T.C

HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DİNAMİK MEMBRAN BİYOREAKTÖR KULLANILARAK TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSUYUNDA BOYA GİDERİMİ

Erkan BAŞARAN

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA

2020

Doç. Dr. Deniz UÇAR danışmanlığında, Erkan BAŞARAN'ın hazırladığı **"Dinamik Membran Biyoreaktör Kullanılarak Tekstil Endüstrisi Atıksuyunda Boya Giderimi"** konulu bu çalışma 24/08/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

imza

Danışman : Doç. Dr. Deniz UÇAR ……..…..……..

Üye :Dr. Öğr. Üyesi Adem YURTSEVER ……..…..……..

Üye :Prof. Dr. Erkan ŞAHİNKAYA ……..…..……..

Üye :Doç. Dr. Dilek ATASOY ……..…..……..

Üye :Doç. Dr. Özlem DEMİR ……..…..……..

Bu Tezin Çevre Mühendisleri Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Doç. Dr. İsmail HİLALİ
Enstitü Müdürü

Bu çalışma TÜBİTAK Tarafından Desteklenmiştir.
Proje No: TÜBİTAK- 117Y213

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

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET ..... **i**
ABSTRACT ..... **ii**
TEŞEKKÜR ..... **iii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **iv**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **vi**
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ ..... **vii**
1. GİRİŞ **1**
1.1. Tekstil Endüstrisi Atıksuyu ve Karakteristiği **4**
1.2. Tekstil Endüstrisi Boya Kullanımı **7**
1.3. Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Boya Türleri **7**
1.4. Tekstil Endüstrisi Atıksularının Arıtımında Kullanılan Yöntemler **10**
1.5. Tekstil Endüstrisi Atıksularının Arıtım Yöntemlerinin Performans Kıyaslanması **12**
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR **16**
2.1. Tekstil Endüstrisi Atıksularının Membran Biyoreaktörler Kullanılarak Arıtılması **16**
2.2. Tekstil Endüstrisinde Dinamik Membran Uygulamaları **18**
2.3. Dinamik Membran **18**
2.4. Membran ve Dinamik Membran Arasındaki Fark **20**
2.5. Dinamik Membran Kullanım Alanları ve Arıtım Performansı **21**
2.6. Dinamik Membran Tarihi Gelişim Süreci **27**
2.7. Dinamik Membran Kek Oluşumuna Genel Bakış **28**
2.8. Dinamik Membran Kek Tabakası ve Reaktör Çamur Özelliği **29**
2.9. Dinamik Membran Uygulamalarında Kullanılan Destek Tabakalar **31**
2.10. Dinamik Membranda Kritik Akı **34**
2.11. AnDMBR'lerin AnMBR'lere Göre Avantajları **34**
2.12. Dinamik Membran Çalışmalarında Temizleme Yöntemleri **36**
3. MATERYAL ve YÖNTEM **37**
3.1. Materyal **37**
3.1.1. Kullanılan reaktörün genel özellikleri **38**
3.1.2. Tekstil atıksu özellikleri **39**
3.1.3. Kullanılan membranlar ve modül özelliği **41**
3.2. Yöntem **43**
3.2.1. İşletme koşulları **43**
3.2.2. Stabil işletim koşullarının sağlanması **43**
3.2.3. Kısa süreli işletimlerle dinamik membran optimizasyonu **45**
3.2.4. Uygun destek tabakası seçimi **47**
3.2.5. Uygun destek tabakasının uzun süreli işletimle test edilmesi **48**
3.2.6. TMP izlenebilirliği **50**
3.2.7. Membran tıkanması ve temizliği **50**
3.2.8. Çalışmada uygulanan analizler **52**
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA **56**
4.1. Kısa Süreli İşletimlerle Dinamik Membran Optimizasyonu ve Uygun Destek Tabaksı Seçimi **56**
4.1.1. KOİ izlenebilirliği **56**
4.1.2. Renk giderim performansı sonuçları **58**
4.1.3. Kısa süreli işletim reaktörde biyogaz oluşumu **60**
4.1.4. Kesikli sistem ORP (oxidation reduction potentia) **61**
4.1.5. Akalinite ve pH kontrolü **62**
4.1.6. Reaktör içi AKM-UAKM değişimi ve SMP-EPS'in üretimi **63**
4.1.7. Kısa süreli işletim çıkış AKM konsantrasyonu (bulanıklık izlenilebilirliği) **67**
4.1.8. AnDMBR'de basınç oluşumu (TMP değişimi) **71**

4.1.9. Membran ve DMBR kirleticilerinin karakterizasyonu **74**
4.1.10. Kısa süreli işletim sürecinde destek tabakalarının kıyaslanması ve seçimi **82**
4.2. Uygun Destek Tabakasının Uzun Süreli İşletimle Test Edilmesi **84**
4.2.1. Uzun süreli işletimde AnDMBR arıtım sonuçları **84**
4.2.2. Uzun süreli işletimde KOİ değişimi **85**
4.2.3. Uzun süreli işlerim renk analiz sonuçları **87**
4.2.4. Uzun süreli işletimde gaz oluşumu takibi **88**
4.2.5. Uzun süreli işletim AnDMBR ORP takibi **89**
4.2.6. Uzun süreli işletim alkalinite ve pH kontrolü **90**
4.2.7. Uzun süreli işletimde AKM-UAKM sonuçları SMP ve EPS 'in MBR üzerindeki etkisi **92**
4.2.8. Uzun süreli işletim filtrasyon performansı çıkış AKM sonuçları **95**
4.2.9. Uzun süreli işletimde AnDMBR'de basınç ve akı değişimi **98**
4.2.10. Uzun süreli işletim kirletici karakterizasyonu **101**
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER **109**
5.1. Sonuçlar **109**
5.2. Öneriler **110**
KAYNAKLAR **111**
ÖZGEÇMİŞ **115**
YAYINLAR **116**

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

DİNAMİK MEMBRAN BİYOREAKTÖR KULLANILARAK TEKSTİL ENDÜSTRİSİ ATIKSUYUNDA BOYA GİDERİMİ

ERKAN BAŞARAN

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç Dr. Deniz UÇAR
İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Adem YURTSEVER
Yıl:2020, Sayfa: 116

Tekstil faaliyetleri sırasında 1 kg tekstil ürünü elde edebilmek için kullanılan prosese bağlı olarak 95-400 litre su gerekmektedir. Faaliyetlerin sonucunda da çevreye zararlı, yüksek konsantrasyonda organik madde, askıda katı madde ve renk içeren atıksular oluşur. Bu atıksuların arıtımında dinamik membran biyoreaktörler, klasik membran biyoreaktörlerdeki yüksek ilk yatırım ve işletme maliyetlerine bir alternatiftir. Bu çalışmada tekstil atıksularının arıtımında farklı gözenek boyutuna sahip destek tabakalar (20 µm, 53 µm ve 100 µm) değişen akı (8-33,5 LMH), arası gaz geri devir oranları (SAD_m: 2-10 $m^3/(m^2.h)$) ve gaz geri devir döngü süreleri (sürekli, 1 dk çalış/5 dk dur vb) ile denenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen verilerle seçilen bir destek tabaka uzun süreli olarak dinamik membran biyoreaktörde kullanılmıştır. Yapılan deneme neticesinde 20 µm'lik destek tabaka çıkış AKM konsantrasyonları ve dinamik tabaka oluşum hızı açısından 53 µm ve 100 µm'lik destek tabakalardan çok daha iyi sonuçlar vermiş olup 7-10 gün sürelerle yapılan 2 dakikalık geri yıkamalarla dinamik membran oldukça stabil şekilde işletilebilmiştir. Seçilen 20 µm'lik destek tabaka ile kurulan reaktörde ise (10000 mg/L reaktör içi AKM) başlangıçta yüksek çıkış AKM ölçülse de 25 günlük süre sonunda çıkış 10 mg/L'nin altına düşmüştür. Çalışma boyunca giriş KOİ 1000 mg/L iken çıkışta 96±49 mg/L olarak gözlenmiştir. Çalışmada test edilen iki farklı renk konsantrasyonu (100±6 ve 201±5 mg/L) için %97'nin üzerinde giderim verimi elde edilmiştir. Çalışmada kritik akı 90-95 LMH olarak belirlenmiş olup tüm süreçler için membran kirletici karakterizasyonları reaktör içi, süzüntü, kek tabakası ve EPS numunelerinden; kek tabakası ve reaktör içi çamurunun kurutulmasıyla elde edilen numunelerden ise membranlardan SEM ve SEM-EDS analizleri ile değerlendirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER :Tekstil endüstrisi atıksuyu, dinamik membran biyoreaktör, renk giderimi, anaerobik dinamik membran biyoreaktör

ABSTRACT

MSc Thesis

COLOR REMOVAL IN TEXTILE INDUSTRY WASTEWATER USING A DYNAMIC MEMBRANE BIOREACTOR

Erkan BAŞARAN

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Environmental Engineering

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Deniz UÇAR
Co-Supervisor: Asst. Prof. Dr. Adem YURTSEVER
Year:2020 , Page:116

During textile activities, 95-400 liters of water is required depending on the process used to produce 1 kg of textile product. As a result, wastewaters are formed that are harmful to the environment and contain high concentrations of organic matter, suspended solids and colors. In the treatment of these wastewater, dynamic membrane bioreactors are an alternative to high initial investment and operating costs in conventional membrane bioreactors. In this study, the effects of support layers with different pore sizes (20 µm, 53 µm and 100 µm), different fluxes (8-33.5 LMH), gas recirculation rates (SADm: 2-10 $m^3/(m^2.h)$) and gas recycle cycle times (continuous, 1 min run / 5 min stop etc.) on textile wastewater treatment were investigated. A support layer selected with the experimental results of this study was used in long term dynamic membrane operation. As a result of the experiment, 20 µm support layer provided satisfying results in terms of effluent SS concentrations whereas 53 µm and 100 µm support layers provided good results in terms of dynamic layer formation speed. The dynamic membrane could be operated quite stably with 2 minutes of backwashing for each 7-10 days periods. With the utilization of 20 µm support layer (10000 mg/L in-reactor SS), although high effluent SS was measured initially, the effluent SS decreased below 10 mg/L at the end of the 25-day period. Throughout the study, influent and effluent COD concentrations were 1000 mg/L and 96 ± 49 mg/L, respectively. Removal efficiency was over 97% for two different color concentrations tested in the study (100±6 and 201±5 mg/L). The critical flux in the study was determined as 90-95 LMH, and membrane contaminant characterizations for all processes were performed from the bulk reactor, permeate, cake layer and EPS samples. SEM and SEM-EDS analyzes were also performed from samples obtained by drying the cake layer and reactor sludge

KEY WORDS: Textile industry wastewater, dynamic membrane bioreactor, color removal, anaerobic dynamic membrane bioreactor

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanması ve yürütülmesi süresinde beni yönlendiren, benden desteğini ilgi ve alakasını hiçbir zaman esirgemeyen, bilgi ve hoşgörülerinden yararlandığım eş danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Adem YURTSEVER'e teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışmamda gerekli koşulları sağlamasında verdiği tüm bilgi ve becerisini bana aktaran tez çalışmamın ve okulun bitmesinde yardımcı olan danışmanım Doç Dr. Deniz UÇAR'a sonsuz teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Azo boyar madde ve aromatik aminin anaerobik-aerobik koşullarda biyodegradasyonu **11**
Şekil 2.1. Membran sistemlerin konvansiyonel yöntemlere uyarlanması **17**
Şekil 2.2. Membran ve Dinamik membranların kıyaslanması **21**
Şekil 2.3. Dinamik ve yeni membranın bulanıklık giderimi **30**
Şekil 2.4. SEM analizi ile DMBR'ın yıkama öncesi ve sonrası görünümü **31**
Şekil 2.5. (a) mono-mono flament, (b) mono-multi flament, (c) zımba filtresi (40x büyütme) **32**
Şekil 2.6. Kek tabakası oluşumu ve fiziksel temizliğin ardından gözenek birikimi:(a) mono-mono flament destek malzemesi, (b) Elyaf temel destek malzemesi **33**
Şekil 3.1. Genel çalışma yönetim şeması **37**
Şekil 3.2 Genel reaktör akış diyagramı **38**
Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan reaktörün genel görünümü **39**
Şekil 3.4. Remazol Brlliant Violet-5R (RBV-5R) **40**
Şekil 3.5. AnDMBR reaktörde kullanılan modülün görünümü **42**
Şekil 3.6. AnDMBR modül (a) ana gövde ve (b) membran kullanılmış görünümü (c) DMBR SEM görünümü. **42**
Şekil 3.7. (a)Reaktör genel görünümü ve (b)besin besleme ünitesi **43**
Şekil 3.8. (a)Reaktör içerisinde 0,45 µm ve 20 µm naylon mesh kullanımı (b)giriş MBR ve DMBR çıkış suları **44**
Şekil 3.9. (a) Modülün reaktörden çıkartılması (b) Kek oluşmuş modül (c) Fiziksel yıkama yapılmış modül (d) Yeni membran takılmış modül **52**
Şekil 4.1. Kısa süreli DMBR-filtreli, DMBR-Filtresiz, 0,45 µm Süzüntü Suları KOİ sonuç grafiği ... **57**
Şekil 4.2. Çalışmada giriş, süzüntü, DMBR ve reaktör içi renk ölçüm verileri **59**
Şekil 4.3. Kısa süreli işletim teorik ve gerçek biyogaz oluşum verileri **60**
Şekil 4.4. Kısa süreli işletim Giriş, süzüntü ve DMBR çıkış suları pH ölçümü **62**
Şekil 4.5. Reaktör giriş ve çekilen süzüntü pH verileri **63**
Şekil 4.6. AnDMBR'de AKM ve UAKM değişimi **64**
Şekil 4.7 AnDMBR'ye ait SMP ve EPS konsantrasyonlarının değişim grafiği **66**
Şekil 4.8. Bulanıklık AKM-mg/L, Absorbans grafiği 600 nm dalga boyunda **67**
Şekil 4.9. Kısa süreli işletim çıkış suyu AKM konsantrasyonu (20-50-100)µm **68**
Şekil 4.10. (A)DMBR 95. günde yapılan fiziksel yıkama (B)DMBR 107. gün sonunda yapılan kimyasal yıkama ile elde edilen çıkış AKM konsantrasyonu **70**
Şekil 4.11.. Kısa süreli işletim TMP verileri ve Akı verileri (20-53-100) µm DMBR **72**
Şekil 4.12. AnDMBR'de kullanılan 20 µm dinamik membrana ait SEM görüntüleri - (A) Temiz membran, (B) Kek tabakalı 100x yakınlaştırmalı membran (C) Kek tabakalı 500x yakınlaştırmalı membran (D) Kek tabakasının kesit görünümü ve kalınlık ölçümü **75**
Şekil 4.13. AnDMBR'de kullanılan 53 µm dinamik membrana ait SEM görüntüleri - (A) ve (B) Kek/Jel tabakalı 100x yakınlaştırmalı membran (C) Kek tabakalı 500x yakınlaştırmalı membran (D) Kek tabakasının kesit görünümü ve kalınlık ölçümü **77**
Şekil 4.14**.** AnDMBR'de kullanılan 100 µm dinamik membrana ait SEM görüntüleri - (A) Kek tabakalı 500x yakınlaştırmalı membran (B) Kek tabakasının kesit görünümü ve kalınlık ölçümü **78**
Şekil 4.15. AnDMBR'de kullanılan 0,45 µm MF membranına ait SEM görüntüleri - (A) Kek tabakalı 500x yakınlaştırmalı membran (B) Kek tabakasının kesit görünümü ve kalınlık ölçümü .. **79**
Şekil 4.16. AnDMBR'de kullanılan membranlara ait kek tabakalı SEM-EDS ölçümlerine ait grafikler: (A) 20 µm (B) 53 µm (C) 100 µm **80**

Şekil 4.17. AnDMBR'de kullanılan membranların kek tabakasından ekstrakte edilen inorganik maddelerin konsantrasyonları: (A) 20 µm (B) 53 µm (C) 100 µm **81**
Şekil 4.18. 0.45 µm MF 20 µm ve 53 µm DMBR çıkış suları görünümü..... **84**
Şekil 4.19. Uzun süreli İşletim Giriş, Reaktör içi, DMBR filtreli ve filtresiz çıkış suyu KOİ verileri. **86**
Şekil 4.20. Uzun süreli iletim giriş, reaktör içi ve DMBR çıkışlarının boya konsantrasyonları **87**
Şekil 4.21. Uzu süreli işletim teorik ve gerçek biyogaz oluşum verileri **89**
Şekil 4.22. Uzun süreli işletim ORP verileri **90**
Şekil 4.23. Uzun süreli işletim pH ve Alkalinite sonuçları **91**
Şekil 4.24. Uzun süreli işlerim AKM ve UAKM ile AKM/UAKM oranlarının verileri..... **92**
Şekil 4.25. AnDMBR'nin uzun süreli işletiminde SMP ve EPS konsantrasyonlarına ait grafik **93**
Şekil 4.26. Uzun süreli işletim çıkış AKM konsantrasyonu verileri **96**
Şekil 4.27. Uzun süreli işletimde 225. günde yapılan kimyasal yıkama sonrası DMBR çıkış konsantrasyon verileri **97**
Şekil 4.28. 20 µm dinamik membranla yapılan kritik akı çalışması **98**
Şekil 4.29. Uzun süreli işletim TMP ve AKI verileri..... **100**
Şekil 4.30. AnDMBR'den alınan kek tabakalı membran numunesi yüzeyinden elde edilen SEM görüntüleri..... **102**
Şekil 4.31. AnDMBR'de kek tabakalı membranın kesitinden alınmış SEM görüntüleri **102**
Şekil 4.32. AnDMBR'den alınan kimyasal olarak temizlenmiş membrana ait SEM görüntüleri..... **104**
Şekil 4.33. AnDMBR'de kek tabakalı membrana ait SEM-EDS ölçüm soncucu..... **105**
Şekil 4.34. Kek tabaksındaki bir çökeltiden noktasal olarak alınan SEM-EDS ölçüm sonucu..... **106**
Şekil 4.35. AnDMBR'de kimyasal olarak temizlenmiş membrana ait SEM-EDS sonucu..... **107**
Şekil 4.36.. Ekstrakte edilen kek tabakasındaki inorganik maddelerin konsantrasyonları..... **108**

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1 Tekstil endüstrisinde atıksu karakterizasyonu **5**
Çizelge 1.2 Tekstil endüstrisinde kirlilik oluşturan işletme bölümlerinin atıksu karakterizasyonu **5**
Çizelge 1.3.Tekstil endüstrisinde kullanılan elyaf ve boya türüne bağlı oluşan atıksu karakteristiği **8**
Çizelge 1.4. Tekstil endüstrisi atıksularına uygulanan çeşitli arıtma yöntemleri ve arıtma verimleri **12**
Çizelge 1.5. Tekstil endüstrisi atıksu geleneksel yöntemlerle arıtım performansları **13**
Çizelge 1.6. Tekstil atıksu arıtım yöntemlerinin uygulanabilirliği **14**
Çizelge 2.1. Membran ve Dinamik membranların avantaj ve dezavantajları **20**
Çizelge 2.2. Farklı biyolojik olmayan fiziksel dinamik membran uygulamalarının oluşum koşulu ve filtrasyon performansı. **23**
Çizelge 2.3. AnMBR ile AnDMBR arasındaki bazı belirgin farklılıklar **35**
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılacak sentetik atıksu içeriği **40**
Çizelge 3.2. AnDMBR olarak kullanılan malzemelerin genel özellikleri **41**
Çizelge 3.3. 0,45µm mebranın 0-85 günlük işletme koşulları **44**
Çizelge 3.4. 20µm AnDMBR işletim işletilme süreci verileri **45**
Çizelge 3.5. 53 µm DMBR Kullanılması **46**
Çizelge 3.6. 100 µm DMBR Kullanılması **47**
Çizelge 3.7. Uygun destek tabaka seçiminde gözlemlenen sonuçlar **48**
Çizelge 3.8. Uzun süreli 20 µm AnDMBR işletme koşulları **49**
Çizelge 3.9 Çalışmada uygulanan rutin analiz yöntemleri **53**
Çizelge 4.1. Kısa süreli işletim KOİ sonuçlarının genel ortalamaları **56**
Çizelge 4.2. Kısa süreli işletim puan tablosu kıyaslaması **83**
Çizelge 4.3. Uzun süreli çalışma periyotları KOİ konsantrasyon verileri **85**
Çizelge 4.4. Uzun süreli işletim teorik ve gerçek biyogaz verileri **88**
Çizelge 4.5. Uzun süreli işletim pH, alkalinite, çalışma periyotları ortalama verileri **90**

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

AeMBR	Anaerobik Membran
AKM	Askıda Katı Madde
AnDMBR	Anaerobik Dinamik Membran
BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
$BOİ_5$	Biyolojik Oksijen İhtiyacı 5.gün
ÇKM	Çözünmüş Katı Madde
DM	Dinamik Membran
EPS	Hücre Dışı Polimerik Madde
HRT	Hidrolik Bekletme Süresi
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MBR	Membran Biyoreaktör
MF	Mikrofiltrasyon
MLSS	Mikrobiyal Askıda Katı Madde
MLVSS	Mikrobiyal Uçucu Askıda Katı Madde
NF	Nanofiltrasyon
PAC	Toz Aktif Karbon
RO	Ters Ozmoz
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SFDM	Kendiliğinden Oluşan Dinamik Membran
SMP	Çözünmüş Mikrobiyal Ürünler
SN	Reaktör İçi Çamur Süzüntüsü
SRT	Çamur Bekletme Süresi
SS	Sulu Çamur
TN	Toplam Azot
TOK	Toplam Organik Karbon
TP	Toplam Fosfor
UAKM	Uçucu Askıda Katı Madde
UF	Ultra Filtrasyon
VFA	Uçucu Yağ Asiti
VSS	Uçucu Çökelmemiş Katı Madde

1. GİRİŞ

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelere bakıldığında sanayi gelişimini sağlayan endüstrilerin başında tekstil endüstrisi ve hazır giyim sektörü ön plana çıkmaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerin endüstrileşme yolunda ihracat için ağırlıkta yöneldikleri sektör tekstil endüstrisi olmuştur (Çalışır, 2010). Tekstil endüstrisi çok sayıda farklı türde ürünlerin üretimini içermektedir. Bünyesinde pamuk, yün, sentetik elyaf ve bunların harmanlanmasıyla oluşan dokuma ürünlerini kapsamaktadır. Tekstili bu kadar geniş yapan, kullanılan temel ürünlerin farklı işleme sürecine tabi tutulmasıyla dokuma, keçeleştirme ve benzeri uygulamalarla yarı mamul oluşturmasına dayanmaktadır. Son ürün aşamasında, ağartma, merserizasyon, boyama ve apre uygulamaları tekstil ürünlerinin çok fazla çeşitliliğe ulaşmasına neden olmaktadır (Büyükdere, 2008).

Türkiye'de gelişmekte olan ülkeler arasında yer alması, ihracat ağırlıkta olan ekonomi izlemek ve döviz geliri sağlamak amacıyla istihdama ve üretime dayalı bir yöntem uygulamaktadır. Bu ön görüye dayanarak yüksek üretim kapasitesi, hammaddenin bolluğu, endüstrideki deneyim ve bilgi birikimi, teslimat süresinin kısalığı, uygun maliyet, kaliteli ve esnek üretim ile ürün çeşitliliği katma değeri yüksek ve kullanılan hammaddenin Türkiye'de bulunması, tekstil endüstrisinin ekonomide yüksek getirili sektör olmasını sağlamıştır (Çalışır, 2010).

Tekstil endüstrisinin büyümesi ekonomik getirisinin yanında çevresel problemler oluşturmaya neden olmuştur. Tekstil endüstrisi en fazla kimyasal ve su tüketimine sahip endüstrilerden biridir (Yurtsever ve ark., 2015). Tekstil endüstrisinde yüksek kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) askıda katı maddeler (AKM), ağır metaller ve tuzlarla karakterize edilen yüksek miktarda atıksu oluşmaktadır. Tekstil endüstrisinde boyama, terbiye, haşıllama, birçok yıkama ve durulama gibi uygulamalarla oluşan atıksuların farklı karakterde olmasına neden olmaktadır (Sahinkaya, ve ark., 2017). Tekstil endüstrisinde boyama işlemi kumaşa renk

vermek için yapılır. Boya banyoları sırasında boyaların kumaşlara sabitlenme derecesi hiçbir zaman tamamlanmadığı için hepsi kullanılmaz, böylece boya içeren atık sular elde edilir (Çinar ve ark., 2008).

Boyalı atıksuların karakterizasyonu, boyaların kimyasal yapısındaki farklılıklardan ve boyama prosesinin farklılık göstermesinden kaynaklanmaktadır (Kocaer ve Alkan, 2002). Ortalama senede bir milyon tondan fazla boya üretilmektedir. Üretilen boyanın %50'sine yakını tekstil endüstrisinde kullanılmaktadır (Yurtsever ve ark., 2015). Tekstil endüstrisinde kullanılan boyaların ağırlıkta %60-70'lik kısmını ise azo boyalar kapsamaktadır. Kullanılan bu boyaların ise %20-50 aralığında boyama işlemlerinde kullanılan sularda kalmaktadır (Sahinkaya ve ark., 2017). Tekstil endüstrisi atıksularında problem arz eden boyaların giderilmesinin öneminden yola çıkarak bu çalışma başlatılmıştır.

Mikrofiltrasyon (MF) ve ultrafiltrasyon (UF) ile donatılmış membran biyoreaktörler (MBR) atıksu arıtımında yaygın olarak kullanılmaya başlamış olup, klasik arıtma proseslerine kıyasla avantajları her geçen gün daha fazla anlaşılmaktadır. MF ve UF ile donatılmış MBR'lerin avantajlarına rağmen, membran fiyatlarının halen yüksek olması ve membranların sık sık kirlenerek fiziksel ve kimyasal yıkamaya ihtiyaç duymaları, özellikle UF membranlarda akının çok düşük olması MBR'lerin yaygın kullanımını sınırlayan en önemli etkenlerdir (Fan ve Huang, 2002). Bu dezavantajların avantaja çeviren sistemler olarak dinamik membran biyoreaktörler (DMBR) kullanılarak son yıllarda daha sık bir şekilde çalışılma yapılmış olup, bu sorunların çözümü için bir alternatif olarak ön plana çıkmaktadır.

Dinamik membran; taşıyıcı bir destek malzeme (membran, mesh ya da tekstil ürünü) üzerinde gelişen kek tabakasından (mikrobiyal hücreler, floklar, inorganik ve partikül halindeki organik maddeler) oluşur. Bu çalışmada ise boya gideriminin anaerobik sistemler ile dinamik membran prosesinin kullanıldığı anaerobik dinamik membran (AnDMBR) prosesi çalışılmış olup, literatürde anaerobik dinamik MBR'lerle renk giderimi konusunda çalışma mevcut değildir. Gerçekleştirilen bu

çalışma ile ilk kez tekstil endüstrisi atıksularından boya gideriminde anaerobik dinamik membran test edilmiştir. Çalışmada işletilen AnDMBR, farklı karakteristikteki tekstil endüstrisi atıksuyun arıtılmasında kullanılarak arıtım ve filtrasyon performansı incelenmiştir. Ayrıca dinamik membranlarda oldukça önemli olan kek oluşumu araştırılmış olup, bu kek tabakasının tıkanmaya olan etkisi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Yapılan kirletici analizleri ve çamur karakteristik testleriyle ise kek tabakasının yapısı ve tıkanmaya neden olan etmenler belirlenmiştir. Bu tez çalışmasındaki spesifik amaçlar ise aşağıda sıralanmıştır:

- Anaerobik dinamik membranlarla renk giderimi çalışılarak, dinamik membranların bu sistemlerdeki renk giderim verimi incelenmesi,
- Farklı gözenek boyutlarına sahip membranlar denenerek kullanılan atıksu için en uygun destek tabakası seçilmesi,
- Reaktör içi çamur karakteristiği ve bunun dinamik membran üzerinde gelişen kek tabakası ile ilişkisinin incelenmesi
- Dinamik membran aynı zamanda yüksek tuzluluk indirgeyen koşullarda işletilerek, bu koşulların dinamik membranlardaki tıkanmaya ve akıya etkileri ortaya konması

Bu amaçlarla, önce alınan çamur mikrofiltrasyon membranı ile stabil koşullar sağlanıncaya kadar işletilmiş ve daha sonra dinamik membran sisteme takılarak diğer periyotlara geçilmiştir. Anaerobik dinamik membranın (AnDMBR) farklı dinamik membranlarla kısa süreli işletilerek, dinamik membran seçimi ve optimizasyon çalışmaları yapılması olup bu aşamada tüm çalışmalar yapılmış ve membran seçimi için 3 farklı dinamik membran (20 µm, 53 µm ve 100 µm), farklı koşullarda denenmiş ve optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Kısa süreli işletim denemeleriyle optimum destek tabakasına karar verilmesinin ardından, seçilen dinamik membran ile uzun süreli işletim yapılarak, arıtım ve filtrasyon performanslarının incelenmesi aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada da seçilen dinamik membranın uzun süreli işletimdeki performansı denenmiş olup, ayrıca yapılan tuz ilavesiyle farklı koşulların arıtım ve filtrasyon performansına olan etkisi araştırılmıştır. Bunlara ilave olarak membran kirleticileri detaylı bir şekilde incelenmiştir.

1.1.Tekstil Endüstrisi Atıksuyu ve Karakteristiği

Tekstil endüstrisinde kullanılan boyama, terbiye, haşıllama, çeşitli yıkama ve durulama gibi işlemler nedeniyle tekstil endüstrisinde farklı karakteristikte atıksular oluşmaktadır. Tekstil işletmelerinde yüksek toksisite ve yüksek oranda renk bulunan atıksuların oluşmasına neden olmaktadır (Yurtsever ve ark., 2016). Tekstil endüstrisi, ağırlıklı olarak tesislerin boyama ve terbiye işlemlerinde kullanılan üretim işlemlerinde önemli miktarda su tüketmektedir. Çok yoğun miktarda boya içeren sularda toksisitenin yüksekliğinin yanında suyun deşarj olduğu gölgenin alt kısımları ışığın girişini engellemektedir. Bu nedenle suyun alt kısımlarında bitkilerin fotosentez yapmasını engellemektedir. Fotosentezin azalması sudaki oksijen değerinin düşmesine ve canlılığın azalmasına neden olmaktadır. Çevrenin doğal yapısının, bileşiminin bozulmasına böylece insanların olumsuz yönde etkilenmesine neden olmaktadır (Görgülü ve ark., 2017).

Tekstil endüstrilerinin oluşturduğu atıksular, atıksu arıtma tesislerinin karşılaştığı en zor görevlerdendir. Esas olarak boyalar ve pigmentlerin, uzun süre çevrede kalacakları şekilde biyolojik bozulmaya dayanıklı tasarlanmaları nedeniyle, bu bileşiklerin renginin giderilmesinde güçlük çekilmiştir. Örneğin, hidrolize boya Reactive Blue 19'un yarı ömrü pH 7 ve 25 ° C'de yaklaşık 46 yıldır (Melih, 2013). Bu nedenle boyar madde içeren endüstriyel atıksuların renk giderimi önem arz etmektedir.

Günümüzde birçok fiziksel ve kimyasal uygulamalarla renk giderimi yapılmaktadır (Kocaer ve Alkan 2002). Tekstil atık suları yüksek KOI ve BOI'ye sahip, askıda katı maddelerin fazla olduğu yoğun renkli atık sulardır (Çalışır, 2010). Tekstil endüstrisi atıksuları, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ), pH, renk ve tuzluluk gibi birçok parametrede aşırı dalgalanmalar ile karakterize edilir (Melih, 2013). Tekstil endüstrisi atık sularında çok çeşitli bileşikler bulunabildiğinden alıcı ortamlardaki etkileri de farklı olabilmektedir. (Çalışır, 2010). Ergül (2014)'ün yapmış olduğu çalışmada tekstil endüstrisi atıksu karakterizasyonu Çizelge 1.1.'de verilmiştir.

Çizelge 1.1 Tekstil endüstrisinde atıksu karakterizasyonu (Ergül, 2014)

Parameter	Yıkama	Üretim	Yün Bitirme	Dokuma	Örme Kumaş	Halı	Boyama
BOD/KOİ	0.2	0.29	0.35	0.54	0.35	0.3	0.31
BOİ(mg/L)	6000	300	350	650	350	300	250
AKM(mg/L)	8000	130	200	300	300	120	75
KOİ(mg/L)	30000	1040	1000	1200	1000	1000	800
Renk (ADMI)	2000	1000	-	325	400	600	600

Cırık (2010) yapmış olduğu çalışmada tekstil endüstrisinin bölümleri göz önünde bulundurularak tekstil atıksularının karakterizasyonunda en fazla kirlilik yükü getiren işlem basamakları Çizelge 1.2.'de kısaca açıklanmıştır.

Çizelge 1.2 Tekstil endüstrisinde kirlilik oluşturan işletme bölümlerinin atıksu karakterizasyonu (Cırık, 2010)

Parametre	Elyaf	Haşıl Sökme	Yıkama	Ağartma	Boyama	Baskı
KOİ (mg/L)	Yün	-	5000-90000	-	7920	-
	Pamuk	950-20000		288-13500	1115-4585	-
	Sentetik	-	8000	-	620	1515
BOI5(mg/L)	Yün	-	2270-60000	400	400-2000	-
	Pamuk	-	100-2900	90-1700	970-1460	-
	Sentetik	-	500-2800	-	530	590
Renk (ADMI)	Yün	-	2000	-	2225	-
	Pamuk	64-1900	694	153	1450-4750	-
	Sentetik	-	-	-	1750	-
Toplam Katı (mg/L)	Yün	-	28900-49300	910	-	-
	Pamuk	-	-	2300-14400	-	-
	Sentetik	-	-	-	-	150-250
Toplam Askıdaki Katı (mg/L)	Yün	-	1000-26200	900	-	-
	Pamuk	18-800	184-17400	130-25000	120-190	-
	Sentetik	-	600-3300	-	140	-

Çizelge 1.2. **(devam)**

Parametre	Elyaf	Haşıl Sökme	Yıkama	Ağartma	Boyama	Baskı
Toplam Çözünmüş Katı (mg/L)	Pamuk	530-6900		4760-19500		
Çözünmüş Organik Karbon (mg/L)	Yün Pamuk	- 250-2750	5800 -	- 320	- -	- -
Toplam Kjeldahl Azotu (mg/L)	Yün Pamuk	70 -	- -	40 -		- 164
Amonyum Azotu (mg/L)	Yün Pamuk Sentetik	- 9-19 -	604 - -	- 8-19 -	- - -	- - 129
Toplam Fosfor (mg/L)	Pamuk Sentetik	4-10 -		6-60 -	- -	- 21
Fosfat (mg/L)	Yün		89			
Sülfür (mg/L)	Yün Pamuk	- -	0-2 -	- -	325-900 -	- -
Sülfat(mg/L)	Pamuk				1750-2690	
Klorür (mg/L)	Genel Elyaflar	-	-	90-100	26000	-
Yağ-Gres (mg/L)	Yün	-	580-55000	-	-	-
Cr-2 (mg/L)	Yün	-	50	-	-	-
pH	Yün Pamuk Sentetik	- 8.8-9.2 -	7.6-10.4 7.2-13 8-10	6 6.5-13.5 -	4.6-8 9.2-10.1 11.7	- - -
Su Tüketimi (L kg-1 elyaf)	Yün Pamuk Sentetik	- - -	4-77.5 2.5-43 17-67	- 30-50 -	40-150 38-143 38-143	280-520 - -

1.2. Tekstil Endüstrisi Boya Kullanımı

Tekstil endüstrisi atıksularında renk giderimi oldukça zorlu prosestir. Özellikle geçtiğimiz on yılda renk giderimi ekonomik olarak makul maliyetlere ulaşmak çok zordu (Yurtsever ve ark., 2016). Tekstil endüstrisi atıksularında bulunan azo boyaların aerobik olarak parçalanması, mikroorganizmalara yapmış olduğu toksik etkiden dolayı oldukça zordur. Bir yandan anaerobik ortam koşulları altında azo boyaları elektron alıcısı olarak kullanan anaerobik bakteriler kolaylıkla aromatik aminlere dönüştürür. Azo boyaların aksine, aromatik aminler anaerobik koşullar altında genellikle stabildir, fakat aerobik koşullar altında, biyolojik olarak parçalanabilirler. (Yurtsever ve ark., 2015). Aromatik aminlerin çoğu yüksek oranda toksik ve kanserojen özelliktedir (Yurtsever ve ark., 2016). Bu yüzden aromatik aminlerin toksik özelliği giderilmelidir.

Aromatik amin üreten azo boyaların, azo bağlarının bozulması için dört elektrona ihtiyaç vardır. Gerekli elektronlar, nişasta, uçucu yağ asitleri (VFA) ve glikoz gibi elektron veren karbon kaynaklarının anaerobik oksidasyonu ile üretilir. Bu nedenle anaerobik ortam koşullarında organik maddenin oksidasyonunda oluşan elektronların bir kısmı azo boyanın indirgenmesi, bir kısmı ise biyokütlenin aktivasyonu ve metan üretimi için kullanılır (Yurtsever ve ark., 2016). Tekstil endüstrisi için önceki çalışmalarda azo boyların biyolojik giderimi sırasıyla anaerobik ve aerobik olarak iki aşmada yapılması öngörülmüştür. Çünkü azo boyların anaerobik ortam koşullarında biyolojik parçalanması söz konusu olmaktadır. İkinci aşamada ise oluşan renksiz ve aromatik aminlerin giderilmesi için aerobik ortam koşullarında mineralleştirilir. Böylece anaerobik ve aerobik ortam koşullarının tekstil atıksularında renk giderimi konusunda başarılı sonuçlar ulaşılabilmektedir (Çinar ve ark., 2008).

1.3. Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Boya Türleri

Boya çözeltileri, tuzlar ile metallerle kovalent bağ oluşturarak, fiziksel adsopsiyon veya mekanik tutunmayla uygun yüzeye tutunurlar. Boyalar kimyasal

yapılarına ve uygulama alanlarına göre sınıflandırılır. Boyanın rengini veren kromoform grupları vardır. Bunlar, azo, anrakinon, metin, nitro, arilmetan, karbonil ve diğerleri gibi çeşitli fonksiyonel gruplara dayanır (Melih, 2013). Boyalı atıksuların karakterizasyonu, boyaların kimyasal yapısındaki farklılıklardan ve boyama prosesinin farklılık göstermesinden kaynaklanmaktadır (Kocaer ve Alkan 2002). Dünyada ortalama yılda bir milyon tondan fazla boya üretilmektedir. Üretilen boyanın %50'sine yakını tekstil endüstrisinde kullanılmaktadır (Yurtsever ve ark. 2015). Tekstil endüstrisinde kullanılan boyaların ağırlıkta %60-70'lik kısmını ise azo boyalar oluşturmaktadır. Kullanılan bu boyaların ise %20-50 aralığında boyama işlemlerinde kullanılan sulara geçerek atıksularda kalmaktadır (Sahinkaya ve ark., 2017).

Tekstil endüstrisi boya kullanılan ve yıkama yapan işletmelerde 10-20 mg/L konsantrasyonu aralığında boyar maddeler atıksuya karışmaktadır. Bu yüzden oldukça renkli atıksular meydana gelmektedir (Cırık, 2010). Tekstil endüstrisinde elyaf boyama işleminde çeşitli yardımcı kimyasallar kullanılır ve üretilen atık su karakteristik olarak oldukça karmaşık ve değişkendir (Sahinkaya ve ark. 2017). Genel olarak bir tekstil endüstrisinde kullanılan boya ve elyaf türüne bağlı oluşan atıksular Çizelge 1.3.'de verilmektedir (Kocaer ve Alkan, 2002).

Çizelge 1.3.Tekstil endüstrisinde kullanılan elyaf ve boya türüne bağlı oluşan atıksu karakteristiği (Kocaer ve Alkan 2002)

Boya Türü	Elyaf Çeşidi	Renk (ADMI)	BOİ mg/L	TOK mg/L	AKM mg/L	ÇKM, mg/L	pH
Asit	Poliamid	4000	240	315	14	2028	5,1
1:2 Metal Kompleks	Poliamid	370	570	400	5	3945	6,8
Bazik	Akrilik	5600	210	255	13	1469	4,5
Direct	vizkoz	12500	15	140	26	2669	6,6

Çizelge 1.3. **(devam)**

Boya Türü	Elyaf Çeşidi	Renk (ADMI)	BOİ mg/L	TOK mg/L	AKM mg/L	ÇKM, mg/L	pH
Reaktif-kesikli	Pamuklu	3890	0	150	32	12500	11,2
Reaktif - sürekli	Pamuklu	1390	102	230	9	691	9,1
Vat	Pamuklu	1910	294	265	41	3945	11,8
Dispers, yüksek sıcaklıkta	Poliyester	1245	198	360	76	1700	10,2

ADMI: Amerikan Boya İmalatçıları Enstitüsü renk birimi, BOİ: Biyolojik Oksijen İhtiyacı, TOK: Toplam Organik Karbon, AKM: Askıda Katı Madde, ÇKM: Çözünmüş Katı Madde

Boyama işlemi sırasında, renklendiricilerin çevresel kayıpları % 10-50'ye ulaşabileceği tahmin edilmektedir. Bazı boyaların yüksek derecede toksik, mutajenik olması ve ayrıca ışık penetrasyonunu ile fotosentetik aktiviteyi düşürmesi, oksijen eksikliğine neden olmaktadır. Bu reaksiyon, içme suyu ve sulama gibi aşağı yönde yararlı kullanımları sınırlandırmasıyla dikkatleri üzerine çekmektedir (Melih, 2013).

