

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KOMPOST VE GERİ KAZANIM TESİSİ SIZINTI SULARININ
MEMBRAN PROSESLERLE ARITILABİLİRLİĞİ: İSTANBUL
ÖRNEĞİ

VAHİDE ŞEYDA ÖZYAKA

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
DOÇ. DR. MEHMET ÇAKMAKCI

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KOMPOST ve GERİ KAZANIM TESİSİ SIZINTI SULARININ
MEMBRAN PROSESLERLE ARITILABİLİRLİĞİ: İSTANBUL
ÖRNEĞİ

VAHİDE ŞEYDA ÖZYAKA tarafından hazırlanan tez çalışması 15.09.2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Mehmet ÇAKMAKCI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Mehmet ÇAKMAKCI
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İsmail KOYUNCU
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Doğan KARADAĞ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Bu araştırma Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nce desteklenmiştir. Proje No: 2010-05-02-KAP04 ve 2010-05-02-KAP05.

ÖNSÖZ

Dünyada sanayileşme ve nüfus artışı çevre kirliliğine neden olmaktadır. Kullanılmış suların arıtılmadan yüzeysel sulara verilmesi; bu suların içme suyu kaynağı, sulama suyu ve rekreasyon amaçlı kullanımını kısıtlamaktadır, ayrıca bu suların kansorejenik ve mutajenik olma potansiyeli söz konusudur. Bu nedenle atıksuların arıtılarak deşarj edilmesi gerekir. İleri arıtım metodu olan membran proseslerden, atıksu arıtımında yararlanılabilir.

Bu tez çalışması sırasındaki yardımlarından ve manevi desteğinden dolayı hocam Mehmet ÇAKMAKCI'ya, tez çalışmasına yaptığı katkılarından ve önerilerinden dolayı hocam Bestamin ÖZKAYA'ya ve gösterdikleri özverilerinden dolayı aileme teşekkürlerimi sunarım.

Ağustos, 2011

Vahide Şeyda ÖZYAKA

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	viii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	2
1.3 Hipotez.....	2
BÖLÜM 2	3
KOMPOST ve KOMPOST SIZINTI SUYU.....	3
2.1 Katı Atık	3
2.2 Katı Atık Miktarı ve Karakterizasyonu	3
2.3 Kompostlaştırma.....	7
2.4 Kompost Tarihçesi	7
2.5 Kompostun Faydaları.....	7
2.6 Kompostlaştırma Teknolojisi.....	8
2.6.1 Anaerobik (Havasız) Kompostlaştırma	8
2.6.2 Aerobik Kompostlaştırma.....	9
2.6.2.1 Aerobik Kompostlaştırmaya Etki Eden Faktörler.....	11
2.6.2.2 Aerobik Kompostlaştırma Sistemleri.....	14
2.7 Kompost Atıksuyu	17
2.7.1 Kondansasyon (Damıtma) Suları.....	17
2.7.2 Hava Temizleme Biriminden Kaynaklanan Atıksular.....	17
2.7.3 Temizlik Suyu.....	17
2.7.4 Sızıntı Suyu.....	17

BÖLÜM 3.....	21
MEMBRAN PROSESLER.....	21
3.1 Membran.....	21
3.2 Membranların Ayırma Mekanizmaları	23
3.3 Membranların Sınıflandırılması.....	24
3.3.1 Ayırma Mekanizmalarına Göre Sınıflandırma	24
3.3.2 Morfolojilerine Göre Sınıflandırma	25
3.3.3 Geometrilere Göre Sınıflandırma	25
3.3.4 Kimyasal Yapılarına Göre Sınıflandırma	26
3.3.5 Sürücü Kuvvetlerine Göre Sınıflandırma	27
3.3.5.1 Mikrofiltrasyon (MF) Membranı	27
3.3.5.2 Ultrafiltrasyon (UF) Membranı.....	28
3.3.5.3 Nanofiltrasyon (NF) Membranı	28
3.3.5.4 Ters Osmoz (TO) Membranı.....	29
3.4 Membran Modül Konfügurasyonları	30
3.4.1 Levha-Çerçeve (Plate-Frame) Membran Modülü.....	30
3.4.2 Spiral Sargılı (Spiral Wound) Membran Modülü	30
3.4.3 Tübular (Tubular) Membran Modülü	31
3.4.4 Boşluklu Elyaf (Hollow-Fiber) Membran Modülü.....	32
3.5 Batık Membran	33
3.6 Batık Membranlar ve Basıncılı Modüllerin Karşılaştırması	33
3.7 Membran Proseslerin Performansını Etkileyen Parametreler.....	34
3.8 Membran Seçimi.....	35
BÖLÜM 4.....	39
DENEYSEL YAKLAŞIM.....	39
4.1 İstanbul Kompost ve Geri Kazanım Tesisi	39
4.2 Deneysel Çalışma Düzenegi	43
4.2.1 Tabaka Membran (Flat Sheet) Deney Düzenegi.....	43
4.2.2 Batık Membran (Submerged Membrane) Deney Düzenegi	44
4.3 Çalışmada Kullanılan Membranlar	44
4.4 Deney Düzeneklerinin İşletme Prosedürleri	45
4.4.1 Tabaka Membran (Flat Sheet) Deney Düzenegi İşletme Prosedürü....	45
4.4.2 Batık Membran (Submerged Membrane) Deney Düzenegi İşletme Prosedürü	47
4.5 Analizler.....	48
4.6 Deneysel Çalışma Sistematiği	49
BÖLÜM 5.....	50
DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	50
5.1 Ham Kompost Sızıntı Suyu Çalışması.....	50
5.1.1 UC030 Membranı ile Gerçekleşen Ön Arıtım Deney Verileri	50
5.1.2 UC030 Membranı ile Ön Arıtım Sonrası NP030, NP010, NF270 ve NF90 Membranları ile Gerçekleşen Deney Verileri.....	51
5.2 Santrifüjlenmiş Kompost Sızıntı Suyu Çalışması.....	57
5.2.1 Santrifüjleme ve UC030 Membranı ile Gerçekleşen Ön Arıtım Deney Verileri	57

5.2.2	Santrifüjleme ve UC030 Membranı ile Ön Arıtım Sonrası NP030, NP010, NF270 ve NF90 Membranları ile Gerçekleşen Deney Verileri	58
5.3	Kompost Sızıntı Suyunun MF+Batık UF ile Ön Arıtımının Gerçekleştirildiği Membran Çalışması	64
5.3.1	MP005 Membranı ile Gerçekleşen Ön Arıtım Deney Verileri.....	64
5.3.2	MP005+ZW-UF Membranları ile Gerçekleşen Ön Arıtım Deney Verileri	65
5.3.3	MP005 ve ZW-UF Membranları ile Ön Arıtım Sonrası BW30 ve SW30 Membranları ile Gerçekleşen Deney Verileri	66
5.4	Kompost Sızıntı Suyunun Membran Proseslerle Arıtılabilirlik Çalışma Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	69
5.4.1	UC030, Santrifüjleme+UC030 ve MP005+ZW-UF Membranları ile Gerçekleşen Ön Arıtım Deney Verilerinin Karşılaştırılması.....	69
5.4.2	NP030, NP010, NF270, NF90, BW30 ve SW30 Membranları ile Gerçekleşen Deney Verilerinin Karşılaştırılması	73
BÖLÜM 6		81
SONUÇLAR VE ÖNERİLER		81
KAYNAKLAR		83
ÖZGEÇMİŞ		89

SİMGE LİSTESİ

C_B	Besleme suyu konsantrasyonu
C_s	Süzüntü akımı konsantrasyonu
ΔC	Konsantrasyon farkı
ΔE	Elektriksel potansiyel farkı
J	Süzüntü akısı
Q_b	Besleme suyu debisi
Q_k	Konsantre debisi
Q_s	Süzüntü suyu debisi
R	Alıkonulan kirletici oranı
R_a	Adsorpsiyon direnci
R_{cp}	Konsantrasyon polarizasyonu
R_g	Jel polarizasyonu
R_m	Membran direnci
R_p	Gözenek bloklama direnci
R_t	Toplam direnç
ΔP	Basınç farkı
ΔT	Sıcaklık farkı
y	Geri kazanım
η	Süzüntü vizkozitesi

KISALTMA LİSTESİ

AKM	Askıda Katı Madde
BOİ	Biyokimyasal Oksijen İhtiyacı
Da	Dalton
ED	Elektrodiyaliz
GP	Gaz Ayırma
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
MBR	Membran Biyoreaktör
MF	Mikrofiltrasyon
MFI	Modifiye Edilmiş Tıkanma İndeksi
MWCO	Moleküler Ağırlık Ayırma Sınırı
NF	Nanofiltrasyon
PAH	Polisiklik Aromatik Hidrokarbon
PAN	Poliakrilonitrilin
PCBS	Poliklorlu Bifenil
PTFE	Politetrafloroetilen
PV	Pervaporasyon
PVC	Polivinil Klorür
PVDF	Polivinilidin Florür
SDI	Silt Yoğunluk İndeksi
TKN	Toplam Kjeldahl Azotu
TMP	Transmembran Basıncı
TO	Ters Ozmoz
TOK	Toplam Organik Karbon
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
UF	Ultrafiltrasyon

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Türkiye’de katı atık kompozisyonu	5
Şekil 2.2 Kompostlaştırma prosesi.....	9
Şekil 2.3 Kompostlaştırma prosesi sırasında sıcaklık değişimi	11
Şekil 2.4 Sıralı yığın metodu.....	15
Şekil 3.1 Membranla ayırmanın şematik gösterimi	21
Şekil 3.2 Membran prosesi akım diyagramı	23
Şekil 3.3 Dik ve çapraz akış filtrasyonu	24
Şekil 3.4 Asimetrik (a) ve kompozit (b) membranların şematik görünüşü.....	26
Şekil 3.5 Ozmoz ve ters osmoz olayı	29
Şekil 3.6 Levha çerçeve modülü	31
Şekil 3.7 Spiral sargılı membran modülü.....	31
Şekil 3.8 Tübular mebranlar.....	32
Şekil 3.9 Boşluklu elyaf membranın mikroskobik görünüşü.....	33
Şekil 3.10 Membran yüzeyindeki çeşitli dirençlerin gösterimi	37
Şekil 4.1 İstanbul Kompost ve Geri Kazanım Tesisi'nin krokisi	39
Şekil 4.2 İstanbul Kompost ve Geri Kazanım Tesisi'nin görünümü.....	40
Şekil 4.3 İstanbul Kompost ve Geri Kazanım Tesisi'nin akım şeması	40
Şekil 4.4 Kompost sızıntı suyunun (a) 0.45 µm’lik filtre yüzeyindeki kalıntının (b) 0.45 µm’lik filtreden geçen süzütünün moleküler boyut dağılımı (MWCO) analizi.....	43
Şekil 4.5 Deney düzeneği akım şeması.....	44
Şekil 4.6 Batık membran deney düzeneğine ait akım şeması	45
Şekil 5.1 Kompost sızıntı suyu UC030 membranı akı zaman grafiği.....	50
Şekil 5.2 Ön arıtılmış (UC030) kompost sızıntı suyunun (a) NP030, (b) NP010, (c) NF270 ve (d) NF90 membranı akı zaman grafiği	52
Şekil 5.3 Ön arıtılmış (UC030) kompost sızıntı suyunun (a) NP030, (b) NP010, (c) NF270 ve (d) NF90 membranı çıkış KOİ değeri ve KOİ giderim verimi	54
Şekil 5.4 Ön arıtılmış (UC030) kompost sızıntı suyunun (a) NP030, (b) NP010, (c) NF270 ve (d) NF90 membranı çıkış TOK değeri ve TOK giderim verimi	55
Şekil 5.5 Ön arıtılmış (UC030) kompost sızıntı suyunun (a) NP030, (b) NP010, (c) NF270 ve (d) NF90 membranı çıkış iyon konsantrasyonları	56
Şekil 5.6 Santrifüjlenmiş kompost sızıntı suyu UC030 membran akı zaman grafiği	57
Şekil 5.7 Ön arıtılmış (santrifüj+UC030) kompost sızıntı suyunun (a) NP030, (b) NP010, (c) NF270 ve (d) NF90 membranı akı zaman grafiği	59

Şekil 5.8	Ön arıtılmış (santrifüj+UC030) kompost sızıntı suyunun (a) NP030, (b) NP010, (c) NF270 ve (d) NF90 membranı çıkış KOİ değeri ve KOİ giderim verimi.....	61
Şekil 5.9	Ön arıtılmış (santrifüj+UC030) kompost sızıntı suyunun (a) NP030, (b) NP010, (c) NF270 ve (d) NF90 membranı çıkış TOK değeri ve TOK giderim verimi.....	62
Şekil 5.10	Ön arıtılmış (santrifüj+UC030) kompost sızıntı suyunun (a) NP030, (b) NP010, (c) NF270 ve (d) NF90 membranı çıkış iyon konsantrasyonları	63
Şekil 5.11	MP005 membranı akı zaman grafiği	64
Şekil 5.12	MP005+ZW-UF membranı akı zaman grafiği.....	65
Şekil 5.13	ZW-UF membranı basınç zaman grafiği	66
Şekil 5.14	Ön arıtılmış (MP005+ZW-UF) kompost sızıntı suyu (a) BW30, (b) SW30 membranı akı zaman grafiği	67
Şekil 5.15	Ön arıtılmış (MP005+ZW-UF) kompost sızıntı suyunun (a) BW30 (b) SW30 membranı çıkış KOİ değeri ve KOİ giderim verimi.....	68
Şekil 5.16	Ön arıtılmış (MP005+ZW-UF) kompost sızıntı suyunun ileri arıtım sonrası Cl ⁻ konsantrasyonları.....	69
Şekil 5.17	Ön arıtım membranlarına (UC030, sant+UC030, MP005 ve ZW-UF) ait akı grafiği.....	70
Şekil 5.18	Ön arıtım membranlarına (UC030, sant+UC030, MP005 ve ZW-UF) ait organik madde giderim verimleri	71
Şekil 5.19	Ön arıtım membranlarına ait iyon giderim verimleri.....	72
Şekil 5.20	Ön arıtılmış (UC030, sant.+UC030) kompost sızıntı suyunun ileri arıtım membranlarına ait akı grafiği.....	73
Şekil 5.21	Ön arıtılmış (MP005+ZW-UF) kompost sızıntı suyunun ileri arıtım membranlarına ait akı grafiği.....	75
Şekil 5.22	Ön arıtılmış (UC030, sant.+UC030) kompost sızıntı suyunun ileri arıtım membranlarına ait KOİ giderim verimleri	76
Şekil 5.23	Ön arıtılmış (UC030, sant.+UC030) kompost sızıntı suyunun ileri arıtım membranlarına ait TOK giderim verimleri.....	78
Şekil 5.24	Ön arıtılmış (MP005+ZW-UF) kompost sızıntı suyunun ileri arıtım membranlarına ait KOİ giderim verimleri	78
Şekil 5.25	Ön arıtılmış (UC030 ve sant.+UC030) kompost sızıntı suyunun a) NP030 b) NP010 c) NF270 ve d) NF90 membranı iyon giderim verimi	79
Şekil 5.26	Ön arıtılmış (MP005+ZW-UF) kompost sızıntı suyunun ileri arıtım membranlarına ait Cl ⁻ giderim verimleri	80

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Kentsel katı atık karakterizasyonu	4
Çizelge 2.2 İstanbul ili katı atık bileşenlerinin dağılımı	5
Çizelge 2.3 İstanbul Büyükşehir Belediyesi karakterizasyon bilgileri (İSTAÇ A.Ş.)	6
Çizelge 2.4 Kompostlaştırma sırasında bazı patojen ve parazitlerin giderimi.....	14
Çizelge 2.5 Kompostlaştırma tesislerinde meydana gelen atıksu	20
Çizelge 3.1 Bazı membran prosesler ve sürücü kuvvetleri	27
Çizelge 3.2 Batık membranlar ve basınçlı modüllerin karşılaştırılması	34
Çizelge 4.1 İstanbul Kompost ve Geri Kazanım Tesisi'nin boyutlandırılmasında kullanılan atık kriterleri	41
Çizelge 4.2 Kompost sızıntı suyu karakteristiği	42
Çizelge 4.3 Kompost sızıntı suyu moleküler boyut dağılım (MWCO) analiz sonucu	42
Çizelge 4.4 Çalışmada kullanılan membranlar ve özellikleri	46
Çizelge 4.5 Analiz yöntemleri	48
Çizelge 4.6 Deneysel çalışma sistematigi	49

ÖZET

KOMPOST ve GERİ KAZANIM TESİSİ SIZINTI SULARININ MEMBRAN PROSESLERLE ARITILABİLİRLİĞİ: İSTANBUL ÖRNEĞİ

Vahide Şeyda ÖZYAKA

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet ÇAKMAKCI

Bu çalışma kapsamında İstanbul Kompost ve Geri Kazanım Tesisi'nden temin edilen kompost sızıntı sularının membran prosesler ile arıtılabilirliği incelenmiştir. Herhangi bir kimyasal veya biyolojik ön arıtım işlemi uygulanmadan kompost sızıntı suyu santrifüj ön arıtımı ve doğrudan membran proseslerle fiziksel olarak arıtılmıştır. Mikrofiltrasyon (MP005), ultrafiltrasyon (UC030 ve ZW-UF) membranları ve santrifüj ön arıtım, nanofiltrasyon (NP030, NP010, NF270 ve NF90) ve ters osmoz (BW30 ve SW30) membranları ise ileri arıtım amacıyla çalışmada kullanılmıştır. Membran performanslarının belirlenmesi amacıyla KO_2 , TOK, Cl^- ve NH_4^+ konsantrasyonları analiz edilmiş ve arıtılan su miktarının tartılmasıyla akı hesaplanmıştır. Bu çalışma sonucunda en yüksek akının NP010 membranıyla elde edilmesine rağmen bu membranla organik madde ve iyon gideriminin düşük olduğu belirlenmiştir. UC030+NF90 ve MP005+ZW-UF+BW30 membran kombinasyonları ile yaklaşık % 98 oranında organik madde giderimi sağlanmıştır. MP005+ZW-UF+BW30 membran kombinasyonu ile % 95-97 oranlarında Cl^- giderimi gerçekleşmiştir. MP005+ZW-UF+SW30 membran kombinasyonu ile Cl^- giderimi basınç artışıyla % 98'lere ulaşmıştır. Bu çalışmada, membran MWCO'su ile üretim materyalinin membran performansı üzerinde oldukça etkili olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kompost, kompost sızıntı suyu, membran prosesler, atıksu arıtma.

