

**T.C.
SAKARYA UNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DİREKT TEMAS MEMBRAN DİSTİLASYON
PROSESİ İLE DÜZENLİ DEPOLAMA SAHASI
SIZINTI SULARININ ARITIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gizem ŞAHİN

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Berna KIRIL MERT

Temmuz 2017

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DİREKT TEMAS MEMBRAN DİSTİLASYON
PROSESİ İLE DÜZENLİ DEPOLAMA SAHASI
SIZINTI SULARININ ARITIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Gizem ŞAHİN

Enstitü Anabilim Dalı : ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 19/07/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr.İ.Ayhan ŞENGİL

Doç.Dr. Taner YONAR

Yrd.Doç.Dr.Berna

KIRIL MERT

Jüri Başkanı

Üye

Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Gizem ŞAHİN

19/07/2017

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, her konuda bilgi ve desteğini almaktan çekinmediğim, araştırmanın planlanmasından yazılmasına kadar tüm aşamalarında yardımlarını esirgemeyen, teşvik eden, aynı titizlikte beni yönlendiren değerli danışman hocam Yrd. Doç. Berna KIRIL MERT'e şükranlarımı sunarım.

Deneysel çalışmaların yürütülmesi esnasında değerli bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, gösterdiği destek ve sağladığı laboratuvar olanakları konusunda anlayış ve yardımlarını esirgemeyen Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Doç. Dr. Coşkun AYDINER'e şükranlarımı arz ederim.

Deneysel çalışmalarım boyunca, vermiş olduğu fikirleriyle katkıda bulunan Kocaeli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Yrd. Doç. Dr. Esra CAN DOĞAN'a şükranlarımı sunarım.

Deneysel çalışmalarım esnasında yardımlarını esirgemeyen Gebze Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü Araştırma Görevlisi Yasemin Melek TİLKİ'ye çalışma süresince birlikte çalıştığımız, gösterdiği yakın alaka ve destekleri için içten teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamda manevi desteklerini esirgemeyen sevgili arkadaşlarım Esin BALCI, Şeyda AKSU ve Ayşegül Yağmur GÖREN'e teşekkürlerimi sunarım.

Beni bütün varlığıyla destekleyen bu aşamalara gelmemde katkısı olan aileme yürek dolusu sevgilerimi ve şükranlarımı sunarım.

Ayrıca bu akademik çalışmanın yapılabilmesi için 115Y490 no'lu proje ile maddi açıdan desteklenmesine olanak sağlayan TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	v
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
TABLolar LİSTESİ	vii
ÖZET	ix
SUMMARY	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Sızıntı Suyu.....	4
2.1.1. Sızıntı suyu oluşumu.....	4
2.1.2. Sızıntı suyu miktarı.....	5
2.1.3. Sızıntı suyu özellikleri.....	8
2.1.4. Sızıntı suyu arıtma yöntemleri.....	10
2.2. Membran Distilasyon Prosesi (MD)	11
2.2.1. Membran distilasyon prosesi avantajları.....	11
2.2.2. Membran distilasyon prosesi dezavantajları	12
2.2.3. Membran distilasyon konfigürasyonları.....	12
2.2.4. Membran distilasyon uygulamaları.....	15

BÖLÜM 3.

MATERYAL VE YÖNTEM	16
3.1. Materyal	16
3.1.1. Sızıntı suyu.....	16
3.1.2. Çalışmalarda kullanılan membranlar.....	18
3.1.3. Deneylerde kullanılan sistemler.....	19
3.2. Yöntem	24
3.2.1. Deneysel çalışma esasları	24
3.2.2. Analitik yöntemler.....	27
3.2.3. Proses performans hesaplamaları	28

BÖLÜM 4.

ARAŞTIRMA BULGULARI	31
4.1. UF prosesinde ön arıtmanın etkisi	31
4.1.1. Biyoreaktör çıkışı sızıntı suyunun ultrafiltrasyonu.....	31
4.1.2. Kaba filtreden süzölmüş sızıntı suyunun ultrafiltrasyonu.....	35
4.2. DTMD Deneysel Çalışma Sonuçları.....	39
4.2.1. Proses işletme parametrelerinin etkisi.....	39
4.2.1.1. Membran türü ve gözenek boyutu	39
4.2.1.2. Membran geçiş sıcaklık farkı	46
4.2.1.3. Çözelti sıcaklıkları	52
4.2.1.4. Çapraz akış hızı	57
4.2.1.5. Kesikli ve sürekli pompaj	62
4.3. DTMD ve UF Proseslerinde Uzun Süreli Arıtma Performansları...	68
4.3.1. DTMD proses performansı.....	68
4.3.2. UF proses performansı.....	70
4.4. DTMD ve UF Sonrası DTMD Deneysel Proses Performansı.....	74

BÖLÜM 5.

SONUÇLAR VE ÖNERİLER	78
----------------------------	----

KAYNAKLAR	80
ÖZGEÇMİŞ	83

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

A	: Alan (m^3)
ΔP	: Membran Geçiş Basıncı (bar)
ΔT	: Sıcaklık Farkı ($^{\circ}C$)
ΔV	: Hacim Farkı (m^3)
AKM	: Askıda Katı Madde
BOİ	: Biyolojik Oksijen İhtiyacı
E_i	: İletkenlik
HGMD	: Hava Geçişli Membran Distilasyonu
KOİ	: Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MD	: Membran Distilasyonu
NF	: Nanofiltrasyon
pH	: Hidrojen Potansiyeli
PTFE	: Politetrafluoroetilen
PVDF	: Polivinilidin Florid
R	: Giderim Verimi (%)
RO	: Reverse Osmoz (Ters Osmoz)
SGMD	: Süpürücü Gaz Membran Distilasyonu
T	: Sıcaklık ($^{\circ}C$)
t	: Süre (dk)
TÇK	: Toplam Çözünmüş Katı
TKN	: Toplam Kjeldahl Azotu
TN	: Toplam Azot
TOC	: Toplam organik Karbon
j_w	: Akı ($L/m^2.saat$)
ν	: Çapraz Akış Hızı (rpm)
VMD	: Vakum Membran Distilasyonu

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Sızıntı suyu oluşumu ve katı atıklardan sızıntı suyuna kirletici geçişi	5
Şekil 2.2. Bir katı atık düzenli depolama tesisi için su dengesi	6
Şekil 2.3. MD membran prosesi konfigürasyonları (a) DTMD (b) SGMD (c) VMD (d) HGMD.....	13
Şekil 3.1. Sızıntı suları için İZAYDAŞ mevcut arıtma tesisi akım şeması.....	16
Şekil 3.2. Kesikli işletimli basınç sürücülü membran sistemi	19
Şekil 3.3. Sürekli işletimli basınç sürücülü membran sistem.....	20
Şekil 3.4. Kesikli DTMD deneylerinde kullanılan sistemin şematik gösterimi..	21
Şekil 3.5. DTMD deney sistemleri a) kesikli pompaj b) sürekli pompaj.....	21
Şekil 3.6. Sızıntı suları için önerilen arıtma tesisi akım şemaları a) tek DTMD prosesi b) UF sonrası DTMD prosesi.....	22
Şekil 4.1. Biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu sterlitech deneyleri akı sonuçları	31
Şekil 4.2. Kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu sterlitech deneyleri akı sonuçları	35
Şekil 4.3. Biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu ve kaba filtreden süzölmüş sızıntı suyunun UF prosesi için uygun seçilen deneylerin akı sonuçları	38
Şekil 4.4. DTMD prosesinde sızıntı suyunun arıtımında membran türü ve boyutunun etkisi a) geçen su hacmi b) su akısı	39
Şekil 4.5. DTMD prosesinde sızıntı suyu arıtımında su kalitesi parametrelerinin farklı membran türlerine göre performansları ve rejeksiyon değerleri (a) pH, b) Ei, c) TÇK, d) KOİ, e) TOK, f) NH ₃ , g) renk)	41
Şekil 4.6. DTMD prosesinde sızıntı suyunun arıtımında membran geçiş sıcaklık farkının etkisi a) geçen su hacmi b) su akısı	46
Şekil 4.7. DTMD prosesinde sızıntı suyu arıtımında su kalitesi parametrelerinin membran geçiş sıcaklık farklarında performans sonuçları ve	

rejeksiyon değerleri (a) pH, b) Ei, c) TÇK, d) KOİ, e) TOK, f) NH ₃ , g) renk)	47
Şekil 4.8. DTMD prosesinde sızıntı suyunun arıtımında çözelti sıcaklıklarının etkisi a) geçen su hacmi b) su akısı	52
Şekil 4.9. DTMD prosesinde sızıntı suyunun arıtımında su kalitesi parametrelerinin çözelti sıcaklıklarında performans sonuçları ve rejeksiyon değerleri (a) pH, b) Ei, c) TÇK, d) KOİ, e) TOK, f) NH ₃ , g) renk)	53
Şekil 4.10. DTMD prosesinde sızıntı suyunun arıtımında akış hızının etkisi a) Geçen su hacmi b) Su akısı	57
Şekil 4.11. DTMD prosesinde sızıntı suyunun arıtımında su kalitesi parametrelerinin farklı akış hızında performans sonuçları ve rejeksiyon değerleri (a) pH, b) Ei, c) TÇK, d) KOİ, e) TOK, f) NH ₃ , g) renk).	58
Şekil 4.12. DTMD prosesinde sızıntı suyunun arıtımında pompaların etkisi a) Geçen su hacmi b) Su akısı	62
Şekil 4.13. Sızıntı suyunun arıtımında su kalitesi parametrelerinin farklı pompa performans sonuçları ve rejeksiyon değerleri (a) pH, b) Ei, c) TÇK, d) KOİ, e) TOK, f) NH ₃ , g) renk).....	63
Şekil 4.14. Sürekli işletimli DTMD prosesinde sızıntı suyu arıtımı a) geçen su hacmi, b) su akısı.....	68
Şekil 4.15. UF prosesi uzun süreli işletimi akı grafiği	70
Şekil 4.16. DTMD ve UF Sonrası DTMD performansı akı grafiği	74
Şekil 4.17. Biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu ve kaba filtreden süzölmüş sızıntı suyunun DTMD prosesi performansı ve UF prosesi sonrası DTMD prosesi performans değerleri	75

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Avrupa ülkelerinde kaydedilmiş sızıntı suyu miktarları	7
Tablo 2.2.	Almanya'daki bazı katı atık depolama tesislerinde açığa çıkan sızıntı suyu miktarları	7
Tablo 2.3.	Sızıntı suyu özelliklerinin depo yaşı ile değişimi	9
Tablo 2.4.	MD'nin farklı konfigürasyonlarının avantaj ve dezavantajları	14
Tablo 3.1.	Sızıntı suyu numunelerinin karakterizasyonu.....	17
Tablo 3.2.	Çalışmada kullanılan UF membranlarının özellikleri.....	18
Tablo 3.3.	Çalışmada kullanılan MD membranlarının özellikleri	18
Tablo 3.4.	SKKY'de Tablo 20.6 alıcı ortama deşarj standartları, SKKY Tablo 25 atık su altyapı tesislerine deşarj standartları ve İSU altyapı tesislerine deşarj standartları	23
Tablo 3.5.	Kesikli UF tasarım deneyleri değişkenleri ve seviyeleri	24
Tablo 3.6.	UF kesikli işletimli deneyleri için değişkenlerin kodlanmış değerlerini içeren taguchi deneysel tasarım tablosu	24
Tablo 3.7.	DTMD prosesinde izlenen işletme parametreleri, değerleri ve kesikli işletim deneysel şartları	25
Tablo 3.8.	Deneysel izleme ve analitik yöntemler	26
Tablo 3.9.	Su kalitesi analiz parametreleri için kullanılan ölçüm metotları/yöntemleri.....	27
Tablo 4.1.	UF prosesinde biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu için değişkenlerin deneysel değerlerini içeren sterlitech deneysel tasarım tablosu ve her bir sonuç parametresi için konsantredeki deneysel sonuçlar	33
Tablo 4.2.	UF prosesinde biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu için değişkenlerin deneysel değerlerini içeren sterlitech deneysel tasarım tablosu ve her bir sonuç parametresi için süzüntüdeki deneysel sonuçlar.....	34

Tablo 4.3.	UF prosesinde kaba filtreden süzölmüş sızıntı suyu için değışkenlerin deneysel değerlerini içeren sterlitech deneysel tasarım tablosu ve her bir sonuç parametresi için konsantredeki deneysel sonuçlar	36
Tablo 4.4.	UF prosesinde kaba filtreden süzölmüş sızıntı suyu için değışkenlerin deneysel değerlerini içeren sterlitech deneysel tasarım tablosu ve her bir sonuç parametresi için süzöntüdeki deneysel sonuçlar.....	37
Tablo 4.5.	Farklı gözenek boyutlarında PTFE membranı kullanılarak işletilen DTMD prosesinin performansı	44
Tablo 4.6.	Farklı gözenek boyutlarında PTFE membranı kullanılarak işletilen DTMD prosesinin performansı.	45
Tablo 4.7.	DTMD prosesinde membran geçiş sıcaklık farkının etkisi	51
Tablo 4.8.	DTMD prosesinde sızıntı suyunun arıtımında çözelti sıcaklıklarının etkisi.....	56
Tablo 4.9.	Farklı akış hızlarında işletilen kesikli DTMD prosesinin performansı	61
Tablo 4.10.	Kesikli pompaj DTMD prosesinin performansı.	67
Tablo 4.11.	Farklı akış hızlarında işletilen sürekli pompaj DTMD prosesinin performansı	67
Tablo 4.12.	Uzun süreli DTMD prosesi su kalitesi analiz sonuçları	69
Tablo 4.13.	Kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyunun UF prosesiyle uzun süreli işletimi için konsantredeki deneysel sonuçlar.	72
Tablo 4.14.	Kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyunun UF prosesiyle uzun süreli işletimi için süzöntüdeki deneysel sonuçlar.....	73
Tablo 4.15.	Biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu ve katısı süzölmüş sızıntı suyu DTMD prosesinde işletiminin deney sonu karakterizasyonu ve rejeksiyonu ..	76
Tablo 4.16.	Kaba filtreden süzölmüş sızıntı suyu UF prosesi sonrası DTMD prosesinde işletiminin deney sonu karakterizasyonu ve rejeksiyonu ..	77
Tablo 4.17.	Biyoreaktör çıkışı sızıntı sularının DTMD, kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu DTMD ve kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu UF prosesi sonrası DTMD prosesi çıkış suyu kalitesinin deşarj standartları ile kıyaslanması.....	78

ÖZET

Anahtar Kelimeler: Direkt temas membran distilasyon, Ultrafiltrasyon, Sızıntı suyu arıtımı, Alıcı ortama deşarj.

Bu çalışmada, yenilikçi ve gelişen membran teknolojiler arasında yer alan direkt temas membran distilasyon (DTMD) prosesi ile düzenli evsel katı atık depolama sahası sızıntı sularının, alıcı ortama deşarj standartlarına uygun çıkış suyu kalitesinde arıtımı amaçlanmıştır.

İZAYDAŞ Katı Atık Depolama Alanı'nda oluşan sızıntı sularının a) tek başına DTMD prosesi ve b) UF prosesi sonrası DTMD prosesi dâhilinde 2 farklı alternatif arıtma seçeneğiyle alıcı ortama deşarj standartları uyarınca ileri arıtım çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Her iki alternatif dâhilindeki en uygun proses işletim şartları belirlenmiştir. UF için en uygun işletim koşulları; katısı süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu için membran türünün UV150, karıştırma hızının 900 rpm ve basıncın 7,5 bar olduğu şartlardır. Su akı performansı 28,9 L/m²sa ve TOK ve KOİ giderim verimleri % 73,8 ve %71,4 olarak bulunmuştur. Tek başına DTMD prosesinde katısı süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyunun arıtımı için, membran türü PTFE, membran gözenek boyutu 0,45 µm, çapraz akış hızı 200 L/sa (sızıntı suyu)-200 L/sa (distile su), membran geçiş sıcaklık farkı ise sızıntı suyu 60°C - distile su 40°C olarak en uygun işletim parametreleri belirlenmiştir. Bu şartlarda, su akı performansı 29,8 L/m²sa, TOK ve KOİ giderim verimleri sırasıyla % 99,8 ve %98,8 olarak tespit edilmiştir. UF prosesi ve DTMD prosesi için optimum çalışma koşulları belirlendikten sonra uzun süreli arıtma performansları değerlendirilmiştir. Uzun süreli DTMD prosesinde optimum şartlar ile günde 6 saat toplam 10 günlük uzun süreli işletim performansı sonucunda 24,9 L/m²sa akı, %99,60 KOİ, %99,60 TOK giderim verimleri belirlenmiştir. UF sonrası DTMD prosesinin işletim performansı çalışılarak, 31,7 L/m².sa su akısı, %99,69 KOİ, %99,47 TOK giderim verimleri belirlenmiştir. Biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu ve katısı süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyunda tek başına DTMD ve UF/DTMD performansı birlikte değerlendirildiğinde her iki alternatifin de SKKY'n de Tablo.20.6'da verilen alıcı ortama deşarj suyu kalitesinde arıtılmış su eldesi sağlandığı görölmüştür. Bu çalışma ile, yeni gelişmekte olan direk temaslı membran distilasyon (DTMD) prosesinin teknolojik olarak sızıntı suyu arıtımında uygulanabileceği ortaya konulmuştur.

ADVANCED TREATMENT OF SANITARY LANDFILL LEACHATE BY DIRECT CONTACT MEMBRANE DISTILLATION

SUMMARY

Keywords: Direct contact membrane distillation, Ultrafiltration, Landfill Leachate treatment, Discharge Limits.

In this study, it was aimed to treat municipal solid waste landfill leachate to the proper effluent quality to receiving body discharge standards by direct contact membrane distillation (DCMD) which is among innovative and developing membrane technologies.

Treatment studies with İZAYDAŞ landfill leachate carried out in 2 different treatment options, a) only with DCMD process and b) DCMD process after UF process, according to the receiving body discharge standards. The best process conditions were determined according to each alternative. The best appropriate process conditions for UF are, UV150 membrane for filtered leachate bioreactor output, 900 rpm mixed velocity and 7,5 bar pressure. Water flow performance found as 28,9 L/m².hr and TOC and COD removal efficiencies found as 73,8% and 71,4%. For the treatment of leachate bioreactor output in the DCMD process alone, membrane type should be PTFE, membrane mesh size should be 0,45 µm, traverse flow velocity 200 L/hr (leachate)-200 L/hr (distilled), and temperature difference should be as 600°C leachate – distilled 400°C. In accordance with those figures, water flow performance defined as 29.8 L/m².hr, TOC and COD removal efficiencies found as 99,8% and 98,8%. After defining optimum process conditions for UF and DCMD, long-term performances were evaluated. In long term DCMD process, 10 days and every day 6hr processing resulted as, 24,9 L/m².hr flow, 99,60% COD, 99,60% TOC removal efficiency. And DCMD after UF process resulted as 31,7 L/m².hr flow, 99,69% COD, 99,47% TOC efficiency. When bioreactor output leachate water and filtered leachate bioreactor output water evaluated for DCMD and UF/ DCMD performances, in both alternatives, treated water quality is in accordance with the water pollution control regulations, Table 20.6. Within this study, the membrane distillation process DCMD, can be applied for the leachate water treatments.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Dünya nüfusunun ve tüketimin hızla artması sonucu katı atık miktarlarındaki artışa paralel olarak özellikle kentlerde önemli çevre sorunları yaşanmaktadır. Çöp sızıntı suyu kirlilik parametreleri çok yüksek olan bir atık sudur. Bu sular günümüzde arıtılması en zor olan atık suların başında gelmektedir. Dünyanın pek çok yerinde sızıntı suyu biriktirme sistemi olmayan depolama alanları bulunmaktadır. Bu depolama alanlarındaki organik ve inorganik kirleticileri barındıran sızıntı suları, yeraltı suyu kalitesini etkileyebilmektedirler. Yeraltı suyunun kirlenmesi durumunda, içme suyu kaynakları tehlikeye girmektedir. Bu tehlikelerin değerlendirilmesinde; sızıntı suyu kirliliğinin oluşturacağı tehditlerin azaltılması, yeraltı suyunun iyileştirilmesi ve yeraltı suyunu ortaya çıkarma, izleme programlarının tasarlanması çok önemlidir (Bjerg ve diğ., 1995).

Sızıntı sularının içerdikleri yüksek miktardaki organik maddeler, azotlu maddeler, ağır metaller, klorlanmış organik ve inorganik tuzlardan dolayı düzenli katı atık depolama sahalarından kaynaklanan sızıntı suları hem toprak kirlenmesine hem de yer altı sularının kirlenmesine neden olmaktadır (Wang ve diğ., 2002).

Katı atıkların bertarafında kullanılan yöntemlerin başında hiç şüphesiz depolama gelmektedir. Depolama tekniklerinin en önemli dezavantajı sızıntı suyu gibi arıtımı oldukça zor ve içeriği son derece kompleks bir atık suyun oluşumudur. Sızıntı suyu arıtımı ile ilgili olarak uzun yıllardır farklı yöntemler üzerine çalışmalar yürütülmektedir. Sızıntı suyu çok farklı kirletici türlerini bir arada barındırdığı için tek bir yöntemle arıtılması pek mümkün gözükmemektedir. Depo alanının kullanım

yılına bağılı olarak ortaya çıkan sızıntı suyu karakteristiğindeki değişimlerde arıtım yöntemi seçiminde büyük olumsuzluklara yol açmaktadır. Öyle ki zamanla çok farklı bir karakteristik ortaya çıkarken aynı yöntemle ortaya çıkan bu yeni atık suyun da arıtılabilmesi ilk zamanlardan beri problem olmuştur. Sızıntı suyu içeriği nedeniyle ilk yıllarda biyolojik arıtım öngörülürken ilerleyen dönemlerde ileri oksidasyon prosesleri ile yüksek giderim verimi elde edebilmek mümkün olabilmektedir. Her ne kadar bu konu üzerine birçok çalışma yapılsa da halen daha ekonomik ve daha yüksek verimli arıtım prosesleri üzerine çalışmalar sürdürülmektedir. Literatür incelendiğinde sızıntı suları aerobik ve anaerobik olarak arıtılabildikleri (Maehlum, 1995. Uygur ve Kargı, 2004) gibi konvansiyonel yöntemlerle (MAP Prosesi, Amonyak Sıyırma, Kimyasal Çöktürme, vb.) arıtılabilmektedir (Fettig ve diğ., 1996, Li, Zhao ve Hao, 1999). Ayrıca Membran prosesleri ile (Pirbazari ve diğ., 1996. Peters, 1998, Di Palma ve diğ. 2002) ve ileri oksidasyon prosesleri ile de (Ozonlama, UV, H₂O₂, Fenton, Elektrooksidasyon vb.) (Lau ve diğ., 2001, Haapea ve diğ., 2002, Öztürk ve diğ., 2003, Wang ve diğ., 2003 , Wu ve diğ., 2004) arıtılabilirliği üzerine birçok çalışma yapılmıştır.

Bu çalışmasının amacı, düzenli depolama alanlarından kaynaklanan sızıntı sularının alıcı ortama deşarj standartları uyarınca arıtımında, yeni gelişmekte olan direk temaslı membran distilasyon (DTMD) prosesinin tek başına ve ultrafiltrasyon prosesiyle kombine olarak ne seviyede bir teknolojik başarı seviyesinde uygulanabileceğini ortaya koymaktır. Çalışmada, düzenli depolama alanlarından kaynaklanan sızıntı sularının alıcı ortama deşarj standartlarına uygun olarak arıtımında, ultrafiltrasyon (UF) prosesi ve direkt temas membran distilasyon (DTMD) prosesi için en uygun işletme parametrelerinin (membran türü ve gözenek boyutu, çapraz akış hızı, besleme sıcaklığı, süzüntü ve besleme suları arasındaki membran geçiş sıcaklık farkı) tespiti çalışmaları yapılmıştır. UF prosesi ve DTMD prosesi için belirlenen optimum şartlarda uzun süreli işletimleri gerçekleştirmiştir. Uzun süreli işletim sonrasında UF prosesi ile DTMD prosesi kombine olarak optimum şartlarda çalışılmış olup, alıcı ortama deşarj suyu kalitesinde arıtılmış su eldesi ve konsantre atık minimizasyonu sağlanmıştır. Literatürde sızıntı suyunun

arıtımı üzerine DTMD sistemi ile yapılmış çalışmaların olmaması da, konunun hem nitelik hem de içerik bakımından özgünlüğünü arttırmaktadır.

BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Sızıntı Suyu

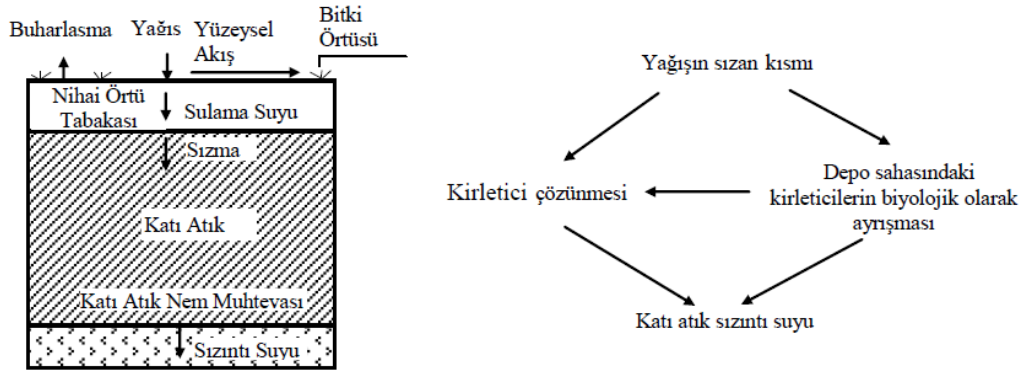
2.1.1. Sızıntı suyu oluşumu

Çöpteki biyolojik olarak bozunabilir organiklerin mikrobiyal bozunması sonucu su açığa çıkar. Bu da, sızıntı suyu üretimi için çöp nemine katkıda bulunur. Biyokimyasal su, hem aerobik hem de anaerobik su reaksiyonundan oluşur. Genel olarak, aerobik şartta bozunma anaerobik şarttakinden daha hızlıdır (Hui, 2005).

Sızıntı suyu oluşumu; su mevcudiyeti, doğrudan çökelme, yüzey akış, çöp bozunması ve sıvı atıkla beraber uzaklaştırılmayı içermektedir (Lu ve diğ., 1985; Hui, 2005). Çökelme, yüzey akış, suyun deponi örtüsünden çöp tabakaları içerisine süzülmesine yol açar. Sızıntı suyu oluşumunu etkileyen; miktar, yoğunluk, sıklık ve süre gibi 4 yağmur karakteristiği vardır (Hui, 2005). Yağmur suyu miktarı; yıllık ortalama, sezonluk ortalama, aylık ortalama ve haftalık ortalama yağmur verileriyle analizlenir. Yağmur yoğunluğu, yüzey toprak partikülleri üzerinde yağmur damlalarının etkisini etkilemektedir (Lu ve diğ., 1985; Hui, 2005). Böyle bir etki, sızıntı suyunun süzülme oranlarını değiştirerek üretilen sızıntı suyu miktarını değiştirebilir. Yağmur sıklığı ve süresi de, süzülme ve yüzey akış üzerindeki etkileriyle sızıntı suyu oluşumunu etkiler (Hui, 2005).

Katı atık depo sahasına düşen yağış sularının, buradaki katı atık kütlesi arasından süzülmesi esnasında çeşitli kimyasal ve biyolojik reaksiyonlar gerçekleşir. Bunun sonucu olarak, inorganik ve organik bileşikler atıktan sızıntı suyuna geçer. Katı atık ve sızıntı suyu arasındaki bu etkileşimler, Şekil 2.1.'de basit olarak ifade edilmektedir.