Tekstil endüstrisi atıksuyunun çevrede bulunması, boyar maddeler kimyasal ve fotolitik olarak stabil olduklarından doğal ortamdan giderilmesi zor ve kalıcı olabilmektedirler. Boyar maddelerin bu yüzden çevreye bırakılması ekotoksik sorunlar oluşturmasına yol açmaktadır. Ayrıca estetik açıdan doğal çevrede kötü bir görünüme neden olmaktadır. Doğal çevrenin yanında canlılar üzerinde toksik etki yaratmaktadır. Yapılan çalışmalarda mikrobiyal hücrelere absorbe olduğu tesbit edilmiştir. Bu bağlamda besin zincirine dâhil olan boyar madde kompleksleri sucul canlıların yanı sıra insanlara kadar ulaştığını rapor etmişlerdir. Tekstil endüstrisinin en fazla kullandığı boya türü olan azo boyaların indirgenilmesi sonucu oluşan benzidin aromatik amin, o-toluidinin ve fenilendiaminin insan sağlığına oldukça zararlı bileşikler arasında yer almaktadır. Atıksu arıtımında bazı azo boyalar aktif

çamur sistemini ve akarsulardaki mikrobiyal oksidasyon prosesini olumsuz etkilediği belirtilmiştir (Cırık, 2010).

1.4. Tekstil Endüstrisi Atıksularının Arıtımında Kullanılan Yöntemler

Çevre kirliliği şüphesiz gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki ana sorunlardan biri olarak kabul edilebilir. Bu sonun doğal kaynakların yanlış kullanımı, verimsiz mevzuat ve çevresel farkındalık eksikliği gibi bir dizi faktöre bağlıdır. Son yıllarda değişim eğilimi olmuştur ve bir dizi bilimsel çalışma yeni arıtma teknolojilerinin geliştirilmesinde ve hatta süreçlerin ve çevre dostu eylemlerin uygulanmasında önemli bir araç olarak kullanılmaktadır (Melih, 2013). Günümüzde su kaynaklarının yetersizliği ve daha sıkı deşarj standartları nedeniyle, oldukça verimli ve ekonomik arıtma teknolojileri gerekmektedir (Kaykıoğlu ve Debik, 2006).

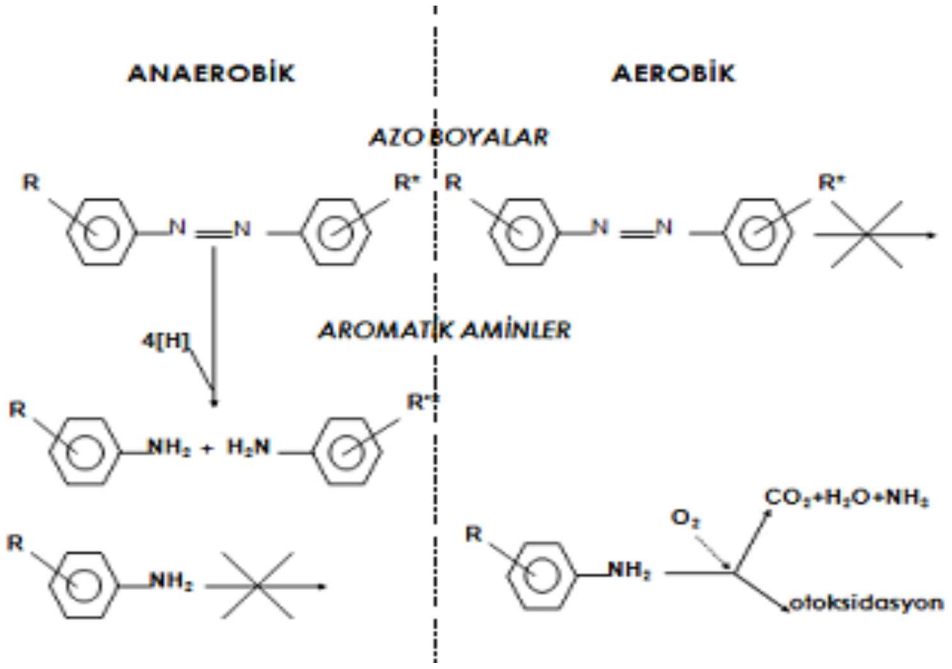
Tekstil endüstrisi tesislerinden kaynaklanan atıksular ve oluşan atıksu hacmini de dikkate aldığımızda tüm sanayi sektörleri arasında en çok kirleten sektör olarak bilinmektedir (Melih, 2013). Ayrıca, arıtılmış suların geri dönüşümü ve tekrar kullanımı da bir seçenek olabilmektedir. Bu sebeple, fiziko-kimyasal, biyolojik metotlar, bunların kombinasyonları gibi atıksu arıtım metotları çıkış suyunun kalitesini artırmak için yapılmaktadır (Kaykıoğlu ve Debik, 2006). Literatürde tekstil atıksuyunda renk giderimi için çok sayıda proses ve yöntem uygulanmıştır. Renk giderim yöntemlerini şöyle sıralayabiliriz.

- Fiziksel ve kimyasal yöntemler (Koagülasyon-flokülasyon, İyon değişimi, Adsorbsiyon, Membran filtrasyonu)
- Kimyasal oksidasyon yöntemleri
- Biyolojik yöntemleri (aerobik ve anaerobik parçalanma)
- Elektrokimyasal yöntemler (elektrodiyaliz) (Namal, 2017)

Yaygın kullanılan fiziksel, kimyasal ve biyolojik tekstil endüstrisi atıksu arıtım yöntemleri bulunmaktadır. Fiziksel ve kimyasal yöntemler, biyolojik yöntemlere nispeten boya ve organik madde giderimi konusunda daha etkili olsa da, sermaye ve

işletme maliyetlerinin artmasına neden olan konsantre atıksu ve çamur oluşabilmektedir. Biyolojik yöntemler ise ikincil konsantre atık üretmeden kirleticilerin tamamen parçalanması ve nispeten düşük işletme maliyeti nedeniyle çevre dostu yöntemelerdir (Yurtsever ve ark., 2016).

Anaerobik arıtmanın birçok faydasına rağmen, anaerobik arıtım yöntemleri, anaerobik mikroorganizmaların düşük büyüme hızı ve biyokütle direncinin zayıf olması nedeniyle sınırlı alanlarda kullanılmıştır (Xie ve ark., 2014). Tekstil endüstrisi atıksularına uygulanacak biyolojik arıtım yönteminde boyanın giderilmesi söz konusu ise azo boyar maddeler aerobik koşullara dirençli oldukları, bu yüzden anaerobik koşullarda giderim yapılmalıdır. Ancak anaerobik koşullarda renk gidermenin bir sonucu olarak aromatik aminler anaerobik koşullara dirençli olmaları nedeniyle aerobik koşullarda arıtım uygulanması gerekmektedir. Tekstil endüstrisi atık sularının biyolojik şartlarda tam olarak arıtılabilmesi için ardışık anaerobik ve aerobik süreçlerin uygulanması gerekmektedir. Şekil 1.1.'de görüldüğü gibi anaerobik renk giderimi 1. Basamak renk giderimi sonucu oluşan aromatik aminler ise aerobik koşullarda giderildiği 2. basamağı oluşturmaktadır (Cırık, 2010).



Şekil 1.1. Azo boyar madde ve aromatik aminin anaerobik-aerobik koşullarda biyodegradasyonu (Cırık, 2010)

1.5. Tekstil Endüstrisi Atıksularının Arıtım Yöntemlerinin Performans Kıyaslanması

Tekstil endüstrisi atıksuları için yapılan birçok arıtım yöntemleri ve arıtım performansları bulunmaktadır. Büyükdere (2008)'nin yapmış olduğu çalışmada uygulanan arıtım yöntemleri ve buna karşılık gelen arıtım verimlerini oluşturan Çizelge 1.4.' de verilmiştir.

Çizelge 1.4. Tekstil endüstrisi atıksularına uygulanan çeşitli arıtma yöntemleri ve arıtma verimleri (Büyükdere, 2008)

	GİDERİM VERİMİ (%)				
Proses	$BOİ_5$	KOİ	AKM	Yağ ve Gres	Renk
Birincil Arıtma					
Izgara	0-5	-	5-20	-	-
Dengeleme	0-20	-	-	-	-
Nötralizasyon	-	-	-	-	-
Kimyasal Koagülasyon	40-70	40-70	30-90	90-97	0-70
İkincil Arıtım					
Konvansiyonelaktif Çamur ve Çökeltme	70-95	50-70	85-95	0-15	
Uzun Havalandırmalı Aktif Çamur ve Çökeltme	70-94	50-70	85-95	0-15	
Havalandırmalı Lagün Ve Çökeltme	60-90	45-60	85-95	0-10	20
Havalandırmalı Lagün	50-80	35-60	50-80	0-10	
Dolgulu Kolon	40-70	20-40	-	-	
Üçüncül Arıtma					
Koagülasyon	40-70	40-70	30-90	90-97	0-70
Karbon Adsorbsiyonu	25-40	25-60	25-40	-	80-90
Klorlama	-	0-5	-	0-5	0-5
Ozonlama	-	30-40	50-70	-	70-80
İleri Arıtma					
Ters Osmoz	95-99	90-95	95-98	-	-

Tekstil atıksuları biyolojik olarak ayrışabilmektedir, fakat özellikle boyalardan kaynaklanan toksik bileşikler (kromatlar, sülfürler, hidrojen peroksit vb.) bazen biyolojik proseslerde olumsuzluklara neden olabilir. Yapılan tekstil endüstrisi atıksuyu için renk KOİ ve Abs giderim sonuçlarını Çizelge 1.5.' de belirtilmiştir (Çalışır, 2010).

Çizelge 1.5. Tekstil endüstrisi atıksu geleneksel yöntemlerle arıtım performansları (Çalışır, 2010)

	Verim (KOI) (%)	Verim (Pt-Co) (%)	Verim (Abs) (%)
Fenton	80	94	97
Fenton (Atık Asidik Su + Atık Bazik Su)	78	95	97
$FeCl_3$ Çöktürmesi	40	53	61
$FeSO_4$ Çöktürmesi	48	74	62
$Al_2(SO4)_3$Çöktürmesi	48	61	70
Ozon	1	66	79
Biyolojik	68	13	17
Biolojik +Alüminyum Çamuru	61	38	36
Biolojik + GAC	83	80	79
Biolojik + PAC	66	44	40

Genel olarak tekstil endüstrisi atıksuları için uygulanan metotların istenilen arıtım performansı ve oluşan işletme sorunlarına karşılık günümüzde membran teknolojisinin gelişimiyle diğer arıtım metotlarına gölge düşürmüştür (Çalışır, 2010).

Sıvı gıda endüstrisinde uzun yıllardır membranlar kullanılmıştır (Tien ve Chiang, 1999). Gün geçtikçe membran kullanımına olan ilgi giderek artmıştır (Çalışır, 2010). Atıksu arıtımında uygulanan yöntemler için kullanım genişliği, arıtım verimi ve olumsuz yönlerini oluşturan Çizelge 1.6.'da hazırlanmıştır (Koyuncu, 2018 b).

Çizelge 1.6. Tekstil atıksu arıtım yöntemlerinin uygulanabilirliği

Proses	Basamak	Durumu	Performans	Kısıtlama
Köpük flotasyonu	Ön arıtma	Laboratuvar ölçekli	%90 renk giderimi, %40 KOİ giderimi, ucuz, kompakt	
Fenton oksidasyonu	Ön arıtım	G. Afrikada birçok tam ölçekli tesis	Tam renk giderimi; düşük yatırım ve işletim bedeli	Köpürme, elektrot ömrü
Elektroliz	Ön arıtma	Pilot ölçek	Tam renk giderimi, ucuz	
Köpük flotasyonu	Ön arıtma	Laboratuvar ölçekli	%90 renk giderimi, %40 KOİ giderimi, ucuz, kompakt	
Filtrasyon	Ana ya da ön arıtma	G. Afrika'da yaygın kullanım	Yüksek performans, su, tuz ve ısı geri kullanımı	Konsantre akımının yönetimi
Biyodegredasyon				
Aktif çamur	Ana arıtma	Yaygın kullanım	N ve KOİ giderimi	Yüksek bakiye KOİ, N, renk, Yüzey aktif madde (YAM)
Ardışık anaerobikaerobik	Ana arıtma	Kullanımı oldukça az raporlanmıştır	İyi bir KOİ, renk ve toksik madde giderimi	Yüksek bakiye renk ve KOİ
Sabit yatak	Ana arıtma	Çin'de bazı pilot denemeler	İyi bir KOİ, renk ve toksik madde giderimi	
Fungi/H2O2	Ana arıtma	Lab. ölçekli	Tam renk giderimi	
Koagülasyon flokülasyon	Ön, ana ya da arıtma sonrası	Yaygın kullanım	Tam renk giderimi; su tekrar kullanımı	Her zaman etkili değil; çamur yönetimi

Çizelge 1.6. **(devam)**

Proses	Basamak	Durumu	Performans	Kısıtlama
O3	Arıtma sonrası	Tam ölçekli	Tam renk giderimi; su tekrar kullanımı	Pahalı, aldehit oluşumu.
Sorbsiyon (karbon, kil, biyokütle)	Ön arıtma ya da arıtma sonrası	Sorbent tipine göre, laboratuvar ölçekli ya da tam ölçekli	Yeni sorbentler etkin ve ucuz, su tekrar kullanımı	Yüksek sorbent yönetimi ya da rejenerasyon maliyeti
Fotokataliz	Arıtma sonrası	Pilot ölçekli	Tama yakın renk giderimi, detoksikasyon	Sadece son cilalama aşamasında

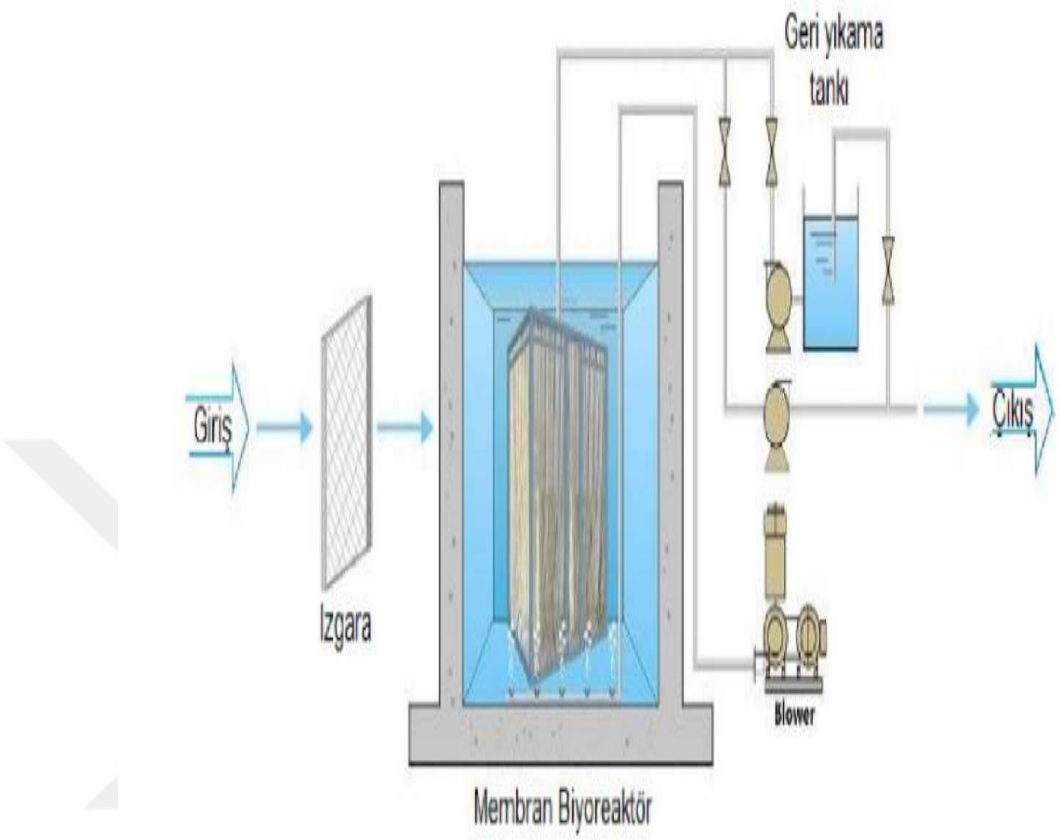
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Tekstil Endüstrisi Atıksularının Membran Biyoreaktörler Kullanılarak Arıtılması

Atıksu arıtımında kullanılan yöntemler içerisinde membran biyoreaktörler (MBR) son 10 yılda gelişmekte olan ülkelerde yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Adham ve ark., 2001). Membran teknolojisinin gelişmesi ve membran proses uygulamalarının artması bu alanda yapılan araştırma – geliştirme çalışmalarını artmıştır. Membran üretim faaliyetlerinin de artması membranların sistematik bir şekilde sınıflandırılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Membranlar gözenek çapları, şekilleri, morfolojileri, ham maddeleri ve ayırma prosesleri gibi sınıflara ayrılmıştır (Koyuncu, 2018a). Gün geçtikçe kullanıma bağlı olarak konvansiyonel atıksu arıtma tesislerinde iyileştirmelere gidilerek son çökeltim havuzlarının yerini MBR kullanımı alacağı ön görülmektedir (Çapar ve ark., 2004).

MBR proseslerde filtrasyon büyüklüklerine bağlı olarak bir veya birden çok partikül boyutundaki bileşiklerin sıvılardan veya gazlardan ayrılması işlemidir. MBR sistemlerde bu uygulama ilerleyerek çözünmüş maddelerin de sıvı ve gazlardan ayrılması mümkün olmuştur (Demiral, 2008). Membran kullanımı birçok endüstri dallarının dikkatini çekmeye başlamıştır. Türkiye'de tekstil endüstrisi alanında oluşan atıksuların oldukça karmaşık bir su çeşitliliği olması, membran kullanımını artırmıştır. Birçok pilot ölçekli tesis ve akademik çalışma membranlar üzerine yapılmıştır.

MBR'ler membran ekipmanı sayesinde arıtılmış su ve biyokütlenin süspansiyon büyüme modundaki biyolojik prosesleridir. Konvansiyonel aktif çamur prosesinde ayrı ayrı kullanılan biyokimyasal oksidasyon ve su/biyokütle ayrımı yapılmaktadır. MBR sistemlerde ise her iki yöntem tek tankta uygulana bilmektedir (Şekil 2.1.). Böylece MBR prosesler çöktürme tanklarının kullanımını rafa kaldırmaktadır (Adham ve ark., 2001)



Şekil 2.1 Membran sistemlerin konvansiyonel yöntemlere uyarlanması (Aslan, 2016)

MBR sistemler için literatürde birçok çalışma ve uygulama bulunmaktadır. Yapılan bir çalışmada aerobik membran biyoreaktör kurularak membranın tıkanması üzerine çalışmalar yapışlar ve 25 L/(m^2.saat) gibi yüksek akıda işletilmiştir. Elde edilen bulgularda, uzun süreli yüksek akıda işletilebilmiş, $BOİ_5$ 1,5 mg/L, KOİ 10 mg/L, AKM 0,5 mg/L gibi sonuçlara ulaşılmış, ayrıca çıkış suyunda azot ve fosfor giderimi gözlemlenmiştir. Wei ve ark., (2011)'nın yaptığı bir çalışmada hollow fibre MBR ile aerobik uygulama ile evsel atıksu arıtımı yapan pilot ölçekli bir tesis yapılmıştır. Çalışmada KOİ çıkışında 40 mg/L, BOL_5 1 mg/L, NH_4 3,4 mg/L, TN 13,4 mg/L, TP 1,5 mg/L olarak ölçümler yapılmıştır. Ayrıca yapılan analizlerle E. Koli bakterisi rastlanmamıştır (Wei ve ark., 2011).

Yurtsever ve ark., (2016)'nın yaptığı çalışmada hem anaerobik hem de aerobik reaktörden oluşan ardışık sistem ile KOİ 1000 mg/L ve 200 mg/L tekstil boyası olan sentetik atıksu üzerinden eklenen çalışmada tuzun giderilmesi için çalışma yapmışlardır. Çalışmada 4,2 LMH ve 8,1 LMH akılarda çalıştırılmıştır. KOİ'de %90'a yakın giderim, %99'un üzerinde boya giderimi elde edilmiştir ve tuzun sistem üzerinde olumsuzlukları bulunsa da çalışmada giderimler yapılabilmiştir.

Yurtsever ve ark., (2015)'nın yaptığı çalışmada bu tez çalışmasında olduğu gibi RBV-5R azo boyanın giderimi için aerobik ve anaerobik sistem ile MBR'lar arasında kıyaslama yapmışlar ve her iki MBR yüksek KOİ giderimi yapılmış, AnMBR tamamen renk giderimi yapsa da AeMBR %30-50 aralığında giderim söz konusu olmuştur. Çalışmada AnMBR 9 LMH akı da çalıştırılarak kimyasal yıkama ile 50 gün çalıştırılmıştır. AeMBR 20 LMH akıda başarılı bir şekilde çalıştırılmıştır. Bu uygulamalarla MBR sistemler konusunda birçok noktada gelişme sağlanmıştır.

2.2. Tekstil Endüstrisinde Dinamik Membran Uygulamaları

DM teknolojisi, aerobik ve/veya anaerobik MBR'lerde kullanılarak % 99'a ulaşan yüksek organik ve partikül madde giderimi-tutma etkinliği sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen sonuç uzun süreli çalışma süresinde yüksek mukavemetli atıksular arıtılmıştır. Suya batmış anaerobik dinamik membran biyoreaktörler (AnDMBR) kullanılarak verimli sonuçlar elde edilmiştir (Ersahin ve ark., 2017).

2.3. Dinamik Membran

Su ve atıksu arıtma sistemlerinde polimerik ve inorganik membranlar özellikle tuz ve partikül maddelerin sudan ayrılması amacıyla başarılı bir şekilde uzun sürede uygulanmaktadır. Global boyutta membran piyasası her yıl ortalama %10,3 büyüyerek 2021 yılında 13,95 milyar dolarlık bir pazara ulaşması tahmin edilmektedir. Membranların dayanıklık, seçicilik ve yüksek performans gibi birçok alanda uygulanabilirliği, fiyatlarının da düşmesine rağmen işletmeye alınan tesislerde

ilk kurulum maliyeti, membran yenileme ve enerji tüketiminin yüksek olması arz talep oranına gölge düşürmektedir (Koyuncu, 2018b).

Membran sistemlerde en önemli problemlerin başında membran yüzeyinde oluşan kek katmanı gelir (Ersahin ve ark., 2014). AnMBR reaktörlerdeki çamurlarda, yüksek viskozite ve karışık likör süspanse katı madde (MLSS) bulunmaktadır. AnMBR sistemlerde biyo polimer ve inorganik madde miktarı aerobik sistemlere kıyasla oldukça fazla muhteva etmesi, kirlenme potansiyelini artırmaktadır (Yisong ve ark., 2018). Membran yüzeyinde mikrobiyal hücreler, hücre dışı organik ve inorganik maddeler gibi katı parçacıkların membran yüzeyine tutunması anaerobik sistemlerde yaşanan temel olgulardan biridir (Yisong ve ark., 2018). Membran sistemlerini daha yaygın kullanabilmek için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Membran modülü ve tıkanan membranlar için yapılan yatırımların yüksek olması temel engellerdir. Bu sorunları çözmek için geliştirilen yöntemlerden biri dinamik membran sistemlerdir (Chu ve Li, 2006). Membran sistemlerin bu dezavantajını avantaja çevirmek için dinamik membran sistemlerin kullanmak ve araştırılması için birçok çalışma yapılmaya başlanmıştır (Yisong ve ark., 2018).

Dinamik membran; atıksularda membran yüzeyine tutunan veya biriken madde zamanla membran gözenekleri kapatarak kirlenme ve akı sınırlamasına neden olan kek tabakasından meydana gelmektedir (Yisong ve ark., 2018). Gözenekli destek malzemeye askıda katı parçacıklar, koloidal maddeler yığılarak katmanlar oluşturur. Süspanse haldeki sıvı, basınç altında destek üzerine pompalanır, böylece kolloid partiküller destekten üzerinde biriktirilir (Tien ve Chiang, 1999). Membran yüzeyinde oluşan bu kek tabakası filtrasyon yapacak dinamik membran (DM) görevi görmesiyle oluşmaktadır. Kek (DM) katmanı destek malzemesinin yüzeyinden kolayca ayrılabildiğinden ve kısa sürede destek malzemesi tekrar kurulabildiğinden, bu katman “dinamik membran” olarak adlandırılır (Ersahin ve ark., 2014).

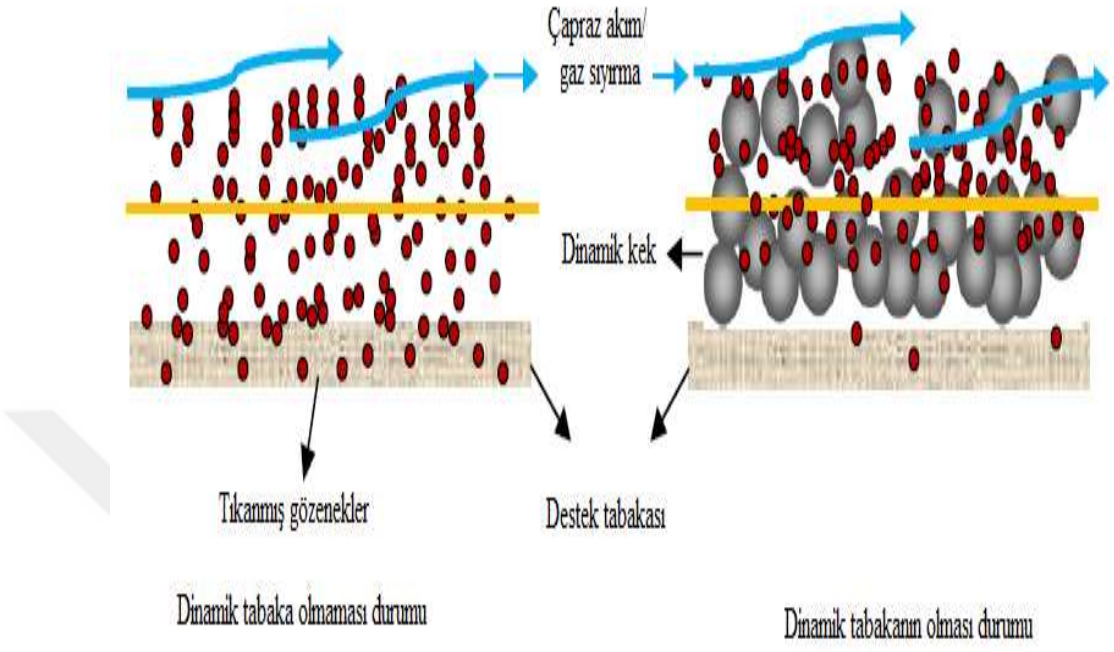
2.4. Membran ve Dinamik Membran Arasındaki Fark

Membran yüzeyine tutunan parçacıklar işletme maliyetine, membran tıkanması ve akı sınırlamasına neden olmaktadır. Dinamik membran yüzeyinde oluşan kek tabakası da filtre olarak kullanılabilmektedir. Oluşan kek tabaksının atıksu arıtımı için filtre olarak kullanılabilirliği son yıllarda araştırılmıştır. Kullanılan destek tabakanın daha uygun maliyetli ve daha büyük gözenekli olarak kullanılmasına olanak tanımıştır. Filtrasyon destek tabakadan değil de oluşan DM tabakadan sağlanmaktadır (Ersahin ve ark., 2017). Çalıştırılan sistemlerde hem anaerobik hem de aerobik dinamik MBR uygulamalarında genelde seçilen destek tabaka malzemesi türleri; örgü, dokuma ve dokuma olmayan kumaşlardır (Ersahin ve ark., 2014). Yapılan çalışmalara bakılarak membran sistemleri ve DM sistemleri Çizelge 2.1.'de kıyaslaması yapılmaktadır.

Çizelge 2.1. Membran ve Dinamik membranların avantaj ve dezavantajları

Memmbran filtrelerde	**Dinamik membran filtrelerde**
Kullanılan filtrasyon malzemesinin yüksek maliyette olması	Uygun maliyetli olması
Çabuk tıkanması	Uzun süreli tıkanmadan çalışabilmesi
Kısıtlı basınç ve akıda çalışması	Yüksek basınç ve akıda çalışabilmesi
Geri yıkamada çabuk tıkanması	Geri yıkamada uzun süreli kullanılabilmesi
Fiziksel ve kimyasal yıkama ömrünün uzun olmaması	Fiziksel ve kimyasal yıkama ömrünün uzun olması
İşletmeye alınma süresi kısa	İşletmeye alınma süresi uzun
Yüksek enerji kullanımı	Düşük enerji kullanımı

Dinamik membran uygulamalarında membran yüzeyine tutunan büyük partikül madder kek katmanı oluşturmaya yardımcı olmaktadır. Ancak membran sistemlerde bu durum membranın geçirgenliğini düşürmeye neden olmaktadır. Her iki sistemim Şekil 2.2.' de daha net anlaşılabileceği görsel verilmiştir.



Şekil 2.2. Membran ve Dinamik membranların kıyaslanması (Ersahin ve ark., 2012)

2.5. Dinamik Membran Kullanım Alanları ve Arıtım Performansı

Yapılan son güncellemelerle atıksu deşarj standartları üst seviyede tutulmaktadır. Oluşan atıksuyun tekrar kullanımı gibi yüksek talep beklenilmektedir. Bu standartları sağlamak için membran biyo reaktörlerin teknolojik olarak gelişim göstermesi kullanım alanlarını artırmıştır (Yurtsever ve ark., 2016). Dinamik MBR'nin atıksu arıtımı için potansiyel bir teknoloji olduğu öngörülmektedir (Chu ve Li, 2006). En temel membran kullanımını destekleyen sebepler içerisinde, atıksularda biyokütlenin immobilizasyonu sağlanamadığı durumlarda biyokütle ile suyu ayırmak için membran kullanımı önemli bir yöntem olmuştur.

Evsel ve endüstriyel atık sular da dâhil anaerobik membran (AnMBR'ler) kullanımı birçok atıksu arıtma sistemlerinde kullanımı gözlemlenmiştir (Ersahin ve ark., 2014). Anaerobik biyoreaktör proseslerde (AnMBR) sonsuz çamur tutuma süresi (SRT) ve hidrolik bekleme süresi (HRT) düşük seviyelerde çıkış

konsantrasyonları, düşük çamur üretimi, yüksek atıksu kalitesi ve net enerji üretimi gibi bağımsız kontrol imkânı sunmaktadır. Bu nedenle son zamanlarda çeşitli atıksuların arıtılmasında laboratuvar ölçekli ve tam ölçekli AnMBR uygulamaları kapsayan birçok bilimsel araştırma yapılmıştır (Ersahin ve ark., 2017).

Anaerobik atıksuların yüksek konsantrasyonda biyokütle ihtiva etmesi yüksek enerji gereksinimi düşük sıcaklık ortamında düşük büyüme hızının olması nedeniyle anaerobik membran kullanım alanları genişlemiştir (Zhang ve ark., 2011).

Kullanılan dinamik membran sistemlerde destek tabakası uygulamalarında iki tip yöntem ele alınmaktadır. Fiziksel dinamik membran ve biyolojik membran uygulamalardan oluşmaktadır. Bu çalışmada biyolojik dinamik membran uygulaması yapılmıştır. Fiziksel dinamik membran uyulmalarında uygulanan yöntem için Ersahin ve ark., (2012)'de yapmış olduğu çalışma Çizelge 2.2'de görülmektedir.

Yapılan çalışmalarda fiziksel dinamik membran uygulamaları UF işlemleri tekstil endüstrisi atıksularındaki boya giderimi % 96-99 oranında başardığı görülmektedir. Bir başka çalışmada ise UF işlemli ile fizksel dinamik membranın protein giderimin de başarılı oldu belirtilmektedir (Erşahin, 2015). Biyolojik olarak uygulanabildiği gibi biyolojik olmayan dinamik membran uygulamalarında kullanılan destek tabakası ve kek oluşum malzemesi kullanılarak çalışmalar Çizelge 2.2.'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Farklı biyolojik olmayan fiziksel dinamik membran uygulamalarının oluşum koşulu ve filtrasyon performansı. (Ersahin ve ark., 2012)

DM oluşturan malzeme	Destek tabakası gözenek boyutu	Uygulama türü	Oluşum basıncı	Formasyon çapraz akış hızı (m/s)	Akı	Giderim verim(%)
Sulu Zr (IV)	Gözenekli karbon, seramik, sinter cam ve metaller (5)	RO	8-70	-	-	72-97 (Tuz giderme) 68 (NaCl çıkarma) 90 (MgCl çıkarma)
oksit-PAA	MF zarı (0.025)	RO	78.5	-	0,122 cm / dak	90 (NaCl uzaklaştırması)
PAA, Al (III) - PAA, metilselülozu	Filtre (Millipore / Acropor) (0.025-0.4)	RO	65.5	4.6	1,8–2,0 L / m h bar	83–94 (NaCl uzaklaştırması)
Sulu Zr (IV) oksit-PAA	Filtre (Millipore) (0.1)	RO	3.4			10–50 (NaCl kaldırma)
Sulu Zr (IV) oksit	Paslanmaz çelik tüp	UF	52	2.1	-	(96–99) (Renk kaldırma)
Sulu Zr (IV) oksit-PAA	Paslanmaz çelik, cam elyaf tüpler	UF	-	-	30-200 litre / m^2	48–62 (Tuz giderimi) 66–97 (TOK giderimi) 85–92 (Toplam katı
Zr (IV), Al (III), Fe (III) 'ün kolloid çözeltileri	Seramik boru(0,5-1,0)	UF	8	3,3	-	-
Ca-oleate, CdS, ZrO2	Polymeric membrane (0.2)	UF	-	-	0.005 – 0.012 cm/s	> 80 (Sığır serum albümini (BSA) giderimi)
Sulu Zr oksit	Seramik boru (0.5)	UF	5	1	-	90 (Dekstran kaldırma)
Ovalbümin, γ-globülin	Seramik boru (0.05)	UF	6-10	0,15-0,78	-	> 80 (Protein giderimi)
Jelatin	UF zarı (0.81)	UF	0,05-5	-	-	100 (Poli (etilen glikol) giderimi)

Çizelge 2.2. **(devam)**

DM oluşturan malzeme	Destek tabakası gözenek boyutu	Uygulama türü	Oluşum basıncı	Formasyon çapraz akış hızı (m/s)	Akı	Giderim verim(%)
MnO_2	Borulu polyester iplik dokuma kumaş (20–40)	MF	1	2	100 L / m2 saat	99 (Bulanıklık giderimi)
Ananas suyu (katı parçacıklar)	Monolith alümina MF membranı (0.1)	UF	1-3	1,30-3,95	6.37 m, / m saat	84–87 (makromoleküllerin çıkarılması)
Kaolin	Paslanmaz çelik (4.7)	MF	100			100 (CH COONa çıkarılması)
Sulu Zr oksiklorür	Seramik boru (0.2)	UF	8	10 L / dak	16,5–34,2 L / m^2 h	1,6–5,8 (glukoz giderimi) 96,4–98,3 (glikoz giderimi)
Zr (IV) kolloid, glutaraldehit	Seramik tüp	UF	8	10 L / dak	-	-
Ca-oleat, CdS, ZrO	Polimerik membran (0.2)	UF			0.005 - 0.012 cm / s	> 80 (Sığır serum albümini (BSA) giderimi)
Sulu Zr oksit	Seramik boru (0.5)	UF	5	1	-	90 (Dekstran kaldırma)
Ovalbümin, γ-globülin	Seramik boru (0.05)	UF	6-10	0,15-0,78	-	80 (Protein giderimi)
Jelatin	UF zarı (0.81)	UF	0,05-5	-	-	100 (Poli (etilen glikol) giderimi)
MnO_2	Borulu polyester iplik dokuma kumaş (20–40)	MF	1	2	100 L / m2 saat	99 (Bulanıklık giderimi)
Ananas suyu (katı parçacıklar)	Monolith alümina MF membranı (0.1)	UF	1-3	1,30-3,95	6.37 M^3, / M^2 saat	84–87 (makromoleküllerin çıkarılması)
Kaolin	Paslanmaz çelik (4.7)	MF	100	-	-	100 (CH COONa çıkarılması)

Çizelge 2.2 . **(devam)**

DM oluşturan malzeme	Destek tabakası gözenek boyutu	Uygulama türü	Oluşum basıncı	Formasyon çapraz akış hızı (m/s)	Akı	Giderim verim(%)
Sulu Zr oksiklorür	Seramik boru (0.2)	UF	8	10 L / dak	16,5–34,2 L / m h	1,6–5,8 (glukoz giderimi) 96,4–98,3 (glikoz giderimi)
Zr (IV) kolloid, glutaraldehit	Seramik tüp	UF	8	10 L / dak	-	-
Sulu Zr (IV) oksit-PAA	Polipropilen polietilen dokunmamış elyaf	UF	4-5	10–12 L / dak	10–50 L / m h çubuk	85–95 (Ovalbumin çıkarma)
Zr-dekstran	Paslanmaz çelik boru (0.5-5)	UF	1	0.23	7,7 L / m s çubuk	60–100 (Hemoglobin giderimi)
Zr hidroksit kolloidleri	Dokumasız kumaş, polisülfon MF membranı (3)	UF	4	-	-	75–95 (Protein giderimi)
MnO_2	Polietilen boru (5-20)	MF-UF	<20	-	-	98 (Bulanıklık giderimi)
Pıhtılaşmayan ve hidrofilize edilmiş pıhtılaştırıcı polimerler	Selüloz asetat RO membranı	RO	40	0,4-2,7	21,6-23 L / m saat	95–98 (Tuz kaldırma)
Polivinil alkol)	Polivinilidien florür, naylon, poliakrilonitril MF ve UF membranları	UF	2	-	-	97.2–99.9 (Protein giderimi)
Kaolin	Borulu MF kumaş membranı	MF	-	1,6-2,5	-	96 (Bulanıklık giderimi)
Polimetil metakrilat parçacıkları	Polivinilidien florür MF membranı (0.1)	MF	0,2-1,4	0.1-0.4	-	7-42 (Dekstran kaldırma)

Çizelge 2.2 . **(devam)**

DM oluşturan malzeme	Destek tabakası gözenek boyutu	Uygulama türü	Oluşum basıncı	Formasyon çapraz akış hızı (m/s)	Akı	Giderim verim(%)
Kil mineralli montmorillonit, katyon değişim reçinesi	UF ve RO membranları	UF-RO	2	-	-	8–98 (Co (II) kaldırma)
$Mg(OH)_2$	Al O , seramik borular (5)	MF	1	1	100 L / m2 saat	98 (Yağ çıkarma)
$Mg(OH)_2$	Al O , seramik borular (5)	MF	1	1	1 L / m h kPa	> 98 (TOC kaldırma)
TiO_2	Dokumasız filtre (0.2, 2, 20)	MF-UF	,005-,02	0,25-2 m / d	125 L / m^2 saat	99 (Bulanıklık giderimi)
Kaolin – MnO_2	Al O gözenekli seramik tüpler (1)	MF	2	1	120,1 - 153,2 L / m^2 saat	98.2–99.9 (Yağ giderme)

Eğer biyolojik atıksu içerisine 20 mg/L alüminyum-klorür eklenirse dokunmamış kumaş filtre destek tabakası yardımıyla dinamik membranlarla da fosfor giderimi sağlanabilmektedir. Yapılan çalışmalarda %85'e varan fosfor giderimi sağlanmıştır (Erşahin, 2015) . Ersahin ve ark. (2014)'nın yapmış olduğu çalışmada yaklaşık 10 günlük işletim sürecinde dinamik membranın bulanıklık giderimi 140 NTU, ancak 20 gün sonunda bulanıklık giderimi 11.4 ± 2 NTU sonuçlarına ulaşmışlardır. AnDBR uzun süreli işletimlerde %99 oranında bulanıklık giderimi sağlanmıştır. Ancak Aerobik dinamik membranlarda sabit bir dinamik tabaka oluşturmak için belirli bir süreye ihtiyaç olduğunu ve bulanıklık giderimi için dinamik tabakanın oluşmasıyla doğrudan bağlantılı olarak bulanıklık giderilmiştir.

2.6. Dinamik Membran Tarihi Gelişim Süreci

Dinamik membran uygulamaları 1960'lı yıllara uzanan tarihlerde çalışmalar görülmüştür (Erşahin, 2015). Dinamik membran uygulamalarında yapılan ilk çalışma fiziksel uygulamalı dinamik membran çalışmasıdır. İlk dinamik tabaka (KEK) oluşumu zirkonyum oksitklorür ($ZrOCl_2$) ile yapılmıştır. DM araştırmaları ilk sıralar tersozmoz ile tuz tutunmasına odaklanılmıştır. 1980'li yıllarda su arıtma, protein ve boya giderimi amacıyla dinamik membranın UF süreçleri başlamıştır. Gıda endüstrisi içinde UF dinamik membranları kullanan çalışmalar da yapılmış. UF'nun yüksek tutunma kapasitesinin olmasına rağmen kullanılan destek tabakanın yüksek sermaye maliyetlerinin ve düşük geçirgenlik kapasitesinin olması DM'nın bu durumda olası uygulama alanını engellemiştir.

MF uygulamalarında DM çalışmaları 1990'lı yıllarda başlamıştır. Genellikle atıksu arıtımında test edilmiş ve kullanılmıştır. Son çalışmalarda ise yüksek arıtım performansından dolayı dinamik MF membranların, yağın sudan ayrılması gibi uygulamalarda kullanılmıştır. 1990'lı yılların ortasına doğru ilk DM filtrasyonunda aerobik atıksu arıtım çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışma bilim camiasının ilgisini çekmiştir. DM aerobik filtrasyonuyla AKM, BOİ, ve konvensiyonel UF/MF membranlarıyla karşılaştırılabilir KOİ sonuçları elde edilmiştir. Bu nedenle DM filtrasyonu özellikle minimum yatırım ve işletme maliyeti ve de kolaylık gerektiren küçük atıksu arıtma sistemlerinde uygulanacak bir arıtım tekniği olması ön görülmüştür.

