

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ATIKSU ARITMA TESİSİ ÇAMURLARININ FARKLI
GÖZENEK ÇAPINA SAHİP DESTEK TABAKALARINDA
DİNAMİK MEMBRAN OLUŞTURMA POTANSİYELİNİN
İNCELENMESİ**

**Hazırlayan
Hatice ELBİR**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim UYANIK**

Yüksek Lisans Tezi

**Ocak 2025
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ATIKSU ARITMA TESİSİ ÇAMURLARININ FARKLI
GÖZENEK ÇAPINA SAHİP DESTEK TABAKALARINDA
DİNAMİK MEMBRAN OLUŞTURMA POTANSİYELİNİN
İNCELENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hazırlayan
Hatice ELBİR**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi İbrahim UYANIK**

**Bu çalışma, Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi
(Proje No: FYL-2023-12950) ve Türkiye Bilimsel ve Teknolojik
Araştırma Kurumu (Proje No:122Y255) projeleri ile desteklenmiştir.**

**Ocak 2025
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Hatice ELBİR

İmza

“Atıksu Arıtma Tesisi Çamurlarının Farklı Gözenek Çapına Sahip Destek Tabakalarında Dinamik Membran Oluşturma Potansiyelinin İncelenmesi” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Hazırlayan

Hatice ELBİR

İmza

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim UYANIK

Çevre Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Oktay ÖZKAN

İmza

TEŞEKKÜR

Başarılarımın mimarı olan, çalışmalarım süresince gösterdiğim fedakârlıklardan dolayı kendime teşekkür ediyorum. Motivasyonum düőtüğünde bile pes etmeden çalışarak, her zorluğun üstesinden gelen kendime minnettarım.

Çalışmalarım boyunca bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, yardımlarını esirgemeyen ve deneysel çalışmalarım sırasında karşılaőtığım zorlukları aşmamda bana destek olan sayın Dr. Öğr. Üyesi İbrahim UYANIK hocama teşekkürü bir borç bilirim.

Tüm hayatım boyunca beni destekleyen ve tez çalışmam süresince büyük bir sabır ve anlayış göstererek maddi, manevi yardımlarını benden esirgemeyen, tüm hayatım boyunca beni destekleyerek bugünlere gelmemi sağlayan aileme sonsuz teşekkürler.

Bu tez çalışması Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (Proje No: 122Y255) ve Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (Proje No: FYL-2023-12950) tarafından desteklenmiştir.

Hatice ELBİR

Ocak 2025, KAYSERİ

ATIKSU ARITMA TESİSİ ÇAMURLARININ FARKLI GÖZENEK ÇAPINA SAHİP DESTEK TABAKALARINDA DİNAMİK MEMBRAN OLUŞTURMA POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ

Hatice ELBİR

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Ocak 2025
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İbrahim UYANIK**

ÖZET

Geleneksel atıksu arıtma tesislerinde (AAT) son çöktürme ünitesi sonrası herhangi bir filtasyon sistemi bulunmamaktadır. Dinamik membran (DM) teknolojisi düşük enerji tüketimi, kendini yenileyebilme özelliği ve yüksek performansı ile sürdürülebilir bir çözüm sunmaktadır. Bu çalışmada, dinamik membran teknolojisinin atık su arıtımındaki potansiyeli, farklı AAT çamurları (ham ve aktif çamur) ve farklı gözenek boyutuna sahip destek malzemeleri (75'ten 300 µm'ye kadar) kullanılarak bir filtasyon reaktörde detaylıca incelenmiştir. Vakum ile sağlanan kesikli çalışmalarda, literatürde ilk kez, 200 ve 300 µm çapındaki eleklerde bile yüksek akı (200 LMH) altında çıkış suyu bulanıklığının 1 NTU'nun altına düştüğü görülmüştür. Ayrıca, ham ve aktif çamurların birlikte kullanımıyla reaktör performansının arttığı belirlenmiştir. Elek boyutlarının performans üzerinde önemli bir etkisi olmadığı belirlenmiştir. Kek oluşum hızları 100, 150, 200 ve 300 µm destek gözenekleri için sırasıyla 23.0 NTU/dk, 19.48 NTU/dk, 7.62 NTU/dk ve 6.94 NTU/dk olarak hesaplanmıştır. Tabaka oluşan modüller ile yer çekimi etkisi ile çalışan reaktörde yapılan denemelerde, yüksek kalitede çıkış suları, yüksek akılar (~300-2000 LMH) ile elde edilmiştir. Taramalı elektron mikroskobu görüntüleri, çamurlardaki liflerin kararlı kek tabakasının oluşumunu artırabileceğini göstermiştir. Çalışma, arıtma çamurlarının DM oluşumunda yenilikçi bir malzeme olarak değerlendirilmesinin önünü açmış olup AAT çıkış sularının bu sistem ile ekonomik ve sürdürülebilir olarak geri kazanılabileceğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Dinamik membran, çamur, kaplama, geri kazanım, arıtma

INVESTIGATION OF DYNAMIC MEMBRANE FORMATION POTENTIAL OF WASTEWATER TREATMENT PLANT SLUDGES IN SUPPORT LAYERS WITH DIFFERENT PORE SIZES

Hatice ELBİR

**Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences
Master Thesis, January 2025
Supervisor: Assisst. Prof. Dr. İbrahim UYANIK**

ABSTRACT

Conventional wastewater treatment plants (WWTPs) lack a filtration system following the secondary clarifier tank. Dynamic membrane (DM) technology, characterized by its high performance, self-renewing capabilities, and low energy consumption, presents a sustainable alternative. This thesis study examined DM technology to improve wastewater cleaning. This was done in a filter reactor with various types of raw and activated sludges from an industrial WWTP and support materials with pores that ranged in size from 75 to 300 μm . Even with meshes of 200 and 300 μm , the turbidity of the effluent decreased to 1 NTU at high flux (200 LMH) for the first time in the literature. Additionally, the use of both raw and activated sludge improved DM performance. We discovered that the mesh sizes did not significantly affect the DM performance. The cake formation rates for 100, 150, 200, and 300 μm support materials were determined to be 23.0 NTU/min, 19.48 NTU/min, 7.62 NTU/min, and 6.94 NTU/min, respectively. During reactor tests, we used gravity and layer-forming modules to make high-quality effluents with high fluxes (about 300–2000 LMH). Scanning electron microscopy images showed that the fibers in the sludges may encourage the formation of a stable cake layer. The study highlighted the potential of using sewage sludge as a novel material for DM formation, demonstrating that WWTP effluents can be recycled sustainably and economically with this system.

Keywords: Dynamic membrane, sludge, coating, recovery, treatment

İÇİNDEKİLER

ATIKSU ARITMA TESİSİ ÇAMURLARININ FARKLI GÖZENEK ÇAPINA SAHİP DESTEK TABAKALARINDA DİNAMİK MEMBRAN OLUŞTURMA POTANSİYELİNİN İNCELENMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
YÖNERGE VE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMALAR	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
GİRİŞ	1

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Atıksu Arıtma Teknolojileri.....	3
1.1.1. Atıksu Arıtma Süreçleri.....	3
1.1.2. Membran Teknolojilerinin Arıtma Tesislerindeki Yeri	4
1.2. Atıksu Arıtma Çamurlarının Özellikleri	5
1.2.1. Çamur Karakterizasyonu: Fiziksel, Kimyasal ve Biyolojik Özellikler	5
1.2.2. Çamur Kaynaklı Sorunlar ve Çözüm Önerileri.....	6
1.3. Membran Teknolojileri	7
1.3.1. Dinamik Membran Teknolojisi.....	9
1.3.1.1. Destek Tabakaları ve Gözenek Yapısı	11
1.3.1.1.1. Destek Tabakalarının Malzeme Özellikleri.....	11
1.3.1.1.2. Gözenek Çapının Dinamik Membran Performansına Etkileri ..	11
1.3.1.1.3. Destek Tabakası Seçimi İçin Kriterler.....	12
1.3.1.2. Dinamik Membran Performansının Değerlendirilmesi.....	13
1.3.2. Yer Çekimi ile Çalışan Membran Sistemler	15

1.3.3. Dinamik Membran Oluşumunda Kullanılan Malzemeler	16
1.4. Organize Sanayi Bölgeleri (OSB'ler)	16
1.4.1. Kayseri Organize Sanayi Bölgesi (KOSB)	17
1.4.2. Kayseri Organize Sanayi Bölgesi Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi	20
1.5. Literatürdeki Boşluk ve Çalışmanın Amacı	24

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. DM Reaktör Sistemi ve İşletilmesi	27
2.1.1. Elekler.....	28
2.1.2. Reaktörlerde Kullanılan Çamur Türleri	28
2.1.3. Modüllerin Yapımı	29
2.2. Dinamik Membran Biyoreaktör (DMBR) Deney Düzenegi	30
2.3. Yer Çekimi Etkisiyle Çalışan Dinamik Membran Biyoreaktör (YÇ-DMBR) Deney Düzenegi.....	31
2.4. Analiz Yöntemleri	33

3. BÖLÜM

BULGULAR ve TARTIŞMALAR

3.1. DMBR Deneyleri	36
3.1.1. BÇ Çamuru ile Yapılan Çalışmalar.....	38
3.1.2. SÇ Çamuru ile Yapılan Çalışmalar	39
3.1.2.1. 75 µm ile Yapılan Çalışmalar	40
3.1.2.2. 100 µm ile Yapılan Çalışmalar	43
3.1.2.3. 150 µm ile Yapılan Çalışmalar	45
3.1.2.4. 200 µm ile Yapılan Çalışmalar	46
3.1.2.5. 300 µm ile Yapılan Çalışmalar	48
3.1.3. BÇ+SÇ Çamuru ile Yapılan Çalışmalar	54
3.1.3.1. 75 µm ile Yapılan Çalışmalar	55
3.1.3.2. 150 µm ile Yapılan Çalışmalar	55
3.1.3.3. 200 µm ile Yapılan Çalışmalar	56
3.1.3.4. 300 µm ile Yapılan Çalışmalar	57
3.1.4. SÇ+ÖÇ Çamuru ile Yapılan Çalışmalar.....	58

3.1.4.1. 75 µm ile Yapılan Çalışmalar	58
3.1.4.2. 100 µm ile Yapılan Çalışmalar	60
3.1.4.3. 150 µm ile Yapılan Çalışmalar	61
3.1.4.4. 200 µm ile Yapılan Çalışmalar	64
3.1.4.5. 300 µm ile Yapılan Çalışmalar	66
3.2. Bazı DMBR Deneyleri İçin Yapılan SEM Analizleri	68
3.3. DM Tabakası Oluşmuş Modüllerin YÇ-DMBR 'de Kullanılması ile Yapılan Çalışmalar.....	72

4. BÖLÜM

TARTIŞMA

4.1. Elek Boyutunun Kek Oluşumuna Etkisi.....	79
4.2. Çamur Tipinin Etkisi.....	81
4.3. Kademeli Akı Azaltılmasının Etkisi	87
4.4. Çamur Karakteristiği	89
4.5. YÇ- DMBR Reaktöre Yerleştirilen Modüller	91

5. BÖLÜM

SONUÇ ve ÖNERİLER

5.1. Sonuç ve Öneriler	94
------------------------------	----

KAYNAKÇA	97
----------------	----

ÖZGEÇMİŞ.....	105
---------------	-----

KISALTMALAR

AAT	: Atıksu Arıtma Tesisi
AKM	: Askıda Katı Madde
AnDMBR	: Anaerobik Dinamik Membran Biyoreaktör
BÇ	: Polielektrolit Eklenmiş Belt-Pres Öncesi Karışık Çamur
DM	: Dinamik Membran
DMBR	: Dinamik Membran Biyoreaktör
EDS	: Enerji Dağılım Spektroskopisi
EPS	: Hücre Dışı Polimerik Ürünler
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
KOSB	: Kayseri Organize Sanayi Bölgesi
MBR	: Membran Biyoreaktör
MF	: Mikrofiltrasyon
MP	: Mikroplastik
OSB	: Organize Sanayi Bölgeleri
ÖÇÇ	: Ön Çöktürme Çamuru
PSF	: Polisülfonat
SÇÇ	: Son Çöktürme Çamuru
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
SKKY	: Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği
SMP	: Çözünen Mikrobiyal Ürünler
TMP	: Transmembran Basınç, (membrandaki basınç)
UF	: Ultrafiltrasyon
YÇ-DMBR	: Yer Çekimi Etkisi ile Çalışan DMBR

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.	KOSB'de farklı yıllara ait sektörel dağılım.....	19
Tablo 2.	KOSB AAT temel özellikleri.....	22
Tablo 3.	Atıksu arıtma tesisi tasarımında esas alınan atıksu özellikleri.....	23
Tablo 4.	Farklı OSB'lerin atıksu karakterizasyonlarının karşılaştırması.....	23
Tablo 5.	Çamur türleri ve ortalama AKM miktarları	28
Tablo 6.	Çamur türüne göre elek boyutu, reaktör AKM ve akı değerleri	37
Tablo 7.	SÇ ve ÖÇ için PSD analiz sonuçları	90



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.	Membran Teknolojileri	8
Şekil 2.	MBR şematik gösterimi	9
Şekil 3.	Dinamik kek tabakasının gösterimi.....	10
Şekil 4.	Dinamik membranların akış diyagramı.....	11
Şekil 5.	İçsel (A) ve Dışsal (B) Batık Membran Biyoreaktörler	16
Şekil 6.	Kayseri OSB görünümü	17
Şekil 7.	KOSB: sektörlere göre dağılım.....	19
Şekil 8.	KOSB: atıksu oluşturma oranlarına göre dağılım	20
Şekil 9.	KOSB Atıksu Arıtma Tesisi.....	21
Şekil 10.	KOSB'ye ait AAT proses akım şeması	22
Şekil 11.	Membran modülü yapım aşamaları. Üstteki şematik gösterim. Alttaki fotoğraflarla gösterim.....	30
Şekil 12.	DMBR Sisteminin Gösterimi. Sağda şematik diyagram, solda fotoğraf görülmektedir.	30
Şekil 13.	YÇ-DMBR Sisteminin Diyagramı	32
Şekil 14.	AKM kalibrasyon eğrisi.....	34
Şekil 15.	75 µm elek için Bulanıklık grafiği.	38
Şekil 16.	150 µm elek için Bulanıklık-Basınç grafiği – modül fotoğrafı.....	39
Şekil 17.	150 µm elek Besleme yapıldıktan sonra modül fotoğrafı	39
Şekil 18.	75 µm elek için Bulanıklık grafiği – modül fotoğrafı	40
Şekil 19.	SÇ kullanılarak yapılan deneydeki modül fotoğrafı	40
Şekil 20.	75 µm elek için AKM-Basınç grafiği – modül fotoğrafı	41
Şekil 21.	75 µm elek için AKM-Basınç grafiği – modül fotoğrafı	42
Şekil 22.	75 µm elek için AKM-Basınç grafiği – modül fotoğrafı	42
Şekil 23.	75 µm elek için modül fotoğrafı	43
Şekil 24.	100 µm elek için AKM- Basınç grafiği – modül fotoğraf	44
Şekil 25.	100 µm elek için AKM-Basınç grafiği – modül fotoğraf	44
Şekil 26.	100 µm elek için modül fotoğrafı	45
Şekil 27.	100 µm elek için AKM-Basınç grafiği – modül fotoğrafı	45
Şekil 28.	150 µm elek için AKM-Basınç grafiği – modül fotoğrafı	46
Şekil 29.	200 µm elek için AKM-Basınç grafiği – modül fotoğrafı	46

Şekil 30.	200 µm elek için modül fotoğrafı	47
Şekil 31.	200 µm elek için Bulanıklık-Basınç grafiği – modül fotoğrafı.....	47
Şekil 32.	200 µm elek için AKM -Basınç grafiği – modül fotoğrafı	48
Şekil 33.	300 µm elek için AKM -Basınç grafiği – modül fotoğrafı	49
Şekil 34.	300 modül fotoğrafı.....	49
Şekil 35.	300 µm elek için Bulanıklık-Basınç grafiği – modül fotoğrafı.....	50
Şekil 36.	Şekil 35'teki 300 µm elek için Bulanıklık-Basınç grafiği devamı – modül fotoğrafı.....	50
Şekil 37.	300 µm elek için Bulanıklık-Basınç grafiği – modül fotoğrafı.....	51
Şekil 38.	300 µm elek için Bulanıklık-Basınç grafiği – modül fotoğrafı.....	51
Şekil 39.	300 µm elek için Bulanıklık-Basınç grafiği – modül fotoğrafı.....	52
Şekil 40.	SÇ çamuru ile modül üzerinde oluşan tabaka görüntüsü	52
Şekil 41.	300 µm elek için Bulanıklık-Basınç grafiği – modül fotoğrafı.....	53
Şekil 42.	19 saat sonundaki modül fotoğrafı	53
Şekil 43.	27 saat sonundaki modül fotoğrafı	53
Şekil 44.	44 saat sonundaki Modül fotoğrafı	54
Şekil 45.	Modülün reaktöre daldırılması sonucu oluşan modül fotoğrafı.....	54
Şekil 46.	49 saat sonunda sistem kapatıldığındaki modül fotoğrafı.....	54
Şekil 47.	75 µm elek için AKM -Basınç grafiği – modül fotoğrafı	55
Şekil 48.	150 µm elek için AKM-Basınç grafiği – modül fotoğrafı	56
Şekil 49.	200 µm elek için Bulanıklık-Basınç grafiği	56
Şekil 50.	300 µm elek için Bulanıklık -Basınç grafiği – modül fotoğrafı.....	57
Şekil 51.	300 µm elek için Bulanıklık-Basınç grafiği – modül fotoğrafı.....	58
Şekil 52.	75 µm elek için AKM -Basınç grafiği – modül fotoğrafı	59
Şekil 53.	75 µm elek için AKM -Basınç grafiği – modül fotoğrafı	59
Şekil 54.	75 µm elek için modül fotoğrafı	59
Şekil 55.	100 µm elek için AKM -Basınç grafiği – modül fotoğrafı.	60
Şekil 56.	100 µm elek için AKM -Basınç grafiği – modül fotoğrafı	60
Şekil 57.	100 µm elek için AKM -Basınç grafiği – modül fotoğrafı	61
Şekil 58.	100 µm elek için modül fotoğrafı.	61
Şekil 59.	150 µm elek için AKM -Basınç grafiği	62
Şekil 60.	150 µm elek için AKM -Basınç grafiği – modül fotoğrafı	62
Şekil 61.	150 µm elek için AKM -Basınç grafiği – modül fotoğrafı	63

Şekil 62.	150 μm elek için AKM -Basınç grafiği – modül fotoğrafı	63
Şekil 63.	200 μm elek için AKM -Basınç grafiği	64
Şekil 64.	200 μm elek için AKM -Basınç grafiği	64
Şekil 65.	200 μm elek için AKM -Basınç grafiği – modül fotoğrafı	65
Şekil 66.	200 μm elek için AKM -Basınç grafiği – modül fotoğrafı	65
Şekil 67.	200 μm elek için AKM -Basınç grafiği	66
Şekil 68.	300 μm elek için Bulanıklık -Basınç grafiği – modül fotoğrafı.....	66
Şekil 69.	300 μm elek için AKM -Basınç grafiği – modül fotoğrafı	67
Şekil 70.	300 μm elek için AKM -Basınç grafiği – modül fotoğrafı	67
Şekil 71.	100 μm : DM tabakası sıyrılmış eleğin SEM görüntüsü.....	68
Şekil 72.	100 μm : Elek ile birlikte oluşan DM tabakasının SEM görüntüsü	68
Şekil 73.	100 μm : Oluşan DM tabakasının SEM görüntüsü	69
Şekil 74.	200 μm : DM tabakası sıyrılmış eleğin SEM görüntüsü.....	69
Şekil 75.	200 μm : Elek ile birlikte oluşan DM tabakasının SEM görüntüsü	69
Şekil 76.	200 μm : Oluşan DM tabakasının SEM görüntüsü	70
Şekil 77.	300 μm : DM tabakası sıyrılmış eleğin SEM görüntüsü.....	70
Şekil 78.	300 μm : Elek ile birlikte oluşan DM tabakasının SEM görüntüsü	70
Şekil 79.	300 μm : Oluşan DM tabakasının SEM görüntüsü	71
Şekil 80.	150 μm : DM tabakası sıyrılmış eleğin SEM görüntüsü.....	71
Şekil 81.	150 μm : Elek ile birlikte oluşan DM tabakasının SEM görüntüsü	71
Şekil 82.	150 μm : Oluşan DM tabakasının SEM görüntüsü	72
Şekil 83.	DM Tabaka oluşturulmuş YÇ-DMBR Çalışması	73
Şekil 84.	DM Tabaka oluşturulmuş YÇ-DMBR Çalışması	73
Şekil 85.	DM Tabaka oluşturulmuş YÇ-DMBR Çalışması	74
Şekil 86.	DM Tabaka oluşturulmuş YÇ-DMBR Çalışması	75
Şekil 87.	DM Tabaka oluşturulmuş YÇ-DMBR Çalışması	75
Şekil 88.	DM Tabaka oluşturulmuş YÇ-DMBR Çalışması	76
Şekil 89.	DM Tabaka oluşturulmuş YÇ-DMBR Çalışması	76
Şekil 90.	DM Tabaka oluşturulmuş YÇ-DMBR Çalışması	77
Şekil 91.	DM Tabaka oluşturulmuş YÇ-DMBR Çalışması	77
Şekil 92.	SÇ (aktif çamur) + ÖÇ (ham çamur) çamurları (A: 100 μm , B: 150 μm , C: 200 μm , D: 300 μm) kullanılarak farklı gözenek boyutlarına sahip destek malzemesinde bulanıklık değişiklikleri	80

Şekil 93. Sabit akıda (100 LMH) 75, 100, 150, 300 µm elekler ile SÇ çamur performansları.	83
Şekil 94. Farklı gözenek çaplarında SÇ (ikincil) +BÇ (polielektrolit katkılı karışık) çamur karışımının performansı	85
Şekil 95. 100 LMH akıda SÇ + BÇ çamurlarıyla farklı gözenek boyutlarının performansı	86
Şekil 96. SÇ + ÖÇ çamurları için akı azaltma çalışmaları sırasında AKM ve TMP'nin zamanla değişimi. A: 75 µm, B: 100 µm, C: 150 µm, D: 200 µm, E: 300 µm.	88
Şekil 97. Ön çöktürme (ÖÇ, aşağı ve son çöktürme (SÇ, yukarı) çamurlarının PSD analizleri.....	90
Şekil 98. Farklı elek çaplarında yer çekimli dinamik membran reaktör (YÇ-DMBR) çıkış AKM.....	91
Şekil 99. YÇ-DMBR membran reaktörde filtrasyon öncesi ve filtrasyon sonrası reaktörün görüntüleri.....	92
Şekil 100. DMBR'de oluşan kek tabakası (solda ilk iki fotoğraf), YÇ-DMBR'de oluşan	93

GİRİŞ

Dünyada tatlı su kaynakları toplam su içinde yalnızca %2,5 civarında bulunmakta olup bu miktarın da yaklaşık %70'i buzullarda donmuş halde bulunur. Kalan tatlı suyun da büyük oranda yeraltı sularında bulunduğu düşünüldüğünde yüzey tatlı su kaynakları oldukça kısıtlıdır. Nehirler, akarsular ve göller insan faaliyetlerine ve atıksu deşarjlarına maruz kaldıkları için büyük bir tehdit altındadır. Bu nedenle, mevcut tatlı su kaynaklarına yapılan atıksu deşarjlarının ve arıtma tesisi çıkış sularının daha verimli olmasına ve yeni arıtma tekniklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Türkiye'de mevcut atıksu arıtma tesisleri Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'ne göre deşarj kriterlerini sağlamak zorundadır. Atıksuların çevreye zarar vermeden bertaraf edilmesi, su kaynaklarının sürdürülebilirliği için büyük önem taşımaktadır. Geleneksel arıtma yöntemleri, özellikle askıda katı maddelerin gideriminde yetersiz kalabilmektedir. Bu sorunu aşmak için dinamik membran teknolojisi gibi yenilikçi çözümler geliştirilmektedir.

Dinamik membran teknolojisi, kendini yenileyebilme özelliği ve düşük enerji tüketimi sayesinde sürdürülebilir bir arıtma çözümü sunmaktadır. Bu teknolojide, destek tabakasının özellikleri membranın performansını doğrudan etkilemektedir. Özellikle, destek tabakasının gözenek yapısı, membran oluşum süresi, dayanıklılığı ve filtrasyon kapasitesi üzerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Atıksu arıtma süreçlerinde ortaya çıkan çamurların çevresel etkileri ve bertaraf maliyetleri, önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada, atıksu çamurlarının değerlendirilmesi ve su kaynaklarının korunması hedefiyle, dinamik membran teknolojisi üzerine odaklanılmıştır.

Çalışmanın temel amacı, dinamik membran teknolojisinin atıksu arıtımında kullanım potansiyelini, farklı çamur tipleri ve destek tabakası malzemeleri açısından detaylı bir şekilde incelemektir. Bu sayede, çamur kaynaklı kirleticilerin gideriminde daha etkin ve sürdürülebilir bir arıtma yöntemi geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmanın özgün

katkısı, atıksu çamurlarının dinamik membran oluşumunda kullanılması ve bu süreçteki parametrelerin sistematik olarak incelenmesidir. Elde edilen bulgular, dinamik membran teknolojisinin farklı uygulama alanlarında kullanılabilmesi için önemli bir veri tabanı oluşturacaktır. Ayrıca, bu çalışma ile atıksu çamurlarının bertaraf maliyetlerinin düşürülmesi ve su kaynaklarının korunmasına yönelik sürdürülebilir çözümler geliştirilmesine katkı sağlanması hedeflenmektedir.

Çalışma atıksu arıtma teknolojileri ve atıksu arıtma çamurlarının özellikleri hakkında detaylı bilgiler verilerek başlamaktadır. Çalışma membran teknolojileri devam edecek, dinamik membran teknolojileri, membran kirlenmesi ve önleme yöntemleri, dinamik membran teknolojisinde kullanılan malzemeler, dinamik membran performansının değerlendirilmesi hakkında detaylı bilgiler verilecektir. Çalışmanın devamında organize sanayi bölgelerine değinilecek ve Kayseri organize sanayi bölgesi tanıtılacaktır. Son olarak literatürde mevcut eksik hakkında bilgiler verilerek kavramsal çerçeve tamamlanacaktır. Tezin ilerleyen bölümlerinde, dinamik membran teknolojisinin temel prensipleri, deneysel çalışma yöntemleri ve elde edilen sonuçlar detaylı bir şekilde sunulmuştur.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ÇALIŞMASI

1.1. Atıksu Arıtma Teknolojileri

Atıksu arıtma teknolojileri, su kaynaklarını korumak ve çevreye zarar vermeden atıksuların bertarafını sağlamak için geliştirilmiştir. Bu teknolojiler, fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemlerle kirleticilerin sudan uzaklaştırılmasını hedefler. Fiziksel yöntemler, kaba partiküllerin ve askıda katı maddelerin giderilmesini sağlarken, kimyasal yöntemler, çözülmüş organik ve inorganik kirleticilerin uzaklaştırılmasında etkilidir. Biyolojik arıtma, mikroorganizmaların organik maddeleri parçalayarak kirleticileri azaltmasını içerir. Gelişmiş teknolojiler arasında membran filtrasyon sistemleri (mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon, ters osmoz) ve dinamik membran teknolojisi öne çıkmaktadır. Bu sistemler, hem yüksek arıtma verimi hem de suyun yeniden kullanımına olanak tanıyan sürdürülebilir çözümler sunar.

1.1.1. Atıksu Arıtma Süreçleri

Atıksu arıtma süreçleri, suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler kullanılarak temizlenmesini amaçlayan çeşitli aşamaları içeren bir dizi uygulamadır [1]. İlk aşama olan ön arıtma, büyük partiküllerin, kum ve yağ gibi maddelerin sudan uzaklaştırılmasını sağlar. Bu aşamada mekanik ızgaralar kullanılarak büyük katı maddeler tutulur [2]. Ardından kum tutucular devreye girer ve suyun içinde asılı halde bulunan kum gibi ağır partiküllerin çökmesi sağlanır. Yağ ve gres gibi hafif maddeler de yağ ayırıcılar yardımıyla sudan ayrılır. Ön arıtma, suyun sonraki arıtma aşamalarında daha etkin bir şekilde işlenebilmesi için gerekli olan ilk adımdır. [3]. İkinci aşama olan birincil arıtma, fiziksel çökeltme işlemi ile askıda katı maddelerin (AKM) sudan ayrılmasını sağlar. Çökeltme tanklarında suyun akış hızı yavaşlatılarak katı partiküllerin dibe çökmesi sağlanır. Bu aşamada oluşan birincil çamur, çamur yönetimi için ayrılır. Birincil arıtma,

suyun içindeki kaba katı maddeleri uzaklaştırarak biyolojik arıtma aşamasına hazırlık yapar. Birincil arıtma sonrasında gelen ikincil arıtma aşamasında ise biyolojik yöntemler kullanılır. Organik kirleticiler mikroorganizmalar yardımıyla parçalanır. En yaygın kullanılan yöntemler arasında aktif çamur sistemleri bulunur. Bu sistemlerde bakteriler, suyun içindeki organik maddeleri tüketerek biyolojik olarak parçalar. Böylece suyun içindeki organik yük azaltılır ve arıtma verimliliği artırılır [4]. Bu süreçle arıtılan su, yeniden kullanım veya doğal su kaynaklarına deşarj için uygun hale gelir. Ancak, arıtma tesisi çıkış sularındaki AKM'nin yenilikçi filtrasyon sistemleriyle arıtılarak yeniden kullanım alanlarının oluşturulmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

1.1.2. Membran Teknolojilerinin Arıtma Tesislerindeki Yeri

Membran teknolojileri, atıksu arıtma tesislerinde önemli bir rol oynar ve gelişmiş arıtma ile su geri kazanımında etkili çözümler sunar [5]. Bu teknolojiler, suyun içerisinde bulunan çeşitli boyutlardaki partiküllerin, mikroorganizmaların ve çözünmüş maddelerin uzaklaştırılmasını sağlar. Ancak membran sistemler ileri arıtma teknolojileri olup öncesinde geleneksel bir ön arıtmaya ihtiyaç duyar [6]. Özellikle suyun yeniden kullanımı ve ileri arıtma ihtiyaçlarının karşılanması için tercih edilen membran sistemleri, farklı filtrasyon kapasitelerine sahip çeşitli türlerle uygulanır [7]. Bu türler arasında mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF) ve ters osmoz (RO) yer alır ve her biri farklı arıtma ihtiyaçlarına cevap verir. Mikrofiltrasyon (MF), 0.1 ile 10 mikron (μm) aralığındaki partikülleri ve mikroorganizmaları sudan uzaklaştıran bir membran teknolojisidir. [8]. Bu teknoloji, genellikle ön arıtma veya ikincil arıtma aşamalarında kullanılır. Mikrofiltrasyon membranları, suyun içindeki askıda katı maddeleri, bazı bakterileri ve büyük boyutlu partikülleri ayırarak suyun daha temiz hale gelmesini sağlar. Bu işlem sayesinde suyun daha sonraki arıtma aşamalarında kullanılabilirliği artar ve sistemin genel verimliliği yükselir.

Bir diğer membran teknolojisi olan ultrafiltrasyon (UF) ise, 0.01 ile 0.1 mikron (μm) boyutundaki maddeleri ayırmak için kullanılır [9]. Ultrafiltrasyon membranları, bakterilerin yanı sıra bazı virüsleri de sudan etkili bir şekilde uzaklaştırır [10]. Özellikle içme suyu üretimi ve endüstriyel uygulamalarda tercih edilen bu teknoloji, suyun yüksek düzeyde temizlenmesini sağlar [11]. Daha gelişmiş bir membran teknolojisi olan nanofiltrasyon (NF), daha küçük partiküllerin ayrıştırılmasını sağlar. Nanofiltrasyon

membranları, 0.001 ile 0.01 mikron (μm) boyutundaki maddeleri filtreleyebilir. Bu teknoloji, organik maddelerin, ağır metallerin ve bazı tuzların giderilmesinde oldukça etkilidir.

Ters osmoz (RO) ise membran teknolojileri arasında en ince filtrasyon kapasitesine sahip olan yöntemdir [12]. 0.0001 mikron (μm) seviyesinde filtrasyon yapabilen bu sistem, suyun içerisindeki çözülmüş iyonları, tuzları ve organik bileşiklerini uzaklaştırır. Ters osmoz membranları, içme suyu üretimi, deniz suyu arıtımı ve endüstriyel su geri kazanımı gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılır [13]. Bu sistem, yüksek basınç altında çalışarak suyu yarı geçirgen bir membran üzerinden geçirir ve böylece suda bulunan çözülmüş maddeleri etkili bir şekilde ayırır. Membran teknolojileri, atıksu arıtma tesislerinde birçok avantaj sunar [14]. Bunların başında, yüksek kalitede arıtılmış su elde edilmesi gelir. Bu sistemler, suyun içindeki zararlı maddeleri yüksek hassasiyetle uzaklaştırarak suyun kalitesini artırır. Ayrıca, kompakt tasarımları sayesinde az alan gereksinimiyle çalışabilirler. Geleneksel arıtma sistemlerine kıyasla daha küçük alanlarda kurulabilir ve işletilebilirler. Bunun yanı sıra, arıtılmış suyun yeniden kullanımı için uygunluk sağlarlar. Geri kazanılan su, tarımsal sulama veya endüstriyel süreçler gibi çeşitli alanlarda tekrar kullanılabilir. Bu da su kaynaklarının sürdürülebilirliğine katkıda bulunur ve su kıtlığı sorunlarına çözüm sunar.

1.2. Atıksu Arıtma Çamurlarının Özellikleri

1.2.1. Çamur Karakterizasyonu: Fiziksel, Kimyasal ve Biyolojik Özellikler

Atıksu arıtma süreçlerinin bir yan ürünü olan çamur, çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklere sahiptir. Çamurun fiziksel özellikleri arasında nem içeriği, yoğunluk, viskozite ve partikül büyüklüğü dağılımı bulunur. Atıksu arıtma çamuru genellikle yüksek oranda su içerir; çamurun %95-99'u sudan oluşur [15]. Katı madde oranı düşük olsa da bu katı maddeler organik ve inorganik bileşenlerden oluşur. Katı maddelerin bir kısmı çözünebilir, bir kısmı ise askıda kalır. Yoğunluğu ve viskozitesi, çamurun arıtma sürecindeki aşamasına ve içeriğine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Kimyasal özellikler açısından incelendiğinde, atıksu arıtma çamuru çeşitli organik ve inorganik bileşiklerini içerir. Organik madde içeriği yüksek olan çamurlar biyolojik olarak parçalanabilir. Çamurdaki başlıca kimyasal bileşenler arasında azot, fosfor, kükürt, ağır metaller (kurşun, civa, kadmiyum gibi) ve tuzlar yer alır. Özellikle endüstriyel atıksulardan

kaynaklanan çamurlarda ağır metal konsantrasyonları yüksek olabilir. Ayrıca çamur, patojen mikroorganizmalar ve zararlı bileşenler içerebilir, bu da çamurun uygun şekilde arıtılmasını ve bertarafını gerektirir. Biyolojik özellikler açısından, çamur içinde çeşitli mikroorganizmalar bulunur. Bunlar arasında bakteriler, mantarlar, virüsler ve protozoalar yer alır. Biyolojik aktivite, çamurun organik madde içeriğine ve sıcaklık gibi çevresel faktörlere bağlıdır.

1.2.2. Çamur Kaynaklı Sorunlar ve Çözüm Önerileri

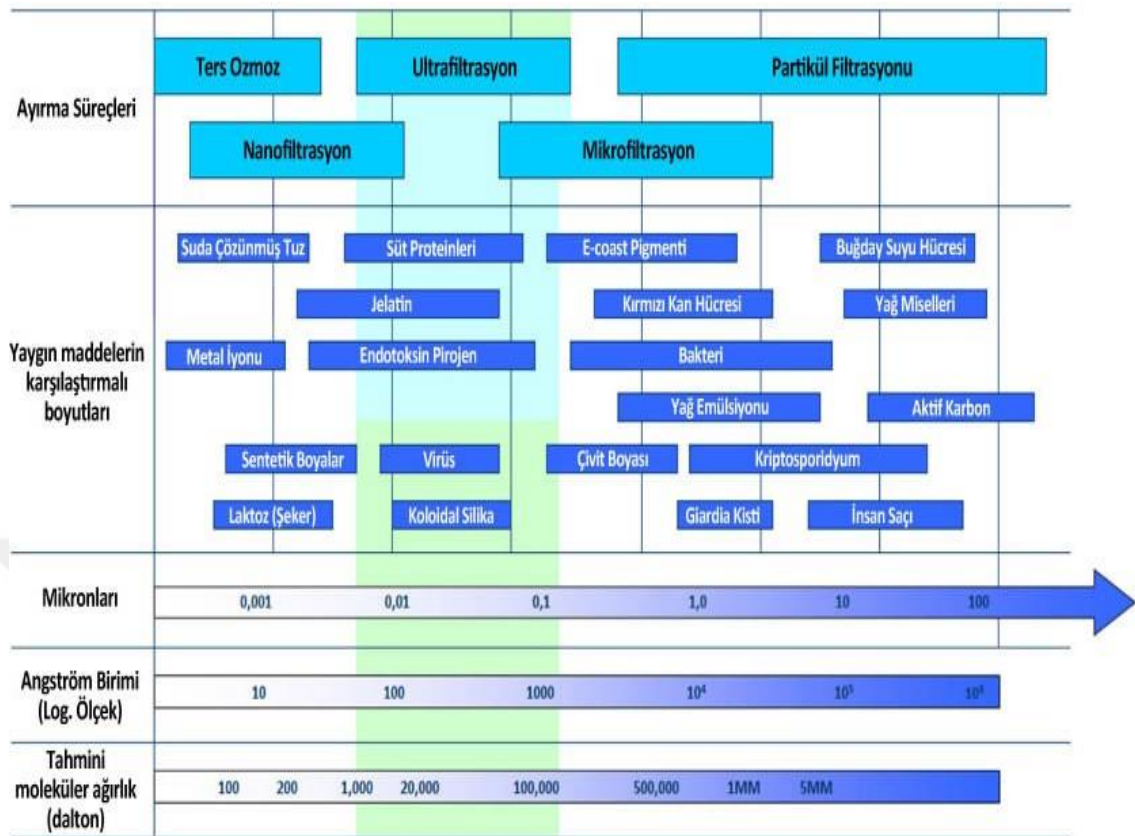
Atıksu arıtma çamurları, arıtma tesisleri ve çevre için çeşitli sorunlara neden olabilir. En yaygın sorunlardan biri yüksek su içeriğidir [16]. Çamurun susuzlaştırılması zor olduğu için taşıma ve bertaraf maliyetleri artar. Bu sorunun çözümü için mekanik susuzlaştırma yöntemleri (filtre pres, santrifüj gibi) veya termal kurutma teknikleri kullanılabilir. Bir diğer önemli sorun, ağır metal kirliliğidir. Endüstriyel atıksuların arıtılmasından elde edilen çamurlarda yüksek oranda ağır metaller bulunabilir. Bu metaller, toprağa veya suya karıştığında ciddi çevresel ve sağlık sorunlarına yol açar. Ağır metal içeriğini azaltmak için kimyasal stabilizasyon ve şelasyon gibi teknikler uygulanabilir. Çamurun içeriğindeki patojen mikroorganizmalar da sağlık riski oluşturur [17]. Bu sorunun çözümü için çamurun hijyenizasyonu gereklidir. Hijyenizasyon, termal kurutma, kireç stabilizasyonu veya kompostlaştırma gibi yöntemlerle gerçekleştirilebilir.

AAT'lerde çamur yönetimi Türkiye'de genellikle susuzlaştırma sonrası bertaraf işlemlerini içermektedir [18]. Bazı büyük arıtma tesislerinde anaerobik çürütme sonrası biyogaz üretimi ile enerji eldesi yapılırsa da çamurun stabilizasyonu birçok AAT'de uygulanmamaktadır [19]. Çamur stabilizasyonu, çamurun biyolojik olarak aktif hale gelmesini ve kötü koku yaymasını engelleyen işlemleri içerir. Stabilizasyon, aynı zamanda patojenlerin azaltılmasını sağlar. Stabilizasyon yöntemleri başlıca biyolojik ve kimyasal stabilizasyon yöntemleri olarak iki gruba ayrılır. Biyolojik stabilizasyon yöntemleri arasında en yaygın olanı aerobik stabilizasyondur. Bu yöntemde çamur, oksijenli ortamda mikroorganizmalar tarafından parçalanır [20]. Bu işlem sırasında organik madde miktarı azalır ve kötü koku oluşumu engellenir. Aerobik stabilizasyon, düşük maliyetli ve basit bir yöntemdir, ancak enerji tüketimi yüksektir. Diğer bir biyolojik yöntem olan anaerobik çürütme, oksijensiz ortamda gerçekleşir ve bu süreçte biyogaz (metan ve karbondioksit) üretilir. Elde edilen biyogaz, enerji üretimi için kullanılabilir.

Anaerobik çürütme, enerji verimliliği sağlarken çamurun hacmini de azaltır. Kimyasal stabilizasyon yöntemlerinde ise çamura kireç, demir tuzları veya diğer kimyasal maddeler eklenir. Kireç stabilizasyonu, çamurun pH seviyesini yükselterek patojenlerin yok edilmesini sağlar. Bu yöntemle hızlı bir stabilizasyon sağlanabilir, ancak çamurun hacmi artar. Kimyasal oksidasyon ise çamurdaki organik maddelerin kimyasal oksidanlar (örneğin klor, hidrojen peroksit) ile parçalanmasını içerir. Ancak arıtma çamurlarının faydalı kullanımının artırılması gerektiği düşünülmektedir.

1.3. Membran Teknolojileri

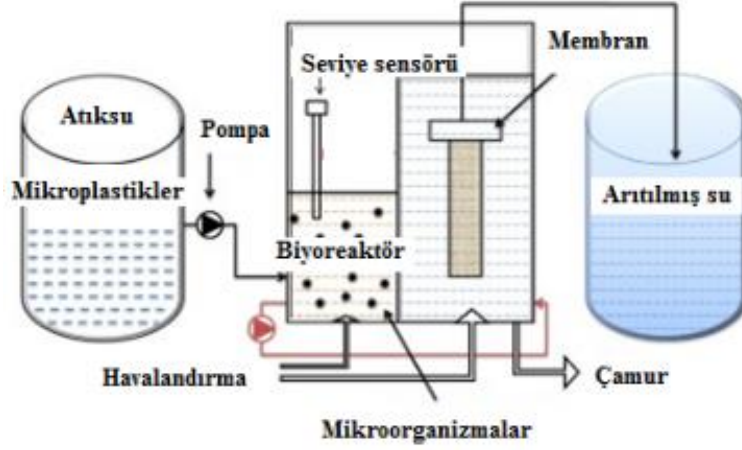
Polimer ve inorganik membranlar, su ve atıksu arıtımında, özellikle sudan tuzları ve partikülleri ayırmak için uzun süredir kullanılmaktadır. Membran teknolojileri, sıvıların ve gazların içindeki istenmeyen partiküllerin, mikroorganizmaların ve çözünmüş maddelerin ayrıştırılması için kullanılan yenilikçi arıtma yöntemleridir. Bu teknolojiler, su arıtma, atıksu geri kazanımı, gıda endüstrisi, kimya sanayi ve biyoteknoloji gibi birçok alanda yaygın olarak kullanılır. Membranlar, yarı geçirgen bir yapıya sahiptir ve belirli boyuttaki maddelerin geçişine izin verirken daha büyük partiküllerin veya moleküllerin geçişini engeller [21]. Membran teknolojileri, verimliliği, kompakt tasarımı ve çevre dostu yapısı sayesinde modern arıtma sistemlerinin vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir [22]. Membran teknolojilerinde ayırma süreçleri ve yaygın maddelerin karşılaştırmalı boyutları Şekil 1’de ifade edildiği gibidir.



Şekil 1. Membran Teknolojileri [23]

Membran teknolojisinde çok iyi kalitede su eldesi sağlansa da tıkanma ve performans azalma problemleri birçok araştırmacıya konu olmuştur. Fan ve arkadaşları (2007) tarafından yapılan araştırmada, membran kirlenmesini azaltmaya yönelik çalışmalar kapsamında kirlenme kontrolü amacıyla kimyasal koagülantlar kullanılmıştır. [24] Araştırma sonucunda, demir klorür, alüminyum sülfat ve organik polimer eklenmesinin transmembran basıncındaki artışı önemli ölçüde azalttığı belirlenmiştir.