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ABSTRACT

TREATMENT OF LEACHATE OF COMPOST AND RECOVERY FACILITY PLANT WITH MEMBRANE PROCESS: EXAMPLE OF ISTANBUL

Vahide Şeyda ÖZYAKA

Department of Environmental Engineering
MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet ÇAKMAKCI

In this study, treatability of compost leachate, which was supplied from İstanbul Compost and Recovery Facility Plant, with membrane processes was investigated. Without performing any chemical or biological pre-treatment processes, compost leachates were treated by membrane processes as physical processes after performing centrifugal pretreatment and directly. In the study, microfiltration (MP005), ultrafiltration (UC030 and ZW-UF) membranes and centrifugation were used as a pre-treatment process. Besides, nanofiltration (NP030, NP010, NF270, NF90) and reverse osmosis (BW30 and SW30) membranes were used as an forward treatment process. Concentrations of COD, TOC, Cl^- and NH_4^+ were analyzed in order to determine the performance of the membrane. Membrane flux were calculated by weighing of treated water. As a result of this study, despite obtaining the high-flux with this membrane, ion and organic matter removal rate of NP010 membrane was lower than other used forward treatment membranes. Organic matter removal was achieved as approximately 98 % by UC030+NF90 and MP005+ZW-UF+BW30 membrane combinations. Cl^- removal was achieved as 95-97 % by MP005+ZW-UF+BW30 membrane combination. Besides, Cl^- removal was increased up to 98 % by MP005+ZW-UF+SW30 membrane combination. Along with these results, the effect of MWCO and production material of the membrane on the membrane performance was determined to be highly effective.

Key words: Compost, compost leachate, membran processes, wastewater treatment.

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE

GİRİŞ

1.1 Literatür Özeti

Nüfusun artışına ilaveten halkın ekonomik seviyesinde ve alışkanlıklarında meydana gelen değişimlere bağlı olarak her geçen gün katı atık miktarında artış görülmektedir. Artan katı atık miktarı beraberinde bertaraf sorununu da gündeme getirmektedir. Biyolojik olarak ayrışabilir nitelikteki katı atıklar tüm dünyada çevre dostu olarak kabul edilen kompost yöntemi ile bertaraf edilmektedir. Türkiye'de, toplam katı atık miktarının % 60-% 70'i biyolojik olarak ayrışabilir niteliktedir. Bu oran kompost yöntemi ile bertaraf için uygundur ve Türkiye'de katı atıkların bertarafı için alternatif yöntemlerden birinin de kompostlaştırma olduğu görülmektedir.

Kompostlaştırma ile organik maddeden, kontrollü şartlar altında humus veya benzeri toprak iyileştirici madde olan kompost oluşmaktadır. Kompostun üretilmesini sağlayan mikroorganizmaların gelişimi ve yaşamlarını sürdürebilmeleri için atık yığını içerisinde % 50-% 70 oranında nem içeriğinin olması gerekmektedir. Katı atıkların ayrıştırılmasını sağlayan mikroorganizmaların yaklaşık % 80'i sudur. Ayrıca, mikrobiyal aktivite ve organik maddelerin biyolojik oksidasyonu sonucu su oluşmaktadır. Kompostlaştırma süresince suyun bir kısmı buharlaşma ile bertaraf edilirken geri kalan suyun bir kısmı sızıntı suyunu oluşturmaktadır. Katı atıkların ayrıştırılması ile katı atıklardaki kirleticiler su ortamına geçmektedir. Kompost üretimi sonrası sızıntı suyunda çözünmüş madde, askıda madde, fenol, kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) ve biyokimyasal oksijen ihtiyacı (BOİ) gibi organik bileşikler, NO_3 ve P gibi nütrientler ve tuz içeren kirlilik potansiyeli oldukça yüksek kirleticiler bulunabilmektedir.

Kompost sızıntı suyu gibi kirlilik potansiyeli yüksek olan atıksuların konvansiyonel arıtım yöntemleri ile deşarj yönetmeliklerini sağlayacak düzeyde arıtılabilmeleri

oldukça güçtür. Bu tür atıksuların deşarj yönetmeliklerinde belirtilen kriterleri sağlayacak şekilde arıtılabilmesi için konvansiyonel arıtma yöntemlerine ilaveten ileri arıtım yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Membran prosesler günümüzde kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşan ileri arıtım yöntemlerinden biridir. Ana uygulamaları deriştirme, saflaştırma ve fraksiyonlarına ayırma olan membran proseslerin; sürekli ve otomatik olarak işletilebilmesi, diğler ayırma prosesleri ile kombine edilebilmesi, ayırma işleminin farklı sıcaklık koşullarında gerçekleştirilebilmesi, projelendirilmesinin kolay olması, farklı özelliklerde membranların olması, arıtma işleminin gerçekleştirilmesi için kimyasala gerek duyulmaması gibi avantajları mevcuttur. Kirleticilerin membran teknolojisi gibi ileri arıtma teknikleri ile arıtılmaları çevre ve halk sağlığını koruma ve sürdürülebilir büyüme için önemlidir.

1.2 Tezin Amacı

Çalışmada konvansiyonel sistemlerle arıtılması güç olan kompost sızıntı sularının membran proseslerle arıtılabilirliği amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Herhangi bir biyolojik veya kimyasal ön arıtma yapmaksızın sadece fiziksel ön işlem ve farklı özelliklerde membran prosesler kullanılarak İstanbul Kompost ve Geri Kazanım Tesisi sızıntı sularının fiziksel olarak arıtılabilirliğinin ortaya konması çalışmanın hipotezini oluşturmaktadır.

BÖLÜM 2

KOMPOST ve KOMPOST SIZINTI SUYU

2.1 Katı Atık

Tüketicisi tarafından istenmeyen ve daha fazla kullanılamayan maddelere atık denmektedir. Katı atıklar; hammadde ve yemek atıklarındaki kullanılamaz kalıntılardan, proses faaliyetlerindeki artıklardan, kullanılmış veya atılmış hurda ve ambalaj malzemelerinden ve hatta atıldığı zaman yeni ürün oluşumu için değerlendirilebilir ürünlerden oluşmaktadır [1].

Evsel katı atık terimi; hane, ticari müessese, endüstri ve kurumlar tarafından oluşturulan katı atık akışını tanımlamaktadır. Evsel katı atık terimi; mobilya, giyim, şişeler, yiyecek artıkları, gazete gibi günlük maddelerden oluşmaktadır. Evsel katı atıklar; ayrı ayrı arıtılması gereken medikal, ticari ve endüstriyel tehlikeli veya radyoaktif atıkları içermezler [2].

2.2 Katı Atık Miktarı ve Karakterizasyonu

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, 2008 yılı yaz mevsiminde 13.31 milyon ton ve kış mevsiminde 11.05 milyon ton olmak üzere toplam 24.36 milyon ton atık toplandığı belirtilmektedir. Aynı istatistik verilerinde kişi başına düşen günlük ortalama belediye atık miktarının yaz mevsimi için 1.16 kg, kış mevsimi için 1.13 kg, yıllık ortalama ise 1.15 kg olarak hesaplandığı belirlenmiştir [3].

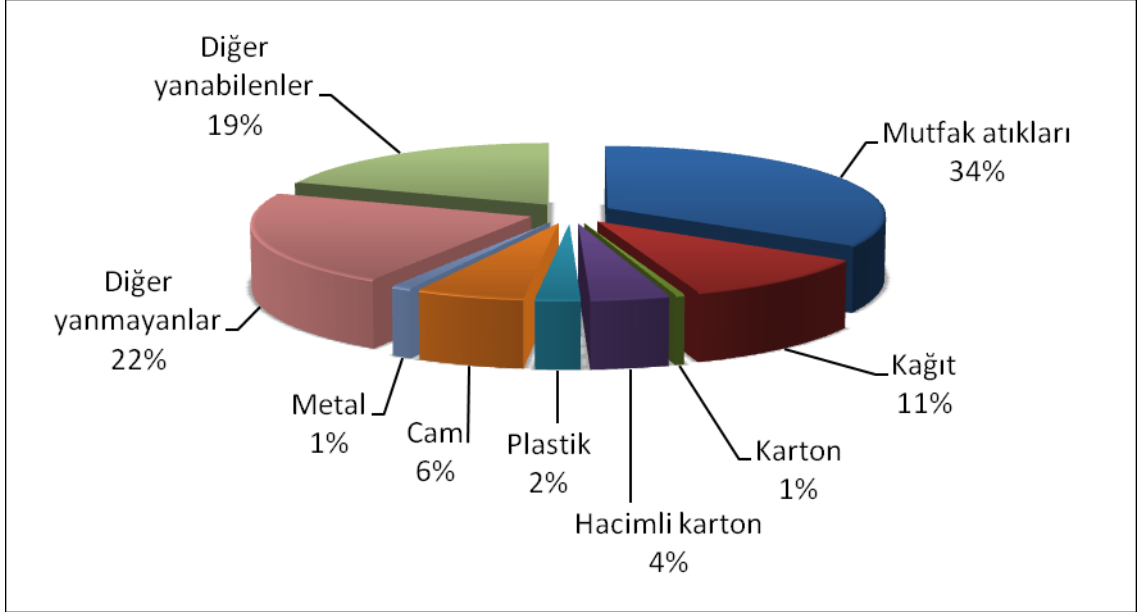
Katı atık kompozisyonları; nüfus, ekonomik durum ve gelir seviyesi, coğrafi konum ve iklimsel özellikler, sosyal etmenler ve mevsimselliğe bağlı olarak değişim gösterebilmektedir. Çizelge 2.1'de 1990-1992 yılları arasında çeşitli ülkeler için yapılmış kentsel katı atık karakterizasyon çalışmasının sonucu yer almaktadır [4].

Çizelge 2.1 Kentsel katı atık karakterizasyonu [4]

Ülke	Kağıt/karton (%)	Plastik (%)	Cam (%)	Metal (%)	Mutfak, park, ve bahçe (%)	Tekstil (%)	Diğer (%)
Almanya	17.9	5.4	9.2	3.2	44	-	20.3
Avusturya	21.9	9.8	7.8	5.2	29.8	2.2	23.3
Belçika	30	4	8	4	45	-	9
Bulgaristan	8.6	6.9	3.8	4.8	36.7	-	39.2
Fransa	31	10	12	6	25	4	12
Hollanda	24.7	8.1	5	3.7	51.9	2.1	4.5
İngiltere	34.8	11.3	9.1	7.3	19.8	2.2	10
İspanya	20	7	8	4	49	1.6	10.4
İsveç	44	7	8	2	30	-	9
İsviçre	31	15	8	6	30	3.1	6.9
İtalya	23	7	6	3	47	-	14
Portekiz	23	4	3	4	60	-	6
Türkiye	37	10	9	7	19	-	18
Yunanistan	22	10.5	3.5	4.2	48.5	-	11.3

Çizelge 2.1'de görüldüğü üzere Türkiye'de mutfak, park ve bahçe atıklarının diğer ülkelere kıyasla en düşük değere (% 19) sahip olduğu, kağıt/karton oranının diğer ülkelerden daha fazla (% 37) olduğu görülmektedir. Ayrıca, çizelgeden Türkiye'de üretilen mutfak, park-bahçe atıkları ile tekstil atıkları haricindeki diğer atık bileşenlerinin diğer ülkelere oranla daha yüksek olduğu görülmektedir.

Türkiye'deki katı atık kompozisyonunun belirlenmesi amacıyla Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından 2006 yılında Katı Atık Ana Planı Projesi gerçekleştirilmiştir. Bu projede, Türkiye'nin katı atık kompozisyonu belirlenmiştir ve kompozisyon Şekil 2.1'de görülmektedir [5].



Şekil 2.1 Türkiye’de katı atık kompozisyonu [5]

1990-1992 ile 2006 yıllarında yapılan karakterizasyon çalışmaları incelendiğinde; zaman içerisinde mutfak atıklarının oranının % 37’den % 34’e, plastiğin % 10’dan % 2’ye, camın % 9’dan % 6’ya, metalin % 7’den % 1’e düştüğü belirlenmiştir. 2006 yılında yapılan katı atık kompozisyon çalışmasında en büyük pay mutfak atıklarına aittir.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi İSTAÇ A.Ş. tarafından 2006 yılında İstanbul katı atık karakterizasyon belirleme çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada belirlenen katı atık bileşenleri Çizelge 2.2’de ve katı atık karakterizasyonu ise Çizelge 2.3’de görülmektedir [6].

Çizelge 2.2 İstanbul ili katı atık bileşenlerinin dağılımı [6]

Katı atık bileşenleri	(%)
Biyolojik olarak ayrışabilir atık	69.1
Geri dönüştürülebilir atık	24.7
Ambalaj atığı	15.3
Diğer	20.0

İstanbul’da en fazla biyolojik olarak ayrışabilir atık bileşenin mevcut olduğu Çizelge 2.2’de görülmektedir. Ambalaj atıkları geri dönüştürülebilir nitelikte atıklardır ve İstanbul’un sosyo-ekonomik durumu dikkate alındığında, ambalaj atıkları oranının katı

atık bileşeninde Çizelge 2.2’de görüldüğü gibi yüksek oranda olması beklenen bir sonuçtur.

Çizelge 2.3 İstanbul Büyükşehir Belediyesi karakterizasyon bilgileri (İSTAÇ A.Ş.) [6]

Katı atık bileşenleri	(%)
Mutfak atıkları	29.6
Kağıt	8.4
Karton	5.4
Hacimli karton	0.0
Plastik	3.4
Cam	6.1
Metal	1.4
Hacimli metal	0.0
Park ve bahçe atıkları	5.7
Diğer yanmayanlar	20.0
Diğer yanabilenler	20.0
Diğer yanabilir hacimli atıklar	0.0
Diğer yanmayan hacimli atıklar	0.0
Elektrikli ve elektronik ekipman atıkları	0.0
Tehlikeli atık	0.0
Toplam	100.0

İstanbul'da mutfak atıklarının oranının % 29.6 ile en yüksek değerde olduğu Çizelge 2.3’de görülmektedir. Bu oranı % 8.4 ile kağıt, % 6.1 ile cam, % 5.7 ile park ve bahçe atıkları, % 5.4 ile karton izlemektedir. Toplam katı atık içinde plastiğin oranı % 3.4, metalin oranı ise 1.4’tür. Kağıt, karton, metal, cam ve plastik gibi maddeler yani toplam katı atığın % 24.7’si geri kazanılabilir.

2.3 Kompostlaştırma

Kompostlaştırma, katı atıkların içindeki organik kısımların (sebze, meyve, selüloz, yemek atıkları, her türlü bahçe atıkları v.b.) biyokimyasal süreçler sonucu stabilize edilmiş, humusa benzer yapıdaki kitleye/malzemeye dönüştürülmesi işlemidir. Dönüşüm sonucu oluşan ürüne kompost denir [7].

2.4 Kompost Tarihçesi

Kompost kullanımına dair ilk deliller Mezopotamya vadisinde eski Akad İmparatorluğundaki kil tabletlerden elde edilmiştir. Romalıların, Yunanlıların ve İsrail kabilelerin kompost kullandıkları belirtilmektedir. Rönesans Edebiyatı'nda, Ortaçağ kilise metinlerinde, 10. ve 12.yy'da Arap metinlerinde kompost terimi yer almıştır. William Shakespeare, Francis Bacon, Walter Raleigh gibi yazarlar kompost kullanımına değinmişlerdir. 20.yy'ın başında ise tarımda kimyasal gübre kullanılmaya başlanmıştır. Bundan sonra dünyanın birçok yerinde kompost kullanımı yerini kimyasal gübreyle bırakmıştır [8].

Kimyasal gübre kullanımının yanı sıra kompostla ilgili çalışmalar da devam etmiştir. Kentsel organik maddelerin kompostta dönüşmesi için ilk sanayi istasyonu 1921'de Wels/Avusturya'da kurulmuştur. Rudolf Steiner, Annie Francé-Harrar, Sir Albert Howard, Lady Eve Balfour, E.E. Pfeiffer, Paul Keene, Scott ve Helen Nearing ve J.I. Rodale gibi şahsiyetler kompostun tanıtılmasında çalışmışlardır. Bu çalışmalar 1960'dan 1980'e kadar Amerika'da oldukça etkili olmuştur [9].

21.yy kompost endüstrisi için önemli bir dönüm noktası olmuştur. 21.yy'ın mevcut teknolojisi ile tamamlanmış ürünlerin kalitesini arttırma, büyük miktarda hammadde elde etme ve kompost sürecini hızlandırma için gerekli imkânlar sağlanmaktadır. Modern makine, alet ve titiz bir süreç kontrolü ile 2-3 haftada iyi kalite kompost elde edilebilmektedir [10].

2.5 Kompostun Faydaları

Kentsel katı atık kompostu, toprağın özelliklerini gübreden daha iyi geliştirebilir. Kompostun toprağa uygulanmasıyla; toprağın su geçirgenliğini, hava sirkülasyonunu, su tutma kapasitesini, porozitesini ve katı agregaların stabilitesini arttırdığı görülmüştür. Ayrıca, toprağın emme kapasitesi, baz doygunluk gelişimi ve makronütrientinde de artış

elde edildiği belirtilmektedir. Kompostun belirtilen olumlu etkileri organik madde, toprak yapısı ve nem koşullarına bağlı olarak değişim göstermektedir [11].

Ayrıca kompostun;

- Bitki hastalık ve zararlılarını yok etme,
- Kimyasal gübreye olan ihtiyacı azaltma ya da ortadan kaldırma,
- Tarım rnlerinde daha yüksek verim sağlama,
- Kirlenmiş, sıkıştırılmış zeminleri değiştirerek, ağalandırmayı kolaylaştırma, sulak alan iyileştirmesi, habitatı yeniden canlandırma,
- Tehlikeli atıklarla kirlenmiş toprağın iyileştirilmesi,
- Yağmur suyu akışından ağır metal, yağ-gres, katı giderimi,
- Kirlenmiş havadan % 99.6 uçucu organik bileşen giderimi,
- Uygulanabildiği takdirde, konvansiyonel kara, su ve hava kirliliği arıtma teknolojilerinde en az % 50'den fazla maliyet tasarrufu sağlama gibi faydalarının da olduğu görülmüştür [12].