Anaerobik atıksuların arıtımında DM teknolojisinin ilk uygulamaları AnDMBR sistemleri üzerinde yapılan çalışmalar DM'ların operasyonel koşullarını optimize etmek amacıyla 2007 yılından buyana uygulamalar yapılmaktadır (Ersahin ve ark., 2012). AnDMBR sistemlerin atıksu arıtma sistemlerinde düşük teknolojili olmasına rağmen gereken ilgiyi görmemektedir (Yisong ve ark., 2018).

2.7. Dinamik Membran Kek Oluşumuna Genel Bakış

Dinamik membranda yeterli büyüklükte kek katmanı oluşturmak ve destek tabaka üzerine sabitleyebilmek çok önemlidir. (Ersahin, 2013). Membranlara göre daha büyük gözeneklere sahip dinamik membranlar başlangıçta dinamik katmanı oluşuncaya kadar geçen sürede membranlarla aynı kalitede olmamaktadır (Chu ve Li, 2006). Dinamik membranlar kendi kendine şekillendirme ve ön kaplama yapılarak kullanılan sistemler olarak iki kaynağa ayrılmaktadır. Birinci yöntemde reaktör içerisindeki askıda katı maddeler yardımıyla başka bir filtreleme ve kek oluşturmaya yaracak maddeye ihtiyaç duymadan yerinde dinamik membran yapılarak kullanılmaktadır. Bir diğer yöntem ise önceden hazırlanmış bir veya daha fazla çözeltiden spesifik kolloidal bileşenler bir gözenekli destek tabakadan geçirilerek dinamik membran oluşturulmuştur. Bu yöntemin dezavantajı harici bir malzemenin gerekliliğidir. Ayrıca önceden hazırlanmış dinamik membranlar tek katlı ve çift karlı (kompozit) olarak hazırlanmaktadır.

Yapılan önceki çalışmalarda DM oluşumunda toz aktif karbon (PAC) kullanılmıştır. Kompozit Dinamik membranlar genellikle iki aşamada oluşturulmaktadır. Mikrobiyal diskler tarafından kendiliğinden oluşan dinamik membran, (SFDM) aerobik membranlara umut verici bir yöntem olmuştur. Dinamik tabaka oluşturmak için PAC, kaolimit ($Al_2Si_2O_5(OH)_4$) kil, bio-diatomit (alglerin fosilleşmesiyle oluşan silis mineralleri), kaplama ürünler, SFDM metoduna örnek çalışmalardır. poli-tetrafloroetilen (PTFE) ile bir yüzey modifikasyonu örneği bulunabilir. Sulu metal oksit kullanımı en yaygın kullanılan zirkonyun (Zr (IV)) oksit DM fiziksel filtrasyon çalışmalarında en başarılı DM katmanı oluşturan malzemelerden biridir. Zr (IV) oksidin polimerlerle genellikle (poli akrilik asit) (PAA) ile kombinasyonları da kullanılmıştır. MnO dâhil TiO Mg (OH) jelatin, ovalbümin, ananas suyunda bulunan katı parçacıklar, kaolin, kaolin / MnO çift katmanlı, poli (vinil alkol), dekstran, sigara, pıhtılaştırıcı ve hidrofilize edilmiş pıhtılaştırıcı polimer, kil mineralleri DM'ların kek ve destek tabaka oluşturulmasında denenmiştir (Ersahin ve ark., 2012).

Dinamik membranda ilk kek oluşum sürecine kadar yüksek miktarda sulu çamur gözlemlenmektedir. Nispeten kek katmanı oluşum sürecinde kekten kopan çamur blokları da görülmektedir. Çözüm olarak sulu çamuru (SS) tekrar reaktöre yönlendirilerek dinamik katman oluşana kadar reaktördeki ekolojik denge korunmuş olur. Kek oluşturmak için hızlı bir şekilde yüksek akıda atıksu geçişi sağlanmaktadır. Dinamik membranda kek katmanı bir kez oluştuktan sonra UF/MF ile kıyaslanabilecek su kalitesi ortaya koymaktadır (Erşahin, 2015).

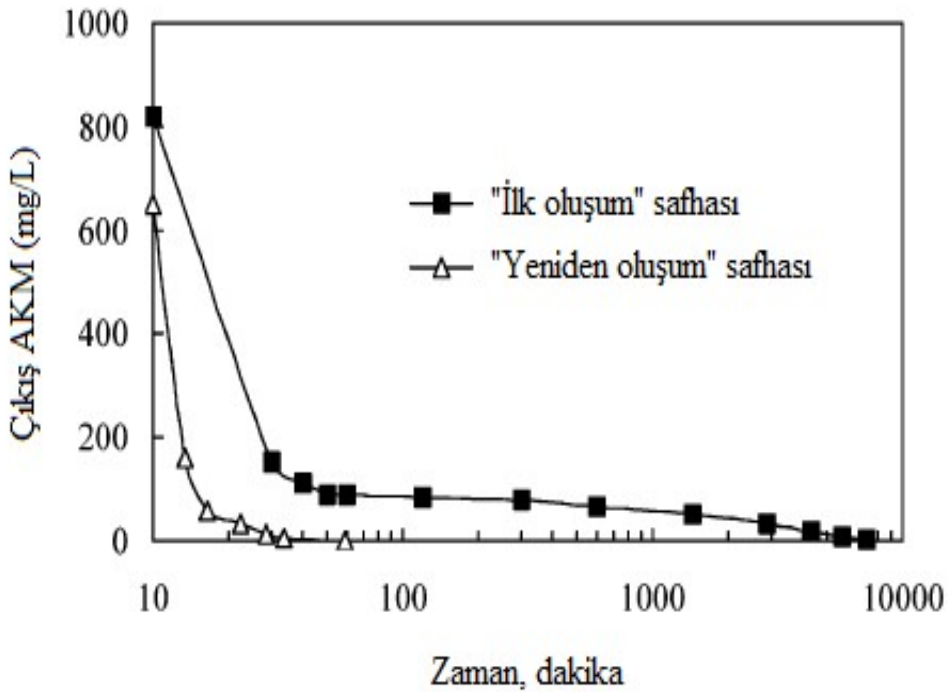
2.8. Dinamik Membran Kek Tabakası ve Reaktör Çamur Özelliği

Dinamik membranların üzerinde oluşan kek tabaka incelendiğinde bulunduğu sulu çamur (SS) ortamıyla aynı kimyasal özellikte olmadığı tespit edilmiştir. Anaerobik dinamik membranlarda bu farklılığı sağlayan en önemli etkenlerden biri çamur bekletme süresidir (SRT). SRT'ye bağlı çözünmüş mikrobiyal ürünler (SMP) hücre dışı polimerik madde (EPS), karbonhidrat/protein oranı, çamur partikül boyutları, çamurun filtre edilebilirliği gibi dinamik tabakanın oluşum ve gelişimini etkilemektedir (Erşahin, 2015). EPS biyoreaktörün içinde çözünür veya bağlı formda bulunabilir. SMP biyoreaktörün içerisinde substrat metabolizmasından ve/veya biyokütlenin çürümesinden kaynaklanan organik bileşiklerden oluşmaktadır (Ersahin ve ark., 2014).

Dinamik tabaka çamur katmanı ve jel katmanından oluşmaktadır (Chu ve Li, 2006). EPS, protein, polisakkarit, lipid, nükleik asit ve hümik asit gibi hücrenin yüzey maddelerinden oluşmaktadır. Jel tabakası dinamik MBR'de kilit rol oynar (Chu ve Li, 2006). Oluşan maddeler hücrelerin ve çamur floklarının bir arada tutunmasını sağlamaktadır. EPS'in bu etkisi biyoreaktör içerisinde çamur partikül boyut dağılımını belirlemektedir. Uzun SRT'ye kıyasla kısa SRT biyoreaktör içerisinde daha yüksek EPS konsantrasyonu gözlemlenmektedir (Erşahin, 2015).

Yüksek su kalitesi ve istikrarlı bir işletim sağlamak için dinamik tabaka kalınlığının kontrolü önem arz etmektedir. Dinamik membran tabakasının fiziksel tutunmasıyla, dinamik tabakadaki biyokütle aktivasyonu arasında doğrudan bir ilişki

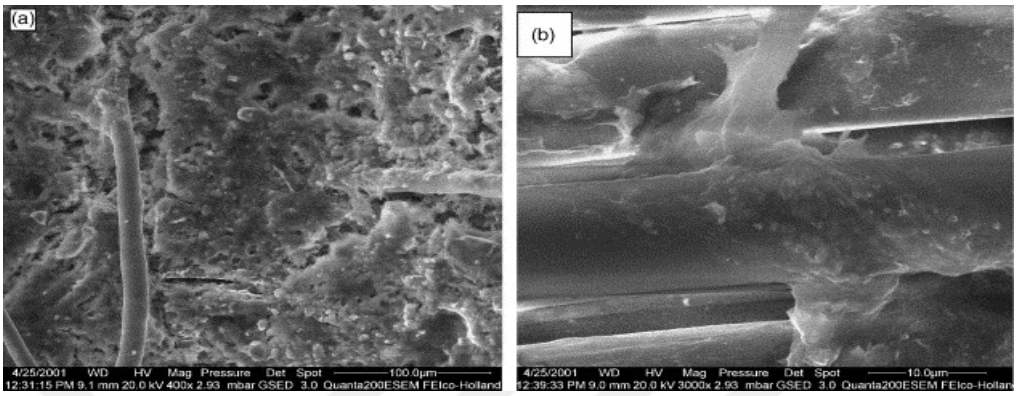
olduğu varsayımı yapılmaktadır. DM üzerindeki kek tabakası ve reaktör çamuru içerisindeki mikrobiyal yaşam analiz edildiğinde dinamik tabakadaki bakteri çeşitliliği ile yoğunluğu daha fazla olduğu tespit edilmiştir. DM üzerinde yapılan morfolojik analizler, Dinamik tabaka üzerinde organik ve inorganik maddelerin varlığı tespit edilmektedir. Tespit edilen başlıca maddeler; çamur partikülleri, SMP, EPS, Ca, N,P, Mg çökeltileridir. Ayrıca dinamik kek tabaka altında jel tabakası yüzeyi kaplamaktadır. Bu oluşan jel tabaka SMP ve bağlı EPS'in dinamik tabaka içerisinde konsantrasyonda birikmesi sıkı bir kek katmanı ve yüksek giderim verimine neden olmaktadır (Erşahin, 2015). Bu nedenle membran yüzeyinde oluşan film tabakanın ilk oluşumu ve tekrar temizlenerek kullanılması filtrasyon zamanını ve verimini doğrudan etkilemektedir. Fan ve Huang (2002)'nın yaptığı çalışmada Şekil 2.3.'de iki membran arasındaki zamana bağlı bulanıklık görülmektedir.



Şekil 2.3. Dinamik ve yeni membranın bulanıklık giderimi (Fan ve Huang 2002)

Şekil 2.4'te DMBR'daki kek tabakasına ait SEM görüntüleri verilmiştir. Resim A'da dinamik membran üzerindeki kek tabakası verilmiş ve ardından su ile fiziksel olarak yıkanmış membranın üzerindeki jel tabakasının resim B'de görüntülenmiştir.

Bu çıkarımla jel tabakasının membran bezi üzerine tutunarak geçirgenlik kapasitesini nasıl etkilediği görülmektedir (Chu ve Li, 2006).

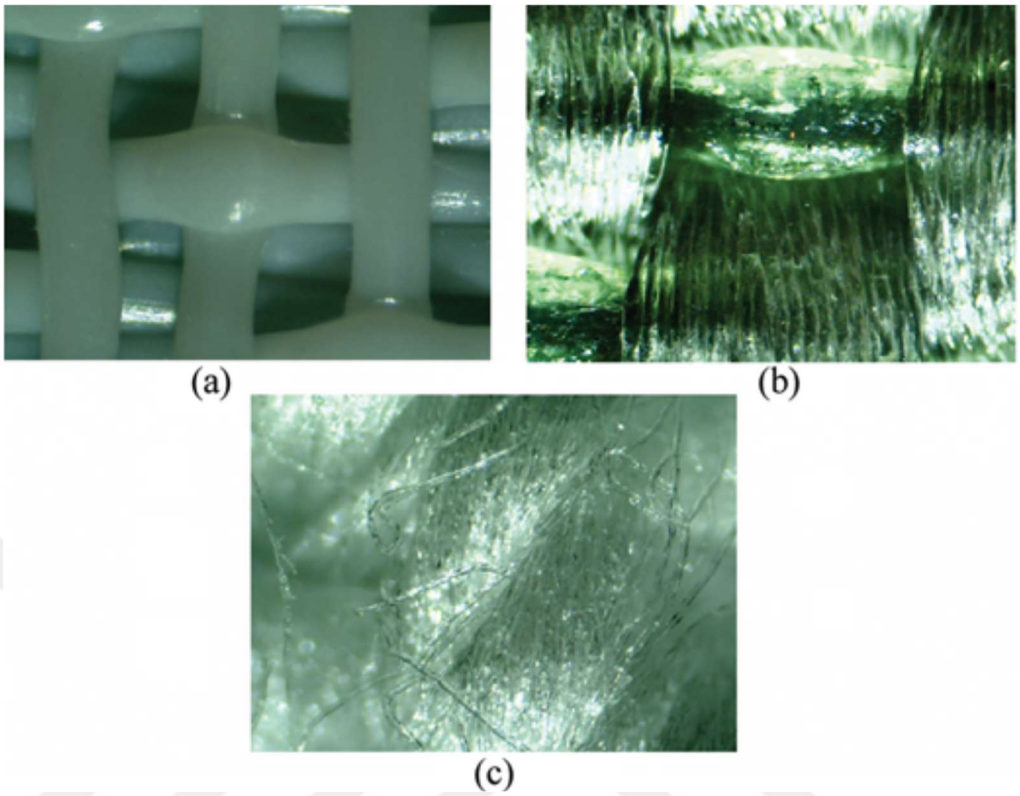


Şekil 2.4. SEM analizi ile DMBR'ın yıkama öncesi ve sonrası görünümü (Chu ve Li 2006)

Reaktör içerisinde türbülans ve/veya titreşim tahrişi yoluyla EPS oluşumunu tetikleyerek ortamda EPS miktarı artırılarak DMBR oluşumu hızlandırılabilir. Ancak uzun süreli işletimde membran tıkanmasını hızlandırmasından dolayı düşük EPS salınımı yapılması gerekmektedir. Etkin EPS kontrolü sağlamak için adsorban ajanlar, taşıyıcılar, pıhtılaştırıcılar ve diğer kimyasal maddeler kullanılarak çalışma koşullarının kontrolü sağlana bilmektedir. Ancak AnDMBR'larda bu uygulamaya fazla yer verilmemiştir (Yisong ve ark., 2018).

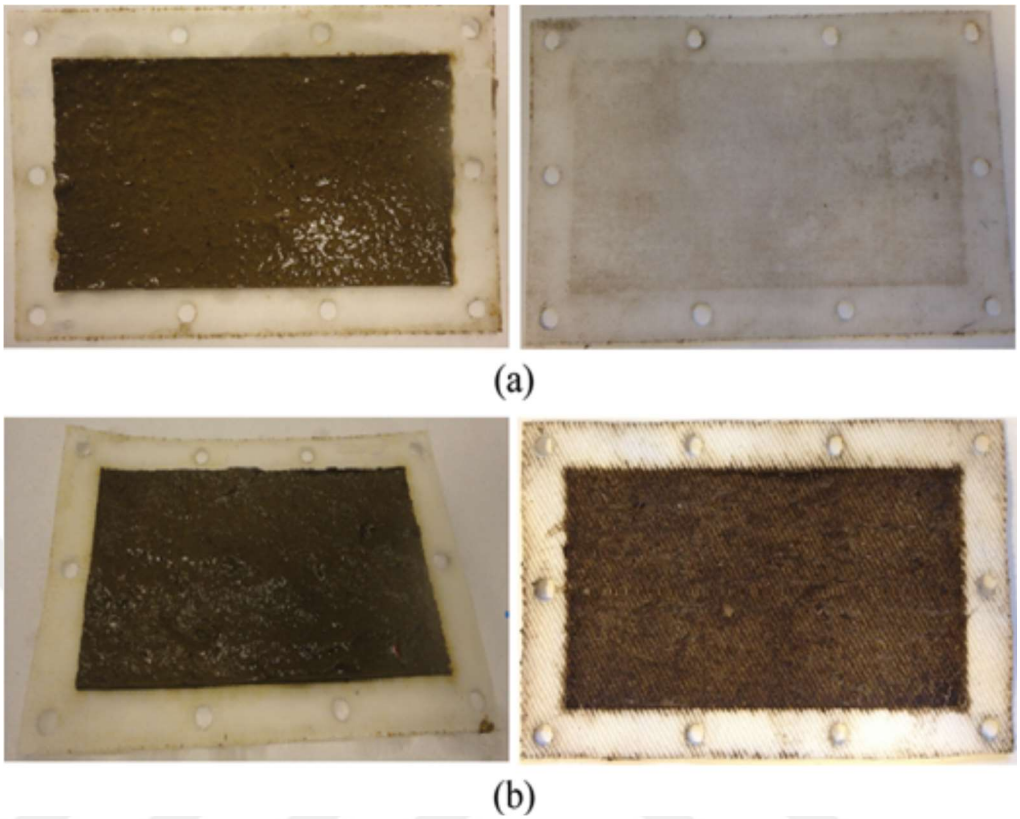
2.9. Dinamik Membran Uygulamalarında Kullanılan Destek Tabakalar

MBR'lar başlangıç aşamasında tipik davranışlar sergilemiştir (Chu ve Li, 2006). DMBR destek tabakası olarak ağ örgülü dokuma ve dokuma olmayan kumaşlar üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu destek tabakalar kafes yapılı, metal bağlı, fiber vb. esnek geçirgen malzemeden oluşmaktadır (Ersahin ve ark., 2013). Dokuma kumaşı; mono filament ve/veya multifilament ipliğe dayanmaktadır. Monoflilament kumaşlar tek ekstüride edilmiş sentetik filamentler dir. Pürüzsüz yüzeye sahip bir malzemedir. Çoklu filament elyaf ise birden çok monofilament malzemenin üst üste gelecek şekilde bir araya gelerek oluşturulan destek tabakadır. Şekil 2.5.'de büyütülmüş görüntüleri verilmiştir.



Şekil 2.5. (a) mono-mono flament, (b) mono-multi flament, (c) zımba filtresi (40x büyütme) (Ersahin ve ark., 2013)

Dokuma olmayan kumaş; kâğıt hariç ipliğe dönüştürülmemiş ve birbirine bağlanmış doğal veya insan yapımı elyaf veya flamentlerin bir tabakası olarak tanımlanmaktadır. Dokumasız kumaş çok ince olmasına rağmen elyaf matrisi arasında gözenekler arasına çamur tutunması olmuştur. Bu tutunma dokumasız kumaşın temizlenmesinde sorunlar çıkarmıştır bu bağlamda tekrar kullanımını zorlaştırmıştır. Ersahin ve ark. (2013)'in mono-flament ve elyaf destek malzemeleri kullanılarak yaptığı bir çalışmasında Şekil 2.6.'da görüldüğü gibi mono flament yapıdaki destek malzeme geri yıkama yapılarak tekrar kullanıma elverişli görülmektedir. Ancak elyaf temel destek tabakasının tekrar kullanımı için yapılan geri yıkamaya uygun olmadığı yapılan uzun süreli çalışmalarda görülmüştür (Ersahin ve ark., 2013).



Şekil 2.6. Kek tabakası oluşumu ve fiziksel temizliğin ardından gözenek birikimi:(a) mono-mono flament destek malzemesi, (b) Elyaf temel destek malzemesi (Ersahin ve ark., 2013)

Dokumalı, dokumasız kumaşlar ve seramik malzemeler dinamik membranın aerobik ve anaerobik atıksu arıtımında destek tabakası olarak kullanıldığı belirlenmiştir. Fiziksel uygulamalarda paslanmaz çelik boru, polimerik membran UF, ters ozmoz (RO), MF membranı dokuma kumaşlar, dokuma olmayan kumaşlar, seramik tüpü gibi organik ve inorganik materyaller kullanılmıştır. Destek malzemeler içerisinde paslanmaz çelik borular ve seramik malzemeler ilk araştırma yıllarında kullanılsa da maliyetleri yüksek olduğu için dokuma ve dokuma olmayan kumaşlar uygun maliyetli olduğu için daha çok test ve araştırma konusu olmaya başlamıştır (Ersahin ve ark., 2012). Dinamik membran teknolojisi de nono teknolojiyle kullanılabilirliğini artırmak için geliştirilen poliviniliden florürden (PVDF) imal edilmiştir. PVDF dinamik membran zemini üzerine nanotüp karbon tabakası uygulandığında virüs geçirgenliği engellene bilmektedir (Erşahin, 2015).

2.10. Dinamik Membranda Kritik Akı

Verimli ve sürdürülebilir filtrasyon verimi sağlayabilmek için DMBR biyoreaktörlerde membran yüzeyine tutunan partikül meddeler aynı zamanda filtrasyon basıncının artmasına neden olmaktadır. Bu yüzden membran yüzeyindeki parçacıkların kontrolü filtrasyon sürekliliğinde hayati önem taşımaktadır (Ersahin ve ark., 2014).

Kritik akı, belirli bir akının altında zamanla akıda azalma olmaz iken, belirli bir akının üzerinde zamanla akıda önemli bir düşüş ve membranda tıkanması olarak ifade edilmektedir (Pollice ve ark., 2005). Kritik akı membran boyunca membranın konumuna, sistem özelliklerine (membran özellikleri, partikül ve diğer kirletici bileşen özellikleri, pH, iyonik göç durumu, sıcaklık) ve hidrodinamik davranışlara bağlıdır. Daha yüksek akılar düşük akılardan daha fazla membran kirlenmesine yol açar. Bunun nedeni membran yüzeyinde büyük oranda partikül ve benzeri bileşenlerin yığılmasıdır. Bu biriken bileşenler membran yüzeyinde bir kek oluşturur ve tıkanmalara neden olur. Süzüntü akısı kararlı hal durumu diye ifade edilen koşullar altında sağlanabilir. Kararlı hal koşulları yüksek akı anlamına gelmez, akının belli bir değerde olmasını sağlamaktır (Aslan, 2016).

2.11. AnDMBR'lerin AnMBR'lere Göre Avantajları

AnDMBR ile AnMBR'ların kıyaslanmasını Hu ve ark. (2018)'nın hazırlamış olduğu Çizelge 2.3.'de belirtilmiştir. Her iki membranın da, ekonomik açıdan, arıtım performansı bakımından ve birçok teknik açıdan değerlendirme yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı anaerobik şartlardaki atıksuların verimlilik açısında değerlendirilerek membran filtrasyonu teknolojisinin kullanılabilirliğini açığa koymuştur.

Çizelge 2.3. AnMBR ile AnDMBR arasındaki bazı belirgin farklılıklar (Yisong ve ark., 2018)

Öğeler	AnMBR	AnDMBR
Organik giderim etkinliği	Yüksek	Yüksek
Atık kalitesi yüksek orta ila yüksek	Yüksek	Orta -Yüksek
Organik yükleme hızı	Yüksek	Yüksek
Çamur üretimi düşük düşük	Düşük	Düşük
Ayak izi düşük düşük	Düşük	Düşük
Membran modülü maliyeti pahalı ucuz	Pahalı	Ucuz
Uygulamalı membran akı 2-30 l/ms 2–65 L/ms	2-30 L / m^2 s	2–65 L / m^2 s
Membran temizleme karmaşık kolay	Karmaşık	Kolay
Biyokütle tutma genel toplam toplamdan yüksek	Genel Toplam	Toplamdan yüksek
Besin gereksinimi düşük düşük	Düşük	Düşük
Alkalinite gereksinimi	Orta ila yüksek	Orta ila yüksek
Enerji gereksinimi düşük alt	Düşük	Düşük
Sıcaklık hassasiyeti orta-düşük orta-düşük	Orta-düşük	Orta-düşük
Başlama zamanı <2 hafta <2 hafta	<2 hafta	<2 hafta
Biyoenerji geri kazanımı evet evet	Evet	Evet
Tedavi modu	Toplam veya ön işlem	Toplam veya ön işlem

AnDMBR'ların AnMBR'lara kıyasla katman oluşturma sürecinde bir miktar organik parçacıkların ve koloitlerin bulunması arıtma verimini olumsuz etkileye bilmektedir. Ancak AnMBR'ların, AnDMBR modüllere kıyasla modül maliyeti, membran akısı, membran temizliği ve enerji gereksinimi bakımından avantajlı değildir.

Ancak her iki sistemi göz önüne aldığında organik yükleme hızı, çamur üretimi, ayak izi, gerekli besinler, alkalilik ihtiyacı, sıcaklık hassasiyeti, biyogaz üretim kapasitesi gibi birçok parametreye bakan Hu ve ark. (2018)'de standart metotlardaki AnDMBR modüllerin gerekli araştırmalar yapıldığında sulama ve ön arıtım amacıyla düşük maliyetli arıtıma çözüm olabileceğini savunmuşlardır.

2.12. Dinamik Membran Çalışmalarında Temizleme Yöntemleri

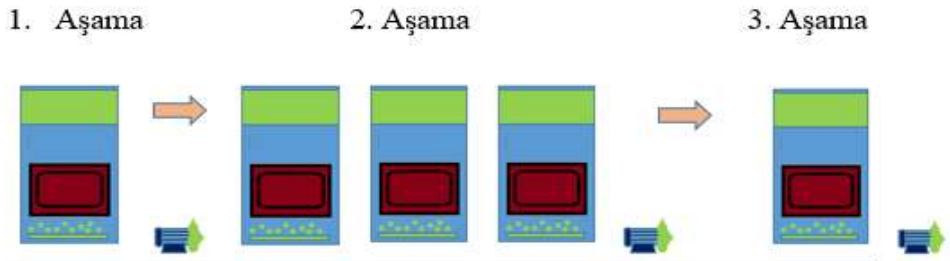
Membranların kirlenmesi ve tıkanması filtrasyon faaliyetinde çok önemli sorunlardan biridir. Günümüzde hala membran tıkanması önemli bir sorun teşkil etmektedir. Özellikle atıksu arıtımında kullanılan tam ölçekli batık membranların tıkanması çok fazla iş yüküne ve maliyete neden olmaktadır. Şimdiye kadar DM temizleme çalışmaları için literatürde çok fazla yöntem bulunmamaktadır. DM'ı oluşturan malzeme ve filtrenin kimyasal direnci kullanılacak temizleme yöntemi ve sıklığını belirlemektedir.

Batık kullanılan DM'lar genelde kek katmanının giderilmesi için alt havalandırma veya biyogaz ile geri devir yapılarak giderilir. Fiziksel yıkama işlemi ise musluk suyu altında yıkamak, asitle temizleme ve hava kullanılarak temizleme yapılmaktadır. Ancak bu yöntemler ile DM temizlenmesi her zaman mükemmel sonuçları vermemiştir. DM'ı en iyi verimle temizleme sağlamak için fırçalayarak yapılan yöntem ile olduğu görülmüştür (Ersahin ve ark., 2012).

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Tekstil endüstrisi atıksuların arıtımı için uygulanacak olan AnDMBR sistemi laboratuvar ölçekli boyutlarda hazırlanmıştır. Çalışma üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada hazırlanacak reaktör stabil ortam oluşturulduktan sonra 0,45 µm gözenek çapına sahip membran kullanılarak reaktörden çıkan atıksuyun KOİ arıtım performansının kararlı durum koşullarına ulaşmasının ardından, ikinci aşama olan farklı gözenek çaplarına sahip üç farklı DMBR destek tabakası ve 0,45 µm membran kullanılarak arıtım ve filtrasyon performansı değerlendirilmiştir. Aynı zamanda filtrasyon performansının arttırılması amacıyla optimizasyon çalışması yapılmıştır. Böylece en uygun destek tabakasına karar verilmiştir. Üçüncü aşamada kesikli çalışmalarla karar verilen destek tabakası uzun süreli işletilerek farklı işletme koşullarındaki arıtım performansı değerlendirilmiştir (Şekil 3.1.). Böylece DM tabakasının tekstil endüstrisi atıksularındaki en iyi arıtım ve filtrasyon sonuçlarına ulaşılması hedeflenmiştir.

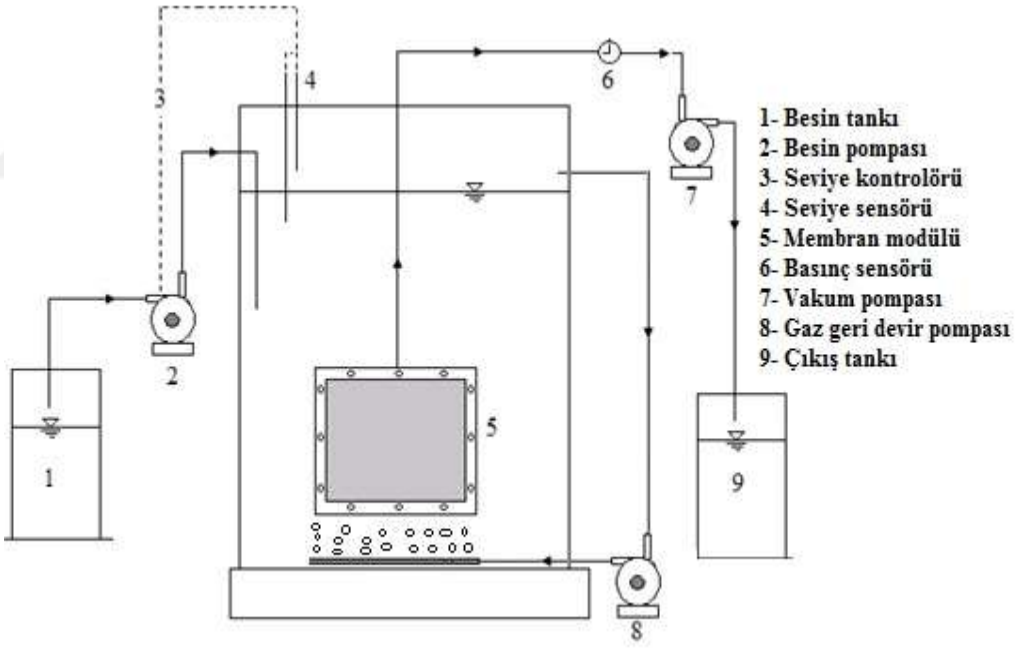


0,45 µm	20 µm	53 µm	100 µm	20 µm
0-85 günler aralığında optimizasyon sürecinde 0,45µm membran işletilmiştir.	85-120 günler aralığında kısa süreli 20µm membran işletilmiştir.	120-155 günler aralığında kısa süreli 53µm membran işletilmiştir.	155-180 günler aralığında kısa süreli 100µm membran işletilmiştir.	180-300 günler aralığında uzun süreli 20µm membran işletilmiştir.

Şekil 3.1. Genel çalışma yönetim şeması

3.1.1. Kullanılan reaktörün genel özellikleri

Sanayiden temin edilen pleksiglas malzemeden yapılmıştır. Hazırlanan reaktörünün tamamı yaklaşık 6 L hacminde olup, bunun 4 L'lik kısmı anaerobik çamur ile doldurulmuştur. Şekil 3.2.'de gösterildiği gibi reaktör içerisine oksijen girişi engellenmiştir. Su sızdırmazlığı sağlamak için reaktör iç ve dış bağlantı noktaları sıvı silikon yapıştırıcı ile desteklenmiştir. Reaktörde birçok giriş ve çıkış noktası oluşturulmuştur. Yapılan sıvı ve hava testlerinin neticesinde reaktör kullanıma hazırlanmıştır. Reaktör yüzeyinde reaktörün içindeki sıvı miktarını belirlemek için her 0,5 L aralıklarla seviye işaretleri bulunmaktadır. Reaktör çalışma sıcaklığı 33±2 °C' olacak biçimde elektrikli ısıtıcı ile kontrollü ortam ısısı korunmuştur.



Şekil 3.2 Genel reaktör akış diyagramı

Reaktörün 2 adet gaz geri devir işlemi için giriş ve çıkış bağlantısı, 2 adet membran çıkış bağlantısı, her süzüntü çıkışında birer adet 1000 mbar'lık vakum saati bulunmaktadır. 1 adet reaktör besleme girişi, 1 adet oluşan gazın tahliye edilmesi için çıkış ucu, reaktör acil boşaltım için alt noktada bir adet çıkış ucu bulunmaktadır. Reaktörün içindeki anaerobik çamur seviyesinin sabit kalması için krom malzemeden

hazırlanmış 5 mm kalınlığında çubuklar bulunmaktadır. Çubuklardan biri reaktörün zeminine kadar ulaşmaktadır. Diğer çubuk ise istenilen seviyede olacak şekilde sıvı çamurun yüzeyine değecek şekilde konumlandırılmıştır (Şekil 3.3.).



Şekil 3.3. Çalışmada kullanılan reaktörün genel görünümü

3.1.2. Tekstil atıksu özellikleri

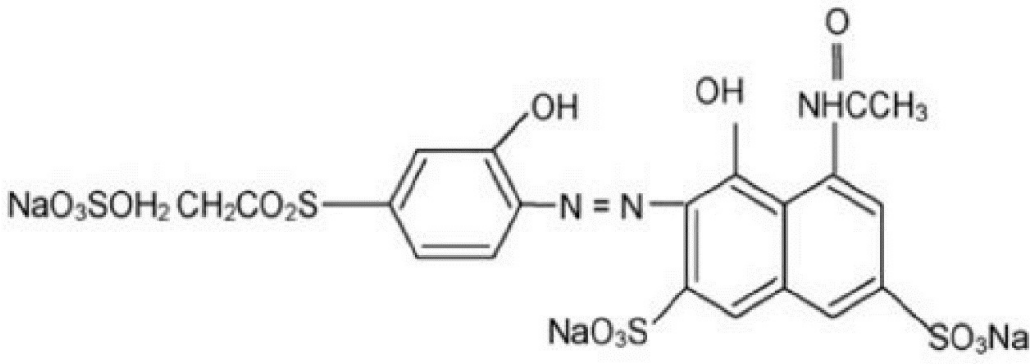
Tekstil endüstrisi atıksuları çok değişken parametreler içermektedir. Başlangıç aşamasında alınan anaerobik çamur Gaziantep Evsel ve Endüstriyel Atıksu Arıtma Tesisindeki anaerobik çürütücü tanktan alınmıştır (aşı çamur). Birçok çalışmada renk giderimi için anaerobik şartlar kullanılmıştır. Anaerobik çamurun başlangıç aşamadaki AKM konsantrasyonu 15000 mg/L olup, çalışma genelinde 10000 mg/L civarında tutulmuştur. Kullanılacak anaerobik atıksu içerisindeki fermantatif bakteriler tarafından renk veren kimyasal maddenin oluşturduğu zinciri kırarak renk giderimi sağlanmış olacaktır. Atıksudaki bakterilerin yaşamlarını devam ettirebilmeleri için gerekli tüm element ve iz elementler hazırlanmıştır. Bu sayede sentetik ve standart bir atıksu karakteristiği oluşturularak AnDMBR'deki değişimleri

takip etmekte kolaylık sağlanmıştır. Çizelge 3.1.'de belirtildiği gibi reaktör içerindeki KOİ konsantrasyonu 1000 mg/L olacak şekilde stabil tutulmuştur.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılacak sentetik atıksu içeriği (Çinar ve ark., 2008)

Kimyasal	Konsantrasyon (mg/L)
$C_6H_{12}O_6.H_2O$	1000 (1000 mg-KOİ/L)
$NaHCO_3$	2754
NH_4Cl	230
K_2HPO_4	37
KH_2PO_4	67
$MnSO_4.H_2O$	0,4289
$ZnSO_4.7H_2O$	0,1053
Na_2SO_3	0,2811
$CuSO_4.5H_2O$	0,0556
$FeSO_4.7H_2O$	5,92
$NiSO_4.6H_2O$	0,1
$CoCl_2.6H_2O$	1
Remazol Brilliant Violet-5R (RBV-5R)	200

Tekstil endüstrisinde kullanılan boya, Remazol Brlliant Violet-5R (RBV-5R) ilk aşamada reaktöre verilmemiştir. Kullanılan boyanın kimyasal yapısı Şekil 3.4.'de verilmiştir. Tekstil endüstrisinde sıkça kullanılan boya türü olması nedeniyle çalışmada kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Remazol Brlliant Violet-5R (RBV-5R)

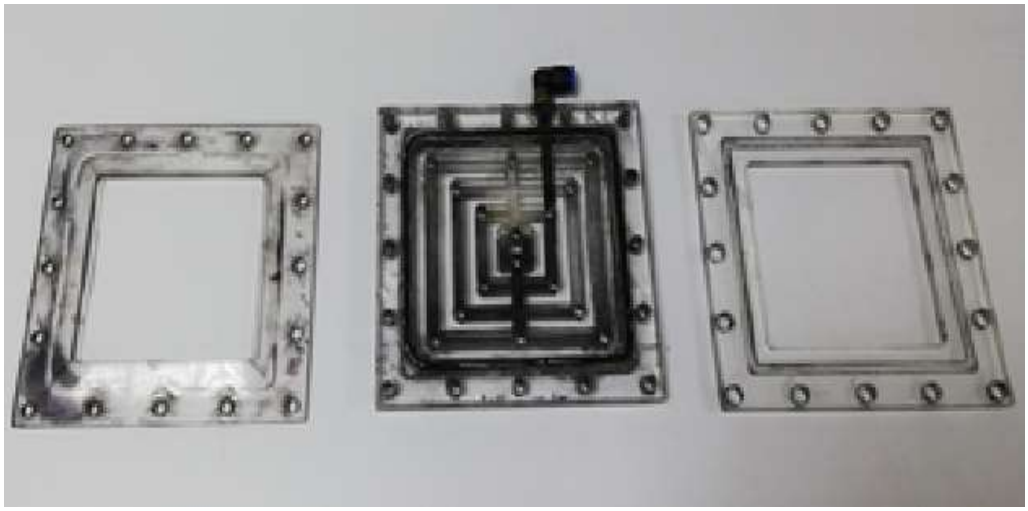
3.1.3. Kullanılan membranlar ve modül özelliği

Kullanılan membran modül, reaktöre girebilecek boyutlarda tasarlanarak hazırlanmıştır. Membran modül için kullanılan malzeme plasiglas 10 mm kalınlıkta plakadır. Modülün genel boyut ölçüleri, 12x12 cm'dir. Membranın oturduğu yani filtreleme yapılacak olan yüzey 10x10 cm ölçülerinde olup, iki yüzeye sahiptir. Şekil 3. 5. görüldüğü gibi membran yüzeyinin dış kenarda sızdırmazlığı sağlamak amacıyla lastik kullanılmıştır. AnDMBR modülde kullanılan destek tabakaların genel özellikleri Çizelge 3.2. de detaylı olarak verilmiştir.

Çizelge 3.2. AnDMBR olarak kullanılan malzemelerin genel özellikleri

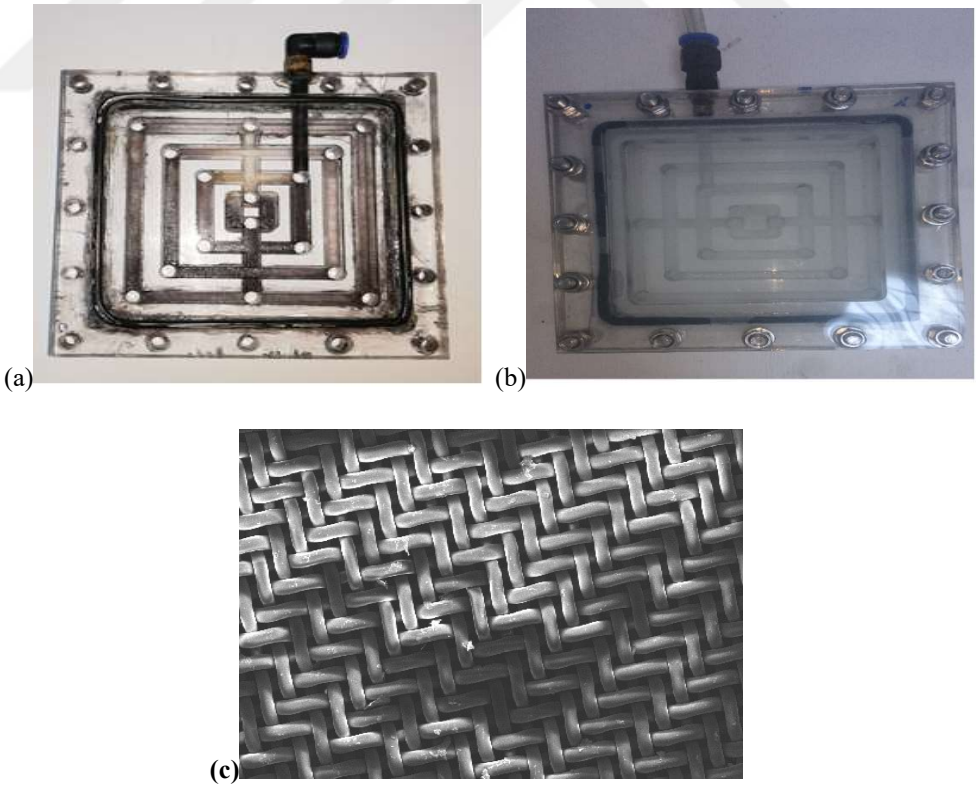
	Materyal 1	**Materyal 2**	**Materyal 3**
Materyal	Naylon Mesh	Naylon Mesh	Naylon Mesh
Gözenek Açıklığı (µm)	20	53	100
Kalınlık (µm)	55	60	78
Open Area (%)	14	2	2
Kimyasal Özellik	Hidrofilik	Hidrofilik	Hidrofilik
pH Toleransı	3-10	3-10	3-10
Isı Dayanımı (°C)	180	180	180

Hazırlanan modüller sanayide imalatçı işletmelerde tasarlanarak hazırlatılmıştır. Membranın yüzeyini etkin bir biçimde kullanmak için modül yüzeyinde kanallar açılmıştır. Membran modülde kullanılan bağlantı elemanları ise krom malzemeden seçilmiştir. Amaç reaktör içerinde bağlantı elemanlarından kaynaklanan oksitlenme olayının gerçekleşmesini engellemektir.



