proseslerde bazı sonuçları desteklemek veya eldesi zor bazı sonuçların yerine kullanılmak amacıyla yapılır (Boduroğlu, 2008).

3.23. İz (Eser) Kirleticiler

Suda ve atık suda çok düşük konsantrasyonlarda bulunmalarından dolayı ölçümleri oldukça zor ve karmaşıktır. Ancak gelişen teknoloji sayesinde çok hassas ölçümler yapılabilir. Gaz kromatografisi ve yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) analiz için en çok kullanılan yöntemlerdir (Toröz, 2013).

4. ATIK SULARIN BİYOLOJİK ARITIMI

Doğa kendi içinde bir düzen içerisindedir. Kendi içinde oluşan organik bileşikler, inorganik bileşiklere; inorganik bileşikler ise organik bileşiklere dönüştürerek kendi içinde dengeyi sağlama eğilimindedir. Ancak nüfus artışına paralel olarak artan endüstrileşme sonucunda doğa gerekli adaptasyonu sağlamakta zorlanmakta ve bunun sonucunda doğadaki düzen bozulmaktadır. Doğanın düzeninin bozulması ciddi çevre problemlerine neden olmaktadır. Doğada bulunan dengenin korunması, endüstriyel gelişimlerin olumsuz etkilerinin bertaraf edilmesi de yine doğanın dengesini sağlayan mikroorganizmalar aracılığıyla mümkündür. Bu amaçla atık sularda bulunan maddelerin doğal dengeye zarar vermeyecek şekilde deşarj edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla geliştirilen biyolojik arıtım süreçleri doğada var olanı doğanın lehine kullanmayı hedeflemektedir.

İlk olarak 1900' lü yıllarda atık su içeriğinde bulunan organik maddelerin mikroorganizmalar aracılığıyla giderilebileceği fikrinin ortaya çıkmasının ardından birçok bilim adamının da katkısıyla "Biyoteknoloji Bilimi" altında geliştirilmiştir (Kestioğlu, 2001).

Atık sularda bulunan bileşiklerin mikroorganizmalar aracılığıyla arıtılabilmesi için öncelikle mikroorganizmaların doğadaki işlevlerini iyi bilmek gerekir. Bu nedenle öncelikle mikroorganizmaları sınıflandırarak doğadaki işlevlerini anlamak gerekmektedir.

4.1. Mikroorganizmaların Oksijen İhtiyacına Göre Çeşitliliği

Mikroorganizmalar, doğal döngüde yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmek için belirli koşullara ihtiyaç duyarlar. Metabolik enerji ihtiyaçlarını, karbon ihtiyaçlarını veya diğer ihtiyaçlarını karşılayabilmek adına farklı yollar kullanırlar. Kullandıkları bu yolların temel farklılıklarından biri de oksijen ihtiyacıdır. Mikroorganizmaları metabolik yollarındaki oksijen ihtiyacına göre üç şekilde sınıflamak mümkündür (Tunail, 2009).

4.1.1. Aerob mikroorganizmalar

Metabolik faaliyetlerini gerçekleştirebilmek için oksijen ihtiyacı bulunan mikroorganizmalardır. Moleküler oksijeni metabolik yollarında kullanırlar. Bu mikroorganizmalar yalnızca oksijen varlığında canlı kalabilmektedirler. Aerob

mikroorganizmaların kullanıldığı arıtma sistemlerinde belirli aralıklarla havalandırma yapılarak mikroorganizmaların oksijen ihtiyacı karşılanmalıdır. Aerob mikroorganizmaların atık su arıtımında kullanımı genel olarak askıda (süspanse) veya tutunarak çoğalan sistemler olarak sınıflandırılabilir (Samsunlu, 2006).

4.1.2. Anaerob mikroorganizmalar

Metabolik faaliyetlerini gerçekleştirebilmek için oksijen ihtiyacı bulunmayan mikroorganizmalardır. Metabolik yollarında oksijen kullanmazlar. Hatta ortamda bulunan oksijen bu mikroorganizmalar üzerinde toksik etki yapar. Bu nedenle anaerob mikroorganizmalarla atık su arıtımı için öncelikli olarak hava ile temasın engellenmesi gerekir (Samsunlu, 2006).

4.1.3. Fakültatif mikroorganizmalar

Hem oksijenli hem oksijensiz ortamlarda faaliyet gösterebilen mikroorganizmalar fakültatif mikroorganizmalar olarak sınıflandırılmaktadır. Bu mikroorganizmalar oksijen varlığında aerob, oksijen yokluğunda anaerob olarak yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilirler. Aerob ve anaerob sistemlerin bir arada işletildiği sistemlerin kesişim alanında bol miktarda bulunurlar. Evsel atık su arıtımında stabilizasyon havuzlarında kullanımları yaygındır (Samsunlu, 2006).

4.2. Mikroorganizmaların Metabolik Çeşitliliği

Mikroorganizmalar, bulundukları ortama adapte olabilmek için fizik ve kimya kanunları çerçevesinde her yolu kullanmaktadırlar. Bu metabolik kapasite farklı habitatlara yerleşmelerini sağlamıştır (Tunail, 2009).

Hücreler ve hücresel organizasyonların tamamı canlılık faaliyetlerini sürdürebilmek, çoğalabilmek ve adaptasyon geliştirmek için enerjiye ihtiyaç duyarlar. Bu enerji ihtiyacını karşılamak için gerekli kaynaklar ve gerekli araçlar bulunmaktadır. Enerji elde edebilmek için gerekli enerji kaynakları farklı araçlarla kullanılabilir. Doğada enerji eldesi organik bileşikler, inorganik bileşikler ve ışık kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Çökmüş, 2012).

4.2.1. Kemoorganotroflar

Doğada bulunan binlerce kimyasal madde vardır. Bu kimyasal maddelerin birçoğu birden fazla canlı için enerji eldesinde kullanılabilir. Doğal bileşiklerin

yanı sıra birçok sentetik organik bileşik de mikroorganizmalar tarafından parçalanabilir, enerji eldesinde kullanılabilir. Enerji üretiminde bileşiğin oksitlenerek adenozin trifosfat (ATP) sentezinin gerçekleşmesi sağlanır. Bu molekül enerji bakımından oldukça zengindir. ATP hücre içerisinde enerjinin depolanmasını, gerektiğinde enerjinin hücre içinde aktarımını sağlar (Demirsoy vd. , 2003).

Enerji eldesini organik moleküllerin oksidasyonu aracılığıyla elde eden mikroorganizmalara kemoorganotroflar adı verilmektedir. Enerji eldesini organik moleküllerin yıkımından elde eden kemoorganotroflar aerob, anaerob veya fakültatif yollar kullanabilirler (Tunail, 2009).

4.2.2. Kemolitotroflar

Yalnızca prokaryot hücrelerde görülen bir enerji eldesidir. Bazı prokaryotlar inorganik bileşiklerden enerji elde etmek üzere adaptasyon sağlamışlardır. Kemolitotroflar, kemolitotrofi adı verilen bir metabolizma aracılığıyla inorganik bileşiklerden enerji elde edebilirler. Kemolitotrofide kullanılan birçok inorganik bileşik bulunmasına rağmen bir mikroorganizma belli bir inorganik bileşik veya bu bileşiğin yakın gruplarını kullanabilmek adına gelişmiştir (Demirsoy vd. , 2003).

İnorganik bileşiklerden enerji elde edebilen kemolitotroflar, kemoorganotroflarla rakip olmadıkları için avantajlıdır. Ayrıca kullandıkları inorganik moleküllerin birçoğu kemoorganotrofların atık ürünleridir. Bu nedenle de doğal döngüde özel bir yere sahiptirler. Ayrıca birçok organizmanın kullanamadığı kaynakları kullanabilmeleri de oldukça büyük bir avantajdır (Çökmüş, 2012).

4.2.3. Fotototroflar

Fototroflar, enerji eldesinde ışık enerjisini enerji kaynağı olarak kullanırlar. Fototrofik mikroorganizmaların ışıktan enerji elde etmelerini sağlayan renk pigmentleri mevcuttur. Sahip oldukları renk pigmentleri nedeniyle de fototrofik mikroorganizmalar renkli bir görünüme sahiptirler. ATP' nin eldesi direkt ışık enerjisinden sağlandığı için fototrofik mikroorganizmalar enerji kaynağı olarak bileşiklere ihtiyaç duymazlar. Enerji eldesi bakımından diğer mikroorganizmalarla rekabet gerektirmediği için bu durum önemli bir avantaj yaratmaktadır (Tunail, 2009).

Prokaryotlarda bilinen iki tip önemli fototrofi mevcuttur. Bunlardan ilki olan oksijenik fotosentez siyanobakteriler ve filogenik akrabalarına özgüdür. Bu

fotosentezde ürün olarak oksijen oluşur. İkinci tipi olan anoksijenik fotosentezde oksijen oluşumu gözlenmez. Anoksijenik fotosentez, mor ve yeşil bakterilerde görülür. Gerek oksijenik gerekse anoksijenik fotosentezde enerji eldesi için ışık kullanılır. Her iki grubun da ATP sentez mekanizmaları oldukça benzerdir (Çökmüş, 2012).

4.2.4. Ototroflar ve heterotroflar

Bütün hücreler karbon kaynağına ihtiyaç duyarlar. Mikroorganizmalar kullandıkları karbon kaynaklarına göre ototroflar ve heterotroflar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Ototroflar karbon kaynağı olarak karbondioksiti kullanırken heterotroflar bir veya birden fazla organik bileşiğe karbon kaynağı olarak ihtiyaç duyarlar. Mikroorganizmaları ototrof ve heterotrof olarak sınıflandırdığımızda, kemoorganotrofları heterotrof, fotoototrof ve kemolitotrofları (birçoğu) ise ototrof olarak ele alabiliriz (Çökmüş, 2012).

Ototroflar, karbondioksitten organik madde sentezlemektedirler. Bu nedenle ototrof mikroorganizmalara primer üreticiler denilmektedir. Kemoorganotroflar ya ototroflarla ya da onların ürünleri olan organik bileşiklerle beslenirler (Tunail, 2009).

4.2.5. Ekstremofiller

Mikrobiyal toplulukların bulunduğu bazı çevreler bize göre çok ekstrem gibi görünen koşullara sahiptirler. Mikrobiyal çevrede yaygın olarak bulunan ekstrem koşullar bazı mikroorganizmaların sorun yaşamasına neden olsa da bazı mikroorganizmaların yaşam alanlarıdır. Ekstrem koşullarda yaşayan çoğu prokaryot olan gruplara ekstremofiller adı verilmektedir. Ekstremofiller, buz kaplı göl, aşırı tuzlu su, kaynayan kaplıca suları, buzullar vb. özel koşulları seven ve bu koşullarda canlılık faaliyetlerini sürdüren prokaryotlardır (Çökmüş, 2012).

4.3. Mikroorganizmaların Hücresel Çeşitliliği

Canlıların sınıflandırılmasında geçmişten günümüze sekiz farklı sistem geliştirilmiştir. Özellikle mikroorganizmalar hakkında bilinenlerin artması nedeniyle yeni sistemlerin de geliştirileceği aşikardır. Son sınıflandırmalara göre henüz virüsler sınıflandırma basamaklarında yer almamakta çünkü günümüzdeki birçok bilim insanı tarafından canlı ve cansız arasında geçiş formu olarak kabul edilmektedir. Ancak canlılık özellikleri gösterebildikleri durumlar da söz konusu olduğu için zamanla

sınıflandırma basamaklarının en alt basamağında yerini alacağı düşünülmektedir (Demirsoy, 2003).

Canlılar hücresel organizasyonlarına göre prokaryot ve ökaryot olarak sınıflandırılmaktadır. Günümüzde gelişen moleküler biyoloji yaklaşımlarına göre mikroorganizmaların filogenetik sınıflandırılmasında rRNA dizilenmelerinin kullanımı söz konusudur. rRNA dizilenmelerine göre canlılar üç domaine ayrılırlar. Bu domainlere göre mikroskobik canlıları gerçek bakteriler, arke bakterileri ve ökaryotlar olarak sınıflandırmak mümkündür (Çökmüş, 2012).

4.3.1. Prokaryotik çeşitlilik

Canlıları sınıflandırırken üç domainden bahsetmiştik. Bu domainlerden Arkeler ve Bakteriler hücresel organizasyonlarına göre prokaryotik çeşitlilikte yer alır.

4.3.2. Bakteriler

Prokaryotik yapıda olan bakteriler biyolojik atık su arıtma sistemlerinde arıtım sağlayan en yoğun mikroorganizmalardır. Farklı boyutlara sahip olabilen bakterilerden arıtma sistemlerinde bulunanları boyut olarak 10^3 - 10^5 A° aralığında değişir. Bu aralık eğer membran biyoreaktör kullanılacaksa membran seçimi için önem arz eder. Gruplar halinde veya tek başına canlılık faaliyetlerini sürdürebilmeleri mümkündür. Atık su arıtma sistemlerinde bulunan bakteriler birbirlerine ipliksi maddelerle bağlanarak gruplar oluştururlar. Bu gruplara flok adı verilir. Bakteriler ribozom dışında organel bulundurmazlar. Zarla çevrili bir çekirdeği bulunmamasına karşın kalıtım ve yönetimden sorumlu yönetici molekül olan DNA bulundururlar. Salgıladıkları enzimler aracılığıyla organik maddelerin yıkımını gerçekleştirirler (Özan, 2012).

Bir bakterinin genellikle yapısında bulunan su oranı %80 iken katı madde oranı %20' dir. Bakterinin yapısında bulunan katı madde miktarının yarısı karbon olarak ifade edilebilir. Bakterinin bünyesinde bulunan azot ve fosfor oranları da hesaba katılırsa bakterinin kimyasal formülü kabaca $C_{60}H_{87}O_{23}N_{12}P$ şeklinde yazılabilir. Bu elementlerin dışında bakteriler düşük miktarlarda kalsiyum, kükürt, demir, potasyum ve sodyum gibi elementler de bulundururlar (Kestioğlu, 2001).

Bakteriler canlılık faaliyetleri esnasında ortamda bulunan ağır metalleri bünyelerindeki aktif bölgelere bağlama eğilimindedirler. Ancak, ortamda bulunan ağır

metallerin miktarının fazla olması aktif bölgenin inhibe olmasıyla sonuçlanır ve bakteri aktivitesinin düşmesine neden olur (Kestioğlu, 2001).

Atık suların biyolojik arıtımında istenilen verime ulaşılabilmesi mikroorganizmalar için optimum koşulların sağlanmasını gerektirir. Atık su arıtma sistemlerinde ortamdaki pH 6,5 – 8,5, sıcaklık 15 – 40 °C aralıklarında olmalıdır. Aerob koşullarda yapılan arıtmalarda çözünmüş oksijen 2 mg/l derişiminden büyük olmalıdır. Aerob koşullarda yeterli oksijenin sağlanamaması bakterinin aktivitesini düşürür. Ayrıca sisteme 6 saat hava verilemez ise canlılık faaliyetleri sona erer (Kavuştu, 2016).

Bakterileri ototrofik ve heterotrofik olmak üzere iki şekilde incelemek mümkündür. Atık suların biyolojik arıtımında en aktif rol alan bakteriler heterotrof bakterilerdir ve organik karbonu karbon kaynağı olarak kullanırlar. Ayrıca yağları, pepton ve triptofon gibi azotlu bileşikler de karbon kaynağı olarak kullanabilirler. Bakteriler bünyelerinde bulunan azot ve fosfor için de kaynağı ihtiyaç duyarlar. Azot ihtiyacını azotlu organik bileşiklerden, aminoasit, protein ve havada bulunan azottan karşılayabilirler. Azot kaynağı kullanımında amonyum tuzlarını kullanabilen bakteriler de bulunmaktadır (Samsunlu, 2006).

4.3.2.1. Ototrofik bakteriler

Karbon kaynağı olarak CO₂ veya karbonat kullanan, enerji ihtiyacını karşılayabilmek için de basit inorganik bileşikler oksitleyen bakterilerdir. Ototrofik bakterileri oksitledikleri basit inorganik bileşiklere göre sınıflamak mümkündür (Kestioğlu, 2001).

Nitrifikasyon bakterileri, iki aşamada amonyak nitrata dönüştürürler. Bu süreçte nitrosomonaslar ve nitrobacter bakterileri görev alırlar. İlk aşamada nitrosomonaslar aracılığıyla amonyak nitrite dönüşür. İkinci aşamada nitrobakterler aracılığıyla nitrit nitrata dönüşür. Nitrifikasyon bakterilerini içeren biyolojik arıtma çamurlarının oluşması oldukça zaman alıcıdır. Ancak mikroorganizmaların bünyelerinde azot bulunması, azot ihtiyacının nitrattan karşılanması nedeniyle bu bakteriler arıtma çamurları için olmazsa olmazdır. Nitrifikasyonun gerçekleşebilmesi için aerob koşullar, hafif alkali pH, amonyak, CO₂ veya karbonat ve aktif kültür olarak gereklidir (Çökmüş, 2012).

Kükürt bakterilerinin hücre içinde veya hücre dışında faaliyet gösteren türleri mevcuttur. Nitrifikasyon bakterileri gibi kükürtlü bileşiklerin oksitlenmesini sağlamaktadırlar (Samsunlu, 2006).

Demir bakterileri, Fe^{+2} iyonlarının Fe^{+3} iyonlarına yükseltgenmesine neden olurlar. Atık su arıtma sistemlerinde bulunmaları çok büyük bir önem arz etmez ancak içme suyu dağıtım yapılarında bulunmaları oldukça önemlidir. Enerji ihtiyaçlarını organik bileşiklerin oksitlenmesinden karşılarlar (Kestioğlu, 2001).

4.3.2.2. Heterotrofik bakteriler

Organik bileşikleri karbon kaynağı olarak kullanan bakterilerdir. Organik bileşiklerin indirgenme ve yükseltgenme reaksiyonlarından enerji ihtiyaçlarını karşılarlar. Arıtma sistemlerinde bulunan heterotrofik bakteriler arıtmada en büyük paya sahip bakterilerdir. Bu nedenle tesislerde büyük öneme sahiptirler. Heterotrofik birçok bakteri bulunmasına karşın arıtmada en büyük role sahip olanları aşağıda açıklanacaktır (Kestioğlu, 2001).

Nitrat indirgeyen bakteriler, anaerobik proseslerde faaliyet gösterirler. Nitratları nitrit, amonyak ve azota kadar indirgeyebilirler. Bu bakteriler anaerobik koşullarda ve yüksek organik madde içeriğine sahip ortamlarda faaliyet gösterebilirler. Alıcı ortamlara verilen azotlu bileşikler ciddi çevre sorunlarına neden olmaktadır. Bu nedenle aerob sistemlerde oluşan azotlu bileşikler fazla ise sisteme anaerob sistem eklenerek atık suya denitrifikasyon uygulanması sağlanmalıdır. Evsel atık, gıda, gübre ve deri sanayi atık sularında yoğun miktarda bulunan azotlu bileşikler denitrifikasyona tabi tutulmadan alıcı ortamlara deşarj edilmemelidir. Ancak mikroorganizmaların yapısında bulunan azot nedeniyle bazı endüstriyel atık sulara azotlu bileşikler takviye edilmelidir (Samsunlu, 2006).

Karbonlu maddelerin ayrışmasını sağlayan bakteriler, atık suda bulunan yağ, gres, sabun, selüloz, hemiselüloz gibi organik maddeleri parçalayarak kararlı son ürünlere dönüştürürler. Aerob ve anaerob koşullarda faaliyet gösterenleri bulunmaktadır. Büyük moleküllü organik bileşikler, daha küçük moleküllü organik bileşiklere dönüştürmek için enzimler salgılayarak hidrolize tabi tutarlar. Ardından karbon kaynağı ve enerji kaynağı olarak kullanırlar. Bu bakteriler için gerekli optimum koşulların sağlanabilmesi için pH 6,5–8,5 aralığı sıcaklık 15-35 °C aralığında olmalıdır (Kestioğlu, 2001).

Azotlu maddelerin ayrışmasını sağlayan bakteriler, farklı kompleks bileşikler içeren azotlu organik maddeler atık su içerisinde bulunabilirler. Azotlu organik bileşiklerden en kompleksi proteindir. Proteinlerin parçalanması sonucu koku yayan bileşikler oluşur. Biyoproseslerde bulunan bakteriler ortamdaki karbon içeren bileşiklerin parçalanmasına öncelik verir. Karbonlu bileşiklerin bertarafı sonrasında azotlu bileşikler oksitlenmeye başlanır. Ancak anaerobik proseslerde denitrifikasyon ve organik maddelerin ayrışması aynı anda gerçekleşir (Özan, 2012).

4.3.3. Arkeler

Arkelerin bakterilerden yapısal farklılığı ilk olarak hücre duvarında peptidoglikan bulundurmamalarıdır. Bakterilere göre oldukça ekstrem koşulları habitat olarak benimsemiştirler. rRNA dizilenmeleriyle ökaryotlara daha yakındırlar (Tunail, 2009).

Arkelerin pek çoğu ekstremofildir. *Halobacterium* dışında çoğunlukla kemolitotroftur. *Halobacterium* enerji ihtiyacını karşılamak için ışık enerjisini kullanır ancak enerji eldesinde fototroflardan farklı bir yol izler. Işığa duyarlı ve klorofilden farklı bir pigment içerir. Arke üyelerinden bazıları organik bileşiklerden enerji elde edebilen metabolizmaya da sahiptirler. Enerji gereksinimlerini karşılamak üzere çoğunlukla hidrojen gazı (H_2) kullanırlar. Bazı türleri aerob, bazıları ise zorunlu anaerobdur (Çökmüş, 2012).

Metanojenler (*Methanobacterium*), zorunlu anaerobdurlar. Doğada bulunan organik maddelerin yıkımından enerjice zengin metan üretmeleri nedeniyle gerek ekosistemde gerek atık bertarafında önemli rolü olan organizmalardır (Çökmüş, 2012).

Metanojenler, ototrof veya heterotrof olabilirler. Metan üretimi yapan bu mikroorganizmaların substratları; formik asit, asetik asit, H_2+CO_2 , metanol, metanol+ H_2 , alkol+ CO_2 , metilamin, metilsülfid olabilir. Bu substratlar karbon kaynağı veya H-donörü olarak kullanılırlar (Tunail, 2009).

Habitatları, bataklıklar, geviş getiren hayvanların içkembe ve bağırsakları, anoksijenik deniz ve göl sedimentleri, zengin organik madde barındıran anoksijenik ortamlardır. Metanojenler metan üretimiyle küresel ısınmaya katkı yapabilmektedirler ancak temiz bir enerji kaynağı elde etmek amacıyla kanalizasyon atıklarının ve organik katı atıkların işlendiği tesislerde oldukça başarılı iş de çıkarmaktadırlar (Tunail, 2009).

Sülfat indirgeyen arkeler, kuvvetli anaerob olup kemoorganotrof ve kemolitotrof veya her iki şekilde gelişebilirler. Ototroflar, CO_2 , H_2 ve tiyosülfat ($\text{S}_2\text{O}_4^{2-}$) varlığında gelişebilirler. Heterotrof olanlar, protein, glukoz, nişasta, laktik asit, formik asit varlığında gelişebilirler. Tiyosülfat ($\text{S}_2\text{O}_4^{2-}$), sülfat (SO_4^{2-}) ve sülfidi (SO_3^{2-}) indirgeyerek hidrojen sülfür (H_2S) oluştururlar (Demirsoy vd., 2003).

Ektrem halofillerin, aerob koşullara ve metabolik faaliyetleri için yüksek tuz gereksinimi mevcuttur. Protein ve aminoasitlere ihtiyaç duyarlar. Heterotrof olanları alkol, karboksilik asit, aminoasit ve karbonhidratları enerji ve karbon kaynağı olarak kullanırlar. Aerob olmalarına rağmen bazı türleri anaerob hale (nitrat varlığında) geçebilir (Tunail, 2009).

Termoasidofiller, hücresel yapılarında hücre membranına sahiptir ancak hücre duvarı bulundurmazlar. Termoasidofilik olarak tanımlanmasının nedeni asit ve sıcak ortamlarda bulunma zorunluluğundan gelir. Fakültatif olanları kükürdü H_2S ' e indirger (Çökmüş, 2012).

Ekstrem termofilik, hipertermofilik, kükürtmetabolize eden arkeler, morfolojik ve fizyolojik açıdan çok heterojen bir arke grubudur. Mikroaerofilik, aerob veya anaerob olabilirler. Kemolitotrof veya kemoorganotrof olarak gelişim gösterebilirler. Substrat olarak kükürt veya kükürt bileşiklerini kullanmaktadırlar. Aeroblar hidrojen sülfür ve kükürdü sülfürik aside oksitler; anaeroblar ise kükürdü kullanarak hidrojen sülfür oluştururlar (Çökmüş, 2012).

4.3.4. Ökaryotik çeşitlilik

4.3.5. Protozoa

Aerobik heterotroflar olan protozoalar boyut olarak bakterilerden daha büyüktür. Süspanse katıları besin olarak kullandıkları için atık su arıtımında önemli bir role sahiptirler. Farklı çeşitlerde hücre duvarı bulunduran protozoaların mikroskopik boyutta olanlarının yanında çıplak gözle görülebilenleri de mevcuttur. Bazı protozoalar hücre duvarına, bazı protozoalar yalnızca hücre zarına sahip iken amip gibi bazı protozalarda hücre zarı bile bulunmayabilir. Grup veya koloni halinde canlılık faaliyetlerini sürdüren protozoaların çoğu klorofil pigmentine sahip değildir. Enerji ihtiyaçlarını tükettikleri maddelerden karşılarlar. Protozoaların bir kısmı fotosentetik sarı-yeşil renkli pigment bulundururlar. Ökaryotik yapıları olan protozoaların bazılarında birden fazla çekirdek

bulunabilir. Bazıları yalancı ayak, bazıları kamçıyla (flagella) aktif hareket ederler. Protozoalar, hareket şekillerine göre üç grupta incelenirler (Tunail, 2009).

Kök ayaklı protozoalar, organizmadan protoplazmanın akması yoluyla yalancı ayak oluşumu gerçekleşir. Yalancı ayaklar aracılığıyla hareketlerini sağlamanın yanı sıra besinlerini de temin ederler (Kestioğlu, 2001).

Kamçılı protozoalar, bir veya birden fazla bulunan kamçılarıyla (flagella) hareket edebilirler. Genellikle bağımsız yaşamaktadırlar (Kestioğlu, 2001).

Siliat türü protozoalar, organizmanın tüm yüzeyi veya belirli bir bölgesi sillere sahiptir. Siller aracılığıyla dalga şeklinde ilerler ve serbest yüzerler. Bazı durumlarda bir alana bağlanmış halde bulunabilirler (Kestioğlu, 2001).

4.3.6. Mayalar ve küfler

Atık suların biyolojik arıtımında maya ve küflere de rastlamak mümkündür. Mayalar, bir hücreli organizmalardır. 5–10 µm boyutunda küresel veya oval formda bulunabilirler. 3-6 saat aralığında ikilenmeleri mümkündür. Çoğalma şekilleri seksüel veya aseksüel olabilir. Aseksüel çoğalmada bölünme veya tomurcuklanma gerçekleşir. Seksüel çoğalmada ise gametler birleşerek zigot oluşturur. Mayalar atık gideriminden çok atıkların değerlendirilerek yararlı ürün (örneğin; alkol) elde edilmesinde kullanılır. Ayrıca ağır metalleri bünyelerine bağlayabildikleri için ağır metal gideriminde kullanımları da mevcuttur (Samsunlu, 2006).

5-10 saat arasında ikilenebilen küfler, filamentli uzantılara sahip 5-20 µm boyutunda büyük hücrelerdir. Bulundurdıkları uzun ince filamentler hayfa olarak isimlendirilir. Genellikle pigment içeren küresel yapılı hücrelerdir. Aşırı ortam koşullarına oldukça dayanıklıdırlar. Nemli yüzeylerde büyümelerine rağmen sulu ortamlarda topaklaşırlar (Samsunlu, 2006).

4.3.7. Funguslar

Biyolojik arıtım sistemlerinde funguslar oldukça önemli bir yere sahiptir. Funguslar morfolojik olarak ipliksi bakterilere benzetilebilmektedir. Aktif çamur sistemlerinde ipliksisilerin veya fungusların dominant hale gelmesiyle şişkin çamur oluşumu adı verilen bir durum meydana gelir. Funguslar, pH ve ortam sıcaklığı gibi etkenler bakımından bakterilere oranla daha dayanıklıdırlar. Örneğin funguslar 2-9 pH değerleri arasında faaliyet gösterebilmektedirler ancak bakteriler bu koşullarda inaktif

hale gelirler. Ortamın pH dengesi bu aralıklara kaydığında funguslar baskın hale gelir. Baskın hale gelmesiyle aktif çamur havuzunu tamamen doldurur ve çamurun çökmesini engeller. Fungusların oluşturduğu bu olumsuz durumdan kaçınmak için ortama klor veya göztaşı eklenir (Kestioğlu, 2001).

Funguslar, enerji kaynağı olarak organik maddelerin indirgenme yükseltgenmesinden yararlanırlar yani heterotrofturlar. Enerji ve karbon kaynağı için öncelikle karbonhidratları tercih ederler. Yüksek karbonlu alkoller, yağlar ve proteinleri de aynı amaçlar doğrultusunda parçalayabilirler. Aerobik canlılardır, 20-30 °C sıcaklık aralığı funguslar için optimumdur. Biyolojik arıtma sistemlerinin çöktürme tanklarında ve damlatmalı filtrelerde ağ oluşumuyla bağlayıcı unsur olarak yararlanılır (Samsunlu, 2006).

