T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

FARKLI GÖZENEK BOYUTU VE MATERYALLER İLE ÜRETİLMİŞ DİNAMİK MEMBRAN DESTEK TABAKALARININ EVSEL ATIKSULARIN ARITIMINDA KULLANIMI

Müjgan YILDIZ

ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA
2019

Doç. Dr. Deniz UÇAR danışmanlığında, Müjgan YILDIZ'ın hazırladığı **"Farklı Gözenek Boyutu ve Materyaller ile Üretilmiş Dinamik Membran Destek Tabakalarının Evsel Atıksuların Arıtımında Kullanımı"** konulu bu çalışma 21.06.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Doç. Dr. Deniz UÇAR .....

Üye : Prof. Dr. Emine UBAY ÇOKGÖR .....

Üye : Doç. Dr. Özlem DEMİR .....

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

Doç. Dr. İsmail HİLALI
Enstitü Müdürü

Bu Çalışma HÜBAK Tarafından Desteklenmiştir.
Hübak Prj. No: 18019

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 V
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ VI
1.GİRİŞ 1
1.1. Dinamik Membran 7
1.1.1. Dinamik membranın tarihsel gelişimi 8
1.1.2. Dinamik membran, çalışma mekanizması ve özellikleri 8
1.1.3. Dinamik membranların avantajları ve dezavantajlar 12
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 14
3. MATERYAL ve YÖNTEM 19
3.1. Materyal 19
3.1.1. Fırça modifiye biyoreaktörler 19
3.1.2. Dinamik modüller 21
3.1.3. İkinci aşama 3d modül çalışması 23
3.1.3.1. Daire üç boyutlu modeli 26
3.1.3.2. Poligon üç boyutlu modeli 27
3.1.3.3. Ultrafiltrasyon membran 28
3.2. Yöntem 29
3.2.1. Analitik yöntem 29
4. SONUÇLAR 30
4.1. Fırça Çalışması 30
4.2. Dinamik Membran Uygulamaları (Klasik Katı Sıvı Çökeltim Süreci) 32
4.2.1. Dinamik modül (140 µm ve 200 µm) uygulaması kek tabakası oluşumu 32
4.2.1.1. Kimyasal oksijen ihtiyacı 32
4.2.1.2. TKM ve TUKM oluşumu 34
4.2.1.3. Alkalinite 36
4.2.1.4. Nitrifikasyon performansı 38
4.2.2. Dinamik modül ile osmanbey kampüsü atıksu tesisinde gerçek atıksu ile arıtım 40
4.3. İkinci Aşama 3D Dinamik Membran Modüllerin Katı Sıvı Çökeltim Süreci 40
4.3.1. Kimyasal oksijen ihtiyacı 41
4.3.2. AKM ve UAKM oluşumu 42
4.3.3. Alkalinite 43
4.3.4. Nitrifikasyon performansı 45
4.4. 3D Dinamik Modüllerin Uygulanması Süreci 45
4.4.1. Daire gözenekli üç boyutlu destek tabaka 45
4.4.1.1. Kimyasal oksijen ihtiyacı ve bulanıklık 46
4.4.2. Poligon üç boyutlu dinamik membran 48
4.4.2.1. Kimyasal oksijen ihtiyacı ve bulanıklık giderim performansları 49
4.4.3. Ultrafiltrasyon membran 51
4.4.3.1. Kimyasal oksijen ihtiyacı ve bulanıklık performansı 52
4.4.4. Nitrat ve Nitrit performansı 53
5. SONUÇ ÖZET 54
KAYNAKLAR 55
ÖZGEÇMİŞ 59

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI GÖZENEK BOYUTU VE MATERYALLER İLE ÜRETİLMİŞ DİNAMİK MEMBRAN DESTEK TABAKALARININ EVSEL ATIKSULARIN ARITIMINDA KULLANIMI

Müjgan YILDIZ

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Deniz UÇAR
Yıl:2019, Sayfa:59

Dinamik Membran bir taşıyıcı destek malzeme üzerinde gelişen ve büyük çoğunluğu mikroorganizmalardan oluşan tabakanın bir membran gibi davranması durumudur. Bu çalışmada, iki farklı tekstil malzemesi (gözenek çapları 140 ve 200 µm- ve 0.01 m^2 aktif filtrasyon alanı) olası dinamik membran oluşturma özellikleri için test edildi. Bu amaçla, 15 L aerobik reaktörler paralel olarak çalıştırıldı. Başlangıç döneminde (103 gün), MLVSS 8000 mg/L'ye ulaştı ve HRT 1 gündü. 166 günlük çalışma sırasında, 500 mg/L KOI, 50 mg/L toplam azot ve 42 mg/L toplam fosfor içeren atıksu arıtılmış ve 140 ve 200 µm'lik reaktörler için %84 ve 79 oranlarında KOİ giderimi sağlamıştır. Bu reaktörlerdeki nitrifikasyon oranı ise sırasıyla %78 ve 74 olup kek tabakası oluşumunun ardından yüksek nitrifikasyon ve KOİ giderim oranları elde edilmiştir. Sonuçlar, yüksek MLVSS konsantrasyonlarında (8000 mg/L) 140 ve 200 µm dinamik membran biyoreaktörleriyle atık suyun etkin şekilde filtrelenmesinin mümkün olduğunu göstermektedir. Ayrıca yapılan ayrı bir çalışmada 122 gün boyunca iki özdeş 7 litrelik aktif çamur sistemi birbirine paralel olarak işletilmiştir. Çalışmada ultrafiltrasyon membran ve gözenek çapı 200 µm olan 3 boyutlu yazıcı ile üretilmiş 3D dinamik membran modülleri (0.018 m^2) kullanılmıştır. Çalışma iki ayrı aşamada gerçekleştirilmiştir. Bu aşamalardan ilkinde reaktörler laboratuvar ortamında sentetik atık su ile KOİ 500 mg/L olacak şekilde işletilmiş ve UAKM 8000 mg/L'ye ulaştıktan sonra ikinci aşamada reaktörlere ultrafiltrasyon ve farklı gözenek geometrilerine sahip 3D dinamik membran modülleri takılarak 2 gün boyunca işletilmiştir. İşetme sonucunda ultrafiltrasyon ve 3D dinamik membran modüllerinin KOİ ve bulanıklık gideriminde % 99 verim ile giderimin olduğunu göstermiştir. Tez çalışmasına ek bir çalışma olarak fırça modifiye biyoreaktör kullanılarak paraleli olan diğer bir reaktöre fırça eklenmeden 610 dakikalık süreçte KOİ giderimi izlenmiştir. Düz işletilen reaktörde KOİ giderimi olmaz iken fırça modifiye biyoreaktörde başlangıçta 225 mg/L olan KOİ %62 giderildiği gözlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Dinamik membran, evsel atıksu arıtma, koi giderimi, filtrasyon, bulanıklık

ABSTRACT

Master Thesis

UTILIZATION OF DYNAMIC MEMBRANE SUPPORT LAYERS PRODUCED WITH DIFFERENT PORE SIZES AND MATERIALS IN THE TREATMENT OF DOMESTIC WASTES

Müjgan YILDIZ

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

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Deniz UÇAR
Year: 2019, Page:59

Dynamic Membrane is the condition of a layer acts as a membrane that develops on a carrier support material and consists mostly of microorganisms. In this study, two different textile materials (pore diameters 140 and 200 µm- and 0.01 m^2 active filtration area) were tested for possible dynamic membrane formation properties. For this purpose, 15 L aerobic reactors were operated in parallel. In the initial days (103 days), MLVSS was reached to 8000 mg/L and HRT was 1 day. During the 166-day study, wastewater containing 500 mg/L COD, 50 mg/L total nitrogen and 42 mg/L total phosphorus was treated and provided 84 and 79% COD removal for 140 and 200 µm reactors. The nitrification rate in these reactors was 78 and 74%, respectively, and high nitrification and COD removal rates were achieved after cake layer formation. The results show that at high MLVSS concentrations (8000 mg/L), efficient filtration of waste water is possible with 140 and 200 µm dynamic membrane bioreactors. In a separate study, two identical 7-liter activated sludge systems were operated in parallel for 122 days. Ultrafiltration membrane and 3D dynamic membrane modules (0.018 m^2) produced with 3D printer with a pore diameter of 200 µm were used in the study. The results show that at high MLVSS concentrations (8000 mg/L), efficient filtration of waste water is possible with 140 and 200 µm dynamic membrane bioreactors. In a separate study, two identical 7-liter activated sludge systems were operated in parallel for 122 days. The study was carried out in two separate stages. In the first stage, the reactors were operated in the laboratory with synthetic wastewater containing 500 mg/L COD. After reactor VSS was reached to 8000 mg/L, the reactors were operated for 2 days by inserting 3D dynamic membrane modules with different pore size and geometry in comparison with the 0.02 µm pore sized UF membrane. In the end of the study, UF and dynamic membrane modules showed over 99% COD and turbidity removal performance. In addition to membrane filtration tests, COD removal with brush modified activated sludge system was tested for possible effect on membrane. Brush modified reactor was operated for 610 minutes in comparison with the control reactor and showed 62% COD removal efficiency

KEY WORDS: Dynamic membrane, domestic wastewater treatment, cod removal, filtration, turbidity

TEŞEKKÜR

Tezin konusunun seçiminde, uygulanmasında ve çalışmamda yardımlarını esirgemeyen danışmanım sayın Doç. Dr. Deniz UÇAR'a ve tez çalışmamda bana yardımcı olan yükseklisans öğrencisi Kerem GÜLPINAR, lisans öğrencisi olan Yakup ÇAKMAK'a ve maddi manevi her daim yanımda olan Annem Lütfiye YILDIZ'a teşekkür ederim.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1. Aktif Çamur Ünitesi Şematik ve Fotoğrafik Gösterimleri. Fotoğraflar, Gaziantep 2
Şekil 2. Aerobik Membran Biyoreaktör Şematik gösterimi 4
Şekil 3. Biyodisk ünitesi(BERKTAY, 1997) 6
Şekil 4. Deneysel çalışmalarda kullanılan döner fırça biyofilm reaktörünün şematik diyagramı (EKER, 2006) 7
Şekil 5. Dinamik membran yapı şeması(LİU ve ark., 2009) 8
Şekil 6. Dinamik tabakanın (kek tabakası) membran üzerinde oluşumunu gösteren temsili şekil 10
Şekil 7. Çalışmada kullanılan reaktörlerin kurulum aşaması 20
Şekil 8. Fırça modifiye reaktörün tasarımı 21
Şekil 9. A: Çalışmada kullanılan fırça modifiye reaktörü B: düz işletilen reaktör (Kontrol 21
Şekil 10. A: Reaktörlerin ve modüllerinin görüntüsü, B– C sırası ile 140 ve 200 µm 22
Şekil 11. Harran Üniversitesi Osman Bey Kampüsü Atık Su Arıtma Tesisinde Reaktörlerle 23
Şekil 12. Reaktörlere ait kurulum (A) ve işletim sırasındaki (B) görüntüleri. 24
Şekil 13. 3D yazıcı (ZORTRAX M200) 24
Şekil 14. A: 3D modül SKP dosyası B:Tasarımı C: Çıktısı 27
Şekil 15. A: 3D modül SKP dosyası B:Tasarımı C: Çıktısı 28
Şekil 16. Ultrafiltrasyon membran tasarımı 28
Şekil 17. A-) Fırça modifiye uygulaması B-) Fırça yüzeyinde oluşmuş mikroorganizmalar 30
Şekil 18. 610 dakikalık süreçte fırça malzeme üzerine tutunan mikroorganizmaların KOİ 31
Şekil 19. A: Dinamik membran modüllerinin aktif çamur sistemine takılması B: 200µm 32
Şekil 20. 140 µm-R1 ve 200 µm-R2 için giriş ve çıkış KOİ konsantrasyonları 33
Şekil 21. Her iki reaktöre ait toplam katı madde konsantrasyonları 35
Şekil 22. Her iki reaktöre ait toplam uçucu katı madde konsantrasyonları 35
Şekil 23. Tam Karışımlı Reaktörlerden Alınan Numune (sol tüp) ve dinamik membran 36
Şekil 24. 140 µm-R1 reaktörü giriş ve çıkış alkalinite değerleri 37
Şekil 25. 200 µm-R2 reaktörü giriş ve çıkış alkalinite değerleri 37
Şekil 26. 140 µm R1 reaktörü çıkış nitrat ve nitrit değerleri 39
Şekil 27. 200 µm R2 reaktörü çıkış nitrat ve nitrit değerleri 39
Şekil 28. Harran Üniversitesi Osman Bey Kampüsü Atık Su Arıtma Tesisinde Reaktörlerle 40
Şekil 29. R1 reaktörü giriş çıkış KOİ konsantrasyonları değerleri 41
Şekil 30. R2 reaktörü giriş çıkış KOİ konsantrasyonları değeri 42
Şekil 31. R1 reaktörü AKM ve UAKM değerleri 42
Şekil 32. R2 Reaktörü AKM ve UAKM değerleri 43
Şekil 33. R1 reaktörü alkalinite değerleri 44
Şekil 34. R2 reaktörü alkalinite değerleri 44
Şekil 35. A- 3d Dinamik Membran Tasarımı B- Çıktısı C- Uygulanışı ve Kek Tabaka 46
Şekil 36. Daire üç boyutlu dinamik tabakada zamana bağlı KOİ değişimi 47
Şekil 37. Daire üç boyutlu dinamik membran bulanıklık değerleri 48
Şekil 38. A-3d Dinamik Membran Tasarımı B- Çıktısı (C-D)- Uygulanışı ve Kek Tabaka 49
Şekil 39. Poligon üç boyutlu dinamik tabakada zamana bağlı KOİ değişimi 50
Şekil 40. Poligon üç boyutlu dinamik membran bulanıklık değerleri 50
Şekil 41. A- Ultrafiltrasyon Membran Tasarımı B- Ultrafiltrasyon Membran Uygulanışı 52
Şekil 42. Ultrafiltrasyon membranda zamana bağlı KOİ değişimi 52
Şekil 43. Ultrafiltrasyon membran bulanıklık değerleri 53

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Farklı biyolojik olmayan dinamik membran uygulamalarının oluşum koşulu ve filtrasyon performansı(ERSAHİN, 2015)..... 11
Çizelge 2.1. DMBR'lerin atık (su) arıtımı için biyolojik arıtım performansı(ERSAHİN, 2015) 15
Çizelge 2.2. Atık (su) arıtma için AnDMBR'lerin membran performansı 17
Çizelge 3.1. Stok çözelti içeriği 20
Çizelge 3.2. Sentetik atık su içeriği..... 23
Çizelge 3.3. Zortrax M200 yazıcının özellikleri 25
Çizelge 3.4. Daire üç boyutlu modelin özellikleri..... 26
Çizelge 3.5. Poligon üç boyutlu modelin özellikleri 27

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

AKM	Askıda Katı Madde
AnDMBR	Anerobik Dinamik Membran Biyoreaktör
BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
ÇO	Çözünmüş Oksijen
DM	Dinamik Membran
DMBR	Dinamik Membran Biyoreaktör
FIP	Yerinde Oluşturulmuş Dinamik Membran
HRT	Hidrolik bekleme süresi
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MBR	Membran Biyoreaktör
MLSS	Toplam Katı Madde
MF	Mikrofiltrasyon
NTU	Bulanıklık Birimi
PAC	Toz Haline Getirilmiş Aktif Karbon
RO	Ters Ozmos
SFDM BR	Kendi Kendini Oluşturan Dinamik Membran
SRT	Çamur Bekleme Süresi
SS	Askıda Katı Madde
TUKM	Toplam Uçucu Katı Madde
TKM	Toplam Katı Madde
UAKM	Uçucu Askıda Katı Madde
UF	Ultrafitrasyon
VSS	Uçucu Katı Madde

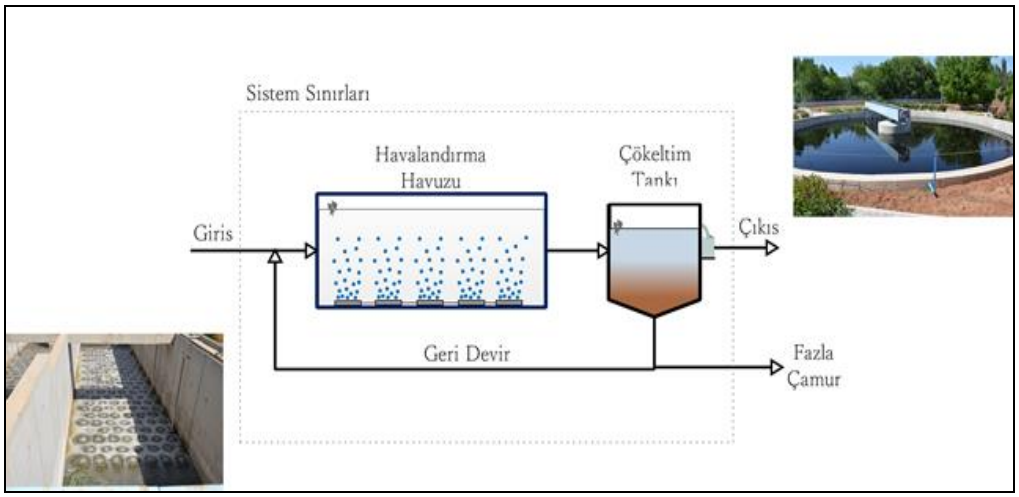
1. GİRİŞ

Evsel atıksuların biyolojik arıtımında, yaygın olarak aktif çamur, damlatmalı filtre ya da döner biyodisk türünde biyolojik arıtma üniteleri kullanılmaktadır. Bir biyolojik arıtma işleminin temel işlevi, su ortamında bulunan biyolojik parçalanabilir kirleticilerin, sistemden gaz formunda (ör:CO_2 ya da N_2) ya da biyokütle olarak çıkmasını sağlamaktır. Biyokütle (arıtım sürecinde oluşan mikroorganizmalar) daha sonra arıtılmış sudan ayrılır ve fazla çamur adı verilen konsantre bir formda bertaraf edilirler (LİU,2003). Biyolojik arıtma yöntemleri temelde aerobik ve anaerobik olarak ikiye ayrılır. Bütün aerobik arıtma proseslerinde organik atıklar a) sentez ve b) oksidasyon yolu ile yok olurlar. Diğer bir deyimle organik maddelerin bir kısmı yeni hücrelere dönüşürken (sentez) geri kalan kısmı gerekli enerjiyi üretmek amacı ile oksidasyona tabi tutulurlar.

$$8\ CH_2O + 3\ O_2 + NH_3 \rightarrow C_5H_7O_2N + 3\ CO_2 + 6\ H_2O \qquad (1.1)$$

Yukarıdaki reaksiyonda CH_2O su ortamındaki organik kirleticiyi $C_5H_7O_2N$ ise sentez yolu ile oluşan yeni hücreleri temsil etmektedir. Bu reaksiyon evsel atıksuların arıtımlarının yapıldığı tüm aerobik biyolojik arıtma yöntemlerinde yer almaktadır (CURİ, 1994).

Aktif çamur prosesi en yaygın kullanılan biyolojik arıtma ünitesidir. Aktif çamur, organik ve inorganik maddeler içeren atık su ile hem canlı hem de ölü mikroorganizmaların karışımıdır (YILDIZ ve ark, 2013). Aktif çamur sisteminde havalandırma havuzu ve son çökeltme havuzu iki önemli birimdir. Sisteme giren organik maddeler yeni hücrelere (fazla çamur) ve çeşitli gazlara dönüşerek ortamdan uzaklaşırlar. Oluşan fazla çamur genellikle ön çökeltme havuzundan gelen çamurla birlikte çamur arıtma proseslerine gönderilir. Bundan sonra çamur kurutma yataklarına veya filtre pres gibi mekanik su alma tesislerine verilir(SİNAN, 2010). Bir miktar fazla çamur ise sistem içinde tutularak reaksiyonların devamlılığı sağlanır (Şekil 1).



Şekil 1. Aktif Çamur Ünitesi Şematik ve Fotoğrafik Gösterimleri. Fotoğraflar, Gaziantep Oğuzeli Atıksu Arıtma Tesisi'ne ait havalandırma ve son çökeltim üniteleridir

Biyolojik arıtma ünitelerinde reaktör tasarımları, o reaktörlerde birim zamanda yapılacak arıtım göz önüne alınarak yapılır. Çeşitli sebepler ile atıksu debisinde ya da atıksudaki organik kirleticilerin konsantrasyonundaki artış reaktörlerde birim zamanda yapılması gereken arıtımın da artması anlamına gelmektedir. Bu da (1) reaktörde suyun daha uzun süre tutulması ile ya da (2) reaktörde daha kısa sürede daha fazla arıtımı gerçekleştirebilmek için mikroorganizma konsantrasyonunun arttırılması ile yapılabilir. Reaktörlerde suyun daha uzun süre tutulabilmesi için mevcut reaktörlerde hacim artışına gidilmesi gerekmektedir. Yüksek maliyetli olabilecek bu alternatifin yerine reaktörlerdeki mikroorganizma konsantrasyonunun arttırılması doğrudan başvurulabilecek ucuz bir alternatiftir. Ancak katı sıvı ayrımının çökeltme ile yapıldığı tesisler için mikroorganizma konsantrasyonu 8000 mgSS/L'ye kadar arttırılabilir(ORHON. D., 1997). Daha yüksek mikroorganizma konsantrasyonlarında çökeltim verimli gerçekleşmez. Böyle durumlarda katı/sıvı ayrımının daha yenilikçi yöntemler ile yapılması gerekmektedir.