Şekil 3.5. AnDMBR reaktörde kullanılan modülün görünümü

AnDMBR modülümüz üç parçandan meydana gelmektedir. İki çerçeve arka ve ön olacak şekilde dışta ana modül ortada kalacak biçimde bir araya gelmektedirler (Şekil 3.6.).

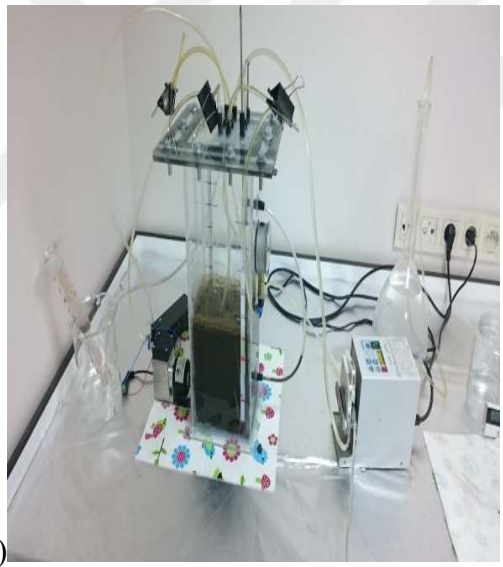
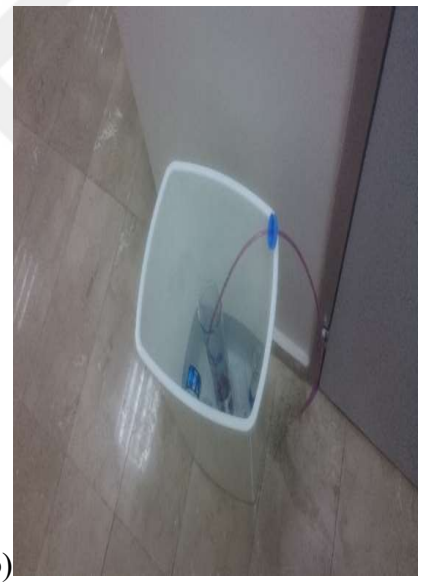


Şekil 3.6. AnDMBR modül (a) ana gövde ve (b) membran kullanılmış görünümü (c) DMBR SEM görünümü.

3.2. Yöntem

3.2.1. İşletme koşulları

Reaktörün bulunduğu ortam 10 m^2 kapalı alandır. Reaktör tamamen oksijen girişi engellenecek bir biçimde tasarlanmıştır. Ortam sıcaklığı 33±2 °C'lik ısı kontrollü odada işletilmiştir. Bu sıcaklık çalışmanın sonuna kadar korunmuştur. Reaktör sürekli gözetim altında tutularak düzenli olarak su çıkışı ve besin girişi sağlanmıştır. Hazırlanan besin 1-2 gün sıcak (33±2 °C) ortamda kalması istenilen kalitede olmasını engellemektedir. Bu soruna çözüm olarak besin sıcaklığını 5±2°C aralığında korumak için besin kabını soğuk buzlar ile ısısı korunmuştur. Reaktör belirli aralıklarla kendi ortamındaki gaz ile karıştırma yapılarak reaktörde ölü alan en aza indirilmiştir. (Şekil 3.7.)

(a)  (b) 

Şekil 3.7. (a)Reaktör genel görünümü ve (b)besin besleme ünitesi

3.2.2. Stabil işletim koşullarının sağlanması

Reaktör için gerekli her türlü ekipmanların temin edilmesiyle işletilmeye başlanmıştır. Yapılan çalışma olgunlaşma, dinamik membranların kullanılması ve uygun dinamik membran ile uzun süreli işletimden oluşmaktadır. İlk aşama 85 gün sürmüştür. Bu süreçte reaktörde 0,45 µm gözenek çaplı membran kullanılmıştır. 37. günde 50 mg/L konsantrasyonda besine kontrollü şekilde boya verilemeye

başlanmıştır. 50. günde reaktörde olumsuzluk gözlenmediğinden 100 mg/L konsantrasyonuna sahip besin verilmeye başlanmıştır (Çizelge 3.3.). Reaktör gaz geri devir işlemi sürekli yapılmıştır. Birinci aşamanın tamamlanmasının ardından reaktöre kesikli sistem için ilk olarak 20 µm gözenek çapına sahip naylon mesh destek tabakası kullanılmaya başlanmıştır.

Çizelge 3.3. 0,45µm mebranın 0-85 günlük işletme koşulları

Membran Gözenek Boyutu (µm)	0,45
Çalışma Günleri	0-85
Hava Döngüsü (Dur/Çalış)(dk)	Sürekli
Boya (mg/L)	50-100
KOİ (mg/L)	1000
Akı (LMH)	5
HRT (saat)	4
SADm m^3-gas/(m^2.h)	10.00

Reaktör içerisinde 0,45 µm ve 20 µm naylon mesh den oluşan iki adet modül yerleştirilmiştir. Aynı anda her iki modülden su çekilmiş olup, çamur kaçışını önlemek amacıyla dinamik membrandan çekilen su geri devir yoluyla reaktöre verilmiştir. Reaktörde iki modülün işletilmesi ve giriş MBR ve AnDMBR çıkış suları görüntüleri Şekil 3.8.'de verilmiştir.

(a)  (b) 

Şekil 3.8. (a)Reaktör içerisinde 0,45 µm ve 20 µm naylon mesh kullanımı (b)giriş MBR ve DMBR çıkış suları

3.2.3. Kısa süreli işletimlerle dinamik membran optimizasyonu

20 µm AnDMBR'ın işletim koşullarında; Reaktör içerisinde AnDMBR'ın işletilmesi sürecinde ilk aşamada kek tabakasının oluşumu uzun sürdüğünden çıkış suyundaki organik madde ve biyolojik çamurlu çekilen süzüntü suyu tekrar reaktöre yönlendirilmektedir. İki farklı SADm (m^3-gas/(m^2.h)) değerleri kullanılarak oluşan farklılıklar gözlenmiştir. Gaz geri devir çalışma süresi ve duraklama süresinde değişiklik yapılarak oluşan farklılıklar gözlemlenmiştir (Çizelge 3.4.). Reaktöre 20 µm'lik AnDMBR'ı yerleştirmek için açılıp yerleştirilme süresinde reaktör olumsuz etkilenmektedir. Çünkü açık ortamda havadaki oksijene maruz kalmaktadır. Bu nedenle AnDMBR değişim yıkama ve reaktörün açılması söz konusu olması halinde bu sürecin çok hızlı olması reaktörün işletime erken alınması sürecini etkilemektedir.

Çizelge 3.4. 20µm AnDMBR işletim işletilme süreci verileri

MBR Çap. (µm)	20		
Çalışma Bölümü	2	3	4
Çalışma Günler	85-112	113-118	118-122
Hava Döngüsü (Dur/Çalış)(dk)	Sürekli	Sürekli	1 dk Çalış/ 5 dk Dur
Boya (mg/L)	100	100	100
Giriş KOİ (mg/L)	1000	1000	1000
Akı (LMH)	8.05±3.01	8.05±3.01	8.05±3.01
HRT (saat)	4	4	4
SAD_m m^3-gas/(m^2.h)	10	2	2

20 µm AnDMBR ve 0,45 µm'lik naylon mesh ile yapılan bir dizi analizler ve testler sonucunda elde edilen veriler kayıt edilmiştir. Yapılan analizler 0,45 µm MBR'ın analiz sonuçlarına yakın değerler elde edilmiştir. Bir sonraki AnDMBR olan 53 µm'lik naylon mesh tabakası reaktöre takılmıştır.

Reaktör içerisine yerleştirilen 53 µm'lik DMBR modülü hızlı bir şekilde son kontrolleri yapılarak işletime alınmıştır. 53 µm'lik DMBR'ın kesikli kullanılması süresince birçok uygulamada değişiklikler yapılmıştır. Uygulanan farklı kullanım koşulları Çizelge 3.5.'de verilmiştir. 53 µm'lik AnDMBR 4 aşamalı bir periyot

uygulanarak durum izlenmesi yapılarak oluşan değişiklikler kayıt edilmiştir. 53 µm'lik AnDMBR'ın kek (tabaka) katmanı oluşturma sürecinde çıkış atıksuyu tekrar reaktör içerisine yönlendirilmiştir. Böylece reaktör içerindeki askıda katı madde konsantrasyonu stabil tutulmuş olmaktadır.

Çizelge 3.5. 53 µm DMBR Kullanılması

MBR Çap. (µm)	53			
Çalışma Bölümü	5	6	7	8
Çalışma Günler	123-139	140-144	145-150	151-155
Hava Döngüsü	1 dk Çalış /5	1 dk Çalış /5	0.5dk Çalış /5	0.5dk Çalış/5
(Dur/Çalış)(dk)	dk Dur	dk Dur	dk Dur	dk Dur
Boya (mg/L)	100	100	100	100
Giriş KOİ (mg/L)	1000	1000	1000	1000
Akı (LMH)	10.65±0.57	18.9±0.73	18.9±0.73	31.8±3.47
HRT (saat)	4	4	4	4
SAD_m m^3-gas/(m^2.h)	2	2	2	2

Kesikli işletim yapılarak yürütülen 53 µm'lik AnDMBR farklı akı (LMH) değerleri üzerinde yapılan değişikliler ile ve hava döngüsü işletimi üzerinde yapılan değişikliler ile 53 µm'lik AnDMBR üzerindeki olumlu veya olumsuz davranışlar bir önceki 20µm'lik AnDMBR ve 0,45 µm'lik AnMBR ile kıyaslama yapılmıştır. Tek SAD_m m^3-gas/(m^2.h) değeri kullanılmıştır. Çünkü 53 µm'lik AnDMBR üzerinde kek oluşumu ve ortamın homojen karışımı sağlanabilmesi için en uygun olan 2 m^3-gas/(m^2.h)'lük karışım yapılmıştır. Diğer 20 µm'lik AnDMBR gibi bu 53 µm'lik AnDMBR da kek oluşum süresi daha uzun zaman almıştır. Geri yıkamalarda kek oluşum süreci 20 µm'lik AnDMBR gibi kısa sürede oluşma sağlamaktadır. Yapılan analizler ve takip edilen parametreler 53 µm'lik AnDMBR'ın uygun olup olmadığını 100 µm'lik AnDMBR'ın işletilmesiyle karar verilmiştir.

Kesikli reaktör açılarak içerisine 53 µm'lik AnDMBR çıkartılarak 100 µm'lik AnDMBR modülü yerleştirilmiştir. Reaktör üzerinde bulunan tüm borular ve diğer mekanizmalar kontrol edilerek kapatılmıştır. Son olarak reaktörün sıvı ve gaz sızdırmazlığı kontrol edilerek işletime başlanmıştır. 100µm'lik AnDMBR üç aşamada değerlendirilmiştir (Çizelge 3.6.). Üç aşamamayı oluşturan fark, gaz geri

devir uygulamasından ve akı (LMH) değişikliğinden kaynaklanmaktadır. Toplamda 22 gün çalışılmıştır. Bu süreç diğer AnDMBR (20-53 µm) ile kıyaslandığında daha kısa tutulmuştur. En önemli nedeni kek oluşum süresinin diğer destek tabakalarından daha uzun olmasıdır.. Bu yüzden kesikli işletim süresinin bitirilerek en uygun işletime alınacak naylon mesh seçimine geçilmiştir.

Çizelge 3.6. 100 µm DMBR Kullanılması

MBR Çap. (µm)		100	
Çalışma Bölümleri	9	10	11
Çalışma Günler	156-160	160-169	170-178
Hava Döngüsü	0.5dk Çalış	0.5dk Çalış	0.5dk Çalış
(Dur/Çalış)(dk)	5 dk Dur	10 dk Dur	10 dk Dur
Boya (mg/L)	100	100	100
Giriş KOİ (mg/L)	1000	1000	1000
Akı (LMH)	12.41±0.35	12.41±0.35	33.45±2.00
HRT (saat)	4	4	4
SAD_m m^3-gas/(m^2.h)	2	2	2

Kısa süreli işletimin son aşaması olan 100 µm'lik AnDMBR'da gerekli ölçümler ve analizler yapılarak tamamlanmıştır. Bu aşamadan sonra tüm sonuçlar değerlendirilerek işletime en uygun naylon mesh seçimi yapılmıştır.

3.2.4. Uygun destek tabakası seçimi

Toplam işletim süresi 178 gün olan kesikli reaktörün son 93 günü naylon meshlerin takibinin yapılmasıyla geçmektedir. Bu süreçte birçok analiz test ve gözlem yapılmıştır. Uygun mesh seçimi yapılması süresince reaktör üzerinde yapılan değişimler bir araya getirilerek Çizelge 3.7.'de görülen sonuçlar elde edilmiştir.

Tüm naylon meshler incelendiğinde en önemli kıstaslar başlıca; AnDMBR'ın ilk kek oluşum süresi, AnDMBR'ın işletime alınma süresi, AnDMBR'ın işletim süresi, AnDMBR'ın arıtım standartlarını oluşturma süresi, AnDMBR'ın boya

giderim performansı, AnDMBR'ın istenilen akı(LMH)'da ve düşük basınç (TMP)'da çalışma süresidir.

Çizelge 3.7. Uygun destek tabaka seçiminde gözlemlenen sonuçlar

Destek Malzeme türü	0,45 µm	20 µm	53 µm	100 µm
KOİ giderimi	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Düşük
Çıkış suyu Bulanıklık	Düşük	Düşük	Düşük	Orta
MBR Kek Oluşumu	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük
Renk Giderimi	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Düşük
Basınç	Yüksek	Yüksek	Orta	Düşük
Akı	Yüksek	Yüksek	Orta	Düşük
İşletime alma Süresi	Yüksek	Yüksek	Orta	Düşük

3.2.5. Uygun destek tabakasının uzun süreli işletimle test edilmesi

Reaktörün kesikli sistem olarak çalıştırılması sürecinin tamamlanmasının ardından uzun süreli ve sürekli sistem çalıştırılmaya başlanmıştır. Reaktörde 20 µm'lik AnDMBR modülü çalıştırılmaktadır. Bu sürekli sistem kesikli çalıştırma yönteminden daha uzun bir süreçtir. Bu süreçte 20 µm'lik AnDMBR üzerinde çeşitli analizler, reaktörün çalışma koşulları ve gözlemler daha uzun soluklu incelenebilme imkânı sağlayacaktır. Çalışma yöntemini Çizelge 3.8.'de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Uzun süreli 20 µm AnDMBR işletme koşulları

Çalışama Bölümü	1	2	3	4	5	6	7
Çalışma Günleri	178-227	228-232	233-270	271-277	277-295	295-302	303-312
Hava Döngüsü (Dur/Çalış)(dk)	1 dk Çalış/5 dk Dur	1 dk Çalış/10 dk Dur	1 dk Çalış/10 dk Dur	1 dk Çalış/5 dk Dur	1 dk Çalış/5 dk Dur	1 dk Çalış/5 dk Dur	1 dk Çalış/ 10 dk Dur
Giriş Boya (mg/L)	100	100	200	200	200	200	200
Giriş KOİ (mg/L)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Çıkış Akı (LMH)	10	10	10	10	10	15	10
HRT (saat)	2	2	2	2	2	1	2
Giriş NaCl (mg/L)					500	500	500
SADm m^3-gas/(m^2.h)	1	1	1	1	1	1	1

AnDMBR işletimi temelde 7 periyottan oluşmaktadır. Reaktör içerinde modülde oluşan TMP 70-350 mbar aralığında olacak şekilde işletilmiştir. 20 µm'lik AnDMBR modülünden düzenli olarak numuneler alınmaya devam etmektedir. Reaktöre enjekte edilen besin içerindeki boya konsantrasyonu kontrolü bir şekilde 100 mg/L den 200 mg/L'ye çıkartılmıştır.

AnDMBR sürekli kontrol altında tutularak sistemsel oluşabilecek probleme müdahale edilmektedir. Reaktör açıldığında ve herhangi bir sıvı veya gaz sızması olması ihtimali ile belirli aralıklarla anaerobik çamurda yükseltgenme-indirgenme potansiyeli (ORP) ölçümü yapılarak renk giderim verimi ve oksijenin ortamda oluşturduğu etkileri takip edilmektedir. Düzenli olarak ORP değerleri ölçümü yapılarak kontrol edilmiştir.

3.2.6. TMP izlenebilirliği

Reaktörden 20 µm'lik AnDMBR yüzeyinde oluşan kek tabakası çekilen suya karşı bir direnç oluşturmaktadır. Oluşan direnç çekilen akıyı olumsuz etkilemektedir. Bu oluşan direnç vakum basıncını artırmaya neden olmaktadır. AnDMBR kurulumu yapıldıktan sonra reaktörün çalıştırılmasıyla çekilen su ile beraber gelen partiküller membran yüzeyinde tutma sağlamasıyla, zamanla kesilmektedir. Su kalitesine bağlı olarak membran TMP oluşmaya başlamıştır. Bu yüzden işletmeye alınan membranda hızlı bir şekilde TMP oluşması istenmekle birlikte kontrollü bir biçimde yükselmenin olması beklenmektedir. Ancak çok fazla yükselmesi akıyı etkilediği için çok arzu edilmemektedir. Bu noktada normal membranlar için dezavantaj olan TMP dinamik membran için oldukça önem arz etmektedir. İlk aşamada kullanılan naylon meshler üzerinde yapılan bir dizi takip ve analizler arasında bulunan TMP oluşum hızı önemli bir parametre olmuştur.

3.2.7. Membran tıkanması ve temizliği

AnDMBR ve 0.45 µm MF yüzeyinde ve gözeneklerinde tutunan organik maddeler ve bakteriler tıkanmaya neden olmaktadır. Bu tıkanma ve tekrar kullanım membranlar için en önemli kriterler arasında yer almaktadır. Çünkü membran geri yıkama ve temizlemeden sonra gözeneklerin açılması söz konusu olmaktadır. Ancak bu temizleme %100 gerçekleşmemektedir. Her yıkama sonunda bir miktar gözeneklerde tıkanma, geri dönüşü olmayan bir tıkanma olmaktadır. Sık yıkama ve temizlemenin ardından o membran tekrar kullanılmayacak kadar kirli ve tıkalı bir hal alarak işletime alınması mümkün olmamaktadır. Yapılan çalışmada bu soruna çözüm olacak bir yöntem olan AnDMBR kullanılması ile naylon mesh uzun süre geri yıkama ve temizleme ile işletime alınabilmektedir. Yapılan çalışmada uygulanan temizleme yöntemleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Geri yıkama yöntemi,
- Fiziksel yıkama yöntemi,
- Kimyasal yıkama yöntemi,

Temizleme yöntemi tıkanma sonrası yıkamanın haricinde AnDMBR üzerindeki kek kalınlığını kontrol etmektedir. Geri yıkama yöntemi ile reaktör açılmadan kolay ve hızlı yapılmaktadır. Geri yıkama yönteminde reaktörün üst kısmında oluşan gaz ile AnDMBR çıkışından 1-2 dk sürelerle gaz gönderilerek yapılmıştır. Bu yöntem hızlı ve etkili olması sebebiyle sıkça yapılmıştır. Ancak bir süre sonra AnDMBR tam olarak temizlenmediği için kullanımı mümkün olmamaktadır. Bunun için fiziksel yıkamaya ve kimyasal yıkamaya başvurulmaktadır.

Fiziksel yıkama işlemi hızlı olmasa da, etkili bir temizleme yöntemidir. Fiziksel yıkama işleminde reaktör çalışması durdurularak açılır ve içerisinden AnDMBR modülü çıkartılır. Çıkartılan modül bir sünger yardımıyla temiz bir su altında ovularak temizleme işlemi yapılmaktadır. Bu işlem sayesinde AnDMBR yüzeyine tutunan tüm organik madde ve bakteriler giderilmiş olmaktadır. Daha sonra tekrar modül reaktöre uygun bir biçimde yerleştirilir.

Kimyasal yöntem hızlı olmamakla birlikte çok etkili bir sonuç vermektedir. Kimyasal yönteme başlamak için reaktör çalışması durdurularak içerisinden AnDMBR modülü çıkartılır. AnDMBR'de önce su ile fiziksel yıkama yapılır. Daha sonra bazik çözelti olarak 1000 mg/L NaOCl çözeltisine daldırılır. 1 saat bekletilen destek malzemeleri asidik çözelti olarak pH değeri 3'ye düşürülmüş sülfürik asit çözeltisine daldırılır. Bir saat bekletilen naylon mesh temiz su ile yıkanarak modüle takılır ve reaktöre yerleştirilerek sistem aktifleştirilir (Şekil 3.9.).



Şekil 3.9. (a) Modülün reaktörden çıkartılması (b) Kek oluşmuş modül (c) Fiziksel yıkama yapılmış modül (d) Yeni membran takılmış modül

3.2.8. Çalışmada uygulanan analizler

Çalışmanın yürütülmesi süresince belirli periyotlarda analizler yapılmıştır.(Çizelge 3.9.) Uygulanan analiz ve ölçüm yöntemleri çalışmanın doğru ve kontrollü bir biçimde yürütülmesinde önem arz etmektedir.

Çizelge 3.9 Çalışmada uygulanan rutin analiz yöntemleri

Analiz Türü	Yapılma Sıklığı	Uyguma Kaynağı
Bulanıklık	Her gün	DMBR Çıkış, MBR çıkışı
KOİ	3 Gün/Hafta	DMBR Çıkış, MBR çıkışı, Reaktör İçi Süzüntü, Reaktör Girişi
TMP	Her gün	DMBR çıkış
ORP	1 Gün/Hafta	Reaktör İçi Çamuru
pH	3 Gün/Hafta	DMBR Çıkış, Reaktör İçi Süzüntü, Reaktör Girişi
Alkalinite	3 Gün/Hafta	DMBR Çıkış, Reaktör İçi Süzüntü,
SMP	1 Gün/Hafta	DMBR Çıkış, Reaktör İçi Süzüntü, Reaktör Girişi
EPS	1 Gün/Hafta	DMBR Çıkış, Reaktör İçi Süzüntü, Reaktör Girişi
MLSS	1 Gün/Hafta	Reaktör İçi Çamuru
MLVSS	1 Gün/Hafta	Reaktör İçi Çamuru
SEM-EDS	Her DMBR değişiminde	Membran
Metal ekstraksiyonu ve metal ölçümleri	Her işletme periyodu	Membran

Renk analizleri spektrofotometrede remazol brilliant violet-5R boyasının maksimum pik verdiği 560 nm dalgaboyunda yapılmıştır. WTW photolab VIS 7100 spektrometre cihaz kullanılarak bir grafik eğrisi hazırlanmıştır. Numuneler ise 0.45 µm şırınga filtreden geçirilerek ölçümler yapılmıştır.

KOİ için kapalı refluks metodu kullanılmış olup, asidik koşullarda numune içerisindeki organik madde Cr^{+6} ile indirgenerek kalan Cr^{+6} üzerinden WTW photolab VIS 7100 spektrometrede 600 nm dalga boyunda çalıştırılarak konsantrasyon hesaplaması yapılmıştır.

Bulanıklık ölçümü, speoktrofotometrede (WTW, Photolab 7100 VIS) 600 nm dalgaboyunda absorbans okuyarak yapılmıştır. Daha önce AKM konsantrasyonuna bağlı olarak yapılan kalibrasyonda elde edilen katsayı ile çarpılmasıyla ise

konsantrasyon hesaplanmıştır. Membranların temizlenmesi ve değiştirilmesinden sonraki ilk 2-3 saat boyunca bulanıklık düşüşü kısa süreli aralıklarla izlenmiştir.

pH, masa üstü pH metre probu kullanılarak ölçülmüştür. Alkalinite, numunenin pH'ı 0,1 HCl kullanılarak 4,5'a düşürülmüş ve HCl sarfiyatı ile toplam alkalinite hesabı yapılmıştır.

ORP ölçümleri WTW Multi 3630 IDS cihazı ile haftada 1 kontrol amaçlı reaktörde çekilen çamur ile ölçüm yapılmaktadır.

SMPc (SMP nin karbonhidrat kısmı) ve SMPp (SMP nin protein kısmı) reaktör içerisinden alınan numune santrifüj edilerek süpernatantından analiz yapılmıştır. Protein tayini için Dye Reagent üzerine ilave edilen süpernatant 595 nm'de; Karbonhidrat tayini için, süpernatant üzerinde fenol ve H_2SO_4 ilave edilerek 490 nm'de spektrofotometrede okunmuştur

EPSc (EPS nin karbonhidrat kısmı) ve EPSp (EPS nin protein kısmı) Reaktör içerisinden alınan çamur numunesi santrifüj edilerek pellet üzerine NaCl ilave edilerek ısıtma ile ekstraksiyon edildikten sonra mikro santrifüj yapılarak numune hazırlanmıştır. Protein tayini için Dye Reagent üzerine ilave edilen süpernatant 595 nm'de; Karbonhidrat tayini için, süpernatant üzerinde fenol ve H_2SO_4 ilave edilerek 490 nm'de spektrofotometrede okunmuştur

Reaktörde MLSS ve MLVSS Tam karışımlı reaktör içerisinden alınan çamur numunesi 4000 RPM 10 dk santrifüj edilmiştir. Porselen krozenin boş tartımı alınmıştır. Pellet porselen krozede 105 °C'de etüvde 24 saat kurutulmuştur, porselen krozenin ikinci tartımı alınmıştır. Kül fırınında 550 °C'de 45 dk yakma işlemi gerçekleştirilmiştir. Porselen krozenin üçüncü tartımı alınmıştır.

MLSS (mg/L)= (2. tartım-1.tartım)/ Numune hacmi

MLVSS (mg/L) = (2.tartım-3. tartım)/Numune hacmi

SEM-EDS çamurda ve kekte yapılacak olup, giderilen metal formları ve kek oluşumuna katkısı belirlenecektir. Gaziantep Üniversitesi Kampüsünde bulunan Merkezi Laboratuvarından hizmet alımı yapılmıştır.

Kek tabakasından metal ekstraksiyonu ve metal ölçümleri Perkin Elmer OES 8000 tipi ICP cihazı kullanılarak ölçümler yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Kısa Süreli İşletimlerle Dinamik Membran Optimizasyonu ve Uygun Destek Tabaksı Seçimi

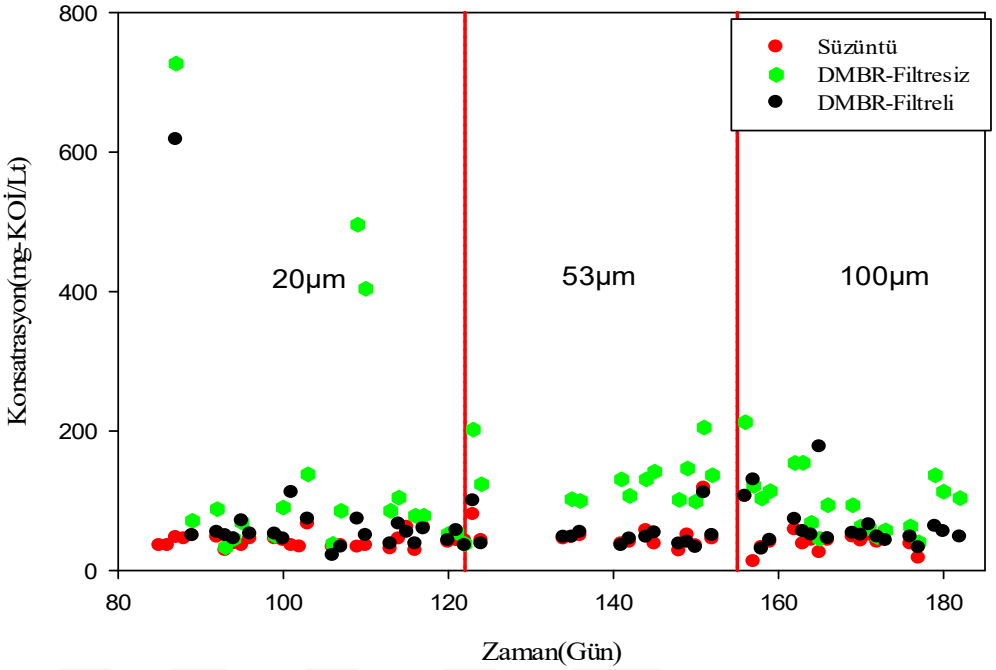
4.1.1. KOİ izlenebilirliği

Bu çalışmada önemli sayılan parametreler arasında sayılan KOİ için günlük analiz ve tetkikler takip edilmiştir. Bu analizler Hasan Kalyoncu Üniversitesi Çevre Analiz Laboratuvarında yapılmıştır. Çalışmanın ilk aşaması olan uygun naylon mesh seçimi sürecinde reaktöre giren besin, 0,45µm'lik çıkış MF çıkışı ile reaktör içi çamur ve AnDMBR çıkışlarında elde edilen sular 0,45 µm'li filtreden geçirilmiş ve geçirilmemiş su olarak iki farklı KOİ ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen KOİ verilerinin genel ortalaması Çizelge 4.1. verilmiştir.

Çizelge 4.1. Kısa süreli işletim KOİ sonuçlarının genel ortalamaları

	KOİ Filtresiz (mg/L)	KOİ filtreli (mg/L)	R. İçi Sn KOİ(mg/L)	R. İçi Sn KOİ filtreli(mg/L)
Giriş	996,38 ± 83			
0,45µm	44,38±18			
20µm	92,09±55	54,71±20	130,11±55	79,49±48
53µm	127,26±31	50,35±20	102,2±20	41,97±9
100µm	93,31±48	65,73±39	101,57±36	50,78±25

Kısa süreli işletim sürecinde elde edilen KOİ değerlerinin daha iyi anlaşılabilmesi açısından filtreli ve filtresiz olarak ölçüldüğünde birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Reaktöre giren besinin KOİ konsantrasyonu 996,38 ± 83 mg/L olarak elde edilmiştir. Reaktör içi, 0,45µm MF, DMBR süzüntü-filtreli, DMBR süzüntü-filtresiz KOİ konsantrasyonlarının günlük değerleri Şekil 4.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Kısa süreli DMBR-filtreli, DMBR-Filtresiz, 0,45 µm Süzüntü Suları KOİ sonuç grafiği

Reaktör içerisine enjekte edilen besin 85. günden sonra DMBR kurularak aktif hale getirilmiştir. Bu süreç içerisinde 0,45 µm'li membrandan su çekilerek KOİ konsantrasyonu takip edilmiştir. 0,45 µm'li membrandan alınan örneklerdeki KOİ konsantrasyonu ortalaması 44,38±18 mg/L olarak ölçülmüştür. İlk günlerde %63 oranında KOİ giderimi yapılmıştır. Devam eden süreçte %95'lik arıtım verimine 26. günde ulaşmıştır. Giriş KOİ konsantrasyonu 996,38 ± 83 mg/L 'ye karşılık, 44,38±18 mg/L çıkış KOİ konsantrasyonu elde edilmiştir. Giderim verimi %95.54± 43 dir.

Yapılan analizler 20 µm'li DMBR ile elde edilen KOİ ölçüm sonuçları filtre edilmemiş 92,09±55 mg/L ve filtre edilmiş (0,45 µm) değer ise 54,71±20 mg/L ortalaması görülmüştür. Aynı şekilde reaktör içerisinden alınan çamurun santrifüj yardımıyla dibe çökertilerek oluşan süzüntü suyundan (süpernatant) yapılan KOİ analizleri sonucunda filtresiz 130,11±55 mg/L ve filtre edilmiş (0,45 µm) 79,49±48 mg/L ortalamasına sahip sonuçlar elde edilmiştir. Reaktör içi ölçümlerde elde edilen sonuçlarla dinamik kek tabakası sayesinde bir arıtımın daha olduğunu ve büyük

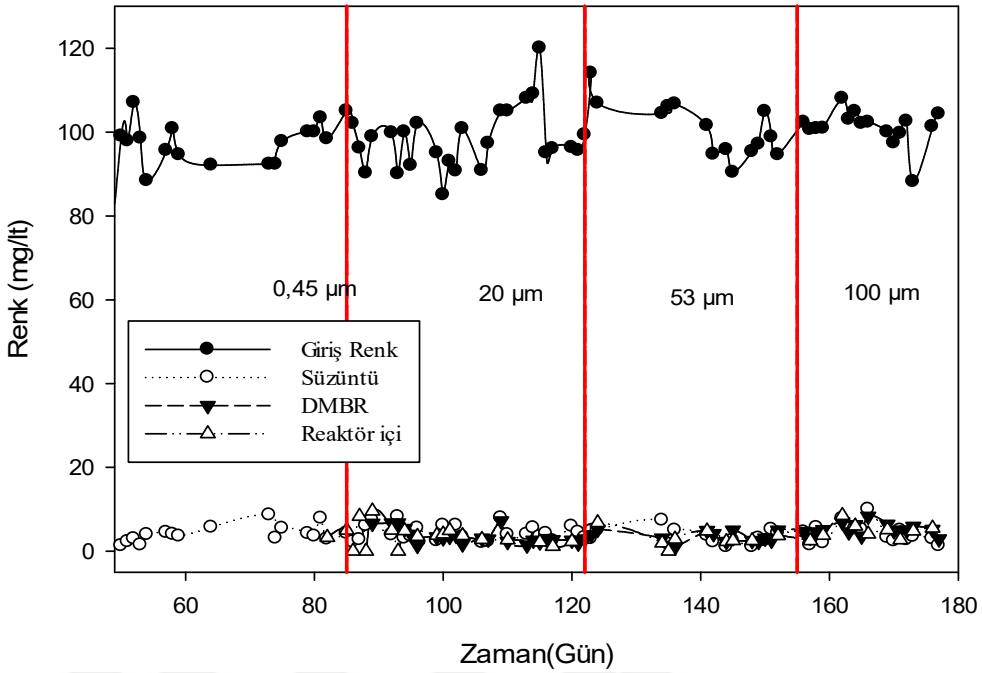
yapıdaki SMP ‘lerin tutulduğunu göstermektedir. Yakın sonuçlar daha önce yapılan çalışmalarda gözlemlenmiştir (Yurtsever ve ark.,2017; Yurtsever ve ark., 2015; Hocaoglu ve Orhon, 2010).

Yapılan KOİ analizleri ile reaktör içerisinde ve DMBR sistem üzerinden çekilen suların KOİ değerleri görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar uzun süreli işletim için önemli veriler oluşturmaktadır. 20 µm DMBR ilk çalışma sürecinde 85. gün ve 107.gün sırasıyla filtresiz 727 mg-KOİ/L, 496 mg-KOİ/L, olarak ölçülmüştür. Bunu nedeni DMBR modülü ilk yerleştirmede dinamik tabakanın olmadığı ve gaz geri devirin sürekli olması durumunda bakteri kaçışına bağlı olarak yüksek KOİ sonuçları elde edilmektedir.

KOİ konsantrasyonundaki düşüş, kullanılan destek tabakalar arasında kıyaslama yapılmasında önemli etkendir. 3 naylon mesh (20-53-100 µm) ile 0,45 µm MF arasında kıyaslama yapıldığında 20 µm destek tabakası 0,45 µm MF ile daha yakın sonuçlar vermektedir. Ancak aralarında oluşan küçük farklı sonuçlar 0,45µm MF’nin yüzeyinde oluşan kek katmanının daha ince ve pürüzsüz olmasına bağlanabilir.

4.1.2. Renk giderim performansı sonuçları

Yapılan çalışmanın en temel amaçlarından birisi olan renk giderim sonuçlarının takibi AnDMBR sistem üzerinde günlük olarak giriş, DM çıkış, reaktör içi çamuru (SN), ve 0,45 µm MF giderim sonuçları ölçülmüştür. Takip edilen sonuçlar Şekil 4.2.’de verilmiştir.



Şekil 4.2. Çalışmada giriş, süzüntü, DMBR ve reaktör içi renk ölçüm verileri

Renk giderimi anaerobik şartlarda renk veren maddenin kimyasal yapısındaki bağların kopmasıyla form değiştirmesine neden olmaktadır. Kesikli anaerobik sisteme verilen teorik olarak 100 mg/L RBV-5R türü tekstil endüstrisi iplik boyası kullanılmıştır. Anaerobik koşullarda azo boyar maddeler indirgenme reaksiyonlarla, yapısındaki azo halkasının oksijene olan ilgisi bilinmekte ve bakterilerin hücre dışı sentezlendiği bir enzim olan redüktaz (AzoR) enzimi le kırılmaktadır (Özdemir ve ark., 2013).

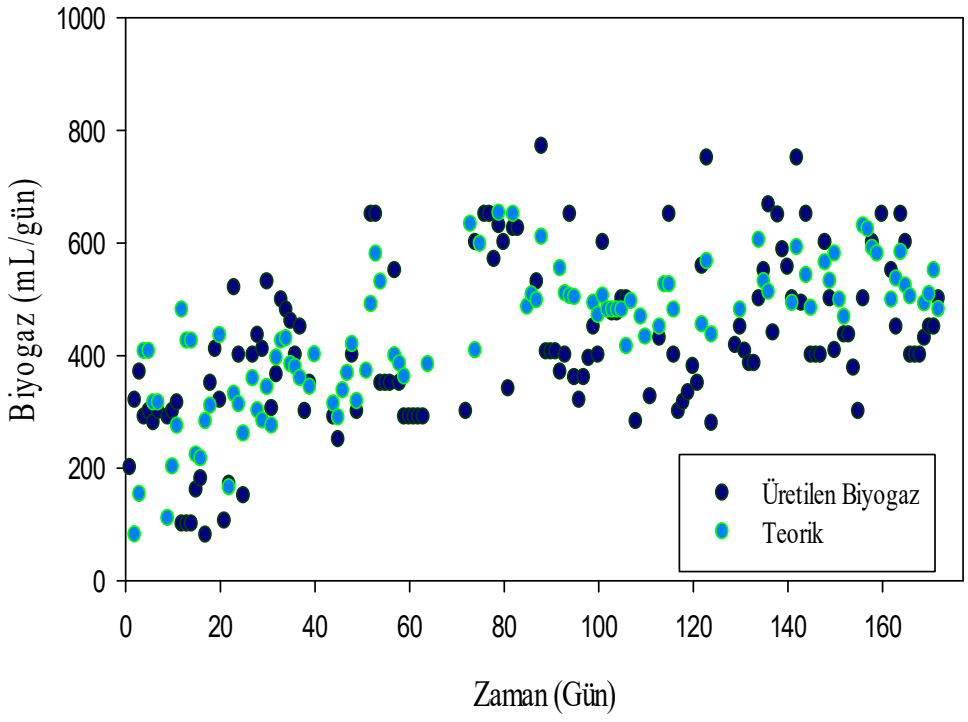
Kesikli sistemin kullanım süresi boyunca ortalama kullanılan RBV-5R boya konsantrasyonu 99,25±6 mg/L ölçülmüştür. Reaktörde kesikli sistem süresi boyunca 0,45 µm MF çıkışından alın boya konsantrasyonu ortalaması 4,11±2 mg/L olarak tespit edilmiştir.

Kullanılan boyanın 20 µm DMBR kesikli sistem süresince arıtım verimi ortalaması 3,53±2 mg/L olarak tespit edilmiştir. 53 µm DMBR sistemin ortalama renk giderimi 3,32±1 mg/L olduğu, 100 µm DMBR sistemim 5,17±1 mg/L renk konsantrasyonu olduğu görülmüştür. Bu destek tabakalarında elde edilmiş olan boya

konsantrasyon değerlerinin oldukça iyi sonuçlar verdiği, reaktör içinde ise 4,17±2 mg/L ile DMBR sistemlerde 20-53µm modüllerden daha yüksek konsantrasyonda olduğu görülmüştür. 100 µm DMBR modülden ise daha düşük konsantrasyonda boya çıkışı görülmüştür. Bu sonuç neticesinde 20 µm ve 53 µm naylon meshlerin renk giderim performansı daha iyi olduğu görülmüştür. Hem 0,45 µm MF, hem de 20 µm DMBR boya giderim sonuçları birbirlerine yakın ve yüksek seviyededir (%96±1.99).

4.1.3. Kısa süreli işletim reaktörde biyogaz oluşumu

Renk giderim için kullanılan anaerobik reaktör ortam şartları gereği gaz çıkışı meydana gelmektedir. Oluşan gazların %70'lik kısmını biyogazdan oluşmaktadır. Kesikli sistem süresince elde edilen biyogaz ile teoride olması gereken biyogaz Şekil 4.3.'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Kısa süreli işletim teorik ve gerçek biyogaz oluşum verileri

Kullanılan sistemin oluşturduğu biyogaz miktarı ile teoride oluşan biyogaz miktarı DMBR'ın şartlarının uygun olduğunu göstermektedir. AnDMBR sistemin ilk 26 gün boyunca üretilen gaz miktarı düşük seyretmiştir. Optimizasyon sürecinde ortamda bulunan metanojik bakteri popülasyonu yeterli olamamıştır. 26. gün sonunda üretilen biyolojik gazın teorik üretilen gaza %90 oranında yaklaştığı görülmektedir.