Rosenberger ve arkadaşları (2002) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, evsel atıksuların batık membran biyoreaktör (MBR) sistemi ile arıtılması araştırılmıştır. [25] Deney sürecinde, reaktördeki karışık sıvının askıda katı madde konsantrasyonunun 18-20 g/L arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Arıtma işlemi sonucunda Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ) giderim oranı %95, toplam azot giderim oranı ise %82 olarak kaydedilmiştir. MBR şematik gösterimi Şekil 2'de gösterildiği gibidir.



Şekil 2. MBR şematik gösterimi

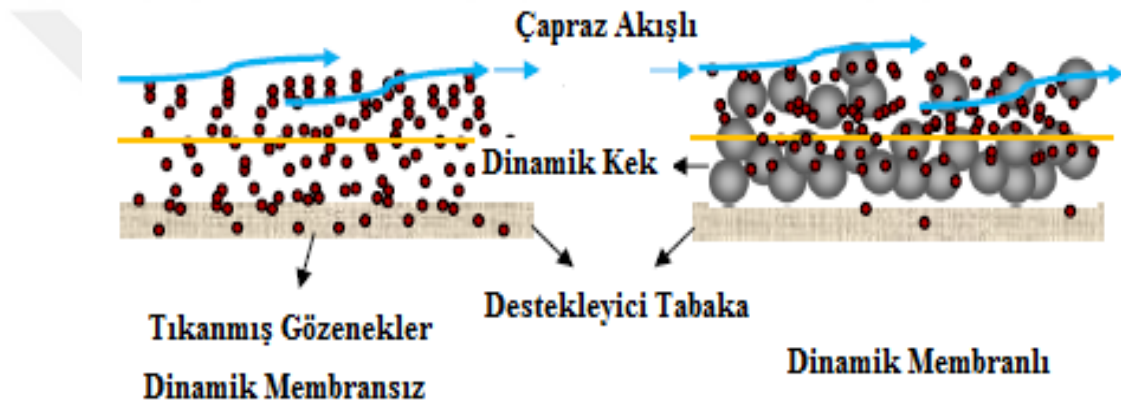
Membran sistemlerde tıkanma problemine odaklanmak yerine, özellikle MF ve UF sistemlere alternatif olarak, basit bir destek malzemesi (elek, kumaş, keçe vb.) kullanarak dinamik bir tabaka oluşumu sağlanması ile MF ya da UF çıkış suyu kalitesinde ürün elde edilebilir. Bu sistemlere dinamik membranlar denilmektedir.

1.3.1. Dinamik Membran Teknolojisi

Dinamik membran, geleneksel membran teknolojilerine alternatif olarak geliştirilmiş, düşük maliyetli ve esnek bir filtrasyon yöntemidir. Dinamik membranlar, sabit gözenekli membranlar yerine, bir destek malzemesi üzerinde işlem sırasında kendiliğinden oluşan bir filtre tabakası kullanır [26]. Bu dinamik filtre tabakası, arıtılan sıvının içindeki partiküller ve mikroorganizmalar tarafından oluşturulur ve sürekli olarak kendini yeniler. Dinamik membranlar, özellikle atıksu arıtımı, endüstriyel filtrasyon ve biyolojik arıtma uygulamalarında yaygın olarak kullanılır [27]. Dinamik membranlar, geçirgen bir destek tabakası üzerinde çalışır. Filtrasyon sırasında, su veya sıvı içindeki katı partiküller ve koloidal maddeler destek malzemesi üzerinde birikerek ince bir filtre tabakası oluşturur [28]. Dinamik membranın en önemli özelliği, bu filtre tabakasının işlem sırasında oluşması ve gerektiğinde kolayca yenilenebilmesidir.

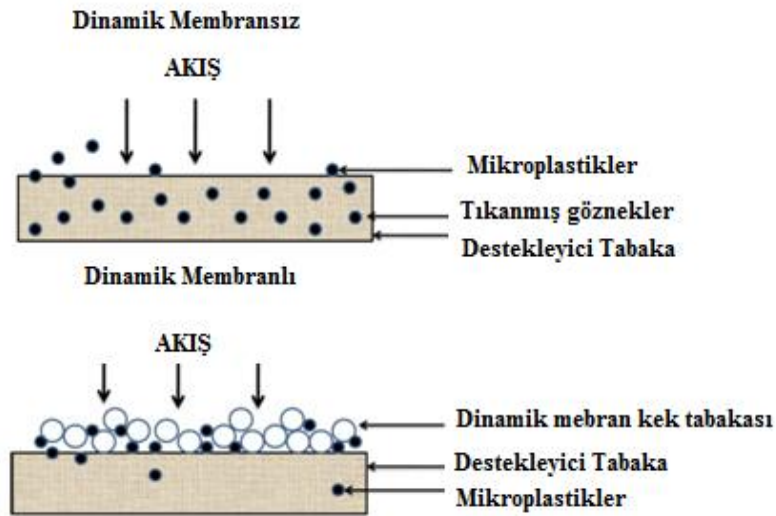
Dinamik membran, katı maddenin temelde makro gözenekli örgüler ve kumaşlar gibi destekleyici malzemeler üzerinde [29] kolloidler veya mikrobiyal hücre partiküllerinin birikmesi sonucunda dinamik kirlenme tabakası meydana gelir ve bu tabaka dinamik membran olarak adlandırılır. [30]

Elkebir'in (1991) tarafında çalışmada, aktif çamurun çapraz akışlı mikrofiltrasyonunda dinamik membran olarak kaolin, kireç ve diatomlu toprak malzemeleri kullanılmıştır [31]. Çalışmada, kaolinin performans açısından yeterli olmadığı sonucuna ulaşılmış, ancak bu sonucun nedenleri detaylı olarak açıklanmamıştır. Kireç kullanımı, kaoline kıyasla daha iyi bir ayırım verimliliği sağlamıştır. Ayrıca, süspansiyonun pH seviyesinin nötr veya daha yüksek değerlerde tutulmasının etkili bir membranlama için gerekli olduğu belirtilmiştir. Diatomlu toprak ise kaolin ve kireçten daha istikrarlı ve verimli bir dinamik membran olarak değerlendirilmiştir. Dinamik kek tabasının gösterimi Şekil 3'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3. Dinamik kek tabasının gösterimi [11]

Holdich ve Boston (1990) tarafından yapılan çalışmada, musluk suyunun mikrofiltrasyonunda dinamik membranların kullanımını incelemiş ve bu amaç doğrultusunda çeşitli mineral türlerini değerlendirmiştir [32]. Araştırmada kullanılan mineraller arasında florspar, diatomit, kaolin, silikat pulları ve kireç taşı bulunmaktaydı. Çalışmanın sonuçlarına göre, kireç taşı gibi simetrik ve dar parçacık boyutu dağılımına sahip minerallerle yüksek permeat akış hızları elde edilmiştir. Öte yandan, silikat pulları gibi düzensiz yapılı parçacıklar, daha iyi permeat kalitesi sağlamıştır. Dinamik membranların akış diyagramı Şekil 4'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4. Dinamik membranların akış diyagramı

1.3.1.1. Destek Tabakaları ve Gözenek Yapısı

Dinamik membran teknolojisinde destek tabakaları, filtrasyon işleminin temelini oluşturan önemli bileşenlerdir. Destek tabakaları, dinamik membran tabakasının olduğu yüzey olarak işlev görür ve mekanik dayanıklılığı sağlar. Bu tabakalar, farklı malzemelerden üretilebilir ve malzeme özellikleri filtrasyon performansı üzerinde doğrudan etkilidir.

1.3.1.1.1. Destek Tabakalarının Malzeme Özellikleri

Yaygın olarak kullanılan destek tabakası malzemeleri arasında polimerler, seramikler, metalik malzemeler ve dokuma olmayan tekstil yapıları yer alır [33]. Polimer malzemeler, düşük maliyetli, hafif ve esnek yapıları sayesinde yaygın olarak tercih edilir. Polietilen (PE), polipropilen (PP), politetrafloroetilen (PTFE) ve naylon gibi polimerler, kimyasal dayanıklılıkları ve kolay işlenebilirlikleri nedeniyle destek tabakası üretiminde sıkça kullanılır.

1.3.1.1.2. Gözenek Çapının Dinamik Membran Performansına Etkileri

Dinamik membran teknolojisinde destek tabakasının gözenek çapı, filtrasyon performansı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Gözenek çapı, destek tabakasının geçirgenliğini ve filtreleme kapasitesini belirler. Destek tabakasının gözenek çapı uygun seçilmediğinde, dinamik membranın verimliliği olumsuz etkilenebilir. Büyük gözenek

çapına sahip destek tabakaları, partiküllerin dinamik membran tabakası üzerinde daha hızlı bir şekilde birikmesini sağlar [34]. Bu durum, membran oluşum süresini kısaltır ve filtrasyon hızını artırır. Ancak, gözeneklerin çok büyük olması durumunda, partiküllerin destek tabakasına nüfuz etme riski artar ve membran tabakası kararsız hale gelebilir. Küçük gözenek çapına sahip destek tabakaları, partiküllerin destek tabakası içine geçmesini engeller ve membran tabakasının daha kararlı bir şekilde oluşmasını sağlar. Bu durum, filtreleme verimliliğini artırır ve membran tabakasının daha uzun ömürlü olmasını sağlar. Destek tabakasının gözenek çapının seçimi, uygulama koşullarına ve arıtılacak suyun partikül içeriğine bağlıdır. İdeal gözenek çapı hem filtrasyon hızını optimize etmeli hem de membran tabakasının kararlılığını sağlamalıdır [35].

1.3.1.1.3. Destek Tabakası Seçimi İçin Kriterler

Dinamik membran teknolojisinde destek tabakası seçimi, sistemin performansı, dayanıklılığı ve uzun ömürlü kullanımı açısından kritik bir adımdır. Destek tabakasının gözenek çapı, filtrasyon sürecinin etkinliğini doğrudan etkiler. Gözenek çapı, arıtılacak suyun partikül boyutuna ve membran tabakasının stabilitesine uygun olmalıdır. Küçük gözenek çapları daha iyi filtreleme sağlarken, büyük gözenek çapları daha yüksek filtrasyon hızına olanak tanır. Arıtma sırasında kullanılan kimyasallara ve arıtılan suyun içeriğine bağlı olarak, destek tabakasının kimyasal dayanım göstermesi önemlidir [36]. Endüstriyel atıksu arıtımında kullanılan agresif kimyasallar, destek tabakasının malzemesini aşındırabilir. Destek tabakası, yüksek basınç altında çalışabilmeli ve uzun süreli kullanımlarda deformasyona uğramamalıdır. Mekanik dayanım, özellikle yüksek basınçlı filtrasyon sistemlerinde önem taşır. Filtrasyon sürecinde sıcaklık değişimleri söz konusuysa, destek tabakasının termal dayanımı göz önünde bulundurulmalıdır. Seramik ve metalik destek tabakaları yüksek sıcaklıklara dayanıklıyken, polimer destek tabakaları daha düşük sıcaklıklarda çalışır. Destek tabakasının maliyeti, sistemin toplam işletme maliyetini etkiler. Uygun maliyetli ve kolay temin edilebilen malzemeler tercih edilmelidir. Ancak düşük maliyetli malzemeler, uzun ömürlülük ve dayanıklılık açısından bazı dezavantajlar taşıyabilir. Destek tabakasının kolay temizlenebilir ve yeniden kullanılabilir olması önemlidir. Yenilenebilir destek tabakaları, işletme maliyetlerini azaltır ve sistemin daha sürdürülebilir çalışmasını sağlar. Bu kriterler doğrultusunda yapılan doğru destek tabakası seçimi, dinamik membran sistemlerinin performansını artırır ve uzun vadede verimli bir filtrasyon sağlar [37].

1.3.1.2. Dinamik Membran Performansının Değerlendirilmesi

Dinamik membran teknolojilerinin etkinliğini değerlendirmek için birkaç önemli performans kriteri bulunmaktadır. Bu kriterler arasında akış hızı ve filtrasyon verimliliği, kirlilik giderim oranları ve uzun dönem membran dayanıklılığı yer alır [38]. Bu faktörler, sistemin ne kadar verimli çalıştığını ve membranın ömrünün ne kadar sürdüğünü belirlemede kritik rol oynar. Performans değerlendirmesi, membran sisteminin tasarımı, uygulama alanı ve arıtılan atıksuyun bileşimine göre değişiklik gösterebilir. Dinamik membran sistemlerinin performansını değerlendirmenin ilk adımı, akış hızı ve filtrasyon verimliliğidir. Akış hızı, birim zamanda membran yüzeyinden geçen su miktarı olarak tanımlanır ve genellikle litre/metrekaare/saat (LMH) birimiyle ölçülür. Filtrasyon verimliliği ise membranın suyu ne kadar hızlı ve etkin bir şekilde filtreleyebildiğini gösterir. Akış hızı, membran sisteminin verimliliğini ve kapasitesini doğrudan etkiler [39]. Dinamik membranlar, geleneksel membranlara göre daha yüksek akış hızları sunabilir çünkü dinamik membran tabakası, sürekli olarak kendini yenileyebilir ve tıkanmayı azaltabilir. Ancak, akış hızı membran yüzeyinde biriken partiküller tarafından zamanla düşebilir. Akış hızını optimum seviyede tutmak için membranın düzenli olarak temizlenmesi ve bakımının yapılması gerekir. Ayrıca, destek tabakasının gözenek yapısı ve malzeme türü de akış hızını etkileyen faktörler arasındadır. Daha büyük gözenek çapına sahip destek tabakaları, daha yüksek akış hızları sağlar ancak filtrasyon kalitesinde düşüşe neden olabilir. Bu nedenle, akış hızı ve filtrasyon verimliliği arasında doğru bir denge sağlanmalıdır.

Dinamik membran sistemlerinin bir diğer önemli performans kriteri, kirlilik giderim oranlarıdır [40]. Bu oran, membranın sudaki organik, inorganik ve biyolojik kirlleticileri ne kadar etkili bir şekilde uzaklaştırabildiğini gösterir. Kirlilik giderim oranları, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ), biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ), toplam askıda katı madde (AKM), yağ ve gres gibi parametrelerle ölçülür. Dinamik membranlar, organik ve inorganik partiküllerin yanı sıra mikroorganizmaların gideriminde yüksek performans gösterebilir. Özellikle biyolojik arıtma sonrası çıkan atıksuların filtrasyonunda, dinamik membranlar aktif çamur kalıntılarını ve çözünmüş organik maddeleri etkili bir şekilde uzaklaştırır. Ancak, kirlilik yükü çok yüksek olan atıksularda membran performansı zamanla düşebilir. Bu durumda, membranın kirlilik giderim oranını korumak için ön

arıtma süreçlerinin uygulanması önemlidir. Ayrıca, kirlilik giderim oranlarının yüksek tutulması, membranın yüzeyinde biriken kirlerin düzenli olarak temizlenmesine bağlıdır.

Dinamik membran sistemlerinin sürdürülebilirliği için uzun dönem membran dayanıklılığı kritik bir değerlendirme kriteridir. Membran dayanıklılığı, membranın mekanik ve kimyasal streslere ne kadar süre dayanabildiğini ve performansını ne kadar süre koruyabildiğini ifade eder. Uzun ömürlü membranlar, işletme maliyetlerini azaltır ve sistemin verimliliğini artırır. Dinamik membranların dayanıklılığı, kullanılan destek tabakasının malzemesine, çalışma koşullarına ve membranın maruz kaldığı kirlleticilere bağlıdır. Seramik ve metalik destek tabakaları, yüksek mekanik dayanım ve kimyasal dirençleri sayesinde uzun ömürlü kullanım sunar. Polimer destek tabakaları ise daha ekonomik olmalarına rağmen, kimyasal bozulmaya ve mekanik aşınmaya karşı daha hassastır [41]. Uzun dönem dayanıklılığı sağlamak için membran sisteminin düzenli olarak temizlenmesi ve bakımı yapılmalıdır.

Dinamik membran (DM) teknolojisi, geleneksel membran filtreleme sistemlerine alternatif olarak geliştirilen, özellikle atıksu arıtma süreçlerinde düşük maliyetli ve verimli bir çözüm sunan bir yöntemdir. Bu teknoloji, sabit gözenekli membranlar yerine, destek malzemesi üzerinde kendiliğinden oluşan bir filtre tabakası ile çalışır [42]. Dinamik membranlar, partikül ayırıştırma ve filtreleme işlemlerinde esneklik sağlar ve çeşitli uygulamalarda kullanılabilir. Dinamik membran teknolojisinin başlıca avantajlarından biri düşük maliyetli olmasıdır. Geleneksel membran sistemlerinde kullanılan hassas ve pahalı membran malzemeleri yerine, daha ekonomik destek malzemeleri kullanılır. Bu sayede sistemin kurulumu ve işletme maliyetleri önemli ölçüde azalır. Özellikle büyük ölçekli arıtma tesislerinde maliyet tasarrufu sağlamak, bu teknolojiyi cazip hale getirir. Destek malzemeleri, kolay temin edilebilir ve yenilenebilir özellikte olduğu için işletme maliyetleri üzerinde ek bir yük oluşturmaz.

Bir diğer avantaj, yüksek katı madde giderimi sağlamasıdır. Dinamik membranlar, özellikle yoğun katı madde içeren atıksuların arıtılmasında verimli bir şekilde çalışır. Geleneksel membranların tıkanma sorunu yaşadığı durumlarda bile dinamik membranlar etkili bir şekilde filtrasyon yapabilir. Yüksek katı madde içeriği olan endüstriyel atıksular veya belediye atıksuları gibi zorlu koşullarda bile performansını sürdürebilir. Ayrıca, dinamik membranlar, partikül ve katı madde gideriminde esneklik sağlayarak farklı

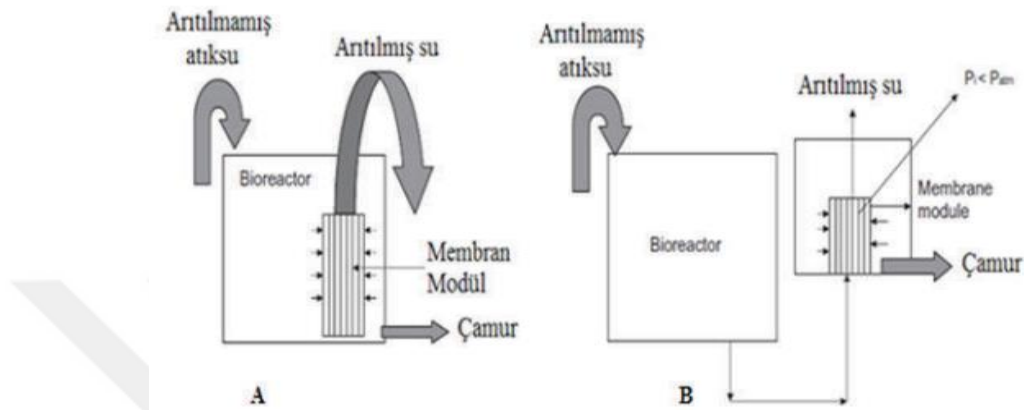
konsantrasyonlarda çalışmaya uygundur [43] . Dinamik membranların bir diğer önemli özelliği kendini yenileyebilme kapasitesidir. Filtrasyon sırasında membran tabakası kendiliğinden oluştuğu için, tıkanma veya performans kaybı durumunda membran tabakası kolaylıkla yenilenebilir. Bu durum, sistemin duruş sürelerini azaltır ve bakım gereksinimini en aza indirir. Temizlik işlemleri, kimyasal veya mekanik yöntemlerle kolayca gerçekleştirilebilir. Bu sayede, uzun süreli ve verimli bir kullanım sağlanır. Bununla birlikte, dinamik membran teknolojisinin bazı dezavantajları da vardır. En belirgin dezavantajlardan biri performans dalgalanmalarıdır. Dinamik membran tabakasının oluşumu ve kalitesi, işletme koşullarına bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Membran tabakasının homojen bir şekilde oluşmaması veya yapısının kararsız olması, filtrasyon verimliliğini olumsuz etkileyebilir. Bu durum, sürekli izleme ve kontrol gerektirdiğinden, sistemin işletme zorluğunu artırabilir. Diğer bir dezavantaj ise ön arıtma gereksinimidir. Bazı uygulamalarda dinamik membranın etkin çalışabilmesi için suyun belirli bir kalitede olması gerekir. Çalışamaz büyük partiküllerin veya aşırı yağ içeriğinin bulunduğu atıksularda, ön arıtma yapılmadan dinamik membran sistemi verimli çalışamaz [44].

Membranlarda atıksuyun süzüntü tarafına geçmesi için sürücü kuvvet gerekmekte olup genellikle vakum ya da basınç kullanılarak (pompa ile) sağlanmaktadır. Bu enerji sarfiyatını ortadan kaldırmak için membran sistemler yer çekimi (YÇ) ile çalışan sistemler olarak da tasarlanabilir.

1.3.2. Yer Çekimi ile Çalışan Membran Sistemler

Dinamik membran teknolojisi, Yer çekimi ile filtrasyon prensibini birleştirerek enerji tasarruflu ve düşük maliyetli çözümler sunar. Bu sistemlerde suyun hareketi, ek pompa gücü gerektirmeksizin yerçekimi kuvveti sayesinde sağlanır. Enerji ihtiyacının minimum olması, su ve atıksu arıtma uygulamalarında bu teknolojiyi sürdürülebilir hale getirir [45]. Özellikle enerji kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde kullanımı oldukça avantajlıdır. Kırsal alanlar, küçük ölçekli tesisler ve altyapı imkanlarının kısıtlı olduğu yerlerde dinamik membran sistemleri etkili bir arıtma yöntemi olarak öne çıkar. Basit tasarımı sayesinde kurulumu ve işletimi kolaydır; teknik uzmanlık gerektirmez ve bakım maliyetleri düşüktür [46]. Bu sistemlerde dinamik membran tabakası, destek tabakası üzerinde suyun içindeki partiküllerin birikmesiyle oluşur ve gerektiğinde kendini

yenileyebilir. Böylece, uzun ömürlü ve verimli bir filtrasyon sağlanır. Dinamik membranlar, suyun temizlenmesini sağlarken aynı zamanda çevresel sürdürülebilirliği destekleyen ekonomik bir çözüm sunar. İçsel ve dışsal membran biyoreaktör şematik gösterimi Şekil 5’ de gösterilmiştir.



Şekil 5. İçsel (A) ve Dışsal (B) Batık Membran Biyoreaktörler [47]

1.3.3. Dinamik Membran Oluşumunda Kullanılan Malzemeler

Dinamik membran oluşumunda kullanılan malzemeler, filtrasyon performansı, dayanıklılık ve ekonomik verimlilik açısından kritik bir öneme sahiptir [48]. Bu teknolojiye, destek tabakası üzerine işlem sırasında biriken partiküllerle kendiliğinden oluşan bir membran tabakası kullanılır. Destek tabakası malzemeleri genellikle polimerler, seramikler, metalik malzemeler ve dokuma olmayan tekstil yapılarından oluşur. Polimer malzemeler, düşük maliyetleri, esneklikleri ve kimyasal dayanıklılıkları sayesinde en sık tercih edilenlerdir. Polietilen (PE), polipropilen (PP) ve politetrafloroetilen (PTFE) gibi polimerler, biyolojik arıtma süreçlerinde yaygın olarak kullanılır. Seramik malzemeler, yüksek sıcaklık ve kimyasal dayanım gerektiren endüstriyel uygulamalarda tercih edilirken, metalik malzemeler yüksek basınca dayanıklı yapılarıyla dikkat çeker. Dokuma olmayan tekstil malzemeler, hafif ve taşınabilir olmaları sayesinde düşük debili sistemlerde uygundur.

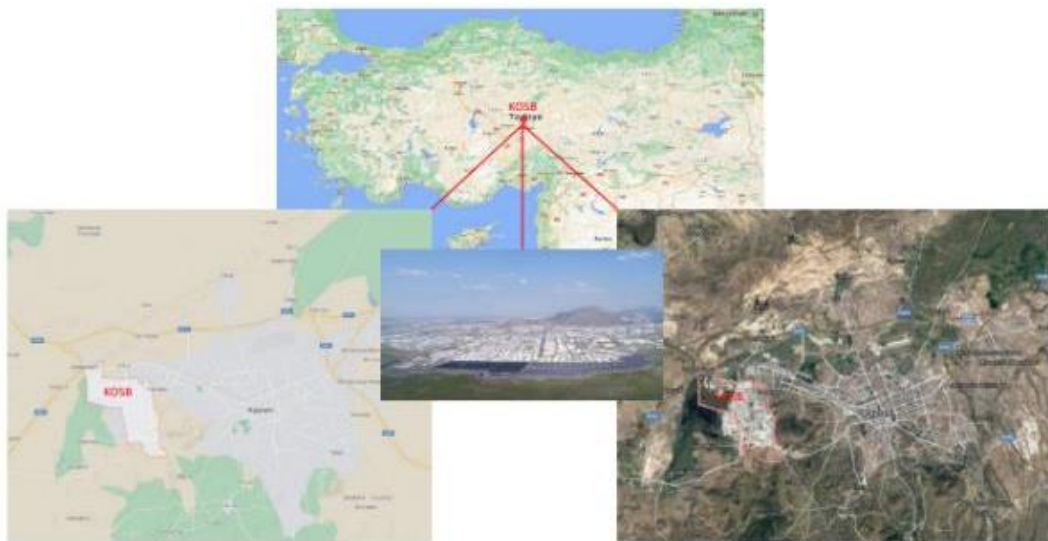
1.4. Organize Sanayi Bölgeleri (OSB'ler)

Türkiye'de sanayileşme çabaları Cumhuriyet ile yoğunlaşmış ve ekonomik kalkınmanın ve yeni kazanılan siyasi bağımsızlığın temeli olarak görülmüştür. Sanayileşme, Cumhuriyetin ilk yıllarında özel sektör girişimlerine emanet edilmiş, ancak özel sektör,

mali kapasitesinin olmaması ve deneyimsizliği nedeniyle bu görevi beklendiği gibi yerine getirememiştir. Bugüne kadar Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'na kayıt yaptırarak yasal statü kazanan OSB sayısı 409'e ulaşmıştır [49]. Bu OSB'lerden 288'i faaliyette ve 121'inin planlama, geri çağırma ve inşası devam etmektedir. İşletmede olan 264 OSB için Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı'nın kredi desteği ile 172 OSB'nin altyapısı tamamlanmıştır.

1.4.1. Kayseri Organize Sanayi Bölgesi (KOSB)

Kayseri Organize Sanayi Bölgesi (KOSB) ilin tüm sanayi faaliyetlerini planlayan, koruyan ve sahip çıkan bir anlayışın ürünü olarak 1976 yılında temel atılarak inşaatlara başlanmış, 1986 yılında tamamlanarak işletilmeye başlatılmıştır. KOSB şehir merkezine 15 km mesafede 11.500.000 m² alan üzerine kurulan ve sanayicilerden gelen yoğun arsa talepleri üzerine genişleme çalışmaları sonucunda 24.000.00 m² alana ulaşarak Türkiye'nin en büyük organize sanayi bölgesi olarak gösterilmiştir. Toplam parsel sayısı 1248 adet olup, 01.12.2020 tarihi itibarıyla sanayiye tahsis edilen 1211 adet parselin 1119'u üretimde, 39'u ise inşaat aşamasındadır. Toplam 1179 sanayi tesisinde yaklaşık 70 bin kişi çalışmaktadır. Aynı zamanda istihdam sağlama açısından yörede büyük önem taşımaktadır. Günde yaklaşık 25 bin araç giriş-çıkışının olduğu Kayseri OSB, Türkiye'deki tüm OSB'ler içerisinde yatırım, istihdam, üretim ve ihracat bakımından ilk 10 içerisinde yer almaktadır. Kayseri OSB'nin konumu ve görünümü Şekil 6'de gösterilmiştir.



Şekil 6. Kayseri OSB görünümü

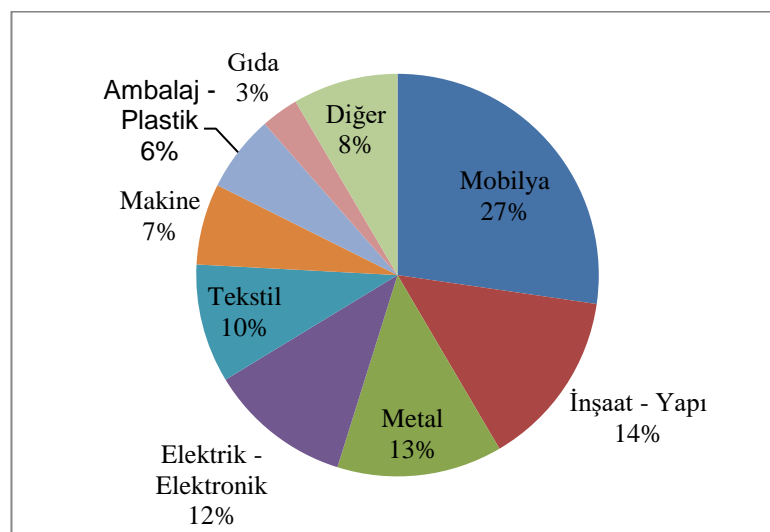
Girişimcilik, kentleşmeye sanayileşmede iddialı bir konuma gelen Kayseri Türkiye'nin yanı sıra birçok ülkeye de örnek olmayı başarmıştır. Türkiye'nin en büyük 500 şirketinden 17'sini bünyesinde barındıran ve 500' ün üzerinde hemen hemen her sektörde firmanın üretim yaptığı KOSB, Kayseri ve Türkiye'nin büyüyen ekonomisine önemli artışlar kazandırmıştır. Planlı bir büyüme ve gelişim süreci içerisinde üretim yapan tesisler ileri ve gelişen teknolojiyi kullanarak, bunu da ürünlerine yansıtarak kaliteyi artırmaya odaklanmışlardır. Bölge Müdürlüğü idare binası 2005 yılında hizmete girmiştir. KOSB Müdürlüğü sürekli gelişmeye açık ve teknolojiyi takip eden uzman kadrosuyla, projelendirmeden, uygulamaya kadar altyapı hizmetlerini hızlı bir şekilde devam ettirmektedir. Bölgede su ve kanalizasyon, doğalgaz, elektrik altyapı hizmetleri Bölge Müdürlüğü tarafından karşılanmaktadır.

Bölgenin ucuz ve kesintisiz elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla kurulan enerji santrali devreye girmiştir. Böylece sanayi bölgesinde kurulan enerji santrali de tesislerin ihtiyaçlarını karşılamada önemli rol oynamaktadır. Kuruluşundan bugüne kadar sunduğu ve amaçladığı hizmetler, hızlı istikrar gelişimi, konumu, üretimi ve istihdam kapasitesi ve sahip olduğu markalarla Türkiye'nin gözde yatırım merkezlerinden biri olan KOSB, yatırımcılar ve gelen yerli yabancı yatırımcıların beğenisini kazanmıştır. Avrupa Birliği entegrasyon süreci içerisinde önemi her geçen gün artan OSB'lerine yatırımlarda sağlanan tüm hak ve teşvikler bölge içinde uygulanmaktadır. Gelişmiş ülkelerin sanayi parkları düzeyindeki altyapı kalitesi ve diğer tüm hizmetleriyle KOSB; 43.500 kişinin istihdam edildiği, bünyesindeki üretici firmalarla birlikte dünyaya model teşvik eden yatırım ve üretim bölgesi olmuştur. KOSB' de faaliyet gösteren işletmelerin farklı yıllardaki toplam sayısı ve sektörlere göre dağılımı aşağıdaki Tablo 1'de verilmiştir. 1999-2021 yılları arasında değişen sektörel dağılımlar yıllar arttıkça artış gözlenmiştir. En fazla artışın ev eşyaları, elektrikli ev aletleri ve metal ürünler sektöründe gözlenmiştir. 2019 ve 2021 yılları arasında sektörel dağılımın en fazla görüldüğü yıllar olmuştur.

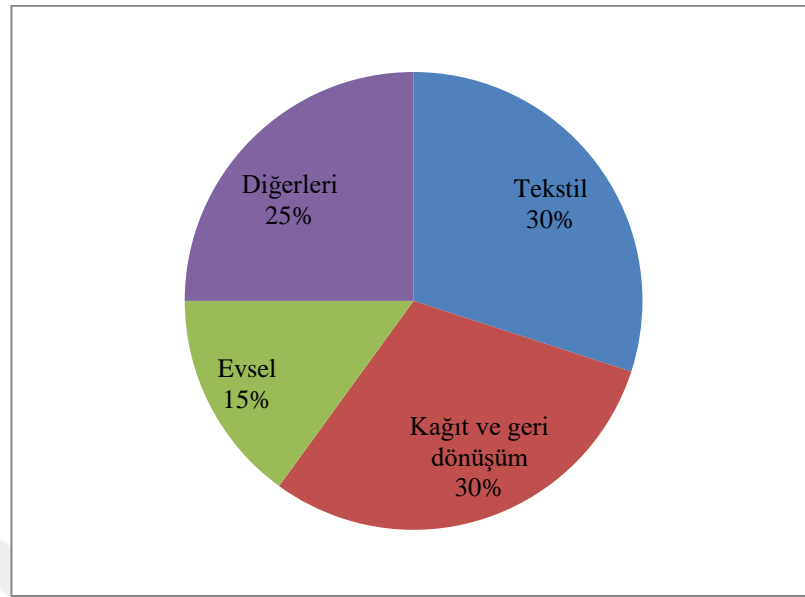
Tablo 1. KOSB'de farklı yıllara ait sektörel dağılım

Sektör	1999	2013	2017	2019	2021
Ambalaj-Plastik	20	-	123	124	122
Boya, kimya, kaplama ve temizlik ürünleri	7	-	23	48	18
Elektrik-Elektronik	-	-	40	46	46
Ev eşyaları, elektrikli ev aletleri ve metal ürünler	97	-	312	327	327
Gıda	16	-	51	53	53
İnşaat yapı malzemeleri	-	-	135	122	122
Kağıt-baskı ve reklam	-	-	37	34	34
Makine	11	55	54	51	51
Mobilya-ahşap ürünler	39	216	258	279	279
Otomotiv yan sanayi	-	-	21	15	15
Tekstil	-	82	111	120	121
Diğer	105	-	-	-	-
Toplam	295	353	1165	1219	1188

KOSB, en fazla mobilya sektörü ve diğer tüm sektörlerin sanayi fabrikalarının oluşturduğu büyük bir OSB'dir. Sektörlere göre dağılım aşağıdaki Şekil 7'de gösterilmiştir. Sayıca %27 oranında mobilya sektörü, %10-15 oranlarında İnşaat-yapı, %13 oranında metal, %12 oranında elektrik elektronik, %10 oranında tekstil sektörleri, %7 oranında makine, %6 ambalaj-plastik, %3 gıda ve %8 oranlarında ise diğer sanayi sektörleri bulunmaktadır (Şekil 7). Aynı zamanda sektörlere göre oluşan atıksu miktarları da yüzdesel olarak aşağıdaki Şekil 8'de gösterilmiştir. Ancak, atıksu oluşturma oranları sektörlere göre farklılık göstermektedir. Tekstil sektörü (%30), sayıca az olmasına rağmen en fazla atıksu oluşturan sektör konumundadır (Şekil 8). Aynı zamanda en fazla atıksu oluşturan diğer bir sektör ise kağıt geri dönüşüm (%30) sanayileri olarak belirlenmiştir.



Şekil 7. KOSB: Sektörlere göre dağılım



Şekil 8. KOSB: atıksu oluşturma oranlarına göre dağılım

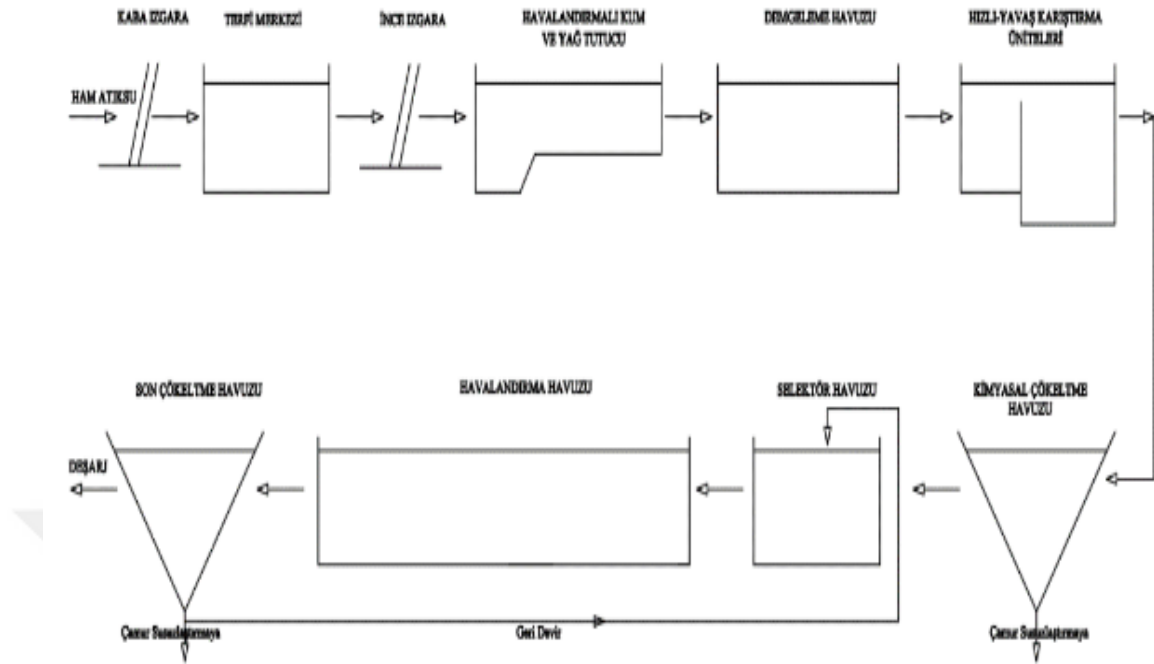
1.4.2. Kayseri Organize Sanayi Bölgesi Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi

KOSB' den kaynaklanan evsel ve endüstriyel atıksular 2008 yılına kadar Kayseri Büyükşehir Belediyesi Atıksu Arıtma Tesisi'ne verilmiş, fakat OSB'nin büyümesiyle kendi atıksu arıtma tesisini kurma ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Böylece 2008 yılında sözleşmesi imzalanan ortak atıksu arıtma tesisinin temeli 2009 yılında atılmış, inşaatı 2012 yılında tamamlanmış ve 2013 yılında işletmeye alınmıştır. KOSB atıksu arıtma tesisinin görünümü aşağıdaki Şekil 9'de verilmiştir. KOSB'deki tüm evsel ve endüstriyel nitelikli atıksuları arıtmak üzere tasarlanan tesis 52.500 m² alan üzerine kurulmuştur. Tesisin ilk aşaması 40.000 m³/gün, ikinci aşaması 20.000 m³/gün olmak üzere toplam proje debisi 60.000 m³/gün olarak planlanmıştır (Şekil 9). Tesis, Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (SKKY) Tablo 3'te verilen deşarj kriterlerine tabi olup, arıtılan atıksular 2,5 km'lik bir deşarj hattı ile Kızılırmak Havzası'nda bulunan Vanvanlı (Karasu) Deresi'ne deşarj edilmektedir.



Şekil 9. KOSB Atıksu Arıtma Tesisi

Arıtma tesisi fiziksel, kimyasal ve biyolojik proseslerden oluşmaktadır (Şekil 10). Giriş yapısı, kaba ve ince ızgaralardan sonra havalandırılmalı kum ve yağ tutucuya giren atıksu dengeleme tankında biriktirilmektedir. Sonrasında kimyasal arıtma ünitelerine gelen atıksu önce nötralizasyon, daha sonra koagülasyon ve flokülasyon proseslerine tabi tutulmaktadır. Bu işlemler sonucunda oluşan floklar bir çöktürme tankında ayrıldıktan sonra biyolojik arıtma prosesine geçilmiştir. Karbon (C), azot (N) ve fosfor (P) giderimi yapmak üzere, sırasıyla anaerobik, anoksik ve aerobik aşamalardan oluşan biyolojik reaktörden sonra son çöktürme tankında arıtılmış atıksu askıda katı maddelerden (AKM) ayrılarak deşarj edilmektedir. Sistemden atılan fazla çamur ise stabilize edilmek ve susuzlaştırılmak üzere çamur proses ünitelerine verilmektedir (Şekil 10).



Şekil 10. KOSB'ye ait AAT proses akım şeması

Kayseri Organize Sanayi Bölgesindeki Atıksu Arıtma Tesisindeki temel ünitelerin sayıları ve özellikleri ise Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. KOSB AAT temel özellikleri

Ünite	Sayı	Tasarım kriteri/Özellik
Kaba ızgara	2 mekanik 1 manuel	30 mm çubuk aralığı
İnce ızgara	3 mekanik 1 manuel	3 mm çubuk aralığı
Kum ve yağ tutucu	1 adet 2 gözlü	0,3 m/s yatay hız
Dengeleme havuzu	1 adet	4 saat bekletme süresi / 10.000 m ³
Hızlı karıştırma ünitesi	2+1	10 dk bekletme süresi
Yavaş karıştırma ünitesi	2+1	20 dk bekletme süresi
Ön çöktürme havuzu	2+1	28,4 ton/gün katı yükü
Anaerobik havuz	2+1	53 dk bekletme süresi
Havalandırma havuzu	2+1	27 saat bekletme süresi
Son çöktürme havuzu	2+1	0,78 m ³ /m ² .sa yüzey yükü
Çamur yoğunlaştırma	2	1,3 saat bekletme süresi
Çamur susuzlaştırma	4	4 adet belt filtre

KOSB atıksu arıtma tesisi yetkililerinden alınan bilgi ve verilere göre; tesise gelen toplam kirlilik yükü %10-20 oranında evsel, %30 oranında tekstil ve %30 oranında kağıt fabrikaları ve geri dönüşüm tesislerinin atıksularından oluşmaktadır. Arıtma tesisinin tasarımı için 2008 yılında KOSB’deki mevcut işletmelerden kaynaklanan ve belediye atıksu arıtma tesisine iletilen atıksulardan örnekler alınmış ve karakterizasyon çalışmaları

yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda tesis tasarımında esas alınmak üzere belirlenen atıksu özellikleri ve SKKY Tablo 19 'a göre tabi olunan deşarj limitleri Tablo 3'de verilmiştir. Tablo 3'e göre tesis tasarımında yapılan karakterizasyon çalışmalarında ham atıksu değerinin deşarj standartlarının üzerinde olduğu gözlenmiştir. Bu yüzden KOSB'ne atıksu arıtma tesisi kurulmuştur.

Tablo 3. Atıksu arıtma tesisi tasarımında esas alınan atıksu özellikleri

Parametre	Ham Atıksu Tasarım Değeri	SKKY Tablo 19 Deşarj Limiti (2 saatlik kompozit)
pH	-	6-9
Askıda Katı Madde (AKM), (mg/L)	1000	200
Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), (mg/L)	1750	400
Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ), (mg/L)	630	-
Toplam Kjeldahl Azotu (TKN), (mg/L)	30	20
Toplam Fosfor (TP), (mg/L)	11	2
Yağ ve Gres, (mg/L)	130	20

Ayrıca aşağıda verilen Tablo 4'te ise farklı OSB'lerin atıksu özellikleri karşılaştırılmıştır. Tespit edilen değerlere göre, KOSB'nin atıksuyu organik maddeler açısından Aksaray, Manisa ve Sivas OSB'lerden sonra 4. en yüksek kirliliğe sahip atıksu olarak belirlenmiştir. 2007'de ölçülen 1504 mg/L KOİ, 1301 mg/L AKM konsantrasyonları ile 2015-2020 arasında ölçülen ortalama 1418 mg/L KOİ ve 1261 mg/L AKM değerleri birbirine oldukça yakındır ve OSB'deki işletme sayısındaki değişimlere rağmen atıksu özelliklerindeki değişimlerin önemsiz seviyede olduğu görülmektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, AKM dışındaki parametrelerde atıksudaki konsantrasyonların, tasarımda esas alınan değerlere eşit ya da daha düşük olduğu, AKM'nin ise daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun arıtma verimi ve deşarj limitlerini sağlamak açısından önemli bir sorun yaratmayacağı düşünülmektedir.