4.3.8. Algler

Fotosentetik pigmentleri vasıtasıyla fotosentez yapan ilkel canlılardır. İlkel bitkiler olarak da adlandırıldığı kaynaklar mevcuttur. Pigmentleri nedeniyle kırmızı, kahverengi, mavi, yeşil, turuncu veya sarı görünümüne sahip olabilirler. Çomak, sarmal ve küresel formlarda bulunabilirler. Canlılık faaliyetlerini genellikle sucul ortamlarda sürdürürler ancak karasal ortamlara adapte olmuş türleri de mevcuttur. Seksüel veya aseksüel çoğalabilirler. Fotosentetik özellikleri sayesinde inorganik maddeleri kullanarak ortama oksijen verirler. Oksijen ihtiyacı bulunan ortamlarda özellikle alg yetiştirilir. Biyolojik arıtma sistemlerinde nütrientlerin yeterli giderilememesi sonucu çökeltim havuzu çıkışı ve çökeltim havuzu savaklarında alg oluşumları gözlenir. Bu durum ise sistemde tıkanmalara ve görüntü bozukluklarına neden olur (Kestioğlu, 2001).

4.3.9. Virüsler

Canlı sınıflandırmasında doğrudan yer almayan virüsler, hücreye bağımlı olan ancak hücre dışında özel bir forma sahip olup hücreden bağımsız kalabilen genetik materyallerdir. Hücresel bir organizasyon bulundurmayan virüsler, çoğalmak için bir hücresel organizasyonun içine girmek zorundadırlar. Virüsün içine girdiği hücreye konakçı adı verilirken, virüsün hücre içine girişine enfeksiyon adı verilir. Bu özelliklerinden dolayı arıtılmış suda virüslerin bulunması önemli sağlık sorunlarına neden olabilmektedir. Bu nedenle arıtılmış suda virüs bulunması istenmeyen bir

durumdur. Her tür hücresele organizmayı enfekte edebilme kapasitelerinden dolayı arıtılacak atık su içeriğinde bulunmaları da biyolojik arıtmada kullanılacak mikroorganizmalar açısından ciddi sorunlara neden olabilmektedir. Virüsler, hücreye zarar verecek şekilde çoğaldıkları zaman atık su arıtımında kullanılan mikroorganizmaların ölümüne neden olabilmekte ve sistemin arıtım verimlerini düşürmektedirler. Bu nedenle atık su arıtımı için önem arz etmektedirler (Çökmüş, 2012; Kavuştu, 2016).



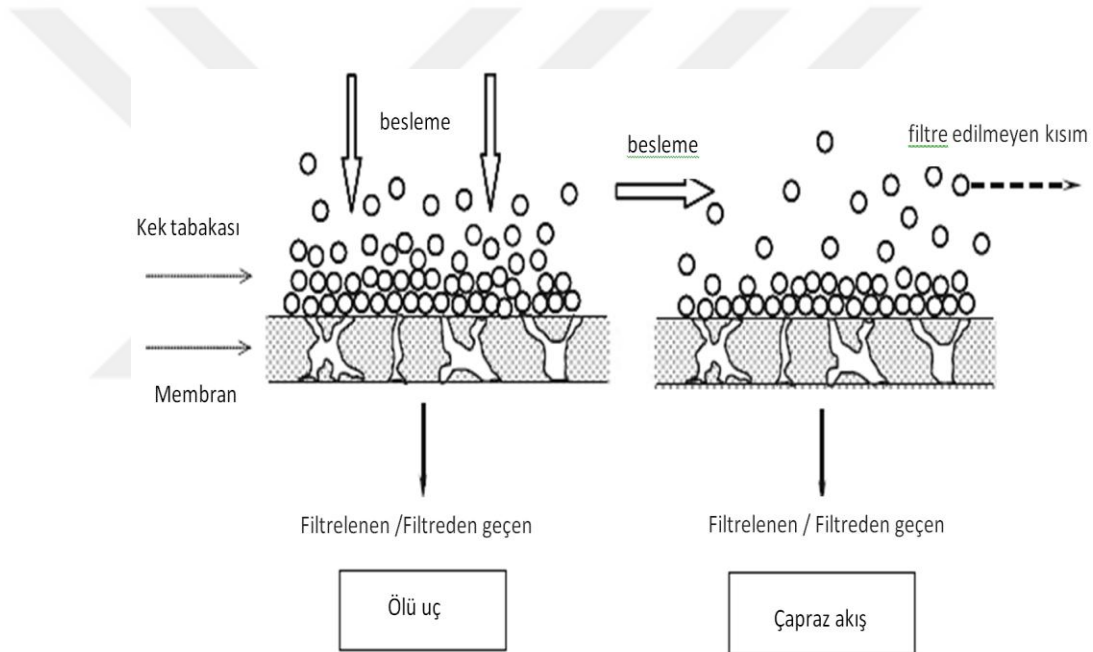
5. MEMBRAN TEKNOLOJİLERİ

Membran, farklı fazlarda bulunan maddeleri birbirinden ayırmaya yarayan bir bariyerdir. Bir anlamda filtre olarak tanımlansa da ‘filtre’ kelimesi terimsel ifadeyle büyük partiküllere sahip süspansiyonları ayırmakla sınırlıdır. Günümüzde su, deniz suyu, tuzlu su, süt arıtma işlemleri; atık su ıslahı, gıda endüstrisi, gaz ayrımı, buhar ayrımı, enerji dönüşümü, enerji depolanması vb. gibi sayısız uygulama alanına sahiptir. Membranlar, su ve atık su arıtımında kullanılan teknolojiler içerisinde en iyi uygulama olarak karşımıza çıkmaktadır (Wang vd. , 2011).

Membranların çalışma prensipleri iki farklı şekildedir.

1. Çıkmaz (Ölü uç) modu

2. Çapraz akış modu



Şekil 5.1. Membranların çalışma modları (Wang vd. , 2011).

Çapraz akış modunun uygulanmasının nispeten karmaşık ekipman gerektirmesi ve işletme maliyetinin yüksek oluşu nedeniyle su ve atık su arıtımında çıkmaz modun kullanımı daha yaygındır. Ancak çıkmaz modun tercih edilmesi durumunda kek tabakası oluşumu nedeniyle periyodik olarak geri yıkama yapılmalıdır. Çıkmaz modun ve çapraz akış modunun şematik gösterimi Şekil 5.1’ de gösterilmektedir (Arianfar, 2015).

5.1. Membranların Sınıflandırılması

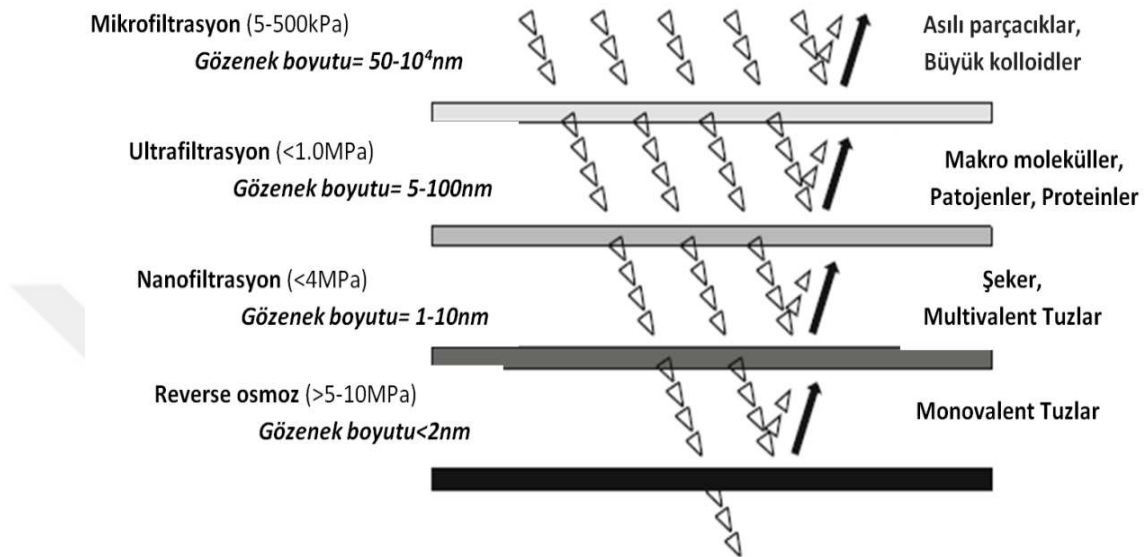
Sentetik yapılı membranlar farklı özelliklerine göre sınıflandırılabilirler. Bu sınıflama Çizelge 5.1’de kısaca gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Membranların sınıflandırılması.

ÖZELLİK	SINIFLANDIRMA	
Ayrırma mekanizması	Porlu	
	Porsuz	
	İyon değiştirici	
Morfoloji	Homojen	
	Heterojen	
Morfolojik Geometri	Simetrik	
	Asimetrik	
	İnce filmlili kompozit	
Modül Geometrisi	Tabaka	Spiral sarım Plaka-çerçeve
	Silindirik	Tüp (Tubuler) Boşluklu elyaf (Hallow fiber)
Kimyasal Yapı	Organik (Polimerik)	
	İnorganik (Seramik/Metal)	
Sürücü Kuvvet	Kısmi basınca dayalı	Mikrofiltrasyon (MF)
		Ultrafiltrasyon (UF)
		Nanofiltrasyon (NF)
		Ters ozmoz (RO)
		Gaz ayırma (GS)
		Pervaporasyon (PV)
Konsantrasyon-gradyan odaklı	Diyaliz gibi	
Elektriksel potansiyele dayalı	Elektrodiyaliz (ED)	
Sıcaklığa dayalı	Membran destilasyonu (MD)	

Su ve atık su arıtımında basınç sürücülü membranların uygulama alanları geniştir. Su arıtımı ve atık su ıslahında Mikrofiltrasyon (MF), Ultrafiltrasyon (UF), Nanofiltrasyon (NF), Ters ozmoz (RO) basınç sürücülü membranlar tercih edilmektedir. Bu membranların geçirgenliği gözenek boyutundan kaynaklanır. Gözenek boyutu ile membran geçirgenliği arasındaki ilişki Şekil 5. 2’de kısaca özetlenmektedir.

Gaz ayırma (GS) ve Pervoporasyon (PV) membranlar direkt olarak atık su ıslahında yer almamasına karşın ara basamaklarda veya son işlemlerde yerlerini almaktadırlar. Örneğin GS, anAerobik MBR sistemlerinin gaz geri devri basamağında sisteme dahil olmaktadır (Wang vd. , 2011).



Şekil 5.2. Su ve atık su ıslahında kullanılan membranlar (Wang vd. , 2011).

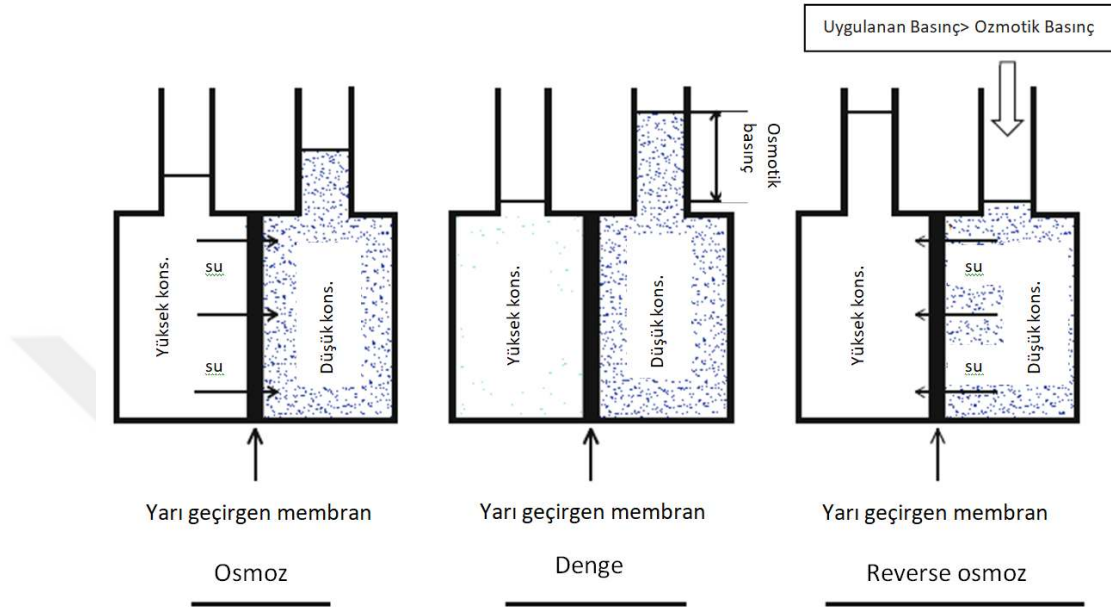
5.1.1. Ters osmoz (RO)

Doğal bir olgu olan osmoz, yarı geçirgen bir zar ile bölünmüş farklı konsantrasyonlara sahip çözeltilerin, konsantrasyonları eşitlenene kadar az yoğun ortamdan çok yoğun ortama çözücü geçişi olarak tanımlanabilir. Bu olgu basınç ilkelerine dayanır. Çözeltilerin seçici geçirgen zar yüzeylerine yaptığı basınçlar arasındaki fark osmotik basınç olarak ifade edilir (Akdemir, 2012).

Osmotik basıncın tersi yönde, osmotik basınçtan yüksek bir basınç uygulandığı taktirde, çözücünün çok yoğun ortamdan az yoğun ortama geçişi mümkün olmaktadır. Bu süreç osmoz sürecinde gerçekleşen durumun tersi olduğu için ters osmoz olarak adlandırılır. Ters osmoz teknolojisini hiper filtrasyon olarak tanımlayan kaynaklar da mevcuttur (Wang vd. , 2011).

Gözenek boyutunun 2 nm'nin altında olması nedeniyle hemen hemen tüm çözünmüş maddeleri çözeltiden ayırabilme gücüne sahiptir. 5-10 MPa' dan daha yüksek basınçlarla işletilebiliyor oluşu ise işletme maliyetini arttıran en önemli sınırlılıklarıdır. Diğer bir önemli sınırlılığı ise membran kirlenmesinin yüksek

oluşudur. Özellikle çözeltiden ayrılması çok zor olan monovalent tuzların giderimi, su saflaştırma, deniz suyu ve tuzlu sudan tuz kazanımı amaçlarıyla diğer membran sistemleriyle entegre edilerek kullanılır (Asan, 2013).



Şekil 5.3. Osmoz ve ters osmozun şematik gösterimi (Wang vd. , 2011).

5.1.2. Ultrafiltrasyon membranlar (UFM)

Ters osmoz membranların uygun maliyetli, ticari uygulamaları için geliştirilmiştir. Gözenek boyutu 5-100 nm arasında değişkenlik gösterir. UF membranların geliştirilmesindeki amaç çözelti saflaştırmaktan çok, kirlenmiş akifer suyunu özellikle patojenlerden arındırmaktır. Bu nedenle belirlenen gözenek boyutu makromolekül, kolloid ve MA < 10,000 olan materyallerin filtrelenmesini sağlar. UF membranlar, mikro partiküllerin süzünüde yer almasına izin verdiği için uygulanan sürücü kuvvet basıncı, 1-10 bar' a kadar düşer (Baker, 2004).

UFM' nin seçici geçirgenliği molekül büyüklüğünün yanı sıra şekil ve iyon yüküne de bağlıdır. İyon karakterli olmayan maddeler membrandan geçemezler. Bu nedenle iyonize olma seviyesini gösteren MWCO birimi ile ifade edilirler. Her UFM farklı tanımlanabilen MWCO değerinin altındaki maddeler membrandan geçebilir (Kavuştu, 2016).

UFM' nin kimyasal yapısı organik, inorganik (seramik) veya polimerik olabilir. UF membranların temizleme maliyetini azaltmak, membran ömrünü uzatmak amacıyla çapraz akış modunda işletimi tercih edilir (Aslan, 2012).

UFM, birçok alanda kullanılmaktadır. Atık su ıslahında tek başına yetersiz kalmakta ancak RO öncesi ön arıtma amaçlı kullanılabildiği gibi farklı sistemlere de entegre edilebilmektedir (Aslan, 2012).

5.1.3. Nanofiltrasyon membranlar (NFM)

Gözenekli (UFM) ve gözeneksiz (RO) membranların arasında özellikler göstermektedir. 60'lı yıllarda gevşek RO, orta RO veya sıkı UFM olarak adlandırılmışlardır. Eleme ve difüzyon taşıma mekanizmalarının her ikisiyle birlikte çalışma özelliğine sahiptirler. NFM'nin gözenek boyutu, 1-10 nm aralığındadır. Gözenek boyutunun RO ve UFM'nin gözenek boyutlarının arasında bir değer olması nedeniyle işletme için gerekli sürücü kuvvet de bu membranların işletilmesi için gerekli sürücü kuvvetlerin (10-20 bar) arasında bir değer almaktadır (Wang, vd., 2011).

NFM'nin yüzeyinin çoğunlukla yüklü olması da taşıma ve ret davranışlarına katkıda bulunmaktadır. NFM, multivalent tuz geçişine izin vermezken, monovalent tuzların geçişine izin vermektedir (Akdemir, 2012).

NFM'nin endüstriyel alanda uygulamaları da oldukça yaygındır. Peynir altı suyu arıtımı, süt ürünleri atık sularının kazanılması, tuz giderimi gibi birçok uygulamanın yanı sıra tekstil endüstrisi atık sularından renk giderimi amacıyla da hizmet vermektedir (Baker, 2004).

5.1.4. Mikrofiltrasyon membranlar (MFM)

MFM, gözenek boyutu genellikle $50-10^4$ nm aralığında değişkenlik gösterir. Daha çok koloidal maddeler, virüsler ve mikroorganizmaların ortamdaki elimine edilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Ayırma mekanizması, parçacıkları boyutlarına göre ayıran bir eleme etkisine sahiptir (Wang, vd., 2011).

MFM'nin işletilmesi için gereken sürücü kuvvet basıncı, diğer basınç sürücülü membranlara göre en düşüktür. 2 bar'ın altındaki basınçlarda bile işletilebilmektedir (Yılmaz, 2012).

MFM'ler sterilizasyon, saflaştırma, ayırma ve konsantre etme gibi işlemlerde kullanılmaktadır. Ayrıca su geri kazanımı için RO ve NFM öncesinde ön işlemler yerine kullanılmakta, yani ön arıtma gerçekleştirmektedir (Yılmaz, 2012).

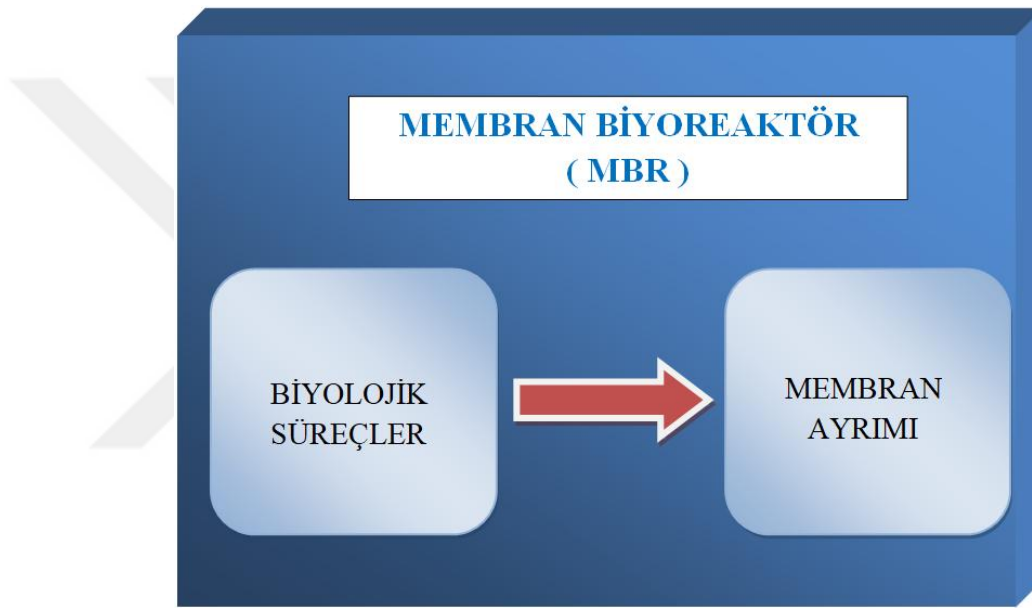
Bu membran tiplerinin yanı sıra laboratuvar denemeleri aşamasında olan yeni membran sistemleri de geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bu çalışmaların birçoğu membran sistemleri için gerekli enerjiden tasarruf etmeyi amaçlamaktadır. Bu membran sistemleri; ileri osmoz (FO), biyomimetik membranlar, anaerobik MBR'ler (AnMBR'ler), mikrobiyal yakıt hücresi (MFC) olarak ifade edilebilir (Wang vd. , 2011).



6. MEMBRAN BİYOREAKTÖR SİSTEMLERİ

6.1. Membran Biyoreaktör Sisteminin Tanımlanması

Membran biyoreaktör sistemleri (MBR) bir biyoproses ve bir membran prosesinin bir arada kullanıldığı biyoreaktör sistemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sistemde biyokimyasal reaksiyonlar sonrasında membran aracılığıyla faz ayrımı söz konusudur. MBR prosesleri, gıda ve ilaç endüstrilerinde de kullanılmasına karşın atık su ıslahında geniş bir uygulama alanına sahiptir (Wang vd. , 2011).



Şekil 6.1. Membran biyoreaktör şematik gösterimi.

MBR, endüstrinin (ve belediyelerin) su kaynaklarını daha iyi yönetmelerine yardımcı olma potansiyeline sahip bir araçtır. MBR esas olarak, içilebilir su arıtmasına da uygulanmış olmasına rağmen, aktif çamur biyolojik arıtımı ve membran ayrışmasının kanıtlanmış süreçlerine dayanan yenilikçi bir atık su arıtma teknolojisidir. MBR sistemi tam ölçekli endüstriyel ve belediye uygulamalarında uygulanmaktadır. MBR, mükemmel olmasa da iyi işlenmiş kaliteli bir atık su üretir. MBR, arıtılan atık suyun bir kısmını ya da tamamını geri dönüştürülmesi veya yeniden kullanım fırsatı sunması, bir yandan tatlı su ve su arıtma maliyetlerini düşürmesi, diğer yandan da kanalizasyon ek ücretini azaltması yönleriyle geniş bir uygulama alanı bulabilmektedir (Taş, 2013).

MBR sistemleri askıda büyüyen biyolojik süreçler bakımından iki farklı biçimde işletilebilir. Bu işletim mikroorganizmaların oksijen ihtiyacına göre aerob veya anaerob olabilmektedir (Aslan, 2016).

Çizelge 6.1. Aerob ve anaerob MBR sistemlerinin karşılaştırılması.

	AMBR (Aerob Membran Biyoreaktör)	AnMBR (Anaerob Membran Biyoreaktör)
AVANTAJLAR	➤ Yüksek yoğunluklu atık sularda uygulanabilirliği yüksektir. ➤ Mikroorganizmalar şok yükleme ve dalgalanmalara karşı dayanıklıdır. ➤ Arıtım verimleri yüksektir. Yasal limitleri karşılayabilir. ➤ Reaktör hacmi AnMBR ye göre daha düşüktür. ➤ Biyokütlenin büyüme hızı yüksektir. ➤ HRT ve SRT düşüktür. ➤ Mikroorganizmalardan kaynaklanan sistemsel hata oluşum olasılığı düşüktür. ➤ Nitrifikasyon gerçekleşir.	➤ Metan üretimi ve geri çevrimi nedeniyle enerji bakımından ekonomiktir. ➤ Süreç sonunda oluşan çamur miktarı düşüktür. ➤ Denitrifikasyon sayesinde azot giderim verimi yüksektir.
DEZAVANTAJLAR	➤ Yatırım maliyeti yüksektir. ➤ Mikroorganizmaların oksijen ihtiyacını karşılamak için gerekli havalandırma maliyeti yüksektir. ➤ Metan gibi bir enerji kaynağı oluşumu mümkün değildir. ➤ Süreç sonunda oluşan çamur miktarı yüksektir. ➤ Nitrifikasyona rağmen denitrifikasyon mümkün değildir.	➤ Uygulanabilirliği düşük yoğunluklu atık sularıdır. ➤ Mikroorganizmalar şok yükleme ve dalgalanmalara karşı dayanıksızdır. ➤ Arıtım verimi düşüktür. Yasal limitleri karşılayamaz. ➤ Kullanılan reaktörün hacmi büyüktür. ➤ Yatırım maliyeti yüksektir. ➤ Biyokütlenin büyüme hızı düşüktür. ➤ Yüksek HRT ve SRT gerektirir. ➤ Sistem hatası oluşumu yüksektir. ➤ Mikroorganizmalar çabuk yorulur. ➤ Nitrifikasyon gerçekleşmez.

Askıda büyüyen mikrobiyal biyokütlelerin ihtiyaçları ve doğadaki görevleri birbirine göre farklılık göstermektedir. Bu nedenle atık su arıtımında kullanılan biyokütle ve biyokütle ihtiyaçlarına göre MBR biyoprosesi tasarlanır. AMBR ve AnMBR işletim sistemlerinin birbirine göre avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Çizelge 6.1’de aerob ve anaerob olarak işletilen MBR sistemlerinin avantaj ve dezavantajları verilmiştir (Aslan, 2016).

Bu avantaj ve dezavantajlara göre günümüzde AMBR işletimleri ile atık su ıslahı yaygındır. AnMBR işletim sisteminde gerçekleştirilen metan üretimi işletim maliyetini düşürmekte hatta ek bir enerji kaynağı sağladığı için önem kazanmaktadır. AnMBR’lerin olumsuzluklarının giderilmesi durumunda AMBR işletiminden yaygın hale geleceği de düşünülmektedir. Sistemde denitrifikasyonun da gerçekleşmesi azot giderimi konusunda da dikkat çekmektedir. Ancak giderim verimleri düşük ve maliyetlidir (Elidüzgün, 2011).

Günümüzde Aerob aktif çamur sistemleri ile atık su arıtma tesislerinin yaygın olması, bu sistemlerin AMBR sistemlerine dönüştürülmesine olanak sağlamakta, ilk yatırım maliyetlerini de düşürmektedir. Bu nedenlerle de AMBR ile atık su arıtma sistemleri daha geniş bir uygulama alanına sahiptir (Taş, 2013).

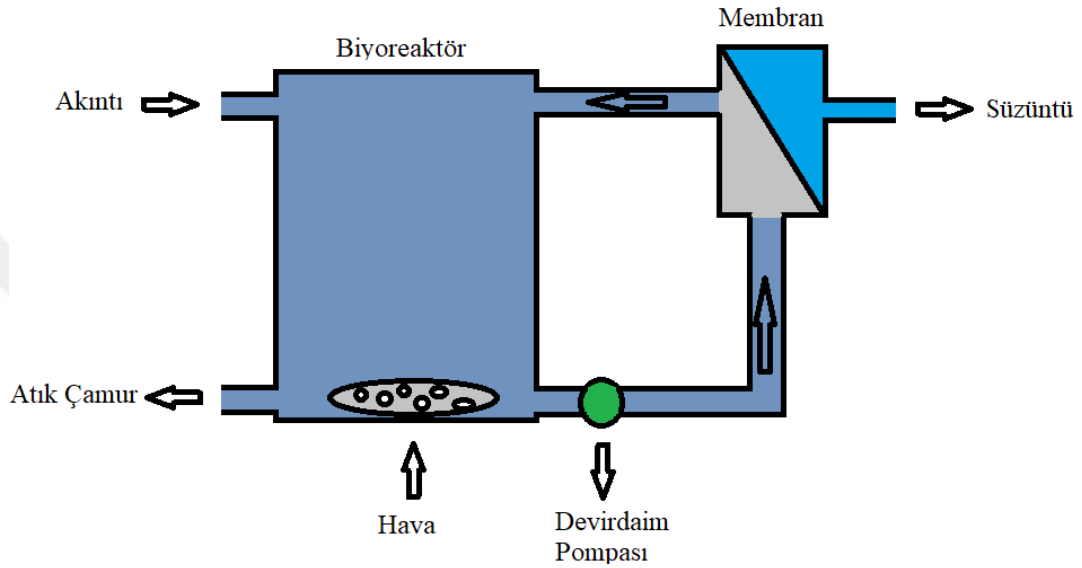
Atık suların karakteristik özellikleri de MBR sisteminde kullanılacak biyokütle ve MBR işletim koşullarını etkilemektedir. Yapılan çalışmalarda yüksek azot içeriğine sahip atık suların ıslahında aerob ve anaerob MBR sistemlerinin bir arada kullanılması önerilmektedir. Bu sistemlerde ise öncelikle aerob sistemde azotun nitrifikasyonun gerçekleşmesi ve ardından anaerob sistemlerde denitrifikasyonla azotun (N_2) atmosfere salınarak atık sudan giderilmesi söz konusudur (Elidüzgün, 2011).

6.2. Membran Yapılandırmasına göre MBR Sınıflandırması

Atık su ıslahı söz konusu olduğunda, atık su biyoreaktörlerine katı-sıvı fazların ayrımını gerçekleştirebilmek için bir membran sisteminin dahil edilmesi söz konusudur. Ayrılması gereken partikül boyutuna göre basınç sürücülü membranlardan gerekli olanı sisteme dahil edilebilir. Membran modülünün biyoreaktöre entegrasyonu dahili (batık) ve harici olmak üzere iki farklı şekilde yapılandırılabilir (Wang vd. , 2011).

6.2.1. Harici MBR yapılandırması

MBR sistemlerinin ilk uygulamaları Biyoreaktör sistemine sonradan ve dışarıdan entegre edilmiş harici MBR sistemleridir. Bu sistemlerin ilk uygulamaları ise gıda ve sağlık sektöründe gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.2’de harici MBR yapılandırmasının şematik gösterimi verilmektedir (Baker, 2004).