Üretilen gaz 73. günden sonra, maksimum seviyelere ulaşmış ve %98.9 teorik gaz ile üretilen gaz uyum içerinde devam etmiştir. Aynı şekilde KOİ ile ilişkilendirildiğinde benzer uyum sergilemiştir. 26. günde KOİ %95 giderimi sağlanmıştır. Çalışmada stabilite sağlandığında sisteme giren organik maddeye karşılık günlük üretilen biyogaz 460±123 mL ve teorik üretilmesi beklenen biyogaz 485±85 mL olduğu tespit edilmiştir. Bu süreçte üretilen biyogaz, teorik gazla %95 uyum içerinde yürütülmüştür.

Belirli aralıklarla alın biyogazın metan içeriği %55-%65 aralığında olduğu yapılan testler ile ölçülmüştür.

4.1.4. Kesikli sistem ORP (oxidation reduction potentia)

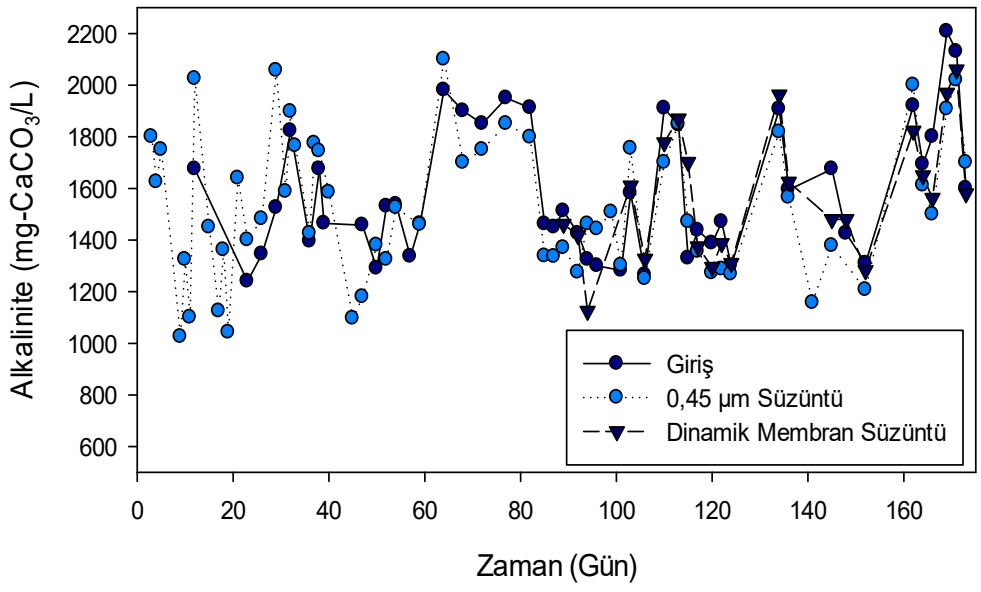
Azo boyalar son elektron alıcısı olduklarından, azo boya giderimi oksidasyon-redüksiyon potansiyeline (ORP) dayalıdır. Yüksek seviyede renk giderme elde etmek için düşük redoks potansiyeli (E'0) olan anaerobik koşullar gereklidir. Kesikli sistem ile ortamda ORP ölçümü yapılarak oksidasyon potansiyeli takip edilmiştir. Kesikli sistem süresince elde edilen ORP -562,35±56 mV olarak ölçülmüştür. ORP ölçümlerinde oluşan negatif değer reaktör ortamında oksijenin yokluğunu göstermektedir.

Ölçülen en düşük ORP -603 mV ve en yüksek -480 mV tur. Kullanılan reaktör sisteminin dış ortam ile olan ilişkisi yeterince ayrı tutulmuştur. Anaerobik ortam şartlarını sağlayacak boyutta stabilize edilmiştir. Böylece boya gidermenin iyi bir sonuç verdiğini göstermektedir.

4.1.5. Akalinite ve pH kontrolü

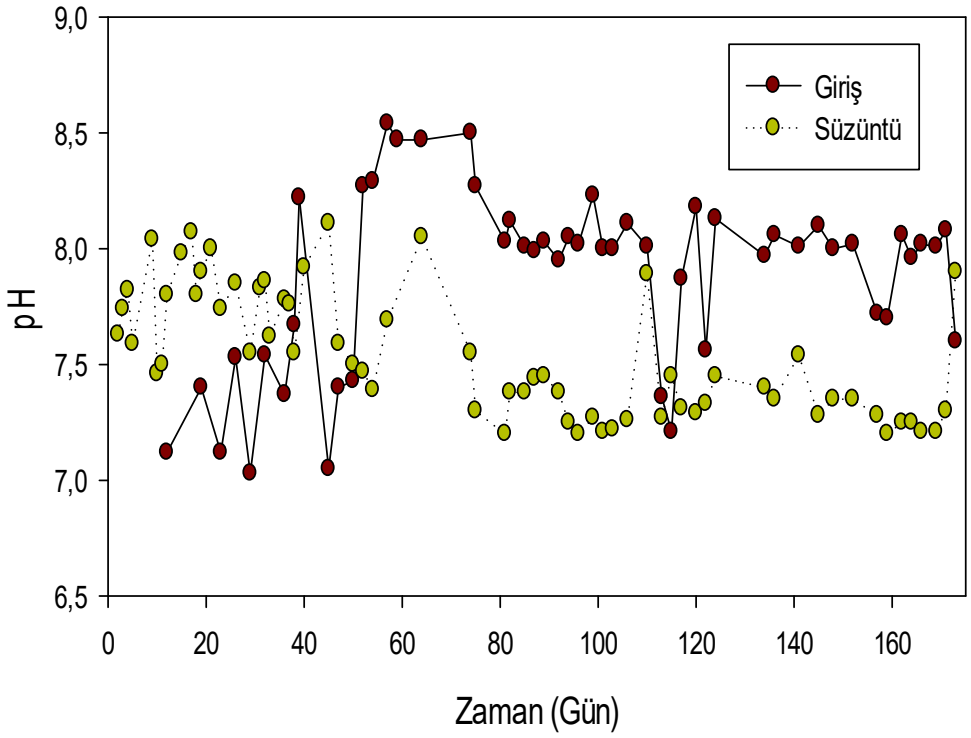
pH anaerobik arıtma yapan sistemler için önemli bir parametredir. Sistemim optimum çalışma şartlarını ve biyolojik aktivitenin durumunu bildirmektedir. Metanojik bakteriler fizyolojik yapıları gereği 6,7-8,0 pH aralığında metan üretimi yapabilmektedirler. Reaktör ortam şartlarında fermantasyon bakterilerinin oluşturdukları ürünlerin çok fazla olması veya metanojen bakterilerin kullanamaması ortamdaki pH'nın düşmesine sebep olacaktır.

Kesikli sistemin kısa süreli işletilmesi süresince pH ve alkalinite optimum şartları koruyarak dengeli işletilebilmiştir. Reaktörün işletilmesi süresinde besin giriş ortalama alkalinite 1584±250 mg CaCO3/L olduğu tespit edilmiştir. Reaktör süzüntü çıkışında alkalinite, 1550±270 mg CaCO3/L (Şekil 4.16.) olarak ölçülmüştür. AnDMBR'dan çekilen sudaki alkalinite 1570±235 mg CaCO3/L oldu tespit edilmiştir. Reaktör içi ve DMBR çıkış sularından elde dilen alkalineteler birbirlerine yakın sonuçlar vermiştir.



Şekil 4.4. Kısa süreli işletim Giriş, süzüntü ve DMBR çıkış suları pH ölçümü

Reaktör içi süzüntü suyu (SN) pH 7,56 olarak ölçülmüştür. Besin girişi pH ortalaması 7,87 olarak ölçülüştür. Ancak Şekil 4.5.'de görüldüğü gibi, 50. gün sonunda giriş suyuna boya eklenmesiyle bir artış olmuştur. İlk 50 ve sonraki günlerin pH ortalaması sırasıyla, 7,40 ve 8,02 olarak ölçülmüştür. Reaktör çıkışında AnDMBR çıkış suyundaki pH 7,40 olarak ölçülmüştür (Şekil 4.5.).

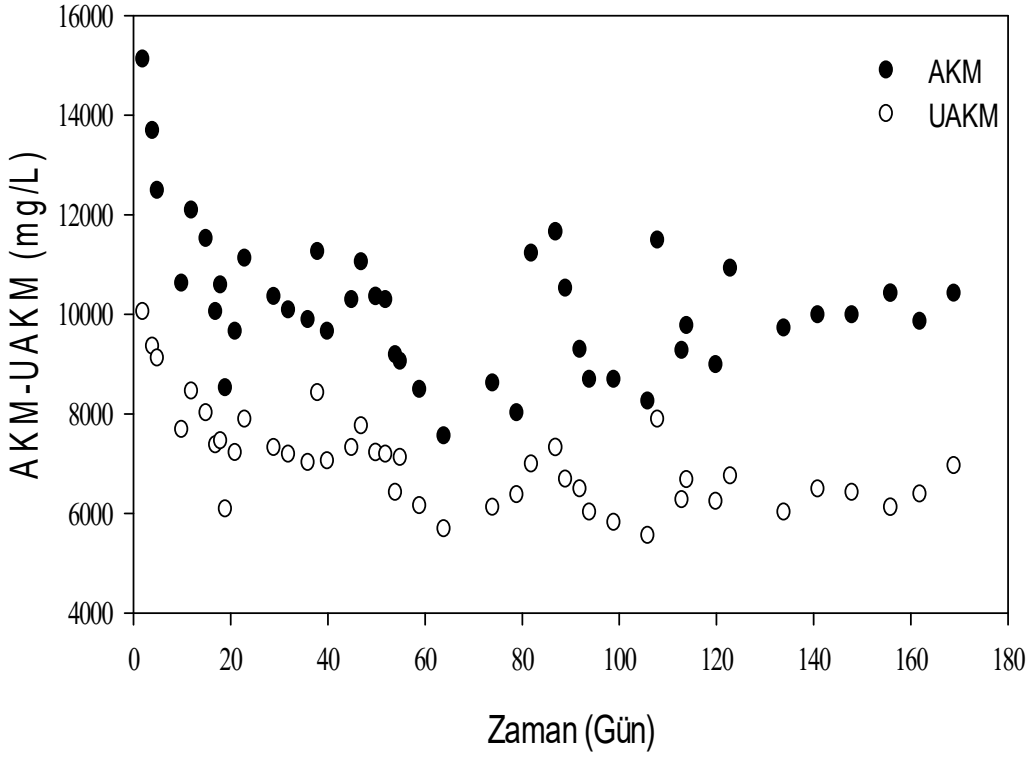


Şekil 4.5. Reaktör giriş ve çekilen süzüntü pH verileri

4.1.6. Reaktör içi AKM-UAKM değişimi ve SMP-EPS'in üretimi

Çalışmaya 15000 mg/L AKM ve 10000 mg/L Uçucu askıda katı madde (UAKM) konsantrasyonu ile başlanmış olup, analizler için numune çekilmesi dışında, çalışma boyunca çamur atılmamıştır. Ancak reaktörün kurulmasından sonraki ilk aşamada, 25. güne kadar AKM konsantrasyonu 10000 mg/L seviyelerine kadar düşmüştür (Şekil 4.6.). Bu düşüşün muhtemel nedeni ise, getirilen aşı çamur

içerisindeki anaerobik olmayan mikroorganizmaların içsel solunumla parçalanmalarıdır. Önceki bölümlerde de bahsedildiği üzere reaktörün tam anaerobik koşullara ulaşması 26 gün sürmüş olup, bu süreçte ortam koşullarına adapte olamayan mikroorganizmalar elemine olmuşlardır. Aşı çamurun ortam koşullarına adapte olmasıyla (26. gün) AKM konsantrasyonu daha stabil kalmıştır. Ancak 50. günde reaktöre ilave edilen boya ile birlikte de AKM konsantrasyonu düşmüş olup, 8000 mg/L seviyelerine inmiştir. Bu aşamada UAKM konsantrasyonu ise 5400 mg/L seviyelerindedir.



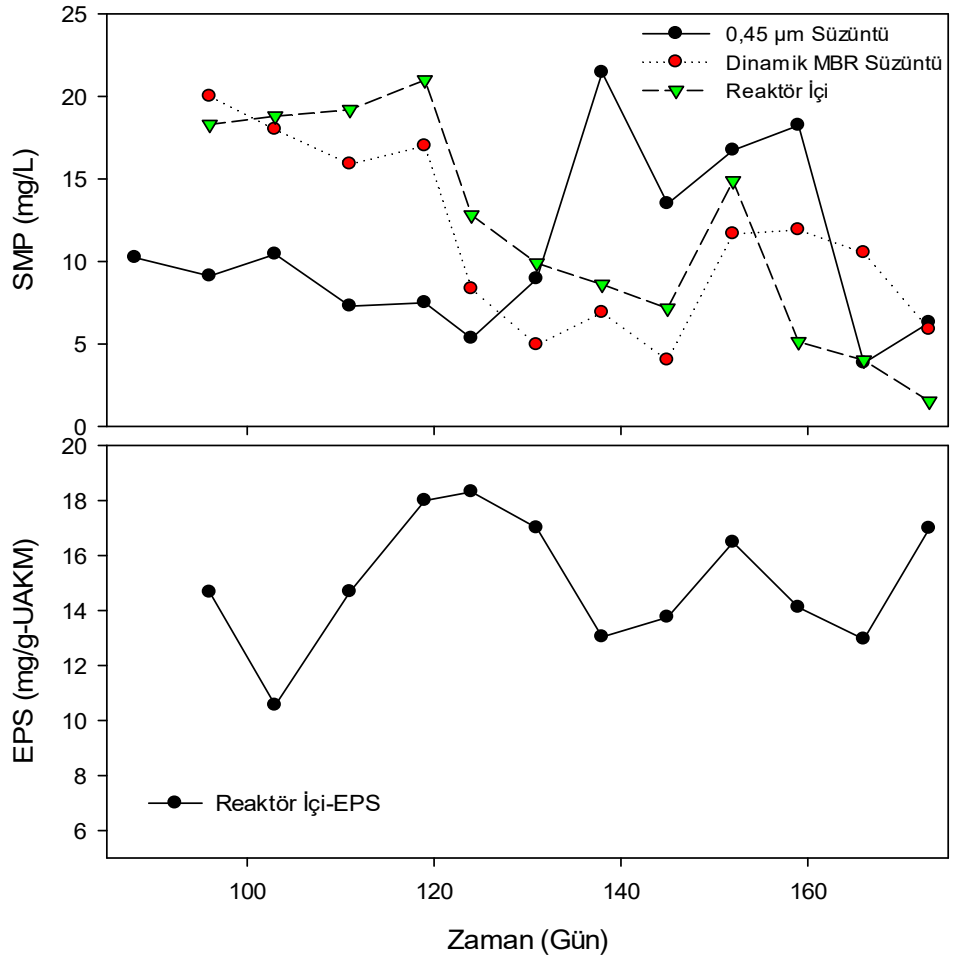
Şekil 4.6. AnDMBR'de AKM ve UAKM değişimi

Her dinamik membran çalışmasının benzer AKM-UAKM konsantrasyonları ile başlaması düşüncesiyle, her bir dinamik membranın değiştirilmesi sırasında ölçülen AKM konsantrasyonundan sonra reaktöre aşı çamur ilave edilmiştir. Bu anlamda Şekil 4.6.'da görüldüğü üzere özellikle 20 µm ve 53 µm destek tabakalarının takıldığı dönemlerde bir miktar çamur ilavesi gerçekleştirilmiştir. Son aşamalarda ise

AKM ve UAKM konsantrasyonları daha stabil kalmış olup, sırasıyla 10160±385 mg/L ve 6428±300 mg/L olarak ölçülmüştür.

SMP ve EPS konsantrasyonlarının dinamik membranda kek oluşturma üzerine etkisi ve DMBR'nin SMP ve EPS'i tutmasındaki etkinliğinin belirlenmesi için reaktörden belirli zamanlarda SMP ve EPS konsantrasyonları ölçülmüştür. Proteinler, karbonhidratlar, nükleik asitler, lipitler ve hümik maddelerden oluşan EPS, reaktördeki biyopolimerik maddelerin varlığını göstermektedir. Biyofilm oluşturma ve floklaşmada yapı malzemesi olarak aktif rol oynamakta olup, çamurun çökeltilmesinde ve susuzlaştırılmasında büyük öneme sahiptir. Bu nedenle MBR'lerde suyun reaktörden çekilmesi sırasında membran tıkanmasından sorumludur (Satyawali ve Balakrishnan, 2008). SMP de EPS gibi membran tıkanmasının başlıca sebeplerinden biri olarak düşünülmekte olup, EPS'in suda çözünmüş formudur (Drews ve ark., 2007)

AnDMBR'de SMP ve EPS konsantrasyonlarının değişimi ise Şekil 4.7.'de gösterilmiştir. SMP ve EPS konsantrasyonları dinamik membran çalışmalarının başladığı günden itibaren ölçülmüştür. Reaktör stabilitesinin oturması nedeniyle SMP konsantrasyonları zamana bağlı olarak azalmaktadır. Ayrıca yapılan SMP ölçümlerinde genel olarak reaktör içi ölçümleri dinamik membran süzüntü ölçümlerinden daha yüksek olup, özellikle son aşamada (100 μm dinamik membran) reaktör içi SMP konsnatrasyonları dinamik membran çıkışından daha düşük seviyelerde ölçülmüştür. Ayrıca MF membranının süzüntüsünden yapılan ölçümlerde de genel olarak elde edilen sonuçlar dinamik membranınkinden çok daha düşük seviyelerde olup, bunun temel nedeni ise MF membranının ve bu membran üzerinde oluşan kek tabakasının daha gözeneksiz yapıya sahip olmasıdır.



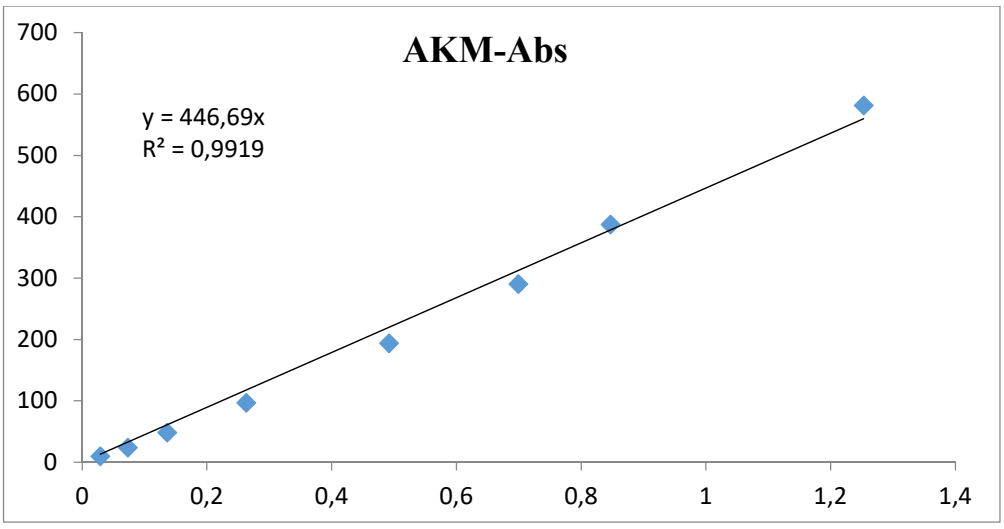
Şekil 4.7 AnDMBR'ye ait SMP ve EPS konsantrasyonlarının değişim grafiği

Yapılan çalışmada reaktör içinde ortalama SMP konsantrasyonu 14,50±5 mg/L olarak elde edilmiş olup, bu değer dinamik membran çıkışında ve MF membran çıkışında sırasıyla 11,20±5 mg/L ve 10,68±5 mg/L'dir. Bu sonuçlarla dinamik membran üzerinde oluşan kek tabakasının SMP'leri tutmasına ve bu kek tabakasının bir miktar SMP'yi gidermesine bağlı olarak SMP, dinamik membran tarafından SMP'lerin yaklaşık %23 oranında giderildiği gözlenmiştir. MF membranında ise bu oran yaklaşık %26 olarak elde edilmiştir. Daha önceki yapılan çalışmalarda AnMBR ile yürütülen çalışmalarda daha yüksek reaktör içi SMP konsantrasyonları elde edilmiş olup (33±29 mg/L), süzüntü de ise benzer SMP konsantrasyonları elde edilmiştir (10±5 mg/L) (Yurtsever ve ark., 2015).

AnDMBR'deki EPS konsantrasyonlarının değişimi Şekil 4.7.'de gösterilmiş olup, çalışma boyunca ortalama olarak aynı sevilerde kalmıştır. EPS konsantrasyonu besin içeriğine, reaktör işletim koşullarına, besin konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir. Moreau ve ark., (2009) tarafından yapılan bir çalışmada ise yüksek KOİ içeriğine sahip suların arıtımı sırasında EPS konsantrasyonunun 100-200 mg/gVSS değerlerinde olabileceği gibi, 10 ile 30 mg/gVSS arasında değişebileceği de belirtilmiştir. Yapılan çalışmada genel olarak 10-20 mg/g arasında EPS konsantrasyonları elde edilmiş olup, AnDMBR'de ortalama EPS konsantrasyonu ise 15±2 mg/g-UAKM olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlarla AnDMBR'de elde edilen EPS konsantrasyonları literatürle oldukça uyumludur.

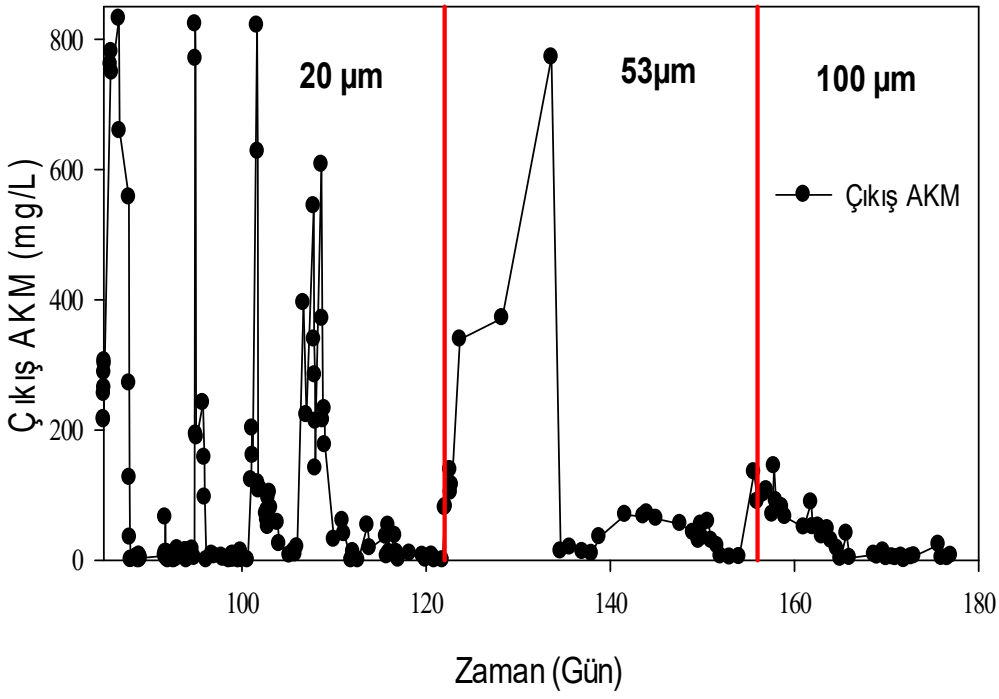
4.1.7. Kısa süreli işletim çıkış AKM konsantrasyonu (bulanıklık izlenilebilirliği)

Kesikli sistem ile takip edilen bulanıklık mg AKM/L konsantrasyonu üzerinden takip edilmiş olup, AKM giderim sonuçları Şekil 4.9.'de verilmiştir. Sonuçların hesaplanmasında Şekil 4.8'de gösterilen kalibrasyon eğrisi kullanılmıştır. AKM konsantrasyonu ölçümü için WTW Photolab 7100 VIS marka spektrometre üzerine düşen 600 nm dalga boyu sonuçları üzerinden elde edilen doğrusal grafik ile dalga boyundan, konsantrasyona geçiş yapılmıştır.



Şekil 4.8. Bulanıklık AKM-mg/L, Absorbans grafiği 600 nm dalga boyunda

Grafik ile elde edilen y değeri 446,69 olarak hesaplanmıştır. Reaktörün kısa süreli işletilmesi sürecinde bulanıklık değerleri sırasıyla 20 µm DMBR'da 136,87 ±180 mg-AKM/L, 53 µm DMBR'da 151,17 ±191 mg AKM/L, 100µm DMBR'da 76,59 ±50 mg AKM/L olarak sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuçlar karşısında en başarılı görülen 100 µm destek tabaka görülmektedir. Bu sonuçların standart sapmalarının yüksek olmasının sebebi kullanılan destek tabakların geri yıkama yapılmasıyla DMBR çıkışında ilk sürelerde kek oluşum süresinde yüksek AKM konsantrasyonları ölçülmüştür. Kek tabakası oluşumu ve geri yıkama yapılan destek tabak 20 µm olmuştur. Reaktör üzerinde kullanılan DMBR'ın bulanıklık sonuçları Şekil 4. 9.'de açıkça görülmektedir. Çalışmanın amacına uygun membran, 20 µm'lik olmuştur.

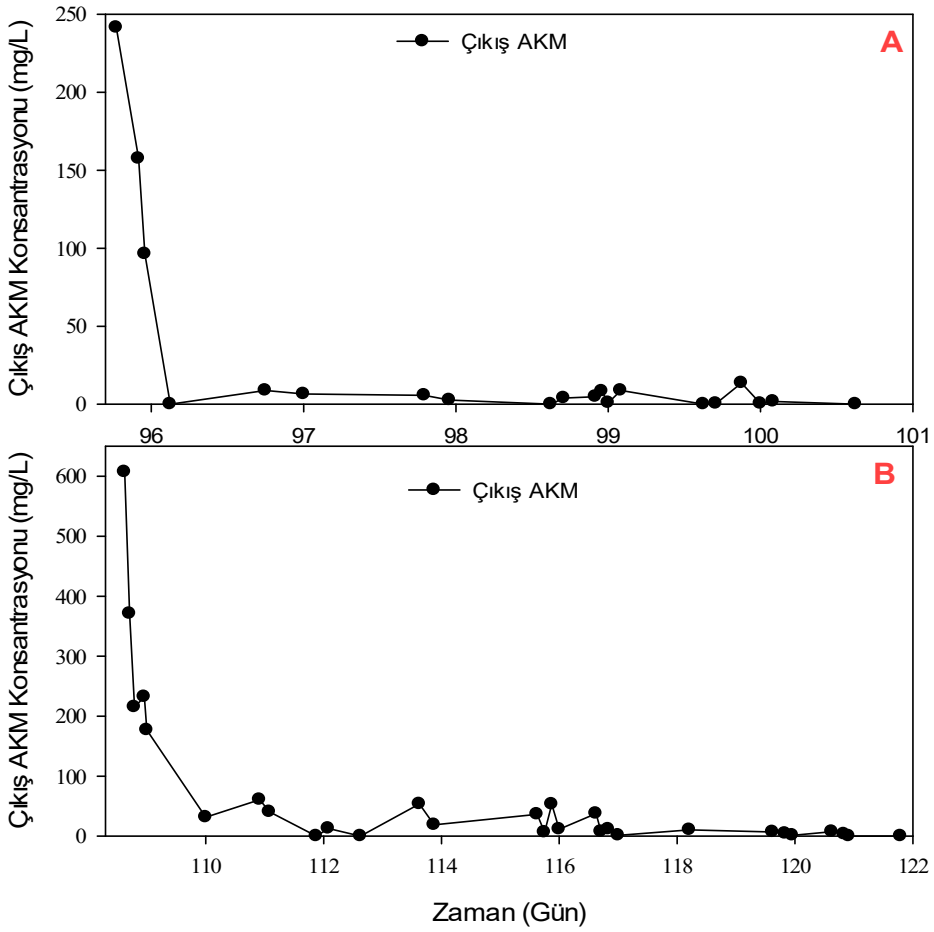


Şekil 4.9.. Kısa süreli işletim çıkış suyu AKM konsantrasyonu (20-50-100)µm

Bulanıklık sonuçları grafik üzerinde takip edildiğinde oluşan pik değerler en sık 20µm DMBR'da görülmüştür. Bunun sebebi 20 µm destek tabaka diğer destek tabakalara oranla daha hızlı dinamik kek oluşturmakta ve geri yıkama yapılmaktadır. Oluşan kek katmanının süresi 20 µm destek tabaka için yaklaşık 3-10 günü kapsamaktadır. Ancak 53µm ve 100µm destek tabakanın kek oluşum süreleri 10-20 gün aralığında oluşmaktadır. Özellikle 100µm destek tabakasının dinamik tabakayı oluşturması yaklaşık 20 günü bulmuştur.

Bulanıklık ölçüm süreçlerinde 20 µm çok fazla değişim gösteren günler görülmektedir. 20 µm DMBR işletme alınmasıyla 800 mg-AKM/L gibi yüksek sonuçlar elde dilmiştir. Ancak 3. gün sonunda hızlı bir düşüşle 3 mg-AKM/ L'nin altına düşmüştür. Bunu başlıca sebebi dinamik tabakanın çok hızlı oluşmasıyla DMBR gözenek çapları daralmasıyla emme basıncı artmasına ve geri yıkama yapılmasına neden olmaktadır (Şekil. 4.8.). Devam eden 7 günün ardından bir sonuç hariç 10 mg-AKM/L konsantrasyonun altında seyretmiştir. 95. Günde ani basınç artması nedeniyle gaz geri devri ile geri yıkama yapılarak basınç sıfırlanmıştır.

DMBR işletilmesiyle ilk işletime alınması gibi yüksek (800 mg-AKM/L) çıkış AKM görülmüştür. Ancak 20 saatin sonunda 1 mg-AKM/L çıkış suyuna ulaşılmıştır. Bu fiziksel yıkama yeni mambranın tıkanması için 10 gün sürmüş ancak fiziksel geri yıkama ile tam manası ile membran gözeneklerinin temizlenmemesi 7. gün sonunda membranın tıkanmasına yani vakum basıncının artmasına neden olmuştur. Her ne kadar membran yüzeyinden kek katmanları koparılmış olsa da tam anlamıyla geri yıkamada temizleme olmamaktadır (Şekil 4.9.).



Şekil 4.10. (A)DMBR 95. günde yapılan fiziksel yıkama (B)DMBR 107. gün sonunda yapılan kimyasal yıkama ile elde edilen çıkış AKM konsantrasyonu.

53µm DMBR sistem bulanıklık ölçüm sürecinde 20µm DMBR kadar hızlı kek oluşum süresi olmamıştır. Genel bulanıklık giderim verimlerini de göz önüne alındığında 53µm DMBR, 20µm DMBR'a göre çok başarılı bir sonuç elde edememiştir.

100 µm DMBR kesikli sistem sürecinde 123-155. günler arası elde edilen bulanıklık verileri ortalaması 76,59 ±50,93 mg AKM/L olduğu tespit edilmiştir. Ancak bu verilerin daha net görülebilmesi için 20µm DMBR ile 100µm DMBR çalışama sürelerinde bulanıklık değerlerinin en fazla sıfıra yakın olanın 20µm DMBR olduğu açıkça görülmektedir. 100 µm DMBR Şekil 4.9.'e bakıldığında

oluşan verilerde geri yıkama işleminin uzun süre yapılmamasına neden olmaktadır. AKM konsantrasyonu yavaş bir şekilde 12. gün sonunda 10 mg/L'nin altında düşmüştür. Kek tabakasını geç oluşması nedeniyle akı artırılarak kek tabakasının oluşumunu hızlandıracağı düşünülmüş akı 33.45±2 LMH'a çıkarılmıştır. DMBR sürecinde kek oluşma hızının düşük olması istemeyen bir süreçtir Bu aşamada çıkış AKM konsantrasyonu ortalama 6,2 mg-AKM/L seviyelerine kadar düşmüş ancak basınç artışı hızlı bir şekilde gerçekleşmiştir. Benzer çalışma 53µm DMBR içinde söz konusu olmuştur.

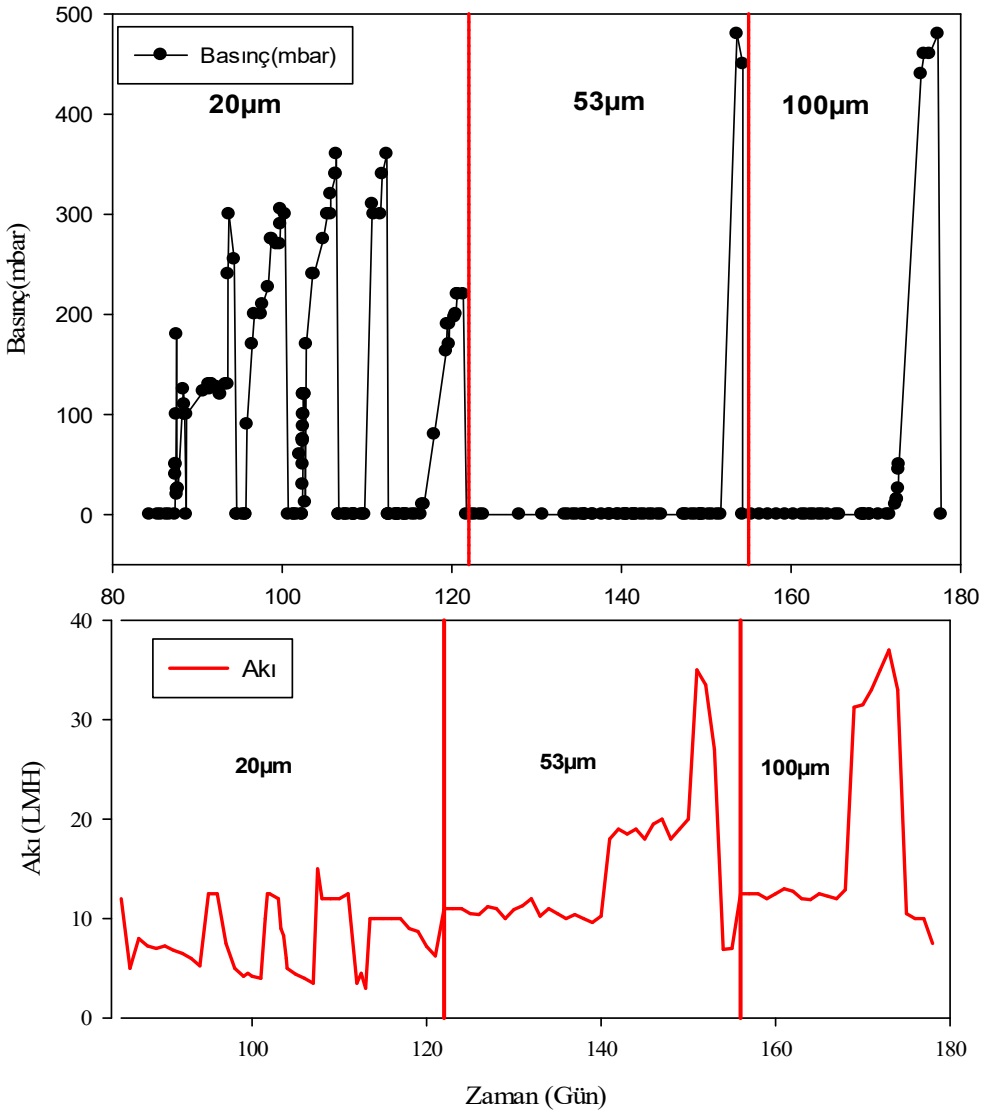
Bu sonuçlarla 53 µm ve 100 µm'lik dinamik membranlarda her ne kadar ortalama 10 LMH'lık akılarda daha az basınç artışı yaşansa da kek tabakasının oluşması ve çıkış AKM konsantrasyonlarının istenilen seviyelere düşmesi oldukça zaman (20 gün) almaktadır. Bu anlamda 20 µm gözenek boyutuna sahip membran çok daha verimli olarak göze çarpmaktadır.

200 µm poliamid/naylondan imal edilmiş bir monofilament dokuma destek tabakası kullanılarak işletilen bir AnDMBR çalışmasında çıkış AKM konsantrasyonu ilk aylarda 25 mg/L olarak işletildiği özel durumların haricinde 100 mg/L'nin altında ölçümler yapılmıştır (Alibardi ve ark., 2016). Yapılan bu çalışma da ise çok daha düşük çıkış AKM konsantrasyonları elde edilmiştir. Bir diğer çalışmada ise, 61 µm Dacron mesh kullanılmış ve yapılan 15 ölçüm sonucunda 0-15 mg/L çıkış AKM konsantrasyonları elde edilmiştir (Zhang ve ark., 2011). Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar ise bu çalışma ile kıyaslanabilir seviyededir.

4.1.8. AnDMBR'de basınç oluşumu (TMP değişimi)

Reaktörün ilk kurulumu esnasında sisteme eklenen emme vakum basınç saatinin günlük ve saatlik takipleri yapılmıştır. DMBR modüllerin oluşturduğu vakum basıncını (TMP) Şekil 4.11. üzerinde görülmektedir. Çalışma basıncı 0-350 mbar aralığındadır. DMBR üzerinde kek oluşması ile basınç, yani suyun akışına karşı bir direnç oluşmaktadır. DMBR sisteminin dinamik kısmının oluşması ile membran gözenekleri küçülerek geçmesi muhtemelen olan büyük organik parçacıkların

geçmesine engel olacağından bizim için uzun süreli DMBR seçiminde önemli rol almaktadır. Kısa süreli reaktör işletiminde elde edilen basınçların genel oluşum süreçleri Şekil 4.11'da verilmiştir. Çalışma aralığına uyum noktasında en başarılı naylon mesh 20 µm DMBR olmuştur.



Şekil 4.11.. Kısa süreli işletim TMP verileri ve Akı verileri (20-53-100) µm DMBR

Verilen Şekil 4.11. üzerinde DMBR'da oluşan basıncın günlere göre dağılımı verilmiştir. DMBR üzerinde oluşan TMP 'den bahsederken akı ile olan kıyaslamada göz ardı edilemez. Oluşan TMP ile akı arasındaki ilişki Şekil. 4.11'da verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi 20µm DMBR işletiminde ortalama 8.05±3 LMH akıda

daha sık basınç artışları gözlenmiştir. Hem basınç artışını düşürmek hem de AKM konsantrasyonunu düşürmek için 2 dakikalık gaz geri yıkama işlemleri yapılmıştır.

DMBR'ın yeni takılması ve kimyasal yıkama yapılması ile oluşan TMP süreleri birbirlerine benzemektedir. Ancak 2 dakikalık geri yıkama ile yapılan fiziksel temizleme, daha kısa sürede TMP artışına ve akı düşmesine neden olmaktadır (Şekil 4.11.). Özellikle 7-10 gün süre zarfında yapılacak 2 dakikalık geri yıkamalar reaktörün işletilmesinde stabil bir yol izlemektedir. DMBR geri yıkamanın ardından düşük bir basınç artışı gözlemlenirken dinamik tabakanın oluşmasının ardından hızlı bir TMP artışı görülmektedir. 20 µm DMBR'ın yüzeyinde oluşan TMP günlük ve gün içerinde yapmış olduğu değişikler Şekil 4.11. de görülmektedir. 20 µm DMBR'ın oluşturduğu TMP zaman zaman değişlikler göstermiştir. Kısa süreli günlerde TMP'nin 0 mbar görülmesi sistemde geri yıkama yapıldığının veya uygulanan çalışma prensibinde yapılan değişiklik neden olmaktadır. Genel olarak sabit bir basınç oluşumu mümkün görülmektedir. Diğer DMBR (100-53 µm) sistemlerin oluşturduğu TMP izlenimlerinde ise beklenen basınç aralığı oluşumu uzun süre elde edilememiş ancak 20-30 gün içerinde oluşum gözlemlenmiştir. Bu basınç artışını sağlaya bilmek için DMBR çıkış akıları yükseltilmesiyle sağlanabilmiştir (Şekil 4.11.). 53 µm DMBR üzerinde oluşan TMP, çalışma Akımı olan 10 LMH için uygun veriler oluşturmamıştır. Ancak 30. gün sonunda 0 mbar dan 480 mbar TMP'ye kısa sürede ulaşmıştır. Ani şartlar altında kullanılan 100 µm DMBR'da benzer TMP sonuçlarını vermiştir. Yapılan kısa süreli işlerim ile TMP verilenin sonuçları, uzun süreli çalışmada yol gösteren önemli bulguları göstermiştir. 100µm DMBR sistemin bize vermiş olduğu TMP verilerinin 20 güne kadar 0 mbar düzeyinde seyir etmesi ancak yüksek çıkış akı artması ile 20. gün sonunda çok hızlı yükselerek istediğimiz maksimum 350 mbar TMP değerini aşarak kullanıma uygun olmayan bir durum sergilemiştir.

DMBR sistem ile reaktörden çekilen su miktarı günlük takip edilerek veriler toplanmıştır. Kullanılan DMBR gözenekleri arasından kaçan organik maddeler sistemdeki toplam AKM konsantrasyonunu değiştireceğinden tekrar reaktör içine yönlendirilmiştir. Reaktörden gerçek su çıkışı 0,45µm MBR dan çekilerek sistemden

uzaklaştırılmıştır. DMBR modüllerden çekilen ortalama Akı 10,27± LMH dır. Akının stabil olması ile reaktör içerisindeki bakteriyolojik yaşam döngüsü korunmuş olmaktadır.

20µm DMBR işletim süresince ortalama 8.05±3 LMH akı korunarak yürütülmüştür. Ancak Şekil 4.11. üzerinde görüldüğü gibi geri yıkama ve kimyasal yıkama ile işletime alınan DMBR kek oluşmadığı için kısa süreli yüksek akı görülmektedir. 53 µm DMBR işletim süresince sırasıyla 10.65± 0.8, 18.9±0.73, 31.8±3 LMH akı oluşmuştur. Her akı için faklı gaz geri devir çalışma metodu uygulanmaktadır. 100 µm DMBR ile işletilen reaktör sırasıyla ortalaması 12.41±0.3, 12.41±0.35, ve 33.45±2 LMH değiştirilen çalışma periyotlarına ve kek oluşum süresine bağlı olarak farklı akılar denenmiştir.