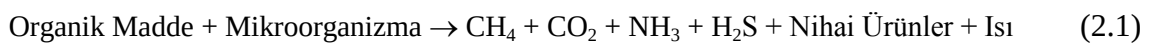
2.6 Kompostlaştırma Teknolojisi

Kompostlaştırma, aerobik veya anaerobik yolla yapılabilir. Aerobik kompostlaştırma prosesi daha yaygın olduğundan kompostlaştırma denilince genelde aerobik kompostlaştırma anlaşılmaktadır.

2.6.1 Anaerobik (Havasız) Kompostlaştırma

Anaerobik kompostlaştırma, organik maddenin O₂ yokluğunda atık içindeki mikroorganizmalarca biyolojik olarak parçalanmasıdır [13].

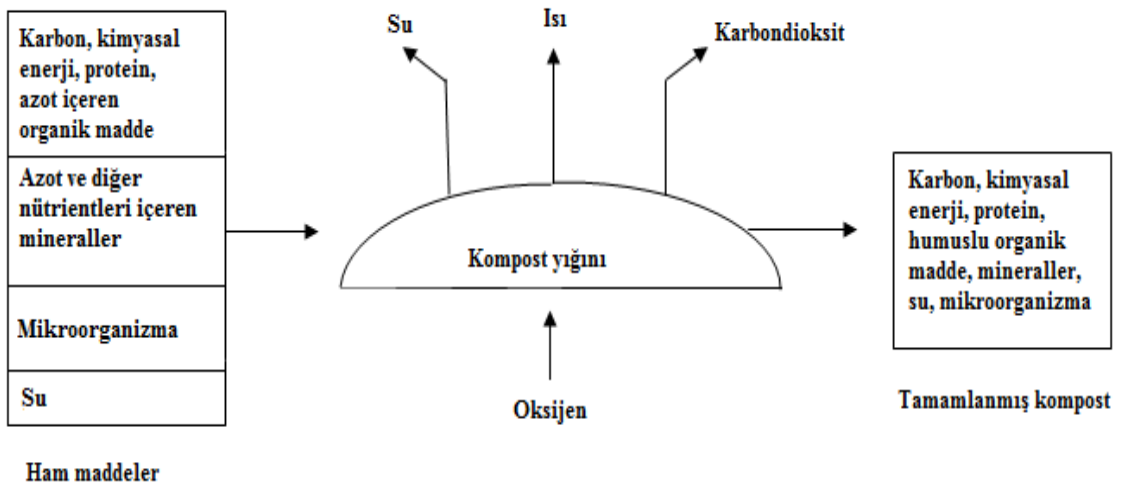
Bu işlem üç aşamada gerçekleşmektedir. İlk aşama olan hidroliz kademesinde, hücre dışı enzimlerce yüksek molekül ağırlıklı organik maddeler, düşük molekül ağırlıklı organiklere dönüştürülmektedir. Hidroliz rnleri daha düşük molekül ağırlıklı fermentasyon ürünlerine ise ikinci aşamada dönüşmektedir. Son aşamada ise CH₄ ve CO₂ oluşmaktadır [14]. Anaerobik dönüşüm (2.1)'deki gibi formllendirilebilir.



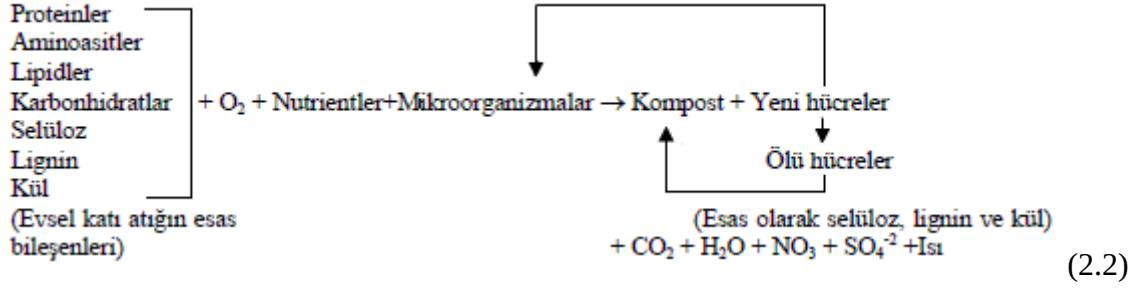
Anaerobik kompostlaştırmada ilk hedef biyogaz üretmektir [13]. Anaerobik kompostlaştırma; parçalanmanın daha yavaş gerçekleşmesi, patojenler için öldürücü sıcaklık seviyelerinin elde edilememesi yani tam patojen giderimi sağlamaması, ekonomik açıdan uygun olmaması, sakıncalı emisyon sayısı ve yoğunluğu nedeniyle aerobik kompostlaştırmaya oranla pek tercih edilen bir yöntem değildir [13, 15]. Bu olumsuzlukların aksine, anaerobik prosesin nihai ürünlerinden olan CH₄ ile enerji üretimi gerçekleştirilebilmesi ve halojenli hidrokarbon giderimi sağlaması gibi yararları da mevcuttur [14, 15].

2.6.2 Aerobik Kompostlaştırma

Aerobik kompostlaştırma, mikroorganizmaların ortamın oksijenini kullanarak katı atık içerisindeki organik maddeleri biyokimyasal yöntemlerle ayrıştırmasıdır [16]. Aerobik kompostlaştırmada H₂O, CO₂ ve enerji nihai ürünleri oluşturmaktır. Kompostlaştırma iki ana adımdan oluşmaktadır. İlk adımda mikroorganizmalar hammaddeyi basit kimyasal bileşiklere ayrıştırmaktadır. Metabolik aktiviteyle ortamda ısı üretilmektedir. İkinci adımda ısı artışı sonucu kompost içerisindeki patojenik mikroorganizmalar yok edilmektedir. Böylece kompost yığını ıslah edilmiş olur. Mikroorganizma aktivitesi besi maddelerinin tükenmesi ile yavaşlamaktadır ve bu durum kompost yığını içerisindeki ısıyı azaltmaktadır. Sonuçta nütrientçe zengin humus benzeri, kuru ve kolaylıkla ufalanan kompost oluşmaktadır [17]. Aerobik kompostlaştırma prosesi Şekil 2.2'de görülmektedir. Ayrıca, aerobik proses (2.2)'deki gibi formüllendirilebilir [4].

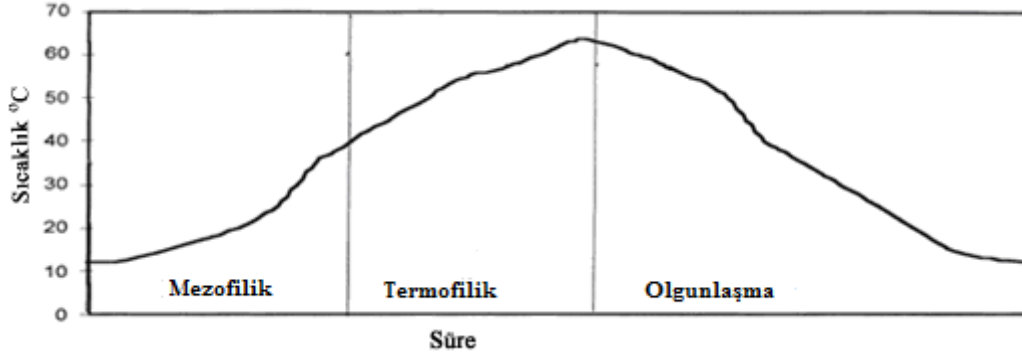


Şekil 2.2 Kompostlaştırma prosesi [18]



Oluşan yeni hücrelerin organik maddenin parçalanmasında aktif biyokütle olarak görev yaptığı ve öldükten sonra kompostun bir parçası olduğu (2.2)'de görülmektedir [4].

Aerobik kompostlaştırma prosesi; mezofilik, termofilik ve olgunlaşma fazı olmak üzere üç fazdan oluşmaktadır. Farklı tip mikroorganizmalar prosenin farklı fazlarında aktif olarak görev almaktadır. Mezofilik faz sırasında ortamda mezofilik mikroorganizmalar baskındır, kolay parçalanabilir ve çözünmüş bileşikler mikroorganizmalar tarafından parçalanarak CO₂, NH₃, H₂O, organik asit ve ısı oluşmaktadır, bu aşama birkaç gün sürmektedir. Isının 45 °C'ye ulaşması ile mezofilik organizmalar yerlerini termofilik organizmalara bırakmaktadır. 55 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda insan ve bitki yaşamı için zararlı olabilecek patojenler yok edilmektedir. 65 °C civarında birçok mikrop türünün yok olması neticesinde mikrobiyal faaliyet azalmakta ve kompostlaştırma hızı sınırlanmaktadır. Neticede, devam eden havalandırma ve karıştırma ile kompost sıcaklığı düşürülmektedir. Birkaç günden birkaç aya kadar süren termofilik fazda, protein, yağ, selüloz gibi kompleks karbonhidratların parçalanması gerçekleşmektedir. Bu bileşiklerin miktarı azaldıkça kompost sıcaklığı azalmaktadır. Olgunlaşma fazında, mezofilik ve termofilik fazlara göre daha yavaş mikrobiyal aktivite mevcuttur. Bu fazda mikrobiyal aktiviteler azaldığı için daha az ısı üretilmektedir. Böylece yığın soğumaya başlamaktadır. Yığın soğuduğu zaman, daima olgunlaşma fazının tamamlandığı anlaşılamaz. Soğuma; yığın içerisindeki nem eksikliği, yetersiz O₂ ve nütrient dengesizliği gibi mikrobiyal aktiviteyi etkileyen parametrelerin de bir göstergesi olabilmektedir. Olgunlaşma döneminde tekrar ortamda görülen mezofilik bakteriler, kalan organik maddeyi tüketmektedir ve olgun kompost oluşumu sağlanmaktadır. Olgunlaşma fazı sonrası kompost satış için hazırlanabilir [17, 19, 20]. Kompostlaştırma esnasında gerçekleşen sıcaklık değişimi Şekil 2.3'de görülmektedir.



Şekil 2.3 Kompostlaştırma prosesi sırasında sıcaklık değişimi

2.6.2.1 Aerobik Kompostlaştırmaya Etki Eden Faktörler

C/N Oranı

Kompostlaştırma prosesi sırasında mikroorganizmalar atıklardaki mikrobiyal protoplazma içeren organik materyalleri kendi metabolizmaları için parçalar ve yeni hücre üretirler. Genellikle yeni mikrobiyal hücre kütsel olarak; % 50 C, % 5 N ve % 0.25- % 1 P içermektedir. Metabolik proseste, % 20-40 C substratı yeni mikrobiyal hücre yapısına özümlenmektedir ve kalan C enerji üretim prosesinde karbondioksit oksitlenmektedir [21]. Hücre büyümesi ve fonksiyonu için gerekli olan protein, nükleik asit, aminoasit ve enzimlerin temel bileşeni azottur. Organizma, azotun yokluğunda ne üreyebilir ne büyüebilir. Mikroplar, N kaynağı olmadan aktif olmaya bir süre devam etmektedir ve mikropların aktivitesi gittikçe azalmaktadır ve sonuçta mikroplar ölmektedir [22]. C ve N oranının belirli bir dengede olması mikroorganizmaların nütrient temini için önem arz etmektedir. Mikroorganizmaların nütrient temini için ideal C/N oranının 30/1 olduğu belirtilmektedir [20].

Eğer C/N oranı çok düşük olursa NH_3 oluşur. NH_3 oluşumu pH'ın yükselmesine ve kötü kokuya sebep olmaktadır. Ayrıca yüksek pH'larda, NH_3 gaz formunda ortamdan uzaklaşmaktadır. C/N oranı çok yüksek olursa, N kısıtlaması ortamda fazla organik asit oluşmasına ve buna bağlı olarak pH'ın düşmesine sebep olur ve mikrobiyal büyüme azalır [23].

Oksijen/Havalandırma

Kompostlaştırmanın ilk günlerinde organik madde hızlı bir şekilde parçalanmaktadır. Bu nedenle, ilk basamaklarda O_2 veya hava ihtiyacı en fazladır ve işlem ilerledikçe bu

ihtiyaç azalmaktadır. Kompostlaştırma sırasında O_2 veya hava kaynağı sınırlıysa prosesin işleyişi yavaşlar [24].

Havada % 21 oranında O_2 bulunmaktadır. Aerobik organizmalar ortamdaki O_2 konsantrasyonunun % 5 düzeylerine düşmesine rağmen yaşayabilirler. Kompostlaştırmanın uygun şekilde gerçekleştirilebilmesi için O_2 konsantrasyonunun % 10'dan büyük olması önerilmektedir. Eğer ortamda yeterli O_2 bulunmazsa kötü koku oluşumuyla sonuçlanan anaerobik şartlar gelişir [20].

Fazla hava verilmesi de materyal boşluklarındaki sıcak havayı alarak kütlenin soğumasına sebep olmaktadır. Kompostlaştırılacak materyalin kg kuru ağırlığı için O_2 tüketimi 1.14-1.71 l O_2 /kg.kuru madde.saat'tir. İlk faz için geçerli olan bu O_2 tüketim hızı ya da miktarı 5.6-8.5 l hava/kg.kuru madde.saat değerine yükselmektedir [16].

Besi Maddesi Dengesi

Mikrobiyal büyüme ve metabolizma için yeterli C, N, P, K ve iz elementlere ihtiyaç bulunmaktadır. İz elementlerin çoğu genellikle ya mikrobiyal hücrelerde ya da enzimlerin ko-faktörlerinde bulunmaktadır. Mikronütrientler; kompostta veya kompostun mikro-florasındaki enzimatik reaksiyonlarda rol oynamaktadır [25].

C, N, P ve K makronütrient; Co, Mn, Mg ve Cu ise mikronütrient veya iz element olarak bilinmektedir. Ca makro ve mikronütrient arasındadır. Ca; pH'daki değişikliklere karşı koyarak bir nevi tampon görevi görmektedir. P; enerji depolanmasında ve bir ölçüde protoplazma sentezinde görev almaktadır [22].

pH

Kompost prosesinin ilk aşamalarında asit oluşturan bakterilerin aktiviteleri sebebiyle pH'da azalma görülmektedir. Bu bakteriler kompleks karbonlu maddeleri parçalar ve evsel katı atıkların pH'ı 4.5-5'e düşebilir. Organik asit senteziyle, asitleri substrat olarak kullanan mikrobiyal popülasyon ortamda çoğalır. Sonuçta pH 8-9 seviyelerine kadar yükselir [22]. pH değeri, olgunlaşma fazında yavaş yavaş düşer ve olgunlaşmış kompostta 7-8 civarındadır. Havalandırma yeterli değilse, pH 4-5 seviyelerine düşer ve kompostlaştırma prosesi yavaşlar [4].

Sıcaklık

Organik maddenin mikroorganizmalarca parçalanması sonucu, yan ürün olarak ısı açığa çıkmaktadır. Mikroorganizma aktivitesinin bir göstergesi olan ısının yükselmesiyle ve metabolizma ürünü olarak çıkan bileşikler dolayısıyla patojen organizmaların giderimi sağlanmaktadır. Kompostlaştırmada sıcaklık arttıkça sırasıyla mikroorganizmalar ölürler, yerlerine başka tür mikroorganizmalar geçer. Sıcaklık, patojen mikropların ve virüslerin oluşmasını önleyerek iyi kalitede kompost oluşmasını sağlamaktadır [16]. Çizelge 2.4'de kompostlaştırma sırasında sıcaklığa bağlı patojen ve parazitlerin giderim süreleri yer almaktadır [26].

Partikül Boyutu

Kompostlaştırmada en çok istenen partikül boyut aralığı 1-5 cm'dir. Küçük partikül içeren atık malzemeleri, büyük partiküllere oranla birim hacim başına daha geniş yüzey alanına sahiptirler ve bu sebeple daha kolay parçalanırlar. Eğer partiküller çok küçük olursa, partiküller arasındaki boşluk büyük ölçüde azalır bu da düşük O₂ difüzyonuna neden olur. Atıkların istenilen boyuta parçalanmasıyla fiziksel homojenlik sağlanır. Homojenlik nedeniyle, parçalanmış atıklar daha eşit oranda ısınır ve ısı kayıplarına karşı daha izoleli olur. Buna ilaveten; parçalanmış atık, parçalanmamış atıktan nem penetrasyonuna karşı daha iyi direnç göstermektedir [27].

Nem/Su İçeriği

Maksimum mikrobiyal stabilizasyon verimi için katı atıkta yeterli nem olmalıdır. Mikrobiyal aktivitenin gerçekleşebilmesi için su gerekmektedir. Kompostlaştırma prosesinde, süreç ilerledikçe buharlaşma sonucunda su kayıpları olmaktadır. Nem; porozite ve gaz difüzyonunu etkilemektedir ve nem buharlaşma yoluyla giderilmektedir. % 30'dan düşük nem içeriğinde, su sıkıntısı nedeniyle mikrobiyal aktivite oldukça düşer. Su içeriği fazla olduğu zaman, organik kütle içindeki boşluklar su ile dolar ve havalandırma kısıtlanır. Materyal içinde O₂ konsantrasyonu tükenirse, kokuyla sonuçlanan anaerobik durumlar gelişir ve parçalanma hızının azalmasına sebep olur.

% 50-% 70 arasındaki nem içeriği kompostlaştırma için uygundur. Mezofilik ve termofilik fazlarda bu nem oranı korunmalıdır [28].

Çizelge 2.4 Kompostlaştırma sırasında bazı patojen ve parazitlerin giderimi [26]

Mikroorganizma türü	Ölüm sıcaklığı ve süresi
<i>Salmonella typhosa</i>	46 °C ötesinde büyüyemezler, 55-60 °C'de 30 dakika içinde, 60 °C'de 20 dakika içinde giderilirler.
<i>Salmonella sp.</i>	55 °C'de 1 saat içinde ve 60 °C'de 15-20 dakika içinde ölürler.
<i>Escherichia coli.</i>	55 °C'de en fazla 1 saat içinde ve 60 °C'de 15-20 dakika içinde ölürler.
<i>Shigella sp.</i>	55 °C'de 1 saatte ölürler.
<i>Entamoeba histolytica kisti</i>	45 °C 'de birkaç dakika içinde ölürler.
<i>Trichinella spiralis larva</i>	55 °C'de hızlıca ölürler.
<i>Brucella abortus veya Br. suis</i>	62 °C'de 3 dakika içinde ve 55 °C'de 1 saat içinde ölürler.
<i>Streptococcus pyogenes</i>	50 °C'de 10 dakika içinde ölürler.
<i>Mycobacterium tuberculosis var. hominis</i>	66 °C'de 15-20 dakika içinde veya 67 °C'de anlık ısıtma sonrası ölürler.
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	55 °C'de 45 dakika içinde ölürler.
<i>Ascaris lumbricoides yumurtaları</i>	50 °C'de 1 saatten daha kısa sürede ölürler.