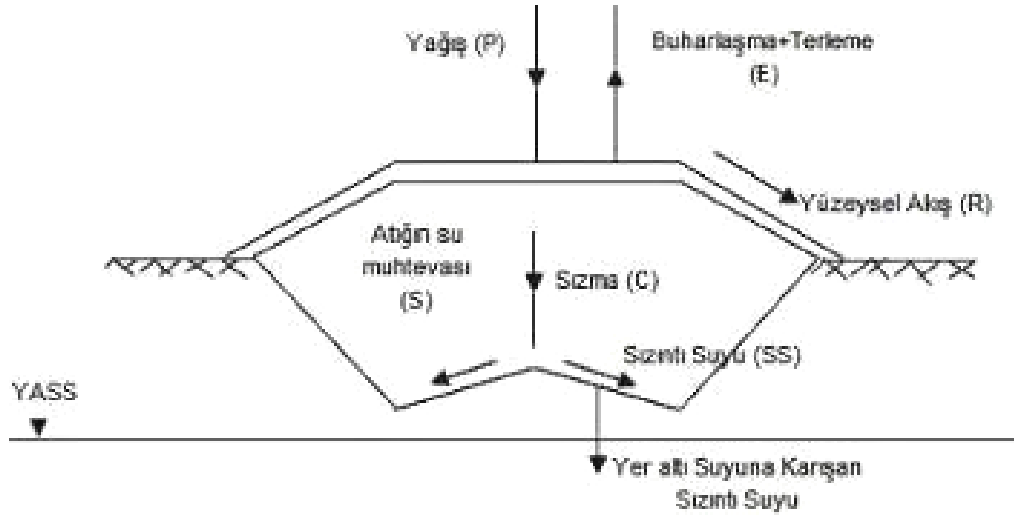
Depo gövdesinde gerçekleşen söz konusu bu tür karmaşık reaksiyonların son ürünleri, sızıntı suyu ve depo gazı ile taşınır. Sızıntı suyu, çok sayıda bileşen içerir ve kalitesi çok değişkendir. Sızıntı suyu kalitesi izlenerek, bir depolama sahasındaki atığın yaşı ya da stabilizasyon durumu hakkında önemli bilgiler elde edilebilir.



Şekil 2.1. Sızıntı suyu oluşumu ve katı atıklardan sızıntı suyuna kirlenici geçişi (Öztürk, 2010)

2.1.2. Sızıntı suyu miktarı

Sızıntı suyu miktarı; ampirik veri veya kriterler ya da yağış, buharlaşma, yüzeysel akış ve atığın su muhtevası bileşenleri dikkate alınarak, atık hücreleri üzerinde kurulacak su dengesi yöntemi ile tahmin edilir. Atık özellikleri, iklimsel özellikler, depolama alanı işletme yöntemi vb. şartlar, sızıntı suyu miktarını önemli oranda etkiler. Depolama sahasına özel verilerle, bir katı atık düzenli depolama tesisi için su dengesi Şekil 2.2.'deki gibi kurulabilir:



Şekil 2.2. Bir katı atık düzenli depolama tesisi için su dengesi (Vesilind ve diğ., 2002)

$$SS = C \pm S - E = P.(1 - R) - S - E$$

Burada;

C : Atık deposu gövdesine sızan yağış suyu (= $P.(1-R)$), mm/yıl

P : Yağış yüksekliği, mm/yıl

R : Yüzeysel akış katsayısı, mm/yıl

S : Atık yığını (hücre) bünyesinde tutulan su, mm/yıl

E : Depo yüzeyinden buharlaşma ve terleme, mm/yıl

SS : Oluşması beklenen sızıntı suyu, mm/yıl

Üst örtü tabakası ve atık yığını bünyesinde tutulan yağış suyu miktarı hesaplarında, arazi kapasiteleri esas alınır (Vesilind vd., 2002).

Katı atık düzenli depolama tesisi sızıntı suyu miktarı; nihai üst örtü tabakasının geçirimsizlik derecesi, iklim şartları, katı atık bileşimi, depo yaşı vb. faktörlere bağlı olarak değişir. Avrupa'nın çeşitli ülkelerinde kaydedilen sızıntı suyu miktarları Tablo 2.1.'de verilmiştir (Hjelmar vd., 1995). Almanya'daki 15 tesiste açığa çıkan sızıntı suyu miktarları da Tablo 2.2.'de görülmektedir (Ehrig, 1983). Tablolardan görüldüğü üzere, sızıntı suyu miktarı kurak ve sıcak iklimli yerlerde düşük, yağışlı bölgelerde ise yüksektir. Ayrıca, nihai örtü tabakasının teşkil edilip edilmediği ve geçirimsizlik derecesi de sızıntı suyu miktarını önemli oranda etkilemektedir.

Tablo 2.1. Avrupa ülkelerinde kaydedilmiş sızıntı suyu miktarları (Hjelmar vd., 1995)

Ülke	Sızıntı Suyu Miktarı
İsveç	Ülke ortalaması 250-300 mm/yıl. Kil nihai üst örtü tabakası ile kaplı 10-40 mm/yıl
Danimarka	350 mm/yıl- işletme sırasında (yıllık yağış yüksekliği 714 mm/yıl)
Almanya	Yağışın %4-35'i (yıllık yağış yüksekliği 510-1160 mm) Düşük değerler genç, yüksek değerler ise yaşlı tesisler için
İspanya	7 mm/yıl (400 mm/yıl) yağış için
İtalya	82 mm/yıl
Yunanistan	40-60 mm/yıl (387 mm/yıl) yağış için
İngiltere	Yıllık yağışın %24-60'ı (yıllık yağış için)

Tablo 2.2 Almanya'daki bazı katı atık depolama tesislerinde açığa çıkan sızıntı suyu miktarları (Ehrig, 1983)

Tesis No	Toplam Yağış (mm/yıl)	Yağışın Sızan Kısımı (%)	Sızıntı Suyu (m³/sa.yıl)	Açıklama
Çelik Tekerli Kompaktörlerle Sıkıştırma				
1	652	15,1	2,7	Üzeri örtülü ve bitkilendirilmiş
2	651-998	12,2-29,8	3,2-8,1	
3	651-998	16,9-21,6	3,0-5,9	
4	632	16,3-18,3	2,8-3,2	
5	509	16,8	2,3	Çok genç depo, üzeri killi toprakla örtülü sızıntı suyu geri devirli
6	556-1057	15,6-19,6	2,6-5,1	
7	770	3,3-7,2	0,7-1,1	
8	-	22	3,8	Sızıntı suyu geri devirli
9	-	38	6,7	
Paletli Traktörlerle Sıkıştırma				
10	571	31,3	4,9	Killi toprakla örtülü
11	571	4,4	0,4	
12	501-728	25-48,2	5,3-8,3	Üstü örtülü ve bitkilendirilmiş
13	632	32,3	5,9	
14	565-655	39,2-42	6,1-7,5	
15	636	19,1-21,4	3,5-3,7	

İstanbul katı atık düzenli depolama alanlarındaki üzeri kapatılmamış, aktif hücrelerden oluşan sızıntı suyu miktarı 10-12 m³/sa.gün'dür (Öztürk, 2010). Atık özelliği ve depo sahası işletmeciliğine de bağlı olarak oluşan bu değerler, Avrupa ülkeleri ve ABD ile mukayese edilebilir değildir. Halbuki sızıntı suyu oluşumunun, yıllık yağış yüksekliğinin %15-50'si aralığında olması beklenir. Akdeniz iklimi

kuşağında sızıntı suyu oluşumu için 0,15-0,20 m³/t KA değerleri verilmektedir (Fadel vd., 2002).

ABD New York eyaleti düzenli depolama sahalarında oluşan sızıntı suyu miktarı 20-30 m³/sa.yıl aralığında seyretmektedir. İstanbul'da üzeri kapatılmamış atık hücrelerinden ortaya çıkan sızıntı suyu miktarı 20-30 m³/sa.gün'dür. Bursa Katı Atık Düzenli Depolama sahasında aktif hücrelerden oluşan sızıntı suyu miktarı da 10-12 m³/sa.gün'dür. Sızıntı suyu miktarının azaltımında, daha küçük hücrelerde çalışma, sahadaki boş hücrelerden gelen yağış sularını ayırma, ambalaj atıkları ve biyobozunur atıkları geri dönüştürerek düzenli depolamaya giden atık miktarını azaltma, dolan hücrelerin üzerini düşük geçirimsilikte, eğimli üst örtü toprağı ile kapatma ve geçirimsiz ve eğimli nihai örtü tabakası teşkili gibi genel tedbirler uygulanmaktadır (Öztürk ve diğ.,2010).

2.1.3. Sızıntı suyu özellikleri

Sızıntı suyu kalitesi oldukça değişken olup birçok endüstriyel atık suya göre daha geniş aralıkta bir kirlilik yüküne sahiptir. Sızıntı suyu kalitesi, depolama alanındaki katı atığın derinliği ve türü, depolama yaşı, geri devreden sızıntı suyunun oranı, depolama alanı tasarımı ve işletilmesi, sızıntı suyunun çevresel etkileşimi gibi birbirine tesir eden pek çok faktöre bağlı olarak değişmektedir.

Sızıntı suyunun bileşimi; katı atık bileşimi, pH, redoks potansiyeli, iklim şartları ve depo yaşına göre farklılıklar gösterir. Katı atık kompozisyonu, sızıntı suyu bileşimi ve dolayısıyla sızıntı suyunun arıtılabilirliğini etkiler. Sızıntı suları, katı atıkların ana bileşenlerinden kaynaklanan birçok element ve bileşiği ihtiva etmektedir. Ortamın pH'ı, atık ile sızıntı suyu arasındaki çözünme, çökelme, redoks ve tutma reaksiyonları gibi kimyasal prosesleri etkiler. Redoks potansiyeli ise, sızıntı suyundaki nutrientlerin ve metallerin çözünürlüğünü etkilemektedir.

Depo yaşı, depo sahasındaki havasız arıtma kapasitesine bağlı olarak, sızıntı suyu karakterini etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Genç depo alanlarında oluşan

sızıntı sularında, biyolojik olarak kolay ayrışabilen uçucu yağ asitleri oranı yüksektir. Depo yaşı arttıkça biyolojik ayrışma tamamlandığından, kolay ayrışabilen organik maddelerin oranı düşer. Bu sebeple, genç depo alanlarındaki sızıntı sularında $BOİ/KOİ > 0,5$ iken yaşlı depo alanlarındaki sızıntı sularında $BOİ/KOİ < 0,2$ 'dir. 2-3 yıllık depolama alanlarında özellikle organik maddeler, mikroorganizma türleri ve inorganik kirlilik yükleri maksimuma ulaşır. Sızıntı suyu, organik ve inorganik iyonlar ile metaller dışında mikrokirleticileri de içerebilmektedir. Tablo 2.3.'de sızıntı suyu özellikleri verilmiştir.

Tablo 2.3. Sızıntı suyu özelliklerinin depo yaşı ile değişimi (Chain ve De Walle,1997)

Parametre	1. Yıl	5. Yıl	16. Yıl
pH	5,2-6,4	5,0-6,6	5,6-6,1
KOİ	10000-40000	8000	400
BOİ ₅	7500-28000	4000	80
TOK	7300-16350	83-9150	108-3080
NH ₃ -N	56-482	36	10
Top-P	25-35	12	8
Toplam Katılar	10000-33000	718-18400	1920-5350
Toplam Uçucu Katılar	5350-20330	124-10300	770-3300
Alkalinite	600-800	1330	70
Klorür	620-1880	5,3-730	115-193
Cd	-	<0,05	<0,05
Mn	75-125	0,06	0,06
Cu	-	<0,5	<0,5
Fe	210-325	6,3	0,6
Pb	-	0,5	1
SO ₄	400-650	2	2
Zn	10-30	0,4	0,1

pH hariç tüm birimler mg/L'dir.

Genel olarak sızıntı suyu, KOİ ve BOİ olarak ölçülen organik kirleticiler, halojenleştirilmiş hidrokarbonlar, ağır metaller ve amonyak tarafından yüksek oranda kirlenmiştir (Trebouet ve diğ., 2001). Sızıntı sularının karakteristiğinde göze çarpan en önemli parametreler organik kirlilik ve azotlu bileşiklerdir (İlhan vd., 2007). Azot, sızıntı suyundaki önemli kirleticilerden birisidir. Sızıntı suyundaki Toplam Kjeldahl Azotu (TKN) konsantrasyonunun yapılan çalışmalarda 10-800 mg/L (Tchobanoglous ve diğ., 1993) ve 50-5000 mg/L aralığında olduğu belirtilmiş olup ortalama 1350 mg/L düzeylerinde olduğu bildirilmiştir. NH₃, TKN'nin önemli bir kısmıdır. Sızıntı

suyu ayrıca genellikle yüksek konsantrasyonlarda sodyumklorit ve karbonatlar gibi inorganik tuzları içermektedir. Bazı araştırmacılar, humik tipte maddelerin sızıntı suyu organik maddesinin önemli bir grubunu oluşturduğunu bildirmişlerdir (Trebouet ve diğ., 2001). Deponideki endüstriyel atığın birlikte uzaklaştırılması sızıntı suyu üzerinde ters etki yapabilir. Endüstriyel atığın içeriği, fiziksel karakteristiği ve çevresel bozunma potansiyeli oldukça değişkendir (Lu ve diğ., 1985; Hui, 2005). Endüstriyel atığın eklenmesi, sızıntı suyunda, evsel çöp sızıntı suyunun başlangıç içeriğinden fazla değişik toksik elementlerin oluşmasına yol açabilir. İz metaller ve ağır metallerce yüksek olan endüstriyel çamurun eklenmesi, sızıntı suyunda, yüksek metal konsantrasyonlarına yol açar (Hui, 2005).

2.1.4. Sızıntı suyu arıtma yöntemleri

Sızıntı suyunun miktar ve kompozisyonu; depolanan katı atığın özellikleri, depolama tekniği, yörenin sıcaklık ve nem koşulları gibi faktörlere bağlı olarak önemli farklılıklar göstermektedir. Yüksek organik madde, azot, ağır metal, sülfat, klorür, toksik madde vb. içeren sızıntı suları (Dölgen, 1996). çöpten taşınarak yüzey sularına ve yeraltı sularına ulaştığında onları kirletebilme potansiyeline sahiptir (Hui, 2005).

Sızıntı sularının alıcı ortama zarar vermeden uzaklaştırılması amacıyla genel olarak biyolojik (aerobik veya anaerobik) ve fizikokimyasal arıtma yöntemleri (kimyasal oksidasyon, membran prosesler, aktif karbon adsorpsiyonu, pıhtılaştırma-yumaklaştırma vb.) kullanılmaktadır. Birçok ülkede ise depolama alanlarında oluşan sızıntı suları ile kentsel atık suların birlikte arıtılması tercih edilmektedir. Ülkemizde sızıntı sularının evsel atık sularla birlikte arıtılıp arıtılamayacağı konusunda yapılan çalışmalar mevcuttur (Yalılı vd., 2006; Kurt vd., 2009).

Ayrıca sızıntı suyunun depolama alanına geri döndürülmesi; böylelikle hem buharlaşma yoluyla miktarının azaltılması hem de depolama alanının kapalı bir reaktör gibi davranarak belli oranda arıtma yapması sağlanmaktadır. Alıcı ortam deşarj standartlarının sıkılaştırılması gibi faktörlerin de etkisiyle, belirtilen arıtma

yöntemlerinin tek başlarına uygulanması yerine (ör. anaerobik arıtma+aerobik arıtma veya anaerobik arıtma+fizikokimyasal arıtma vb.) birkaçının beraberce kullanılması önerilmektedir (Dölgen, 1996).

Sızıntı suları, kanalizasyon sisteminin mevcut olduğu yerlerde Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nde belirtilen deşarj değerlerini sağlamak koşuluyla bu sistemlere deşarj edilebilir. Kanalizasyon sistemine deşarj edilen sızıntı suları sonuçta merkezi bir arıtma tesisinde işlem gördükten sonra alıcı ortama deşarj edilerek veya herhangi bir arıtma yapılmaksızın derin deniz deşarjı sistemini takiben alıcı ortama verilir (Dölgen, 1998).

2.2. Membran distilasyon prosesi (MD)

Membran distilasyonu bir hidrofobik mikro gözenekli membran boyunca eş zamanlı kütle ve ısı transfer olaylarından kaynaklanan ayırma prosesidir. MD konfigürasyonlarından birisi olan Direct temas membran distilasyon (DTMD), yapısı, tasarım ve proses işleminin basitliğinden dolayı en yaygın kullanılan işlem modudur. DTMD işleminde, soğuk su akımı, doğrudan süzüntü suyun yoğunlaştırılması için diğer tarafta akarken zararlı kirletici maddeler ile tuzlu su, hidrofobik gözenekli membranın tarafına geçirilir. Kütle transferi membranın sıcak ve soğuk tarafı arasında kısmi buhar basınç farkı oluşmasından dolayı akı oluşur (Yarlagadda ve diğ. 2011).

2.2.1. Membran distilasyon prosesi avantajları

Distilasyon ve diğer membran teknolojileri üzerinden membran distilasyon işleminin avantajı şu şekilde açıklanabilir: düşük sıcaklık işlemi (proses atık ısı ve düşük dereceli yenilenebilir enerji kaynakları kullanmak için uygundur) ve daha düşük ısı kayıpları (nedeniyle ünitenin küçük yüzey alanına enerji tasarruflu); hacim oranı yüksek yüzeye bağlı en küçük ekipman boyutu; distilasyon ünitelerine kıyasla daha az buhar hız ve alan; atmosfer basıncında çalışan ısı sürücülü proses ters osmoza karşı başlıca enerji tüketen ve çok daha yüksek atmosfer basıncında da çalışır; %100 (Teorik) rejeksiyon iyonların, makromoleküler, kolloidler, hücreler ve diğer uçucu

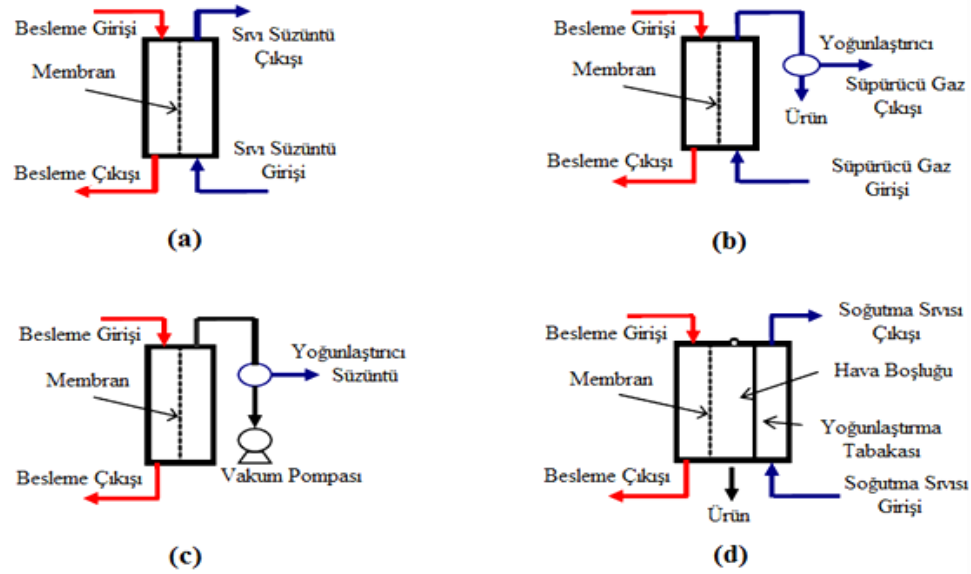
olmayan bileşenler; mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, ters osmoz gibi basınç sürücülü prosesler süzüntü akı oranları ve yüksek seviyeler rejeksiyonları gibi erişim göstermeyen kıyaslanabilir; düşük işletme basınçlarından dolayı daha az mekanik talepler; sadece sıcak ve soğuk sıvılar ayırmak için bir bariyer görevi daha az kirlenme ve daha çok kimyasal dirençli membranlar (politetrafloroetilen (PTFE), polipropilen (PP) ve ployvinylidenedifluoride (PVDF)); (Yarlagadda ve diğ.2009, Lawson ve Lloyd 1997).

2.2.2. Membran distilasyon prosesi dezavantajları

Membran distilasyon prosesinin en temel dezavantajı membran ıslanması sorunudur. Micro gözenekli membranların ıslanabilirliği üç ana faktör etkilidir: proses çözeltisinin yüzey gerilimi, membran malzemesi ve membran yapısı. Membran ıslanmasını üstesinden gelmek için: proses çözelti suyu yeterince seyreltik olmalıdır. Bu kısıtlamalar MD için bazı uygulamalar desalinasyon, iyonik koloitler veya diğer uçucu olmayan sulu çözeltilerin konsantrasyonu ve atık sulardan uçucu organik bileşiklerin uzaklaştırılmasıdır (Qtaishat, 2008).

2.2.3. Membran distilasyon konfigürasyonları

MD konfigürasyonları direkt temas membran distilasyonu (DTMD), hava geçişli membran distilasyonu (HGMD), vakum membran distilasyonu (VMD) ve süpürücü gaz membran distilasyonu (SGMD) olarak adlandırılır. Farklı buhar basıncı üretim tarafında doğrudan süzüntünün konsantrasyonunu düşürerek kurulur (Winter ve diğ.,2011). MD konfigürasyonları Şekil 2.3.'de gösterilmiş olup avantaj ve dezavantajları Tablo 2.4.'de verilmiştir.



Şekil 2.3. MD membran prosesi konfigürasyonları (a) DTMD (b) SGMD (c) VMD (d) HGMD (Qtaishat ve Banat, 2013)

2.2.3.1. Direkt temas membran distilasyonu (DTMD)

DTMD, zarın her iki tarafı ile doğrudan temas eden sıvı fazdan oluşan en eski ve en yaygın olarak kullanılan bir prosestir. Difüzyon buhar yolu membran kalınlığı sınırlıdır böylece kütle ve ısı transferi dirençleri azalır. Gözeneklerde yoğunlaşma, membranı boyunca uygun sıcaklık farklılıkları seçilerek önlenir.

DTMD uygulamasında membran matrisi yoluyla iletilen ısı kayıpları, membran yüzeyleri ve besleme (sıcak) ve süzöntü (soğuk) çözümleri arasında sürekli temas nedeniyle varlığı diğer konfigürasyonlara göre daha yüksektir (Qtaishat ve Banat, 2013).

2.2.3.2. Hava geçişli membran distilasyonu (HGMD)

HGMD’nda membran ve yoğunlaşma yüzeyi arasında yer alan ek bir hava boşluğu vardır. Bu daha yüksek ısı ve kütle transferi dirençlerine sebep olmaktadır. Hava geçişli membran konfigürasyonu kullanımı daha büyük direnç transferlerinin bir bölümünü telef edebilirken membran boyunca daha büyük sıcaklık farklılıkları uygulanmasına olanak sağlar (Qtaishat ve Banat, 2013).

2.2.3.3. Vakum membran distilasyonu (VMD)

Vakum membran distilasyonu konfigürasyonunda buhar süzöntü tarafında bir vakum uygulanarak çıkarılır. Süzöntü bölümündeki basınç buharlaştırma türlerin doyma basıncından daha düşüktür ve süzöntünün yoğunlaşması modülün dışında gerçekleşir (Qtaishat ve Banat, 2013).

2.2.3.4. Süpürücü gaz membran distilasyonu (SGMD)

Süzöntü buharı membranın süzöntü tarafına geçerken inert gaz akımı kullanılarak çıkarılır. Yoğunlaştırma dışarıdan yapılır ve buhar akımı ve süpürücü gaz geniş hacim içerir (Qtaishat ve Banat, 2013).

Tablo 2.4. MD'nin farklı konfigürasyonlarının avantaj ve dezavantajları (Drioli, ve diğ.,2015)

Konfigürasyon	Avantaj	Dezavantaj
DTMD	Pratikte uygulama için basit ve kolay, VMD'ye göre akış stabil, yüksek çıkış oranı eldesi, uçucu bileşiklerin giderimi	İdeal operasyon şartları altında akı VMD'ye göre düşüktür, termal polarizasyon bütün konfigürasyonlara göre en yüksektir, ısı kaybı diğer konfigürasyonlara göre daha fazla, termal etkinlik diğerlerine oranla daha küçüktür ve membranda sızıntı veya ıslanmayı tespit etmek kolay değil
SGMD	Termal polarizasyon düşük, süzöntü tarafından ıslaklık olmaması, süzöntü kalitesine membran ıslaklığının bağımlı olmaması	Süzöntünün harici bir yoğunlaştırıcıda toplanması, önemli süzöntü miktarına ulaşabilmek için büyük süpürücü gaz akışı gereksinimi ve gaz taşınması ile ilgili ekstra maliyet harcanması, sıcaklık geri kazanımı zor, düşük akı, süpürme gazının ön arıtımına ihtiyaç duyulması
VMD	Yüksek akış, aromatik bileşikler ve bağlı maddelerin geri kazanımı, bazı ıslaklığa rağmen süzöntü kalitesinin stabil olması, süzöntü tarafından ıslaklığın olabilirliği, yüksek termal etkinliği, kütle akısı genellikle diğer MD konfigürasyonlarından daha büyük	Gözenek ıslaklığının yüksek ihtimal olması, yüksek kirlilik, uçucu bileşiklerde minimum seçicilik, ilave yoğunlaştırıcı, vakum pompası gereksinimi
HGMD	Oldukça yüksek akı, düşük termal kayıplar, süzöntü tarafında ıslaklık olmaması, DTMD'den daha büyük termal etkinlik, ürün kompozisyonu analiz edilerek bir membran sızıntısı veya ıslanması olup olmadığına karar vermek kolay	Hava boşluğundan taşınım süreci genellikle kontrol edici basamağı, hava boşluğu buharlara karşı ek direnç gösterir, modül dizaynı zor, çıkış oranının düşük olması

2.2.4. Membran distilasyon uygulamaları

Membran distilasyonu birbirinden farklı tuzsuzlaştırma teknolojileri arasında düşük enerji ihtiyacı, düşük işletme basıncı ve sıcaklığı, ters osmoz ve distilasyon gibi geleneksel teknolojilere göre daha düşük maliyetli bir alternatif olması ile ön plana çıkmaktadır (Pangarkar ve diğ., 2011).

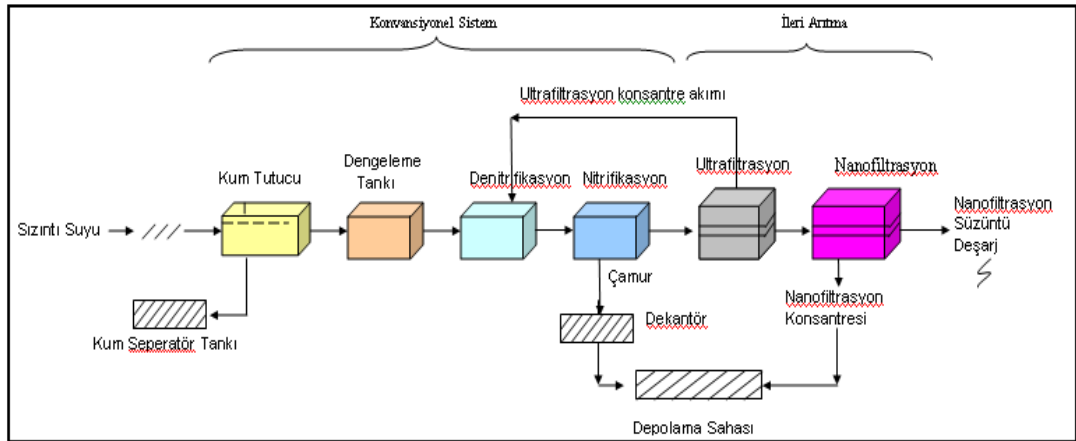
Genellikle MD, RO ve diğer termal desalinasyon teknikleri sınırlı geri kazanımın üstesinden gelmek için bir alternatif olarak desalinasyon giderme amacıyla kullanılmıştır (Adham ve diğ.,2013). Ayrıca MD, mevcut çok güneş enerjisi ile bölgede olan kurak bölgelerde uygulanabilir olarak kabul edilmiştir böylece daha fazla sınırlandırıcı desalinasyon için çoğunlukla uygulanır (Qtaishat ve Banat, 2013).

BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Sızıntı Suyu

Çalışmada kullanılacak olan sızıntı suyu numuneleri, Kocaeli İZAYDAŞ Katı Atık Depolama alanından oluşan sızıntı suyu atık su arıtma tesisinden alınmıştır. Tesis kapasitesi yaklaşık 500 m³/gün'dür. Mevcutta uygulanan sızıntı suyu arıtma tesisinde, depolama sahasından gelen sızıntı suyu, ilk olarak kum tutucu işlemine tabi tutulmaktadır. Bu işlem sonrasında sızıntı suyu önce biyoreaktör ünitesine iletilmektedir. Biyoreaktör ünitesi, aerobik ve anoksik (Nitrifikasyon ve Denitrifikasyon) olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır. Daha sonra sızıntı suyu, ileri arıtma metotlarından ultrafiltrasyon ve nanofiltrasyon membranlarından geçirilerek deşarj edilmektedir. Sızıntı suyu arıtımına ait uygulanan genel proses akım şeması Şekil 3.1.'de verilmektedir. Deneyler, biyoreaktör ünitesi sonrasında alınan sızıntı suyu ve kaba filtreden geçirilmiş sızıntı suyu olmak üzere iki farklı formda sistemlerde çalışılmıştır.