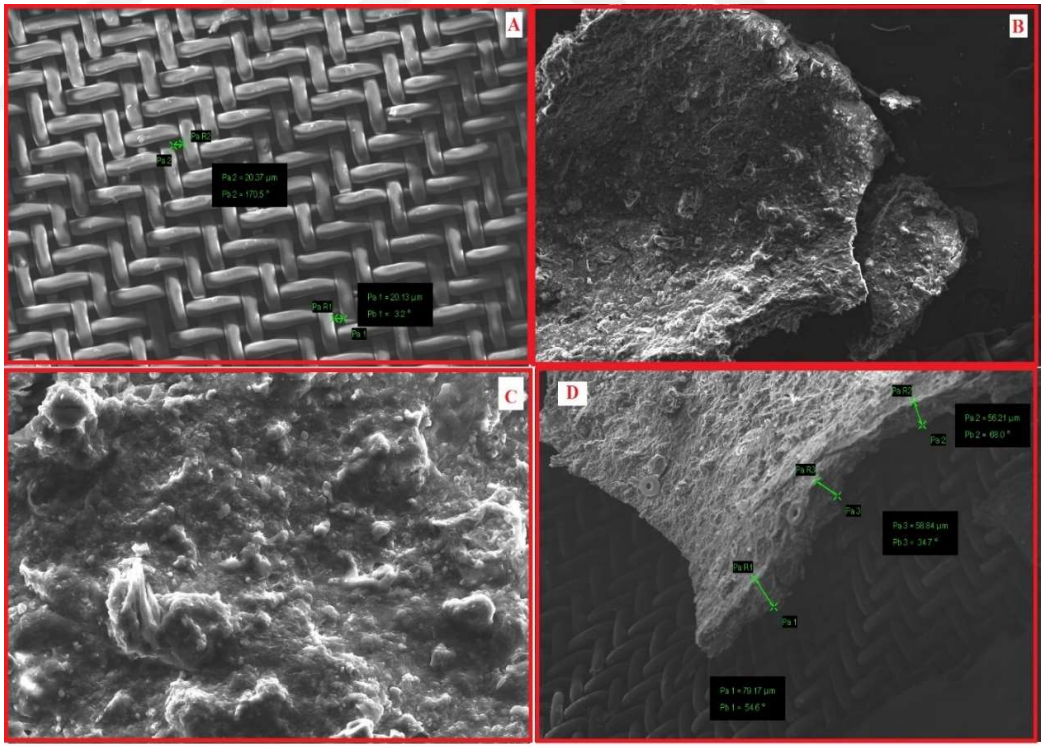
Benzer eğilimler daha önceki çalışmalarda da rapor edilmiştir (Sahinkaya ve ark., 2017). Xie ve ark., (2014) daha önceki yapılan çalışmalar bunun temel nedeninin yerel kritik akı konsepti olduğunu bildirmişlerdir. Ognier ve ark. (2004) çalışmalarında farklı aşamalarda 3 farklı akı denenmiş olup, daha önce de bahsedildiği üzere hızlı basınç artışlarına neden olmaktadır. Buna karşılık önemli olan daha stabil işletimin sağlandığı akılardır. Bu anlamda 20 µm membranın işletildiği ortalama 8.05±3.01 LMH akıda AnDMBR stabil bir şekilde işletilmiştir. Yapılan bir çalışmada da 6,5 LMH'lık akı ile AnDMBR işletimi yapılmış olup, özellikle başlangıç aşamasında 10 günlük filtrasyon döngülerinin gerçekleştiği ve bu döngüler sonunda su ile geri yıkama yapıldığı vurgulanmıştır (Xie ve ark., 2014). Yapılan bir diğer çalışmada ise 1,4-28 LMH'lık akılarla çalışılmış olup, düşük akılarda TMP değerinin 50 mbar seviyelerini aşmadığı, 15 LMH'lık akıda TMP'nin 120 mbar seviyelerinde kaldığı ancak 28 LMH akı ile birlikte TMP'nin hızlı bir şekilde artarak 200 mbar seviyelerini aştığı rapor edilmiştir (Alibardi ve ark., 2016)

4.1.9. Membran ve DMBR kirleticilerinin karakterizasyonu

Membranların gerçek anlamda tıkanması anlaya bilmek için kirleticilerin düzenli bir biçimde karakteristiği ortaya konulmalıdır ve kaynağı belirlenmelidir. Bu

nedenle çalışmada farklı noktalardan alınan numunelerle kek tabakasının ekstraksiyonu ile oluşan sıvıdan ICP analizleri yapılarak inorganik kirleticiler ortaya konulmuştur. Ayrıca kek tabakasından alınan SEM görüntüleri ile inorganik kirleticiler belirlenmiştir.

Çalışmada kek tabakalı her bir dinamik membran ve temiz membran (sadece 20 µm) için SEM analizleri yapılarak kek tabakasının yapısı ve kek kalınlığının belirlenmesi amacıyla görüntüler elde edilmiştir. Elde edilen bu görüntüler aşağıdaki şekillerde sunulmuştur (Şekil 4.12.). Yapılan temiz membran ölçümlerinde gözenek boyutları da ölçülmüş olup, 20 µm dinamik memban için 20,37 µm ve 20,13 µm gibi oldukça yakın değerler ölçülmüştür. Temiz membran ölçümü sadece 20 µm membran için yapılmış olup, membran yapısı aşağıdaki şekilde net bi şekilde görülmektedir (Şekil 4.12 A).

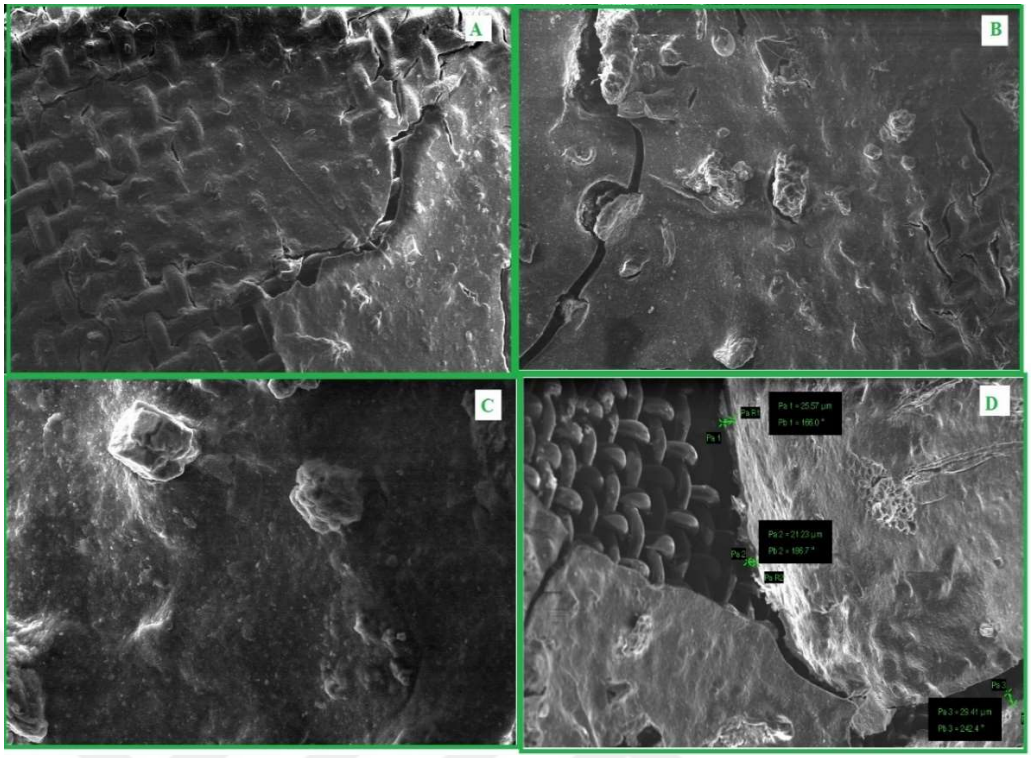


Şekil 4.12. AnDMBR'de kullanılan 20 µm dinamik membrana ait SEM görüntüleri - (A) Temiz membran, (B) Kek tabakalı 100x yakınlaştırmalı membran (C) Kek tabakalı 500x yakınlaştırmalı membran (D) Kek tabakasının kesit görünümü ve kalınlık ölçümü

Yapılan bir çalışmada rapor edilen (Zhang ve Jiang, 2019) daha pürüzlü kek tabakasının geçirgenliğinin daha yüksek olacağı konsepti göz önüne alınırsa, 20 µm dinamik membrandaki geçirgenlik de daha yüksek olacaktır. Özellikle 100x yakınlaştırmalı (Şekil 4.12.B) SEM görüntüsünde de pürüzlü yapı dikkat çekmektedir. Benzer şekilde şekil MF'de 100x yakınlaştırmalı görüntüde daha pürüzsüz bir yapı mevcuttur(Şekil 4.12.C)'de kek tabakasındaki çökeltiler net bir şekilde görünmektedir. Dinamik membrandaki kek tabakasının yüzeyinden alınan görüntülerin yanı sıra, kesitten de görüntüler alınmış olup, kek kalınlığı ölçülmüştür (Şekil 4.12.D). Yapılan ölçümlerde, ölçüm alınan noktaya göre 56 µm ile 79 µm arasında kalınlıklar elde edilmiştir.

AnDMBR'de kullanılan 53 µm dinamik membrana ait SEM görüntüleri ise Şekil 4.13.'de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere 20 µm dinamik membrana göre daha ince bir kek tabakası membran yüzeyinde birikmiş olup, Şekil 4.13.A'dan da görüldüğü üzere bazı bölgelerde boşluklar göze çarpmaktadır. 53 µm dinamik membranda düşük çıkış AKM konsantrasyonlarının elde edilmesi oldukça uzun sürmüştür. Bu da kek tabakasının yeteri kadar oluşamadığı anlamına gelmektedir.

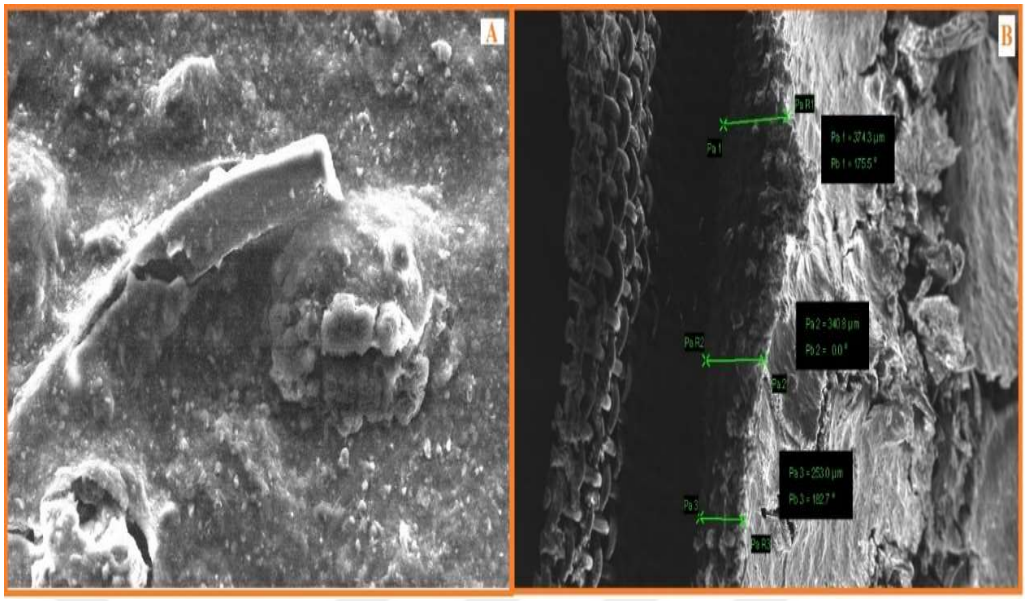
Sonuç olarak çıkışta görülen yüksek AKM konsantrasyonlarının sebebinin yetersiz kek tabakası oluşumunun olduğu SEM görüntüleri ile desteklenmiştir. Benzer şekilde 53 µm dinamik membranda daha düşük TMP artışı ve daha düşük direnç değerleri elde edilmiştir. Bunun da temel nedeni membran yüzeyinde kek tabakasının tam anlamıyla oluşmamasıdır. Bununla birlikte Şekil 4.13.C'de 500x yakınlaştırma yapılarak alınan görüntüde dinamik membran üzerinde çökeltiler net bir şekilde görünmektedir.



Şekil 4.13. AnDMBR'de kullanılan 53 µm dinamik membrana ait SEM görüntüleri - (A) ve (B) Kek/Jel tabakalı 100x yakınlaştırmalı membran (C) Kek tabakalı 500x yakınlaştırmalı membran (D) Kek tabakasının kesit görünümü ve kalınlık ölçümü

Bu da membran üzerinde bazı bölgelerde kek tabakasının oldukça gözeneksiz oluştuğu anlaşılmaktadır. Bu da lokal kritik akıyı arttırmakta olup, son dönemde yaşanan basınç artışının temel nedeni olduğu düşünülmektedir. Bu aşamada 53 µm dinamik membranda oluşan kek tabakasının kalınlığı ise yaklaşık 21 µm ve 29 µm arasında değişmektedir.

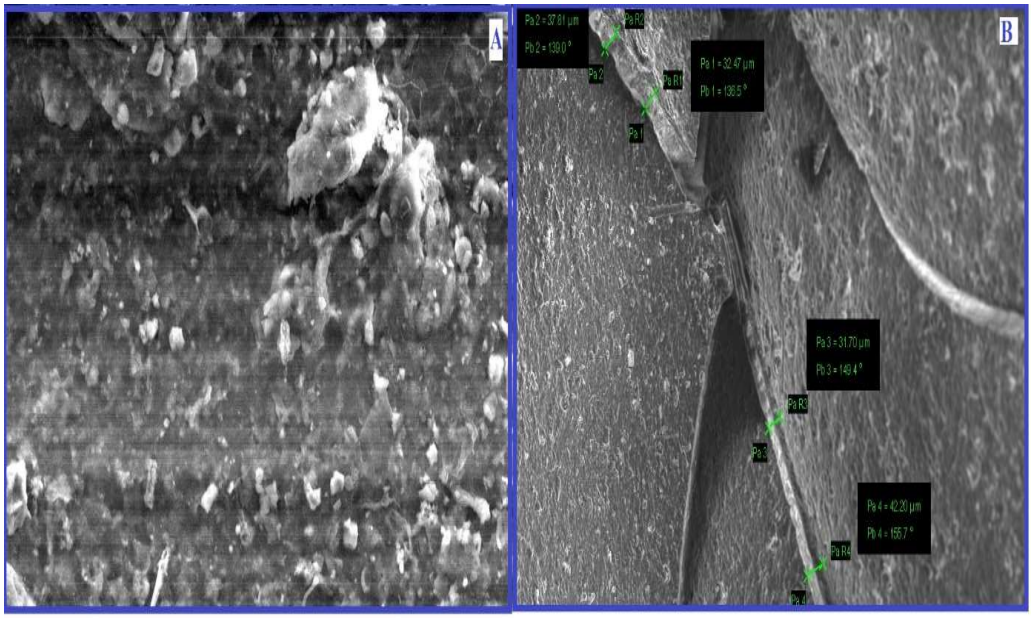
Çalışmada kullanılan 100 µm dinamik membrana ait SEM görüntüleri ise Şekil 4.14.'de gösterilmiştir. SEM görüntüleri 100 µm dinamik membranda üzerinde kalın ve gözeneksiz kek tabakasının geliştiğini göstermektedir.



Şekil 4.14. AnDMBR'de kullanılan 100 µm dinamik membrana ait SEM görüntüleri - (A) Kek tabakalı 500x yakınlaştırmalı membran (B) Kek tabakasının kesit görünümü ve kalınlık ölçümü

Şekillerde özellikle 500x yakınlaştırmada çökeltiler göze çarpmaktadır. Alınan kesit ölçümlerinde ise kek kalınlığının 253 µm ile 347 µm gibi oldukça yüksek olduğu görünmektedir. Ayrıca her ne kadar kuruma nedeniyle kırılmalar gerçekleşmiş olsa da kek tabakasının gözeneksiz bir yapıda olduğu anlaşılmaktadır. Önceki bölümlerde bahsedildiği üzere, 100 µm dinamik membranda çıkış AKM konsantrasyonları ancak 12. günde 10 mg-AKM/L'nin altına düşmüş olup, kek tabakasının oluşması oldukça zaman almıştır. Bununla birlikte bu aşama basınç artışı da gözlenmemiştir Ancak kek oluşumunun hızlandırılması ve çıkış AKM konsantrasyonu düşürülmesi hedeflendiği için son aşamada akı arttırılmıştır. Böylece kek oluşumu sağlanmış ve çıkış AKM konsantrasyonu istenilen seviyeye çekilmiştir.

Ayrıca dinamik membran görüntüleri ile kıyaslama yapılması amacıyla çalışmada kullanılan 0,45 µm MF membranından da SEM görüntüleri alınmıştır. Alınan SEM görüntüleri ise Şekil 4.15.'de sunulmuştur.

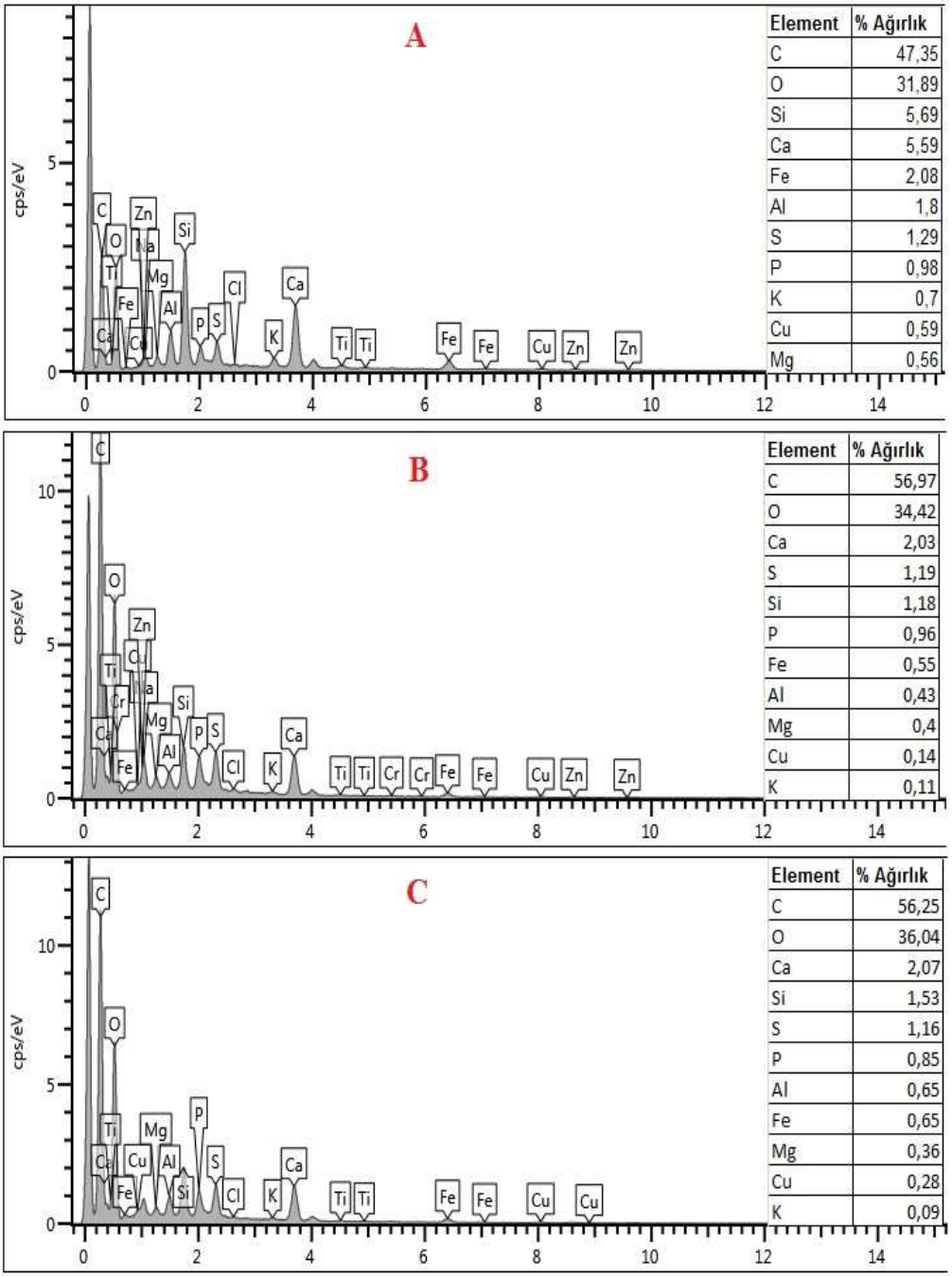


Şekil 4.15. AnDMBR'de kullanılan 0,45 µm MF membranına ait SEM görüntüleri - (A) Kek tabakalı 500x yakınlaştırmalı membran (B) Kek tabakasının kesit görünümü ve kalınlık ölçümü

Yapılan ölçümlerde dinamik membranda gözlenen kek tabakalarına kıyasla daha pürüzsüz ve daha gözeneksiz yapı dikkat çekmektedir. MF membranında gözlenen kek tabakasında ise kalınlık 31,70 µm ve 42,20 µm arasında değişmekte olup, daha verimli sonuçlar alınan 20 µm membranından daha ince bir yapıdadır.

Çalışmada kullanılan tüm dinamik membranlardan yapılan EDS ölçümlerine ait grafikler ve sonuçlar ise Şekil 4.16'de görülmektedir. Yapılan tüm ölçümlerde kek tabakasındaki inorganik ana bileşenlerin Ca, Si, S ve P oldukları belirlenmiştir. Bunun yanısıra Fe ve Al gibi inorganik maddelerin varlığı da SEM-EDS ölçümlerinde gözlenmiştir. Özellikle Ca tüm ölçümlerde %2'nin üzerinde olup, Si ve S ise tüm dinamik membranlarda %1'in üzerindedir. Özellikle 20 µm dinamik membrandaki Ca ve Si elementlerinin yüksek oranları (Sırasıyla %5,59 ve %5,69) dikkat çekmektedir.

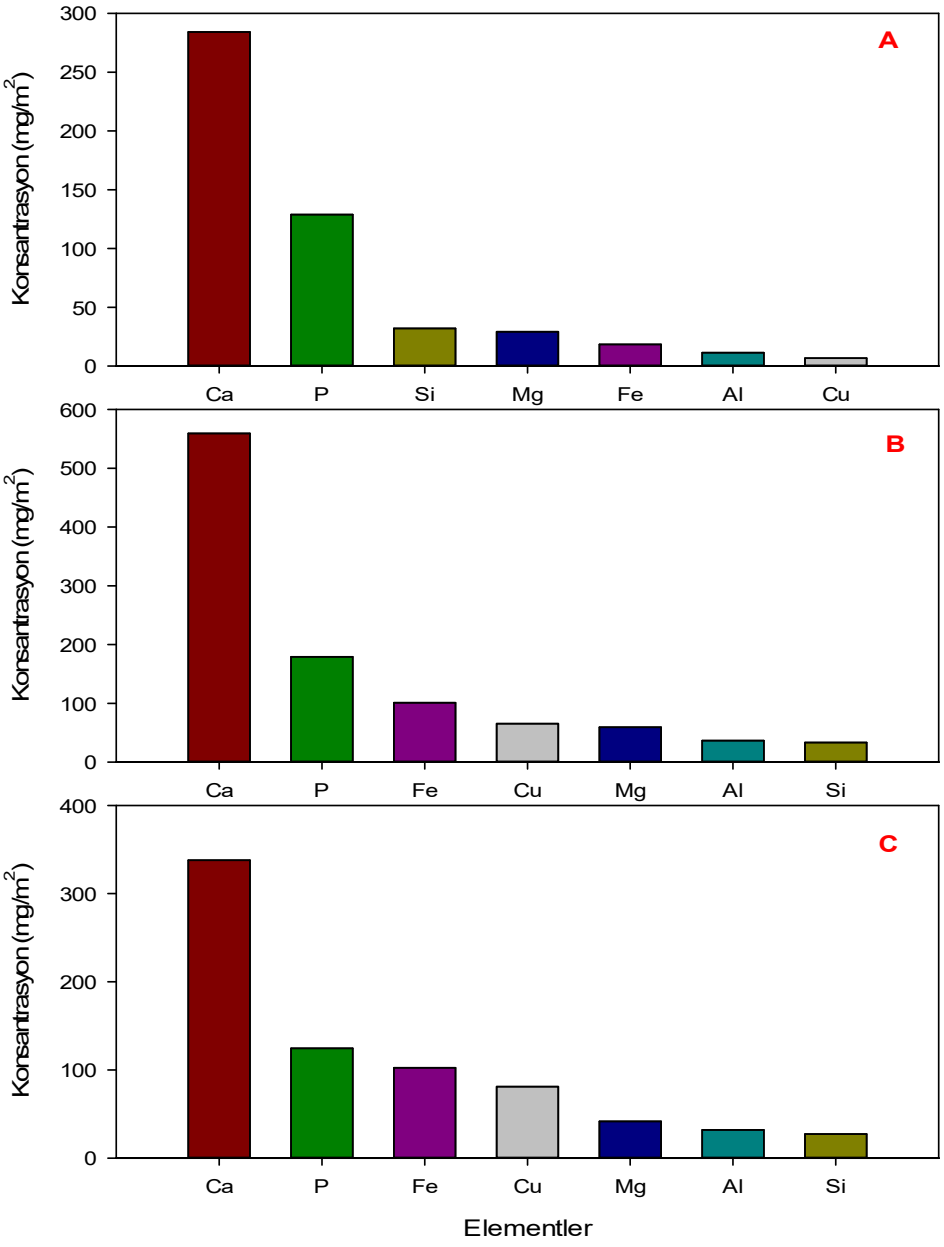
Yapılan bir çalışmada da SEM-EDS analizi sonucunda %6,4 oranında Si belirlenmiş olup, bunun kalıntı alüm floklarından kaynaklanabileceği belirtilmiştir (Shao ve ark., 2014).



Şekil 4.16. AnDMBR'de kullanılan membranlara ait kek tabakalı SEM-EDS ölçümlerine ait grafikler: (A) 20 µm (B) 53 µm (C) 100 µm

Karbonatlar inorganik tıkanmada baskın tuzlardan biridir. Biyolojik reaksiyonlar sırasında, mikroorganizmaların ürettiği CO_2, karbonatların süper doygunluğunu ve çamur süspansiyonunun pH'sını etkileyebilir. Böylece Ca ve Fe gibi metallerin karbonatları kristalleşerek membran tıkanmasının potansiyelini

arttırmaktadır (Moreau ve ark., 2009). Ayrıca metal iyonlarının membran yüzeyinde biriken hücreler ve biyopolimerlerle kolayca köprü oluşturabileceği ve yüksek derecede tıkanma tabakasına dolayısıyla da önemli miktarda TMP artışına yol açabileceği iyi bilinmektedir (Sun ve ark., 2015).



Şekil 4.17. AnDMBR'de kullanılan membranların kek tabakasından ekstrakte edilen inorganik maddelerin konsantrasyonları: (A) 20 µm (B) 53 µm (C) 100 µm

SEM-EDS'ye ilave olarak, dinamik MBR sisteminde destek tabakası yüzeyinde biriken kek tabakasında bulunan inorganikler ekstrakte edilerek ölçülmüştür. Ölçüm sonuçlarına ait grafikler Şekil 4.17'da sunulmuştur. SEM-EDS sonuçlarına benzer şekilde yüksek konsantrasyonlarda Ca, P, Fe, Si, Mg, Al ve Si değerleri kek tabakasında gözlenmiştir. Bu elementlerin çökelerek membran yüzeyinde tıkanma oluşturma potansiyeli mevcuttur. Daha önceki yapılan çalışmalarda da benzer bulgular elde edilmiştir. Anaerobik MBR'de yapılan bir çalışmada da yüksek oranlarda Fe, Al ve Ca'un yanısıra yüksek konsantrasyonlarda Mg ve P elementleri gözlenmiştir (Choo ve Lee, 1996).

Yapılan bir diğer çalışmada ise bazı metal iyonlarının, özellikle de Ca'un organik maddelerle kompleks oluşturdukları, böylece membran tıkanmasını hızlandırdığı rapor edilmiştir (Shao ve ark., 2014). Şekilden de görüldüğü üzere her üç dinamik membranda da en yüksek konsantrasyonlar Ca ve P'ye ait olup, membran yüzeyinde hidroksiapetit ($Ca_5(PO4)_3OH$) çökeleği oluşturduğu söylenebilir. Yapılan bir çalışmada da ICP ölçümleri neticesinde özellikle Ca, Mg ve P inorganik maddeler ölçülmüş olup, bu çökeltilerin hidroksiapetit, dolomit ve kalsit şeklinde olabileceği rapor edilmiştir (Xu ve ark., 2013).

Literatürde yapılan çalışmalar kek tabakasındaki inorganik kirleticilerin membran tıkanmasında önemli rol oynadığını vurgulamakta olup, yapılan bu projede de hem SEM-EDS hem de ICP ölçümleri neticesinde kek tabakasında elde edilen yüksek inorganik madde içeriğinin membran tıkanmasın da etkisinin olduğunu göstermektedir.

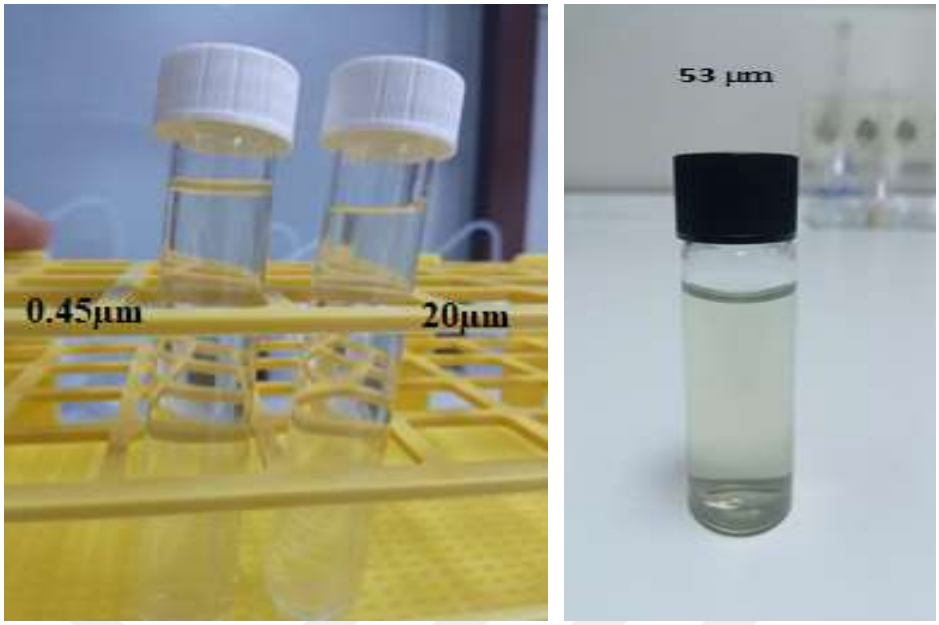
4.1.10. Kısa süreli işletim sürecinde destek tabakalarının kıyaslanması ve seçimi

Kesikli sistem işletilmesi toplamda 180 gün DMBR 'da naylon meshler her biri yaklaşık 30 gün olacak şekilde toplamda 90 gün işletime alınmıştır. Bu süreç içerisinde elde edilen veriler ışığında bazı sonuçlar gözlemlenmiş ve anlaşılabilir olması açısından en iyi sonuca 5, en düşük sonuca 1 puan olacak biçimde çizelge hazırlanmıştır (Çizelge 4.2.).

Çizelge 4.2. Kısa süreli işletim puan tablosu kıyaslaması

Analizler	0,45 µm	20 µm	53 µm	100 µm
KOİ Giderimi	5	5	5	3
Çıkış Bulanıklık	5	5	4	4
Kek Oluşumu Hızı	5	5	3	1
Renk Giderimi	5	5	4	2
Basınç Oluşumu	2	4	4	5
Akı	2	3	4	5
Toplam Veri Puanı	**24**	**27**	**24**	**20**

Kesikli sistem üzerinde DMBR uygulamasında kullanılan naylon mesh arasından verim ve uygulanabilirliği en uygun olanı 27 puan ile 20 µm'lik naylon mesh seçilerek uzun süreli işletimde modülde kullanılmasına karar verilmiştir. Şekil 4. 18'de Sırasıyla 0.45µm, 20 µm DMBR ve 53 µm DMBR çıkış sularının görüntüleri verilmiştir. Görüntülerden de anlaşılacağı üzere 20 µm DMBR oldukça başarılı boya ve AKM giderimi yaptığı açıkça görülmüştür.



Şekil 4.18. 0.45 µm MF 20 µm ve 53 µm DMBR çıkış suları görünümü

4.2. Uygun Destek Tabakasının Uzun Süreli İşletimle Test Edilmesi

Uzun süreli işletim çalışma süresi toplamda 180 gün sürmüştür. Uygun görülen naylon mesh (20 µm) gerekli ayarlamalar yapılarak modüle bağlanarak reaktör içerisine daldırılma yöntemiyle batırılmıştır. Bu süreçte sadece 20µm mesh kullanılmıştır. Alınan tüm sonuçlar ve veriler 20 µm DMBR üzerinden değerlendirilmiştir.

4.2.1. Uzun süreli işletimde AnDMBR arıtım sonuçları

Kısa süreli işletimde reaktörün açılması modül temizliği ve kontrol mekanizması takibi konularında, Çalışmanın uzun süreli işletilmesinde, tecrübe edinmemizi sağlamıştır. Uzun süreli işletim süresi boyunca kontrollü olarak işletim koşullarını değiştirerek DMBR için en uygun anaerobik şartlar altında tekstil endüstrisi atıksuyunda uygulanan metotlar gözlemlenmiştir. AnDMBR reaktör işletim çalışması 7 periyotta incelenmiştir.

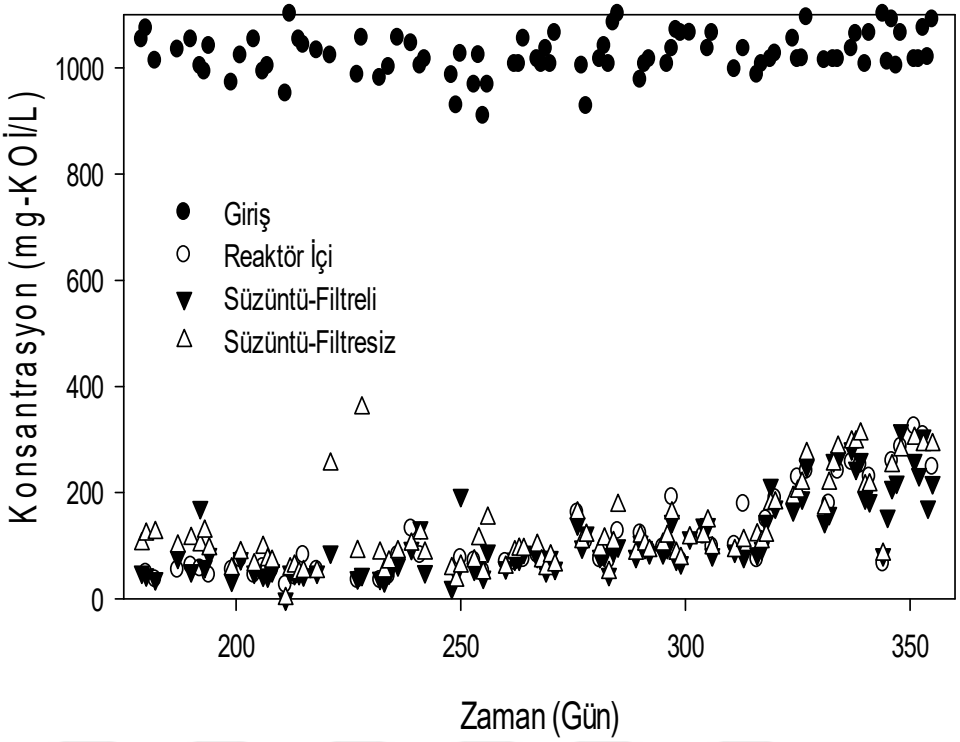
4.2.2. Uzun süreli işletimde KOİ değişimi

AnDMBR sistem içerisine laboratuvar şartlarında hazırlanan çözelti suyunun giriş KOİ sonuçları Çizelge 4.3.'de verilmiştir. Laboratuvar ortamında yapılan analizler neticesinde giriş çözelti KOİ 1027±49 mg/L olarak ölçülmüştür. Temelde hazırlanmak istenilen giriş çözeltisinin KOİ değeri 1000 mg/L olduğunu ve bu değere yakın sonuçlar elde edilmiştir. DMBR 'dan çekilen suyun ilk 6 periyot filtreli konsantrasyonu ortalaması KOİ 75±35 mg/L dir. Giderim verimi %93 dür. Aynı şekilde filtresiz yapılan ölçümlerde AKM konsantrasyonun bazı ölçümlerin dışında genelinde KOİ konsantrasyonu filtreli ölçümlerden yüksek gelmiştir (Filtresiz KOİ 96±49 mg/L). Reaktör içi 6 periyotluk ölçümlerde KOİ konsantrasyonu 75±34 mg/L olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde reaktör içi filtreli ölçümlerinde benzer sonuçlara ulaşılmıştır.

Çizelge 4.3. Uzun süreli çalışma periyotları KOİ konsantrasyon verileri

	Periyotlar Uzun Süreli İşletim 20µm						
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
DMBR KOİ (mg/L) Filtreli	57,90±32	41,73±6	72,56±37	93,65±35	89,95±18	100,2 ±31	113±30
Reaktör içi KOİ(mg/L)	80,12±12	120,7±105	99,04±32	161±69	104,04±22	141±79	118±25

Filtreli ve filtresiz reaktör içi ölçümlerin yakın KOİ sonuçları vermesi MF yüzeyinde oluşan kek tabakasının ince olması ile ekstra bir arıtım söz konusu olmamıştır (Şekil 4.19). Buna benzer çalışmalarda kek tabakasının ince olması ile arıtım veriminde düşük sonuçlar sıkça bahsedilmiştir. Kek tabakasının kalın olmasında SMP giderimi kek katması sayesinde yapıldığı için düşük KOİ sonuçları ölçülebilmiştir (Hu ve Stuckey, 2006).



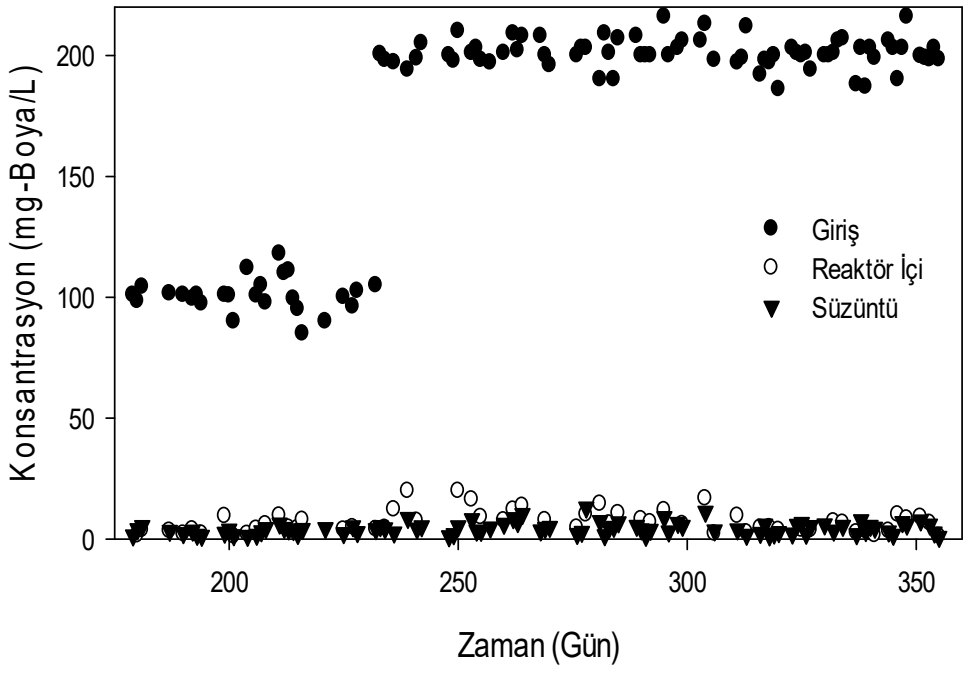
Şekil 4.19. Uzun süreli İşletim Giriş, Reaktör içi, DMBR filtreli ve filtresiz çıkış suyu KOİ verileri

DMBR filtreli ve filtresiz ölçümlerinde çıkış AKM konsantrasyonun yüksek olduğu günlerde KOİ konsantrasyonu da suda bulunan organik madde sebebiyle yüksek ölçülmüştür. Özellikle 255. günden sonra kimyasal yıkamanın ardından çıkış suyundaki düşük AKM konsantrasyonu ile filtreli ve filtresiz DMBR KOİ sonuçları oldukça yakın sonuçlar vermiştir.

Çalışmanın 5. periyodunda eklenen tuz (227. gün) çıkış AKM konsantrasyonunda bir değişiklik göstermese de KOİ konsantrasyonunda yükselmeye neden olmuştur. Tuz ilavesinden önce %94 KOİ giderimi olurken tuz ilavesinden sonra %91 KOİ giderimi söz konusu olmuştur.