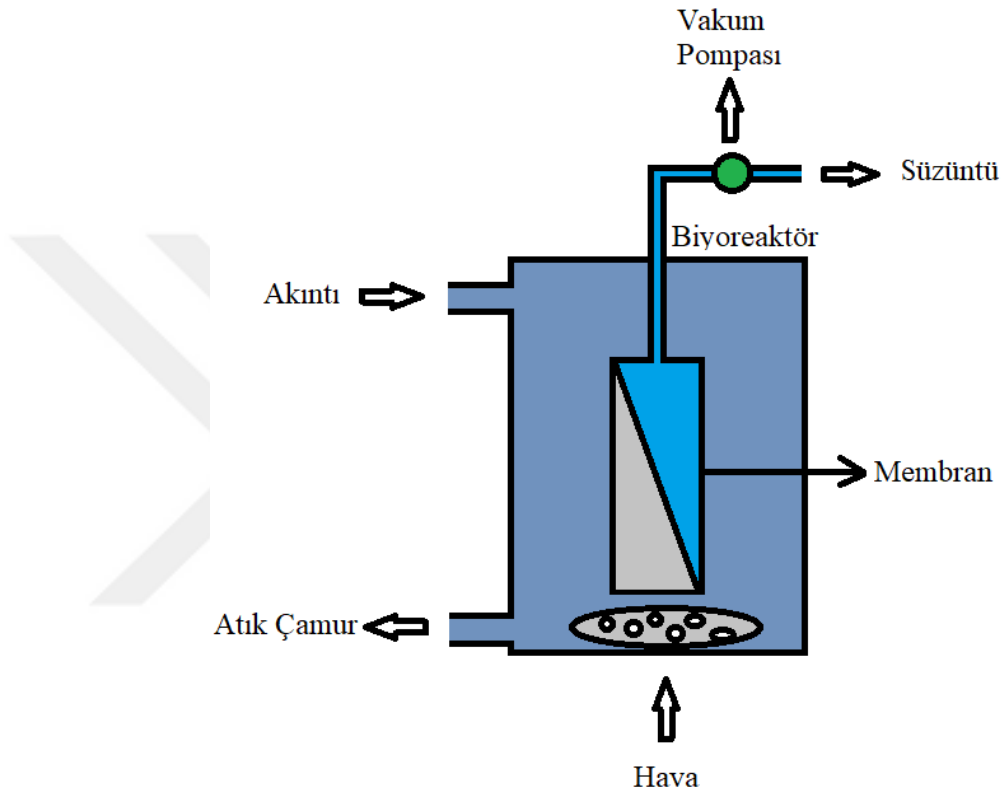


Şekil 6.2. Harici MBR yapılandırması şematik gösterimi.

Harici MBR Yapılandırması, biyoreaktör çıkışına dışarıdan entegre edilen membran başka bir ünite de filtrasyon işlemini gerçekleştirir. Bu uygulamada membran modülünün görevi sıvı-biyokütle ayrımını gerçekleştirmektir. Bu süreçte basınç sürücülü membran çapraz akış modunda işletilir. Harici MBR sistemlerinde membran modülü biyoreaktör modülüne iki hatla bağlanır. Birinci hatla biyoreaktör modülünden membran modülüne besleme yapılırken, ikinci hatla süzüntüye geçemeyen su ve atıklar membran modülünden biyoreaktör modülüne geri beslenir. Membranın çapraz akış modunda çalıştırılmasının birçok avantajı bulunmasına rağmen bu MBR yapılandırmasının enerji sarfiyatının fazla olması ve temizleme ihtiyacının yüksek olması yüksek maliyetlere neden olmaktadır. Bu durum atık su arıtımı için tercih edilmemesine neden olmaktadır (Asan, 2013).

6.2.2. Batık (Dahili) MBR yapılandırması

Batık MBR yapılandırılmasında membran modülü biyoreaktör modülünün içerisinde yer almaktadır. Membran modülünün ana amacı sıvı-biyokütle ayrımını gerçekleştirmektir. Şekil 6.3’de batık MBR yapılandırmasının şematik gösterimi verilmiştir (Wang vd., 2011).



Şekil 6.3. Dahili (batık) MBR yapılandırması şematik gösterimi.

Dahili MBR Yapılandırmasında biyoreaktör içine batık halde bulunan bir membran modülüyle filtrasyon işlemini gerçekleştirir. Batık membran modülünün arıtım havuzundan farklı bir havuza batırılmış yapılandırmalar da mevcuttur. Bu uygulamada da membran modülünün görevi sıvı-biyokütle ayrımını gerçekleştirmektir. Bu süreçte basınç sürücülü membran ölü uç modunda işletilir. Membran modülündeki sürücü kuvvet negatif yönlüdür yani vakum prensibi esastır. Yapılandırmadaki öncelikli amaç harici MBR yapılandırmasına nazaran gerekli enerjinin azaltılmasıdır. Enerji sarfiyatının nispeten az olması gibi avantajları nedeniyle atık su arıtımında dahili (Batık) MBR yapılandırması tercih edilmektedir. Harici MBR yapılandırmasında çapraz akış modu membran yüzeyinde kek oluşumunu azaltmakta ancak dahili MBR da ölü uç

modu kullanıldığı için kek oluşumu ve membran kirlenmesi daha fazla olmaktadır. Bunu önlemek amaçlı membran kasetlerinin altına ince hava kabarcık difüzörü yerleştirilir. Yerleştirilen hava kabarcık difüzörleri biyoreaktörün havalanması sağlamanın yanı sıra membran yüzeyinde kek oluşumunu azaltarak membran kirlenmesini geciktirir (Wang vd. , 2011; Asan, 2013; Aslan, 2016).

Bir işletmede kullanılacak olan MBR yapılandırmasına karar verebilmek için öncelikli olarak MBR yapılandırmalarının avantaj ve dezavantajlarının iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Çizelge 6.2’de dahili ve harici MBR yapılandırmalarının avantaj ve dezavantajlarından bazılarını yer verilmiştir.

Çizelge 6.2. MBR yapılandırmaları avantaj ve dezavantajları.

	Harici MBR Yapılandırması	Dahili MBR Yapılandırması
AVANTAJLARI	➤ Havalandırma masrafı düşüktür ➤ Yüksek akı ➤ Daha az alan ihtiyacı ➤ İlk yatırım maliyeti düşük	➤ Pompaj masrafı düşük ➤ Daha az temizleme ihtiyacı ➤ İşletme maliyeti düşük
DEZAVANTAJLARI	➤ Pompaj masrafı yüksek ➤ Daha sık temizleme ihtiyacı ➤ İşletme maliyeti yüksek	➤ Havalandırma maliyeti yüksek ➤ Düşük akı ➤ Büyük alan gereksinimi ➤ İlk yatırım maliyeti yüksek

6.3. Konvansiyonel Sistemler ile MBR Sistemlerinin Karşılaştırılması

Konvansiyonel aktif çamur proseslerinde oluşabilecek kontaminasyonlar sonucu çamur çöktürme problemi çıkış suyu kalitesinde düşmeye neden olur. Ancak MBR sisteminde çöktürme aşaması yerine membran filtrasyonunun kullanılması bu problemin önüne geçerek çıkış suyu kalitesini artırır. MBR sisteminin işletimi ve bakımı konvansiyonel aktif çamur sistemlerine nazaran kolaydır (Taş, 2013).

Konvansiyonel aktif çamur proseslerinde birbirinden bağımsız hale getirilemeyen HRT ve SRT, MBR sistemlerinin işletiminde birbirinden bağımsız kontrol edilebilmektedir. Bu durum yüksek SRT sağlayabilmekte, yüksek SRT ise yavaş gelişen mikroorganizmaların gelişimi için uygun süreyi sağlayabilmektedir (Aslan, 2016).

Konvansiyonel aktif çamur sistemlerinde kullanılan nihai işlemler için gerekli alan çok yüksektir ancak MBR sistemlerinde bu işlemler yerine kullanılan membran sistemleri ciddi bir alan tasarrufu sağlamaktadır (Elidüzgün, 2011).

Flok boyutu olarak MBR sistemleri ve konvansiyonel aktif çamur sistemleri karşılaştırılırsa MBR sistemlerinde oluşan floklar çok daha küçüktür. Bu durum ise oksijen ve kütle transferini kolaylaştırarak sistemdeki mikroorganizmaların aktivitesini yükseltmektedir (Hasbülbul, 2010).

MBR sistemlerinde yüksek biyokütle konsantrasyonu ve flok büyüklüğünden kaynaklanan yüksek kütle transferi nedeniyle mikroorganizmaların aktivitesi 5 kat kadar fazladır. Bu ise atıkların ayrışmasının 10-15 kat yükseltmektedir (Aslan, 2016).

Yüksek SRT nedeniyle MBR sistemlerinde oluşan atık çamur miktarı konvansiyonel sistemlere nazaran çok daha azdır (Hasbülbul, 2010).

MBR sistemlerinde arıtılmış sularda bulunması istenmeyen virüs ve bakteriler için konvansiyonel sistemlerde olduğu gibi ek kimyasal kullanımına gerek duyulmaz. Çünkü membranlar bu işlemi de yerine getirebilmektedir (Taş, 2013).

MBR sistemlerinin konvansiyonel sistemlere göre bunca avantajının yanı sıra bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bu dezavantajları şu şekilde sıralayabiliriz (Asan, 2013).

MBR'larda işletme sistemi tek havuzda gerçekleştiği için konvansiyonel sistemlere göre karmaşıktır. Ancak otomasyon sayesinde süreç kolaylaştırılabilmektedir (Hasbülbul, 2010).

MBR sistemlerinin en önemli dezavantajı membran gözeneklerinin tıkanması ve membran yüzeyinde oluşan kek tabakasıdır. Bu problem süzüntü miktarını etkilediği için önemlidir. Kek tabakası oluşumu difüzörler yardımıyla azaltılabilmekte ancak bu durum da enerji sarfiyatının artmasına dolayısıyla maliyetin yükselmesine neden olmaktadır. Membran gözeneklerinde meydana gelen tıkanıklık basınç uygulaması,

kimyasal kullanımı gibi farklı yöntemlerle giderilebilse de bu yöntemler de gerek yatırım gerek işletim maliyetlerini arttırmaktadır (Aslan, 2016).



7. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

Brik ve arkadaşları tarafından 2006 yılında yapılan bir çalışmada, bir membran biyoreaktörde tekstil atık suyunun yeniden kullanımını sağlamak için ileri düzeyde arıtım çalışmaları yapılmış ve bu çalışmada MBR'ın performansını ölçmek amaçlanmıştır. Çalışmada polyester terbiye değirmeninden elde edilen tekstil atık suyu kullanılmış, kaldırma kapasitesi, 0,35 ve 3,6 g/(1 gün) arasında değişen VLR (Dikey Döngü Reaktörü)'lerde incelenmiştir. Test edilen düşük VLR'lerde azaltılmış KOİ seviyelerinin %60 - %95 arasında değiştiği bulunmuştur. Çalışmaya ek olarak atık suya besin ilavesinin etkisi araştırılmıştır. Besin ilavesinin atık kalitesini arttırdığını, besin ilavesiyle çamur üretiminin %50 arttığını ve çamur büyümesi ile renk giderimi arasında belirgin bir ilişki olduğunu gözlemlemişlerdir. 0,3 g/(1 gün) çamur artışı oranı üzerinde, renk giderme incelenen tüm dalga boylarında %87'nin üzerinde bulunmuştur. Ancak arıtılan suyun tekrar kullanımı söz konusu ise ek basamaklara gereksinim olduğunu belirtmişler, bu amaçla giderim sonrası bir nanofiltrasyon uygulamasını önermişlerdir (Brik vd. , 2006).

Haia ve arkadaşları 2006 yılında tekstil atık suyu arıtımı amacıyla bir batık fungal MBR sistemi geliştirmişlerdir. Beyaz çürükçül mantar *Coriolus versicolor*' 1 çalışmada kullanmış, bir batık mikrofiltrasyon membranı farklı kirlenme önleme teknikleriyle araştırmalar yapıldıktan sonra tekstil boyahane atıksuyunun arıtımı için biyoreaktör geliştirilmiştir. Geçirgenlik kalitesini ve membranın kirlenmesini önlemeyi sağlayan optimum kombinasyon için; çamurun doğrudan çökmesini önlemek için dokunmamış kaba gözenekli (50-200 µm) göz kafesi, kafes içine bir içi boş elyaf demeti yerleştirilmesi, bunun yanında periyodik yüksek basınçlı geri yıkama (3s/10dk) ve kimyasal geri yıkama (100 ml/m², her üçüncü günde) sağlanmıştır. Reaktör, kontrollü sıcaklık (29±1 °C) ve pH (4,5±0,2) altında sırasıyla 15 saat ve 0,021 m/d ortalama akı uygulanmış ve sentetik atık sudan %97 TOK ve %99 renk giderme sağlanmıştır (TOK=2 g/L; boya=100 mg/L). Makul bir kimyasal temizleme dozu kullanarak membran kirlenme sorununun hafifletilmesi ile birlikte mükemmel kararlı kirletici gideriminin gerçekleştirilmesi, önerilen yeni sistemin gelecek vadede bir sistem olduğunu kanıtlamaktadır (Haia vd. , 2006).

You ve arkadaşları tarafından 2008 yılında yapılan bir çalışmada sentetik tekstil atık suyu (Reaktif 5 içeren) arıtımında farklı membran prosesleri araştırılmış ve

karşılaştırılmıştır. Çalışmada seri bazlı reaktör (SBR), aerobik membran biyoreaktör (AMBR), anaerobik oksik membran biyoreaktör (AOMBR) ve AOMBR/RO süreçlerinin performansı 2 yıldan uzun bir işletmenin ardından değerlendirilmiştir. SS giderim verimleri sırasıyla %60, %100, %100, %100 bulunurken, COD giderim verimleri %70, %78, %88, %88, BOİ giderim verimleri %64, %98, %98, %100, renk giderimi %40, %43, %81, %97 olarak bulunmuştur. Deney sonuçlarına göre, membran ünitesi içeren tüm prosesler Tayvan EPA atık suyu kriterlerini karşıladığı görülmüştür (You vd. , 2008).

Khelifi ve arkadaşları 2008 yılında yaptıkları bir çalışmada, indigo boya içeren tekstil atık suyunun arıtımını hedefleyen bir aerobik biyoproses kullanmışlardır. Sürekli karıştırmalı tank reaktörü (CSTR) ve sabit film biyoreaktörünün (FFB) bir arada kullanıldığı kombine bir aerobik sistem olan bu biyoproses, sabit sıcaklıkta sürekli olarak çalıştırılmış, pH 7,5 ve toplam kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ): 1185 mg l⁻¹ tekstil atık suyu ile beslenmiştir. 4 günlük HRT sonucu KOİ giderim verimi %97,5 ve renk giderim verimi %97,3 olmuştur (Khelifi vd. , 2008).

Hai ve arkadaşları tarafından 2008 yılında yapılan bir çalışmada beyaz çürükçül fungus saf kültürünün steril olmayan koşullar altında fungal membran biyoreaktör sisteminde bir azo boya (Asit Orange II, 100 mg L⁻¹)' nın %93' lük giderimini gerçekleştirmişlerdir. Bu süreçte gerçekleştirilen gözlem serisi bakteriyel kontaminasyonun zararlı etkisini göstermiştir (Hai vd. , 2008a).

Hai ve arkadaşları 2008 yılında batık fungal MBR sisteminde, yapısal olarak farklı özelliklerde olan boyarmaddelerin giderimi üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada reaktörün uzun vadeli performansı, yapısal olarak farklı azo boyalarından birini veya ikisini birden içeren sentetik tekstil atık suyu sürekli olarak beslendiğinde gözlenmiştir. Asit Orange II boyayla (daha basit yapı) karşılaştırıldığında, steril parti testlerinde polimerik boya (Poly S119) daha yüksek biosorpsiyona karşın daha yavaş biyolojik bozunuma gözlemlenmiştir. Poly S119' un >%99' unun giderimi gerçekleşirken, Orange II'nin daha hızlı bir şekilde giderilmesine rağmen giderim oranının %93 oranında olduğu gözlemlenmiştir. Bununla birlikte, MBR'ye toz halinde aktifleştirilmiş karbon (PAC) eklenmesinin ardından, Orange II'nin veya her iki boyanın birlikte mükemmel (>%99) ve istikrarlı bir giderim

gerçekleşmiş, aynı zamanda istikrarlı enzimatik aktivite gözlemlenmiştir (Haia vd. , 2008b).

Yiğit ve arkadaşları tarafından 2009 yılında yapılan bir çalışmada, kot üreten bir tekstil fabrikasının ıslak işlemlerinden (renklendirme, bitirme ve boyutlandırma) temin edilen yüksek konsantrasyonlu karışık atık suyun arıtılması amacıyla pilot ölçekli bir membran biyoreaktör sisteminin performansı araştırılmıştır. Havalandırma tankında dalgıç tipi hallow fiber membran modülü içeren sistem, aerobik koşullarda yaklaşık 3 ay boyunca sürekli akış modunda yerinde çalıştırılmıştır. Sistemin işletimi, (1) Çamur atımı olmadan saatlik 20 L/m² tipik bir süzüntü akışı ve (2) aynı akı ile 25 günlük çamur alıkonma süresi olmak üzere iki farklı çalışma safhasında gerçekleştirilmiştir. Tüm çalışma periyodu boyunca, yüksek çözünmüş katı içeriğine rağmen çok yüksek işletim verimliliği sağlanmıştır. Süreçte MBR sisteminin performansının, birçok parametrenin değişiminden olumsuz bir şekilde etkilenmediği gözlemlenmiştir. Membran kirlenmesine bağlı olarak geçirgenlik akışındaki azalma, tüm işlem sırasında sadece bir kez gözlemlenmiş ve bu kirlenme, kimyasal ters yıkama ve kimyasal temizleme prosedürleri uygulanarak giderilmiştir. 8100 Pt-Co seviyeleri kadar yüksek renk değerleri, yaklaşık 50 Pt-Co seviyesine düşürülerek, elde edilen ürünün üretim proseslerinde tekrar kullanılabileceği görülmüştür (Yiğit vd. , 2009).

Zou ve Li tarafından 2009 yılında yapılan bir çalışmada, içi boş eksenlere sabitlenmiş ve bir elektromotor tarafından taşınan, dönebilir, yuvarlak, düz plaka (Polyvinyliden fluorür) (PVDF) membran modülüne sahip dalgıç bir döner membranlı biyoreaktör (SRMBR), atık su arıtımı amacıyla kullanılmıştır. Çalışma esnasında çalışma parametrelerinin, membran permeasyon akısına etkileri araştırılmıştır. Birinci gün akıştaki KOİ 180 mg/L ile 368 mg/L aralığında değiştiğinde atık KOİ'nin istikrarlı ve bir gün sonra 20 mg/L'nin altına düştüğü gözlemlenmiştir. Denge geçirgenlik akısı, dönüş hızı 15 r/dak'dan 25 r/dak'a yükseldikçe 42,5'dan 47,5 L/m² h'ye yükselmiştir (Zou ve Li, 2009).

Gámez ve arkadaşları tarafından 2009 yılında gerçekleştirilen bir çalışmada, aktif çamur sistemi ile MBR sistemini karşılaştırmış, MBR muamelesini değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak, bir MBR sisteminin aktif çamur sisteminden daha etkili ve kararlı olduğunu göstermişlerdir. MBR sisteminde KOİ'nin yaklaşık %82-92'si ve askıda kalmış toplam katıların %95'i giderilirken, aktif çamur işleminde %54-70 KOİ

ve toplam katıların %32-43'ü giderilmiştir. Sonuç olarak, MBR prosesinin tekstil atık suyu arıtımında iyi sonuçlar vermiştir (Gámez vd. , 2009).

Spagni ve arkadaşları tarafından 2010 yılında yapılan bir çalışmada azo-boya grubundan Reaktif Orange 16 içeren sentetik tekstil atık suyunun arıtımında; anaerobik biyofilm, anoksik reaktör, aerobik membran biyoreaktör içeren tezgah ölçekli deneysel bir sistem kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan koşullar altında önerilen sistemin başarılı olduğu kanıtlanmıştır. Atık parçalanmasıyla oluşan aromatik aminlerin, uygulanan çalışma koşulları altında KOİ ve azot gidermeyi önemli ölçüde etkilediğini gözlemlemiş ve aromatik aminlerin parçalanmasında bu sistemin etkinliği başarılı olamamıştır (Spagni vd. , 2010).

You ve arkadaşları 2010 yılında, gerçek tekstil boyama atık suyunun arıtımı için membran biyoreaktör (MBR) ve sıralı toplu reaktör (SBR) işlemlerinin performansını karşılaştırmak amacıyla bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. MBR işleminin renk, KOİ, BOİ ve AKM için giderim verimi sırasıyla %54, %79, %99 ve %100; SBR prosesi için ilgili parametreler %51, %70, %96 ve %60 oranlarında bulunmuştur. MBR atığı için yukarıdaki dört parametrenin hepsi Tayvan EPA'nın kriterlerini karşılarken, diğer taraftan SBR işlemi için sadece renk ve KOİ Tayvan EPA atık su kriterlerine uygundur. Dahası *Microbacterium* cinsi, özellikle *Microbacterium aurum*, toplam izolatların %70,6'sını oluşturan en baskın nüfus olduğu tespit edilmiş ve boyama atık suyunun bozunmasından sorumlu olabileceği bildirilmiştir. MBR çamurunda başlıca bakteri olarak *Paenibacillus azoreducens* ve *Bacillus sp.* adlı iki tekstil boyama degradasyon bakterisi gözlemlenmiştir (You vd. , 2010).

Hai ve arkadaşları tarafından 2011 yılında yapılan bir çalışmada, farklı azo boyar maddelerini içeren tekstil atık sularının arıtımı için GAC-paketlenmiş anaerobik bölge içeren biyolojik olarak zenginleştirilmiş membran biyoreactor (MBR)' ın uzun vadeli performansı değerlendirilmiştir. Bu çalışmada tekstil işletmelerinde ayrı atık akışlarının evrimi ile uyumlu benzersiz bir besleme stratejisi, boya gideriminde GAC-bölgesini en iyi şekilde kullanmak üzere benimsenmiştir. Boya GAC-bölgesi vasıtasıyla, geri kalan renksiz materyaller ise aerobik bölgeden, aynı anda sisteme beslenerek yapılan ön çalışmalar, GAC-modifiye anaerobik bölgenin aerobik MBR ile kaplanması önemini, beslenme stratejisinin etkinliğini kanıtlamıştır. Ardından, giderek artan boya-yükleme işleminin etkinliği test edilmiştir. Son derece yüksek boya

yüklemelerinde 7 aydan fazla bir süre boyunca önemli TOK giderimi ile birlikte kararlı renk giderme söz konusu olmuş ve önerilen melez prosesin üstünlüğü kanıtlanmıştır (Hai vd. , 2011).

Niren ve Jigisha 2011 yılında, Disperse Red boya içeren sentetik tekstil atık suyunun arıtımı için laboratuvar ölçekli batık membranlı bir biyoreaktör (SMBR) sisteminin performansını araştırmak amaçlı bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada SMBR sistemi aerobik olarak sırasıyla 24; 18; 14,4; 11,28 ve 8,4 saat beş farklı hidrolik retansiyon sürelerinde (HRT) sürekli akış modunda çalıştırılmış ve ortalama permeasyon akışı $20 \text{ L/m}^2 \text{ h}$ olmuştur. Çalışmada KOİ, BOİ ve renk için ortalama giderim oranları sırasıyla %92,33; %93,69 ve %91,36 olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda sentetik tekstil atık suyunun SMBR sistemi tarafından çok etkili bir şekilde arıtılabileceği kanıtlanmıştır (Niren ve Jigisha, 2011).

Spagni ve arkadaşları 2012 yılında yaptıkları bir çalışmada tekstil atık suyunun batık anaerobik membran biyoreaktörde (SAMBR) renk giderimini değerlendirmişlerdir. Çalışmada azo boya modeli olarak Reaktif Orange 16 kullanılmıştır. Sonuçlar, çok yüksek renk giderme oranının (%99'dan daha yüksek) SAMBR'ler tarafından sağlanabileceğini göstermiştir (Spagni vd. , 2012).

Lotito ve arkadaşları tarafından 2012 yılında yapılan bir çalışmada, SBBGR (dizi sıralı biyofiltreli granüler reaktör) kullanarak bir boyama ve finisaj fabrikasından çıkan atık suyun arıtım çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Arıtımı zorlayıcı olan bu atık suda SBBGR'nin etkinliğini araştırabilmek amacıyla farklı işletme koşulları test edilmiştir. Bildirilen ölçümler, bu yenilikçi biyolojik teknolojinin, bu amaç için çeşitli umut verici özellikler sergilediğini göstermektedir. Sistemin tekstil atık suları için etkili bir ön muamele işlemi olduğu tespit edilmiştir (Lotito vd. , 2012).

Özer ve arkadaşlarının 2014 yılında yaptıkları çalışma tekstil atık sularının arıtımı için MBR sisteminde fungal biyokütlelerin kullanımına ilişkin yeni bir yaklaşımdır. Steril olmayan koşullarda fungal iki suşun (*Aspergillus versicolor* & *Rhizopus arrhizuss*) inoküle edildiği MBR sisteminde Everzol Orange reaktif tekstil boyasını içeren sentetik tekstil atık suyu kullanılmıştır. 6 günlük HRT sonunda renk giderim verimi %54 ve KOİ giderim verimi %73,26 olarak sonuçlanmıştır (Özer vd. , 2014).

De Jager ve arkadaşları tarafından 2014 yılında tekstil atık suyunun pilot ölçekli çift kademeli MBR sistemi ve ardından RO sistemi kullanılarak renk giderim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. İki ultrafiltrasyon (UF) yanal akış membran modülünü içeren pilot ölçekli bir çift aşamalı membran biyoreaktör (dsMBR), yüksek mukavemetli tekstil atık suyunu arıtmak için yerinde tasarlanıp, inşa edildilip, işletilerek değerlendirilmiştir. İşletme sırasında koyu, orta ve açık olmak üzere farklı tipte atık sular değerlendirilmiştir. KOİ giderimi sırasıyla %86,5; %89,2; %87,8 iken renk giderimi sırasıyla %99,1; %54,9; %90,4 olarak belirlenmiştir. Renk bakımından değerlendirildiğinde içilebilir su standartlarının altında (daha berrak) bir su elde edilmiştir (De Jager vd. , 2014).

Özan ve arkadaşları, 2014 yılında, çevreye zarar veren tekstil atık sularının arıtımı amacıyla MBR sistemini kullanmışlardır. Çalışmada Ostazin Black HN tekstil boyasını ve tekstil atık sularında bulunan diğer kimyasalları içeren sentetik atık su kullanılmıştır. Steril olmayan koşullarda gerçekleştirilen çalışmada MBR sistemine fungal biyokütle olarak *Aspergillus versicolor* ve *Rhizopus arrhizuss* şuşları karışık kültür olarak inoküle edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda renk giderim verimi %62,3; KOİ giderim verimi ise %89,6 olarak belirlenmiştir (Özan vd., 2014).

Lotito ve arkadaşları tarafından 2014 yılında yapılan bir çalışmada, aerobik granüler çamur ve aktif çamur sistemleri aracılığıyla tekstil atık suyu arıtımı gerçekleştirilmiştir. Çalışmada arıtılabilirliği arttırmak amacıyla belediye atık suyuyla deşarj edilen tekstil atık suyu, bir granül çamur sistemi (dizi sıralı biyofiltreli granüler reaktör-SBBGR) ile elde edilen sonuçlara değinilmiştir. Çalışmada kimyasal oksijen ihtiyacı %94,7 toplam askıda katı madde oranı %94,7 toplam Kjeldahl azotu %87,5 ve yüzey aktif madde %77,1 oranında giderilmiş; İtalyan deşarj limitlerine uygun hale getirilmiştir. Aynı atık suyun arıtıldığı tesisin performansı ile karşılaştırıldığında, SBBGR sisteminin daha basit bir muamele şemasına sahip olması, daha düşük hidrolik kalış süresi (30 saat karşı 11 saat) içermesi ve daha düşük bir çamur üretimi söz konusu olması sonucu karşılaştırılabilir nitelikte bir atık üretebildiğini göstermiştir (Lotito vd., 2014).

Gül ve arkadaşları, 2014 yılında, filamentli fungal biyokütle içeren MBR sisteminde Reaktif Blue ve Ostazin Yellow boyar maddelerinin renk giderim verimlerini araştırmışlardır. Çalışmada kullanılan fungal biyokütle (*Aspergillus versicolor* ve

Rhizopus arrhizus), maya-pepton-dekstrozu (YPD) ortamında inkübe edildikten sonra MBR sistemine inoküle edilmiştir. Aynı atık su reçetesinde farklı boyar maddeleri içeren iki sentetik atık su hazırlanarak deneysel çalışmalar iki seri olarak gerçekleştirilmiştir. Reaktif Blue varlığında KOİ giderim verimi %84,6 iken 2 günlük HRT’de renk giderim verimi %90,71 olmuştur. Ostazin Yellow varlığında KOİ giderim verimi %70 iken, 5 günlük HRT’ de %51,15 olduğu görülmüştür. Steril olmayan koşullarda gerçekleştirilen çalışma sonucu fungal biyokütlelerin tekstil atık sularından boyar madde giderimi için uygulanabilir bir yaklaşım olduğu görülmüştür (Gül vd., 2014).