Şekil 3.1. Sızıntı suları için İZAYDAŞ mevcut arıtma tesisi akım şeması

Deneyler biyoreaktör çıkışı alınan sızıntı suyu ve kaba filtreden geçirilmiş sızıntı suyu olmak üzere iki farklı formda sistemlerde çalışılmıştır. Farklı zamanlarda alınmış olan biyoreaktör çıkışı sızıntı sularının ortalama değerleri ve standart sapmaları hesaplanmıştır. Buna göre biyoreaktör çıkışı sızıntı suyunun karakterizasyon sonuçları Tablo 3.1.'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Sızıntı suyu numunelerinin karakterizasyonu

Parametreler		Biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu	Kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu ortalama değerler
Sıcaklık (°C)		25	25
pH		8,39	8,28 ± 0,25
İletkenlik (µS/cm)		13980	12826 ± 3847
TÇK (mg/L)		7850	9553 ± 2390
KOl(mg/L)		1044	1294 ± 133
TOK(mg/L)		970	1057 ± 358
Klorür (mg/L)		3154	1163 ± 605
Sülfat (mg/L)		275	75 ± 14
	CO ₃	350	9,47 ± 6,40
Alkalinite	HCO ₃	2263	1567 ± 260
(mg/L)	Toplam	2613	1573 ± 265
NH ₃ (mg/L)		71	57 ± 19
TN (mg/L)		95	63 ± 30
Fe II (mg/L)		2,27	2,24 ± 0,43
Fe III (mg/L)		13,44	11,17 ± 3,09
Yağ & Gres (mg/L)		760	178 ± 128
AKM(mg/L)		75	43 ± 34
Renk(abs)	436 nm	1,208	1,038 ± 0,196
	525 nm	0,429	0,335 ± 0,087
	620 nm	0,167	0,118 ± 0,095
Bulanıklık(NTU)		15,60	14,85 ± 11,04
Yoğunluk (g/cm ³)		1,005	1,007 ± 0,001
Viskozite (mPa.s)		0,88	0,91 ± 0,10

Tablo 3.1. (Devamı)

Parametreler	Biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu	Kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu ortalama değler
Toplam Kjeldahl -Azotu (mg/L)	539,84	117,81 ± 58,63
Toplam Fosfor (mg/L)	7,25	7,85 ± 4,54
Toplam Krom (mg/L)		1,55 ± 0,63
Krom (mg/L)	3,75	3,70 ± 3,47
Kurşun (mg/L)		0,15 ± 0,01
Toplam Siyanür (mg/L)	0,265	0,63 ± 0,86
Kadmiyum (mg/L)	0	0,18 ± 0,13
Florür (mg/L)	-	0,00 ± 0,00
Bakir (mg/L)	0,27	0,15 ± 0,14
Çinko (mg/L)	0,93	1,89 ± 1,42

3.1.2. Çalışmalarda Kullanılan Membranlar

Deneysel çalışmalarda kullanılan UF membranlarına ilişkin bilgiler Tablo 3.2.'de, DTMD membranlarına ilişkin bilgiler Tablo 3.3.'de verilmiştir.

Tablo 3.2. Çalışmada kullanılan UF membranlarının özellikleri

Proses	Membran türü	Üretici firma	Malzeme ^a	MWCO ^b (kDa)	pH	T ^b (°C)
UF	UP020	MicrodynNadir	PES	20000	0-14	95
	UH050	MicrodynNadir	PES	50000	0-14	95
	UV150	MicrodynNadir	PVDF	150000	2-11	95

^a PES: Polietersülfon, PVDF: Polivinilidenflorit

^b Molecular weight cutt-off'ın kısaltması olarak MWCO membranın, kirletici molekül boyutu üzerinden ayırma büyüklüğünü, sıcaklığın sembolü olarak T membranın azami işletme sıcaklığını ifade eder.

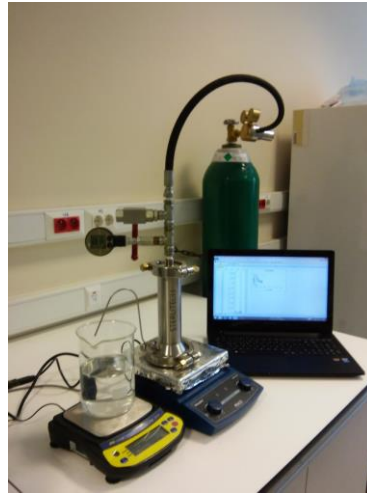
Tablo 3.3. Çalışmada kullanılan MD membranlarının özellikleri

Membran	Üretici firma	Teknik özellikler			
		Gözenek boyutu (μm)	Kalınlık (μm)	Temas açısı ($^{\circ}$)	Sıvı giriş basıncı (LEP, kPa)
PTFE	Membrane solutions	0.22	160 $\pm$ 40	121 $\pm$ 10	121.3 $\pm$ 2.5
PTFE		0.45	160 $\pm$ 40	126 $\pm$ 10	81.1 $\pm$ 2.5
PTFE		1.00	160 $\pm$ 40	123 $\pm$ 10	131.4 $\pm$ 2.5
PVDF		0.22	100 $\pm$ 10	68 $\pm$ 10	58 $\pm$ 2.5
PVDF		0.45	100 $\pm$ 10	81 $\pm$ 10	47.5 $\pm$ 2.5
PVDF		1.00	100 $\pm$ 10	84 $\pm$ 10	22.5 $\pm$ 2.5

3.1.3. Deneylerde Kullanılan Sistemler

3.1.3.1. UF Deney Sistemleri

Membran filtrasyon deneyleri Şekil 3.2. ve Şekil 3.3.'deki sistemlerde yürütülmüştür.



Şekil 3.2. Kesikli işletimli basınç sürücülü membran sistemi

Basınç sürücülü sistemin kesikli işletimleri için yürütülmüş deneylerde, sterlitech tezgâh üstü çapraz akış membran filtrasyon sistemleri kullanılmış olup, tezgâh üstü

kesikli işletimli membran sisteminin genel görünümü Şekil 3.2.'deki gibidir. Sistemin toplam çalışma hacmi 300 mL ve efektif membran yüzeyi 14,6 cm²'dir.

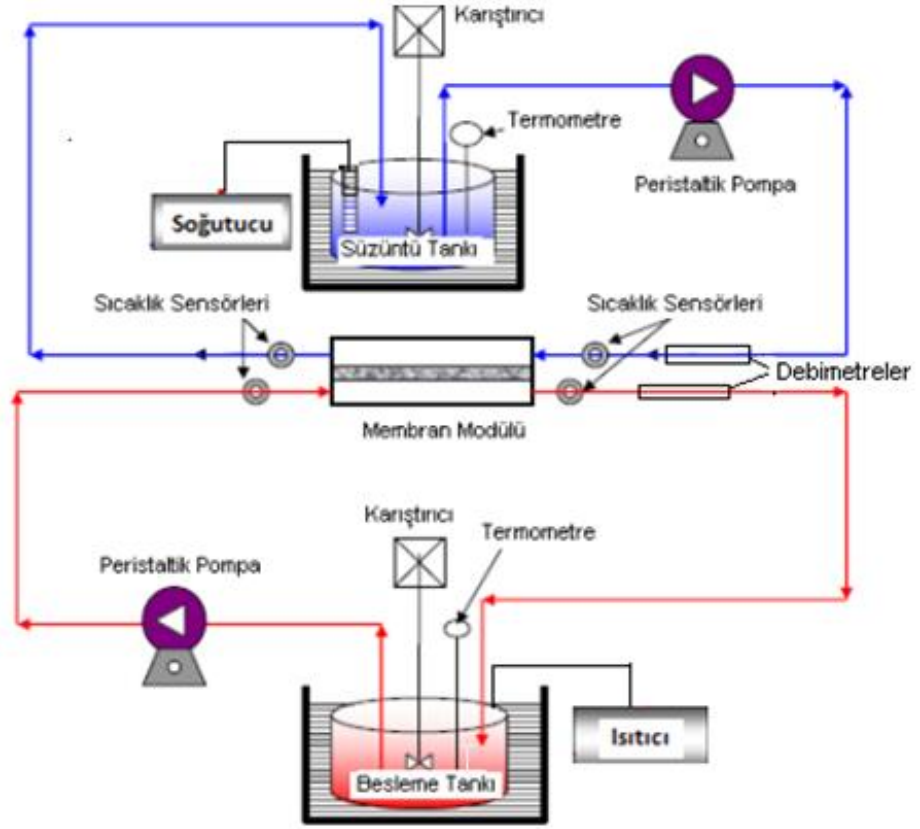


Şekil 3.3. Sürekli işletimli basınç sürücülü membran sistem

Çalışma şartları belirlendikten sonra, Şekil 3.3.'de verilen 12 L atık su besleme hacmi kapasitesine sahip olup, % 80'e varan seviyelerde su geri kazanım oranlarında proses işletimi yüksek basınçlı çapraz akış membran filtrasyon sistemleri kullanılarak yerine getirilmiştir.

3.1.3.2. DTMD deney sistemi

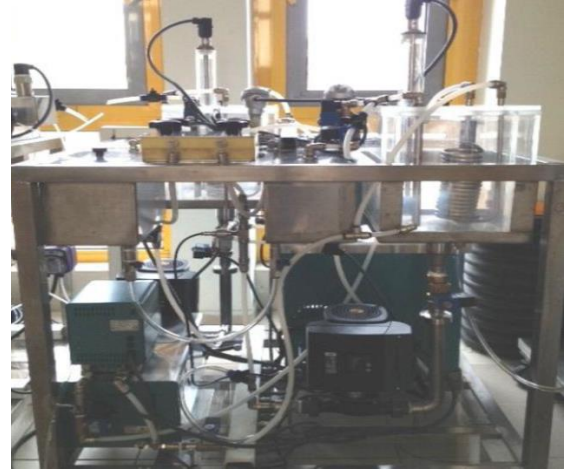
Kesikli DTMD deneylerinde kullanılan sistemin şematik gösterimi Şekil 3.4.'de ve sistemler Şekil 3.5a.'da ve Şekil 3.5b.'de gösterilmiştir. Şekil 3.4.'den de görüldüğü üzere besleme tankına sızıntı suyu, süzüntü tankına distile su konulmuştur. Membran modülüne yerleştirilen düz tabaka membran ile çözeltilerin birbirine karışması önlenmiştir. Peristaltik pompalar (Cole-Parmer Masterflex B/T) aracılığıyla sistem kesikli çalışmada çapraz akışlı olarak işletilmiştir. Çalışma, debi ölçerler sayesinde akış hız kontrolleri sağlanarak, hem ısıtıcı hem de soğutucu özelliğe sahip su banyoları vasıtasıyla istenilen sıcaklık farklarında gerçekleştirilmiştir. Membran modülü sıkıştırıcısı ile modülden olabilecek olası çözelti kaçakları önlenmiştir.



Şekil 3.4. Kesikli DTMD deneylerinde kullanılan sistemin şematik gösterimi



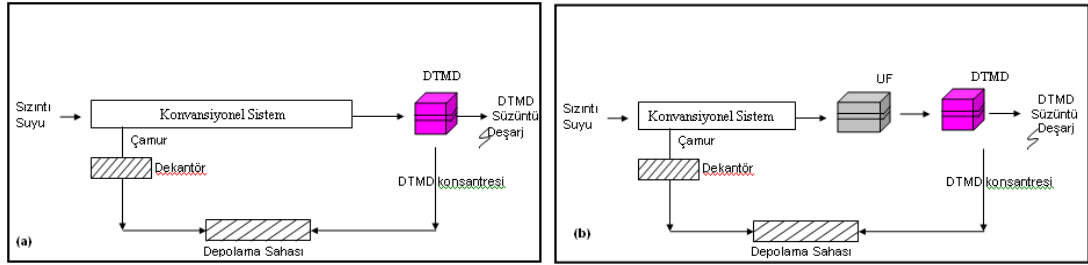
(a)



(b)

Şekil 3.5. DTMD deney sistemleri a) kesikli pompaj b) sürekli pompaj

Sistemde, sızıntı suyu ısıtılarak, distile su ise soğutularak sıcaklık farkı oluşturulmuştur. Sıcaklık farklarında, çapraz akışlı olarak işletilen kesikli sistem için öngörülen membranın aktif yüzeyinden geçen sızıntı suyundan çıkan buhar, membran porlarından geçerek soğuk distile su içerisine yoğunlaştırılmaktadır. Bu sayede yüksek saflıkta süzüntü distile suya geçerek tutulmuş, sızıntı suyu ise konsantre edilmiştir. Daha sonra sistem izleme parametreleri sonucu doğrultusunda sızıntı suyu geçen su hacmi ve su akışı eğrileri oluşturularak kesikli sistem için öngörülen işletme parametrelerinin tespiti çalışması yapılmış ve sistem performansı değerlendirilmiştir.



Şekil 3.6. Sızıntı suları için önerilen arıtma tesisi akım şemaları a) tek DTMD prosesi b) UF sonrası DTMD prosesi

UF prosesi için Şekil 3.2.'deki kesikli işletimli membran sisteminde ve Şekil 3.6a.'da DTMD prosesi için kesikli deneysel işletimler ile, optimum çalışma şartları bulunarak uzun süreli işletimleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra optimum çalışma şartları bulunmuş UF prosesi ve DTMD prosesi Şekil 3.6b'deki gibi kombine olarak çalışılmıştır. Sızıntı suyunun arıtım performanları su kalitesi analiz sonuçları Tablo 3.4.'de verilen SKKY Tablo 20.6. alıcı ortama deşarj standartları, SKKY Tablo 25. atıksu altyapı tesislerine deşarj standartları ve İSU altyapı tesislerine deşarj standartları kirletici parametreleri ile kıyaslanmıştır.

Tablo 3.4. SKKY’de Tablo 20.6. alıcı ortama deşarj standartları, SKKY Tablo 25 atık su altyapı tesislerine deşarj standartları ve İSU altyapı tesislerine deşarj standartları

Parametreler	SKKY Tablo 20.6. alıcı ortama deşarj standartları	SKKY Tablo 25. atıksu altyapı tesislerine deşarj standartları	İSU altyapı tesislerine deşarj standartları
Sıcaklık (°C)		40	
pH	6-9	6.5-10.0	6-10
İletkenlik (µS/cm)			
TÇK (mg/L)			
Osmolalite			
KOİ (mg/L)	500	4000	800
Süzülmüş			
Süzülmemiş			
TOK(mg/L)			
Klorür (mg/L)			
Sülfat (mg/L)		1700	1700
Alkalinite			
(mg/L)			
NH ₃ (mg/L)			
TN (mg/L)			
Fe II (mg/L)	10		5
Fe III (mg/L)			
Yağ & Gres (mg/L)	10	250	50
AKM(mg/L)	100	500	350
Renk(abs)	260		
Bulanıklık(NTU)			
Yoğunluk (g/cm ³)			
Viskozite (mPa.s)			
Toplam	15		100
Kjeldahl-Azotu (mg/L)			
Toplam Fosfor (mg/L)	1	-	10
Toplam Krom (mg/L)	1	5	
Krom (mg/L)	0,5		5
Kurşun (mg/L)	1	3	3
Toplam Siyanür (mg/L)	0,5	10	10
Kadmiyum (mg/L)	0,1	2	2
Florür (mg/L)	15		
Bakir (mg/L)	3	2	2
Çinko (mg/L)	5	10	5
Balık biyodeneyi (ZRF)	10		

3.2. Yöntemler

3.2.1. Deneysel çalışma esasları

UF prosesinde sızıntı suyunun arıtımında basınç sürücülü sistemin kesikli işletimlerinde Tablo 3.1.'de biyorektör çıkışı ve kaba filtreden süzölmüş sızıntı suyu sızıntı suyunun arıtımında üç farklı UF membranı ön arıtım amacı ile (UV 150, UH 050, UP 020), farklı çapraz akış hızı (300 L/sa, 600 L/sa, 900 L/sa), ve farklı membran geçiş basınç farkı (4, 7 ve 10 bar) deneysel şartlarında Tablo 3.5. ve Tablo 3.6.'daki gibi işletilmiştir ve en uygun işletim parametreleri belirlenmiştir.

Tablo 3.5. Kesikli UF tasarım deneyleri değişkenleri ve seviyeleri

Değişken	Parametre	Açıklaması	Birim	Seviye		
				Düşük (1)	Orta (2)	Yüksek (3)
X1	M_T	Membran türü	–	UP020	UH050	UV150
X2	ν	Çapraz akış hızı	(rpm)	300	600	900
X3	ΔP	Membran geçiş basıncı	bar	4	7	10

Tablo 3.6. UF kesikli işletimli deneyleri için değişkenlerin kodlanmış değerlerini içeren taguchi deneysel tasarım tablosu (L9 3³)

Deney no	Giriş parametreleri			Giriş parametreleri		
	A M_T	B ν	C ΔP	A M_T	B ν	C ΔP
1	1	1	1	UP020	300	4
2	1	2	2	UP020	600	7
3	1	3	3	UP020	900	10
4	2	1	2	UH050	300	7
5	2	2	3	UH050	600	10
6	2	3	1	UH050	900	4
7	3	1	3	UV150	300	10
8	3	2	1	UV150	600	4
9	3	3	2	UV150	900	7

Şekil 3.2.'de görülen kesikli işletimli basınç sürücülü membran sisteminde UF prosesi için belirlenen optimum çalışma koşullarında UV150 membranı ve 7,5 bar'lık basınç ile VRF'ye karşı Şekil 3.3.'de görülen sürekli işletimli basınç sürücülü membran sisteminde Tablo 3.1.'de verilen kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu ile çalışılmıştır. 12 L süzölmüş sızıntı suyu besleme hacminde işletilmiştir.

DTMD prosesinde Tablo 3.1.'deki kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyunun arıtımında Tablo 3.7.'deki deneysel şartlar ve etkileri incelenerek en uygun işletme şartları tespit edilmiştir. PTFE (0,22-0,45-1,0 μm) ve PVDF (0,22-0,45-1,0 μm) membran ve boyutlarında, farklı akış hızlarında (50, 100, 150 ve 200 L/sa), farklı membran geçiş sıcaklık farkı (ΔT :20-30-40 $^{\circ}\text{C}$) ve farklı çözelti sıcaklıklarındaki (60-30, 50-20 ve 40-10 $^{\circ}\text{C}$) deneysel şartlarında 6 saatlik deney süresi boyunca işletilmiştir. Zamana karşı ölçülen parametreler Tablo 3.8.'de verilmiştir. Kesikli işletim deneyleri sonucu uygun işletim parametreleri (membran: PTFE 0.45 μm , sıcaklık: sızıntı suyu (60 $^{\circ}\text{C}$) - distile su (40 $^{\circ}\text{C}$), akış hızı: 200 L/sa (Sızıntı suyu) - 200 L/sa (distile su)) belirlenmiştir.

Tablo 3.7. DTMD prosesinde izlenen işletme parametreleri, değerleri ve kesikli işletim deneysel şartları

İşletme parametreleri	Değerler	Deneysel şartlar
Membran türü ve boyutu	PTFE: 0,22-0,45-1,0 μm PVDF: 0,22-0,45-1,0 μm	<u>Sıcaklık:</u> Sızıntı suyu (60 $^{\circ}\text{C}$)-distile su (30 $^{\circ}\text{C}$) <u>Akış hızı:</u> 200 L/sa (Sızıntı suyu)-200 L/sa (distile su), ΔT : 30 $^{\circ}\text{C}$, <u>Hacim:</u> 4'er L
Çapraz akış hızı	50 L/sa (sızıntı suyu)-50 L/sa (distile su) 100 L/sa (sızıntı suyu)-100 L/sa (distile su) 150 L/sa (sızıntı suyu)-150 L/sa (distile su) 200 L/sa (sızıntı suyu)-200 L/sa (distile su)	<u>Membran:</u> PTFE-0,45 μm <u>Sıcaklık:</u> Sızıntı suyu (60 $^{\circ}\text{C}$)-distile su (40 $^{\circ}\text{C}$), ΔT : 20 $^{\circ}\text{C}$, <u>Hacim:</u> 4'er L
Çözelti sıcaklıkları	Sızıntı suyu: 60 $^{\circ}\text{C}$, Distile su: 30 $^{\circ}\text{C}$, Sızıntı suyu: 50 $^{\circ}\text{C}$, Distile su: 20 $^{\circ}\text{C}$, Sızıntı suyu 40 $^{\circ}\text{C}$, Distile su: 10 $^{\circ}\text{C}$,	<u>Membran:</u> PTFE-0,45 μm <u>Akış hızı:</u> 200 L/sa (Sızıntı suyu)-200 L/sa (distile su), ΔT : 30 $^{\circ}\text{C}$, <u>Hacim:</u> 4'er L
Membran geçiş sıcaklık farkı	Sızıntı Suyu: 60 $^{\circ}\text{C}$, ΔT :20-30-40 $^{\circ}\text{C}$	<u>Membran:</u> PTFE-0,45 μm <u>Akış hızı:</u> 200 L/sa (Sızıntı suyu)-200 L/sa (distile su), <u>Hacim:</u> 4'er L

Tablo 3.8. Deneysel izleme ve analitik yöntemler

Parametre	DTMD prosesi			
	Zamana karşı ölçülecek parametreler		Deney başı – Deney sonu	
	Sızıntı suyu	Süzüntü	Sızıntı suyu	Süzüntü
	Çözeltisi	(Distile su)	Çözeltisi	(Distile su)
Sıcaklık	✓	✓	✓	✓
pH	✓	✓	✓	✓
İletkenlik	✓	✓	✓	✓
Toplam Çözünmüş	✓	✓	✓	✓
Katı Madde (TÇK)				
Toplam Organik			✓	✓
Karbon (TOK)				
Kimyasal Oksijen			✓	✓
İhtiyacı (KOİ)				
Renk			✓	✓
Amonyak			✓	✓

Kesikli ve sürekli mod pompalarının etkisini araştırmak için kesikli masa üstü DTMD prosesindeki kesikli mod pompalar ile büyük sistemdeki sürekli modda çalışan pompaların bulunduğu sistemlerde kıyaslanmıştır. Çalışmalar Tablo 3.1.’deki kaba filtreden süzölmüş biyorekatör çıkışı sızıntı suyu ile gerçekleştirilmiştir. PTFE 0,45 µm membran türü ile membran geçiş sıcaklık farkı sabit ($20 \pm 5^{\circ}\text{C}$) değerinde kesikli modda çalışan pompalar ile 200 L/sa akış hızında sürekli modda çalışan pompalar ile 200, 250 ve 300 L/sa akış hızlarında işletilmiştir.

DTMD prosesinde optimum şartlar (membran türü ve boyutu PTFE 0,45 µm, akış hızı 200 L/sa, sıcaklık sızıntı suyu 60°C , distile su 40°C) ile uzun süreli işletimi (ardışık 10 günlük) gerçekleştirilmiştir. Her günün sonunda % 1 HCl (30 dk) + distile su (30 dk) + %1 NaOH (30 dk) + distile su (30 dk) şeklinde membran temizleme işlemleri yapılmıştır. Her gün tanklara yeni 4’er litre sızıntı suyu ve distile su konularak işletilmiştir. 10 günlük uzun süreli işletim Tablo 3.1.’deki kaba filtreden süzölmüş biyorekatör çıkışı sızıntı suyu ile işletilmiştir.

DTMD prosesinde belirlenmiş olan optimum şartlarda (membran türü ve boyutu: PTFE 0,45 µm, sıcaklık: sızıntı suyu (60°C)- distile su (40°C), akış hızı: 200 L/sa

(Sızıntı suyu)-200 L/sa (distile su)) günlük 6 saatlik deney süresinde Tablo 3.1.'de verilen biyorektör çıkışı alının sızıntı suyu ve kaba filtreden süzölmüş biyorekatör çıkışı sızıntı suyu ile çalışılmıştır. Daha sonra kaba filtreden süzölmüş sızıntı suyu ile çalışılmış olan UF prosesi süzöntü suyu ile DTMD prosesinde optimum şartlarda çalışılmıştır.

3.2.2. Analitik yöntemler

Çalışma kapsamında DTMD prosesinde kesikli ve sürekli şartlardaki deneyler sırasında besleme ve çekme çözeltisi akımlarında sıcaklık, pH, iletkenlik, toplam çözönmüş katı, toplam organik karbon, kimyasal oksijen ihtiyacı, renk ve amonyak parametreleri izlenmiştir. DTMD prosesinin sürekli işletiminde izlenen su kalite parametreleri ve deneysel çalışmalar kapsamında analizleri yapılmış olan parametreler için kullanılan ölçüm metotları/yöntemleri Tablo 3.9.'da gösterilmiştir. Su kalite analizleri, ölçüm cihazları, kitler ve standart metotlar kitabında bulunan yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.9. Su kalitesi analiz parametreleri için kullanılan ölçüm metotları/yöntemleri

Parametre	Ölçüm yöntemi
Sıcaklık	Masa üstü multiparametre ölçüm cihazı
pH	Masa üstü multiparametre ölçüm cihazı
İletkenlik	Masa üstü multiparametre ölçüm cihazı
Yoğunluk	El tipi dijital yoğunluk ölçer
Viskozite	Viskozimetre
Osmolalite	Donma noktasının düşürölmesi prensibiyle çalışan osmometre cihazı
TÇK	Masa üstü multiparametre ölçüm cihazı
Bulanıklık	Türbidimetre
KOİ	5220C kapalı reflux metodu
TOK	Yakma ünitesine sahip tuzlu sularda da yüksek ölçüm performansına sahip TOK cihazı
Alkalinite	SM 2320 H ₂ SO ₄ titrimetrik metodu
Yağ-Gres	SM 5520 D Soxhlet extraction metod
Toplam Sertlik	SM 2340C EDTA Titrimetrik yöntemi
AKM	SM 2540 D metodu
Renk	UV spektrofotometre cihazında üç farklı dalga boyunda

Tablo 3.9. (Devamı)

Parametre	Ölçüm yöntemi
Sülfat	UV spektrofotometre
Klorür	Titrasyon
Amonyak	Amonyak probu
TKN	SM 4500 B micro-Kjeldahl metodu
Toplam Fosfor	IC (Inductively coupled plasma) cihazı
Toplam Krom	ICP (Inductively coupled plasma) cihazı
Krom	ICP (Inductively coupled plasma) cihazı
Kurşun	ICP (Inductively coupled plasma) cihazı
Toplam Siyanür	ICP (Inductively coupled plasma) cihazı
Kadmiyum	ICP (Inductively coupled plasma) cihazı
Demir	UV spektrofotometre
Florür	ICP (Inductively coupled plasma) cihazı
Bakır	ICP (Inductively coupled plasma) cihazı
Çinko	ICP (Inductively coupled plasma) cihazı

3.2.3. Proses performans hesaplamaları

3.2.3.1. DTMD prosesi performans hesaplamaları

Bir membran sistemde süzüntü akısı, su hacmi üzerinden aşağıdaki eşitlik kullanılarak (Denklem 3.1) hesaplanmaktadır.

$$J_w = \frac{1}{A} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad (3.1)$$

DTMD prosesinde besleme çözeltisinden (sızıntı suyundan) süzüntüye (distile suya) geçen su hacmi ve buna bağlı su akısı, hem besleme hem de süzüntünün iletkenlik değerlerinin deney süresi boyunca belli zaman aralıklarında alınan numunelerde ölçümleri neticesinde, kütle dengesi hesabı üzerinden belirlenmiştir. Bu şekliyle hesap edilen su hacmi değişimleri, aynı numunelerdeki toplam çözünmüş katılar (TÇK) konsantrasyonlarının ölçümü ile elde edilen sonuçların kütle dengesi üzerinden hesabı ile ayrıca teyit edilmiş ve sonuçların birbirleriyle uyum içerisinde olduğu tespit edilmiştir.

DTMD prosesinde geçiş sıcaklık farkları, her iki akış kanalının giriş ve çıkış hatları üzerine yerleştirilmiş sıcaklık ölçerlerle izlendiğinden ve zamanla sabit tutulduğundan, değışen membran geçiş sıcaklık farkı deneyleri hariç diğeri deneylerin tamamında, proses sürücü kuvveti olan geçiş sıcaklık farkına dayalı bir spesifik su akısı hesabı yapılmasına gerek bulunmamaktadır.

Süzme oranı, tutunum veya rejeksiyon performansı ise aşağıdaki eşitlik kullanılarak (Denklem 3.2) belirlenmiştir.

$$R(\%) = 100 \times \left(\frac{C_b - C_s}{C_b} \right) \quad (3.2)$$

Denklemde C_b ve C_s sırasıyla, proseste besleme ve süzüntü akımlarında ölçülen konsantrasyonları ifade etmektedir.