4.2.3. Uzun süreli işlerim renk analiz sonuçları

Reaktör girişinden, reaktör içerisinden ve AnDMBR çıkışından belirli periyotlarla yapılan renk analizleri ile veriler toplanmıştır. AnDMBR ve reaktör girişinden DMBR ve reaktör içi sularından alınan renk ölçüm verileri Şekil 4.20.'da verilmiştir. Uzun süreli işletimde 233. güne kadar 100±6 mg/L konsantrasyonda boya girişi sağlanmış ve çıkışta 3,33±1,35 mg/L renk ölçülerek %96.7 verimle renk giderimi sağlanmıştır. 233. günden sonra giriş renk konsantrasyonu (3. periyot) 201±5 mg/L seviyelerine çıkarılmış olup DMBR çıkışında az bir yükselmeyle 4,7±2,4 mg/L'ye ulaşmıştır. Böylece %97.7 oranında renk giderimi yapılmıştır.233. günden sonra iki katına çıkartılan boya konsantrsyonu ilk birkaç reaktör ortamına adaptasyon sürecinde reaktör içi ölçümlerde biraz yüksek boya konsantrasyonları görülmüş ancak ilerleyen günlerde normal seviyelerde çıkış elde edilmiştir.



Şekil 4.20. Uzun süreli iletim giriş, reaktör içi ve DMBR çıkışlarının boya konsantrasyonları

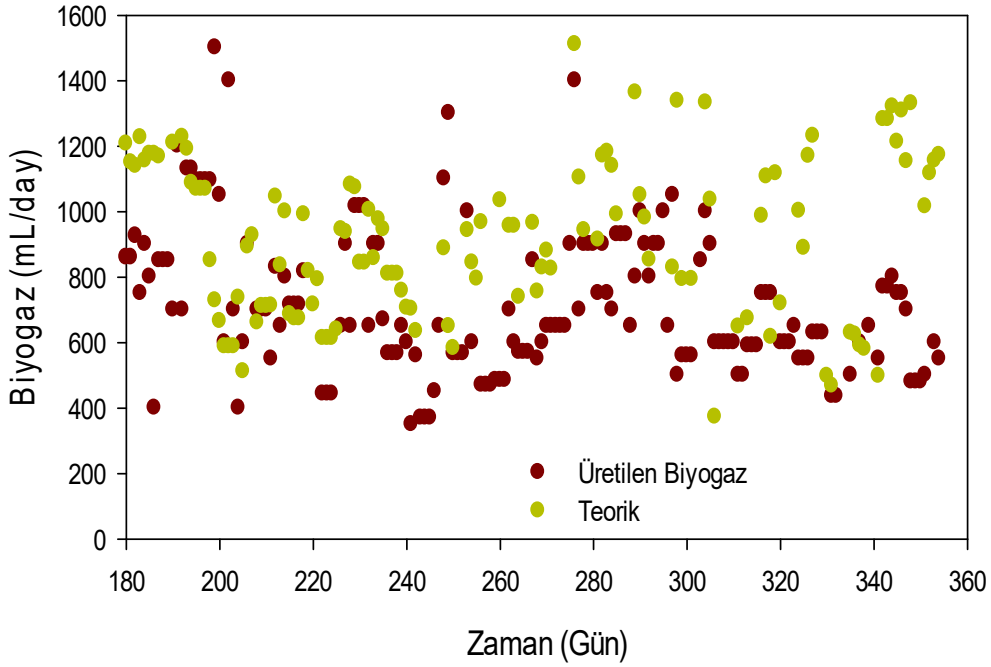
4.2.4. Uzun süreli işletimde gaz oluşumu takibi

Reaktörün anaerobik şartları sağlayacak biçimde yürütülmesi, reaktörden metan gazı çıkışına neden olmaktadır. Bu nedenle reaktörden çıkan gazın miktarı, sistemin biyolojik aktivitesinin devamlılığı hakkında bilgi vermektedir. Çalışmada uygulanan yöntemler biyolojik reaksiyonun değişimine neden olmaktadır. Çizelge 4.4.'de faklı çalışma şartlarındaki oluşan metan gazı üretim ortalamaları verilmiştir.

Çizelge 4.4. Uzun süreli işletim teorik ve gerçek biyogaz verileri

	Periyotlar Uzun Süreli İşletim 20µm						
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Günler	178-227	228-232	233-270	271-277	277-295	295-302	303-312
Oluşan Gaz(mL)	755,00±294,13	869,60±200,47	605,55±210,15	800,00±279,88	854,74±103,08	641,25±264,22	675,00±175,20
Teorik Gaz (mL)	946,14±216	1042,94±54	873,75±124	1146,17±345	1155,08±280	1186,14±441	846,7±422

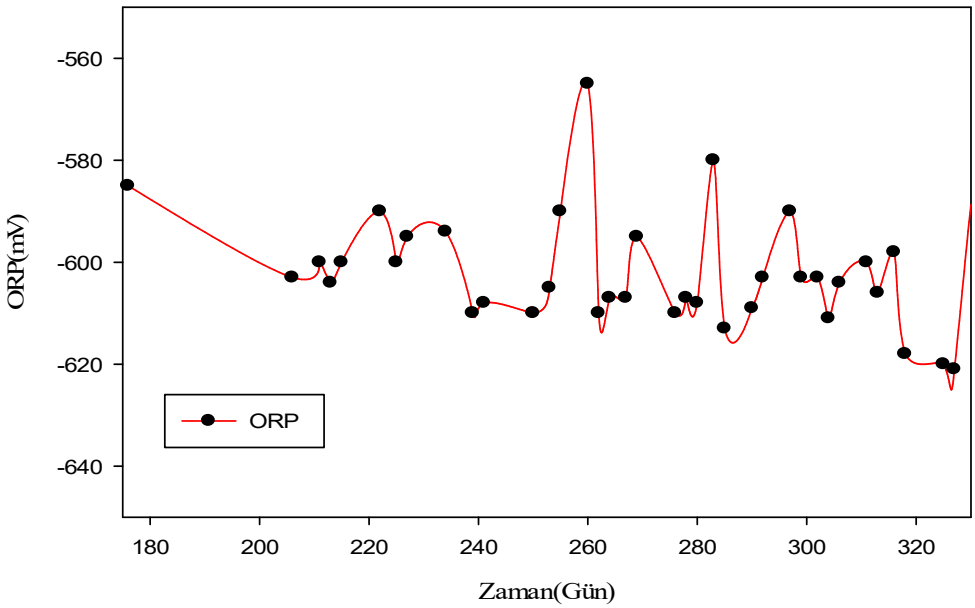
Metan üreten anaerobik sistemin ve teorik olarak üretilebilecek metan gazının günlük elde edilen sonuçları Şekil 4.21.'de görülmektedir. Kısa süreli işletimde uzun süreli işletime nazaran daha stabil sonuçlar elde edilmiştir. Uzun süreli işletimde uygulana yöntemler ve besin yapısında yapılan değişimler teorik biyogaz ile gerçek gaz arasında uyumsuz sonuçlar göstermiştir. Kısa süreli işletimde teorik biyogaz, gerçek biyogaza %95 oranında yakın görülse de uzun süreli işletimde bu oran %79 seviyelerinde ölçülmüştür.



Şekil 4.21. Uzu süreli işletim teorik ve gerçek biyogaz oluşum verileri

4.2.5. Uzun süreli işletim AnDMBR ORP takibi

AnDMBR sistemlerde O_2'nin ortamdan izole olması gereklidir. Reaktör içerisinde O_2 yokluğunun denetlenmesi ve anaerobik ortam şartlarında yaşayan mikroorganizmaların yaşam şartlarının kontrol edilmesine olanak sağlayan veriler arasında ORP yer almaktadır. Aynı şekilde kısa süreli işletimde olduğu gibi ORP değerleri bezer sonuçlar vermiştir. Elde edilen ORP değerleri ortalaması -596,32±56,16 mV dir. Kısa süreli işletime nazaran, uzun süreli işletimde daha az reaktör açılmıştır bu nedenle genel ortalaması yüksek olmuştur. Reaktör ortamın anaerobik yaşam koşullarına elverişli olduğunu bu sayede renk giderimin de başarılı olduğu düşünülmüştür (Şekil 4.22.).



Şekil 4.22. Uzun süreli işletim ORP verileri

4.2.6. Uzun süreli işletim alkalinite ve pH kontrolü

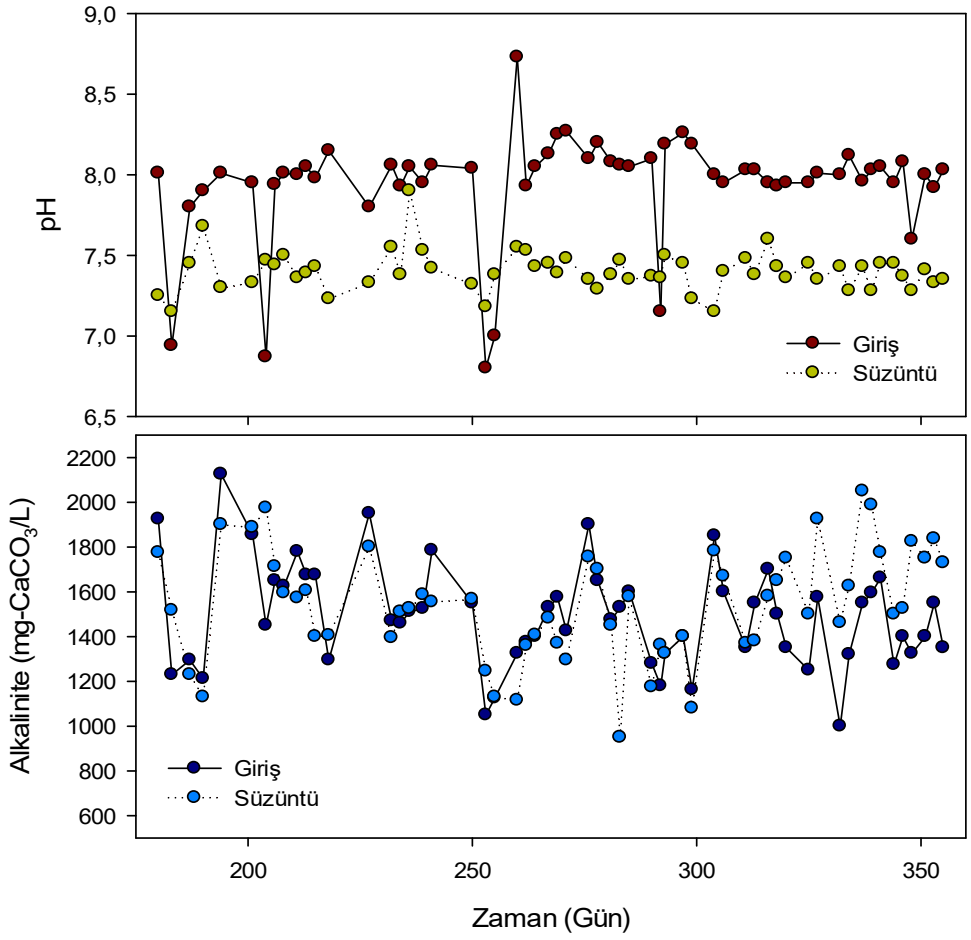
Anaerobik sistemlerin işletilmesinde önemli parametreler arasında pH, ve alkalinite yer almaktadır. İşlem süresinde 7 farklı reaktör işletim yöntemi için elde edilen pH, ve alkalinite verileri kayıt edilmiş olup Çizelge 4.5.'de verilmiştir

Çizelge 4.5. Uzun süreli işletim pH, alkalinite, çalışma periyotları ortalama verileri

	Periyotlar Uzun Süreli İşletim 20µm						
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**
Giriş pH	7,81± 0,40	8,06	7,91± 0,52	8,19± 0,09	7,97± 0,37	8,15± 0,13	8,0± 0,04
AnDMBR pH	7,38± 0,22	7,34	7,31± 0,19	7,37± 0,10	7,38± 0,07	7,27± 0,16	7,35± 0,14
Giriş Alkalinite mg $CaCO_3$/L	1624,46± 291	1470	1434,45±200	1658,33± 237	1434,28± 175	1470,66± 349	1587,5±205
AnDMBR Alkalinite mg $CaCO_3$/L	1628,42±212,	1450	1381,16±177	1583,33± 251	1362,78± 249	1420,66± 351	1550,5±207

Kısa süreli işletimde olduğu gibi uzun süreli işletimde de boya ilavesinden sonran giriş pH 7,94±0,34 ortalama ile DMBR çıkışında ortalama 7,40±0,12 pH ölçümü yapılmıştır. Yapılan değişimler tuz ilavesi dâhil pH sonuçlarını etkilememiştir (Şekil 4.23.).

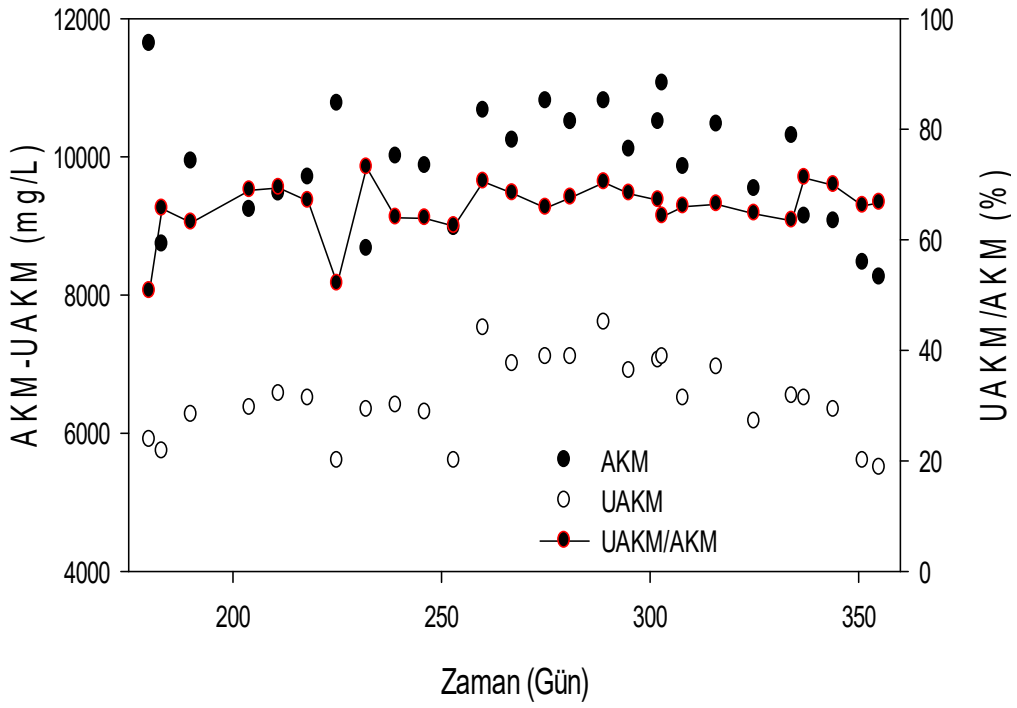
Alkalinite ölçümlerinde kısa süreli işletimde olduğu gibi giriş alkalinite 1432±171 mg-$CaCO_3$/L olarak ölçülmüştür. DMBR çıkışında alkalinite 1704±190 mg-$CaCO_3$/L olarak ölçülmüş (Şekil 4.23)



Şekil 4.23.Uzun süreli işletim pH ve Alkalinite sonuçları

4.2.7. Uzun süreli işletimde AKM-UAKM sonuçları SMP ve EPS 'in MBR üzerindeki etkisi

AnDMBR reaktör sistemin düzenli aralıklarla AKM ve UAKM konsantrasyonları ölçülmüştür. Kısa süreli işletimde uygulana metotla bezen yürütüldüğü için aralarında oluşabilecek bir fark bulunmamaktadır. Kurulan sistem için ön görülen AKM konsantrasyonu 10000 mg/L olarak kabul edilmiştir. Bu kapsamda takip edilen AKM konsantrasyonu ortalaması 10021± 768 dir. UAKM konsantrasyonu ortalaması 6564± 543 mg/L dir. Elde edilen veriler Şekil 4.24'de verilmiştir. AKM ve UAKM konsantrasyonlarının birbirine oranlarının genel ortalaması 65,70±5% dir. Bu şekilde takip edilen konsantrasyon ile reaktör içerindeki organik çamurun uçucu katı madde kontrolü sağlanmıştır. UAKM'nin AKM'ye oranları yine Şekil 4.24.'de verilmiştir.

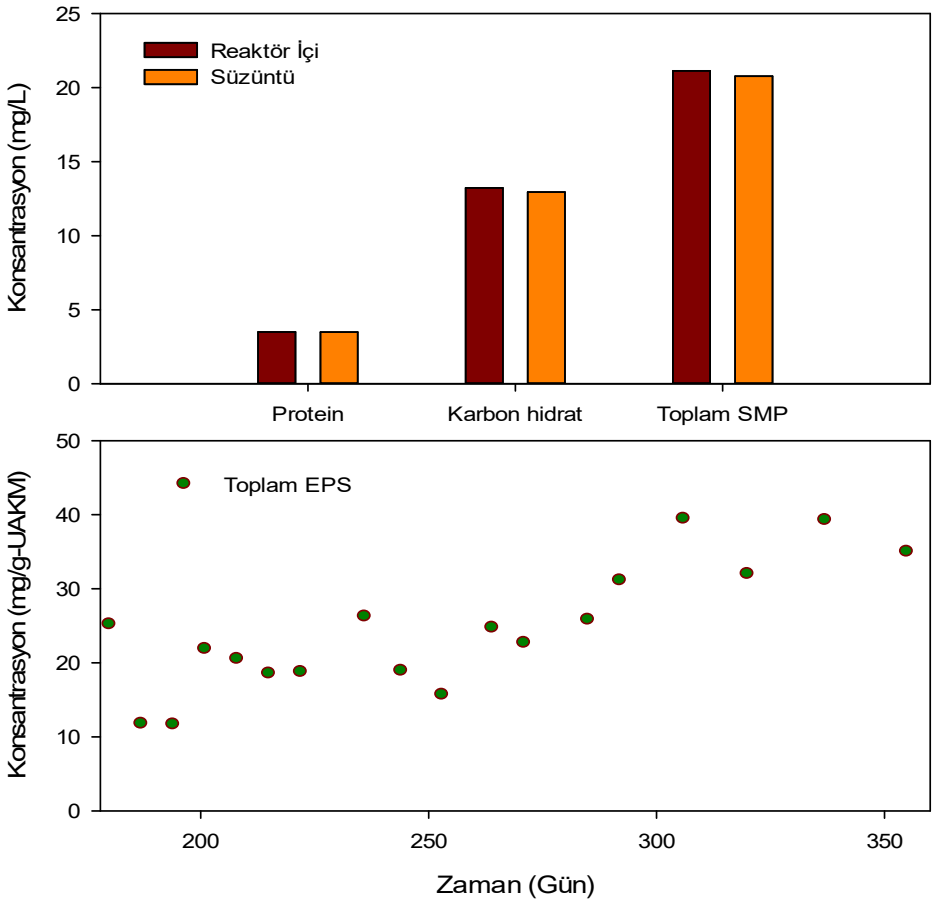


Şekil 4.24. Uzun süreli işlerim AKM ve UAKM ile AKM/UAKM oranlarının verileri

Yapılan bir çalışmada iki farklı tip anaerobik reaktör kullanılarak evsel atıksu arıtımı gerçekleştirilmiş olup, anaerobik filtre için UAKM/AKM oranı 0,76 olarak

elde edilmişken, stabil işletim altında anaerobik hibrit reaktörü için bu oran 0,63 olarak elde edilmiştir (Elmitwalli ve ark., 2002).

AKM-UAKM konsantrasyonlarının yanısıra AnDMBR'den elde edilen SMP ve EPS sonuçlarına ait grafik Şekil 4.25'de sunulmuştur. Uygulana yöntemler çalışmada SMP ve EPS'in membran tıkanmasında önemli bir parametre olduğunu göstermiştir (Yurtsever ve ark., 2015; Yurtsever ve ark., 2016) Özellikle sahip oldukları yüksek moleküler boyutları nedeniyle hem membran hem de kek tabakası tarafından tutularak membran tıkanmasını ve basınç artışını hızlandırmaktadırlar (Yurtsever ve ark., 2017).



Şekil 4.25. AnDMBR'nin uzun süreli işletiminde SMP ve EPS konsantrasyonlarına ait grafik

Yapılan çalışmada elde edilen reaktör içi ve süzüntü SMP sonuçlarında büyük farklılıklar gözlenmemiştir. Genel olarak SMP'lerin membran ve kek tabakasında

tutulma oranları AnMBR'lerde membran yüzeyinde oluşan kek tabakası nedeniyle farklı olabilmektedir.

Yapılan benzer bir çalışmada kalın kek tabakası gözlenmiş ve SMP'lerin %70 oranında tutulduğu gözlenmiştir (Yurtsever ve ark., 2015). Bununla birlikte yapılan bir diğer çalışmada ise membran ve kek tabakası tarafından tutulan SMP'nin oranı %25-35 arasında kalmıştır (Sahinkaya ve ark., 2018).

Yapmış olduğumuz bu çalışmada toplam SMP'nin özellikle kek tabakası tarafından giderim oranı ise %5 olarak elde edilmiştir. Reaktör içerisinde elde edilen 21±9 mg/L SMP konsantrasyonuna karşılık süzüntüde SMP konsantrasyonu 20±7 mg/L olarak ölçülmüştür. Yapmış olduğumuz çalışmada kullanılan dinamik membran oldukça büyük gözenek boyutuna sahip olup (20 μm), yapılan SEM analizlerinde membran üzerinde oluşan kek tabakasının da oldukça ince bir yapıda olduğu gözlenmiştir. Bu ince kek tabakası nedeniyle SMP'nin kek tabakasında tutulması da daha düşük oranlarda gerçekleşmiştir. Benzer şekilde KOİ gideriminde de reaktör içi ve süzüntü arasında çok küçük bir fark gözlenmiş olup, bu küçük farkın bir nedeni SMP'nin kek tabakasında giderilememesidir.

Çalışmada giderilen organik maddenin SMP'ye dönüşüm oranı ortalama olarak %2,33 elde edilmiştir. Barker ve Stuckey (1999) tarafından yapılan bir çalışmada ise glikoz kullanılması durumunda anaerobik biyoreaktörlerde genel olarak giderilen organik maddenin SMP'ye dönüşüm oranının %0,2-2,5 arasında olacağı rapor edilmiş olup, yapmış olduğumuz çalışmada elde edilen değere oldukça yakındır. Bir diğer çalışmada ise anaerobik olarak glikoz biyodegradasyonunda %3 oranında SMP dönüşümü rapor edilmiştir (Aquino ve Stuckey, 2008).

Yapılan EPS ölçümlerine ait sonuçlar ise Şekil 4.25'de sunulmuş olup, EPS konsantrasyonunun çalışma başlangıcında ortalama olarak stabil kaldığı ancak tuz ilavesiyle arttığı gözlenmiştir. Çalışma başlangıcında (178-276. günler arası) ortalama EPS konsantrasyonu 19,70±4 mg/g-UAKM iken, tuz ilavesinin yapıldığı son dönemlerde ortalama EPS konsantrasyonu 33,78±4 mg/g-UAKM olarak elde

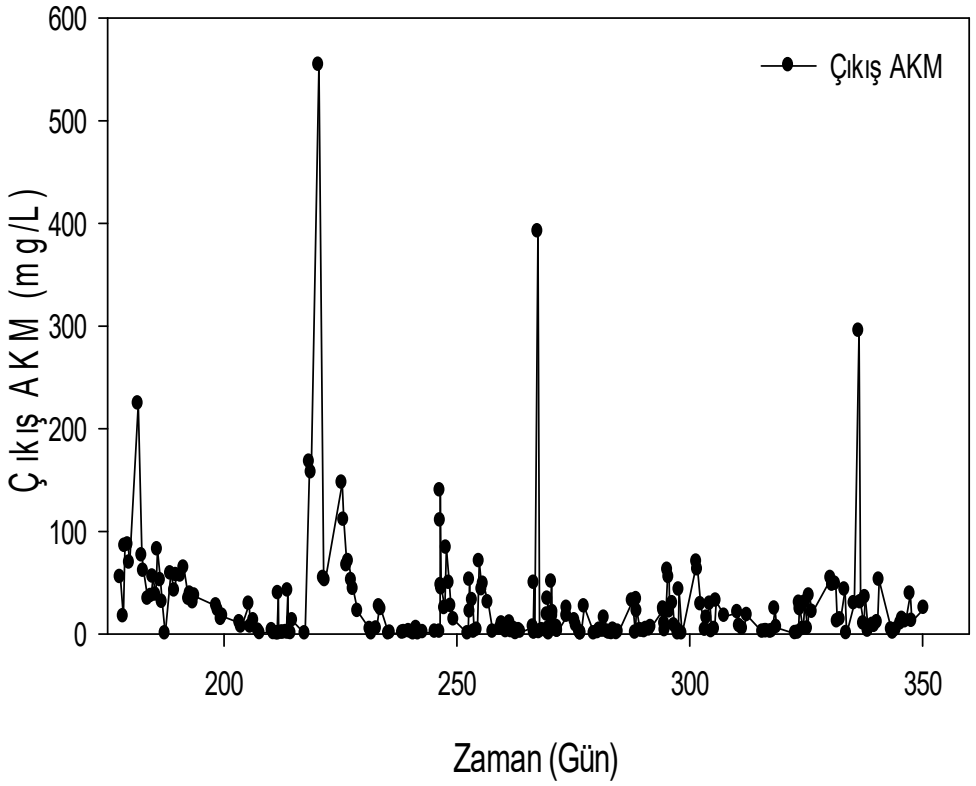
edilmiştir. Bu artışın temel nedeni ise tuz ilavesi döneminde mikroorganizmaların stres koşullarına maruz kalmasıdır. Çalışma boyunca ortalama EPS konsantrasyonu ise 24,41±8 mg/g-UAKM olarak ölçülmüştür.

4.2.8. Uzun süreli işletim filtrasyon performansı çıkış AKM sonuçları

Uzun süreli işletim bulanıklık takibi yapılarak bir dizi veriler elde edilmiştir. Günlük ve gün içerisinde farklı saatlerde alınan verilerden oluşmaktadır. 7 farklı çalışma şartlarında AnDMBR bulanıklık verileri oluşturulmuştur. Özellikle kısa süreli işletimde elde edilen tecrübeler ile stabil bir çalışma ortamı hızlıca sağlanabilmiştir. Ayrıca uygulanan farklı çalışma grupları ile gaz geri devir ve tuz eklemesi ile değişimler gözlemlenmiştir.

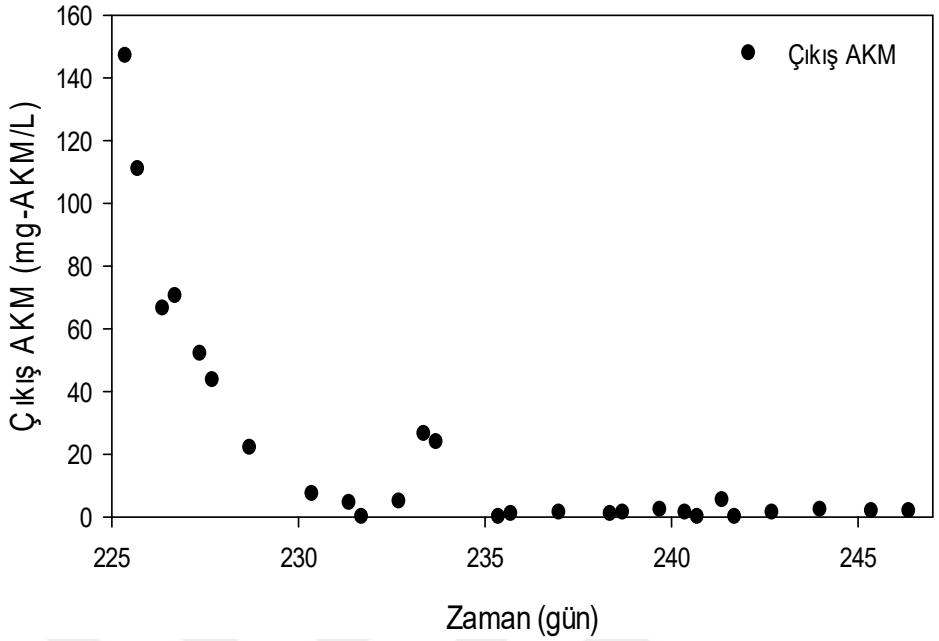
DMBR kek oluşumu gözlenene kadar yüksek AKM ölçümü yapılsa da kek oluşumuna paralel düşük AKM konsantrasyonu görülmüştür. Kek oluştuğunda 10mg-AKM/L'nin altında sonuçlar görülmüştür. Düşük sayıda 20-30 mg-AKM/L sonuçları görülmüştür. Bu tür yüksek sonuçlar DMBR üzerinden kopan organik maddeler olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.26'de görüldüğü gibi ani yükselişler DMBR'ın kimyasal yıkama sonrası ölçülen değer olup, geri yıkama sonrası 20-30 mg-AKM/L gibi değerler okunsa da hızlı bir şekilde düşüş sağlanmıştır.

Özellikle 5. çalışma periyodunda (227. gün) eklenen tuz ilavesi ile bir miktar AKM konsantrasyonunda yükselme görülse de çalışmanın ilerleyen günlerde 13 mg-AKM/L konsantrasyonuna kadar indiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.26. Uzun süreli işletim çıkış AKM konsantrasyonu verileri

225. gün yapılan kimyasal yıkamanın ardından 150 mg-AKM/L konsantrasyonu okunmuştur. Ancak hızlı bir sürede 20 mg-AKM/L'nin altına düştüğü görülmüş sadece 2 ölçümde 20-30 mg-AKM/L arasında konsantrasyon görülmüştür. Kimyasal yıkamanın ardından 400 mg-AKM/L gibi yüksek değerler görülse de 1. gün içinde 50mg-AKM/L 'nin altına düştüğü görülmüştür. (Şekil 4.27.)



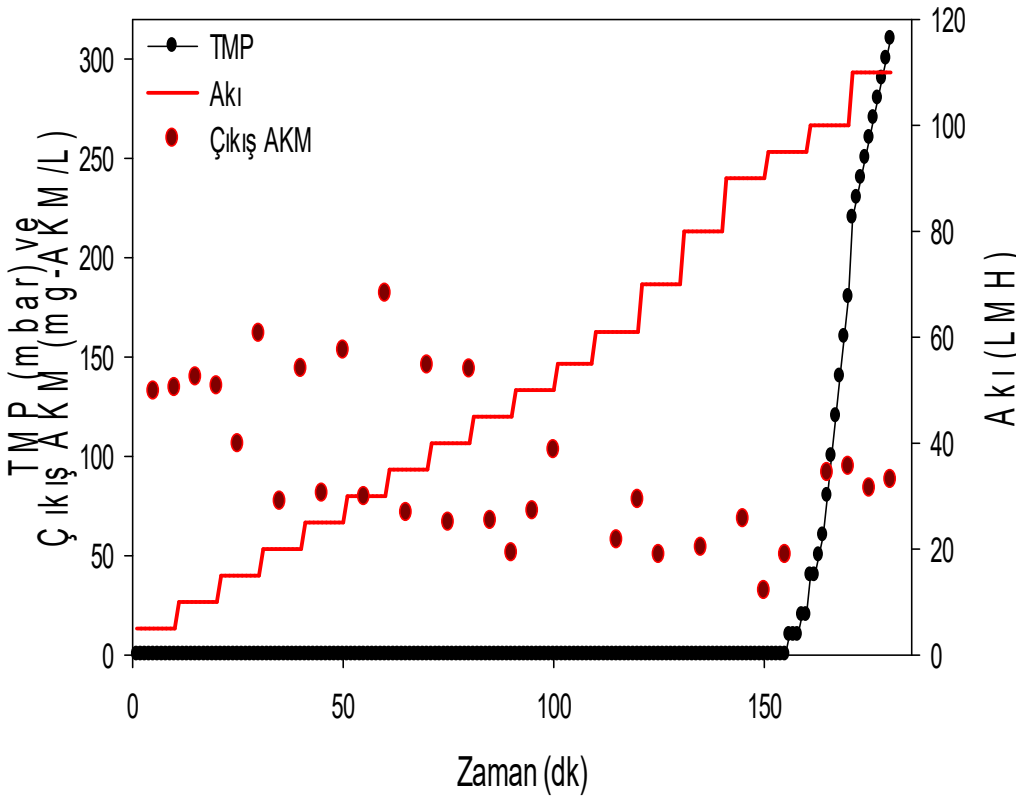
Şekil 4.27. Uzun süreli işletimde 225. günde yapılan kimyasal yıkama sonrası DMBR çıkış konsantrasyon verileri

AnDMBR sistemden çekilen suya karşı oluşan direnç arttığında yapılan geri yıkama nedeni ile alınan su örneklerinde bulanıklık verilerinde anlık yüksek değerler okunmuştur. Çalışmada çamur konsantrasyonu 10000 mg-AKM/L olduğu düşünülerse çıkış konsantrasyonu %99.8 oranında AKM'nin tutulduğu görülmüştür.

Fan ve Huang (2002) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada 3-5 günlük yeniden kek oluşum süreleri rapor edilmiş olup, ortalama çıkış AKM konsantrasyonunun ise 30-50 mg/L arasında olduğu bildirilmiştir. Bir diğer çalışmada ise reaktör içerisinde 5,6±1,3 g/L olan AKM konsantrasyonuna karşılık çıkışta 0,3±0,2 g/L çıkış AKM gözlenmiştir. Başka bir çalışmada ise iki farklı dinamik membran tipi anaerobik MBR'de denenmiş ve AKM tutma oranı mono-mono filament ve kesikli örme destek tabakaları için sırasıyla %98,5 ve %99,6 oranları elde edilmiştir (Ersahin ve ark., 2013). Bu çalışmalarla kıyaslandığında yapmış olduğumuz çalışmada oldukça düşük seviyelerde çıkış AKM konsantrasyonları elde edilmiştir.

4.2.9. Uzun süreli işletimde AnDMBR'de basınç ve akı değişimi

Çalışmada kullanılmış olan 20 µm dinamik membran için kritik akı çalışması yapılmış olup, elde edilen sonuçlar Şekil 4.28.'de sunulmuştur. Kritik akı yapılması sırasında her bir akı için çıkış AKM konsantrsayonu ölçümü de yapılmış olup, hem kek tabakasının oluşumu ve basınç artışı arasında ilişki kurulmaya çalışılmış, hem de yüksek akıların çıkış AKM'ye etkileri incelenmiştir. Yapılan ölçümde kademeli akı artışı metodu kullanılmış olup, 110 LMH akıya kadar çıkılmıştır.



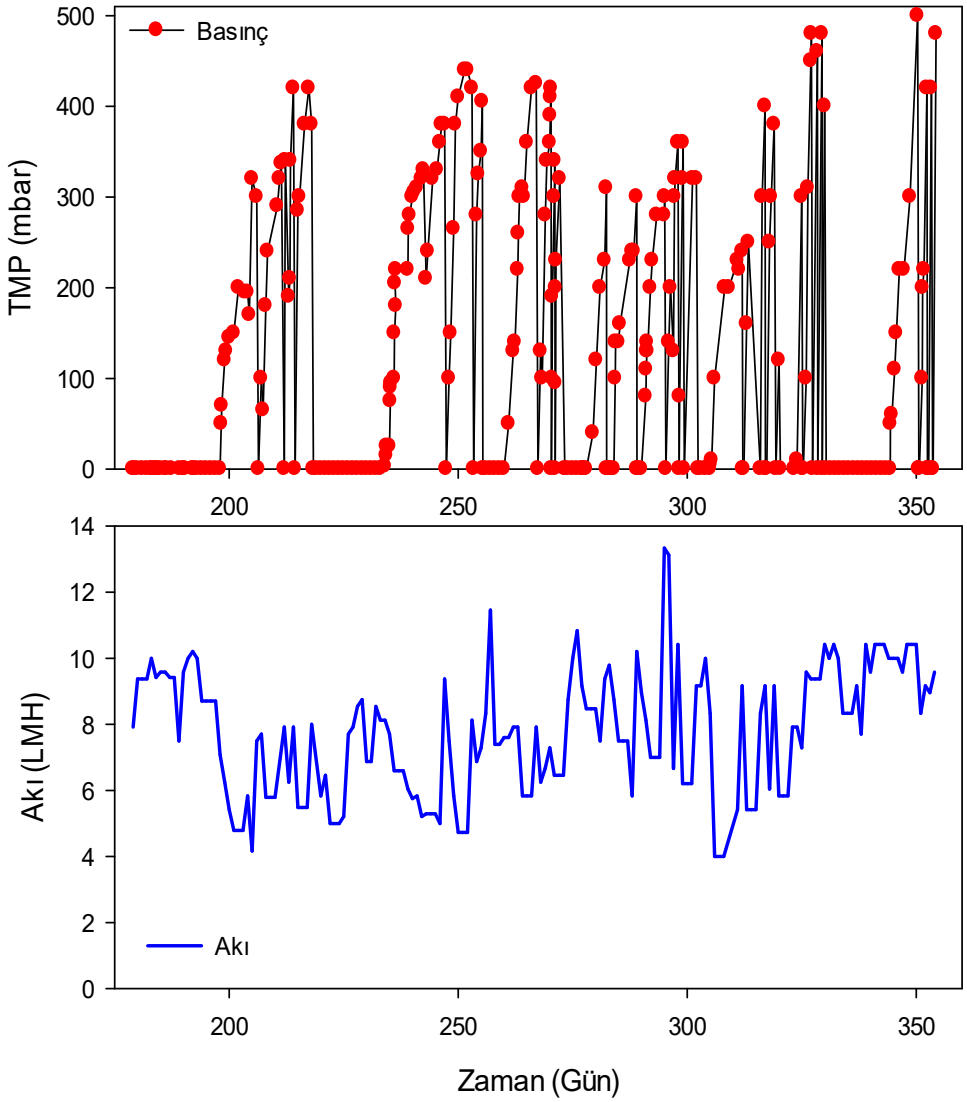
Şekil 4.29. 20 µm dinamik membranla yapılan kritik akı çalışması

Yapılan kritik akı çalışmasında 90 LMH akıya kadar basınç artışı gözlenmemiş olup, bu zamana kadar geçen sürede basınç 0 mbar olarak ölçülmüştür. Akının 95 LMH seviyesine yükselmesinin ardından ise basınçta oldukça hızlı bir artış gözlenmiş ve 300 mbar seviyelerine kadar ulaşmıştır. Gözlenen bu basınç artışıyla 20

µm dinamik membran için kritik akı değeri 90-95 LMH olarak belirlenmiştir. Dinamik membranla yapılan başka bir çalışmada ise akının 80 LMH seviyesine çıkarılmasıyla basınç artışı hızlanmış olup, kritik akı 70-75 LMH olarak belirlenmiş olup, kritik akının, çalışma koşulları, membran özellikleri vb gibi etmenlerden etkilense de genel olarak membran işletim akılarından çok daha yüksek olduğu belirtilmiştir (Chu ve ark., 2014). Yapılan çıkış AKM konsantrasyonu ölçümünde ise çıkış değerinin zamanla 50 mg-AKM/L'nin altına düştüğü ancak basınç oluşumuyla birlikte tekrardan artarak 100 mg-AKM/L değerine ulaştığı gözlenmiştir. Bunun temel nedeninin ise yüksek akının kesme etkisi nedeniyle kek tabakasından çamur kopması olduğu tahmin edilmektedir.

Uzun süreli AnDMBR sistem faaliyete geçmesiyle modül yüzeyinde oluşan vakum basıncı takibi yapılmıştır. Basınç takibi, günlük ve daha kısa süren saatlik zaman periyotları not edilmiştir. Takip edilen emme basıncı verileri Şekil 4.29'da verilmiştir. Oluşan emme basıncı en yüksek 450 mbar okunmuştur. Emme basıncının modül yüzeyine oluşturduğu basınç pik değerin ardından 0 mbar oluşması geri yıkama ve modülün fiziksel ve kimyasal yıkama yapılmasının sonucu oluşmuştur.

150 günlük uzun süreli işletimde 20 µm DMBR modül 4 defa kimyasal yıkama yapılmıştır. Şekil 4.29.'de görülen ani basınç düşüşlerin geneli fiziksel olarak geri yıkama neticesinde görülmüştür. Yaklaşık 3-2 gün arayla 1 dakikalık geri yıkamalar sonucunda kek oluşum süresinin hızlı olmasıyla meydana gelen basınç artışları görülmüştür. Bu şekilde çalışma uzun süreli işletilebilmiştir. Kimyasal yıkamalarda ise yüksek konsantrasyonda AKM çıkışları görülmüştür (Şekil 4.29.). Fiziksel yıkamalarda DMBR hızlı bir şekilde kek oluşmasıyla ilk ölçümlerde dahi düşük AKM konsantrasyonları ölçülmüştür ve 2-3 gün içerinde basınç artışı gözlemlenmiştir. Ancak kimyasal yıkamanın ardından 15-30 gün süre sonunda basınç artışları görülmüştür.



Şekil 4.30. Uzun süreli işletim TMP ve AKI verileri

Uzun süreli işletimde DMBR hem süngerli bez ile fiziksel temizle hem de kimyasal yıkama sonrasında DMBR hızlı kek oluşması görülmüştür. DMBR yıkanmış görüntülerine bakıldığında membranın görgülü yapısından kaynaklanan boşluklarda kek kalıntıları görülmüş olup membranın hızlı basınç artışlarına neden olduğu düşünülmektedir.