Reaktörlerde yüksek biyokütle konsantrasyonu sağlamanın bir diğer yolu ise membran biyoreaktörlerdir. Membran; uygulanan bir sürücü kuvvet yardımıyla çözünmüş ve çözünmemiş maddelerin sudan ayrılmasını sağlayan seçici bir materyaldir. Yoğun olarak atık su ve su arıtmada kullanılmaktadır(ŞAHİNKAYA ve ark., 2017). Membranların temel kullanımları endüstriyel gazların ayrılması, su ve atıksuların arıtılmasının yanı sıra, sıvı çözeltilerden, havadan ve endüstriyel baca

gazlarından partikül maddelerin ayrılması gibi diğer önemli bir çok uygulamada kullanılmaktadır(ASLAN, 2016). Deniz suyundan tuzun uzaklaştırılması ve konsantre edilmesi, sertliğe neden olan iyonların sudan giderilmesi, nitrat iyonunun uzaklaştırılması, toplam organik karbon ve dezenfeksiyon yan ürünlerinin giderimi, değerli metallerin atık sulardan giderimi ve geri kazanımı, biyolojik arıtımda çıkış suyunun kalitesinin arttırılması ve ek ünite ihtiyacının giderilmesi gibi çevre mühendisliği alanında kullanılmaktadır(ŞAHİNKAYA ve ark., 2013). Membranlar, Çevre Mühendisliği dışında endüstri alanında kullanımı ise; kimya, petrokimya, eczacılık, ilaç, gıda, kağıt, tekstil, elektronik endüstrisi ve benzeri endüstriler olarak sayılabilinir(SOYLU, 2011). Membranlar farklı sayıda materyalden üretilmektedir.

Uygulanmalarına göre;

- Gaz - faz ayırma
- Gaz - sıvı ayırma

Membran davranış mekanizmasına göre;

- Adsorpsiyon-yayınım
- İyon değiştirici

Ozmotik Özelliklerine göre;

- Doğal
- Sentetik

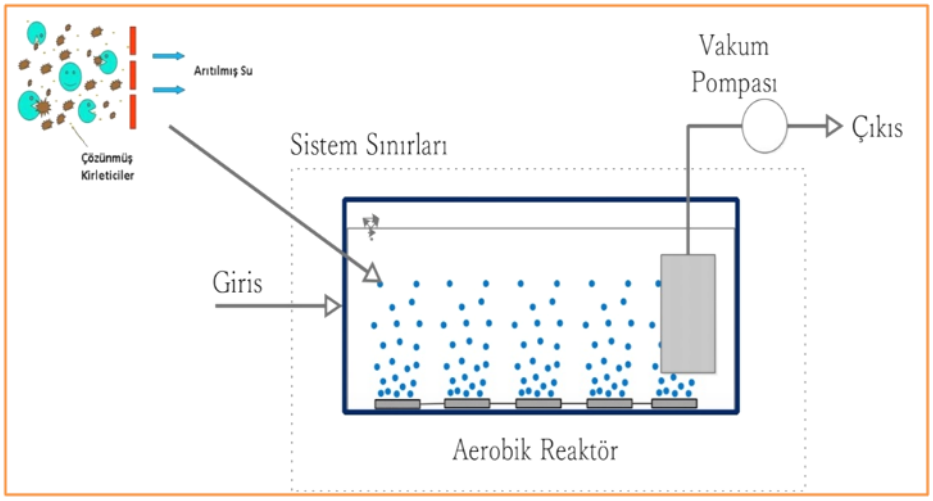
Yapılarına göre;

- Gözenekli
- Gözeneksiz
- Seçici olmayan membranlar' dan üretilmektedir(ANDIRICI, 2014).

Gözenekli membranlar için, ayırma karakteristiğini belirleyen materyal seçimi değil gözenek büyüklüğü, parçacık veya moleküler büyüklüğüne bağlı gözenek boyutu dağılımıdır(ASLAN, 2016).

Atıksu arıtımında ise membranlar doğrudan filtrasyon yapılması ya da bir biyoreaktörde katı sıvı ayrımının sağlanması için kullanılmaktadırlar. Doğrudan kullanımı sınırlı olup membran tıkanıklığı bu aşamada en önemli sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca bu kullanım tarzında kirleticiler imha edilmemekte, konsantre

hale getirilerek çıkış suyundan ayrılamamaktadır. Bu da ilgilenilmesi gereken ikincil bir kirlilik meydana getirmektedir. Bazı membran uygulamalarında kirleticilerin nihai bertarafı da mümkündür. Mikroorganizmaların görev aldığı bu membran uygulamaları genellikle membran biyoreaktörlerde gerçekleşmektedir. Membran biyoreaktör terimi genel olarak mikroorganizmaların çıkış suyundan bir membran yolu ile ayrıldığı sistemlere verilen genel bir isimdir. Aşağıda bir membran biyoreaktör şematiği sunulmuştur.



Şekil 2. Aerobik Membran Biyoreaktör Şematik gösterimi

İleri bir teknoloji olan membran filtrasyonunun diğer yöntemlere nazaran bir dizi avantajı vardır. Bu avantajlar kullanılan membran tipine göre değişkenlik göstermekle birlikte başlıcaları aşağıda sunulmuştur.

- Arıtma tesislerinin kapasitesinde optimizasyon ve artış sağlar
- İkincil çökeltme tankının bulunmamasından dolayı oldukça az yer kaplar(POOSTCHİ ve MEHRNİA, 2015).
- Geri kazanım imkanı sağlar
- Atık su kalitesini iyileştirir
- İleri hijyenik standartlara uyum sağlar (AB yüzme suyu standartları)
- Düşük HRT ve daha düşük reaktör hacmi
- Arazi gereksinimi azaldığı için daha az alan ihtiyacı(YİĞİT, 2007)
- İşletme personeline daha az ihtiyaç duyulur

- Yüksek SRT nedeniyle; toksik etkilerden daha az etkilenir(ŞAHİNKAYA ve ark., 2013).
- Düşük çamur üretimi mümkündür(ROSENBERGER ve ark., 2002).
- Arıtımı zor olan atık sulara uygulanabilir
- Organik madde gideriminde yüksek verimliliğe sahiptir(WANG ve ark., 2012).
- Çıkış suyunun yüksek kalitede dezenfeksiyonu(GÜREL ve BÜYÜKGÜNGÖR, 2011).
- Yan ürün ya da daha toksik madde oluşmaması(ÖZTÜRK, 2018).

Sayılan birçok avantajına rağmen membran kullanımının bazı dezavantajları da vardır. Bunlar:

- Membran üretim ve pazarlama maliyetinin yüksek olması
- Membranların proses çözeltiler ile kimyasal uyumsuzlukları olabilir, bu da verimi düşürür (ASLAN, 2016)
- Membran tıkanması da maliyeti arttırır(ERKAN ve ark., 2016).
- Membran temizleme problemi (temizleme maliyeti ve kimyasal atık oluşumu)
- İşletme giderleri (fiziksel temizleme için hava ihtiyacı ve membran değişimi)(ŞAHİNKAYA ve ark., 2015).
- Tesislerin ilk yatırım maliyetinin yüksek olması.

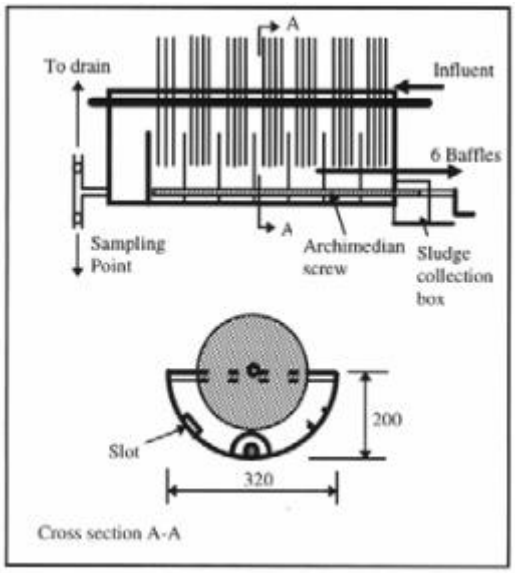
Birçok avantajına rağmen, MBR'lerdeki yüksek membran modülü maliyeti, membran tıkanması ve yüksek enerji tüketimi gibi birçok sorunla karşı karşıya kalmaktadır(CHU ve ark., 2008). Membranlar ayrıca işletimi ve kimyasal (membran temizliği sırasında) maliyetleri gerektirir.

Dinamik membran bir taşıyıcı destek tabaka üzerinde biriken başta mikroorganizma ve partikül halindeki diğer kirleticilerin zamanla oluşturdukları bir tabakadır. Bu tabaka kek tabakası olarak adlandırılır ve bir filtrasyon sağlar. İlk yatırım ve düşük işletme maliyetleri klasik membranlara göre en belirgin avantajlarıdır. Birçok çalışmada dinamik membranlar kullanılarak yüksek

mikroorganizma konsantrasyonu ile organik kirletici giderimi başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir(CHU ve ark., 2012)

Reaktörlerdeki mikroorganizma konsantrasyonunu arttırmanın bir diğer yolu ise bir miktar mikroorganizmanın işletmenin tüm sürecinde havalandırma havuzunda kalmasının sağlanmasıdır.

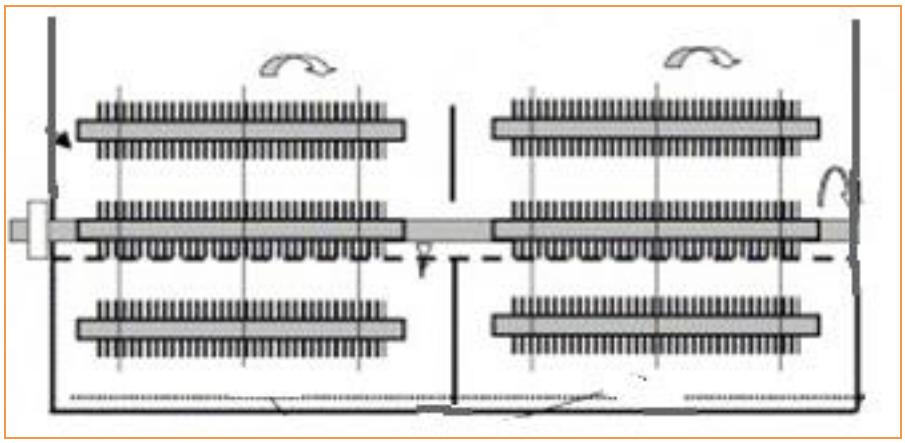
Bu amaçla bilinen en eski teknoloji döner biyodisklerdir. Bu sistemler plastikten yapılan belli kalınlıklarda disklerden oluşmaktadır. Diskler bir şaft üzerine birbirine paralel olarak yerleştirilir ve şaft bir motor yardımı ile dönmektedir (Şekil 3.). Diskler, atıksu içinde % 40-50 oranında batık şekilde döndürülmektedir(ÜSTÜN, 2015). Biyofilm organizmaları, tüplerin dönüşü sırasında havanın biyofilm ile doğrudan temas etmesi ile havalandırılmıştır(EKER, 2010). Böylelikle disklerin dönmesiyle aerobik şartlar sağlanmış olur(KURT, 2007).



Şekil 3. Biyodisk ünitesi(BERKTAY, 1997)

Reaktörde yüzey alanının daha ekonomik yöntemler ile artırılması ihtiyaç duyulan bir çalışmadır. Bu amaçla bir mil üzerine konumlandırılmış binlerce kıl, ile oluşturulmuş bir fırça düzeneğinin aktif çamur ünitesine yerleştirilmesi ile reaktörler modifiye edilebilir(EKER, 2006). Fırçalar dönme esnasında tamamen atık su tankına

batırılarak(EKER, 2007), fırça ve mil üzerindeki pervane kanatları üzerine biyokütlenin homojen dağılımı gerçekleştirilebilir. Bu sayede fırça üzerinde tutunacak mikroorganizmaların çökeltim havuzuna gitmesi engellenmiş olur ve reaktör içerisinde çok daha fazla biyokütle tutulabilir.

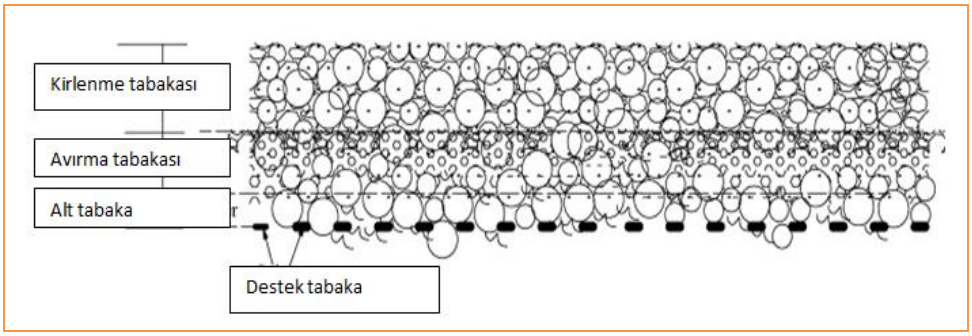


Şekil 4. Deneysel çalışmalarda kullanılan döner fırça biyofilm reaktörünün şematik diyagramı(EKER, 2006)

Bu kapsamda bu tezdeki amaç yüksek konsantrasyonlarda organik kirletici içeren evsel atıksuların arıtımında dinamik membran biyoreaktörlerin kullanılabilirliğidir. Bu kapsamda farklı gözenek çapına sahip tekstil ürünleri ve 3 boyutlu yazıcı ile yazılmış plastik dinamik membran destek tabakaları kullanılarak atıksu arıtımındaki rolleri incelendi. Ayrıca reaktörde mikroorganizma konsantrasyonunun arttırılabilmesi için fırça modifikasyonu ek bir çalışma olarak tez kapsamında çalışılmıştır.

1.1. Dinamik Membran

Dinamik membran, katı maddenin temelde makro gözenekli örgüler ve kumaşlar gibi destekleyici malzemeler üzerinde(ZHANG ve ark., 2011) kolloidler veya mikrobiyal hücre partiküllerinin birikmesi sonucunda dinamik kirlenme tabakası meydana gelir ve bu tabaka dinamik membran olarak adlandırılır(SALEEM ve ark., 2017).



Şekil 5. Dinamik membran yapı şeması(LİU ve ark., 2009)

1.1.1. Dinamik membranın tarihsel gelişimi

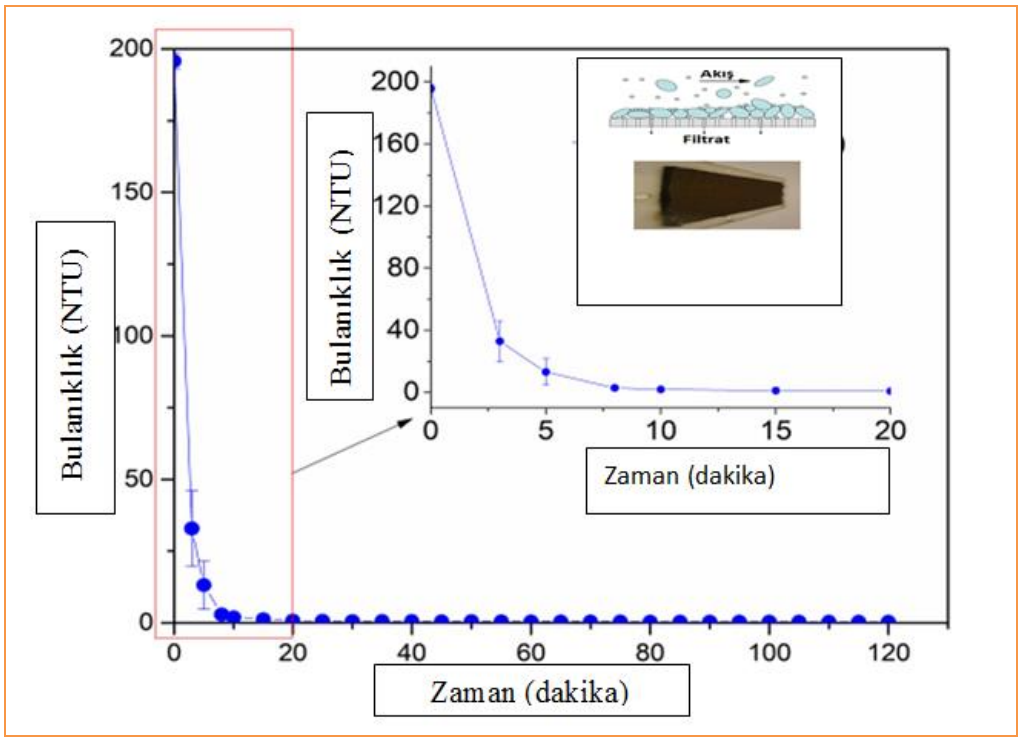
DM uygulamaları 1980 yıllarında başlamıştır. İlk araştırmalar atık su arıtımı ve protein giderimi için yapılmıştır. MF proseslerindeki DM uygulamaları 1990 yıllarından beri, özellikle atık suların arıtımında kullanılmıştır. AKM, BOİ, KOİ için tatminkar uzaklaştırma verimleri elde edilmektedir. Özellikle küçük asitli atık su arıtma sistemleri için minimum yatırım ve maliyet gerektirdiğinden dolayı son yıllarda rağbet görmektedir(ERSAHİN, 2015).

1.1.2. Dinamik membran, çalışma mekanizması ve özellikleri

Dinamik membran, büyük gözenek boyutlu taşıyıcı bir destek malzeme (membran, kumaş ya da diğer tekstil ürünleri) üzerinde filtrasyon ile oluşan kek tabakasından (mikrobiyal hücreler, floklar, inorganik ve partikül halindeki organik maddeler) oluşur (ERSAHİN ve ark., 2012). Gözenek çapı çok büyük olduğu için filtrasyon sürecinin ilk başlarında düşük çıkış verimi sağlasa da zamanla geleneksel membran sistemlerinde membranın tıkanmasına sebep olan organik ve kolloidal parçacıklar destek tabakası üzerinde birikmeye ve ikincil bir filtrasyon ortamı yaratırlar. Bu sayede işletmenin ilerleyen aşamalarında çıkış suyu kalitesi artar (Şekil 6). Bu tabakaya dinamik membran denir. Sistemin düşük maliyeti, düşük enerji ihtiyacı, kimyasal yıkama gerektirmemesi ve kolay işletimi gibi bir dizi avantajı vardır. Bu nedenle pilot ve büyük ölçekli sistemlerde kullanılabilirlikleri açısından gelecek vadetmektedir.

Dinamik membran teknolojisini sağlayacağı en önemli faydalardan biri katı madde gideriminin uygun bir destek malzemesi üzerinde kendiliğinden oluşabilen ve ikincil membran olarak da adlandırılan kek tabakası ile gerçekleştirilmesidir. Bunun sonucu olarak yüksek maliyetli mikrofiltrasyon veya ultrafiltrasyon membranları yerine çeşitli tipte ve yapıda tel örgü şeklinde, dokunmuş veya dokunmamış kumaş, filtre bezi, paslanmaz çelik(Lİ ve ark., 2018) gibi malzemeler kullanılabilmektedir (ERSAHİN ve ark., 2014).

Destek tabaka olarak kullanılan malzemelerin boyutları genellikle arıtma prosesindeki ortalama mikroorganizma boyutundan daha büyüktür ve bu nedenle filtrasyon sürecinin ilk aşamalarında elde edilen çıkış suyu kalitesi düşüktür. Çıkış suyu partikül kirleticiler, mikroorganizmalar ve çamur floklarının oldukça büyük gözeneklerden geçişi nedeniyle yüksek AKM ve bulanıklık içerebilir. (Şekil 6). Fakat dinamik tabakanın oluşumunun ardından mikrofiltrasyon ya da ultrafiltrasyon membranları ile karşılaştırılabilecek kadar yüksek çıkış suyu kalitesi sağlanabilir(CHU ve ark., 2008; KİSO ve ark., 2005). Çalışmaların birçoğunda, dinamik membran katmanı filtrasyon sürecinin hemen başında oluşturulmuş ve sonraki süreçte yüksek AKM giderimi sağlanmıştır. Bu nedenle, dinamik tabaka oluşuncaya kadar çıkış suyunun reaktöre geri devri yüksek çıkış suyu kalitesi sağlamak için uygulanan pratik bir yaklaşımdır(CHU ve ark., 2008; Fan ve Huang, 2002; KİSO ve ark., 2005)



Şekil 6. Dinamik tabakanın (kek tabakası) membran üzerinde oluşumunu gösteren temsili şekil (üst sağ)(ERSAHİN, 2015) ve bu tabakanın oluşması ile birlikte çıkış suyu bulanıklık değerindeki azalma(Lİ ve ark., 2018)

Dinamik mebranlar (DM) ağırlıklı olarak ikiye ayrılmaktadır.

- Kendi kendine şekillendirmeli ve ön kaplamalı
- Yerinde oluşturulmuş membranlar

Kendi kendini oluşturan dinamik membran (SFDMBR) biyoreaktörleri 1990'larda ortaya çıkmıştır. Bu MBR' lar, membran yüzeyinde oluşturulan biyolojik tabakayı, geleneksel MBR'lerin dezavantajlarını ortadan kaldırmak için etkili bir filtrasyon tabakası olarak kullanır. (GUAN ve ark., 2018). SFDM' nin temel bileşenleri kolloidler ve yüksek moleküler ağırlıklı organik maddelerdir(YE ve ark., 2006). Önceden kaplanmış DM'ler ayrıca tekli katkı maddesi ve birleşik (iki katmanlı) membranlar olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Tek katkı maddesi önceden kaplanmış zarlar genellikle tek bir aşamada sadece bir malzeme ile oluşturulur. DM'yi oluşturmak için tek bir katkı maddesi olarak toz haline getirilmiş aktif karbon (PAC) kullanılınabilir. Kaplama malzemesi olarak PAC (toz haline getirilmiş aktif karbon)(ERSAHİN ve ark., 2012), kaolinit(Lİ ve ark., 2006) ve biyo-

diyotamit(CHU ve ark., 2010) gibi malzemeler kullanılmaktadır. SFDM'lerin oluşum süresi, atık SS konsantrasyonunun yaklaşık sıfırdır(CHU ve Lİ, 2006; KİSO ve ark., 2005; LİANG ve ark., 2012; LİU ve ark., 2009)Bu nedenle, bulanık atık su üretimini en aza indirmek ve SFDMBR'lerde yüksek biyokütle konsantrasyonunu korumak için büyük önem taşımaktadır(LİANG ve ark., 2013).