Tablo 4. Farklı OSB'lerin atıksu karakterizasyonlarının karşılaştırması

Parametre	Kayseri	Elazığ	Konya	Bursa	Manisa	Sivas	Aksaray
pH	7,2	6,38-6,65	7,27-7,61	7,8-9,2	7,6	7,68-10,3	6-9
KOİ, (mg/L)	1504	180-540	906-1191	690-1050	1970	520-1540	2100
BOİ5, (mg/L)	-	150-440	320-506	270-460	1096	135-665	600
AKM, (mg/L)	1301	170-260	615-1191	270-460	1254	125-1090	800
TKN, (mg/L)	-	-	2,26-7,72	40-390	-	4-34	20
TP, (mg/L)	8	5,07-7,98	1,26-6,14	5,9-8,9	-	0,24-2,8	20
Yağ-Gres, (mg/L)	42	25-92	131-230	45-135	77,4	18-63	300

1.5. Literatürdeki Boşluk ve Çalışmanın Amacı

Membran biyoreaktörler (MBR'lar), uzun yıllardır laboratuvar ölçekli çalışmalar ve gerçek dünya uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek arıtma kalitesi, düşük alan gereksinimi ve ikincil çökeltim tanklarının ortadan kaldırılması gibi avantajlara sahip olsa da yüksek işletme ve başlangıç maliyetleri, yüksek enerji gereksinimi, tıkanma (fouling) ve düşük akı değerleri gibi sorunlar çözülmesi gereken başlıca problemlerdir [50], [51]. Dinamik membran biyoreaktörler (DMBR'lar) ise, son yıllarda, daha ucuz destek malzemesi, daha kolay temizleme ve nispeten daha yüksek akı değerleri gibi avantajları nedeniyle geleneksel MBR'lara bir alternatif olarak incelenmektedir [52],[53]. DMBR'ler, reaktörde biyokütlede destek tabakası üzerinde birikmesi sonucu oluşan, klasik mikrofiltrasyon/ultrafiltrasyon (MF/UF) sistemlerine benzer şekilde yüksek kaliteli filtrasyon sağlayan, ikinci bir tabaka olarak bilinir. Bu destek tabakası; membran, naylon veya çelik elek ya da filtre bezi gibi malzemelerden oluşabilir [54].

DMBR'ler iki gruba ayrılır: uzun süreli filtrasyon sonucu in-situ olarak oluşan kendiliğinden oluşan dinamik membranlar (SFDM'ler) veya dinamik membran (DM) ajanı kullanılarak kısa sürede bilerek oluşturulan ön kaplamalı dinamik membranlar [55], [53]. DM teknolojisinde, destek malzeme üzerinde, filtre çözeltisindeki ince partiküllerin yardımıyla dinamik bir tabaka oluşur ve bu tabaka atık suyu filtrelemek veya arıtmak için membran gibi işlev görür [56]. Literatürde genellikle kendiliğinden oluşan dinamik membranlar kullanılmakta ve yüksek kaliteli çıkış suyu elde edebilmek için gerekli olan kararlı dinamik tabakanın oluşması için gereken uzun sürelerin önemli bir dezavantaj olduğu bildirilmiştir [55], [57].

Kendiliğinden oluşan dinamik membranlar için, farklı gözenek boyutlarına sahip elekler (dokuma olmayan, 171 µm, 90 µm ve 30 µm) kullanılmış ve tüm destek tabakalarında ilk tortu tabakasının 6-8 gün içinde oluştuğu görülmüştür [58]. Başka bir çalışmada, aerobik DM filtrasyonu için 20 µm, 40 µm ve 60 µm gözenek boyutlarına sahip monofilament dokuma filtre bezleri destek malzemesi olarak kullanılmıştır. 20 µm filtre destek malzemesinde kararlı bir DM oluşmasının 4 gün sürdüğü, daha büyük gözenek boyutlu destek malzemelerinde ise uygun DM oluşumunun daha uzun zaman aldığı belirtilmiştir

[59]. Ayrıca, etkin bir DM oluşmadan önce DMBR'ların çıkış suyu kalitesinin önemli dalgalanmalar gösterebileceği çalışmalarda ortaya konulmuştur [32], [60].

Ön kaplamalı dinamik membranlar, son zamanlarda daha fazla dikkat çekmektedir. Toz aktif karbon (PAC) gibi ön kaplama malzemeleri kullanılarak, emme kuvvetleri ve kesme etkileri sayesinde, 5-30 dakika içinde eşit ve kararlı bir dinamik tabaka oluştuğu rapor edilmiştir [55], [61]. Literatürde, metal oksitler, aktif karbon, polimerler, nano parçacıklar ve toprak bazlı malzemeler gibi birçok farklı malzeme, ön kaplama membran filtrasyonu için destek malzemesi üzerinde bir filtreleme tabakası oluşturmak amacıyla çalışılmıştır [62].

Bir çalışmada, polyester destek malzemesi, peynir altı suyu atıklarını arıtmak için modifiye edilerek ve PAC, ZnO ve kitosan ile ön kaplamalı DM oluşturularak kullanılmıştır [53]. Modifiye edilmiş ve ön kaplamalı destek malzemesi, temas açısını önemli ölçüde azaltmış ve hidrofili performansını artırmıştır. Başka bir çalışmada, nominal gözenek boyutu 5-20 µm olan polietilen (PE) boru destek malzeme olarak kullanılmış ve yoğun MnO₂ partikülleri ile dinamik olarak kaplanmıştır [11]. Dinamik kaplamalı MnO₂ membranın akısının, poliakrilonitril (PAN) membranından biraz daha yüksek olduğu ve süspansiyon halindeki katı maddelerin (AKM) %99'unu tuttuğu belirtilmiştir [30] (Saleem, 2017).

DM oluşum mekanizmaları, destek malzemenin gözenek boyutuna dayalıdır. Gözenek boyutu, birleştirilen malzemelerden daha küçük, eşit veya büyük olabilir [62]. Çalışmalarda genellikle 1-50 µm aralığında gözenek boyutlarına sahip destek malzemeleri tercih edilmektedir [63]. Bazı çalışmalar ise gözenek boyutunun dinamik tabaka oluşumu için önemli olmadığını savunmaktadır [64], [65].

Sonuç olarak, dinamik membran teknolojisinde yüksek akı değerleri ve kararlı tabaka oluşumu üzerine daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Literatürde özellikle arıtma tesisi çamurunun dinamik membran biyoreaktörlerinde ön kaplama malzemesi olarak kullanıldığı bir çalışma bulunmamaktadır. Bu çalışmada, büyük gözenek boyutlarına (300 µm'ye kadar) sahip paslanmaz çelik eleklerle, endüstriyel atık su arıtma tesisi çamurları kullanılarak dinamik tabaka oluşturulması için optimum koşullar belirlenmiştir.

Bu tez çalışmasında, atıksu arıtma çamurları ile dinamik membranların oluşturulması ve oluşan bu dinamik membranın AAT çıkış sularındaki bazı parametrelerini arıtmak için kullanılabilme potansiyelinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla Kayseri Organize Sanayi Bölgesi (OSB) atıksu arıtma tesisinde oluşan, i) son çöktürme (SÇ) tankında çökelen çamurlar, ii) ön çöktürme (ÖÇ) tankında ve SÇ tankında çökelen çamurlar ile iii) ÖÇ ve SÇ çamurlarının polielektrolit ajan eklenmiş hali ile dinamik membran tabakası oluşturulmuştur. Bu yüzden, farklı gözenek çaplarına sahip paslanmaz çelik (PÇ) elekler ile farklı çamurlar ile dinamik tabaka oluşturma durumu fiziksel olarak incelenmiş olup ayrıca, çıkış suyu kalitesi, (Askıda katı madde, (AKM) bulanıklık, pH vb. parametreler) basınç vb. fiziksel parametreler ile fotoğraf ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile dinamik tabaka incelenmiştir.

Yapılan çalışma, dinamik membran oluşumunda kullanılan destek tabakalarının gözenek yapılarını ve bu yapıların filtrasyon kapasitesi üzerindeki etkilerini kapsamlı bir şekilde incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, çeşitli çamur tipleri ve destek tabakası boyutları kullanılarak dinamik membran performansı analiz edilmiş, elde edilen sonuçlar ışığında daha verimli ve sürdürülebilir atıksu arıtma yöntemlerine değinilmiştir. Araştırma, atıksu çamurlarının değerlendirilmesine yönelik literatürdeki boşlukları doldurmayı ve su kaynaklarının korunması için önemli katkılar sağlamayı hedeflemektedir.

2. BÖLÜM

YÖNTEM VE MATERYAL

2.1. DM Reaktör Sistemi ve İşletilmesi

Reaktör sistemleri ve kurulumu, kullanılan modüllerin yapımı detaylı olarak bu bölümde anlatılmıştır. DM tabakası oluşturmak için optimizasyon deneyleri, iki farklı reaktörde denenmiştir. Dinamik tabakanın teşekkülü için hem OSB AAT 'deki farklı çamurlar, hem de vakum ve yer çekimi ile dinamik tabaka oluşturmak için bir dizi kesikli çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların planı aşağıdaki aşamalar planlanarak oluşturulmuştur:

- *DMBR ile dinamik tabaka oluşturma*; silindirik bir reaktörde DM tabakası oluşturma deneyleri yapılmıştır.
- *DMBR'de oluşturulan tabakaların yer çekimi etkisi ile çalışan dinamik membran biyoreaktör (YÇ-DMBR)'de denenmesi*; başka bir reaktörde oluşturulan Dinamik Membran kaplı modül YÇ-DMBR 'ye yerleştirilerek deneyler yapılmıştır.

Bu çalışma, DMBR'de sistematik olarak

- farklı elek çaplarında,
- farklı çamurlar kullanarak ve
- sabit (100 veya 200 LMH) veya azalan (200, 100 ve 50 LMH akılar) akılarda yapılan kesikli çalışmaları içermektedir.

Ayrıca DMBR 'de ön birikim yapılmış modüllerin YÇ- DMBR'de

- Farklı elek çaplarında,
- Farklı çamurlar kullanarak yapılan çalışmaları içermektedir.

2.1.1. Elekler

Hem güvenli tarafta kalmak hem de literatürde daha fazla kullanılan düşük gözenek boyutlu destek tabakalarının (eleklerin) kullanılması planlanmıştır. Bu nedenle, reaktörlerde 5 farklı paslanmaz çelik elek boyutu (75-100-150-200-300 µm) seçilerek modüller hazırlanmıştır. Kullanılan modüllerin yapım aşaması Şekil 11’de belirtilmiştir.

2.1.2. Reaktörlerde Kullanılan Çamur Türleri

KOSB AAT ’de ön çöktürme (Birincil Çamur) ve son çöktürme (Aktif Çamur) tanklarında oluşan çamurlar ön çalışmalarda kullanılmıştır. Oluşan bu çamurlar depolama tankına alındıktan sonra polielektrolit dozlaması yapılarak belt filtreye beslenmektedir. Tez önerisinde belt-pres çıkışı elde edilen arıtma çamurunun 5-10-20 g olarak eklenmesi planlanmıştır. Ancak susuzlaştırılmış kek halindeki belt-pres çamuru ilk denemelerde havanda dövüldükten sonra dahi suda yumaklar halinde bulunması nedeniyle bu çamurun kullanımından vazgeçilmiştir. Bu yüzden reaktörlerde işletilecek çamur numuneleri 3 farklı çamur türü alınmıştır. Bunlar;

- Son çöktürme çamuru (aktif çamur, (SÇ)): Çamur geri devir hattından alınmıştır.
- Ön çöktürme çamuru (ÖÇ): Çamur depolama tankına gelen ön çöktürme hattı borusundan alınmıştır.
- Polielektrolit eklenmiş belt-pres öncesi karışık çamur: susuzlaştırılmamış (BÇ), polielektrolit dozlaması sonrası filtre besleme bölümünden alınmıştır.

Arıtma tesisinden alınan çamurlar reaktörlerde BÇ, SÇ, SÇ+ÖÇ, SÇ+BÇ şeklinde yalın ya da karışık halde kullanılmıştır.

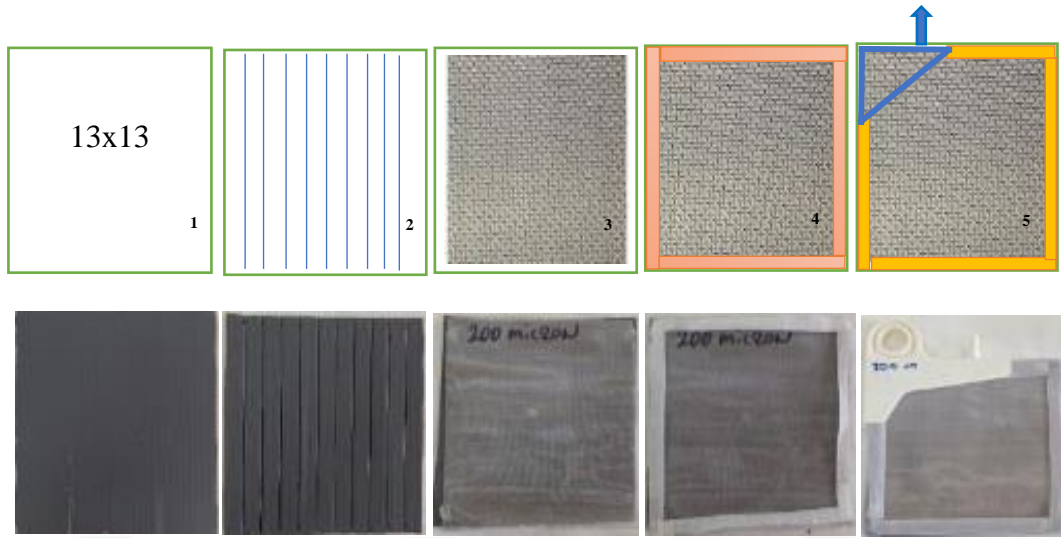
Tablo 5. Çamur türleri ve ortalama AKM miktarları

ÇAMUR TİPİ	AKM (g/L) (Ortalama)
SÇ	4,5-12,0
SÇ+ÖÇ	4,5-23,0
SÇ+BÇ	6,0-14,5
BÇ	9,0-25,3

2.1.3. Modüllerin Yapımı

Modüllerin sızdırmazlığını sağlamak için ticari epoksi kullanılmıştır (Resinin Epoxy Technologies, Türkiye). Modül çerçevesi hazır hale geldikten sonra epoksi uygulaması her iki modül yüzeyi ve kenarları olmak üzere yapılmıştır. Epoksi türüne karar vermek için 3 farklı epoksi kullanılmıştır. Bunlardan ilk epoksi türünün uygulama başlangıç süresi 12 saat olduğu için tercih edilmemiştir. Hızlı epoksi uygulama süresi iyi olmasına rağmen gevrekliği fazla olduğu için basıncın etkisiyle kenarlardan kırılmalar oluşmuştur. En iyi sonucu Norm Medium epoksi kullanarak elde edilmiştir. Eleklere kenarlıklar ve epoksi uygulaması yapınca eleklerin alanı aktif olanı ortalama 0,017 m² olmuştur. Tez önerisinde modül boyutları 10x10 olarak belirlenmişti. Ancak aktif alanı genişletmek ve çalışma süresinin uzaması için modüller 13x13 olarak değiştirilmiştir. Membran yapım aşamaları Şekil 11'de gösterilmiştir.

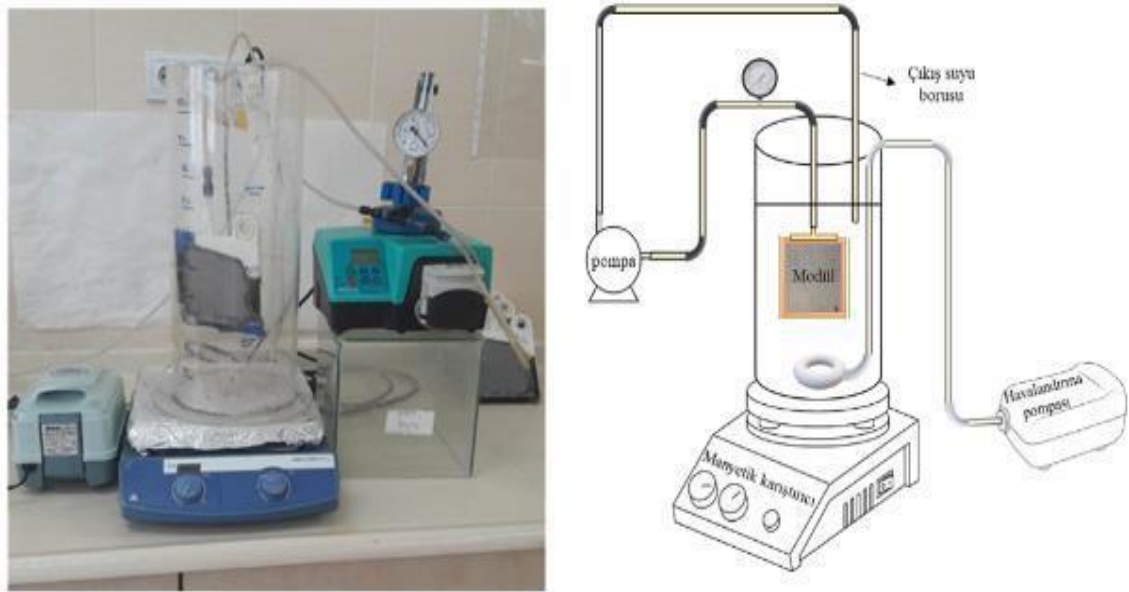
1. 13 x 13 cm boyutlarında iki adet oluklu plastik levha kesilir.
2. Levhanın aralarına oluklar genişletilir.
3. İki tabakaya da aynı işlem uygulandıktan sonra oluklar dış yüzeye gelecek şekilde birbirine yapıştırılır.
4. Plastik levhalar birbirine yapıştıktan sonra kenarlarına yapışkan yapıştırılarak üzerine 13 x 13 cm boyutlarında kesilen çelik elekler yerleştirilir.
5. Tabakanın kenar kısımları kaplanacak şekilde ince şerit fiber kumaş kesilerek çelik eleklerin dört kenarına yapıştırılır. Aynı işlem diğer yöne de uygulanır.
6. Olukların çıkış kısmı yukarı gelecek şekilde köşebent yerleştirilir. Diğer köşelere (kalan kenarlara) plastik kenarlık (köşebent) takılır.
7. Bu işlemler bittikten sonra modül epoksi (A ve B bileşenli) ile yapıştırılır.



Şekil 11. Membran modülü yapım aşamaları. Üstteki şematik gösterim. Altaki fotoğraflarla gösterim.

2.2. Dinamik Membran Biyoreaktör (DMBR) Deney Düzenegi

Laboratuvarda mevcut olan silindirik pleksiglas reaktörler kullanılarak vakum pompası ile farklı çamurlarda dinamik tabaka oluşturmak ile kesikli çalışmalara başlanmıştır. Reaktörün şematik gösterimi ve fotoğrafları Şekil 12’te gösterilmiştir.



Şekil 12. DMBR Sisteminin Gösterimi. Sağda şematik diyagram, solda fotoğraf görülmektedir.

Reaktör 0,18 m çapında, 0,45 m yüksekliğinde silindirik Pleksiglas malzemenen oluşmaktadır. Reaktörün maksimum kapasitesi 10 L'dir. Başlık 2.1.3.'de yapımı anlatılan modüller filtre ortamına, tutma çerçevesiyle birlikte, Şekil 12'te gösterildiği gibi, biyoreaktörün merkezine dikey olarak daldırılmıştır. Reaktör karıştırıcı (IKA, C-MAG HS10, Çin) üzerine yerleştirilmiştir. Sürekli havalandırma yapmak için havalandırma pompası (Atman High-Class Air Pump, HP 4000, max:35 L/min), önceden belirlenen akışta vakum yapan peristaltik pompa (Watson-Marlow, SCI223, ABD) kullanılmıştır. Reaktör çıkış suyu sürekli olarak reaktörün içine beslenmiştir. Tabaka oluşumunu kontrol edebilmek için basınç analog barometre ile takip edilmiştir. Sistemdeki barometre maksimum 1 bara çıkabilmektedir. Çamur dolu reaktörde modüllerin yüzeyi görülemediği için basınç takibi ile tabaka oluşumu kontrol edilmiştir. Tabaka oluşmaya başladığı zaman, su kalitesindeki iyileşme ya da basınçtaki artışlar takip edilerek sistemin çalışmasına veya durdurulmasına karar verilmiştir. Tüm elekler ve tüm çamurlar bu denemelerde kullanılmıştır. Sistemin durdurulması için birkaç şart belirlenmiştir. Bunlar;

- i) Vakum basıncı 300 mbar'ı aştığında,
- ii) Atıksu bulanıklığı 5 NTU 'nun altında olduğunda,
- iii) Atıksu kalitesinin en az bir saat boyunca iyileşmemesi durumunda (>100 NTU ya da 500 mg/L AKM değeri)

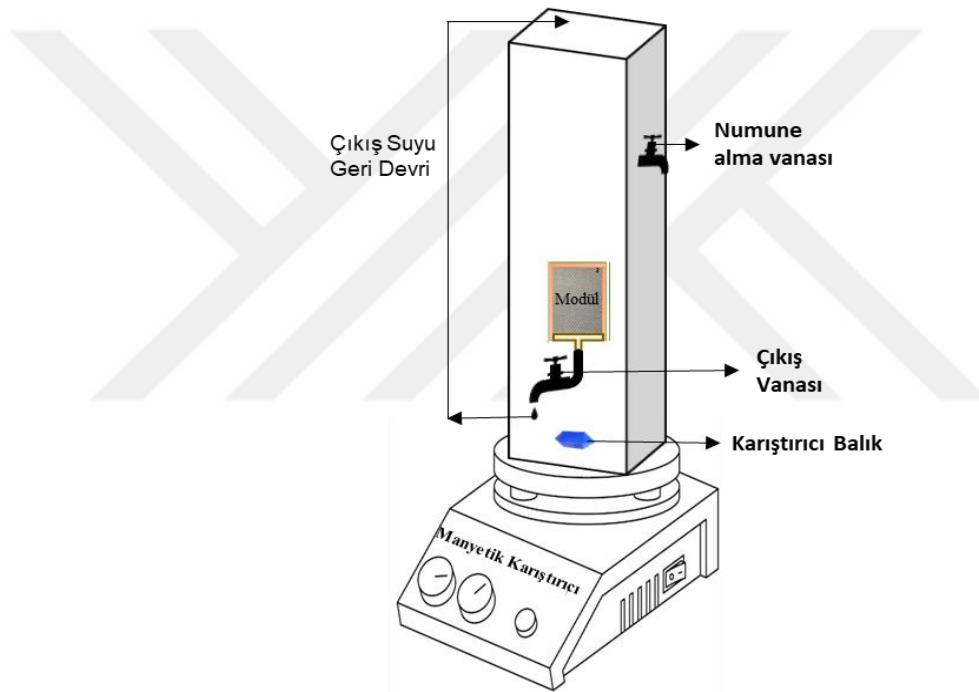
Reaktör işletimi sırasında çıkış sularında AKM, bulanıklık analizleri yapılarak sistemdeki basınç sürekli olarak izlenmiştir. Tüm elek çaplarında yukarıda belirtilen farklı çamurlar ile 93 kesikli çalışma yapılmıştır.

2.3. Yer Çekimi Etkisiyle Çalışan Dinamik Membran Biyoreaktör (YÇ-DMBR) Deney Düzenegi

Deney düzenegi Şekil 13'te gösterilmektedir. Reaktör 0,6 m (50 cm aktif) yüksekliğinde Pleksiglas malzemenen dikdörtgen prizma şeklindedir. Reaktörün maksimum kapasitesi 10 L'dir. Modüller filtre ortamına, tutma çerçevesiyle birlikte, Şekil 13'te gösterildiği gibi, tankın çıkış borusuna dikey olarak takılmıştır. Reaktör karıştırıcı (IKA, C-MAG HS10, Çin) üzerine yerleştirilmiştir. Dinamik tabaka oluşumu için çıkış suyu reaktöre

pompa ile geri devredilmiştir. Sistemin seviyesi sensör yardımıyla 45-50 cm arasında tutulmuştur. Sistemdeki akı sürekli olarak LMH cinsinden ölçülmüştür. Bu deneysel çalışmalarda sadece ön kaplama yapılmış modüller kullanılmıştır.

Önceki bölümde belirtilen çalışmalarda elde edilen DM tabakası oluşmuş modüllerden 15 tanesi ön birikim yapılmış olarak YÇ-DMBR reaktörde tekrar filtrasyon için denenmiştir. Bunun için YÇ-DMBR'e modül yerleştirildikten sonra çeşme suyu ilave edilerek modülün performansı izlenmiştir. İzlenen parametreler; çıkış suyu AKM ve bulanıklık değerleri ile akı (LMH) şeklindedir.



Şekil 13. YÇ-DMBR Sisteminin Diyagramı

Kesikli denemelerde sırasıyla şu işlemler uygulanmıştır:

1. Ön birikim yapılmış modül reaktöre yerleştirilmiştir.
2. Reaktör 9 L musluk suyu ile tamamlanmıştır.
3. Reaktördeki başlangıç AKM'si ölçülmüştür.
4. Sistem çalıştırdıktan sonra çıkış suyu akısı ve bulanıklık değerleri sürekli olarak ölçülmüştür.
5. Çıkış suyu bulanıklık değeri veya akıdaki azalmaya göre sistem kapatılmıştır.

2.4. Analiz Yöntemleri

Akı

Akı hacimsel yöntemle aşağıdaki verilen denklemle (1) hesaplanmıştır. J_w , Q_p ve A sırasıyla membran akısı ($L/m^2.sa$ ya da LMH), membrandan belirli bir saatte geçen akış miktarı (L/sa) ve membran alanıdır (m^2) [66].

$$J_w = Q_p/A \dots \dots \dots \text{Denklem 1}$$

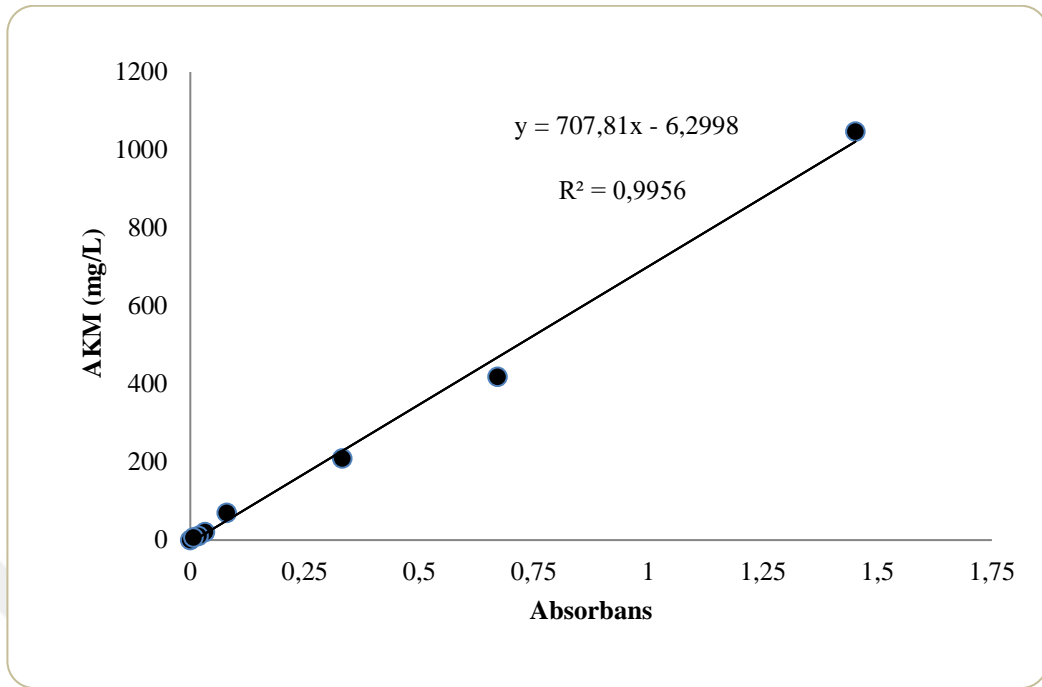
Askıda Katı Madde Tayini (AKM, mg/L)

AKM tayini iki şekilde yapılmıştır. Birinci yöntem, standart yöntemlere göre yapılırken, ikinci yöntemde ise anlık alınan çıkış suyu numunelerindeki AKM miktarını ölçmek için yapılmıştır.

AKM tayini; standart yöntemle göre yapılmıştır (AKM:2540). Glassfiber filtre kağıdı ($0,45 \mu m$) tayinden önce tartılarak ağırlığı kaydedilmiş (B) ve sistemden pompa yardımıyla süzülmüştür. Filtre kağıdı üzerinde biriken katı madde $103^\circ C$ 'de etüvde 1 saat kurutulduktan sonra tekrar tartılmıştır (A). Bu iki tartım (A: Filtre + Filtre kağıdı üzerinde bulunan katı maddelerin ağırlığı-mg, B: Filtre kağıdının ağırlığı-mg) yardımı ile askıda madde konsantrasyonu (Denklem 2) tayin edilmiştir. [1]. DMBR'de çalışmadan önceki AKM, YÇ-DMBR'de çalışmadan önceki AKM ve 0 NTU anında alınan numunedeki AKM miktarlarını belirlemek için bu yöntem kullanılmıştır.

$$AKM (mg/L) = \frac{(A - B) \times 1000}{ml \text{ numune}} \dots \dots \dots \text{Denklem 2}$$

İkinci yöntemde, reaktörde çalışmaya başlamadan önce numune alınmış (50 mL) ve seyreltmeler (5,20,50,100...1000) yapılmıştır. Seyreltme yapılan numunelerin spektrofotometre de (600 nm) absorbans değerleri ölçülmüştür. Standart yöntemle elde edilen AKM değeri seyreltme oranlarına bölünmüştür. Absorbans değerleri x, AKM değerleri y eksenine yerleştirilerek kalibrasyon eğrisi çizilmiştir (Şekil 14). Bu kalibrasyon eğrisinde oluşan x katsayısı ile deneylerde anlık olarak alınan çıkış sularının absorbans değerleri ile çarpılarak anlık numunelerin AKM değeri hesaplanmıştır. Bu yöntem, her yeni numune alındığında yapılmıştır.



Şekil 14. AKM kalibrasyon eğrisi

Ayrıca, YÇ-DMBR'deki reaktörün başlangıç AKM'si, 0 NTU anındaki AKM ve DM tabakasında AKM değerleri de hesaplanmıştır. Reaktörün başlangıç AKM'si, eklenen çamurun AKM'si ve hacmi çarpılarak hesaplanmıştır. 0 NTU anındaki AKM, musluktan numune alınarak standart yöntemlere göre hesaplanmıştır. DM tabakasında AKM, başlangıç AKM ve 0 NTU anındaki AKM'nin farkı alınarak hesaplanmıştır.

Kimyasal Oksijen İhtiyacı (KOİ, mg/L)

KOİ standart yöntemlere (COD:5220D) göre yapılmıştır. Günlük olarak çalışma başlamadan önce reaktörlerden numuneler alınıp süzülerek başlangıç KOİ olarak hesaplanmıştır.

Bulanıklık ve pH

Bulanıklık (NTU), WTW TURB 430IR türbidimetre, pH, HACH HQ40D pH probu ile ölçülmüştür.

Alkalinite (mg/L CaCO₃)

Alkalinite standart yöntemlere (2320) göre yapılmıştır. Alüm ile tabaka oluşturma deneylerinde çamur ve çıkış suyu alkalinite değerleri ölçülmüştür.

Membran Karakterizasyonu

Dinamik ve destek tabakası, Taramalı Elektron Mikroskobu Enerji Dağılım Spektroskopisi (SEM EDS ZEISS, EVO LS10) ile Erciyes Üniversitesi (ERÜ) Nanoteknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezinde (ERNAM) yapılmıştır.



3. BÖLÜM

BULGULAR ve TARTIŞMALAR

3.1. DMBR Deneyleri

DMBR’de toplam 93 kesikli deney yapılmıştır. Bu deneylerden 20 kadarının sonuçları çıkış suyu AKM konsantrasyon değerinin yüksek olmasından dolayı sonlandırılmıştır. DMBR ile çalışılan reaktörlerde elde edilen veriler AKM (mg/L)-Basınç (mbar) veya Bulanıklık (NTU)- Basınç (mbar) grafikleri ile sonuçlar değerlendirilmiştir. Çıkış suyu AKM/bulanıklık değerinin tabaka kaplanmaya başladığında azaldığı gözlemlenmiştir. Genel olarak elde edilen sonuçlara göre kek tabakasının kalınlığı arttığı için çıkış suyu konsantrasyonunun azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, aşağıda her çamur türüyle yapılan denemeler için elek çapı, reaktör AKM’sı ve sistemde kullanılan en az ve en çok akı değerleri tabloda verilmiştir (Tablo 6). Tablo 6 ‘da verilen değerler ilerdeki bölümlerde ayrıntılı bir şekilde verilecektir.

Çamur tipinin, elek boyutunun ve akının dinamik tabaka oluşumuna birlikte ya da tekil olarak etkili olduğu sonucu elde edilmiştir. SÇ çamuru ile yapılan çalışmalarda çıkış suyu kalitesinin genellikle iyiye gittiği, düşük elek boyutlarında genellikle basınç artışı ile çıkış suyu kalitesinin azaldığı, yüksek elek çaplarında ise genellikle çıkış suyu kalitesinin iyileşmesi ile basınç değişiminin yaşanmadığı görülmüştür. Bu çamur ile yapılan çalışmalarda dinamik tabakanın ya çok kalın ya da yüzeyde görünmeyecek kadar az çamurun oluştuğu gözlenmiştir. Çamurun destek tabakasına tutunmasıyla ilgili hücre dışı polimerik maddelerin (protein, karbonhidrat vb.) etkin olduğu düşünülmektedir.

Tablo 6. Çamur türüne göre elek boyutu, reaktör AKM ve akı değerleri

Çamur Türü	Elek çapı (μm)	Akı (LMH)*	Reaktör AKM (g/L)
SÇ	75	18 -100	7,5-12
	100	100 -300	4-12
	150	100 -300	12
	200	100 -300	8 -12
	300	100 -300	5- 12
BÇ	75	100	25,3
	100	100-200	21
	150	80- 300	9- 21
	200	100	17
	300	100-200	17-21
SÇ+BÇ	75	50 -200	17,5
	100	100	12
	150	50- 100	7
	200	100-200	7- 9
	300	100- 400	5
SÇ+ÖÇ	75	50 -200	5,5-23,5
	100	25-300	5,5-15,5
	150	100 -200	6- 15,5
	200	50- 200	6-23,5
	300	100-400	3,5- 10,5

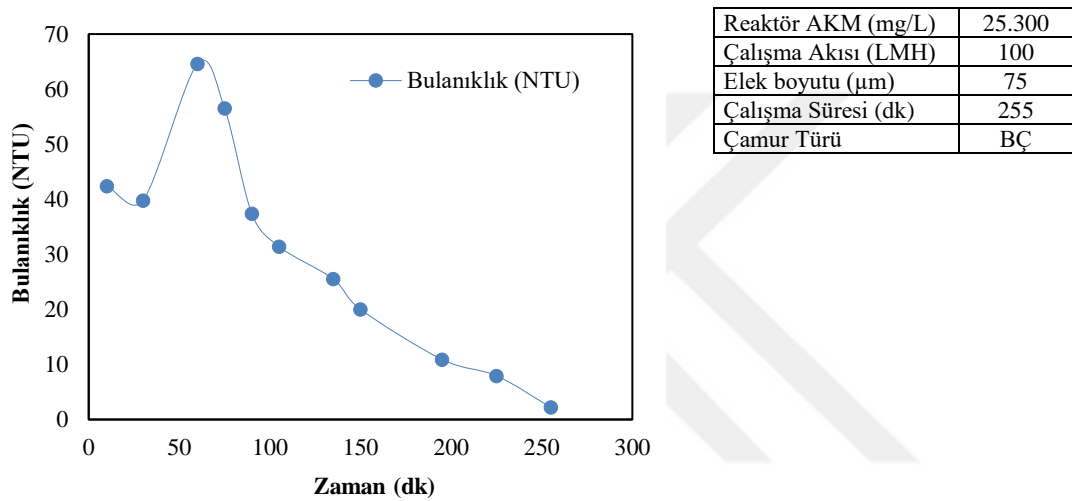
* deneylerde kullanılan en az ve en çok akıyı göstermektedir.

BÇ çamuru ile yapılan çalışmalarda ise çamurda bulunan polielektrolitin çamurun hızlı çökmesine neden olduğu için dinamik tabaka oluşumunun mümkün olmadığı, çıkış suyu kalitesinin ise dinamik tabaka oluşmaması nedeniyle iyileşmediği ortaya çıkmıştır. Ancak, bu çamur 24 saat boyunca reaktörde karıştırıcı ile karıştıktan sonra, polielektrolitin azalan etkisiyle, jelimsi bir dinamik tabaka oluşturduğu, düşük elek boyutlarında hızlı basınç artışına maruz kalırken, yüksek elek çaplarında iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

ÖÇ, ham çamur olduğu için yapılan tüm denemelerde çıkış sularında yüksek bulanıklık ve AKM konsantrasyonları elde edilirken, SÇ çamuru ile bu çamurun karıştırılması ile daha iyi şartların olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla ÖÇ çamurunun SÇ çamuru ile karıştırıldığı bir dizi kesikli çalışma, bu sinerjik etkinin detaylarını belirlemek için planlanmıştır. Yapılan kesikli çalışmalarda, özellikle yüksek elek çaplarında, iyi çıkış suyu kalitesi ile yüksek akılarda dahi düşük basınç elde edilirken oluşan kek tabakası diğer kek tabakalarına kıyasla daha düzgün ve modülün birçok bölgesinde ortalama kalınlıkta elde edilmiştir. Tüm çamurlarla yapılan çalışmalar aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

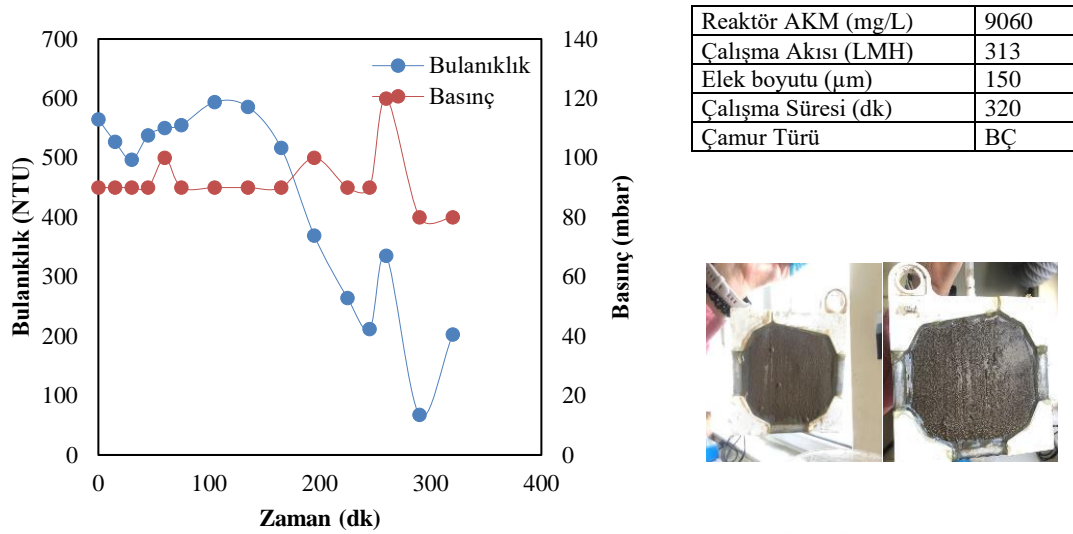
3.1.1. BÇ Çamuru ile Yapılan Çalışmalar

DMBR ön çalışmasında, polielektrolit eklenmiş belt pres öncesi çamur (BÇ) ile dört farklı kesikli deney yapılmıştır. Şekil 15'de 75 µm elek ile 25.000 mg/L AKM konsantrasyonunda vakum uygulanarak yapılan çalışma için bulanıklık (NTU)-zaman grafiği gösterilmiştir. Şekil 15'e göre bulanıklığın zamanla arttığı (65 NTU) ancak 50.dk'dan sonra DMBR' de oluşan kek tabakası ile bulanıklık 10 NTU'nun altına düştüğü gözlenmiştir.



Şekil 15. 75 µm elek için Bulanıklık grafiği.

25.000mg/L AKM konsantrasyonunda işletilen DMBR sistemi, 255 dk boyunca 100 LMH çalışma akısı işletilmiştir. BÇ ile oluşan kek tabakası sıkı ve ince, jelimsi bir yapıda olduğu gözlenmiştir. Belt çamurunu katı halde kullanmak oldukça zor olduğu için polielektrolit eklenmiş haldeki sıvı formunu çeşme suyuyla seyreltildikten sonra 1 gün sadece karıştırma yapılmıştır. Bu sayede polielektrolitler çamurun içinde dağılmıştır. 100 µm elek boyutunda yapılan çalışmada ise, kek tabakasının oluşmadığı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, çıkış suyunda AKM konsantrasyonunun arttığı gözlenmiştir. Bunun sebebinin DMBR sisteminde kullanılan modülün köşebentlerinden çamur kaçağının olduğu düşünülmektedir. Bu yüzden sonuçları verilmemiştir.



Şekil 16. 150 µm elek için Bulanıklık-Basınç grafiği – modül fotoğrafı

150 µm elek boyutunda gerçekleştirilen çalışma bulanıklık basınç grafiği Şekil 16'da verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre sistem performansı 260.dk' da en yüksek basınç ve bulanıklık değerleri tespit edilmiştir ve buna karşılık gelen değerler sırasıyla 120 mbar, 335 NTU olarak gözlenmiştir (Şekil 16). DMBR sistemi 320 dakika çalıştıktan sonra 1 L SÇ+ÖÇ karışımı ile beslenmiştir ve 19 saat çalıştırılmıştır. 19 saat sonunda basınç borularında sorun olduğu için basınç gözlenememiştir. Sorun düzeltildiğinde sistem tekrar çalıştırıldığında basınç değeri 520 mbar'a çıktığı için sistem durdurulmuştur. Modülün reaktörden çıkarıldıktan sonraki fotoğrafları Şekil 17'de gösterilmiştir.



Şekil 17. 150 µm elek Besleme yapıldıktan sonra modül fotoğrafı

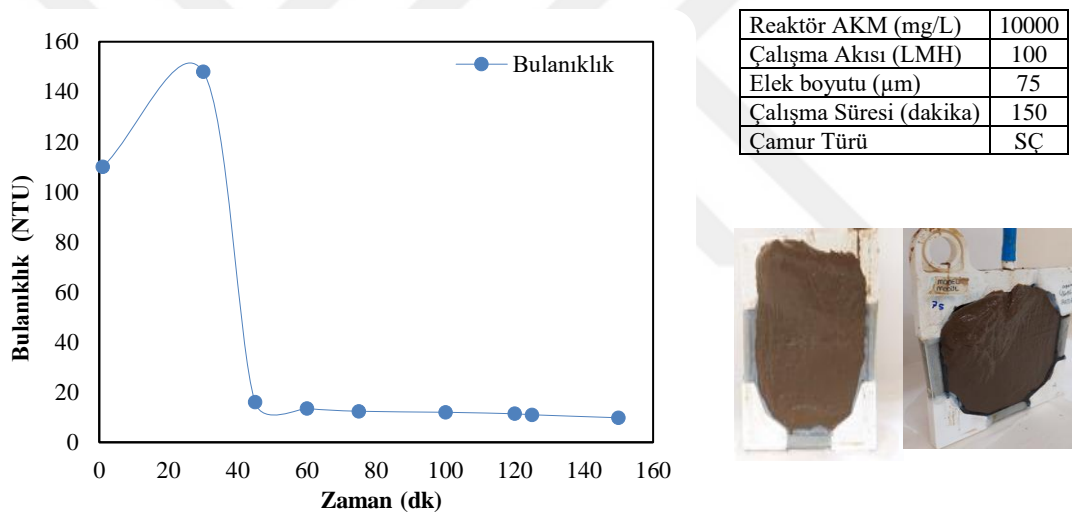
3.1.2. SÇ Çamuru ile Yapılan Çalışmalar

KOSB AAT 'de son çöktürme tanklarından alınan çamur ile yapılan kesikli çalışmalar aşağıda detaylı olarak verilmiştir. SÇ çamuru ile yapılan çalışmaların bazılarında çıkış suyu AKM konsantrasyonunun artması ile sistem performansı değerlendirilememiştir.