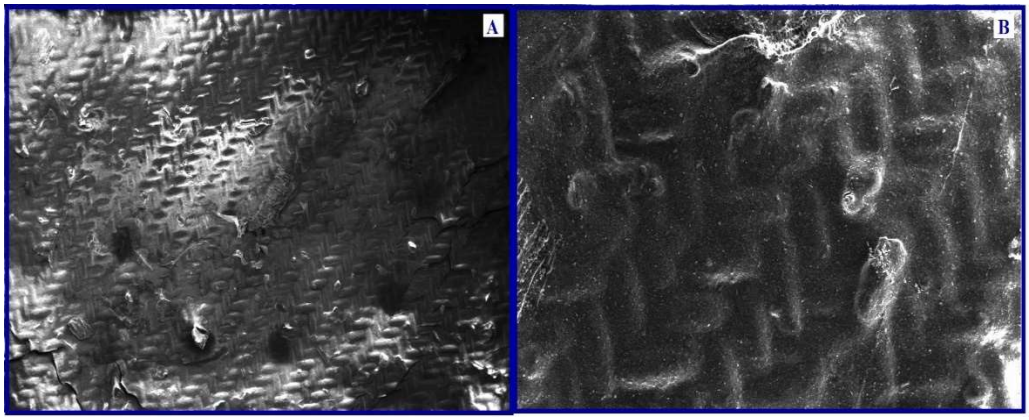
274. günde DMBR reaktörden çıkartılarak sadece bir sünger yardımıyla yıkandıktan sonra tekrar çalıştırılmış ve ilk 10 gün içerinde basınç artışı görülmüştür. Reaktörün ortalama 8 LMH akıda olacak biçimde işletilmiş ancak pompanın yetersiz

çalışma veriminden 4-11 LMH akı aralığında dalgalanmalar görülmüştür. Çalışmanın başlangıç günleri (179-193 günler arası) ortalama 9,49±0,62 LMH akı ile AnDMBR işletilmiştir. Bu süreçte membranın yeni takılması ile ilk basınç artışı ve gaz geri yıkamaların uzun sürdüğü görülmüştür. İlerleyen günlerde (194-273 günler) ortalama akı 6,69±1,40 LMH seviyelerine çekilerek daha düşük akılarda basınç artışı izlenmiştir. Böyle yürütülmesi ile ilk döneme benzer uzun süreli basınç artışı görülmüştür. Son bölümde 274. Günden sonra ilk dönemdeki akılara yakın işletilmiştir. (Ortalama Akı 8,65±1,72 LMH). Akının ilk döneme yakın benzer yürütülmesiyle hem kimyasal hem de gaz geri yıkamalar sonrası hızlı basınç artışları görülmüştür. Özellikle gaz geri yıkamalardan sonra 2 gün içerisinde basınç artışları sıkça görülmüştür.

4.2.10. Uzun süreli işletim kirletici karakterizasyonu

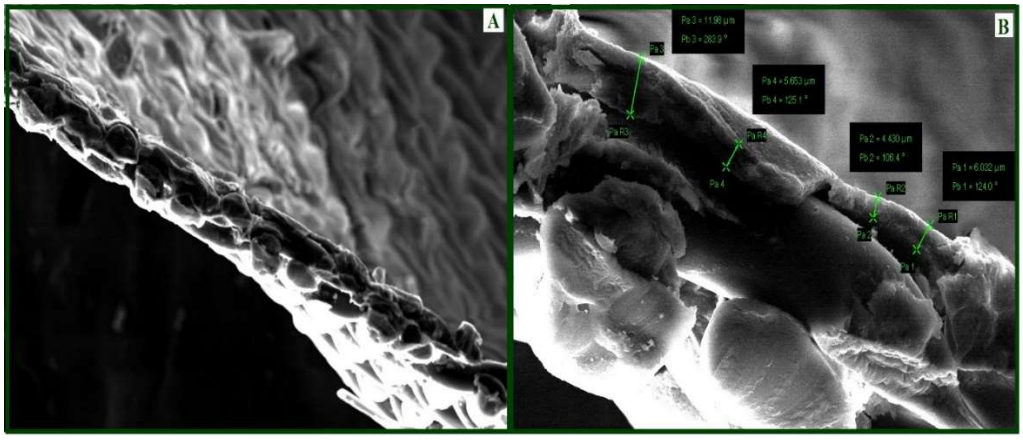
Birinci aşamadaki kısa süreli işletime benzer şekilde uzun süreli işletim aşamasında da membran kirleticilerinin karakterizasyonu yapılmıştır. Çalışmanın sonunda ise sistem içerisinde kullanılan 20 µm membrana ait kek tabakası ve kimyasal temizlemeli membrana ait SEM görüntüleri alınmış ve EDS ölçümleri ile membran üzerindeki inorganik kirleticiler analiz edilmiştir. ICP ölçümleri yapılarak membran tıkanmasına neden olan inorganik kirleticilerin belirlenmesinde SEM-EDS'e ilave olarak yapılmıştır. Mikroorganizmalar tarafından üretilen EPS'lerin gaz ile fiziksel sıyırma ve yüksek karıştırma neticesinde mikoorganizmalardan koparark süpernetantta salınabilir ve biyoreaktördeki organiklerin ortalama molekül ağırlığını artırabilmektedir (Drews 2010; Wang ve Wu 2009).

AnDMBR'de 3. aşamanın sonunda reaktörde kullanılan membran (20 µm) kesilerek SEM ve SEM-EDS analizleri gerçekleştirilmiştir. Kesilen membranda hem kek tabakası membran yüzeyinden ve kesitinden hem de kimyasal olarak temizlenmiş membrandan SEM görüntüleri alınmış olup, elde edilen görüntüler sırasıyla Şekil 4. 30., Şekil 4.31., Şekil 4.32. 'de verilmiştir.



Şekil 4.31. AnDMBR'den alınan kek tabakalı membran numunesi yüzeyinden elde edilen SEM görüntüleri

Yapılan kek tabakalı ölçümde membran yüzeyinin tamamen kek tabakası ile kaplandığı gözlenmiş olup, bu kek tabakasının ince ve gözeneksiz olduğu saptanmıştır. Şekilden de görüldüğü üzere kek tabakasının ince olmasına bağlı olarak herhangi bir gözenek olmasa da membran yapısı da belirgin bir şekilde görülmektedir. Elde edilen bu gözeneksiz kek tabakası nedeniyle çıkış AKM konsantrasyonları düşük seviyelerde kalmıştır. Ayrıca elde edilen SEM görüntülerinde kek tabakası üzerindeki çökeltiler de gözlenmiş olup, bunlara ait SEM-EDS sonuçları elde edilmiştir.(Şekil 4.31)



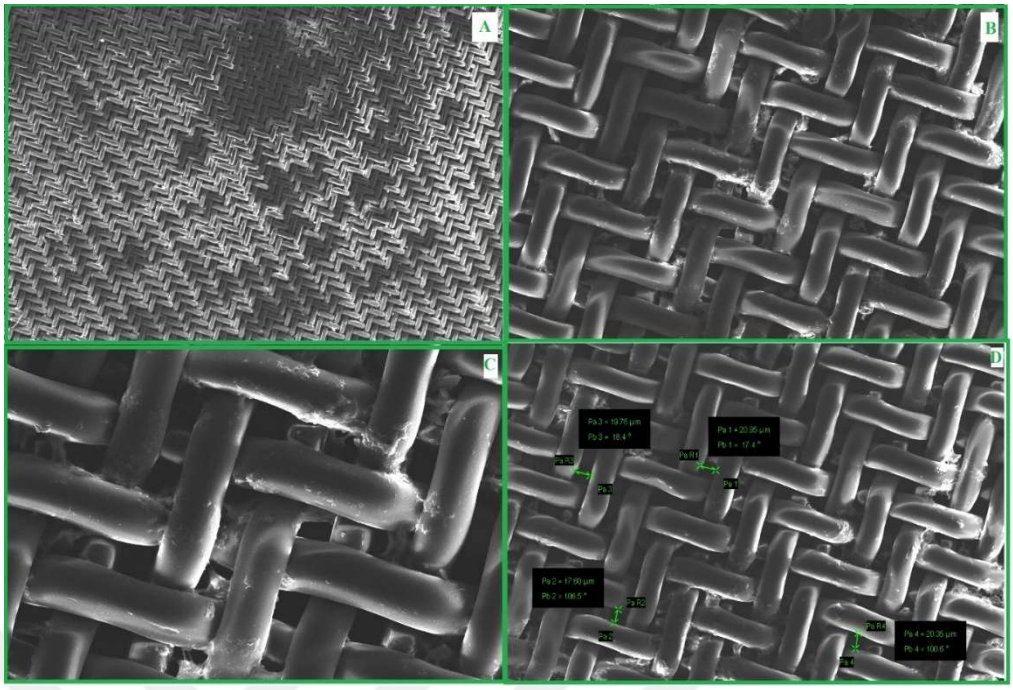
Şekil 4.32. AnDMBR'de kek tabakalı membranın kesitinden alınmış SEM görüntüleri

Kesitten alınan görüntülerde ise yüzeyden alınan görüntülerdeki o ince kek tabakası yapısı daha net bir şekilde görüntülenmiş olup, kalınlık ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde ise ölçüm alınan noktaya göre kalınlık değişse de kalınlıklar 4,30 µm ile 11,98 µm arasında değişmiştir. Sonuç olarak oldukça ince bir

kek tabakası gözlenmiştir. Bu ince yapı nedeniyle daha önce de belirtildiği üzere KOİ ve renk gideriminde kek tabakasının etkisi oldukça düşük kalmıştır.

Kek tabakalı membrana ilave olarak kimyasal olarak temizlenmiş membrandan da SEM görüntüleri alınmış olup, görüntüler Şekil 4.32.'de sunulmuştur. Yapılan ölçümlerde kek tabakasının büyük oranda giderildiği ancak örgü aralarında çamur kalıntılarının kaldığı tespit edilmiştir. Her ne kadar sünger yardımıyla fiziksel temizleme ve ardından da kimyasal temizleme gerçekleştirilse de membranın yapısı nedeniyle bir miktar çamurun temizlenemediği gözlenmiştir. Öyle ki bazı gözeneklerin tamamen tıkalı olduğu SEM görüntülerinden anlaşılmaktadır. Bununla birlikte yapılan gözenek boyutu ölçümlerinde ise gözeneklerde herhangi bir deformasyonun olmadığı belirlenmiştir.

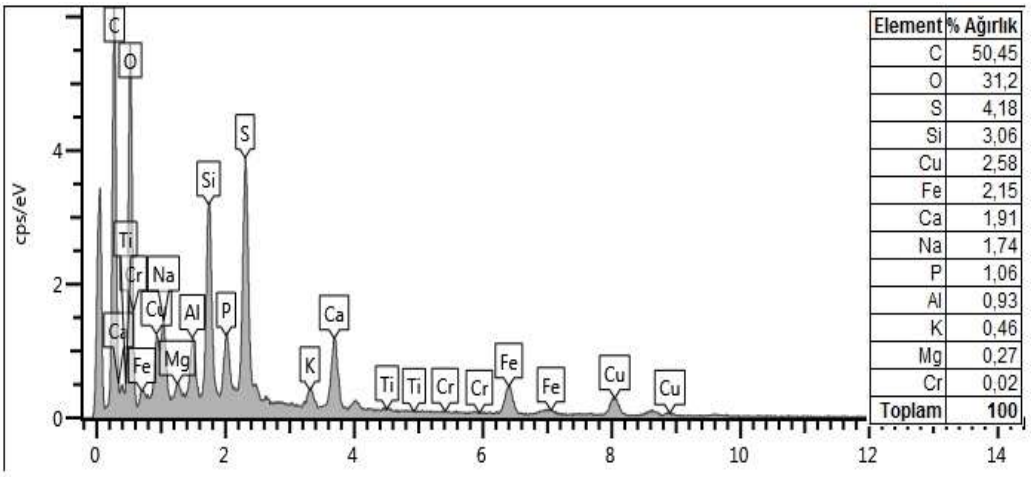
Ersahin ve ark., (2012) tarafından yapılan bir çalışmada dinamik bir tabaka oluşmasını sağlayan uygun bir destek malzemesinin kritik bir öneme sahip olduğu vurgulanarak, yüksek basınca dayanıklı ve bu basınçlara uzun süre dayanabilecek kadar stabil olması gerektiği belirtilmiştir. Bu nedenle yapılan bu çalışmada kullanılan destek malzemesinin de uzun süreli işletim neticesinde yüksek basınç nedeniyle yıpranmamış olması da önemli bir bulgu olmaktadır. Yapılan gözenek boyutu ölçümlerinde ise ilk aşamada temiz membranla yapılan SEM ölçümlerinde elde edilen değerlerle aynı olduğu gözlenmiş ve 20 µm membran için 19,76 µm ve 20,96 µm değerleri arasında sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 4.33. AnDMBR'den alınan kimyasal olarak temizlenmiş membrana ait SEM görüntüleri

SEM analizlerine ilave olarak kek tabakalı membrandan ve kimyasal olarak temizlenmiş membrandan SEM-EDS analizleri yapılarak membran üzerinde birikmiş olan kirleticiler daha belirgin olarak tanımlanmıştır. Özellikle kek tabakalı membranda noktasal olarak tek bir çökelti üzerinde de ölçümler yapılarak o çökeltiye ait inorganik yapı ortaya koyulmuştur. Bu ölçümlere ait sonuçlar ise aşağıdaki şekillerde sunulmuştur.

Kek tabakalı membrandan alınan SEM-EDS ölçüm sonucu Şekil 4. 33.'de sunulmuştur. Yapılan ölçüm neticesinde yüksek miktarlarda S, Si, Cu, Fe, Ca gözlenmiş olup, sırasıyla %4,18, %3,06, %2,58, %2,15 ve %1,91 oranlarındadır.

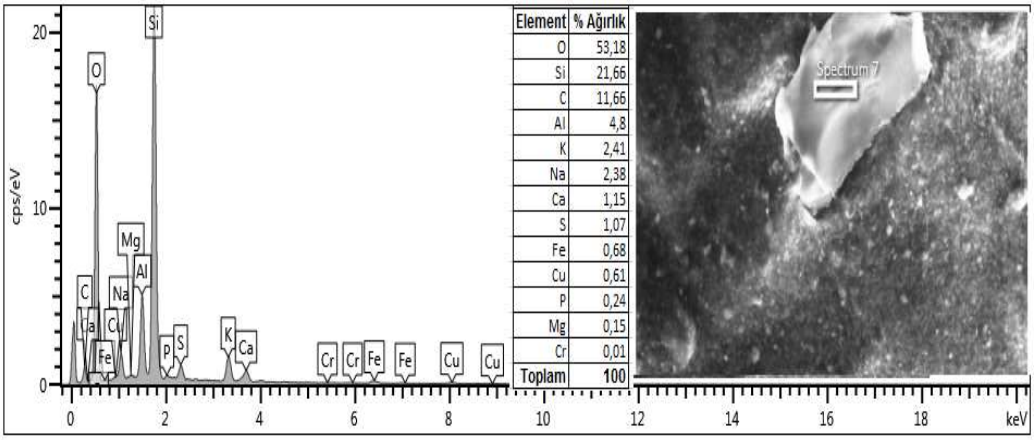


Element	% Ağırlık
C	50,45
O	31,2
S	4,18
Si	3,06
Cu	2,58
Fe	2,15
Ca	1,91
Na	1,74
P	1,06
Al	0,93
K	0,46
Mg	0,27
Cr	0,02
Toplam	100

Şekil 4.34. AnDMBR'de kek tabakalı membrana ait SEM-EDS ölçüm soncucu

İlave olarak Ca ve Si da yüksek oranlarda kek tabakasında gözlenmiştir. Yüksek oranda Ca gözlenmesinin nedeni ise bakterilerin flok oluşturması sırasında bakteriye tutunarak çamur yapısına dâhil olmasıdır.

Ayrıca SEM-EDS ölçümü neticesinde, kek tabakasında %1,74 oranında Na, %1,06 oranında P ve %0,93 oranında Al da gözlenmiş oluş, son aşamada besine ilave edilen SO_4^{-2} ve PO_4^{-3} gibi negatif iyonlu bileşiklerle Ca^{+2}, Al^{+3} ve Na^{+} gibi katyonların kolayca çökebileceği literatürde yer almaktadır (Wang ve ark., 2008). Yapılan bir diğer çalışmada ise iki değerlikli katyonların EPS içerisindeki negatif yüklü fonksiyonel gruplarla köprüler kurarak biyopolimer ve biyomatrisler oluşturduğu ve kek tabakasında tıkanmaya neden olduğu rapor edilmiştir (Chu ve ark., 2014)

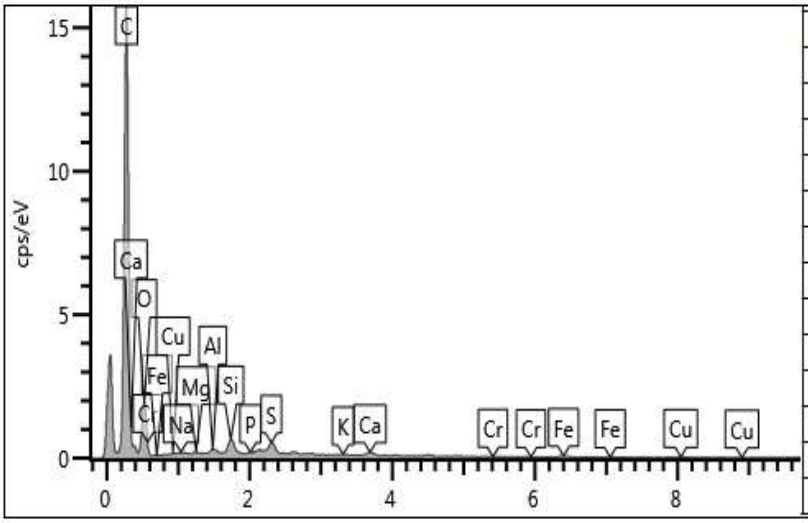


Şekil 4.35. Kek tabaksındaki bir çökeltiden noktasal olarak alınan SEM-EDS ölçüm sonucu

Kek tabakasından alınan genel ölçüme ilave olarak kek tabakasındaki çökeltilerden bir tanesi üzerinde noktasal olarak SEM-EDS ölçümü yapılmış olup, ölçüm sonucu Şekil 4.34'de sunulmuştur. Yapılan ölçümde, kek tabakasından genel olarak yapılan ölçüme nazaran Si ve Al oranlarının artması dikkat çekmektedir. Özellikle Si %21,66 oranında tespit edilmiş olup, bu çökeltinin Si kaynaklı bir çökelti olduğu açıktır.

Shao ve ark., (2014) tarafından yapılan bir çalışmada da SEM-EDS sonucunda baskın bileşenler olarak Si (%6,4) ve Al (%6,3) saptanmış olup, dışsal kirlenmedeki bu yüksek orandaki Si ve Al inorganiklerinin, kalıntı alüm floklarından kaynaklandığı belirtilmiştir. Buna ilave olarak yine bu ölçümde de Ca (%1,15), Na (%2,38) ve K (%2,41) katyonları da çökeltide mevcut olup, bu katyonlarında su içerisindeki anyon bileşiklerle çöktüğü söylenebilir.

Kimyasal olarak temizlenmiş membrana ait SEM görüntüleri yukarıda verilmiş olup, bu membrandan yapılan SEM-EDS analizine ait sonuç ise Şekil 4.35'de sunulmuştur. Yapılan bu ölçümde diğer ölçümlere benzer şekilde baskın inorganikler Si, S, Fe, Ca, Cu ve Al olup, her ne kadar baskın olsalar da çok düşük oranlarda tespit edilmiştir.

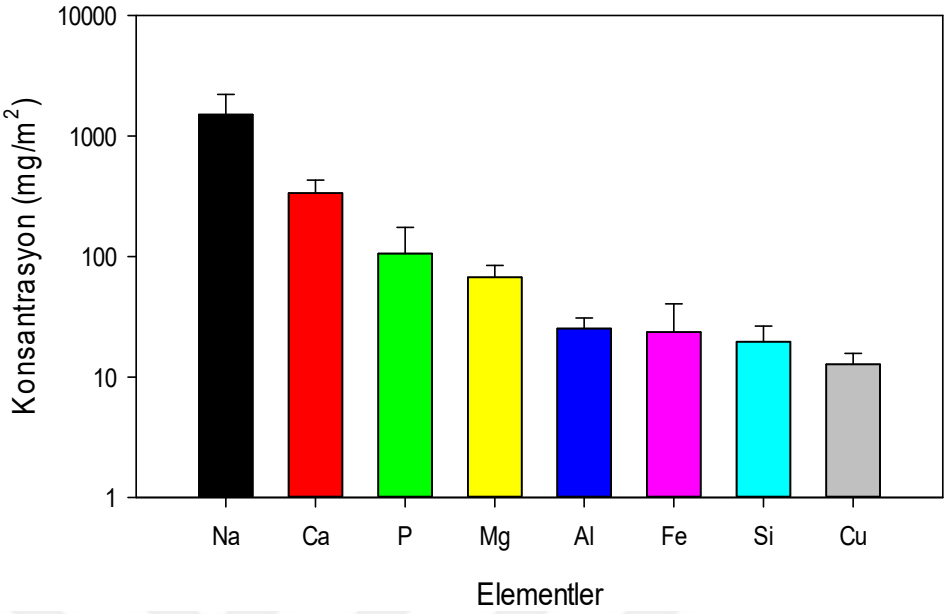


Element	%Ağırlık
C	76,93
O	20,61
Si	0,64
S	0,57
Fe	0,32
Ca	0,3
Cu	0,22
Al	0,21
Mg	0,08
Na	0,05
K	0,04
Cr	0,02
Toplam	100

Şekil 4.36. AnDMBR'de kimyasal olarak temizlenmiş membrana ait SEM-EDS sonucu

Alınan SEM görüntüsünde her ne kadar temizlenmemiş noktalar ve gözenekler gözlense de genel anlamda membran yüzeyindeki inorganik çökeltilerin kimyasal temizleme neticesinde giderildiği SEM-EDS sonuçlarıyla gösterilmiştir. Giderilemeyen küçük kısmının ise Fe-S ve Cu-S bileşiklerinden oluştuğu ölçümler neticesinde anlaşılmaktadır. Benzer şekilde hem kek tabakasında hem de temizleme neticesinde giderilemeyen kısımda Si bazlı bileşiklerin olduğu tespit edilmiştir.

SEM-EDS ölçümleriyle birlikte membranların kimyasal yıkama yapmak üzere reaktörden çıkarıldığı dönemlerde kek tabakası yüzeyden sıyrılarak ekstraksiyon işlemi yapılmış ve inorganiklerin ICP ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan ölçümlere ait sonuçlar ise logaritmik ölçekte Şekil 4.36'da sunulmuştur. Ölçümler 4 farklı kimyasal döneminde elde edilen numunelerden yapılmış olup, ortalaması alınarak standart sapması ile birlikte sunulmuştur.



Şekil 4.37.. Ekstrakte edilen kek tabakasındaki inorganik maddelerin konsantrasyonları

Yapılan ölçümlerde özellikle NaCl ilavesi döneminde Na konsantrasyonu çok yüksek konsantrasyonda (2653 mg/m^2) elde edilmiştir. Ayrıca Na dışında birinci periyoda benzer şekilde yüksek konsantrasyonlarda Ca, P ve Mg ölçülmüş olup, AnMBR'da yapılan bir çalışmada kek tabakasındaki inorganik kirlenmesinin ana bileşeninin $MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$ (struvite) olduğu rapor edilmiştir (Wang ve ark., 2008). Yapılan çalışmada organik kirleticilerin inorganik kirleticilerle çökelerek, jel tabakasının oluşumunu arttıracağı ve böylece MBR'de kirlenmeye neden olacağı belirtilmiştir. Ayrıca yapılan çalışmalar inorganik maddelerin kek tabakası oluşumunda ve membran tıkanmasını arttırmada önemli bir etkisinin olduğunu göstermiştir (Chu ve ark., 2014; Hu ve ark., 2016)

Yapılan bu çalışmada da kek tabakasındaki inorganik madde konsantrasyonlarının kek tabakası oluşumuna önemli bir etkisi olduğu görülmüştür. Yapılan SEM-EDS ve ICP analizleri sonuçları bunu destekler niteliktedir

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Tekstil endüstrisi atıksuları hem yüksek miktarlarda atıksu oluşturmakta hem de oluşan atıksular farklı tipte ve konsantrasyonda kirletici içermektedirler. Bu suların arıtımında MBR teknolojisi oldukça iyi arıtım performansı vermektedir. Ancak yüksek ilk yatırım maliyeti, membran tıkanması ve temizliği gibi dezavantajları gölge düşürmüştür. Bu teknolojiye çözüm olarak dinamik membran teknolojisi ön görülmektedir. Dinamik membran ise ince parçacıklar içeren bir çözeltinin filtrelenmesi sırasında altta yatan destek materyali üzerinde oluşur, bu nedenle ikincil membranda denilmektedir.

Bu çalışmada tekstil endüstrisi atıksularını anaerobik dinamik MBR (AnDMBR) kullanılarak arıtım ve filtrasyon özellikleri incelenmiştir. Çalışma 3 ana aşamadan oluşmuştur. Çalışmanın ilk aşamasında modül üzerine 0.45 µm MF ile yürütülmüştür. Bu tarz yürütülen çalışmalarda olduğu gibi, reaktörün stabil ortam koşullarını sağlayabilmesi ve yüksek verimlilikle giderim sağlaması ile başlatılmıştır. Çalışmanın 2. aşamasında destek tabaka olarak kullanılacak membranlar 20-53-100 µm gözenek çapına sahip naylon fitrelerdir. Her bir destek malzemesi satabil ortam koşulunda 1 ay denenmiş ve yüksek oranda KOİ (>%95) ve renk (>%96) giderimleri elde edilmiştir. 20 µm DMBR çıkışında 1 mgAKM/L gibi düşük AKM konsantrasyonu görülse de 53 µm ve 100 µm DMBR çıkışlarında 10 mgAKM/L gibi sonuçlar görülmüştür. Ayrıca kek oluşum süresinin 20 µm de kısa olması çalışmanın son aşmasında kullanılmasına neden olmuştur. Çalışmanın 3. aşamasında 20 µm gözenek boyutuna sahip dinamik membran ile çalışmaya devam edilmiş olup, uzun süreli işletimle membran performansı test edilmiştir. Yapılan uzun süreli işletimde de yüksek KOİ (%93) ve renk (%97,7) giderimleri elde edilmiştir.

Uzun süreli işletimde 175 günlük süreçte yalnızca 4 kez kimyasal yıkama yapılmış olup, 2 günde bir gerçekleştirilen 1 dakikalık gaz geri yıkamaları ile

AnDMBR ortalama 8,65±1,72 LMH akıda stabil bir şekilde işletilmiştir. Uzun süreli işletimde membran yüzeyinin ince ve gözeneksiz kek tabakası ile kaplandığı görülmüştür. Hem kısa süreli hem de uzun süreli işletim aşamasında yapılan SEM-EDS ve ICP analizlerinde ise kek tabakasındaki baskın inorganik bileşenlerin Ca, Si, S ve P oldukları belirlenmiştir. Uzun süreli işletim sonrasında kek tabakasından yapılan SEM-EDS analizinde ise bu inorganik maddelerin yanısıra Fe ve Cu metalleri de yüksek konsantrasyonlarda (sırasıyla ağırlıkça %2,58 ve %2,15) tespit edilmiş.

Sonuç olarak yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar neticesinde, AnDMBR'nin tekstil endüstrisi atıksularının arıtılmasında kullanılabileceği net bir şekilde ortaya konmuştur. Yapılan çalışmalarla anaerobik dinamik membranla tekstil endüstrisi atıksuyu arıtımına yönelik literatüre katkıda bulunulmuş olup, dinamik membranların daha yaygın kullanılabilmesi için bazı detaylar ortaya konmuştur.

5.2. Öneriler

Genel olarak AnDMBR çalışmalarında AnMBR çalışmalarına yakın sonuçlar elde edilmektedir. AnDMBR uygulamasının ilerleyen günlerde pilot ölçekli ve tam ölçekli boyutlarda bir çalışma yapılabilir. Bu nedenle MBR sistemlere bir alternatif yöntem olabilir. Uygun destek tabakasının seçiminde büyük gözeneklere sahip ve hızlı kek tabakası oluşturabilen materyal kullanılması bu tarz çalışmalara ışık tutacaktır

KAYNAKLAR

ADHAM, S., P. GAGLİARDO, L. BOULOS, J. OPPENHEİMER, VE R. TRUSSELL. 2001. Feasibility of the membrane bioreactor process for water reclamation. Water Science and Technology, 43(10): 203-209

ALİBARDİ, L., BERNAVA, N., COSSU, R., ve SPAGNİ, A., 2016. Anaerobic dynamic membrane bioreactor for wastewater treatment at ambient temperature. Chemical Engineering Journal, 284:130–138.

AQUİNO, S., F., ve STUCKEY, D., C., 2008. Integrated model of the production of soluble microbial products (SMP) and extracellular polymeric substances (EPS) in anaerobic chemostats during transient conditions. Biochemical Engineering Journal, 38(2):138–146.

ASLAN, M., 2016. Membran teknolojileri. Türkiye Çevre Koruma Vakfı, Cilt 1, Ankara, 58s.

BARKER, D., J. ve STUCKEY, D., C., 1999. A revıew of soluble mıcrobıal products (smp) ın wastewater treatment systems duncan. Pergamon, 33(14):3064–3082.

BÜYÜKDERE, A., 2008. Tekstil endüstrisi atıksularının membran teknolojileri ile arıtılması ve geri kazanılması. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul, 4s.

ÇALIŞIR, M., 2010. Ardışık kesikli aktif çamur sisteminde arıtılmış sentetik tekstil terbiyesi atık sularında renk giderimi ve ekonomik analizi. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi , Tekirdağ, 3-4s.

CHOO, K., H., ve LEE, C., H., 1996. Membrane fouling mechanisms in the membrane-coupled anaerobic bioreactor. Water Research, 30(8):1771–1780.

CHU, H., ZHANG, Y., ZHOU, X., ZHAO, Y., DONG, B., ve ZHANG, H., 2014. Dynamic membrane bioreactor for wastewater treatment: Operation, critical flux, and dynamic membrane structure. Journal of Membrane Science, 450:265–271.

CHU, L., ve Lİ, S., 2006. Filtration capability and operational characteristics of dynamic membrane bioreactor for municipal wastewater treatment. Separation and Purification Technology, 51(2):176.

ÇİNAR, Ö., YAŞAR, S., KERTMEN, M., DEMİRÖZ, K., YİGİT, N., Ö., ve KİTİS, M., 2008. Effect of cycle time on biodegradation of azo dye in sequencing batch reactor. Process Safety and Environmental Protection, 86(6):455–460.

CIRIK, K., 2010. Farklı Elektron Alıcılarının Anaerobik Renk Giderme Verimine Etkisi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fenbilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta, 12-13-21 s

DEMİRAL, N., 2008. Pamuklu Tekstil Endüstrisi Atıksularının Membran Teknolojisi ile Geri Kazanımı, Kocaeili Üniversitesi, Fenbilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, 71s

Drews, A., 2010. Membrane fouling in membrane bioreactors-characterisation, contradictions, cause and cures. Journal of Membrane Science, 363(1–2):1–28.

DREWS, A., MANTE, J., IVERSEN, V., VOCKS, M., LESJEAN, B., ve KRAUME, M., 2007. Impact of ambient conditions on SMP elimination and rejection in MBRs. Water Research, 41(17):3850–3858.

ELMİTWALLİ, T., A., KİM L., T., OAHN, G., Z.,, VE LETTİNGA, G., 2002. Treatment of domestic sewage in a two-step anaerobic filter/anaerobic hybrid system at low temperatur. Water Research, 36(9):2225–2232.

ERGÜL, M., 2014. Investıgatıon of textıle ındustry wastewater treatment usıng laboratory and pılot scale submerged membrane bıoreactors (mbr). Istanbul Technıcal Unıversıty, Graduate School Of Scıence Engıneerıng and Technology, M.Sc. Thesıs, İstanbul, 5s

ERŞAHİN, M., E., 2015. Dinamik membranların uygulanması anaerobıc membran biyoraktör sistemleri. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 15s

ERSAHİN, M., E., OZGUN, H., DERELİ, R., K., OZTURK, İ., ROEST, ve LİER, J., B., 2012. A review on dynamic membrane filtration: Materials, applications and future perspectives. Bioresource Technology, 122:196–206.

ERSAHİN, M., E., OZGUN, H., ve LİER, J., B., 2013. Effect of support material properties on dynamic membrane filtration performance. Separation Science and Technology (Philadelphia), 48(15):2263–2269.

ERSAHİN, M., E., OZGUN, H., TAO, Y.,ve LİER, J., B., 2014. Applicability of dynamic membrane technology in anaerobic membrane bioreactors. Water Research, 48(1):420–429.

ERSAHİN, M., E., TAO, Y., OZGUN, H., GİMENEZ, J., B., SPANJERS, H., ve LİER, J., B., 2017. Impact of anaerobic dynamic membrane bioreactor configuration on treatment and filterability performance. Journal of Membrane Science, 526(December 2016):387–394.

FAN, B., ve HUANG, X., 2002. Characteristics of a self-forming dynamic membrane coupled with a bioreactor for municipal wastewater treatment. Environmental Science & Technology, 36(23):5245–5251.

ÇAPAR, G., YETİŞ, Ü., YILMAZ, Y., 2004. Halı boyama atıksularının membran prosesleri ile arıtımı. Araştırma, 14(2):13.

GÖRGÜLÜ, G.,ULU, B., ve DEDE, B., 2017. Aminoketooksim bileşiklerinin sıvı-sıvı ekstraksiyon ve boya renk giderim özelliklerinin incelenmesi. Akademia Disiplinlerarası Bilimsel Araştırmalar Dergisi, 3(2):46–54.

HOCAOGLU, S., M., VE ORHON, D., 2010. Fate of soluble residual organics in membrane bioreactor. Journal of Membrane Science, 364(1–2):65–74.

HU, A., Y., VE STUCKEY, D., C., 2006. Treatment of dilute wastewaters using a novel submerged anaerobic membrane bioreactor. Journal of Environmental Engineering, 132(2):190-198

HU, Y., WANG, X., C., TİAN, W., NGO, H., H., ve CHEN, R., 2016. Towards stable operation of a dynamic membrane bioreactor (DMBR): Operational process, behavior and retention effect of dynamic membrane. Journal of Membrane Science, 498:20–29.

KAYKIOĞLU, G., VE DEBİK., E., 2006. Color removal from textıle wastewater wıth anaerobıc treatment processes. Sigma Yıldız Teknik, 4(0282):59–60.

KOCAER, F., O., VE ALKAN, U., 2002. Boyar madde içeren tekstil atiksularinin aritim alternatifleri. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 7(1):47–48.

KOYUNCU, I., 2018a. Membran Teknolojileri ve Su Arıtma, Su/Atıksu Arıtılması ve Geri Kazanılmasında Membran Teknolojileri ve Uygulamaları.Cilt 1, Ankara, s. 39.

KOYUNCU, I., 2018b. Evsel ve Endüstriyel Atıksuların Arıtılması ve Geri Kazanılmasında Membran Teknolojileri. Su/Atıksu Arıtılması ve Geri Kazanılmasında Membran Teknolojileri ve Uygulamaları. Cilt. 2 Ankara, s.715-954-955.

GÜNAY, M., 2013. Eco-Friendly Textile Dyeing and Finishing. editör. India Intech Open, 153-162s

MOREAU, A. A., RATKOVİCH, N., NOPENS, I., ve VAN DER GRAAF, J. H. J. M.. 2009. The (in)significance of apparent viscosity in full-scale municipal membrane bioreactors. Journal of Membrane Science, 340(1–2):249–256.

NAMAL, O., Ö., 2017. Tekstil endüstrisi atıksularının arıtımında kullanılan proseslerin araştırılması. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi, 6:389.

OGNİER, S., WİSNİEWSKİ, C., VE GRASMİCK, A., 2004. Membrane bioreactor fouling in sub-critical filtration conditions: A local critical flux concept. Journal of Membrane Science, 229(1–2):171–177.

OZDEMİR, S., CİRİK, K., AKMAN,D., SAHİNKAYA, E.,ve CİNAR, Ö., 2013. Treatment of azo dye-containing synthetic textile dye effluent using sulfidogenic anaerobic baffled reactor. Bioresource Technology,146:135–143.

POLLİCE, A., BROOKES, A., JEFFERSON, B., JUDD, S., 2005. Sub-critical flux fouling in membrane bioreactors - A review of recent literature. Desalination, 174, 221–230.

SAHİNKAYA, E., YURTSEVER, A., ve ÇINAR, Ö., 2017. Treatment of textile industry wastewater using dynamic membrane bioreactor: Impact of intermittent aeration on process performance. Separation and Purification Technology, 174:445–454.

SAHİNKAYA, E., YURTSEVER, A., ISLER, E., COBAN, I., ve AKTAŞ, Ö., 2018. Sulfate reduction and filtration performances of an anaerobic membrane bioreactor (AnMBR). Chemical Engineering Journal, 349:47–55.

SATYAWALİ, Y., ve BALAKRİSHNAN, M., 2008. Treatment of distillery effluent in a membrane bioreactor (MBR) equipped with mesh filter. Separation and Purification Technology, 63(2):278–286.

SHAO, S., QU, F., LİANG, H., CHANG, H., YU, H. ve Lİ, G., 2014. Characterization of membrane foulants in a pilot-scale powdered activated carbon-membrane bioreactor for drinking water treatment. Process Biochemistry, 49(10):1741–1746.

SUN, F., SUN, B., HU, J., HE, Y., ve WU, W., 2015. Organics and nitrogen removal from textile auxiliaries wastewater with A2O-MBR in a pilot-scale. Journal of Hazardous Materials, 286:416–424.

TİEN, Ç., J., ve CHİANG, H., 1999. A -amilazın bir zirkonyum dinamik membran üzerinde immobilizasyonu. Process Biochemistry 35:377–383.

TİEN, C., J., ve CHİANG, B., H., 1999. Immobilization of α-amylase on a zirconium dynamic membrane. Process Biochemistry, 35(3–4):377.

WANG, Z., ve W, Z., 2009. Distribution and transformation of molecular weight of organic matters in membrane bioreactor and conventional activated sludge process. Chemical Engineering Journal, 150(2–3):396–402.

WANG, Z., WU, Z., YİN, X., VE TİAN, L., 2008. Membrane fouling in a submerged membrane bioreactor (MBR) under sub-critical flux operation: Membrane foulant and gel layer characterization. Journal of Membrane Science,

325(1):238–244.
WEİ, C., H., HUANG, X., AİM, R., B.,YAMAMOTO, K., ve AMY, G.,. 2011. Critical flux and chemical cleaning-in-place during the long-term operation of a pilot-scale submerged membrane bioreactor for municipal wastewater treatment. Water Research, 45(2):863–871.
XİE, Z., WANG, Z., WANG, O., ZHU, C., ve WU, Z., 2014. An anaerobic dynamic membrane bioreactor (AnDMBR) for landfill leachate treatment: Performance and microbial community identification. Bioresource Technology, 161:30.
XU, M., WEN, X., HUANG, X., YU, Z., ve ZHU, M., 2013. Mechanisms of membrane fouling controlled by online ultrasound in an anaerobic membrane bioreactor for digestion of waste activated sludge. Journal of Membrane Science, 445:119–126.
YİSONG, H, WANG, X., C., NGO, H., H., SUN,Q., ve YANG, Y., 2018. Anaerobic dynamic membrane bioreactor (AnDMBR) for wastewater treatment: A review. Bioresource Technology, 247(June 2017):1113.
YURTSEVER, A., CALIMLIOĞLU, B., GÖRÜ, M., ÇİNAR, Ö., ve SAHİNKAYA, E., 2016. Effect of NaCl concentration on the performance of sequential anaerobic and aerobic membrane bioreactors treating textile wastewater. Chemical Engineering Journal, 287:456–465.
YURTSEVER, A, CALİMLİOGLU, B., ve SAHİNKAYA. E., 2017. Impact of SRT on the efficiency and microbial community of sequential anaerobic and aerobic membrane bioreactors for the treatment of textile industry wastewater. Chemical Engineering Journal, 314:378–387.
YURTSEVER, A., SAHİNKAYA, E., AKTAŞ, Ö., UÇAR, U., ÇİNAR, Ö., ve WANG, Z., 2015. Performances of anaerobic and aerobic membrane bioreactors for the treatment of synthetic textile wastewater. Bioresource Technology, 192:565.
ZHANG, W., ve JİANG, F., 2019. Membrane fouling in aerobic granular sludge (AGS)-membrane bioreactor (MBR): Effect of AGS size. Water Research, 157:445–453.
ZHANG, X., WANG, Z., WU, Z., WEİ, T., LU, F., TONG, J., ve MAİ, S., 2011. Membrane fouling in an anaerobic dynamic membrane bioreactor (AnDMBR) for municipal wastewater treatment: Characteristics of membrane foulants and bulk sludge. Process Biochemistry, 46(8):1538–1544.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Erkan BAŞARAN
Uyruğu : T.C

Doğum Yeri ve Tarihi : Gaziantep 1989

Telefon : 0(545) 962 27 27

Faks :

e-mail : erkaanbasaran27@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Abdulkadir Konukoğlu Lisesi- Gaziantep	2008
Üniversite	: Atatürk Üniversitesi-Erzurum	2014
Yüksek Lisans	: Harran Üniversitesi- Şanlıurfa	2020
Doktora	: -	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2014-2017	Gaziantep Şehitkâmil BLD.	Temizlik İşleri Bölge Koordinatörü
2017-2020(devam)	Hasan Kalyoncu Üniversitesi	ÇEVMER Lab. Sorumlusu

UZMANLIK ALANLARI

YAYINLAR

1.) YURTSEVER, A., BASARAN, E., UCAR, D., 2020, Process optimization and filtration performance of an anaerobic dynamic membrane bioreactor treating textile wastewaters. Journal of Environmental Management, 271:111114

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479720310410

2.) YURTSEVER, A., BASARAN, E., UCAR, D., ŞAHİNKAYA, E., 2020 .Self-forming dynamic membrane bioreactor for textile industry wastewater treatment. Science of The Total Environment , 751: 141572

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720351019