Friha ve arkadaşları tarafından 2015 yılında tekstil atık suyunun batık MBR sisteminde arıtılması: in vitro biyolojik yöntemlerle işlem görmemiş ve arıtılmış atık suda stres tepkisinin değerlendirilmesi ve toksisite testleri yapılmıştır. Sistemin 7 ay çalıştırılması sonucunda renk giderimi %100, KOİ giderimi %98, BOD₅ giderimi %96, AKM giderimi ise %100 bulunmuştur. Caco-2 hücrelerinin kullanıldığı farklı In vitro biyoanalizler yoluyla, MBR’in işleme verimliliği, toksikolojik risk değerlendirmesi açısından analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizlerde ham tuvalet atık suyu ve MBR sisteminde işlenmiş atık su kullanılmıştır. Sonuçlar, MBR arıtımının, ham tuvalet atık suyunun Caco-2 hücrelerindeki sitotoksitesini 2 günlük hidrolik bekletme süresi (HRT) için %53 oranında önemli ölçüde azalttığını göstermiştir. Ayrıca, tuvalet atık suyu ve arıtılmış atık suyun stres yanıtı üzerindeki etkisi, farklı stres genleri kullanılarak araştırılmıştır: AHSA1, HSPD1, HSPA1A, HSPA5 ve HSPA8. Ham tuvalet atık suyuna hücre maruziyeti, kullanılan tüm stres genlerinin ekspresyonunu önemli ölçüde arttırırken; arıtılmış atık su (HRT 2 gün), stres genlerinin önemli bir modülasyonunu göstermemiştir (Friha vd., 2015).

Özan ve Açıkgöz, 2015 yılında yaptıkları bir çalışmada, haşlama et atık suyunun pilot ölçekli bir MBR sisteminde arıtım çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada kullanılan biyokütle olan aktif çamur, bir biyolojik arıtım tesisinden temin edilmiştir. KOİ, fosfat ve azot giderim verimlerinin değerlendirilmesi amacıyla ölçümler günlük olarak gerçekleştirilmiştir. Atık suyun ¼ oranında seyreltildiği I. Seri çalışmada KOİ, fosfat ve azot giderimi sırasıyla; %77,2; %92,7 ve %91 olarak tespit edilmiştir. Atık suyun 1/10 oranında seyreltildiği II. Seri çalışmada KOİ giderim verimi %83,8 olarak tespit edilmiştir (Özan ve Açıkgöz, 2015).

Yurtsever ve arkadaşları tarafından 2015 yılında sentetik tekstil atık suyu arıtımında aerobik ve anaerobik MBR sistemlerinin performanslarını karşılaştırmalı olarak değerlendirmek amacıyla bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Her iki MBR’de de yüksek KOİ giderimi gözlemlenmiştir. AnMBR’de neredeyse tamamen renk giderimi gözlemlenmesine rağmen, AMBR’de sadece kısmen (%30-50) renk giderimi gözlenmiştir. AnMBR, 9 L/(m² h) (LMH)’ye kadar başarılı bir şekilde işletilmiş ve yaklaşık 50 gün boyunca 4,5 LMH’de kimyasal temizleme gerekmemiştir. AMBR, 20 LMH’ye kadar başarılı bir şekilde işletilmiştir. AnMBR ve AMBR’nin filtrasyon performansları benzer çalışma koşullarında karşılaştırılmıştır. AnMBR’nin filtrasyon direnci genelde AMBR’ye kıyasla daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Her iki MBR’de de kimyasal temizleme sonucu geri dönüşsüz kirlilik hemen hemen tamamen kaldırılarak direnci yeni membranlara yakın bulunmuştur (Yurtsever vd., 2015a).

Suna ve arkadaşları 2015 yılında, tekstil yardımcı maddeleri (TA) atık suyunun içindeki organik bileşiklerin ve azotun giderimi için bir anaerobik-anoksik-aerobik membran biyoreaktör sistemi (A2O-MBR) kullanmışlardır. Sonuçlara göre, KOİ giderimi %87, amonyum azotu (NH₄⁺+N) giderimi %96 ve toplam azotun giderimi (TN) %55 olduğu görülmüştür. Gaz kromatografisi-kütle spektrometresi analizlerine göre, TA atık suyunda 121 farklı organik bileşik türünün mevcut olmasına rağmen, MBR atığındaki sadece 20 çeşit organik bileşik bulunmuştur. Bu atıkların göstergesi olarak MBR atığı kullanılabilir endüstriyel atık su türüdür. Sonuçlar, tekstil endüstrisinde atık su arıtma sisteminin tasarımını ve çalışmasını optimize etmek için değerli bilgiler sağlamıştır (Suna vd., 2015).

Açıkgöz ve arkadaşları, 2016 yılında gerçekleştirdikleri bir çalışmada Lineer Alkil Benzen Sülfonik Asit (LABSA) içeren sentetik atık suyun, *Aspergillus versicolor* ve *Trametes versicolor* karışık kültürlerinin inoküle edildiği lab/pilot ölçekte bir MBR sisteminde giderimini steril olmayan koşullar altında incelemişlerdir. Numunelerin alınması ve deneysel ölçümlerin yapılması 24 saatlik aralıklarla gerçekleştirilmiştir. LABSA giderim veriminin 48 saat içerisinde %58’lik bir orana ulaştığı saptanmıştır (Açıkgöz vd., 2016).

Yurtsever ve arkadaşları tarafından 2016 yılında yapılan bir çalışmada farklı konsantrasyonlarda (0-1000 mg/L) NaCl içeren sentetik tekstil atık suyunun arıtılmasında ardışık anaerobik (AnMBR) ve aerobik (AeMBR) MBR’lerin performansı

araştırılmıştır. AnMBR’de yüksek KOİ (%90’ a varan) ve boya (≥ 99) giderimi sağlanmış ve her iki MBR’de de biyokütle konsantrasyonları belirgin bir şekilde azalmasına rağmen artan tuzluluk işlem performansını etkilememiştir. AMBR’de, AnMBR’nin atık suyunda kalan KOİ’nin giderimi devam etse de, aromatik aminlerin otomatik oksidasyonu nedeniyle boya konsantrasyonunda artış gözlemlenmiştir. AnMBR’de üretilen aromatik aminlerin önemli bir kısmının giderimi AMBR’de sağlanmıştır. Tuzluluk oranının artışı sonucunda, AnMBR’de üretilen yüksek molekül ağırlıklı organik maddelerin moleküler ağırlık dağılımını etkilediği gözlemlenmiştir. Her iki MBR’de de oldukça istikrarlı bir biyolojik topluluk yapısı gözlemlenmiştir. AnMBR ve AMBR sırasıyla 4,2 LMH ve 8,1 LMH’de çalıştırıldığında, uzun süre kimyasal temizleme gerekmemiştir (Yurtsever vd., 2016a).

Acikgoz ve arkadaşları tarafından 2016 yılında yayınlanan bir çalışmada, karışık fungal bir biyokütle kültürüyle (*Aspergillus versicolor* & *Rhizopus arrhizus*) Membran Biyoreaktör (MBR) sisteminde Reaktif Blue boyar maddesinin giderim çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Kültürün eldesi steril şartlarda gerçekleştirilirken, boyar madde giderim kapasitesinin araştırılması steril olmayan koşullarda gerçekleştirilmiş ve sistem doğal avantajları ile araştırılmıştır. Boyar madde ve kimyasal oksijen ihtiyacı konsantrasyonları giderim veriminin araştırılması amacıyla günlük olarak ölçülmüştür. MBR sisteminde karışık fungal biyokütle (*Aspergillus versicolor* & *Rhizopus arrhizus*) kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada renk giderim verimi %90,71 ve KOİ giderim verimi %90 dır. Bu Pilot ölçekli MBR sisteminde ilk defa fungal suş kullanımının gerçekleştirildiği bu atık su çalışması tekniğin uygunluğunu gösteren ilk rapordur (Açıkgöz vd., 2016).

Jegatheesan ve arkadaşları tarafından 2016 yılında tekstil atık suyunun MBR ile arıtımı üzerine yapılan bir çalışmada, aerobik ve anaerobik MBR lerin yanı sıra MBR süreçlerinde kirleticilerin kontrolü de gözden geçirilmiştir. Literatürde yer alan çalışmaların değerlendirilmesi sonucunda; tekstil atık suyunun MBR ile arıtılmasının, basit, güvenilir ve düşük maliyetli bir süreç olduğunu, kirleticileri önemli oranda giderdiğini bildirmişlerdir. MBR sistemindeki uzun çamur tutma süresinin yavaş büyüyen mikroorganizmaların çoğalmasını sağlayarak kirleticilerin bozunmasını arttırdığı ancak membran kirlenmesine de katkıda bulunduğunu belirtmişler (Jegatheesan vd., 2016).

Ozan ve Acikgoz, 2016 yılında kendi tasarladıkları MBR sisteminin evsel atık su arıtımı için performans değerlendirme çalışması gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmada kullanılan sentetik atık su, Türkiye’de yaşayan 5 kişilik bir ailenin oluşturduğu atıklar baz alınarak hazırlanmıştır. Çalışmaların sonucunda reaktör çıkışından alınan numunelerde KOİ için %90, fosfat için %88 ve azot için %91’lik giderim verimi elde edildiği görülmüştür (Ozan ve Acikgoz, 2016).

Yurtsever ve arkadaşları tarafından 2016 yılında yapılan bir çalışmada sentetik tekstil atık suyunun arıtılması için sıralı anaerobik (sülfat indirgeyen) ve aerobik (sülfat oksitleyici) MBR performansını araştırılmıştır. Performans, KOİ (1000-2000 mg/L), sodyum klorür (500-1000 mg/L) ve sülfat (500-1500 mg/L) arasında değişen konsantrasyonlar altında değerlendirilirken, boyanın (Remazol Brilliant Violet 5R) konsantrasyonu 200 mg/L olarak sabit tutulmuştur. AnMBR’de, KOİ giderme verimi %80 ila %85 aralığında, sülfat indirgeme verimleri sırasıyla %55 ve %95 olarak bulunmuş, sülfat redüksiyon verimliliğinin doğrudan KOİ/sülfat oranı ile ilişkili olduğu gözlemlenmiştir. AnMBR’de neredeyse tamamen renk giderimi sağlanırken, aromatik aminlerin otomatik oksidasyonundan dolayı AMBR’de renk konsantrasyonunda bir miktar artış gözlemlenmiştir. Sülfür AMBR’de tamamen sülfata oksitlenmiştir. AnMBR ve AMBR, yaklaşık 5 LMH ve 9 LMH akışlarında başarıyla çalıştırılırken, kek tabakası kalınlıkları sırasıyla 54 mm ve 10-30 mm olarak gözlenmiştir. Kimyasal temizleme sonrası membranların direnci yeni membranlara yakın bulunmuştur (Yurtsever vd., 2016b).

Şahinkaya ve arkadaşları 2017 yılında gerçekleştirdikleri bir çalışmada krom içeren sentetik tekstil atık suyunun arıtılmasında, aralıklı olarak havalandırılmış dinamik MBR’ in performansını araştırmışlardır. İki farklı gözenek boyutuna (20 μ m ve 53 μ m) sahip olan destek tabakası da test edilmiştir. Çalışmada MBR, 5/3 dakika, 1/10 dakika ve 1/15 dakika havalandırma açık/kapalı sürelerle kesintisiz veya aralıklı havalandırma koşulları altında çalıştırılmıştır. 20 μ m ve 53 μ m gözenek boyutundaki destek malzemelerinin askıda katı red verimleri dinamik tabaka oluşturulduktan sonra benzer olduğu, 20 μ m gözenek boyutlu destek tabakası için hızlı kirlenme ve sıklıkla fiziksel temizlik gerektirdiği gözlemlenmiştir. 53 μ m gözenek boyutlu destek tabakası, 23-29 LMH akışlarında, 100 günden daha uzun bir süre herhangi bir temizlik yapılmaksızın kararlı işletimin mümkün olduğu görülmüştür. Değişken havalandırma

açma/kapama süreleri altında oldukça yüksek KOİ giderim verimleri elde edilmiş olsa da, havalandırma sürelerinin yükselmesiyle birlikte renk giderme verimliliği artmıştır (ORP 150 mV' den daha düşük). Bununla birlikte, havalandırma açma/kapama süresi 1/15 dakika olduğunda filtrasyon ve KOİ giderme performanslarında belirgin bir azalma gözlemlenmiştir (Sahinkaya vd., 2017).

Yurtsever ve arkadaşları tarafından 2017 yılında yapılan bir çalışmada sentetik tekstil atık suyu arıtımında sıralı anaerobik sülfat indirgeyici ve aerobik sülfid oksitleyici MBR'lerin arıtım ve filtrasyon özelliklerine SRT'nin (60 ve 30 günlük) etkisi araştırılmıştır. Azalan SRT, biyokütle konsantrasyonunun azalmasına bağlı olarak KOİ oksidasyonunda (KOİ giderme performansı %86-65) önemli azalmalara neden olurken, sülfat indirgemesinde (sülfür giderim performansı %95-82) kısmen azalmalara neden olmuştur. Tüm SRT'lerde AnMBR'de tam renk giderme (>%99) gözlemlenirken, AMBR'de hafif bir renk artışı tespit edilmiştir. AnMBR çamurunun filtrelenebilirliği, AMBR'ye kıyasla 4-8 kat daha düşük bulunmuştur. Her iki MBR'deki mikrobiyal topluluğun SRT'ye bağlı olarak değiştiği tespit edilmiştir (Yurtsever vd., 2017).

Özan ve Açıkgöz 2018 yılında yaptıkları bir çalışmada, pilot ölçekte bir Membran Biyoreaktör tasarımı ve imalatını gerçekleştirmiştir. Reaktör temel olarak tekstil atık suyu arıtımı amacıyla tasarlandığı için sistem performansının değerlendirilmesinde sentetik tekstil atık suyu kullanılmıştır. Sistemde gerçekleştirilen 10 günlük arıtım sonucunda KOİ giderimi %68 ve renk giderimi %70 olarak gözlemlenmiştir. Çalışmanın sonuçları sistemin tekstil atık suyu arıtımı için gelecek vadede bir çalışma olduğunu göstermiştir (Özan ve Açıkgöz, 2018).

8. MATERYAL METOT

8.1. MBR Sistemi

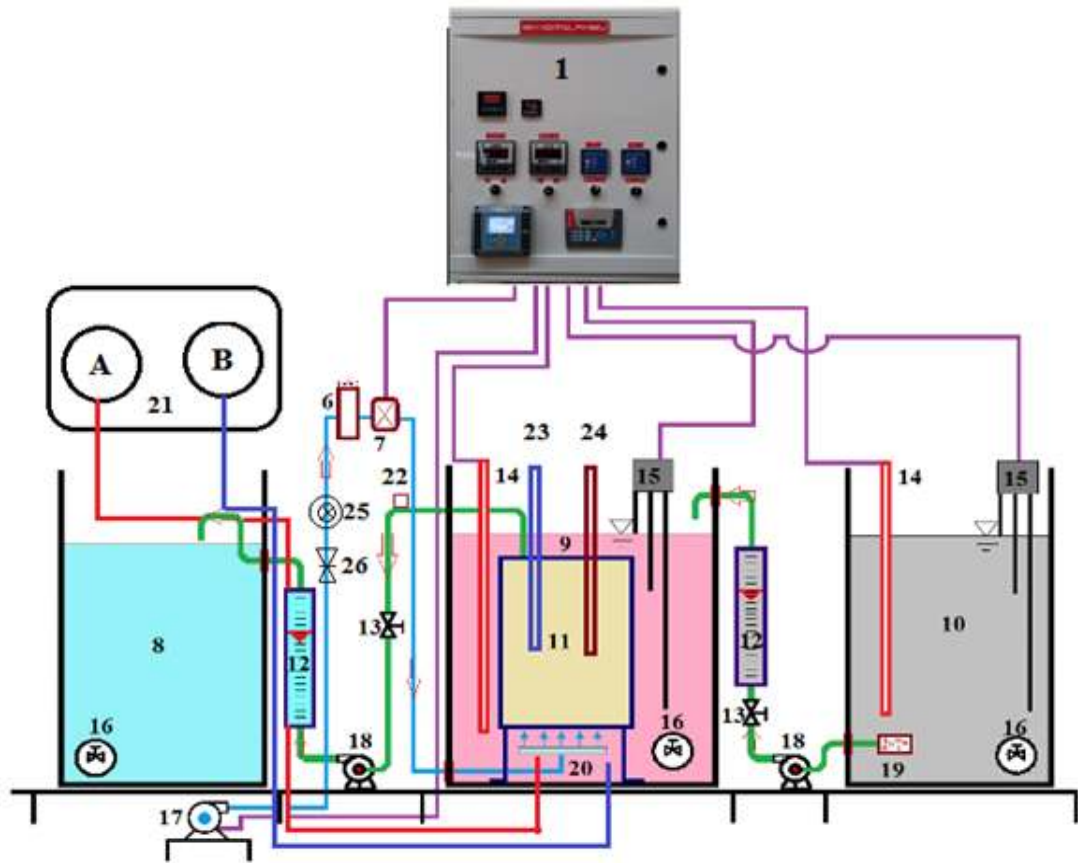
Deneysel çalışmaların gerçekleştirilmesinde üniversitemiz kimya ve süreç mühendisliği laboratuvarı bünyesinde bulunan lab/pilot ölçekteki membran biyoreaktör (MBR) sistemi kullanılmıştır. Sistem, küçük ve bitişik parçalardan oluşan, geri atık su çevrimi olmayan, düşük çalışma basıncına (18-60 mbar) sahip ve düşük enerji tüketimli Dahili/Batık MBR sistemidir (Özan, 2012).

Sistem 145 L kapasiteli (48x38x80 cm) besleme tankı, 220 L kapasiteli (58x38x100 cm) havalandırma tankı (Efektif hacmi yaklaşık 170 L) ve 145 L kapasiteli (48x38x80 cm) deşarj tankından oluşmaktadır. Tankların imalatında kullanılan malzeme ise şeffaf pleksiglas ticari adıyla PMMA (Polimetilmetakrilat)'tır. Tank parçalarının birleştirilmesinde kloroform ve akvaryum silikonu kullanılmış, basınca dayanımını arttırmak amacıyla da dıştan metal çerçeveler ile desteklenmiştir (Özan, 2012).

Havalandırma tankına yerleştirilen membran modülü Polivinildifloride (PVDF)+Polyetilteraftalat (PET)'dan imal edilmiş 6 adet plaka-çerçeve tipinde ultrafiltrasyon membran kasetinden oluşmaktadır. Membranların por büyüklüğü 0,08-0,3 µm ve membran modülünün kapladığı alan 1,5 m²'dir. Havalandırma tankının tabanına yerleştirilen disk formundaki membranlı difüzör hem havalandırmayı sağlamakta hem de membranların yüzeyinde kek tabakası oluşumunu azaltmaktadır. Membran kasetleri difüzör üzerine dikey olarak yerleştirilmiştir (Özan, 2012).

MBR sistemini kontrol eden kumanda elemanları ve sensörler aracılığıyla alınan veriler panoya yerleştirilmiş bir ekrandan takip edilebilmektedir. Membrandan süzüntü akışının sağlanmasında 220 V ile çalışan, düşük motor gücü ile yüksek basınç elde edebilen periferik pompa kullanılmaktadır (pompa 2). MBR sisteminin tasarımı ve ilk denemeleri 2012 yılında gerçekleştirilmiş olup, sonraki çalışmalarda revizyona gidilerek yeni donanımlar (Asit-baz pompası, pH sensörü, LDO sensörü, vakum transmitteri, türbin tip debimetre, elektrik akümülatörlü valf) de sisteme eklenmiştir (Özan, vd., 2014; Kavuştu, 2016).

Arıtım çalışmalarının gerçekleştirildiği MBR Sisteminin şematik çizimi Şekil 8.1'de verilmiştir (Özan vd., 2014; Kavuştu, 2016).



- | | | |
|---------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| 1. MBR kontrol panosu | 10. Atık su tankı | 19. Kaba filtre |
| 2. Dijital termostat | 11. Membran modülü | 20. İnce kabarcıklı difüzör |
| 3. Şalter | 12. Su debimetresi | 21. Asit/Baz pompası |
| 4. Seviye kontrol şalteri | 13. Valf | 22. Vakum transmitteri |
| 5. PLC | 14. Rezistans ısıtıcı | 23. LDO sensörü |
| 6. Hava şartlandırıcısı | 15. Su seviye kontrol elektrodu | 24. pH sensörü |
| 7. Hava debimetresi | 16. Tahliye valfi | 25. Türbin tip debimetre |
| 8. Arıtılmış su tankı | 17. Blower | 26. Elektrik aktuatörlü valf |
| 9. Havalandırma tankı | 18. Pompa | |

Şekil 8.1. Lab/Pilot ölekte batık MBR sisteminin şematik çizimi (Özan vd., 2014).

Çalışmalar öncesinde sistem revizyona alınarak sızdırmazlık deneyleri yapılmış ayrıca farklı pH larda çalışmalar yapılmış olması neticesinde aşınma ihtimali olan parçalar değiştirilmiştir. Membranlar kimyasal yöntemlerle temizlenerek sensörlerin kalibrasyonları yapılmıştır. Sisteme su doldurup çalıştırılarak herhangi bir problem olmadığı gözlemlendikten sonra revizyona son verilmiştir. Revizyonu tamamlanan sisteme mikroorganizmalar aşıl原因arak diğer aşamaya geçilmiştir.

8.2. Mikroorganizmaların Temini ve Deneysel Sürece Hazırlanması

MBR sisteminde yer alan havalandırma tankına aşılana aktif çamur (bakteri, fungus, protozoa, rotifer, nematod, alg vb. mikroorganizmalar içerir) (Turhan, 2015) Bilecik I. Organize Sanayi Bölgesindeki Biyolojik Atık Su Arıtma Tesisi'nden tedarik edilmiştir. Tesis, bölgede faaliyet gösteren 44 farklı firmaya ait endüstriyel atık suyun arıtımını gerçekleştirmekte ancak bu firmalar arasında tekstil endüstrisi bulunmamaktadır. Tesiste kullanılan aktif çamur endüstriyel atık su arıtımında kullanıldığı için olumsuz şartlara dayanıklı, değişken koşullara adaptasyonu kolay olan mikroorganizmalar içermektedir. Tekstil endüstrisindeki atık su içeriğinin çok değişken yapıda olması arıtmada kullanılacak mikroorganizma seçiminde endüstriyel atık su arıtım aktif çamurunun tercih edilmesine neden olmuştur.



Şekil 8.2. Aşılama sonrası MBR' ın görünümü.

Mikroorganizmaların adaptasyonunu kolay sağlayabilmek amacıyla aktif çamur, bulunduğu havalandırma havuzunun devir daim pompasından atık suyu ile karışım halinde alınmıştır. Alınan aktif çamur stoklanarak üniversitemiz laboratuvarında bulunan

MBR sisteminin havalandırma tankına aşılacaktır. Aşılama sonrası MBR'ın dinlenme hali Şekil 8.2'de verilmiştir.

Mikroorganizmaların aşılmasının ardından reaktörün pH ve DO değerleri ayarlanmış 4 gün bu aralıklara uyumu sağlanmıştır. Tekstil atık suyuna mikroorganizma adaptasyonunu sağlamak için ise sentetik tekstil atık su hazırlanarak sisteme yüklenmiştir. Sentetik alıştırma atık suyu reçetesi Çizelge 8.1'de verilmiştir. Yükleme sonrasında sistem bir hafta gözlem altında tutularak renklerde bir açılma olup olmadığı, çamurda kabarma veya reaktörde köpürme gibi anormallik oluşup oluşmadığı gözlenmiş, şartların elverişli olduğu görüldükten sonra çalışmaya başlanmıştır.

Çizelge 8.1. Mikroorganizmaların tekstil atık suyuna adaptasyonu için hazırlanan sentetik atık su reçetesi.

Kullanılan Kimyasal	Miktarı (mg/L)
Glukoz	500
Nişasta	750
Üre	200
K₂HPO₄	50
CaCl₂.2H₂O	65
MgSO₄.7H₂O	500
Kullanılacak Boyaların Karışımı	50
NaCl	100
NaCO₃	90
NaOH	90

8.3. Çalışmada Kullanılan Boyar Madde ve Sentetik Atık Su Özellikleri

Bu çalışmada; endüstriyel atık su arıtımında kullanılan aktif çamurun; reaktif tekstil boyalarından Dimozol Blue BRF %150 (Reactive Blue 221), Dimozol Yellow ED (karışım), Dimopers Red S5BLN (Disperse Red 167), Ostazin Yellow HR (Reactive Orange 12), Everzol Black N (karışım), Everzol Reaktif Blue R S/P (Reactive Blue 19) ve Ostazin Red H 3B (Reactive Red 45) içeren sentetik tekstil atık sularının Membran Biyoreaktör Sisteminde renk giderim ve KOİ giderim kapasitesi incelenmiştir.

Çalışma esnasında dijital termostat ve rezistans ısıtıcı devreye alınmamıştır. Ortam sıcaklığında gerçekleştirilen deneylerin sıcaklık değişimi 17-26 °C aralığında ölçülmüştür. Tekstil atık suyunda hem asit boyarmaddeler hem de bazik boyarmaddeler bir arada bulunabileceği ve kullanılan aktif çamur için optimum koşulların sağlanabilmesi için pH 6,5-7,5 değerleri arasında tutulmuştur. Çözünmüş oksijen miktarı sensörler aracılığıyla ölçülerek 2-2,5 mg/L aralığında sistem tarafından dengede tutulmuştur. Giderim verimlerinin gün bazında takip edilebilmesi amacıyla da çalışmalar yarı kesikli sistemde gerçekleştirilmiştir.

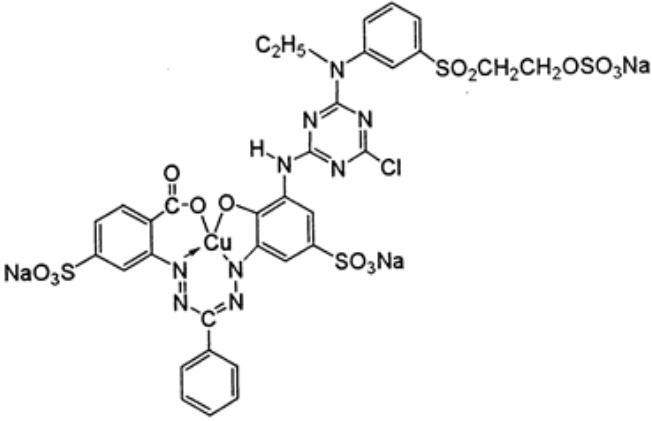


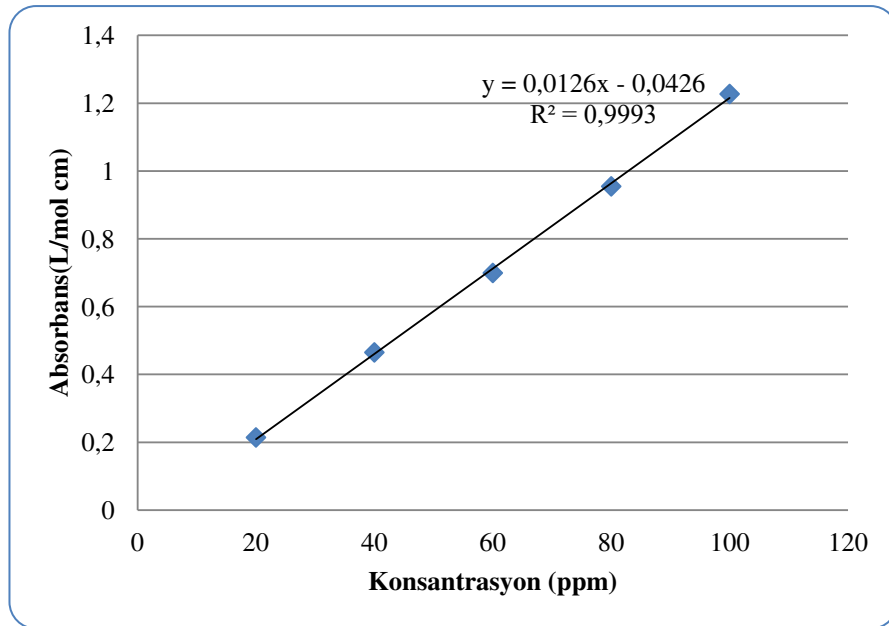
Şekil 8.3. Boyar maddelerin dalga boyu ve absorbans ölçümleri.

Boyar maddeler sisteme yüklenmeden önce her boyar madde için; 20 ppm, 40 ppm, 60 ppm, 80 ppm ve 100 ppm konsantrasyonlara sahip çözeltiler hazırlanmıştır. Hazırlanan çözeltilerin spektrofotometrede öncelikle maksimum dalga boyu belirlenmiş ardından o dalga boyunda absorbansları ölçülerek o boyaya ait kalibrasyon grafiği çizilmiştir.

Çalışmada kullanılan boyar maddelerin özellikleri ve o boyar maddeye ait maksimum dalga boyu Çizelge 8.2/3/4/5/6/7/8/9 da verilmiştir. Boyar maddelerin dalgaboyu tarama analiz raporlarına ekler kısmında, boyar maddelerin kalibrasyon grafiklerine ise Şekil 8.4/5/6/7/8/9/10/11 de yer verilmiştir.

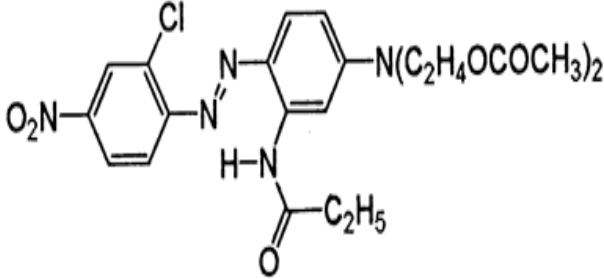
Çizelge 8.2. Dimozol Blue BRF %150 özellikleri.