3.2.3.2. UF prosesi performans hesaplamaları

Deneylerde kullanılan tezgah üstü çalışma düzeneğı Şekil 3.2.'de gösterilmiştir. Düzenek, bir adet sterlitech marka 300 mL besleme kapasitesine haiz paslanmaz dikey yerleşimli çelik çapraz akış membran modül ünitesine sahiptir. Modülde istenen membran geçiş basıncı, modüle doğrudan beslenen azot gazı ile sağlanmıştır. Bu amaçla düzenek bir adet azot tüpü ile teçhiz edilerek; modüle gaz geçişini sağlayan azot gazı iletim ve tahliye hattına bağı bir adet basınç açma ve bir adet basınç ayarlama vanası vasıtasıyla güvenli işletim yerine getirilmiştir. Membran modül içerisine beslenen atık suda istenen sabit sıcaklık ve çapraz akış hızı değıeri, sıcaklık ve karıştırma hızı ayarlamalı manyetik karıştırıcı vasıtasıyla sağlanarak deneyler yürütülmüştür. Membran modülden çıkan filtre edilmiş süzüntü akımı cam bir behere alınarak, bir adet hassas terazi vasıtasıyla süzüntü suyunda ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Teraziden veri bağlantısı aracılığıyla bilgisayara alınan süzüntü suyu ağırlığı verileri üzerinden aşağıdaki su akısı hesaplama formülü kullanılarak (Denklem 3.1), süzüntü suyu akısı zamana karşı elde edilmiştir.

$$J = \frac{1}{A} \frac{dV}{dt} \quad (3.3)$$

Denklemde; J ($L/m^2.saat$), membrandan geçen süzüntü suyu akısı; A (m^2), etkili membran alanı; V (dm^3), membrandan geçen suyun hacmi; ve t (saat), filtrasyon süresini ifade etmektedir.

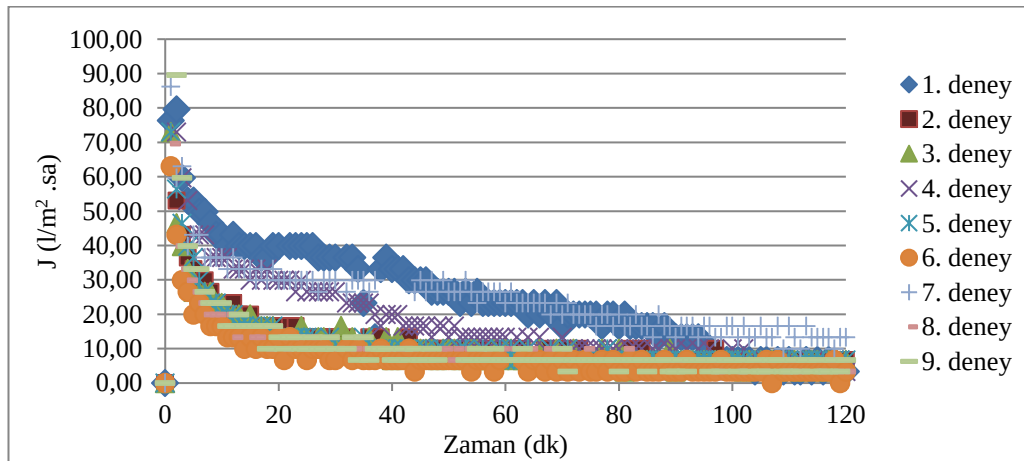
BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. UF Prosesinde Ön Arıtmanın Etkisi

Biyolojik arıtma çıkışı alınan sızıntı suyunun Şekil 3.2.'deki UF membran sisteminde ön arıtmanın etkisini araştırmak amacıyla Tablo 3.1.'de verilen biyorektör çıkışı alının sızıntı suyu ve kaba filtreden süzölmüş biyorekatör çıkışı sızıntı suyunun arıtımı için uygun membran, karıştırma hızı ve basıncı tespit edilmiştir.

4.1.1. Biyorektör çıkışı sızıntı suyunun ultrafiltrasyonu

Biyorektör çıkışı sızıntı suyu ile yapılan UF prosesi deneysel akı sonuçları Şekil 4.1.'de verilmiştir. Deney numarasına göre su akıları sırasıyla, 4,31, 5,64, 5,64, 5,64, 5,97, 3,33, 12,93, 5,31 ve 4,97 L/m²sa olarak bulunmuştur. Biyorektör çıkışı sızıntı suyu ile yapılan çalışmalarda en iyi arıtma performansını en yüksek su akı değeri 12,93 L/m²sa olan 7 numaralı deney şartlarında (membran türü UV150, karıştırma hızı 300 rpm ve basıncı 10 bar) göstermiştir.



Şekil 4.1. Biyorektör çıkışı sızıntı suyu sterlitech deneyleri akı sonuçları

Ham sızıntı suyunun UF prosesinde kesikli işletimli arıtımında UF prosesi için su kalitesi parametreleri deneysel çalışma sonuçları konsantre için Tablo 4.1.'de, süzüntü için Tablo 4.2.'de verilmiştir.

Tablo 4.1. UF prosesinde biyorektör çıkışı sızıntı suyu için değişkenlerin deneysel değerlerini içeren sterlitech deneysel tasarım tablosu ve her bir sonuç parametresi için konsantredeki deneysel sonuçlar (Ei=mS/cm, TÇK, TOK, KOI, NH₃ =mg/L, λ =abs, J=L/m²sa olarak verilmiştir).

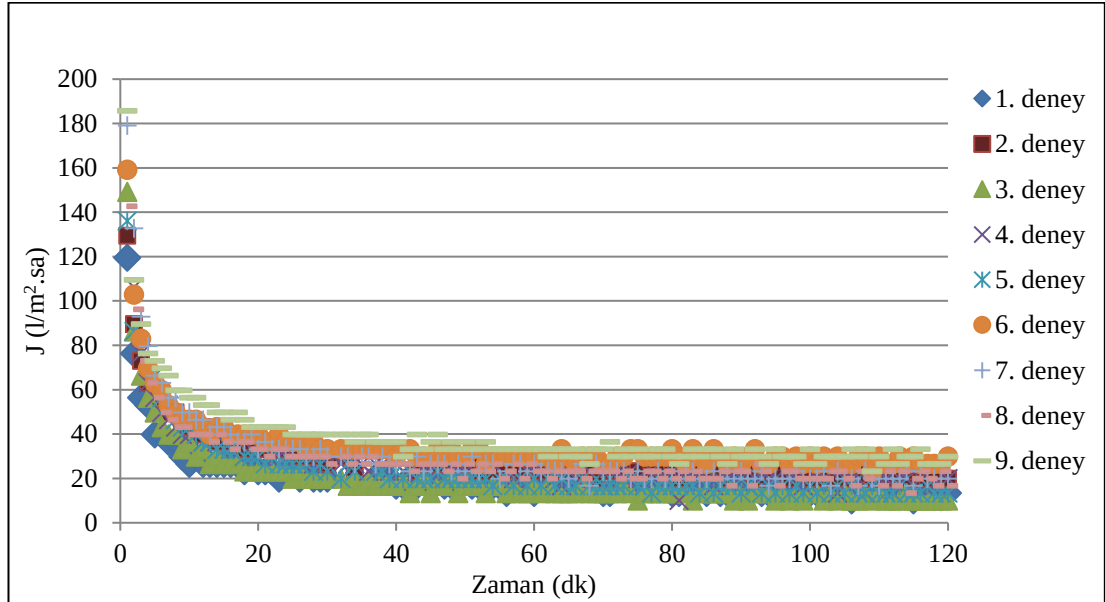
Deney no	Giriş parametreleri			Sonuç parametreleri										
				UF prosesi (konsantre)										
	A	B	C	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5		Y6			Y7	Y8
M_T	ν	ΔP	pH	E _i	TÇK	TOK	KOI	λ_{436}	λ_{525}	λ_{620}	$^{**}\lambda_{ortalama}$	NH ₃	J	
1	UP020	300	4	8,24	13,25	7,47	938	15900	21,500	16,400	13,400	17,754	563	4,31
2	UP020	600	7	8,29	13,54	7,54	484	15220	21,000	16,200	13,350	17,441	890	5,64
3	UP020	900	10	8,32	13,55	7,54	415	14840	20,600	15,950	13,050	17,118	585	5,64
4	UH050	300	7	8,29	13,18	7,33	549	15340	20,600	15,700	12,750	16,991	496,5	5,64
5	UH050	600	10	8,06	13,47	7,51	346	15340	20,250	15,600	12,850	16,808	493	5,97
6	UH050	900	4	8,25	13,57	7,55	416	14500	20,400	15,600	13,100	16,927	468	3,32
7	UV150	300	10	8,17	13,19	7,26	402	16680	24,450	18,850	15,550	20,305	387	12,93
8	UV150	600	4	8,29	13,40	7,44	360	15760	21,250	16,700	13,800	17,795	392	5,31
9	UV150	900	7	8,18	13,53	7,53	348	14920	20,350	15,900	13,050	16,982	414	4,97

Tablo 4.2. UF prosesinde biyorektör çıkışı sızıntı suyu için değişkenlerin deneysel değerlerini içeren sterlitech deneysel tasarım tablosu ve her bir sonuç parametresi için süzöntüdeki deneysel sonuçlar (E_i =mS/cm, TÇK, TOK, KOI, NH_3 =mg/L, λ =abs, J =L/m²sa olarak verilmiştir).

Deney no	Giriş parametreleri			Sonuç parametreleri										
				UF prosesi (süzüntü)										
	A	B	C	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6 Renk				Y7	Y8
	M_T	ν	ΔP	pH	E_i	TÇK	TOK	KOI	λ_{436}	λ_{525}	λ_{620}	$**\lambda_{ortalama}$	NH_3	J
1	UP020	300	4	8,43	14,25	7,96	188	852	0,610	0,174	0,051	0,485	6,71	4,31
2	UP020	600	7	8,65	14,33	8,00	210	692	0,726	0,207	0,061	0,577	6,00	5,64
3	UP020	900	10	8,75	14,39	8,07	222	1344	0,641	0,174	0,048	0,514	5,85	5,64
4	UH050	300	7	8,73	14,33	8,00	201	1148	0,685	0,198	0,059	0,543	4,71	5,64
5	UH050	600	10	8,80	14,17	7,92	171	1240	0,682	0,218	0,084	0,528	4,345	5,97
6	UH050	900	4	8,56	14,45	8,09	225	1272	0,951	0,283	0,089	0,750	4,325	3,32
7	UV150	300	10	8,33	14,31	7,99	119	544	0,332	0,088	0,028	0,265	3,68	12,93
8	UV150	600	4	8,50	14,52	8,13	183	1016	0,606	0,167	0,049	0,484	3,57	5,31
9	UV150	900	7	8,94	14,54	8,17	197	1324	0,835	0,24	0,071	0,663	3,235	4,97

4.1.2. Kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyunun ultrafiltrasyonu

Kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu ile yapılan UF prosesi deneysel akı sonuçları Şekil 4.2.'de verilmiştir. Deney numarasına göre su akıları sırasıyla 13,59, 20,89, 10,28, 17,90, 13,93, 27,52, 20,23, 19,56 ve 28,85 L/m²sa olarak bulunmuştur. Kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu ile yapılan çalışmada optimizasyon yapıldığında 9 numaralı deney şartlarına çok yakın olan, en iyi organik madde arıtma performansını ve en yüksek su akı değerini (28,85 L/m²sa) sağlayan membran türü UV150, karıştırma hızı 900 rpm ve basıncı 7,5 bar deney şartları elde edilmiştir.



Şekil 4.2. Kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu sterlitech deneyleri akı sonuçları

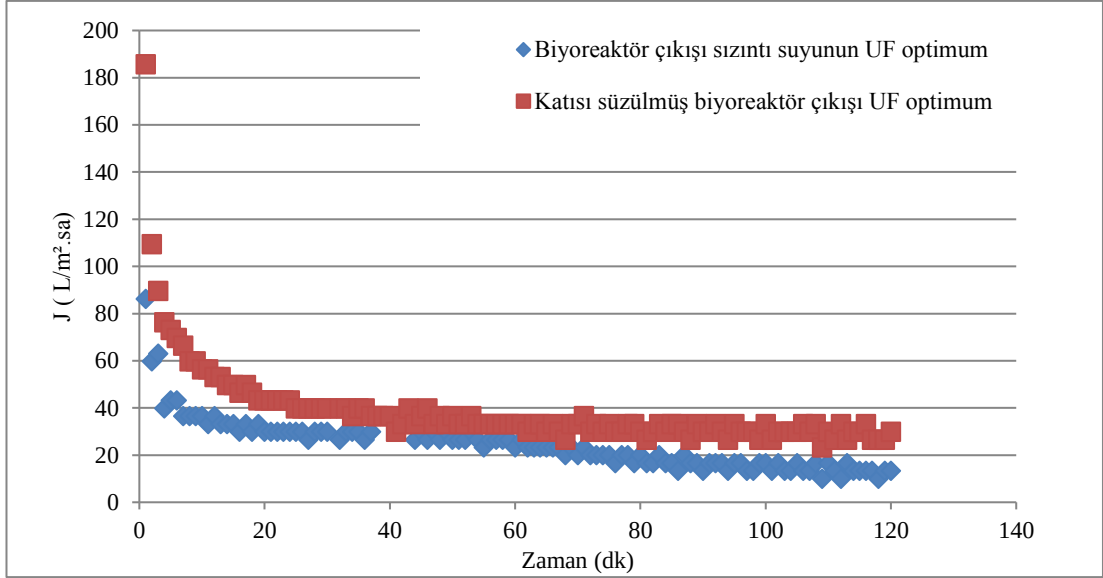
Kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyunun UF prosesinde kesikli işletimli arıtımında UF prosesi için su kalitesi parametreleri deneysel çalışma sonuçları konsantre için Tablo 4.3.'de, süzöntü için Tablo 4.4.'de verilmiştir.

Tablo 4.3. UF prosesinde kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu için değişkenlerin deneysel değerlerini içeren sterlitech deneysel tasarım tablosu ve her bir sonuç parametresi için konsantredeki deneysel sonuçlar (E_i =mS/cm, TÇK, TOK, KOİ, NH_3 =mg/L, λ =abs, J =L/m²sa olarak verilmiştir).

Deney no	Giriş parametreleri			Sonuç parametreleri										
				UF prosesi (konsantre)										
	A	B	C	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6			Y7	Y8	
M_T	ν	ΔP	pH	E_i	TÇK	TOK	KOI	λ_{436}	λ_{525}	λ_{620}	$**\lambda_{ortalama}$	NH ₃	J	
1	UP020	300	4	8,54	14,26	7,97	259	1052	1,656	0,637	0,282	4,047	350	13,59
2	UP020	600	7	8,41	14,51	8,11	331	1252	1,922	0,726	0,309	5,178	394	20,89
3	UP020	900	10	8,50	14,30	7,99	274	948	1,534	0,576	0,244	3,530	344	10,28
4	UH050	300	7	8,52	14,48	8,10	303	884	1,731	0,632	0,254	4,285	331	17,90
5	UH050	600	10	8,55	14,43	8,07	299	1064	1,631	0,596	0,242	3,876	321	13,93
6	UH050	900	4	8,50	14,35	8,00	379	1212	2,288	0,967	0,486	7,232	319	27,52
7	UV150	300	10	8,60	14,44	8,08	311	1036	1,848	0,685	0,284	4,814	306	20,23
8	UV150	600	4	8,42	14,35	7,99	303	1140	1,835	0,703	0,308	4,807	296	19,56
9	UV150	900	7	8,59	14,73	8,23	362	1188	2,24	0,837	0,348	6,727	293	28,85

Tablo 4.4. UF prosesinde kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu için değışkenlerin deneysel değerlerini içeren sterlitech deneysel tasarım tablosu ve her bir sonuç parametresi için süzöntüdeki deneysel sonuçlar (E_i =mS/cm, TÇK, TOK, KOİ, NH_3 =mg/L, λ =abs, J =L/m²sa olarak verilmiştir).

Deney no	Giriş parametreleri			Sonuç parametreleri										
				UF prosesi (süzüntü)										
	A	B	C	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6 Renk			Y7	Y8	
M_T	ν	ΔP	pH	E_i	TÇK	TOK	KOI	λ_{436}	λ_{525}	λ_{620}	$^{**}\lambda_{ortalama}$	NH_3	J	
1	UP020	300	4	8,64	14,01	7,81	119	518	0,336	0,095	0,028	0,305	3,10	13,59
2	UP020	600	7	8,36	13,96	7,79	100	358	0,229	0,063	0,018	0,179	3,65	20,89
3	UP020	900	10	8,85	13,96	7,78	125	406	0,296	0,078	0,021	0,245	3,20	10,28
4	UH050	300	7	8,50	14,00	7,81	113	388	0,261	0,071	0,02	0,211	2,99	17,90
5	UH050	600	10	8,74	13,85	7,72	98	414	0,238	0,063	0,017	0,184	2,84	13,93
6	UH050	900	4	8,56	14,07	7,86	125	464	0,325	0,097	0,035	0,302	2,94	27,52
7	UV150	300	10	8,56	13,71	7,62	81	450	0,186	0,048	0,013	0,131	2,75	20,23
8	UV150	600	4	8,56	14,11	7,87	129	420	0,314	0,084	0,024	0,268	2,87	19,56
9	UV150	900	7	8,63	13,94	7,79	95	340	0,201	0,051	0,013	0,143	2,67	28,85



Şekil 4.3. Biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu ve kaba filtreden süzölmüş sızıntı suyunun UF prosesi için uygun seçilen deneylerin akı sonuçları

Biyoreaktör çıkışı sızıntı suyunun UF prosesi için uygun seçilen 7 numaralı deneyin (membran türü UV150, karıştırma hızı 300 rpm ve basıncı 10 bar) akı performansı ile kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyunun UF prosesi için uygun seçilen 9 numaralı deneyin (membran türü UV150, karıştırma hızı 900 rpm ve basıncı 7 bar) akı performans değerleri Şekil 4.3.'de verilmiştir. Biyoreaktör çıkışı sızıntı suyunun UF prosesindeki akı performansı 12,93 L/m²sa, deney sonu TOK giderim verimi %70,46 olarak bulunmuştur. Kaba filtreden süzölmüş sızıntı suyunun UF prosesindeki su akı performansı ise 28,85 L/m²sa, deney sonu TOK giderim verimi %73,76 olarak bulunmuştur. UF prosesindeki bulgular ışığında kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu ile yapılan çalışmanın akı performansı ve su kalitesi parametreleri giderim verimleri daha yüksek olarak bulunmuştur bu nedenle çalışmalara kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu ile devam edilmiştir.

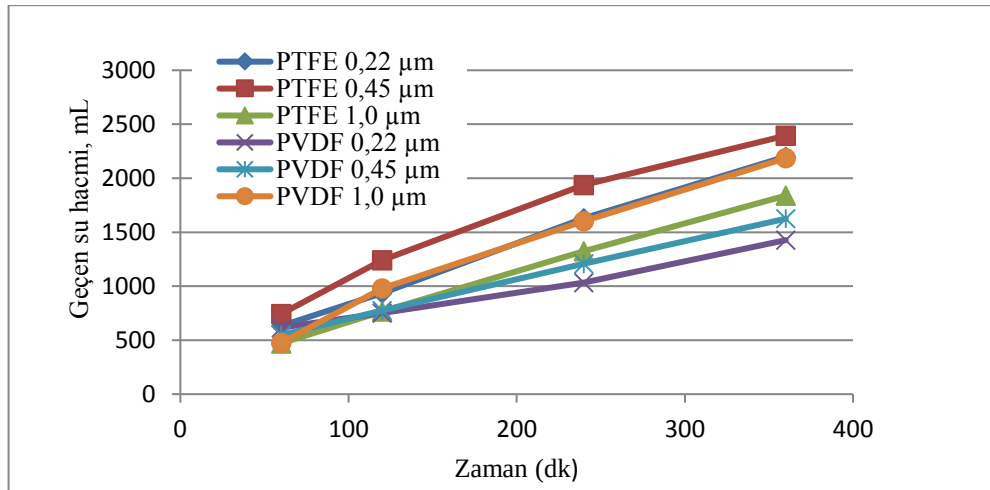
4.2. DTMD Deneysel Çalışma Sonuçları

4.2.1. Proses işletme parametrelerinin etkisi

DTMD deneyleri, besleme akımı olarak sızıntı suyu kullanılarak, kesikli ve sürekli işletimlerde yürütülmüştür. DTMD işletimi 5,5 L hacimli tankları bulunan kesikli pompajlı DTMD sisteminde işletildi. Deneylerde tanklara 4 L sızıntı suyu ve distile su konulmuştur. Optimum membran türü ve boyutu, sıcaklık farkı ve akış hızı bulunmuştur.

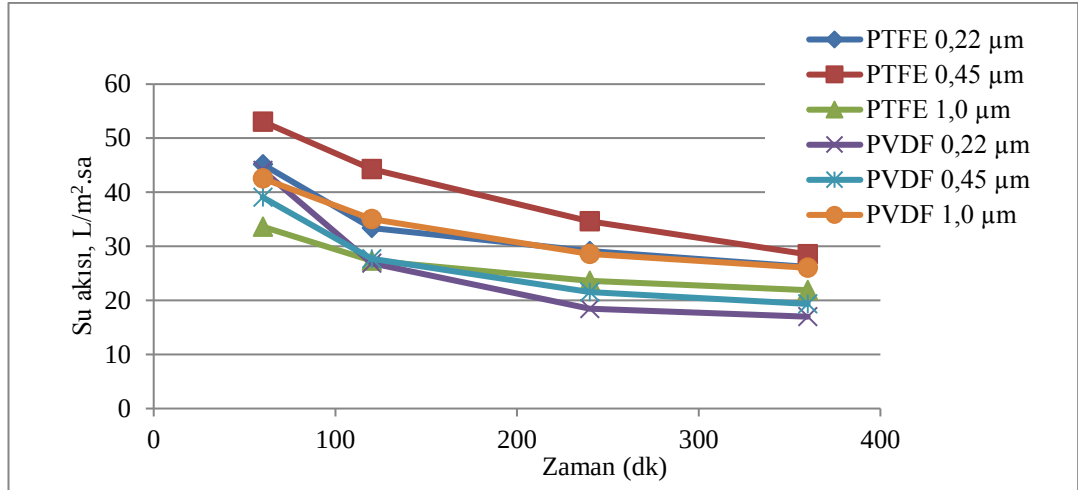
4.2.1.1. Membran türü ve gözenek boyutu

DTMD prosesinde sızıntı suyunun arıtımında farklı membran türünün ve farklı membran gözenek boyutuna sahip membranların etkileri araştırılmış ve deneysel performans sonuçları, geçen su hacmi ve su akısı parametreleri Şekil 4.4.'de verilmiştir.



a) Geçen su hacmi (mL)

Şekil 4.4. DTMD prosesinde sızıntı suyunun arıtımında membran türü ve boyutunun etkisi a) Geçen su hacmi b) Su akısı (sıcaklık: sızıntı suyu (60°C)-distile su (30°C), akış hızı: sızıntı suyu (200 L/sa)- distile su (200 L/sa), $\Delta T=30^\circ\text{C}$, hacim:4L, deney süresi: 6 saat).

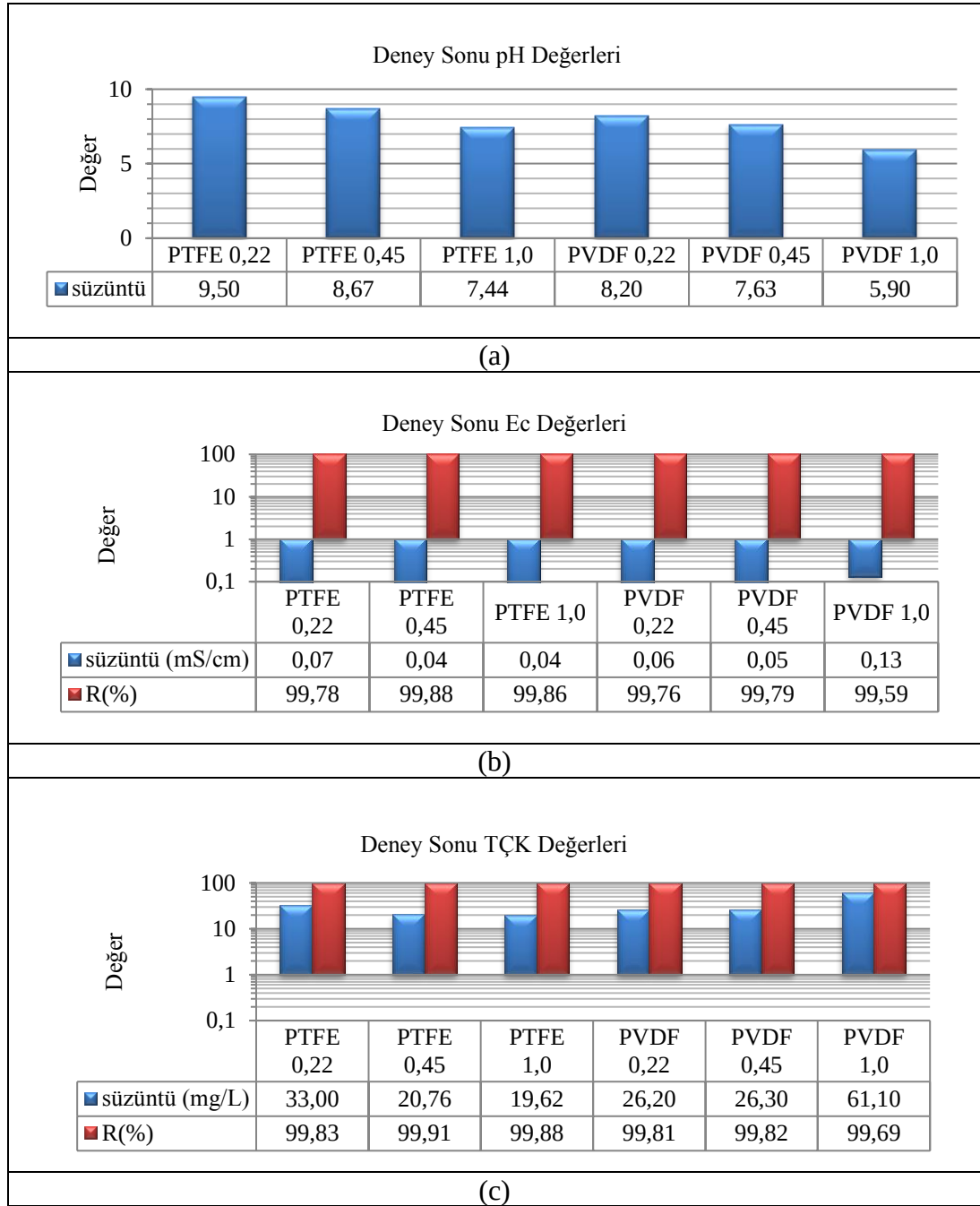
b) Su akısı (L/m².sa)

Şekil 4.4. (Devamı)

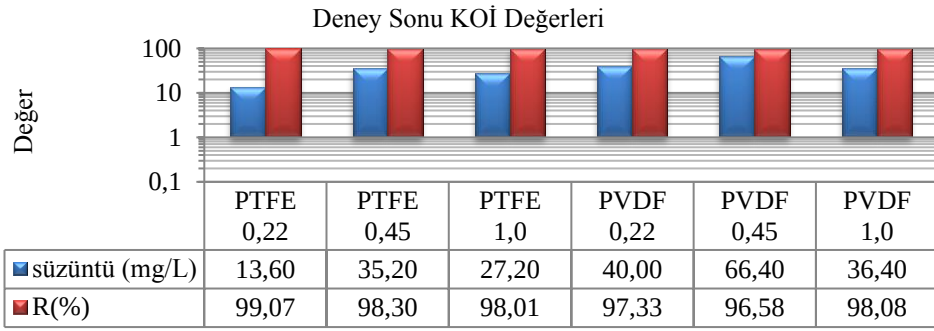
PVDF membranlarında gözenek boyutunun artması ile geçen su hacmi ve su akısının arttığı görülmüştür. PTFE membranlarında ise 0,22 µm gözenek boyutundan 0,45 µm gözenek boyutuna doğru artış olmasına rağmen 1,0 µm gözenek boyutunda 0,22 µm gözenek boyutundan düşük değerler görülmüştür. PTFE membranlarında 0,22, 0,45 ve 1,0 µm gözenek boyutlarındaki su akıları sırasıyla 26,9, 28,50 ve 21,90 L/m².sa olarak bulunmuştur. PVDF membranlarında ise bu değerler sırasıyla 16,98, 19,35 ve 26,02 L/m².sa olarak bulunmuştur.