Yerinde oluşturulmuş dinamik membranlar (FIP); bir veya daha fazla çözeltiden geçirilerek gözenekli bir malzeme yüzeyi üzerinde spesifik kolloidal bileşikler ile oluşturulmaktadır. Sulu metal oksit, özellikle zirkonyum oksit yaygın olarak kullanılır. Bunun dışında kaolin, dekstran, ovalbümin, mangan oksitte biçimlendirme malzemesi olarak test edilmiştir(ERSAHİN, 2015)

Çizelge 1.1. Farklı biyolojik olmayan dinamik membran uygulamalarının oluşum koşulu ve filtrasyon performansı(ERSAHİN, 2015)

Dinamik membran oluşturan malzeme	Destek malzemesi (gözenek boyutu, μm)	Uygulama türü	Basınç oluşumu (barlar)	Çapraz akış hızı oluşumu (m/s)	Akı	Giderim verimi %	Referans
Sulu Zr (IV) oksit-PAA	Gözenekli karbon seramik, sinter cam ve metaller (S)	RO	8-70	na[a]	na	72-97 tuz 68 NaCI 90 $MgCI_2$	Marcinkowsky ve diğerleri,1966, Shor ve diğerleri, 1968 , Johnson ve diğerleri, 1972
Jelatin	UF zarı (0.81)	UF	0.05-5	na	na	100 poli etilen glikol	Tsapiuk (1996)
MnO_2	Borulu polyester iplik dokuma kumaş (20-40)	MF	1	2	100 L /m^2saat	99 bulanıklık	Al-Malack ve Anderson (1996)
Kaolin	Paslanmaz çelik (4.7)	MF	100	na	na	100 CH_3COONa	Wang ve diğ. (1998)
Mg $(OH)_2$	Al_2O_3, seramik borular (5)	MF	1	1	1L/ m^2h kPa	>98 TOC	Zhao ve diğ. (2006)

(a: mevcut değil)

Dinamik membranlarda dinamik tabakanın oluşumunu etkileyen bir dizi faktör vardır. Gözenek boyutu, oluşum basıncı, çapraz akış hızı, pH ve şekillendirme konsantrasyonu materyalidir. Oluşum basıncı, partiküllerin membrana taşınımını arttırmaktadır, böylece kutuplaşma artar, parçacıkların birikmesini ve dinamik tabakanın kütlesi artmaktadır. Buda TOC reddetme verimliliğinde artış meydana getirmektedir. Çapraz akış hızı, dinamik tabaka erozyonuyla ve TOC 'u azaltmaktadır. pH, DM' lar da partikül boyutunu etkilediği için dinamik katmanın oluşma süresini etkiler (OZGUN ve ark., 2013).

Düz tabaka (dikey) ve boru şekilli (dikey ve yatay) membran modülleri mevcuttur. Boru şeklindeki filtrede oluşan çamur tabakasının kalınlığı, düz tabakada oluşanın iki katından fazla olup basınç artışına dayanıklıdır (ERSAHİN ve ark., 2014). Konvansiyonel membranlara nazaran çok daha az tıkanıklık sorunu yaşanır ve tıkanıklığın kontrolü için sıklıkla fiziksel yıkama yeterlidir. Ancak literatürde asit ile temizleme, musluk suyu ile temizleme ve fiziksel yıkama işlemleri için hava ile temizleme(CHU ve ark., 2010; ERSAHİN ve ark., 2014), fırçalama yapılarak temizleme işlemi bildirilmiştir(AL-MALACK ve ANDERSON, 1997; HU ve ark., 2016).

1.1.3. Dinamik membranların avantajları ve dezavantajlar

Dinamik membranların avantajları şu şekildedir;

- Sıkışmış tabaka oluşumundan dolayı ince parçacıkların geçişini sınırlayarak arıtımda verimliliği sağlar
- Yatırım ve işletme giderleri MBR'lara nazaran oldukça düşüktür.
- Filtre modüllerinin daha düşük maliyetle elde edilmesi (ERSAHİN ve ark., 2012)
- Herhangi bir temizlik olmaksızın 100 günden fazla sürede stabil çalışma mümkündür (ŞAHİNKAYA ve YURTSEVER, 2017)
- Yüksek akı ve kolay yıkama, düşük membran maliyeti(HU ve ark., 2018)
- Atık kalitesinin ve miktarının azalması (HU ve ark., 2016).
- MBR 'lar da dezavantaj olan zar kirlenmesinin burada avantaja dönüşmesi

- Sıkı kek tabakasından ötürü KOİ verimliliğinin artması (ERSAHİN ve ark., 2013).
- Sermaye ve işletme maliyetlerinde azalma(BAİZURA ve ark., 2018)

Dezavantajları;

- Yoğun havalandırma sonucunda bulanıklığa neden olur (ERSAHİN ve ark., 2012).
- İlk kurulum ve yıkama sonralarında çıkış suyunun kalitesi geçici olarak düşer.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Dinamik membran üzerine özellikle atık suyun arıtılması amacıyla yapılan çalışmalar genellikle örgülerin, dokunmuş ve dokunmamış kumaşların destek malzemesi olarak kullanılmasına odaklanmıştır. Bir örgü, metal, elyaf veya diğer esnek / sünek materyallerin bağlı tellerinden yapılmış geçirgen bir bariyerden oluşur. Örgü malzemeler için dezavantaj, düz yapısı nedeniyle yetersiz çamur birikimi olabilmektedir(KİSO ve ark., 2005). Dokuma bez, monofilament ve/veya çok filamentli iplikler üzerine kuruludur. Monofilament iplikler tek sıralı sentetik filamentlerdir ve pürüzsüz yüzeylere sahiptir. Çok filamentli elyaf ise bir dizi ince monofilament elyaftan oluşur. Dokumasız bir bez ise doğal ve/veya insan yapımı elyaf veya filamentlerden oluşan bir tabaka veya örgü olarak tanımlanır ve bunlar birbirlerine yapışık olup iplikler haline dönüştürülmez(ERSAHİN ve ark., 2012).

Bu güne kadar, örgü malzemeler(CHU ve Lİ, 2006; KİSO ve ark., 2005; ZHANG ve ark., 2010), Dokuma olmayan kumaşlar(AN ve ark., 2009; REN ve ark., 2010), dokuma kumaşlar(LİU ve ark., 2009) ve seramik membranlar(Lİ ve ark., 2006), katı sıvı ayrımı için literatürde bulunan aerobik ve anaerobik dinamik membranlar için destek tabakalarıdır.

DMBR üzerine yapılan araştırmaların büyük bir kısmı, düşük ila orta şiddette sentetik atık su arıtımı üzerine yoğunlaşmıştır(ERSAHİN ve ark., 2012). Yapılan çalışmalar dinamik membran biyoreaktörlerde kirleticilerin MF/UF sistemlerine kıyasla benzer bir biyolojik arıtım performansı sergilediğini bildirilmektedir.

Kiso ve arkadaşları (2005) yaptıkları çalışmada örgü filtre ile oluşturulan dinamik tabakada toplam azot uzaklaştırma verimini incelemiştir. Toplam azotun 50 mg/L' den %82.4 verimle giderildiğini gözlemlemişlerdir. Fan ve Huang (2002) KOİ ve amonyak için sırasıyla 97.9-371.7 mg/L ve 39.65-59.89 mg/L' den %84 ve %98'lük giderim verimleri bildirmişlerdir. Dinamik membran biyoreaktörler ile yavaş büyüyen nitrifikasyon bakterilerini zenginleştirmedeki etkisi Chu ve Li (2006) tarafından bildirilmiştir. Benzer şekilde, Kiso ve arkadaşları (2000), örgü filtrasyonu

ile kurulan biyoreaktörde 50 mg/L giriş toplam azot konsantrasyonu için tam nitrifikasyonu sağlamıştır. Her ne kadar fosfor giderimi için substrat kompozisyonu ve sistem konfigürasyonu gerekse de dinamik membran ile aynı zamanda yüksek fosfor giderimi de sağlanabilir. Ren ve arkadaşları, (2010) dokuma olmayan kumaş filtre ile işletilen dinamik membran biyoreaktör ile yüksek fosfor giderim verimleri sağlamıştır.

DMBR uygulamalarının literatürde sırasıyla hem biyolojik arıtma hem de zar yönleri açısından sıralanan performansı Çizelge 2.1'de gösterilmektedir(ERSAHİN, 2015).

Çizelge 2.1. DMBR'lerin atık (su) arıtımı için biyolojik arıtım performansı(ERSAHİN, 2015)

Çalışma modu/membran konfigürasyonu	Hacim (L)/ sıcaklık (°C)	Substrat	MLSS (gSS/L)	Organik yükleme hızı(kg KOİ/m^3.d)	KOİ giderilmesi (%)	Referans
Batık/düz levha	17/n.a	Sentetik belediye atık suyu	6-8	n.a	>80 (BOİ)	Kiso et al. (2000)
Batık/düz levha	140/27	Belediye atık suyu	7.5	0.7-2.6	84.2 34.2(dinamik membranla)	Fan and huang (2002)
Batık/mevcut olmayan	470/n.a	Belediye atık suyu +glikoz	1.8	0.7	91.6	Seo et al. (2002)
Batık/düz levha	10.5/20	Sentetik	3.5-5	295(gTOC /m^3.d)	83-93	Alavi moghaddom et al. (2002)
Batık/düz levha	15/n.a	Aktif çamur (sentetik)	3-9	n.a	Çamur hacim küçültme oranı: 85-95	Park et al. (2004)
Batık/düz levha	20/n.a	Sentetik + Belediye atık suyu	6-9	10	87.4 12.6 (dinamik membranla)	Wu et al. (2005)
Batık/düz levha	30/14-17	Belediye atık suyu	4-7	0.2-0.35 (kg$BOİ_5$/ m^3.d)	>80	Fuchs et al. (2005)

Çizelge 2.1. devam

Batık/düz levha	16/25	Sentetik	3-5.5	n.a	n.a	Kiso et al. (2005)
Batık/mevcut olmayan	28/n.a	Belediye atık suyu	n.a	14-25	>95	Zhi – Gua et al.(2005)
Batık/düz levha (Önceden kaplanmış zar)	12/25	Belediye atık suyu	n.a	n.a	97.09 10.59(dinamik membranla)	Ye et al. (2006)
Yan akım/boru şekilli(öncede n kaplanmış zar)	20/30	Sentetik tekstil atık suyu	4.5	n.a	>98	Li et al. (2006)
Batık/düz levha	10/çevre sıcaklığı	Belediye sulu çamuru	25-32	n.a	93.5	Wong et al. (2006)
Batık/düz levha ve boru şekilli	12/20	Sentetik belediye atık suyu	2.5-3.5	8.3	93-98(TOC)	Sea et al. (2017)
Batık/mevcut olmayan	8/n.a	Damıtılmı ş atık suyu	10-12	3-5.7	23-41	Satyowo li and Balakris hnan (2008)
Batık/plaka çerçeveli önceden kaplanmış zar	35/16-33	Belediye atık suyu	11	3.2-16.6	>90 <40(dinamik membranla)	Chu et al. (2008)
Batık/düz levha[A]	14/9-13	Belediye atık suyu	6	0.8-1.4	81	Chu and Li (2006)
Batık/plaka çerçeveli	7.5/n.a	Belediye atık suyu	3	10.4-16.8	78	Li et al. (2009)
Batık/filtre torbalı	15/çevre sıcaklığı	Evsel atık su[A]	4-12	0.36-0.39 ($kgBOİ_5/m^3.d$)	85.5-89.3	Ren et al. (2010)

(A: MBR önce uygulanmış anaerobik işlem, n.a: mevcut olmayan)

Yapılan çalışmalarda AnDMBR teknolojisinin kullanımı atık su çamuru, katı atık ve atık su arıtımı için test edilmiştir. Çizelge 2.2.' de, literatürdeki AnDMBR uygulamalarının hem biyolojik arıtma hem de membran yönleriyle ilgili performans sonuçlarını göstermektedir(ERSAHİN ve ark., 2012).

Çizelge 2.2. Atık (su) arıtma için AnDMBR'lerin membran performansı(ERSAHİN ve ark., 2012)

Çalışma modu/ membran konfigürasyonu	Hacim (L)/ sıcaklık (°C)	Substrat	MLSS (gSS/L)	Organik yükleme hızı (kgKOİ/m^3.d)	KOİ giderimi (%)	Referans
Batık/düz levha	3/30	Sentetik	17.5	n.a	n.a	Jeison et al. 2008
Yan akım/boru şekilli	1800/n.a[B]	Belediye çamuru	55	n.a	n.a	Pillay et al. 1994
Yan akım/boru şekilli (önceden kaplanmış zar)	-/25	Sentetik belediye atık suyu	9.6-12.5	n.a	>90	Ho et al. 2007
Batık/düz levha	3/50	Sentetik	7.2	n.a	n.a	Jeison et al. 2008
Batık/düz levha	3/30	Sentetik	25.6	n.a	n.a	Jeison et al. 2008
Batık/silindirik	1.5/n.a	Sentetik belediye atık suyu	n.a	3.75 (g VS[C]/L.d)	n.a	Walker et al. 2009
Batık/boru şekilli	12.9/15-20	Belediye atık suyu	n.a	2.36	70	An et al. 2009
Batık[A]/düz levha	45/10-15	Belediye atık suyu	n.a	n.a	57.3	Zhang et al. 2010

A: yukarı akışlı anaerobik çamur yataklı reaktör, B: mevcut olmayan, C: uçucu katılar

Dinamik membran biyoreaktörlerde performansı etkileyen bir dizi parametre vardır. Dinamik bir tabakanın oluşturulmasına olanak tanıyan uygun bir destek malzemesinin seçilmesi DM uygulamaları için kritik bir adımdır. Destek tabaka için seçilecek malzeme kek tabakası oluşturmak ve sürekliliğini korumak için uygun bir gözenek boyutuna sahip olmalıdır(IGAWA ve ark., 1977). Ayrıca uzun süreli işletimler için dayanıklı, sağlam ve ekonomik olmalıdır. Jeison ve arkadaşları (2008) yaptıkları çalışmada uçucu yağ asitleri ile beslenen anaerobik reaktörde 60-70 µm üzerindeki gözenek çaplarında kek tabakasının oluşamayacağını bildirmişlerdir. Öte yandan Zhang ve arkadaşları (2010) evsel atıksuların anaerobik arıtıldığı bir reaktörde dakron örgü ile 61 µm gözenek çapı ile dinamik tabaka oluşabileceğini bildirmişlerdir.

Dinamik membran biyoreaktörlerin çalışma performanslarına etki eden diğer parametreler ise çamur özellikleri, işletim koşulları, reaktör konfigürasyonları ve işletim modu olup dinamik membranlar üzerine geniş bir yelpazede çalışma konusu

ortaya çıkmaktadır. Ülkemizin özellikle tekstil sektöründe dünyada önemli bir konuma sahip olması bu alanda çalışmaların yapılmasını gerekli kılmaktadır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışmada aktif çamur sistemlerinde yüksek performansın elde edilebilmesi için farklı gözenek boyutunda ve yapısında dinamik membran modülleri kullanılarak arıtım performansları izlenmiştir. Ayrıca aktif çamur sisteminde daha yüksek arıtım verimi elde edebilmek için reaktörler çeşitli fırçalar ile modifiye edilmiştir. Sonraki alt bölümlerde tüm bu çalışmaların detayları sunulmuştur.

3.1.1. Fırça modifiye biyoreaktörler

Aktif çamur proseslerinde hacim artışı yapılmadan arıtım veriminde artış sağlanabilmesi için daha fazla mikroorganizmanın reaktör içinde çalıştırılması gerekmektedir. Bu amaçla tez çalışmasının ilk aşamasında iki adet reaktör kurularak fırça modifikasyonunun aktif çamur çalışma performansına etkisi araştırılmıştır. Reaktörlerin boyutları en, boy ve yükseklik ölçüleri olarak sırası ile 20 cm, 40 cm ve 25 cm olup toplam hacmi 20 L ve aktif hacmi 15 L'dir. Havalandırma KNF marka hava motoru ile (Herbir reaktöre 6000 ml/dk oranında hava verildi. Toplamda hava motorundan 12000 ml/dk oranında hava gelmektedir) sağlandı ve besleme peristaltik pompa (Ismatech) ile sağlandı. HRT çalışma boyunca 1 günde 30 ˚C'sıcaklıkta tutuldu.

Atıksu arıtımında KOİ giderimi kararlı hal durumuna ulaştıktan sonra fırça modifikasyonunun etkisinin gözlenebilmesi için her iki reaktördeki tüm sıvı boşaltıldı ve sentetik atıksu ile doldurulduu. Fırça modifiye reaktördeki fırçalar üzerine bağlanmış mikroorganizmalar reaktörde arıtım sağlarken, diğer reaktörde mikroorganizma aşılaması yapılmadan kontrol reaktörü olarak işletildi. Bu çalışmada düzenli KOİ numuneleri alınarak fırça modifikasyonunun etkisi araştırıldı.

Çalışmanın bu aşamasında kullanılan atıksu KOİ, toplam azot ve toplam fosfor değerleri sırası ile 500, 50 ve 42 mg/L'dir. Bu atıksu için aşağıda Çizelge 3.1.'de

detayları sunulmuş kimyasallar ile KOİ'si 10000 mg/L olan bir stok çözeltisi hazırlanmış ve akabinde bu stok çözeltiden KOİ'si 500 mg/L olacak şekilde seyreltmeler yapılarak atıksu hazırlanmıştır.

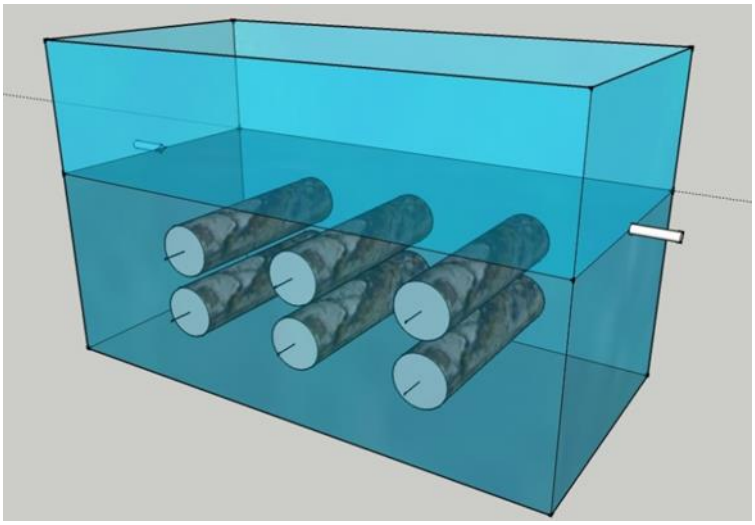
Çizelge 3.1. Stok çözelti içeriği

KİMYASALLAR	Konsantrasyon (mg/L)
$CH_3COONa*H_2O$	7317
Sukroz ($C_{12}H_{22}O_{11}$)	5287
Pepton	2000
NH_4 Cl	4052
K_2 HPO_4	2000
KH_2 PO_4	2000
$MgSO_4$ *$7H_2O$	2000
FeCl-$6H_2O$	200

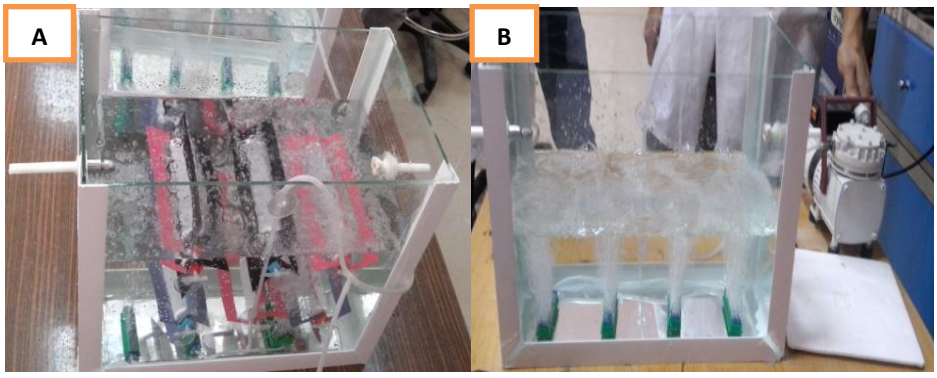


Şekil 7. Çalışmada kullanılan reaktörlerin kurulum aşaması

Reaktörlerden birinde fırça modifikasyonunun kullanılabilmesi için 6 adet 16 cm uzunluğunda fırçalar yerleştirildi. Bu fırçalar üzerinde 3 cm uzunluğunda ve binlerce kıldan oluşan geniş bir yüzey bulunmaktadır. Reaktöre batık olarak konumlandırılan bu yüzeylerde bağlı büyümeli mikroorganizmaların oluşması hedeflenmiştir. Fırçalar üzerinde homojen mikrobiyal büyüme için fırçaların reaktörde hava akışı ile dönüşü amaçlandı. Bu amaçla herbir fırçaya 4 adet 16 cm X 5 cm kanatlar yerleştirildi ve hava taşlarından çıkan hava ile bu kanatların haraketi sağlandı (Prosese ait video "https://youtu.be/DsdWWYRRigY" adresinden izlenebilir). Kontrol reaktörü ise fırça içermeyip eşit oranda havalandırıldı.