Süre

Kompostlaştırma, 6 hafta ile 4 yıl gibi sürelerde gerçekleştirilebilir. Biyolojik olarak parçalanma süresinin tamamlanması atık kompozisyonuna bağlıdır. Protein, yağ, selüloz ve ligninin parçalanması için daha uzun süreler gerekebilir. İyi kalite kompost üretimi için, olgunlaşma safhası önemlidir. İleri teknoloji kompostlaştırma metoduyla kompost üretimi 6 hafta sürebilir, düşük teknoloji kompostlaştırma metoduyla kompost üretimi 4 yıl gibi uzun süreye yayılabilir [17].

2.6.2.2 Aerobik Kompostlaştırma Sistemleri

Havalı kompostlaştırma yöntemleri, statik (açık) ve dinamik (kapalı) olmak üzere iki ana sınıfa ayrılabilir. Dinamik sistemlerde kompost malzemesi; hava akımı, sıcaklık ve O₂ kontrolünü sağlamak için mekanik olarak karıştırılmaktadır. Statik metotta ise

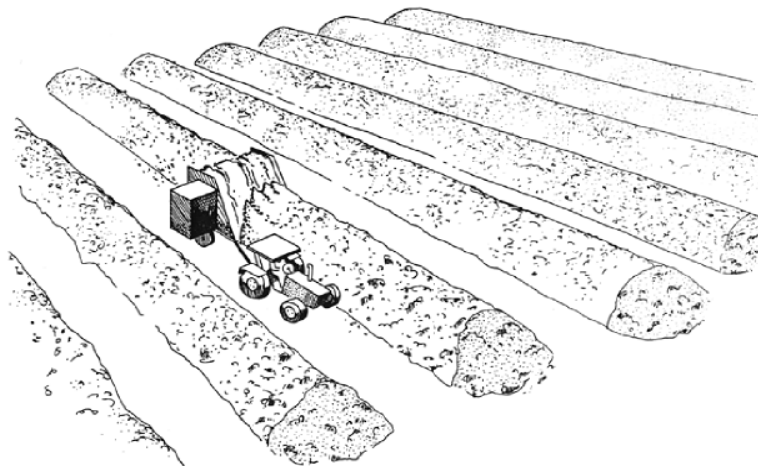
sisteme hava verilir. Reaktör içinde gerçekleşen özel kompostlaştırma prosesleri kapalı reaktör (in-vessel) kompostlaştırma sistemleri olarak bilinmektedir. Sıralı yığın, havalandırılmalı statik yığın ve reaktörde kompostlaştırma kentsel katı atıkların kompostlaştırılmasında kullanılan temel kompostlaştırma yöntemlerindendir [4].

Sıralı Yığın (Windrow) Metodu

Kompostlaştırma sistemleri arasında en çok kullanılan sıralı yığın metodudur. Bu metotta, genelde 3-5 m genişlikte ve 2-3 m yükseklikte olan katı atık yığınları direkt olarak zemin üzerine veya sığ çukurlara yerleştirilir. İşletme ve işçilik maliyetleri, sıcaklık-yağmur-rüzgar gibi iklim koşulları, sermaye, işleme ekipmanı gibi spesifik ihtiyaçlar atık yığınlarının fiziksel düzeni ve görünüşünü etkilemektedir [27].

Bu metotta yığınlar mekanik ekipmanla periyodik olarak harmanlanmaktadır. O₂ harmanlama sırasındaki gaz alışverişinden ve yığın içindeki sıcak gazlardan kaynaklanan doğal havalandırmadan sağlanmaktadır. Ayrıca; yığınlardaki optimum nem seviyesini korumak için yığın aralarında drenaj kanalları oluşturularak fazla nem uzaklaştırılmaktadır. Havanın atık içine doğal olarak girmesiyle ya da pasif havalandırmayla fazla nem uzaklaştırılabilir [29].

Yatırım ve işletme maliyeti düşük olan bu sistemin, arazi ihtiyacı ise yüksektir. Bu sistemde, koku ve sinek problemi yaşanabilir, karıştırmadan dolayı parçalanma için gerekli sıcaklıklar sağlanamayabilir. Ayrıca bu sistemin, yağışlı havalara ve soğuğa karşı duyarlı olmasından dolayı kapalı alanlarda veya yağışlı olmayan bölgelerde uygulanması gerekmektedir. Şekil 2.4'de bu metota ait örnek görülmektedir [14].



Şekil 2.4 Sıralı yığın metodu [14]

Havalandırılmalı Statik Yığında Kompostlaştırma

Havalandırılmalı statik yığın kompostlaştırmada, kompost karışımları mekanik olarak havalandırılan yığınlar konulur. Kompostlaştırmada yığınlar hava temin eden blowerla bağlantılıdır. Hava pozitif ya da negatif basınçla temin edilir. Kompostlaştırma prosesinin tamamlanmasına yakın yığınlar dağıtılır ve sonra kompost alınır.

Blowerlar havayı ya yığın içerisine ya da yığın dışına verirler. Havayı yığın içine vermek pozitif basınç oluştururken, yığından havanın çekilmesi negatif basınç oluşturmaktadır. Kompost yığınlarında hava sirkülasyonu, kompost mikropları için gerekli oksijeni sağlar ve ayrıca yığında aşırı hava birikmesini önler. Fazla hava ve su buharı giderimi, mikrobiyal aktivite için optimum sıcaklıkların korunmasını sağlamaktadır [19].

Yığın sıcaklığı, patojen giderimi için genellikle yeterlidir. Bu metotta, sıralı yığın metoduna göre daha az alana ihtiyaç duyulur. Ayrıca bu metotla 6-12 haftada kompost elde edilebilir [19].

Reaktörde (In- vessel) Kompostlaştırma Sistemleri

Kutu

Tahta yapımı kutular, kullanılmayan depolama kutuları veya üstü kapalı ve açık kutular bu metotta kullanılmaktadır. Bazı kutularda, havalandırılmalı statik yığın metoduna benzer havalandırma sistemi vardır [30].

Karıştırılmalı dikdörtgen yataklar

Kompostun periyodik olarak otomatik dönmesi için bu metotta dar ve uzun yataklar kullanılır. Dönme, dikdörtgen yatak boyunca sisteme monte edilen karıştırıcılar vasıtasıyla gerçekleşir. Bazı sistemlerde, blowerlar yataklara hava vermek için kullanılır. Kompostlaştırma prosesinin süresi, dönme sıklığı ve yatak uzunluğu ile belirlenebilir [30].

Silo

Bu metot hızlı kompostlaştırma metodudur. Kompost materyalleri yukarıdan silonun içine yüklenir, burgu ve matkap kullanılarak silonun altından giderilir. Havalandırma tabandan yukarıya doğrudur [30].

Döner borular

Az miktarda atığın kompostlaştırılması için kullanılmaktadır. Kompost karışımı borunun üst kısmından yüklenmektedir. Karışım birinci bölmede dinlenir. Birinci bölmeden, borunun üst kısmına kadar tüp dolduğunda, kompost karışımı ve birinci bölme üzerindeki boş tüp havalandırmak için döndürülür. Bu da ek kompost karışımının boruya yüklenmesini sağlar. Boru büyüklüğü, doldurma kapasitesi tamamlandığında döndürme işlemini sınırlandırabilir [30].

2.7 Kompost Atıksuyu

Kompost tesislerinde; evsel (tuvalet, laboratuvar, tamirhane), trafik alanları üzerinde yağmurdan oluşan, çatılara yağan yağmur suyu ve kompostlaştırma teknolojisine bağlı olarak en yüksek kirletici konsantrasyonuna sahip olan proses atıksuyu oluşur. Proses atıksuyu kompost tesislerinin şu ünitelerinden meydana gelmektedir [31].

2.7.1 Kondansasyon (Damıtma) Suları

Fermantasyon kapalı birimlerde (bina, konteyner, tünel) gerçekleşiyorsa, fermantasyon sırasında buharlaşan ve nemlendirme için kullanılan kondansasyon suları oluşacaktır. Yığındaki sıcaklık ve havalandırmadan dolayı bu sular buharlaşmaktadır.

2.7.2 Hava Temizleme Biriminden Kaynaklanan Atıksular

Biyolojik yıkayıcılarda kullanılmış su veya biyofiltrelerden sızan sulardır.

2.7.3 Temizlik Suyu

Atık teslim, ön şartlandırma ve fermantasyon alanlarının temizlenmesiyle oluşur.

2.7.4 Sızıntı Suyu

Kompost yığınının süzülen serbest su olarak tanımlanabilen sızıntı suyu, yığından dolayı çözünmüş ve askıda maddeleri içerir. Hammadde kalitesine, kompostlaştırma materyallerinin stabilite ve parçalanma oranına bağlı olarak sızıntı suları; yüksek konsantrasyonlarda fenol, KOİ ve BOİ gibi organik bileşikler, NO₃ ve P gibi nütrientler ve tuzlar içerebilir [17, 28, 32].

Yüksek BOİ, balık ve su hayatına zarar vererek çözünmüş oksijeni tüketir. Doğal oluşan fenoller toksik değildir, fakat yüzey su rezervuarlarına ulaşırlarsa suyun koku ve tadını etkileyebilir [33]. Sızıntı suyundaki N yükü, sızıntı suyunun ulaştığı yüzeysel sularda alg çoğalmasına sebep olabilir [27].

Ayrıca, evsel katı atık kompostlaştırma işletmelerinden kaynaklanan sızıntı suyu; poliklorlu bifeniller (PCBS) gibi sentetik bileşikler, klordan, polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH), benzin, yağ ve kömürün yanma ürünleri gibi potansiyel toksik sentetik bileşikler içerebilir. Buna toksik metalleri ve inatçı herbisitleri de katabiliriz [17]. PCBS ve klordan biyolojik olarak parçalanmaya karşı dirençlidir, bu nedenle genellikle kompostlaştırma prosesi sırasında parçalanmazlar. Kompostlaştırma prosesinde PAH'ların mikroorganizmalarca parçalanması sonucunda, bileşik orjinal PAH'dan daha toksik olabilen forma dönüşebilir [33].

Sızıntı suyu oluşumu kompost yığınınındaki nem seviyesinin düzeltilmesi ve izlenmesiyle önlenabilir veya giderilebilir. Yığınlar, yoğunlaşma nedeniyle fazla nem seviyesini önlemek için çatı altına yerleştirilebilir. Eğer kompostlaştırma metaryalleri fazla nem içerirse, su eklemenden kompostlaştırmanın ilk birkaç gününde sızıntı suyu salınacaktır. Sızıntı suyunun ilk salınımını takiben sızıntı suyu miktarı, kompost ürünü olgunlaştıkça ve su tutma kapasitesi geliştikçe azalacaktır.

Yığın yaşı sızıntı suyu kompozisyonunu etkilemektedir. Yığın olgunlaştıkça, mikroorganizmalar kompleks bileşikler parçalar, karbonu ve azotu tüketirler. Eğer C/N oranı istenen seviyede korunursa, mikroorganizmalar büyümeleri için azotu kullanacaklarından, yığından mikroorganizmalar tarafından kullanılmayan düşük miktardaki N süzülecektir. Bazı kompostlaştırma tesisleri, oluşan sızıntı suyunu toplama ve kontrolü için beton yüzey kullanırlar. Buradaki ana amaç, yığını terketmeden önce sızıntı suyu kaçışını izlemektir. Sızıntı suyunu tutmanın basit yolu, suyu toplamak ve kompost yığını içerisine tekrar vermektir. Bu işlem yüksek sıcaklıklı faza geçmeden önce yapılmamalıdır. Bununla birlikte yüksek sıcaklıkta sızıntı suyunun geri devrinde zararlı mikroorganizmalar inaktif olabilirler. Fakat nemlendirme amacıyla sızıntı suyunun geri devredildiği kompostlaştırma tesislerinde sızıntı suyundaki kirlilik, devir daim yapılmayan tesislere göre çok daha yüksektir [31].

Sızıntı suyu kontrol yöntemleri şunlardır [33];

- Kompost yığınının sızıntı suyunu, sızıntı suyu toplama alanına yönlendirme,
- Kil veya sentetik maddeler gibi düşük geçirgenlikli maddelerden yapılmış sızdırmazlık sistemi kurulumu,
- Sızıntı suyunu toplamak için drenaj boruları altında geçirimsiz tabaka kullanma,
- Sızıntı suyunun yeraltına geçişini önlemek için infiltrasyon yapmadır.

Çizelge 2.5'de kompostlaştırma tesislerinden meydana gelen atıksu miktarları görülmektedir.

Kompostlaştırma tesisinden kaynaklanan sızıntı suyunu da içeren atıksuyun kirletici değerleri deşarj yönetmeliklerindeki kriterleri sağlıyorsa, atıksu doğrudan yüzeysel sulara ya da yerleşim birimine ait ortak arıtma tesisine gönderilmektedir. Açık kompostlaştırma tesislerinde, yağışlardan kaynaklanan yüklerin mevcut kanalizasyon ve arıtma tesislerinde fazla yük oluşturmaması için tesiste depolanması gerekmektedir.

Kompostlaştırma tesislerinden gelen atıksu biyolojik arıtma proseslerinde arıtılabilir. Biyolojik olarak arıtılmış atıksudaki kirletici konsantrasyonları deşarj kriterlerini sağlamayabilir. Bu sebeple, sızıntı suları önce anaerobik çürütücüde ön arıtmaya tabi tutulup, sonra standart aerobik arıtmaya gönderilebilir veya bu yöntemler yetersiz ise ileri arıtma teknikleri kullanılarak arıtılabilir. Geniş bir alan mevcutsa, atıksular lagünlerde su bitkileriyle arıtılabilir [31].

Kompost atıksularının arıtımına dair literatürde sınırlı bilgi bulunmasına rağmen; fentonla [34], adsorpsiyonla [35], anaerobik çürütmeyle [36], biyolojik iyileştirmeyle [37, 38], havayla sıyırma ve katalitik oksidasyonla [39], ardışık kesikli reaktörle ve membran biyoreaktörle [40] kompost atıksularının arıtımı konusunda çalışmalar mevcuttur.

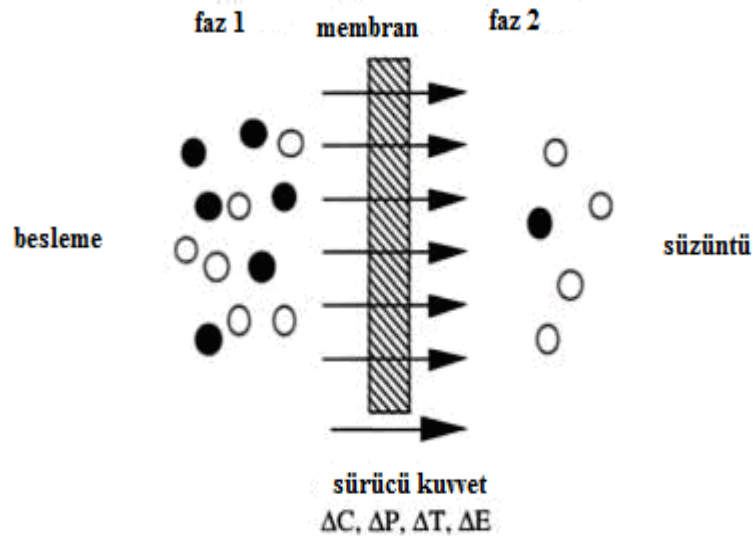
Çizelge 2.5 Kompostlaştırma tesislerinde meydana gelen atıksu [33]

Atıksu türü	Birim	Miktar
Sızıntı suyu	l/ton ham atık	• 15 – 35 (taşıma/ karıştırma yapılmayan yığın sistemi) • 45 (kapalı bina, karıştırma ve taşıma, nemlendirme ve havalandırmalı açık yığın sistemi) • 65 (Kapalı bina, karıştırma ve taşıma, nemlendirme, havalandırmalı olan yığın sistemi)
Damıtma suyu	l/ton ham atık	• 0 (açık sistem) • 0 – 6 (kapalı binada suni havalandırma, nemlendirme,karıştırma ve)
Biyolojik yıkayıcıdan gelen su	l/ton ham atık	20 – 30
Biyofiltreden gelen sızıntı suyu	l/(m ² filtre alanı*yıl)	1 000 – 1 500
Evsel atıksu	l/(N*gün)	150 – 200

MEMBRAN PROSESLER

3.1 Membran

Membran; iki fazı birbirinden ayıran ve çeşitli kimyasalların seçici bir biçimde taşınımını kısıtlayan bariyer olarak tanımlanmaktadır [41]. Şekil 3.1’de membranla ayırmanın şematik diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.1 Membranla ayırmanın şematik gösterimi [42]

Membranın ana fonksiyonu, belirli bir karışımdan belli bileşiklerin geçişine izin veren diğerlerinin tutulmasını sağlayan, seçici bariyer olarak hareket etmesidir. Bu seçicilik, molekül yada partikül boyutuna, por büyüklüğüne, matrisdeki çözünen madde difüzyonuna ve ilgili elektrik yüküne bağlıdır. Membranların ayırma fonksiyonu; kimyasal kompozisyon, sıcaklık, basınç, besleme akımı ve membran yüzeyindeki bileşikler arasındaki besleme akımı ve çekime bağlıdır [43].

Membranın kullanım amaçları [44, 45];

- Çözünmüş katı içeren sıvı veya gazdan; mikron ve mikronaltı boyutundaki askıdaki katıların filtrasyonu,
- Sıvılardan makromolekül ve kolloidlerin giderimi,
- Sıvı karışımların ayrılması,
- İyonik türlerin ayrımı,
- Sudan çözünmüş ve askıdaki maddelerin giderimi,
- Dolaylı içilebilir su temini,
- Doğrudan içilebilir su temini,
- Sulama suyu temini,
- Endüstrilerde tekrar su kullanımıdır.