DTMD prosesinde (Şekil 3.5a.) sızıntı suyunun arıtımında PTFE membranı PVDF membranına göre daha yüksek su akısı ve su geçiş performansı elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ışığında uygun membran türü PTFE ve 0,45 µm gözenek boyutunun uygun olduğu tespit edilmiştir.

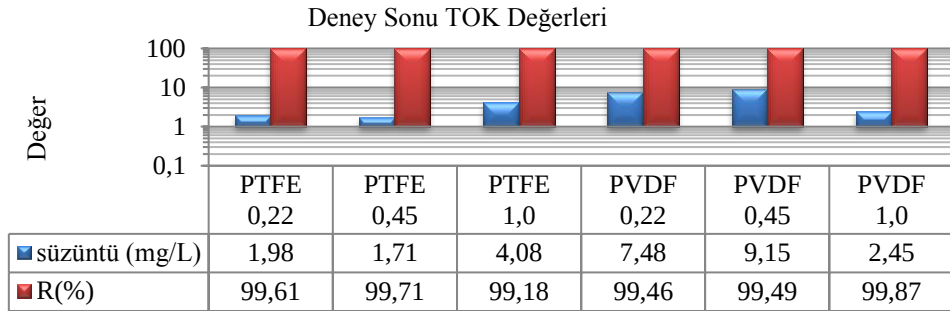
Deney süresince sızıntı suyu (besleme) ve süzöntü (distile su) akımları su kalite parametrelerinin (sıcaklık, pH, iletkenlik, TÇK (toplam çözünmüş katı), KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı), TOK (toplam organik karbon), amonyak ve renk) zamana karşı ölçülmüş olup deney sonu performansları ve giderim verimleri Şekil 4.5.'de verilmiştir.



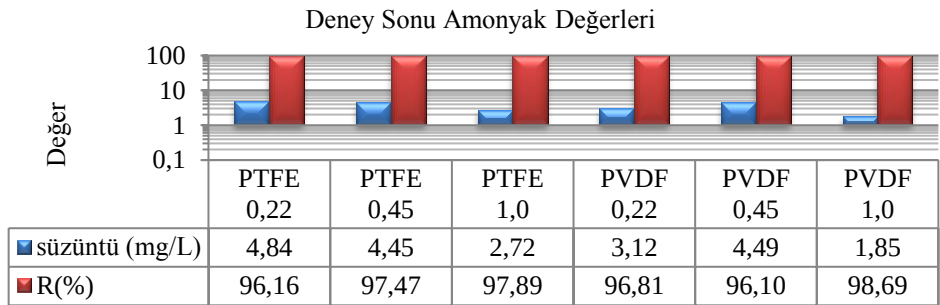
Şekil 4.5. DTMD prosesinde sızıntı suyu arıtımında su kalitesi parametrelerinin farklı membran türlerine göre performansları ve rejeksiyon değerleri (a) pH, b) Ei, c) TÇK, d) KOİ, e) TOK, f) NH₃, g) renk) (sıcaklık: sızıntı suyu (60°C)-distile su (30°C), akış hızı: sızıntı suyu (200L/sa)- distile su (200L/sa), $\Delta T=30^{\circ}\text{C}$, hacim:4L, deney süresi: 6 saat).



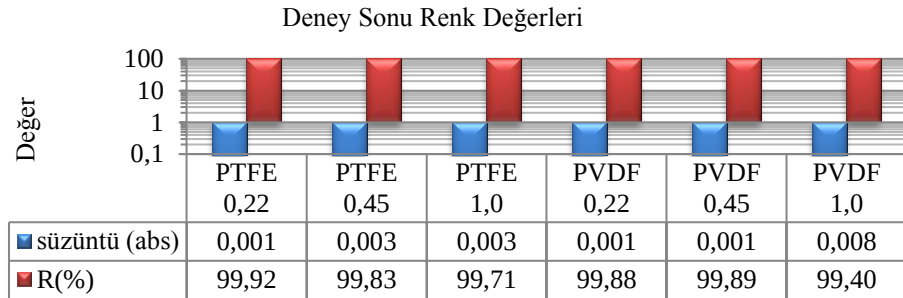
(d)



(e)



(f)



(g)

Şekil 4.5.(Devamı)

DTMD prosesinde PTFE (0,22, 0,45 ve 1,0 μm) ve PVDF (0,22, 0,45 ve 1,0 μm) membranları ile besleme ve süzüntü akımlarında sabit ($\Delta T=30^\circ\text{C}$) membran geçiş farkı değerinde 200 L/sa akış hızında su kalitesi parametreleri performans değerleri ve giderim verimlerine bakıldığında PTFE (0,22, 0,45 ve 1,0 μm) membranı için deney sonu iletkenlik değerleri sırasıyla %99,78, 99,88 ve 99,86 olarak bulunmuş olup PVDF (0,22, 0,45 ve 1,0 μm) membranı için ise deney sonu iletkenlik değerleri sırasıyla %99,76, 99,79 ve 99,59 olarak bulunmuştur. Deney sonu toplam çözünmüş katı (TÇK) değerleri PTFE (0,22, 0,45 ve 1,0 μm) membranı için sırasıyla %99,83, 99,91 ve 99,88 olarak bulunmuş olup PVDF (0,22, 0,45 ve 1,0 μm) membranı için ise %99,81, 99,82 ve 99,69 olarak bulunmuştur. Deney sonu KOİ değerleri PTFE (0,22, 0,45 ve 1,0 μm) membranı için sırasıyla %99,07, 98,30 ve 98,01 olarak bulunmuş olup PVDF (0,22, 0,45 ve 1,0 μm) membranı için ise %97,33, 96,58 ve 98,08 olarak bulunmuştur. Deney sonu TOK değerleri PTFE (0,22, 0,45 ve 1,0 μm) membranı için sırasıyla %99,61, 99,71 ve 99,18 olarak bulunmuş olup PVDF (0,22, 0,45 ve 1,0 μm) membranı için ise %99,46, 99,49 ve 99,87 olarak bulunmuştur. Deney sonu amonyak değerleri PTFE (0,22, 0,45 ve 1,0 μm) membranı için sırasıyla %96,16, 97,47, 97,89 olarak bulunmuş olup PVDF (0,22, 0,45 ve 1,0 μm) membranı için ise %96,81, 96,10 ve 98,69 olarak bulunmuştur. Deney sonu renk değerleri PTFE (0,22, 0,45 ve 1,0 μm) membranı için sırasıyla %99,92, 99,83 ve 99,71 olarak bulunmuş olup PVDF (0,22, 0,45 ve 1,0 μm) membranı için ise %99,88, 99,89 ve 99,40 olarak bulunmuştur. Bulgular ışığında DTMD prosesinde sızıntı suyu arıtımında su kalitesi giderim performansı PTFE 0,45 μm membran ve boyutu daha uygun olduğu tespit edilmiştir.

Deney sürecinde izlenen farklı gözenek boyutlarında PTFE ve PVDF membranlarının sızıntı suyu ve süzüntü akımları su kalitesi parametrelerinin (sıcaklık, pH, iletkenlik, TÇK (toplam çözünmüş katı), KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı), TOK (toplam organik karbon), amonyak ve renk) deney başı ve deney sonu değerleri Tablo 4.5. ve Tablo 4.6.'da verilmiştir.

Tablo 4.5. Farklı gözenek boyutlarında PTFE membranı kullanılarak işletilen DTMD prosesinin performansı (sıcaklık: sızıntı suyu (60°C)-distile su (30°C), akış hızı: sızıntı suyu (200L/sa)- distile su (200L/sa), $\Delta T=30^\circ\text{C}$, hacim:4L, deney süresi: 6 saat).

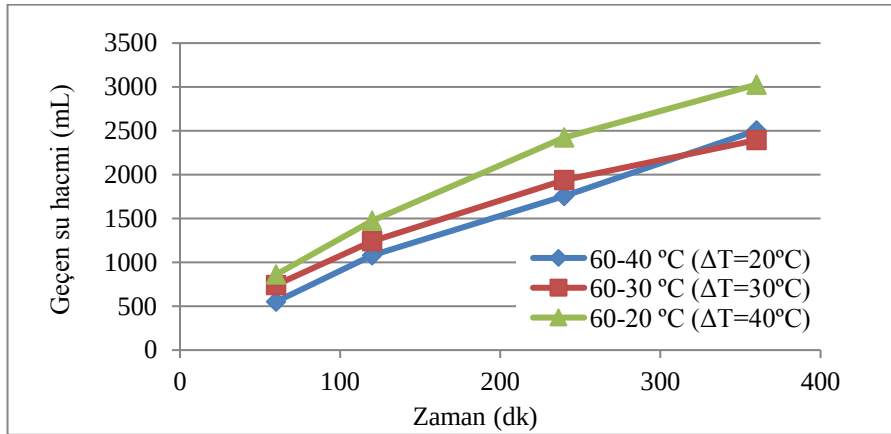
Parametre	Birim	PTFE 0,22 μm				PTFE 0,45 μm				PTFE 1,00 μm			
		Sızıntı suyu		Distile su		Sızıntı suyu		Distile su		Sızıntı suyu		Distile su	
		Deney başı	Deney sonu	Deney başı	Deney sonu	Deney başı	Deney sonu	Deney başı	Deney sonu	Deney başı	Deney sonu	Deney başı	Deney sonu
pH	-	8,53	9,10	8,10	9,50	8,54	9,11	8,08	8,67	8,55	9,01	7,00	7,44
İletkenlik	$\mu\text{s/cm}$	16050	33200	5,73	72	15930	36400	15,16	43,8	15840	27600	5,49	37,6
TÇK	mg/L	8950	19890	2,550	33,000	9030	22500	4,840	20,760	9070	16790	5,050	19,620
Renk	abs	0,576	1,188	0,003	0,001	0,577	1,443	0,004	0,003	1,438	1,432	0,002	0,003
KOİ	mg/L	742	1464	8	13,60	738	2068	13,20	35,20	780	1368	9,20	27,20
TOK	mg/L	253	510	0,84	1,98	246	590	0,94	1,71	275	496	1,38	4,08
Amonyak	mg/L	54,50	126	0,19	4,84	79,10	176	0,64	4,45	68	129	0,63	2,72

Tablo 4.6. Farklı gözenek boyutlarında PTFE membranı kullanılarak işletilen DTMD prosesinin performansı (sıcaklık: sızıntı suyu (60°C)-distile su (30°C), akış hızı: sızıntı suyu (200L/sa)- distile su (200L/sa), $\Delta T=30^\circ\text{C}$, hacim:4L, deney süresi: 6 saat).

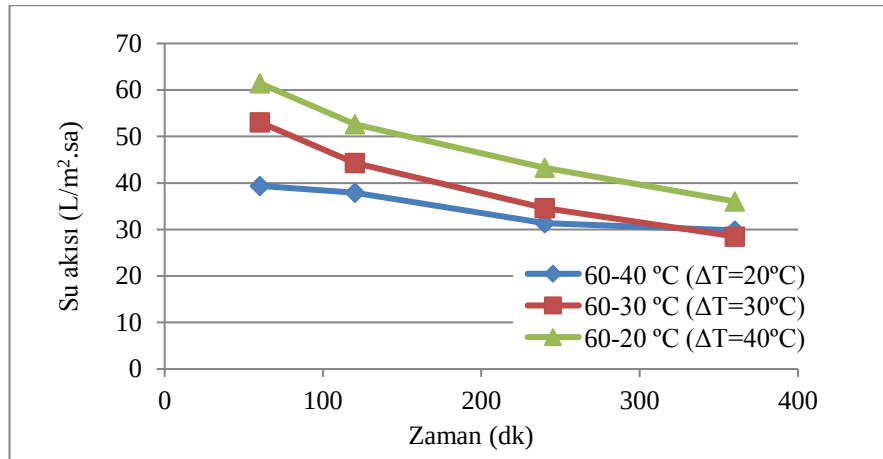
Parametre	Birim	PVDF 0,22 μm				PVDF 0,45 μm				PVDF 1,00 μm			
		Sızıntı suyu		Distile su		Sızıntı suyu		Distile su		Sızıntı suyu		Distile su	
		Deney başı	Deney sonu	Deney başı	Deney sonu	Deney başı	Deney sonu	Deney başı	Deney sonu	Deney başı	Deney sonu	Deney başı	Deney sonu
pH	-	8,57	9,18	8,86	8,20	8,59	9,11	7,82	7,63	8,6	9,06	4,97	5,90
İletkenlik	$\mu\text{s/cm}$	15380	23300	30	55,50	15580	25000	3,03	53,10	15760	32100	28,81	132
TÇK	mg/L	8890	13820	5,44	26,20	8900	14990	2,500	26,300	8930	19690	4,38	61,10
Renk	abs	0,576	0,839	0,000	0,001	0,838	0,935	0,000	0,001	0,574	1,33	0,001	0,008
KOİ	mg/L	1062	1496	16,40	40	1228	1940	24	66,40	1055	1896	24	36,40
TOK	mg/L	812	993	1,91	7,48	1165	1798	1,92	9,15	588	1650	1,29	2,45
Amonyak	mg/L	68,10	192	0,00	3,12	65,4	115	0,21	4,49	60,10	141	0,58	1,85

4.2.1.2. Membran geçiş sıcaklık farkı

DTMD prosesinde sızıntı suyunun arıtımında seçilen uygun membran türü ve gözenek boyutu (PTFE 0,45 μm) ve 200 L/sa'lık akış hızı ile sızıntı (besleme) suyu 60°C'de sabit tutularak farklı membran geçiş sıcaklık farklarının (20, 30 ve 40 °C) etkisi araştırılmış ve deneysel performans sonuçları, geçen su hacmi ve su akısı parametreleri Şekil 4.6.'da verilmiştir.



a) Geçen su hacmi (mL)

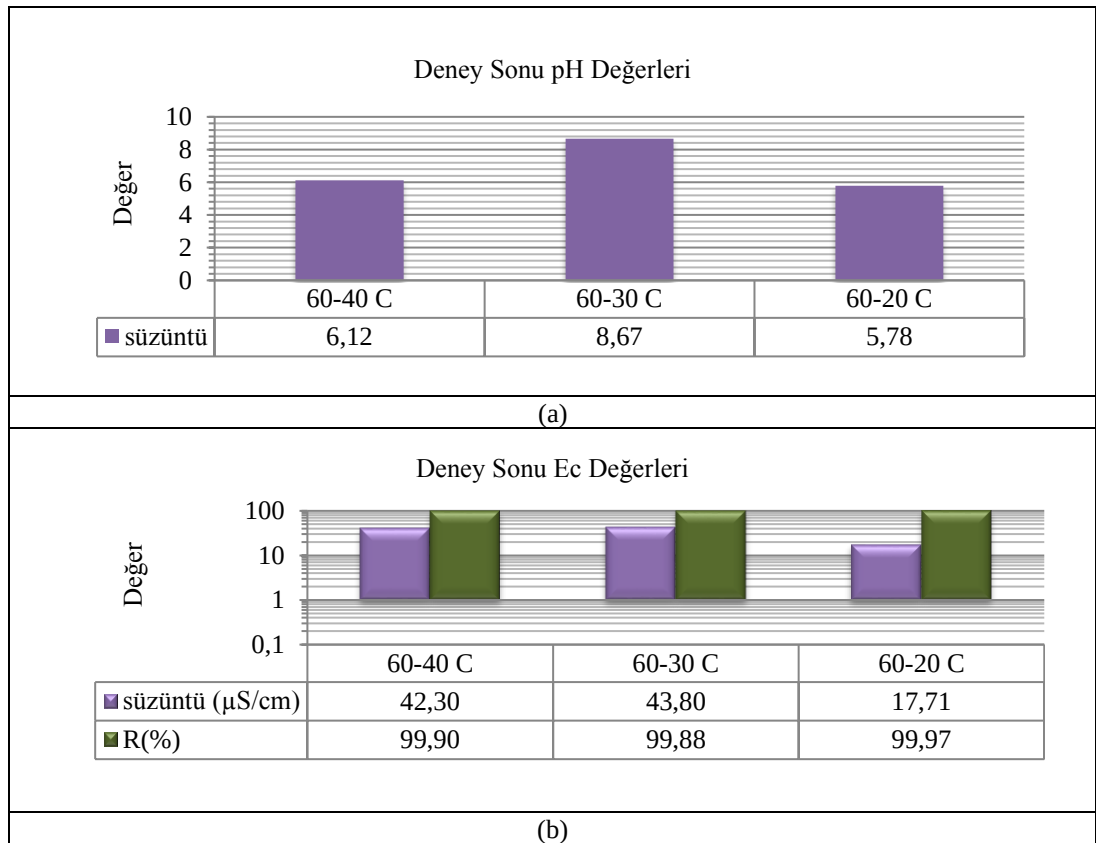


b) Su akısı L/m².sa

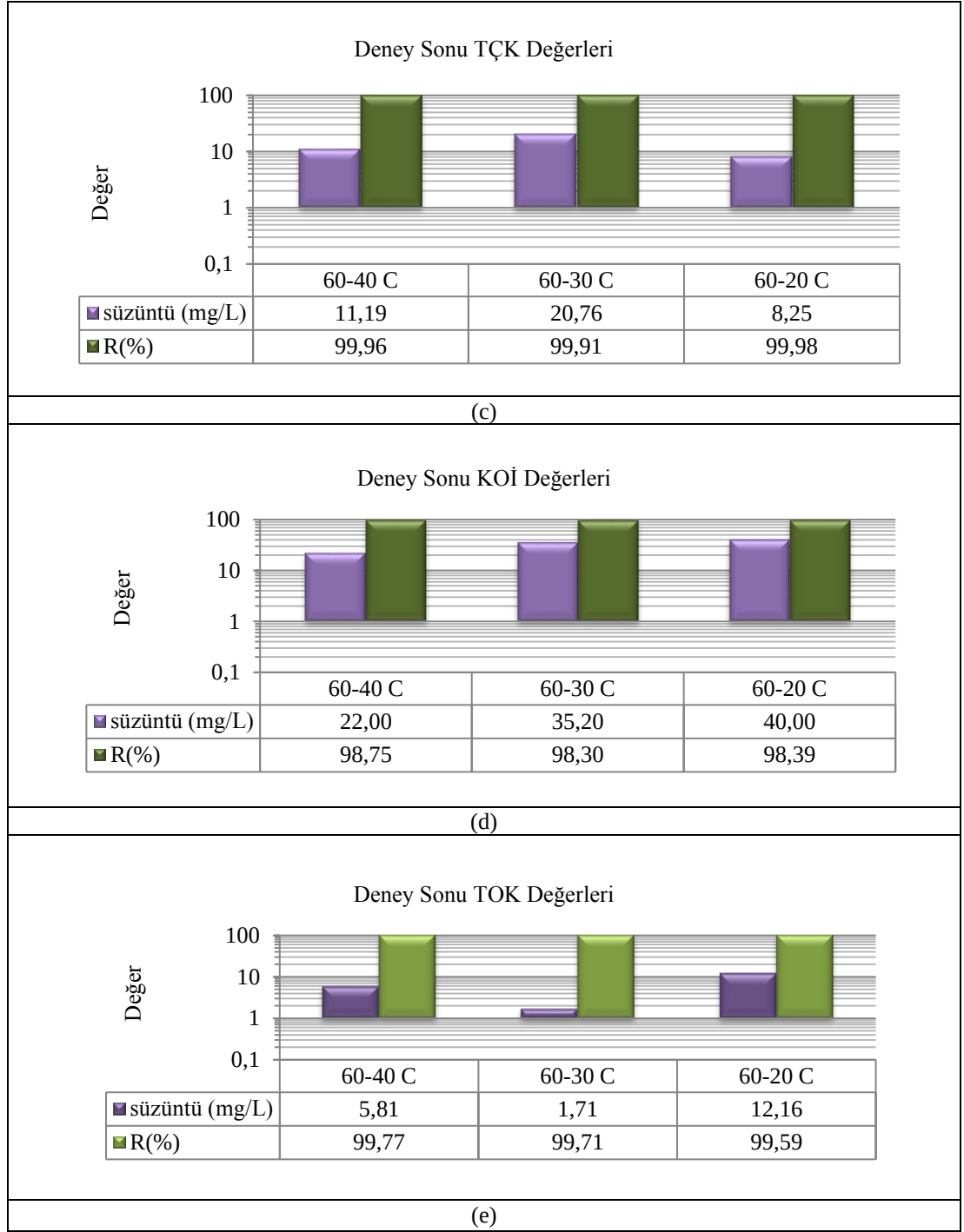
Şekil 4.6. DTMD prosesinde sızıntı suyunun arıtımında membran geçiş sıcaklık farkının etkisi a) Geçen su hacmi b) Su akısı (membran türü: PTFE 0,45 μm , akış hızı: sızıntı suyu (200L/sa)- distile su (200L/sa), hacim:4L, deney süresi: 6 saat).

DTMD prosesinde (Şekil 3.5a.) sabit 60°C besleme akımı sıcaklığı için süzüntü akımlarının 20, 30 ve 40°C olan membran geçiş sıcaklık farklarına ait su akıları sırasıyla 29,8, 28,5 ve 36,0 L/m².saat olarak belirlenmiştir. En yüksek su geçiş performansı 60-20°C’de elde edilmiş olsada giderim performansı 60-40°C sıcaklık farkında daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

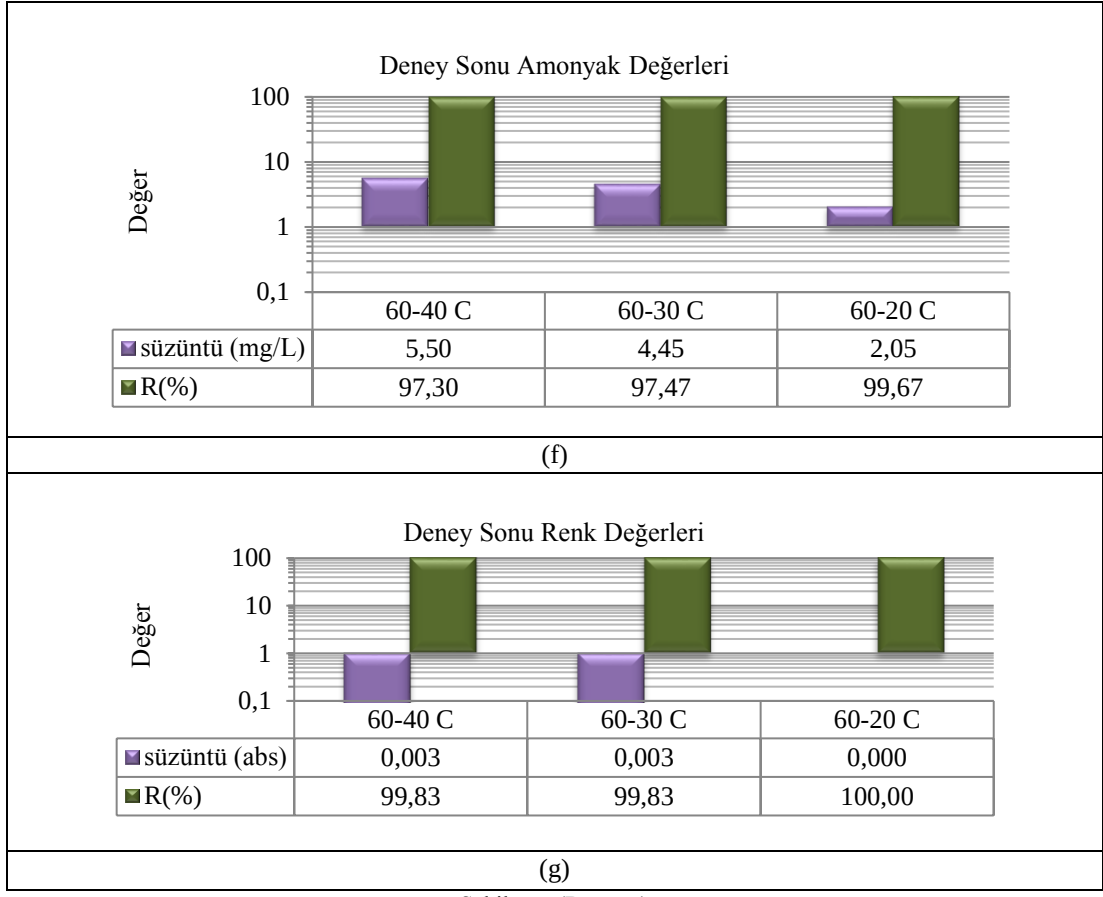
Deney süresince sızıntı suyu (besleme) ve süzüntü (distile su) akımları su kalite parametrelerinin (sıcaklık, pH, iletkenlik, TÇK (toplam çözünmüş katı), KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı), TOK (toplam organik karbon), amonyak ve renk) zamana karşı ölçülmüş olup deney sonu performansları ve giderim verimleri Şekil 4.7.’de verilmiştir.



Şekil 4.7. DTMD prosesinde sızıntı suyu arıtımında su kalitesi parametrelerinin membran geçiş sıcaklık farklarında performans sonuçları ve rejeksiyon değerleri (a) pH, b) Ei, c) TÇK, d) KOİ, e) TOK, f) NH₃, g) renk) (membran türü: PTFE 0,45µm, akış hızı: sızıntı suyu (200L/sa)- distile su (200L/sa), hacim:4L, deney süresi: 6 saat).



Şekil 4.7. (Devamı)



Şekil 4.7. (Devamı)

DTMD prosesinde sızıntı suyu arıtımında su kalitesi parametrelerinin membran geçiş sıcaklık farklarında (60-30, 60-40 ve 60-20°C) (membran türü: PTFE 0,45 µm, akış hızı: sızıntı suyu (200 L/sa) - distile su (200 L/sa), hacim: 4L, deney süresi: 6 saat) performans sonuçları ve giderim verimleri değerlerine bakıldığında deney sonu iletkenlik değerleri sırasıyla %99,88, 99,90 ve 99,97 olarak bulunmuştur. Deney sonu toplam çözünmüş katı (TÇK) değerleri sırasıyla %99,91, 99,96 ve 99,98 olarak bulunmuştur. Deney sonu KOİ değerleri sırasıyla %98,30, 98,75 ve 98,39 olarak bulunmuştur. Deney sonu TOK değerleri sırasıyla %99,71, 99,77 ve 99,59 olarak bulunmuştur. Deney sonu amonyak değerleri sırasıyla %97,47, 97,30 ve 99,67 olarak bulunmuştur. Deney sonu renk değerleri sırasıyla %99,83, 99,83 ve 100 olarak bulunmuştur. Bulgular ışığında DTMD prosesinde sızıntı suyu arıtımında su kalitesi giderim performansı 60-40°C daha uygun olduğu tespit edilmiştir.

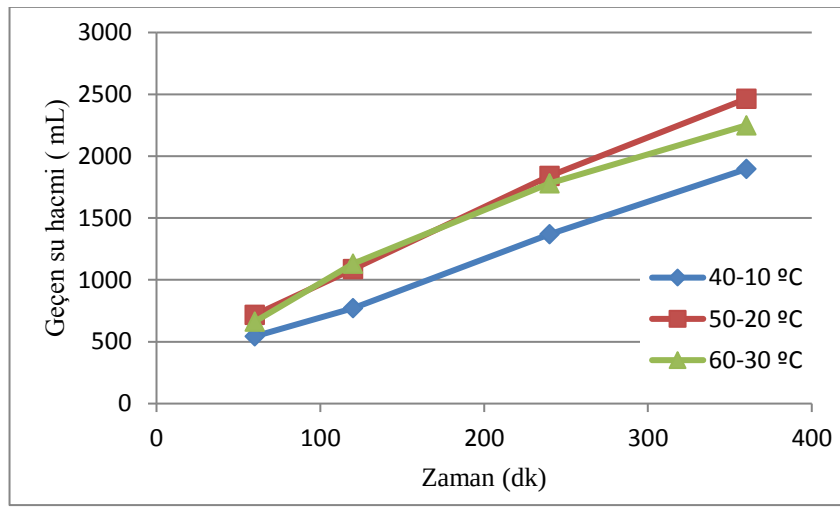
Deney sürecinde izlenen farklı membran geçiş sıcaklık farkının sızıntı suyu ve süzüntü akımları su kalitesi parametrelerinin (sıcaklık, pH, iletkenlik, TK (toplam çözünmüş katı), KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı), TOK (toplam organik karbon), amonyak ve renk) deney başı ve deney sonu değerleri Tablo 4.7.'de verilmiştir.