Şekil 8. Fırça modifiye reaktörün tasarımı



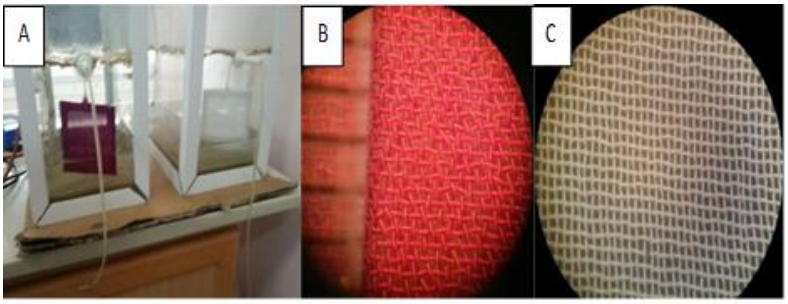
Şekil 9. A: Çalışmada kullanılan fırça modifiye reaktörü B: düz işletilen reaktör (Kontrol reaktörü)

Yapılan çalışmada fırça modifikasyonunun arıtım performansına etkisi araştırılmıştır. Ayrıca fırça üzerinde biriken mikroorganizma miktarı ile bu mikroorganizmaların arıtım süreçlerine tek başlarına etkisi, tez çalışmasının bu iş paketinde yapılmıştır. Bu süreçte reaktörlerden düzenli olarak çözünmüş oksijen, pH, alkalinite, KOİ, nitrit ve nitrat ölçümleri gerçekleştirilmiştir.

3.1.2. Dinamik modüller

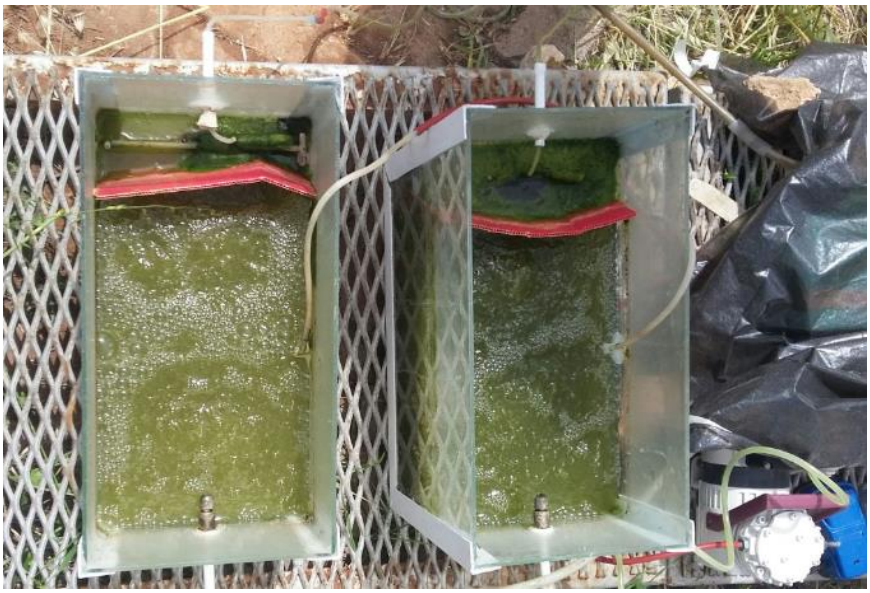
Fırça modifiye reaktör ile 92 gün boyunca biyokütle arttırımı gerçekleştirildi bunun akabinde biyokütle iki reaktöre eşit bir şekilde paylaştırıldı ve işletmeye alındı. 103 gün boyunca işletilen reaktörlerde TKM konsantrasyonu her iki reaktör

için de 8000 mg/L üst sınıra ulaştıktan sonra dinamik membran modülleri takıldı. Çalışmanın 103. Gününde 140 µm gözenek çapına sahip dinamik membran modülü 1 nolu reaktöre takılırken, reaktör 2'ye 200 µm gözenek çapına sahip dinamik membran modülü yerleştirildi. Çalışmada 140µm ve 200µm boyutunda iki adet 10 cmx10 cm membran modülü (0.01 m^2) kullanıldı. Akı çalışma boyunca 31.25 L/m^2.sa değerinde tutuldu. Reaktörler laboratuvar ortamında sentetik atık su ile KOİ 500 mg/L olacak şekilde dinamik modüller ile 20 gün boyunca işletildi.



Şekil 10. A: Reaktörlerin ve modüllerinin görüntüsü, B– C sırası ile 140 ve 200 µm membranların materyal mikroskobundaki görüntüsü

Laboratuvar ortamında sentetik atıksu ile yapılan denemelerin ardından gerçek atıksu ile de reaktörler işledildi. Bu amaçla reaktörler Osman Bey Atıksu Arıtma Tesisine (Şekil 11.) taşınarak gerçek yerleşke atıksuyu ile beslendi. Bu atıksudaki KOİ değeri 238 ± 7.14 mg/L olup 17 gün boyunca arıtmaya tabi tutuldu. Giriş suyundan haftada bir gün KOİ Alkalinite Nitrat Nitrit Fosfor ve Amonyum Azotu analizleri yapıldı. Çıkış suyundan haftada üç gün KOİ Alkalinite Nitrat Nitrit Fosfor ve Amonyum Azotu analizleri yapıldı.



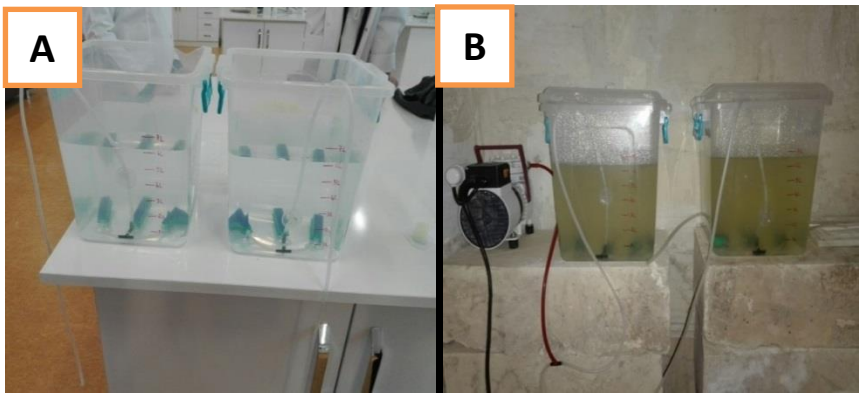
Şekil 11. Harran Üniversitesi Osman Bey Kampüsü Atık Su Arıtma Tesisinde Reaktörlerle Arıtım Çalışmaları

3.1.3. İkinci aşama 3d modül çalışması

Çalışmamızda iki adet aktif hacmi 7 litrelik reaktörler kullanıldı (toplam hacim 9 L). Reaktörlerin hacmi eşit olup eni 19 cm boyu 19 cm yüksekliği 25 cm plastik bir malzemeden oluşturuldu. Her bir reaktör üçer adet havalandırma taşı ile havlandırıldı hava motoru (KNF Neuberger) ile her bir reaktöre 6000 ml /dk hava verildi. Reaktörlerde aynı atıksu kullanılmış olup HRT 1 günde tutuldu (Şekil 12). Çalışmada ultrafiltrasyon membran ve iki adet daire ve poligon 3D dinamik membran modülleri (0.018 m²) kullanıldı. Akı çalışma boyunca ultrafiltrasyon da 15 LMH ve 3D dinamik membranlarda 130 LMH değerinde çalıştırılmaya alındı.

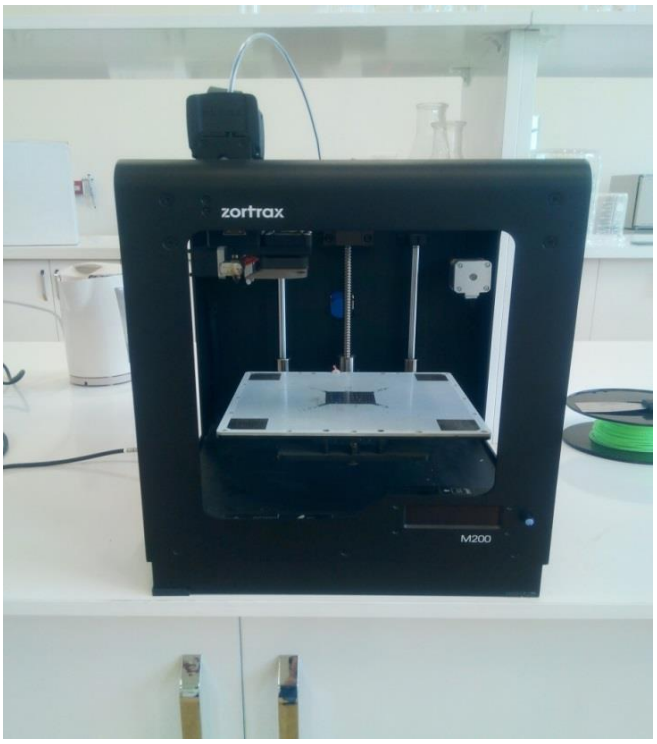
Çizelge 3.2. Sentetik atık su içeriği

KİMYASALLAR	Konsantrasyon (mg/L)
$CH_3COONa*H_2O$	9947
Sukroz ($C_{12}H_{22}O_{11}$)	5300
$CaCI_2*2H_2O$	2000
NH_4Cl	4052
K_2HPO_4	2000
KH_2PO_4	2000
$MgSO_4*7H_2O$	2000
$FeCl-6H_2O$	200



Şekil 12. Reaktörlere ait kurulum (A) ve işletim sırasındaki (B) görüntüleri.

Reaktörlerde katı sıvı ayrımı için kullanılacak dinamik membran bu aşamada 3 boyutlu yazıcı (ZORTRAX M200) ile üretildi.



Şekil 13. 3D yazıcı (ZORTRAX M200)

ZORTRAX M200 prototipleme ve çeşitli üç boyutlu modeller oluşturmak için kullanılır. Mekanik parçalar, yapılar, endüstriyel kalıplar, günlük hayatta kullanılan

objeler bu yazıcı ile üretilebilir. Yüksek hassasiyeti sayesinde detaylı ve pürüzsüz yüzey kalitesi elde edilebilir.

Çizelge 3.3. Zortrax M200 yazıcının özellikleri

ÖZELLİKLER	BASKI	FİZİKSEL ÖLÇÜLER
Baskı teknolojisi	LPD - Layer Plastic Deposition	
Üretim hacmi	200 x 200 x 185 mm	
Katman kalınlığı	Yüksek: 25-50 mikron Standart: 90-400 mikron	
Duvar kalınlığı	Minimum: 400 mikron Optimum: 800+ mikron	
Tekil Basılabilir Nokta Çözünürlüğü	400+ mikron	
Flament çapı	1.75 mm	
Hammedde	Z-Filamentleri	
Nozzle ölçüsü	0.4 mm	
X/Y Ekseni Hassasiyeti	1.5 mikron	
Z Ekseni Hassasiyeti	1.25 mikron	
Maksimum Çalışma Sıcaklığı	360 ˚ C	
Maksimum Isıtmalı Tabla Sıcaklığı	110 ˚C	
Çalışma Ortamı Sıcaklığı	15-35 ˚C	
Filament Makarası Olmadan		345 x 360 x 430 mm
Filament Makarasıyla		345 x 430 x 430 mm
Ağırlık		13.5 kg

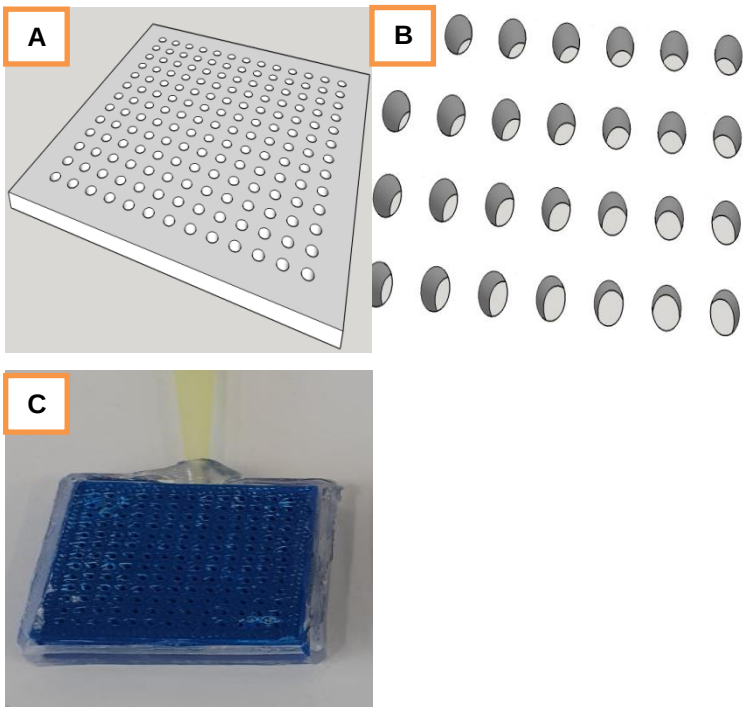
Üç boyutlu yazıcı ile üretilen çeşitli modüller 7 L'lik reaktörlerde katı sıvı ayrımı için test edildi. Yapılan çalışmanın kıyaslanabilmesi için ise bir diğer 7L'lik reaktörde aynı ölçülerde ultrafiltasyon membranı kullanıldı. Bu çalışma sırasında düzenli aralıklarla reaktör içinden KOİ, pH, bulanıklık, çözünmüş oksijen NO_3-NO_2 analizleri, süzüntüden ise KOİ, bulanıklık, NO_3-NO_2 ölçümleri yapıldı. Üretilen dinamik modüllere ait teknik özellikler aşağıda sunulmuştur.

3.1.3.1. Daire üç boyutlu modeli

Her bir membran yüzeyinin etkin alanı 0. 018 m² olacak şekilde iki adet etkin yüzey oluşturuldu. Membranlara uygulanacak basınç düşük olduğu için modül içleri boş bırakıldı.

Çizelge 3.4. Daire üç boyutlu modelin özellikleri

Dinamik membranın por çapı	500 (R)
Dinamik membran boyutu	30*30 (mm)
Tahmini baskı sürsi	31 dakika
Malzeme kullanımı	1.17 m (3 g)
Yazıcı	Zortrax M200
Profil	Küçük baskılar- yüksek kaliteli mod
Malzeme	Z-ABS
Katman kalınlığı	0.09 mm
Kalite	Normal
Dolgu	Katı
Fan hızı	Otomatik
Örgü	Normal örgü
Dış kontürler	0
Delikler	0
Yüzey katmanları üst	9
Yüzey katmanları alt	4

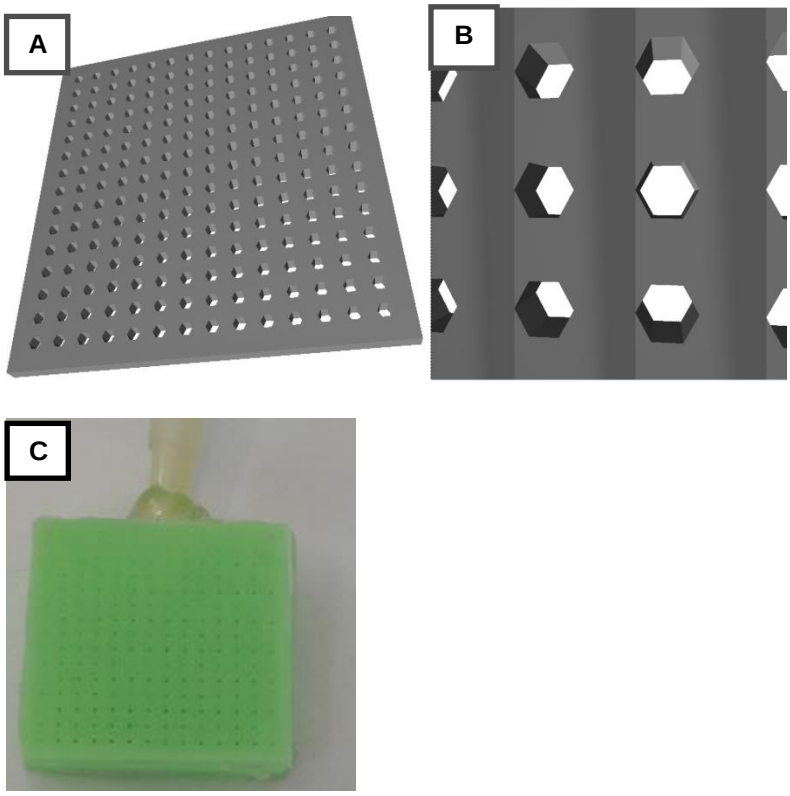


Şekil 14. A: 3D modül SKP dosyası B:Tasarımı C: Çıktısı

3.1.3.2. Poligon üç boyutlu modeli

Çizelge 3.5. Poligon üç boyutlu modelin özellikleri

Dinamik membranın por çapı	500 (R)
Dinamik membran boyutu	30*30 (mm)
Tahmini baskı sürsi	36 dakika
Malzeme kullanımı	1.18 m (3 g)
Yazıcı	Zortrax M200
Profil	Küçük baskılar- yüksek kaliteli mod
Malzeme	Z-ABS
Katman	0.09 mm
Kalite	Yüksek
Dolgu	Katı
Fan hızı	Otomatik
Örgü	Normal örgü
Dış kontürler	0
Delikler	0
Yüzey katmanları üst	9
Yüzey katmanları alt	4



Şekil 15. A: 3D modül SKP dosyası B:Tasarımı C: Çıktısı

3.1.3.3. Ultrafiltrasyon membran

Ultrafiltrasyon mikron boyutundaki yani 0,001 mm ile 0,02 mm boyutlarındaki asılı parçacıkları tutabilmesi için 30 mm x 30 mm boyutunda tasarlanmıştır.



Şekil 16. Ultrafiltrasyon membran tasarımı

3.2. Yöntem

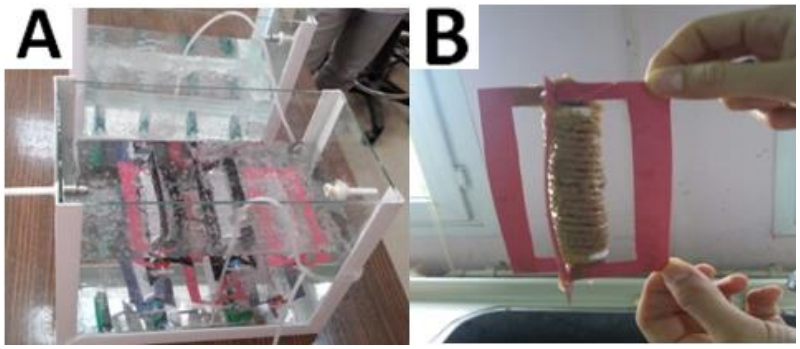
3.2.1. Analitik yöntem

KOİ standart metotlara göre kapalı şişe yöntemine göre FAS ile titre edildi; Toplam azot, Amonyum azotu ve toplam fosfor Hack kitleri ile; pH, multimetre ile (Hanna Ins. HI 221); Çözümüş Oksijen ve Sıcaklık (Hanna Ins. HI 2400) ile; nitrit nitrat ve fosfat iyon kromotografi cihazı ile AS9 kolonu ile; TKM – TUKM, AKM-UAKM standart metotlara göre, Bulanıklık Scientific, inc Micro 1000 Turbidimeter cihazıyla ölçüm yapıldı.

4. SONUÇLAR

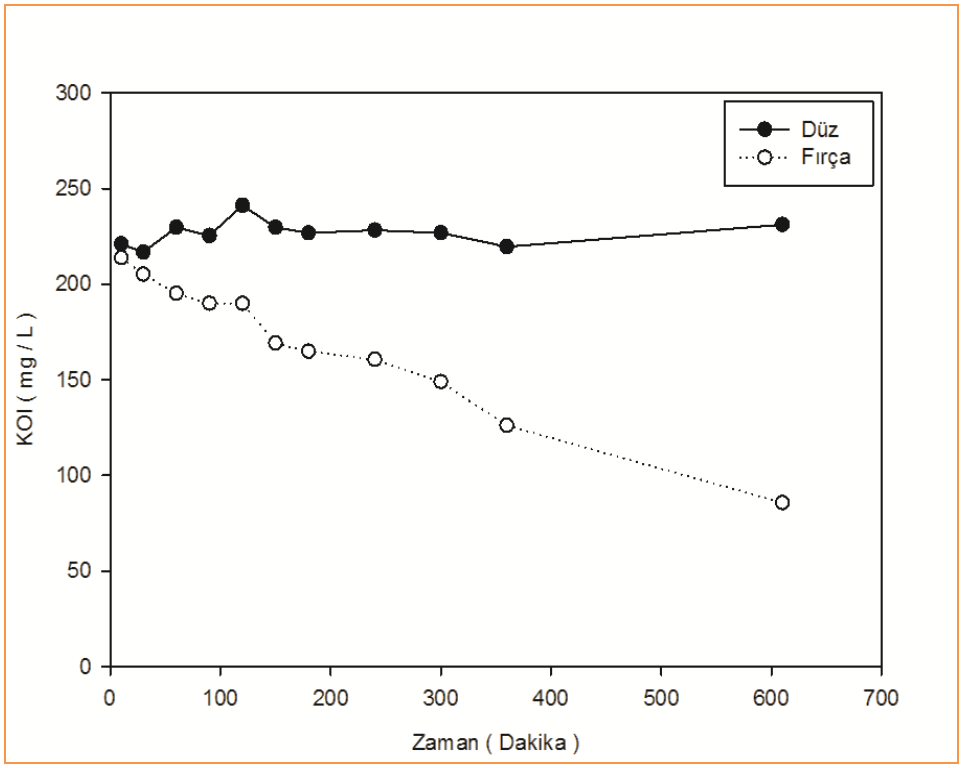
4.1. Fırça Çalışması

Tez çalışmasında fırça modifiye reaktörün performansı takip edilmiştir. Bu amaçla dinamik membran biyoreaktörlerin kurulmasından önce 1 nolu reaktörde fırçalar yerleştirilmiş ve KOİ giderim verimine etkisi araştırılmıştır. Her iki reaktör 92 gün boyunca işletilmiş olup KOİ 1 nolu reaktörde %86 verimle giderilirken 2 nolu reaktörde %84 giderildiği gözlemlenmiştir(Şekil 17).