Koagülasyon, flokülasyon, sedimentasyon, kum filtresi, iyon değiştirme, ekstraksiyon, çöktürme ve biyolojik parçalanma gibi konvansiyonel metotlarla su ve atıksuda bulunan kirleticiler belirli bir seviyeye kadar giderilebilmektedir. Membran prosesler birçok avantajı sebebiyle konvansiyonel arıtma metotlarına alternatif olmaktadır ve son yıllarda dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır. Membran proseslerin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir [43, 46, 47];

- Sürekli ve otomatik işletilebilmesi,
- Taşınabilir olması,
- Modüler olarak kullanılabilmesi,
- Düşük alan gereksinimi,
- Nispeten düşük sermaye/işletme maliyeti,
- Çok yüksek konsantrasyonlara uygulanabilmesi,
- İnşaat gerektirmemesi,
- Düşük sıcaklıklarda işletilebilmesi,
- Kimyasal ilavesi gerektirmemesi,
- Arıtma ünite sayısını azaltması,
- Endüstrilerde değerli ürünlerin geri kazanımı,
- Seçici ayırma.

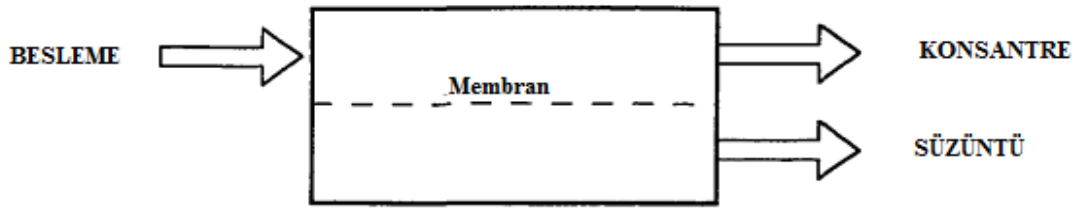
Membran proseslerin birçok avantajının yanı sıra bazı dezavantajları vardır [42].

Bunlar;

- Konsantrasyon polarizasyonu/membran tıkanması,
- Düşük membran ömrü,
- Düşük akı,
- Projelendirme faktörünün daha fazla veya daha az lineer olmasıdır.

3.2 Membranların Ayırma Mekanizmaları

Membran, iki farklı fazı veya ortamı birbirinden ayıran ve belirli türlerin geçişine izin veren yarı geçirgen bir yapıdır. Membrana beslenen hamsu veya atıksuyun bir kısmı membrandan geçerek süzüntüyü, diğer kısmı ise kirletici konsantrasyonu artmış atıksuyu yani konsantreyi oluşturmaktadır [48]. Şekil 3.2’de membran prosesi akım diyagramı görülmektedir.



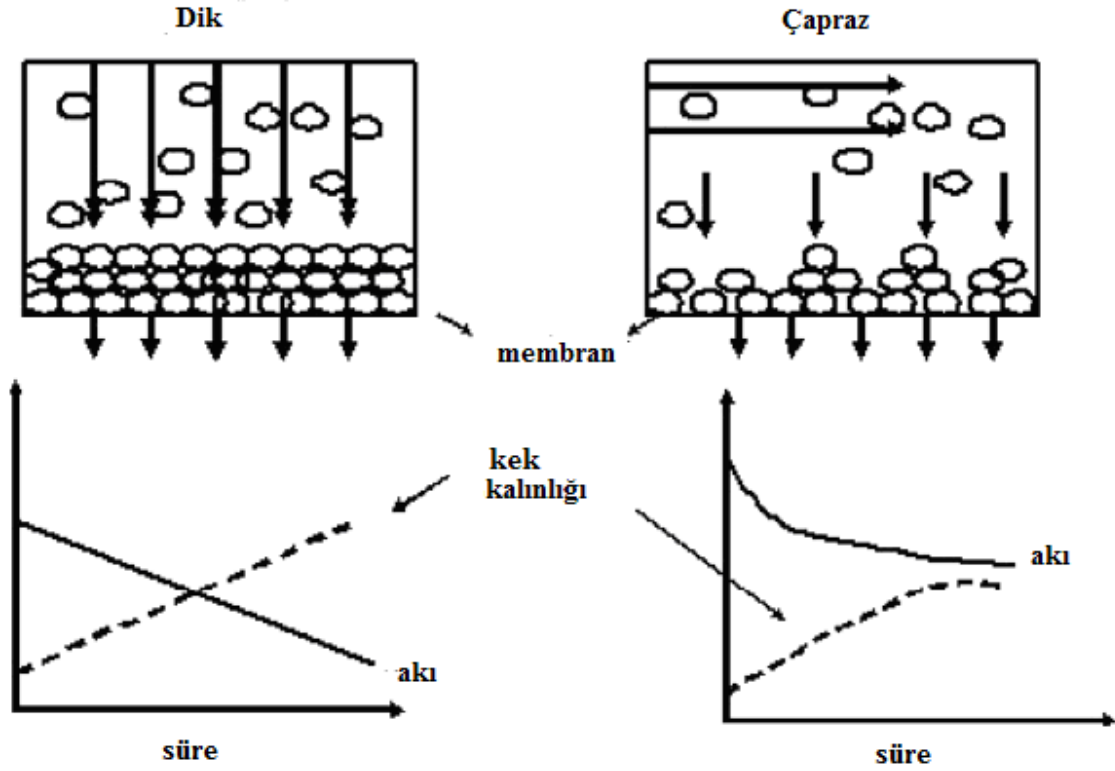
Şekil 3.2 Membran prosesi akım diyagramı [49]

Membran prosesleri çapraz akışlı (cross flow) veya dik akışlı (dead end) olarak işletilebilir.

- Çapraz akışlı membran filtrasyonu; mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF) ve ters osmoz (TO) membranları ile gerçekleştirilebilmektedir. Çapraz akışlı membran filtrasyonunda besleme akımı membran yüzeyine paralel olarak geçerken, süzüntü akımı membrandan çapraz geçerek elde edilmektedir.
- Dik akışlı membran filtrasyonu; besleme akımı membrana dikey olarak uygulanmaktadır. Bu membran filtrasyonunda partiküller membran yüzeyinde kek formunda birikebilmektedir. Bu sebeple bu membran filtrasyonun tıkanma eğilimi daha fazladır [50].

Dik akışlı membran filtrasyonunda, membran yüzeyinde zamanla kek tabakasının kalınlığı artar ve akı da zamanla doğrusal olarak azalır. Çapraz akışlı membran filtrasyonunda ise yüksek hız, membran üzerinde oluşan kekin kalınlığını

sınırlandırmaktadır ve bu durum prosesi daha etkin hale getirmektedir [43]. Çapraz akışlı membran filtrasyonunda, dik akışlı membran filtrasyonuna göre çok daha düşük kalınlıklarda kek tabakası oluşmaktadır. Dik ve çapraz akışlı membran filtrasyonları ile zamanla akı ve kek kalınlığının değişimi Şekil 3.3'de görülmektedir [43].



Şekil 3.3 Dik ve çapraz akış filtrasyonu [43]

3.3 Membranların Sınıflandırılması

Seçici geçirgen membranlar; ayırma mekanizmalarına, fiziksel morfolojilerine, kimyasal yapılarına ve sürücü kuvvetlerine göre sınıflandırılırlar [49].

3.3.1 Ayırma Mekanizmalarına Göre Sınıflandırma

Membran tarafından tutulan veya giderilen bileşenlerin spesifik özelliklerine dayanan üç ayırma mekanizması vardır.

- Eleme mekanizması (MF, UF),
- Çözünme-difüzyon mekanizması (Gaz ayırma (GP), pervaporasyon (PV) ve TO),
- Elektrokimyasal mekanizma (Elektrodiyaliz (ED) ve Donnan diyaliz).

Ayırma mekanizmasına dayanarak membranların sınıflandırılması üç ana sınıfa oluşmasına sebep olmuştur. Bunlar; gözenekli membranlar (eleme mekanizması), gözeneksiz veya yoğun membranlar (çözünme-difüzyon) ve iyon değiştirici (elektrokimyasal etkiler) membranlardır.

- Gözenekli membranlar: Sabit porlar bulunur.
 - Büyük gözenekli (>50 nm)
 - Orta gözenekli (2 nm-50 nm)
 - Küçük gözenekli (<2 nm)
- Gözeneksiz (yoğun) membranlar: Difüzyon membran maddelerinin makromoleküler zincirleri arasında bulunan boş hacimde gerçekleşir.
- İyon değiştirici membranlar: Gözeneksiz membranların özel tipidir [49].

3.3.2 Morfolojilerine Göre Sınıflandırma

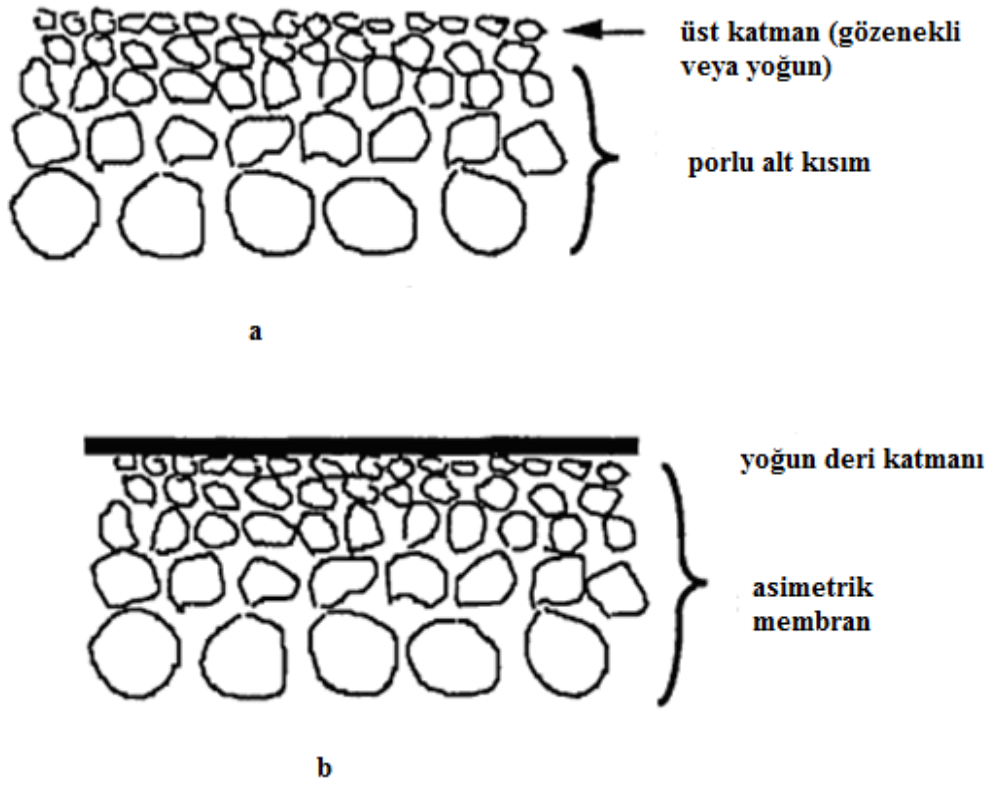
Membranlar morfolojilerine göre, anizotropik ve izotropik olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Anizotropik membranlar, kalın ve daha gözenekli alt tabaka tarafından desteklenen deri diye tanımlanan çok ince üst katman içerir. Derinin kalınlığı gözenekli alt katman kalınlığının yaklaşık % 1'ine takabül eden 0.1-0.5 µm aralığındadır. Anizotropik membranlar da asimetric ve kompozit olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Şekil 3.4'de asimetric ve kompozit membranların şematik diyagramları görölmektedir.

Asimetric membranlar, aynı maddeden üretilen anizotropik membranlardır. Kompozit membranlar, üst katmanın ve alt katmanın farklı materyallerden yapıldığı anizotropik membranlardır. Genellikle, kompozit membranın gözenekli katmanı asimetric membrandır [49].

İzotropik membranlar ise; gözeneksiz yoğun membranlar, gözenekli membranlar ve iyon değiştirici membranlardan oluşmaktadır [51].

3.3.3 Geometrilerine Göre Sınıflandırma

Membranlar geometrilerine göre; spiral sargılı, boşluklu elyaf, tübular ve levha-çerçeve olarak sınıflandırılırlar.



Şekil 3.4 Asimetrik (a) ve kompozit (b) membranların şematik görünüşü [49]

3.3.4 Kimyasal Yapılarına Göre Sınıflandırma

Membranlar biyolojik ve sentetik olarak sınıflandırılabilir. Sentetik membranlarda organik (polimerik) ve inorganik (cam, seramik, metal) olarak sınıflandırılabilir [43].

- Organik membranlar: Aslında, bütün polimerler kullanılabilir, fakat proses gereklilikleri ve membran kullanım süresi nedeniyle, uygulamada sınırlı sayıda kullanılırlar. En çok kullanılan selüloz ve onun türevleridir [49]. Politetrafloroetilen (PTFE), polisülfon, poliüre, polivinilidin florür (PVDF), polieter, poliamid, polipropilen, polivinil klorür (PVC), poliakrilonitrilin (PAN), polikarbonat, polyester kullanılan diğer organik membranlardır [47].
- İnorganik membranlar: İnorganik maddeler genellikle polimerik maddelere nispeten yüksek kimyasal, mekanik ve termal stabiliteye sahiptir. Bu maddelerin, organik maddelerden ince olmaları ve daha pahalı olmaları gibi dezavantajları nedeniyle uygulamaları kısıtlıdır. Alüminyum, zirkonyum veya titanyum gibi metallerin oksitleri, nitritleri veya karpitleri inorganik membran üretiminde kullanılmaktadır [49].

3.3.5 Sürücü Kuvvetlerine Göre Sınıflandırma

Membranlar sürücü kuvvetlerine göre; basınç farklılığı, elektriksel potansiyel farklılığı, sıcaklık farklılığı ve konsantrasyon farklılığı olmak üzere dört sınıfa ayrılmaktadır. En çok basınç uygulamalı membran prosesler tercih edilmektedir. En çok kullanılan membranlar por büyüklüklerine göre; TO, NF, UF, MF olarak sınıflandırılabilir. Membranların sürücü kuvvetlerine göre sınıflandırılması Çizelge 3.1’de görülmektedir.

Çizelge 3.1 Bazı membran prosesler ve sürücü kuvvetleri [42]

Membran prosesler	Faz 1	Faz 2	Sürücü kuvvet*
Mikrofiltrasyon	Sıvı	Sıvı	ΔP
Ultrafiltrasyon	Sıvı	Sıvı	ΔP
Nanofiltrasyon	Sıvı	Sıvı	ΔP
Ters Ozmos	Sıvı	Sıvı	ΔP
Gaz ayırma	Gaz	Gaz	ΔP
Diyaliz	Sıvı	Sıvı	ΔC
Osmoz	Sıvı	Sıvı	ΔC
Pervaporasyon	Sıvı	Gaz	ΔP
Elektrodiyaliz	Sıvı	Sıvı	ΔE
Termo-osmoz	Sıvı	Sıvı	$\Delta T/\Delta P$
Membran distilasyonu	Sıvı	Sıvı	$\Delta T/\Delta P$

*Basınç farklılığı (ΔP), konsantrasyon farklılığı (ΔC), sıcaklık farklılığı (ΔT), elektriksel potansiyel farklılığı (ΔE)

3.3.5.1 Mikrofiltrasyon (MF) Membranı

MF membranları 0.1-1 μm arasında değişen por boyutlarına sahiptirler. 2 bardan daha düşük basınç uygulanmaktadır. Por boyutundan büyük askıda katı ve çözünen maddeler membran tarafından alıkonulurken, sıvı ve küçük partiküller membrandan geçmektedir. Kum, silt, kil, Giardia lamblia ve Cryptosporidium kistleri, alg ve bazı bakteri türleri, askıda katı madde (AKM) veya emülsiyeye bileşikler MF membranları ile giderilir [52]. Ayrıca MF membranları; NF ve TO membranları öncesinde ön arıtma amaçlı olarak da kullanılabilir.

Şarap, bira, meyve suyu üretimi, ilaç endüstrisi, yarı iletken endüstrisinde saf su üretimi, atıksu arıtımı, nükleer tesislerde kondanse suların saflaştırılması, metal geri kazanımı, yağlı su karışımlarının ayırımı ve benzeri alanlarda MF uygulamaları yapılabilmektedir [47].

3.3.5.2 Ultrafiltrasyon (UF) Membranı

UF membranı 0.001-0.02 μm aralığındaki partikülleri gidermek için kullanılabilir. Düşük moleküler ağırlıklı solvent ve tuzlar membrandan geçerken, büyük moleküler ağırlıklı maddeler membran tarafından alıkonulmaktadır.

UF membranı genellikle moleküler ağırlık ayırma sınırına (MWCO) göre sınıflandırılmaktadır. MWCO, Dalton (Da) biriminde ifade edilmektedir. UF membranları 1-10 bar basınç aralığında işletilmektedir.

Ticari UF membranları asimetriktir. UF membranlarının çoğunun polimerik olmasına rağmen, inorganik seramik membranlar da pazara girmiştir. Biyokimyasal ve klinik testlerde protein, enzim, hormon giderimine dair laboratuvar ölçekli uygulamalar mevcuttur [45].

Kimya, boya, otomobil, kağıt, yemek, süt, içecek, ilaç ve benzeri endüstrilerde, atıksu arıtılmasında ve tıpta UF membranları kullanılmaktadır [45].

3.3.5.3 Nanofiltrasyon (NF) Membranı

NF membranlarının por çapları, TO ve UF membranlarının por çapları arasındadır. MWCO'ları 100-1000 Da arasında olan NF membranların yaklaşık por büyüklüğü 1 nm'dir [53]. NF sistemleri TO membranından daha düşük basınçlarda işletilebilir [45].