Çalışmaların sonucunda SÇ çamuru kullanılarak oluşturulan DM tabakasının kolay sıyrılabilir olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca bazı kesikli deneylerde gözle görülebilir kek tabakası oluşmamasına rağmen çıkış suyu kalitesi 5 NTU altına düştüğü gözlenmiştir. Sonuçlar, artan elek boyutuna göre sıralanarak verilmiştir.

3.1.2.1. 75 µm ile Yapılan Çalışmalar

SÇ çamuru ile yapılan DMBR sisteminde 75 µm elek boyutunda bulanıklık değeri Şekil 18’de verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre bulanıklık değeri 5 NTU altına düştüğü gözlenmiştir. Bu yüzden DMBR sistem performansı kapatılmıştır. Aynı zamanda sistemde basınç ölçerden kaynaklı problemler gözlemlendiği için basınç değerleri tespit edilememiştir.

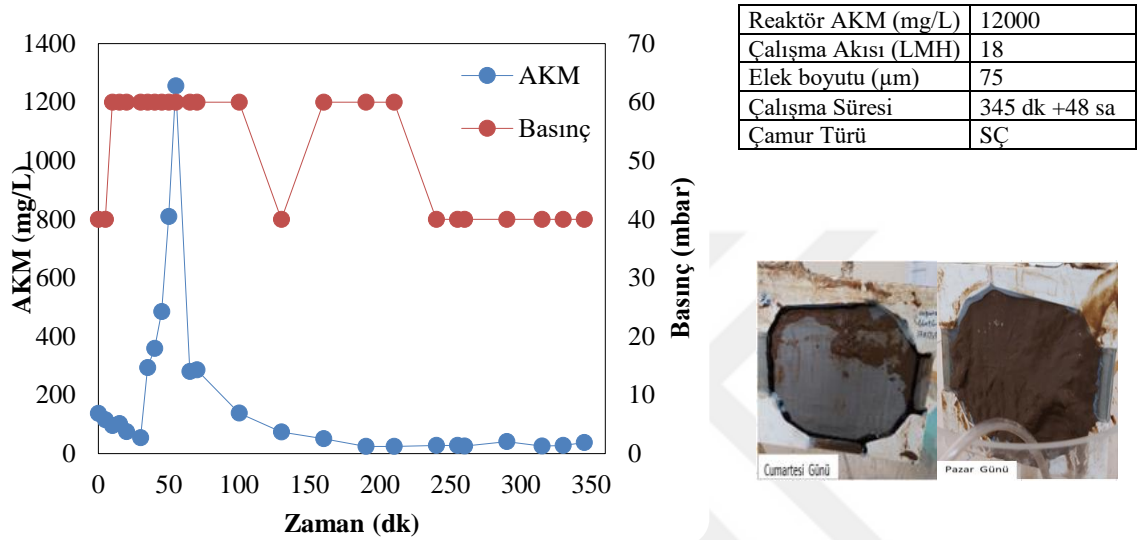


Şekil 18. 75 µm elek için Bulanıklık grafiği – modül fotoğrafı



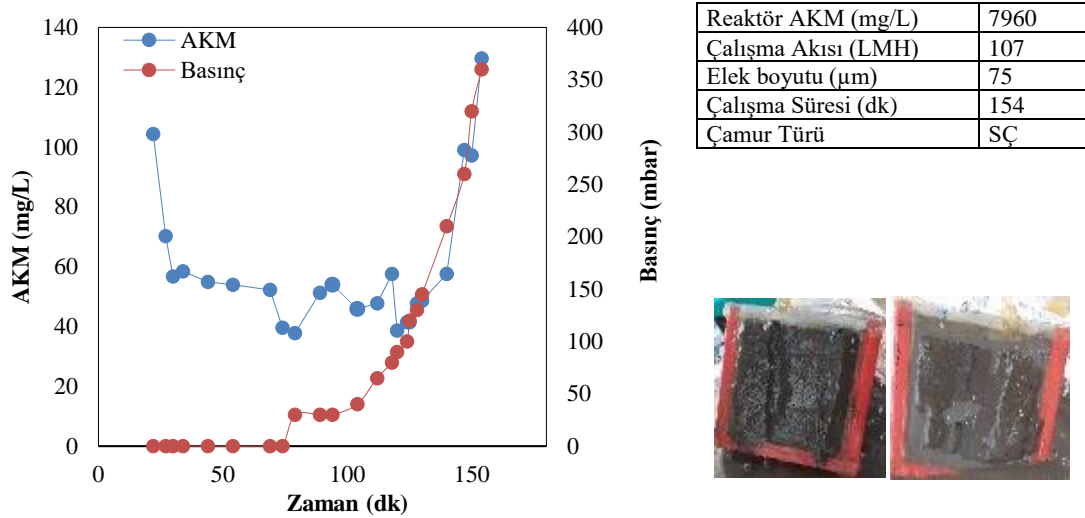
Şekil 19. SÇ kullanılarak yapılan deneydeki modül fotoğrafı

75 µm elek ça pında DMBR sisteminde, kek tabakası oluşumu düşük akıda sağlanamadığı gözlenmiş olup aşağıdaki Şekil 20’de gösterilmiştir. Ancak 48 saat devam eden filtrasyon sonrasında kalın ve düzensiz bir kek tabakası oluşumu gözlenmiştir (Şekil 20). Şekil 20 de sistem altı saat çalıştırılmış çıkış suyu bulanıklık değeri 5 NTU altına düşmesine rağmen kek tabakası oluşmadığı için sistem açık bırakılmıştır.



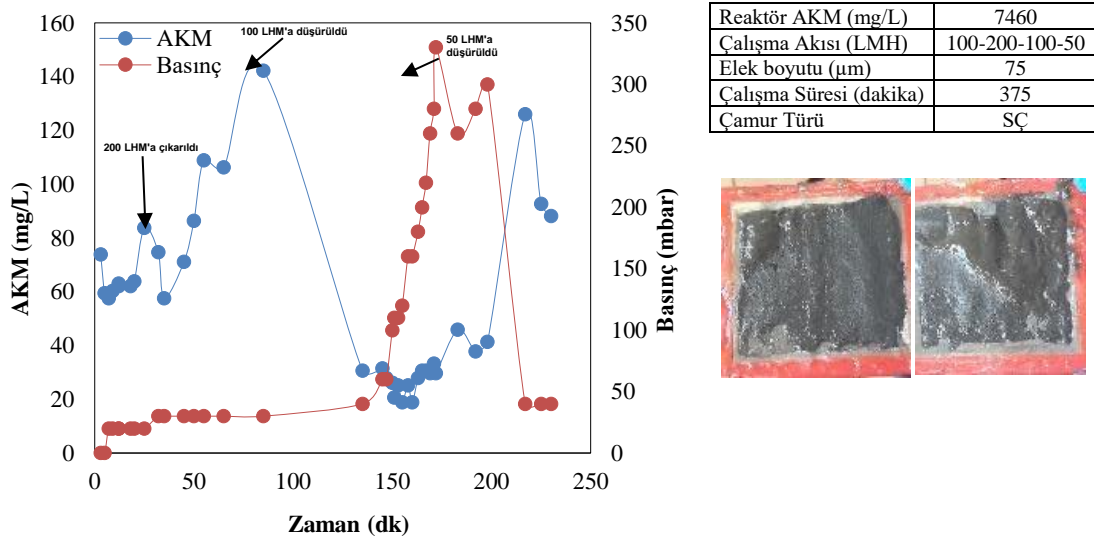
Şekil 20. 75 µm elek için AKM-Basınç grafiği – modül fotoğrafı

Şekil 21’de 75 µm ile yapılan çalışmada kek tabakasının artması ile basınç artışı gözlenmiştir. 75 µm elek boyutunda kısa sürelerde aniden basınç artışı olduğu gözlenmiştir. Bu durum DM yüzeyinde oluşan kek tabakasının artması gözenek boyutunun azaldığı düşünülmektedir. Aynı zamanda AKM konsantrasyonun arttığı gözlenmiştir. Daha önce yaptığımız bir deneyde ise en düşük Bulanıklık değeri 10,8 NTU (26 mg/L) ya kadar düştüğü gözlenmiştir. Sistem performansı 250 dk' dan sonra olumsuz etkilendiği gözlenmiştir. Sistemdeki basınç artışı ile çıkış suyundaki AKM konsantrasyonu da arttığı gözlemlenmiştir. Kullanılan modül fotoğrafları Şekil 19’da verilmiştir.



Şekil 21. 75 µm elek için AKM-Basınç grafiği – modül fotoğrafı

Şekil 22’te 100 LMH akı ile başlatılan kesikli çalışma, 30. dakikaya kadar düşük basınç ve düşük su kalitesi değerlerinde çalıştığı için dinamik tabaka oluşmadığı düşünülerek akı değeri 200 LMH ’a çıkarılmıştır (30 dk). Yaklaşık 175. dakikaya kadar çıkış suyu kalitesinde düşüş devam ettiği gözlemlendiği için akı değeri tekrar 100 LMH değerine alınmıştır. Düşen akı ile basınçta da paralel olarak bir düşüş gözlemlense de süreklilik sağlanamamıştır. Basınç tekrar artış göstermiştir. Sistem çalışılır durumda bırakılmıştır. 16 saat kontrol edildiğinde reaktörün karışmadığı fark edilip modül çıkarılmıştır.



Şekil 22. 75 µm elek için AKM-Basınç grafiği – modül fotoğrafı

Akının dinamik tabaka oluşumuna etkisi, Şekil 20 düşük akı ile tabaka oluşumu basınç artışı olmadan uzun sürede sağlanmış, yüksek akıda ise (Şekil 21) hızlı tabaka oluşumu ve basınç artışı gerçekleşmiştir. Bu handikabı yenebilmek adına akının kademeli azaltım uygulanmıştır. Bu durumda dinamik tabaka oluşumunun daha düzenli olduğu düşünülmektedir. Yapılan diğer kesikli çalışmalarda da akı azalması ile çıkış suyu kalitesinin arttığı ve basıncın düştüğü gözlenmiştir.

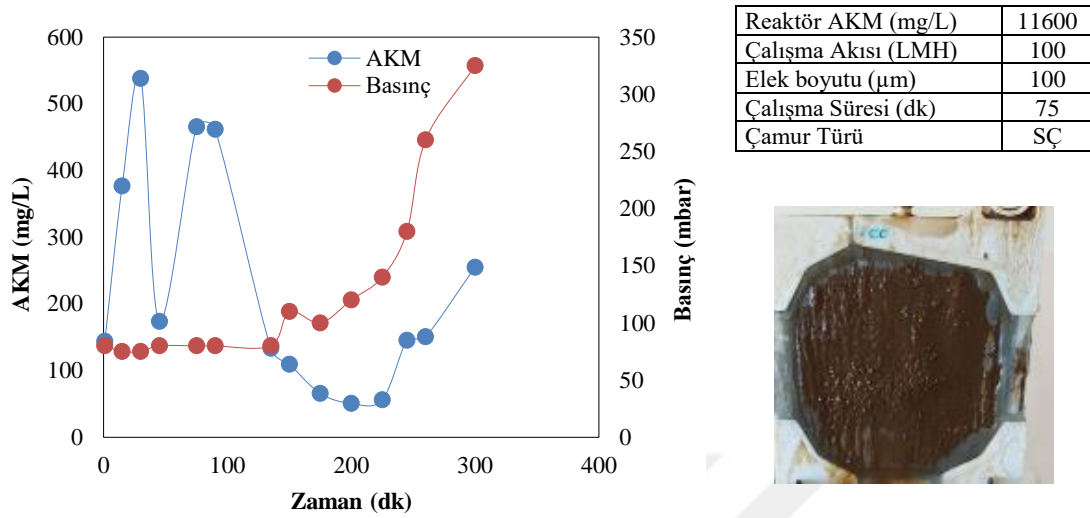
Diğer bir DMBR çalışmasında, akı düşürülerek basınç ve çıkış suyu kalitesi düzenli olarak gözlenmiştir. Her akı azaltılmasında basıncın bir miktar düşüp tekrar yükseldiği, su kalitesinin de benzer şekilde önce biraz iyileştiği sonrasında tekrar kötüleştiği gözlenmektedir. Bu durum AKM-Basınç grafiğinde her iki parametrede eş değer olarak ilerlediği düşünülmektedir. Bu yüzden basınç kademeli bir şekilde arttığı için sistem performansı olumsuz etkilenmiştir ve sistem kapatılmıştır. Dolayısıyla bu elek çapında ve bu çamur ile yapılan kesikli çalışmaların stabil sonuçlar vermediği tespit edilmiştir (Şekil 23).



Şekil 23. 75 µm elek için modül fotoğrafı

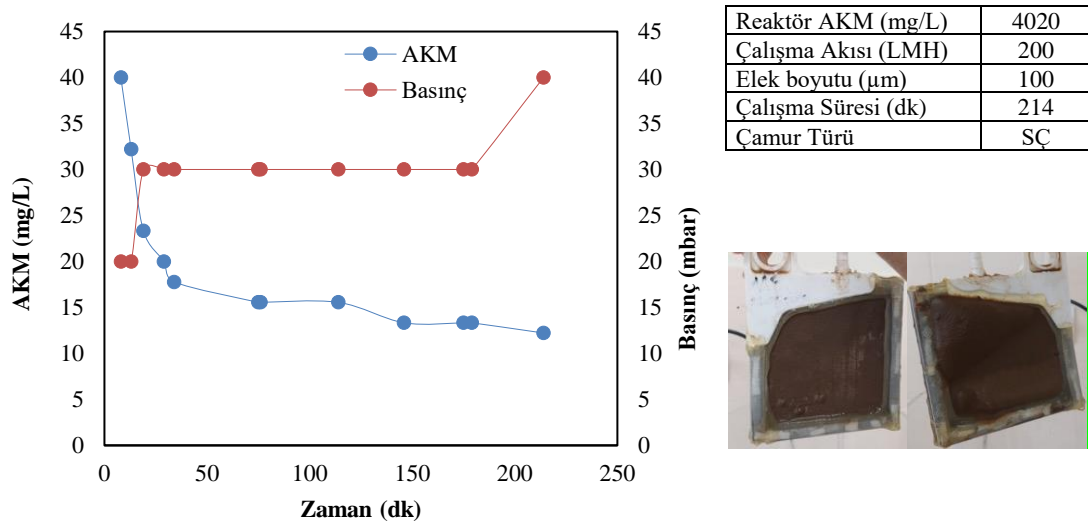
3.1.2.2. 100 µm ile Yapılan Çalışmalar

Şekil 24'te sabit akıda çalıştırılan sistemde basınç artışı ile çıkış suyu konsantrasyonunun artışı gözlenmiştir. Bu yüzden basıncın artması ile sistem performansı kötüleşeceği için durdurulmuştur.



Şekil 24. 100 µm elek için AKM- Basınç grafiği – modül fotoğrafı

100 µm elek boyutunda yapılan kesikli çalışmada bulanıklık değerinin 1 NTU'ya düştüğü gözlenmiştir. Bulanıklığın düşmesine rağmen DMBR' de basınç artışı ve kek tabakasının oluşumu gözlenememiştir (Şekil 25).



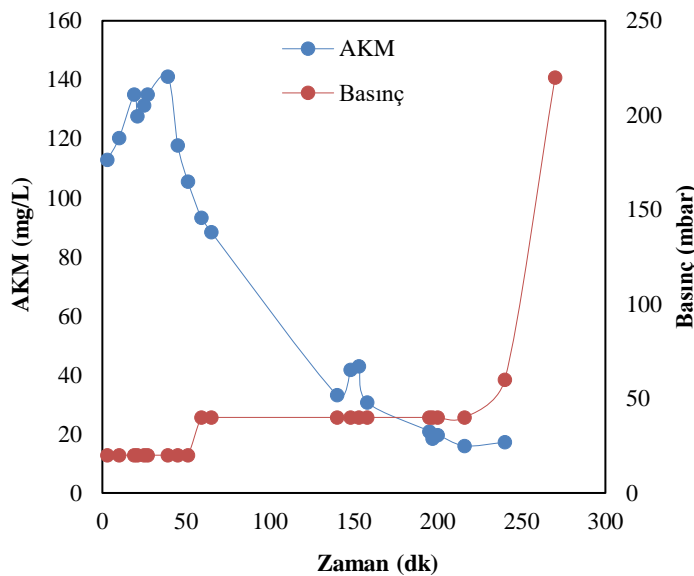
Şekil 25. 100 µm elek için AKM-Basınç grafiği – modül fotoğrafı

Çıkış suyu kalitesi iyileşmediği için sistem kapatılmıştır (Şekil 26). SÇ çamuru ile yapılan çalışmalarda aktif çamurun besleme yapılmadığı durumlarda, biyolojik proseslerdeki bazı değişikliklerin (SMP/EPS salınımı, bakteriyel komünite değişimi vb.) önemli olduğu düşünülmektedir [67].



Şekil 26. 100 µm elek için modül fotoğrafı

Şekil 27’de 100 µm elek boyutunda yapılan kesikli çalışmada ise reaktöre besleme yapılmamıştır. Çıkış suyu AKM konsantrasyonu 17 mg/L değerine düştükten sonra ani basınç artışı gözlenmiştir. Aynı zamanda 20.dk'dan sonra çıkış suyunda flok kaçışları gözlemlenmiştir. Sistem performansının kötüleştiği ancak membran modülünde kek tabakasının oluştuğu gözlenmiştir (Şekil 27). Bu çalışmanın SÇ çamurunda kek tabakasının olması durumunda dahi oluşan kalın kek tabakasının oluşturduğu direncin basınç artışlarına neden olduğu sonucunu ortaya çıkarmıştır.



Reaktör AKM (mg/L)	8000
Çalışma Akısı (LMH)	200
Elek boyutu (µm)	100
Çalışma Süresi (dk)	230
Çamur Türü	SÇ

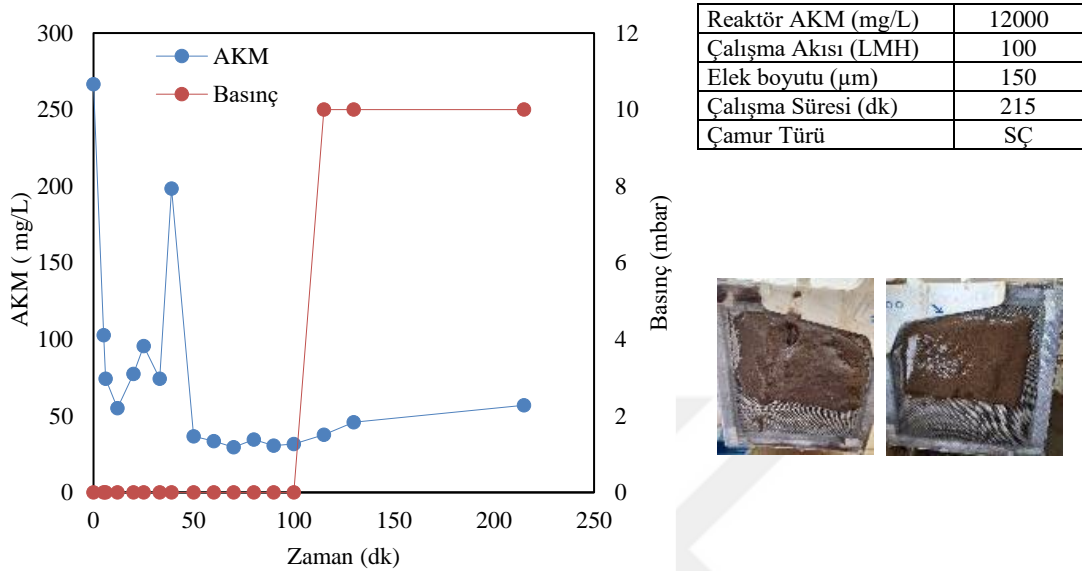


Şekil 27. 100 µm elek için AKM-Basınç grafiği – modül fotoğrafı

3.1.2.3. 150 µm ile Yapılan Çalışmalar

Şekil 28’da 150 µm elek boyutunda yapılan kesikli çalışmada çıkış suyu kalitesinde iyileşme olmasına rağmen basınçta artış olmadığı gözlenmiştir. Basınç artışı olmadığı için sistem durdurulmuştur. Membran modülü reaktörden çıkarıldığı zaman bir tarafında

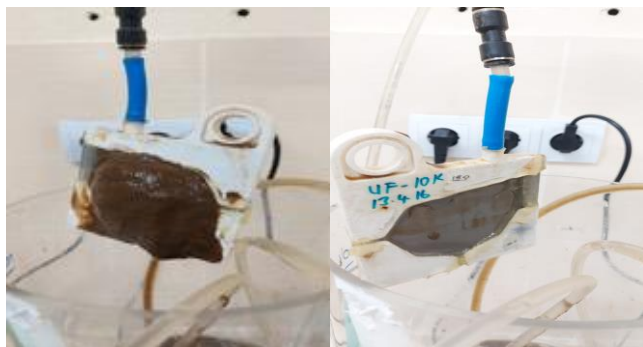
kalın bir kek tabakası olduğu ancak hava gelen yüzeyinde ise kek tabakasının oluşmadığı gözlenmiştir.



Şekil 28. 150 µm elek için AKM-Basınç grafiği – modül fotoğrafı

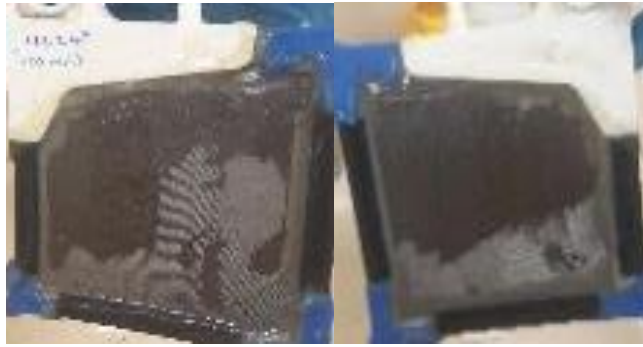
3.1.2.4. 200 µm ile Yapılan Çalışmalar

Şekil 29'da 200 µm elek boyutunda yapılan çalışmada sisteme 3 gün besleme yapılmamıştır. Sistem çalışmadan ve çalıştıktan sonra bakteri canlılığını devam ettirmek adına reaktöre besin (glikoz) ilave edilmiştir. Basınç ölçerdeki problemlerden dolayı veriler alınamamıştır.



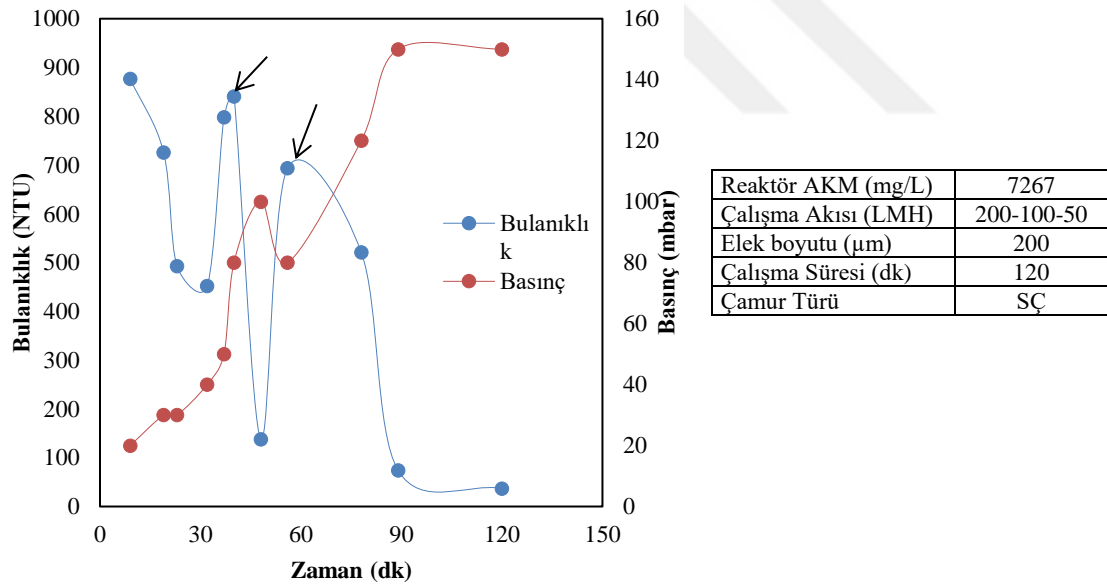
Şekil 29. 200 µm elek için AKM-Basınç grafiği – modül fotoğrafı

Şekil 30'da çıkış suyu kalitesi düşmesine rağmen basınçta hiçbir değişiklik gözlemlenememiştir. Sistemde basınç artışı olmamasına rağmen kek tabakası oluştuğu gözlenmiştir. Sabit akı ile çalışılmıştır.



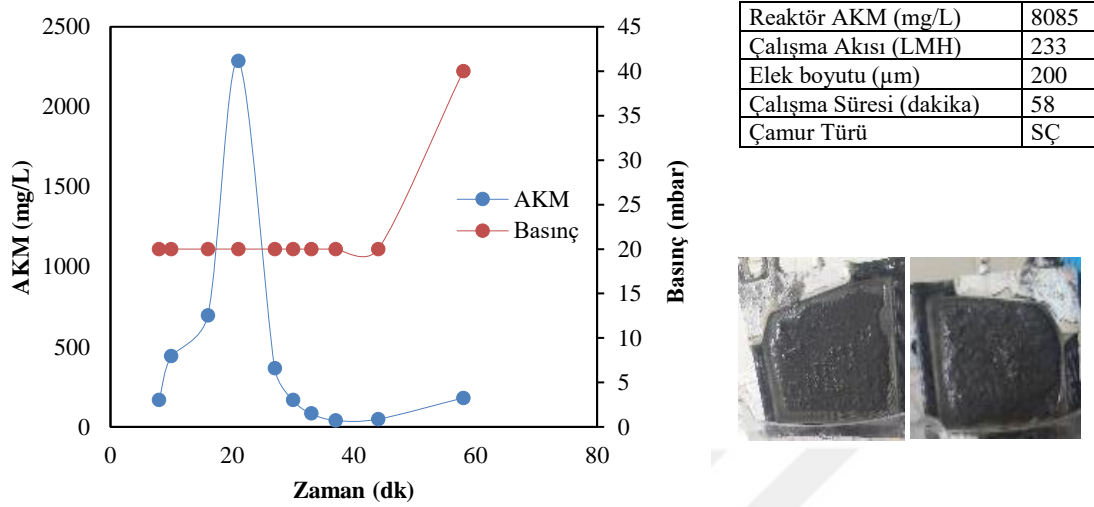
Şekil 30. 200 µm elek için modül fotoğrafı

Şekil 31’de bulanıklık değerinin 400 NTU’ ya düştükten sonra aniden 850 NTU’ya artması ile sistem akısı düşürülmüştür (Grafikte ok işaretleri). Bulanıklık değerinin azalıp tekrar attığı durumlarda akı azaltılması gerekliliği düşünülmüştür. Akı değeri azaltılınca bulanıklık değeri de azaldığı gözlenmiştir Benzer şekilde bulanıklık değerinde artış olduğunda akı değeri azaltılmıştır (Şekil 32). Azalan akı ile çalışılmıştır.



Şekil 31. 200 µm elek için Bulanıklık-Basınç grafiği – modül fotoğrafı

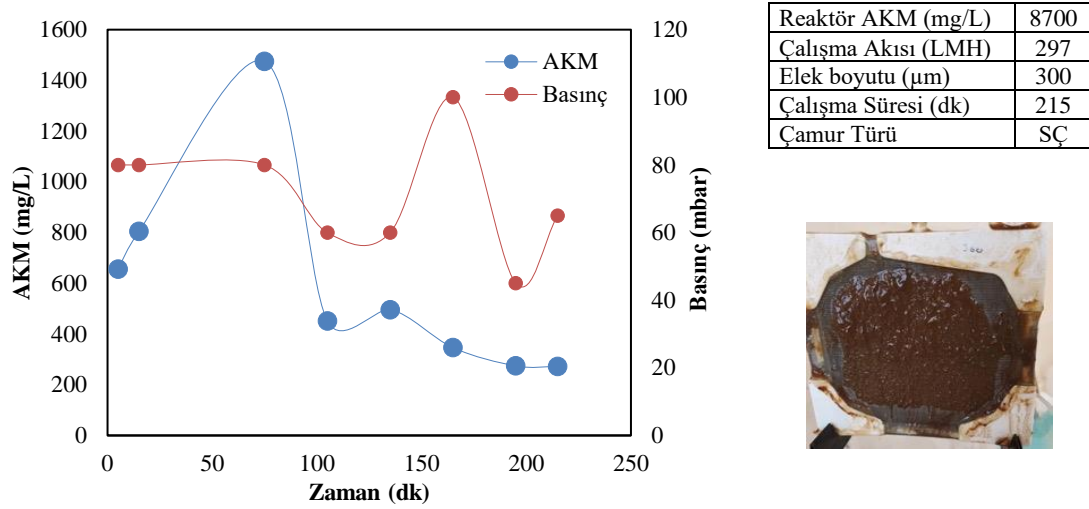
Şekil 32’de 200 µm elek boyutunda çalışan DMBR yüksek akılarda çalışılmıştır. Yüksek akıda çalışan sistemlerde çıkış suyu konsantrasyonun düştüğü gözlenmiştir. Bu evrede ilk 15-20 dk’da AKM konsantrasyonunun hızlı bir şekilde arttığı gözlenmiştir. Ayrıca AKM konsantrasyonu azaldığında ise basınçta artış, çıkış suyu AKM konsantrasyonunda azalmalar meydana gelmiştir.



Şekil 32. 200 µm elek için AKM -Basınç grafiği – modül fotoğrafı

3.1.2.5. 300 µm ile Yapılan Çalışmalar

300 µm elek boyutunda yapılan ön çalışmada AKM-Basınç grafiği Şekil 33'te gösterilmiştir. 200 µm elek boyutunda yapılan çalışma ile benzerlik göstermektedir. Ancak sistem çıkış suyu konsantrasyonunun 200 NTU altına düşmemesi sonucunda sistem durdurulmuştur. Reaktör durdurulduğu zaman kek tabakası olmasına rağmen AKM konsantrasyonun sürekli artması membran modülünde flok kaçakları olabileceğini göstermektedir. Şekil 33 , Şekil 34 ve Şekil 35'te ise yüksek ve düşük AKM konsantrasyonuna sahip reaktörlerde yapılan denemelerin yüksek AKM varken basınç artışı ve çıkış AKM konsantrasyonlarında salınım gösterdiğini, düşük AKM konsantrasyonunda ise çıkış AKM'nin düşerken, basınç artışı yaşanmadığını ortaya çıkarmıştır.

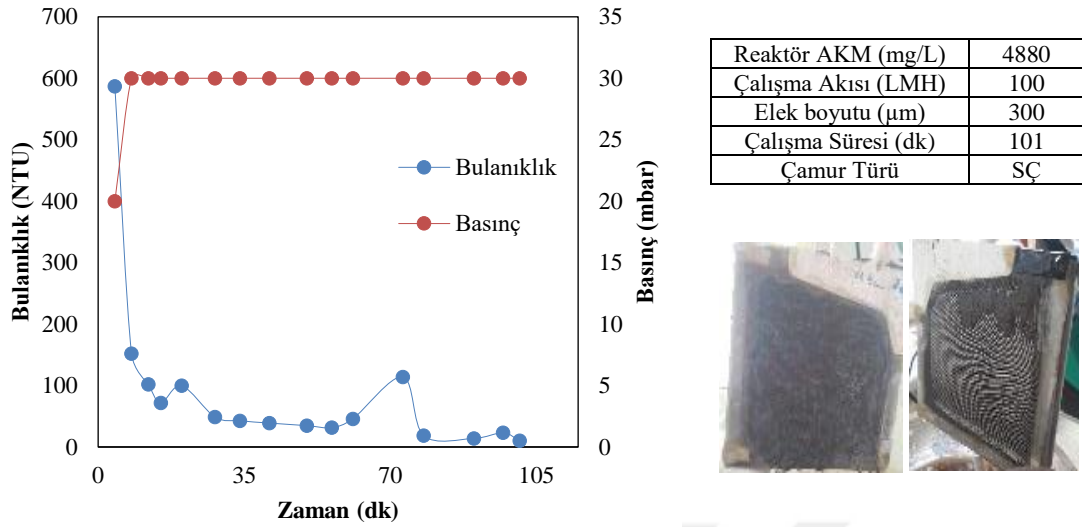


Şekil 33. 300 µm elek için AKM -Basınç grafiği – modül fotoğrafı

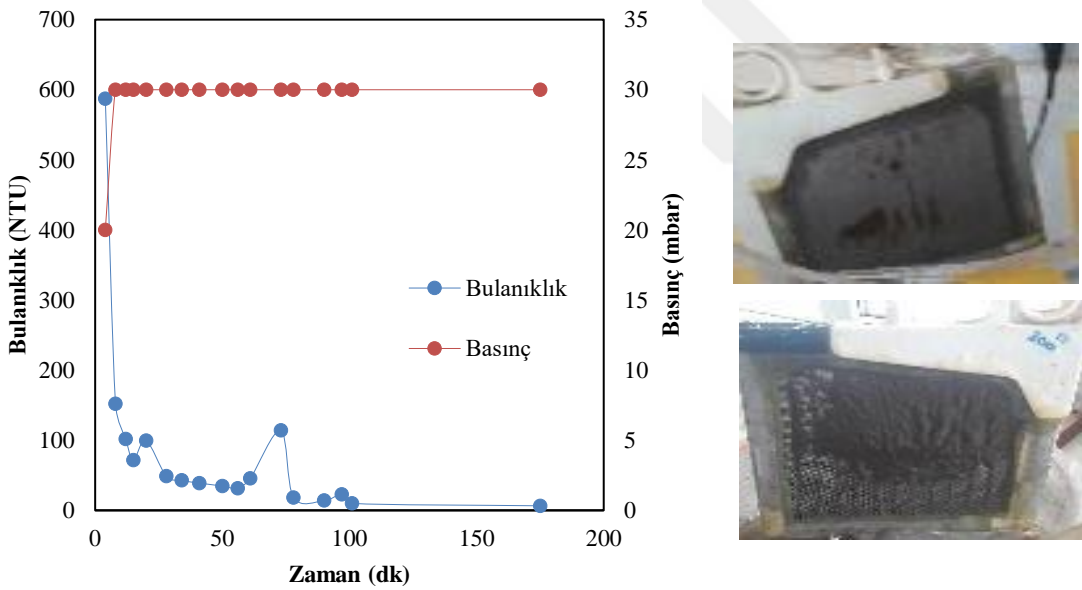


Şekil 34. 300 modül fotoğrafı

Şekil 35'te verilen bulanıklık-basınç grafiğine göre, çıkış suyu bulanık değerinin 5 NTU ya düşmesi sonucu DMBR sistemi sistem durdurulmuştur. Reaktörden modül çıkarıldığında kek tabakası oluşmadığı gözlenmiştir. Daha sonra membran modülü tekrar işletmeye alınmıştır. Devam eden sistem performansı 300µm elek boyutunda yapılan çalışma Şekil 36'da gösterilmiştir.



Şekil 35. 300 µm elek için Bulanıklık-Basınç grafiği – modül fotoğrafı



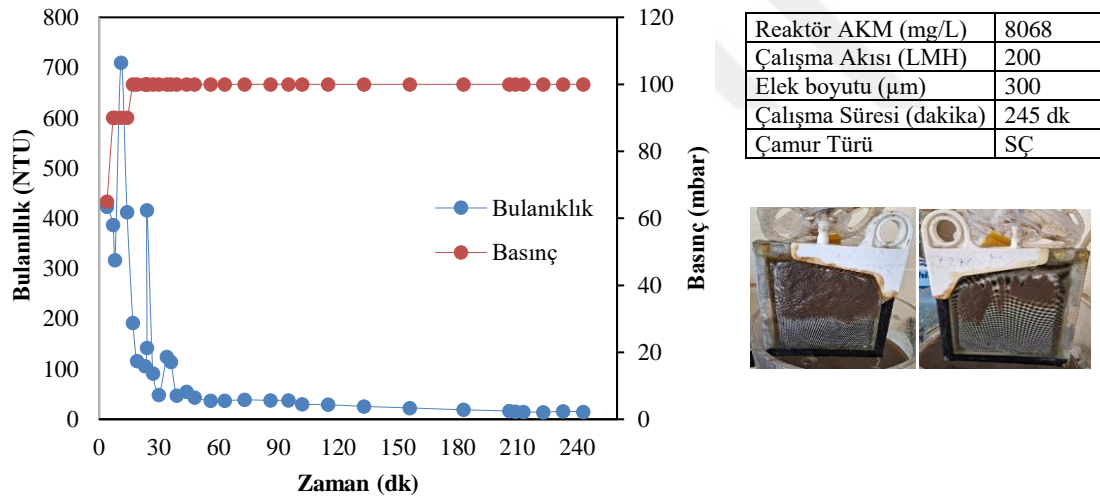
Şekil 36. Şekil 35'teki 300 µm elek için Bulanıklık-Basınç grafiği devamı – modül fotoğrafı

Şekil 37'de DMBR sisteminde kek tabakası oluşmadığı için bulanıklık değerinin düştüğü gözlenmiştir. Sistem çalışmaya devam ettiğinde 19 saat sonunda kek tabakasının oluşmadığı gözlenmiştir. Besleme yapıldıktan sonra yine kek tabakası oluşmadığı gözlenmiştir ve akı 400 LMH 'a çıkarılmıştır.



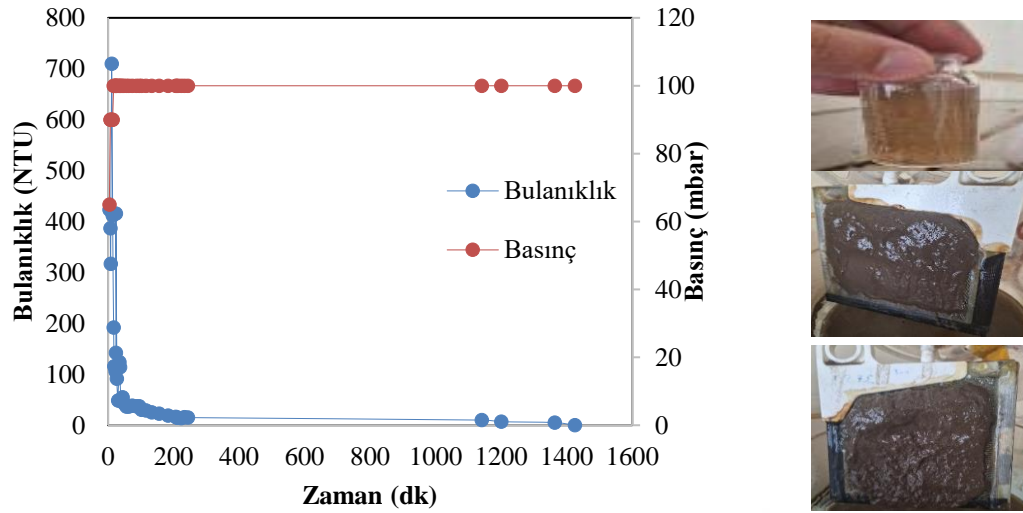
Şekil 37. 300 µm elek için Bulanıklık-Basınç grafiği – modül fotoğrafı

300 µm elek boyutunda Şekil 38'de elde edilen sonuçlara göre, reaktör besleme yapılmadan çalıştırılmıştır. Reaktör çıkış suyu bulanıklık değeri 10 NTU altına düştüğü için sistem durdurulmuştur. Membran modül çıkarıldığı zaman kek tabakasının oluşmadığı gözlenmiştir. Membran modülü DMBR sistemine konularak reaktör tekrar başlatılmıştır.



Şekil 38. 300 µm elek için Bulanıklık-Basınç grafiği – modül fotoğrafı

24 saat (1440 dk) çalıştırılmış reaktörün çıkış suyu bulanıklığı Şekil 39'da gösterilmiştir. Sistemde basınç artışı olmadığı halde çıkış suyunda aniden AKM gözlenmesi nedeniyle membran modülü reaktörden çıkarılmıştır. Çıkarılan membran modülü üzerinde oluşan DM tabakası Şekil 39 ve Şekil 40'de gösterilmiştir. Membran modülü üzerinde oluşan kek tabakası kalın bir şekilde görülmüştür. Sistem durdurulmadan önce çıkış suyu numunesinde AKM konsantrasyonunun artması nedeni ile bulanıklık değeri çok yüksek (>500 NTU) ölçülmüştür. 300 µm elek ile yapılan çalışmaların iyi sonuç vermesi nedeniyle, bu elek ile bir dizi ek kesikli çalışma yapılarak aşağıda açıklanmıştır.

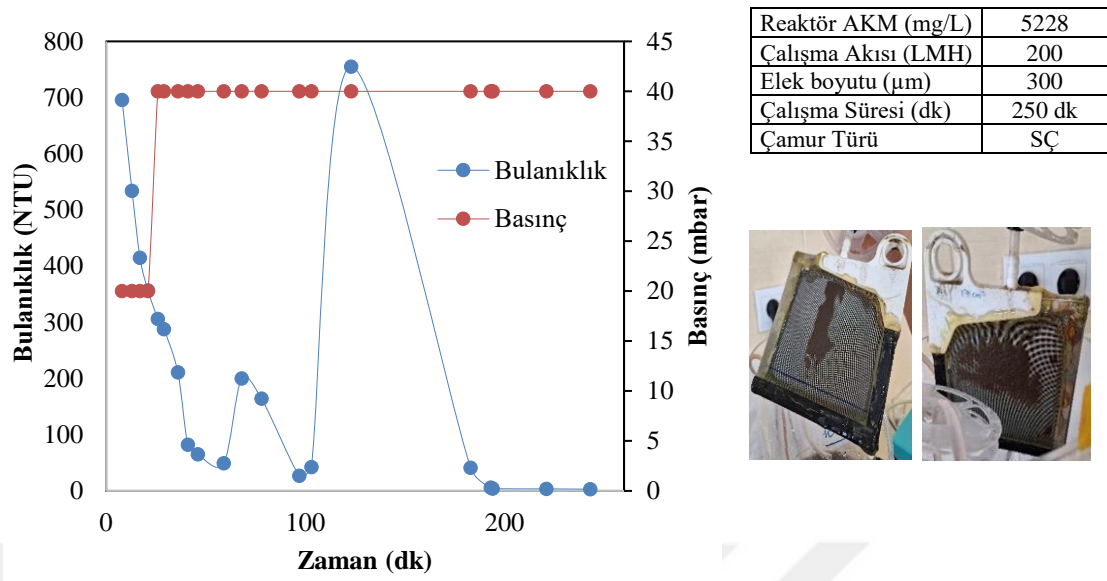


Şekil 39. 300 µm elek için Bulanıklık-Basınç grafiği – modül fotoğrafı

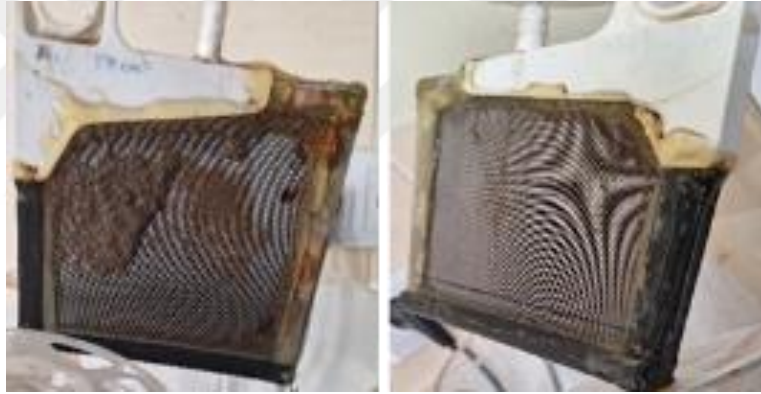


Şekil 40. SÇ çamuru ile modül üzerinde oluşan tabaka görüntüsü

Şekil 41’de 300 µm elek boyutunda çalıştırılan reaktör harici karbon kaynağı ile beslenmiştir. Şekil 41’ ye göre sistemde çıkış suyu bulanıklık değeri 0 NTU olmasına rağmen membran modülü çıkarıldığında gözle görülür bir kek tabakası olmadığı gözlenmiştir. Çıkış suyu değerinde farklılıklar olmamasına rağmen membran modülü kontrol edildiğinde kek tabakası olmadığı gözlenmiş ve sistem çalıştırılmaya devam edilmiştir. Sistemin bulanıklık ve basınç değeri ölçülerek 49 saat boyunca çalıştırılmıştır. DMBR’ de membran modülü belirli aralıklarda kontrol edilmiş ve aşağıda fotoğrafları gösterilmiştir. 19 sonunda çıkış suyu değeri 0 NTU olduğu görülmüştür. Modül çıkarıldığı zaman tabakanın olmadığı görülmüştür. 44 saat sonunda tabaka oluşmaya başlamıştı fakat modül reaktöre batırılınca tabaka hemen sıyrılmıştır. Kalıcı bir tabaka olmadığı için sistem 49 saat sonunda kapatılmıştır.