Tablo 4.7. DTMD prosesinde membran geçiş sıcaklık farkının etkisi (Membran: PTFE 0,45 μm , Akış hızı: 200L/sa (sızıntı suyu)-200L/sa (distile su), Deney süresi 6 saat, Hacim: 4L)

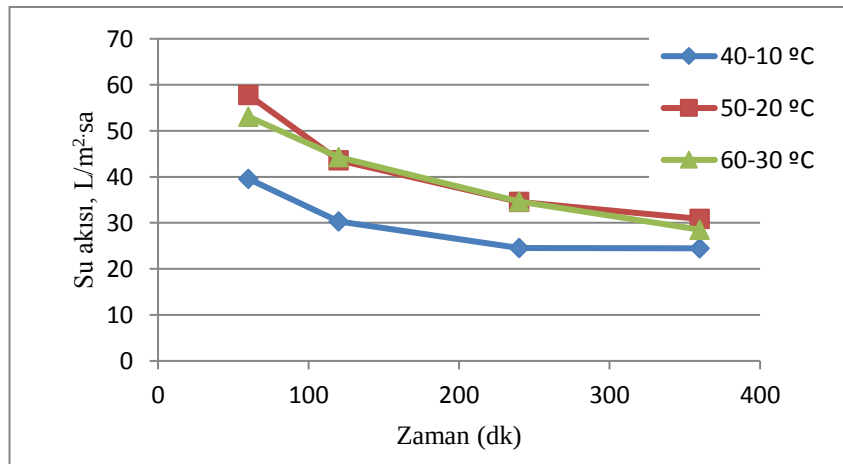
Parametre	Birim	$\Delta T: 20\text{ }^{\circ}\text{C}$				$\Delta T: 30\text{ }^{\circ}\text{C}$				$\Delta T: 40\text{ }^{\circ}\text{C}$			
		Sızıntı suyu		Distile su		Sızıntı suyu		Distile su		Sızıntı suyu		Distile su	
		60 $^{\circ}\text{C}$		40 $^{\circ}\text{C}$		60 $^{\circ}\text{C}$		30 $^{\circ}\text{C}$		60 $^{\circ}\text{C}$		20 $^{\circ}\text{C}$	
		Deney başı	Deney sonu	Deney başı	Deney sonu	Deney başı	Deney sonu	Deney başı	Deney sonu	Deney başı	Deney sonu	Deney başı	Deney sonu
pH	-	8,63	9,18	5,11	6,12	8,54	9,11	8,08	8,67	8,47	9,25	4,86	8,75
İletkenlik	$\mu\text{s/cm}$	16540	41800	3,79	42,30	15930	36400	15,16	43,80	14750	53800	9,45	17,71
TÇK	mg/L	9570	25600	1,70	11,19	9030	22500	4,84	20,76	8320	34200	6,77	8,25
Renk	abs	0,601	1,590	0,000	0,003	0,577	1,443	0,005	0,003	0,550	1,955	0,001	0,000
KOİ	mg/L	1114	2500	21,60	22	738	2068	13,20	35,20	1196	2930	39,60	40
TOK	mg/L	676	1760	0,92	5,81	246	589	0,94	1,71	977	148	1,33	12,16
Amonyak	mg/L	114	203	0,32	5,50	79	176	0,64	4,45	151	625	0,90	2,05

4.2.1.3. Çözelti sıcaklıkları

DTMD prosesinde sızıntı suyunun arıtımında PTFE 0,45 μm membran türü ve gözenek boyutu ile 200 L/sa'lık akış hızında, sabit membran geçiş sıcaklığı ($\Delta T = 30^\circ\text{C}$) altında sızıntı suyu ve distile su olmak üzere sırasıyla 40-10, 50-20 ve 60-30 $^\circ\text{C}$ sıcaklık işletim değerlerindeki çözelti sıcaklıklarının etkileri incelenmiş ve deneysel performans sonuçları, geçen su hacmi ve su akısı parametreleri Şekil 4.8.'de verilmiştir.



a) Geçen su hacmi (mL)

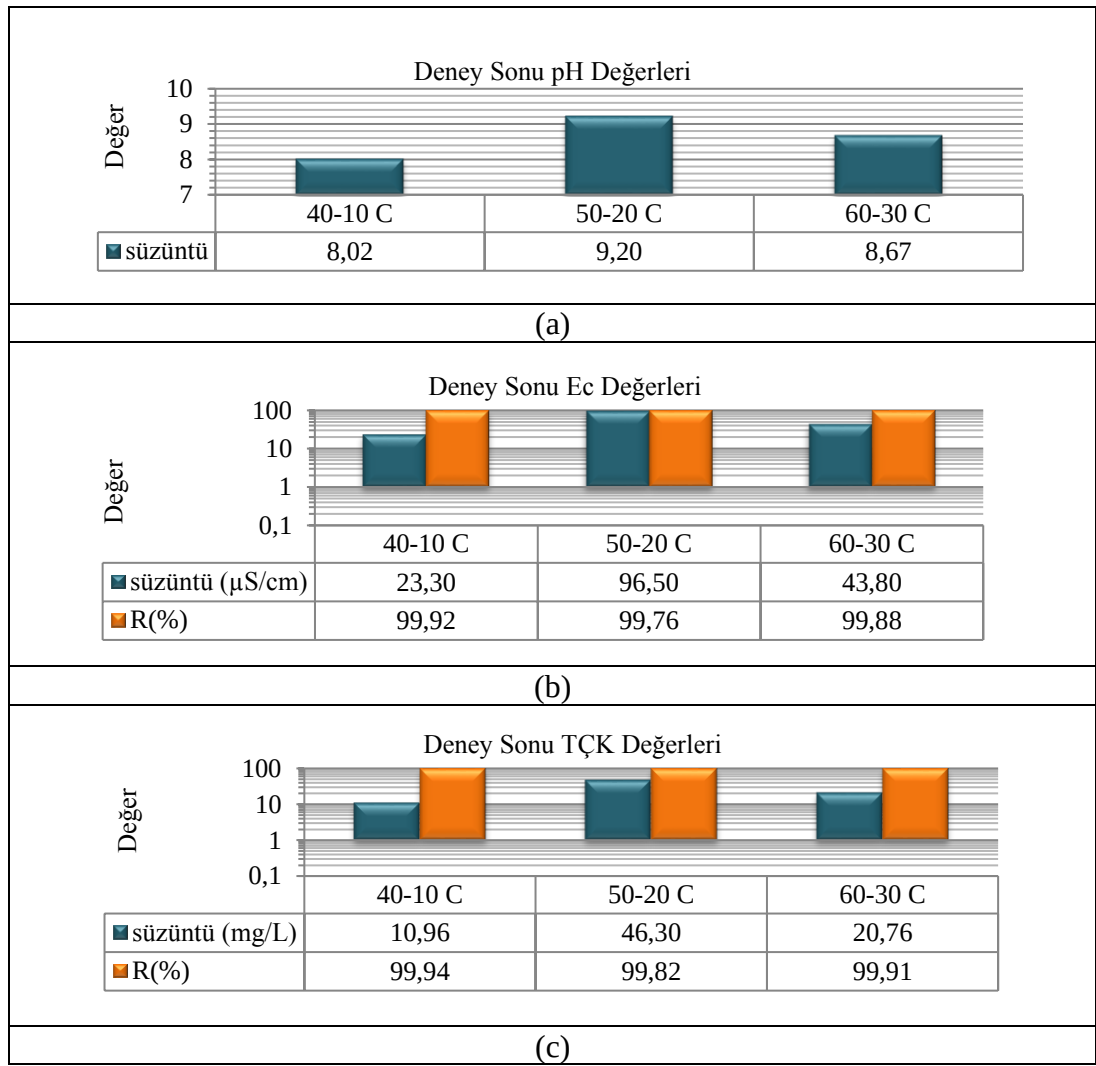


b) Su akısı L/m².sa

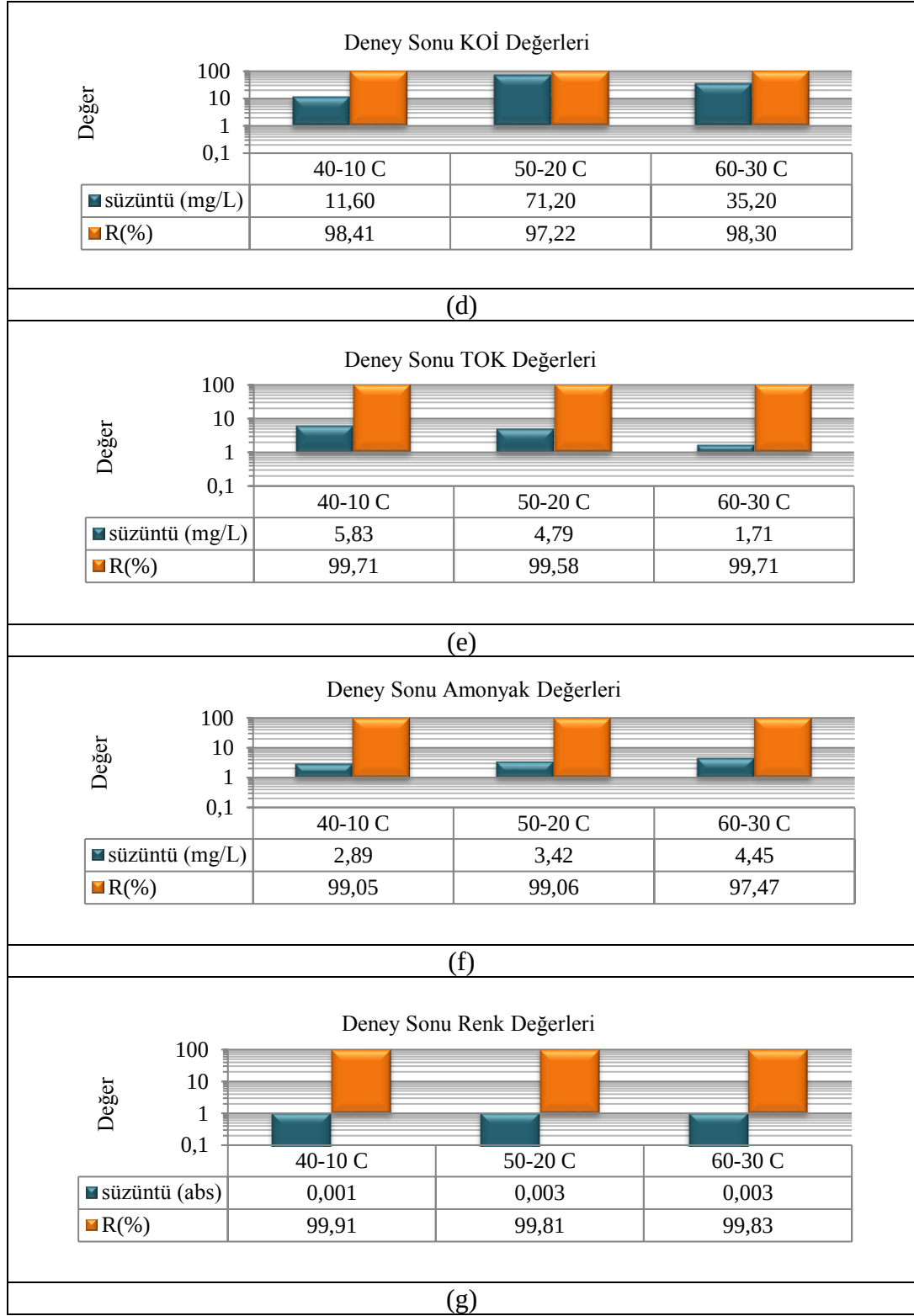
Şekil 4.8. DTMD prosesinde sızıntı suyunun arıtımında çözelti sıcaklıklarının etkisi a) Geçen su hacmi b) Su akısı (membran türü PTFE 0,45 μm , akış hızı: sızıntı suyu (200L/sa)- distile su (200L/sa), $\Delta T=30^\circ\text{C}$, hacim:4L, deney süresi: 6 saat).

DTMD prosesinde (Şekil 3.5a.) işletilen artan çözelti sıcaklıkları (40-10, 50-20 ve 60-30°C) için su akı performansları sırasıyla 24,5, 30,9 ve 28,5 L/m².sa olarak belirlenmiştir. Performans sonuçlarına göre besleme suyu sıcaklığı için 60°C'lik çözelti sıcaklığı uygun seçildi.

Deney süresince sızıntı suyu (besleme) ve süzüntü (distile su) akımları su kalite parametrelerinin (sıcaklık, pH, iletkenlik, TÇK (toplam çözünmüş katı), KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı), TOK (toplam organik karbon), amonyak ve renk) zamana karşı ölçülmüş olup deney sonu performansları ve giderim verimleri Şekil 4.9.'da verilmiştir.



Şekil 4.9. DTMD prosesinde sızıntı suyunun artımında su kalitesi parametrelerinin çözelti sıcaklıklarında performans sonuçları ve rejeksiyon değerleri (a) pH, b) Ei, c) TÇK, d) KOİ, e) TOK, f) NH₃, g) renk) (Membran türü PTFE 0,45 µm, akış hızı: sızıntı suyu (200L/sa)- distile su (200L/sa), ΔT=30°C, hacim:4L, deney süresi: 6 saat).



Şekil 4.9. (Devamı)

DTMD prosesinde sızıntı suyu arıtımında su kalitesi parametrelerinin farklı besleme ve süzüntü sıcaklıklarının (40-10, 50-20 ve 60-30°C) etkisinin (membran türü: PTFE 0,45 µm, akış hızı: sızıntı suyu (200 L/sa) - distile su (200 L/sa), hacim:4L, deney süresi: 6 saat) performans sonuçları ve giderim verimleri değerlerine bakıldığında farklı besleme ve süzüntü sıcaklıklarının (40-10, 50-20 ve 60-30°C) deney sonu iletkenlik değerleri sırasıyla %99,92, 99,76 ve 99,88 olarak bulunmuştur. Deney sonu toplam çözünmüş katı (TÇK) değerleri sırasıyla %99,94, 99,82 ve 99,91 olarak bulunmuştur. Farklı besleme ve süzüntü sıcaklıklarının (40-10, 50-20 ve 60-30°C) deney sonu KOİ değerleri sırasıyla %98,41, 97,22 ve 98,30 olarak bulunmuştur. Farklı besleme ve süzüntü sıcaklıklarının (40-10, 50-20 ve 60-30°C) deney sonu TOK değerleri sırasıyla %99,71, 99,58 ve 99,71 olarak bulunmuştur. Farklı besleme ve süzüntü sıcaklıklarının (40-10, 50-20 ve 60-30°C) deney sonu amonyak değerleri sırasıyla %97,05, 97,06, ve 99,47 olarak bulunmuştur. Farklı besleme ve süzüntü sıcaklıklarının (40-10, 50-20 ve 60-30°C) deney sonu renk değerleri sırasıyla %99,91, 99,81 ve 99,83 olarak bulunmuştur. Bulgular ışığında DTMD prosesinde sızıntı suyu arıtımında 60-30°C'deki sıcaklık değeri için su kalitesi giderim performansı daha uygun olduğu tespit edilmiştir.

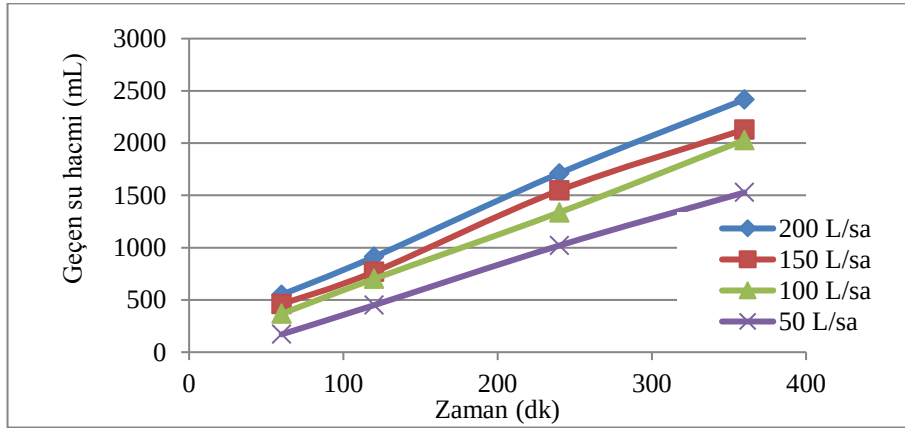
Deney sürecinde izlenen farklı çözelti sıcaklıklarının sızıntı suyu ve süzüntü akımları su kalitesi parametrelerinin (sıcaklık, pH, iletkenlik, TÇK (toplam çözünmüş katı), KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı), TOK (toplam organik karbon), amonyak ve renk) deney başı ve deney sonu değerleri Tablo 4.8.'de verilmiştir.

Tablo 4.8. DTMD prosesinde sızıntı suyunun arıtımında çözelti sıcaklıklarının etkisi (Membran: PTFE 0,45 µm, Akış hızı: 200L/sa (sızıntı suyu)-200L/sa (distile su), Deney süresi 6 saat, Hacim: 4L).

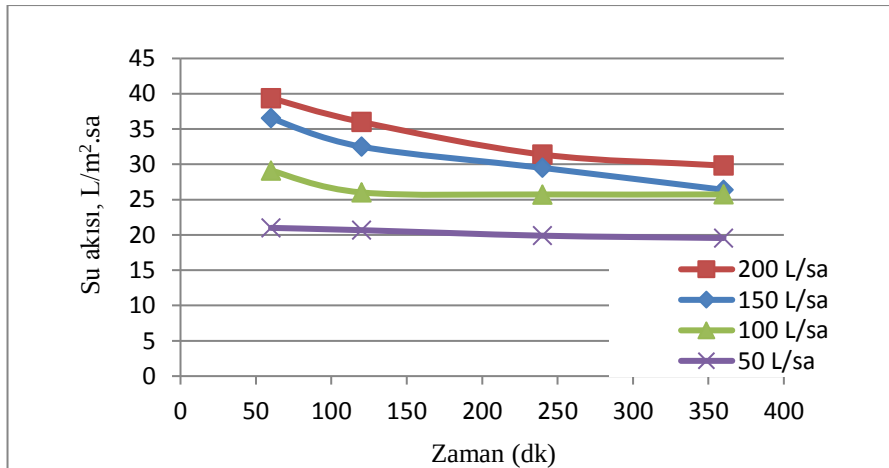
Parametre	Birim	$\Delta T: 30\text{ }^{\circ}\text{C}$											
		Sızıntı suyu		Distile su		Sızıntı suyu		Distile su		Sızıntı suyu		Distile su	
		40 °C		10 °C		50 °C		20 °C		60 °C		30 °C	
		Deney başı	Deney sonu	Deney başı	Deney sonu	Deney başı	Deney sonu	Deney başı	Deney sonu	Deney başı	Deney sonu	Deney başı	Deney sonu
pH	-	8,45	8,93	6,02	8,60	8,63	9,01	5,09	8,8	8,54	9,11	8,08	8,67
İletkenlik	µs/cm	15520	29500	59,90	23,30	15710	40900	42,80	96,50	15930	36400	15,16	43,80
TÇK	mg/L	8770	18040	28,40	10,96	8830	25100	22,70	46,30	9030	22500	4,84	20,76
Renk	abs	0,531	1,131	0,002	0,001	0,563	1,591	0,001	0,003	0,577	1,443	0,005	0,003
KOİ	mg/L	979	1983	1,60	11,60	1057	2560	40,80	71,20	738	2068	13,20	35,20
TOK	mg/L	636	728	0,65	5,83	860	1140	1,13	4,79	246	589	0,94	1,71
Amonyak	mg/L	138	304	0,34	2,89	107	364	0,20	3,42	79	176	0,64	4,45

4.2.1.4. Çapraz akış hızı

DTMD prosesinde sızıntı suyunun arıtımında seçilen uygun membran türü ve gözenek boyutu (PTFE 0,45 μm), sıcaklıkta (sızıntı suyu 60°C - süzöntü 40°C) membran kanalındaki farklı Re sayısı değerlerinde çapraz akış hızları incelenmiş ve deneysel performans sonuçları, geçen su hacmi ve su akısı parametreleri Şekil 4.10.'da verilmiştir.



a) Geçen su hacmi (mL)

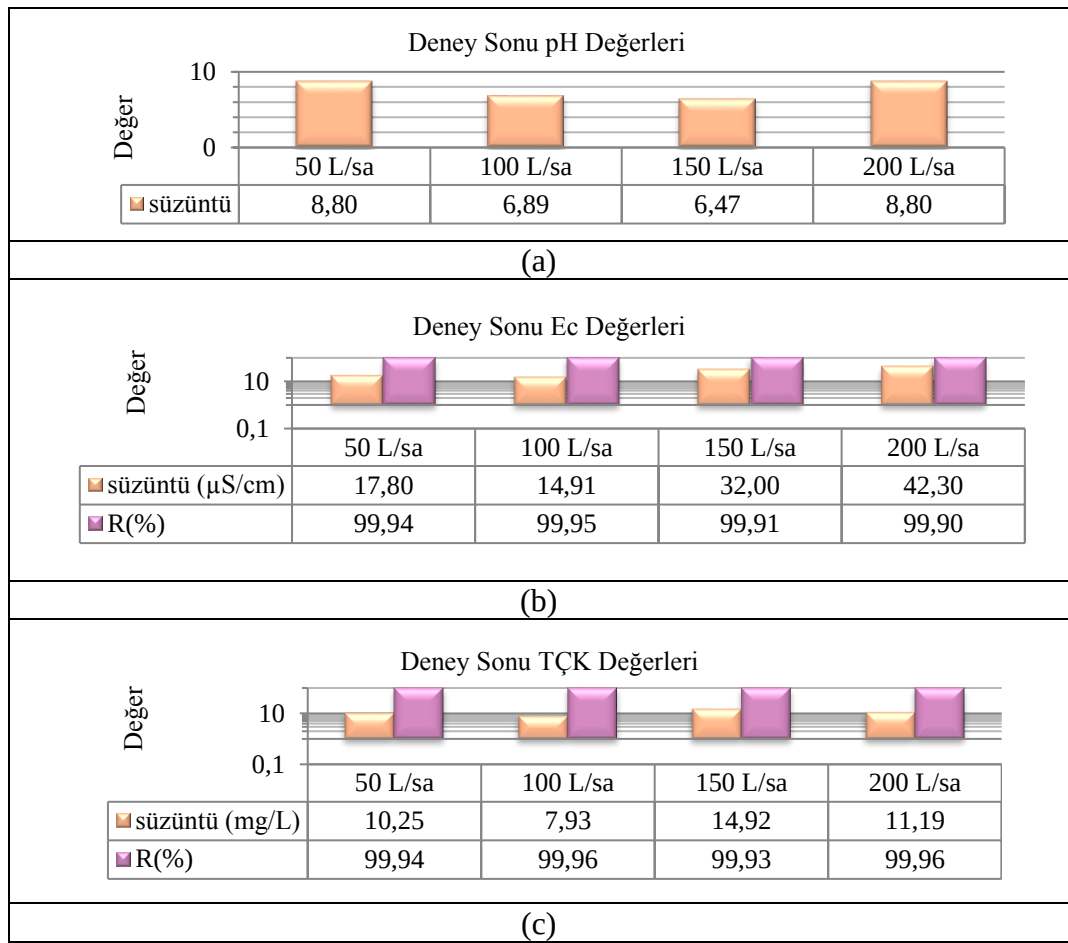


b) Su akısı L/m².sa

Şekil 4.10. DTMD prosesinde sızıntı suyunun arıtımında akış hızının etkisi a) Geçen su hacmi b) Su akısı (membran: PTFE 0,45 μm , sıcaklık: sızıntı suyu (60 °C)- distile su (40°C), $\Delta T=20^\circ\text{C}$, hacim: 4L, deney süresi: 6 saat).

DTMD prosesinde (Şekil 3.5a.) artan akış hızlarına (50, 100, 150 ve 200 L/sa) ait su akıları sırasıyla 19,6, 25,7, 26,4 ve 29,8 L/m².sa olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar ışığında en yüksek su akı performansı 29,8 L/m².sa olarak bulunan 200 L/sa'lık akış hızı olarak tespit edilmiştir. Sızıntı suyunun iletkenlik, toplam çözünmüş katılar, toplam organik karbon ve amonyak giderimi süzöntü akımına doğru geçen su hacmi ile artmaktadır.

Deney süresince sızıntı suyu (besleme) ve süzöntü (distile su) akımları su kalite parametrelerinin (sıcaklık, pH, iletkenlik, TÇK (toplam çözünmüş katı), KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı), TOK (toplam organik karbon), amonyak ve renk) zamana karşı ölçülmüş olup deney sonu performansları ve giderim verimleri Şekil 4.11.'de verilmiştir.



Şekil 4.11. DTMD prosesinde sızıntı suyunun arıtımında su kalitesi parametrelerinin farklı akış hızında performans sonuçları ve rejeksiyon değerleri (a) pH, b) Ei, c) TÇK, d) KOİ, e) TOK, f) NH₃, g) renk) (membran: PTFE 0,45 µm, sıcaklık: sızıntı suyu (60 °C)- distile su (40°C), ΔT=20°C, hacim: 4L, deney süresi: 6 saat).



Şekil 4.11. (Devam)

DTMD prosesinde sızıntı suyu arıtımında su kalitesi parametrelerinin farklı akış hızlarının (50, 100, 150 ve 200 L/sa) (membran: PTFE 0,45 μ m, sıcaklık: sızıntı suyu (60°C) - distile su (40°C), $\Delta T = 20^\circ\text{C}$, hacim: 4L, deney süresi: 6 saat) performans sonuçları ve giderim verimleri değerlerine bakıldığında farklı akış hızlarının (50, 100, 150 ve 200 L/sa) deney sonu iletkenlik değerleri sırasıyla % 99,94, 99,95, 99,91 ve 99,90 olarak bulunmuştur. Farklı akış hızlarının (50, 100, 150 ve 200 L/sa) deney sonu toplam çözünmüş katı (TÇK) değerleri sırasıyla %99,94, 99,96, 99,93 ve 99,96 olarak bulunmuştur. Farklı akış hızlarının (50, 100, 150 ve 200 L/sa) deney sonu KOİ değerleri sırasıyla %98,49, 98,15, 96,09 ve 98,75 olarak bulunmuştur. Farklı akış hızlarının (50, 100, 150 ve 200 L/sa) deney sonu TOK değerleri sırasıyla %99,79, 99,84, 99,58 ve 99,77 olarak bulunmuştur. Farklı akış hızlarının (50, 100, 150 ve 200 L/sa) deney sonu amonyak değerleri sırasıyla %99,78, 99,76, 99,69 ve 99,06 olarak bulunmuştur. Farklı akış hızlarının (50, 100, 150 ve 200 L/sa) deney sonu renk değerleri sırasıyla %99,90, 100,00, 100,00 ve 99,83 olarak bulunmuştur. Bulgular ışığında sızıntı suyu arıtımında akış hızı 200 L/sa olarak işletilen DTMD prosesinde su kalitesi giderim performans değerleri uygun olduğu tespit edilmiştir.

Deney sürecinde izlenen farklı akış hızlarının sızıntı suyu ve süzüntü akımları su kalitesi parametrelerinin (sıcaklık, pH, iletkenlik, TÇK (toplam çözünmüş katı), KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı), TOK (toplam organik karbon), amonyak ve renk) deney başı ve deney sonu değerleri Tablo 4.9.'da verilmiştir.

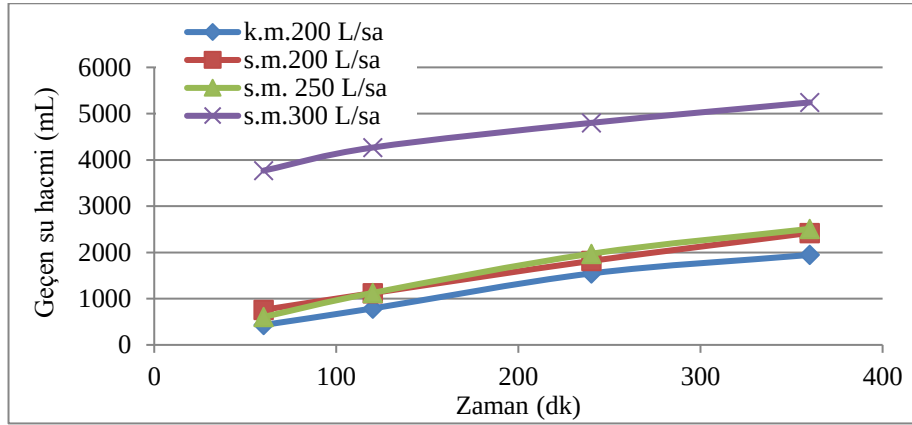
Tablo 4.9. Farklı akış hızlarında işletilen kesikli DTMD prosesinin performansı (membran: PTFE 0,45 µm, sıcaklık: sızıntı suyu (60 °C)- distile su (40°C), ΔT=20°C, hacim: 4L, deney süresi: 6 saat).