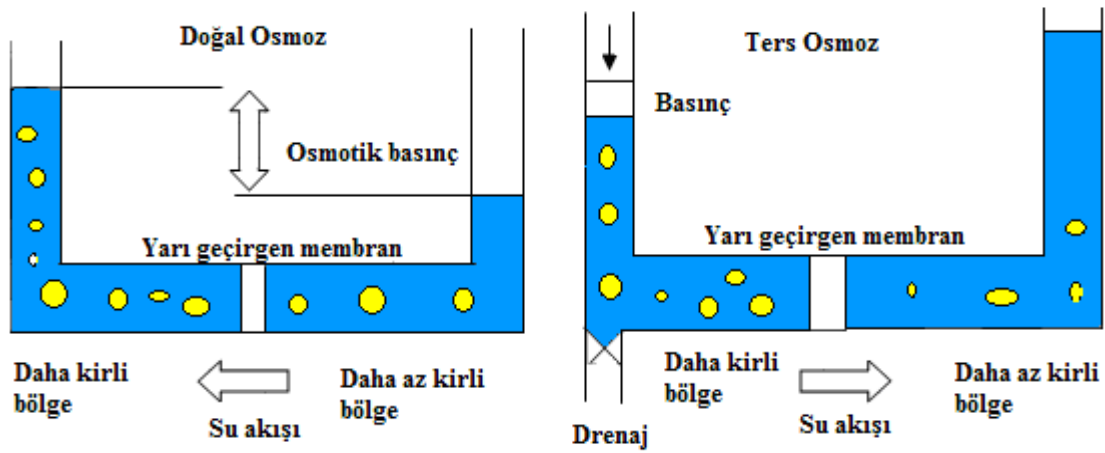
NF membranları çözünmüş organik ve inorganik maddeleri giderebilir. NF membranları solventlerin geçişine izin verir, fakat mikronaltı partiküllerin, virüslerin, pestisit, arsenik gibi mikro kirleticilerin, bakterilerin geçişine izin vermez. NF membranları genellikle Ca, Mg gibi iki değerlikli iyonları giderirken [54], Cl ve Na gibi tek değerlikli iyonları düşük oranda giderebilmektedir.

NF membranlarıyla biyoproses ve ilaç endüstrisinde değerli makromoleküllerin geri kazanımı, otomotiv, nükleer, tekstil, kağıt endüstrisinden ağır metal ve boya gibi çok değerlikli katyonların giderimi sağlanabilir [53].

3.3.5.4 Ters Osmoz (TO) Membranı

Doğal osmoz, suda farklı miktarda çözünmüş maddeler içeren iki farklı konsantrasyondaki çözeltinin yarı geçirgen membranla ayrılmasıyla gerçekleşir. Bazı maddeler membrandan geçerken bazıları membran tarafından tutulur. Suda çözünmüş halde bulunan maddelerin osmotik basıncı, seyreltik bölgeden konsantre bölgeye suyu geçirerek suyun seyrelmesine neden olur. Bu geçiş dengeye ulaştığı zaman "osmoz" olayı gerçekleşmiş olur. TO ise; basınç altında suyun konsantre bölgeden seyreltik bölgeye yarı geçirgen membran arasından geçmesi olarak tanımlanabilir [55].

Şekil 3.5'de ozmoz ve ters ozmoz olayının şematik gösterimi görülmektedir.



Şekil 3.5 Ozmoz ve ters ozmoz olayı [55]

5-15 angstrom arasında değişen membran por büyüklükleri, 150 Da ve daha düşük MWCO'ya sahip moleküllerin ayrılmasını sağlar. Parçacık yükleriyle ilgili olarak, TO membranları iyi iyonize olmuş çok değerli tuzları >%99 ve zayıf iyonize tek değerlikli tuzları % 95 civarında alıkoymaktadır. Nötr bileşikler boyutlarına göre alıkonulmaktadır ve bunların tipik tutulma yüzdesi yaklaşık % 95'dir [56]. TO membranlarında 20-100 bar aralığında değişen yüksek basınçlar uygulanır. Membran üretiminde meydana gelen gelişmelerle birlikte son yıllarda, uygulanan basınç besleme suyuna bağlı olarak 10 bara kadar düşürülmüştür [47].

Yaygın uygulama alanı deniz suyu veya tuzlu sudan içme suyu eldesi olan TO sistemlerinin; çok kirli atıksuları arıtma, endüstrilerde çözünmüş tuzları geri kazanma, sertlik giderme, istenen kalitede su elde etme, buhar kazanlarında kazan taşı oluşumunu önleme, konsantre meyve suyu ve salça elde etme, işletmelerde daha kaliteli su kullanma, toksin maddeleri ve mikroorganizmaları giderme gibi işlevleri vardır [55].

Katı atık sızıntı suyu, kaplama sanayi atıksuyu, zeytin karasuyu, peynir altı atıksuyu, tekstil sanayi atıksuları, asit üretim tesisleri ve gıda sanayi atıksuları gibi çok kirli atıksuların arıtılmasında TO sistemleri etkindir [55].

3.4 Membran Modül Konfüğürasyonları

Membranların yerleştirildiği üniteler olan modüller; üç temel amaç için dizayn edilmektedir. Bunlar;

- Konsantrasyon polarizasyonu kontrolü,
- Yüksek paketleme yoğunluğu,
- Besleme ve çıkış bölümleri arasında kaçaktan sakınmaktır [49].

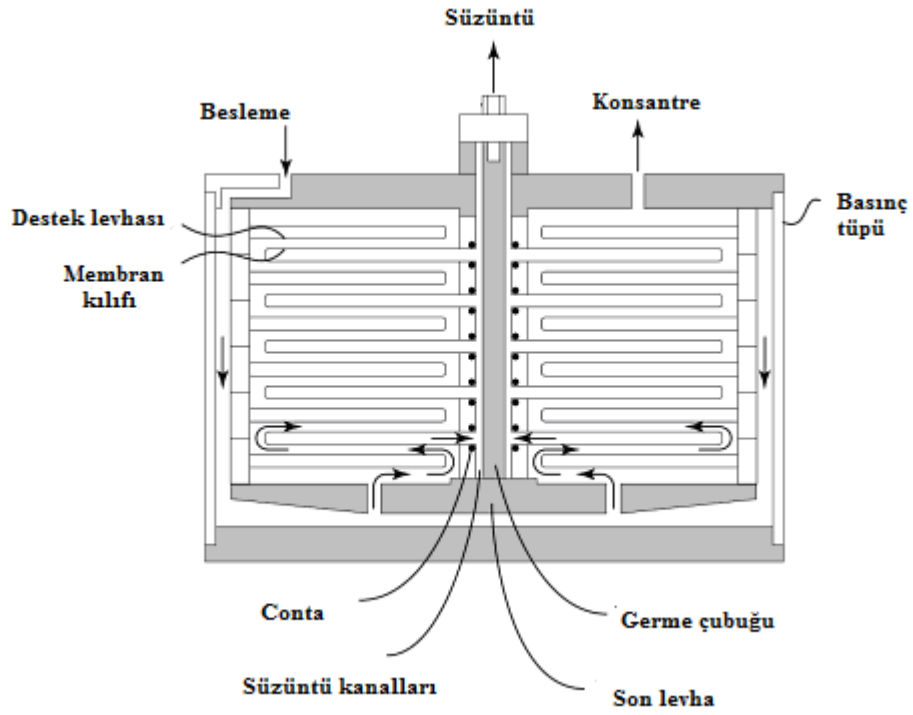
Bunlara ilaveten; membran modülü kolay temizlenebilmeli, montajı ve sökülmesi kolay olmalı, yüksek akıya sahip olmalı, işletme ve bakım maliyeti de az olmalıdır [49, 51]. Dört ana membran modül tipi vardır. Bunlar (1) levha-çerçeve, (2) spiral sargı, (3) boşluklu elyaf ve (4) tübular modüllerdir [49].

3.4.1 Levha-Çerçeve (Plate-Frame) Membran Modülü

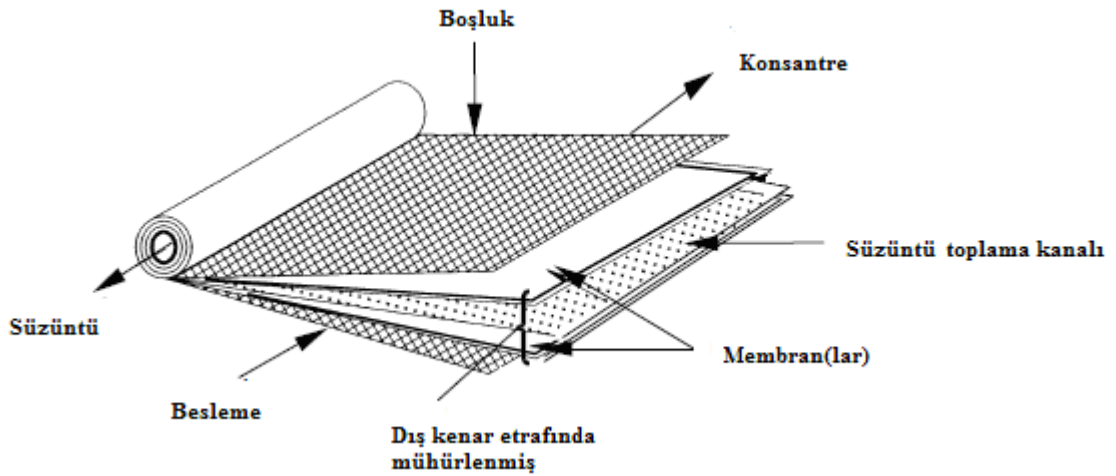
Bu modüller istif edilmiş düz plakalardan oluşmaktadır. Plakalara, tabaka membranlar yerleştirilmektedir. Levha-çerçevenin paketleme modülü $100-400 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 'dür. Levha membranlara mekanik destek sağlar ve aynı zamanda süzütünün drenajıdır. Üniteler, elle temizleme ya da membranların değiştirilmesi için kolayca sökülebilmektedir [49]. Şekil 3.6'da levha-çerçeve modülü görülmektedir [57].

3.4.2 Spiral Sargılı (Spiral Wound) Membran Modülü

Spiral sargılı membranlar aslında düz tabaka membranlardır. İki düz plaka membran arasında süzüntü toplama kanalı mevcuttur. Düz tabaka membranın üç tarafı kapatılmış, dördüncü kısım ise süzüntü almak için açık bırakılmıştır. Membranlar merkezde bulunan boşluklu toplama kanalına bağlıdır. Toplama kanalına süzüntü akar ve toplanan süzüntü modülden uzaklaştırılır. Membrandan geçmeyen yani konsantre ise membran yüzeyine paralel olarak devam eder ve membran çıkışında alınarak modülden uzaklaştırılır. Arıtılacak su kaynağı yüksek miktarda AKM içeriyorsa bu modül tıkanabilir [58, 59]. Şekil 3.7'de spiral sargılı membran modülü görülmektedir.



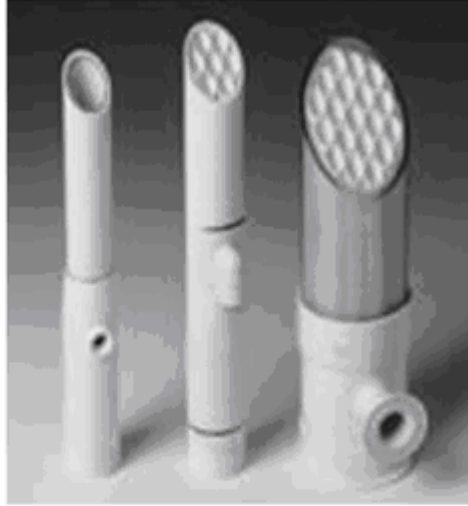
Şekil 3.6 Levha çerçeve modülü [57]



Şekil 3.7 Spiral sargılı membran modülü [60]

3.4.3 Tübular (Tubular) Membran Modülü

Tübular modüllerin dizaynı basit ve kolaydır. Değişik sayılarda gözenekli tüplerden oluşmaktadır ve uzunluk olarak 6 m'ye kadar ulaşabilmektedir. Besleme suyuna basınç uygulanması sonucu süzüntü boru iç cidarında bulunan membranlardan geçerek toplanır. Konsantre ise membran modülüne paralel olarak hareket ederek modülü terk eder [61]. Şekil 3.8'de tübular membran modülü görülmektedir.



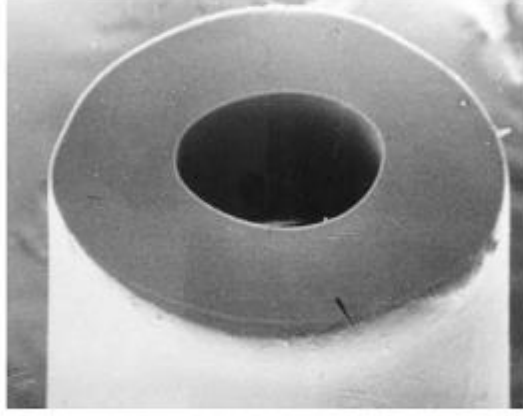
Şekil 3.8 Tübular membranlar [58]

Tübular membranların tipik ömürleri 2-10 yıldır. Alan ihtiyaçlarının fazla olması ve maliyetlerinin yüksek olması nedeniyle kullanımları kısıtlıdır. Bu membranlar dayanıklı, işletimi kolay ve temizlenebilir. Ayrıca bu membranlar tıkanmaya karşı dirençli olduklarından tübular MF, UF, NF membranları önemli ön arıtmaya ihtiyaç duymazlar [62].

3.4.4 Boşluklu Elyaf (Hollow-Fiber) Membran Modülü

Bu modüller, uzun ve çok ince tüp olan boşluklu elyaf membranlardan oluşmaktadır. Elyaf, boşluklu elyaf modülünün parçası olarak her iki tarafı da reçinelenmiş basınçlı kapa yerleştirilirler. Bu modüller, yatay montaj olabilmelerine rağmen, genellikle dikey olarak monte edilirler.

Boşluklu elyaf membran modülü, "içten dışa" veya "dıştan içe" modunda işletilebilir. İçten dışa modunda, besleme akımı elyaf merkezine girer ve elyaf duvarı boyunca radyal süzülür. Süzüntü, elyafın dışından toplanır. Dıştan içe işletme sırasında, besleme akımı dış taraftan basınçlı bir şekilde modülün iç kısmına verilir. Süzüntü suyu iç bölmede toplanarak uzaklaştırılır. Çapraz akışlı işletim olmaz ise içten dışa işletim modunda membranın tıkanma ihtimali vardır. Dıştan içe işletim modunda, ortalama elyaf için kullanılabilir membran yüzey alanı artar ve elyaf çapın tıkanmayla ilgili olası problemleri önlenir [60]. Şekil 3.9'da boşluklu elyaf modülü görülmektedir.



Şekil 3.9 Boşluklu elyaf membranın mikroskobik görünüşü [58]

3.5 Batık Membran

Batık membranlar, genellikle atmosferik basınç altında tutulan bir tank içine daldırılmış membranlardan oluşmaktadır. Arıtılacak sıvı tanka beslenmekte ve süzüntü akımı vakumlanarak tanktan alınmaktadır. Konsantre kısım ise tank içerisinde kalmaktadır [63]. Batık membran sistemlerinin basınç altında çalışan sistemlere göre avantajları; düşük enerjiye, düşük kurulum ve işletme maliyetine, minimum alan ihtiyacına ve düşük ölü hacme sahip olmasıdır. Batık membran sistemi; içme suyu, yeniden kullanım ve endüstriyel arıtma amaçları için kullanılabilir [64].

Batık membranlar, boşluklu elyaf ve düz levha tipi membranlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Boşluklu elyaf membranlar hakkında bilgi bölüm 3.4.4’de verilmiştir.

Düz levha batık membranlar genellikle yüksek katı madde içeren suların arıtılması amacıyla kullanılmaktadır. Öncelikli olarak evsel ve endüstriyel atıksuların arıtımı ile su geri kazanımı amacıyla membran biyoreaktör (MBR) proseslerinde kullanılmıştır, günümüzde batık membran prosesi olarak da kullanılmaktadır.

3.6 Batık Membranlar ve Basınçlı Modüllerin Karşılaştırması

Düşük katı madde muhtevasına sahip sularda yüksek verim sağlaması, çapraz akımın düşük basınçlarda da uygulanabilmesi gibi sebeplerden dolayı batık membranlar son zamanlarda kullanımını arttırmıştır. Çizelge 3.2’de batık membranlar ve basınçlı modüllerin karşılaştırılmasına yer verilmiştir.

Çizelge 3.2 Batık membranlar ve basınçlı modüllerin karşılaştırılması [63]

Karşılaştırılan Özellik	Basınç Sürücü Tübular	Basınç Sürücü Boşluklu Elyaf	Batık Düz Levha	Batık Boşluklu Elyaf
Yoğunluk Yüğü	Düşük	Yüksek	Orta	Yüksek
Akım türü	Çapraz akım	Çapraz akım Dik akım	Çapraz akım	Çapraz akım Dik akım
Boru ve vanalar	Yüksek	Orta	Düşük	Düşük
Kurulum maliyeti	Yüksek	Orta, düşük	Orta, düşük	Düşük
Enerji Kullanımı	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük
Akışkan kontrolü	İyi	Orta, iyi	Orta, iyi	Orta, zayıf
Değiştirme ve tamir	Tüpler veya parça	Parça	Parça	Parça Elyaf demeti
Temizleme	İyi, fiziksel	Geri yıkama	Zayıf (düşük geri yıkama)	Geri yıkama mümkün

3.7 Membran Proseslerin Performansını Etkileyen Parametreler

Membran performansı; akı ve alıkoyma veya seçicilik ifadeleriyle belirlenir.

Akı; birim zamanda, membranın birim yüzey alanından geçen akımdır. $m^3/m^2.gün$ veya $l/m^2.saat$ birimleriyle ifade edilir. Alıkoyma; membran tarafından tutulan kısmın ölçüsüdür. Seçicilik; membrandan geçenlerin ölçüsüdür. İdeal bir membranda, alıkoyma veya yüksek seçicilik ile geçirimsizlik veya yüksek akı istenir [61].