Şekil 41. 300 μm elek için Bulanıklık-Basınç grafiği – modül fotoğrafı



Şekil 42. 19 saat sonundaki modül fotoğrafı



Şekil 43. 27 saat sonundaki modül fotoğrafı



Şekil 44. 44 saat sonundaki Modül fotoğrafı



Şekil 45. Modülün reaktöre daldırılması sonucu oluşan modül fotoğrafı.

Sistemde membran modülünde kek tabakası oluşmadığı için 49 saat sonunda durdurulmuştur. 49 saat sonunda elde edilen membran modül fotoğrafları Şekil 46'da gösterilmiştir.



Şekil 46. 49 saat sonunda sistem kapatıldığındaki modül fotoğrafı

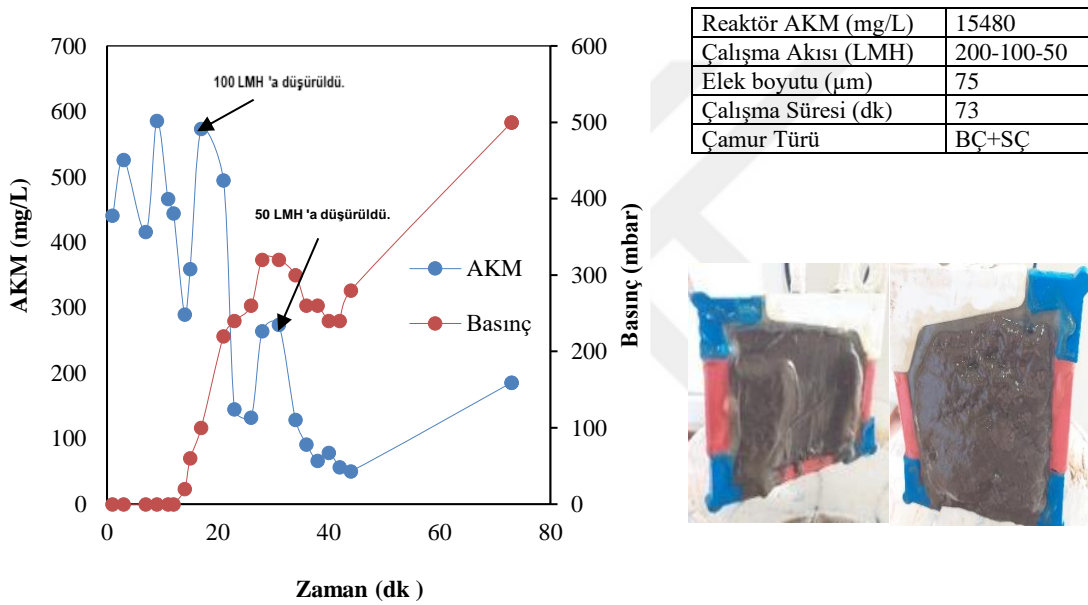
3.1.3. BÇ+SÇ Çamuru ile Yapılan Çalışmalar

Çalışmanın bu aşamasında KOSB AAT 'de son çöktürme ve polielektrolit eklenmiş belt pres öncesi çamurdan alınarak oluşturulan karışım ile kesikli çalışmalar yapılmıştır. Yapılan kesikli çalışmalar sonucunda SÇ+BÇ çamuru kullanılarak oluşturulan DM tabakasında ani basınç artışı olduğu gözlemlenmiştir. SÇ+ BÇ karışımı ile yapılan

çalışmalarda membran kek tabakası kalın fakat sıyrılmayan bir kek tabakası olduğu gözlenmiştir. Ayrıca akının belirli aralıklarla azaltıldığında reaktörün çalışma süresinin arttığı ve kek tabakasının daha düzgün olduğu gözlenmiştir.

3.1.3.1. 75 µm ile Yapılan Çalışmalar

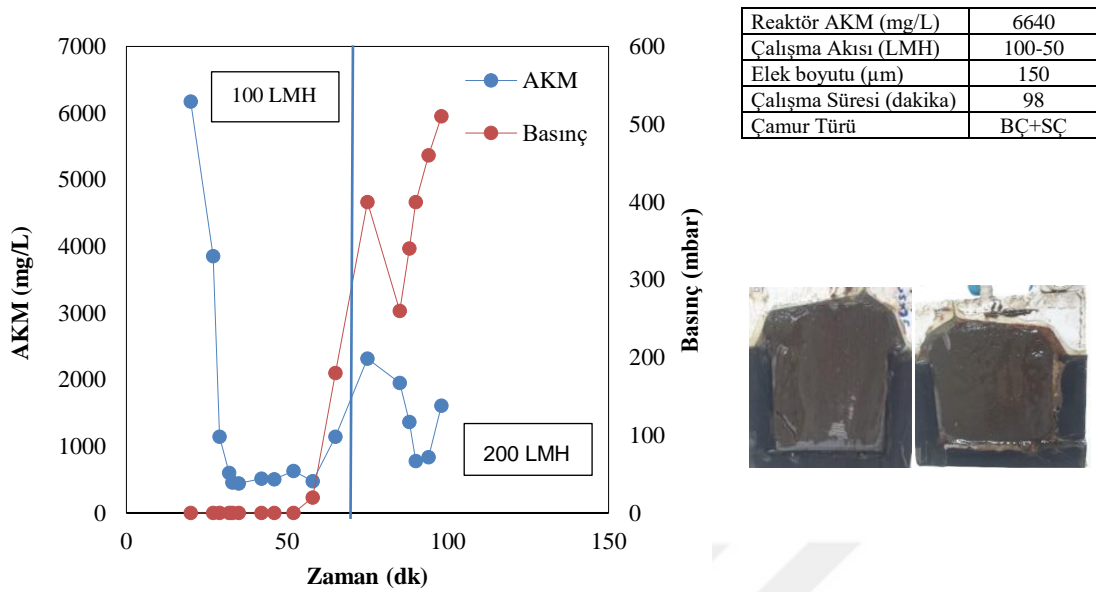
Şekil 47’de 75 µm elek boyutunda yapılan ön çalışma sonucunda çıkış suyu konsantrasyonunun akının azaltılması ile azaldığı gözlenmiştir. Ancak akının azalması ile basınç artışı önlenememiştir ve sistem durdurulmuştur.



Şekil 47. 75 µm elek için AKM -Basınç grafiği – modül fotoğrafı

3.1.3.2. 150 µm ile Yapılan Çalışmalar

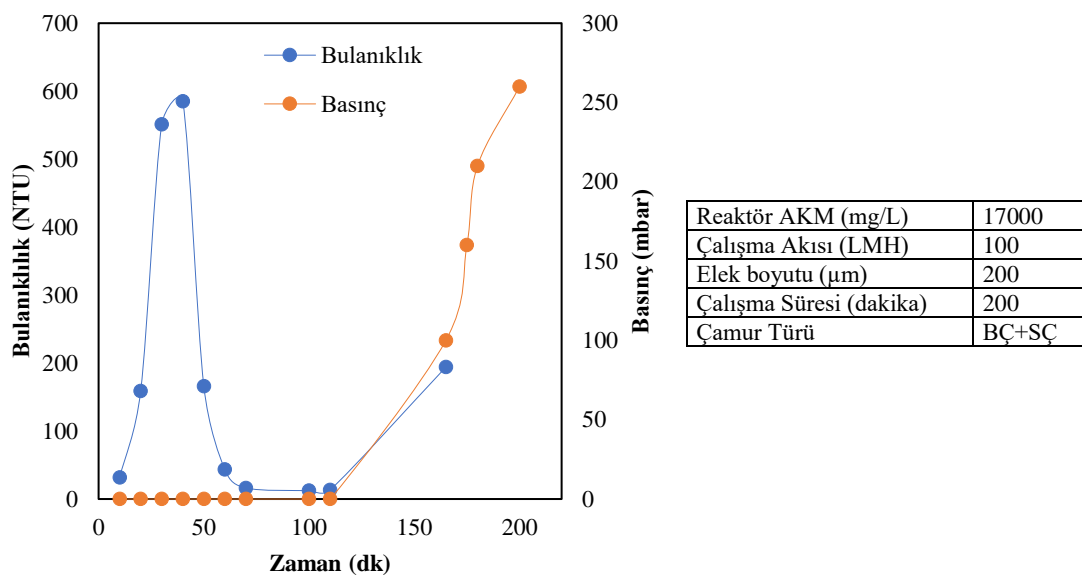
150 µm elek boyutunda yapılan çalışmada AKM-Basınç grafiği Şekil 48’de gösterilmiştir. Şekil 48’de göre elde edilen sonuçlar, basıncın artışıdan sonra 75. dk’da akı yarıya düşürülmüştür. Basıncın ve çıkış suyu AKM konsantrasyonunun tekrar artması nedeniyle sistem kapatılmıştır. Modül çıkarıldığında ince ve sıyrılmayan bir kek tabakası olduğu gözlenmiştir.



Şekil 48. 150 µm elek için AKM-Basınç grafiği – modül fotoğrafı

3.1.3.3. 200 µm ile Yapılan Çalışmalar

200 µm elek boyutunda yapılan çalışmada ise, sistem sabit ile çalıştırılmıştır ancak kek tabakası oluşana kadar bulanıklık değerinde artış gözlenmiştir. Kek tabakasının oluşması ile bulanıklık değeri 13 NTU değerine kadar düştüğü gözlenmiştir. Bu yüzden basınç artması ile çıkış suyu bulanıklık değerinin arttığı belirlenmiştir. Sistem yüksek basınç artışı sebebiyle durdurulmuştur.

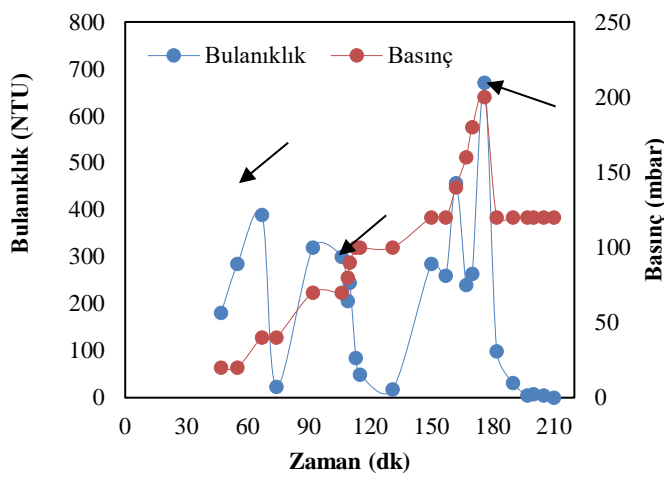


Şekil 49. 200 µm elek için Bulanıklık-Basınç grafiği

Sistemde basınç başlangıçtan sonuna kadar 0 olduğu için grafikte gösterilmemiştir, Deneyde çıkış suyu bulanıklık değeri 1 NTU 'a kadar düştüğü için sistem kapatılmıştır. Sistemde basınç ölçer kaynaklı bir sorun olduğu deney sonucunda görülmüştür.

3.1.3.4. 300 µm ile Yapılan Çalışmalar

Şekil 50'de 300 µm elek boyutunda yapılan çalışmada kek tabakası oluşmadığı için akı 400 LMH ile çalıştırılmıştır. Basıncın artması ile sistem akısı düşürülmüştür. Çıkış suyu bulanıklık değeri 0 NTU'ya ulaştığı için sistem durdurulmuştur.

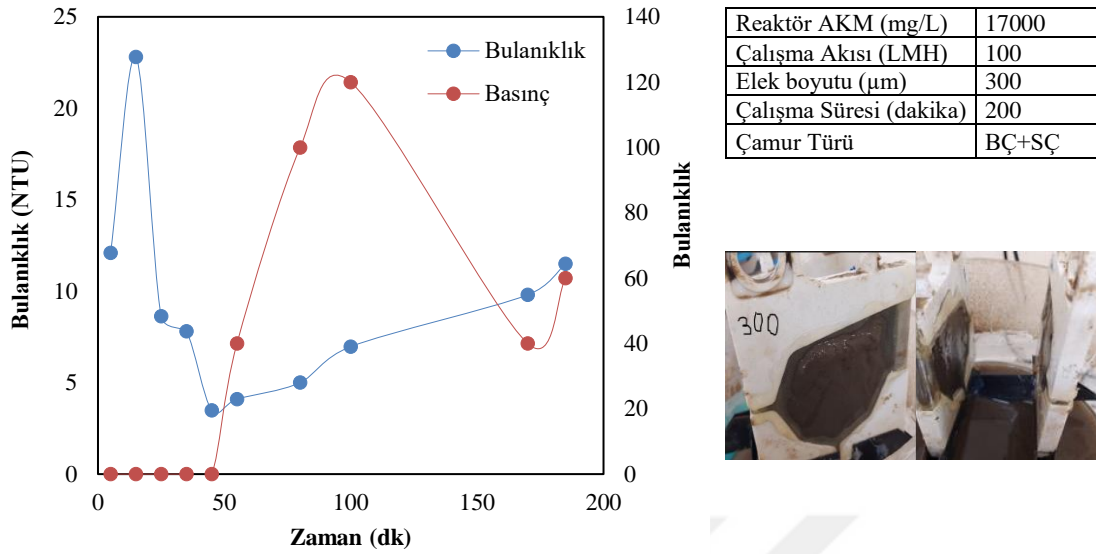


Reaktör AKM (mg/L)	8600
Çalışma Akısı (LMH)	400-200-100
Elek boyutu (µm)	300
Çalışma Süresi (dakika)	210
Çamur Türü	BC+SÇ



Şekil 50. 300 µm elek için Bulanıklık -Basınç grafiği – modül fotoğrafı

300 µm elek boyutunda yapılan ön çalışmada bulanıklık-basınç grafiği Şekil 51'de verilmiştir. DMBR sistemi sabit akıda işletilmiştir (100LMH). Sistem sabit akıda çalıştığı süre boyunca membran modülünde kek tabakası oluşana kadar bulanıklık değerinde artış gözlenmiştir. Membran modülünde kek tabakası oluşumu başladıktan sonra bulanıklık değeri 3 NTU'ya kadar düştüğü gözlenmiştir. Daha sonra sistem basıncı artması ile çıkış suyu bulanıklık değeri artmıştır. Basınç değeri azalmasına rağmen çıkış suyu bulanıklık değerinde azalma olmadığı belirlenmiştir.



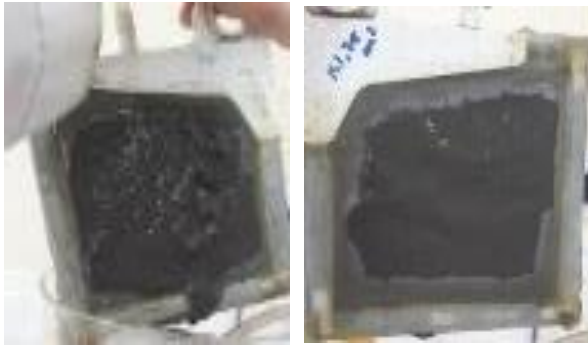
Şekil 51. 300 µm elek için Bulanıklık-Basınç grafiği – modül fotoğrafı

3.1.4. SÇ+ÖÇ Çamuru ile Yapılan Çalışmalar

Çalışmanın bu aşamasında KOSB AAT 'de son çöktürme ve Çamur depolama tankına gelen ön çöktürme hattı borusundan alınarak oluşturulan karışım ile kesikli çalışmalar yapılmıştır. Yapılan kesikli çalışmalar sonucunda SÇ+ÖÇ çamuru kullanılarak oluşturulan DM tabakasında basınç artışı kontrol edildiği gözlemlenmiştir. SÇ+ ÖÇ karışımı ile yapılan çalışmalarda membran kek tabakasının ince ve sıyrılmayan bir kek tabakası olduğu gözlenmiştir. Azalan basınç uygulandığı zaman basınç artışı artmadan sistem durdurulmuştur. Tabaka oluşturmada en iyi çamurun bu olduğuna karar verilmiştir. YÇ-DMBR 'de kullanılması için bu çamur türü belirlenmiştir.

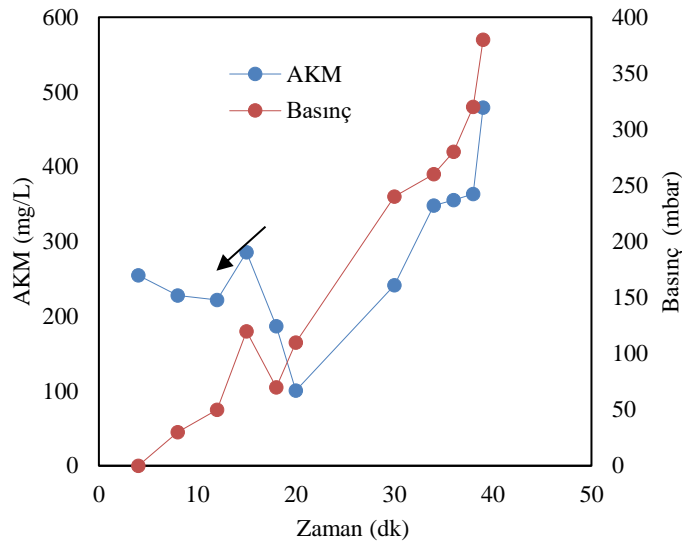
3.1.4.1. 75 µm ile Yapılan Çalışmalar

75 µm ile yapılan çalışmalarda çalışma süresinin kısa sürdüğü görülmüştür. Basınç azaltılmasına rağmen süre uzatılamamıştır. Yapılan çalışmaların genelinde aynı sonuç elde edilmiştir. (Şekil 52- Şekil 53-Şekil 54)



Reaktör AKM (mg/L)	7300
Çalışma Akısı (LMH)	100-50-25
Elek boyutu (μm)	75
Çalışma Süresi (dk)	55
Çamur Türü	SÇ+ ÖÇ

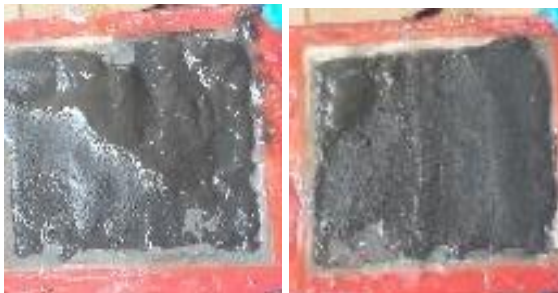
Şekil 52. 75 μm elek için AKM -Basınç grafiği – modül fotoğrafı



Reaktör AKM (mg/L)	8000
Çalışma Akısı (LMH)	100-50
Elek boyutu (μm)	75
Çalışma Süresi (dakika)	45
Çamur Türü	SÇ+ ÖÇ



Şekil 53. 75 μm elek için AKM -Basınç grafiği – modül fotoğrafı



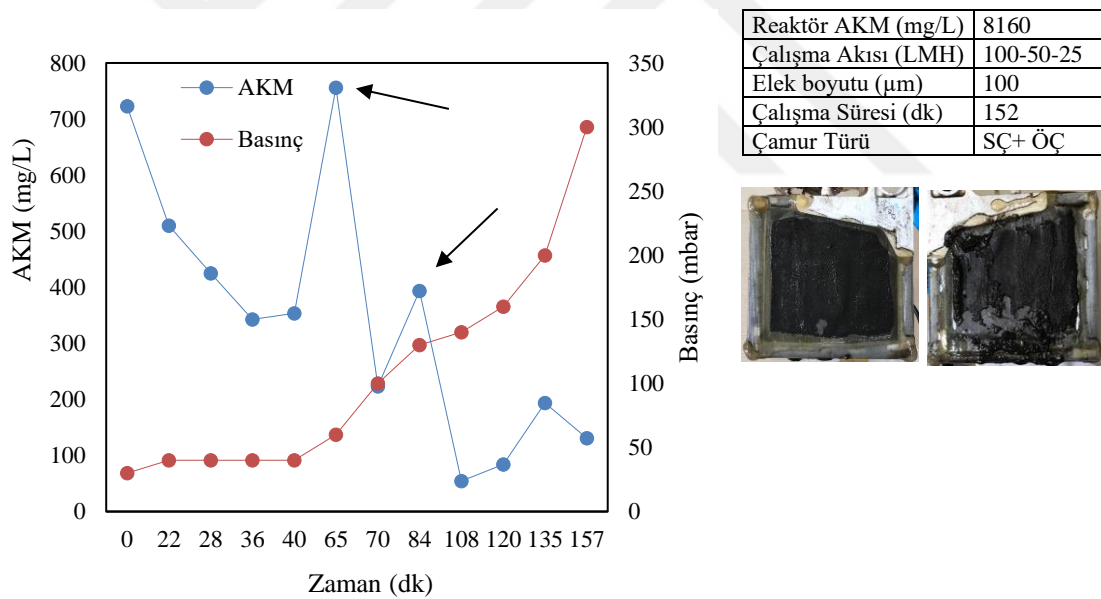
Reaktör AKM (mg/L)	8200
Çalışma Akısı (LMH)	100-50
Elek boyutu (μm)	75
Çalışma Süresi (dakika)	35
Çamur Türü	SÇ+ ÖÇ

Şekil 54. 75 μm elek için modül fotoğrafı

3.1.4.2. 100 µm ile Yapılan Çalışmalar

100 µm ile yapılan çalışmalarda azalan akı uygulandığı zaman çalışma süresinin uzadığı görülmüştür. Azalan akı çalışmalarında çıkış suyundaki AKM miktarında, dinamik tabaka oluşumuyla paralel olarak, azalma görülmüştür. Ancak akı azalmalarına müteakip basıncın kısa süreli düşüşü sonrası basıncın tekrar arttığı gözlenmiştir. Çıkış suyu AKM ve bulanıklık değeri arasında bir korelasyon bulunmaktadır. Çıkış suyu AKM konsantrasyonu 30 mg/L altında olduğu anda, bulanıklık değerinin NTU altına düştüğü tespit edildiği edilmiştir.

100 µm ile yapılan çalışmalarda azalan akı uygulandığı zaman çalışma süresinin uzadığı görülmüştür. Azalan akı çalışmalarında çıkış suyundaki AKM miktarında azaldığı görülmüştür (Şekil 55). Benzer sonuçlar başka bir deneyde elde edilmiştir. Deney sonucundaki modüllerin fotoğrafı Şekil 56’da verilmiştir.

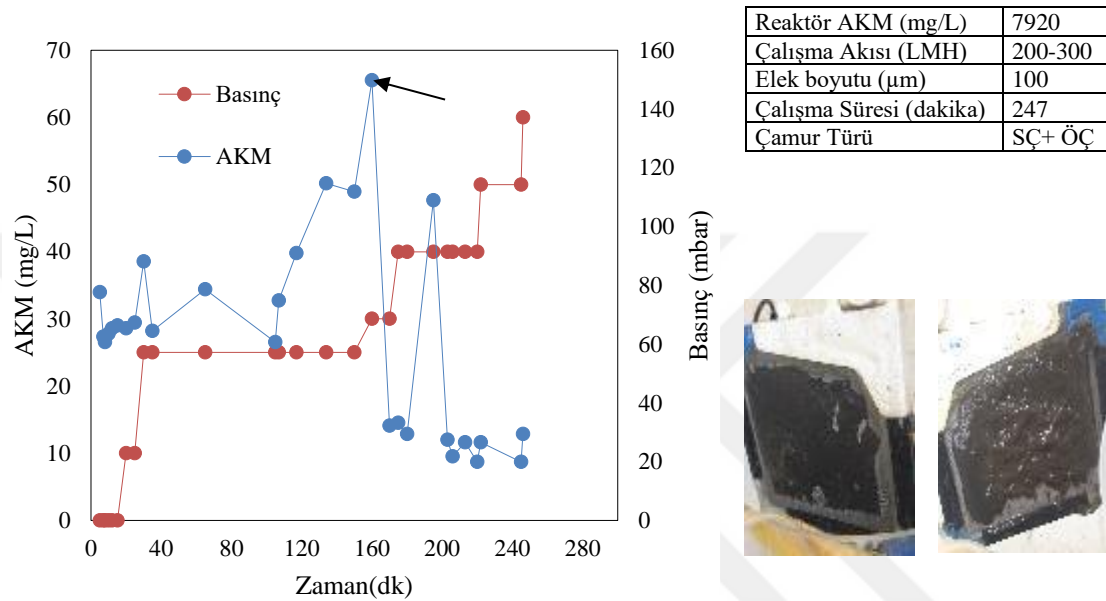


Şekil 55.100 µm elek için AKM -Basınç grafiği – modül fotoğrafı.



Şekil 56. 100 µm elek için AKM -Basınç grafiği – modül fotoğrafı

Çıkış suyu AKM ve bulanıklık değeri arasında bir korelasyon olduğu görülmüştür. Çıkış suyu AKM konsantrasyonunun miktarı 30 mg/L altında olduğu zaman bulanıklık değeri 10 NTU altına düştüğü tespit edildiği edilmiştir. Şekil 57'ye ait SEM görüntüleri 3.2. başlığı altında verilmiştir. Benzer sonuçlar başka bir deneyde elde edilmiştir. Deney sonucundaki modüllerin fotoğrafı Şekil 58'de verilmiştir.



Şekil 57.100 µm elek için AKM -Basınç grafiği – modül fotoğrafı



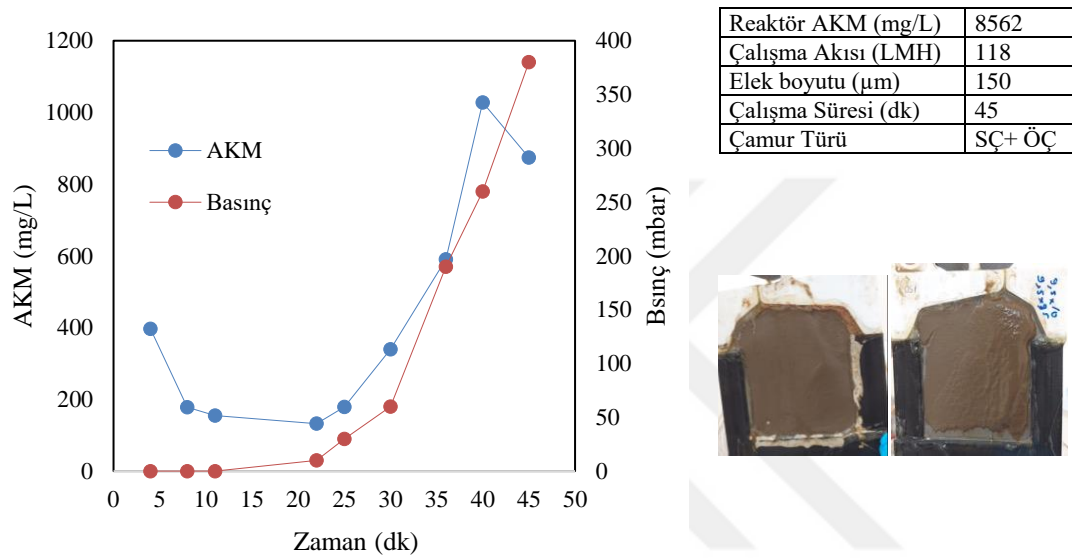
Reaktör AKM (mg/L)	7460
Çalışma Akısı (LMH)	100-50
Elek boyutu (µm)	100
Çalışma Süresi (dakika)	52
Çamur Türü	SÇ+ ÖÇ

Şekil 58.100 µm elek için modül fotoğrafı.

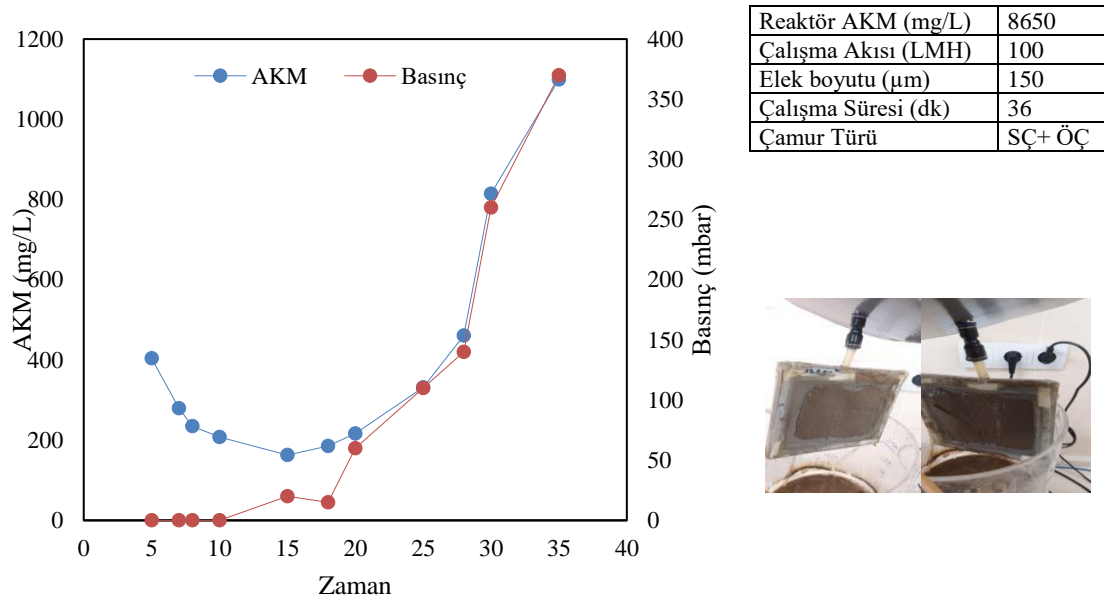
3.1.4.3. 150 µm ile Yapılan Çalışmalar

150 µm ile yapılan çalışmalarda çalışma süresinin daha uzun olduğu görülmüştür. Sabit akı çalışmalarında basınç artışı olmasına rağmen çıkış suyundaki AKM miktarında azalma olduğu görülmüştür.

150 μm ile yapılan çalışmada basınç artışı ve çıkış suyu AKM konsantrasyonunun da benzer şekilde arttığı görülmüştür (Şekil 59 ve Şekil 60). Çıkış suyu kalitesi iyileştikten sonra basınç artışının devam etmeye başladığı görülmüştür. Basınç artışı olmamasına rağmen çıkış suyu bulanıklık değeri 0 NTU 'ya düştüğü son grafikte, reaktörün uzun süre beslenmeden çalıştırıldığı, bu reaktörde oluşan bazı maddelerin (SMP, EPS) reaktör performansını iyileştirmesine etki ettiği düşünülmektedir.

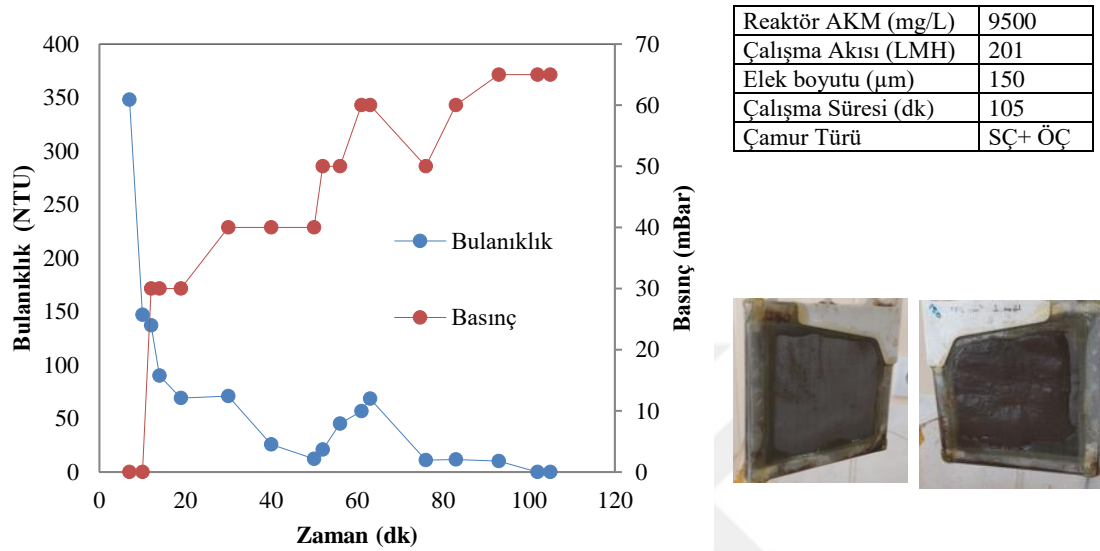


Şekil 59.150 μm elek için AKM -Basınç grafiği



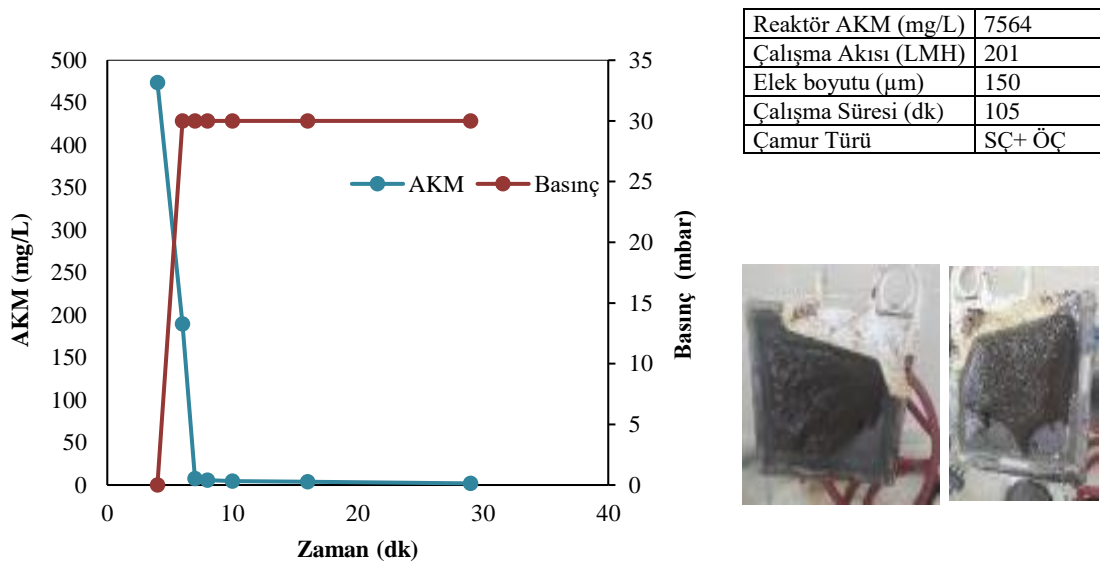
Şekil 60. 150 μm elek için AKM -Basınç grafiği – modül fotoğrafı

Şekil 61'e ait SEM görüntüleri 3.2. başlığı altında verilmiştir. Deneyde gözle görülür bir tabaka olmamasına rağmen Sem analizleri ile gözeneklerin arasında fiber parçaların olduğu bu sayede de bulanıklık düşüşü görülmüştür.



Şekil 61. 150 µm elek için AKM -Basınç grafiği – modül fotoğrafı

Reaktördeki çamurun bekletme süresine göre tabakanın daha kaliteli olmasını sağlamıştır. Basınç artışı olmamasına rağmen çıkış suyu bulanıklık değeri 0 NTU 'ya düştüğü görülmüştür (Şekil 62).

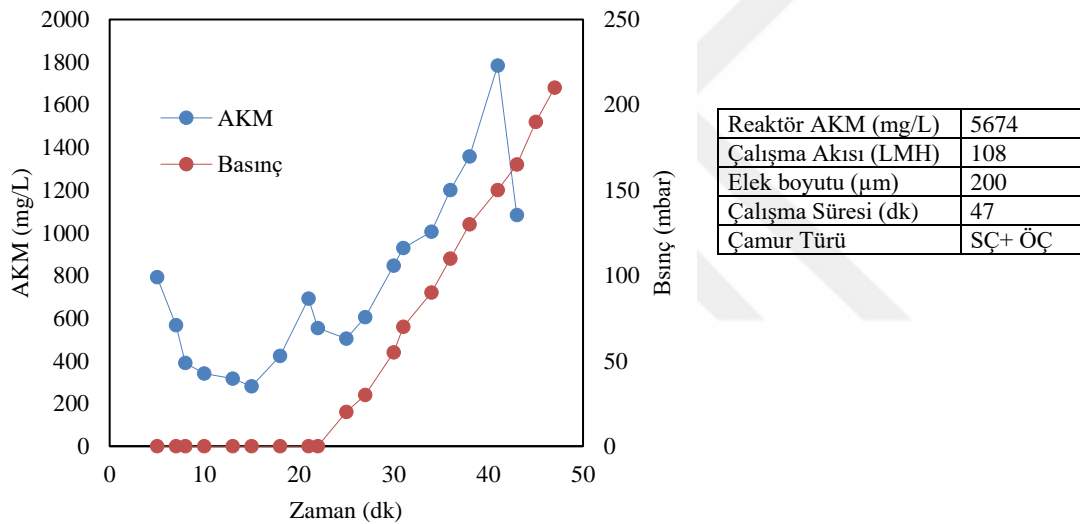


Şekil 62. 150 µm elek için AKM -Basınç grafiği – modül fotoğrafı

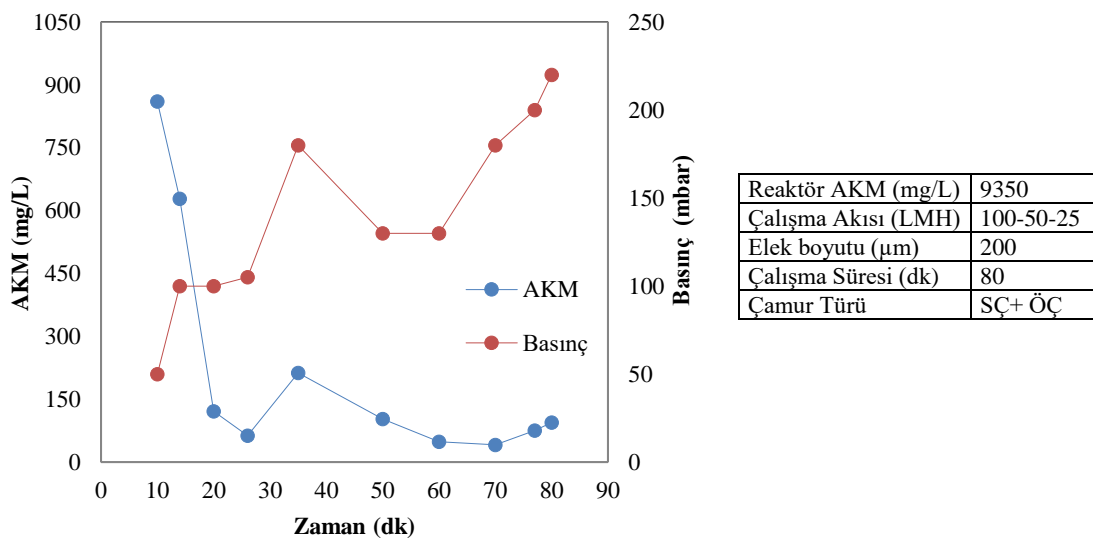
3.1.4.4. 200 µm ile Yapılan Çalışmalar

200 µm ile yapılan çalışmalarda, çıkış suyu kalitesinin diğer elek boyutlarına göre, daha fazla kesikli çalışmada basınç artışı olmadan iyileştiği görülmüştür. Sabit akı çalışmalarında basınç artışı olmasına rağmen çıkış suyundaki AKM konsantrasyonunun artma göstermediği görülmektedir. Akının kademeli azaltma stratejisinin bu elek boyutunda daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. (Şekil 64)

200 µm ile yapılan çalışmalarda çalışma süresinin uzun olduğu görülmüştür. Sabit akı çalışmalarında basınç artışı olmasına rağmen çıkış suyundaki AKM miktarında azaldığı görülmüştür. (Şekil 63)

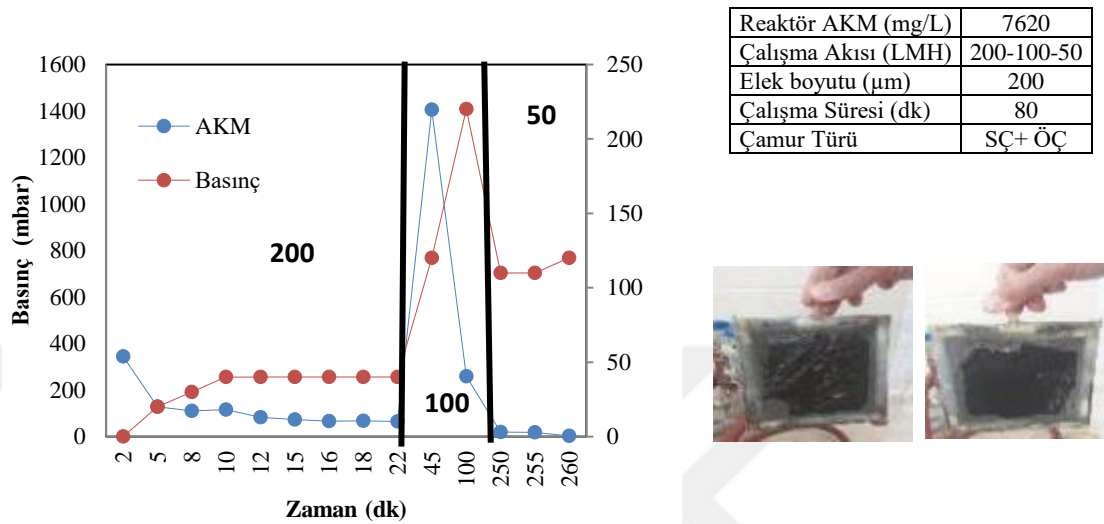


Şekil 63. 200 µm elek için AKM -Basınç grafiği



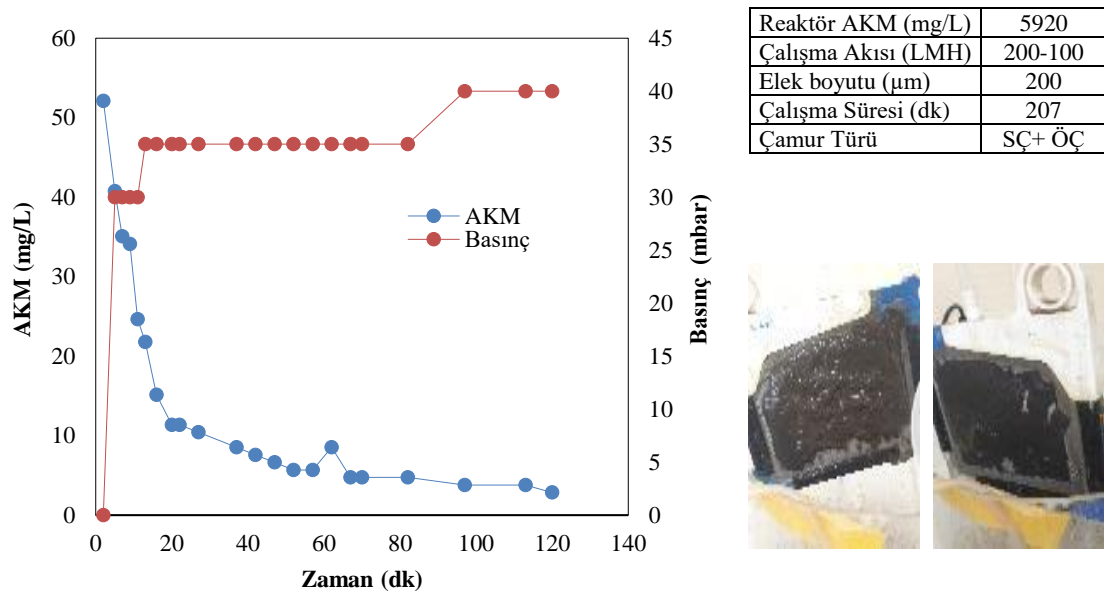
Şekil 64. 200 µm elek için AKM -Basınç grafiği

Şekil 65'deki verilerin SEM görüntüleri 3.2. başlığında verilmiştir. Akı azaltılması ile tabakanın daha sıkı bir şekilde kaplandığı görülmüştür. Aynı zamanda bu deneyde de basınç artışının akı azaltılarak kontrol edilebileceği tekrar gözlemlenmiştir.