Şekil 17. A-) Fırça modifiye uygulaması B-) Fırça yüzeyinde oluşmuş mikroorganizmalar (Fırçalar etrafındaki kanatlar fırçaların havalandırma etkisi ile dönüşü için tas-arlanmıştır. Bu sayede homojen mikroorganizma tutumu sağlanmıştır)

Reaktörlerdeki yüksek TUKM ve 1 günlük HRT'de fırça modifikasyonunun etkisi gözlenenemiştir (her iki reaktörde de %85'in üzerinde KOİ giderim verimi gözlenmiştir). Fırça modifikasyonunun belirlenebilmesi için reaktörlerdeki tüm askıdaki biyokütle ayrı bir kaba alınmış, reaktörlere sadece sentetik besin verilmiştir. Bu durumda reaktörlerden birinde sadece sentetik besin bulunurken (Kontrol Reaktörü) diğerinde sentetik besin ve fırça üzerinde immobilize olmuş mikroorganizmalar varken KOİ giderim verimi izlenmiştir.



Şekil 18. 610 dakikalık süreçte fırça malzeme üzerine tutunan mikroorganizmaların KOİ giderim verimleri

Şekil 18'de görülebileceği üzere 610 dakikalık bir süreçte mikroorganizma içermeyen reaktörde KOİ giderimi gözlenmezken, fırça üzerinde tutunmuş mikroorganizmalar ile 225 mg/L'lik giriş KOİ'nin %62'sinin giderilebileceği görülmüştür(EKER, 2006).

Fırça biyoreaktör uygulamaları ile mikroorganizmalar reaktör içinde tutulurken çökeltim ünitesine ulaşan mikroorganizma miktarı kontrol edilebilir. Bu sayede havalandırma havuzunda yüksek mikroorganizma konsantrasyonlarına ulaşılabilir. Fırça modifikasyonu ile aynı zamanda fırça üzerinde oksijen gradyanı da sağlanabilir (granüler mikroorganizma yapılarına benzer). Bu sayede azot türevleri başta olmak üzere çok çeşitli kirleticilerin giderimi mümkün olabilir.

Literatürde fırça modifikasyonu üzerine yapılan çalışmalarda para-klorofenol, 2,4 diklorofenol, 2,4,6-triklorofenol içeren sentetik atıksular ile çalışmalar mevcuttur(EKER, 2007; EKER ve KARGİ, 2008).

4.2. Dinamik Membran Uygulamaları (Klasik Katı Sıvı Çökeltim Süreci)

Tez çalışmamızda iki adet 15 L özdeş reaktör kurulmuş olup reaktörlerde farklı gözenek boyutuna sahip dinamik membran modülleri kullanılmıştır. Çalışmanın ilk 103 günü boyunca her iki reaktöre de 500 mg/L atıksu beslenmiş olup HRT 1 gün'de tutulmuştur. Bu süreçte reaksiyon sonucunda katı sıvı ayrımı (mikroorganizmaların arıtılmış sudan ayrılması) konvansiyonel bir yöntem olan çökeltim ile gerçekleştirilmiştir. Bu periyotta giriş 500 mg/L KOİ konsantrasyonu R1 ve R2 reaktörleri için sırasıyla 70.36 ± 4.46 ve 81.10 ± 2,59 mg/L olup arıtım verimi yaklaşık olarak %85'tir. İlk periyotta 103 gün boyunca işletilen reaktörlerde TKM konsantrasyonu her iki reaktör için de 8000 mg/L seviyesine ulaşmıştır. Reaktörlerde TKM konsantrasyonu ideal arıtım verimi ve başarılı çökeltimin sağlanabilmesi için 8000 mg/L'nin altında tutulmalıdır(ORHON, 1997).

4.2.1. Dinamik modül (140 µm ve 200 µm) uygulaması kek tabakası oluşumu

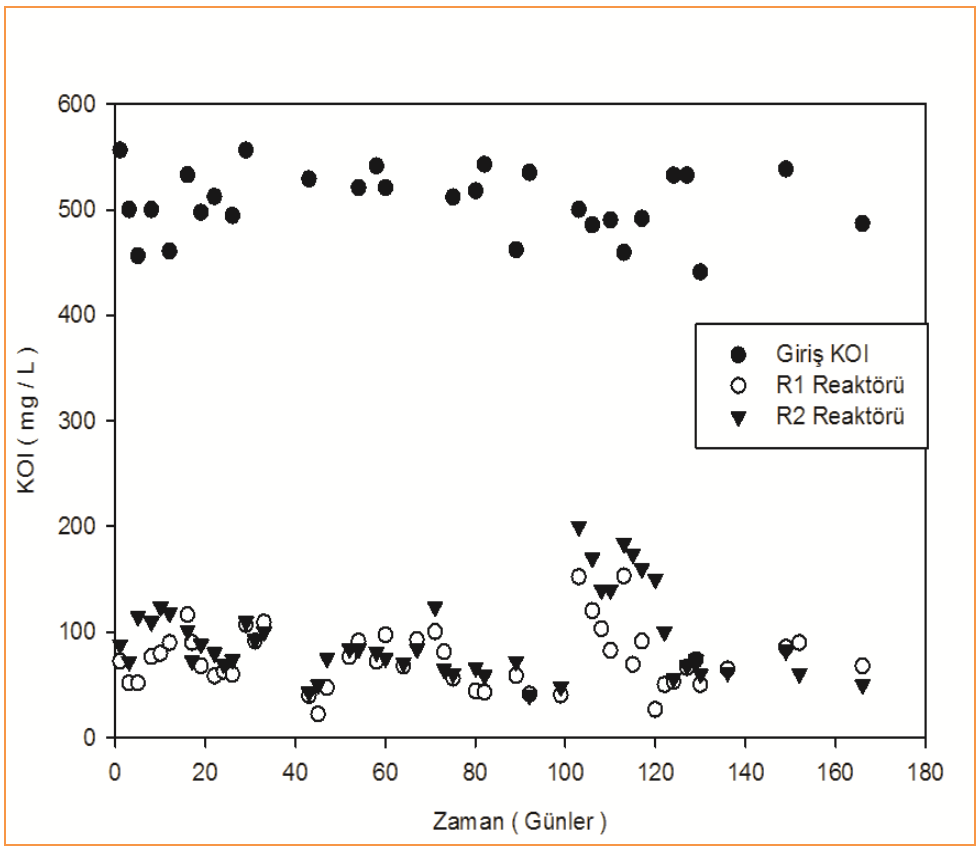
4.2.1.1. Kimyasal oksijen ihtiyacı

Çalışmanın 103. Gününde 140 µm gözenek çapına sahip dinamik membran modülü 1 nolu reaktöre takılırken, reaktör 2'ye 200 µm gözenek çapına sahip dinamik membran modülü yerleştirilmiştir (Şekil 19).



Şekil 19. A: Dinamik membran modüllerinin aktif çamur sistemine takılması B: 200µm C: 140 µm dinamik modüller

Aktif çamur sistemlerine mikroorganizma boyutları değişkenlik göstermekle birlikte genel bir yaklaşımla 1 µm alınabilinirler. Reaktörlere yerleştirilen modüller 140 ve 200 µm olduğu için sürecin başında dinamik tabaka (kek tabakası) oluşuncaya kadar çıkış suyuna mikroorganizma kaçması kaçınılmazdır. Dolayısı ile yüksek KOİ gözlenmesi muhtemel olup tez çalışmasında benzer bir durum gözlenmiştir. Modüllerin takıldığı 103. gün çıkış KOİ konsantrasyonu 140 µm'lik 1. nolu reaktörde 40 mg/L'den 152'ye; 200 µm'lik reaktörde ise 48 mg/L'den 200 mg/L'ye bir çıkış gözlenmiştir. Yüksek KOİ çıkışının gözlendiği süreç yaklaşık 20 gün sürmüş ve sonrasında KOİ değerleri kararlı hal durumuna ulaşmıştır. 103 – 123. Günler arasında KOİ konsantrasyonu 140 µm-R1 için 94±18 ve 200 µm-R2 için 157±28 mg/L'dir.



Şekil 20. 140 µm-R1 ve 200 µm-R2 için giriş ve çıkış KOİ konsantrasyonları

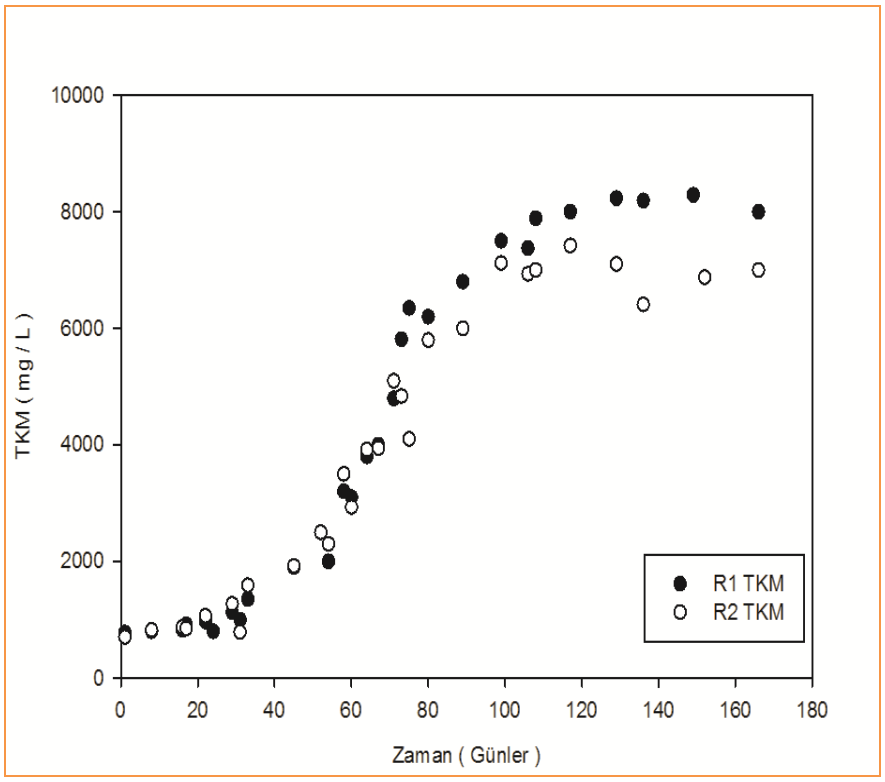
Dinamik tabakanın oluşumunun tamamlanması ile çıkış KOİ konsantrasyonları sabit bir değerde çalışma sonuna kadar devam etmiştir. Dinamik membran modülün çalışması ile çıkış ortalama KOİ konsantrasyonları 140 µm-R1 ve 200 µm-R2

reaktörleri için sırası ile 61±8 ve 65±9.1 mg/L'dir.

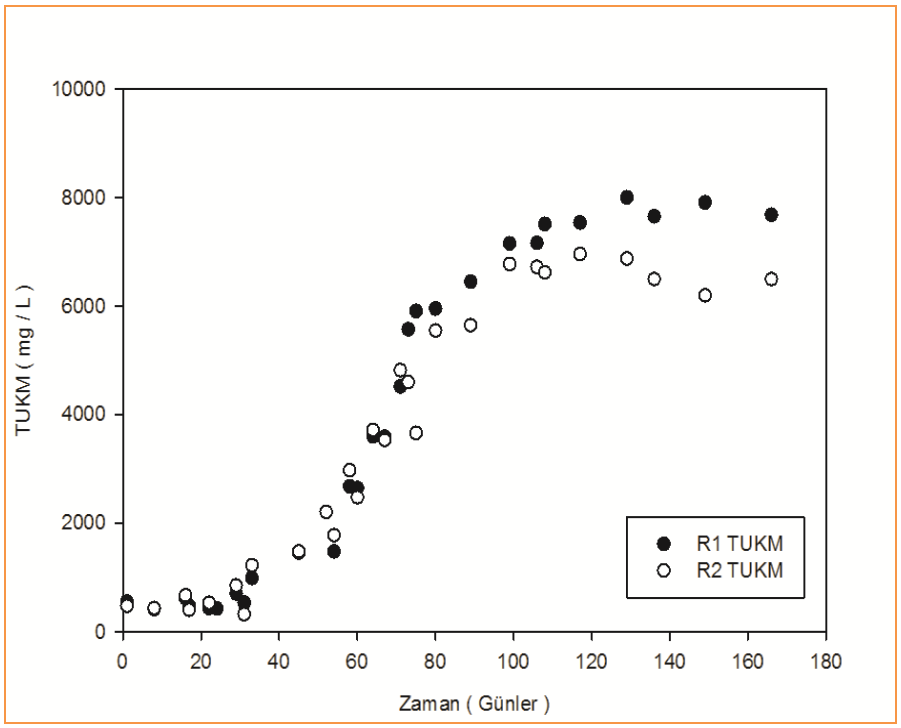
Literatür ile uyumlu olarak tez çalışmasında dinamik tabakanın ilk oluşumu yaklaşık 20 günlük bir süre gerektirmiştir. Şekil 20'de ayrıca 200 µm-R2 reaktörü için dinamik tabaka oluşum sürecinde daha yüksek çıkış KOİ değerleri görünmektedir. Ayrıca R2 için gözenek çapı ile ters orantılı olarak dinamik membran oluşum sürecinin R1'den daha uzun olduğu görünmektedir. Fakat dinamik tabakanın teşkili sağlandıktan sonra çıkış KOİ değerleri konvansiyonel bir çökeltim havuzu değerlerine yakındır. Bu durum dinamik membran modüllerinin çökeltim havuzlarına bir alternatif teşkil ettiğini göstermektedir. Alan ihtiyacının sınırlı ya da yüksek biyokütle gereksiniminin olduğu (ör: yüksek organik yükleme nedeni ile) durumlarda dinamik membran biyoreaktörler uygulanabilir. Çalışmada her iki reaktör için %95 oranında KOİ giderim oranı elde edilmiştir.

4.2.1.2. TKM ve TUKM oluşumu

Tez çalışmasında gözlemlenen TKM ve TUKM oranları incelendiğinde ise TUKM oluşum oranının çok düşük olduğu gözlenebilir. Reaktörler uzun havalandırmalı süreçte işletildiği için gözlenen YH oranının teorik değerden çok daha düşük olduğu anlaşılmaktadır. Reaktörlerin aşılandığı dönemde TUKM konsantrasyonları ortalama 500±25 mg/L iken, yaklaşık 80 günlük bir süreçte 6000 mg TUKM /L seviyesine ulaşılmıştır. Her iki reaktöre ait TKM ve TUKM konsantrasyonları aşağıdaki şekillerde sunulmuştur(Şekil 21 ve şekil 22).



Şekil 21. Her iki reaktöre ait toplam katı madde konsantrasyonları



Şekil 22. Her iki reaktöre ait toplam uçucu katı madde konsantrasyonları

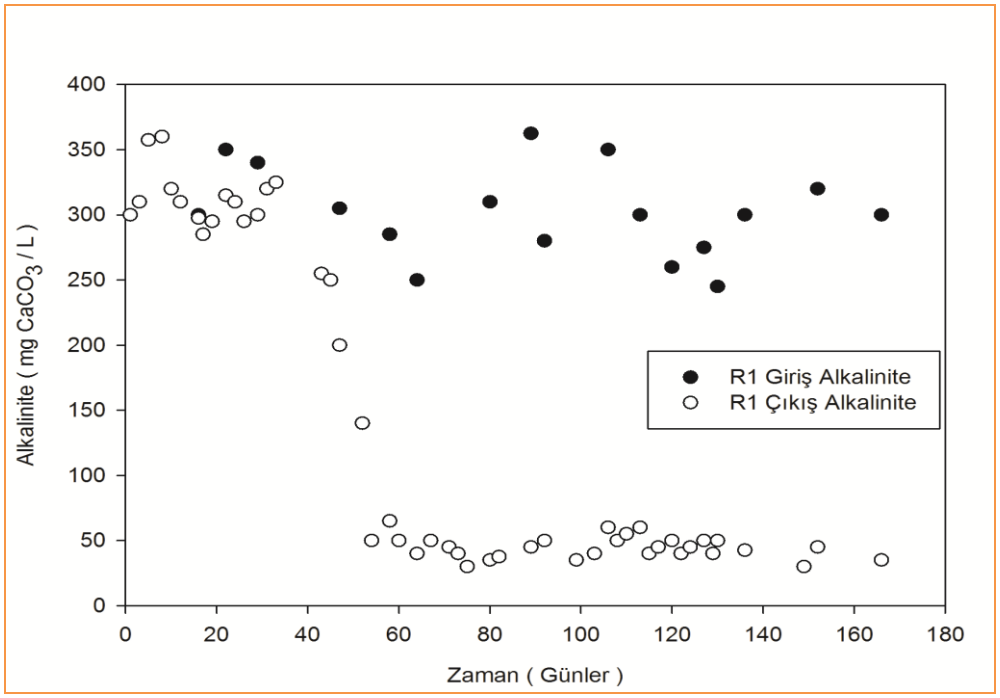
Dinamik membran modüllerinin takılmasının ardından TUKM artışı durduruldu ve reaktörler sonsuz çamur yaşında işletildi. Bu süreçte TUKM'de dinamik membran modülüne bağlı bir azalış da gözlenmemiştir. TUKM konsantrasyonunun korunması için dinamik tabaka oluşuncaya kadar sistem geri devirde işletilmiş ve TUKM konsantrasyonu korunmuştur. 20 gün süren bu sürecin sonunda çıkış TUKM konsantrasyonları düşmüş ve dinamik membran modülü uygun katı sıvı ayrımı seviyesine ulaşmıştır. Aşağıdaki şekillerde (Şekil 23) reaktör içinden ve dinamik membran modülü çıkışından alınan numuneler görünmektedir.



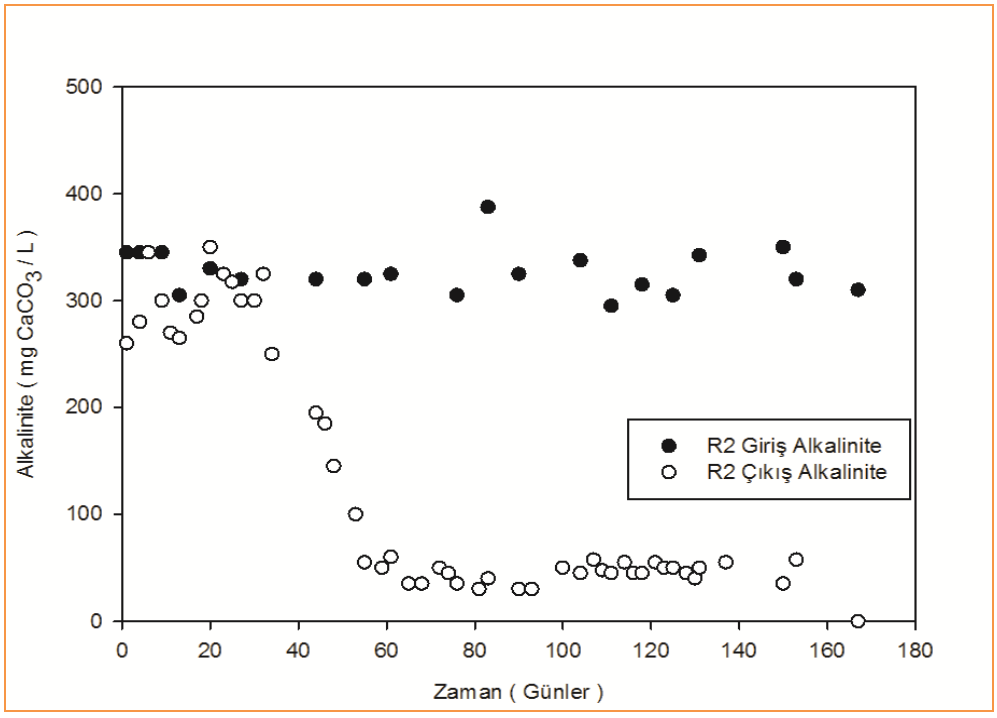
Şekil 23. Tam Karışımlı Reaktörlerden Alınan Numune (sol tüp) ve dinamik membran çıkışından alınan (sağ) alınan numuneler

4.2.1.3. Alkalinite

Tez çalışmasında alkalinitede TUKM oluşumuna ve KOİ giderim verimine göre alkalinitede düşüş gözlenmiştir(Şekil 24 ve Şekil 25).