Parametre	Birim	Sızıntı suyu 50 L/sa		Distile su 50 L/sa		Sızıntı suyu 100 L/sa		Distile su 100 L/sa	
		Deney Başı	Deney Sonu	Deney Başı	Deney Sonu	Deney Başı	Deney Sonu	Deney Başı	Deney Sonu
pH	-	8,43	8,92	7,77	8,80	8,64	9,14	7,33	6,89
İletkenlik	µs/cm	17060	27600	7,67	17,80	16310	33100	30,20	14,91
TÇK	mg/L	9870	16750	3,26	10,25	9340	20330	15,63	7,93
Renk	abs	0,565	1,031	0,000	0,001	0,555	1,147	0,002	0,000
KOI	mg/L	2854	4384	53,60	66	978	1799	3,60	24
TOK	mg/L	1141	1792	0,74	3,69	744	1296	1,87	2,84
Amonyak	mg/L	111	243	0,07	0,53	145	286	0,10	0,67

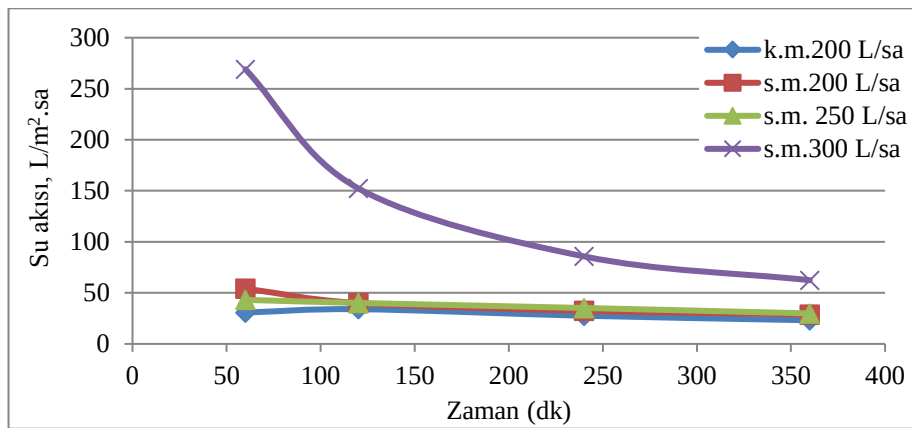
Parametre	Birim	Sızıntı suyu 150 L/sa		Distile su 150 L/sa		Sızıntı suyu 200 L/sa		Distile su 200 L/sa	
		Deney Başı	Deney Sonu	Deney Başı	Deney Sonu	Deney Başı	Deney Sonu	Deney Başı	Deney Sonu
pH	-	8,01	9,06	5,11	6,47	8,63	9,18	5,11	8,80
İletkenlik	µs/cm	15940	34100	11,98	32	16540	41800	3,79	42,30
TÇK	mg/L	9210	20660	5,44	14,92	9570	25600	1,69	11,19
Renk	abs	0,820	1,253	0,000	0,000	0,601	1,590	0,000	0,003
KOI	mg/L	1108	1940,65	27,60	64,40	1114	2500	4	22
TOK	mg/L	947	1648	3,73	8,24	676	1760	0,92	5,81
Amonyak	mg/L	146	484	0,05	1,52	38,50	71,20	0,32	0,67

4.2.1.5. Kesikli ve sürekli pompaj

DTMD prosesindeki kesikli mod pompalar (Şekil 3.5a.) ile sürekli modda çalışan pompaların (Şekil 3.5b.) bulunduğu sistemlerde kıyaslanmıştır. Çalışmalar Tablo 3.1.'deki kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu ile gerçekleştirilmiştir. PTFE 0,45 μm membran türü ve boyutu ile membran geçiş sıcaklık farkı sabit ($20 \pm 5^\circ\text{C}$) değerinde kesikli modda çalışan pompalar ile 200 L/sa akış hızında sürekli modda çalışan pompalar ile 200, 250 ve 300 L/sa akış hızlarında işletilmiştir. DTMD prosesinde kesikli ve sürekli pompaların performans sonuçları geçen su hacmi ve su akısı parametreleri Şekil 4.12.'de verilmiştir.



a) Geçen su hacmi (mL)



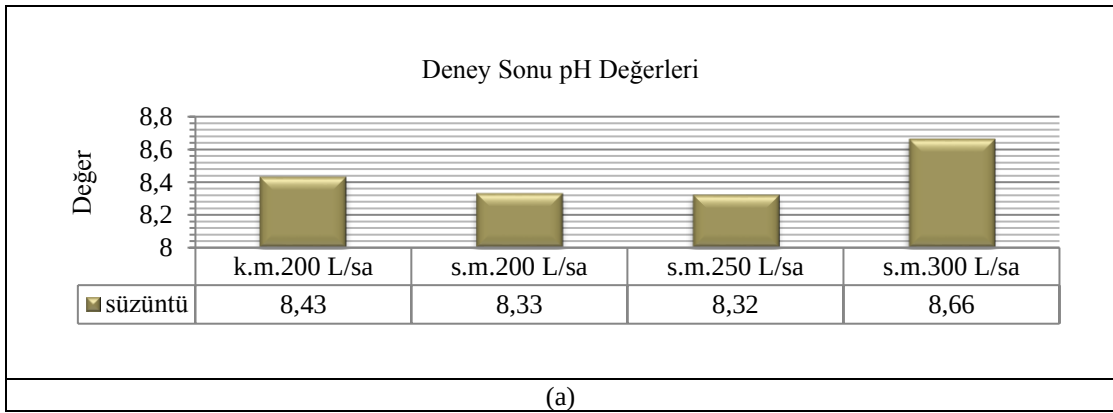
b) Su akısı L/m².sa

Şekil 4.12. DTMD prosesinde sızıntı suyunun arıtımında pompaların etkisi a) Geçen su hacmi b) Su akısı (membran: PTFE 0,45 μm , sıcaklık: sızıntı suyu (60°C)- distile su (40°C), $\Delta T=20^\circ\text{C}$, hacim: 4L, deney süresi: 6 saat).

Proseste membran geçiş sıcaklık farkı sabit ($20\pm5^{\circ}\text{C}$) değerinde işletilmiştir. Sızıntı suyunun iletkenlik, toplam çözünmüş katılar, toplam organik karbon ve amonyak giderimi süzüntü akımına doğru geçen su hacmi ile artmaktadır.

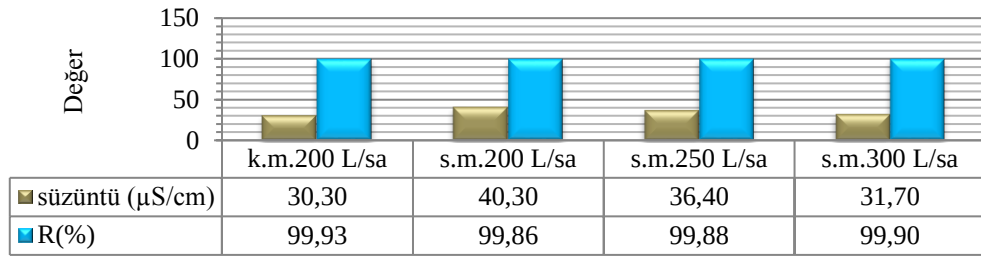
Kesikli mod 200 L/sa'lık akış hızının su akısı $23,2 \text{ L/m}^2\text{.sa}$, sürekli modda çalışan pompaların 200, 250 ve 300 L/sa'lık akış hızlarına ait su akıları sırasıyla 28,8, 29,9 ve $62,4 \text{ L/m}^2\text{.sa}$ olarak bulunmuştur. Elde edilen bulgulara göre sürekli mod pompalarının performansı daha iyi bulunmuştur. Fakat su kalitesi parametreleri zamanla değişim performansları kesikli mod çalışan pompada daha iyi bulunmuştur. Bulgular ışığında DTMD posesinde kesikli modda çalışan pompaların (şekil 3.5a.) sızıntı suyu arıtımında daha uygun olduğu tespit edilmiştir.

Sızıntı suyunun arıtımda DTMD prosesinde kesikli mod ve sürekli mod pompaların etkisi araştırılmış olup su kalitesi parametrelerinin değişimleri şekil 4.13.'de verilmiştir.



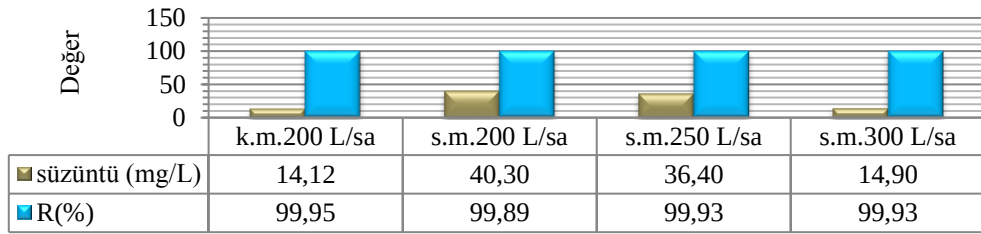
şekil 4.13. Sızıntı suyunun arıtımında su kalitesi parametrelerinin farklı pompa performans sonuçları ve rejeksiyon değerleri (a) pH, b) Ei, c) TK, d) KOİ, e) TOK, f) NH_3 , g) renk) (membran: PTFE 0,45 μm , sıcaklık: sızıntı suyu (60°C) - distile su (40°C), $\Delta T=20^{\circ}\text{C}$, hacim: 4L, deney süresi: 6 saat)

Deney Sonu Ec Değerleri



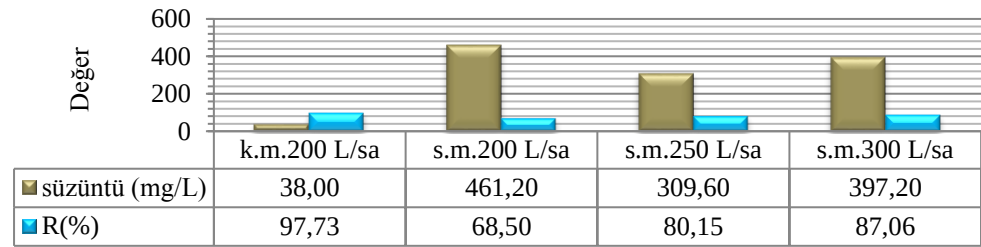
(b)

Deney Sonu TÇK Değerleri



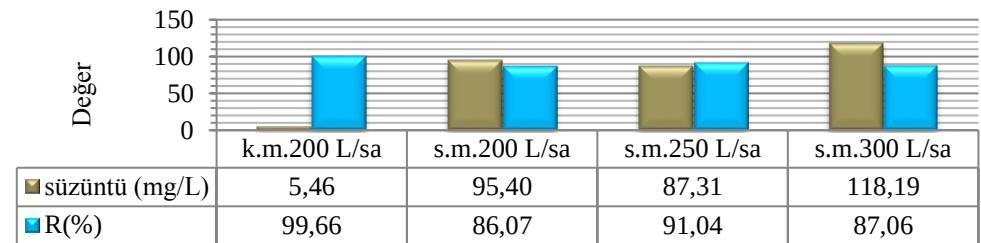
(c)

Deney Sonu KOİ Değerleri



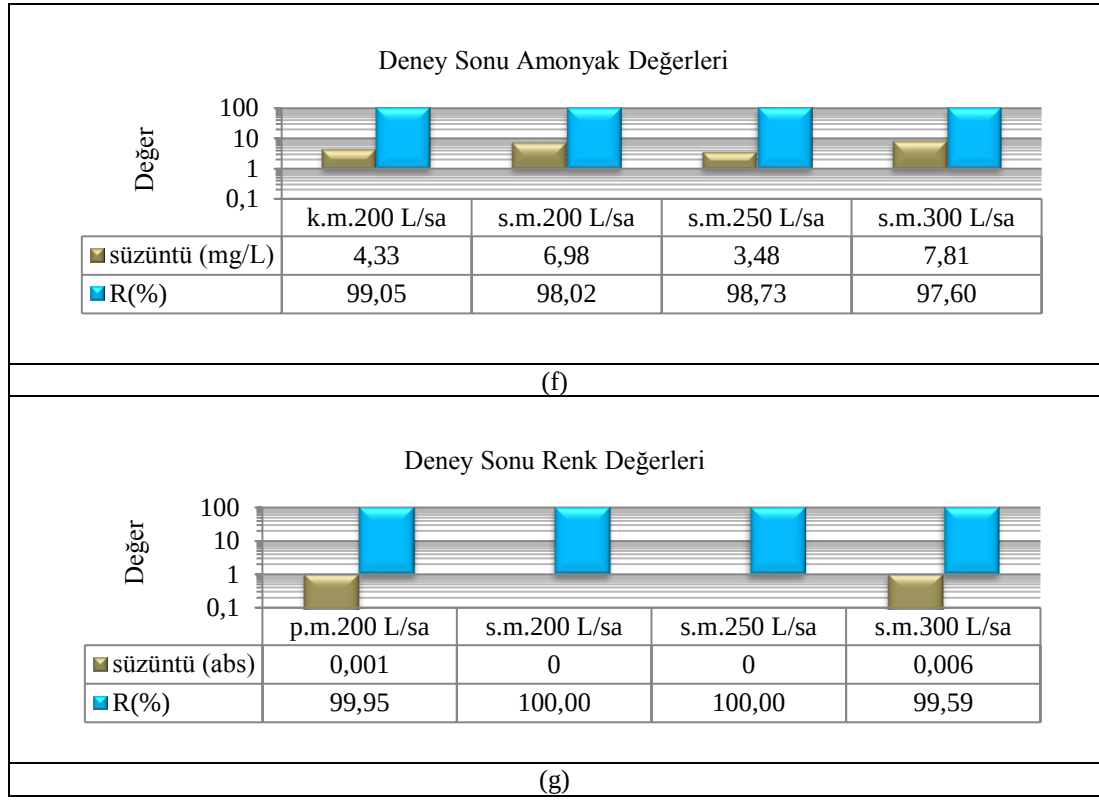
(d)

Deney Sonu TOC Değerleri



(e)

Şekil 4.13. (Devamı)



Şekil 4.13. (Devamı)

DTMD prosesinde k.m. 200, s.m.200, s.m. 250 ve s.m.300 L/sa değerlerinde çalıştırılan pompaların giderim verimlerine bakıldığında deney sonu iletkenlik değerleri sırasıyla %99,93, 99,86, 99,88 ve 99,90 olarak bulunmuştur ve en iyi giderim verimi kesikli modda çalışan pompa ile sağlanmıştır. DTMD prosesinde akış hızları k.m.200, s.m.200, s.m.250 ve s.m.300 L/sa olarak işletiminin deney sonu toplam çözünmüş katı (TÇK) değerleri sırasıyla %99,95, 99,89, 99,93 ve 99,93 olarak bulunmuştur ve en iyi giderim verimine kesikli modda çalışan pompa ile sağlanmıştır. DTMD prosesinde akış hızları k.m.200, s.m.200, s.m.250 ve s.m.300 L/sa olarak işletiminin deney sonu KOİ değerleri sırasıyla %97,73, 68,50, 80,15 ve 87,06 olarak bulunmuştur ve en iyi giderim verimine kesikli modda çalışan pompa ile sağlanmıştır. DTMD prosesinde akış hızları k.m.200, s.m.200, s.m.250 ve s.m.300 L/sa olarak işletiminin deney sonu TOK değerleri sırasıyla %99,66, 86,07, 91,04 ve 87,06 olarak bulunmuştur ve en iyi giderim verimine kesikli modda çalışan pompa ile sağlanmıştır. DTMD prosesinde akış hızları k.m.200, s.m.200, s.m.250 ve s.m.300 L/sa olarak işletiminin deney sonu amonyak değerleri sırasıyla %99,05, 98,02, 98,73 ve 97,60 olarak bulunmuştur ve en iyi giderim verimine kesikli modda çalışan pompa

ile sağlanmıştır. Bulgular ışığında DTMD prosesinde kesikli modda çalışan pompaların sızıntı suyu arıtımında daha uygun olduğu tespit edilmiştir.

Sızıntı suyunun süzüntü akımına doğru geçen su hacmi miktarı arttıkça su kalitesi parametreleri değerlerinde zamanla artış görülmüştür. Proses deney başı ve sonu değerleri Tablo 4.10. ve Tablo 4.11.'de verilmiştir.

Tablo 4.10. Kesikli Pompaj DTMD prosesinin performansı (membran türü ve gözenek boyutu: PTFE 0,45 µm, sıcaklık: sızıntı suyu (60 °C) - distile su (40°C), $\Delta T=20^\circ\text{C}$, hacim: 4L, deney süresi: 6 saat).

Kesikli pompaj					
Parametre	Birim	Sızıntı suyu		Distile su	
		200 L/sa		200 L/sa	
		Deney başı	Deney sonu	Deney başı	Deney sonu
pH	-	8,34	8,86	7,07	8,43
İletkenlik	µs/cm	22400	43600	27,70	30,30
TÇK	mg/L	13430	27200	7,63	14,12
Renk	abs	0,973	1,990	0,000	0,001
KOİ	mg/L	1052	1675	7,2	38
TOK	mg/L	526	837	1,34	5,46
Amonyak	mg/L	142	458	0,60	4,33

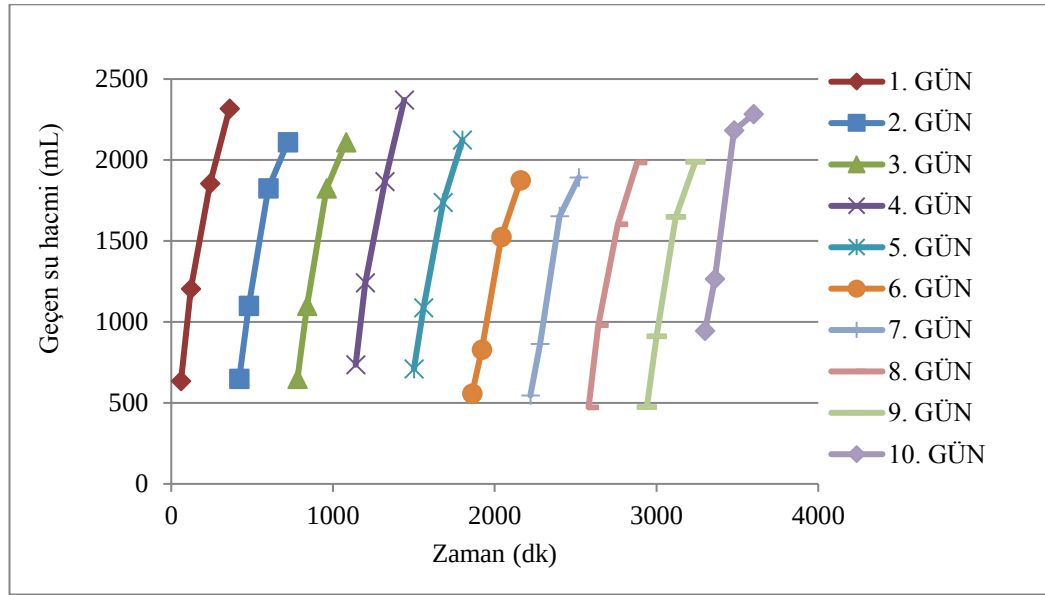
Tablo 4.11. Farklı akış hızlarında işletilen Sürekli Pompaj DTMD prosesinin performansı (membran türü ve gözenek boyutu: PTFE 0,45 µm, sıcaklık: sızıntı suyu (60 °C) - distile su (40°C), $\Delta T=20^\circ\text{C}$, hacim: 4L, deney süresi: 6 saat)

Sürekli Pompaj						Sürekli Pompaj				Sürekli Pompaj			
Parametre	Birim	Sızıntı suyu		Distile su		Sızıntı suyu		Distile su		Sızıntı suyu		Distile su	
		200 L/sa		200 L/sa		250 L/sa		250 L/sa		300 L/sa		300 L/sa	
		Deney başı	Deney sonu	Deney başı	Deney sonu	Deney başı	Deney sonu	Deney başı	Deney sonu	Deney başı	Deney sonu	Deney başı	Deney sonu
pH	-	8,16	8,48	8,00	8,33	9,04	8,81	9,00	8,32	8,00	8,59	8,00	8,66
İletkenlik	µs/cm	20640	29600	25,20	40,30	20800	30300	50,70	36,40	11480	33300	24,10	31,70
TÇK	mg/L	12000	17970	11,52	20,15	11870	17990	0,00	13,26	6310	19960	11,46	14,90
Renk	abs	0,928	1,388	0,000	0,000	0,962	1,425	0,000	0,000	0,466	1,501	0,000	0,006
KOİ	mg/L	828	1464	60,4	461	1011	1560	125	310	668	2120	182	397
TOK	mg/L	610	900	30	125	633	974	18	87	312	914	18	118
Amonyak	mg/L	112	353	0,19	6,98	109	275	1,17	3,48	120	326	0,43	7,81

4.3. DTMD ve UF Proseslerinde Uzun Süreli Arıtma Performansları

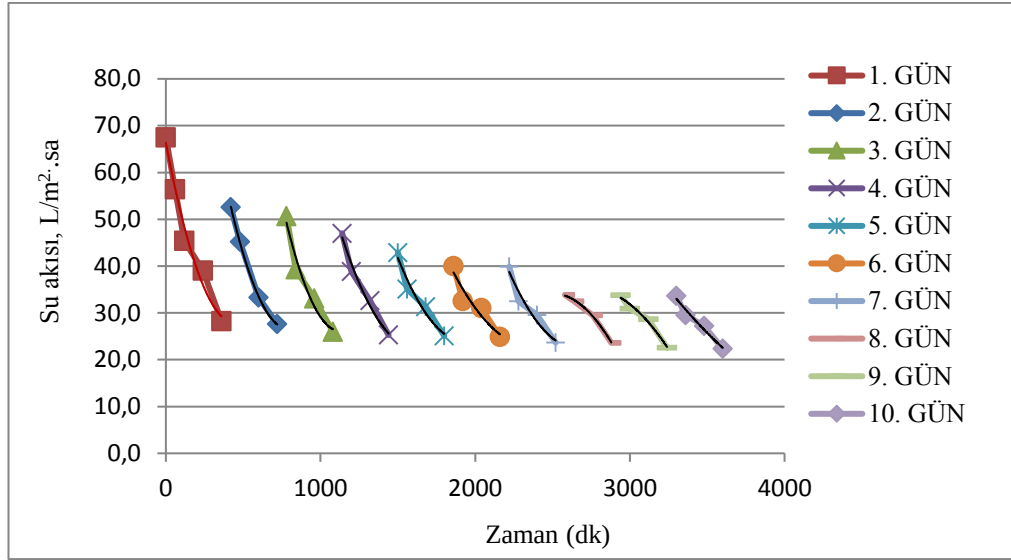
4.3.1. DTMD proses performansı

Uzun süreli DTMD prosesi işletimi belirlenmiş olan optimum membran türü ve boyutu PTFE 0,45 μm , akış hızı 200 L/sa, sıcaklık sızıntı suyu 60°C, distile su 40°C’de 4 L su ile kesikli mod pompalı sistemde ardışık 10 günlük ve günlük 6 saatlik periyotta Şekil 3.5a.’daki DTMD prosesinde işletilmiştir. Her günün sonunda % 1 HCl (30 dk) + distile su (30 dk) + %1 NaOH (30 dk) + distile su (30 dk) şeklinde membran temizleme işlemleri yapılmıştır. Her gün tanklara yeni 4’er litre sızıntı suyu ve distile su konularak işletilmiştir. Uzun süreli DTMD prosesi işletimi Tablo 3.1.’de verilmiş olan kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu ile gerçekleştirilmiştir. Uzun süreli DTMD prosesinde sızıntı suyu arıtımı üzerine gerçekleştirilen deneysel çalışmalarda elde edilen geçen su hacmi ve su akısı parametreleri Şekil 4.14.’de verilmiştir.



a) Geçen su hacmi

Şekil 4.14. Sürekli işletimli DTMD prsesinde sızıntı suyu arıtımı a) geçen su hacmi, b) su akısı (membran: PTFE 0,45 μm , Akış hızı 200L/sa, $\Delta T = 20^\circ\text{C}$, deney süresi ardışık 10 gün



b) Su akısı L/m².sa

Şekil 4.14. (Devamı)

Uzun süreli DTMD prosesinin işletiminde 10. Günü sonunda konsantre ve süzüntü suyu için karakterizasyon sonuçları ve giderim verimleri Tablo 4.12.'de verilmiştir.

Tablo 4.12. Uzun süreli DTMD prosesi su kalitesi analiz sonuçları

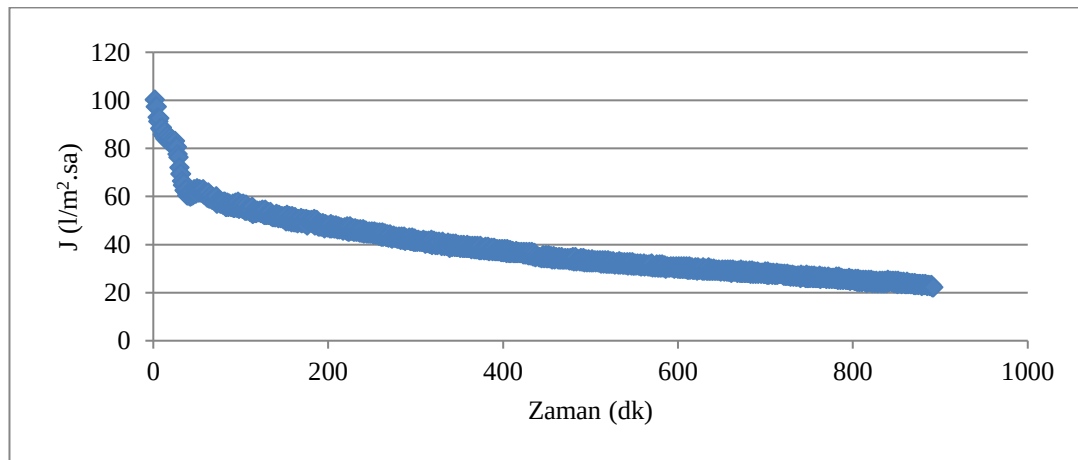
Parametre	Kaba filtreden süzülmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu uzun süreli 10. gün DTMD süzüntüsü	Kaba filtreden süzülmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu uzun süreli 10. gün DTMD konsantresi	Kaba filtreden süzülmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu uzun süreli 10. gün DTMD giderim verimi (%)
Sıcaklık (°C)	40	60	-
pH	6,80	8,90	-
İletkenlik (µS/cm)	19,21	40800	99,95
TÇK (mg/L)	12,02	24500	99,95
KOI (mg/L)	2,80	3490	99,92
TOK (mg/L)	1,40	1101	99,87
Klorür (mg/L)	0	709,78	100,00
Sülfat (mg/L)	11,35	174,30	93,49
Alkalinite (mg/L)	33	3710	99,11
NH ₃ (mg/L)	0,70	408	99,83
TN (mg/L)	3,56	1585	99,78
Fe II (mg/L)	0,13	6,67	98,11
Fe III (mg/L)	0	45	100
Yağ & Gres (mg/L)	20	110	84,61
AKM(mg/L)	35	130	73,08
Renk (abs)	0	1,81	100
Bulanıklık(NTU)	0,24	214	99,89
Yoğunluk (g/cm ³)	0,99	1,02	

Tablo 4.12. (Devamı)

Parametre	Kaba filtreden süzülmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu uzun sürelili 10. gün DTMD süzuntüsü	Kaba filtreden süzülmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu uzun sürelili 10. gün DTMD konsantresi	Kaba filtreden süzülmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu uzun sürelili 10. gün DTMD giderim verimi (%)
Viskozite (mPa.s)	0,55	0,63	
Toplam Kjeldahl-Azotu (mg/L)	6,78	179	96,22
Toplam Fosfor (mg/L)	0	9,20	100,0
Toplam Krom (mg/L)	0,01	1,49	99,66
Krom (mg/L)	0,67	4,14	83,82
Kurşun (mg/L)	0,01	0,05	94,00
Toplam Siyanür (mg/L)	0,01	0,26	95,44
Kadmiyum (mg/L)	0	0	100,0
Florür (mg/L)	-	-	100,0
Bakır (mg/L)	0,02	5,25	99,70
Çinko (mg/L)	0,03	2,22	98,56
Balık Biyodeneyi(ZSF)	5		

4.3.2. UF proses performansı

Basınç sürücülü sistemin kesikli işletimleri için yürütülmüş olan sterlitech tezgah üstü çapraz akış membran filtrasyon sisteminde (Şekil 3.2.) belirlenmiş olan optimum UV150 membranı ve 7,5 bar'lık basınç, 15 L/dk akış hızı ile VRF'ye karşı uzun süreli işletimi basınç sürücülü membran sisteminde (Şekil 3.3.) çalışılmıştır. Tablo 3.1.'deki kaba filtreden süzölmüş sızıntı suyu ile deney yapılmıştır. VRF'ye göre deneysel su akışı Şekil 4.15.'de verilmiştir.