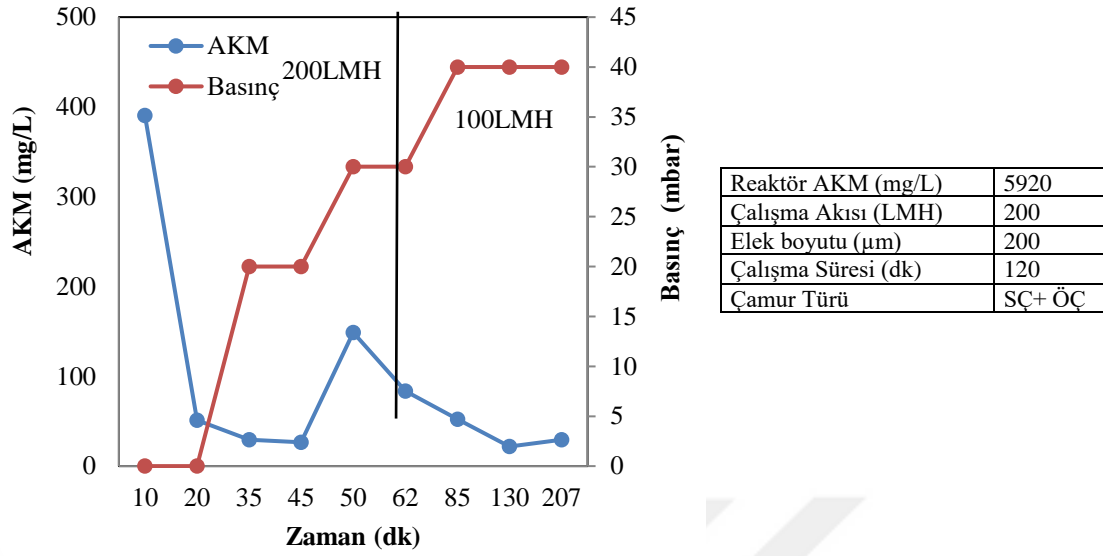


Şekil 65. 200 µm elek için AKM -Basınç grafiği – modül fotoğrafı

Azalan akı ve sabit akı farkını anlamak için aynı çamur ile denemeler yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda sabit akı ile yapılan çalışmada 120. dakikada 3 NTU ve 40 mbar basınç bulunurken azalan akı çalışmasında ise 22 NTU ve 40 mbar basınç elde edilmiştir. (Şekil 66, Şekil 67)



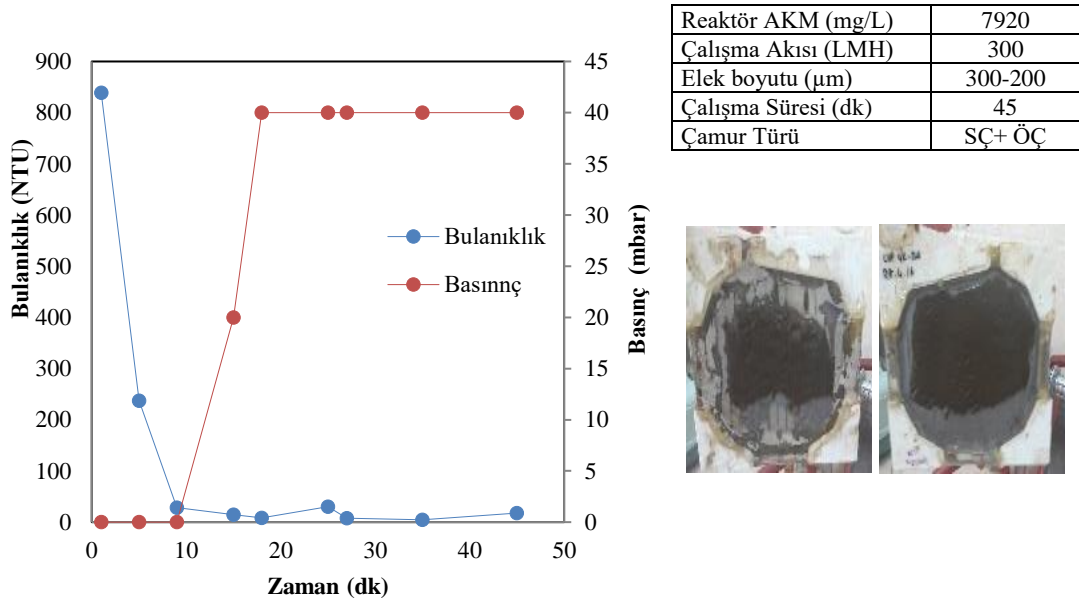
Şekil 66. 200 µm elek için AKM -Basınç grafiği – modül fotoğrafı



Şekil 67. 200 µm elek için AKM -Basınç grafiği

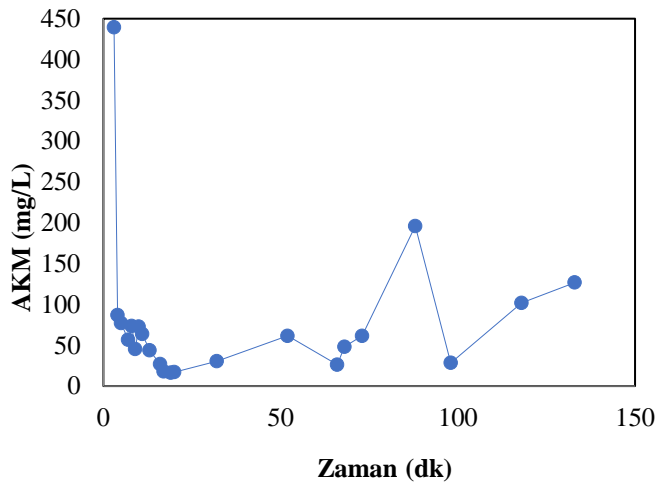
3.1.4.5. 300 µm ile Yapılan Çalışmalar

SÇ+ÖÇ çamurları kullanılarak yapılan bu kesikli çalışmalarda, uygun şartlar oluştuğunda, çıkış suyu kalitesinin çok iyi duruma gelebildiği, basıncın artmadığı ve yüksek akımlarla çalışılabildiği belirlenmiştir. Yukarıda hem 200 µm elek, hem de 300 µm elek için SEM görüntüleri elde edilmiş 3.2. başlığı altında verilmiştir.

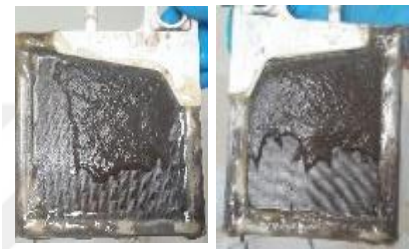


Şekil 68. 300 µm elek için Bulanıklık -Basınç grafiği – modül fotoğrafı

Yapılan denemede basınç değişimi görülmediği için sistem kapılmıştır. Çıkış suyu bulanıklık değeri 0 NTU olması ve basıncın artmamasına rağmen tabaka oluşmuştur (Şekil 69).

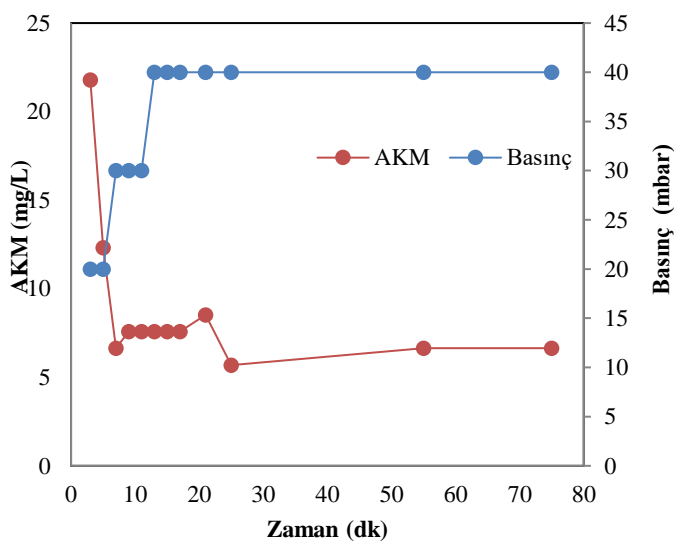


Reaktör AKM (mg/L)	8560
Çalışma Akısı (LMH)	100
Elek boyutu (µm)	300
Çalışma Süresi (dk)	133
Çamur Türü	SÇ+ ÖÇ



Şekil 69. 300 µm elek için AKM -Basınç grafiği – modül fotoğrafı

Şekil 70'de basınç artışı olmamasına rağmen AKM'deki azalma ve tabakanın güzel olmasından dolayı bu modülünde SEM görüntüleri 3.2. başlığı altında verilmiştir. Sistem 75 dakikada sabit akı ile çalışmıştır. Yüksek elek boyuna rağmen sistem performansı basınç ve AKM yönünden mükemmel sonuçlandı.



Reaktör AKM (mg/L)	8740
Çalışma Akısı (LMH)	200
Elek boyutu (µm)	300
Çalışma Süresi (dk)	75
Çamur Türü	SÇ+ ÖÇ

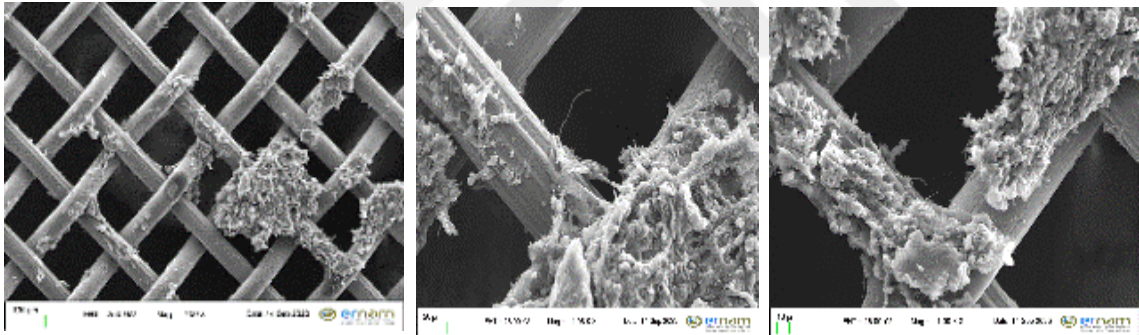


Şekil 70. 300 µm elek için AKM -Basınç grafiği – modül fotoğrafı

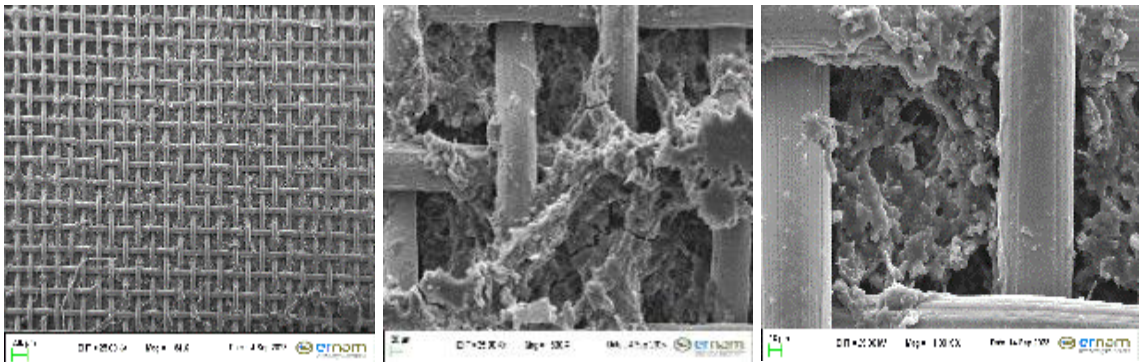
3.2. Bazı DMBR Deneyleri İçin Yapılan SEM Analizleri

DMBR kesikli çalışmaları sonrası kek tabakası oluşan SÇ+ÖÇ çamurları için destek tabakası üzerinde oluşan kek tabakalarının ve kek tabakasının sıyırılması sonucu ortaya çıkan elek görüntüleri incelenmiştir. Kek tabakasının oluşum mekanizmasının ya ön çöktürme çamurunda yer alan endüstriyel kaynaklı fiberlerin ya da SÇ çamurunda salgılanan protein ve karbonhidratın, SMP (çözünen mikrobiyal ürünlerin) ve EPS (hücre dışı polimerik ürünler) gibi, dinamik tabaka oluşumunu iyileştirdiği düşünülmektedir. İncelenen SEM sonuçlarına göre, kek floklarının bir arada tutulduğu ve bazı fiberlerin bu kek yapıları arasında görüldüğü tespit edilmiştir.

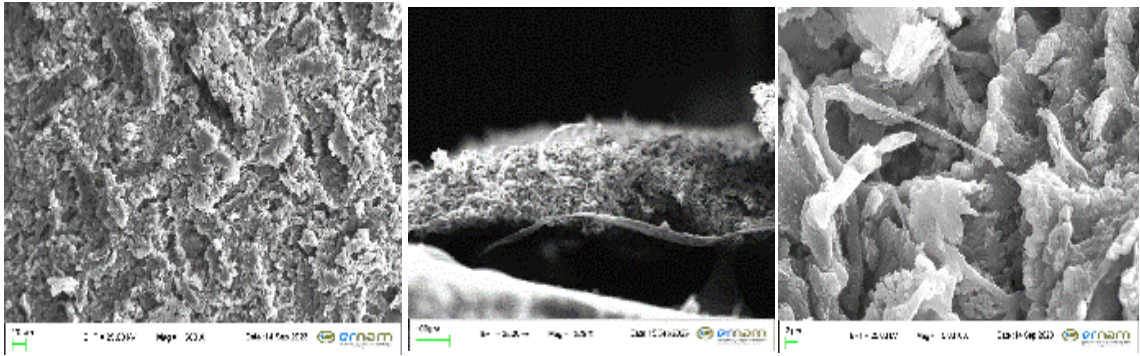
Şekil 57'de 100 µm destek tabakasında oluşan DM tabakası kuruduktan sonra elek üzerinde oluşan DM tabakasının (Şekil 72), DM tabakası sıyırıldıktan sonra eleğin (Şekil 71) ve DM tabakasının (Şekil 73) SEM analizleri yapılmıştır. Yapılan deneyde oluşan DM tabakasının boşlukları tamamen kapatarak tutunduğu, sıyrılan çamur kalıntılarında ve DM tabakasında lifli yapıların olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 71. 100 µm: DM tabakası sıyrılmış eleğin SEM görüntüsü

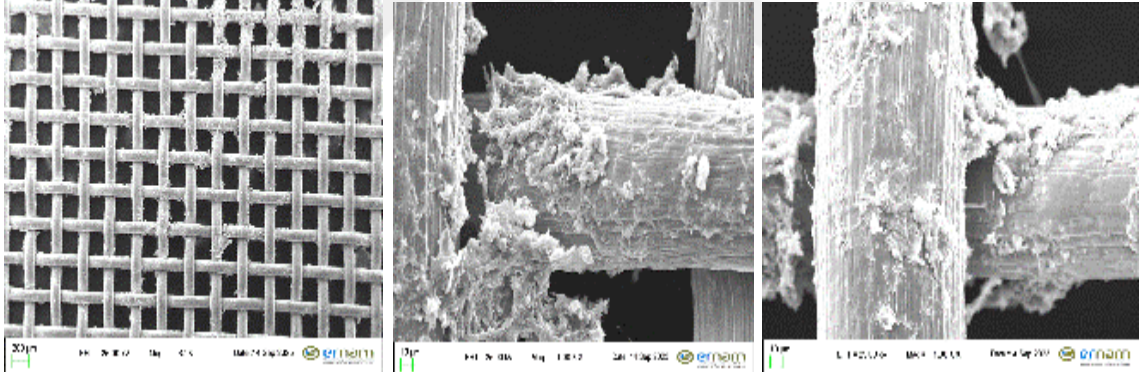


Şekil 72. 100 µm: Elek ile birlikte oluşan DM tabakasının SEM görüntüsü

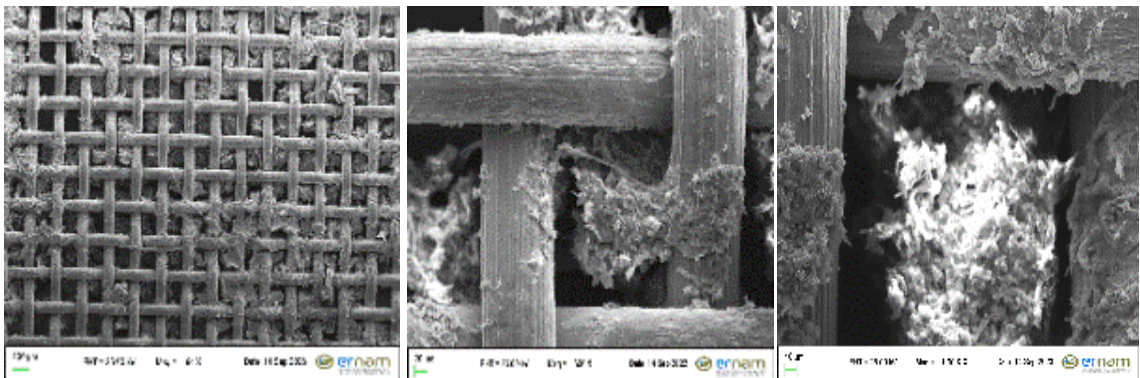


Şekil 73. 100 μ m: Oluşan DM tabakasının SEM görüntüsü

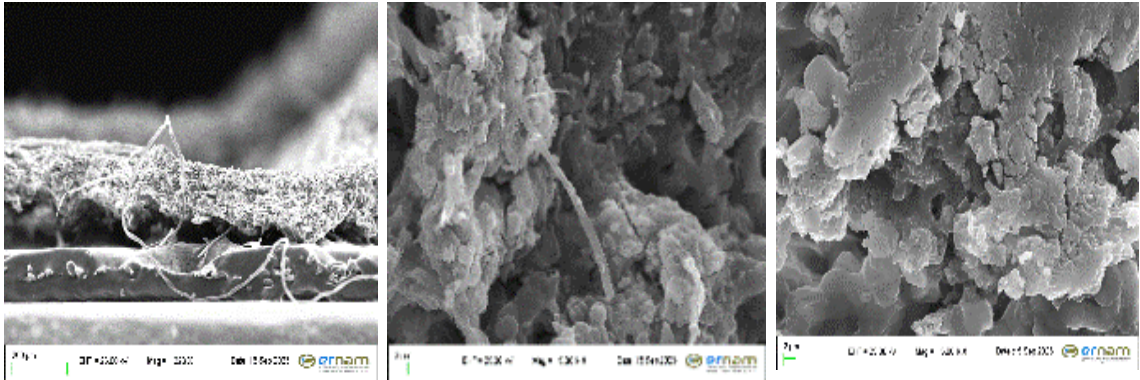
Şekil 65’de 200 μ m destek tabakasında oluşan DM tabakası kuruduktan sonra elek üzerinde oluşan DM tabakasının (Şekil 75), DM tabakası sıyrıldıktan sonra eleğin (Şekil 74) ve DM tabakasının (Şekil 76) SEM analizleri yapılmıştır. Yapılan deneyde oluşan DM tabakasında 100 μ m eleğe göre bazı alanlarda boşluklar görüntülenmiştir. İki elekte de aynı çamur kullanıldığından dolayı oluşan DM tabakalarının yapıları da benzer bulunmuştur.



Şekil 74. 200 μ m: DM tabakası sıyrılmış eleğin SEM görüntüsü

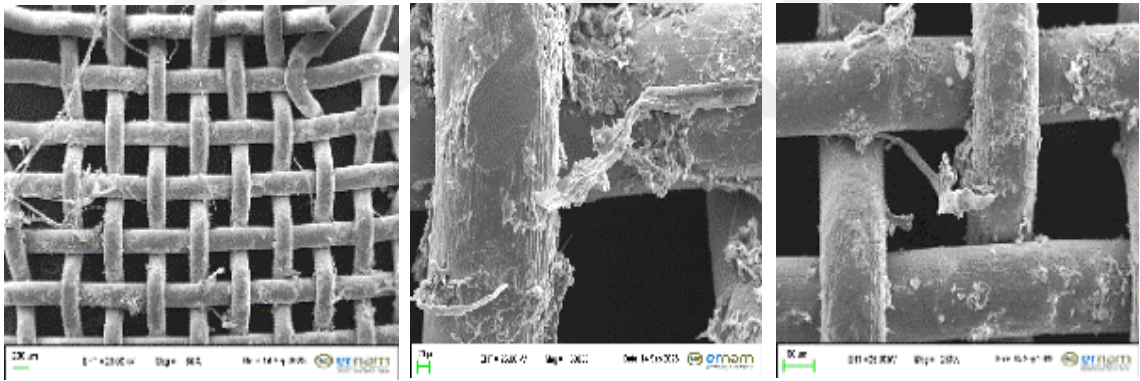


Şekil 75. 200 μ m: Elek ile birlikte oluşan DM tabakasının SEM görüntüsü

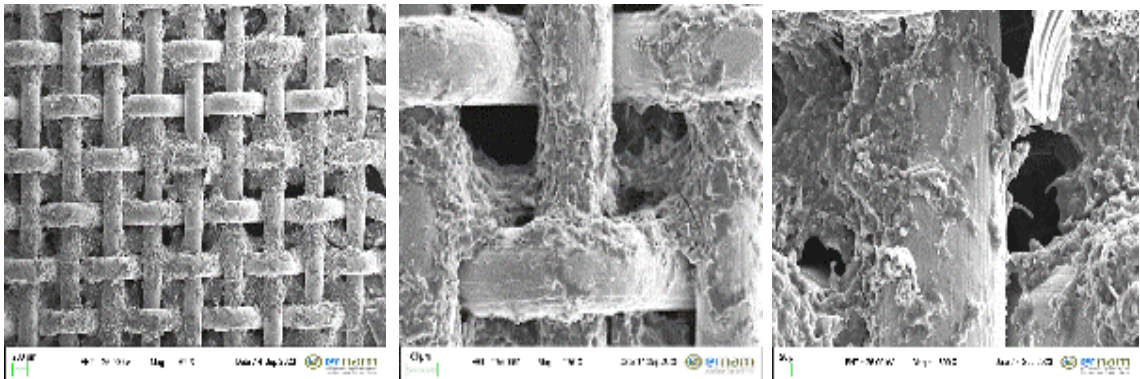


Şekil 76. 200 μm : Oluşan DM tabakasının SEM görüntüsü

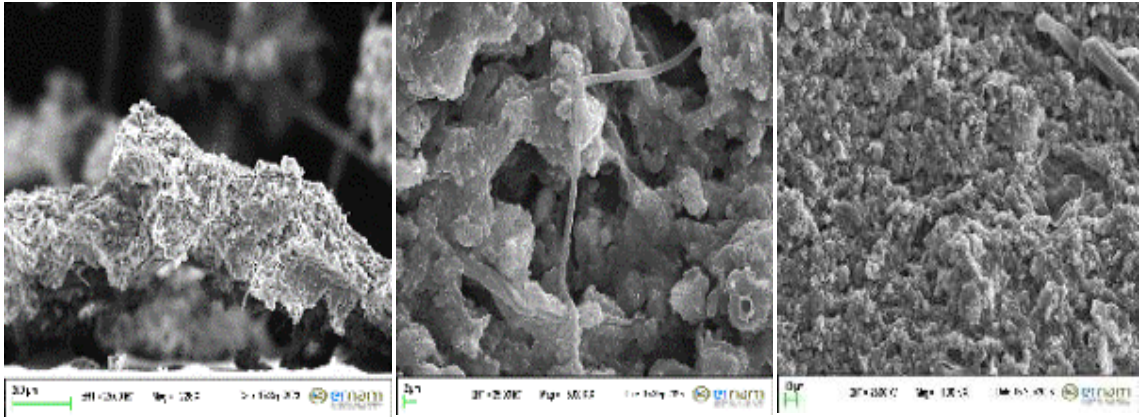
Şekil 70’de 300 μm destek tabakasında oluşan DM tabakası kuruduktan sonra elek üzerinde oluşan DM tabakasının (Şekil 78), DM tabakası sıyrıldıktan sonra eleğin (Şekil 77) ve DM tabakasının (Şekil 79) SEM analizleri yapılmıştır. Çalışmalar sonucunda en büyük çapa sahip elekte bile DM tabakası oluşmuş ve diğer eleklerde yapılan analizlere benzer sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 77. 300 μm : DM tabakası sıyrılmış eleğin SEM görüntüsü

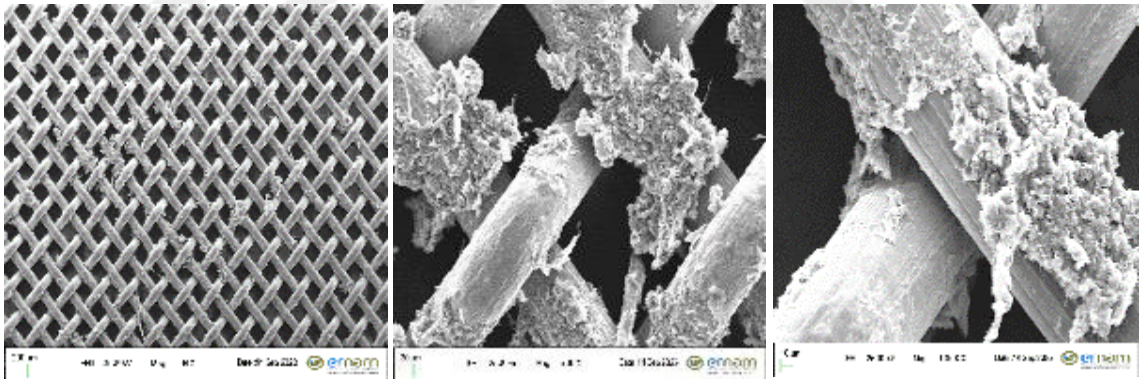


Şekil 78. 300 μm : Elek ile birlikte oluşan DM tabakasının SEM görüntüsü

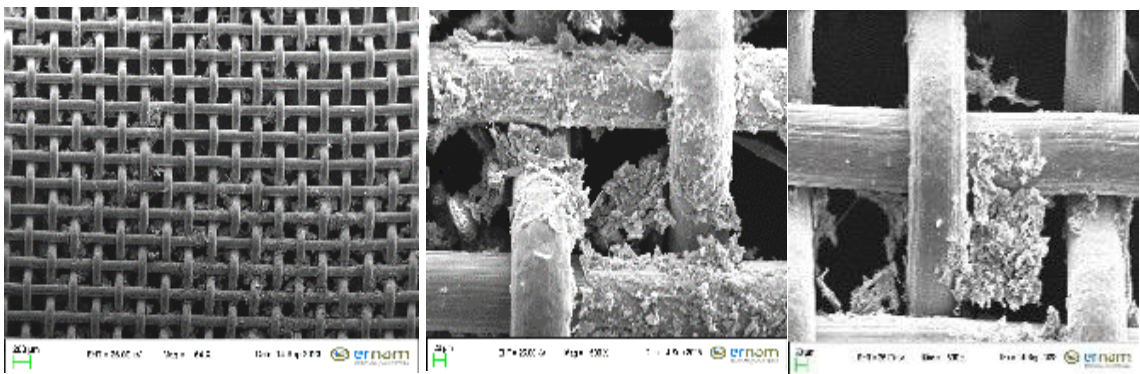


Şekil 79. 300 μm : Oluşan DM tabakasının SEM görüntüsü

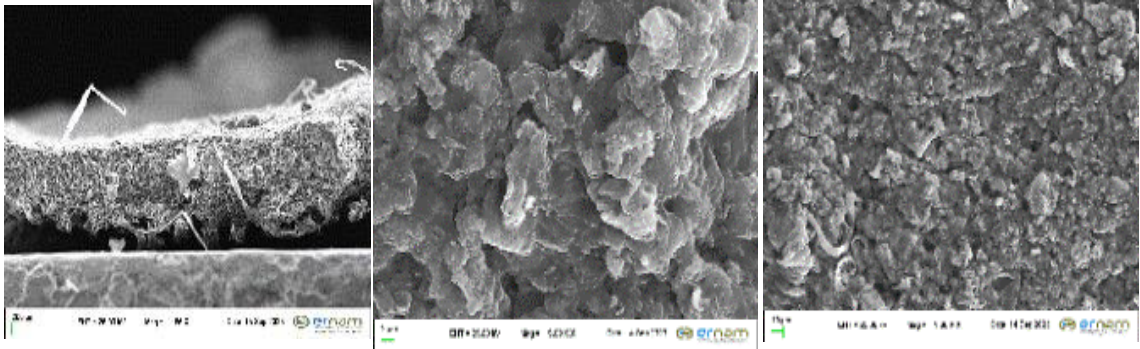
Şekil 61’te 150 μm destek tabakasında oluşan DM tabakası kuruduktan sonra elek üzerinde oluşan DM tabakasının (Şekil 81), DM tabakası sıyrıldıktan sonra eleğin (Şekil 80) ve DM tabakasının (Şekil 82) SEM analizleri yapılmıştır. DM tabakası seyrek oluşmasına rağmen yapılan deney sonucunda iyi kalitede çıkış suyu elde edilmiştir.



Şekil 80. 150 μm : DM tabakası sıyrılmış eleğin SEM görüntüsü



Şekil 81. 150 μm : Elek ile birlikte oluşan DM tabakasının SEM görüntüsü

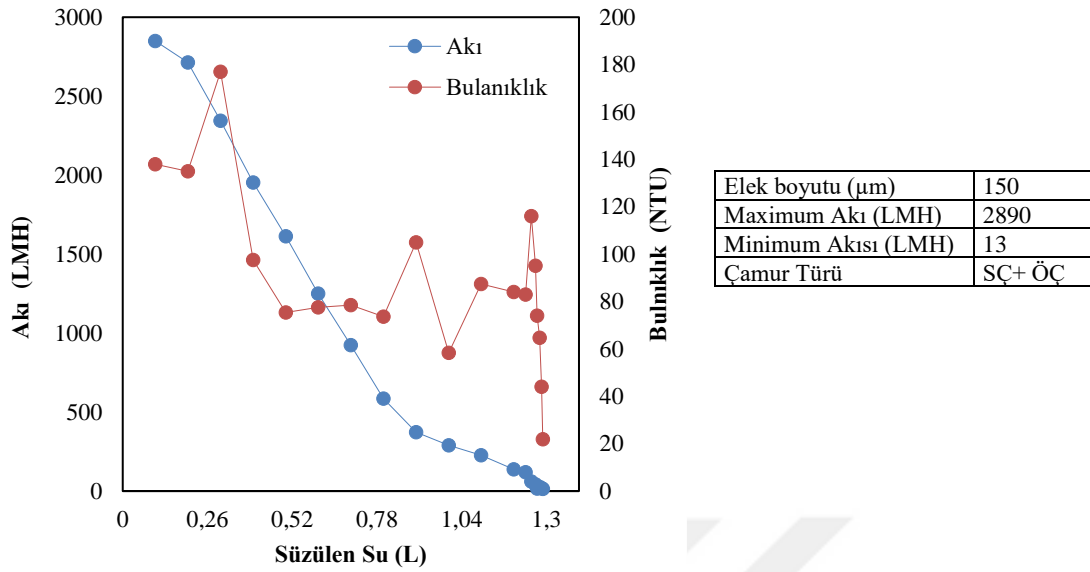


Şekil 82. 150 μm : Oluşan DM tabakasının SEM görüntüsü

3.3. DM Tabakası Oluşmuş Modüllerin YÇ-DMBR 'de Kullanılması ile Yapılan Çalışmalar

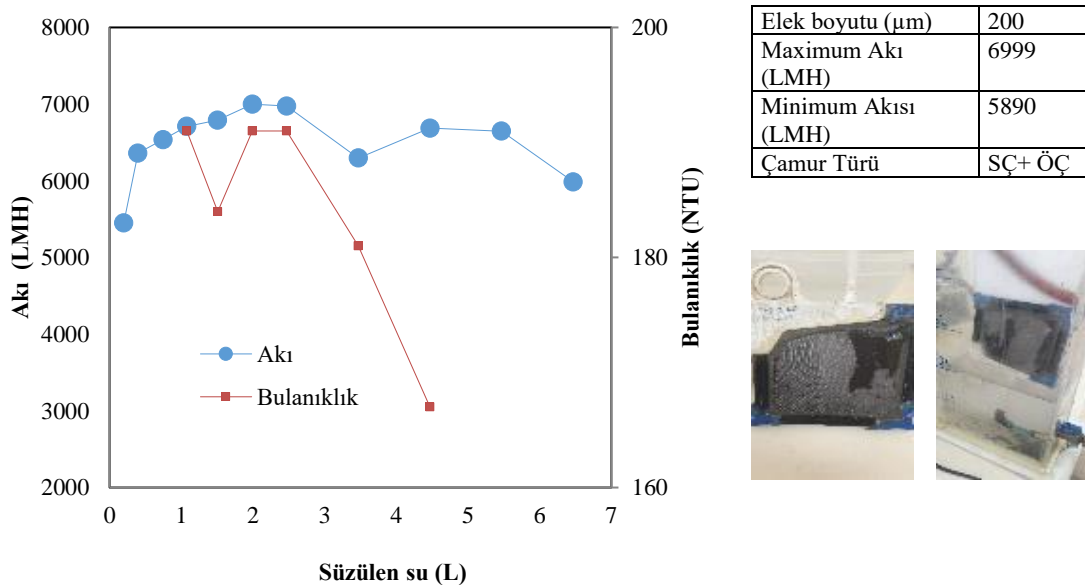
Ön-birikim yapılmış olan modüller DMBR'den alınarak YÇ-DMBR'e takılarak çalışılmıştır. İlk çalışmalarda aralıklı olarak çıkış suyunda AKM değerleri ölçülmüştür. DMBR'de DM tabaka oluşmamasına rağmen YÇ- DMBR de tabaka oluşması sağlanmıştır. DMBR'de DM tabaka oluştuğundan sonra YÇ-DMBR prosesinde işletmeye alınca akının genellikle hızla düştüğü görülmüştür. Bu bölümde 15 adet kesikli çalışma yapılmıştır.

Şekil 47'da kullanılan modül YÇ-DMBR reaktöre yerleştirilmiş ve çıkış suyu AKM konsantrasyon değerleri ölçülmüştür. DMBR de bitiş çıkış suyu AKM konsantrasyon değeri 250 mg/L iken YÇ-DMBR'de Başlangıç 78,7 mg/L ile başlayıp 18,9 mg/L'ye kadar düştüğü görülmüştür. Çıkış suyundaki AKM konsantrasyonu çok yüksek olduğu durumlarda ölçülemediği için sistem kapatılmıştır. Bu tür sonuçların YÇ-DMBR reaktörde nasıl bir sonuç verdiğini gözlenmiştir. Çıkış suyunda AKM konsantrasyonu fazla olan modül YÇ-DMBR'ye yerleştirilmiştir. DMBR'de çıkış değeri ölçülemediği için. Şekil 48'da kullanılan modül YÇ-DMBR yerleştirilmiş ve çıkış suyu bulanıklık değeri ve akısı ölçülmüştür. YÇ-DMBR'de Başlangıç 390 mg/L ile başlayıp 26 mg/L'ye kadar düştüğü görülmüştür. Sistemde maksimum akı (LMH) 2890 ile başlayıp tabaka kaplandıktan sonra akı 13 LMH 'a düştüğü için sistem kapatılmıştır. Sonuçlar Şekil 83 de gösterilmiştir.



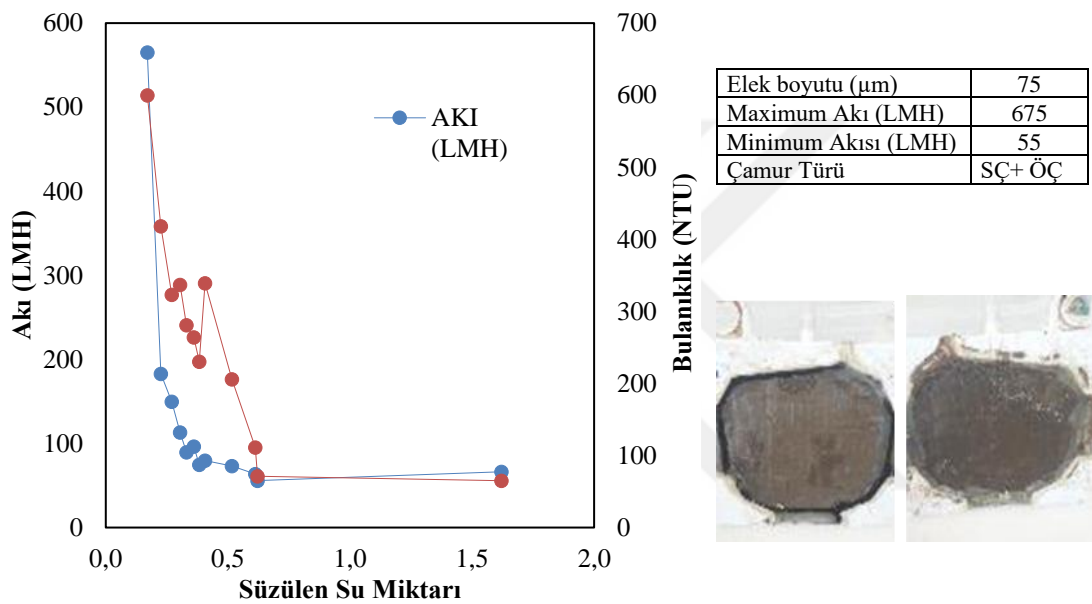
Şekil 83. DM Tabaka oluşturulmuş YÇ-DMBR Çalışması

Şekil 64.'da kullanılan 200 µm modül elek boyutunun olduğu ön birikim çalışmasında YÇ-DMBR reaktöre yerleştirilmiş ve çıkış suyu bulanıklık değeri ve akısı ölçülmüştür. Akının çok yüksek seyrettiği bu denemede, çıkış suyu bulanıklığı düşmediği için sistem durdurulmuştur. Tabaka hem DMBR'de hemde YÇ-DMBR'de AKM oluşturulamamıştır. Bunun sebebinin flok boyutu veya AKM'nin yetersiz kalmasından tabaka kaplanamamıştır. Minimum bulanıklık değeri 168 NTU civarında kalırken, minimum akı değeri 5.890 LMH'larda kalmıştır. Sonuçlar Şekil 84 de gösterilmiştir.



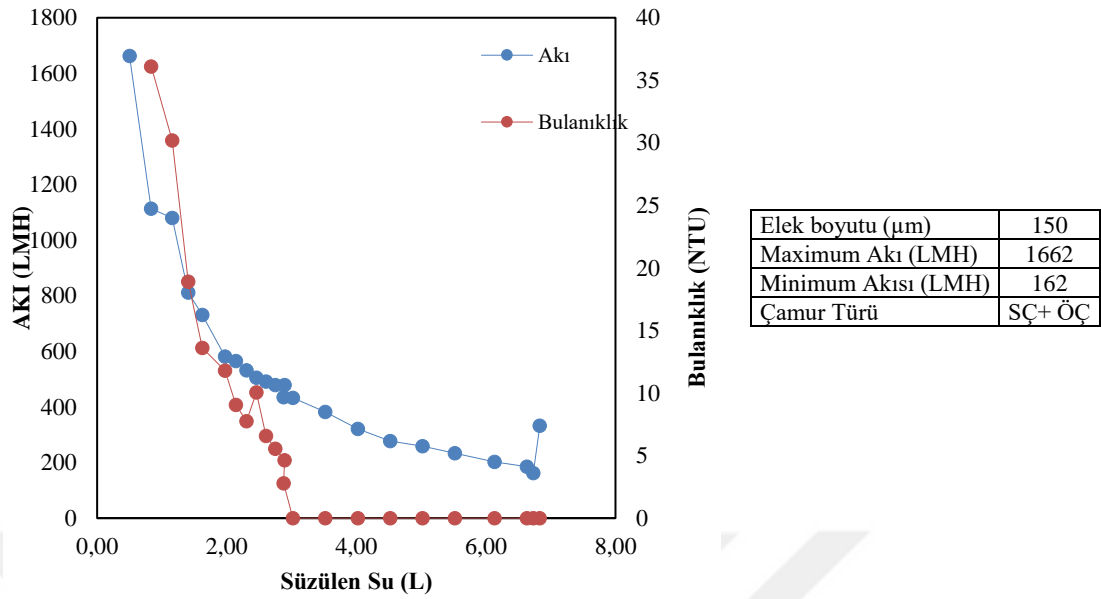
Şekil 84. DM Tabaka oluşturulmuş YÇ-DMBR Çalışması

Şekil 23’de kullanılan modül YÇ-DMBR yerleştirilmiş ve çıkış suyu bulanıklık değeri ve akısı ölçülmüştür. 75 µm elek boyutunda ise akı düşüşünün hızlı olduğu görülmüştür. Bu kesikli çalışmada akı düşüşüne rağmen bu elek çapında bulanıklığın düşmemesi kek tabakasında oluşan basıncın su kalitesini etkilediği düşünülmektedir (68). Yüksek elek çapında oluşan kek tabakasında daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bu elek çapındaki sonuçlar Şekil 85’te gösterilmiştir. Yüksek elek çapındaki sonuçlar ise sonraki şekillerde görülmektedir (Şekil 86).



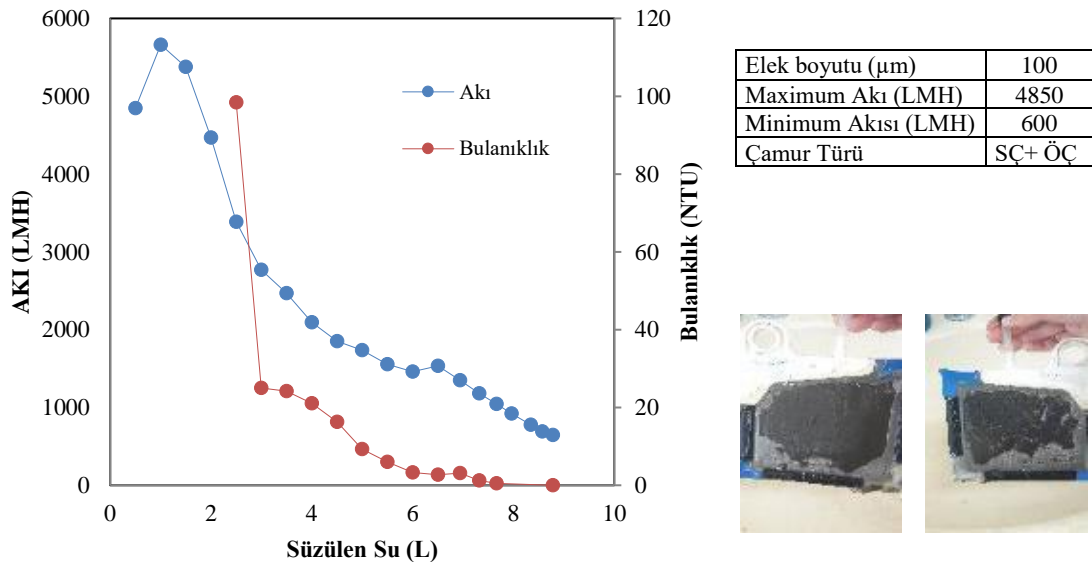
Şekil 85. DM Tabaka oluşturulmuş YÇ-DMBR Çalışması

Şekil 86’de kullanılan modülün ön birimi DMBR ’de yapılmış ve YÇ-DMBR’ ye yerleştirilmiştir. YÇ-DMBR sistemi çalıştırılırken çıkış suyu bulanıklık değeri ve akısı ölçülmüştür. Sistemin akısı 1600 LMH ile başlamış ve 150 LMH’a kadar düşmüştür. Bulanıklık değeri son 10 ölçümde <0,001 çıktığı için sistem durdurulmuştur. Sonuçlar Şekil 86 aşağıdaki grafikte verilmiştir.