Şekil 24. 140 µm-R1 reaktörü giriş ve çıkış alkalinite değerleri



Şekil 25. 200 µm-R2 reaktörü giriş ve çıkış alkalinite değerleri

Çalışmada her iki reaktör için de 250 mg $CaCO_3$/L'lik bir düşüş gözlenmiştir. Giriş atıksuyunda bulunan 50 mg/L NH_4^+-N bulunurken, çıkış suyunda bu azot

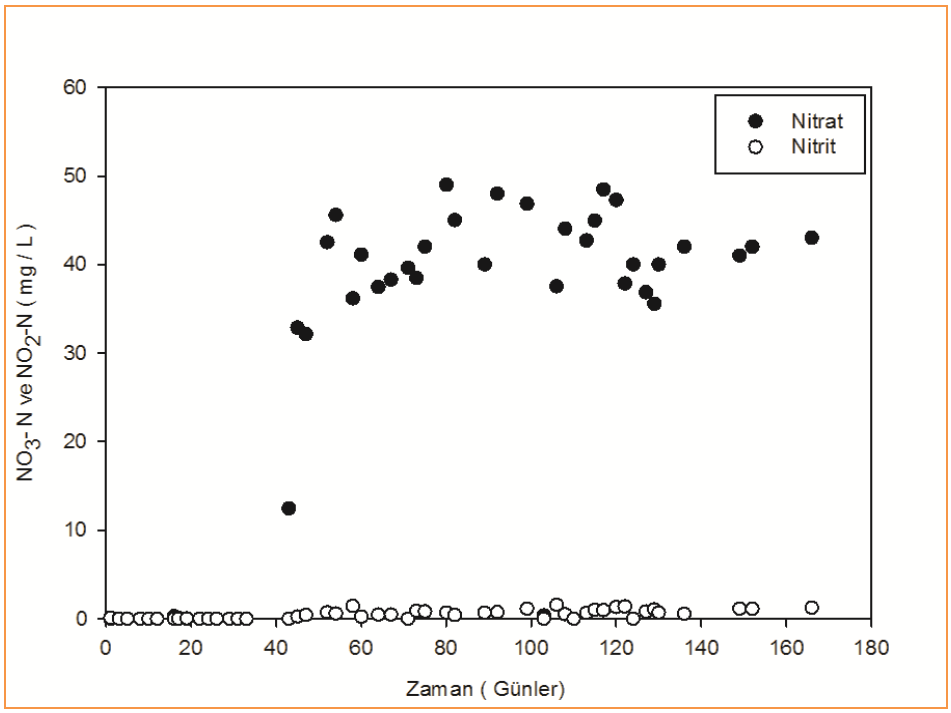
büyük oranda nitrifikasyona uğrayarak 140 µm R1 ve 200 µm R2 reaktörler için sırasıyla 39±7 ve 37±6 mg NO_3^--N üretilmiştir. Tüketilmesi gereken alkalinite miktarları ise 260-275 mg $CaCO_3$/L aralığında olup sonuçlar ile uyumludur.

4.2.1.4. Nitrifikasyon performansı

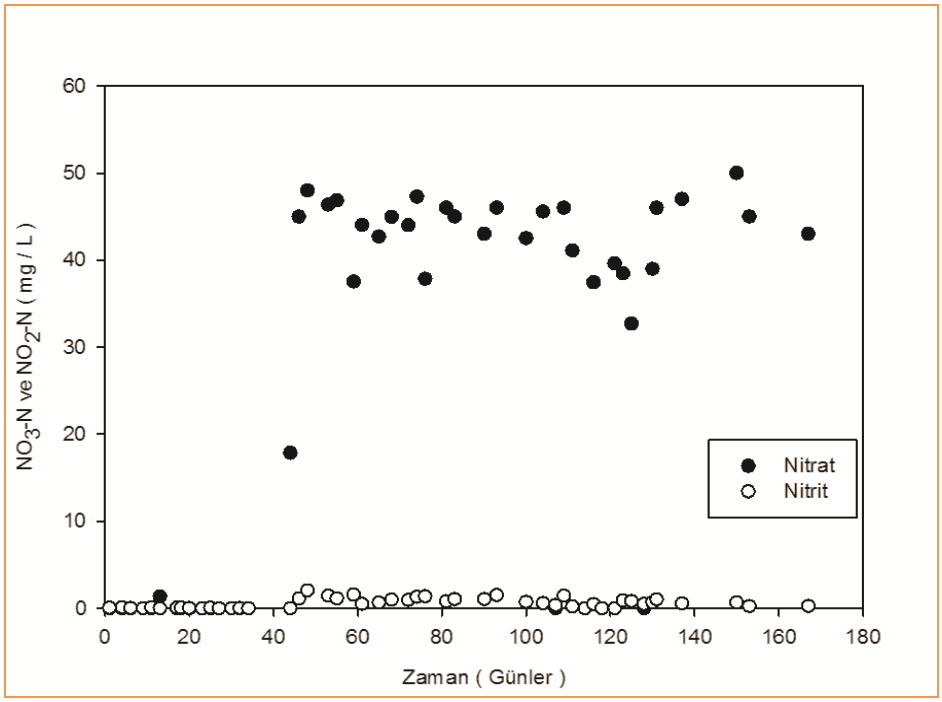
Aktif çamur sistemlerinde heterotrofik mikroorganizmalara ek olarak uzun çamur yaşında işletilen reaktörlerde ototrofik nitrifikasyon bakterileri de bulunmaktadır. Bu mikroorganizmalar inorganik karbon kaynağı kullanıp enerjileri için gerekli elektronları da amonyumun oksidasyonu ile elde etmektedirler. Gerek amonyum oksidasyonundan az enerji elde etmeleri gerekse elde edinebildikleri enerjinin büyük kısmını inorganik karbon kaynaklarını hücre sentezi için harcamak zorunda kalmalarından dolayı heterotrofik mikroorganizmalar kadar hızlı büyüyemezler. Aynı sebeplerden dolayı değişen çevresel koşullara göre daha az dayanıklı olup faaliyet göstermeleri uzun süreler gerektirebilir.

Nitrifikasyon sürecinin karbon giderimi ile birlikte yapılması söz konusu olduğunda çamur yaşının nitrifikasyon bakterilerine göre seçilmesi şarttır. Bu reaktörlerde karbon giderimi işletimin hemen sonrasında gözlenebilirken, nitrifikasyon sürecinin çalışması zaman almaktadır.

Aktif çamur sistemlerine giren azotun bir kısmı gerek heterotrof gerekse ototrofik hücrelerin oluşumunda kullanılır. Kalan azot ise nitrifikasyon mikroorganizmaları tarafından reaksiyon (N) uyarınca okside olur. Çalışmada 140 µm R1 ve 200 µm R2 reaktörlerinde giriş suyunda bulunan 50 mg/L NH_4^+-N'in sırasıyla % 78 ve % 74'ü sırasıyla nitrifikasyona uğrayarak NO_3^--N'e dönüşmüştür (Şekil 26 ve 27).



Şekil 26. 140 µm R1 reaktörü çıkış nitrat ve nitrit değerleri



Şekil 27. 200 µm R2 reaktörü çıkış nitrat ve nitrit değerleri

4.2.2. Dinamik modül ile osmanbey kampüsü atıksu tesisinde gerçek atıksu ile arıtım

Reaktörler Osman Bey Atıksu Arıtma Tesisine (Şekil 28.) taşınarak gerçek kampüs atıksuyu ile beslendi. Bu atıksudaki KOİ değeri 238 mg/L olup 17 gün boyunca arıtmaya tabi tutuldu.



Şekil 28. Harran Üniversitesi Osman Bey Kampüsü Atık Su Arıtma Tesisinde Reaktörlerle Arıtım Çalışması

Gerek laboratuvar ölçekli çalışmada, gerekse atıksu arıtma tesisinde yapılan gerçek ölçekli çalışmada alkalinite değerleri sabit kalmış olup herhangi bir toksisite gözlenmemiştir. Tesiste gerçek atıksu ile yapılan çalışmada ise KOİ değeri 140 µm'lik modüle sahip reaktörde 238mg/L den 85mg/L'ye (%65 verim) 200 µm'lik modüle sahip reaktörde ise KOİ 244mg/L den 82mg/L'ye (%67 verim) düşmüştür. Yapılan çalışmada membran modülleri ile difüzörlerin konumlarının kek tabakasının oluşabilirliği açısından büyük önem taşıdığı görülmüştür.

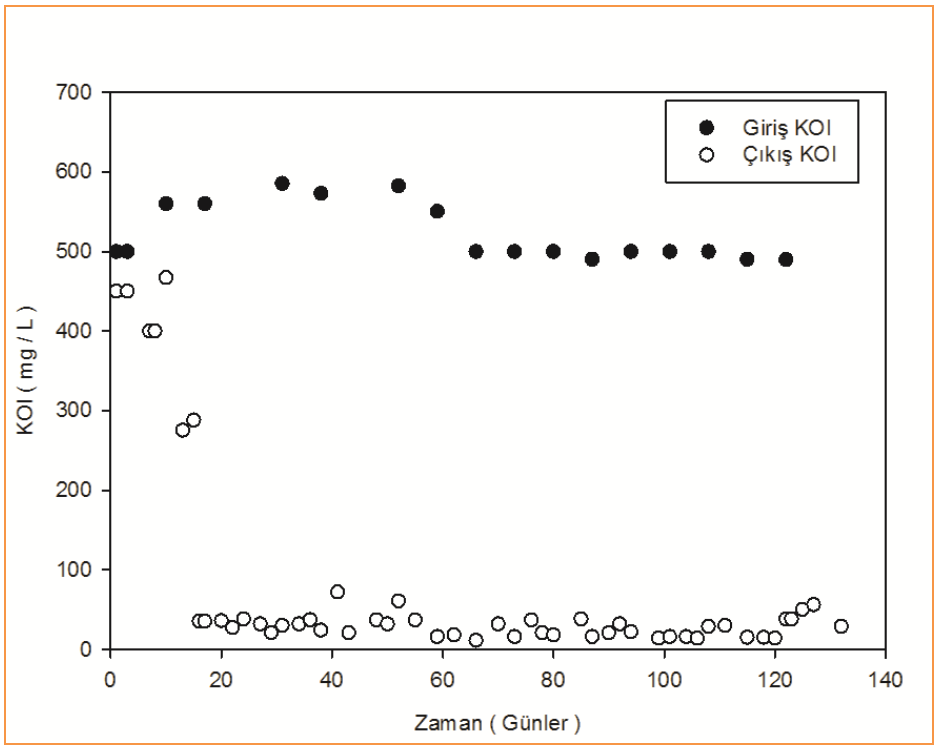
4.3. İkinci Aşama 3D Dinamik Membran Modüllerin Katı Sıvı Çökeltim Süreci

Dinamik membran biyoreaktörlerde evsel atıksuların arıtımının test edilmesinde iki adet 7 litrelik reaktör birbirine paralel halde 122 gün boyunca

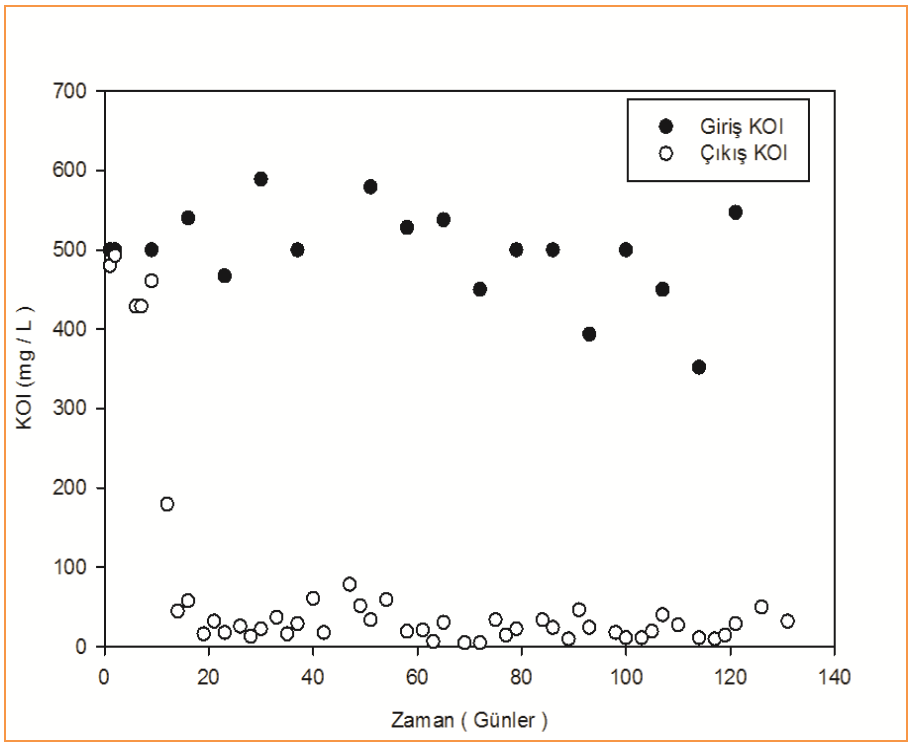
işletilmiştir. Reaktörler ilk bir ay boyunca mikroorganizmaların oluşum süreci için sentetik atıksu ile beslenmiş olup bu aşamada giriş KOİ 500 mg/L civarında tutulmuştur. Aşı çamuru Harran Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde hali hazırda işletilmekte olan diğer aerobik reaktörlerden alınmıştır.

4.3.1. Kimyasal oksijen ihtiyacı

1 (R1) ve 2 (R2) nolu reaktörlerde kimyasal oksijen ihtiyacı sırası ile aşağıdaki grafikte gösterildiği gibidir. 1 nolu reaktörde 11. günde KOİ miktarı 35 mg/L, 2 nolu reaktörde ise KOİ miktarı 44 mg/L'ye düşmüştür. Çalışma süresi boyunca KOİ konsantrasyonları 1 nolu reaktörde %98 'lik bir düşüşle 10 mg/L seviyelerine inerken 2 nolu reaktörde ise % 84 'lik bir verimle 80 mg/L seviyelerine düşmüştür.

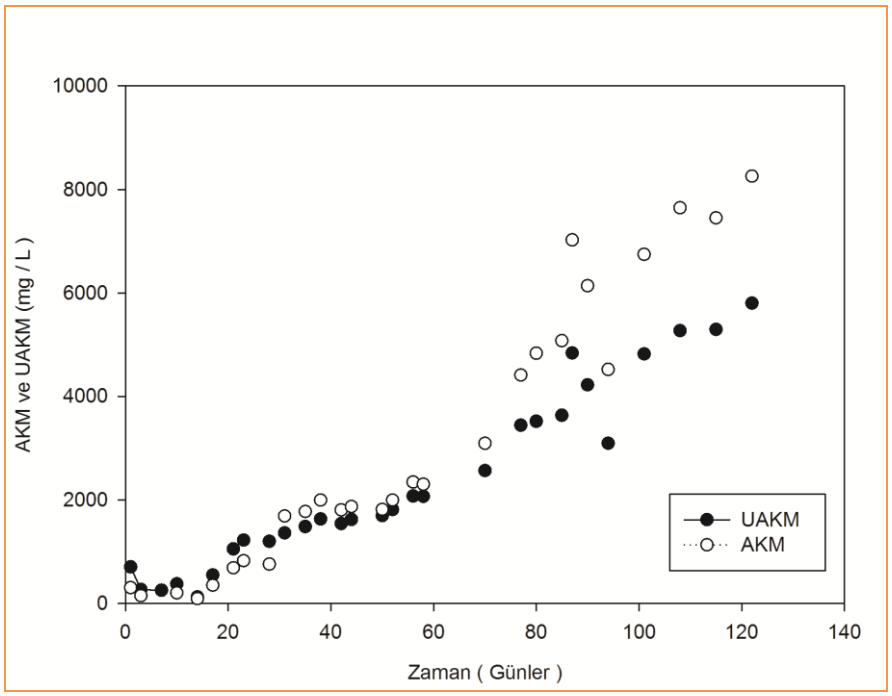


Şekil 29. R1 reaktörü giriş çıkış KOİ konsantrasyonları değerleri

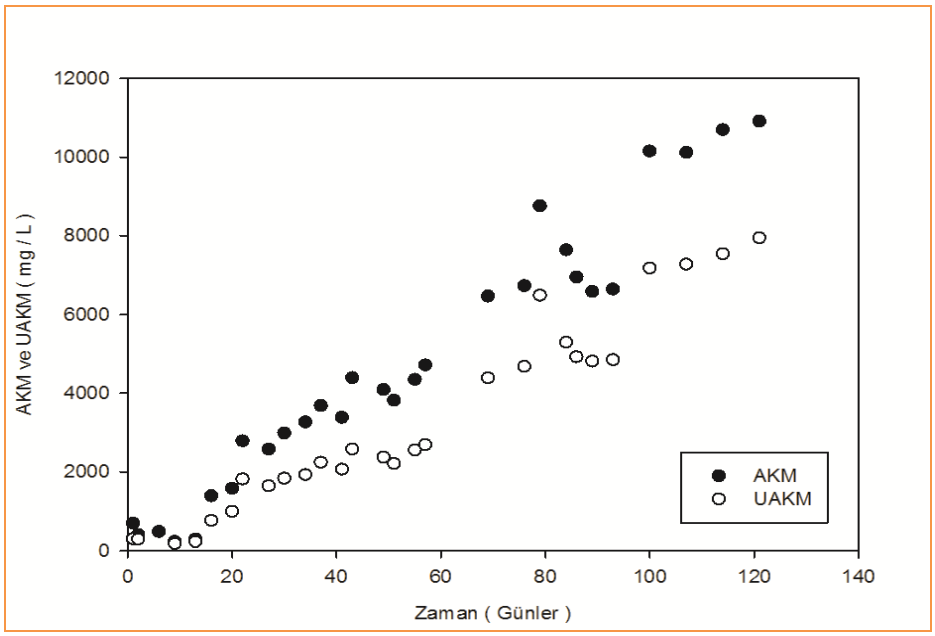


Şekil 30. R2 reaktörü giriş çıkış KOİ konsantrasyonları değeri

4.3.2. AKM ve UAKM oluşumu



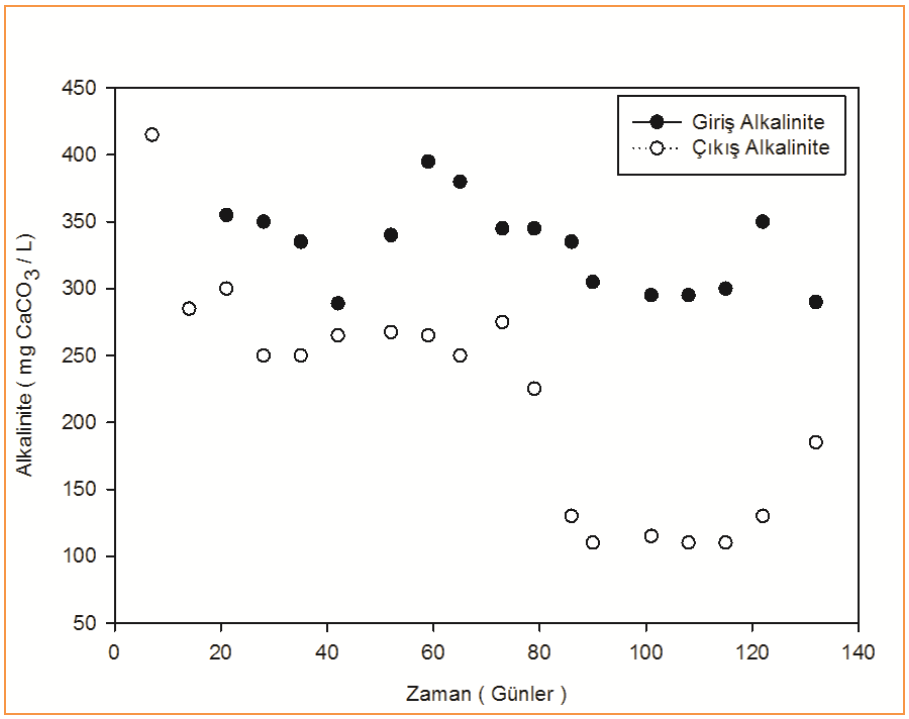
Şekil 31. R1 reaktörü AKM ve UAKM değerleri



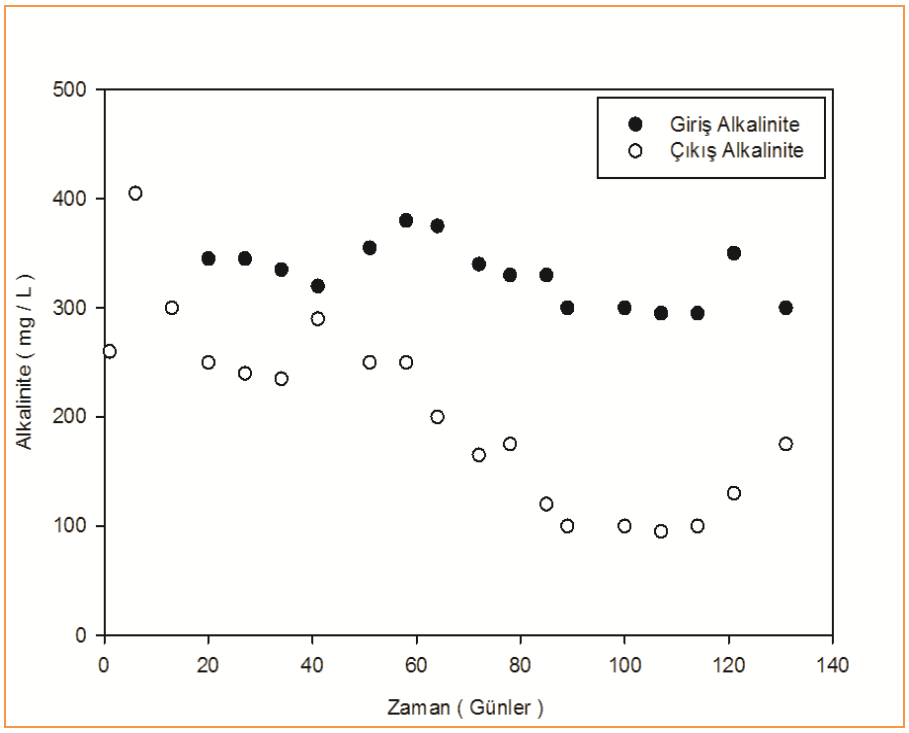
Şekil 32. R2 Reaktörü AKM ve UAKM değerleri

4.3.3. Alkalinite

Nitrifikasyon süreci alkalinite tüketen bir süreçtir. 1 mg amonyum azotunun tüketilmesi için 7.14 mg $CaCO_3$ tüketilir. Yapılan çalışmada buna uyumlu bir şekilde alkalinite düşüşleri gözlenmiştir. Bu aşamada giriş suyundaki 350 mg/L alkalinite çıkışta sırası ile R1 reaktöründe 130±20 mg/L seviyelerine inerken R2 reaktörü için ise 107±15 mg/L seviyelerine gerilemiştir.