Matematiksel olarak membran akısı şöyle belirlenir.

$$J = \frac{\Delta P}{\eta \cdot R_t} \quad (3.1)$$

J: Süzüntü akısı ($m^3/m^2/sn$ veya $l/m^2/saat$)

ΔP : İşletme basıncı (Pa, kPa veya atm)

η : Süzüntü viskozitesi ($kg/m.s^2$ veya $N.s/m^2$ veya $Pa.s$)

R_t : Toplam direnç (m^{-1})

Membran verimi genellikle alıkonulan kirletici oranıyla ifade edilmektedir. Membran tarafından alıkonulan kirletici oranının hesaplanması (3.2)'de görülmektedir.

$$R = 1 - \frac{C_s}{C_b} \quad (3.2)$$

R: Alıkonulan kirletici oranı (rejeksiyon)

C_s: Süzüntü akımı konsantrasyonu (mg/l)

C_b: Besleme suyu konsantrasyonu (mg/l)

R değeri 1 ise, çözünen madde membran tarafından tamamen tutulmuş, R değeri 0 ise, çözünen madde membran tarafından hiç tutulmamış demektir.

Membrandan geçen süzüntü suyun membrana beslenen suya oranı geri kazanım oranı olarak ifade edilmektedir. (3.3)'te geri kazanım oranının hesaplanması görülmektedir [61].

$$y(\%) = \frac{Q_b - Q_k}{Q_k} = \frac{Q_s}{Q_b} \quad (3.3)$$

y: Geri kazanım

Q_s: Süzüntü suyu debisi

Q_b: Besleme suyu debisi

Q_k: Konsantre debisi

3.8 Membran Seçimi

Membran proseslerde membran seçimi sırasında şu özelliklere dikkat edilmelidir.

- Sıcaklığa dayanıklılık,
- pH'a dayanıklılık,
- Maliyet,
- Basınca dayanıklılık,
- Mekanik kararlılık,
- Tıkanma.

Besleme suyundaki sıcaklık artışları membranların çabuk hidroliz olmasına ve membranın bozulmasına sebep olabilir. Selüloz asetat membranlar, 35-40 °C sıcaklıklara dayanıklıdır. Seramik membranlar 800 °C'ye kadar dayanıklılık göstermektedir [61].

Membranlar için pH aralığı 3-8'dir. Poliamid membranlar için önerilen pH aralığı 4-11; selüloz asetat membranlar için 4-6'dir [61]. Selüloz asetat membranlar yüksek ve düşük pH'larda hidroliz olurlar [44].

Membran maliyeti, toplam maliyetin % 15-40'ını teşkil etmektedir [47]. Rekabet ortamı ve üretici sayısının artmasıyla membran maliyetleri gün geçtikçe azalmaktadır.

Akı, uygulanan basınç ile membrandaki osmotik basınç farkıyla doğru orantılı olarak değişim göstermektedir. Membrana uygulanabilecek basınç sınırlıdır. Bu değer genellikle birçok üretici tarafından 68 bar olarak belirtilmektedir [44].

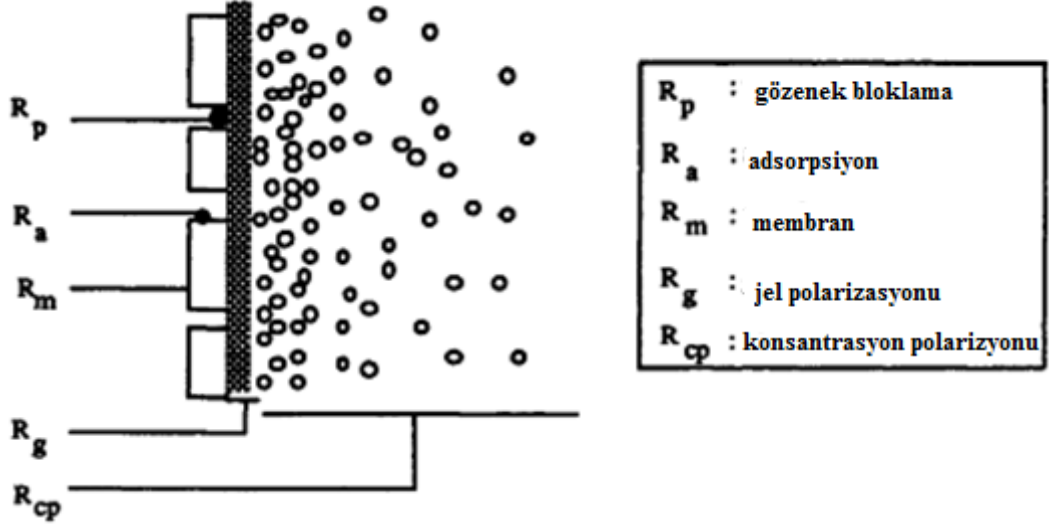
Membran yüzeyindeki yüksek basınçlardan etkilenen kırılğan tabaka sebebiyle membranlardan yüksek basınçta da mekanik dayanıklılığı yüksek olması istenmektedir [61].

Membranların kimyasal yapısı dayanıklı ve çözeltiliye uygun olmalıdır. Bazı çözülmüş organik maddeler, membranda bozulmalara neden olur. Selüloz asetat membranlar kloro dayanıksız olduklarından bu membranların besleme çözeltileri Cl içermemelidir.

İşletme sırasında, membran performansı zamanla değişim gösterebilir. Konsantrasyon polarizasyonu, adsorpsiyon, jel tabakası formasyonu, gözenek bloklama direnci gibi birkaç faktör sebebiyle akıda zamanla azalma gözlemlenebilir.

İdeal durumda membran yüzeyinde sadece membran direnci (R_m) bulunur. Membran, bir bileşenin diğer bileşenlerden daha kolay taşınmasını sağlar veya bazı durumlarda çözünen maddeler tamamıyla alıkonulur, bu da membran yüzeyinde alıkonan moleküllerin birikmesine yol açar. Bu, membran yüzey civarında yüksek konsantrasyonlu katmanla sonuçlanır ve bu katman kütle transferine karşı konsantrasyon polarizasyonu (R_{cp}) olarak direnç gösterir. Artan çapraz akış hızı, partiküllerin difüzyon katsayısı ve yüksek sıcaklık gibi faktörler ile filtrasyon prosesi sırasında geri difüzyon, konsantrasyon polarizasyonunu minimize edebilir. Artan filtrasyon basıncı ve süzüntü akısı konsantrasyon polarizasyonunu artırır [46]. Birikmiş çözünen madde konsantrasyonunun artmasıyla jel polarizasyonu (R_g) olarak

isimlendirilen bir direnç daha oluşur. Gözenekli membranlarla bazı çözünen maddelerin membran içine sızması ve gözenek bloklama direncinin (R_p), gözenekleri tıkanması mümkündür. Sonunda, adsorpsiyon direnci (R_a), adsorpsiyon sebebiyle oluşur [65]. Membran yüzeyinde oluşan dirençler Şekil 3.10'da görülmektedir.



Şekil 3.10 Membran yüzeyindeki çeşitli dirençlerin gösterimi [65]

Tıkanma; membran porlarında askıda veya çözünmüş bileşiklerin çökmesi sebebiyle membranın performansının azalmasıyla sonuçlanan bir süreçtir [66]. Tıkanma sebebiyle daha yüksek basınçlara ihtiyaç duyulacak ve üretim maliyeti artacaktır. Tıkanmanın giderilmesi için kimyasal madde ve ilave iş gücü kullanılacaktır. Bunlar membran işletme ve bakım maliyetlerini artıracaktır. Tıkanma ayrıca membran ömrünün kısılmasına sebep olabilir [67].

Membran tıkanması; membranın por büyüklüğü, por büyüklük dağılımı, yüzey pürüzlülüğü ve yapısı, elektrokinetik (zeta potansiyel) özellikleri, kimyasal özellikleri (hidrofilik/hidrofobik) ve spesifik kimyasal yapısı gibi özellikleri ile ilişkilidir [68]. Hidrofilik membranlar, tıkanma karşısı karakteristiklerinden dolayı hidrofobik membranlardan daha iyidir [69].

Tıkanma eğilimi; tıkanma indeksi şeklinde ifade edilir. Sabit basınçta dik akış filtrasyonu kullanarak tıkanma potansiyelini tanımlamak için en sık kullanılan indeksler Silt Yoğunluk İndeksi (SDI) ve Modifiye edilmiş Tıkanma İndeksi (MFI)'dir. Bu endekslere göre; tıkanmanın koloidal konsantrasyon ile orantılı olduğu tespit edilmiştir [70].

Tıkanma türleri;

- Membran yüzeyinde BaSO_4 , CaSO_4 , CaCO_3 gibi çözülmüş inorganik bileşiklerin çökmesiyle inorganik tıkanma,
- Protein, karbonhidrat gibi bileşiklerin membran yüzeyinde birikmesiyle organik tıkanma,
- Membran yüzeyindeki mikrobiyal kaynaklı biyolojik tıkanma [67] olarak sınıflandırılmaktadır.

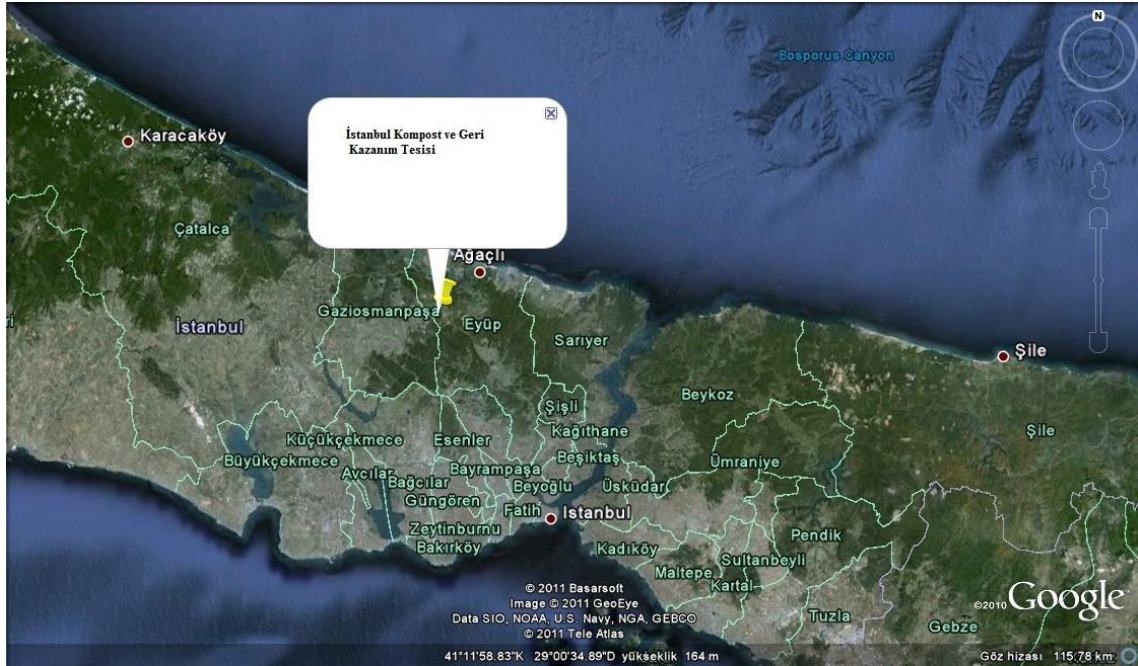
Besleme akımı ön arıtımı, membran geri yıkama, membran kimyasal yıkama gibi yaklaşımlarla membran tıkanıklığı kontrol edilebilir [71]. Koagülasyon/çökeltme veya filtre ve membran yüzey modifikasyonu gibi yeterli ön arıtma ile belirli ölçüde tıkanmayı önlemek veya kontrol etmek mümkündür [67]. Membran yüzeyinde çöken maddelerin giderimi için en çok kullanılan metot hava veya suyla geri yıkamadır. Kimyasal yıkama, konvansiyonel geri yıkama ile giderilemeyen bileşenleri gidermek için kullanılır [71].

BÖLÜM 4

DENEYSEL YAKLAŞIM

4.1 İstanbul Kompost ve Geri Kazanım Tesisi

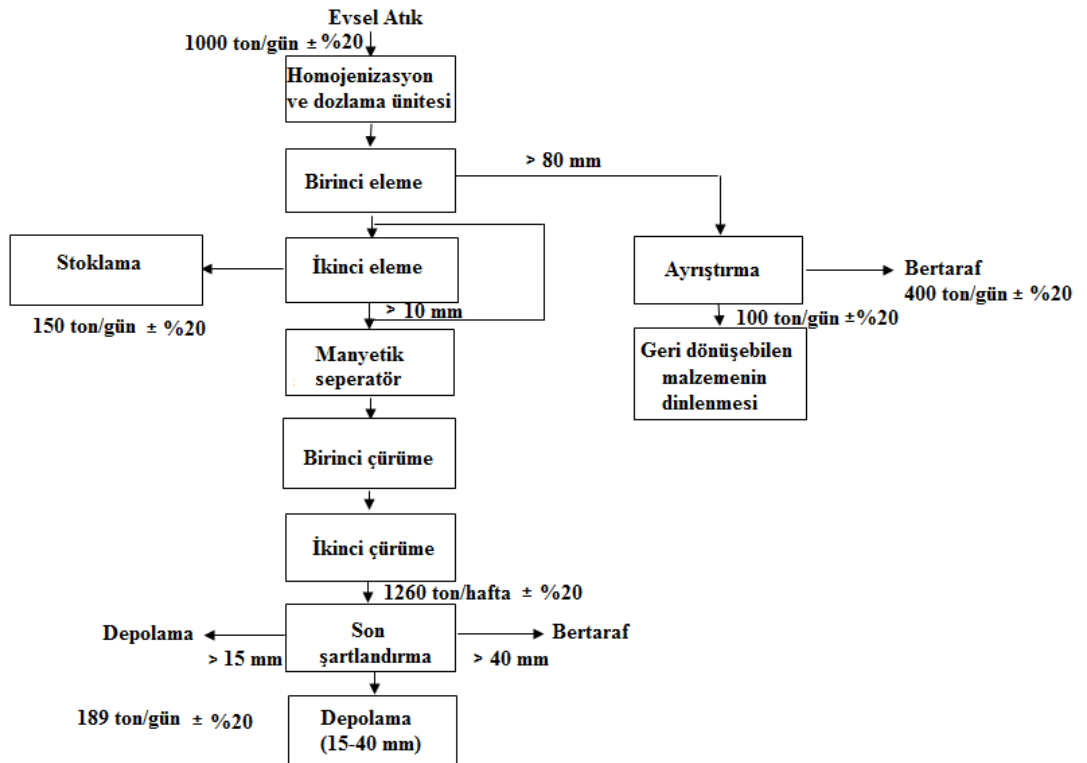
Çalışmada, İstanbul Kompost ve Geri Kazanım Tesisi'nden temin edilen kompost sızıntı suyu kullanılmıştır. İstanbul Kısırmandıra (Kemberburgaz) da kurulu, Türk-Alman konsorsiyumu tarafından yapılan tesis, 2001 yılı itibari ile deneme üretimine başlayıp, Mart 2003'de kesin işletmeye geçmiştir. 1000 ton/gün kapasiteli tesiste, ortalama 600 ton/gün katı atık kabulü ve ortalama 2400 ton/ay kompost üretimi gerçekleştirilmektedir [72]. Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'de sırasıyla tesisin krokisi, görünümü ve akım şeması görülmektedir. Çizelge 4.1'de ise tesisin boyutlandırılmasında kullanılan atık kriterleri yer almaktadır.



Şekil 4.1 İstanbul Kompost ve Geri Kazanım Tesisi'nin krokisi



Şekil 4.2 İstanbul Kompost ve Geri Kazanım Tesisi'nin görünümü



Şekil 4.3 İstanbul Kompost ve Geri Kazanım Tesisi'nin akım şeması [73]

Çizelge 4.1 İstanbul Kompost ve Geri Kazanım Tesisi'nin boyutlandırılmasında kullanılan atık kriterleri [73]

Özellik	Değer
Ortalama su muhtevası, (%)	55
Organik madde oranı, (%)	45 (% 90, 10-80 mm arası)
Kül oranı, (%)	15
Toplam tesise gelecek katı atık miktarı	300.000 ton/yıl
Fermantasyon ünitesine gelecek katı atık miktarı	150.000 ton/yıl
Kompostlaştırma süresi	56 gün
Kompost kalitesi	4M-10* standardınca kompost sıcaklığı

*LAGA (Landerarbeitsgemeinschaft Abfall) Merkblatt M 10, “Alman kompost kalite standardı”, 1997

Tesis; atık kabul, homojenizasyon ve dozlama ünitesi, ön şartlandırma, ayırma ve geri kazanma, kompostlaştırma ve son şartlandırma ünitelerinden meydana gelmektedir [73].

Atıklar, tünel kompostlaştırma metodu ile sekiz haftalık havalı kompostlaştırma prosesine tabi tutulmaktadır. İlk üç haftada tamamen kapalı bir alanda, tabandan yukarıya doğru pozitif basınçla havalandırma uygulanarak hızlı fermentasyon gerçekleştirilmektedir. Sonraki beş haftada, açık alanda negatif havalandırma ile kompostlaştırma gerçekleştirilmektedir.

Sekiz bölüm bulunan iki paralel alandan oluşan tünel kompost reaktörünün birinci alanına yığınlar dökülmekte ve her hafta bir sonraki bölüme aktarma makinası ile yığınlar aktarılmaktadır. Sekizinci hafta sonunda kompostlaştırma süresi sona ermektedir.

Aktarma esnasında yığından numune alınarak, yığın sıcaklığı ve su muhtevası kontrol edilmektedir. Yığın sıcaklıkları birinci alanda 45-60 °C, ikinci ve dördüncü alanlarda 55-70 °C (65 °C), beşinci ve altıncı alanlarda 45-50 °C aralıklarında tutulmaktadır. Sıcaklık; havalandırma ve aktarma yoluyla sağlanırken, gerekli su; yığının ikinci alandan üçüncü alana iletilmesi esnasında ve azaltılarak tüm aktarmalarda verilmektedir. 480 m³/hafta su ilavesi yapılan tesiste, toplam 324 m³/hafta sızıntı suyu oluşmaktadır.

İstanbul Kompost ve Geri Kazanım Tesisi'ndeki evsel nitelikli atıksular, arıtma tesisinde biyolojik arıtma işlemine tabi tutularak, klorlandıktan sonra deşarj edilmektedir. Proses aşamasında oluşan sızıntı suyu ise tankerlerle taşınmakta ve Odayeri Düzenli Depolama Alanı sızıntı sularıyla beraber arıtılmaktadır. Tesiste oluşan atıksuyun bir kısmı proste kompost yığınlarının nemlendirilmesi için kullanılmaktadır [74].