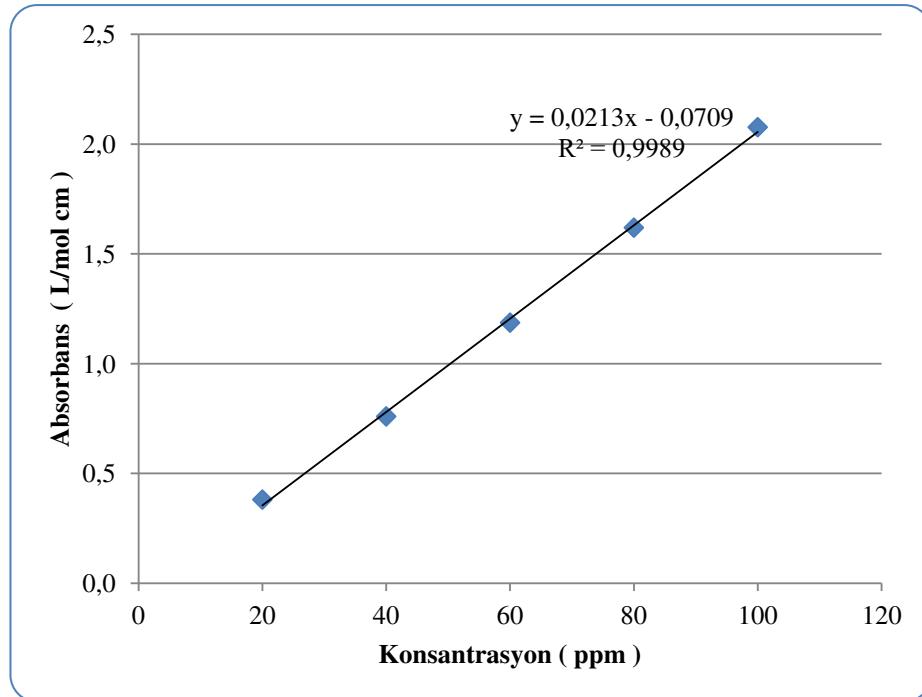
DİMOZOL BLUE BRF %150	
C.I.	Reactive Blue 221
	Formazen, Metal Kompleks
MOLEKÜLER YAPI	
MOLEKÜL FORMÜLÜ	$C_{33}H_{24}ClCuN_9Na_3O_{15}S_4$
MOLEKÜL AĞIRLIĞI	1082.83 g mol ⁻¹
CAS Kayıt Numarası	93051-41-3/89933-65-3
DALGA BOYU λ_{max}	610 nm
UV Fotometresi Spektrumu	Ek-1



Şekil 8.4. Dimozol Blue BRF %150 için kalibrasyon grafiği.

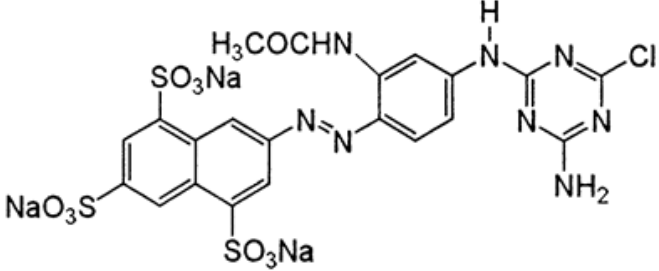
Çizelge 8.3. Dimopers Red S5BLN özellikleri.

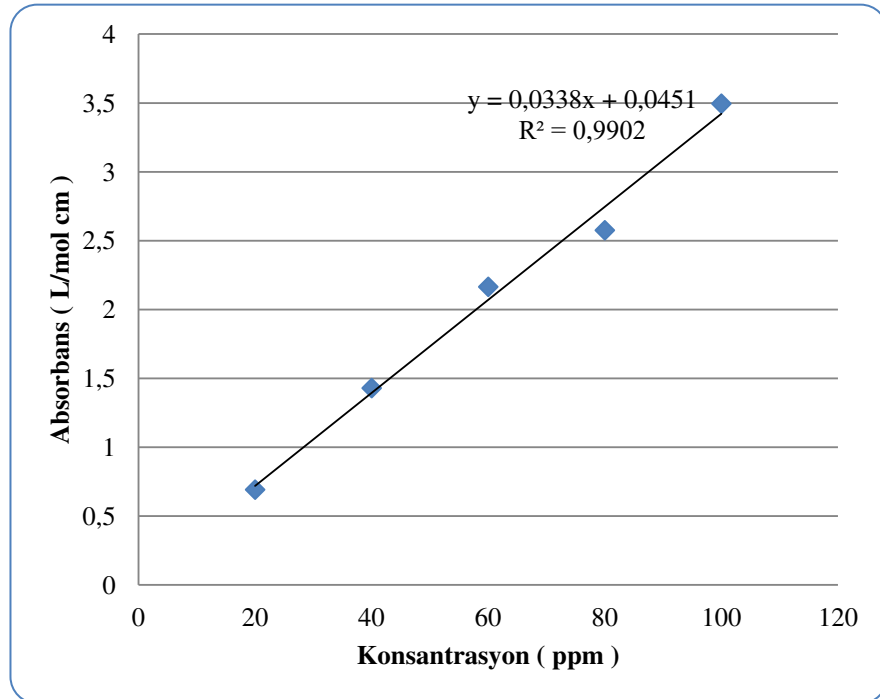
DİMOPERS RED S5BLN	
C.I.	Disperse Red 167
	Azo class
MOLEKÜLER YAPI	
MOLEKÜL FORMÜLÜ	$C_{23}H_{26}ClN_5O_7$
MOLEKÜL AĞIRLIĞI	519.93 g mol ⁻¹
CAS Kayıt Numarası	61968-52-3/26850-12-4
DALGA BOYU λ_{max}	460 nm
UV Fotometresi Spektrumu	Ek-2



Şekil 8.5. Dimopers Red S5BLN için kalibrasyon grafiği.

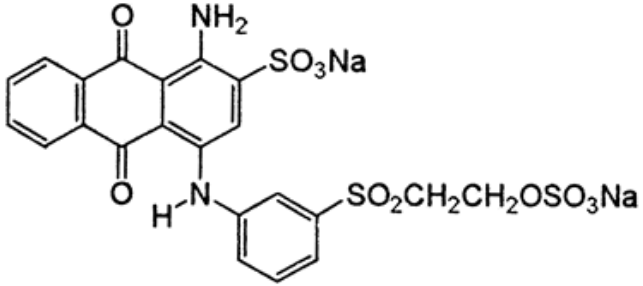
Çizelge 8.4. Ostazin Yellow HR özellikleri.

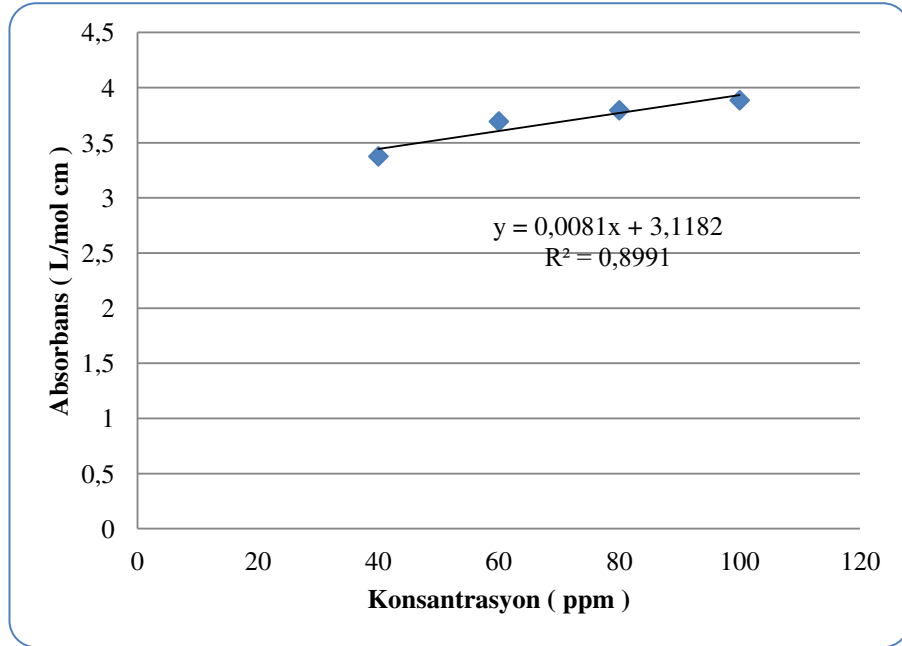
OSTAZİN YELLOW HR	
C.I.	Reactive Orange 12
	Azo class
MOLEKÜLER YAPI	
MOLEKÜL FORMÜLÜ	C ₂₁ H ₁₄ ClN ₈ Na ₃ O ₁₀ S ₃
MOLEKÜL AĞIRLIĞI	739.00 g mol ⁻¹
CAS Kayıt Numarası	35642-64-9
DALGA BOYU λ_{max}	420 nm
UV Fotometresi Spektrumu	Ek-3



Şekil 8.6. Ostazin Yellow HR için kalibrasyon grafiği.

Çizelge 8.5. Everzol Reaktif Blue R S/P özellikleri.

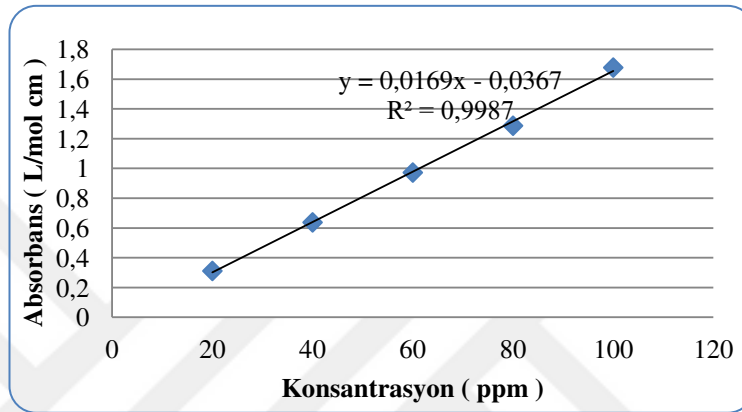
EVERZOL REAKTİF BLUE R S/P	
C.I.	Reactive Blue 19
	Anthraquinones
MOLEKÜLER YAPI	
MOLEKÜL FORMÜLÜ	C ₂₂ H ₁₆ N ₂ Na ₂ O ₁₁ S ₃
MOLEKÜL AĞIRLIĞI	626.55 g mol ⁻¹
CAS Kayıt Numarası	2580-78-1
DALGA BOYU λ_{max}	590 nm
UV Fotometresi Spektrumu	Ek-4



Şekil 8.7. Everzol Reaktif Blue R S/P kalibrasyon grafiği.

Çizelge 8.7. Everzol Black N 40-60 C Reaktif özellikleri.

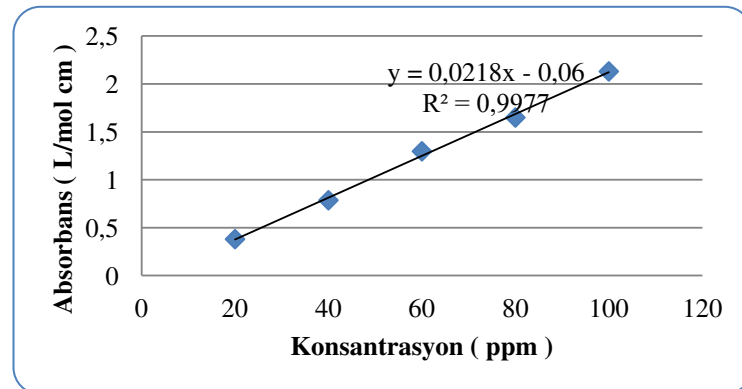
EVERZOL BLACK N 40-60 C REAKTİF	
C.I.	-----
MOLEKÜL FORMÜLÜ	Karışım
DALGA BOYU λ_{max}	600 nm
UV Fotometresi Spektrumu	Ek-6



Şekil 8.9. Everzol Black N 40-60 C Reaktif için kalibrasyon grafiği.

Çizelge 8.8. Dimozol Yellow ED özellikleri.

DİMOZOL YELLOW ED	
C.I.	-----
Molekül Formülü	Karışım
DALGA BOYU λ_{max}	420 nm
UV Fotometresi Spektrumu	Ek-7



Şekil 8.110. Dimozol Yellow ED için kalibrasyon grafiği.

Sentetik atık su için kullanılan kimyasallar reaktör hacmine göre hesaplanmış ve suda çözülürülerek sisteme ilave edilmiştir. Sentetik atık su için hazırlanan atık su reçetesi Çizelge 8.9’da belirtilmiştir.

Çizelge 8.9. Sentetik tekstil atık suyu reçetesi.

Kullanılan Kimyasal	Miktarı (mg/L)
Boyar Madde	100
CaCl₂.2H₂O	0,85
MgSO₄.7H₂O	0,85
FeSO₄.7H₂O	0,17
CuSO₄.5H₂O	0,17
Nişasta	17
Glikoz	17
NaOH	153
NaCl	255
Na₂CO₃	170
Üre	40
K₂HPO₄	17,7

Deneylerde kullanılan sentetik atık su reçetelerinde boya konsantrasyonu 100 ppm olacak şekilde yedi (7) farklı tekstil boyar maddesi (Dimozol Blue BRF %150, Dimozol Yellow ED, Dimopers Red S5BLN, Ostazin Yellow HR, Everzol Black N, Everzol Reaktif Blue R S/P ve Ostazin Red H 3B) kullanılarak hazırlanmıştır. MBR sistemine Çizelge 8.9’da belirtilen reçete kullanılarak her boyarmadde için ayrı ayrı olmak üzere yedi (7) seri sentetik atık su yüklenmiştir. Her yüklemenin yapıldığı sürecin günlük takibi yapılarak boyarmadde, KOİ, pH, ÇO, değerleri ve boyarmadde giderim verimleri ile KOİ giderim verimleri belirlenmiştir.

Farklı boyarmaddelerle hazırlanan sentetik atık su bileşimi reaktöre yüklenmeden önce reaktörde bir önceki tekstil boyası kullanılarak gerçekleştirilen arıtım çalışmasından kalan atık su boşaltılmış ardından musluk suyuyla reaktörde devir daim yapılarak atık suyun kalıntıları temizlenmiştir. Yıkamanın ardından çalışmaya iki

gün ara verilerek mikroorganizmalar dinlendirilmiş ve 3. gün tekrar farklı boyarmadde ile hazırlanan sentetik atık suyun sisteme yüklemesi gerçekleştirilmiştir.

8.4. Reaktörden Atık Su Numunelerinin Alınması

Reaktörden atık su numunelerinin alınması ilk yükleme anında ve ardından 24 saat aralıklarla gün bazında gerçekleştirilmiştir. Numune alımı öncesinde blower'ın çalışması beklenerek sistem içerisindeki atık suyun homojen karışımı sağlanmıştır. Ardından havalandırma tankından deşarj tankına akış sağlayan periferik pompa (pompa-2) manuel olarak çalıştırılarak musluk ucundan yarım saat süzüntü akışı sağlanmıştır. Yarım saatlik akışla membranlar arasında ve borularda kalmış olabilecek atık suların deşarjı gerçekleştirilmiş ve ardından numune alınmıştır. Sistemdeki verileri etkilememesi için yarım saatlik akışta deşarj tankında oluşan atık su tekrar havalandırma tankına aktarılmıştır. Ölçümler numuneler alındıktan hemen sonra gerçekleştirilmiş, ısı, ışık vb. çevresel etmenlerle numunelerde oluşabilecek değişiklikler önlenmiştir.

8.5. Çalışmada Kullanılan Kit ve Cihazlar

MBR sistemindeki arıtım çalışmalarında verilen boyar maddelerin renk giderimlerinin yanı sıra KOİ (COD, Kimyasal Oksijen İhtiyacı), Azot (N) ve Fosfat (PO_4-P) giderim verimleri de araştırılmıştır. KOİ ölçümleri yaklaşık olarak her gün yapılmış ancak Azot (N) ve Fosfat (PO_4-P) ölçümleri atık su yükleme ve deşarj anında yapılarak yüzde giderim verimleri hesaplanmıştır. Ölçümlerde Merck marka kitler kullanılmış ve kitler Şekil 8.12' de verilmiştir. Kitlerin ölçüm aralıkları, prensipleri ve özellikleri aşağıda kısaca belirtilmiştir.

8.5.1. Merck marka KOİ analiz kitleri

Ölçüm aralığı; 25-1500 mg/L KOİ

Ölçüm aralığı; 300-3500 mg/L KOİ

KOİ belirtilen usulün çalışma koşulları altında 1 l su içinde bulunan oksitlenebilir maddelerle reaksiyona giren potasyum dikromattan kaynaklanan oksijen miktarını ifade eder.

1 mol $K_2Cr_2O_7$, 1,5 mol O_2 'ye eşdeğerdir.

Sonuçlar, mg/L KOİ (= mg/L O_2)

Su numunesi, katalizör olarak gümüş sülfat içeren potasyum dikromatın sıcak sülfürlü bir solüsyonu ile oksitlenir. Klorid civa sülfatla maskelenmiştir. Yeşil Cr^{+3} iyonlarının konsantrasyonu daha sonra fotometrik olarak belirlenir.

8.5.2. Merck marka azot analiz kitleri

Ölçüm aralığı; 0,5–15,0 mg/L N

Organik ve inorganik azot bileşikleri Koroleff yöntemine göre bir termoreaktörde bir oksitleyici ajan ile işleme tabi tutularak nitrata dönüştürülür. Konsantre sülfürik asitte, bu nitrat, fotometrik olarak tespit edilen bir kırmızı nitro bileşiği oluşturmak üzere bir benzoik asit türevi ile reaksiyona girer.

8.5.3. Merck marka fosfat analiz kitleri

Ölçüm aralığı; 0,5–25,0 mg/L $\text{PO}_4\text{-P}$

(Ortofosfat tayini için) Sülfürik solüsyonda ortofosfat iyonları, amonyum vanadat ve amonyum heptamolybdat ile reaksiyona sokularak, fotometrik olarak tespit edilen turuncu - sarı molibddavanofosforik asit ("VM" yöntemi) oluştururlar.



Şekil 8.11. Merck Fosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$), COD (KOİ), Azot (N) ölçüm kitleri.

Kitlerin hazırlanmasında Merck Spectroquant NOVA 60 Model su ve atık su fotometresi içerisinde yer alan kit hazırlama prosedürleri uygulanmıştır. Kitlerin hazırlanmasında Merck Spectroquant TR 320 Termoreaktör ve fotometrik ölçümünde Merck Spectroquant NOVA 60 Model Su ve Atık su Analiz Fotometresi kullanılmıştır.

9. SONUÇLAR

Yapılan yedi farklı deneysel çalışmada endüstriyel atık su arıtımında kullanılan aktif çamurun bulunduğu MBR sisteminde Dimozol Blue BRF %150 (Reactive Blue 221), Dimozol Yellow ED (karışım), Dimopers Red S5BLN (Disperse Red 167), Ostazin Yellow HR (Reactive Orange 12), Evezol Black N (karışım), Everzol Reaktif Blue R S/P (Reactive Blue 19) ve Ostazin Red H3B (Reaktif Red 45) tekstil boyar maddeleri ile hazırlanmış sentetik tekstil atık suyunun renk giderim ve KOİ giderim verimi incelenmiştir. Hazırlanan atık sudaki KOİ konsantrasyon değişimi, KOİ giderim verimleri, Azot (N) giderim ve Fosfat (PO₄-P) giderim verimleri incelenmiştir. Sisteme yüklenen ilk sentetik atık suyun havalandırma havuzundaki görünümü Şekil 9.1’de verilmiştir.



Şekil 9.1. Sisteme ilk yüklenen sentetik tekstil atıksuyu ile MBR sisteminin görünümü (Dimozol Blue BRF %150).

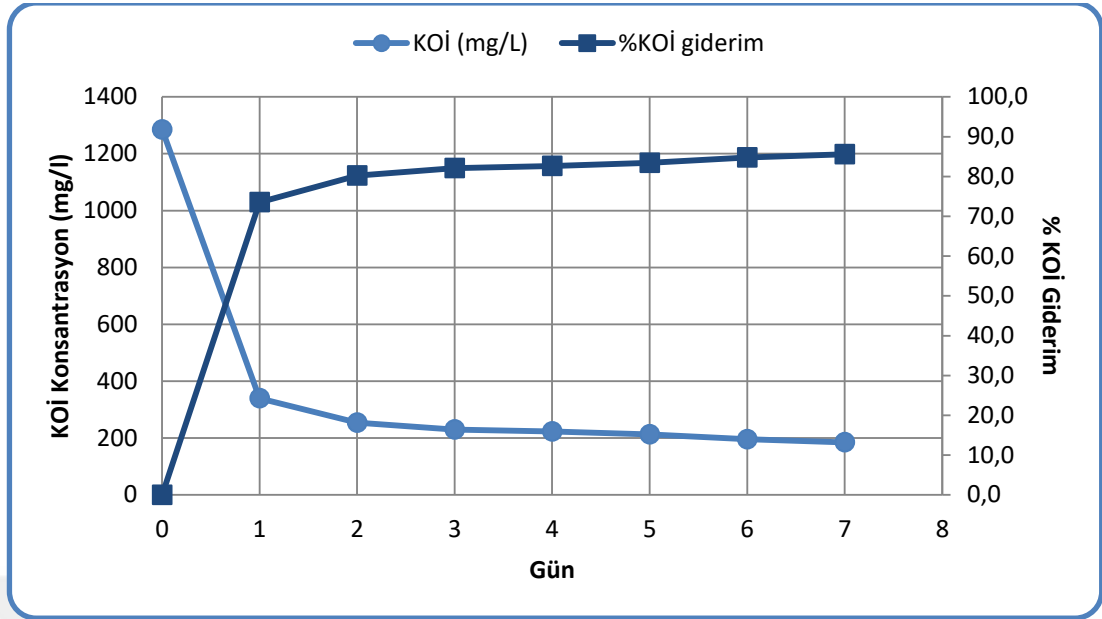
Çizelge 9.1/2/3/4/5/6/7’de sentetik tekstil atık sularından alınan numunelerin pH, sıcaklık (°C), çözülmüş oksijen (mg/L) değerleri ve yapılan analizler sonucunda elde edilen boyar madde ve KOİ konsantrasyon sonuçları ile giderim verimleri gösterilmiştir.

Şekil 9.2/4/7/10/13/16/19'da deneysel çalışmalarda kullanılan sentetik tekstil atık sularının arıtımına bağlı olarak KOİ konsantrasyon (mg/L) değişimi ve KOİ giderim verimleri (%) verilmiştir.

Şekil 9.3/5/8/11/14/17/20'de deneysel çalışmalarda kullanılan sentetik tekstil atık sularından boyar maddenin giderilmesine bağlı boyar madde konsantrasyon (mg/L) değişimi ve boyar madde giderim verimleri (%) verilmiştir.

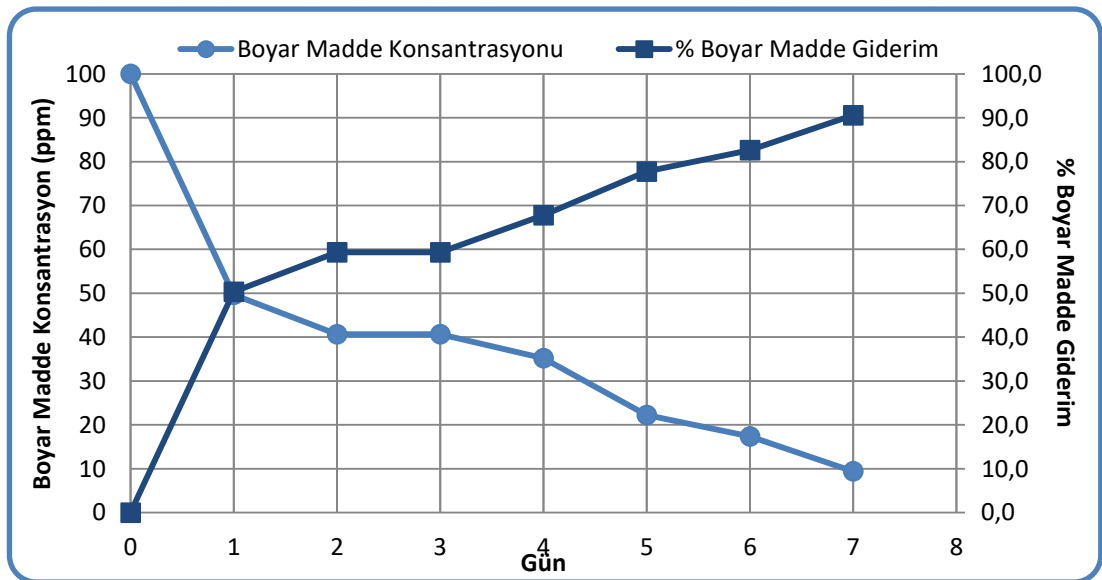
Çizelge 9.1. Dimozol Blue BRF % 150 içeren sentetik tekstil atık suyu arıtım sonuçları.

Parametreler							
Zaman (Gün)	pH	Sıcaklık (°C)	ÇO (mg/L)	KOİ (mg/L)	% KOİ Giderim	Boyar Madde Konsantrasyonu (ppm)	%Boyar Madde Giderim
Başlangıç	6,2	17,0	2,0	1285,0	0,0	100,0	0,0
1	6,7	19,0	2,0	340,0	73,5	49,7	50,3
2	7,9	18,0	2,2	254,0	80,2	40,7	59,3
3	8,0	20,0	2,0	230,0	82,1	40,7	59,3
4	7,3	17,0	2,0	223,0	82,6	35,2	67,8
5	6,5	19,0	2,0	213,0	83,4	22,3	77,7
6	6,0	21,0	2,4	195,6	84,8	17,4	82,6
7	6,0	23,0	2,3	185,2	85,6	9,4	90,6



Şekil 9.2. Dimozol Blue BRF %150 ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyu için KOİ konsantrasyonu ve KOİ giderim verimleri.

KOİ giderim verimi 2 günlük HRT'de %80 seviyesindedir. 7 günlük hidrolik bekletme süresi sonunda KOİ giderim verimi %85,6 seviyesine ulaşmıştır.

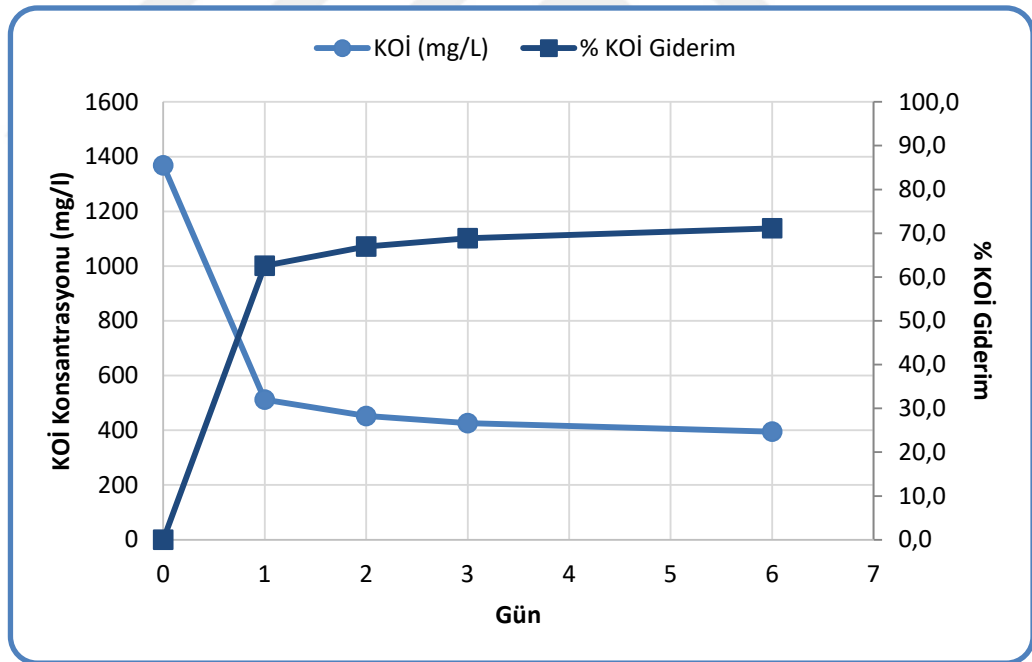


Şekil 9.3. Dimozol Blue BRF %150 ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyu için boyar madde konsantrasyonu ve boyar madde giderim verimleri.

Boyar madde giderim verimi HRT 2 gün'de %60 seviyesindedir. HRT 3-7 gün aralığında düşük oranlarda gerçekleşirken, 7. gün %90 seviyesine ulaşmıştır.

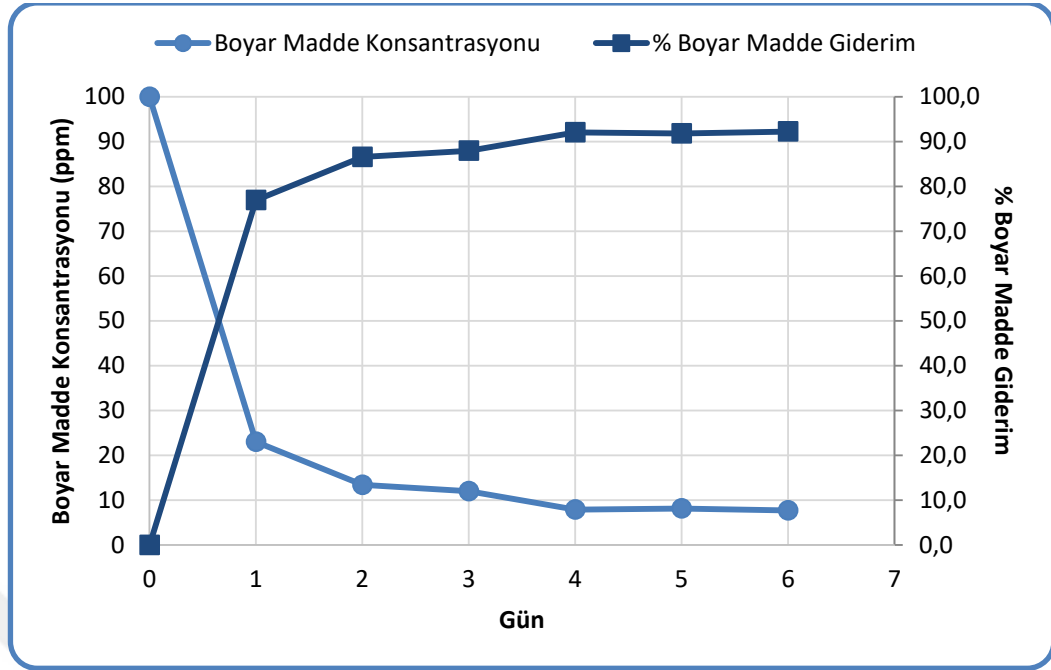
Çizelge 9.2. Dimozol Yellow ED içeren sentetik tekstil atık suyu arıtım sonuçları.