Şekil 86. DM Tabaka oluşturulmuş YÇ-DMBR Çalışması

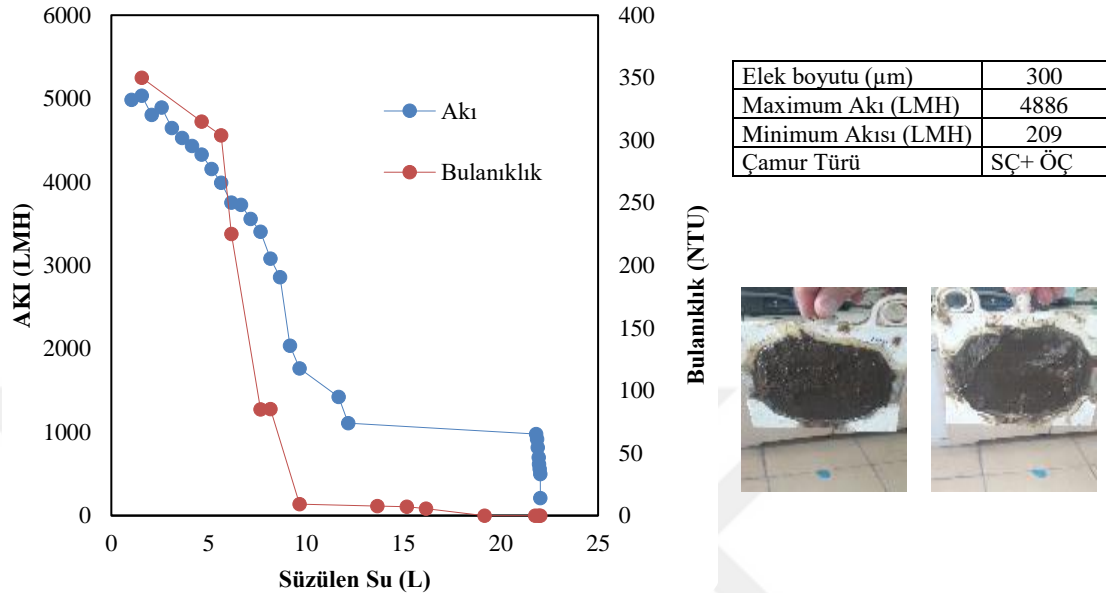
Şekil 48'de kullanılan modül YÇ-DMBR yerleştirilmiş ve çıkış suyu bulanıklık değeri ve akısı ölçülmüştür. Sonuçlar Şekil 87'de gösterilmiştir. Modül YÇ-DMBR yerleştirildiği zaman ani bir bulanıklık değeri düşüşü görülmüştür. Bulanıklık değeri stade olduğu zaman sistem kapatılmıştır.



Şekil 87. DM Tabaka oluşturulmuş YÇ-DMBR Çalışması

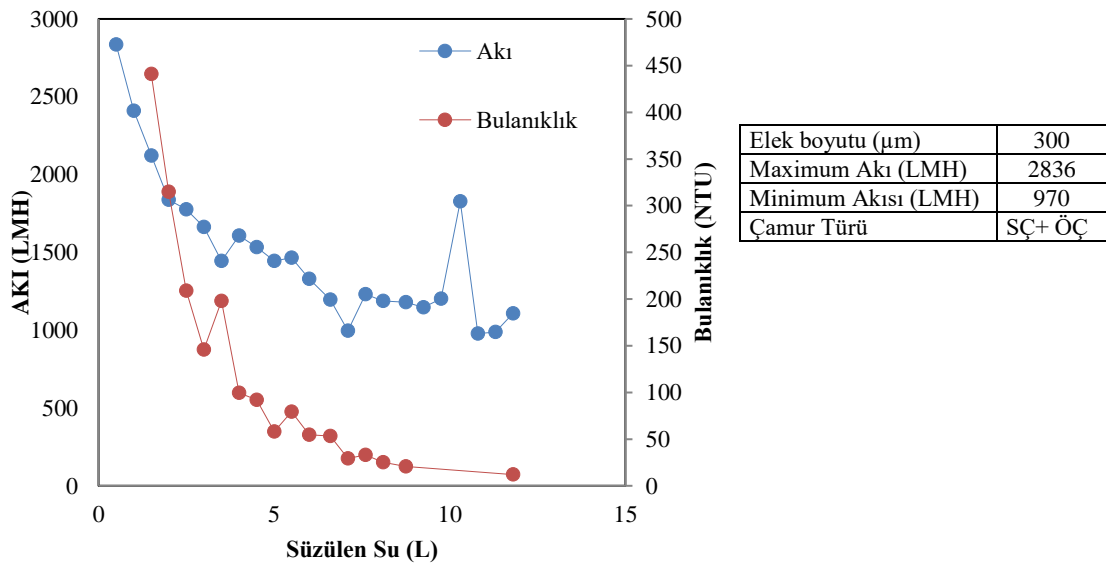
Şekil 70'de kullanılan modül YÇ-DMBR reaktöre yerleştirilmiş ve çıkış suyu bulanıklık değeri ve akısı ölçülmüştür. Sonuçlar Şekil 88'de gösterilmiştir. Akı değeri 15 litre su süzildükten sonra hızla düşüş göstermiştir. Bu ani düşüşle birlikte bulanıklık değeri de

düşmüştür. Modül reaktörden çıkarıldığında ince ve sıkı bir tabaka oluşturduğu görülmüştür.



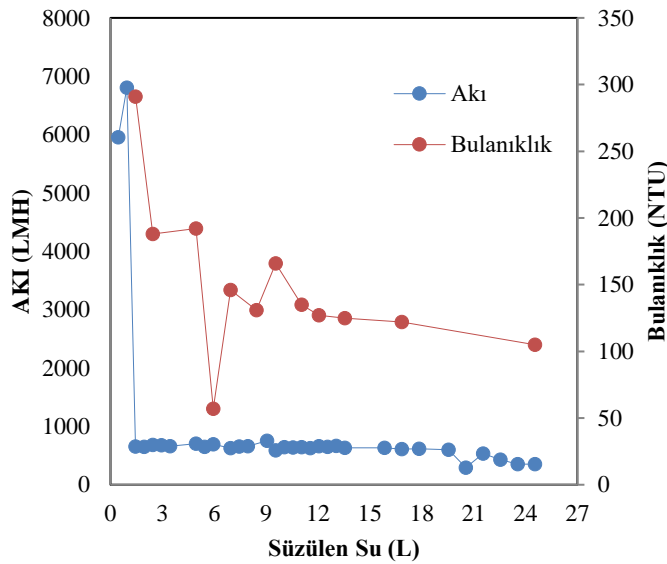
Şekil 88. DM Tabaka oluşturulmuş YÇ-DMBR Çalışması

Şekil 68'de kullanılan modül YÇ-DMBR yerleştirilmiş ve çıkış suyu bulanıklık değeri ve akısı ölçülmüştür. Sonuçlar Şekil 89'de gösterilmiştir. Sistemde AKM eksik olmasından dolayı kararlı bir tabaka oluşturulamamıştır. En ufak bir etkide tabaka sıyrıldı ve akıda değişiklik olduğu görülmüştür. Sistem tabakanın oluşmaması nedeniyle kapatılmıştır.

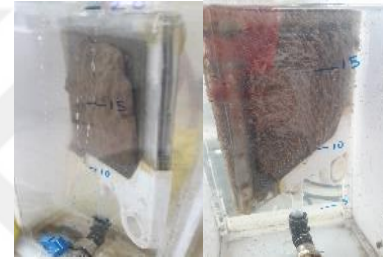


Şekil 89. DM Tabaka oluşturulmuş YÇ-DMBR Çalışması

Şekil 35’da kullanılan modül YÇ-DMBR’e yerleştirilmiş ve çıkış suyu bulanıklık değeri ve akısı ölçülmüştür. Sonuçlar Şekil 90 gösterilmiştir. DMBR de yüksek basınç ile sonlandırılan modül YÇ-DMBR’ye yerleştirildiği zaman filtre edilebilen atıksu miktarının az olduğu görülmüştür.

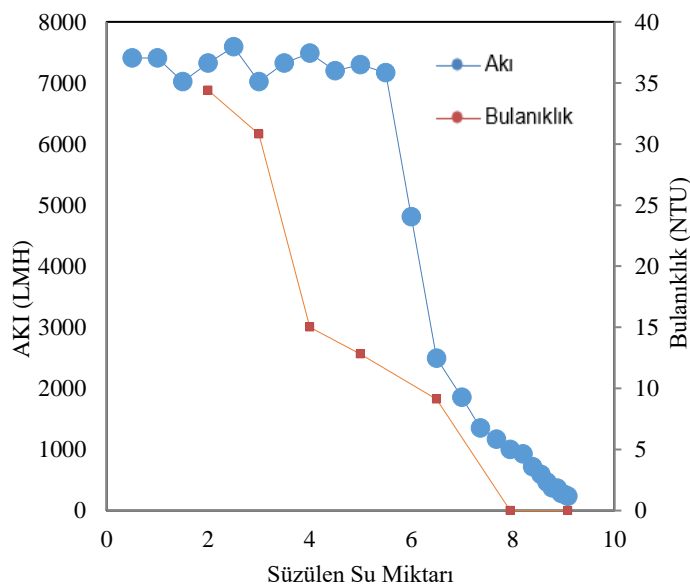


Elek boyutu (μm)	300
Maximum Akı (LMH)	430
Minimum Akı (LMH)	12,7
Çamur Türü	SC+ ÖÇ



Şekil 90. DM Tabaka oluşturulmuş YÇ-DMBR Çalışması

Şekil 61’da kullanılan modül YÇ-DMBR reaktöre yerleştirilmiş ve çıkış suyu bulanıklık değeri ve akısı ölçülmüştür. Sonuçlar Şekil 91’de gösterilmiştir.



Elek boyutu (μm)	150
Maximum Akı (LMH)	7400
Minimum Akısı (LMH)	233
Çamur Türü	SC+ ÖÇ



Şekil 91. DM Tabaka oluşturulmuş YÇ-DMBR Çalışması

Bütün elek boyutlarında yapılan çalışmalar sonucunda DM tabaka oluştuktan sonra YÇ-DMBR' ye yerleştirildiğinde filtre edilen su miktarının az olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca çalışmalarda ani akı azalması görülmüştür. Başlık 3.3. kısmında yapılan deneylerde seviye azalması sonucu akı minimum 250-300 arasında olurken bu çalışmalarda minimum akı 13 LMH' a kadar düştüğü görülmüştür.

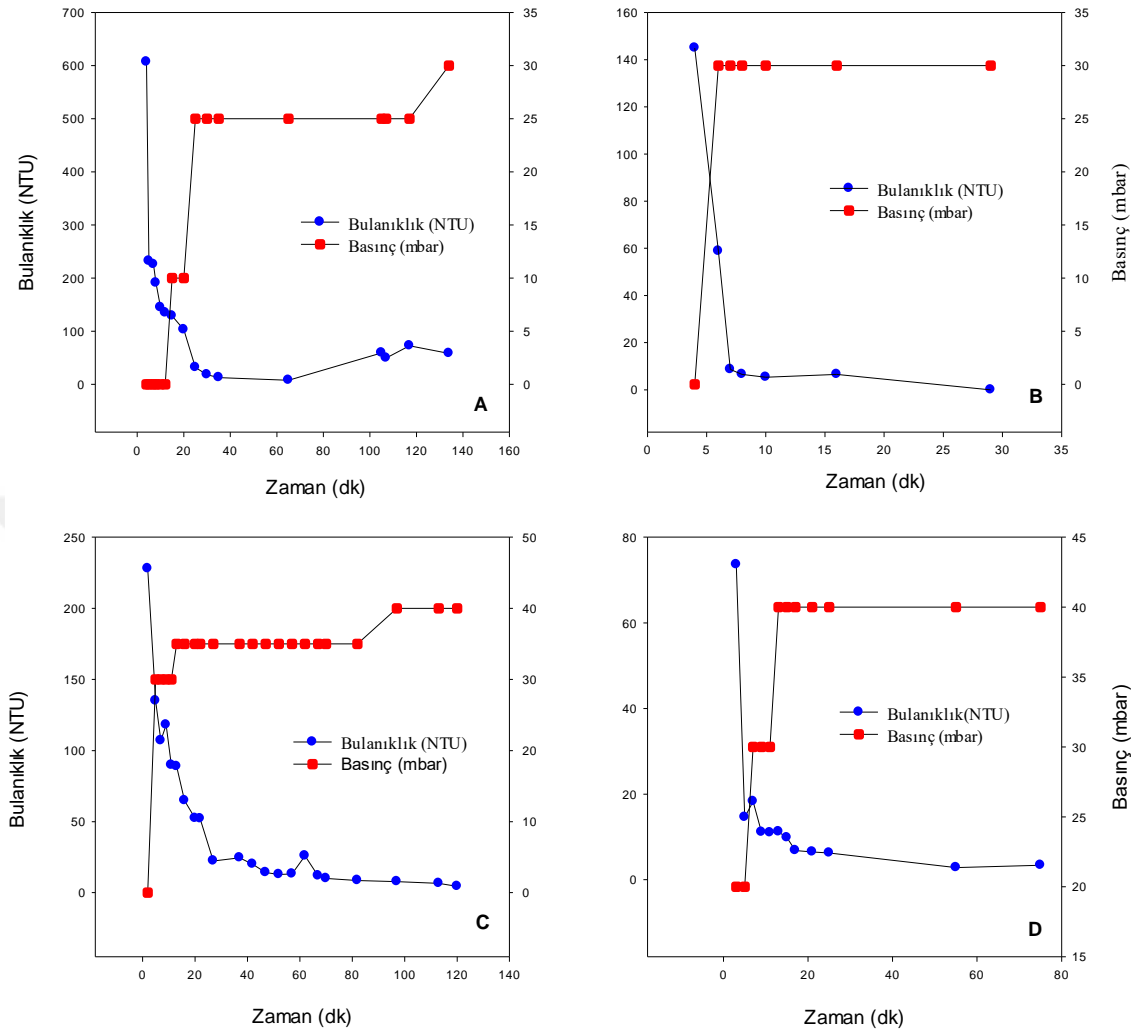


4. BÖLÜM

TARTIŞMA

4.1. Elek Boyutunun Kek Oluşumuna Etkisi

Yapılan tüm çalışmalar sonucunda arıtma çamurları kullanarak elek boyutunun dinamik kek tabakası oluşumuna etkisi incelenmiş olup detaylı olarak tartışılmıştır. Tankta AKM konsantrasyonu 6,0-8,7 g/L olan SÇ+ÖÇ çamur karışımı kullanılarak farklı gözenek boyutlarına sahip destek malzemeleri üzerinde dinamik tabaka oluşumu incelenmiştir. Bu amaçla 100, 150, 200 ve 300 µm gözenek büyüklüğüne sahip destek malzemeleri ile sabit akı (200 LMH) altında deneyler yapılmış olup, sonuçlar Şekil 92-A, B, C ve D'de sunulmuştur. SÇ+ÖÇ çamur karışımıyla 200 LMH'lik sabit akışta gözenek boyutunun atıksu kalitesini önemli ölçüde etkilemediğini göstermektedir. Yapılan çalışmalarda 75 µm dışındaki tüm eleklerde atıksu bulanıklığı 10 NTU'nun altında olduğu tespit edilmiştir. Bu deneylerde %94 ila %98 AKM giderimine denk gelmektedir. Tüm denemelerde benzer bir eğilim gözlenmiştir. İşletmenin başlamasıyla birlikte ilk 5 dakikada bulanıklıkta keskin bir azalma gözlenmiş olup, ardından daha yavaş bir düşüş yaşanmıştır. Tüm destek malzemelerinde kek oluşumu gözlenmesine ve bulanıklığın çok düşük seviyelere inmesine rağmen gözenek boyutu arttıkça kek oluşum hızları azalmıştır. Bu nedenle, elek boyutu, nihai atıksu kalitesini önemli ölçüde etkilemese de filtrasyon sırasında NTU azalma oranıyla ölçülen dinamik membran tabakası oluşum hızını etkilediği sonucuna varılmıştır. Çalışmada kek oluşum hızı değerleri 100, 150, 200 ve 300 µm destek malzemeleri için sırasıyla 23,0 NTU/dk, 19,48 NTU/dk, 7,62 NTU/dk ve 6,94 NTU/dk olarak hesaplanmıştır. Ayrıca beklendiği gibi küçük gözenek boyutlarında yüksek kek oluşum hızlarının elde edildiği sonucuna varılabilir. Bu çalışmadaki kek oluşum hızı, 30 µm destek malzemesi için 6,37 NTU/Saat'e kadar ulaşan anaerobik MBR'den daha hızlıdır [53].



Şekil 92. SÇ (aktif çamur) + ÖÇ (ham çamur) çamurları (A: 100 μm , B: 150 μm , C: 200 μm , D: 300 μm) kullanılarak farklı gözenek boyutlarına sahip destek malzemesinde bulanıklık değişiklikleri

Önceki çalışmalarda elek boyutunun dinamik katman oluşumunda önemli bir parametre olduğu vurgulanmıştır [53], [69]. Ancak bu çalışmada literatür bulgularıyla karşılaştırıldığında daha büyük gözenek boyutuna sahip eleklerde daha yüksek kek oluşum hızlarının gözlemlenmesi, çamur tipinin de önemli bir faktör olduğunu göstermektedir. Çalışmada literatürdeki çalışmalarla karşılaştırıldığında çok büyük elek açıklıkları üzerinde çalışılmıştır. Destek malzemesi olarak daha büyük gözenek boyutlu eleklerin seçilmesine rağmen yüksek kek oluşum hızları ve düşük çıkış bulanıklığı değerleri elde edilmiştir. Farklı gözenek boyutları ile yapılan literatür çalışmaları,

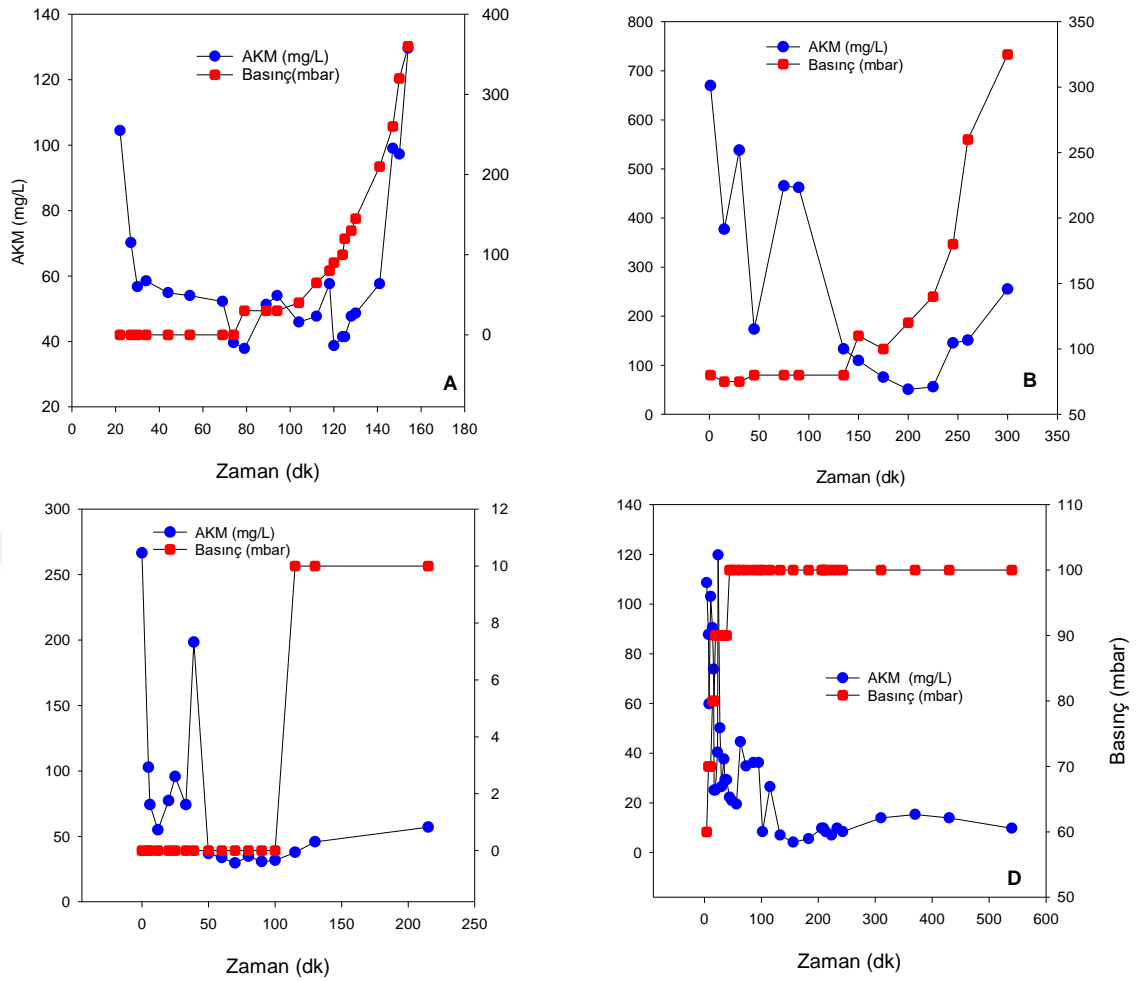
gözenek boyutu arttıkça su kalitesinin kötüleştiğini göstermiştir. Saleem ve arkadaşlarının yer çekimi etkisiyle çalışan DM çalışmasında sistemdeki AKM (4-8-15 g/L) konsantrasyonuna bakılmaksızın en yüksek çıkış bulanıklık değerlerinin 135 ve 200 µm gözenek boyutlarında olduğu gözlemlenmiştir [30]. Benzer bir sonuç Kiso vd. tarafından da elde edildi. [61]. Yapılan deneylerde 100, 200 ve 500 µm elekler kullanılarak 3-7-10 g/L çamur konsantrasyonunda ve sadece 100 µm elek ile bulanıklık değeri 10 NTU'nun altına düşürülmüştür. Çalışmamızda 100 µm dışındaki destek materyallerinde bulanıklık yaklaşık 10. dakikada 10 NTU'nun altına düşmüş ve çalışma sonuna kadar benzer seviyelerde kalmıştır. 150 µm ve 200 µm destek malzemelerinde ise bulanıklık 0,01 NTU seviyesinin altına düşmüştür. Ancak tüm denemelerde başlangıçta 0 mbar olan Transmembran basınç (TMP), çalışmanın sonunda 30-40 mbar'a yükselmiştir. Başka bir deyişle, ihmal edilebilir düzeyde TMP artışı ve yüksek çıkış suyu kalitesi gözlenmiştir. Bu, etkili bir dinamik tabakanın oluşturulduğunu ve kararlı bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Kek oluşumu sürecinde TMP birkaç dakika içinde artmış olup 30 dakika boyunca sabit kalarak 100 dakikaya kadar ve maksimum 40 mbar'a ulaşmıştır. Bunlar, kimyasal madde veya madde gerektirmeyen ve iyi çıkış su kalitesi, yüksek akı (200 LMH), nispeten düşük TMP ve stabil bir kek tabakası sağlayan dinamik membran prosesleri için en uygun koşullardır.

Literatürde, yüksek çıkış suyu kalitesi yalnızca 1 NTU'dan daha düşük bulanıklık değerlerine ulaşmak için diatomit ilavesi veya nanomalzemelerle kaplama gibi geniş gözeneğe sahip eleklerin (158 ve 180 µm) işletilmesiyle elde edilmiştir [69, 70]. Nispeten büyük elek boyutuna sahip 135 ve 140 µm destek malzemeleri kullanılarak 10 NTU'nun altındaki bulanıklık değerlerine sınırlı sayıda çalışma ulaşmıştır [30, 60]. Bu nedenle çamur türü, gözenek boyutu ve uygulanan akı, filtreleme için kullanılacak sağlıklı bir dinamik katman oluşturmak için önemli parametreler olarak görünmektedir.

4.2. Çamur Tipinin Etkisi

SÇ çamuru ile yapılan çalışmalar (Şekil 93), en yüksek elek boyutuna sahip destek malzemeleri üzerinde bile bir kek tabakası oluşmasına rağmen çamurun destek tabakasına yapışmakta zorluk çektiğini göstermiştir. Bazı deneylerde destek tabakası üzerinde ince bir jel tabakasının oluşmasından kaynaklanabilecek kayda değer bir kek tabakası oluşumu olmasa bile kabul edilebilir çıkış suyu kalitesi gözlemlenmiştir. 75, 100, 150 ve 300 µm

gözenek boyutları için kek oluşum oranları sırasıyla 1,59 mg-AKM/dk, 3,97 mg-AKM/dk, 4,60 mg-AKM/dk ve 4,91 mg-AKM/dk olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar SÇ çamuru için kek oluşum oranlarının SÇ+ÖÇ çamuru sonuçlarına göre çok daha düşük olduğunu göstermiştir. Bu nedenle ÖÇ çamurunun SÇ çamuruyla karıştırılması daha hızlı kek oluşumuna neden olmuştur. Ayrıca bu çamurdaki kek tabakasının kalınlaşma eğiliminde olduğu ve ani TMP artışlarına maruz kaldığı belirlenmiştir. Özellikle düşük gözenek boyutlarında (75 ve 100 μm), kek tabakası oluşumundan hemen sonra artan TMP ile çıkış suyu AKM konsantrasyonu artmış ve çıkış suyu kalitesi bozulmuştur. Bunun nedeni kek tabakasının filtrasyona karşı direnci olabileceği gibi tabakadaki kırılmalar ve küçük flokların kaçması da olabilir. Bu nedenle, elek boyutu ne olursa olsun, TMP artışları ile çıkış suyu kalitesi arasında ters bir ilişki vardır. Ancak giderim verimleri, DMBR işleminde ortalama 7,4 g/L AKM konsantrasyonunda bile genellikle %99,0'dan yüksekti. Bu bağlamda çıkış suyunda 50 mg/L civarında AKM konsantrasyonu elde edilmesi DMBR işleminin başarısı olarak kabul edilebilir. Daha önceki dinamik membran çalışmalarında da benzer sonuçlar rapor edilmiştir [71]. Bazı yazarlar, daha yoğun ve sıkı bir kek tabakası oluşturmak için akıyı azaltarak bu sorunu kısmen çözmüştür [72]. Başlangıç akısı 200 LMH olduğunda özellikle 75 μm ile 150 μm arasındaki elek boyutlarında TMP'de ani bir artış gözlenmiştir. Akı kademeli olarak azaltıldığında, TMP küçük bir azalmanın ardından aniden maksimuma yükselmiştir. Bu nedenle düşük gözenek boyutuna sahip çalışmalar genellikle düşük akılarda gerçekleştirilmiştir. Küçük boyutlu destek malzemesi (75 μm) üzerinde iki ek deney yapılmış olup nispeten düşük akılarda, 18 LMH'de, TMP artışı olmaksızın yüksek çıkış suyu kalitesi (bulanıklık <5 NTU) gözlemlendi. (Şekil 93-A ve (Şekil 93-B) Küçük boyutlu destek malzemesi (75 μm) için 100 LMH'lik nispeten yüksek akıda hızlı TMP yükselmesi ve çıkış suyu kalitesinde bozulma gözlemlenmesine rağmen, 18 LMH'lik nispeten düşük akıda bu destek malzemesi için uygun bir kek tabakası oluşturulmuştur. Bu sonuç, mikrofiltrasyon veya ultrafiltrasyon MBR'lerinde uygulananlara yakın akılarda TMP artışı olmadan küçük boyutlu destek malzemesi üzerinde benzer bir dinamik katmanın gözlemlendiğini göstermektedir.



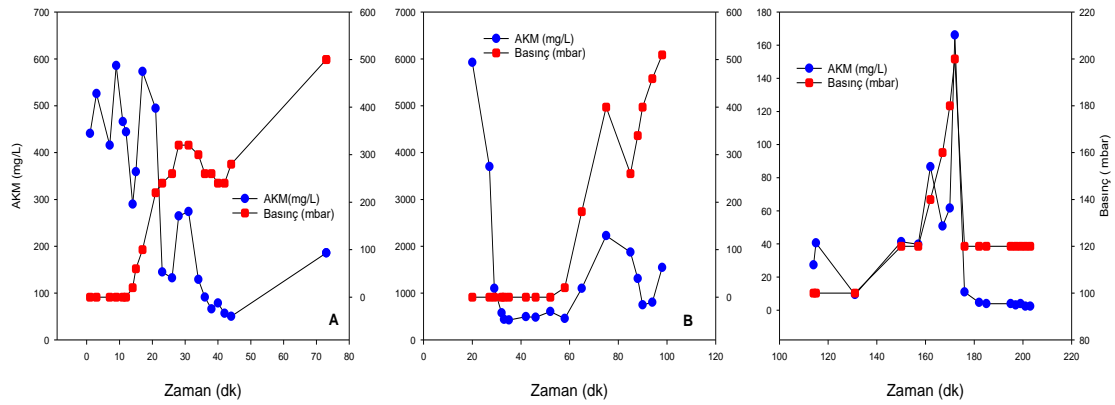
Şekil 93. Sabit akıda (100 LMH) 75, 100, 150, 300 μm elekler ile SÇ çamur performansları.

ÖÇ çamuru tarafından dinamik bir tabakanın oluşumu nispeten hızlı olmuştur. En yüksek elek çapına sahip destek tabakasında dahi 5 dakika içerisinde TMP'de hızlı bir artış gözlenmiştir. Bu nedenle bu çamurla herhangi bir dinamik katman oluşumu çalışması yapılmamıştır (herhangi bir veri gösterilmemiştir). En kritik sonuçlar, TMP'yi arttırmadan geniş eleklerde bile yüksek kaliteli çıkış suyu gözlemlenmesi nedeniyle SÇ+ÖÇ çamurunun kullanıldığı denemelerde görülmüştür. Bunun bir nedeninin aktif çamur (SÇ) ve ham çamurun (ÖÇ) sinerjistik etkisi olabileceği ortaya çıkmıştır. Bu sinerjinin bir diğer nedeni ise ÖÇ çamurunun, düzgün bir kek tabakası oluşturmaya yardımcı olan bazı kirlenici maddeleri içerebilmesidir. Yapılan kesikli çalışmalarda, modülün reaktöre daldırılıp çıkarılmasından sonra bile bu çamurla birlikte destek malzemesinin yüzeyinde hızlı bir şekilde kek tabakası oluştuğu gözlenmiştir. Bu durumun, Kayseri OSB'de

atıksuyun yaklaşık %30'unu üreten ön çöktürme ünitesinde çöken tekstil ve kâğıt ürünleri ham atıksularından elde edilen liflerden kaynaklanabileceği düşünülmektedir. Mevcut bir DM çalışması, seyrek nanofiberlerin akıştan ödün vermeden çıkış suyu kalitesini artırabildiğini göstermiştir [73].

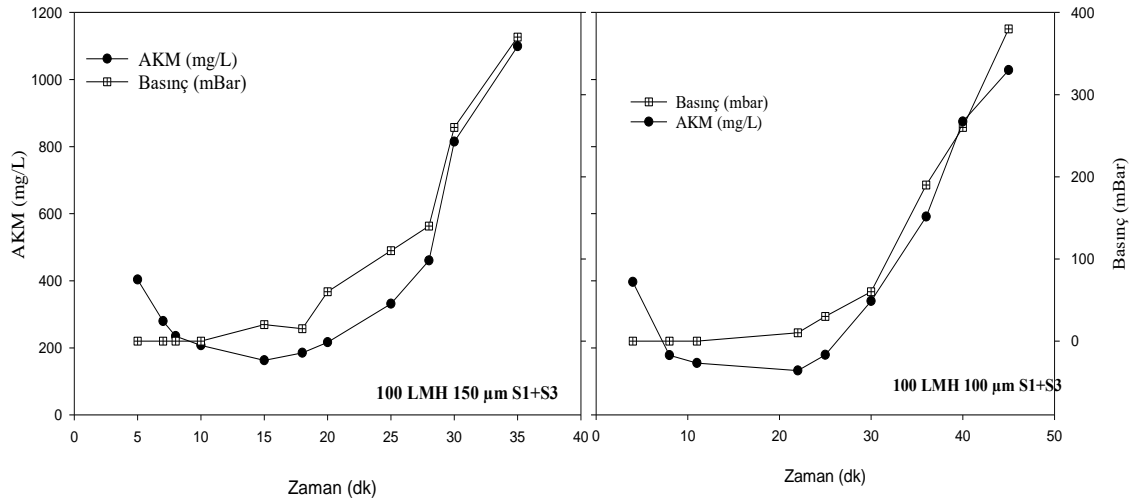
SÇ+ÖÇ çamuru ile yapılan deneylerde elde edilen kek katmanlarının SEM analizinde kekin yapısı üst kesit alınarak, kek kalınlığı ise kesit alınarak belirlenmiştir. Elde edilen kek katmanlarının kalınlığı yaklaşık 143 µm ile 485 µm arasında değişmektedir. Ayrıca üst kesit görüntülerinde elyaf içeren boşluksuz bir kek tabakasının oluştuğu gözlenmiştir. Bu lifler, yerçekimi etkisi ile çalışan bir DM çalışmasında belirtildiği gibi çamur topları, kolloidler ve çözünen maddeler içeren boş alanlar sağlayarak filtrasyon performansını arttırabilir [74]. Dolayısıyla SEM görüntülerinden tüm membranlarda stabil bir kek tabakasının oluştuğu sonucuna varılabilir. Bu SEM görüntüleri filtreleme performansı sonuçlarını desteklemektedir.

BÇ çamuru polielektrolit içermesi nedeniyle çok hızlı çökme eğiliminde olup, flokların parçalanıp bir tabaka oluşturmasının zor olduğu gözlenmiştir. Bu çamurun süzüntüsünün da oldukça berrak (düşük bulanıklık) bir görüntüsü bulunmaktadır. Deneylerden önce en az 24 saat karıştırılan BÇ çamuru ile yapılan deneylerde ince, jel benzeri dinamik bir tabaka oluşmuştur. Çamurun çabuk çökme eğilimi ve hidrofobik karakteri nedeniyle çamur destek malzemesine yapışmamıştır. Bu nedenle sadece BÇ kullanıldığında kek oluşumu gözlenmemiş olup BÇ çamuruna aktif çamur (SÇ) ilave edilerek deneyler yapılmıştır. SÇ+BÇ çamur karışımı uygulandığında destek malzemesi üzerinde tabaka oluşmamış ve birkaç saat sonra floklar ayrışmaya başlamıştır. Ancak çamurun 24 saat karıştırılmasından sonra bir tabaka oluşmuş ve çıkış suyu değerleri 10 NTU'nun altına düşmüştür. BÇ çamurundaki polielektrolitler, ince jel benzeri bir tabaka oluşturmak için ikincil çamurla etkileşime girmektedir. Kek tabakasının gelişmesinden sonra genellikle sabit akışta hızlı bir TMP artışı meydana geldiğinden, akışın daha sonra azaltılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Ancak TMP düşük akılarda bile artmıştır. Şekil 94'teki SÇ çamurunun performansı gibi, bu deney setinde 300 µm gözenek boyutunda bir TMP artışı yaşansa da akı azaltıldıktan sonra çıkış suyu kalitesi iyileşmiştir. Akı azaltıldığında dahi çıkış su kalitesini değiştirmeden çamur tabakasının sıkılaştığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle, kademeli akı düşüşünün etkisi bir sonraki bölümde incelenmektedir.



Şekil 94. Farklı gözenek çaplarında SÇ (ikincil) +BÇ (polielektrolit katkılı karışık) çamur karışımının performansı. Akılar dikey çizgiden başlayarak 200 LMH'den 100 LMH'ye düşmektedir. A: 75 µm B: 150 µm C: 300 µm. Akı 31. – 77 – ve 173. dakikalarda yarıya düşürülmüştür.

Çalışmanın ilginç sonuçlarından biri, özellikle geniş eleklerde TMP'nin sistemin AKM konsantrasyonundan bağımsız olarak artmamasıydı. Şekil 95, bazı filtrasyon çalışmalarında çıkış suyu kalitesinin önce iyileştiğini, sonra bozulmaya başladığını göstermektedir. Böylece gelişen kek tabakasının SÇ+BÇ ile oluştuğunda kolayca soyulduğu ve stabil olmadığı belirlenmiştir. TMP artışı olmamasına rağmen destek malzemesi üzerinde kalın bir tabaka oluşumu gözlenmiştir. Bu kalın tabaka oluşumunun bir nedeni, tank içeriğinin havalandırılması sırasında çamur topaklarının granülasyonundan kaynaklanabilir. Bazı deneylerde, kek tabakası oluşmasa bile iyi atıksu kalitesinin gözlemlenmesinin nedeni, çamurun hidrofobik özellikleri, destek malzemesi üzerinde kek tabakası yerine bir jel tabakasının oluşması ya da çamurun sıyırılması ile ilgili olabilir.



Şekil 95. 100 LMH akıda SÇ + BÇ çamurlarıyla farklı gözenek boyutlarının performansı, A: 100 µm B: 200 µm.

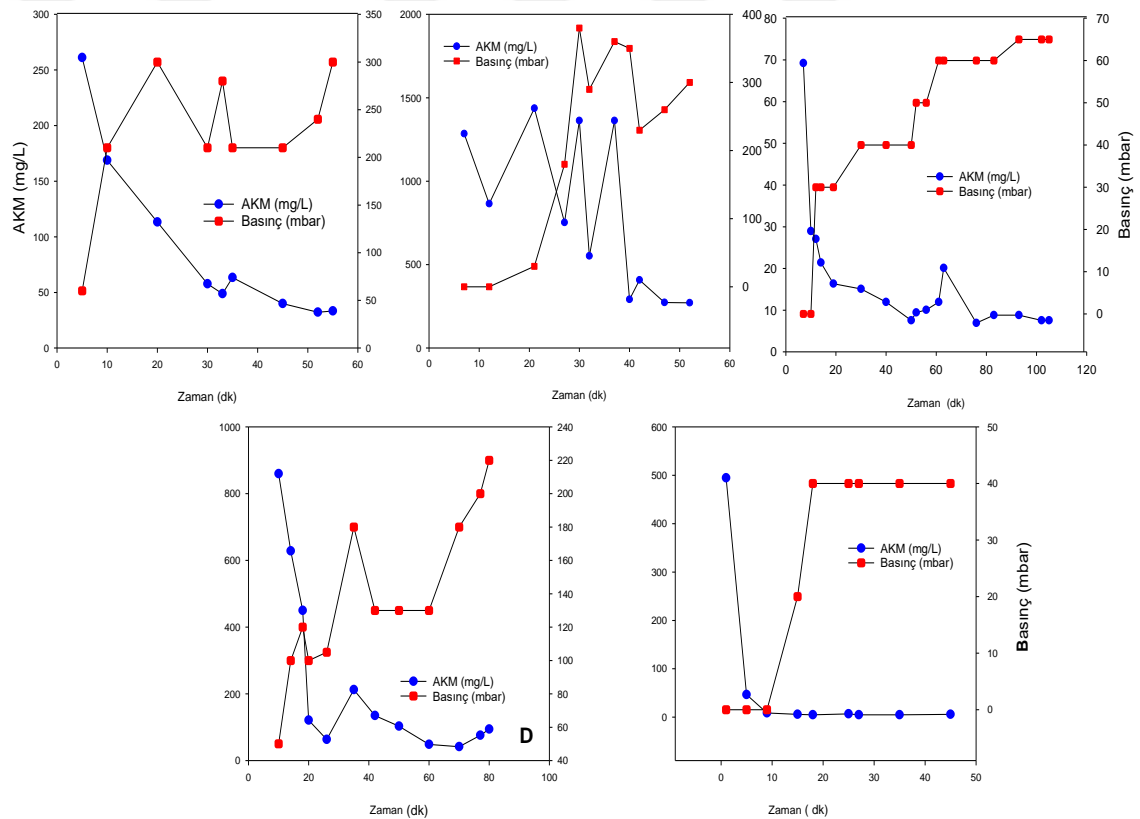
Bir biyoreaktörde toz aktif karbon (TAK)-su karışımının çapraz akışlı filtrasyonu yoluyla elek filtreler üzerinde ön kaplamalı dinamik membranlar oluşturma süreci daha önce araştırılmıştır [75]. Bu membran oluşum sürecinin dinamiklerini anlamak, DMBR'deki filtrasyon performansını optimize etmek için çok önemlidir. Yapılan bir çalışmada TAK-ZnO dinamik membran tabakasının oluşumunda ön kaplama malzemesi olarak kullanılmıştır [51]. Çalışma, önceden kaplanmış membran konfigürasyonunda dinamik parçacıkların, destek yüzeyi ile atıksu arasında bariyer görevi gördüğünü ve böylece destek ile atıksu parçacıkları arasındaki doğrudan teması azalttığını ortaya çıkarmıştır. Ek olarak, filtreleme işlemi sırasında süzüntü akışının stabil kaldığı rapor edilmiştir [76]. Destek tabakası olarak seramik bir membran ve dinamik katman olarak hidrofilik Fe_2O_3 kullanarak, dinamik membranların hem önceden kaplanmış hem de kendi kendine oluşan varyasyonları araştırılmıştır. Önceden kaplanmış dinamik membran, membran akı geri kazanım oranında yaklaşık %10'luk bir artış sergilerken, kendi kendine oluşan dinamik membran, dört filtrasyon döngüsünden sonra akı geri kazanım oranında yaklaşık %8,6'lık bir azalma göstermiştir [76]. Başka bir çalışmada, önceden kaplanmış dinamik membranlar malzemelerine göre metal oksitler, topraktan türetilen, diğer metalik malzemeler, nanopartiküller, karbon nanofiberler, polimerler, aktif karbon, ikili veya hibrit bileşimler ve diğer türleri içeren sekiz gruba kategorize edilmiştir [58]. Sonuçlara göre, metal oksit dinamik membranların çeşitli uygulamalarda olağanüstü çok yönlülük gösterdiği ve polimerler ve metal oksitler ve polimerlerden oluşan çift katmanlı

konfigürasyonlarla birlikte sıklıkla araştırıldığı belirlenmiştir. Dahası, nanopartiküllerin dinamik membranlar için umut verici ve çok yönlü bir malzemeyi temsil ettiği ve kirlenmeyi azaltma potansiyeli sergilediği belirlenmiştir. Bununla birlikte, destek tabakaları üzerindeki stabiliteleri konusunda kayda değer bir endişe bulunmaktadır. Sonuç olarak, kaplama malzemesi tipinin seçimi, önceden kaplanmış dinamik membranların oluşumunda çok önemli bir husustur. Farklı kaplama malzemeleri membran kirlenmesini, geçirgenliğini ve aktif malzemelerle etkileşimlerini etkileyebilir, böylece çeşitli uygulamalarda membran proseslerinin verimliliği ve etkinliği etkilenebilir. Bu çalışmada, farklı özelliklere sahip atık arıtma çamurları ve bunların karışımları, bir ön kaplama DM oluşturmak için kullanılmış, bu da özellikle karışık çamurda belirgin şekilde daha yüksek kek oluşumu oranları ve daha düşük çıkış suyu AKM konsantrasyonları ile sonuçlanmıştır.