Şekil 4.15. UF prosesi uzun süreli işletimi akı grafiği

Kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyunun UF prosesiyle uzun süreli işletiminde gerçekleştirilen deneysel çalışmada su kalitesi parametreleri sonuçları, süzöntü değeri için Tablo 4.13.'de ve konsantre değeri için ise Tablo 4.14.'de verilmiştir. Kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyunun UF prosesiyle uzun süreli işletiminde su kalitesi giderim verimleri %85,15 KOİ, %89,85 TOK ve %99,10 NH_3^+ olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.13. Kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyunun UF prosesiyle uzun süreli işletimi için konsantredeki deneysel sonuçlar

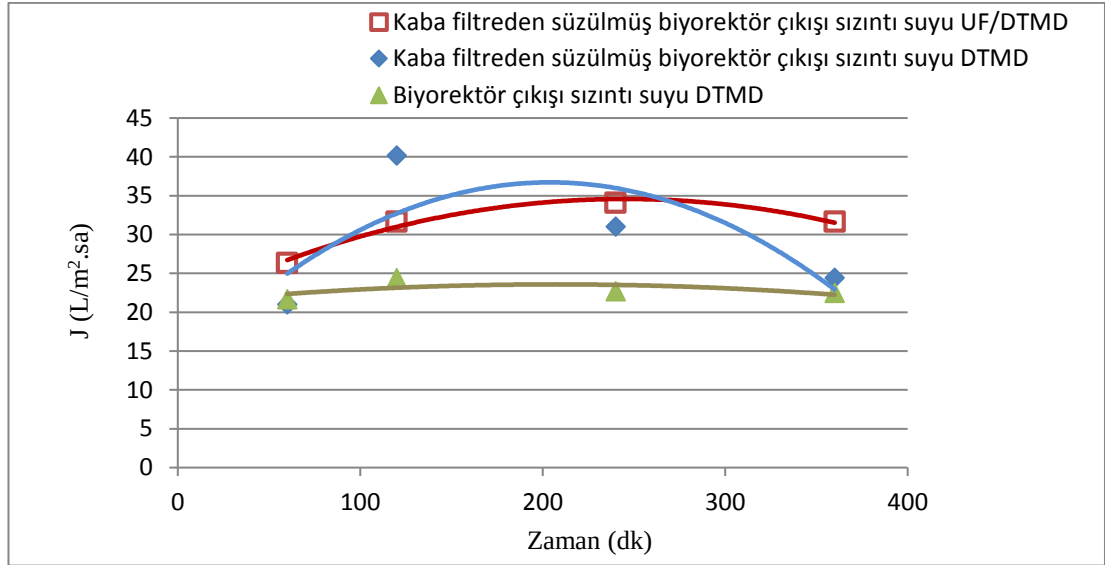
VRF (%)	Sonuç parametreleri										
	UF prosesi (konsantre)										
	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6				Y7	Y8
	pH	E _i	TÇK	TOK	KOI	Renk				NH ₃	<i>J</i>
						λ_{436}	λ_{525}	λ_{620}	$^{**}\lambda_{ortalama}$		
20	8,38	14,08	7,81	280	1820	1,621	0,609	0,261	1,231	257	51,43
40	8,54	14,3	7,99	333	1850	2,060	0,779	0,336	1,563	272	41,14
50	8,76	14,46	8,08	402	2240	2,553	0,954	0,401	1,942	274	35,14
60	8,62	14,69	8,22	564	2010	3,178	1,213	0,515	2,413	271	30,43
70	8,93	14,96	8,38	697	2910	3,844	1,634	0,689	2,906	266	27,86
80	9,18	15,42	8,66	1163	4120	7,400	2,775	1,150	5,632		22,29

Tablo 4.14. Kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyunun UF prosesiyle uzun süreli işletimi için süzöntüdeki deneysel sonuçlar

VRF (%)	Sonuç parametreleri										
	UF prosesi (süzüntü)										
	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6				Y7	Y8
	pH	E _i	TÇK	TOK	KOI	Renk				NH ₃	J
						λ_{436}	λ_{525}	λ_{620}	$^{**}\lambda_{ortalama}$		
20	8,64	13,18	7,3	125	418	0,121	0,03	0,007	0,099	2,32	51,43
40	8,72	13,29	7,38	97	388	0,115	0,027	0,007	0,094	2,35	41,14
50	9,09	13,47	7,49	107	444	0,136	0,027	0,01	0,112	2,31	35,14
60	8,76	13,65	7,6	125	414	0,152	0,036	0,009	0,124	2,35	30,43
70	8,59	13,83	7,72	153	562	0,187	0,045	0,012	0,152	2,39	27,86
80	9,11	14,22	7,94	188	612	0,254	0,06	0,015	0,208		22,29

4.4. DTMD ve UF Sonrası DTMD Deneysel Proses Performansı

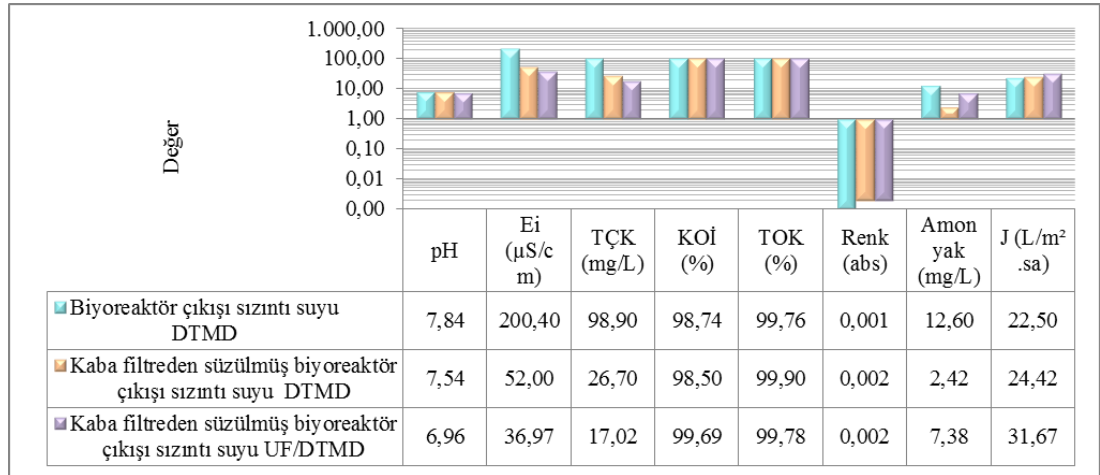
DTMD prosesinde (Şekil 3.5a.) belirlenmiş olan optimum şartlarda (membran türü ve boyutu: PTFE 0,45 μm , sıcaklık: sızıntı suyu (60°C) - distile su (40°C), akış hızı: 200 L/sa (Sızıntı suyu) - 200 L/sa (distile su)) günlük 6 saatlik deney süresinde Tablo 3.1.'de verilmiş olan biyoreaktör çıkışı ve kaba filtreden süzölmüş sızıntı suyu ile çalışılmıştır. Daha sonrakaba filtreden süzölmüş sızıntı suyu ile çalışılmış olan UF prosesi (Şekil 3.3.) süzöntü suyu ile DTMD prosesinde optimum şartlarda çalışılmıştır. Bu çalışmaların zamana karşı su akı performansları Şekil 4.16.'da verilmiştir.



Şekil 4.16. DTMD ve UF Sonrası DTMD performansı akı grafiği

Biyoreaktör çıkışı sızıntı suyunun DTMD prosesindeki su akı performansı 22,50 L/m².sa olarak bulunmuştur. Daha sonra kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyunun DTMD prosesindeki işletiminin sonucundaki su akısı performansı 24,42 L/m².sa olarak bulunmuştur. Su akı performans değerleri kıyaslandığında 24,42 L/m².sa değerindeki kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyunun DTMD prosesindeki performansı daha iyi bulunmuştur. Kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyunun UF prosesi işletimi sonrasında DTMD prosesinde işletimindeki su akı performans değeri 31,67 L/m².sa olarak bulunmuştur.

Biyorektör çıkışı sızıntı suyu ve kaba filtreden süzölmüş biyorektör çıkışı sızıntı suyunun DTMD prosesinde arıtımı ve katısı süzölmüş sızıntı suyunun UF prosesi sonrasında DTMD prosesi ile arıtımı sonucunda elde edilen artım performansları Şekil 4.17.'de verilmiştir.



Şekil 4.17. Biyorektör çıkışı sızıntı suyu ve kaba filtreden süzölmüş sızıntı suyunun DTMD prosesi performansı ve UF prosesi sonrası DTMD prosesi performans değerleri

DTMD prosesinde yapılan biyorektör çıkışı sızıntı suyu ve kaba filtreden süzölmüş biyorektör çıkışı sızıntı suyunun DTMD prosesinde konsantre ve süzöntüde deney sonu karakterizasyonu ve giderim verimleri Tablo 4.15.'de verilmiştir. Kaba filtreden süzölmüş biyorektör çıkışı sızıntı suyunun UF prosesi sonrası DTMD prosesi işletiminde konsantre ve süzöntüdeki deney sonu karakterizasyonu ve giderim verimleri Tablo 4.16.'da verilmiştir.

Tablo 4.15. Biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu ve kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu DTMD prosesinde işletiminin deney sonu karakterizasyonu ve giderim verimi

Parametre	Biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu DTMD süzöntüsü	Biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu DTMD konsantresi	Biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu DTMD giderim verimi (%)	Kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu DTMD süzöntüsü	Kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu DTMD konsantresi	Kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu DTMD giderim verimi (%)
Sıcaklık (°C)	40	60	-	40	60	-
pH	7,84	8,44	-	7,54	9,11	-
İletkenlik (µS/cm)	200	25700	99,22	52	26600	99,80
TÇK (mg/L)	98,90	14540	99,32	26,70	15640	99,83
KOI(mg/L)	27,60	2198	99,74	28	1872	98,50
TOK(mg/L)	1,93	807	99,76	0,51	504	99,90
Klorür (mg/L)	0	6168	100	0	6228	100
Sülfat (mg/L)	15,45	1167	98,68	14,25	145	90,19
Alkalinite (mg/L)	111	8160	98,64	32	5681	99,44
NH ₃ (mg/L)	12,60	119	89,41	2,42	108	97,76
TN (mg/L)	22,80	765	97,02	11	402	97,27
Fe II (mg/L)	0,00	127	100	0,0	5,04	100
Fe III (mg/L)	0,00	449	100	0,0	24,96	100
Yağ & Gres (mg/L)	6,13	488	98,74	6,08	407	98,51
AKM(mg/L)	24	127	81,10	18	125	85,60
Renk(abs)	0,001	1,284	99,92	0,002	1,807	99,88
Bulanıklık(NTU)	0	0,37	100	0,93	47,50	98,04
Yoğunluk (g/cm ³)	0,99	1,02		0,99	1,01	
Viskozite (mPa.s)	0,54	0,62		0,46	0,66	
Toplam Kjeldahl-Azotu (mg/L)	13,77	1209	98,86	10,58	132,16	91,99
Toplam Fosfor (mg/L)	0,00	16,75	100	0,00	16,75	100
Toplam Krom (mg/L)	0,01	3,71	92,62	0,01	1,50	99,13
Krom (mg/L)	0,47	8,51	94,48	0,46	3,98	88,44
Kurşun (mg/L)	0,01	12,71	99,97	0,01	0,11	93,64
Toplam Siyanür (mg/L)	0,19	2,12	91,02	0,19	0,04	80,93
Kadmiyum (mg/L)	0,00	0,04	100	-	0,01	100
Florür (mg/L)	-	-	100	-	-	100
Bakir (mg/L)	0,03	2,21	98,51	0,02	4,50	99,49
Çinko (mg/L)	0,04	6,59	99,39	0,02	2,02	99,26
Balık Biyodeneyi (ZSF)				5		

Tablo 4.16. Kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu UF prosesi sonrası DTMD prosesinde işletiminin deney sonu karakterizasyonu ve giderim verimi

Parametre	Kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu UF sonrası DTMD süzüntüsü	Kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu UF sonrası DTMD konsantresi	Kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu UF sonrası DTMD giderim verimi (%)
Sıcaklık (°C)	40	60	-
pH	6,96	9,14	-
İletkenlik (µS/cm)	36,97	38700	99,90
TÇK (mg/L)	17,02	23800	99,93
KOI(mg/L)	3,20	1024	99,69
TOK(mg/L)	0,70	325	99,78
Klorür (mg/L)	0	9956	100
Sülfat (mg/L)	7,05	441	98,40
Alkalinite (mg/L)	42	7052	99,40
NH ₃ (mg/L)	7,38	212	96,52
TN (mg/L)	5,10	363	98,59
Fe II (mg/L)	0	1,39	100
Fe III (mg/L)	0	7,68	100
Yağ & Gres (mg/L)	0,8	256	99,68
AKM(mg/L)	10	90	88,89
Renk(abs)	0,002	0,473	99,58
Bulanıklık(NTU)	0,56	140	99,60
Yoğunluk (g/cm ³)	0,07	1,02	93,24
Viskozite (mPa.s)	0,61	0,46	
Toplam Kjeldahl-Azotu (mg/L)	8,96	120	92,56
Toplam Fosfor(mg/L)	-	7,21	100
Toplam Krom (mg/L)	0,01	0,30	96,95
Krom (mg/L)	0,46	3,49	86,82
Kurşun (mg/L)	0,02	0,04	61,36
Toplam Siyanür (mg/L)	0,19	0,20	
Kadmiyum (mg/L)	-	0,00	100
Florür (mg/L)	-	-	100
Bakır (mg/L)	0,02	3,61	99,56
Çinko (mg/L)	0,04	0,36	90,61
Balık Biyodeneyi (ZSF)	3		

Tablo 4.17. Biyoreaktör çıkışı sızıntı sularının DTMD, kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu DTMD ve kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu UF prosesi sonrası DTMD prosesi çıkış suyu kalitesinin deşarj standartları ile kıyaslanması

Parametre	Biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu DTMD süzöntüsü	Kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu DTMD süzöntüsü	Kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu UF sonrası DTMD süzöntüsü	SKKY Tablo 20.6 Alıcı ortama deşarj standartları	SKKY Tablo 25. Atıksu altyapı tesislerine deşarj standartları
Sıcaklık (°C)	40	40	40		40
pH	7,84	7,54	6,96	6-9	6,5-10
İletkenlik (µS/cm)	200	52	36,97		
TÇK (mg/L)	98,90	26,70	17,02		
KOl(mg/L)	27,60	28	3,20	500	4000
TOK(mg/L)	1,93	0,51	0,70		
Klorür (mg/L)	0	0	0		
Sülfat (mg/L)	15,45	14,25	7,05		1700
Alkalinite (mg/L)	111	32	42		
NH ₃ (mg/L)	12,60	2,42	7,38		
TN (mg/L)	22,80	11	5,10		
Fe II (mg/L)	0,00	0,0	0	10	
Fe III (mg/L)	0,00	0,0	0		
Yağ & Gres (mg/L)	6,13	6,08	0,8	10	250
AKM(mg/L)	24	18	10	100	500
Renk(abs)	0,001	0,002	0,002	260	
Bulanıklık(NTU)	0	0,93	0,56		
Yoğunluk (g/cm ³)	0,99	0,99	0,07		
Viskozite (mPa.s)	0,54	0,46	0,61		
Toplam Kjeldahl-Azotu (mg/L)	13,77	10,58	8,96	15	
Toplam Fosfor(mg/L)	0,00	0,00	-	1	-
Toplam Krom (mg/L)	0,01	0,01	0,01	1	5
Krom (mg/L)	0,47	0,46	0,46	0,5	
Kurşun (mg/L)	0,01	0,01	0,02	1	3
Toplam Siyanür (mg/L)	0,19	0,19	0,19	0,5	10
Kadmiyum (mg/L)	0,00	-	-	0,1	2
Florür (mg/L)	-	-	-	15	
Bakır (mg/L)	0,03	0,02	0,02	3	2
Çinko (mg/L)	0,04	0,02	0,04	5	10
Balık Biyodeneyi (ZSF)		5	3	10	

BÖLÜM 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, içeriği nedeniyle arıtılması zor olan evsel katı atık depolama sahasında oluşan konvansiyonel arıtma sonrası çıkan sızıntı suyunun, tek başına DTMD prosesi ve UF prosesi sonrası DTMD ile birlikte alıcı ortam deşarj ölçütlerinde arıtımının araştırılması gerçekleştirilmiştir.

UF prosesinde, biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu ve kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu için membran türü, çapraz akış hızı ve membran geçiş basınç farkı deneysel parametrelerinin etkileri incelenmiştir. En uygun işletim koşulları; kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu için, su akı performansı 28,85 L/m²sa ve TOK ve KOİ giderim verimleri %73,8 ve %71,4 olarak bulunan membran türünün UV150, karıştırma hızının 900 rpm ve basıncın 7,5 bar olduğu şartlar tespit edilmiştir.

DTMD prosesinde kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyunun arıtımı için, membran türü PTFE, membran gözenek boyutu 0,45 µm, çapraz akış hızı 200 L/sa (sızıntı suyu) - 200 L/sa (distile su), membran geçiş sıcaklık farkı ise sızıntı suyu 60°C - distile su 40°C olarak en uygun işletim parametreleri belirlenmiştir. Bu şartlarda, su akı performansı 29,82 L/m²sa, TOK ve KOİ giderim verimleri sırasıyla %99,8 ve %98,6 olarak tespit edilmiştir.

DTMD prosesinde PTFE 0,45 µm membran türü ve boyutu ile membran geçiş sıcaklık farkı sabit (20 ± 5°C) değeriindeki çalışma koşullarında kesikli ve sürekli pompajlar kıyaslandı. DTMD prosesi için en uygun su akı performansı 23,2 L/m².sa ve %99,95 TÇK, %97,73 KOİ, %99,66 TOK ve %99,05 NH₃ giderim verimlerini veren kesikli pompajlı DTMD prosesi belirlenmiştir.

UF prosesi ve DTMD prosesi için optimum çalışma koşulları belirlendikten sonra uzun süreli arıtma performansları değerlendirilmiştir. Uzun süreli UF prosesi, membran türü UV150 ve 7,5 bar'lık basınç ile %80 VRF oranına kadar çalışılmış olup su kalitesi giderim verimi değerleri %85,15 KOİ, %89,85 TOK olarak belirlenmiştir. Uzun süreli DTMD prosesinde ise, optimum şartlar (membran türü ve boyutu: PTFE 0,45 μm , akış hızı: 200 L/sa, sıcaklık: sızıntı suyu 60⁰C, distile su 40⁰C) ile günde 6 saat toplam 10 günlük uzun süreli işletim performansı sonucunda 24,9 L/m²sa akı, %99,60 KOİ, %99,87 TOK ve %98,85 giderim verimleri elde edilmiştir.

Biyolojik arıtma çıkışı alınan sızıntı suyunun arıtımında ön arıtmanın etkisini de belirlemek amacıyla UF prosesi ardından DTMD prosesinin işletim performansı çalışılarak, 31,67 L/m².sa su akısı, %99,69 KOİ, %99,47 TOK giderim verimleri belirlenmiştir.

Biyoreaktör çıkışı sızıntı suyu ve kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyunda tek başına DTMD ve UF/DTMD performansı birlikte değerlendirildiğinde, organik madde giderim verimi yakın olmasına karşın su akısı, kaba filtreden süzölmüş biyoreaktör çıkışı sızıntı suyunda daha yüksek olduğundan UF sonrası DTMD performansı en uygun alternatif olarak görölmüştür. Bu bağlamda, önerilen tek başına DTMD prosesi ve UF/DTMD sisteminde, SKKY'nde Tablo 20.6.'da verilen alıcı ortama deşarj suyu kalitesinde arıtılmış su eldesi de sağlanmıştır.

KAYNAKLAR

- Adham, S., Hussain, A., Matar, J. M., Does, R., & Janson, A. (2013). Application of membrane distillation for desalting brines from thermal desalination plants. *Desalination*, 314, 101-108.
- Apha 2005 Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater, American Public Health Association; 21 Har/Cdr edition.
- Bjerg PL, Rügge K, Petersen JK, Christensen TH (1995) Distribution of Redox-Sensitive Groundwater Quality Parameters Downgradient of A Landfill. *Environmental Science and Technology* 29 (5), 1387-1394.
- Chian, E.S.K. ve De Walle, F.B. (1977). Evaluation of Leachate Treatment , Vol. I, Characterization of Leachate, EPA-600/2-77-186a, Cincinnati, Ohio: U.S. Environmental Protection Agency.
- Di Palma, L., Ferrantelli, P., Merli, C., & Petrucci, E. (2002). Treatment of industrial landfill leachate by means of evaporation and reverse osmosis. *Waste Management*, 22(8), 951-955.
- Dölgen, D. (1996). Sızıntı Suyu Arıtma Yöntemleri, *Katı Atık ve Çevre*, 23, 15-24.
- Dölgen, D. (1998). Sızıntı Suyu Kalite Kestirimi, *Katı Atık ve Çevre*, 31, 12-18.
- Drioli, E., Ali, A., & Macedonio, F. (2015). Membrane distillation: Recent developments and perspectives. *Desalination*, 356, 56-84.
- Ehrig, H. J. (1983). Quality and Quantity of Sanitary Landfill Leachate. *Waste Management and Research*, Vol. 1, pp. 53-68.
- Fadel, M., Bou-Zeid, E., Chahine, W., Alayli, B. (2002). Temporal Variation of Leachate Quality from Pre-Sorted and Baled Municipal Solid Waste with High Organic and Moisture Content. *Waste Management*, 22, pp. 269-282.
- Fettig, J., Stapel, H., Steinert, C., & Geiger, M. (1996). Treatment of landfill leachate by preozonation and adsorption in activated carbon columns. *Water Science and Technology*, 34(9), 33-40.
- Haapea, P., Korhonen, S., & Tuhkanen, T. (2002). Treatment of industrial landfill leachates by chemical and biological methods: ozonation, ozonation+ hydrogen peroxide, hydrogen peroxide and biological post-treatment for ozonated water. *Ozone: science & engineering*, 24(5), 369-378.

- Hjelmar, O., Johanessen, J.M., Knox, K., Ehrig, H.-J., Flyvberg, J., Winther, P. & Christensen, T.H. (1995). Composition and Management of Leachate From Landfills within the EU. Proceeding of 5th International Landfill Symposium, Sardinia 95, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, 1, pp. 243-262.
- Hui, T.S. (2005). Leachate Treatment By Floating Plants In Constructed Wetland, Master Thesis, Universiti Teknologi Malaysia. 83p.
- İlhan, F., Kurt, U., Apaydın, Ö., Arslankaya, E., Gönüllü, M.T. (2007). Elektrokimyasal arıtım ve uygulamaları; Katı atık sızıntı suyu çalışması, AB Sürecinde Türkiye’de Katı Atık Yönetimi ve Çevre Sorunları Sempozyumu, TÜRKAY 2007.
- Kurt, U., İlhan, F., Birben, N. C., Ulucan, K., & Gönüllü, M. T. (2009). Sızıntı sularının evsel atıksularla birlikte elektrokoagülasyon prosesiyle arıtılabilirliğinin incelenmesi.
- Lau, I. W., Wang, P., & Fang, H. H. (2001). Organic removal of anaerobically treated leachate by Fenton coagulation. Journal of Environmental Engineering, 127(7), 666-669.
- Lawson, K. W., & Lloyd, D. R. (1997). Membrane distillation. Journal of membrane Science, 124(1), 1-25.
- Li, X. Z., Zhao, Q. L., & Hao, X. D. (1999). Ammonium removal from landfill leachate by chemical precipitation. Waste management, 19(6), 409-415.
- Lu, J. C. S., Eichenberger, B. and Stearns, R. J. (1985). Leachate from Municipal Landfills: Production and Management. US: Noyes Publications.
- Maehlum, T. (1995). Treatment of landfill leachate in on-site lagoons and constructed wetlands. Water Science and Technology, 32(3), 129-135.
- Öztürk, I., Altınbaş, M., Koyuncu, I., Arıkan, O., & Gomec-Yangın, C. (2003). Advanced physico-chemical treatment experiences on young municipal landfill leachates. Waste Management, 23(5), 441-446.
- Öztürk, İ. (2010). Katı Atık Yönetimi ve AB Uyumlu Uygulamaları, Baskıda, İSTAÇ Yayınları, İstanbul.
- Öztürk İ., Onay T., Çallı B., Mertoğlu B. Ve Yıldız Ş. (2010) Sızıntı suyu yönetimi ihtisas komisyonu taslak çalışma raporu.
- Pangarkar, B. L., Sane, M. G., & Guddad, M. (2011). Reverse osmosis and membrane distillation for desalination of groundwater: a review. ISRN Materials Science, 2011, 9 pages.
- Peters, T. A. (1998). Purification of landfill leachate with membrane filtration. Filtration & separation, 35(1), 33-36.

- Pirbazari, M., Ravindran, V., Badriyha, B. N., & Kim, S. H. (1996). Hybrid membrane filtration process for leachate treatment. *Water Research*, 30(11), 2691-2706.
- Qtaishat, M. R. (2008). Design of Novel Membranes for Desalination by Direct Contact Membrane Distillation (Doctoral dissertation, Ph. D. Thesis, Department of Chemical and Biological Engineering, University of Ottawa: Ottawa, Canada).
- Qtaishat, M. R., & Banat, F. (2013). Desalination by solar powered membrane distillation systems. *Desalination*, 308, 186-197.
- Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği (2004), Resmi Gazete Sayısı: 25687, Aralık.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H. and Vigil, S. (1993). Integrated Solid Waste Management, Engineering Principles and Management Issues, New York: McGraw-Hill.
- Trebouet, D., Schlumpf, J. P., Jaouen, P. and Quemeneur, F. (2001). Stabilized Landfill Leachate Treatment by Combined Physicochemical-Nanofiltration Processes. *Water Resource*, Vol. 35, 2935-2942.
- Uygur, A., & Kargı, F. (2004). Biological nutrient removal from pre-treated landfill leachate in a sequencing batch reactor. *Journal of Environmental Management*, 71(1), 9-14.
- Vesilind, P.A., Worrell, W.A. & Reinhart, D.R. (2002). Solid Waste Engineering, Brooks/Cole, Pacific Grove, USA.
- Wang Z, Zhang Z, Lin Y, Deng N, Tao T, Zhuo K (2002) Landfill Leachate Treatment by a Coagulation-Photooxidation Process. *Journal of Hazardous Materials* 95 (1-2), 153-159.
- Wang, F., Smith, D. W., & El-Din, M. G. (2003). Application of advanced oxidation methods for landfill leachate treatment-A review. *Journal of Environmental Engineering and Science*, 2(6), 413-427.
- Winter, D., Koschikowski, J., & Wieghaus, M. (2011). Desalination using membrane distillation: Experimental studies on full scale spiral wound modules. *Journal of Membrane Science*, 375(1), 104-112.
- Wu, J. J., Wu, C. C., Ma, H. W., & Chang, C. C. (2004). Treatment of landfill leachate by ozone-based advanced oxidation processes. *Chemosphere*, 54(7), 997-1003.
- Yalılı, M., Kestioğlu, K., Mert, B.K. (2006). Sızıntı sularının evsel atıksularla birlikte arıtılabilirliğinin respirometrik yöntemle izlenmesi, *Uludağ Üniversitesi, Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt 11, Sayı 1, 65-73.

- Yarlagadda, S., Gude, V. G., Camacho, L. M., Pinappu, S., & Deng, S. (2011). Potable water recovery from As, U, and F contaminated ground waters by direct contact membrane distillation process. *Journal of hazardous materials*, 192(3), 1388-1394.
- Yarlagadda, S., Camacho, L. M., Gude, V. G., Wei, Z., & Deng, S. (2009). Membrane distillation for desalination and other separations. *Recent Patents on Chemical Engineering*, 2(2), 128-158.

ÖZGEÇMİŞ

Gizem Şahin, 04.04.1992’de İstanbul’da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul’da tamamladı. 2010 yılında Beylerbeyi Hacı Sabancı Lisesi’nden mezun oldu. 2010 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nü 2014 yılında bitirdi. 2014 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı.