

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı**

**ENDÜSTRİYEL ATIKSULARIN MEMBRAN
BİYOREAKTÖR (MBR) SİSTEMİNDE ARITIM
ÇALIŞMALARI VE VERİM DEĞERLENDİRMELERİ**

**Onur KAVUŞTU
Yüksek Lisans**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Çağlayan AÇIKGÖZ**

BİLECİK, 2016

Ref.No: 10101659



ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı**

**ENDÜSTRİYEL ATIKSULARIN MEMBRAN
BİYOREAKTÖR (MBR) SİSTEMİNDE ARITIM
ÇALIŞMALARI VE VERİM DEĞERLENDİRMELERİ**

**Onur KAVUŞTU
Yüksek Lisans**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Çağlayan AÇIKGÖZ**

BİLECİK, 2016

"Bu tez çalışması Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Birimi tarafından 2013-01.BİL.03-06' nolu BAP projesi kapsamında desteklenmiştir."



ANADOLU UNIVERSITY



**BILECIK SEYH EDEBALI
UNIVERSITY**

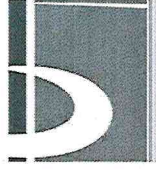
**Graduate School of Sciences
Department of Chemical Engineering**

**THE STUDIES OF INDUSTRIAL WASTEWATER
TREATMENT IN THE MEMBRANE BIOREACTOR
(MBR) SYSTEM AND EFFICIENCY ASSESSMENTS**

**Onur KAVUŞTU
Master' s Thesis**

**Thesis Advisor
Assoc. Prof. Dr. Çağlayan AÇIKGÖZ**

BILECIK, 2016



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 31/12/2016 tarih ve 51 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 18/01/2016 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Onur KAVUŞTU'nun "Endüstriyel Atıksuların Membran Biyoreaktör(MBR) Sisteminde Arıtım Çalışmaları ve Verim Değerlendirmeleri" başlıklı tez çalışması Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/ ~~oy çokluğu~~ ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Çağlayan AÇIKGÖZ

ÜYE : Prof. Dr. Müfide BANAR

ÜYE : Yrd Doç. Dr. Alev AKPINAR BORAZAN

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANI: Doç. Dr. Çağlayan AÇIKGÖZ

ONAY

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

TEŞEKKÜR

Eğitim ve mesleki hayatımda bugünlere ulaşmamda büyük katkıları olan değerli danışman hocam Doç. Dr. Çağlayan AÇIKGÖZ 'e,

Bilgi ve tecrübesiyle bana her zaman destekçi olan sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Alev AKPINAR BORAZAN 'a,

Çalışmalarımız başlangıcından sonuna yanımızda olan, her türlü yardım ve desteği veren Sayın Yrd. Doç. Dr. Ülküye DUDU GÜL 'e

Tasarım ve sistemin düzenlenmesi ile ilgili çalışmalarıyla desteklerini esirgemeyen sevgili hocam Öğr. Gör. Kadir ÖZAN 'a,

Yüksek lisans eğitimim sırasında dert ortağım, sevgili arkadaşlarım Pınar ÖZEN ve Tevhide Derya ÇARIKÇI 'ya

Benden her türlü desteğini ve imkânını esirgemeyen Bilecik 1.Organize Sanayi Bölge Başkanlığı yönetimi, çalışanları ve Çevre Yapı Arıtma Sistemleri Ltd. Şti. yönetim ve çalışanlarına,

İş hayatımda silah arkadaşım, destekçim, abim Ahmet COŞKUN 'a

Yol arkadaşım, hayat arkadaşım Derya TORLAK 'a

Bugünlere ulaşmamda maddi manevi her türlü desteği imkânı seferber ederek beni büyüten bugünlere getiren Annem Müjgân KAVUŞTU ve Babam Oktay KAVUŞTU 'ya canım kardeşim Buse KAVUŞTU 'ya

Tüm hayatımda yaptıkları katkılardan dolayı ailem akrabalarım ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Onur KAVUŞTU

Ocak 2016

ÖZET

Yapılan deneysel arıtım çalışmalarında; hem Membran Biyoreaktör (MBR) Sisteminin hem de *Aspergillus Versicolor* ve *Rhizopus Arrhizuss* karışık kültürünün tekstil endüstrisi ve metal kaplama endüstrisi atıksuları üzerindeki arıtım kapasitesi incelenmiştir. Deneysel sonuçlara göre renk giderimi % 54,8 - %70,7 ve KOİ giderim verimi % 72,5 - % 89,6 değerleri arasında bulunmuştur. Bilecik I. Organize Sanayi Bölgesinde faaliyet gösteren bir metal kaplama tesisinden alınan ham atıksuyun membran biyoreaktör sisteminde yapılan arıtım çalışmasında; Cr^{+6} 'nın Cr^{+3} 'e %61,32 oranında indirildiği gözlemlenmiştir. MBR sisteminin pH değerinin 2-3 aralığında olmasından dolayı Cr^{+6} 'nın indirildiği, karışık kültürün etkisinin olmadığı tespit edilmiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında; Bilecik I. Organize Sanayi Bölgesinde faaliyet gösteren fabrikaların üretim süreçleri sonucunda ortaya çıkan endüstri atıksularının Bilecik I. Organize Sanayi Bölgesi Biyolojik Aktif Çamur Sistemi'nde gerçekleşen 6 aylık arıtım verimleri incelenmiştir. İrdelenen sonuçlara göre; biyolojik arıtma öncesi fiziksel ve kimyasal arıtım sistemlerinden geçen atıksuyun arıtıldığı biyolojik arıtım sisteminin MBR sistemine dönüştürülebileceği ön görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Membran biyoreaktör; endüstriyel atıksu arıtımı; biyolojik arıtım; *rhizopus arrhizuss*; *aspergillus versicolor*.

ABSTRACT

In the experimental studies; it is examined that treatment capacity of Membran Bioreactor (MBR) System and *Aspergillus Versicolor* and *Rhizopus Arrhizuss* mixed fungal biomasses on the waste waters of the textile industry and metal coating industry. According to experimental results; decolorization was found between % 54.8 - %70.7 and the removal efficiency of COD was found between %72.5 - %89.6. Raw waste water received from a metal coating plant operating in the Bilecik 1. Organized Industrial Zone was treated in the Membrane Bioreactor System and it was observed that Cr^{+6} reduced to Cr^{+3} in the ratio of % 61.32. It was concluded that due to the 2-3 pH range of MBR systems Cr^{+6} which is reduced and mixed cultures are ineffective.

In the second phase of this study; the industrial wastewater resulting from the production process of factories operating in Bilecik 1. Organized Industrial Zone held in 6-month treatment efficiency in the Bilecik 1. Organized Industrial Zone Biological Activated Sludge System were investigated. According to the results discussed; Biological treatment of the wastewater treatment system in which the physical and chemical treatment systems have been foreseen prior to biological treatment can be converted to MBR system.

Key Words: Membrane bioreactor; industrial wastewater treatment; biological treatment; *rhizopus arrhizuss*; *aspergillus versicolor*.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

JÜRİ ONAY SAYFASI	
TEŞEKKÜR	
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1.GİRİŞ	1
2. ATIKSULARIN BİYOLOJİK ARITMA PROSESLERİ.....	5
2.1. Aerobik Arıtma.....	5
2.2. Anaerobik Arıtma.....	6
3. ATIKSU ARITIMINDA KULLANILAN MİKROORGANİZMALAR.....	7
3.1. Bakteriler	7
3.1.1. Ototrofik bakteriler	8
3.1.2. Heterotrofik bakteriler	9
3.2. Protozoalar.....	11
3.3. Mantarlar	12
3.4. Algler.....	12
3.5. Virüsler.....	12
3.6. Mayalar ve Küfler	13
4. ATIKSULARDA ÖLÇÜLEN PARAMETRELER	14
4.1. pH.....	14
4.2. Renk.....	14
4.3. Çözünmüş Oksijen	14

4.4. Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ).....	15
4.5. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)	15
4.6. Katı Maddeler	15
4.6.1. Toplam katı madde	16
4.6.2. Toplam askıda katı madde (Askıda katı madde)	16
4.6.3. Çözünmüş katı madde (Filtre edilebilen katı madde)	17
4.6.4. Toplam çökebilir katı madde.....	17
4.7. Azot	18
4.8. Fosfor ve Fosfat.....	18
5. MEMBRAN TEKNOLOJİLERİ.....	20
5.1. Membran Teknolojilerine Giriş.....	20
5.1.1. Mikrofiltrasyon (MF).....	22
5.1.2. Ultrafiltrasyon (UF)	22
5.1.3. Nanofiltrasyon (NF).....	23
5.1.4. Ters ozmos (RO).....	24
6. MEMBRAN BİYOREAKTÖRLER	25
6.1. Genel Prosesin Tanımlanması	25
6.2. Membranların Yapısı ve Sınıflandırılması	26
6.2.1. Ayırma mekanizmalarına göre sınıflandırma	26
6.2.2. Morfolojilerine göre sınıflandırma	26
6.2.3. Geometrilerine göre sınıflandırma.....	26
6.2.4. Kimyasal yapılarına göre sınıflandırma.....	27
6.3. Membran Biyoreaktör Avantajları ve Dezavantajları	27
7. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI	29
8. MATERYAL METOD	34
8.1 MBR Sistemi	34
8.1.1. Mikroorganizmaların üretimi.....	35

8.1.2. Sentetik tekstil atıksuyunun ve ağır metal içeren endüstriyel atıksuyun Aspergillus Versicolor ve Rhizopus Arrhizuss karışık kültürü ile MBR sisteminde arıtım çalışmaları	36
8.1.3. Bilecik I. Organize Sanayi Bölgesi biyolojik atık su arıtım sistemi.....	41
9. SONUÇLAR	43
9.1. MBR Sisteminde Yapılan Arıtım Çalışmaları Sonuçları	43
9.2. Bilecik I. Organize Sanayi Bölgesi Biyolojik Atık Su Arıtım Sisteminde Yapılan Arıtım Çalışmaları Sonuçları.....	51
10. TARTIŞMA VE ÖNERİLER	68
KAYNAKLAR	72
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1. Aerobik arıtmayla organik madde giderimi(Sarı, 2005).....	5
Şekil 5.1. Bir membran film kaseti(Hacıfettahoğlu, 2009).....	20
Şekil 5.2. Membran atıklarının şematik gösterimi(Hacıfettahoğlu, 2009).	21
Şekil 6.1. Membran biyoreaktörün akım şeması (Dere, 2010).	25
Şekil 6.2. MBR konfigürasyonları (Dere, 2010).	25
Şekil 8.1. Deneysel çalışma planı	34
Şekil 8.2. Lab/Pilot ölçekte dâhili MBR sisteminin şematik çizimi.	35
Şekil 8.3. Lab/Pilot ölçekte dâhili MBR sistemi	35
Şekil 8.4. (a) Complete yeast besiyeri (b)Aspergillusversicolor, Rhizopusarrhizus.	36
Şekil 8.5. Kullanılan reaktif boyaların spektrum eğrileri.	37
Şekil 8.6. Ostazin Yellow için kalibrasyon grafiği.	38
Şekil 8.7. Ostazin Black HN için kalibrasyon grafiği.....	38
Şekil 8.8. Everzol Black için kalibrasyon grafiği.	39
Şekil 8.9. Everzol Orange için kalibrasyon grafiği.....	39
Şekil 8.10. NOVA 60A Spektroquant spektrofotometre ve analiz kitleri	40
Şekil 8.11. Bilecik 1.Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisi proses akışı.....	42
Şekil 9.1. Ostazin Yellow için renk giderimi.....	44
Şekil 9.2. Ostazin Yellow için spektrum değişimi.....	44
Şekil 9.3. Ostazin Black HN için renk giderimi.	45
Şekil 9.4. Ostazin Black HN için spektrum değişimi.	46
Şekil 9.5. Everzol Black için renk giderimi.....	47
Şekil 9.6. Everzol Black için spektrum değişimi.....	47
Şekil 9.7. Everzol Orange için renk giderimi.	48
Şekil 9.8. Everzol Orange için spektrum değişimi.	49
Şekil 9.9. Kaplama atık suyunun MBR de toplam krom giderimi.	50
Şekil 9.10. Kaplama atık suyunun MBR de krom +6 giderimi.	50
Şekil 9.11. Kaplama atık suyunun MBR de nikel giderimi.	51
Şekil 9.12. Kaplama atık suyunun MBR de toplam krom giderimi.....	51
Şekil 9.13. Ocak 2014 havalandırma havuzu pH.....	52
Şekil 9.14. Ocak 2014 havalandırma havuzu çözünmüş oksijen.....	52

Şekil 9.15. Ocak 2014 kimyasal oksijen ihtiyacı (Giriş- Çıkış).	52
Şekil 9.16. Ocak 2014 askıda katı madde (Giriş- Çıkış).	53
Şekil 9.17. Ocak 2014 toplam azot (Giriş- Çıkış).....	53
Şekil 9.18. Ocak 2014 toplam fosfor (Giriş- Çıkış).....	54
Şekil 9.19. Şubat 2014 havalandırma havuzu pH.	54
Şekil 9.20. Şubat 2014 havalandırma havuzu çözünmüş oksijen.	55
Şekil 9.21. Şubat 2014 kimyasal oksijen ihtiyacı (Giriş- Çıkış).....	55
Şekil 9.22. Şubat 2014 askıda katı madde (Giriş- Çıkış).	55
Şekil 9.23. Şubat 2014 toplam azot (Giriş- Çıkış).....	56
Şekil 9.24. Şubat 2014 toplam fosfor (Giriş- Çıkış).	56
Şekil 9.25. Mart 2014 havalandırma havuzu pH.	57
Şekil 9.26. Mart 2014 havalandırma havuzu çözünmüş oksijen.	57
Şekil 9.27. Mart 2014 kimyasal oksijen ihtiyacı (Giriş- Çıkış).	58
Şekil 9.28. Mart 2014 askıda katı madde (Giriş- Çıkış).	58
Şekil 9.29. Mart 2014 toplam azot (Giriş- Çıkış).	59
Şekil 9.30. Mart 2014 toplam fosfor (Giriş- Çıkış).	59
Şekil 9.31. Nisan 2014 havalandırma havuzu pH.....	60
Şekil 9.32. Nisan 2014 havalandırma havuzu çözünmüş oksijen.....	60
Şekil 9.33. Nisan 2014 kimyasal oksijen ihtiyacı (Giriş- Çıkış).....	60
Şekil 9.34. Nisan 2014 askıda katı madde (Giriş- Çıkış).....	61
Şekil 9.35. Nisan 2014 toplam azot (Giriş- Çıkış).....	61
Şekil 9.36. Nisan 2014 toplam fosfor (Giriş- Çıkış).....	62
Şekil 9.37. Mayıs 2014 havalandırma havuzu pH.	62
Şekil 9.38. Mayıs 2014 havalandırma havuzu çözünmüş oksijen.	63
Şekil 9.39. Mayıs 2014 kimyasal oksijen ihtiyacı (Giriş- Çıkış).....	63
Şekil 9.40. Mayıs 2014 askıda katı madde (Giriş- Çıkış).....	63
Şekil 9.41. Mayıs 2014 toplam azot (Giriş- Çıkış).....	64
Şekil 9.42. Mayıs 2014 toplam fosfor (Giriş- Çıkış).	64
Şekil 9.43. Haziran 2014 havalandırma havuzu pH.	65
Şekil 9.44. Haziran 2014 havalandırma havuzu çözünmüş oksijen.....	65
Şekil 9.45. Haziran 2014 kimyasal oksijen ihtiyacı (Giriş- Çıkış).	66
Şekil 9.46. Haziran 2014 askıda katı madde (Giriş- Çıkış).	66

Şekil 9.47. Haziran 2014 toplam azot (Giriş- Çıkış).	67
Şekil 9.48. Haziran 2014 toplam fosfor (Giriş- Çıkış).	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 8.1. Complete yeast besiyeri içeriği.....	36
Çizelge 8.2. Boyar madde özellikleri.....	37
Çizelge 8.3. Ostazin Yellow ve Ostazin Black HN için sentetik atık su bileşimi.	40
Çizelge 8.4. Everzol Black ve Everzol Orange için sentetik atık su bileşimi.....	41
Çizelge 8.5. Ağır metal içeren endüstriyel metal kaplama atık suyunun bileşimi.....	41
Çizelge 9.1. Ostazin Yellow Reaktif T. boyası içeren sentetik atıksu arıtım sonuçları..	43
Çizelge 9.2. Ostazin Black HN reaktif T. boyası içeren sentetik atıksu arıtım sonuçları.	45
Çizelge 9.3. Everzol Black Reaktif T. boyası içeren sentetik atık su arıtım sonuçları..	46
Çizelge 9.4. Everzol Orange Reaktif T. boyası içeren sentetik atıksu arıtım sonuçları.	48

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

$^{\circ}\text{C}$: Sıcaklık (Derece Celcius)
μm	:Uzunluk(Mikrometre)
A°	:Dalga Boyu (Ångström)
Atm	: Basınç(Atmosfer)
Bar	: Basınç (Bar)
g	: Ağırlık(Gram)
h	: Zaman(Saat)
kcal	: Enerji(Kilokalori)
L	:Hacim(Litre)
m^2	:Alan (Metrekare)
m^3	:Hacim(Metreküp)
mg/l	:Derişim (Milyonda bir)
mm	:Uzunluk(Milimetre)
Nm	:Uzunluk (Nanometre)
pH	:Asitlik/Bazlık Derecesi
Ppm	:Derişim(Milyonda bir)
t	: Zaman
λ_{max}	: Absorbsiyon Bandı

Kısaltmalar

AKM	: Askıda Katı Madde
BOİ	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
BOİ₅	: 5 günlük Biyolojik Oksijen İhtiyacı
COD	: Chemical Oxygen Demand
ÇO	: Çözünmüş Oksijen
DNA	:Deoksiribonükleik Asit
ED	: Elektrodializ
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MBR	: Membran Biyoreaktör
MF	: Mikrofiltrasyon
MLSS	: Mikroorganizma Konsantrasyonu
MWCO	: Maddelerin İyonize Olma Seviyeleri Moleküler Ağırlık Engelleme Sınırı
NF	: Nanofiltrasyon
NTU	: Nefelometrik Bulanıklık Birimi
PDA	: Patates Dekstroz Agar
PET	: Polyetiletetraftalat
PP	: Polipropilen
PVDF	: Polivinildifloride
RNA	: Ribonükleik Asit
RO	: Ters Ozmos
TN	:Toplam Azot

TP :Toplam Fosfor

UF :Ultrafiltrasyon

UV : Ultraviyole

1.GİRİŞ

Nüfusun hızla artışı ve endüstriyel üretimin yaygınlaşması nedeniyle oluşan atıksular ekosistemin indirgeyebileceği değerleri aşmakta ve alıcı ortamların kirletilmesi tehlikesini gün geçtikçe arttırmaktadır. Su kaynaklarının korunması ve çevreci üretim politikaları desteklenerek atık suların uzaklaştırmadan önce arıtılması gerekliliği doğmuştur. Endüstriyel üretim sonrası oluşan atıksular kaynaklarına bağlı olarak farklılıklar gösterir ve bu farklılıklara göre arıtma teknikleri de değişir. Kirleticiler suyun içinde çözülmüş halde bulunabilecekleri gibi, katı madde olarak askıda da bulunabilirler. Bu maddelerin özelliklerine göre uzaklaştırılmaları için kullanılacak arıtma yöntemleri de farklılık göstermektedir. Arıtma işlemi, kullanılan proses esaslarına göre fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere üç ana başlıkta incelenmektedir. Biyolojik arıtma genel olarak atık su içerisinde çözülmüş halde bulunan organik maddelerin canlı organizmalar vasıtasıyla parçalanması işlemidir. Biyolojik arıtmada farklı mikroorganizmalardan arıtma sistemlerinde yararlanılmaktadır (Chojnacka,2007).

Atık suyun içerisinde bulunan organik kirleticiler mikroorganizmalar tarafından parçalanarak su ve karbondioksit'e dönüşmektedir. Parçalama sonunda temizlenmiş olan atık su üstte kalırken mikroorganizmalar dib'e çökerler. Bu sisteme aktif çamur sistemi denilmektedir. Ülkemizde kullanılan en yaygın biyolojik arıtma sistemi aktif çamurdur. Günümüzde evsel ve endüstriyel atık su arıtımında konvansiyonel aktif çamur sistemlerin yerini hızla Membran Biyoreaktör sistemi (MBR) almaya başlamıştır. MBR sistemlerinde ultra- veya mikro-filtrasyon membranları kullanılarak biyokütlenin reaktör içerisinde daha yoğun kalması sağlanmaktadır. Ayrıca toksik atık suların arıtımında etkili bazı özel mikroorganizma türlerinin reaktör içerisinde tutulmasının gerektiği durumlarda oldukça etkin bir arıtma sağlamaktadır (Toprak,1994).

Ülkemizde çeşitli endüstrilerden oluşan organize sanayi bölgeleri kurulmuştur. Bu endüstrilerin su ihtiyacı, kendi bölgesindeki su kaynaklarından karşılanmaktadır. Ülkemizde sanayilerde kullanılacak suyun maliyeti bölgesel olarak değişmektedir. Suyun maliyeti ucuz olan bölgelerde bile artan ihtiyaca karşılık mevcut su miktarının yetersiz kalacağı ve mevcut su kaynaklarının çeşitli nedenlerle kirletildiği düşünüldüğünde suyun geri kazanımının ülkemiz için artık bir gereklilik olduğu düşünülmektedir (Kav, 2011).

Atık suları dört grupta tanımlayabiliriz.

- **Evsel Atıksular:** Kimyasallar, deterjanlar, temizleyiciler, insektisitler, ağır metaller, su şebekesinden ve kullanımdan gelen metaller evsel atık sularda bulunan kirliliklerdir.
- **Kentsel Atıksular:** Kanalizasyon sularının arıtılmadan alıcı ortama verilmesi, çöp alanlarından yüzey ve yer altı sularına sızıntılar, mezbaha ve hastane gibi tesislerin atıklarının sulara karışması kentsel kullanım sonucu suyun kirlenmesinin nedenleridir.
- **Tarımsal Atıksular:** Anorganik ve organik tarım ilaçları, suni gübreleme sonucu yer altı sularına sızıntılar suyun tarımsal alanda kirlenmesinde rol oynayan kirlilik kaynaklarıdır.
- **Endüstriyel Atıksular:** Birçok endüstriyel işletmenin üretimi sırasında açığa çıkan doğaya verilen kimyasallar ve ayrıca petrol yayılması da endüstriyel kirlilik kaynaklarındandır.

Dünyada her yıl tekstil endüstrisi kaynaklı çıkış suyunda yaklaşık 1000 ton boya ve boyarmadde çevrede bulunan sulara atılarak işletmeden uzaklaştırılmaktadır (Özmen, vd. 2007).

Tekstil atık suları, içerdikleri boyarmaddeler ve çok sayıdaki kimyasallardan dolayı oldukça değişken olabilir. Genel olarak ürün türü ve buna bağlı olarak kullanılan ham maddeler uygulanacak arıtma yöntemini belirlemede en önemli faktörlerdir. Bundan dolayı da herhangi bir tekstil atık suyu arıtımında detaylı bir karakterizasyon çalışması son derece büyük önem taşımaktadır. Tekstil atık sularında kirliliğe neden olan temel parametreler; biyokimyasal oksijen ihtiyacı, kimyasal oksijen ihtiyacı, azot, fosfat, sıcaklık, pH, yağ, gres, sülfidler ve fenol, krom veya ağır metaller gibi toksik kimyasallar olarak sayılabilir. Tekstil atık suları rengi prosesde kullanılan boyanın rengine göre saat başı ya da günlük değişiklik gösterebilir. Bu renkteki değişim aynı zamanda atık suyun kimyasal oksijen ihtiyacı içeriğinde de dalgalanmalara yol açabilir. Bununla birlikte boyarmaddeler atık suyun bileşiminde büyük yer kaplamazlar. Örneğin bu atık sular genellikle yüksek miktarda inorganik tuzları da içerirler (Başbüyük ve Yüceer, 1998).

Tekstil atık suları oldukça yüksek miktarda nişasta, karboksi metil selüloz ve az

miktarda polivinil alkol içerir. Bunlar atık su sistemine girer ve atık suyun kimyasal oksijen ihtiyacını artırırlar (Başbüyük ve Yüceer , 1998) .

Sulara karışan bu boyarmaddeler yayılmakta ve içerisinde yaşayan canlı popülasyona büyük zararlar vermektedir. İlk gözle görülebilir etkisi, suyun renginde meydana gelen değişme ve buna bağlı olarak su içerisindeki fotosentez olayının durması ya da azalmasıdır. Boyarmadde içeren atık sular genellikle, 5-1500 mg/l konsantrasyonda reaktif boyarmadde içermektedir. Bu nedenle boyarmadde ile kontamine olmuş endüstriyel çıkış sularının iyileştirilmesi, çevre sağlığı açısından büyük önem taşımaktadır (Lata, vd 2007).

Metal kaplama sanayi hızla gelişen sanayi dalları arasında önemli bir yer tutmaktadır. Gelişen teknoloji ve tesislerine rağmen metal kaplama sanayii büyük miktarda çevre kirliliğine neden olmaktadır. Metal sanayi atıksularının arıtılması; ön arıtma, ortak arıtma ve ileri arıtma olarak üç gruptan oluşmaktadır. Ön arıtma, Krom +6 içeren atıksular için krom indirgeme, siyanür içeren atıksular için siyanür oksidasyonu, yağlı atıksular için emülsiyon kırma ve yağ ayırma işlemlerinden oluşur. Metal işleme süreçlerinde kullanılan çözücüler geri kazanılır veya tehlikeli atık olarak ayrılarak imha tesislerine gönderilerek uzaklaştırılırlar. Üretim süreçlerinde suya karışan ağır metallerin atıksudan uzaklaştırması için ağır metal türlerine göre arıtım değeri değişen pH'da çöktürme işlemi uygulanır (Lata, vd., 2007).

Geniş bir kullanım alanı olan ağır metallerin nasıl etkili bir şekilde atık sulardan giderimi her zaman önemli bir konu olarak görülmüştür. Buna rağmen atık sulardan ağır metal giderimi genel arıtım yöntemleri ile pek mümkün olamamaktadır (Baek, vd.,2007). Bunun için genel olarak kullanılan yöntemler; ters ozmoz, elektrodializ, ultrafiltrasyon, iyon değişimi, kimyasal çöktürme, fotoredimenasyondır. Aşağıda bu metotların kısaca tanımları yer almaktadır (Yalçın, 2012).

Atık Suların geri kazanımı ve yeniden kullanımı ile hem su kaynaklarının tüketimi azaltılmakta deşarj edilen arıtılmış atık suların çevresel etkileri en aza indirilebilmektedir. Arıtılmış atıksuların tekrar kullanım alanları,

- Sanayi suyu (soğutma ve proses suyu olarak)

- Sulama suyu olarak
- Meskûn bölge içerisinde tekrar kullanımı (Çift dağıtım sistemleri)
- Yeraltı sularının suni beslenmesi
- Arıtılmış atık su ile yeniden yapılandırma alanlarının oluşturulması
- Yangın söndürme
- Diğer kullanımlar (İnşaat, sahil kesiminde kuyularda tuzlu su girişiminin önlenmesi, içme suyu vb.) şeklinde sıralanabilir. Evsel atıksuların % 99,9 oranında saf su ihtiva ettiği düşünülürse, atıksuların da bir su kaynağı gibi düşünülmesinin gereği daha iyi anlaşılır (John,2003).

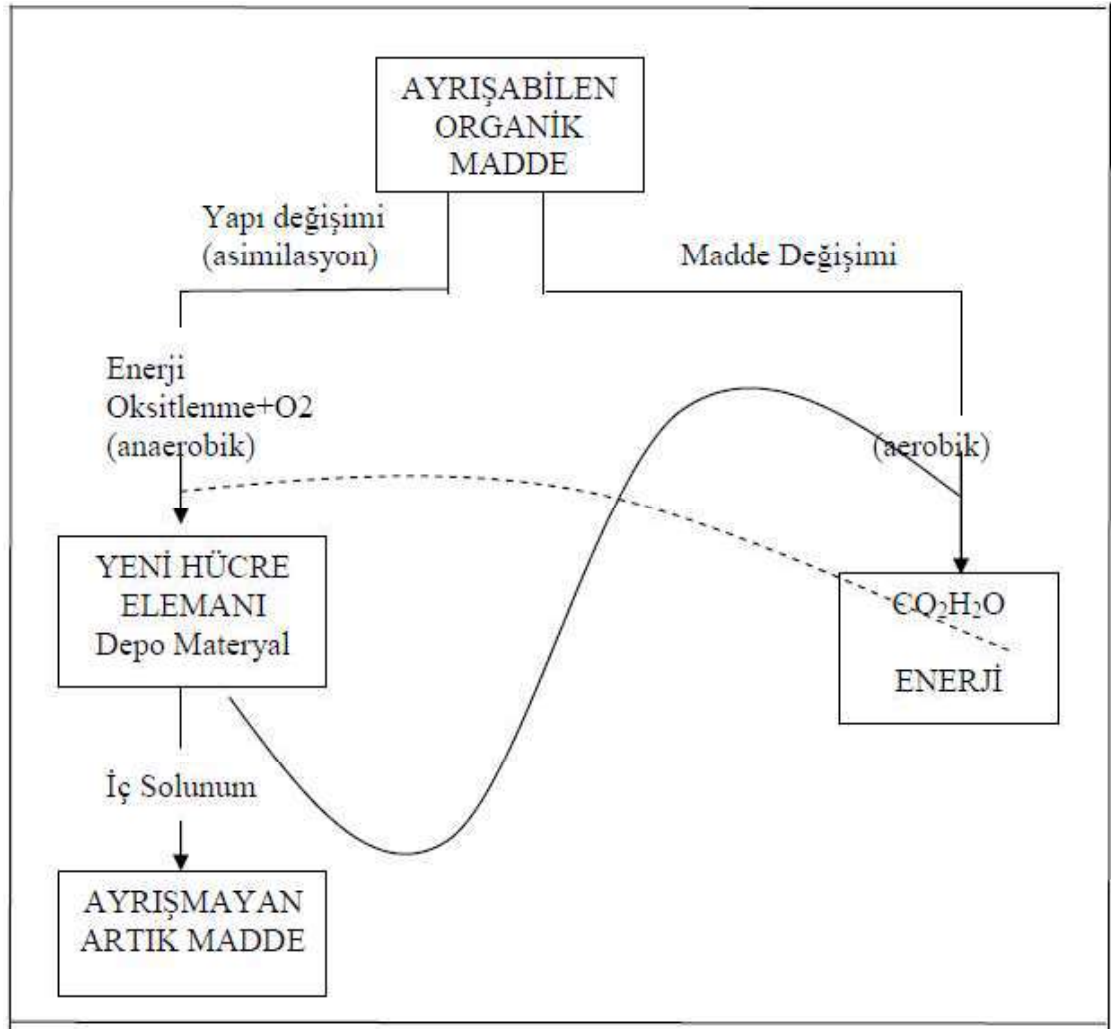
Bu çalışmanın amacı; endüstride kullanılan ve endüstride çevreyi kirleten önemli bileşenlerin düşük maliyetle ve en kısa sürede biyolojik olarak arıtılabilirliğinin araştırılmasıdır. Bu tez çalışmasında sentetik olarak hazırlanmış olan tekstil endüstrisi atıksuyu ve gerçek metal endüstrisi atıksuyu Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya ve Süreç Mühendisliği laboratuvarında bulunan lab/pilot ölçekte membran biyoreaktör (MBR) sisteminde arıtılabilirliği incelenmiştir. Ayrıca Bilecik I. Organize Sanayi Bölgesi Biyolojik Arıtım Sisteminin 6 aylık arıtım verileri incelenmiş sistemin MBR sistemine dönüştürülebilmesine uygunluğu irdelenmiştir.

2. ATIKSULARIN BİYOLOJİK ARITMA PROSESLERİ

Biyolojik arıtma atık suda bulunan askıda katı maddeler veya erimiş organik maddelerin bakteriler tarafından parçalanması ve çökebilir biyolojik floklar ile atık su içinde kalan veya gaz fazında atmosfere bırakılan inorganik bileşenlere dönüşme işlemidir. Biyolojik arıtma sistemleri serbest ortamdaki oksijen varlığına göre aerobik ve anaerobik olarak sınıflandırılırlar (Sarı, 2005).

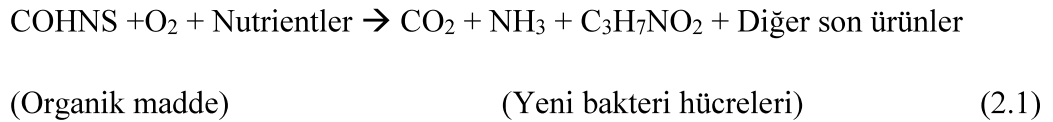
2.1. Aerobik Arıtma

Aerobik arıtmada organik maddeler oksidasyon ve sentezleme yolu ile giderilir. Aerobik arıtmada organik madde giderimi Şekil 2.1.'de görülmektedir.

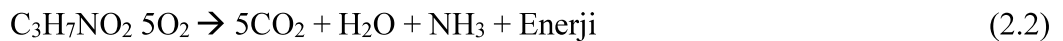


Şekil 2.1. Aerobik arıtmayla organik madde giderimi(Sarı, 2005).

Organik madde mikrobiyal büyüme için hem karbon hem de enerji kaynağı olarak görev alır ve yeni hücrelerin sentezinde kullanılır. Oksidasyon ve sentezin oluşum reaksiyonu;



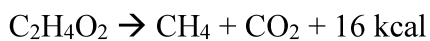
Kısıtlı besin maddesinin varlığında mikroorganizmanın kendisi hücresel faaliyetlerinin devamı için gerekli olan enerjinin elde edilmesinde kullanılır. Bu olaya iç solunum olayı (endogenous respiration) adı verilir ve reaksiyon;



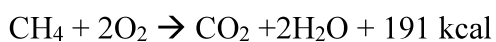
Aerobik arıtma sistemleri organizmaların sistemdeki durumuna göre askıda ve sabit film prosesleri olarak sınıflandırılır. Askıda prosesler, aktif çamur sistemi ve bunun değişik uygulamalarıdır. Sabit film prosesleri ise damlatmalı filtreler, biyodiskler ve akışkan yataklı sistemlerdir (Sarı, 2005).

2.2. Anaerobik Arıtma

Atık su arıtımında anaerobik parçalanma bir fermentasyon prosesidir. Organik maddenin son indirgenme ürünü olan metan üretimiyle karakterize edilir ve metan üretiminin yanı sıra karbondioksit de son ürün olarak oluşur. Anaerobik parçalanma sırasında oluşan bu iki gaz fazındaki bileşiklerin karışımı “biyogaz” olarak adlandırılır. Bu süreçte oluşan biyogaz metandan dolayı önemli bir enerji kaynağıdır. Anaerobik ve aerobik prosesler arasındaki enerji durumu asetik asidin aşağıdaki reaksiyona göre oksidasyonu ve indirgenmesi sırasında açığa çıkan enerji ile karşılaştırılabilir:



Asetik asitin oksidasyonundan açığa çıkan 207 kcal enerjinin 191 kcal’si kimyasal enerji olarak metan formunda kalmaktadır (Yüceer, 2006).



3. ATIKSU ARITIMINDA KULLANILAN MİKROORGANİZMALAR

Biyolojik arıtma yöntemlerinde, tesis işletmesinin gereği gibi yürütülebilmesi için, öncelikle biyolojik yöntemin mikrobiyolojik esaslarının bilinmesi gerekmektedir. Arıtmada rol oynayan mikroorganizmalar aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir (Samsunlu, 2006).

-Aerobik Mikroorganizmalar: Metabolik prosesler için moleküler oksijen ihtiyaçları vardır.

-Anaerobik Mikroorganizmalar: Oksijensiz ortamda yaşayabilen, enerjilerini organik bileşiklerden sağlayan mikroorganizmalardır.

-Fakültatif Mikroorganizmalar: Oksijenli ortamda aerobik mikroorganizmalar gibi, oksijensiz ortamda ise anaerobik mikroorganizmalar gibi davranan canlılardır.

Biyolojik arıtmada yaygınlıkla kullanılan mikroorganizmalar bakterilerdir. Fungi, protozoa, rotiferler ve algler biyolojik arıtmada etkili olan diğer mikroorganizmalardır.

3.1. Bakteriler

Bakteriler tek hücreli prokaryot canlılar olup binlerce değişik türü bulunmaktadır. Bakteriler şekillerine göre üç gruba ayrılmaktadır.

1. Küresel biçimde olanlar (0,5 - 1 mm. boyutunda)
2. Silindirik biçimde olanlar (eni 0,5 - 1 mm, boyu 1.5-3 mm)
3. Spiral biçimde olanlar (eni 0.5-5 mm, boyu 6-15 mm)

Bakteri faaliyetleri sonunda atıksuyun içerisinde bulunan organik maddeler ayrışmayan son ürüne dönüşürler. Biyokimyasal olaylar, bakterilerin iç bünyesinde meydana gelen reaksiyonlarla olduğundan, besi maddelerinin bakterilerin içerisine alınması gereklidir. Organik maddelerin bakterilerin içerisine girebilmesi için belli bir büyüklüğü geçmemesi gerekir. Maddenin cinsine bağlı olmak kaydıyla bu büyüklük bir karbon zinciri için 8 ile 12 karbon atomudur. Daha büyük olanlar hücrenin dışında parçalanmalıdırlar. Bu olay hidroliz enzimi ile gerçekleştirilir.

Atıksu arıtma sistemlerinde biyolojik arıtımı sağlayan mikroorganizmalardır ve prokaryotik yapıdadırlar. Arıtma sistemlerinde bulunan bakterilerin boyu, $10^3 - 10^5$ (A°) arasında değişir ve düz, küresel, silindirik, spiral, virgül gibi değişik şekillere sahiptirler. Bakteriler tek başlarına ve gruplar halinde yaşamlarını sürdürmektedirler. Birbirlerine ipliksi maddelerle bağlanarak flok oluştururlar. Salmonella, Shigella. Leptaspira,

Pasturella, Vibrio, E. coli, Yersinia, Mycobacterium ve bunların alt türleri gibi değişik bakteri türleri mevcuttur.

Bakterilerin yapısı aynen hücrelerin yapısına benzemektedir. Bakterilerde gerçek bir hücre çekirdeği bulunmayıp yaşamlarını yönlendiren DNA mevcuttur. Bakteriler, salgıladıkları enzimlerle, ortamdaki organik maddeleri parçalayarak bu maddelerin tüketimini hızlandırmaktadırlar. Bakterilerin yapısında, %80 su ve %20 oranında katı madde bulunmaktadır. Katı madde içeriğinin de %50'si karbondan oluşmaktadır. Bakteriler, yapıtaşı olarak inorganik maddeleri bünyelerinde bulundurmalarından başka, yaşadıkları ortamdaki ağır metalleri bünyelerine alarak kendi aktif bölgelerine bağlarlar. Eğer yaşadıkları ortamlarda, istenenden fazla miktarda toksik inorganik maddeler bulunuyorsa, bu maddeler bağlandıkları aktif maddeleri inhibe ederek bakterilerin aktivitelerini düşürürler.

Bakterilerin atıksu arıtma sistemlerinde istenen arıtma verimine ulaşılabilmesi için ortamın pH değeri 6,5-8,5 arasında, ortam sıcaklığının 15-40 °C ve ortamdaki çözülmüş oksijen derişiminin 2 mg/l değerinden büyük olması gerekmektedir. Bakteriler, buldukları atıksu ortamına 6 saat süreyle hava verilmezse ölürlür ve arıtma aktivitelerini sürdüremezler. Atıksu arıtma tesislerinde arıtmayı sağlayan bakteriler istedikleri ortamlarda bulunmazlarsa yaşamlarını sürdürebilirler ancak arıtma aktiviteleri düşer. Bazı bakteriler 55-65°C sıcaklıklarında (Termofilik) aktivitelerini sürdürürlerken diğer bakteriler bu sıcaklıklarda ancak 10 dakika dayanabilirler. Kuru havada, 140-180 °C'lerde yaşayan bakteriler olduğu gibi -190 ile 250 °C'lerde yaşayan bakteriler de vardır.

Hidrojen iyonu konsantrasyonunun bir simgesi olan pH, bakterilerin gelişimine tesir eden önemli çevresel faktörlerdendir. Organizmaların çoğu 9,5'dan büyük ve 4'den küçük pH değerlerinde faaliyet gösteremezler. Genel olarak büyüme için optimum pH aralığı, 6,5-7,5 arasındadır.

3.1.1. Ototrofik bakteriler

Ototrofik bakteriler, kendileri için gerekli olan enerjiyi, basit inorganik bileşiklerin oksitlenmesinden ve hücrelerinin inşa etmek için gerekli karbonu, ya CO₂'den veya karbonattan sağlayan bakterilerdir. Ayrıca ototrofik bakteriler enerjilerini

sağladıkları maddelere göre de sınıflandırılmaktadırlar. Amonyak ve nitritler gibi, inorganik azot bileşiklerinden enerji temin eden bakterilere nitrifikasyon bakterileri: aynı şekilde enerjilerini, hidrojen sülfür, tiyosülfat ve kükürt gibi basit inorganik bileşiklerin oksitlenmesinden sağlayan bakterilere de kükürt bakterileri denilmektedir. İki değerlikli demir bileşiklerinin oksidasyonundan enerji temin eden bakterilere de demir bakterileri denir.

3.1.1.1. Nitrifikasyon bakterileri

Amonyanın, ototrofik bakteriler vasıtasıyla oksitlenerek nitratların teşekkülü iki ayrı organizma grubu tarafından iki safhada gerçekleştirilir. İlk adım olarak amonyak azotu nitrit azotuna dönüşür. Bu işlem Nitrosomonas isimli bakterilerce gerçekleştirilir. İkinci aşamada da nitrit anyonu nitrat anyonuna dönüşür. Bu işlemi de Nitrobacter isimli bakteriler gerçekleştirir. Nitrifikasyon bakterileri içeren aktif bir kültürün oluşturulması uzun zaman alır. Nitrifikasyon olayının gerçekleşmesi, yani Amonyanın nitrit ve nitrat bileşiğine dönüşmesi için, ortamda oksijen bulunması gerekir. Hafif alkali ortamda en yüksek hızla gerçekleşir. Amonyak olmadan nitratları meydana getiren bakteriler olmaz. CO₂'in veya karbonatların mevcut olması gerekir.

3.1.1.2. Kükürt bakterileri

Atıksu arıtma tesislerinde bulunan kükürt bakterileri ototrofik bakterilerdir. Kükürt bakterilerinin bir kısmı hücrelerin içinde, diğer bir kısmı da hücrelerin dışında faaliyet gösterirler. Kükürt bakterileri de azot bakterilerine benzer şekilde kükürtlü bileşiklerin oksitlenmesini sağlayabilirler.

3.1.1.3. Demir bakterileri

Demir bakterileri, atıksularda bulunan Fe⁺² iyonlarını Fe⁺³ iyonlarına yükseltgeyen ototrofik bakterilerdir. Bu grup bakterilerin çoğu içme suyu tesislerinin dağıtım yapılarında yer alırlar. Atıksu arıtma sistemlerinde bulunan demir bakterileri, içme suyu dağıtım sistemlerindeki kadar önemli değildir. Demir bakterilerinin çoğu, demir bileşiklerini okside etmek için gerekli olan enerjilerini, organik bileşiklerin oksitlenmesinden elde ederler.

3.1.2. Heterotrofik bakteriler

Heterotrofik bakteriler, karbon kaynağı olarak organik maddeleri kullanırlar.

Ayrıca enerji kaynağı olarak da organik maddelerin indirgenme ve yükseltgenme reaksiyonlarından elde edilen enerjileri kullanırlar. Atıksu arıtma tesisleri için çok büyük öneme sahiptirler. Biyolojik arıtma ünitelerinde asıl arıtmayı sağlayan bakteriler, organik maddeleri parçalayan heterotrofik bakterilerdir. Birçok heterotrof bakteri olmasına rağmen en önemlileri; nitrat indirgeyen, sülfat indirgeyen, karbonlu maddelerin ayrışmasını sağlayan, azotlu maddelerin ayrışmasını sağlayan bakteriler ile Coli-Aerogenes türü bakterilerdir.

3.1.2.1. Nitrat indirgeyen bakteriler

Anaerobik arıtmada faaliyet gösteren nitrat indirgeyen bakteriler nitratları, nitritlere, amonyağa ve hatta azot gazına kadar indirgeyebilmektedirler. Bu bakterilerin aktivitelerini sürdürmeleri için ortamda oksijenin bulunmaması ve elektron verici olarak karbon kaynaklarının bulunması gerekmektedir. Günümüz koşullarında Türkiye'de atıksuların deşarj limitlerinde azot genelde dikkate alınmamaktadır. Ancak, alıcı ortamlara fazla miktarda verilen azot, bu ortamların kirlenmesine neden olmaktadır. Bu nedenle aerobik arıtma sistemlerinde oluşan azot bileşikleri, daha sonra anaerobik ortamlarda nitrat indirgeyen bakteriler vasıtasıyla denitrifikasyona tabi tutulurlar. Özellikle, gübre, deri ve gıda sanayii atıksularında oldukça fazla miktarlarda azotlu maddeler bulunmaktadır. Bu tür atıksular, aerobik biyolojik arıtma sistemlerinde arıtılırken, içinde bulunan azotlu maddelerin büyük bir kısmı nitrat haline dönüşür. Sistemde bulunan azot miktarının azaltılması için aerobik arıtma prosesini takiben anaerobik denitrifikasyon prosesi devreye alınarak nitrat indirgeyen bakterilerle ortamdaki azot miktarı azaltılır.

3.1.2.2. Sülfat indirgeyen bakteriler

Nitrat indirgeyen bakteriler gibi, sülfat indirgeyen bakteriler de anaerobik heterotrof bakterilerdir. Oksijensiz ortamda anaerobik sülfat indirgeyen bakteriler, elektron alıcı olarak sülfat iyonu içindeki (+6) değerlikli sülfürü kullanarak hidrojen sülfür oluşumunu sağlarlar ve çevrede kötü kokunun oluşmasına neden olurlar. Anaerobik ortamda sülfatın indirgenebilmesi için, ortamda oksijenin olmaması, elektron verici olarak karbon kaynaklarının bulunması, optimum ortam sıcaklığının mevcut olması gibi asgari şartların oluşması gerekmektedir (Kestioğlu, 2001).

3.1.2.3. Karbonlu maddelerin ayrışmasını sağlayan heterotrofik bakteriler

Atıksu içinde bulunan karbonlu maddeler, selüloz, hem selüloz, yağlar, gres ve sabunları ihtiva ederler. Heterotrof bakteriler hem aerobik hem de anaerobik şartlarda bu organik maddeleri parçalayarak stabil halde son ürünlere dönüştürürler. Bu bakterilerin, atıksularda bulunan büyük molekülü organik maddeleri parçalayabilmeleri için arıtmanın türüne bağlı olarak, enzimlerle önce hidrolize tabi tutularak küçük molekülü organik bileşiklere dönüştürülürler. Heterotrof bakterilerin organik maddeleri parçalayabilmesi için ortam sıcaklığının 15 ila 35 °C arasında olması gerekmektedir. Sıcaklık düşer veya yükselirse, bakterilerin aktiviteleri azalır ve istenen parçalanma sağlanamaz. Özellikle 70 °C civarındaki sıcaklıkta, bakteri faaliyetleri tamamen durur. Biyolojik arıtımın meydana geldiği ortamın pH değeri de heterotrof bakterilerin organik maddeleri parçalamasını etkilemektedir.

Genelde pH değerinin ideal değer olan 6,5-8,5 arasında olması istenmektedir. Eğer ortamın pH'ı uygun değerlerde değilse, ortama teknik sodyum bikarbonat ilave edilerek ortam pH'ı tamponlanır ve istenen pH değeri oluşturulur.

3.1.2.4. Azotlu maddelerin ayrışmasını sağlayan heterotrof bakteriler

Atıksu içerisinde bulunan azotlu organik maddeler, değişik kompleks bileşikler içermektedir. En karmaşık azotlu organik bileşik proteindir. Proteinleri ve aminoasitleri parçalamaya muktedir olan birçok heterotrofik bakteri türleri vardır. Atıksu içerisinde bulunan heterotrofik bakteriler önce, ortamdaki karbonlu maddeleri parçalar, karbonlu maddeler bittikten sonra, ortamdaki azotlu maddeleri oksitlemeye başlarlar. Anaerobik arıtımda hem denitrifikasyon hem de organik maddelerin parçalanması aynı anda meydana gelmektedir.

3.2. Protozoalar

Protozoalar, bakterilerden daha iri, mikroskobik protista grubunda yer alan, tek hücreli organizmalardır. Genel olarak aerobik heterotrof olarak faaliyet gösterirler. Atıksu arıtma sistemlerinde, süspansiyon haldeki maddeleri tükettiklerinden dolayı, olumlu etki yapmaktadırlar. Protozoalar, gruplar veya koloniler halinde yaşarlar, çoğunda klorofil bulunmadığından tükettikleri maddelerin enerjilerine muhtaçtırlar. Buna karşın bazı protozoalar sarı veya yeşil renkte fotosentetik pigmentler ihtiva ederler.

3.3. Mantarlar

Mantarlar, klorofilsiz ipliksi bitkilerdir. Mantarlar genel fizyolojik özellikleri bakımından tek hücrelilerden ziyade bakterilere daha yakındırlar. Bazı ipliksi bakteriler şekil olarak mantarlara çok benzerler, bunlar mantarların, bitkisel ve çoğalabilen hücreleriyle ayırt edilebilirler.

Aktif çamur sistemlerinde mantarlar, önemli bir yer tutmaktadır. Biyolojik arıtma sistemlerinde ipliksisilerin dominant hale gelmesi şişkin çamur oluşumuna sebep olmaktadır. Mantarlar hem pH, hem de ortam sıcaklığı bakımından bakterilerden daha dayanıklıdırlar. Biyolojik arıtma sistemlerine herhangi bir inhibisyon maddesi geldiğinde, ortamın pH'ı düştüğünde veya yükseldiğinde, mantarlar 2-9 pH değerleri arasında faaliyet gösterebilirken, aynı şartlarda bakteriler, inaktif duruma geldiklerinden mantarlar dominant hale gelirler ve aktif çamur havuzunu tamamen doldurarak aktif çamurun çökmesini engellerler. Bu olumsuz durumun önlenmesi için havuza, klor veya göztaşı ilave edilmeli, bütün bu tedbirler etkili olmaz ise, havuz tamamen boşaltılarak yeniden bakteri üretimi yapılmalıdır.

3.4. Algler

Algler pigment taşıyan ve atık su içerisinde fotosentez yapabilen ilkel canlılardır. Sarı, yeşil, portakal rengi, mavi, kırmızı veya kahverengi pigmentler içerebilmektedirler. Bu grubun fizyolojik özelliği, içerdikleri bu pigmentler yardımıyla güneş ışığı enerjisinden faydalanabilmeleridir. Genellikle sularda, bazı türleri de karada yaşamaktadır. Algler, suda bulunan inorganik maddeleri kullanarak fotosentez yaparlar ve suya oksijen salarlar. Birçok yerde ortama bol oksijen temin etmek için özellikle alg yetiştirilmektedir.

3.5. Virüsler

Virüsler en basit canlı formları olup parazit olarak diğer organizmaların bünyelerinde yaşarlar. Virüslerin büyüklüğü 30-200 nm arasında değişir. Hücrelerinde DNA ve RNA ihtiva ederler. Virüsler, arıtma sistemlerinde aktif olan heterotrofik bakterilerin aktivitelerini düşürerek arıtma tesisinin verimini etkilemektedirler. Bu nedenle biyolojik arıtma sistemlerinde virüslerin bulunması istenmemektedir. Ayrıca virüsler, insanlara bulaştıklarında birçok hastalığa sebep olmaktadır.

3.6. Mayalar ve Küfler

Atıksu arıtma sistemlerinde mayalara ve küflere de rastlanabilmektedir. Mayalar, 5-10 μm büyüklüğünde tek hücreli organizmalardır. Küresel ve oval şekle sahip olup seksual ya da aseksual olarak çoğalabilirler. İikilenme süreleri 3-6 saattir. Mayalar, atık giderme sistemlerinde pek bulunmazlarsa bile, atıkların yararlı ürünlere (örneğin alkole) dönüştürülmesinde kullanılırlar. Ayrıca mayalar, bünyelerine ağır metalleri bağlayabilirler özelliklerine sahip olduklarından, ağır metallerin gideriminde de kullanılırlar.

Küfler, 5-20 μm büyüklüğünde, filamentli uzantıları olan büyük hücrelerdir ve ikilenme süreleri 5-10 saat arasındadır. Sıcaklık değişimlerine ve aşırı ortam şartlarına dayanıklıdırlar. Küfler genelde nemli yüzeylerde büyürler ve sulu ortamlarda topak oluştururlar (Kestioğlu, 2001).

4. ATIKSULARDA ÖLÇÜLEN PARAMETRELER

4.1. pH

pH çözeltinin asit yada baz olma özelliğinin şiddetini gösteren bir terim olup çözeltide bulunan H^+ iyonu konsantrasyonunu ve daha kesin bir ifade ile hidrojen iyonunun aktivitesini göstermektedir. pH ölçümü elektrometrik, kolorimetrik yollarla ölçülebilir. Ölçüm kolaylığı nedeniyle elektrometrik yöntem standartlarda tercih edilmekte olup, hidrojen iyonu konsantrasyonunun potansiyometrik ölçümü hidrojen elektrodu ile hassas olarak yapılabilmektedir.

4.2. Renk

Yüzeysel suların çoğu, renk giderme işlemi yapılmadan evsel veya endüstriyel kullanımlar için uygun değildir. Çünkü çoğunlukla belli ölçülerde renklidirler. Sular içinde bulunan çözülmüş veya asılı maddelerin çeşidine bağlı olarak sular az veya çok renkli olabilirler. Örneğin hümik asit ve hümatlar, tanin, lignin ve bunun gibi maddeler ile ferrik hümat halinde suda bulunan demir bileşikleri suya renk verirler. Renk tayini yöntemleri, standart renkte çözeltilerle mukayese, spektrofotometre ve kolorimetre gibi renk ölçme cihazları ile tayin, arazi metotları ile tayin gibi metotlardır.

4.3. Çözülmüş Oksijen

Canlı organizmalar, yaşamlarını sürdürebilmek için oksijene gereksinime duyarlar. ÇO (Çözülmüş Oksijen) su içinde çözülmüş halde bulunan oksijen konsantrasyonu anlamındadır ve genellikle mg/l olarak ifade edilir. Azot ve oksijenin her ikisi de suda çok az çözünür ve su ile kimyasal olarak reaksiyona giremediklerinden, çözünürlükleri doğrudan doğruya kısmi basınçları ile ilgilidir.

Tatlı sularda 1 atm basınçta, havanın oksijenin çözünürlüğü, 0°C'de 14,6 mg/l 35°C'de 7 mg/l'dir. Oksijen suda çok az çözünen bir gaz olduğundan çözünürlüğü verilen sıcaklıkta atmosferik basınç ile doğrudan değişmektedir.

Çözülmüş oksijen tayini için Winkler Yöntemi (İyodometrik yöntem) ile bunun çeşitli uygulamalara göre değiştirilmiş şekilleri standart yöntem olarak kullanılmaktadır. Test, alkali şartlarda Mn^{+2} iyonunun, ortamdaki çözülmüş oksijenle daha yüksek değerlere oksitlenmesine ve elde edilmiş yüksek değer

manganezin asit şartlarda (I^-) iyonunu okside ederek serbest I_2^{0} 'a çevirmesine dayanır. Böylece oluşan serbest iyot miktar yönünden numunede mevcut oksijenin eşdeğeri olarak ortaya çıkar. İyot standart sodyum tiyosülfat çözeltisi ile volümetrik olarak ölçülür ve çözünmüş oksijen cinsinden hesaplanıp ifade edilir.

4.4. Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ)

BOİ tayini, sularda mikroorganizmalarca ayrıştırılabilen organik maddelerin miktarını belirlemede kullanılan bir parametre olup, bu maddelerin ayrıştırılması için gerekli oksijen miktarını belirtir. BOİ testi, evsel ve endüstriyel atıksuların kirlilik derecesini belirlemede yaygın olarak kullanılan bir testtir. BOİ deneyi, aerobik oksidasyonda, 20 °C'de, karışık bir mikroorganizma topluluğu tarafından kullanılan oksijen miktarının ölçümünü içeren bir yaşam (Bioassay) testidir. BOİ ölçümlerinde az olarak “Doğrudan Ölçüm Metodu” ve daha çok “Seyreltme Metodu” uygulanır. En çok kullanılan seyreltme metodudur (Samsunlu, 2008).

4.5. Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ)

KOİ, evsel ve endüstriyel atıksuların kirlilik derece belirlemede kullanılan önemli bir parametredir. Biyokimyasal oksijen ihtiyacı ancak ondan farklı olarak organik maddenin biyokimyasal reaksiyonlara değil redoks reaksiyonlarıyla oksitlenmesi esasına dayanır. Biyokimyasal oksidasyonun bazı organik maddelerde çok hızlı cereyan etmesine karşılık diğer bazı maddeler de çok yavaş olması mümkündür. Buna karşılık kimyasal oksidasyonda madde biyolojik olarak ayrışıp ayrışmadığına ve ayrışma hızına bakılmaksızın bütün organik maddeler oksitlenir.

KOİ'nin aynı amaçla kullanılmakta olan BOİ'ye göre en önemli üstünlüğü laboratuvarında kısa sürede belirlenebilmesidir. BOİ değerinin tespiti en az 5 gün sürmesine karşılık, KOİ değeri yaklaşık 3 saat gibi kısa bir sürede ölçülebilmektedir. Bu nedenle birçok durumlarda BOİ yerine tercih edilir.