4.3. Kademeli Akı Azaltılmasının Etkisi

Filtreleme direncini azaltmak ve su kalitesini iyileştirmek için destek katmanı üzerinde SÇ+ÖÇ ile kek katmanı oluşturulduktan sonra akı azaltımı uygulanmıştır. Bu nedenle destek malzemesi üzerinde kek tabakası oluşturacak şekilde alınabilecek TMP (basınç) 100 mbar'ı aştığında akı yarı yarıya azaltılarak filtrasyona devam edilmiştir. Akının azalmasına paralel olarak TMP anlık olarak azalmış olup, sonrasında tekrar artmıştır (Şekil 96 A-E). Akı azaltımının kek tabakası oluşumuna mı yoksa çıkış suyu kalitesinin iyileştirilmesine mi yardımcı olduğunu belirlemek için daha fazla çalışma yapılmalıdır. Aktif çamur ile kek tabakası oluşumu ile yapılan bir çalışmada periyodik kek rahatlamasının spesifik kek direncini azalttığı rapor edilmiştir [77]. Bu akış azaltımlarının kek direncini azalttığı ve su kalitesini iyileştirdiği düşünülmektedir. Çünkü yüksek akı, çamurun kek tabakasından kopmasına ve süzüntü kalitesinin bozulmasına neden olabilmektedir. Bu şekilde oluşturulan dinamik katmanın daha dayanıklı olduğu ve kolay kolay sıyrılmadığı fark edilmiştir. Akı azaltıldıkça TMP azalmasına müteakip filtrasyon işlemi 75, 100 ve 200 µm destek malzemeleriyle çalıştırıldığında tekrar arttı. Akının azaltılmasının, özellikle TMP \geq 300 mbar'a ulaştıktan sonra TMP artışını hafifletebileceği ancak tamamen ortadan kaldıramayacağı sonucuna varılabilir. Bununla birlikte, çamur parçacıklarının kek tabakasından parçalanmasındaki azalmanın bir sonucu olarak, akıdaki bir azalmanın ardından çıkış suyundaki AKM konsantrasyonları düşmüştür. Özellikle, 100 µm destek materyalinde yaklaşık 1000 mg/L olan AKM konsantrasyonu,

akı 50 LMH'ye düşürüldüğünde 50 mg/L'ye düşmüştür. 150 ve 300 µm destek malzemesi kullanıldığında (Şekil 96 A-E) TMP 100 mbar'ın altında kaldı. Ancak çıkış suyundaki AKM konsantrasyonları 10 mg/L'ye kadar düşürüldü. Çıkıştaki AKM içeriği, akı azaltıldığında 10 mg/L'nin altına düşmeden önce 150 µm destek materyalinde 50-60 dakika boyunca artmıştır. Ancak akı azaltımından sonra TMP bir süre sabit kalmıştır. Ancak akış devam ettikçe TMP artmıştır. İşletme sırasında akıların düşürülmesi ile TMP'deki artışı geçici olarak durmuş olsa da eş zamanlı olarak akıştaki düşüşe paralel olarak çıkış suyu AKM seviyesi de azalmıştır. 300 µm elekte ise aynı koşullara rağmen TMP artışı olmadan çıkış suyu kalitesi iyileşmiştir. Ayrıca literatürde ilk kez bu elek büyüklüğü ile çıkış suyu AKM değeri 10 mg/L'nin altına düşmüştür.



Şekil 96. SÇ + ÖÇ çamurları için akı azaltma çalışmaları sırasında AKM ve TMP'nin zamanla değişimi. A: 75 µm, B: 100 µm, C: 150 µm, D: 200 µm, E: 300 µm.

Çalışmada akıyı azaltmanın hem TMP hem de süzüntüdeki AKM konsantrasyonunda azalmaya neden olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle, daha yüksek çapraz akış hızına yol açan daha yüksek akışlar, çamurun kek katmanından ayrılmasına ve daha yüksek çıkış AKM konsantrasyonuna neden olmaktadır. Ek olarak, daha yüksek akılarda oluşan kek

tabakası daha bütünleşik olup daha yüksek TMP'lere yol açar. Benzer sonuçlar [78] tarafından da rapor edilmiştir. Daha düşük akı oranlarındaki ilk çalıştırmada, membran yüzeyine yerleşen parçacıklar ile CFV tarafından üretilen kesme kuvvetleri tarafından yerinden çıkarılan parçacıklar arasındaki denge, bir kek tabakasının oluşmasıyla sonuçlanmıştır. Bu, düşük dirençli koşullar altında sürekli filtrelemedir. Aksine, daha yüksek uygulanan akılarda ikinci işletme sırasında (parçacıklar üzerinde hidrodinamik kuvvetlerin artmasına neden olur), denge, parçacıkların uzaklaştırılmasından çok birikmesine doğru evrilmiştir. Bu, TMP'de hızlı bir artışla işaretlenen kalın bir kek tabakasının oluşumunu hızlandırmıştır [78]. Benzer şekilde [30], çapraz akışlı bir düzenekte bir DM'nin geliştirilmesinde ve işletilmesinde dengeye ulaşmanın, filtrasyon akıları ve CFV'ler arasında dikkatli bir denge gerektirdiği sonucuna varmıştır. Bu denge, kek tabakasının sıkıştırılmasını teşvik eden itici güçler (filtrasyon akışı) ile DM'nin etkili yönetimi için gerekli olan karışım ve giderimi oluşturan kuvvetler arasında bir denge sağlar. Bu araştırmadan elde edilen bulgular, literatüre benzer şekilde, uygulanan akıların dinamik membran oluşumu ve proses performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

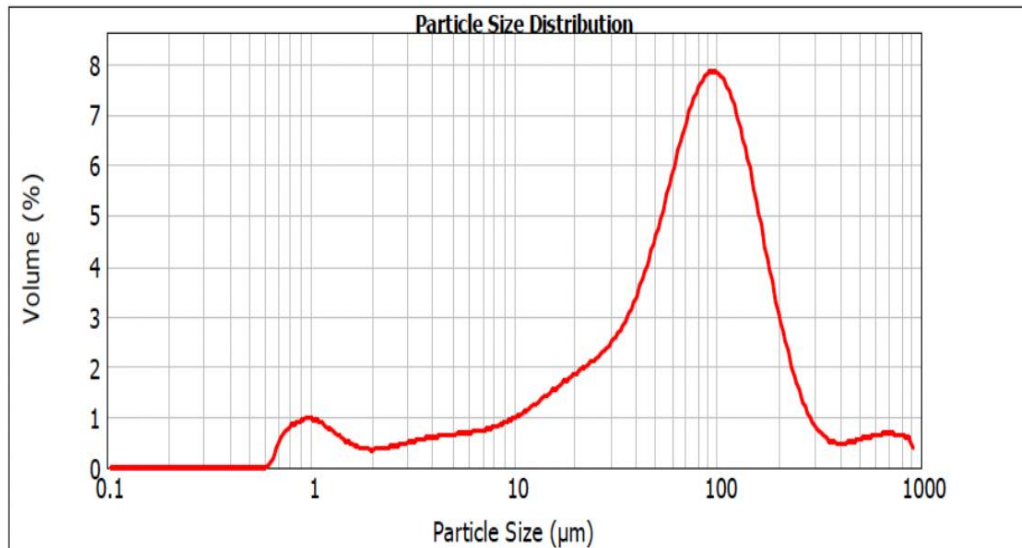
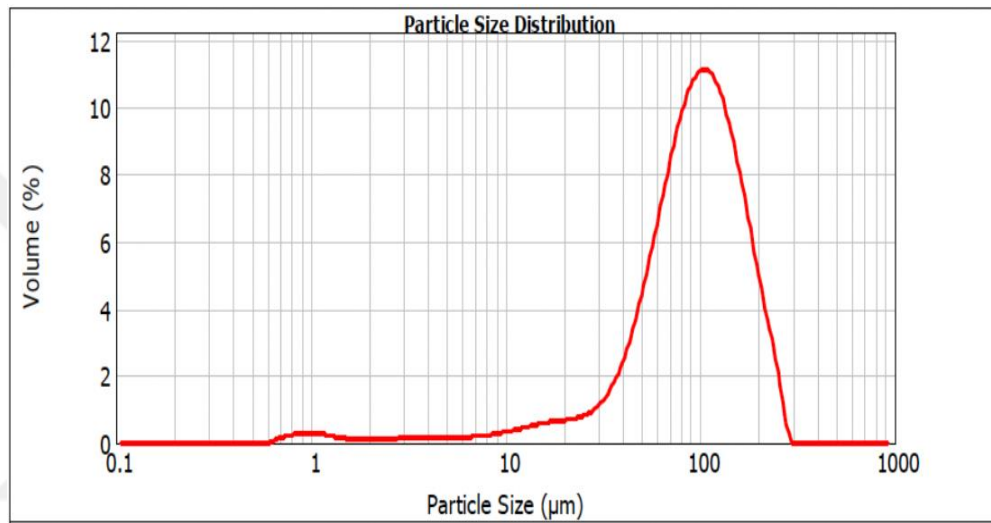
4.4. Çamur Karakteristiği

İki tip çamurun dinamik kek tabakası oluşumu içindeki mekanizmayı değerlendirmek için çamurların PSD ve CST'si analiz edilmiştir (Şekil 97). SÇ çamuru, ÖÇ çamuruna kıyasla nispeten daha büyük parçacıklara sahip olup, ortalama parçacık çapları sırasıyla 96,4 μm ve 75,5 μm idi. Ayrıca ÖÇ çamuru, SÇ çamuruna kıyasla daha yüksek oranda küçük parçacık içeriyordu; en küçük %10 (d-0,1) sırasıyla 8,1 μm ve 38,3 μm olarak belirlenmiştir (Tablo 7). Bu sonuçlar sadece SÇ çamuru kullanıldığında kek tabakası stabilizasyonunun neden sağlanamadığını açıklamaktadır. Benzer boyut ve özelliklere sahip parçacıklar sıkıştırılmasının zor olmasından dolayı ÖÇ çamuru eklendiğinde daha düzgün bir kek tabakası oluşmuştur. Bu çamurların PSD analizi, ÖÇ çamurunun SÇ çamurundan daha küçük parçacıklar içerdiğini göstermiştir. Numunelerin CST'si de bu çamurlar için önemli ölçüde farklılık göstermiş olup çamurun filtrelenebilirliğinin bir göstergesi olarak alınabilir. [79]. SÇ çamurunun CST'si oldukça düşük iken, ÖÇ çamurunda neredeyse beş kat daha yüksek ölçülmüştür (sırasıyla 16,2 ve 79,8 s). CST'nin yüksek değeri filtrelenebilirliğinin ve susuzlaştırılabilirliğinin düşük olduğunu

göstermektedir [80]. Bu nedenle ÖÇ çamurunun eklenmesi, yüksek gözenek çapına sahip elekler sayesinde akıdan ödün vermeden kek stabilitesini arttırdığı söylenebilir.

Tablo 7. SÇ ve ÖÇ için PSD analiz sonuçları

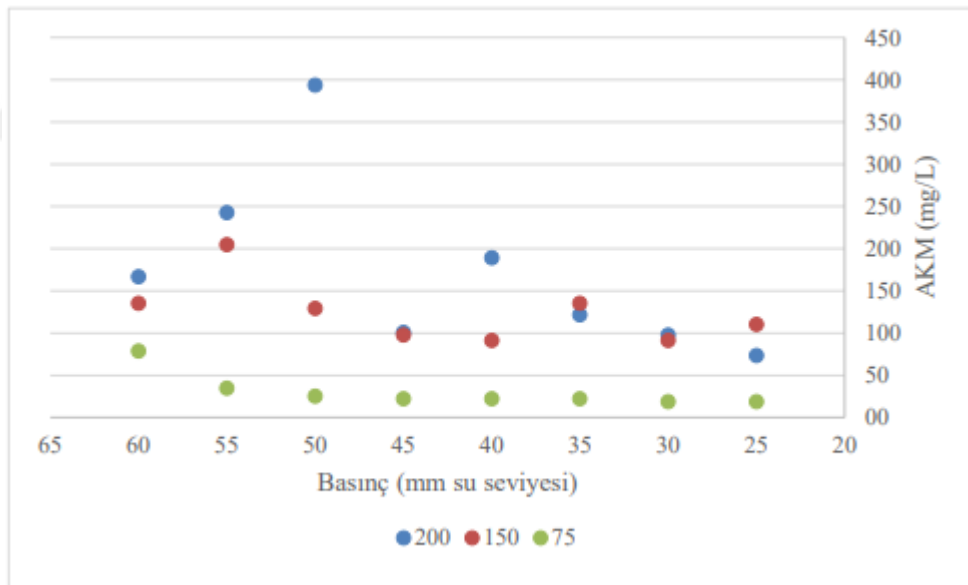
Numune adı	d(0,1) - μm	d(0,5) - μm	d(0,9) - μm
SÇ	38,3	96,4	181,3
ÖÇ	8,1	75,5	191,3



Şekil 97. Ön çöktürme (ÖÇ, aşağı) ve son çöktürme (SÇ, yukarı) çamurlarının PSD analizleri

4.5. YÇ- DMBR Reaktöre Yerleştirilen Modüller

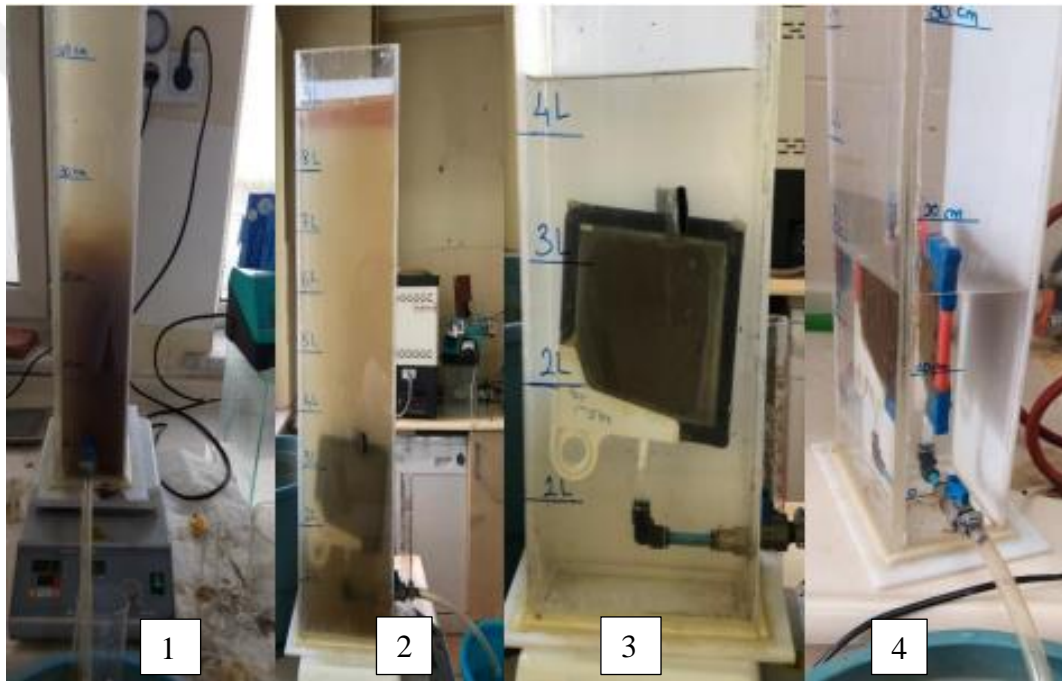
DMBR’de tüm elek çaplarında çıkış suyu kalitesi zamanla basınç artışı nedeniyle kötüleşmiş olup AKM 1000 mg/L’nin üzerine çıkmıştır. Ancak yüzeyi kalın bir kek tabakası ile kaplanan modülün YÇ-DMBR de yer çekimi etkisi ile çalışılmış olup çıkış suyu kalitesinin sabit basınçta iyileştiği görülmüştür. Ön çöktürme ve son çöktürme çamuru karıştırılarak çalışıldığı zaman daha hızlı ve sıkı bir tabaka oluşumunun sağlandığı görülmüştür. *Şekil 98*’de farklı elek çaplarında, zamanla ve basınç değişimi ile çıkış suyundaki AKM konsantrasyonunun değişimi görülmektedir. Yer çekimi etkisi ile çalışan reaktördeki sonuçların görüldüğü grafikte, sistem çalıştırılmaya başladığında, çıkış suyu kalitesinin önce biraz düştüğü ardından iyileşmeye başlayarak çıkış suyu AKM konsantrasyonunun düştüğü görülmüştür. Bunun nedeninin, tabaka oluşumunun elek üzerinde oluşmaya devam ettiği ve zamanla tüm eleğin çamurla kaplanması olduğu düşünülmektedir.



Şekil 98. Farklı elek çaplarında yer çekimli dinamik membran reaktör (YÇ-DMBR) çıkış AKM

DMBR’de basınç artışı 200 mbarı geçince sistem durdurularak, modül YÇ-DMBR’ye konulduğu zaman çıkış suyu akısının düşmesi söz konusu olsa da en düşük akı değeri 5 LMH olarak elde edilmiştir. YÇ-DMBR’ye konulacak modüllerde literatürde en az 10 cm basınç sağlansa da bu çalışmada maksimum 50 cm olmak üzere azalan basınçta

çalışılmıştır. Basınç artışının fazla olması durumunda çıkış suyu elde edilemeyeceği için güvenli tarafta kalınması gerekmektedir. YÇ-DMBR daha önce DMBR’de çamurla kaplanmış olan modülün başlangıçta yüzeyindeki çamurun sistem çalıştırılmadan önce suya geçtiği, ancak elekten su geçtikten sonra, suya geçen çamurun tekrar elek üzerinde toplanmaya başladığı ve çıkış suyu kalitesinin bir süre sonra iyileşmeye başladığı gözlemlenmiştir (Şekil 98’de ve Şekil 99). DMBR reaktörden modül çıkarıldığı zaman yüzeyde gözle görülür bir tabaka olmadığı ama YÇ-DMBR’e konulduğunda yüzeyinde tabaka olduğu gözlemlenmiştir. Anlık olarak çıkış suyundan numune alınmıştır ve anlık AKM değerine bakılmıştır.



Şekil 99. YÇ-DMBR membran reaktörde filtrasyon öncesi ve filtrasyon sonrası reaktörün görüntüleri.

1. Resimde yoğun bir çamur ve bulanık bir su görülürken, 2. Resimde reaktör içindeki modül net olarak görülebilmektedir. 3. ve 4. Resimde ise tabakanın tamamen modül üzerinde kaplandığı ve reaktördeki suyun berraklaştığı ortaya çıkmıştır.

Ayrıca çıkış suyu kalitesinin DMBR’de iyileşmediği durumlar olmuştur. Bu durumda, kısmi olarak tabaka oluşsa da modül YÇ-DMBR’ye konularak yeniden çıkış suyu sonuçlarına bakılmıştır. DMBR’de çıkış suyunda çok yüksek AKM konsantrasyonları elde edilmesine rağmen, YÇ-DMBR’de çıkış suyu sonuçlarının iyileştiği

gözlemlenmiştir. Bunun nedeninin DMBR’de sabit akıda ve havalandırma sağlanan reaktör ile çalışılmasının hidrodinamik etkisinin olduğu düşünülmektedir. YÇ-DMBR’nin işletilmesinde başlangıçta sağlanan yüksek akı ile çamur floklarının elek üzerine gitme eğilimi, elek üzerinde hızlı bir tabaka oluşumuna neden olduğu, alttan karıştırılan reaktörün de flokların elek üzerinde düzgün bir şekilde oluşmasına katkı sağladığı düşünülmektedir. *Şekil 100*’te elek üzerinde oluşan çamur tabakaları gösterilmiştir.



Şekil 100. DMBR’de oluşan kek tabakası (solda ilk iki fotoğraf), YÇ-DMBR’de oluşan kek tabakası (sağdaki iki fotoğraf).

DMBR’de modülün iki yüzünde ya daha kalın ya da daha ince kek tabakası oluşturduğu, YÇ-DMBR’de ise modülün her iki yüzünde ince ve düzgün kek tabakası oluştuğu gözlenmiştir.

5. BÖLÜM

SONUÇ ve ÖNERİLER

5.1. Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada, DM reaktörde arıtma çamurlarının farklı gözenek çaplarındaki paslanmaz çelik eleklerde dinamik tabaka oluşturma potansiyeli incelenmiştir. Yapılan çalışmalar, yenilikçi olarak arıtma çamurlarının DM filtrasyon için uygun malzemeler olabileceği değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar DMBR ile 100 ve 200 LMH gibi yüksek akılarda yüksek çıkış suyu kalitesi sağlanabildiğini göstermiştir. Ayrıca, YÇ-DMBR ile de bu modüllerin işletilebileceğini ve uzun süreli işletme koşulları için yenilikçi bir sistem olacağı değerlendirilmiştir.

Atıksu arıtma tesisi çamurları, yüksek akılarda dinamik tabaka ön kaplama için mükemmel bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Farklı elek çaplarıyla yapılan dinamik tabaka optimizasyon çalışmalarında şu sonuçlar elde edilmiştir. İlk kez literatürde, 300 µm elek ve yüksek akı (200 LMH) ile çıkış suyu kalitesinin sürekli olarak 10 NTU'nun altında iyileştiği gözlemlenmiştir. Birincil ve aktif çamurlar, dinamik tabaka ajanları olarak birlikte kullanıldığında, yalnızca tek bir çamurun kullanımına kıyasla reaktörün performansını artırmaktadır. SEM görüntülerine göre, birincil çamurdaki lifler, dinamik tabakanın 15 ila 45 dakika içinde tamamen gelişmesine yardımcı olmakta ve sabit akıda çıkış su kalitesini artırmaktadır. Basınç artsa bile, akı kademeli olarak azaltılarak daha iyi su kalitesi elde edilmektedir. DMBR uygulamasında her iki çamurun dinamik tabaka oluşumuna sinerjik olarak etki ettiği ve tekstil ve geri dönüşüm sektörü atıksularından kaynaklı liflerin (fiber) dinamik tabaka oluşumuna olumlu katkı sağladığı görülmüştür. Vakum ile sağlanan ön birikimli dinamik tabaka çalışmalarında kullanılan eleklerdeki SEM ve mikroskop görüntüleri bu görüşü desteklemektedir. Vakum ile yapılan dinamik tabaka oluşturma çalışmalarında çıkış suyu kalitesi, basınç ve akılar açısından en iyi

sonuçların en yüksek elek çapında (300 µm) elde edildiği, sürücü kuvvetin yer çekimi olduğu çalışmalarda düşük elek boyutlarında (100 µm) en iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. YÇ-DMBR çalışmaları ise literatürde ilk kez çok yüksek akılarda (~300-2000 LMH) arıtma çamuru ön birikimli DMBR ile kararlı durumda yüksek kalitede çıkış suyu elde edilmiştir (<0,01 NTU). Bu çalışmanın, arıtma tesisi çıkış suları için düşük maliyetli alternatif bir ileri arıtma tekniği sunduğu görülmektedir. Bu sistemin, kullanım amacı için, membranlı (NF/RO) arıtma sistemleri öncesinde bir ön arıtma alternatifi olabileceği düşünülmektedir. Sonuç olarak bu çalışmada, arıtma tesisi çamurlarının, yüksek gözenek boyutlu bir destek tabakası üzerinde bir dinamik membran tabakası oluşturma potansiyelinin yüksek olduğunu, bu tabakanın YÇ-DMBR sisteminde yüksek akı ve verimde işletilebileceğini göstermiştir. Çalışmanın, literatüre önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Atıksu arıtma tesisi çamurunun paslanmaz çelik elek modüller kullanılarak dinamik filtrasyon ile tabaka oluşturması incelenmiştir. AAT çamurları nispeten yüksek por çapına sahip eleklerde dahi düzgün bir kek tabakası oluşturduğu gözlenmiştir. Çamur tabakasının oluşumuna, reaktördeki; akı, basınç, hidrodinamik koşullar ve havalandırma şartları gibi işletme şartlarının bütüncül bir etkisinin olduğu ve yer çekimi etkisi ile çalışılması durumunda daha düzgün ve elek yüzeyi üzerinde eşit kalınlıkta bir kek tabakası ile kaplanabildiği tespit edilmiştir.

Çalışmada öne çıkan bazı önemli sonuçlar ayrıca aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

- Arıtma çamurlarından sadece ön çöktürme tankı çamurları ile son çöktürme tankı çamurlarının dinamik tabaka oluşturmaya elverişli olduğu görülmüştür.
- Çamur susuzlaştırma işlemi sırasında eklenen polielektrolitin arıtma çamurlarını çöktürmesinden kaynaklı olarak bu çamurlarla yapılan çamurlarda dinamik tabaka oluşumu verimli olmamıştır.
- Ayrıca, susuzlaştırılmış çamurun da yapısının, suda çözünmeye dirençli ve kuru madde içeriğinin fazla olmasından dolayı (~%30) dinamik tabaka oluşturma potansiyelinin düşük olduğu gözlenmiştir.
- 93 kesikli deneyin 29'unda TMP (transmembran basıncı) değerlerinin 200 mbar'ı aştığı ve TMP artışı nedeniyle 19 deney durdurulmuştur.

- Farklı elek çapları (100, 150, 200, 300 µm) kullanılarak yapılan çalışmalarda, çıkış suyu kalitesinin genellikle elek boyutuna bağlı olmadığı gözlemlenmiştir.
- Kek tabakasının oluşumu basınç artışına neden olmakta ve bu da çıkış suyu kalitesini olumsuz etkilemektedir. Kalın kek tabakası, yüksek basınç artışlarına yol açarak sistem performansını düşürmektedir.
- Çamur türüne göre, SÇ çamuru ile yapılan çalışmalarda çıkış suyu kalitesinin genellikle iyi olduğu, ancak BÇ çamuru ile yapılan çalışmalarda polielektrolit etkisi nedeniyle dinamik tabaka oluşumunun zorlaştığı belirtilmiştir. Optimum koşulların, çamur türünün SÇ ve ÖÇ çamurlarının birlikte kullanıldığı durumlarda gerçekleştirildiği belirlenmiştir.
- Azalan ve sabit akı ile yapılan çalışmalarda, TMP artışının kontrol edilmesinde farklı stratejilerin etkili olduğu ve akı azaltmanın su kalitesini iyileştirdiği gözlemlenmiştir.
- Küçük elek boyutları kullanıldığında, basınç arttıkça çıkış suyu AKM konsantrasyonunun yükseldiği tespit edilmiştir. Bu durum, basınç artışı ile su kalitesi arasında negatif bir korelasyon olduğunu göstermektedir.
- Düşük elek boyutlarında çıkış suyu bulanıklık değerlerinin yüksek seyrettiği, yüksek elek boyutlarında ise kek tabakasının daha az strese maruz kalmasından dolayı daha iyi su kalitesi elde edildiği gözlenmiştir.
- PSD ve CST sonuçlarına göre, ÖÇ çamurlarının küçük parçacıklı çamurları içerdiği, SÇ çamurlarının ise daha yüksek parçacık boyutuna sahip olmasından dolayı birlikte daha düzgün bir kek tabakası oluşturduğu tespit edilmiştir.
- SÇ çamurunun tek başına kullanıldığında kek tabakası stabilizasyonu sağlanamamakta, ancak ÖÇ çamuru eklendiğinde daha stabil bir tabaka oluşmaktadır.

KAYNAKÇA

1. Samsunlu, A., 2011. Atıksuların Arıtılması, Güncelleştirilmiş Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
2. Kitiş, M., Yiğit, N.Ö., Köseoğlu, H. & Bekaroğlu, Ş.Ş., 2009. Su ve Atıksu Arıtımında İleri Arıtma Teknolojileri-Arıtılmış Atıksuların Geri Kullanımı, Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Görevlisi Eğitimi Ders Notları, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta. 114233.
3. Muslu, Y., 1994. Atıksuların Arıtılması, 1.Baskı, İTÜ Matbaası, İstanbul
4. Akmirza, Z. A., Erşahin, M. E., Dereli, R. K., Özgün, H., & Öztürk, İ., 2017. Atıksu arıtma tesislerinde enerji verimliliğinin incelenmesi. **Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, **21(2)**, 380-387.
5. Judd, S. J., 2017. Membrane technology costs and me. **Water research**, **122**, 1-9.
6. Özgün, H., Sakar, H., Ağtaş, M., & Koyuncu, İ., 2023. Investigation of pre-treatment techniques to improve membrane performance in real textile wastewater treatment. **International Journal of Environmental Science and Technology**, **20(2)**: 1539-1550.
7. Açıktepe, D., 2016. Atıksuların Geri Kazanımı. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Samsun, 93s.
8. Yarmuhammet, G., 2012. Tekstil Atıksularının Membran Prosesleri ile Geri Kazanımında Ön Arıtmaların Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 132s.
9. Uca, E., 2018. Ultrafiltrasyon Yöntemiyle Nar Kabuğundan Fenolik Bileşiklerin Geri Kazanılması ve Sürecin Optimizasyonu. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 141s.
10. Öner, Z., & Arısoy, Z., 2019. Ultrafiltrasyon Tekniği İle Üretilen Beyaz Peynirlerin Kimyasal Ve Mikrobiyolojik Özellikleri Üzerine Farklı Pıhtılaştırıcı Enzimlerin

Etkisi. **Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi**, **5(1)**: 68-86.

11. Ersahin, M. E., Ozgun, H., Dereli, R. K., Ozturk, I., Roest, K., & van Lier, J. B., 2012. A review on dynamic membrane filtration: materials, applications and future perspectives. **Bioresource Technology**, **122**: 196-206.
12. Bozkurt, G., 2018. Ters Osmoz Konsantr Akımlarının Deniz Ortamındaki Seyrelme ve Dağılım Modellemesi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 115s.
13. Kurt, E., 2012. Tekstil Endüstrisi Ayrılmış Atıksularının Pilot Ölçekli Membran Sistemi ile Arıtımı ve Geri Kazanımı, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 281s.
14. Zhang, Y., Zhao, Y., Chu, H., Dong, B., & Zhou, X., 2014. Characteristics of dynamic membrane filtration: structure, operation mechanisms, and cost analysis. **Chinese Science Bulletin**, **59(3)**: 247-260.
15. Aslan, M., 2017. Mezbaha atıksularının membran biyoreaktörle arıtılmasında membran kirlenme davranışı. **Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, **29(1)**: 363-370.
16. Özgüven, A., Durak, A., & Yetiş, A. D., 2021. Van ili atıksu arıtma tesisleri işletme sorunları ve çözüm önerileri. **Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, **10(4)**: 1448-1463.
17. Yüksel E. G., 2015. Alkaloid Atıksuyunun Membran Biyoreaktör İle Arıtılmasıyla Oluşan Atık Çamurun Aerobik Çamur Stabilizasyonunda Partiküler Bileşenlerin Modellenmesi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 78s.
18. Filibeli, A., Ayol, A., & Büyükkamacı, N., 2022. Arıtma çamurlarının yönetimi ve maliyeti: gediz havzası arıtma çamuru yönetimi projesi. **Çevre İklim ve Sürdürülebilirlik**, **23(1)**: 79-90.
19. Aydın, S., 2020. Erzurum Biyolojik Atıksu Arıtma Tesisi Arıtma Çamuru Yönetiminin İncelenmesi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 191s.
20. Ayol, A., 2007. Arıtma çamuru flok ayrıştırma mekanizmalarının çamur su verme özellikleri üzerine etkisi: Enzimlerle arıtım yöntemi. **Su Kirlenmesi Kontrolü Dergisi**, **17(3)**: 15-24.

21. Koyuncu İ. 2018. Su/Atıksu Arıtılması ve Geri Kazanılmasında Membran Teknolojileri ve Uygulamaları Cilt 1: Membran Teknolojileri ve Su Arıtma, Türkiye Çevre Koruma Vakfı, Ankara.
22. Aksu, H., 2019. Türkiye’de içmesuyu arıtımında membran uygulamaları ve uygulama aşamasında karşılaşılan işletme problemleri, Uzmanlık Tezi, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Ankara, 141 s.
23. Tolemaritma. (t.y.). Projeler çözümler membran teknolojileri. (Web sayfası: <https://www.tolemaritma.com/details/10/73/membran-teknolojileri>), (Erişim Tarihi: Ocak 2025).
24. Fan, F., Zhou, H. & Husain, H., 2007. Use of chemical coagulants to control fouling potential for wastewater membrane bioreactor processes, **Water Environment Research**, **79**: 952-957.
25. Rosenberger, S., Krüger, U., Witzig, R., Manz, W., Szewzyk, U. & Kraume, M., 2002. Performance of a bioreactor with submerged membranes for aerobic treatment of municipal wastewater, **Water Research**, **36**: 413-420.
26. Erşahin, M., E., 2015. Dinamik Membranların Uygulanması Anaerobic Membran Biyoreaktör Sistemleri. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 215 s.
27. Al-Malack, M. H., & Anderson, G. K., 1997. Cleaning techniques of dynamic membranes. **Separation and Purification Technology**, **12**(1): 25-33.
28. Cao, D. W., Chu, H. Q., Jin, W., & Dong, B. Z., 2010. Characteristics of the biodynamic membrane (cake layer) for municipal wastewater treatment. **Desalination**, **250**(2): 544-547.
29. Zhang. X., Wang. Z., Wu. Z., Wei. 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.
30. Saleem M, Alibardi L, Cossu R, Lavagnolo MC, Spagni A., 2017. Analysis of fouling development under dynamic membrane filtration operation. **Chemical Engineering Journal** **312**: 136-143
31. Elkebir A. A., 1991. Application of crossflow filtration for biomass retention in aeration tanks. University of Newcastle Upon Tyne, Unpublished Doctoral Thesis, Newcastle.

32. Holdich R. G. & Boston R. G., 1990. Microfiltration using a dynamically formed membrane. **Filtration Sep.** **28**(3): 192-194.
33. Andırıcı, Y., 2014. Membran Ayırma Tekniği ile İçme Suyu Elde Edilmesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Konya 117 s.
34. Timurkutluk, Ç., 2019. Mobil Uygulamalar için Mikro-Tüp Katı Oksit Yakıt Pili Membran Elektrot Grubu Geliştirilmesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde, 137 s.
35. Gökçay, F. C., Yılmaz, B., Bakırdere, S., Özgök, Y. İ., & Komesli, H. G., 2012. Klasik Atıksu Arıtma Tesislerinde ve Membran Biyoreaktör (MBR) Sistemlerinde Endokrin Bozucu Maddelerin (EBM) Arıtımı ve Toptan EBM Parametresi Geliştirme Projesi. (Web Sayfası: <https://open.metu.edu.tr/handle/11511/49588>) (Erişim Tarihi: Ocak 2025).
36. Poostchi. A. A., & Mehrnia. R. M., 2015. Dynamic membrane behaviours during constant flux filtration in membrane bioreactor coupled with mesh filter. **Environmental Technology**, **33**(36:14): 1751–1758.
37. Sarsılmaz, O. M., 2017. Zemin İyileştirme Yöntemlerinin Sınıflandırılması, İncelenmesi, Değerlendirilmesi ve Anılan Yöntemlerin Seçilme Kriterleri Üzerine Kapsamlı Bir Araştırma, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 331s.
38. Dune, R., Cayetano, A., Park, J. & Kim, S., 2020. Effect of shear velocity and feed concentration on the treatment of food waste in an anaerobic dynamic membrane Bioreactor: Performance Monitoring and microbial community analysis. **Biosource Technology**, **296**: 122301
39. Berkessa, Y.W., Yan, B., Li, T., Jegatheesan, V., & Zhang, Y., 2020. Treatment of anthraquinone dye textile wastewater using anaerobic dynamic membrane bioreactor: Performance and microbial Dynamics. **Chemosphere**, **238**: 124539.
40. Curi, K., 1994. Biyolojik arıtma. Boğaziçi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Ders Notları, 1–2, İstanbul.
41. Alibardi, L., Bernava, N., Cossu, R., Spagni, A., 2016. Anaerobic dynamic membrane bioreactor for wastewater treatment at ambient temperature. **Chemical Engineering Journal**, **284**: 130-138.

42. Ersahin, M. E., Ozgun, H., Tao, Y., & van Lier, J. B., 2014. Applicability of dynamic membrane technology in anaerobic membrane bioreactors. **Water Research**, **48**: 420-429.
43. Hu, Y., Wang, X. C., Tian, W., Ngo, H. 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.
44. Ersahin, M. E., Tao, Y., Ozgun, H., Spanjers, H., & van Lier, J. B., 2016. Characteristics and role of dynamic membrane layer in anaerobic membrane bioreactors. **Biotechnology and Bioengineering**, **113(4)**: 761-771.
45. 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.
46. Aslan, M., 2016. Membran teknolojileri. Türkiye Çevre Koruma Vakfı, Cilt 1, Ankara, 50-58.
47. Singhanian R.R., Christophe, G., Perchet G., Troquet, J. & Larroche C., 2012. Immersed Membran Bioreactors: An Overview With Special Emphasis on Anaerobic Bioprocesses. **Bioresource Technology** **122**: 171-180.
48. 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.
49. Organization, O.I.Z.S. OIZs in numbers. 2025. (Web Adresi: <https://osbuk.org/view/sayilarlaosb/osbliste.php>) (Erişim Tarihi: Ocak 2025).
50. Zhang, X. 2010. Formation of dynamic membrane in an anaerobic membrane bioreactor for municipal wastewater treatment, **Chem. Eng. J.** **165** (1): 175–183.
51. Mirmousaei, S.M. et al., 2019. Preparation and characterization of nano-filtration and its photocatalytic abilities via pre-coated and self-forming dynamic membranes developed by ZnO, PAC and chitosan, **Water Sci. Technology**, **80** (12): 2273–2283.
52. Jia, R. 2022. Carbon cloth self-forming dynamic membrane enhances anaerobic removal of organic matter from incineration leachate via direct interspecies electron transfer, **Chem. Eng. J.** **445**: 136732.

53. Kizilet, A. 2022. Cake layer reformation rates on self forming dynamic membranes and performance comparison with microfiltration membranes, **Sci. Total Environ.**, **838**: 156384.
54. Mahat, S.B. 2020. Effect of pore size of monofilament woven filter cloth as supporting material for dynamic membrane filtration on performance using aerobic membrane bioreactor technology, **Asia Pac. J. Chem. Eng.** **15** (3): e2453.
55. Xiong, X. D. & Fu, R., 2014. Singh, Self-adaptive dynamic membrane module with a high flux and stable operation for the municipal wastewater treatment, **J. Membr. Sci.** **471**: 308–318.
56. Chen, M. 2022. Effect of microplastics on the physical structure of cake layer for pre-coagulated gravity-driven membrane filtration, **Sep. Purif. Technol.** **288**: 120632.
57. Ye, M., 2006. Study on the suitable thickness of a PAC-precoated dynamic membrane coupled with a bioreactor for municipal wastewater treatment, **Desalination** **194** (1–3), 108–120.
58. Anantharaman, A. 2020. Pre-deposited dynamic membrane filtration—a review, **Water Res.** **173**: 115558.
59. Cai, D., 2018. Effect of support material pore size on the filtration behavior of dynamic membrane bioreactor, **Bioresour. Technol.** **255**: 359–363.
60. Loderer, C., Worle, A. & Fuchs, W. 2012. Influence of different mesh filter module configurations on effluent quality and long-term filtration performance, **Environ. Sci. Technol.** **46** (7): 3844–3850.
61. Kiso, Y., 2000. Wastewater treatment performance of a filtration bio-reactor equipped with a mesh as a filter material, **Water Res.** **34** (17): 4143–4150.
62. Fonseca, P.R.S., 2022. Development and performance of a dynamic membrane for anaerobic wastewater treatment—an analysis with different mesh pore sizes and configurations, **Water Sci. Technol.** **85** (5): 1400–1411.
63. Yang, X., 2023. Study on internal dynamic response during cold start of proton exchange membrane fuel cell with parallel and serpentine flow fields, **J. Power Sources** **561**: 232609.

64. Nyobe, D., 2019. Build-up of a continuous flow pre-coated dynamic membrane filter to treat diluted textile wastewater and identify its dynamic membrane fouling, **J. Environ. Manage.** **252**: 109647.
65. Mohan, S.M. & Nagalakshmi, S., 2022. Performance evaluation of membrane bioreactor coupled with self-forming dynamic membrane, **J. Environ. Manage.** **322**: 116107.
66. Yurtsever, A., Basaran, E., Ucar, D. & Sahinkaya, E. 2021. Self-forming dynamic membrane bioreactor for textile industry wastewater treatment. **Science of the Total Environment**, **751**: 141572
67. Chen, R., 2017. Fouling behaviour of soluble microbial products and extracellular polymeric substances in a submerged anaerobic membrane bioreactor treating low-strength wastewater at room temperature. **Journal of Membrane Science**, **531**: 1-9.
68. Enfrin M, Lee J, Gibert Y, Basheer F, Kong L, Dumée LF 2020. Release of hazardous nanoplastic contaminants due to microplastics fragmentation under shear stress forces. **Journal of hazardous materials** **384**: 121393
69. Hu, Y. 2017. Effects of powdered activated carbon addition on filtration performance and dynamic membrane layer properties in a hybrid DMBR process. **Chem. Eng. J.** **327**: 39–50.
70. Li, L. Xu, G. & Xing, J. 2019. Diatomite enhanced dynamic membrane technology for simultaneous backwash sludge pre-dewatering and backwash wastewater recycling, **J. Clean. Prod.** **211**: 1420–1426.
71. Yurtsever, A., Basaran, E. & Ucar, D. 2020. Process optimization and filtration performance of an anaerobic dynamic membrane bioreactor treating textile wastewaters, **J. Environ. Manage.** **273**, 111114.
72. Hu, J., 2023. Fouling by inorganic-particle-containing cake layers can be reduced by microorganisms at low fluxes, **Sep. Purif. Technol.** **315**: 123659.
73. Chen, G., 2022. Dynamic membranes with sparse nanofibers as the skeletons yield better and more stable effluent quality without sacrificing the flux in bioreactors. **J. Membr. Sci.** **650**: 120414.
74. Yang, Y., 2022. Gravity-driven high flux filtration behavior and microbial community of an integrated granular activated carbon and dynamic membrane bioreactor for domestic wastewater treatment, **Sci. Total Environ.** **825**: 153930.

75. Poostchi, A.A., 2015. Formation of pre-coating dynamic membrane on mesh filter by cross-flow filtration of PAC–water suspension in a bioreactor: experimental and modeling, *Desalin. Water Treat.* **55** (1): 17–27.
76. Lu, D. 2016. Hydrophilic Fe₂O₃ dynamic membrane mitigating fouling of support ceramic membrane in ultrafiltration of oil/water emulsion. *Sep. Purif. Technol.* **165**: 1–9.
77. Liang, J., Yu, L. & Wu, J. 2020. The dynamic change of specific cake resistance in membrane bioreactor due to periodical cake relaxation, *J. Environ. Chem. Eng.* **8**(4): 103837.
78. Chang, X., 2022. Microplastic pollution in soils, plants, and animals: a review of distributions, effects and potential mechanisms, *Sci. Total Environ.* **850**: 1–14.
79. Yurtsever, A., Calimlioglu, B. & Sahinkaya, E. 2017. Impact of SRT on the efficiency and microbial community of sequential anaerobic and aerobic membrane bioreactors for the treatment of textile industry wastewater, *Chem. Eng. J.* **314**: 378–387.
80. Wang, Z. 2006. Relationship between sludge characteristics and membrane flux determination in submerged membrane bioreactors, *J. Membr. Sci.* **284** (1–2): 87–94.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Hatice ELBİR

Uyruğu: Türkiye (T.C)

Doğum Tarihi ve Yeri:

Medeni Durum:

E-mail:

Yazışma Adresi:

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi, Çevre mühendisliği	2025
Lisans	Erciyes Üniversitesi, Çevre mühendisliği	2021
Lise	Ali Rıza Özderici A.İ.H.L , Kayseri	2015

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2023-2024	Erciyes Üniversitesi, Çevre mühendisliği	Bursiyer
2024-	Netaks mobilya aksesuar	Kalite kontrol Müdürü

YABANCI DİL

İngilizce

YAYINLAR

- Uyanık, İ., Elbir, H., Yurtsever, A., & Şahinkaya, E., 2023. Yer çekimi etkisi ile çalışan dinamik membran reaktörde elek boyutunun çıkış suyu kalitesine etkisi. *II. International Conference on Engineering Sciences*, Gence, Azerbaijan
- Elbir, H., Çolakoğlu, E. B., & Uyanık, İ., 2023. Stainless steel mesh as an effective support material for dynamic membrane layer formation. *10th International Conference on Materials Science and Nanotechnology for Next Generation* (pp.66). Kayseri, Turkey

3. Elbir, H., Uyanık, İ., Çolakoglu, E. B., Sahinkaya, E., & Yurtsever, A., (2024). Pre-coating of stainless-steel mesh support material with wastewater treatment plant sludges in a dynamic membrane filtration process. **Journal of Water Process Engineering, 64**: 105673.
4. Uyanık, İ., Çolakoğlu, E. B., Elbir, H., Yurtsever, A., Mihçioğur, H., & Şahinkaya, E. (2024, May). Plastic waste recycling facilities discharges microplastics: Could gravity driven dynamic membrane reactors be an urgent painkiller? Paper presented at the 639 – Microplastic Dispersion Pathways, Lerici, Italy. Retrieved from: <https://euromech.org/colloquia/colloquia-2024/639>
5. Elbir, H., & Uyanık, İ. (2024). Farklı gözenek çapına sahip destek tabakalarında aktif çamurun dinamik membran oluşturma potansiyelinin incelenmesi. 8. *Uluslararası Göbeklitepe Bilimsel Çalışmalar Kongresi Bildiri Kitabı* (s. 149). Şanlıurfa, Türkiye. ISBN: 978-625-367-652-0.
6. Colakoglu, EB, Uyanık, I., Elbir, H., Şahinkaya, E., & Yurtsever, A. (2025). A novel gravity-driven dynamic membrane filtration reactor for microplastic removal from plastic recycling facility wastewater. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, <https://doi.org/10.1016/j.jece.2025.115793>