Parametreler							
Zaman (Gün)	pH	Sıcaklık (°C)	ÇO (mg/L)	KOİ (mg/L)	%KOİ Giderim	Boyar Madde Konsantrasyonu (ppm)	%Boyar Madde Giderim
Başlangıç	6,0	20,0	2,5	1368,0	0,0	100,0	0,0
1	6,5	22,0	2,2	512,0	62,6	23,0	77,0
2	6,8	22,0	2,3	452,0	67,0	13,4	86,6
3	6,3	20,0	2,1	426,0	68,9	12,0	88,0
4	7,0	19,0	2,3	---	---	7,9	92,1
5	7,2	18,0	2,5	---	---	8,2	91,8
6	6,9	19,0	2,1	395,0	71,1	7,7	92,3



Şekil 9.4. Dimozol Yellow ED ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyu için KOİ konsantrasyonu ve KOİ giderim verimleri.

KOİ giderim verimi 1 günlük HRT’de %62 seviyesindedir. Çalışmanın devam eden safhalarında KOİ giderimi düşük oranlarda devam etmiş ve HRT 6 gün’de %71 seviyesine ulaşmıştır.

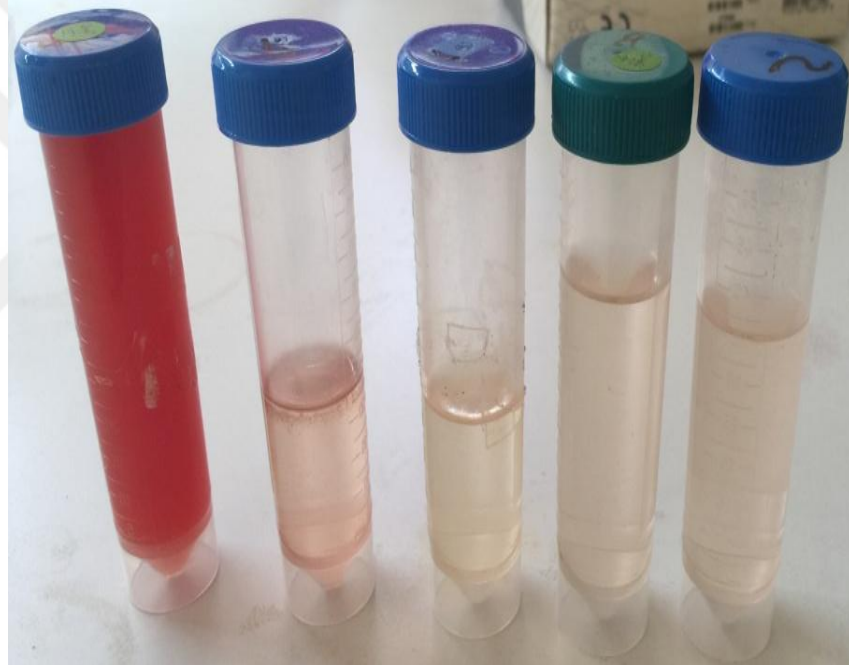


Şekil 9.5. Dimozol Yellow ED ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyu için boyar madde konsantrasyonu ve boyar madde giderim verimleri.

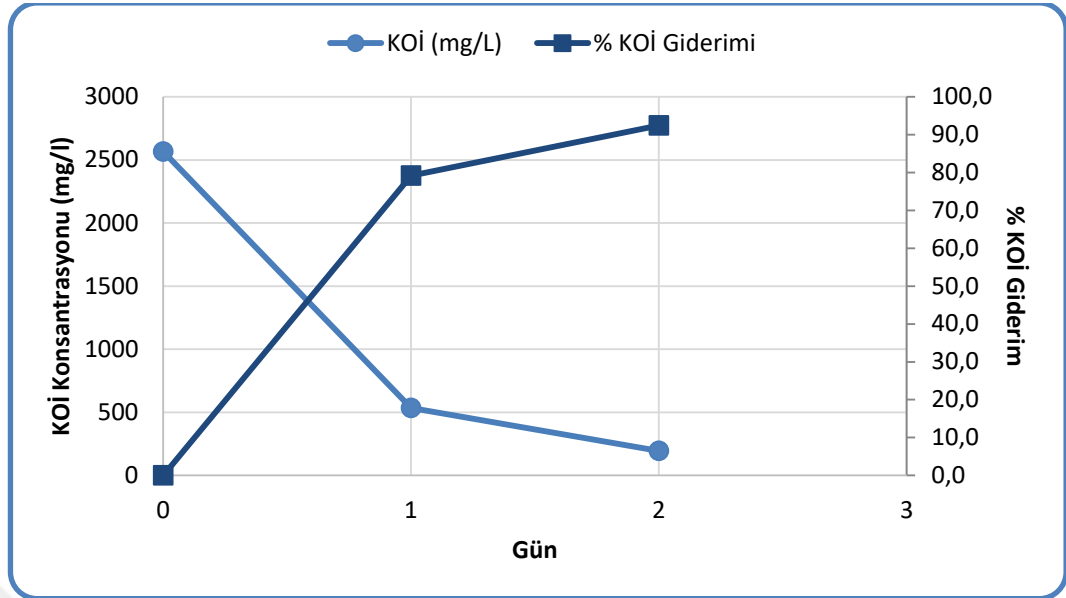
Boyar madde giderim verimi 2 günlük HRT’de %86 seviyesindedir. 3-4 günlük HRT’de boyar madde giderimi düşük oranlarda devam etmiş 5. Gün atık suda bir miktar boyar madde artışı gözlenmiştir. 6 günlük HRT’de boyar madde giderim verimi %92 seviyesine ulaşmıştır.

Çizelge 9.3. Dimopers Red S5BLN içeren sentetik tekstil atık suyu arıtım sonuçları.

Parametreler							
Zaman (Gün)	pH	Sıcaklık (°C)	ÇO (mg/L)	KOI (mg/L)	%KOİ Giderim	Boyar Madde Konsantrasyonu (ppm)	%Boyar Madde Giderim
Başlangıç	6,5	23,0	2,2	2566,0	0,0	100,0	0,0
1	6,9	23,0	2,1	534,0	79,2	15,0	85,0
2	7,5	22,0	2,5	194,0	92,4	5,3	94,7
3	6,5	21,0	2,3			5,2	94,8
4	7,0	22,0	2,1			5,3	94,7

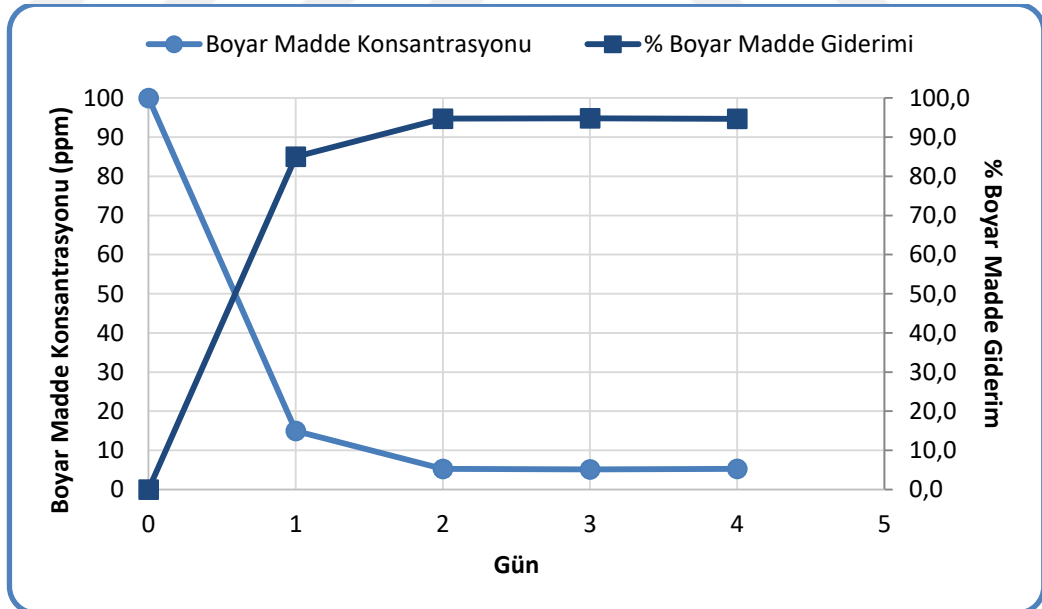


Şekil 9.6. Dimopers Red S5BLN ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyu arıtım numuneleri.



Şekil 9.7. Dimopers Red S5BLN ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyu için KOİ konsantrasyonu ve KOİ giderim verimleri.

KOİ giderim verimi 2 günlük HRT’de %90’ın üzerindedir. KOİ oranı minimum yasal standardın altına düşmüştür.

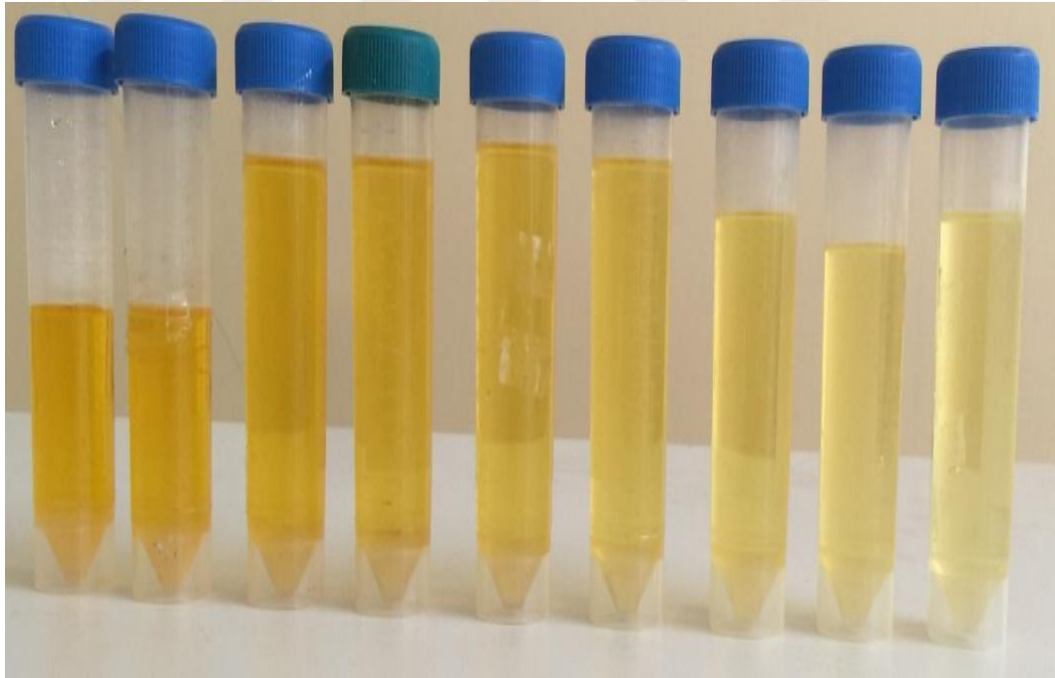


Şekil 9.8. Dimopers Red S5BLN ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyu için boyar madde konsantrasyonu ve boyar madde giderim verimleri.

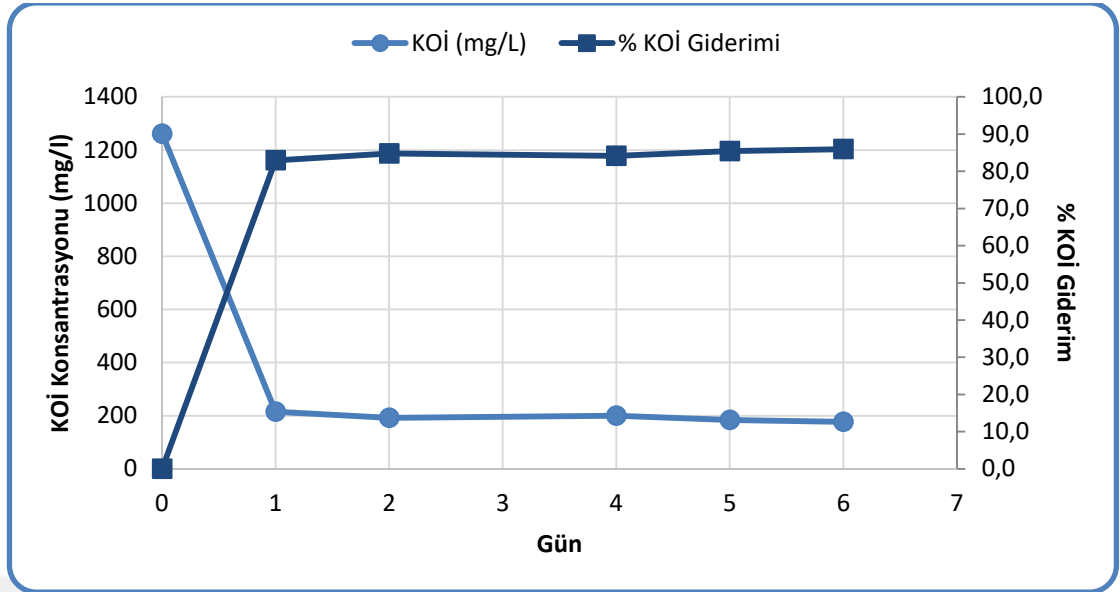
Boyar madde gideriminin HRT 2 günde %95 civarında olduğu ve 4 günlük çalışmada giderim veriminin sabit kaldığı görülmüştür.

Çizelge 9.4. Ostazin Yellow HR içeren sentetik tekstil atık suyu arıtım sonuçları.

Parametreler							
Zaman (Gün)	pH	Sıcaklık (°C)	ÇO (mg/L)	KOİ (mg/L)	%KOİ Giderim	Boyar Madde Konsantrasyonu (ppm)	%Boyar Madde Giderim
Başlangıç	6,8	22,0	2,1	1261,0	0,0	100,0	0,0
1	7,0	23,0	2,2	215,0	83,0	71,9	28,1
2	7,3	23,0	2,3	192,0	84,8	66,8	33,2
3	7,1	22,0	2,2			61,3	38,7
4	6,9	23,0	2,1	200,0	84,1	58,0	42,0
5	6,5	21,0	2,0	184,0	85,4	57,3	42,7
6	6,8	21,0	2,3	177,0	86,0	55,2	44,8
7	7,0	22,0	2,4			53,9	46,1

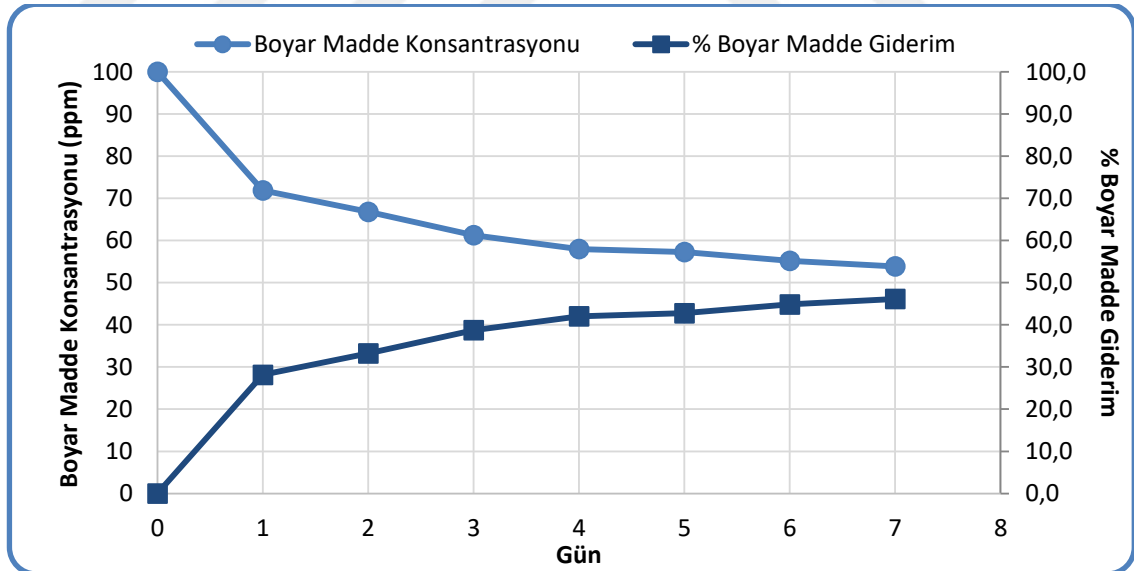


Şekil 9.9. Ostazin Yellow HR ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyu arıtım numuneleri.



Şekil 9.10. Ostazin Yellow HR ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyu için KOİ konsantrasyonu ve KOİ giderim verimleri.

KOİ giderim verimi 2 günlük HRT’de %85 seviyelerindedir. Çalışmanın devam eden safhalarında KOİ gideriminde belirgin bir artış söz konusu olmamıştır.

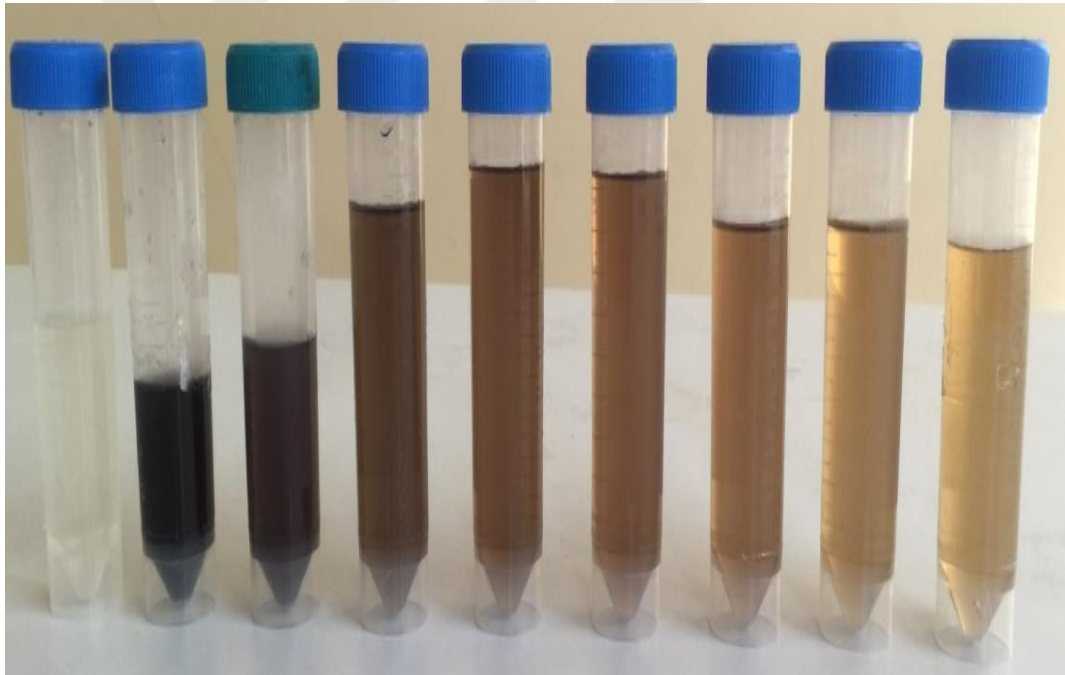


Şekil 9.11. Ostazin Yellow HR ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyu için boyar madde konsantrasyonu ve boyar madde giderim verimleri.

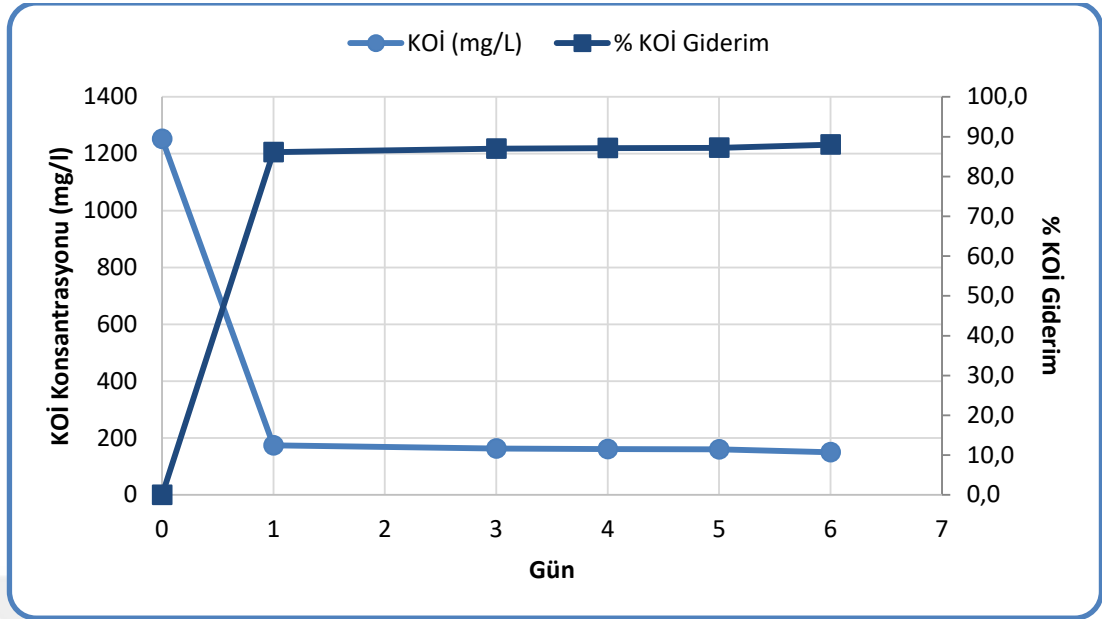
Boyar madde gideriminin HRT 4 günde %40 civarında olduğu ve 4-7 gün aralığında giderimin oldukça düşük seyrettiği görülmüş, çalışma sonunda %46’lık bir giderim verimi elde edilmiştir

Çizelge 9.5. Everzol Black N içeren sentetik tekstil atık suyu arıtım sonuçları.

Parametreler							
Zaman (Gün)	pH	Sıcaklık (°C)	ÇO (mg/L)	KOİ (mg/L)	%KOİ Giderim	Boyar Madde Konsantrasyonu (ppm)	%Boyar Madde Giderim
Başlangıç	6,8	23,0	2,5	1252,0	0,0	100,0	0,0
1	6,7	22,0	2,3	174,0	86,1	45,1	54,9
2	6,9	23,0	2,2			38,2	61,8
3	6,8	23,0	2,3	163,0	87,0	33,9	66,1
4	7,5	24,0	2,5	161,0	87,1	31,0	69,0
5	7,1	23,0	2,1	160,0	87,2	27,3	72,7
6	6,9	24,0	2,1	150,0	88,0	25,6	74,4

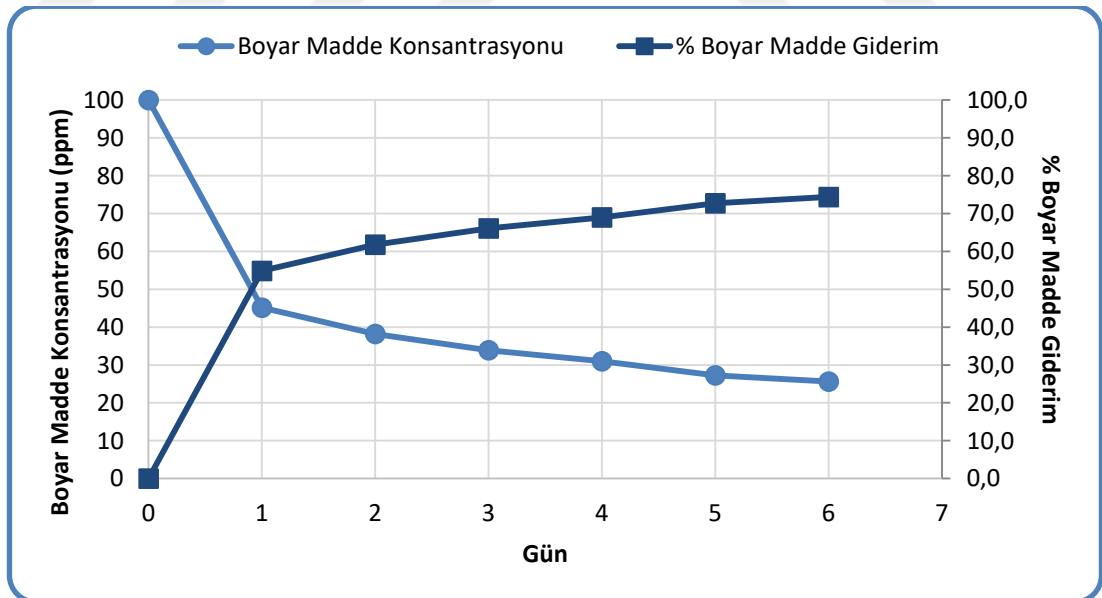


Şekil 9.12. Everzol Black N ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyu arıtım numuneleri.



Şekil 9.13. Everzol Black N ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyu için KOİ konsantrasyonu ve KOİ giderim verimleri.

KOİ giderim verimi HRT 1 gün'de %86 seviyelerindedir. Çalışmanın devam eden safhalarında KOİ gideriminde belirgin bir artış söz konusu olmamıştır.

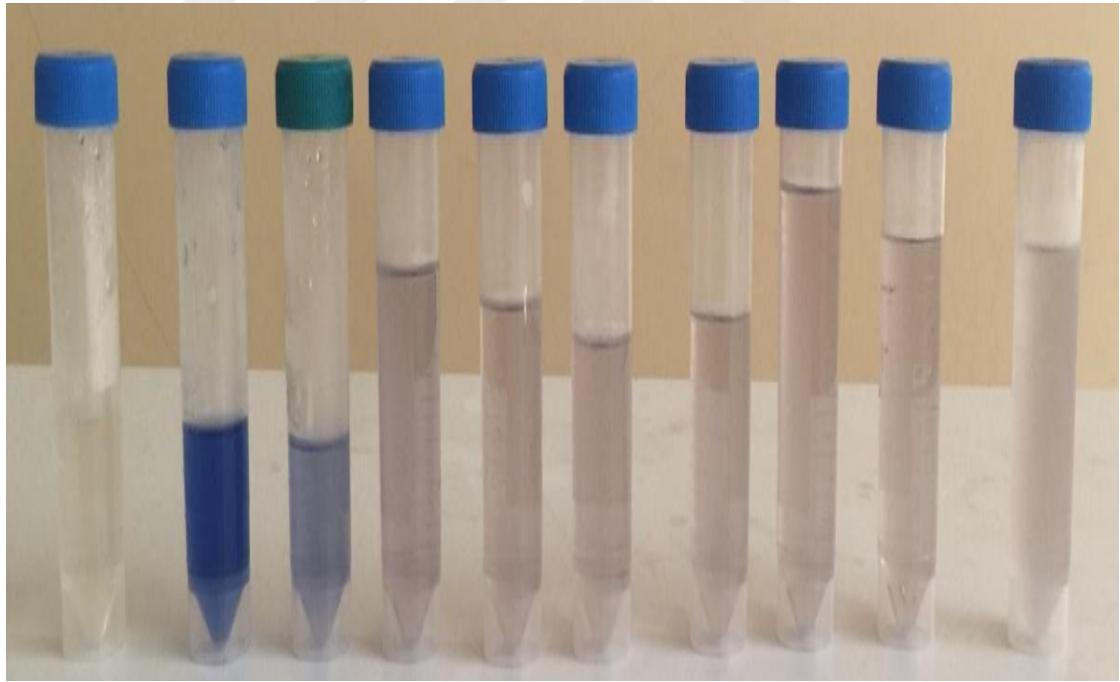


Şekil 9.14. Everzol Black N ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyu için boyar madde konsantrasyonu ve boyar madde giderim verimleri.