4.6. Katı Maddeler

Sudaki ve atık sudaki askıda (süspanse) veya çözünmüş haldeki maddeler, katı maddeler olarak isimlendirilir. Katı maddelerin alışılmış tanımı şu şekildedir; Buharlaştırma işleminden ve 103–105 °C'de kurutmadan sonra geriye kalan maddelerin tümü katı madde olarak sınıflanır. Yüksek konsantrasyonlarda katı madde içeren kirlenmiş sular, endüstri

kuruluşlarının çıkış suyu kalitesine ve alıcı suya olumsuz etkiler yapar. Endüstriyel atıksuların arıtılmasında ön çökeltme tanklarının gerekli olup olmadığına karar vermede ve bunların boyutlandırılmasında katı madde miktarının bilinmesi gereklidir. Kimyasal madde kullanımı ve meydana gelecek çamur miktarını etkiler. Arıtma tesisi çıkışında katı madde konsantrasyonunun belli bir limit değeri aşmasına izin verilmez; çünkü alıcı su ortamlarında çökelmelere ve fazla miktarda dip çamuru oluşumuna neden olurlar.

4.6.1. Toplam katı madde

Filtre edilebilen ve filtre edilemeyen katıların toplamıdır. Filtre edilebilen katı maddeye çözülmüş; filtre edilemeye de askıda katı madde denilmektedir. Toplam katı madde su numunesinin su banyosunda buharlaştırıldıktan sonra 103-105°C'de etüvde kurutulması ile geriye kalan maddenin mg/L cinsinden ifadesidir. Basit olarak deney şu şekilde yapılır;

Bir porselen buharlaştırma kabı alınır. Sabit tartıma getirilmiş olan bu kap hassas terazide tartılır. Bunun içine iyice karıştırılmış numuneden 100 ml'lik bir kısım alınarak mezür yardımıyla önceden tartılmış bulunan porselen kaba konur. Bu kap kum banyosunda 100 °C'de buharlaştırılır. Buharlaştırma sonucu kalan katı maddeyi belirlemek üzere porselen kapsül 103-105 °C'de, en az 1 saat etüvde tutulur. Daha sonra kapsül etüvden alınır, desikatörde soğutulur ve tartılır. Yapılan iki tartım yardımı ile numunedeki toplam katı madde konsantrasyonu Denklik 4.1'de verilen eşitlik ile hesaplanır (Samsunlu, 2008).

$$\text{Toplam Katı Madde} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \frac{(A-B) \cdot 1000}{\text{ml numune}} \quad (4.1)$$

A= Kapsül + Numune (mg)

B=Kapsülün Darası (mg)

4.6.2. Toplam askıda katı madde (Askıda katı madde)

Filtre edilemeyen katı maddeler olarak ifade edilen, bu katı maddeler, su numunesinin filtreden geçemeyen kısmının; 103 °C'de etüvde 1 saat kurutulması, desikatörde soğutulup tartılması suretiyle tayin edilir. Bu tayinde su numunesi önce filtre edilir, daha önce sabit tartıya getirilmiş olan filtre üzerindeki kalan maddelerle birlikte 103 °C'deki kurutmadan sonra tekrar tartılır. Bu iki tartım yardımı ile askıda katı madde konsantrasyonu Denklik 4.2'de verilen eşitlik ile tayin edilir.

$$\text{Toplam Katı Madde} \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(A-B).1000}{ml \text{ numune}} \quad (4.2)$$

A= Filtre + Filtre Edilemeyen Katı Maddenin Ağırlığı (mg)

B= Filtre Ağırlığı (mg)

Askıda katı madde miktarı ayrıca toplam katı madde ve filtre edilebilen katı madde verileri yardımı Denklik 4.3'de verilen eşitliğe göre bulunabilir:

$$\text{Askıda katı madde} \left(\frac{mg}{L} \right) = \text{Toplam katı madde} - \text{Filtre edilebilen katı madde} \quad (4.3)$$

4.6.3. Çözünmüş katı madde (Filtre edilebilen katı madde)

Su numunesinin standart cam pamuğu filtresinden geçebilen kısmının 103-105 °C'de buharlaştırılması ile geriye kalan maddelerin mg/L cinsinden ifadesidir. En çok kullanılan standart filtreler 0,45 mm gözenekli Millipore veya Sartanous filtreleridir. 100 ml su numunesi alınır. Filtre yüzeyine filtre kağıdı yerleştirilir. Ölçülmüş numune, hazırlanan filtre üzerinden filtelenir. Filtreden geçen kısım önceden sabit ağırlığa getirilip tartılmış buharlaştırma kabına konarak. 103-105 °C'de buharlaştırılır. Kap tekrar tartılır. Filtre edilebilen katı madde konsantrasyonu Denklik 4.4'de verilen eşitlik yardımı ile hesaplanabilir.

$$\text{Toplam Çözünmüş Katı Madde} \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(A-B).1000}{ml \text{ numune}} \quad (4.4)$$

A= Buharlaştırılan Madde + Kap Ağırlığı (mg)

B=Kapsülün Darası (mg)

Toplam çözünmüş katı madde konsantrasyonu toplam katı madde ve toplam askıda katı madde konsantrasyonları yardımı ile Denklik 4.5'de verilen eşitlik ile bulunabilir.

$$\text{Askıda katı madde} \left(\frac{mg}{L} \right) = \text{Toplam katı madde} - \text{Toplam askıda katı madde} \quad (4.5)$$

4.6.4. Toplam çökebilen katı madde

Bunlar ağırlıkları etkisi ile kendiliğinden çökebilen katılardır. Çökelme hızı parçacıkların büyüklüğüne ve yoğunluğuna bağlıdır. Çökebilen katılar evsel,

endüstriyel ve yüzeysel sularda belirlenmelidir. ml/L olarak hacimsel veya mg/L olarak ağırlık şeklinde ifade edilebilir. Çoğunlukla hacimsel olarak ölçülür. Bu amaçla Imhoff konileri kullanılır. Koniye iyice karıştırılmış 1 L'lik numune konur. 45 dakika çökmeye bırakılır. Sonra koninin kenarlarına yapışanlar yavaşça karıştırılır ve 15 dakika daha bekletilir. Sonra çökebilen kısmın hacmi ölçülür, ml/l/saat olarak ifade edilir. Çoğunlukla da ml/L olarak verilir. Eğer son mg/L cinsinden verilmek istenirse numunenin askıda katı madde konsantrasyonu ölçülür. Bir kaba 1 L su numunesi konarak 1 saat bırakılır. Daha sonra 250 ml çökmemiş kısımdan numune alınarak bu numunenin askıda katı maddesi Denklik 4.6'da verilen eşitlik ile hesaplanır (Samsunlu, 2008).

$$\text{Ç. Katı mad.} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) = \text{Toplam askıda katı mad.} - \text{Çökemeyen askıda katı mad.} \quad (4.6)$$

4.7. Azot

Hava kirlenmesi, su kirlenmesi olaylarının çoğunda azotlu maddeler ilk aranması gereken kirlilik unsurları olmaktadır. Azot doğal dolanımı olan, bakteriler tarafından tüketilmek suretiyle veya kimyasal yollardan değişik oksidasyon kademelerinde bileşikler halinde bulunabilen bir maddedir.

Aktif çamur veya benzeri atıksu arıtma tekniklerinin gerçekleşmesi için sudaki karbonlu maddenin %5'inden daha fazla miktarda azotlu maddenin suda bulunması gerekmektedir. Genellikle evsel atıksuların içerdiği karbon ve azot miktarları arasında bu minimum koşuldan daha elverişli oranlar mevcuttur. Çünkü bir kişinin günde kanalizasyona verdiği karbonlu atık maddenin BOİ karşılığı ortalama 54 g/kişi-gün olduğu halde, toplam azotlu madde miktarı 10 g/kişi-gün olmaktadır. Böylece, atık suda oluşacak BOİ5:N konsantrasyon oranı 100:5 olan minimum gereksinimin çok üzerindedir. Ancak, birçok endüstri suyu, özellikle evsel atıksularının yeterli miktarlarda karışmadığı durumlarda; karbon azot oranları yeterli olmayabilir.

4.8. Fosfor ve Fosfat

Evsel kullanılmış sular, bünyelerinde bakterilerin biyolojik faaliyetleri için gerek duydukları fosforu içerirler. Birçok endüstri kullanılmış suyunda fosforun yeterli olmadığı bilinmektedir. Bu gibi durumlarda dışarıdan anorganik fosfat sisteme verilmelidir. Kompleks polifosfatların tayininde suya derişik sülfürik asit ekleyip,

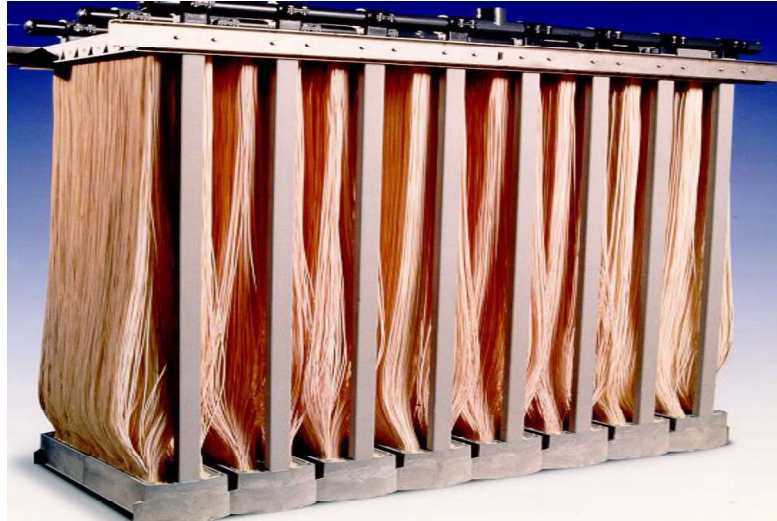
yeterince kaynatmak sureti ile ortofosfora dönüştürmek ve ortofosfat tayinini klasik yöntemlere göre yapmak gerekir. Böylece bulunan toplam anorganik fosfordan asitle kaynatma suretiyle bulunan ortofosfatlar çıkarılırsa, aradaki fark hidrolize olmuş olan polifosfatları verir.

5. MEMBRAN TEKNOLOJİLERİ

5.1. Membran Teknolojilerine Giriş

Membran teknolojisindeki gelişmeyi üç ayrı kısma ayırmak mümkündür. 1950'li yıllar membran sistemlerinin ilk olarak ortaya çıktığı, 1960'lı yıllar araştırmaların yoğunlaştığı dönemdir. 1980 sonrası ise membran proseslerinin endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlandığı dönemdir. Membran belirli türlerin hareketini kısıtlayan, metal, anorganik veya organik polimerlerden yapılan geçirgen veya yarı geçirgen bir malzemedir ve gaz ayırımı, katı/sıvı ve sıvı/sıvı ayırımı gibi amaçlar için kullanılır.

Membran filtrasyon da, doğada bir yarı geçirgen membrandan basınç farkı nedeniyle molekül taşınımında gerçekleşip duran fiziksel prensipten yararlanır. Burada moleküller veya partiküller; büyüklükleri, ağırlıkları ya da yapıları nedeniyle membranda tutulurlar. Membran; por büyüklüğü, porların yüzeyde dağılımı, membran yüzeyinde m^2 başına porların sayısı, membran yükü ve kimyasal yapısı ile tanımlanır. Bu faktörler ve filtrasyonda oluşan örtü tabakası (kek), membran filtrasyon sırasındaki madde taşınımını ve verim, kapasite, geri kazanım oranını etkileyerek, aynı zamanda membran filtrasyonunun ekonomikliğini de belirler (Hacıfettahoğlu, 2009).

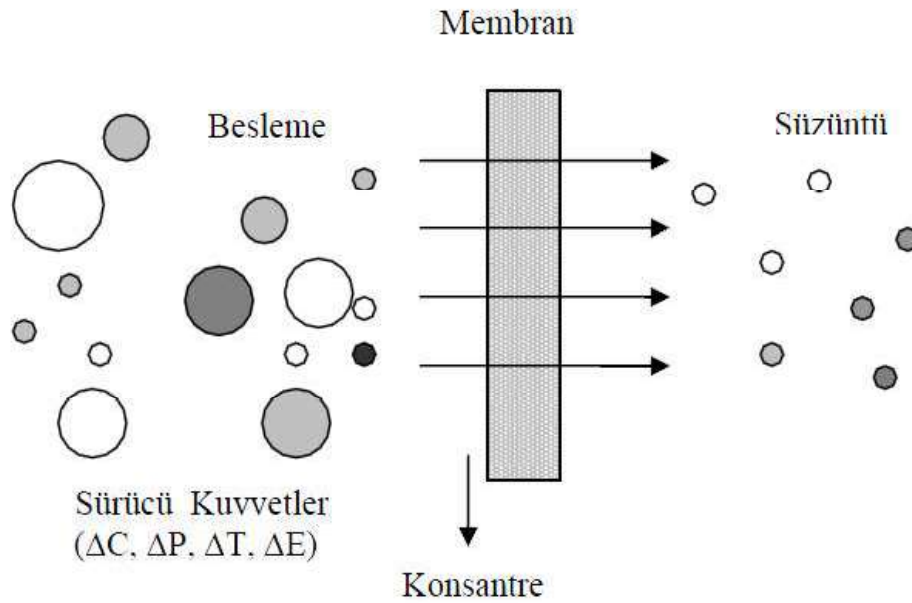


Şekil 5.1. Bir membran film kaseti(Hacıfettahoğlu, 2009).

Membranlar, karışım halindeki pek çok maddenin ayrılması amacı ile kullanılır. Ayırma işlemi iki ana grupta toplanır. Birincisi, çözünmüş maddelerin ayırımı, ikincisi ise tutulmak istenen partiküllerden maddelerin ayrılmasıdır. Membranlar genel olarak;

1. Sıvılardan ve gazlardan mikron boyutundaki partikül filtrasyonu,
2. Sıvılardan kolloidlerin ve büyük ölçekli moleküllerin ayırımı,
3. Sadece iyonik türlerin ayırımı,
4. Sulardan veya diğer sıvılardan bütün askıda katı veya çözünmüş maddelerin ayırımı,
5. Konsantre çözelti elde etmek gibi amaçlar için kullanılır

Membranlarda ayırma işleminde, sürücü kuvvetlerin etkisiyle besleme akımı iki ayrı akıma ayrılır. Membrandan geçen akım “süzüntü”, geçemeyen akım ise “konsantre” olarak adlandırılır. Şekil 2.2’ de bu akımların şematik gösterimi verilmiştir. Membranlar sürücü kuvvetlerine göre basınç, konsantrasyon, elektriksel potansiyel ve sıcaklık farklılığı olarak dört grupta toplanmaktadır (Hacıfettahoğlu, 2009).



Şekil 5.2. Membran atıklarının şematik gösterimi(Hacıfettahoğlu, 2009).

Membranların performansı, akı, alıkoyma veya seçicilik terimleriyle ifade edilmektedir. Akı, birim zamanda membranın birim alanından geçen akım miktarıdır. İdeal bir membranda, yüksek seçicilik ile yüksek akı istenir.

Membran seçimini etkileyen faktörler; besleme suyunun asiditesi, sertliği, pH’ı, sıcaklığı, askıda katı madde miktarı, çözünmüş toplam madde ve klor miktarıdır.

Membran ayırma prosesleri mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF), ters ozmos (RO) ve elektrodializ (ED)’dir. Bu yöntemlerde ayırma,

moleküllerin boyutlarına ve molekül kütlelerine göre olur. Bu membranlar geçirdikleri maksimum molekül ağırlığına göre ayırt edilirler.

5.1.1. Mikrofiltrasyon (MF)

Mikrofiltrasyon genellikle 0,05 - 5 µm arasındaki gözenek boyutları ile karakterize edilmekte olup, daha çok su ortamında partiküler maddelerin, mikroorganizmaların, virüslerin ve koloidal maddelerin giderilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Membran direnci düşük olduğu için düşük basınç altında işletilmekte ve ortalama olarak 2 bar'a kadar olan basınçlarda çalıştırılmaktadır. Eczacılık, gıda ve kimya endüstrilerinde bazı değerli maddelerin konsantre hale getirilmesinde çokça çok kullanılmaktadır.

Mikrofiltrasyonda, akımın membran yüzeyine paralel olarak uygulanması nedeniyle, membrandan geçemeyen konsantre kısım, membran üzerinde birikmektedir. Böylece belirli bir zaman sonra membran yüzeyinde meydana gelen direnç artmaktadır. Membran filtrasyonunda akı değeri azalmakta ve ekonomik olmayan bir konuma gelmektedir. Bu durumda, membranın temizlenmesi ya da membranın yenilenmesi yoluna gidilmektedir.

Günümüzde yaşanan ve gelecekte de daha fazla hissedilebileceği öngörülen su kıtlığı nedeniyle su geri kazanımı konusunda RO (Ters Ozmos) ve NF (Nano Filtrasyon) membranlarla yapılan çalışmalar artış göstermiştir. MF membranları, RO ve NF membranları öncesinde ön arıtma elemanı olarak başarılı bir şekilde kullanılabilir. Böylece, membranların daha ekonomik kullanımı söz konusu olabilmektedir. Bunun yanında, mikrofiltrasyon membranları, saflaştırma, ayırma (meyve suları, şarap ve bira ham maddeleri), sterilizasyon ve konsantre etme işlemlerinde kullanılabilir (Kaykıoğlu, 2010).

5.1.2. Ultrafiltrasyon (UF)

Ultrafiltrasyon, fonksiyon dağılımı mikrofiltrasyon ile nanofiltrasyon arasında kalan membran prosesleridir. Ultrafiltrasyon membranı delik çapı, 0,05-1 nm arasında değişmektedir. Ultrafiltrasyonla besleme çözeltisindeki makro moleküller ve kolloidler tutulur. Ultrafiltrasyonda tutma, moleküler büyüklüğe bağlı olmakla beraber, şekle ve iyonik yüke de bağlıdır, fakat iyonik olmayan maddeleri de alıkoymaz.

Maddelerin iyonize olma seviyeleri moleküler ağırlık engelleme sınırı olan MWCO ile ifade edilir. Belirli bir MWCO değerinin altındaki maddeler membranda tutulamaz. Her membran için tanımlanan MWCO değeri farklıdır. Bu değer, çalışma koşullarına, besleme çözeltisinin kimyasal içeriğine ve moleküler özelliğe bağlı olarak değişebilir. Ultrafiltrasyon membranlar tarafından, moleküler ağırlıkları 1.000-1.000.000 arasında değişen maddeler tutulur. İlk olarak üretilen ultrafiltrasyon membranları polimerik ve organik yapıya sahip ise de şimdi, seramik membranlar da geliştirilmiştir.

Ultrafiltrasyon membranları genellikle yatay akışlı olarak işletilir. Akım membran yüzeyine paraleldir ve membran yüzeyindeki konsantrasyon artışı süpürme ile azaltılabilir. Bu durumda akı azalması minimuma indirilerek membranın ekonomik ömrü arttırılabilir. Yatay akış ile membranın devamlı surette temizlenmesi ve dolayısıyla temizlik için gerekli kimyasal madde ihtiyacı da azaltılmış olur.

UF başlıca, gıda, içecek, metalürji, tekstil (indigo), eczacılık, otomotiv, su arıtımı vb. birçok endüstriyel alanda ve atık suyun arıtılmasında, ön arıtma amaçlı olarak kullanılmaktadır.

5.1.3. Nanofiltrasyon (NF)

Nanofiltrasyon membranları, ters ozmos gibi moleküler ağırlıkları düşük inorganik tuzların, glikoz, sakkaroz gibi küçük organik moleküllerin (çapı 0,001 μm 'den büyük maddelerin gideriminde) çözeltiden ayrılması amacıyla kullanılmaktadır. Gözenek çapları bakımından ultrafiltrasyon ve ters ozmos membranları arasında kalmaktadır. Nanofiltrasyon membranlarının MWCO değeri, 100-300 aralığında değişmektedir. Nanofiltrasyon membranları, ters ozmostan daha düşük basınçlarda (10-20 bar) çalışmaktadır. Membranlarda, Na^+ , Cl^- gibi tek değerlikli iyonların tutulma oranı düşük iken, Ca^{+2} , CO_3^{-2} gibi çok değerlikli iyonların tutulma oranı çok yüksektir.

Nanofiltrasyon membranlarının endüstride; tuzlu peynir sularının arıtımında, süt endüstrisi atıksularının geri kazanılmasında, tekstil endüstrisinde renk, gıda ve eczacılıkta organik maddelerin konsantre edilmesi ve tuz giderilmesinde kullanımı mümkün olabilmektedir.

5.1.4. Ters ozmos (RO)

Ters ozmos membranları molekül ağırlığı çok düşük olan bütün çözünmüş organik ve inorganik maddeleri çözeltilerden ayırmak amacıyla kullanılmaktadır. Ters ozmos 0,0001 ile 0,001 μ (1-10 0A) arasındaki partikülleri tutabilmektedir.

Ters ozmos membranların çalışma prensibi doğal durumda meydana gelen ozmos olayının tersi olarak ifade edilebilmektedir. Ozmotik basınç, konsantrasyonları farklı iki ayrı çözeltinin (saf su-tuzlu su) yarı geçirgen bir membran tarafından ayrılmasıyla ortaya çıkmaktadır. Ozmos olayında saf su yarı geçirgen membrandan geçerek tuzlu su ortamına yani az yoğun ortamdan çok yoğun ortama doğru akmaktadır. Bu akım, iki bölme arasındaki konsantrasyon farkı sıfıra düşene kadar devam etmektedir. Suyun membran içinden geçerek tuzlu su ortamına transferi, buradaki basıncı ozmotik basınç olarak tanımlanan bir basınç değeri kadar yükseltmektedir.

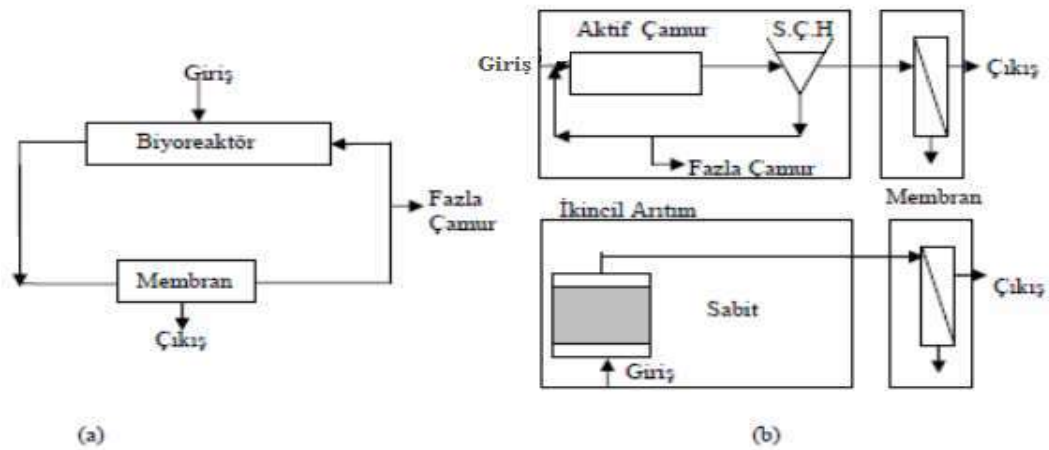
Ters ozmos membranlarında, 30-100 bar aralığında yüksek basınç uygulanması gerekmektedir. Günümüzde, membranlarda gerçekleştirilen gelişmeler ile uygulanan basınç besleme suyuna göre 10 bar'a kadar düşürülmüştür.

Ters ozmos prosesi tekstil atık sularından renk giderimi, elektro kaplama endüstrisinde metal geri kazanımı, mezbaha atık sularının arıtımı, gıda endüstrisinde geri kazanım, sızıntı suyu arıtımında, kâğıt endüstrisinde renk giderimi, demir çelik endüstrisinde, madencilikte, tarımsal drenaj sularının tekrar kullanılması vb. birçok endüstride kullanılmaktadır.

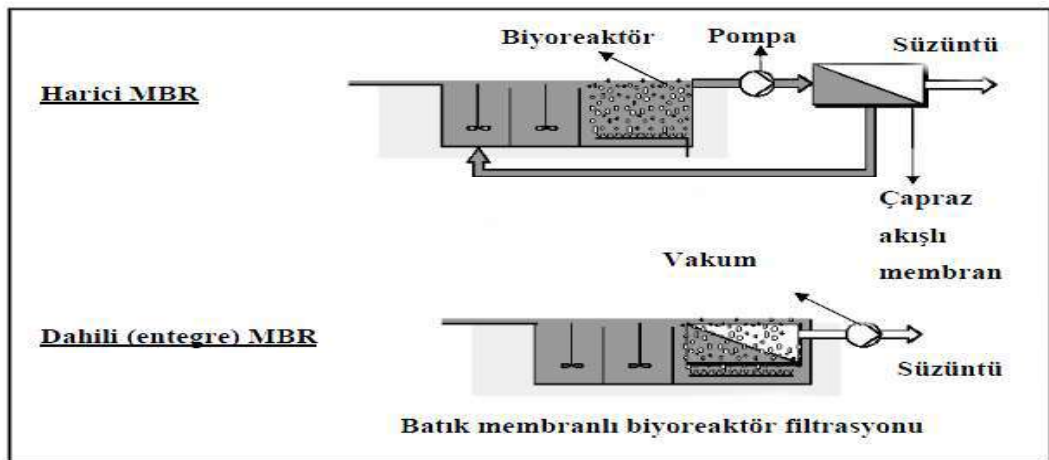
6. MEMBRAN BİYOREAKTÖRLER

6.1. Genel Prosesin Tanımlanması

Membran biyoreaktör, biyolojik parçalanma ve membran ayırma işlemi şeklindeki iki temel prosesin kombinasyonu olarak tanımlanabilir. Membran ünitesinde süspansiyon katıların ve biyolojik parçalanmayı gerçekleştiren mikroorganizmaların arıtılan sudan ayrılması, Şekil 6.1a’da olduğu gibi tek proses olarak ifade edilebilir. Bütün biyokütle, hem reaktördeki mikroorganizma bekletme zamanını (çamur yaşı) hem de çıkış suyunun dezenfeksiyonunu sağlamak amacıyla sistem içinde tutulmaktadır. Buna göre; MBR prosesi, membran filtrasyonunun aktif çamur veya sabit film prosesleri gibi biyolojik proseslerin akım yönüne yerleştirildiği arıtma proseslerinden ayırt edilmelidir. Bu durumda, MBR prosesi üçüncü arıtma tekniği olarak ifade edilebilir (Dere, 2010).



Şekil 6.1. Membran biyoreaktörün akım şeması (Dere, 2010).



Şekil 6.2. MBR konfigürasyonları (Dere, 2010).

MBR prosesinin genel işletiminde giriş suyu biyoreaktöre girmekte ve burada biyokütle ile temas geçmektedir. Karışım, biyoreaktörden pompalanmakta ve basınç altında membrandan filtrelenmektedir. Bütün biyokütle biyoreaktöre geri devir hattı ile verilirken, süzüntü suyu sistemden dışarıya atılmaktadır. Fazla çamur sabit bir çamur yaşını sağlamak için dışarı atılmakta ve membran düzenli bir şekilde geri yıkama, kimyasal yıkama veya her ikisiyle temizlenmektedir.

Atık su arıtımında mikroorganizma olarak genellikle beyaz çürükçüller kullanılmaktadır.

6.2. Membranların Yapısı ve Sınıflandırılması

Membran proseslerde kullanılan membranlar ayırma mekanizmalarına, morfolojilerine, geometrilerine ve kimyasal yapılarına göre sınıflandırılırlar. Kullanılan membran tipine göre, membran proseslerin gösterecekleri performanslar önemli ölçüde değişmektedir (Kaleli, 2006).

6.2.1. Ayırma mekanizmalarına göre sınıflandırma

Membranlar ayırma mekanizmalarına göre porlu, porsuz ve iyon değiştirici membranlar olarak sınıflandırılırlar. Porlu Membranlar da konvektif madde taşınımı, porsuz membranlarda çözünme-difüzyon modeli, iyon değiştirici membranlarda ise elektrokimyasal etkiler söz konusudur.

6.2.2. Morfolojilerine göre sınıflandırma

Membranlar morfolojilerine göre simetrik, asimetrik ve ince filmlili kompozit membranlar olarak üçe ayrılmaktadır. Simetrik membranların (boşluklu ve boşluksuz) kalınlıkları 10 – 200 µm arasında değişmektedir. Asimetrik membranlar, üniform olmayan bir yapıya sahiptirler ve kalınlığı 10 – 200 µm arasındadır. İnce filmlili kompozit membranlar ise asimetrik membranların en üst kısmına, ince bir tabakanın yerleştirilmesiyle oluşturulur. İnce tabaka, toplam membran kalınlığının %1' i kadardır.

6.2.3. Geometrilerine göre sınıflandırma

Membranlar, geometrilerine göre tabaka ve silindirik tarzlı olmak üzere sınıflandırılırlar. Tabaka membranlar, spiral sarım ve plaka-çerçeve, silindirik membranlar ise tüp (tubular) ve boşluklu elyaf (hollow fiber) şeklinde bulunmaktadır.

Tüp şeklindeki membranların iç çapı 3 mm'den büyük ve boşluklu elyaf membranların ise 3 mm'den küçüktür.

6.2.4. Kimyasal yapılarına göre sınıflandırma

Membranlar kimyasal yapılarına göre organik veya anorganik olarak sınıflandırılabilirler. Organik membranların ana maddesi polimerlerdir. Yaklaşık 130 adet polimer membran üretimi için kullanılabilir. Ancak membran ömrü ve proses ihtiyaçları düşünüldüğünde belli sayıda polimer membran üretimi için kullanılmaktadır.

Anorganik membranlar, organik membranlara göre kimyasal ve termik olarak daha dayanıklıdır. Ana yapı maddelerine göre anorganik membranlar; seramik, cam ve metalik membranlar olarak sıralanabilir. Anorganik membranların en büyük dezavantajları organik malzemelere göre daha kolay kırılabilmesi ve pahalı olmalarıdır. Bu yüzden geniş kullanım alanına sahip değildir (Kaleli, 2006).

- Membran proseslerinin temel kullanım alanları aşağıdaki gibi sıralanabilir; Katı partiküllerin ayrılması
- Çözeltinin konsantre edilmesi
- Atık sudan değerli maddelerin geri kazanılması
- Çok kirli suların arıtılması

Membranlarla arıtma işlemi sürücü kuvvetlerin etkisiyle gerçekleşir. Sürücü kuvvetler akımın membranın bir tarafından diğer tarafına geçişini sağlar. Bu sürücü kuvvetlerindeki faz arasındaki basınç, sıcaklık, konsantrasyon ve elektriksel potansiyel farklarıdır.

6.3. Membran Biyoreaktör Avantajları ve Dezavantajları

Klasik biyolojik atık su arıtma proseslerinde zamanla inert madde birikimi meydana gelmekte ve biyokütlenin canlılığı oldukça azalmakta; biyokütleyi belli bir oranda tutmak için sıvıdan ayrılan çamurun geri devrettirilerek reaktörde biriken konsantre halini havalandırmada güçlüklerle karşılaşmaktadır. MBR'nin oluşumunda biyolojik atık su arıtma prosesine doğrudan membran birimini eklemenin birçok avantajları vardır (Dere, 2010).

Avantajları;

Membran arzu edilen biyokütle ayırımını sağlar. Böylece konvansiyonel aktif çamur sistemlerinin dizayn ve işletilmesinde çok önemli bir yer tutan çökeltici ihtiyacı elimine edilmiş olur.

- Biyokütlenin biyoreaktörde alıkonulması, daha iyi mikrobiyal popülasyon kontrolü sağlar; nitrifikasyon için ve daha kompleks organik maddelerin parçalanması için ihtiyaç duyulan ve çok yavaş gelişen mikroorganizmaların gelişmesini kolaylaştırır (Dere, 2010).
- Ayrıca membran birçok extra selüler enzimleri ve çözünebilir oksidantları alıkoyabilir (bu enzimler ve oksidantlar, atık su arıtımı için daha aktif biyolojik çevre oluştururlar).
- Ayrıca aktif çamur yüksek biyokütle konsantrasyonlarında tutulabilir. Sonuç olarak toplam sistem hacmi azalır ve tesisin kapladığı alan da azalır (Dere, 2010).
- Havalandırma tankındaki karışık sıvı konsantrasyonu (mixed liquor), kentsel atık su MBR'lerde genelde 25.000 mg/L'dir. Konvansiyonel aktif çamur sisteminde ise <5.000 mg/L'dir (çökeltmede oluşacak problemlerden kaçınmak için bu konsantrasyon düşük seviyede tutulur).
- MBR sistemlerle çalışan bazı endüstriyel prosesler de, daha yüksek biyokütle konsantrasyonlarında başarıyla çalışabilir (>80.000 mg/L).
- Yüksek biyokütle konsantrasyonunun kullanımı, çamur bertarafıyla ilgili maliyeti azaltabilir.
- MBR'lar ayrıca atık suda bulunan nütrient seviyelerindeki dalgalanmaları daha iyi idare edebilir.

Dezavantajları ise,

- Modüllerin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması
- Membran bütünlüğü (arıza tespit, kullanım ömrü)
- İşletme maliyetinin yüksek olması (Yüksek enerji sarfıyatı)
- Yoğun kirlenmeden ötürü yoğun temizlik çalışmaları
- Daha yüksek MLSS konsantrasyonları sebebiyle düşük oksijen transferi oranlarıdır.

7. LİTERATÜR ÇALIŞMALARI

MBR sistemleri ilk olarak kentsel atık suların arıtılması ve yeniden kullanılması için kullanılmıştır. MBR'lar, kompakt özellikte olmaları ve yeniden kullanılabilir olmaları çıkış suyu kalitesi elde edilebilmesi gibi avantajları nedeniyle, arazi sıkıntısı olan bölgelerde ideal bir atık su arıtım teknolojisi olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenlerden dolayı birçok farklı MBR sistemleri tasarlanmıştır. Daha önceki yıllarda membran ünitelerinin yüksek yatırım maliyetleri nedeni ile kentsel atık suların MBR teknolojisi ile arıtılması sadece küçük ölçeklerle sınırlı kalmıştır.

Bir diğer çalışmada da zıt akışlı mikrofiltrasyon prosesinin ileri bir arıtma tekniği olarak kullanılmasının daha etkili olduğu belirtilmiştir. Fakat membran tasarımı ve optimizasyonundaki gelişmelere ve membran teknolojisi üzerinde çalışan firma sayısının artmasıyla, kentsel atık suların MBR sistemleri ile arıtılmasında maliyetlerin azalacağı düşünülmektedir. Son on yıllık süreçten günümüze kadar polimer teknolojisindeki gelişmeler, polimer üreticileri arasındaki rekabetten dolayı membran fiyatlarını oldukça düşürmüştür.

Endüstriyel atık suların en önemli iki özelliği yüksek organik kirlilikler ve arıtmaya dirençli bileşenlerdir. Bu nedenle geleneksel arıtım tekniklerinin yanında MBR gibi alternatif arıtım teknolojilerine de ihtiyaç duyulmaktadır. Aerobik membran biyoreaktör sistemleri, endüstriyel atık suların arıtılmasında anaerobik arıtımla birlikte kullanılan bir arıtım teknolojisi haline gelmiştir. Genel olarak yüksek miktarda KOİ değerine sahip atık sular, anaerobik sistemler ile arıtıldığından dolayı, endüstriyel atık sularda MBR teknolojisi de bu proses etrafında geliştirilmiştir. İlk olarak Degremont firması seramik ultrafiltrasyon membran ekipmanı içeren bir aerobik biyoreaktör tasarlayarak, Fransa'daki bir kozmetik endüstrisi atık suyun arıtılmasında uygulamaya başlamıştır. Bu arıtım sisteminde, çıkış suyu kalitesinin doğrudan kullanıma uygun nitelikte olduğu gözlenmiştir.

Gıda endüstrisi proseslerinde oldukça fazla miktarlarda su tüketilmekte ve yüksek organik madde içeriğine sahip atık su oluşmaktadır. Endüstrinin temel kirletici yüklerini ise yüksek BOİ₅ ve KOİ yanında, toplam askıda katı madde, yağ-gres ve nutrientler oluşturmaktadır. İngiltere'de bir nişasta işleme prosesinde, anaerobik arıtımla desteklenen bir MBR sistemi işleme alınmıştır.

Amerika’da bir otomobil fabrikasında sentetik metal sıvıları ve yüksek miktarda yağ gres içeren, 116 m³/gün debiye ve 6,3 kg KOİ/m³.gün yüke sahip atık sular, aerobik MBR sistemi ile arıtılmıştır. Sonuç olarak %94 KOİ arıtımı elde edilmiş ve yağ-gres içeriğinde önemli oranda düşüş sağlanmıştır (Kaleli, 2006).

Cripps ve arkadaşlarının çalışmasında beyaz çürükçül fungusların çeşitli enzimleri sentezleme yetenekleri ile boya renk giderimi alanında kullanım olanaklarını incelemiştir. Bu çalışmada Lignin peroksidaz (LiP) üreten kahverengi çürükçül fungus Poliporusostreiformis’in boya renk giderim aktivitesinin *P. chrysosporium*’dan daha yüksek olduğunu saptamışlardır (Cripps, vd., 1990).

Minussi ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada *T. Versicolor* ve *T.villosa* beyaz çürükçül funguslarının Reactive Blue 19 tekstil boyasını %100 renginin giderildiğini gözlemlemiştir (Minussi, vd.,2001).

Bumpus’un yaptığı çalışmada kristal viyolenin renginin *P. chrysosporium* miselleri ve kültür filtratı ile giderilebileceğini ve bu aktivitenin glukoz ve H₂O₂ eklenmesi ile arttığını rapor etmiştir (Bumpus, 1995).

Ramalho ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmalarında bir ascomycete maya türü olan *Issatchenkiaoccidentalis* pek çok azo boyasının renk giderim çalışmalarında kullanılmıştır. 0,2 mg boya, %2 glukoz ve temel mineral tuzlar içeren sıvı besiyerinde gerçekleştirilen bu çalışmada, mikroaerofilik koşullarda ilk 15. saatte rengin %80’den fazlasının giderildiği gözlenmiştir. Buna karşın anoksik koşullarda herhangi bir renk giderimi oluşmadığı belirlenmiştir (Ramalho, vd.,2004).

Işık ve Sponza, iki azo boya türü ile yapılan çalışmada (Congo Red ve Direct Black 38) renk giderimini gerçekleştirmek için iki fakültatif mikroorganizma (*Escherichia coli* ve *Pseudomonas sp.*) kullanarak anaerobik ve aerobik ardışık reaktör sistemi kullanılmıştır. Mikroorganizmalar 5 gün boyunca 100mg/L boya ve 1000 mg glikoz-KOİ/L içeren ortamda yetiştirilmiştir. CongoRed ve Direkt Black 38 boyalarından meydana gelen renklerin, *Escherichiacolik* kullanılan anaerobik şartlarda sırasıyla %98 ve %72 ve yine anaerobik şartlarda *Pseudomonas sp.* kullanılarak sırasıyla %100 ve %83 oranında renk giderimi elde edilmiştir. Ancak, aerobik şartlarda herhangi bir renk giderimi gözlenmemiştir (Işık ve Sponza, 2003).

Kapdan ve ark., boyar madde içeren tekstil atıksuyunun anaerobik/aerobik ardışık reaktörde fakültatif mikroorganizmalar kullanılarak renk giderimi incelemiştir. Anaerobik şartlarda 18 saat hidrolik bekleme süresi sonunda %85 oranında renk giderimi elde edilirken aerobik şartlarda renk giderimi %15 gibi önemsiz değerlerde bulunmuştur (Kapdan, vd., 2003).

Çetin ve Dönmez tarafından yapılan çalışmada anaerobik ortamda renk giderimini belirlemek için üç farklı boya türü kullanılmıştır. 24 saatlik inkübasyon süresine göre yapılan denemede Reaktif Red RB %95, Reaktif Black B %91, Remazol Blue %64 oranında giderilmiştir. Çalışma anaerobik şartlar altında karışık kültürlerin atık suların renk gideriminde etkili olduğunu ortaya koymuştur (Çetin ve Dönmez, 2005).

Cripps ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada *P.chryosporium*'un azo ve heterosiklik boya Orange II, Tropaeolin O, CongoRed, Azure B boyalarını biyolojik olarak yıktığı gösterilmiştir. Bu çalışmalarda renk giderimi oranının boya kompleksliği, azot varlığı ve kültürdeki ligninolitik aktiviteye bağlı olarak değiştiği belirtilmiştir. Düşük azot konsantrasyonunda rengin %90'ı yüksek azot konsantrasyonunda ise rengin %3-93'ü giderilmiştir. Genellikle azot sınırlamasının sağlanması, lignolitik aktiviteyi artırarak lignin peroksidaz ve Mn bağımlı peroksidaz aktivitesini arttırmakta ve böylece renk gideriminin arttığı gözlenmiştir (Cripps, vd., 1990).

Ramsay ve Nguyen'in yapmış olduğu çalışmada *T.versicolor*'ın Amaranth, Tropaeolin, R.blue 15, Congored, R.Black 5, Cibacron Brilliant Red 36-P, Cibacron Brilliant Yellow 3B-A ve Remazol Brilliant Blue R boya üzerindeki renk giderimi etkisi araştırılmıştır. Bu çalışma 2 g/L glukoz ve 30-55 mg/L boya içeren sentetik besiyerinde gerçekleştirilmiştir. Spektrofotometrik analizler sonucunda Amaranth, Tropaeolin O, CongoRed, R.blue 15 ve R.black 5'in sırasıyla 3,5; 24,8; 22; 20 ve 48 saat sonra tamamen renklerinin giderildiği saptanmıştır. Fakat Cibacron BrilliantRed 36-P, Cibacron Brilliant Yellow 3B-A ve Remazol Brilliant Blue R boya renklerinin kısmen giderildiği belirtilmiştir (Ramsay ve Nguyen, 2002).

Shin ve ark., hint keneviri üzerine sabitleştirdikleri *Trametes Versicolor* ATCC 20869 suşunun renk giderim aktivitesini araştırmışlardır. 4 haftalık inkübasyon süresi sonunda, sabitleştirilmiş mantarın Amaranth boyasının (50 mg/L) rengini glukoz eklemesi

yapılmaksızın $5 \text{ mg L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ oranında giderdiği belirlenmiştir. 1 g L^{-1} glukoz eklemesi yapıldığında boyanın çok daha hızlı ($8 \text{ mg L}^{-1} \text{ h}^{-1}$) parçalandığı gözlenmiştir. Bu çalışma sonucunda renk giderimi siklusunun sayısı arttıkça giderim veriminin azaldığı anlaşılmıştır (Shin, vd.,2002).

Mercimek'in yapmış olduğu çalışmasında; özellikle boya ve tekstil endüstrisi işletmeleri tarafından kullanılan ve bu işletmelerden çevreye bırakılan atık su içerisindeki önemli kirlilik faktörü olan sentetik boyar maddelerin düşük maliyetle ve kısa sürede biyolojik olarak arıtılması sağlanmıştır (Mercimek, 2007).

Gürel ve Büyükgüngör'ün çalışmalarında. Membran biyoreaktör sistemleri ile konvansiyonel arıtma sistemleriyle karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada membran biyoreaktör sistemleri genel olarak incelenmiş ve bu sistemlerle ilgili avantajlar ve dezavantajlara yer verilmiştir (Gürel ve Büyükgüngör, 2011).

Kaykıoğlu'nun çalışmasında, dokunmuş kumaş terbiyesi yapan bir tekstil endüstrisinden kaynaklanan atıksuların, aerobik ve anaerobik ön arıtılmasının ardından membran uygulamaları ile elde edilecek süzüntü suyunun proste tekrar kullanım olanakları değerlendirilmiştir (Kaykıoğlu, 2010).

Büyükdere'nin çalışmasının amacı; tekstil endüstrisinde oluşan endüstriyel kaynaklı atıksuların üretim prosesleri ile tesis içi kontrol yöntemleri ve uygulanacak arıtma teknolojileri yönünden tekstil endüstrisi için tanımlanmış teknikler ile arıtılıp proses içinde veya tesis içinde geri kazanılabilirliğinin araştırılmasıdır. Bu çerçevede, bir endüstriyel iplik üretim tesisinde oluşan atıksuların membran teknolojileri kullanılarak arıtılması ve bu suyun tesis içinde geri kazanım alternatifleri incelenmiştir. (Büyükdere, 2008).

Swamy J, ve Ramsay, JA in çalışmasında tekstil boyalarından Amarath, Remazol Black B, Remazol Orange, Remazol Brilliant Blue, Reactive Blue, Tropaeolin O boya ve *P. chrysosporium*, *T. versicolor* ve *Bjerkanderara sp.* beyaz çürükçül funguslarıyla yaptığı renk giderim deneylerinde pH 4.5'ta en iyi sonuç verdiği görülmüştür (Swamy, ve Ramsay, 1999).

TH Kim'in çalışmasında da, bey Trametes versicolor mantarları kullanılarak membran biyoreaktör de (MBR) boya çözeltilerinin renk giderimi incelenmiştir. Bu süreçte farklı tipte reaktif boya solüsyonları kullanılarak giderim oranları araştırılmıştır. Trametes versicolor un organik boya giderimi için etkisi bulunmuştur (TH Kim, 2004).

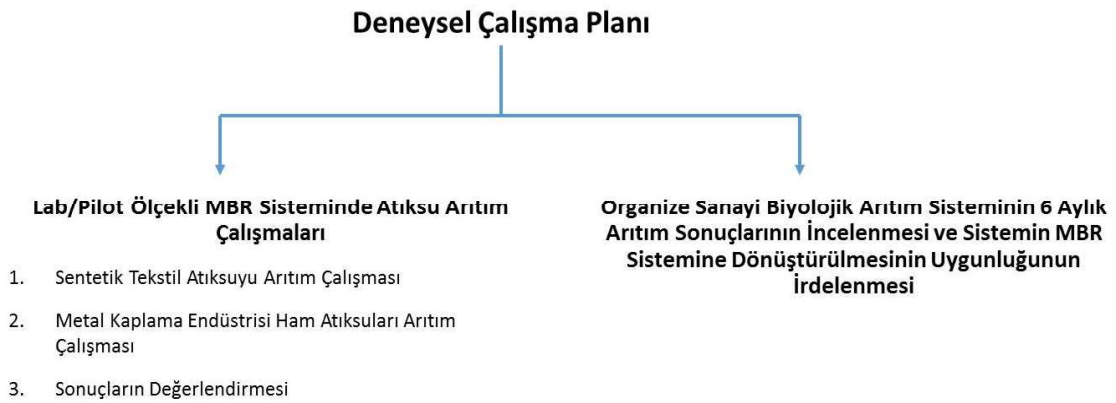
Davies ve arkadaşları, ızgaradan geçirilmiş evsel atıksuyu plaka tipli membran modülünden oluşan batık membran-aktif çamur sistemini 16000 mg/l MLSS'de ve 4,5 saat hidrolik bekletme süresinde çalıştırarak 4 mg/l BOİ5 ve 5 mg/L NH₄⁺-N konsantrasyonlarına sahip çıkış suyu değerlerine ulaşmışlardır. Biyoreaktördeki çamur yaşı yaklaşık 45 gün tutulmuştur. Sözü edilen tesisin maliyeti 1 Ml/gün evsel atıksu için 8,5 p/m³'den başlamış (arazi ve inşaat maliyeti dâhil), 16,58 Ml/gün evsel atıksu için 6,8 p/m³' e düşmüştür (Davies, 1998).

Mert'in çalışmasında, deri üretimi esnasında krom tabaklama işleminden oluşan atık sulardan membran prosesleri ile Cr(III) ve proses suyunun geri kazanılması amaçlanmıştır. Çalışmanın amacına yönelik olarak hem Cr(III) içerikli sentetik atık sular hem de krom tabaklama deri atık suları ile çalışmalar yürütülmüştür (Mert, 2009).

Dere'nin yapmış olduğu çalışmasında kentsel atıksuyun membran biyoreaktörde; sıcaklık, pH, Askıda Katı Madde (AKM), iletkenlik, Çözünmüş Oksijen (ÇO), Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (BOİ) Toplam Azot (TN), Toplam Fosfor (TP) gibi parametrelerin ölçümü yapılarak çalışma koşulları gözlemlenmiştir. Aktif çamur flok yapılarının incelenmesi ile protozoa ve metazoaların teşhisi için binoküler faz kontrast ışık mikroskopunda 10x, 40x ve 100x' lik büyütmelemler kullanılarak Membran Biyoreaktörün atık su giderim verimi ve aktif çamurdaki protozoa ve metazoa çeşitliliği incelenmiştir. Arıtılmış kentsel atık suyun özellikleri deşarj standartlarıyla karşılaştırılmıştır. Arıtılmış su parametrelerinin istatistiksel analizi yapılmıştır (Dere, 2010).

8. MATERYAL METOD

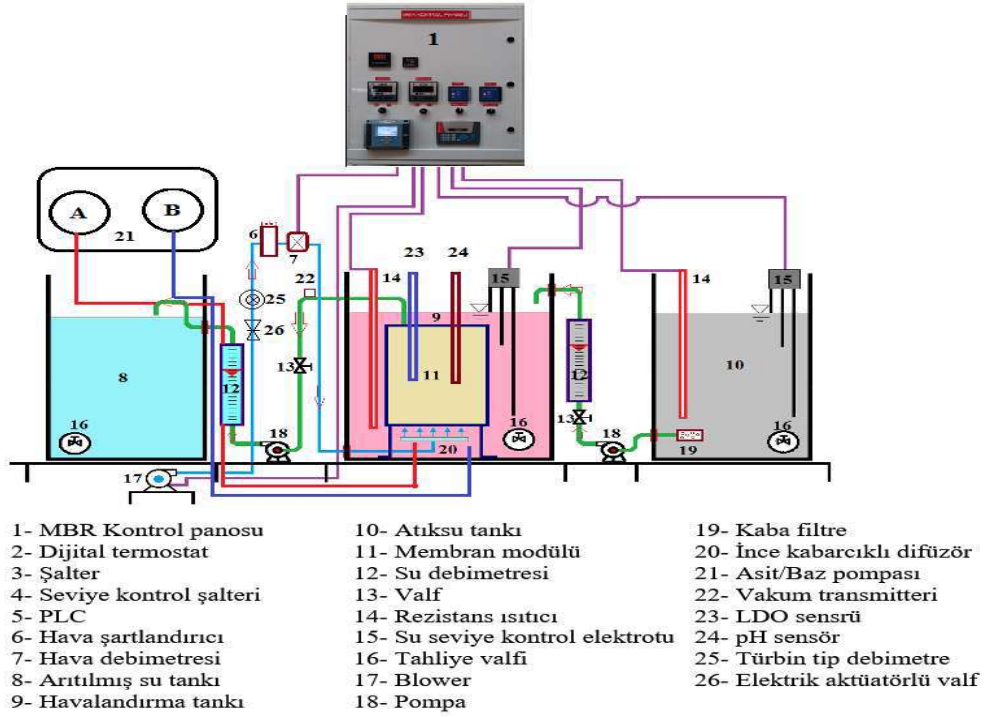
Deneysel çalışmalar Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya ve Süreç Mühendisliği laboratuvarında bulunan lab/pilot ölçekte membran biyoreaktör (MBR) sisteminde ve Bilecik 1. Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisinde bulunan biyolojik arıtım sisteminde aşağıdaki deneysel çalışma planı çerçevesinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 8.1 Deneysel çalışma planı

8.1. MBR Sistemi

MBR sistemi 220 L'lik pleksiglas malzemedan imal edilmiş 1 adet havalandırma tankından (efektif hacmi yaklaşık 170 L'dir) ve 2 adet 145 litre kapasiteli besleme ve deşarj tankından oluşmaktadır. Membran modülü toplam 1,5 m² alana sahip olup, por büyüklüğü 0,08-0,3 µm olan 6 adet plaka-çerçeve tipi ultrafiltrasyon membran kasetinden [Polivinildifloride (PVDF) + Polyetiletetraftalat (PET)] ibarettir. Havalandırma, membran modülünün altına yerleştirilen disk formunda membranlı difüzör ile sağlanmıştır. Difüzör, aynı zamanda membranların üzerinde kek tabakası oluşumunun etkisini de azaltmaktadır. MBR panoya yerleştirilen kumanda elemanları ile kontrol edilmektedir (Özan, vd., 2014) Membrandan süzüntü akışı, düşük motor gücü ile yüksek basınç elde edebilen 220 V ile çalışan Periferik pompa ile sağlanmaktadır. Deneysel arıtım çalışmalarının gerçekleştirildiği. MBR Sisteminin şematik çizimi Şekil 8.2'de ve sistemin fotoğrafı Şekil 8.3'de verilmektedir.



Şekil 8.2. Lab/Pilot ölçekte dâhili MBR sisteminin şematik çizimi.



Şekil 8.3. Lab/Pilot ölçekte dâhili MBR sistemi

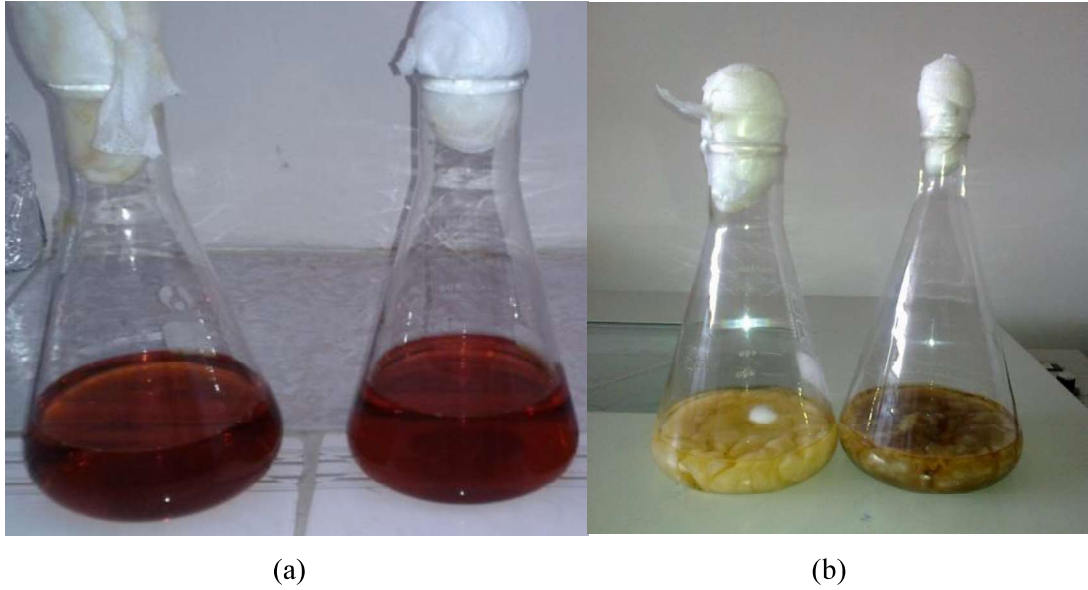
8.1.1. Mikroorganizmaların üretimi

Aspergillus versicolor ve Rhizopus arrhizus mantar suşları Ankara Üniversitesi Biyoloji Bölümü Biyoteknoloji Laboratuvarı Kültür Koleksiyonundan temin edilmiştir.

Stok kültürleri PDA'lı besiyerinde +4°C'de saklanmıştır. Renk gideriminde kullanılan fungal biyokütlenin üretilmesi amacıyla Minimal ve Complete Yeast Medium gibi çeşitli besiyeri hazırlanarak stok kültürden erlenlerdeki besiyeri ortamına ekim yapıp, inkübasyona bırakılmıştır. Fungal biyokütle üretiminde kullanılan besiyeri bileşenleri Çizelge 8.1'de verilmiştir. İnkübasyon süresince fungal gelişim takip edilmiştir (Şekil 8.4(a-b)). Yeterli miktarda biyokütle elde edildikten sonra üretilen fungal biyokütle membran biyoreaktör sisteminde havalandırma tankına aktarılmıştır.

Çizelge 8.1. Complete yeast besiyeri içeriği

Besiyeri Bileşenleri	Miktar (g/L)
Peptone	5
Yeast	3
Glukoz	20



Şekil 8.4. (a) Complete yeast besiyeri (b) *Aspergillus versicolor*, *Rhizopus arrhizus*.