Şekil 33. R1 reaktörü alkalinite değerleri



Şekil 34. R2 reaktörü alkalinite değerleri

4.3.4. Nitrifikasyon performansı

Reaktörlerde nitrat konsantrasyonları da takip edilmiş olup her iki reaktörde de 10 mg/L'den daha düşük nitrat azotu ölçülmüştür.

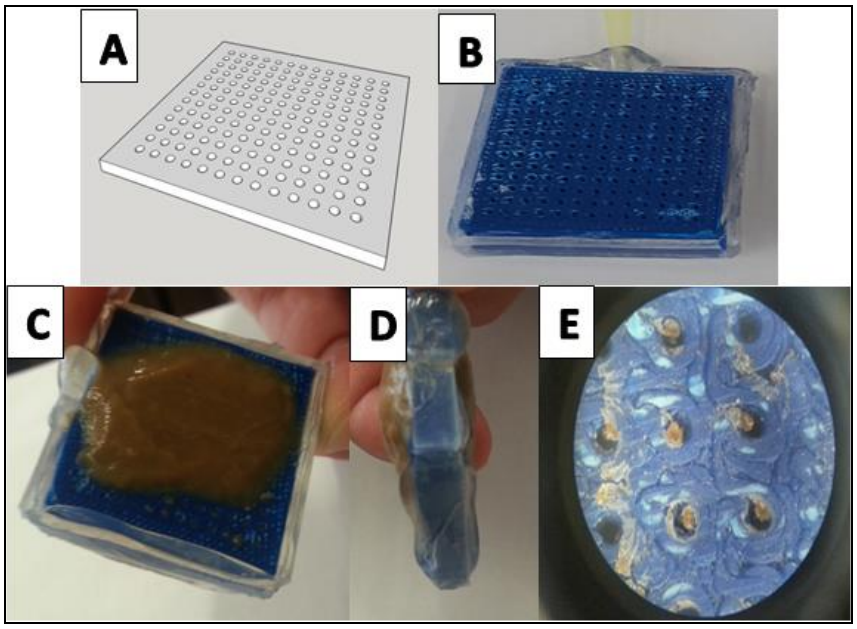
4.4. 3D Dinamik Modüllerin Uygulanması Süreci

Literatürde birçok tekstil malzemesi örgü, ağ vb. malzemeler ile seramik tabakalar bildirilmiştir. Bunlara dayanıklı bir alternatif olması açısından dinamik membran destek tabakalarının üç boyutlu yazıcılar ile yazılarak kullanımı tezin bu aşamasında hedeflenmiştir. Bu amaçla öncelikle Google Sketch Up programı ile dinamik membran modülleri tasarlanmıştır. Tasarımı yapılan modüller sonrasında Gap Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Merkezinde bulunan 3 boyutlu yazıcı ile yazılmış olup kek tabaka oluşum ve KOİ – bulanıklık giderim süreçleri için performansları izlenmiştir. Bu çalışmada yazdırılan destek tabakaları ile kek tabaka oluşumu sonrasında çıkış suyu KOİ ve bulanıklık değerleri atıksuyun santrifüjlenmiş hali ve 0.02 μm'lik ultrafiltrasyon membranı çıkışı ile mukayese edilmiştir.

Çalışma sırasınca çözünmüş oksijen, pH ve AKI sürekli izlenmiştir. Çözünmüş oksijen minimum 4 mg/L olacak şekilde, akı ultrafiltrasyon membranı için 15 LMH ve 3D dinamik membranda 130 LMH'de işletilmiştir.

4.4.1. Daire gözenekli üç boyutlu destek tabaka

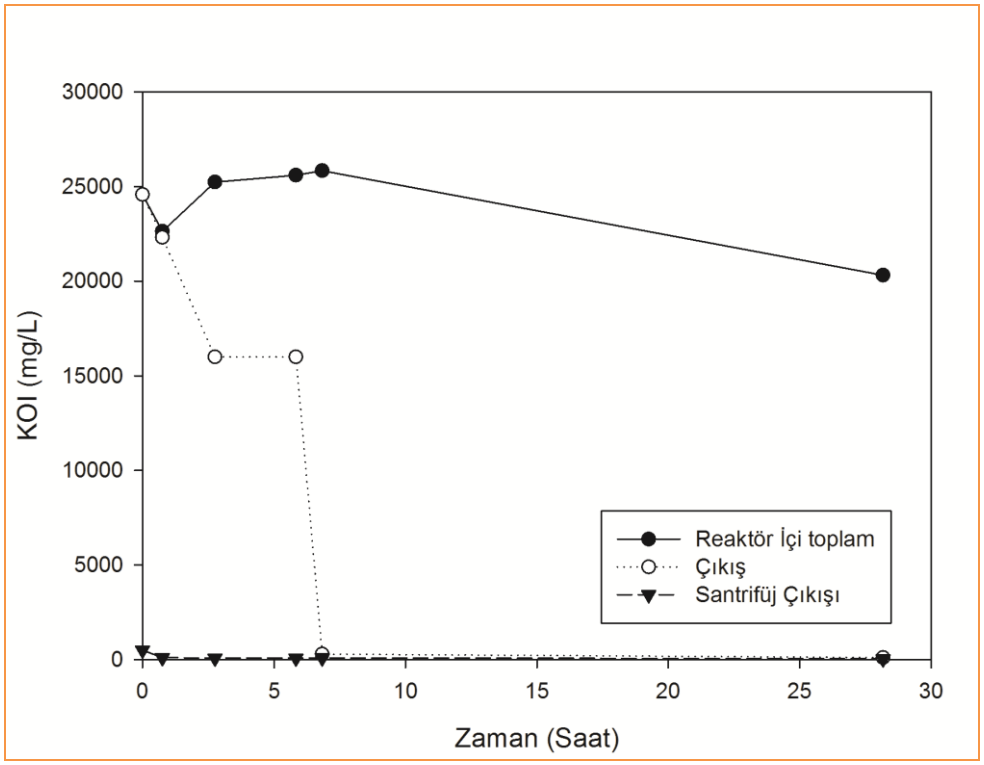
Çalışmada destek tabakanın gözenekleri dairesel olarak tasarlanmıştır. Buna göre tasarım görüntüsü ile baskı sonrası modül görüntüsü Şekil 35'de sunulmuştur. Çalışma sırasınca pH 7.51±0.22 mg/L olarak ölçülmüş olup KOİ ve bulanıklık değerleri aşağıda sunulmuştur.



Şekil 35. A- 3d Dinamik Membran Tasarımı B- Çıktısı C- Uygulanışı ve Kek Tabaka Oluşumu D- Kek Kalınlığı E- 3d Dinamik Membran Mikroskobik Görüntüsü

4.4.1.1. Kimyasal oksijen ihtiyacı ve bulanıklık

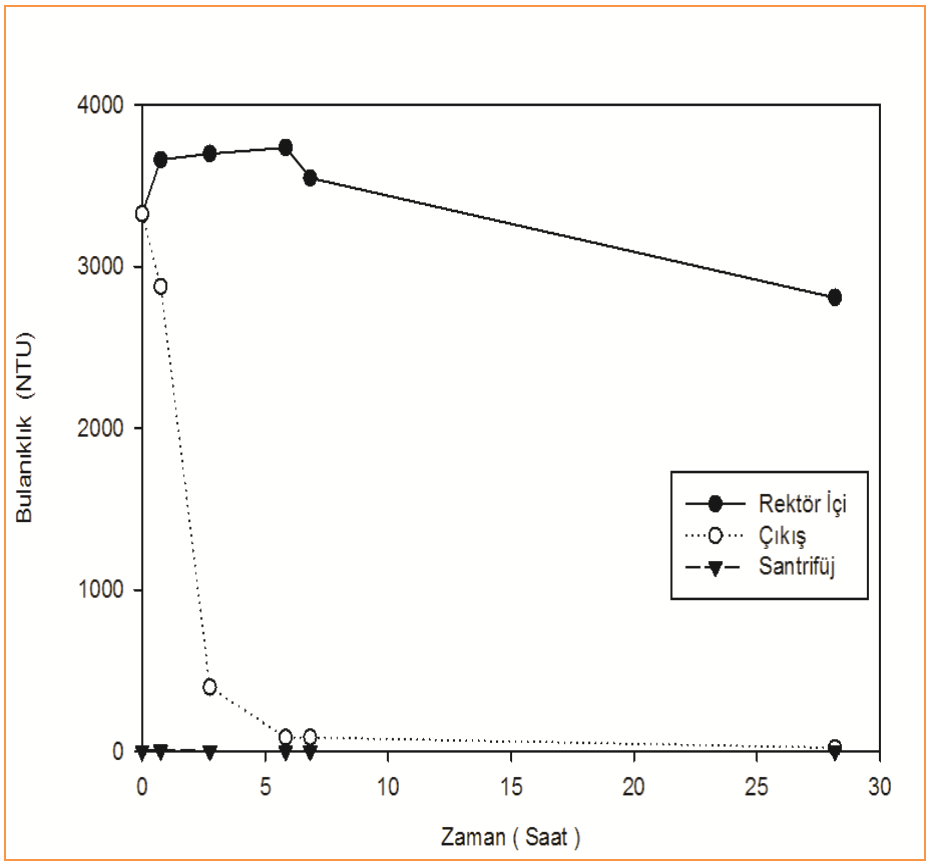
Reaktör UAKM konsantrasyonu 17000 mg/L ve KOİ değeri 25000 mg/L iken dinamik modüller takılmış ve filtrasyon başlamıştır. İlk altı saatlik süreçte çıkış KOİ kademeli olarak düşüş göstermiş ve 6. saatte %99 giderim verimine ulaşılmıştır. Çalışmanın takip eden sürecinde ise %99 seviyelerinde devam etmiştir.



Şekil 36. Daire üç boyutlu dinamik tabakada zamana bağlı KOİ değişimi

Giriş atıksuyun bulanıklığı yaklaşık 3800 NTU'dur. KOİ giderim sürecine benzer şekilde bulanıklık değerleri de ilk altı saatlik süreçte kademeli olarak düşerek 6. saatte 2.12 NTU'ya düşmüştür. Çalışmanın geri kalan kısmında da 2.12 seviyelerinde seyreden bulanıklık çalışma sonunda santrifüj değerine ulaşmıştır. Akı ise 130 LMH değerinde bir çekiş ile başlamış ancak zamanla oluşan kek tabaka ve gözeneklerin tıkanması ile birlikte 10 LMH'a kadar düşmüştür.

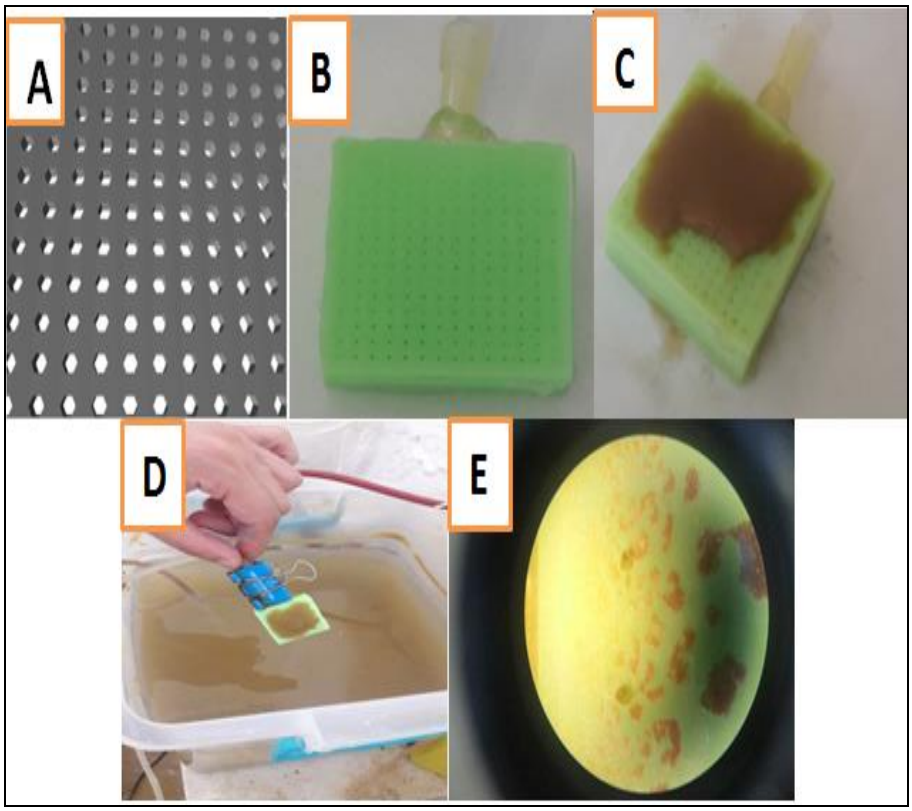
10 LMH değerinde ölçülen TMP 200 mBar seviyesinde olup çalışma sonunda çıkış KOİ ve bulanıklık değerleri sırası ile 104 ve 21.91'dir (% 99.5 KOİ ve % 98.9 bulanıklık giderim verimi).



Şekil 37. Daire üç boyutlu dinamik membran bulanıklık değerleri

4.4.2. Poligon üç boyutlu dinamik membran

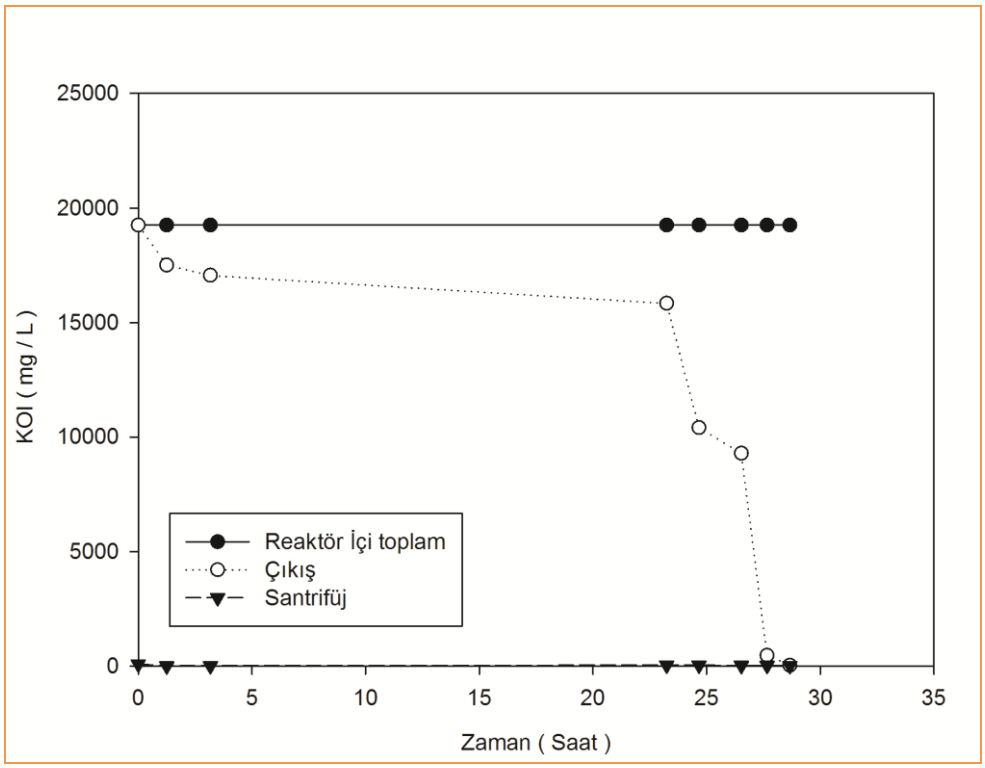
Çalışmanın bu aşamasında tasarlanan dinamik destek tabaka poligon şeklinde tasarlanmış olup dinamik tabaka oluşum süreci izlenmiştir. Gözenek çapı 200 µm olan poligon şeklinde gözenek yapısına sahip modül atıksu filtrasyonunda kullanılmıştır. Destek tabakaya ait tasarım, baskı ve atıksu arıtımı sonrasında destek tabaka görüntüsü Şekil 38'de sunulmuştur. Çalışma boyunca çözünmüş oksijen ve pH düzenli takip edilmiş ve sırası ile ortalama olarak 5.96±0.89 mg/L ve 7.16±0.16 mg/L olarak ölçülmüştür.



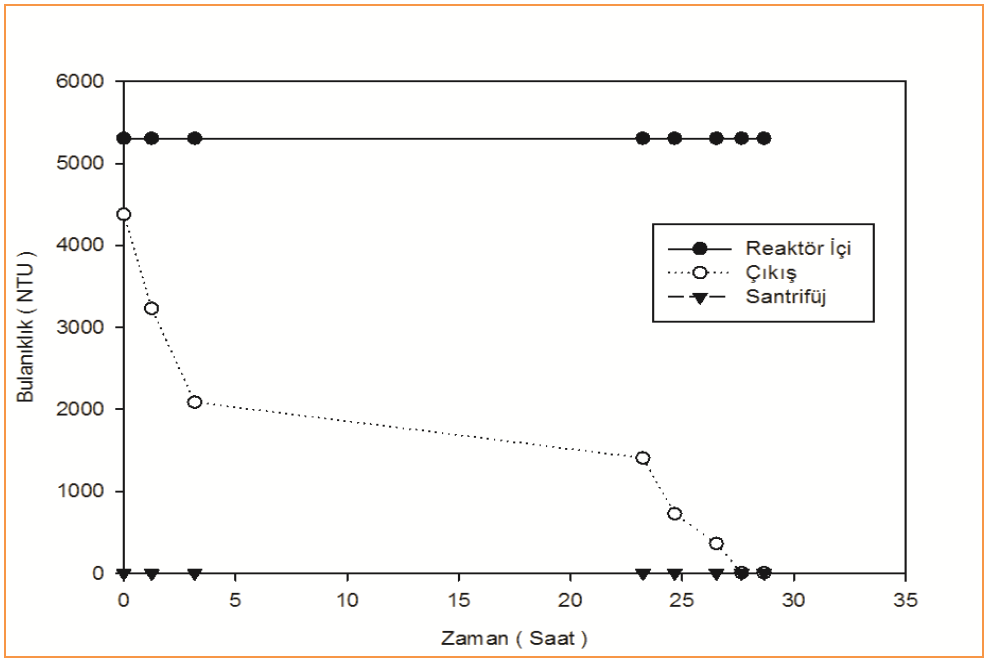
Şekil 38. A-3d Dinamik Membran Tasarımı B- Çıktısı (C-D)- Uygulanışı ve Kek Tabaka Oluşumu E- 3d Dinamik Membran Mikroskobik Görüntüsü

4.4.2.1. Kimyasal oksijen ihtiyacı ve bulanıklık giderim performansları

Poligon üç boyutlu dinamik membran reaktöre yerleştirildikten sonra KOİ ve bulanıklıkta kek tabakanın oluşum süresine bağlı olarak yirmi dördüncü saat itibarıyla kademeli bir giderimin olduğu gözlemlendi. KOİ yirmiyedinci saatin sonunda 30.4 değerine inerek % 99 giderim verimi sağladı. Bulanıklık ise 1600 NTU'da yirmiyedinci saatten sonra 3.98 NTU' ya düşmüştür. Bulanıklığın ve kimyasal oksijen ihtiyacının evsel atıksu arıtımında poligon üç boyutlu dinamik membranın % 99 verim ile iyi performans gösterdiği gözlemlendi.



Şekil 39. Poligon üç boyutlu dinamik tabakada zamana bağlı KOİ değişimi



Şekil 40. Poligon üç boyutlu dinamik membran bulanıklık değerleri

Dairesel ve poligon şeklinde tasarlanan dinamik modüller arasında kek tabaka oluşma süreçleri farklı gözlenmiştir. Dairesel tabakada ilk 6 saat sonunda bulanıklık

giderimi %99 seviyesine düşerken, poligon (altıgen) tasarımda bu süreç 27 saate uzamıştır. Bu durum poligon destek tabakanın baskısı sırasında yazıcının ekstra haraketleri ile açıklanabilir. Dairesel kesitli yazım sürecinde filament tek hamlede boşaltılırken, altıgen kesitli destek tabaka için yazıcı altı ayrı hareket yapmaktadır. Bu durum gözenek şekillerine etki edip farklı sonuçlar ortaya çıkarabilir.

3 boyutlu yazıcı ile destek tabaka yapım sürecinde µm boyutlarında yapılan işlemlerde tasarım ile baskı arasında farklılıklar oluşmaktadır. Çalışma başlangıcında 200 µm boyutlarında tasarlanan gözenekler baskı sonunda oluşmamıştır. Bunun sebebi filamentin baskı yüzeyine eklenmesinden sonra kuruyana kadar bir miktar şekil değiştirmesi ile açıklanabilir. Bu nedenle tasarımlar 500 µm olarak yapılmış ancak elde edilen baskılar materyal mikroskobu ile ölçüldüğünde 200 µm'lik delikler elde edildiği görülmüştür.