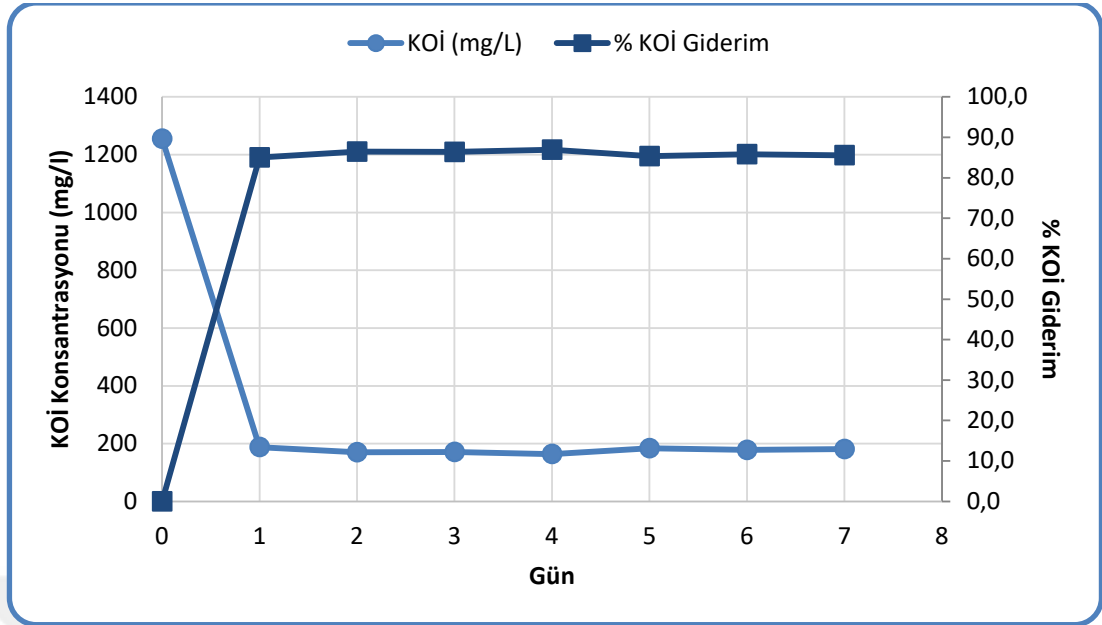
Boyar madde gideriminin HRT 1 günde %55 civarında olduğu ve 6 gün süren çalışmada giderim verimin %75'e kadar çıkabildiği görülmüştür.

Çizelge 9.6. Everzol Reaktif Blue R S/P içeren sentetik tekstil atıksuyu arıtım sonuçları.

Parametreler							
Zaman (Gün)	pH	Sıcaklık (°C)	ÇO (mg/L)	KOİ (mg/L)	%KOİ Giderim	Boyar Madde Konsantrasyonu (ppm)	%Boyar Madde Giderim
Başlangıç	6,6	23,0	2,2	1255,0	0,0	100,0	0,0
1	7,0	23,0	2,1	188,0	85,0	73,8	26,2
2	6,7	24,0	2,2	170,0	86,5	46,8	53,2
3	7,2	23,0	2,4	171,0	86,4	44,5	55,6
4	7,1	24,0	2,2	164,0	86,9	41,3	58,7
5	6,8	24,0	2,3	184,0	85,3	40,7	59,3
6	6,9	25,0	2,3	178,0	85,8	37,8	62,2
7	7,1	25,0	2,2	181,0	85,6	39,0	61,0

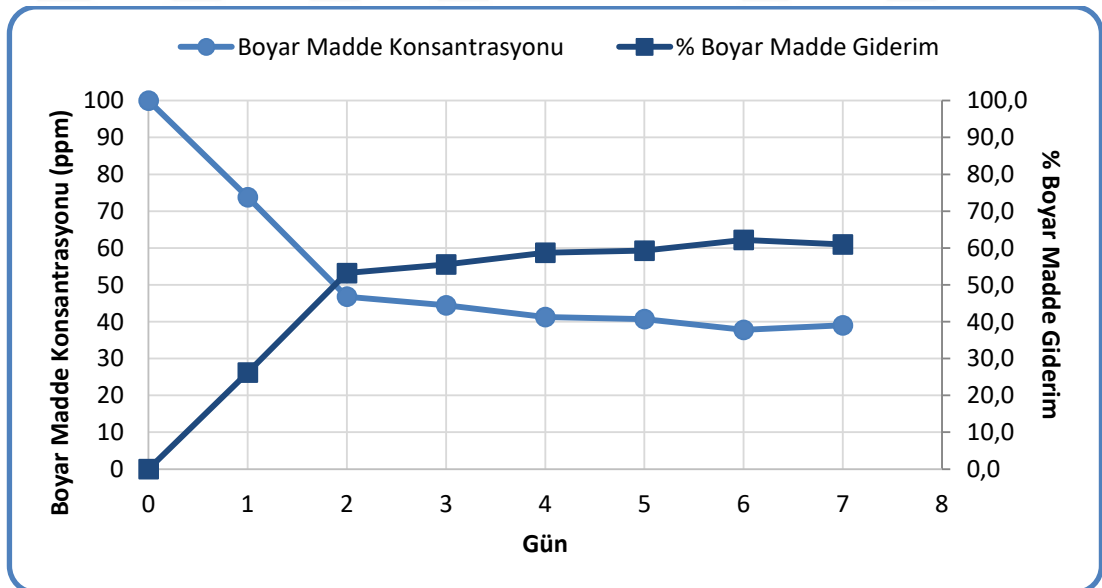


Şekil 9.15. Everzol Reaktif Blue RS/P ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyu arıtım numuneleri.



Şekil 9.16. Everzol Reaktif Blue R S/P ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyu için KOİ konsantrasyonu ve KOİ giderim verimleri.

KOİ giderim verimi 1 günlük HRT’de %85 seviyelerindedir. Çalışmanın devam eden safhalarında KOİ gideriminde belirgin bir artış söz konusu olmamıştır.

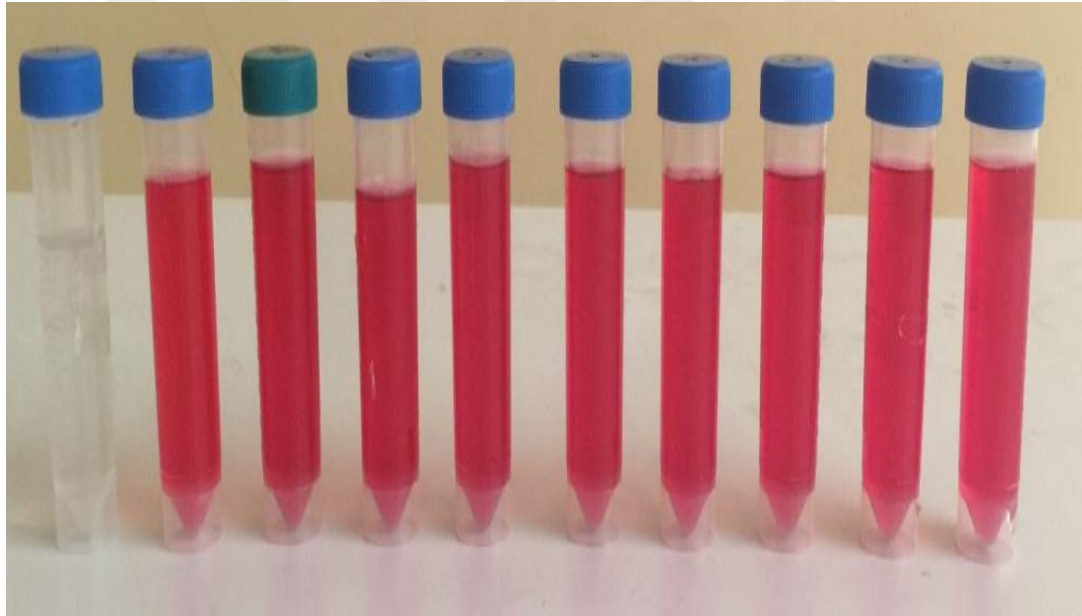


Şekil 9.17. Everzol Reaktif Blue R S/P ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyu için boyar madde konsantrasyonu ve boyar madde giderim verimleri.

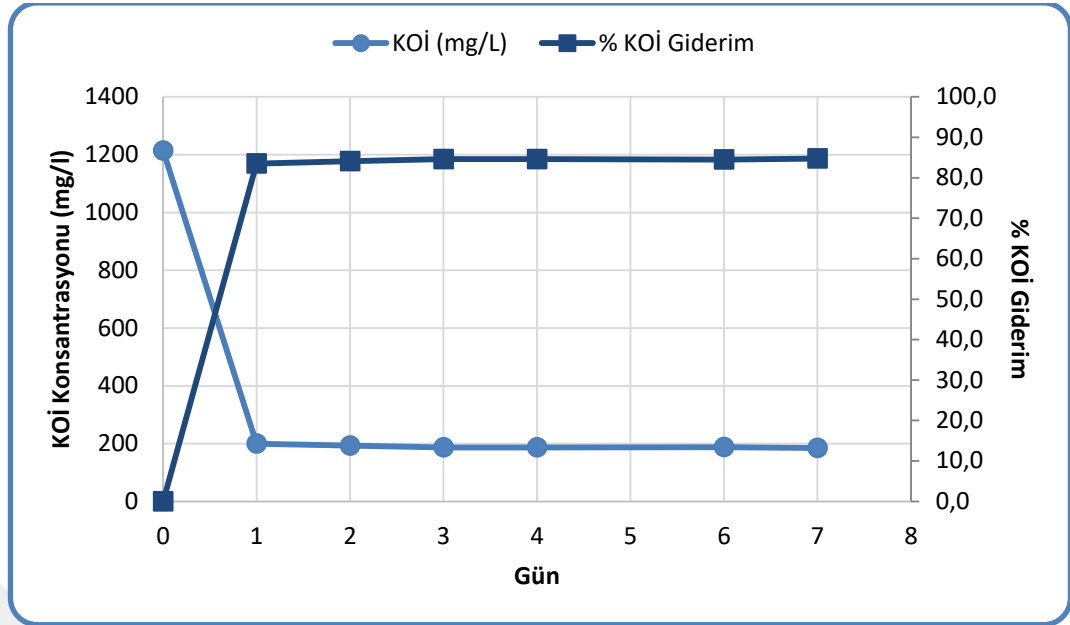
Boyar madde gideriminin HRT 2 günde %50’nin üzerinde olduğu, 6. Günü sonunda giderim veriminin %61’e kadar çıkabildiği görülmüştür.

Çizelge 9.7. Ostazin Red H 3B içeren sentetik tekstil atıksuyu arıtım sonuçları.

Parametreler							
Zaman (Gün)	pH	Sıcaklık (°C)	ÇO (mg/L)	KOİ (mg/L)	%KOİ Giderim	Boyar Madde Konsantrasyonu (ppm)	%Boyar Madde Giderim
Başlangıç	7,2	24,0	2,1	1214,0	0,0	100,0	0,0
1	7,2	25,0	2,2	200,0	83,5	91,4	8,6
2	7,1	25,0	2,3	193,0	84,1	86,5	13,5
3	7,3	25,0	2,2	187,0	84,6	82,2	17,8
4	6,9	24,0	2,2	187,0	84,6	81,5	18,5
5	7,0	24,0	2,1			81,6	18,4
6	7,3	25,0	2,3	188,0	84,5	79,6	20,4
7	7,2	26,0	2,5	185,0	84,8	78,1	21,9
8	7,3	26,0	2,2			75,7	24,3

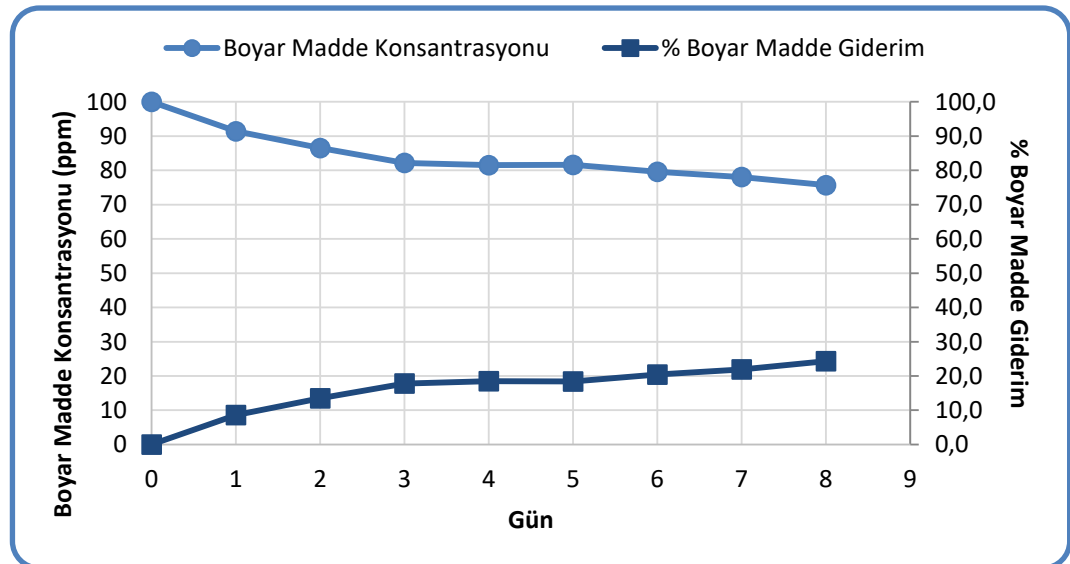


Şekil 9.18. Ostazin Red H 3B ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyu arıtım numuneleri.



Şekil 9.19. Ostazin Red H 3B ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyu için KOİ konsantrasyonu ve KOİ giderim verimleri.

KOİ giderim verimi 1 günlük HRT'de %83 seviyelerindedir. Çalışmanın devam eden safhalarında KOİ gideriminde belirgin bir artış söz konusu olmamakla birlikte 7 günün sonunda giderim verimi %85 bulunmuştur.



Şekil 9.20. Ostazin Red H 3B ile hazırlanan sentetik tekstil atık suyu için boyar madde konsantrasyonu ve boyar madde giderim verimleri.

Boyar madde gideriminin HRT 3 günde %18 civarında olduğu ve 8 gün süren çalışmada giderim verimin %25 seviyelerine çıkabildiği görülmüştür.

10. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Atık suların biyolojik arıtımı söz konusu olduğunda mikroorganizmalarca ayrıştırılabilen organik kirlilik yükü önemli bir parametredir. Mikroorganizmaların ayrıştırabildiği organik kirlilik yükü BOİ parametresiyle tanımlanır. Ancak biyokimyasal oksijen ihtiyacının tespiti oldukça zaman alıcı ve maliyetlidir. Bu nedenlerle bu tez çalışmasında atık suyun kirlilik yükü KOİ parametresine dayandırılmıştır.

Çalışmada endüstriyel üretimde ciddi miktarda su kullanan ve yüksek debili atık su üreten tekstil endüstrisi atık sularının MBR sisteminde arıtım çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Tekstil endüstrisi atık sularında yüklü miktarda boyar madde bulunması, atık suyun organik kirlilik yükünü arttırmanın yanı sıra alıcı ortamlarda ciddi çevre problemlerine neden olmaktadır. Ülkemizde de 2011 yılında atık su deşarj kriterleri arasına giren renk parametresi 2012 yılında zorunlu hale getirilmiştir. Bu nedenlerle çalışmada atık su içeriğinde bulunan boyar maddelerin giderim verimleri de araştırılmıştır.

MBR sisteminde biyolojik arıtımı sağlayan mikroorganizmalar için optimum koşullar sağlanmıştır. Optimum koşullar için sistem sensörler aracılığıyla otomatik olarak çalıştırılmıştır. Çalışmada sıcaklık 17-26 °C, pH 6,5-7,5 ve çözünmüş oksijen 2-2,5 mg/L aralıklarında sistem tarafından dengede tutulmuştur. MBR sisteminde kullanılan arıtma çamuru aerob koşullarda yarı kesikli şartlar altında arıtım gerçekleştirmiştir. Deneysel çalışmada yedi farklı boyar madde ile yedi seri arıtım çalışması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada söz konusu parametrelerin ölçümü için alınan numuneler, gün bazında alınarak bekletilmeden ölçüme tabi tutulmuştur.

Çalışmada mikroorganizmaların azot fosfor ihtiyaçlarını karşılayabilmek için KOİ; N; P; oranları sırasıyla 100 mg/L; 5 mg/L; 1 mg/L olacak şekilde atık su reçeteleri reaktör hacmine göre hesaplanarak hazırlanmıştır. Bu oranın mikroorganizma ihtiyacını karşılayıp karşılamadığını anlamak amaçlı azot ve fosfat ölçümleri arıtımın başında ve sonunda gerçekleştirilmiş, atık suda bulunan azot ve fosfor değerlerinin mikroorganizmaların ihtiyacını karşıladığı gözlemlenmiştir.

Arıtım çalışmasında Dimozol Blue BRF %150 için %85,6 KOİ giderimi ve %90,6 renk giderimi, Dimozol Yellow ED için %71,1 KOİ giderimi ve %92,3 renk giderimi, Dimopers Red S5BLN için %92,4 KOİ ve %94,7 renk giderimi, Ostazin

Yellow HR için %86,0 KOİ ve %46,1 renk giderimi, Everzol Black N için %88,0 KOİ ve %74,4 renk giderimi, Everzol Reaktif Blue R S/P için %85,6 KOİ ve %61,0 renk giderimi, Ostazin Red H 3B için %84,8 KOİ ve %24,3 renk giderimi sağlanmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, tekstil endüstrisi atık sularının MBR sistemleri aracılığıyla arıtılabilirliğini teşvik etmektedir.

Çizelge 10.1. Boyarmadde ve KOİ giderim verimlerinin karşılaştırılması.

Boyarmadde	Boyama Özelliğine Göre	Kimyasal Yapısına Göre	% KOİ Giderimi	% Renk Giderimi
Dimozol Blue BRF %150	Reaktif	Formazen, Metal Kompleks	85,6	90,6
Dimozol Yellow ED	Karışım	Karışım	71,1	92,3
Dimopers Red S5BLN	Dispers	Azo	92,4	94,7
Ostazin Yellow HR	Reaktif	Azo	86,0	46,1
Everzol Black N	Karışım	Karışım	88,0	74,4
Everzol Reaktif Blue R S/P	Reaktif	Anthraquinones	85,6	61,0
Ostazin Red H 3B	Reaktif	Azo	84,8	24,3

Çalışmaların verilerine göre en yüksek arıtım verimi Dimopers Red S5BLN boyar maddesini içeren sentetik atık suda gerçekleşmiştir. Bu verim boyarmaddenin dispers boyar madde olmasından kaynaklanmaktadır.

Azo boyar maddelerin biyolojik yöntemlerle giderim verimi düşüktür (Biroğlu, 2012). En düşük giderim verimlerinin Ostazin Red H 3B ve Ostazin Yellow HR’de görülmesinin nedeni bu boyar maddelerin azo boyar maddeler olmasından kaynaklanmaktadır.

Biyolojik giderim verimi en yüksek olan boyar madde ile giderim verimi en düşük olan boyar maddenin azo sınıfı oldukları değerlendirilirse, biyolojik giderimde boyarmaddenin kimyasal sınıfının yanı sıra boyama sınıfının da önemli olduğu söylenebilir.

Dimozol Blue BRF %150 değerlendirme dışında bırakıldığında, giderim verimleri ile boyar maddelerin moleküler ağırlıkları arasında ters orantılı bir korelasyon olduğu söylenebilir.

Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinde tekstil endüstrisinin farklı terbiye işlemleri sonucu oluşan atık suların alıcı ortama deşarjı için belirlediği KOİ deşarj kriterleri 200-400 mg/l aralığındadır. MBR sisteminde aktif çamur aracılığıyla gerçekleştirilen 7 seri arıtım çalışması HRT 1-2 gün'de KOİ değerlerinin (Dimozol Blue BRF %150 için HRT 1 gün'de KOİ 340,0 mg/L; Dimozol Yellow ED için HRT 6 gün'de KOİ 395,0 mg/L; Dimopers Red S5BLN için HRT 2 gün'de KOİ 194,0 mg/L; Ostazin Yellow HR için HRT 1 gün'de KOİ 215,0 mg/L; Everzol Black N için HRT 1 gün'de KOİ 174,0 mg/L; Everzol Reaktif Blue R S/P için HRT 1 gün'de KOİ 188 mg/L; Ostazin Red H 3B için HRT 1 gün'de KOİ 200,0 mg/L) yasal limitler altına düşürülebildiğini göstermektedir.

Gül ve arkadaşları, 2014 yılında, filamentli fungal biyokütle (*Aspergillus versicolor* ve *Rhizopus arrhizus*) içeren MBR siteminde Reaktif Blue ve Ostazin Yellow boyar maddelerinin renk giderim verimlerini araştırmışlardır. Ostazin Yellow varlığında KOİ giderim verimi %70 iken, renk giderim veriminin %51,15 olduğu görülmüştür. Yaptığımız çalışma sonuçlarına göre aynı MBR sisteminde Ostazin Yellow HR için fungal biyokütlenin renk gideriminde, aktif çamurun ise KOİ gideriminde daha üstün olduğu söylenebilir.

Kavuştı, 2016 yılında gerçekleştirdiği yüksek lisans tez çalışmasında Everzol Black N boyar maddesinin MBR sisteminde filamentli fungal biyokütle (*Aspergillus versicolor* ve *Rhizopus arrhizus*) ile renk giderimini gerçekleştirmiştir. Çalışma sonunda %70'lik bir giderim verimine ulaşmıştır. Everzol Black N boyar maddesi ile yaptığımız çalışmaya göre aktif çamur aracılığıyla %74'lük bir renk giderimi söz konusudur. Bu noktada kısmen de olsa aktif çamurun fungal biyokütleye göre üstünlüğünden bahsetmek mümkündür.

Gerek aktif çamur, gerek fungal biyokütle aracılığıyla MBR sisteminde tekstil atık sularının kirlilik yükü azaltılabilmekte, boyarmaddelerin giderimi ciddi oranlarda gerçekleştirilebilmektedir. Farklı mikroorganizmalar aracılığıyla da işletilebilecek olan MBR sistemi tekstil atık sularının tekrar kullanımı ve yasal limitlerde atık su deşarjı konularında umut vaad etmektedir.

KAYNAKLAR

- Acikgoz, C., Gül, Ü. D., Özcan, K. & Borazan, A. A. (2016). Degradation of Reactive Blue by the mixed culture of *Aspergillus versicolor* and *Rhizopus arrhizus* in membrane bioreactor (MBR) system. *Desalination and Water Treatment*, 57: 3750–3756.
- Açıkgöz, Ç., Özcan, K. & Gül, Ü. D. (2016). Lineer Alkil Benzen Sülfonik Asit (LABSA) İçeren Sentetik Atıksuyun Membran Biyoreaktör (MBR) Sisteminde Arıtımı. *3rd International Symposium on Environment and Morality*, 4-6 Kasım, Alanya-Turkey, 803-808.
- Akdemir, S. (2012). *Çöp suyunun membran biyoreaktör prosesindeki biyokütle susuzlaştırmasında polielektrolit türünün ve dozajının belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aktan, B. (2011). *Tekstil atıksuyunda TiO₂ nano partiküllerinin oluşumu, taşınımı ve kimyasal arıtımı*. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.
- Arianfar, A. (2015). *Evsel ve endüstriyel atık suların arıtımında membran biyoreaktör (MBR) teknolojisinin kullanılması ve arıtılmış ürün su kalitesinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Asan, C. (2013). *Gri suların yeniden kullanımında membran biyoreaktör (MBR) uygulamaları*. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Samsun.
- Aslan, M. (2016). *Membran Teknolojileri*. Türkiye Çevre Koruma Vakfı, Ankara, 275.
- Aslan, M. (2012). *Anaerobik batık membran bioreaktörde membran modül geometrisi ve biyogaz geri devrinin membran kirlenmesine etkisi*. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Baker, R. W. (2004). *Membrane technology and applications*. John Wiley & Sons Ltd, England, 538.
- Biroğlu, N. (2012). *Bir tekstil atık suyunun koagülasyon – flokülasyon – membran filtrasyon süreçleri ile arıtılabilirliğinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Boduroğlu, H. B. (2008). *Evsel atıksuların arıtılması ve havalandırma parametrelerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Brik, M., Schoeberl, P., Chamam, B., Braun, R. & Fuchs, W. (2006). Advanced treatment of textile wastewater towards reuse using a membrane bioreactor. *Process Biochemistry*, 41: 1751–1757.
- Çalışır, M. (2010). *Ardışık kesikli aktif çamur sisteminde arıtılmış sentetik tekstil terbiyesi atık sularında renk giderimi ve ekonomik analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Cebeci, Ö. (2014). *Boyaların sentetik tekstil atık suyundan biyosorpsiyonla giderimi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Correia, V. M., Stephenson, T. & Judd, S. J. (1994). Characterization of textile wastewater. *Environmental Technology*, 15: 917-929.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. (2013). *Boyar madde içeren atık su arıtma tesislerinin işletilmesine yönelik el kitabı*. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, 276.
- Çökmüş, C. (2012). *Mikroorganizmaların Biyolojisi/ Brock (Çeviri)*. Palme Yayıncılık, Ankara, 992.
- De Yager, D., Sheldon, M. S. & Edwards, W. (2014). Colour removal from textile wastewater using a pilot-scale dual-stage MBR and subsequent RO system. *Separation and Purification Technology*, 135: 135–144.
- Delikanlı, N. E. (2013). *Pamuklu tekstil endüstrisi atıksularının membran biyoreaktör (MBR) ile arıtılması ve renk giderimi*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen, Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Demirsoy, A., Türkan, İ. & Gündüz E. (2003). *Genel Biyoloji/Biological Science (Çeviri)*. Palme Yayıncılık, Ankara, 694.
- Elidüzgün, S. (2011). *Yüksek ve düşük tuz konsantrasyonu içeren petrol üretim atıksuyu ile işletilen membran biyoreaktör sisteminin performansı ve mikroorganizma popülasyon değişiminin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Eroğlu, V. (2014). *Atıksuların Tasviyesi*. T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Ankara, 230.

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Friha, I., Bradai, M., Johnson, D., Hilal, N., Loukil, S., Amor, F. B., Feki, F., Han, J., Isoda, H. & Sayadi, S. (2015). Treatment of textile wastewater by submerged membrane bioreactor: In vitro bioassays for the assessment of stress response elicited by raw and reclaimed wastewater. *Journal of Environmental Management*, 160: 184-192.
- Gül, Ü. D., Özcan, K. & Açıkgöz, Ç. (2014). Decolorization of Reactive Blue and Ostazin Yellow by Mixed Filamentous Fungal Cultures in Membrane Bioreactor Unit. 2nd International Conference on Environmental Science and Technology (ICOEST 2014), 14-17 Mayıs, Side-Turkey, 188-189.
- Gámez, L. S., Rosell, M. C. & Salazar, R. (2009). Treatment of textile waste water by membrane bioreactor. *Ingeniería & Desarrollo. Universidad del Norte* 26: 83-99.
- Hai, F. I., Yamamoto, K. & Fukushi, K. (2006). Development of a submerged membrane fungi reactor for textile wastewater treatment. *Desalination*, 192: 315–322.
- Hai, F. I., Yamamoto, K., Nakajima, F. & Fukushi, K. (2008a). Factors governing performance of continuous fungal reactor during non-sterile operation – The case of a membrane bioreactor treating textile wastewater. *Chemosphere*, 74 : 810–817.
- Hai, F. I., Yamamoto, K., Nakajima, F. & Fukushi, K. (2008b). Removal of structurally different dyes in submerged membrane fungi reactor—Biosorption/PAC-adsorption, membrane retention and biodegradation. *Journal of Membrane Science* 325: 395–403.
- Hai, F. I., Yamamoto, K., Nakajima, F. & Fukushi, K. (2011). Bioaugmented membrane bioreactor (MBR) with a GAC-packed zone for high rate textile wastewater treatment. *Water Research* 45: 2199-2206.
- Hasbülbul, E. (2010). *Evsel atıksularda membran biyoreaktörle Azot (N), Fosfor (P) ve Karbon (KOİ) gideriminin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Jegatheesan, V., Pramanik, B. K., Chen, J., Navaratna, D., Chang, C. Y. & Shu, L. (2016). Treatment of textile wastewater with membrane bioreactor: A critical Review. *Bioresource Technology* 204: 202–212.

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Kavuştu, O. (2016). *Endüstriyel atıksuların membran biyoreaktör (MBR) sisteminde arıtım çalışmaları ve verim değerlendirmeleri*. Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik.
- Kestioğlu, K. (2001). *Atıksu Arıtımında Biyokimyasal Prosesler Cilt-I*. Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Vipaş A.Ş., Bursa, 274.
- Khelifi, E., Gannoun, H., Touhami, Y., Bouallagui, H. & Hamdi, M., (2008). Aerobic decolourization of the indigo dye-containing textile wastewater using continuous combined bioreactors. *Journal of Hazardous Materials* 152: 683–689.
- Kocaer, F. O. & Alkan, U. (2002). Boyar madde içeren tekstil atıksularının arıtım alternatifleri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7(1): 47-55.
- Lotito, A. M., Fratino, U., Mancini, A., Bergna, G. & Iaconi, C. D. (2012). Effective aerobic granular sludge treatment of a real dyeing textile wastewater. *International Biodeterioration & Biodegradation* 69: 62-68.
- Lotito, A. M., Sanctis, M. D., Iaconi, C. D. & Bergna, G. (2014). Textile wastewater treatment: Aerobic granular sludge vs activated sludge systems. *water research* 54: 337-346.
- Niren, P. & Jigisha, P. (2011). Textile wastewater treatment using a UF hollow-fibre submerged membrane bioreactor (SMBR). *Environmental Technology*, 32 (11): 1247-1257.
- Ozan, K. & Acikgoz, C. (2016). Treatment of domestic wastewater by membrane bioreactor system (MBR). *Journal of Engineering Research and Applied Science*, 5(2): 494-498.
- Özan, K. (2012). *Tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasında kullanılmak üzere Lab/Pilot ölçekte membran biyoreaktör tasarımı ve imalatı*. Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilecik.
- Özan, K., Gul, U. D. & Acikgoz, C. (2014). Çevreye Zarar Veren Tekstil Atıksularının Arıtım Çalışmaları. 2nd *International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science /ISITES2014*, 18-20 Haziran Karabük – Turkey, 900-905.