8.1.2. Sentetik tekstil atıksuyunun ve ağır metal içeren endüstriyel atıksuyun *Aspergillus Versicolor* ve *Rhizopus Arrhizus* karışık kültürü ile MBR sisteminde arıtım çalışmaları

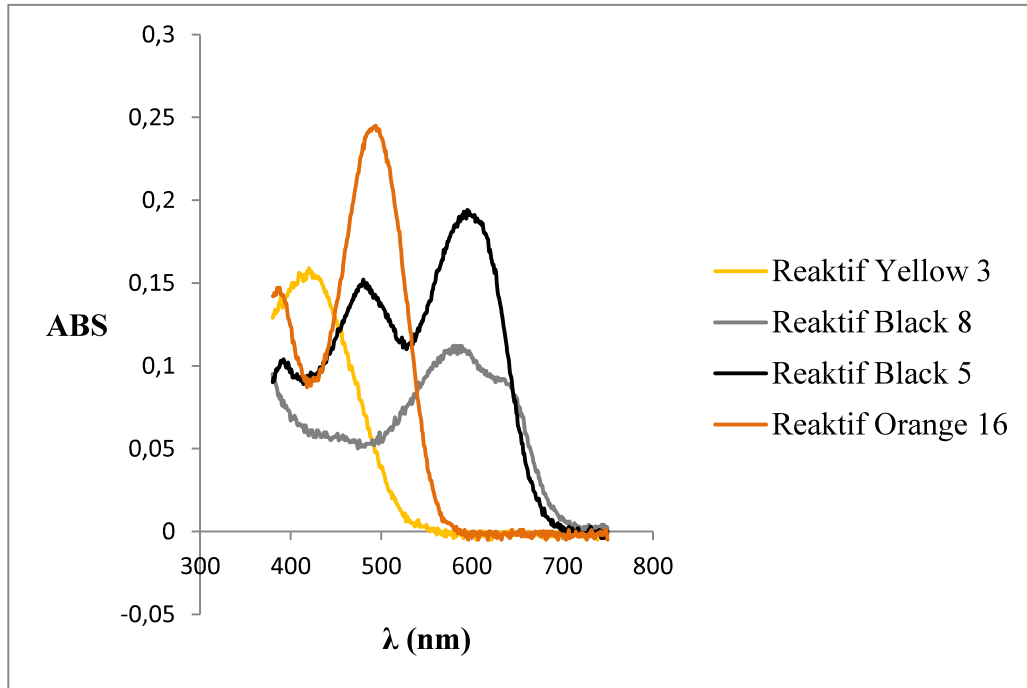
Bu çalışmada *Aspergillus versicolor* ve *Rhizopus arrhizus* karışık kültürü kullanılarak reaktif boya sınıfındaki Ostazin Yellow (C.I. Reactive Yellow 3), Ostazin

Black HN (C.I. Reactive Black 8), Everzol Black (C.I. Reactive Black 5) ve Everzol Orange 3R (C.I. Reactive Orange 16) reaktif tekstil boyalarını içeren sentetik tekstil atıksuyunun MBR sisteminde renk giderim kapasitesi incelenmiştir. Reaktif boyaların özellikleri çizelge 10.2'de verilmiştir. Deneysel çalışma boyunca sıcaklık 23-27 °C, pH 4-5 değerleri, çözünmüş oksijen 6-9 mg/L arasında tutulmuştur.

Çizelge 8.2. Boyar madde özellikleri.

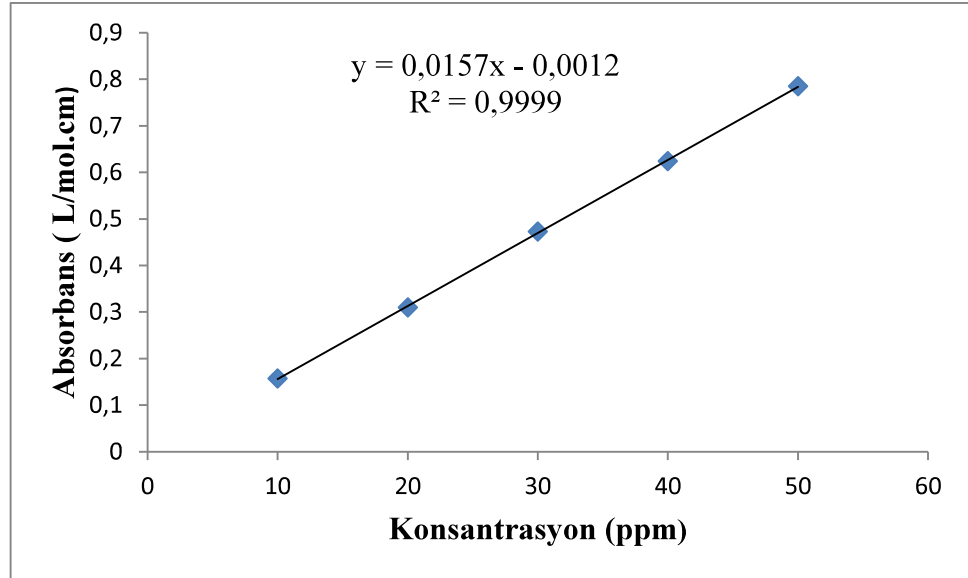
Boyarmadde	Kimyasal formül	Molekül ağırlığı (gmol ⁻¹)	Dalgaboyu λ_{max} (nm)
C.I. Reactive Yellow 3	C ₂₁ H ₁₅ ClN ₈ Na ₂ O ₇ S ₂	636,96	420
C.I. Reactive Black 8	C ₁₉ H ₁₁ ClN ₈ Na ₂ O ₁₀ S ₂	656,90	589
C.I. Reactive Black 5	C ₂₆ H ₂₁ N ₅ Na ₄ O ₁₉ S ₆	991,82	595
C.I. Reactive Orange 16	C ₂₀ H ₁₇ N ₃ Na ₂ O ₁₁ S ₃	617,54	494

Boyaların maksimum dalga boyları JENWAY 7315 UV spektrofotometresinde ölçülmüş olup, ölçümlerin spektrum eğrileri Şekil 8.5' de gösterilmiştir.

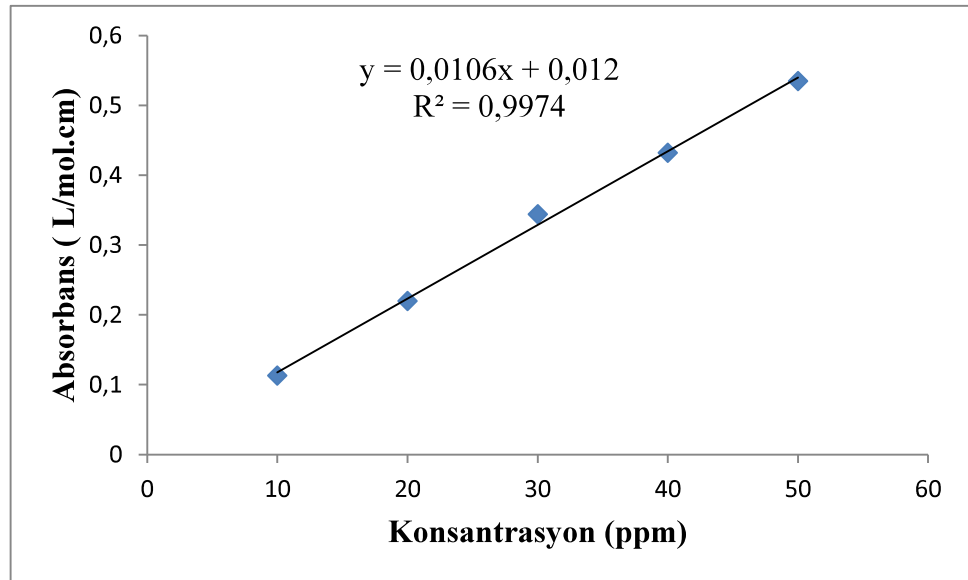


Şekil 8.5. Kullanılan reaktif boyaların spektrum eğrileri.

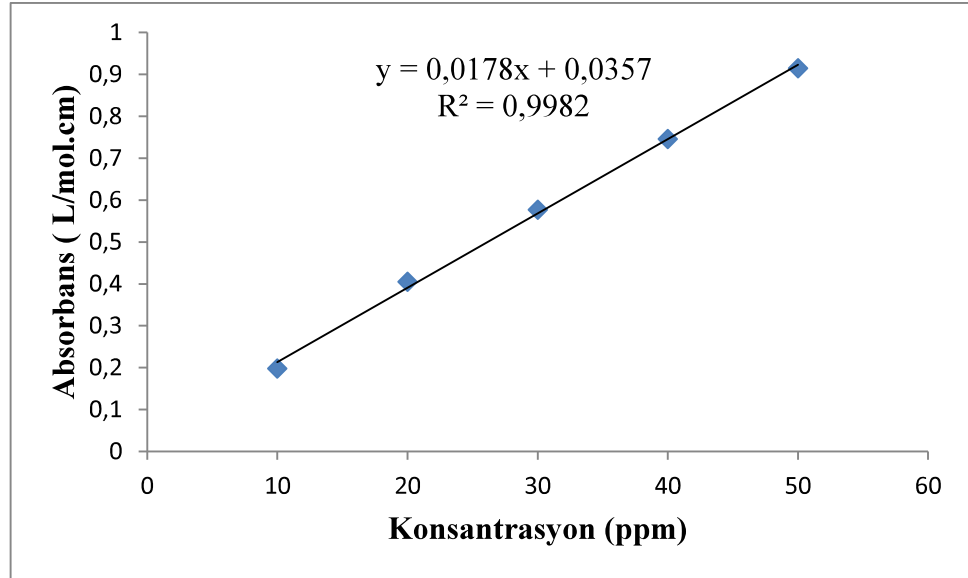
Boyaların maksimum dalga boylarında; 10 ppm, 20 ppm, 30 ppm, 40 ppm, 50 ppm konsantrasyona sahip boya çözeltilerinin absorpsanları UV cihazında ölçülmüştür. Bu ölçümler yardımıyla kalibrasyon grafikleri çizilmiştir Şekil 8.6-9'de kalibrasyon grafikleri gösterilmektedir.



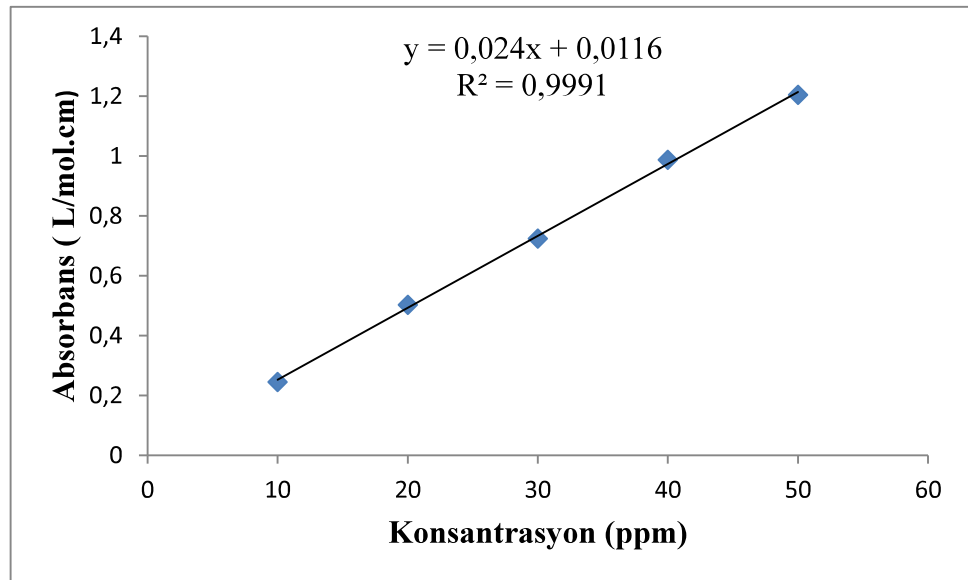
Şekil 8.6. Ostazin Yellow için kalibrasyon grafiği.



Şekil 8.7. Ostazin Black HN için kalibrasyon grafiği.



Şekil 8.8. Everzol Black için kalibrasyon grafiği.



Şekil 8.9. Everzol Orange için kalibrasyon grafiği.

Sentetik atık su için kullanılan kimyasallar yaklaşık 100 Litre suda çözünüp üzerine 100 ml iz element ilave edilerek hazırlanmıştır. Sentetik atık su reçeteleri Çizelge 8.3 ve Çizelge 8.4' de belirtilmiştir.

KOİ analizleri spektrofotometrik test yöntemiyle (Spectroquant Merck) ve spektrofotometre (NOVA 60A Spectroquant) ile belirlendi. Deneysel çalışmalarda yapılan toplam azot, toplam fosfor, toplam krom, Cr^{+6} , nikel, bakır analizleri Merck marka analiz kitleriyle ölçülmüştür.



Şekil 8.10. NOVA 60A Spektroquant spektrofotometre ve analiz kitleri

Çizelge 8.3. Ostazin Yellow ve Ostazin Black HN için sentetik atık su bileşimi.

Kullanılan Kimyasal	Miktarı (g)
Glikoz	100
Nişasta	150
Üre	40
KH_2PO_4	200
CaCl_2	9,99
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	102,5
Boya	10
NaCl	25,5
NaCO_3	17
NaOH	17

Çizelge 8.4. Everzol Black ve Everzol Orange için sentetik atık su bileşimi.

Kullanılan Kimyasal	Miktarı (g)
Glikoz	100
Nişasta	150
Üre	40
Boya	10
NaCl	25,5
NaCO ₃	17
NaOH	17

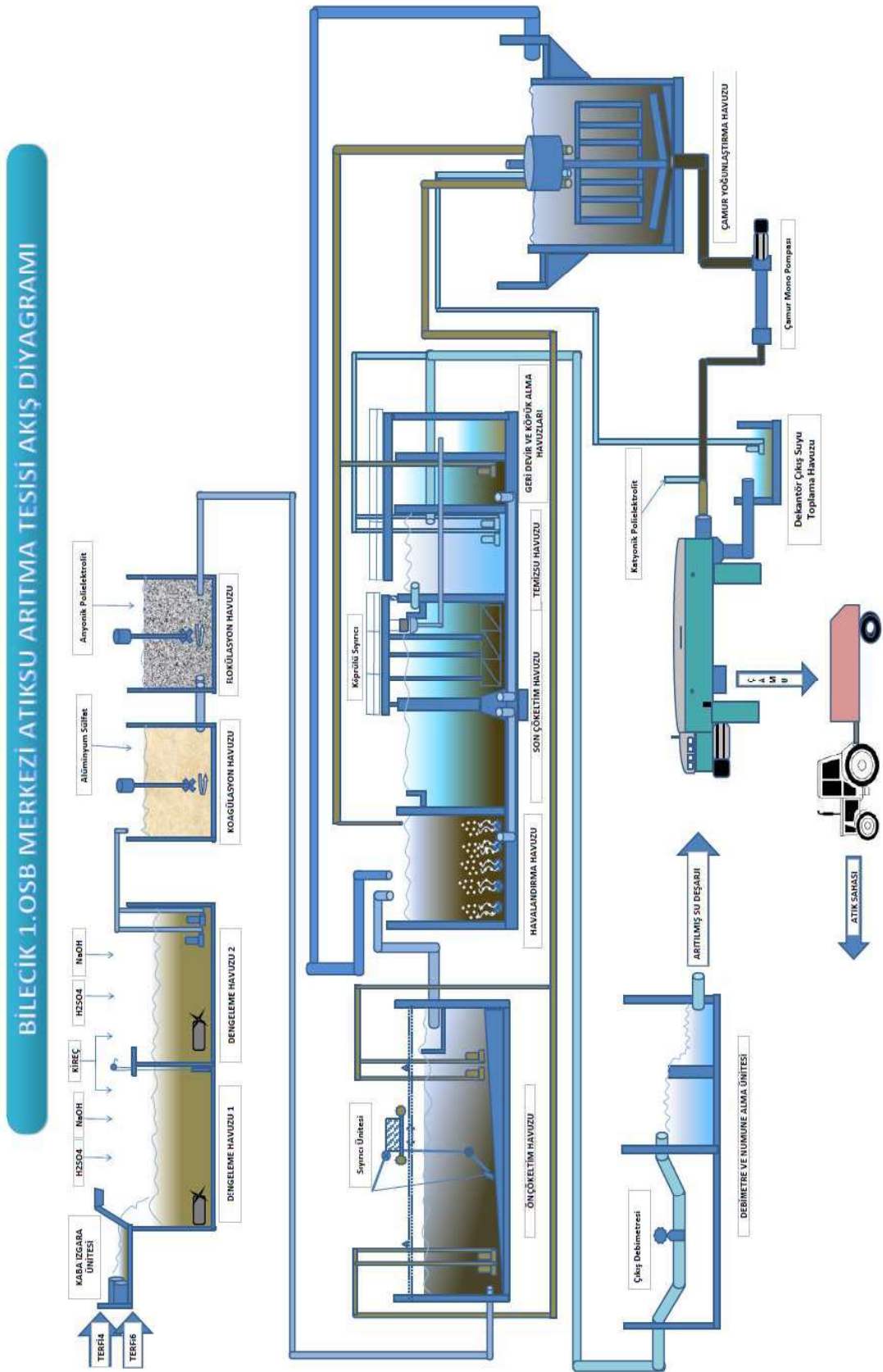
Çizelge 8.5. Ağır metal içeren endüstriyel metal kaplama atık suyunun bileşimi.

Parametre	Değer
pH	2-3
Toplam Krom	2,11 mg/L
Krom +6	2,14 mg/L
Nikel	> 6 mg/L
Bakır	6,98 mg/L

8.1.3. Bilecik I. Organize Sanayi Bölgesi biyolojik atık su arıtım sistemi

Arıtma tesisi Bilecik 1. Organize Sanayi Bölgesinde faaliyet gösteren 44 firmanın karışık endüstriyel atık suyunun Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliğinin karışık endüstriyel atıksuların alıcı ortama deşarj standartları (ÇŞB, 2016) değerlerine uyacak şekilde Karasu nehrine deşarj amacıyla yapılmıştır. Tesis kapasitesi 5500 m³ olup günlük arıtmakta olduğu ortalama atık su debisi 3500m³ seviyelerindedir.

Sistem; fiziksel, kimyasal ve biyolojik arıtma kademelerinden oluşmaktadır. Sistemde kaba atıklar ızgaralarda alındıktan sonra atık su kimyasal arıtmaya tabii tutulmaktadır. Kimyasal arıtma kademesinde koagülasyon havuzunda alüminyum sülfat flokülasyon havuzunda anyonik polielektrolit kimyasalları kullanılarak kimyasal arıtmadan geçirilmekte ve son olarak aerobik aktif granül çamur prosesiyle havalandırma havuzunda biyolojik arıtım yapılmakta ve arıtılan su deşarj edilmektedir.



Şekil 8.11. Bilecik 1.Organize Sanayi Bölgesi Atıksu Arıtma Tesisi proses akışı.

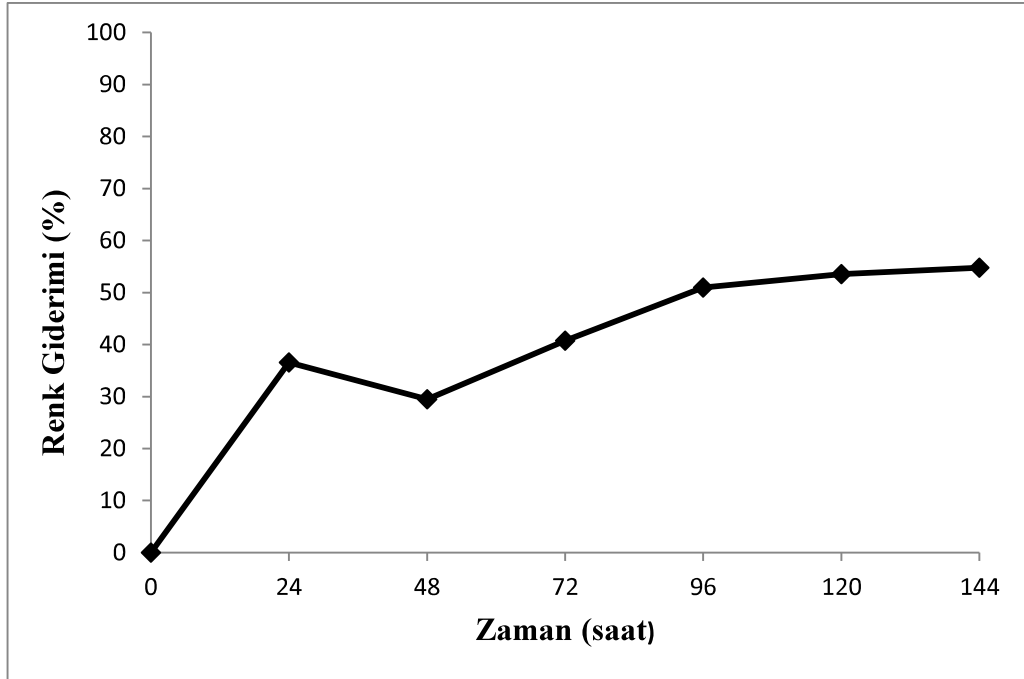
9. SONUÇLAR

9.1. MBR Sisteminde Yapılan Arıtım Çalışmaları Sonuçları

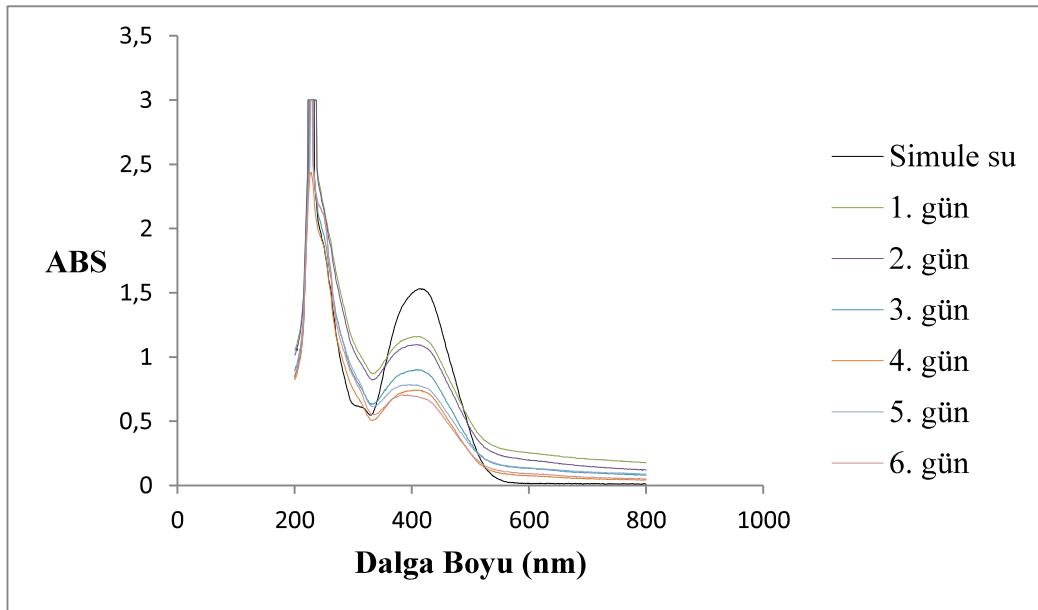
MBR sisteminde yapılan deneysel çalışmalarda, *Aspergillus versicolor* ve *Rhizopus arrhizus* karışık kültürünün bulunduğu MBR sisteminde Ostazin Yellow (C.I. Reactive Yellow 3), Ostazin Black HN (C.I. Reactive Black 8), Everzol Black (C.I. Reactive Black 5) ve Everzol Orange 3R (C.I. Reactive Orange 16) reaktif tekstil boyalarının enzimsel aktivite ile renk giderimi kapasitesi ve ağır metal içeren endüstriyel metal kaplama atık sularının ağır metal giderim kapasitesi incelenmiştir. Deneysel çalışmalar için hazırlanmış olan sentetik atık suları başlangıç boya konsantrasyonları 84,45-95,49mg/L arasındadır. Deneysel çalışmada sıcaklık 23-27 °C, pH 4-5 değerleri, çözülmüş oksijen 6-9 mg/L aralığında tutulmuştur. Çizelge 9.1-4 de deneysel çalışmalarda kullanılan sentetik tekstil atık sularında yapılan analizler sonucunda belirlenmiş olan renk ve KOI konsantrasyon sonuçları ve giderim verimleri gösterilmiştir. Şekil 9.1/3/5/7 'de deneysel çalışmalarda kullanılan sentetik tekstil atık sularından boyanın giderilmesine bağlı olarak renk giderim verimleri verilmiştir. Şekil 9.2-8 'de arıtım boyunca günlük olarak ölçülen boya spektrum değişimi grafikleri verilmiştir.

Çizelge 9.1. Ostazin Yellow Reaktif T. boyası içeren sentetik atıksu arıtım sonuçları.

Ölçüm	Boya Konsantrasyonunda ki Değişim (mg/L)	Renk Giderimi (%)	KOI Değişimi (mg/L)	KOI Giderimi (%)
Sentetik Atıksu	95,49	-	1380	-
1.Gün	60,59	36,54	-	-
2.Gün	67,33	29,48	-	-
3.Gün	56,55	40,77	-	-
4.Gün	46,83	50,95	-	-
5.Gün	44,34	53,56	-	-
6.Gün	43,17	54,79	380	72,46



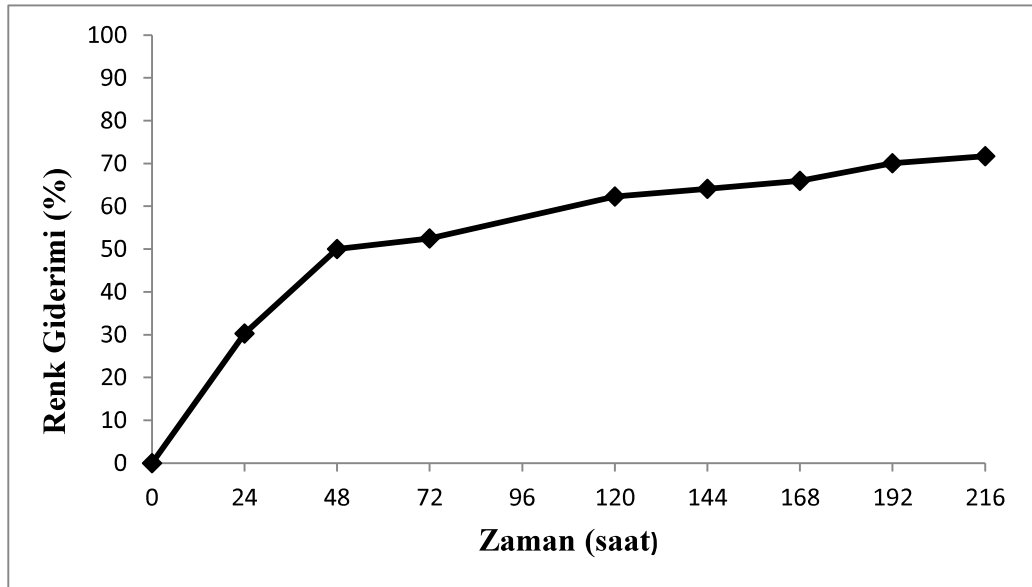
Şekil 9.1. Ostazin Yellow için renk giderimi.

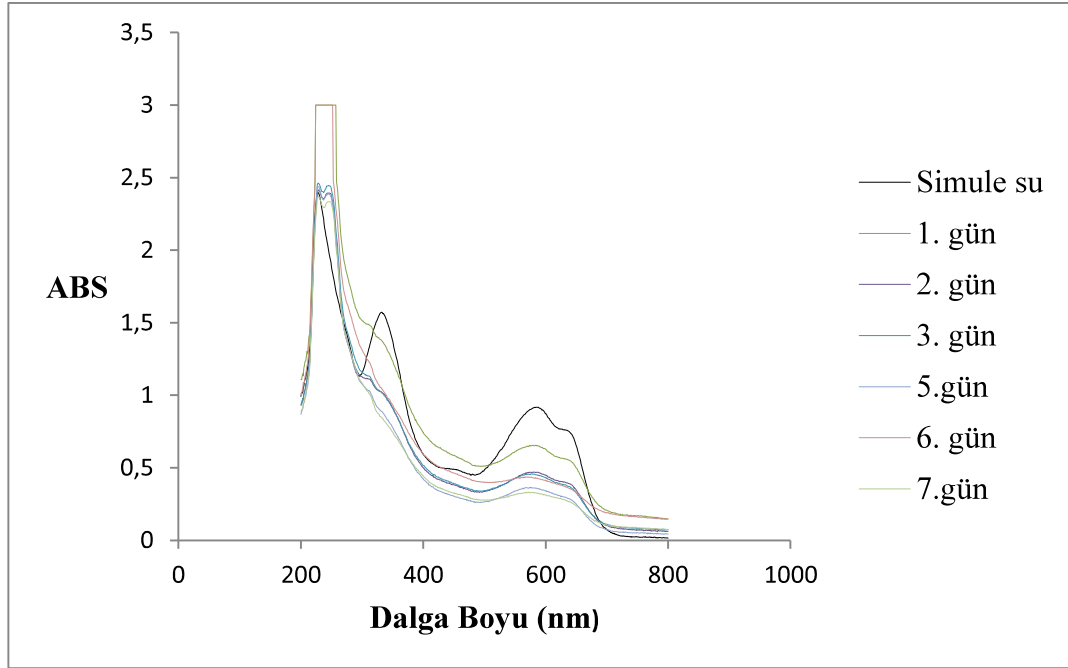


Şekil 9.2. Ostazin Yellow için spektrum değişimi.

Çizelge 9.2. Ostazin Black HN reaktif T. boyası içeren sentetik atıksu arıtım sonuçları.