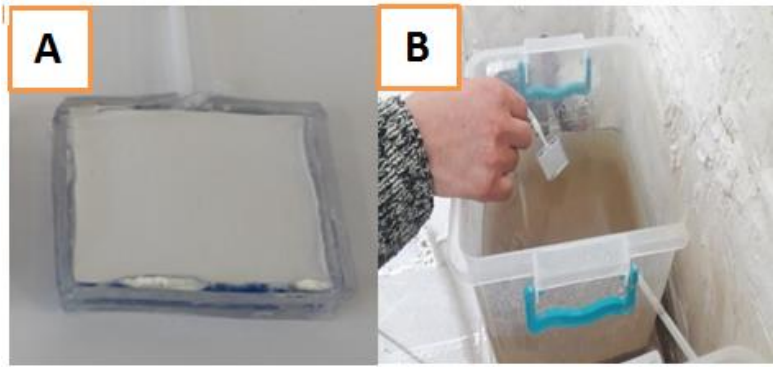
3 boyutlu yazıcı ile yapılan çalışmada bir diğer husus tasarım yapılmasıdır. Tasarım kabaca iki boyutlu ortamda destek tabakanın ve gözeneklerin tasarımı ile başlayıp push/pull ile bu iki boyutlu modele 3. Boyut kazandırılması ile sonuçlanır. Bu aşamada bilgisayarın yaptığı işlem sayısı ciddi oranda artmaktadır. Bu nedenle pilot ve gerçek ölçekli dinamik modül destek tabakası yazım süreçlerinde süper bilgisayarlar kullanılmalıdır.

10 LMH değerinde ölçülen TMP 200 mBar seviyesinde olup çalışma sonunda çıkış KOİ ve bulanıklık değerleri sırası ile 30.4 ve 3.98'dir (%99.8 KOİ ve % 99.7 bulanıklık giderim verimi).

4.4.3. Ultrafiltrasyon membran

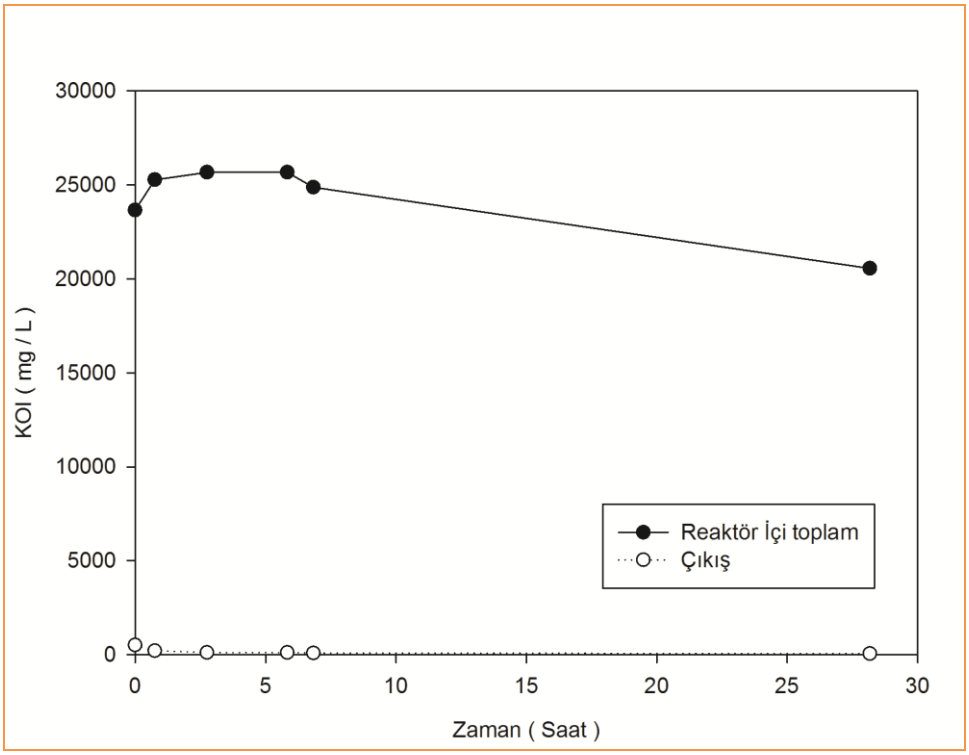
3D yazıcı ile baskılanmış destek tabakalarının konvansiyonel bir membran ile mukayese edilebilmesi için çalışmanın bu aşamasında gözenek boyutları 0.02 µm boyutlarınada bir ultrafiltrasyon membranı kullanılmıştır. Ultrafiltrasyon membranının performansının izlenebilmesi için yapılan çalışmada çözünmüş oksijen

ve pH düzenli takip edilmiş ve sırası ile ortalama olarak 8.63±0.37 mg/L ve 7.48±0.21 olarak ölçülmüştür.



Şekil 41. A- Ultrafiltrasyon Membran Tasarımı B- Ultrafiltrasyon Membran Uygulanışı

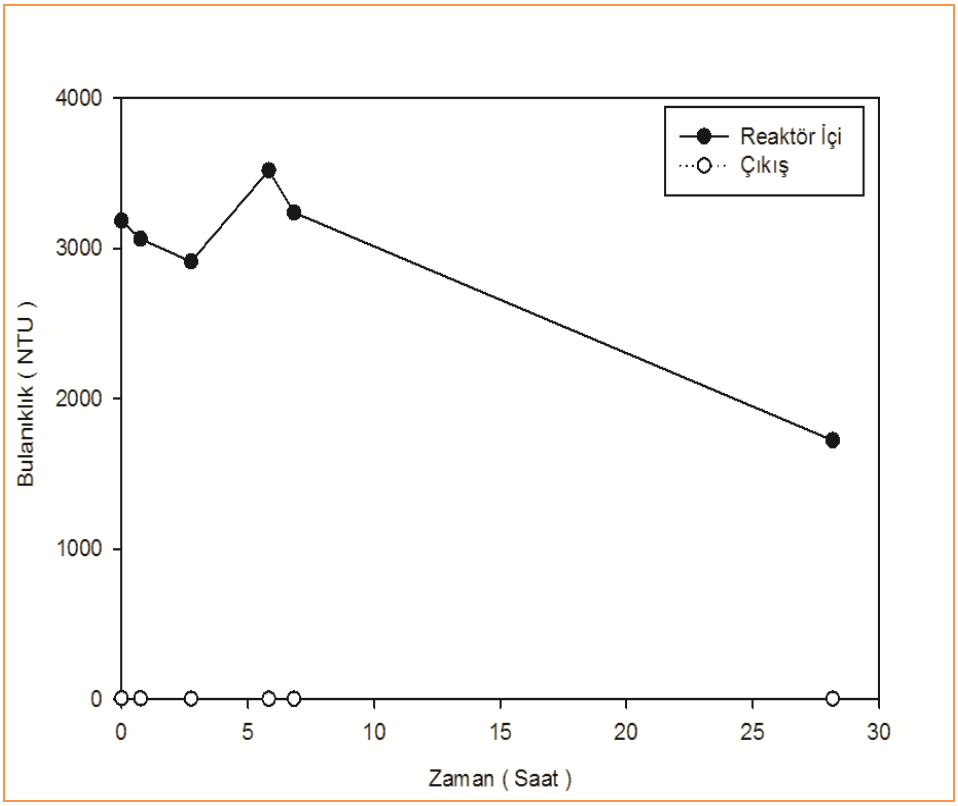
4.4.3.1. Kimyasal oksijen ihtiyacı ve bulanıklık performansı



Şekil 42. Ultrafiltrasyon membranda zamana bağlı KOİ değişimi

Ultrafiltrasyon membran reaktöre yerleştirildikten sonra giriş atık suyun KOİ' si 25 000 mg/L civarındaydı. Şekil 42' te gösterildiği gibi ilk saatte çıkış atık suyun

max verimle giderildiği gözlemlendi. Bulanıklığında aynı şekilde % 99 verimle şekil 43' de gösterildiği gibi giderildiği gözlemlendi.



Şekil 43. Ultrafiltrasyon membran bulanıklık değerleri

10 LMH değerinde ölçülen TMP 200 mBar seviyesinde olup çalışma sonunda çıkış KOİ ve bulanıklık değerleri sırası ile 43.2 ve 1.55'dir (% 99.9 KOİ ve % 99.9 bulanıklık giderim verimi).

4.4.4. Nitrat ve Nitrit performansı

Giriş suyunda bulunan 50 mg/L amonyum azotu nitrifikasyona uğrayarak nitrit ve nitrat iyonlarına dönüşmüştür. Bunun sonucu olarak çıkışta nitrat miktarı sırası ile daire üç buyutlu dinamik membranda 9.96 mg/L, poligon üç boyutlu dinamik mebranda 11.30 mg/L ve ultrafiltrasyon membranda ise 10.53 mg/L gözlemlendi.

5. SONUÇ ÖZET

Bu çalışmada aktif çamur reaktörlerinde yüksek mikroorganizma konsantrasyonunda işletim sağlanabilmesi için (1) fırça modifikasyonu ve (2) dinamik membran filtrasyonu uygulanmıştır.

Fırça modifikasyon sürecinde reaktöre 6 adet fırça eklenerek KOİ arıtımı izlendi ve 610 dakika sonunda 225 mg/L giriş KOİ'nin %62'sinin giderildiği gözlenmiştir.

Dinamik membran çalışmasında ise 140 ve 200 μm gözenek çapına sahip destek tabakaları hem sentetik hem de gerçek atıksu ile işletilmiştir. Sentetik atıksu ile yapılan çalışmada 140 ve 200 mikronluk membran testlerinde ise kek tabaka oluşumu 20 gün sürdü ve sonrasında %88 ve %87'lik KOİ giderim verimleri gözlendi. Giriş NH_4^+-N 50 mg/L'den sırası ile %78 ve %74'ü nitrifikasyona uğrayarak NO_3^--N'e dönüştüğü gözlemlendi.

Ayrıca reaktörler 17 gün boyunca gerçek atık su ile çalışmaya tabi tutuldu. KOİ değeri 140μm'lik modülde 238 mg/L'den 85 mg/L'ye (%65 verimle) 200 μm'lik modülde ise 244 mg/L'den 82 mg/L'ye (% 67 verim) ile giderildi.

Çalışmada ayrıca dinamik tabakaların 3 boyutlu yazıcılar ile yapılabilirliği ve yapılan baskılar ile atıksu filtrelenebilirliği test edildi. Daire ve poligon olarak basılan iki destek tabakasında klasik ultrafiltrasyon membranına yakın çıkış bulanıklık ve KOİ konsantrasyonları gözlendi. Dairesel membran modülünde ilk altı saatlik süreçte KOİ ve NTU reaktör içi sırası ile 25000 mg/L ve 3800 NTU idi. Kek tabakanın oluşumu ile altı saatin sonunda KOİ %99 verimle bulanıklık ise 2.12 NTU'ya düştü. Poligon membran modülünde ise yirmiyedinci saatin sonunda KOİ ve NTU reaktör içi sırası ile 19 000 mg/L ve 1600'dan KOİ %99 verimle bulanıklık da 3.98 NTU'ya düştüğü gözlemlendi.

KAYNAKLAR

AL-MALAK, M. H., ANDERSON, G. K. (1997). Cleaning techniques of dynamic membranes. 12, 25–33.

AN, Y., WANG, Z., WU, Z., YANG, D., ZHOU, Q. (2009). Characterization of membrane foulants in an anaerobic non-woven fabric membrane bioreactor for municipal wastewater treatment. 155, 709–715.

ANDIRICI. Y., (2014). Membran ayırma tekniği ile içme suyu elde edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya.

ASLAN. M., (2016). Membran teknolojileri, Ankara, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.

BAİZURA, S., OMAR, R., IDRİS, A., MAZLİNA, S., KAMAL, M., ISMA, A., IDRİS, M. (2018). Food and bioproducts processing dynamic membrane applications in anaerobic and aerobic digestion for industrial wastewater : A mini review, Food and Bioproducts Processing, 112, 150–168.

BERKTAY. A., (1997). Performance of rotatıng bıologıcal contactors operatıng at dıfferent temperatures, 405–410.

CHU. G. H., CAO. W. D., JİN. W., D. Z. B. (2008). Characteristics of bio-diatomite dynamic membrane process for municipal wastewater treatment, Journal of membrane science, 325(1), 271–276.

CHU. H., CAO. D., DONG. B., Q. Z. (2010). Bio-diatomite dynamic membrane reactor for micro-polluted surface water treatment. Water research, 44(5), 1573–1579.

CHU, L., Lİ, S., (2006). Filtration capability and operational characteristics of dynamic membrane bioreactor for municipal wastewater treatment, 51, 173–179.

CURİ, K., (1994). Biyolojik arıtma. Boğaziçi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Ders Notları, 1–2.

EKER. S., K. F., (2006). Biological treatment of 2,4-dichlorophenol containing synthetic wastewater using a rotating brush biofilm reactor. Journal of hazardous materials, 135, 365–371.

EKER. S., K. F., (2007). Performance of a rotating brush biofilm reactor treating 2,4,6-trichlorophenol (TCP) containing synthetic wastewater, 41(4), 466–473.

EKER. S., K. F. (2010). COD, para-chlorophenol and toxicity removal from synthetic wastewater using rotating tubes biofilm reactor (RTBR). Bioresource technology, 101(3), 9020–9024.

EKER, S., KARGI, F., (2008). Biological treatment of 2,4-dichlorophenol containing synthetic wastewater using a rotating brush biofilm reactor. Bioresource technology, 99(7), 2319–2325.

ERKAN. S. H., ENGİN. O. G., KULİL. B., G. G. (2016). Activated sludge properties in a submerged membrane bioreactor : Effect of COD/TKN ratio of wastewater. International Journal of Environmental Science and Technology.

ERSAHİN. M. E., (2015). Applacatıon of dynamıc membrans in anaerobic membrane bıoreactor systems.

ERSAHİN, M. E., OZGUN, H., DERELİ, R. K., OZTURK, I., ROEST, K., VAN 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., TAO, Y., VAN LİER, J. B. (2014). Applicability of dynamic membrane technology in anaerobic membrane bioreactors. Water Research, 48(0), 420–429.

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

FAN, B., HUANG, X., (2002). Characteristics of a self-forming dynamic membrane coupled with a bioreactor for municipal wastewater treatment, 5245–5251.

GUAN, D., DAİ, J., WATANABE, Y., CHEN, G., (2018). Changes in the physical properties of the dynamic layer and its correlation with permeate quality in a self-forming dynamic membrane bioreactor. Water Research, 140, 67–76.

GÜREL. L., BÜYÜKGÜNGÖR. H. (2011). Atıksu arıtımında membran biyoreaktörler. İtü Dergisi, 1, 13–23.

HU, Y., WANG, X. C., HAO, H., SUN, Q.,YANG, Y., (2018). Bioresource technology anaerobic dynamic membrane bioreactor (AnDMBR) for wastewater treatment : A review. Bioresource Technology, 247(September 2017), 1107–1118.

HU, Y., WANG, X. C., TİAN, W., HAO, H., 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.

IGAWA, M., SENO, M., TAKAHASHİ, H., YAMABE, T., (1977). Reverse osmosis by dynamic membranes, 22, 281–289.

JEİSON, D., DİAZ, I., (2008). Anaerobic membrane bioreactors : Are membranes really necessary, 11(4).

KİSO, Y., JUNG, Y., PARK, M., WANG, W., SHİMASE, M., YAMADA, T., Min, K., (2005). Coupling of sequencing batch reactor and mesh filtration : Operational parameters and wastewater treatment performance, 39, 4887–4898.

KURT. U. (2007). Fenton ve Elektokimyasal Yöntemlerle Evsel Atıksuların Arıtılabilirliğinin Araştırılması. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Lİ, F., CHEN, J., DENG, C., (2006). The kinetics of crossflow dynamic membrane bioreactor, 32(2), 199–204.

Lİ, L., XU, G., YU, H., (2018). Dynamic membrane filtration : Formation filtration cleaning and applications, (1), 7–18.

Lİ, L., XU, G., YU, H., XİNG, J., (2018). Dynamic membrane for micro-particle removal in wastewater treatment : Performance and in fl uencing factors. Science of the Total Environment, 627, 332–340.

LİANG, S., QU, L., MENG, F., HAN, X., ZHANG, J., (2013). Effect of sludge properties on the filtration characteristics of self-forming dynamic membranes (SFDMs) in aerobic bioreactors : Formation time , filtration resistance , and fouling propensity. Journal of Membrane Science, 436, 186–194.

LİANG, S., ZHAO, T., ZHANG, J., SUN, F., LİU, C., SONG, L., (2012). Determination of fouling-related critical flux in self-forming dynamic membrane bioreactors : Interference of membrane compressibility. Journal of Membrane Science, 390–391, 113–120.

LİU. H., YANG. C., PU. W., Z. J. (2009). Formation mechanism and structure of dynamic membrane in the dynamic membrane bioreactor. Chemical

Engineering Journal, 148, 290–295.
LİU, Y., (2003). Chemically reduced excess sludge production in the activated sludge process. Chemosphere, 50(1), 1–7.
KİSO, Y., JUNG, Y. J., ICHINARI, T., PARK, M., KİTAO, T., NİSHİMURA, K., MİN, K., (2000). Wastewater treatment performance of a fıltratıon bıo-reactor equıpped wıth a mesh as a fılter materıal, 34(17).
ORHON. D., (1997). Modeling of actıvated sludge systems.
OZGUN, H., DERELİ, R. K., ERSAHİN, M. E., KİNACİ, C., SPANJERS, H.,VAN LİER, J. B., (2013). A review of anaerobic membrane bioreactors for municipal wastewater treatment: Integration options, limitations and expectations. Separation and Purification Technology.
ÖZTÜRK. E. (2018). İçme Sularından Pentaklorofenol (PCP) Giderimi İçin En İyi Arıtma Alternatiflerinin Çok Ölçütlü Karar Verme Metotları (MCDM) Kullanılarak Belirlenmesi. Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 8(1), 373–382.
POOSTCHİ. A. A., MEHRNİA. R. M., R. F. (2015). Dynamic membrane behaviours during constant flux filtration in membrane bioreactor coupled with mesh filter. Environmental Technology, 3330(36:14), 1751–1758.
REN, X., SHON, H. K., JANG, N., LEE, Y. G., BAE, M., LEE, J., KİM, I. S., (2010). Novel membrane bioreactor (MBR) coupled with a nonwoven fabric filter for household wastewater treatment. Water Research.
ROSENBERGER. S., KRÜGER. U., WİTZİG. R., MANZ. W., SZEWZYK. U., K. M. (2002). Performance of a bioreactor with submerged membranes for aerobic treatment of municipal waste water. Water Research, 36, 413–420.
ŞAHİNKAYA. E., KILIÇ. A., CALIMLIOĞLU. B., Y. Y. (2013). Simultaneous bioreduction of nitrate and chromate using sulfur-based mixotrophic denitrification process. Journal of Hazardous Materials, 262, 234–239.
ŞAHİNKAYA. E., YURTSEVER. A., AKTAŞ. Ö., UÇAR. D., W. Z. (2015). Sulfur-based autotrophic denitrification of drinking water using a membrane bioreactor. Chemical Engineering Journal, 268, 180–186.
ŞAHİNKAYA. E., YURTSEVER. A., U. D. (2017). A novel elemental sulfur-based mixotrophic denitrifying membrane bioreactor for simultaneous Cr(VI) and nitrate reduction. Journal of Hazardous Materials, 324(2), 15–21.
SALEEM. M., ALİBARDİ. L., COSSU. R., LAVAGNOLO. C. M., S. A. (2017). Analysis of fouling development under dynamic membrane filtration operation. Chemical Engineering Journal, 312, 136–143.
SİNAN, K. R. (2010). Evsel Atıksu Arıtma Tesislerinde Ön Arıtım ve Biyolojik Arıtım Çıkış Parametrelerinin YSA İle Tahmini. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya.
SOYLU. Ş. (2011). İçme Sularındaki Doğal Organik Maddellerin Fiziksel Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
ÜSTÜN. E. G., T. A. (2015). Gri Suyun Aritimi ve Yeniden Kullanımı. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 2, 119–139.
WANG. K. Y., SHENG. P.G., Lİ. E. E., Y. Q. H. (2012). A pilot investigation into membrane bioreactor using mesh filter for treating low-strength municipal wastewater. Bioresource Technology, 122, 17–21.
YE, M., ZHANG, H., WEİ, Q., LEİ, H., YANG, F., (2006). Study on the suitable

thickness of a PAC-precoated dynamic membrane coupled with a bioreactor for municipal wastewater treatment, 194, 108–120.

YİĞİT. Ö. N. (2007)., Membran Biyoreaktörler ile (MBR) Evsel Atıksu Arıtımı.

YU. Z., CHU. H., CAO. D., MA. Y., DONG. B., W. Y. (2012). Pilot-scale hybrid bio-diatomite dynamic membrane reactor for slightly polluted raw water purification. Desalination, 285, 73–82.

ZHANG. X., WANG. Z., WU. Z., WEİ. T., LU. F., TONG. J., M. 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.

ZHANG, X., WANG, Z., WU, Z., LU, F., TONG, J., ZANG, L., (2010). Formation of dynamic membrane in an anaerobic membrane biorector for municipal wastewater treatment. Chemical Engineering Journal, 165, 175–183.

ÖZGEÇMİŞ

BİLGİLER

Adı Soyadı : Müjgan YILDIZ

Uyruğu : TC. Vatandaşı

Doğum Yeri ve Tarihi : Gürün / SİVAS – 20.04.1987

Telefon: 05435027608

e-mail : mjgyildiz@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise:	Gürün ÇPL, Gürün, SİVAS	2005
Üniversite:	Bayburt Meslek yüksekokulu Kimya Teknolojisi	2011
Üniversite:	Harran Üniversitesi Çevre Mühendisliği	2016
Y. Lisans:	Harran Üniversitesi Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı	2019

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2011	Cumhuriyet Üniversitesi Biyokimya Laboratuvarı	Stajyer
2014	Karşıyaka Belediyesi / İzmir	Stajyer
2015	İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi İSKİ Genel Müdürlüğü/Atık su Laboratuvarı Kağıthane /İstanbul	Stajyer
2018	Harran Üniversitesi GAPYENEV Araştırma Merkezi	Araştırmacı
2019	Pak Arıtma Analiz Çevre Laboratuvarı	Çevre Mühendisi