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Özan, K. & Açıkgöz, Ç. (2015). Haşlama Et Atıksuyunun Membran Biyoreaktör (MBR) Sisteminde Arıtımı. *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, 8 (2): 7-11.
- Özan, K. & Açıkgöz, Ç. (2018). Laboratuvar/Pilot ölçekte membran biyoreaktör(mbr) sisteminin tasarımı ve imalatı. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University* 33(1): 43-50.
- Özer, İ., Kavuştu, O., Özan, K., Gül, Ü. D. & Açıkgöz, C. (2014). Atıksu Arıtımında Mikroorganizma Kullanımında Yeni Bir Yaklaşım: Tekstil Boyalarının Membran Biyoreaktörde Funguslarla Arıtımı. *2nd International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science /ISITES2014*, 18-20 Haziran, Karabük – Turkey, 1308-1314.
- Öztürk, İ., Timur, H. & Koşan, U. (2005). *Atık su Arıtımının Esasları*. T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı, İstanbul, 459.
- Resmi Gazete. (2011). *Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği*. Cumhurbaşkanlığı hukuk ve Mevzuat Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Resmi Gazete. (2012). *Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği*. Cumhurbaşkanlığı hukuk ve Mevzuat Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Sahinkaya, E.,Yurtsever, A. & Çınar, Ö. (2017). Treatment of textile industry wastewater using dynamic membrane bioreactor: Impact of intermittent aeration on process performance. *Separation and Purification Technology* 174: 445–454.
- Samsunlu, A. (2006). *Atık Suların Arıtılması*. Birsan Yayınevi, İstanbul, 647.
- Spagni, A., Grilli, S., Casu, S. & Mattioli, D. (2010). Treatment of a simulated textile wastewater containing the azo-dye reactive orange 16 in an anaerobic-biofilm anoxiceaerobic membrane bioreactor. *International Biodeterioration & Biodegradation* 64: 676-681.
- Spagni, A., Casu, S. & Grilli, S. (2012). Decolourisation of textile wastewater in a submerged anaerobic membrane bioreactor. *Bioresource Technology* 117: 180–185.
- Sun, F., Sun, B., Hu, J., He, Y. & Wu, W. (2015). Organics and nitrogen removal from textile auxiliaries wastewater with A2O-MBR in a pilot-scale. *Journal of Hazardous Materials* 286: 416–424.

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Taş, B. (2013). *Nanomalzemeler kullanılarak üretilen düzplaka membranların ve membran biyoreaktörlerde (MBR) kullanılması ve biyokirlenme davranışları*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Toröz, İ. (2013). *Çevre Mühendisliği ve Bilimi için Kimya/ Chemistry for Environmental Engineering and Science (Çeviri)*. Nobel Akademik Yayıncılık, Ankara, 593.
- Tunail, N. (2009). *Mikrobiyoloji*. Türkiye Danone Enstitüsü Derneği, Ankara, 434.
- Turhan, İ. (2015). *Endüstriyel mikrobiyolojiye giriş/Industrial microbiology: an introduction (çeviri)*. Palme Yayıncılık, Ankara, 288.
- Uçar, M. Ç. (2008). Sentetik tekstil atık suyundaki boyarmaddelerin uzaklaştırılmasında çeşitli fungus türlerinin karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Wang, L. K., Chen, J. P., Hung, Y. T. & Shammas, N. K. (2011). *Volume 13 Handbook of Environmental Engineering - Membrane and Desalination Technologies*. Humana Press, New York, 716.
- Yılmaz, F. (2012). *Kentsel atıksuların öğütülmüş mutfak atıkları ile birlikte arıtımı ve yenilenebilir enerji kazanımı*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yılmaz, O. (2013). *Aktif karbon üzerine TiO_2 yüklenerek aktif materyal (TiO_2/AC) üretimi, kimyasal ve fotokatalitik oksidasyonla tekstil atık suyunun dekolrizasyonu*. Yüksek Lisans Tezi, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- Yigit, N. O., Uzal, N., Koseoglu, H., Harman, I., Yukseler, H., Yetis, U., Civelekoglu, G. & Kitis, M. (2009). Treatment of a denim producing textile industry wastewater using pilot-scale membrane bioreactor. *Desalination* 240: 143-150.
- You, S. J., Tseng, D. H. & Deng J. Y. (2008). Using combined membrane processes for textile dyeing wastewater reclamation. *Desalination* 234: 426-432.
- You, S. J., Tseng, D. H., Ou S. H. & Chang, W. K. (2010). Performance and microbial diversity of a membrane bioreactor treating real textile dyeing wastewater. *Environmental Technology*, 28 (8): 935-941.

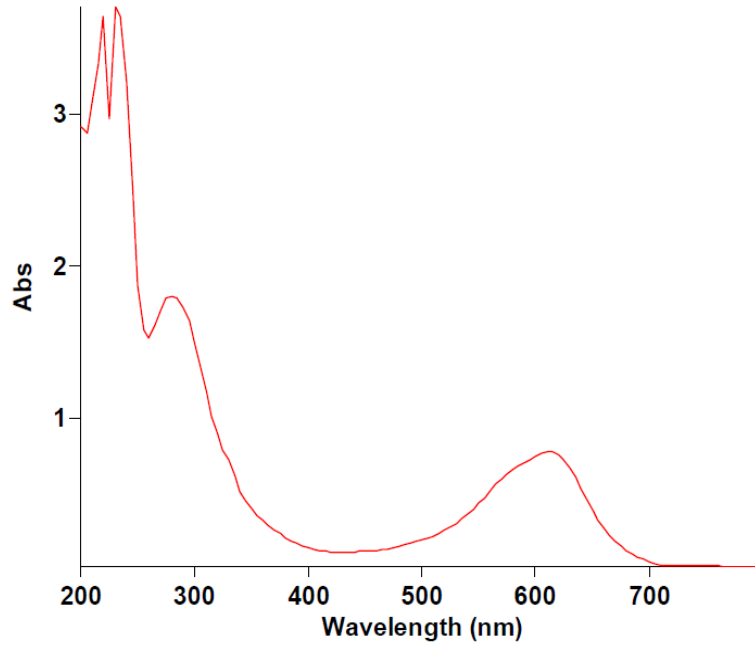
KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Yurtsever, A., Sahinkaya, E., Aktas, O., Ucar, D., Cinar, O. & Wang, Z. (2015). Performances of anaerobic and aerobic membrane bioreactors for the treatment of synthetic textile wastewater. *Bioresource Technology* 192: 564-573.
- Yurtsever, A., Calimlioglu, B., Görür, M., Çınar, Ö. & Sahinkaya, E. (2016). Effect of NaCl concentration on the performance of sequential anaerobic and aerobic membrane bioreactors treating textile wastewater. *Chemical Engineering Journal* 287: 456-465.
- Yurtsever, A., Çınar, Ö. & Sahinkaya, E. (2016). Treatment of textile wastewater using sequential sulfate-reducing anaerobic and sulfide-oxidizing aerobic membrane bioreactors. *Journal of Membrane Science* 511: 228–237.
- Yurtsever, A., Calimlioglu, B. & Sahinkaya, E. (2017). Impact of SRT on the efficiency and microbial community of sequential anaerobic and aerobic membrane bioreactors for the treatment of textile industry wastewater. *Chemical Engineering Journal* 314: 378–387.
- Zou, D. & Li, H. (2009). Study on Processing Condition of Submerged Rotating MBR for Wastewater Treatment. *2009 International Conference on Energy and Environment Technology (ICEET)*, 16-18 Ekim, Guilin/Guangxi/Çin, 775-778.
- Zagal, A. (2008). *Tekstil atık suyunun oreochromis niloticus' da toksik etkisinin bazı antioksidan enzimler kullanılarak araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.

EK-1: Dimozol Blue BRF % 150 Dalgaboyu Tarama Analiz Raporu

12/8/2017 3:05:28 PM

Page 1 of 2

**Scan Analysis Report**

Report Time : Fri 08 Dec 03:05:26 PM 2017
Method
Batch:
Software version: 5.0.0.999
Operator:

Instrument Parameters

Instrument Cary 60
Instrument Version 2.00
Start (nm) 800.0
Stop (nm) 200.0
X Mode Nanometers
Y Mode Abs
UV-Vis Scan Rate (nm/min) 24000.000
UV-Vis Data Interval (nm) 5.00
UV-Vis Ave. Time (sec) 0.0125
Beam Mode Dual Beam
Baseline Correction Off
Cycle Mode Off
Comments

Sample Name: Dimozol Blue
Collection Time 12/8/2017 2:16:42 PM

Peak Table
Peak Style Maximum Peak

12/8/2017 3:05:28 PM

Page 2 of 2

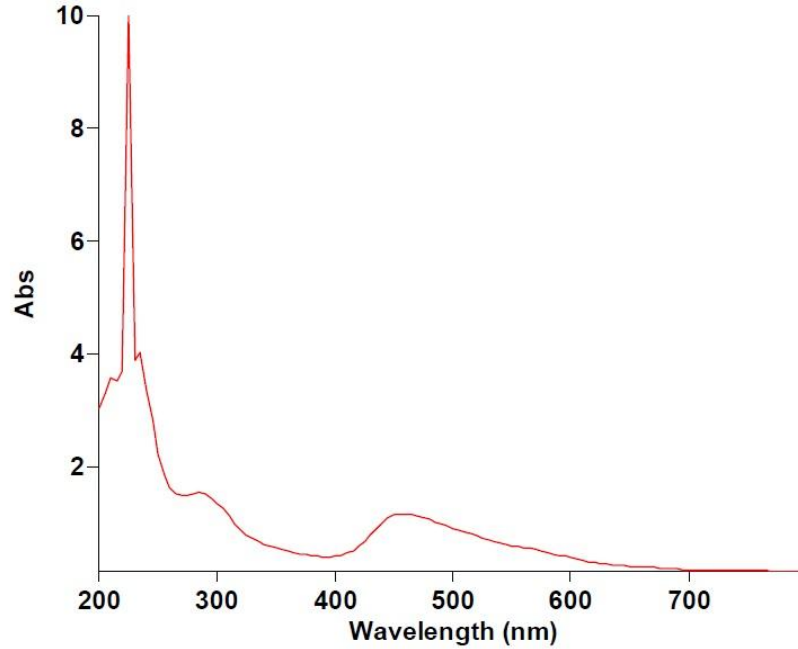
Peak Threshold	0.0100
Range	800.0nm to 200.0nm
Wavelength (nm)	Abs
230.0	3.709

Peak Table	
Peak Style	Peaks
Peak Threshold	0.0100
Range	800.0nm to 200.0nm
Wavelength (nm)	Abs
610.0	0.777
280.0	1.802
230.0	3.709
220.0	3.645

EK-2: Dimopers Red S5BLN Dalgaboyu Tarama Analiz Raporu

12/8/2017 2:58:13 PM

Page 1 of 2

**Scan Analysis Report**

Report Time : Fri 08 Dec 02:58:11 PM 2017
Method
Batch:
Software version: 5.0.0.999
Operator:

Instrument Parameters

Instrument Cary 60
Instrument Version 2.00
Start (nm) 800.0
Stop (nm) 200.0
X Mode Nanometers
Y Mode Abs
UV-Vis Scan Rate (nm/min) 24000.000
UV-Vis Data Interval (nm) 5.00
UV-Vis Ave. Time (sec) 0.0125
Beam Mode Dual Beam
Baseline Correction Off
Cycle Mode Off
Comments

Sample Name: dimopers red
Collection Time 12/8/2017 12:14:41 PM

Peak Table
Peak Style Maximum Peak

12/8/2017 2:58:13 PM

Page 2 of 2

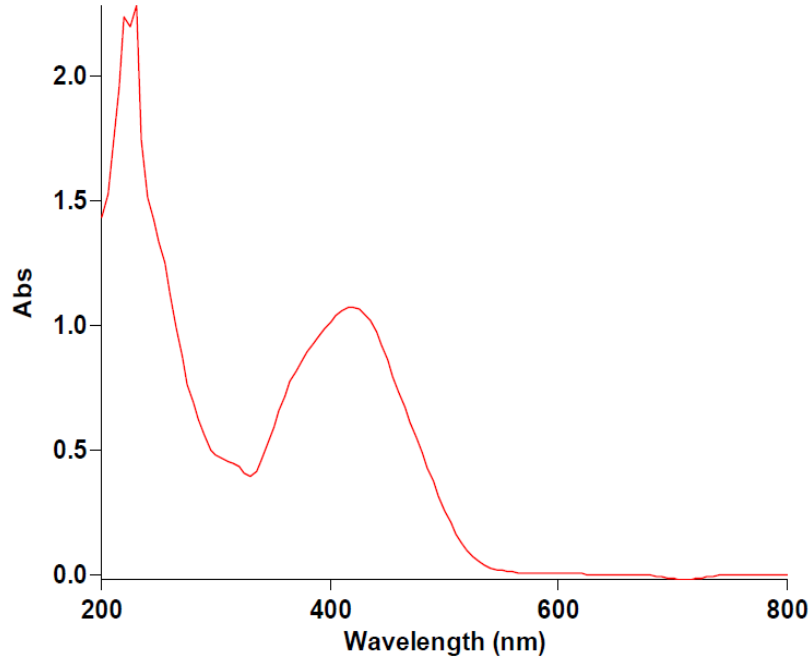
Peak Threshold	0.0100
Range	800.0nm to 200.0nm
Wavelength (nm)	Abs
225.0	10.000

Peak Table	
Peak Style	Peaks
Peak Threshold	0.0100
Range	800.0nm to 200.0nm
Wavelength (nm)	Abs
460.0	1.171
285.0	1.549
235.0	4.036
225.0	10.000
210.0	3.584

EK-3: Ostazin Yellow HR Dalgaboyu Tarama Analiz Raporu

11/29/2017 10:49:11 AM

Page 1 of 2

**Scan Analysis Report**

Report Time : Wed 29 Nov 10:49:08 AM 2017
Method
Batch:
Software version: 5.0.0.999
Operator:

Instrument Parameters

Instrument	Cary 300
Instrument Version	0.00
Start (nm)	800.00
Stop (nm)	200.00
X Mode	Nanometers
Y Mode	Abs
UV-Vis Scan Rate (nm/min)	600.000
UV-Vis Data Interval (nm)	1.000
UV-Vis Ave. Time (sec)	0.100
UV-Vis SBW (nm)	2.0
Beam Mode	Double
Signal-to-noise Mode	Off
UV Source	On
Vis Source	On
Source Changeover (nm)	350.00
Baseline Correction	Off
Cycle Mode	Off
Comments	

11/29/2017 10:49:11 AM

Page 2 of 2

Sample Name:

yellow

Collection Time

7/13/2017 3:31:23 PM

Peak Table

Peak Style	Maximum Peak
Peak Threshold	0.0100
Range	800.01nm to 199.98nm
Wavelength (nm)	Abs
230.00	2.283

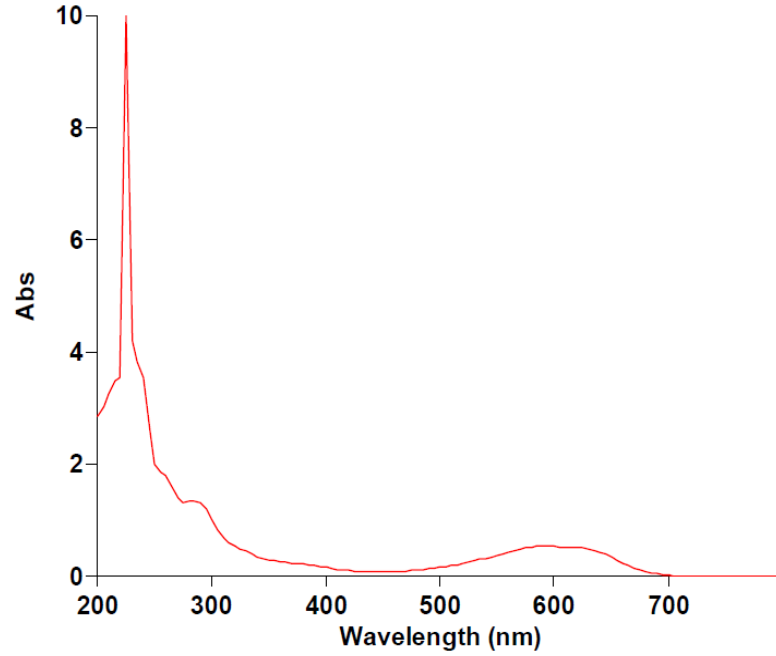
Peak Table

Peak Style	Peaks
Peak Threshold	0.0100
Range	800.01nm to 199.98nm
Wavelength (nm)	Abs
420.00	1.075
230.00	2.283
220.01	2.237

EK-4: Everzol Reaktif Blue R S/P Dalgaboyu Tarama Analiz Raporu

11/29/2017 10:41:20 AM

Page 1 of 2

**Scan Analysis Report**

Report Time : Wed 29 Nov 10:41:17 AM 2017
 Method
 Batch:
 Software version: 5.0.0.999
 Operator:

Instrument Parameters

Instrument Cary 60
 Instrument Version 2.00
 Start (nm) 800.0
 Stop (nm) 200.0
 X Mode Nanometers
 Y Mode Abs
 UV-Vis Scan Rate (nm/min) 24000.000
 UV-Vis Data Interval (nm) 5.00
 UV-Vis Ave. Time (sec) 0.0125
 Beam Mode Dual Beam
 Baseline Correction Off
 Cycle Mode Off
 Comments

Sample Name: sample1

Collection Time 7/26/2017 3:20:16 PM

Peak Table

Peak Style Maximum Peak

11/29/2017 10:41:20 AM

Page 2 of 2

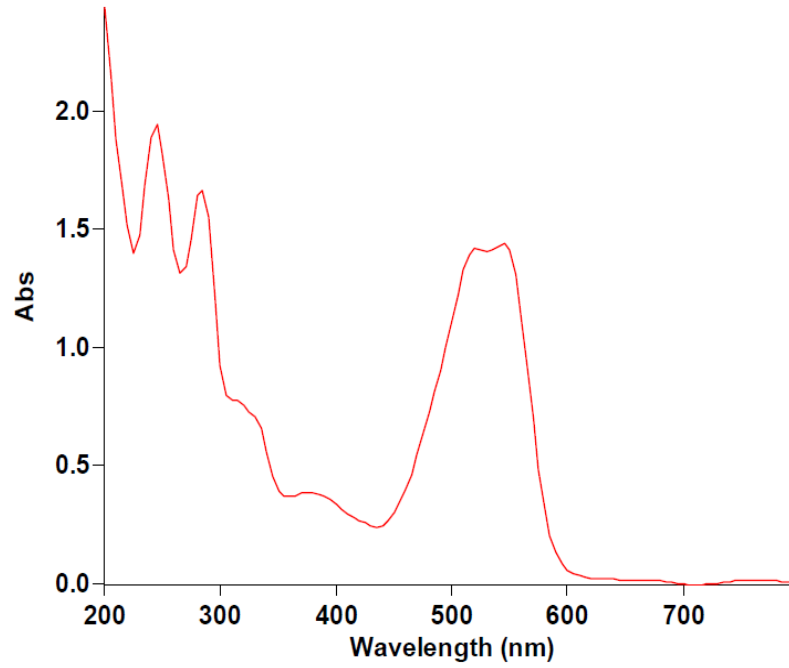
Peak Threshold	0.0100
Range	800.0nm to 200.0nm
Wavelength (nm)	Abs
225.0	10.000

Peak Table	
Peak Style	Peaks
Peak Threshold	0.0100
Range	800.0nm to 200.0nm
Wavelength (nm)	Abs
590.0	0.542
285.0	1.339
225.0	10.000

EK-5: Ostazin Red H 3B Dalgaboyu Tarama Analiz Raporu

11/29/2017 10:45:05 AM

Page 1 of 2

**Scan Analysis Report**

Report Time : Wed 29 Nov 10:44:59 AM 2017
Method
Batch:
Software version: 5.0.0.999
Operator:

Instrument Parameters

Instrument Cary 300
Instrument Version 0.00
Start (nm) 800.00
Stop (nm) 200.00
X Mode Nanometers
Y Mode Abs
UV-Vis Scan Rate (nm/min) 600.000
UV-Vis Data Interval (nm) 1.000
UV-Vis Ave. Time (sec) 0.100
UV-Vis SBW (nm) 2.0
Beam Mode Double
Signal-to-noise Mode Off
UV Source On
Vis Source On
Source Changeover (nm) 350.00
Baseline Correction Off
Cycle Mode Off
Comments

11/29/2017 10:45:05 AM

Page 2 of 2

Sample Name:

red

Collection Time

7/12/2017 7:22:34 PM

Peak Table

Peak Style	Maximum Peak
Peak Threshold	0.0100
Range	799.99nm to 200.00nm
Wavelength (nm)	Abs
244.98	1.947

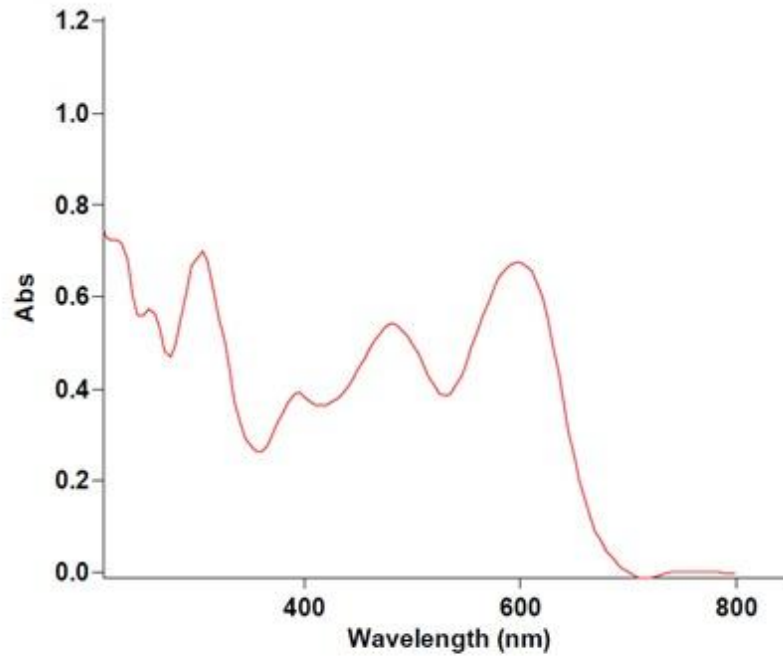
Peak Table

Peak Style	Peaks
Peak Threshold	0.0100
Range	799.99nm to 200.00nm
Wavelength (nm)	Abs
545.01	1.437
520.02	1.418
375.01	0.386
285.00	1.661
244.98	1.947

EK-6: Everzol Black N Dalgaboyu Tarama Analiz Raporu

11/29/2017 10:24:37 AM

Page 1 of 2

**Scan Analysis Report**

Report Time : Wed 29 Nov 10:21:32 AM 2017
Method
Batch:
Software version: 5.0.0.999
Operator:

Instrument Parameters

Instrument Cary 60
Instrument Version 2.00
Start (nm) 800.0
Stop (nm) 200.0
X Mode Nanometers
Y Mode Abs
UV-Vis Scan Rate (nm/min) 24000.000
UV-Vis Data Interval (nm) 5.00
UV-Vis Ave. Time (sec) 0.0125
Beam Mode Dual Beam
Baseline Correction Off
Cycle Mode Off
Comments

Sample Name: black
Collection Time 7/13/2017 4:24:50 PM

Peak Table
Peak Style Maximum Peak

11/29/2017 10:24:37 AM

Page 2 of 2

Peak Threshold	0.0100
Range	800.0nm to 200.0nm
Wavelength (nm)	Abs
305.0	0.700

Peak Table	
Peak Style	Peaks
Peak Threshold	0.0100
Range	800.0nm to 200.0nm
Wavelength (nm)	Abs
600.0	0.675
480.0	0.543
395.0	0.393
305.0	0.700
255.0	0.574

Scan Analysis Report

Report Time :	Wed 29 Nov 10:23:32 AM 2017
Method	
Batch:	
Software version:	5.0.0.999
Operator:	

Instrument Parameters

Instrument	Cary 60
Instrument Version	2.00
Start (nm)	800.0
Stop (nm)	200.0
X Mode	Nanometers
Y Mode	Abs
UV-Vis Scan Rate (nm/min)	24000.000
UV-Vis Data Interval (nm)	5.00
UV-Vis Ave. Time (sec)	0.0125
Beam Mode	Dual Beam
Baseline Correction	Off
Cycle Mode	Off
Comments	

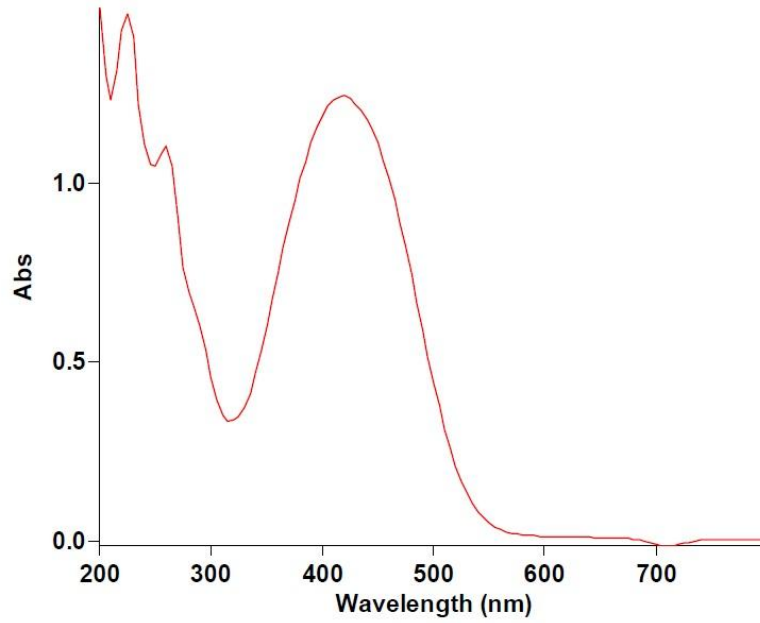
Sample Name:	black
Collection Time	7/13/2017 4:24:50 PM

Peak Table	
Peak Style	Peaks
Peak Threshold	0.0100
Range	800.0nm to 200.0nm
Wavelength (nm)	Abs
600.0	0.675
480.0	0.543
395.0	0.393
305.0	0.700
255.0	0.574

EK-7: Dimozol Yellow ED Dalgaboyu Tarama Analiz Raporu

12/8/2017 3:14:36 PM

Page 1 of 2



Scan Analysis Report

Report Time : Fri 08 Dec 03:14:34 PM 2017
 Method
 Batch:
 Software version: 5.0.0.999
 Operator:

Instrument Parameters

Instrument Cary 60
 Instrument Version 2.00
 Start (nm) 800.0
 Stop (nm) 200.0
 X Mode Nanometers
 Y Mode Abs
 UV-Vis Scan Rate (nm/min) 24000.000
 UV-Vis Data Interval (nm) 5.00
 UV-Vis Ave. Time (sec) 0.0125
 Beam Mode Dual Beam
 Baseline Correction Off
 Cycle Mode Off
 Comments

Sample Name: Dimozol Yellow

Collection Time 12/8/2017 1:10:34 PM

Peak Table
 Peak Style Maximum Peak

12/8/2017 3:14:36 PM

Page 2 of 2

Peak Threshold	0.0100
Range	800.0nm to 200.0nm
Wavelength (nm)	Abs
225.0	1.474

Peak Table	
Peak Style	Peaks
Peak Threshold	0.0100
Range	800.0nm to 200.0nm
Wavelength (nm)	Abs
420.0	1.243
260.0	1.105
225.0	1.474



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Emine KARAÇIRAY
Doğum Yeri ve Tarihi : KIRIKKALE / 15.09.1983



Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Dokuz Eylül Üniversitesi
Buca Eğitim Fakültesi
Fen Bilgisi Öğretmenliği Bölümü
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

İş Deneyimi

Projeler

1. 516B283, PELİTÖZÜ ORTAOKULU BİLİM FUARI, TÜBİTAK Bilim ve Toplum Projesi, Yürütücü (01.01.2016 – 01.08.2016)
2. 417B680, PELİTÖZÜ ORTAOKULU BİLİM FUARI, TÜBİTAK Bilim ve Toplum Projesi, Yürütücü (01.01.2017 – 01.08.2017).
3. H18B315, PELİTÖZÜ ORTAOKULU BİLİM FUARI, TÜBİTAK Bilim ve Toplum Projesi, Yürütücü (01.01.2018 – 01.08.2018)
4. C19B480, PELİTÖZÜ ORTAOKULU BİLİM FUARI, TÜBİTAK Bilim ve Toplum Projesi, Yürütücü (01.01.2019 – Halen)

Çalıştığı Kurumlar

Özel Metristepe Eğitim Öğretim Basım Yay. San.ve Tic. Ltd., Öğretmen (Ekim 2008-Eylül 2011)
Milli Eğitim Bakanlığı Bilecik İl Milli Eğitim Müdürlüğü' ne bağlı okullar, Öğretmen (Eylül 2013- Halen)

İletişim

Adres : Ertuğrulgazi Mah. Kaynak Cad. Elit-4 Sitesi No: 15/A Daire:3
Merkez/ BİLECİK
E-Posta Adresi : eminekaraciray@gmail.com

Akademik Çalışmaları

1. KADİR ÖZAN, EMİNE KARAÇIRAY, ÇAĞLAYAN AÇIKGÖZ, (2017). Removal of Diamozol Blue BRF %150 from simulated textile wastewater in Membrane Bioreactor (MBR) System. 2nd International Conference On Civil and Environmental Engineering (Tam Metin Bildiri/Oral Bildiri) (Yayın no: 976) (08.05.2017 - 10.05.2017)
2. BUKET KIRMIZI, ZERRİN PAT, EMİNE KARAÇIRAY, (2018). Removal of Reactive Yellow-160 Dyestuff from Textile Wastewater by Using Modified Cranberry Biomass. 2nd International Water Congress (Tam Metin Bildiri/ Oral bildiri) (29.10.2018 – 01.11.2018)

Tarih: 14/02/2019