Ölçüm	Boya Konsantrasyonundaki Değişim (mg/L)	Renk Giderimi (%)	KOI Değişimi (mg/L)	KOI Giderimi (%)
Sentetik Atıksu	85,65	-	2941	-
1.Gün	59,75	30,23	468	84,08
2.Gün	42,82	50	-	-
3.Gün	40,71	52,46	307	89,56
4.Gün	-	-	-	-
5.Gün	32,29	62,28	-	-
6.Gün	30,75	64,09	-	-
7.Gün	29,16	65,95	-	-
8.Gün	25,64	70,06	-	-
9.Gün	24,21	71,71	-	-

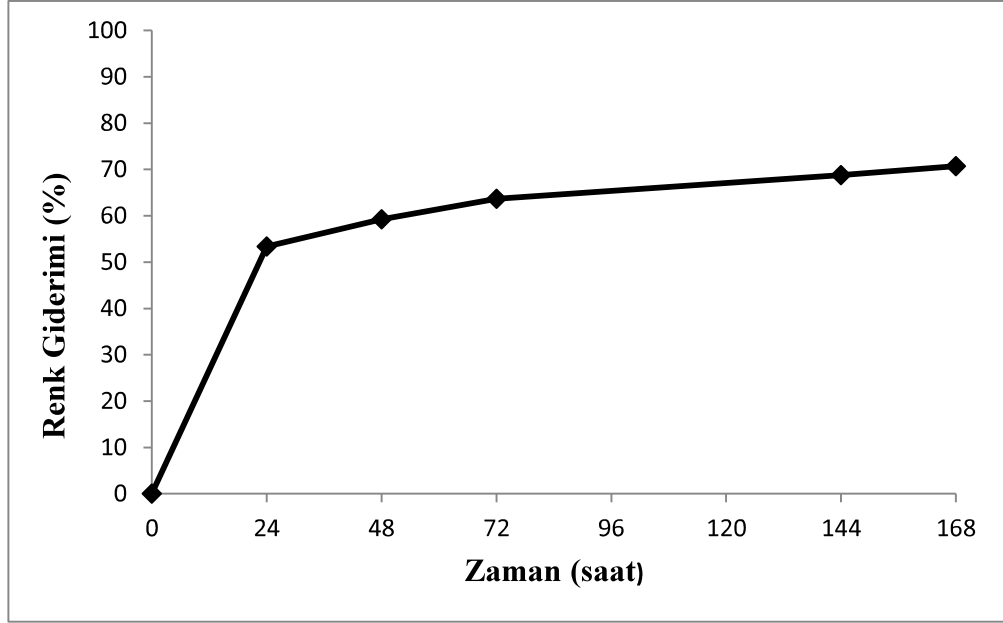
**Şekil 9.3.** Ostazin Black HN için renk giderimi.



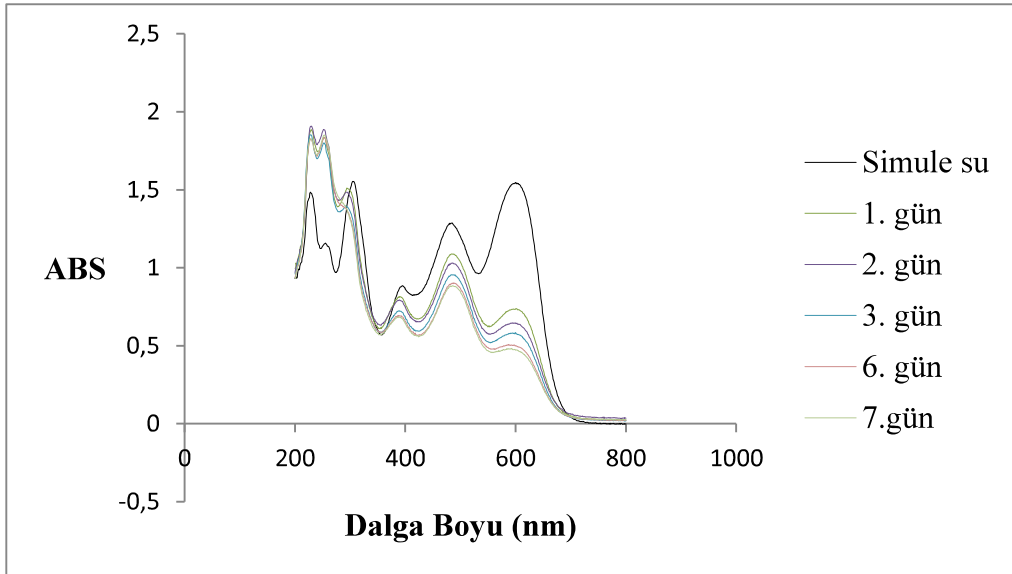
Şekil 9.4. Ostazin Black HN için spektrum değişimi.

Çizelge 9.3. Everzol Black Reaktif T. boyası içeren sentetik atık su arıtım sonuçları.

Ölçüm	Boya Konsantrasyonundaki Değişim (mg/L)	Renk Giderimi (%)
Sentetik Atıksu	84,45	-
1.Gün	39,37	53,38
2.Gün	34,38	59,28
3.Gün	30,7	63,64
4.Gün	-	63,64
5.Gün	-	63,64
6.Gün	26,36	68,78
7.Gün	24,73	70,71



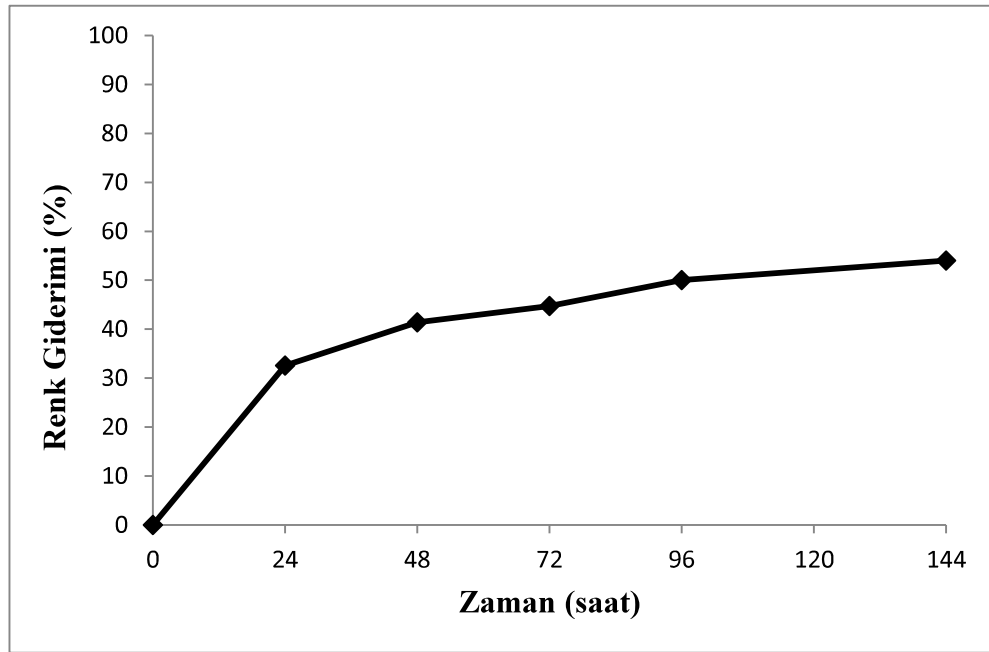
Şekil 9.5. Everzol Black için renk giderimi.



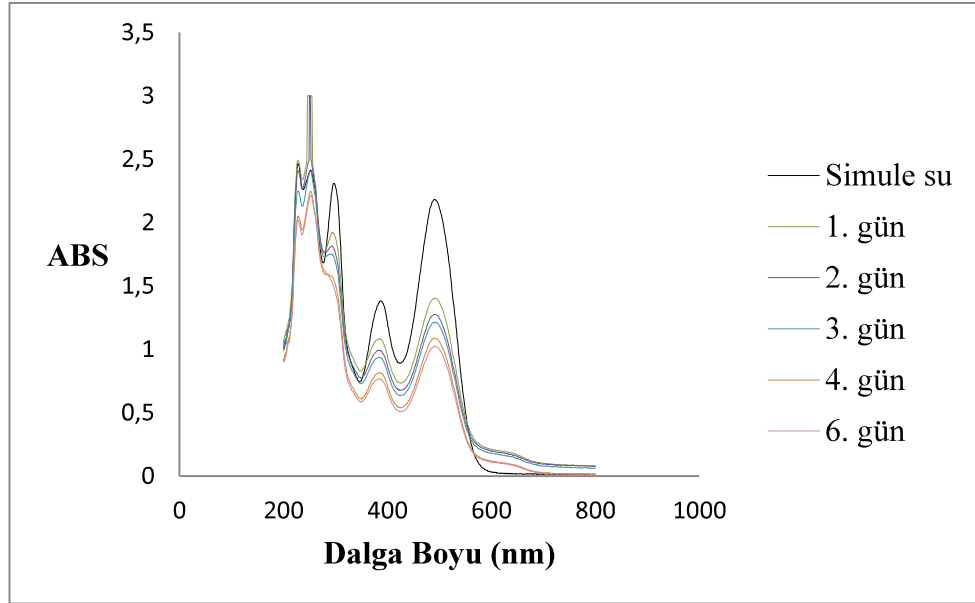
Şekil 9.6. Everzol Black için spektrum değişimi.

Çizelge 9.4. Everzol Orange Reaktif T. boyası içeren sentetik atıksu arıtım sonuçları.

Ölçüm	Boya Konsantrasyonundaki Değişim (mg/L)	Renk Giderimi (%)	KOI Değişimi (mg/L)	KOI Giderimi (%)
Sentetik Atıksu	89,85	-	1268	-
1.Gün	60,61	32,54	421	66,79
2.Gün	52,63	41,42	-	-
3.Gün	49,68	44,7	339	73,26
4.Gün	44,73	50	-	-
5.Gün	-	-	-	-
6.Gün	41,3	54	-	-



Şekil 9.7. Everzol Orange için renk giderimi.



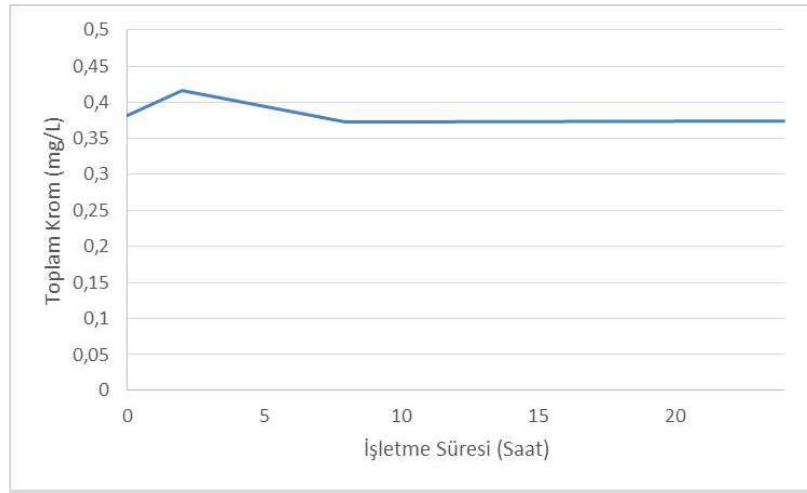
Şekil 9.8. Everzol Orange için spektrum değişimi.

Yapılan deneysel arıtım çalışmalarının analiz sonuçlarından elde edilen çizelgeler ve grafikler sırasıyla incelenmiştir. Ostazin Yellow içeren sentetik tekstil atıksuyunda 4. gün arıtım yaklaşık %50 civarındayken, 6. gün sonunda % 54,8 renk giderim ve % 72,5 KOİ giderim verimi sağlanmıştır. Ostazin Black HN boyası içeren sentetik tekstil atıksuyunda 2. gün arıtım yaklaşık %50 renk giderim verimi sağlamışken, 9. gün % 71,71 renk giderim ve % 89,6 KOİ giderim verimine ulaşılmıştır. Everzol Black boyası içeren sentetik tekstil atıksuyunda 3. gün sonunda % 63,64 oranlarına ulaşılmış ve 7 günlük takip sonunda % 70,7 renk giderim verimi belirlenmiştir. Everzol Orange 3R boyası içeren sentetik tekstil atıksuyunun 6 günlük arıtım çalışmalarında % 54 renk giderim ve % 73,26 KOİ giderimi verimi sağlanmıştır.

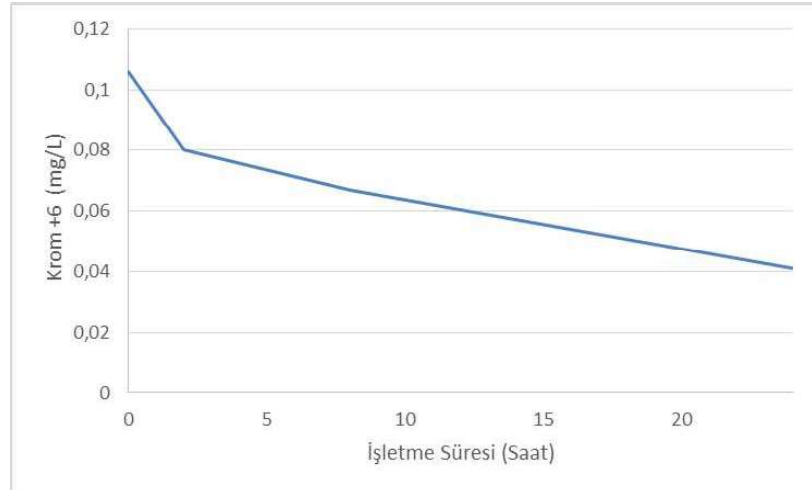
Bilecik 1.Organize Sanayi Bölgesinde bulunan bir metal işleme tesisinden alınan ham atıksuyun membran biyoreaktör sisteminde *Aspergillus versicolor* ve *Rhizopus arrhizus* karışık kültürü kullanılarak krom +6'nın krom +3'e indirgenmesi, toplam krom, bakır, nikel giderimi değerleri incelenmiştir.

Çalışma kapsamında Şekil 11.10'da krom +6'nın krom +3'e %61,32 oranında indirgendiği, Şekil 9.9'da krom +3 ün arıtımın gerçekleşmediği bu nedenle toplam krom içeriğinde bulunan krom +6'nın krom +3'e dönüşerek krom +3 değerini arttırdığı fakat krom +3 ün giderimi olmadığından toplam krom değerlerinin değişmediği gözlemlenmiştir. Krom +6 değerinin MBR sisteminin pH değerinin 2-3 aralığında

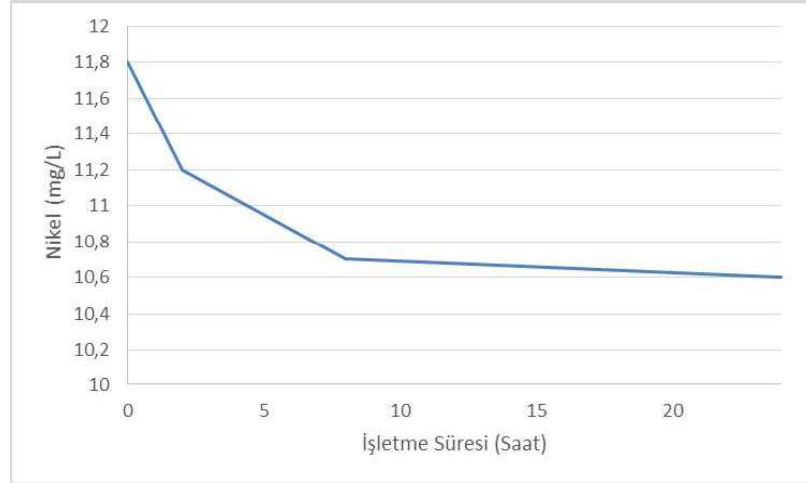
olmasından dolayı indirgendiği karışık kültürün etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Şekil 9.11’de nikel gideriminin de %10,16 oranında verim sağlanmıştır. Şekil 9.12’de ise bakır değerinde MBR sisteminin düşük pH da çalıştırılması nedeniyle sistemde bulunan pirinç alaşım difüzör bağlantı parçasının asidik ortamda çözünmesi nedeniyle artış gözlemlenmiştir. Bu nedenle analizler 24 saat işletim süresi sonrası bitirilmiştir. 24 saatlik genel inceleme sonucunda *Aspergillus versicolor* ve *Rhizopus arrhizus* karışık kültürünün krom, nikel, bakır gideriminde verim sağlamadığı tespit edilmiştir.



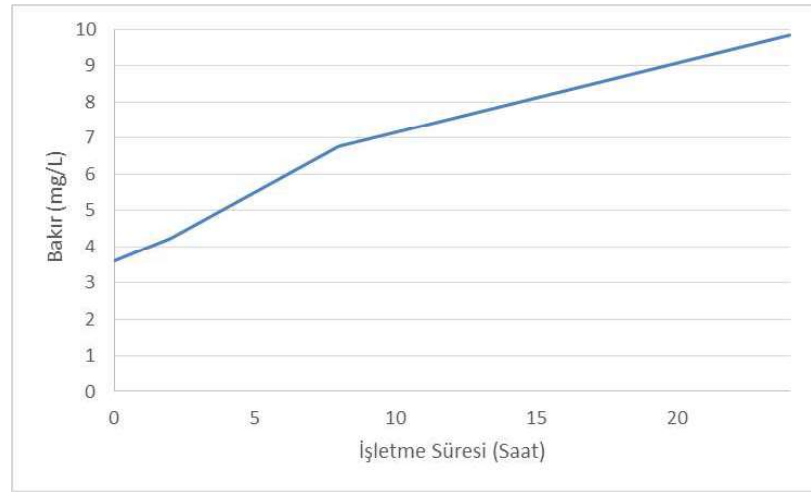
Şekil 9.9. Kaplama atık suyunun MBR de toplam krom giderimi.



Şekil 9.10. Kaplama atık suyunun MBR de krom +6 giderimi.



Şekil 9.11. Kaplama atık suyunun MBR de nikel giderimi.



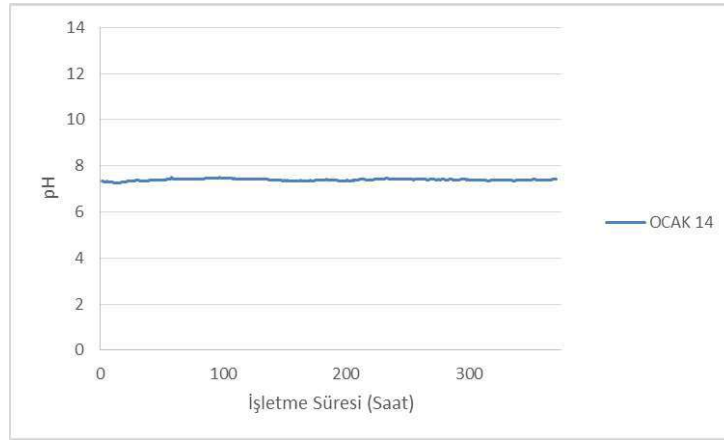
Şekil 9.12. Kaplama atık suyunun MBR de toplam krom giderimi.

9.2. Bilecik I. Organize Sanayi Bölgesi Biyolojik Atık Su Arıtım Sisteminde Yapılan Arıtım Çalışmaları Sonuçları

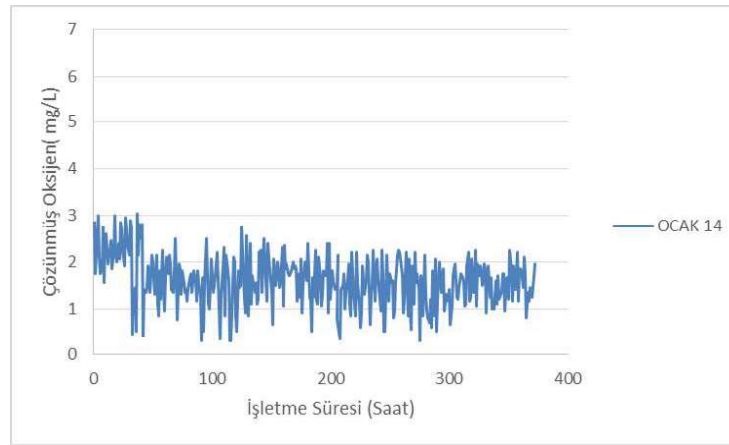
Arıtma tesisinde ocak ayında yapılan arıtım çalışmalarından elde edilen sonuçların grafiksel gösterimi Şekil 9.13-18 de verilmiştir. Aerobik arıtım havuzunda pH değeri 6,5-9,5 aralığında ve çözülmüş oksijen değeri 1-2 mg/L aralığında tutulmuştur.

Havalandırma havuzunda pH 6,5-9,5 aralığında, çözülmüş oksijen 1-2 mg/L aralığında otomatik proses kontrol cihazlarıyla dengede tutulmuştur. Dengelemek için asit-baz dozlama pompaları ve saha tipi oksijenmetre-blower desteğiyle aralık içerisinde

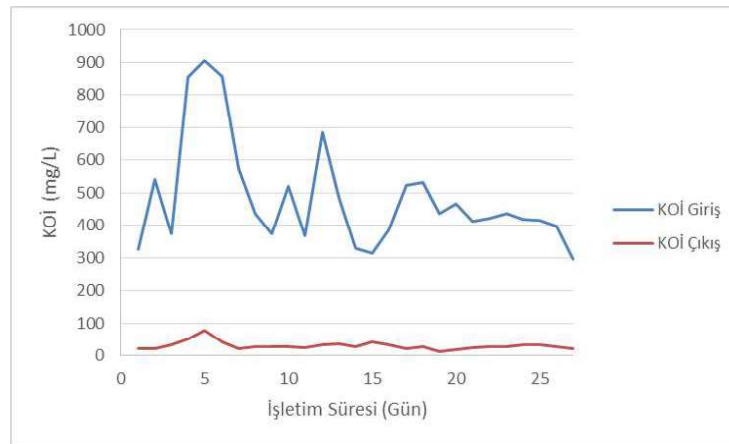
tutularak aktif çamurun dengeli performans sağlaması amaçlanmıştır. Proses kontrol ekipmanlarının müdahaleleriyle ilgili grafik Şekil 9.13/14 de gözlemlenmektedir.



Şekil 9.13. Ocak 2014 havalandırma havuzu pH.

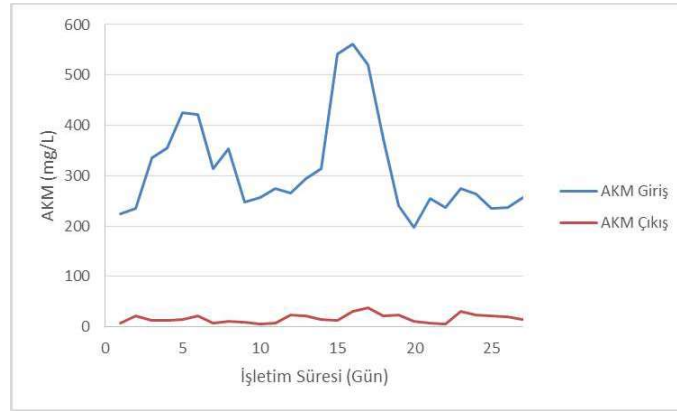


Şekil 9.14. Ocak 2014 havalandırma havuzu çözünmüş oksijen.



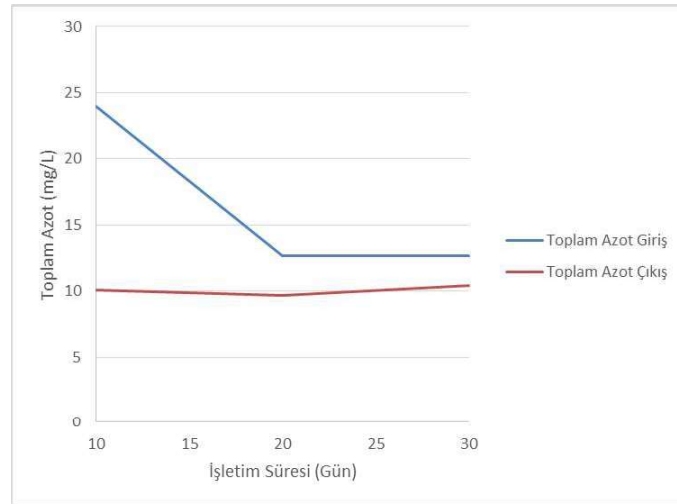
Şekil 9.15. Ocak 2014 kimyasal oksijen ihtiyacı (Giriş- Çıkış).

Ocak ayı ortalama giriş KOİ değeri 407,15 mg/l iken çıkış KOİ değeri 30,52 mg/l olmuştur. KOİ giderim verimi %92,5 oranındadır.



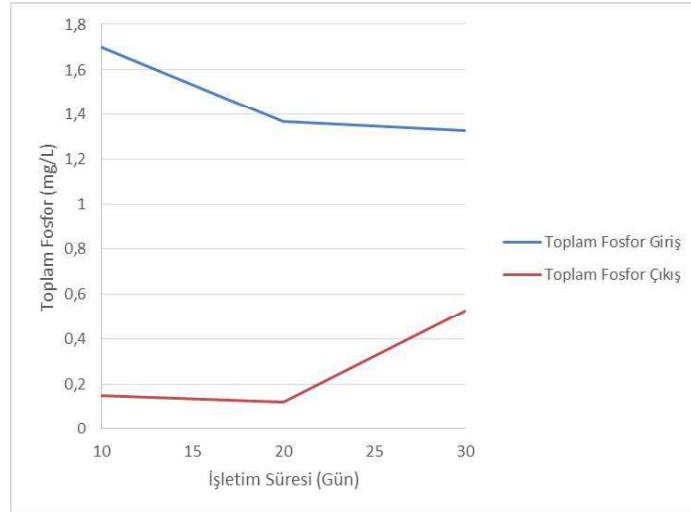
Şekil 9.16. Ocak 2014 askıda katı madde (Giriş- Çıkış).

Giriş AKM değeri 315,18 mg/l iken çıkış AKM değeri 16,62 mg/l olmuştur. AKM giderim verimi %94,72 oranındadır.



Şekil 9.17. Ocak 2014 toplam azot (Giriş- Çıkış).

Giriş toplam azot değeri 16,46 mg/l iken çıkış toplam azot değeri 10,06 mg/l olmuştur. Toplam azot giderim verimi %38,86 oranındadır.

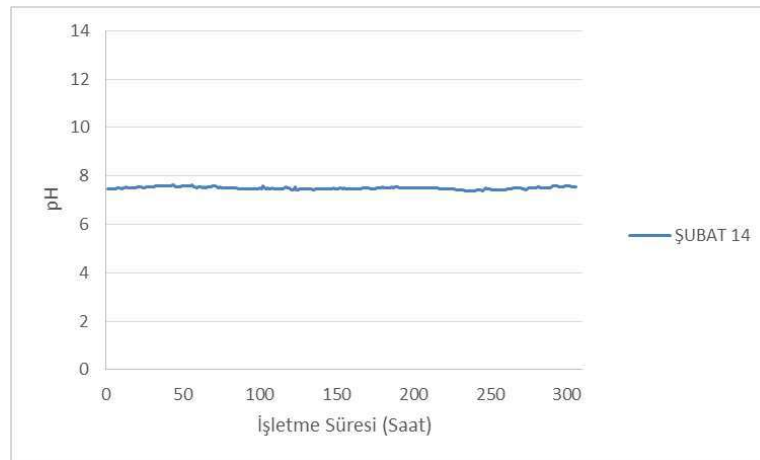


Şekil 9.18. Ocak 2014 toplam fosfor (Giriş- Çıkış).

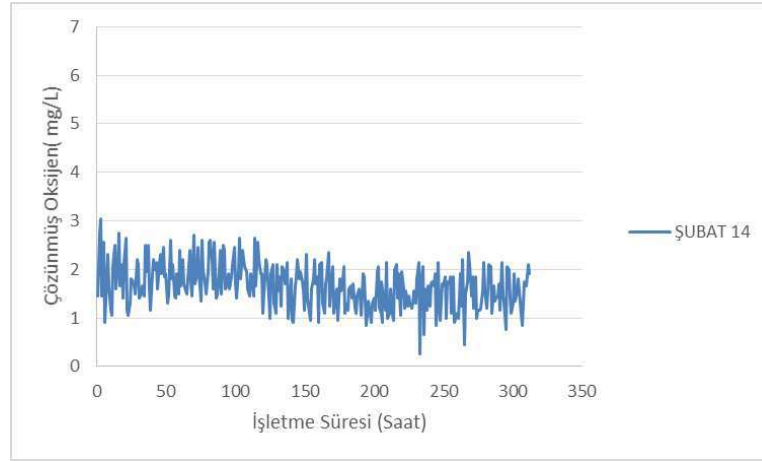
Giriş T. fosfor değeri 1,46 mg/l iken çıkış T. fosfor değeri 0,268 mg/l olmuştur. T. fosfor giderim verimi %81,72 oranındadır.

Arıtma tesisinde şubat ayında yapılan arıtım çalışmalarından elde edilen sonuçların grafiksel gösterimi şekil 9.19-24 de verilmiştir. Aerobik arıtım havuzunda pH değeri 6,5-9,5 aralığında ve çözülmüş oksijen değeri 1-2 mg/L aralığında tutulmuştur.

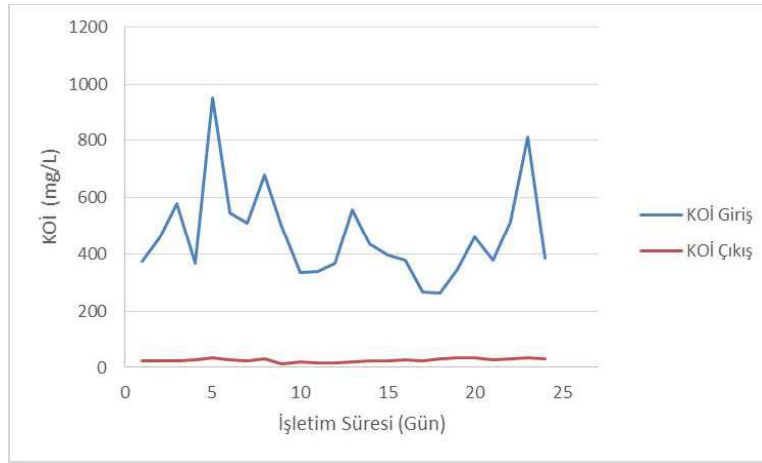
Havalandırma havuzunda pH 6,5-9,5 aralığında, çözülmüş oksijen 1-2 mg/L aralığında otomatik proses kontrol cihazlarıyla dengede tutulmuştur. Dengelemek için asit-baz dozlama pompaları ve saha tipi oksijenmetre-blower desteğiyle aralık içerisinde tutularak aktif çamurun dengeli performans sağlaması amaçlanmıştır. Proses kontrol ekipmanlarının müdahaleleriyle ilgili grafik Şekil 9.19-20 de gözlemlenmektedir.



Şekil 9.19. Şubat 2014 havalandırma havuzu pH.

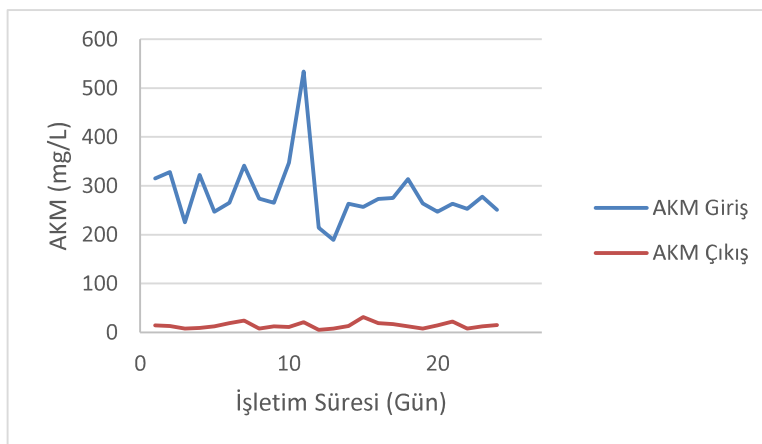


Şekil 9.20. Şubat 2014 havalandırma havuzu çözünmüş oksijen.



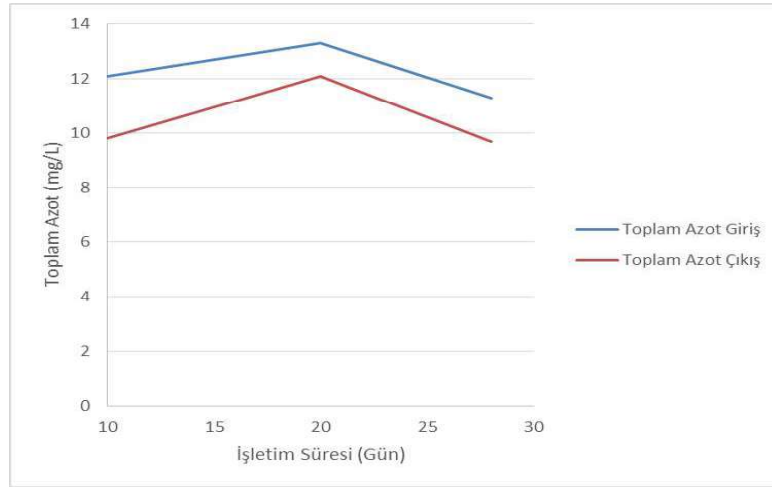
Şekil 9.21. Şubat 2014 kimyasal oksijen ihtiyacı (Giriş- Çıkış).

Şubat ayı ortalama giriş KOİ değeri 467 mg/l iken çıkış KOİ değeri 25,24 mg/l olmuştur. KOİ giderim verimi %94,6 oranındadır.



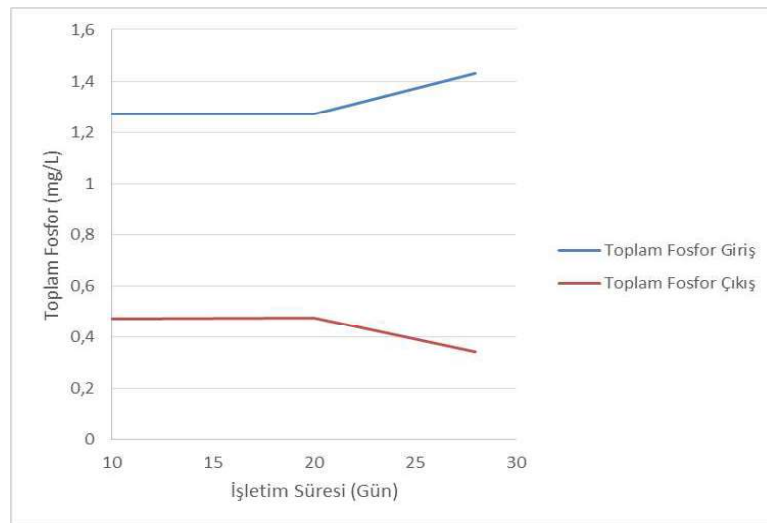
Şekil 9.22. Şubat 2014 askıda katı madde (Giriş- Çıkış).

Giriş AKM değeri 283,5 mg/l iken çıkış AKM değeri 13,95 mg/l olmuştur. AKM giderim verimi %95,08 oranındadır.



Şekil 9.23. Şubat 2014 toplam azot (Giriş- Çıkış).

Giriş toplam azot değeri 12,23 mg/l iken çıkış toplam azot değeri 10,53 mg/l olmuştur. Toplam azot giderim verimi %13,89 oranındadır.

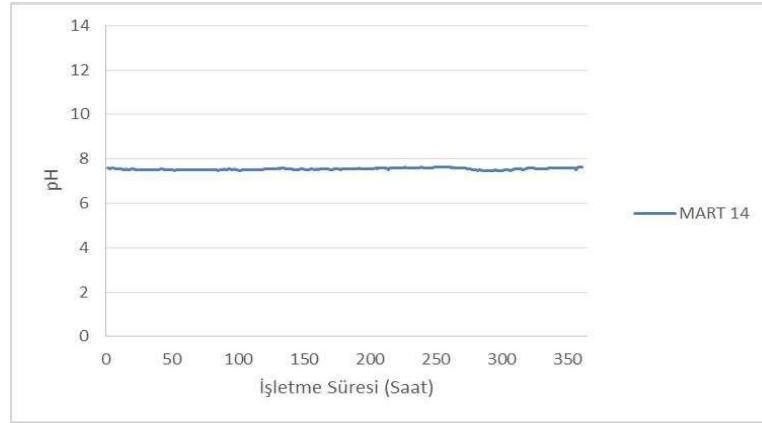


Şekil 9.24. Şubat 2014 toplam fosfor (Giriş- Çıkış).

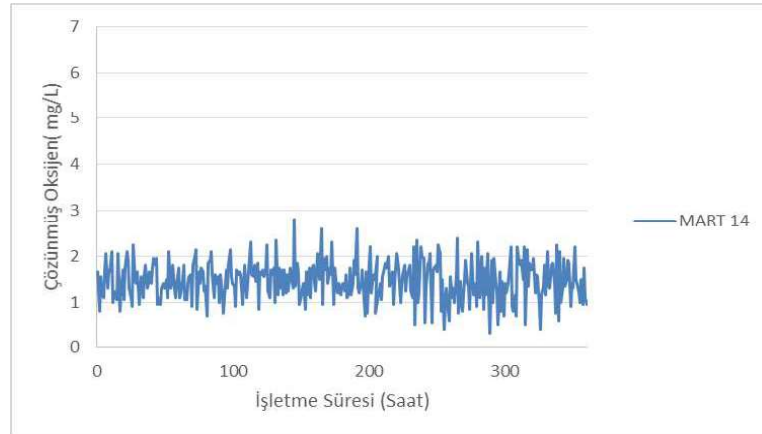
Giriş T. fosfor değeri 1,32 mg/l iken çıkış T. fosfor değeri 0,43 mg/l olmuştur. T. fosfor giderim verimi % 67,46 oranındadır.

Arıtma tesisinde mart ayında yapılan arıtım çalışmalarından elde edilen sonuçların grafiksel gösterimi şekil 9.25-30 da verilmiştir. Aerobik arıtım havuzunda pH değeri 6,5-9,5 aralığında ve çözülmüş oksijen değeri 1-2 mg/L aralığında tutulmuştur.

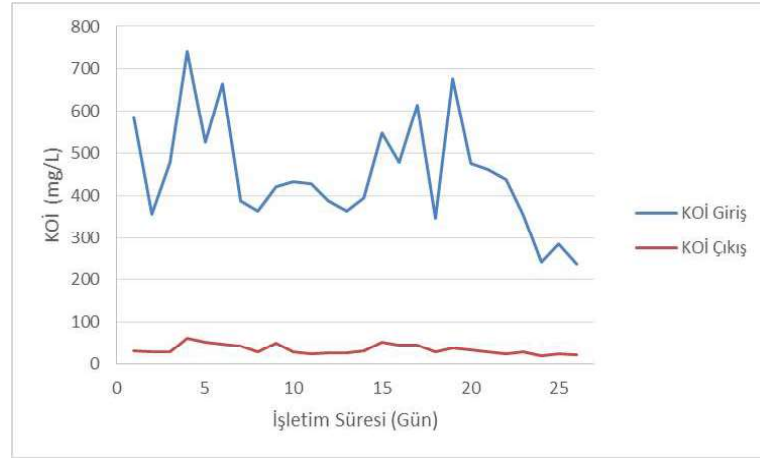
Havalandırma havuzunda pH 6,5-9,5 aralığında, çözünmüş oksijen 1-2 mg/L aralığında otomatik proses kontrol cihazlarıyla dengede tutulmuştur. Dengelemek için asit-baz dozlama pompaları ve saha tipi oksijenmetre-blower desteğiyle aralık içerisinde tutularak aktif çamurun dengeli performans sağlaması amaçlanmıştır. Proses kontrol ekipmanlarının müdahaleleriyle ilgili grafik Şekil 9.25-26 da gözlemlenmektedir.



Şekil 9.25. Mart 2014 havalandırma havuzu pH.

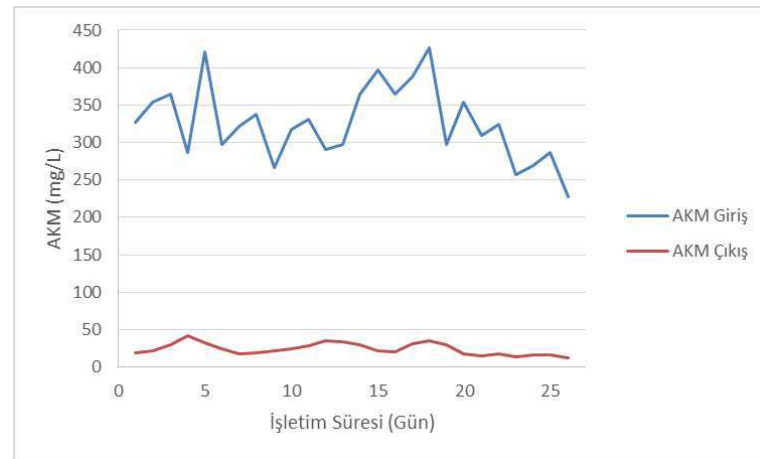


Şekil 9.26. Mart 2014 havalandırma havuzu çözünmüş oksijen.



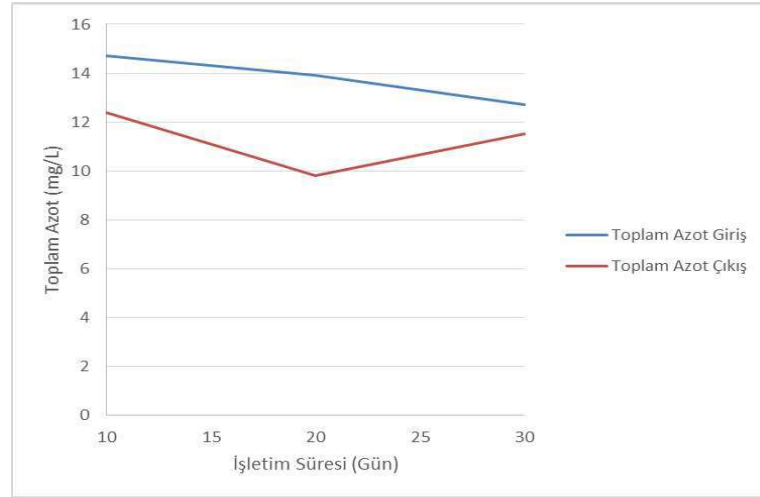
Şekil 9.27. Mart 2014 kimyasal oksijen ihtiyacı (Giriş- Çıkış).

Mart ayı ortalama giriş KOİ değeri 449,42 mg/l iken çıkış KOİ değeri 34,78 mg/l olmuştur. KOİ giderim verimi %92,26 oranındadır.



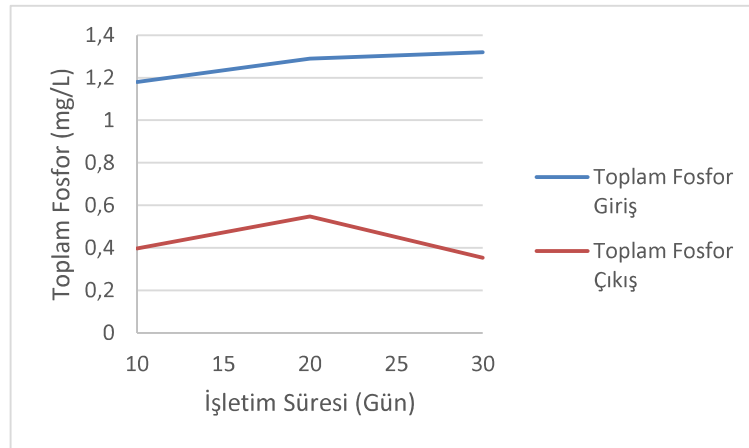
Şekil 9.28. Mart 2014 askıda katı madde (Giriş- Çıkış).

Giriş AKM değeri 326,04 mg/l iken çıkış AKM değeri 23,85 mg/l olmuştur. AKM giderim verimi %92,7 oranındadır.



Şekil 9.29. Mart 2014 toplam azot (Giriş- Çıkış).

Giriş toplam azot değeri 13,75 mg/l iken çıkış toplam azot değeri 11,23 mg/l olmuştur. Toplam azot giderim verimi %18,4 oranındadır.



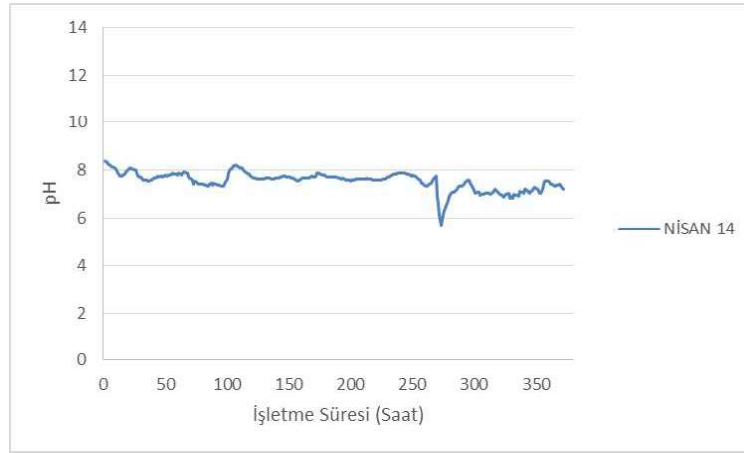
Şekil 9.30. Mart 2014 toplam fosfor (Giriş- Çıkış).

Giriş toplam fosfor değeri 1,26 mg/l iken çıkış toplam fosfor değeri 0,43 mg/l olmuştur. Toplam fosfor giderim verimi %65,75 oranındadır.

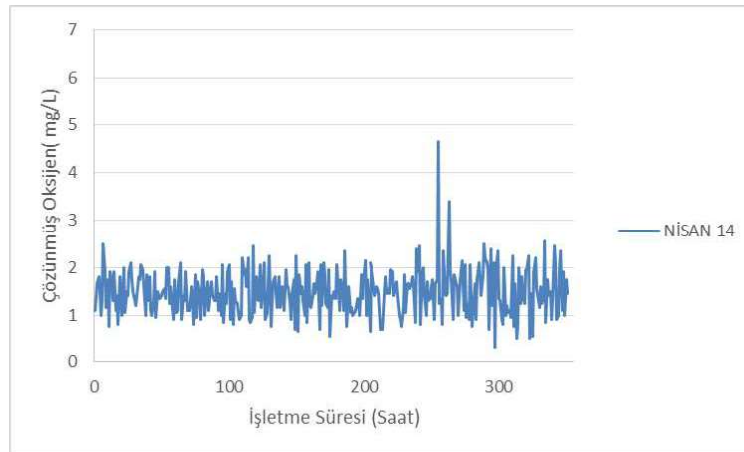
Arıtma tesisinde nisan ayında yapılan arıtım çalışmalarından elde edilen sonuçların grafiksel gösterimi şekil 9.31-36 de verilmiştir. Aerobik arıtım havuzunda pH değeri 6,5-9,5 aralığında ve çözünmüş oksijen değeri 1-2 mg/L aralığında tutulmuştur.

Havalandırma havuzunda pH 6,5-9,5 aralığında, çözünmüş oksijen 1-2 mg/L aralığında otomatik proses kontrol cihazlarıyla dengede tutulmuştur. Dengelemek için asit-baz dozlama pompaları ve saha tipi oksijenmetre-blower desteğiyle aralık içerisinde

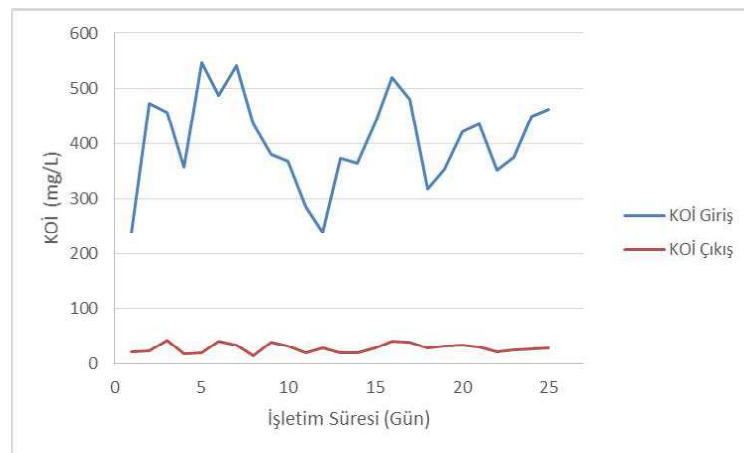
tutularak aktif çamurun dengeli performans sağlaması amaçlanmıştır. Proses kontrol ekipmanlarının müdahaleleriyle ilgili grafik Şekil 9.31-32 de gözlemlenmektedir.



Şekil 9.31. Nisan 2014 havalandırma havuzu pH.

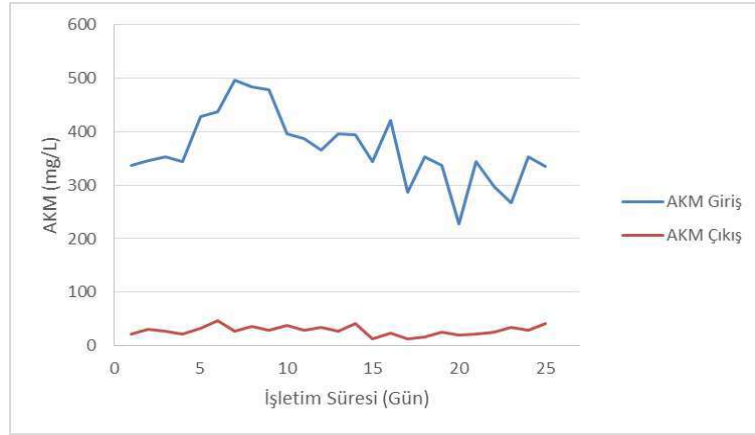


Şekil 9.32. Nisan 2014 havalandırma havuzu çözülmüş oksijen.



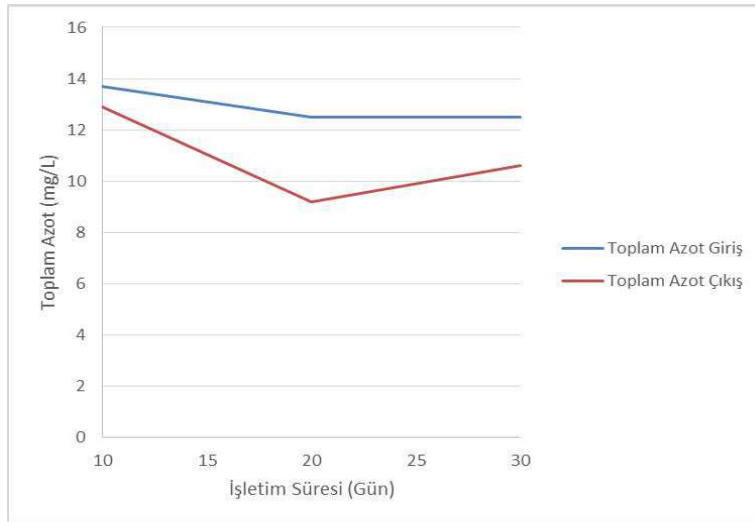
Şekil 9.33. Nisan 2014 kimyasal oksijen ihtiyacı (Giriş- Çıkış).

Nisan ayı ortalama giriş KOİ değeri 406,24 mg/l iken çıkış KOİ değeri 28,508 mg/l olmuştur. KOİ giderim verimi %92,98 oranındadır.



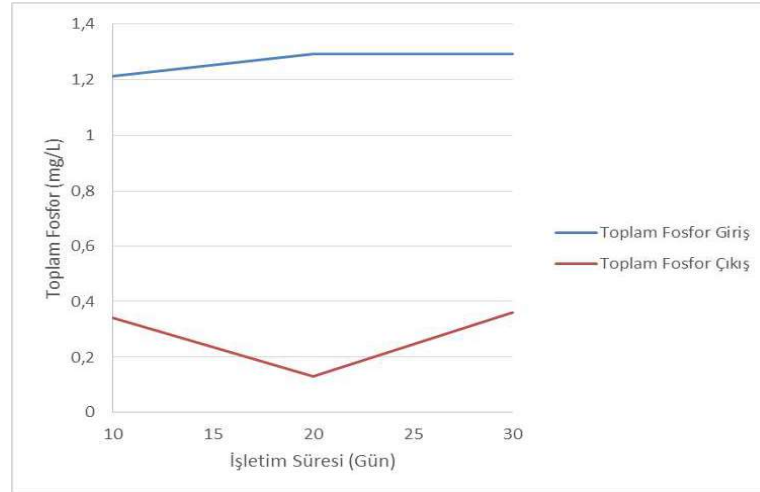
Şekil 9.34. Nisan 2014 askıda katı madde (Giriş- Çıkış).

Giriş AKM değeri 368,84 mg/l iken çıkış AKM değeri 28 mg/l olmuştur. AKM giderim verimi %92,41 oranındadır.



Şekil 9.35. Nisan 2014 toplam azot (Giriş- Çıkış).

Giriş toplam azot değeri 12,9 mg/l iken çıkış toplam azot değeri 10,9 mg/l olmuştur. Toplam azot giderim verimi %15,5 oranındadır.

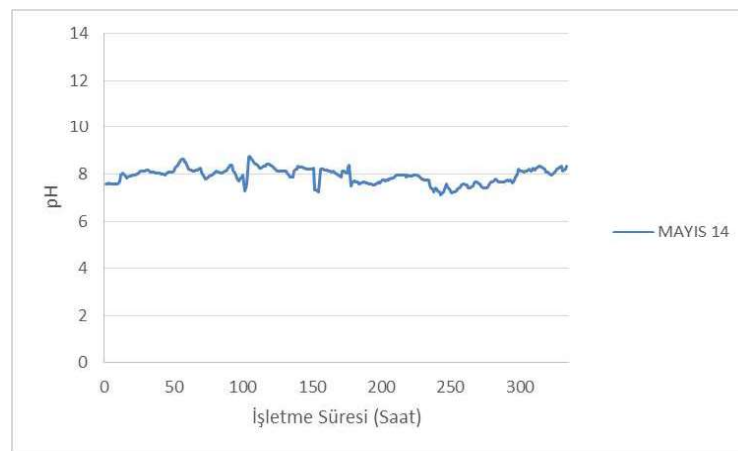


Şekil 9.36. Nisan 2014 toplam fosfor (Giriş- Çıkış).

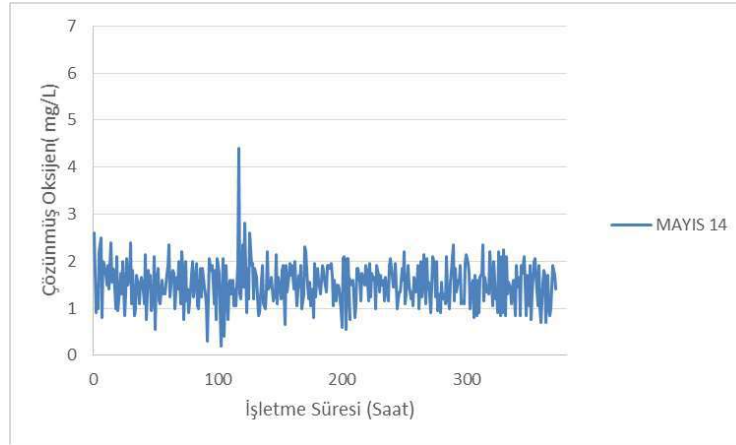
Giriş toplam fosfor değeri 1,26 mg/l iken çıkış toplam fosfor değeri 0,278 mg/l olmuştur. Toplam fosfor giderim verimi %77,99 oranındadır.

Arıtma tesisinde mayıs ayında yapılan arıtım çalışmalarından elde edilen sonuçların grafiksel gösterimi şekil 9.37-42 de verilmiştir. Aerobik arıtım havuzunda pH değeri 6,5-9,5 aralığında ve çözülmüş oksijen değeri 1-2 mg/L aralığında tutulmuştur.

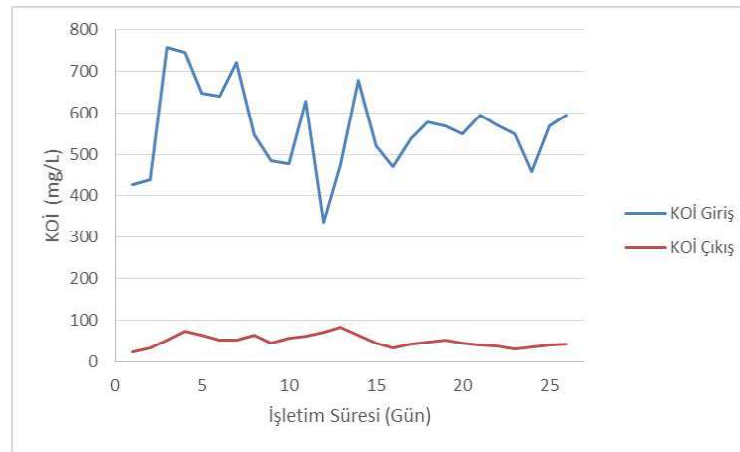
Havalandırma havuzunda pH 6,5-9,5 aralığında, çözülmüş oksijen 1-2 mg/L aralığında otomatik proses kontrol cihazlarıyla dengede tutulmuştur. Dengelemek için asit-baz dozlama pompaları ve saha tipi oksijenmetre-blower desteğiyle aralık içerisinde tutularak aktif çamurun dengeli performans sağlaması amaçlanmıştır. Proses kontrol ekipmanlarının müdahaleleriyle ilgili grafik Şekil 9.37-38 de gözlemlenmektedir.



Şekil 9.37. Mayıs 2014 havalandırma havuzu pH.

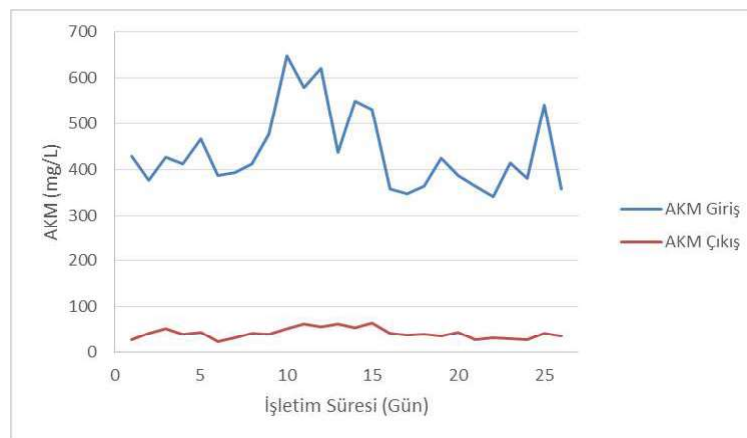


Şekil 9.38. Mayıs 2014 havalandırma havuzu çözünmüş oksijen.



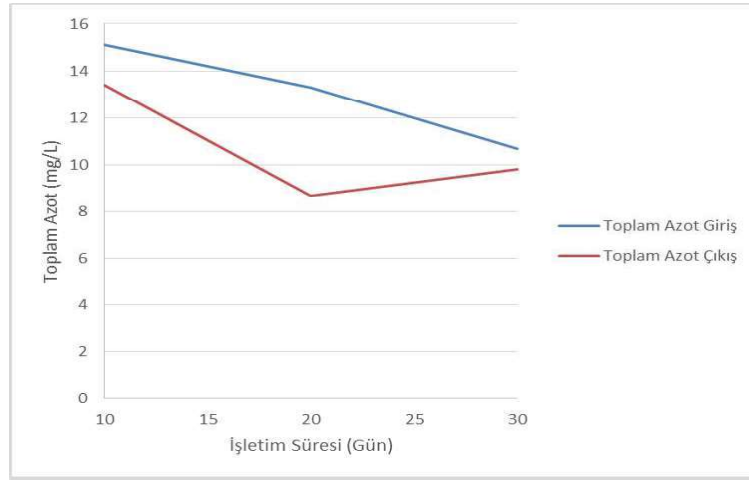
Şekil 9.39. Mayıs 2014 kimyasal oksijen ihtiyacı (Giriş- Çıkış).

Mayıs ayı ortalama giriş KOİ değeri 559,73 mg/l iken çıkış KOİ değeri 49,292 mg/l olmuştur. KOİ giderim verimi %91,19 oranındadır.



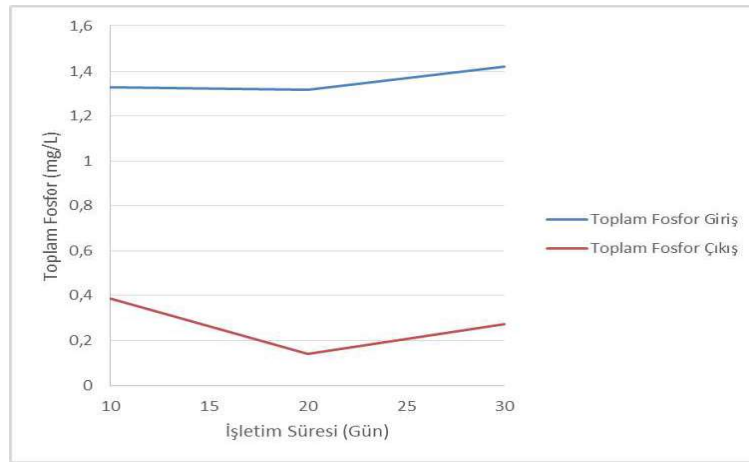
Şekil 9.40. Mayıs 2014 askıda katı madde (Giriş- Çıkış).

Giriş AKM değeri 439,61 mg/l iken çıkış AKM değeri 41,58 mg/l olmuştur. AKM giderim verimi %90,54 oranındadır.



Şekil 9.41. Mayıs 2014 toplam azot (Giriş- Çıkış).

Giriş toplam azot değeri 13,03 mg/l iken çıkış toplam azot değeri 10,63 mg/l olmuştur. Toplam azot giderim verimi %18,41 oranındadır.

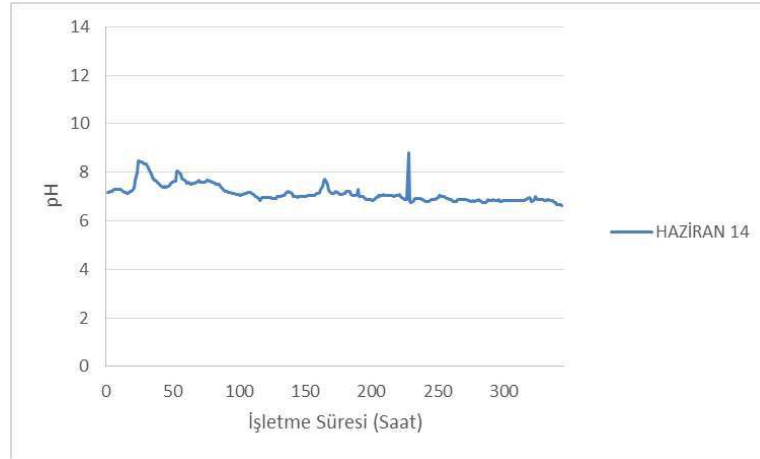


Şekil 9.42. Mayıs 2014 toplam fosfor (Giriş- Çıkış).

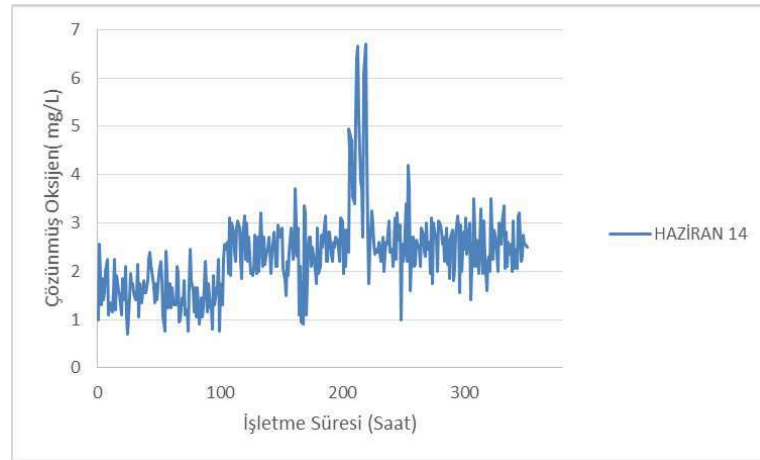
Giriş T. fosfor değeri 1,36 mg/l iken çıkış T. fosfor değeri 0,267 mg/l olmuştur. T. fosfor giderim verimi %80,29 oranındadır.

Arıtma tesisinde mayıs ayında yapılan arıtım çalışmalarından elde edilen sonuçların grafiksel gösterimi şekil 9.43-48 de verilmiştir. Aerobik arıtım havuzunda pH değeri 6,5-9,5 aralığında ve çözünmüş oksijen değeri 1-2 mg/L aralığında tutulmuştur.

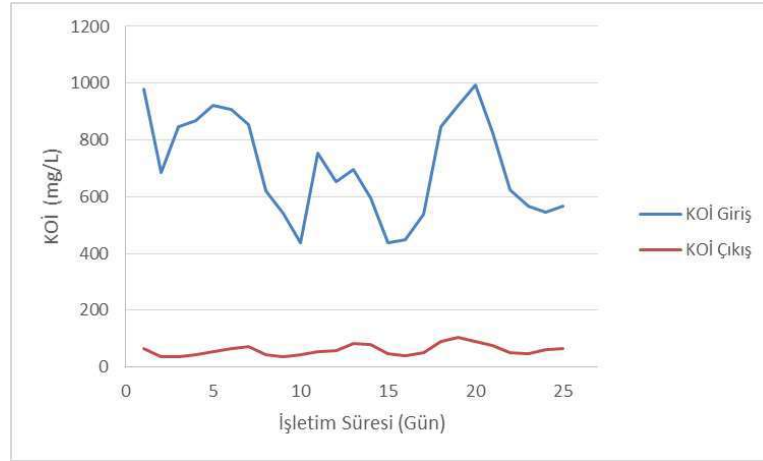
Havalandırma havuzunda pH 6,5-9,5 aralığında, çözünmüş oksijen 1-2 mg/L aralığında otomatik proses kontrol cihazlarıyla dengede tutulmuştur. Dengelemek için asit-baz dozlama pompaları ve saha tipi oksijenmetre-blower desteğiyle aralık içerisinde tutularak aktif çamurun dengeli performans sağlaması amaçlanmıştır. Proses kontrol ekipmanlarının müdahaleleriyle ilgili grafik Şekil 9.43-44 de gözlemlenmektedir.



Şekil 9.43. Haziran 2014 havalandırma havuzu pH.

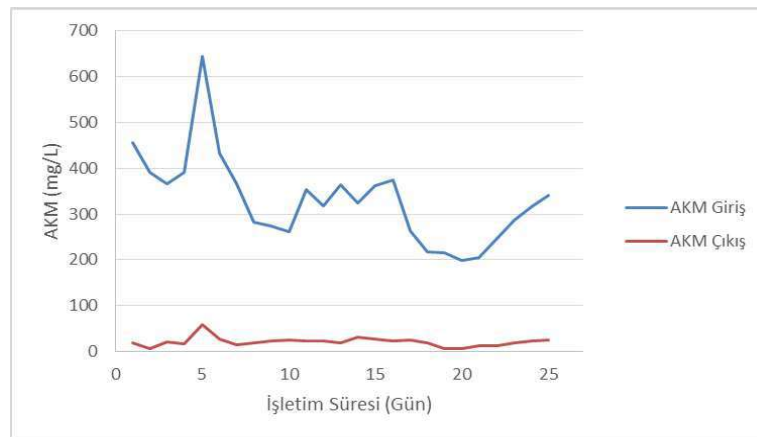


Şekil 9.44. Haziran 2014 havalandırma havuzu çözünmüş oksijen.



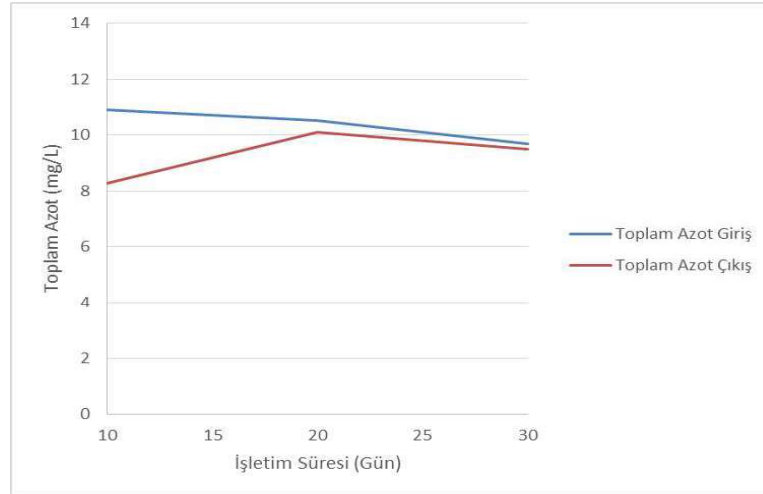
Şekil 9.45. Haziran 2014 kimyasal oksijen ihtiyacı (Giriş- Çıkış).

Haziran ayı ortalama giriş KOİ değeri 706,88 mg/l iken çıkış KOİ değeri 59,192 mg/l olmuştur. KOİ giderim verimi %91,63 oranındadır.



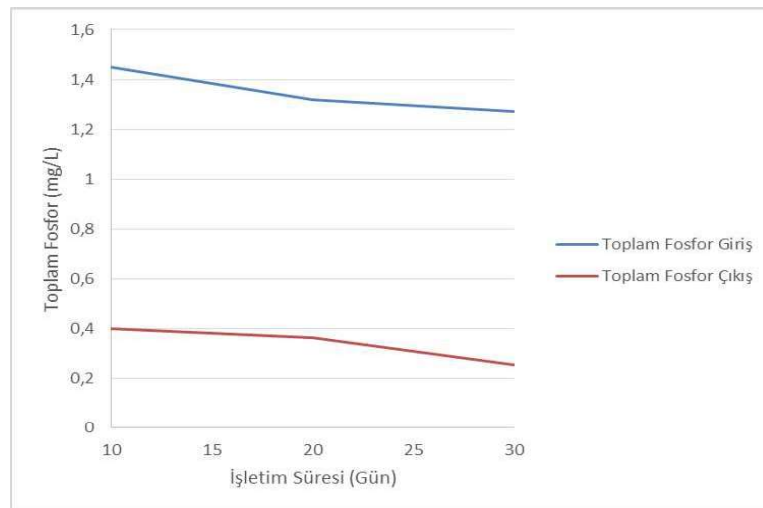
Şekil 9.46. Haziran 2014 askıda katı madde (Giriş- Çıkış).

Giriş AKM değeri 330,4 mg/l iken çıkış AKM değeri 21,04 mg/l olmuştur. AKM giderim verimi %93,63 oranındadır.



Şekil 9.47. Haziran 2014 toplam azot (Giriş- Çıkış).

Giriş toplam azot değeri 10,37 mg/l iken çıkış toplam azot değeri 9,3 mg/l olmuştur. Toplam azot giderim verimi %10,29 oranındadır.



Şekil 9.48. Haziran 2014 toplam fosfor (Giriş- Çıkış).

Giriş T. fosfor değeri 1,35 mg/l iken çıkış T. fosfor değeri 0,34 mg/l olmuştur. T. fosfor giderim verimi %74,75 oranındadır.

10. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Atık su arıtım çalışmaları, Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği esas alınarak yapıldığından Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) parametresine dayandırılmıştır. Sıcaklık ve pH parametrelerin optimum değerlerde olması mikroorganizmaların canlılıklarını sürdürebilmeleri açısından önem taşımaktadır. Membran biyoreaktörde yapılan deneysel çalışma boyunca sıcaklık 23-27 °C, pH 4,5-5,5 değerleri arasında tutulmuştur. Arıtma tesisinde yapılan 6 aylık çalışmalarda ise havalandırma havuzunda pH 6,5-9,5 aralığında, çözülmüş oksijen 1-2 mg/L aralığında otomatik proses kontrol cihazlarıyla dengede tutulmuştur. Dengelemek için asit-baz dozlama pompaları ve saha tipi oksijenmetre-blower desteğiyle aralık içerisinde tutularak aktif çamurun dengeli performans sağlaması amaçlanmıştır.

Bu çalışmada sentetik tekstil atık suların aerobik yarı-kesikli şartlar altında karışık kültür tarafından renk giderimi ve KOİ giderimi araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir. *Aspergillus versicolor* ve *Rhizopus arrhizus* karışık kültürü ile yapılan deneysel çalışmalarda boya yüklendikten sonra her gün sistemden numune alınarak boya konsantrasyonu ölçülmüştür. Arıtım çalışmasında Reaktif Yellow 3 için %54,8 renk giderim ve %72,5 KOİ giderim verimi, Reaktif Black 8 boyası için %62,3 renk giderim ve %89,6 KOİ giderim verimi, Reaktif Black 5 boyası için %70,7 Reaktif Orange 16 boyası %54 renk giderim ve % 73,26 KOİ giderimi verimi sağlanmıştır. Elde edilen boya giderimi verim değerleri göz önüne alındığında tekstil endüstrisi atık sularının arıtımında *Aspergillus versicolor* ve *Rhizopus arrhizus* karışık kültürünün MBR sistem ile birlikte kullanımının uygun olabileceği görülmüştür.

Sonuçlar dikkate alındığında *Aspergillus Versicolor* ve *Rhizopus Arrhizus* karışık kültürü MBR de tekstil atıksularının arıtımı için uygun olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Enzimsel faaliyetin avantajı boyar maddenin yapısının bozunarak funguslar için besin haline dönüştürülmesi ve ortamdan kalıcı olarak yok edilmesidir. Fungusların arıtımda kullandıkları ikincil özellikleri olan adsorpsiyon etkinliği ile ise arıtım hızını arttırmaktadır.

Fungusların hem enzimsel hem de adsorpsiyon aktivitesiyle atıksuların arıtımındaki başarısını daha ileriye taşıma için farklı öneriler sunulabilir. MBR sistemine geri yıkama/püskürtme (backwashing/backflushing) sistemleri eklenerek membran

yüzeylerindeki kek tabakasının oluşumu engellenebilir daha yüksek verimler sağlanabilir. Arıtım sistemine fungusların yenilendiği rehabilitasyon havuzları eklenebilir. Böylece tekstil atıksu arıtım sistemlerindeki işletme maliyetleri düşürülebilir.

Bilecik I. Organize Sanayi Bölgesinde bulunan bir metal işleme tesisinden alınan ham atıksuyun membran biyoreaktör sisteminde *Aspergillus versicolor* ve *Rhizopus arrhizus* karışık kültürü kullanılarak krom +6'nın krom +3 e indirgenmesi, toplam krom, bakır, nikel giderimi değerleri incelenmiştir.

Çalışma kapsamında krom +6'nın krom +3'e %61,32 oranında indirgendiği, krom +3 ün arıtımın gerçekleşmediği bu nedenle toplam krom içeriğinde bulunan krom +6 nın krom +3'e dönüşerek krom +3 değerini arttırdığı fakat krom +3 ün giderimi olmadığından toplam krom değerlerinin değişmediği gözlemlenmiştir. Krom +6 değerinin MBR sisteminin pH değerinin 2-3 aralığında olmasından dolayı indirgendiği karışık kültürün etkisinin olmadığı tespit edilmiştir. Nikel gideriminde %10,16 oranında verim sağlanmıştır. Bakır değerinde MBR sisteminin düşük pH da çalıştırılması nedeniyle sistemde bulunan pirinç alaşım difüzör bağlantı parçasının asidik ortamda çözünmesi nedeniyle artış gözlemlenmiştir. Bu nedenle analizler 24 saat işletim süresi sonrası bitirilmiştir. 24 saatlik genel inceleme sonucunda *Aspergillus versicolor* ve *Rhizopus arrhizus* karışık kültürünün krom, nikel, bakır gideriminde verim sağlamadığı tespit edilmiştir.

Bilecik I. Organize Sanayi Bölgesi Arıtma Tesisinde yapmış olduğumuz 6 aylık analiz çalışmaları sonucunda sistemde KOİ giderim veriminin %91,2-94,6 ve AKM giderim veriminin %90,5-95,1 olduğu buna nazaran toplam azot giderim veriminin %10,3-38,9 aralığında ve toplam fosfor giderim verimlerinin %65,8-81,7 aralığında olduğu değerlerin Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Tablo 19 deşarj limit değerlerine uygun olsa da ideal olmadığı gözlemlenmiştir. Bunun nedeninin arıtma tesisinde kullanılmakta olunan aktif çamur prosesinde C/N/P = 100/20/5 oranının tam sağlanamamasından kaynaklı olduğu gözlemlenmektedir.

Mevcut proste aktif çamur verim artışının sağlanması için C/N/P oranı dikkate alınarak havalandırma havuzuna azot (N) takviyesi olarak üre, fosfor takviyesi olarak diamonyum fosfat (%18 azot (N) ve %46 fosfor (P)) gübresi eklenmelidir. Toplam azot

ve toplam fosfor oranlarının ideal seviyelere getirilmesiyle arıtım verimin artırılması mümkündür.

Aktif çamur prosesinde C/N/P = 100/20/5 oranının tam olarak sağlanabilmesi için alternatif bir çözüm olarak sisteme anaerobik ve anoksik havuz ilave edilerek aktif çamur denitrifikasyona işlemiyle atıksuda bulunan toplam azot anoksik koşullarda mikroorganizma faaliyetiyle azot gazına dönüştürülerek sudan uzaklaştırılabilir. Toplam fosfor giderimi ise biyolojik arıtma esnasında fosforun mikroorganizmalarca bünyelerine alınması ile sağlanır.

Mevcut sistemin eski teknoloji içermesi, bakım maliyetinin yüksekliği, deşarj verim değerlerinin stabil olmaması gibi sorunlar ve yüksek kirlilik içeren suların ön arıtım gereksinimleri nedeniyle kullanılmakta olan arıtma teknolojisi ideallikten uzaklaşmaktadır.

Söz konusu sistem yerine membran biyoreaktör sisteminde farklı bakteri, mantar kültürleriyle arıtma çalışması yapılarak arıtma tesisinde kimyasal kullanımına ve organize bünyesinde bulunan firmalara ön arıtma kurulum gereksinimlerine gerek kalmadan arıtma performansının artırılması ve daha stabil verim yüzdeleri alınması söz konusu olması muhtemeldir.

Sistemin membran biyoreaktör sistemine dönüştürülmesine karar verilmesi halinde havalandırma havuzlarının yanı sıra son çöktürme havuzu tabanına hava hattı döşenmesi, sıyırıcı mekanizmasının sistemden sökülmesi ve dahili membran modüllerinin montajıyla çöktürme havuzunun da dahili membranlı biyoreaktöre dönüştürülmesi mümkündür. Bu sayede arıtma sistemine daha fazla modül entegre edilebilmesi mümkün olacak ve daha yüksek arıtma kültürü konsantrasyonlarında çalışması mümkün olacaktır. Havalandırma havuzu kapasitesi yüksek oranda artış gösterecektir. Bu sayede pik kirlilik yükselişlerinin kolay yönetilebilmesi mümkün olacak sistemin stabil hale gelmesi sağlanacaktır.

Sistemde bulunan aktif çamur prosesinin mantar kültürüyle değiştirilmesi veya mantar kültürü içeren ara arıtma kademesi kurulması halinde düşük pH değerlerinde arıtım sağlanması mümkün olacaktır. Gerekli durumlarda düşük pH değerli salınım yapan firmaların ön arıtma kademelerine entegre edilmesiyle firmaların pH düzenleyici

kimyasal kullanım gereksinimleri kalkacaktır. Mantar kültürleri aktif çamura oranla oksijen, pH, sıcaklık değişimlerine hassasiyetleri çok daha azdır. Uzun süreli şok değer değişikliklerinde aktif çamur proseslerinde oluşan aktif bakteri türü değişimi, bakteri popülasyon kaybı, ölüm gibi durumların yaşanma riski daha düşüktür.

KAYNAKLAR

- Baek, D.H., Ki, C. S., Um, I.C., Park, Y. H., “Metal Ion Adsorbability of Electrospun Wool Keratose/Silk Fibroin Blend Nanofiber Mats”, *Fiber and Polymers*, 8 (3) : 271-277 (2007).
- Başbüyük, M. Yüceer, A. ve Yılmaz, T., “Tekstil Atık Sularında Renk Giderilmesinde Kullanılan İleri Teknolojiler”, *I. Atık Su Sempozyumu*, Kayseri, 351-356 (1998).
- Bumpus, J. A., “Microbial Degradation of Azo Dyes Biotransformation: Microbial Degradation of Health Risk Compouns”, *ElsevierScience*, 54:157-176 (1995).
- Büyükdere, A., “Tekstil Endüstrisi Atık Sularının Membran Teknolojileri ile Arıtılması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2008).
- Cripps C., Bumpus J. A., Aust S. D., “Biodegradation of Azo and Heterocyclic Dyesby P. chryso sporium. Applied En.”, *Microbiol*, 56: 1114-1118 (1990).
- Çapar, G., Yetiş, Ü., Yılmaz, L., “Halı Boyama Atık Sularının Membran Prosesleri ile Arıtımı”, *Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi*, 14(2): 9-15 (2004).
- Çetin, D., Dönmez, G., “Decolorization of Reactive Dyes by Mixed Cultures Isolated From Textile Effluent Under Anaerobic Conditions”, *Enzyme and Microbial Technology*, 7: 926-930 (2005).
- ÇŞB, “Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Ekleri”, http://sgb.csb.gov.tr/mevzuat/dosyalar/r_20131001011242110_708b95b8-c32b-4164-949a-67c66833bee2.pdf (2016).
- Davies, W.J., Le, M.S., Heath, C.R., “Intensified Activated Sludge Process With Submerged Membrane Microfiltration”, *Science and Technology*, 38(4-5): 421-428 (1998).
- Dere, T., “Kentsel Atık Suyun Membran Biyoreaktör ile Arıtılması ve Modellenmesi”, Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya (2010).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Gürel, L., Büyükgüngör, H., “Atık Su Arıtımında Membran Biyoreaktörler”, *İTÜ Dergisi Su Kirlenmesi Kontrolü*, 1(21): 13-23 (2011).
- Hacıfettahoğlu, A., “Biyodizel Üretim Tesisi Atık Sularının Membran Filtrasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli (2009).
- Işık, M., Sponza, D.T., “Effect of Oxygen on Decolorization of Azo Dyes by Escherichiacoli and Pseudomonas sp. and Fate of Aromatic Amines”, *Process Biochemistry*, 38: 1183-1192 (2003).
- Kaleli, B., “Atık Suların İleri Arıtımında Membran Proseslerinin Kullanımının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2006).
- Kapdan, İ.K., Kargı, F., “Atık Sulardan Tekstil Boyar Maddelerinin Adsorpsiyonlu Biyolojik Arıtım İle Giderimi”, *Turk J. Engin. Environ. Sci*, 24: 161-169 (2000).
- Kaykioğlu, G., “Biyolojik Ön Arıtmalı Membran Sistemler ile Tekstil Atık Sularının Geri Kazanımı”, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2010).
- Kestioğlu, K., “Atıksu Arıtımında Biyokimyasal Prosesler”, *Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayını*, 1(1): 70 (2001).
- Lata, H., Garg, V.K., Gupta, R.K., “Removal of A Basic Dye From Aqueous Solution by Adsorption Using Parthenium Hysterophorus: An Agricultural Waste”, *Dyes Pigments*, 74: 653-658 (2007).
- Mercimek, H. A., “Trametes Versicolor’ın Tekstil Boyalarının Gideriminde Kullanım Olanakları”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana (2007).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Mert, B. K., “Deri Sanayi Atık Sularından Membran Teknolojisi ile Cr (III) Geri Kazanımının Araştırılması”, Doktora Tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa (2009).
- Minussi, R. C., Moraes, S. G., Pastore, G. M., Duran N., “Biodecolorization Screening of Synthetic Dyes by Four White Rot Fungi in a Solid Medium: Possible Rol of Siderophores, *Letters in Applied Microbiology*, 33: 21-25 (2001).
- Özan K., Gül Ü.G. Açıkgöz Ç., “Çevreye Zarar Veren Tekstil Atıksularının Arıtım Çalışmaları”, *International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science (ISITES)*, Karabük 2-3 (2014).
- Özmen, E. Y., Erdemir, S., Yılmaz, M., “Removal of Carcinogenic Direct Azo Dyes From Aqueous Solutions Using Calix[N]Arene Derivatives”, *Clean.*, 35: 612-616 (2007).
- Ramsay, J.A, Nguyen, T., “Decoloration of Textile Dyes by *Trametes versicolor* and Its Effect on Dye Toxicity”, *Biotechnology Letters*, 24: 1757-1761 (2002).
- Samsunlu, A., “Atıksuların Arıtılması”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul (2006).
- Samsunlu, A., “Çevre Mühendisliği Kimyası”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul (2008).
- Shin M., Nguyen T., Ramsay J., “Evulation of Support Materials for The Surface Immobilization and Decolorization of Amaranth by *Trametes versicolor*”, *Microbiology. Biotechnolgy*, 60: 218-233 (2002).
- Swamy J, Ramsay J.A., “Effects of Glucose and Nitrogen Concentrations on Sequential Dye Decoloration by *T. Versicolor*”, *Enzyme Microb. Technol*, 25: 278-84 (1991).
- Yalçın, E., “Sulardan Ağır Metal Giderimi İçin Nanofibriler Filtrelerin Hazırlanması ve Karakterizasyonu ”, Yüksek Lisans Tezi, *Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2012).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

Yüceer, S. “Anaerobik Filtrelerde Substrat Giderme Kinetiğine Sıcaklığın Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana (2006).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Onur KAVUŞTU
Doğum Yeri ve Tarihi : Eskişehir / 1989



Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Kimya ve Süreç Mühendisliği (2012)

İş Deneyimi

Stajlar : (1) 1. Hava İkmal Bakım Merkezi Komutanlığı
Stajyer Mühendis- ESKİŞEHİR (06.2010-07.2010)
(2) Eskişehir ÇİMSA Çimento Fabrikası
Stajyer Mühendis- ESKİŞEHİR (07.2011-08.2011)

Çalıştığı Kurumlar

(1) Bilecik 1. Organize Sanayi Bölgesi
Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi
Proses Kontrol Mühendisi BİLECİK (11.2012-02.2013)
(2) Bilecik 1.OSB Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi
(Çevre-Yapı Arıtma Sistemleri)
Tesis Sorumlu Mühendisi BİLECİK (02.2013-09.2014)
(3) Çevre-Yapı Arıtma Sistemleri Ltd. Şti
Arıtma Tesisleri İşletme Sorumlusu (09.2014-01.2015)
(4) Bilecik Belediyesi Arıtma Tesisi
Proses Sorumlusu (08.2015-Halen)

İletişim

Adres : Batıkent Mh. Çayköy Sk. Tunakent Sitesi B Blok No:23
Daire:9 Tepebaşı/ESKİŞEHİR
Tel : 0 222 315 11 61
E-Posta Adresi : onurkavustu@hotmail.com

Tarih: 18/01/2016

İmza