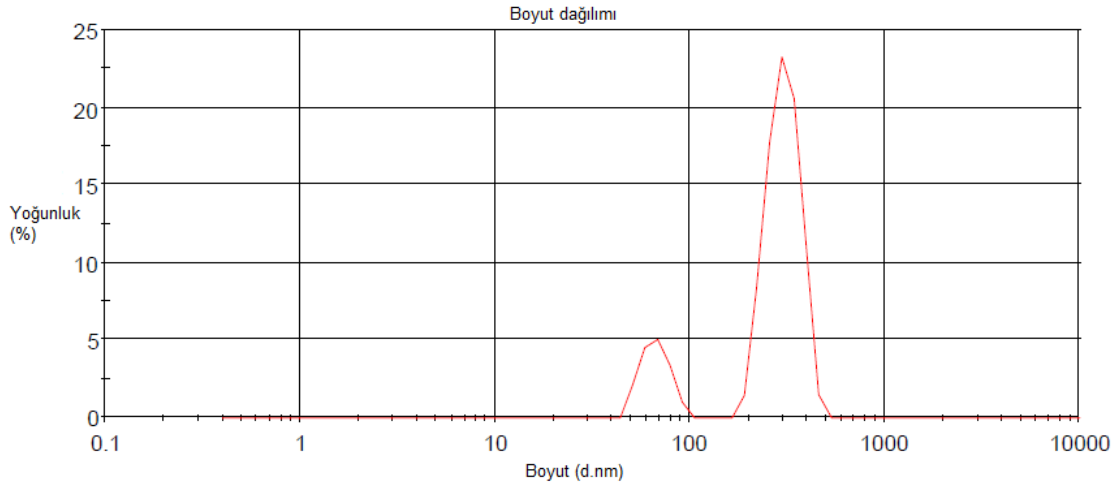
Çalışmalarda kullanılan İstanbul Kompost ve Geri Kazanım Tesisi kompost sızıntı suyu karakteristiği Çizelge 4.2'de, kompost sızıntı suyunun 0.45 µm'lik filtre yüzeyindeki kalıntısının ve 0.45 µm'lik filtreden geçen süzöntüsünün moleküler boyut dağılım (MWCO) analizi Çizelge 4.3 ve Şekil 4.4'de görülmektedir. 0.45 µm'lik filtreden geçen süzöntüde doğrudan MWCO analizi yapılırken, filtreden geçmeyen kalıntı ise HNO₃ ilavesi ile parçalandıktan sonra MWCO analizi gerçekleştirilmiştir. Temin edilen sızıntı suları laboratuvar koşullarında +4 °C'de muhafaza edilmiştir.

Çizelge 4.2 Kompost sızıntı suyu karakteristiği

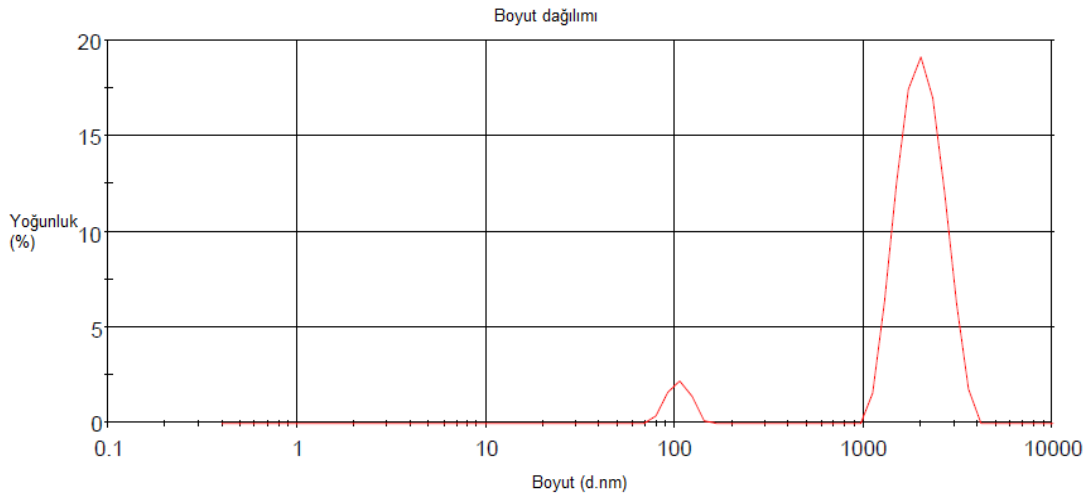
Parametreler	Konsantrasyon	Parametreler	Konsantrasyon
KOI (mg/l)	23900±1000.0	pH	7.57±0.5
TOK (mg/l)	10340±500.0	İletkenlik (mS/cm)	15±2.0
TKN (mg/l)	1495.2±50.0	Cl ⁻ (mg/l)	3059±150.0
AKM (mg/l)	1820±75.0	NH ₄ ⁺ (mg/l)	754.06±50.0

Çizelge 4.3 Kompost sızıntı suyu moleküler boyut dağılım (MWCO) analiz sonucu

Analiz türü	Pik sayısı	Çap (nm)	Yoğunluk (%)	Genişlik (nm)
Filtre kalıntısı	1	304.80	84.00	57.81
	2	66.89	16.00	10.95
Süzöntü	1	2057.00	94.20	544.20
	2	104.90	5.80	14.28



(a)



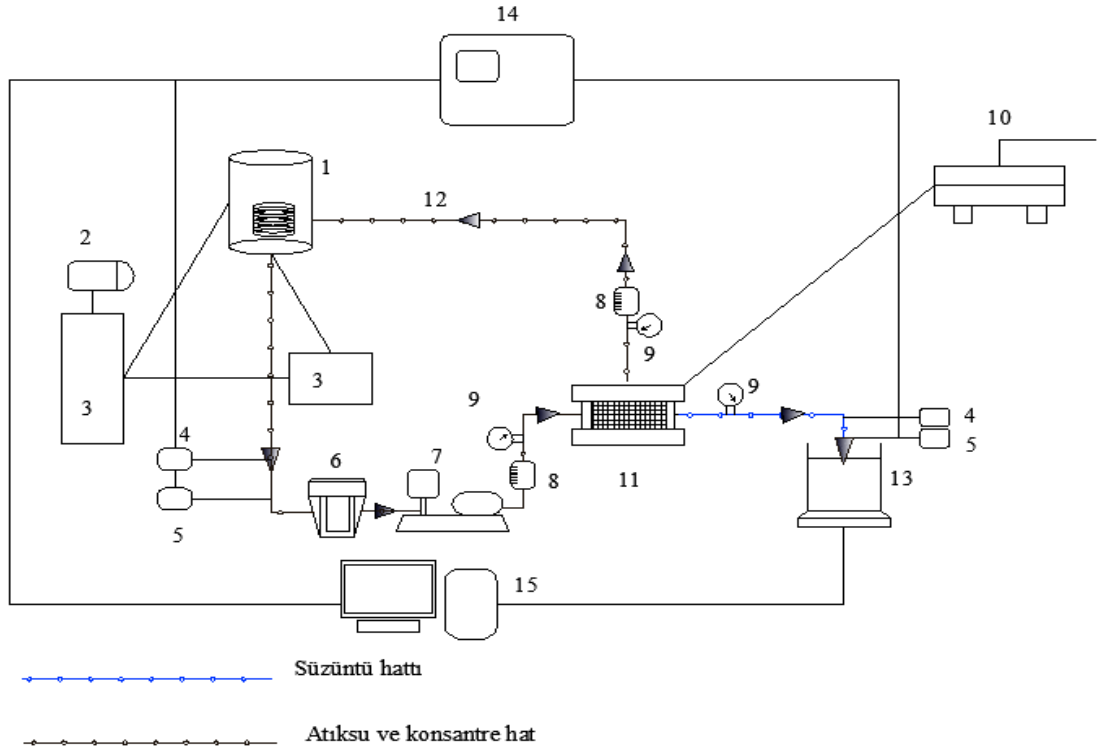
(b)

Şekil 4.4 Kompost sızıntı suyunun (a) 0.45 µm'lik filtre yüzeyindeki kalıntının (b) 0.45 µm'lik filtreden geçen süzütünün moleküler boyut dağılım (MWCÖ) analizi

4.2 Deneysel Çalışma Düzenegi

4.2.1 Tabaka Membran (Flat Sheet) Deney Düzenegi

Çalışmada laboratuvar ölçekli tabaka membran deney düzenegi kullanılmıştır. 155 cm² spesifik yüzey alanlı deney düzeneginde; farklı işletme basınçlarında MF, UF, NF ve TO membranları kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan deney düzenegine ait akım şeması ise Şekil 4.5'de görölmektedir.



Şekil 4.5 Deney düzeneği akım şeması

(1. Besleme tankı, 2. Sirkülasyon pompası, 3. Soğutma sistemi, 4. İletkenlik probu, 5. pH probu, 6. Kartuş filtre, 7. Yüksek basınç pompası, 8. Debimetre, 9. Momometre, 10. Hidrolik el pompası, 11. Membran hücre muhafazası, 12. Konsantre hat, 13. Süzüntü akımı ve tartı, 14. SC 1000 veri ekranı, 15. Bilgisayar)

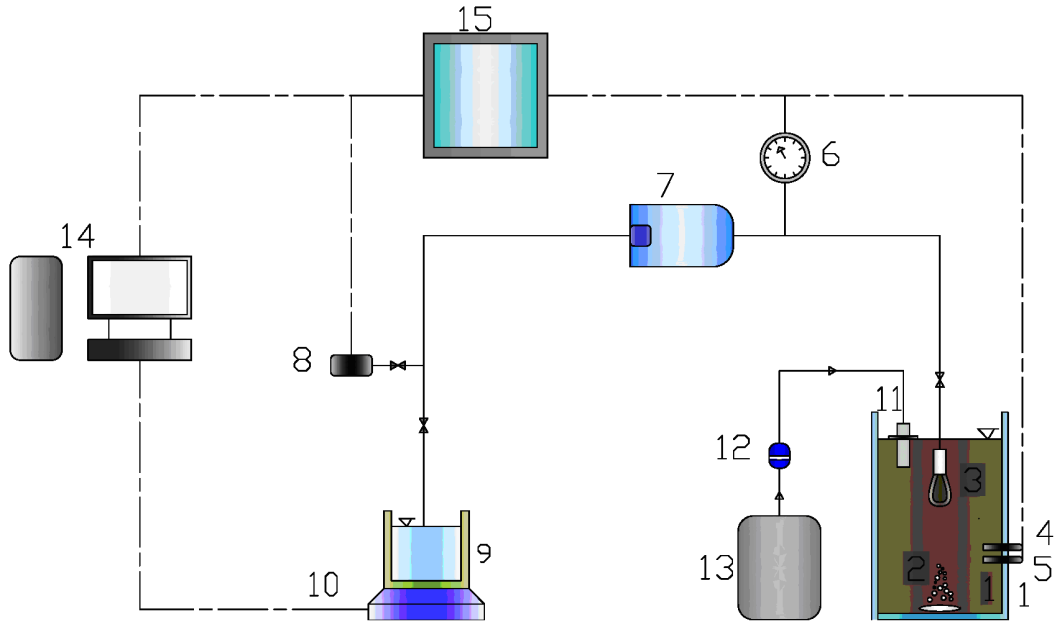
4.2.2 Batık Membran (Submerged Membrane) Deney Düzeneği

Çalışmada batık membran deney düzeneği ön arıtma amacıyla kullanılmıştır. Batık membran deney düzeneğine ait akım şeması Şekil 4.6'da görülmektedir.

4.3 Çalışmada Kullanılan Membranlar

Tabaka membran düzeneğinde MF, UF, NF ve TO membranları kullanılmıştır. MF, UF ve iki adet NF membranı Microdyn-Nadir ve diğer NF ile TO membranları ise Dow-Filmtec firmasından temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan tabaka membranların özellikleri Çizelge 4.4'te görülmektedir.

Çalışmada ayrıca 1.95 mm dış çaplı ve 0.04 μm por çaplı, 235 cm^2 yüzey alanlı, hidrofilik karakterde Zenon firmasından (Kanada) temin edilen ZW-UF membranı batık membran sisteminde kullanılmıştır.



Şekil 4.6 Batık membran deney düzeneğine ait akım şeması

(1. Atıksu tankı, 2. Havalandırma ünitesi, 3. Batık membran, 4. pH probu, 5. ORP probu, 6. Manometre, 7. Peristaltik pompa, 8. Bulanıklık probu, 9. Temiz su tankı, 10. Digital hassas terazi, 11. Seviye sensörü, 12. Santrifüj pompa, 13. Atıksu terfi tankı, 14. Bilgisayar, 15. SC1000 veri depolama aygıtı)

4.4 Deney Düzeneklerinin İşletme Prosedürleri

4.4.1 Tabaka Membran (Flat Sheet) Deney Düzeneği İşletme Prosedürü

Tabaka membran deney düzeneği; besleme tankı, soğutma sistemi, kartuş filtre, Cat-Pump marka yüksek basınç pompası, debimetreler, manometreler, hidrolik el pompası, membran hücresi, membran hücre muhafazası, Hach-Lange firmasından temin edilen SC1000 veri depolama aygıtı ve pH- iletkenlik probuları, Kern marka dijital hassas terazi ve bilgisayar birimlerinden oluşmaktadır.

Çizelge 4.4 Çalışmada kullanılan membranlar ve özellikleri

Özellikler	MP005	UC030	NP030	NP010	NF270	NF90	BW30	SW30
Tipi	MF	UF	NF	NF	NF	NF	RO	RO
Malzeme	Polietersülfon	Selülöz Dirençli	Dayanıklı Polietersülfon	Polietersülfon	Poliamid İnce Komposit Film	Poliamid İnce Komposit Film	Poliamid İnce Komposit Film	Poliamid İnce Komposit Film
Maksimum İşletme Sıcaklığı (°C)	95	55	95	95	45	45	45	45
Maksimum İşletme Basıncı (BAR)	-	3	40	40	41	41	41	69
pH Aralığı	1 – 11	0 – 14			3 – 10	3 – 10	2-11	2-11
Giderim Verimi (%)	-	-	58 Da NaCl (%0.5) %25-35 142 Da Na ₂ SO ₄ (%0.5) %80-95 342 Da Laktoz (%4) %70-90	58 Da NaCl (%0.5) %5-15 142 Da Na ₂ SO ₄ (%0.5) %22-55 342 Da Laktoz (%4) %25-45	40 – 60 CaCl ₂	85-95 NaCl	99 NaCl	99.7 NaCl
Moleküler Ağırlık Ayrım Sınırı (MWCO)	0.05 µm	30 kDa	-	-	200 – 300 kDa	150 kDa	-	-
Maksimum Akı (L/m ² .saat)	> 800	> 300			115.8	72.5	45.05	27.4

Deney düzeneğine hamsu beslemesi 10 l hacimli tanktan yapılmıştır. Tank içerisindeki su sıcaklığı 23 ± 2 °C aralığında eşanjör sistemiyle sabit tutulmuştur. Atıksu; besleme tankının çıkışına yerleştirilen pH ve iletkenlik problemlerinden geçmektedir. Problemlerden geçen atıksu 1 µm'lik kartuş filtreye, sonrasında, devri frekans konvektörü ile ayarlanabilen yüksek basınç pompasına iletilmektedir. Yüksek basınç pompası aracılığıyla atıksular istenilen basınçlarda, hidrolik el pompasıyla sıkıştırılan membran haznesine iletilmektedir. Membran hücresi girişinde, süzüntü ve konsantre hat üzerinde yer alan analog ölçüm yapan manometreler ile basınçlar ölçülmüştür ve TMP (transmembran basıncı) hesaplanmıştır. Ayrıca; membran hücresinin girişine ve konsantre hata yerleştirilen debimetreler ile atıksu debisi kontrol altında tutulmuştur. Membran konsantresi geri devir hattıyla atıksu tankına geri devrettirilmiştir. Süzüntü akımı ise pH ve iletkenlik problemlerinden geçerek dijital hassas terazi üzerinde bulunan beherde toplanmıştır. Zamanla elde edilen süzüntü miktarı kullanılarak akı değerleri hesaplanmıştır. Problemlerle ölçülen veriler SC1000 veri depolama aygıtına aktarılmış, SC1000 veri depolama sistemindeki ve dijital terazideki veriler bilgisayar veri tabanında depolanmıştır.

Kompost sızıntı suyuna; MP005, UC030 membranı ve santrifüjleme işlemi uygulanmasıyla ön arıtım gerçekleştirilmiştir. MP005 membranı 1 bar basınç altında işletilirken, UC030 membranı 2.5 bar basınç altında işletilmiştir. Santrifüj işlemi ise Beckman Coulter Allegra X-12 marka santrifüj cihazında 3750 rpm'de 30 dakika boyunca gerçekleştirilmiştir. Ön arıttımdan geçen kompost sızıntı suyu, NP030, NP010, NF270, NF90 membranlarında arıtılmıştır. Her basınç değişimi sonrası yeni membran kullanılmıştır. NP010, NF270 membranları 2.5, 5.0, 7.5 ve 10 bar TMP altında işletilirken, NP030 ve NF90 membranları 10, 15, 20 ve 25 bar TMP altında işletilmiştir.

4.4.2 Batık Membran (Submerged Membrane) Deney Düzeneği İşletme Prosedürü

Batık membran deney düzeneği; Watson-Marlow marka peristaltik pompa, manometre, seviye sensörü, pH-ORP-bulanıklık problemleri, Hach-Lange marka SC1000 veri depolama aygıtı, Kern marka dijital hassas terazi, bilgisayar ve 10 l hacimli pleksiglass reaktörden meydana gelmektedir.

Membranın yerleştirildiği bölmenin tabanında, batık membran yüzeyindeki tıkanmanın önlenmesi için havalandırma işlemi yapılmıştır. pH ve bulanıklık problemleri ile on-line

ölçüm yapılmaktadır. Deney düzeneğinde peristaltik pompayla vakum sağlanmış, manometreyle basınç değeri ölçülmüştür. Reaktördeki su seviyesinin 5 cm azalması halinde PLC sistemi tarafından besleme tankına pompa vasıtasıyla atıksu ilavesi gerçekleştirilmiştir. 100 rpm ile işletilen sistemde; 55 dakika vakum, 5 dakika geri yıkama yapılmıştır. Membran süzöntüsü dijital hassas terazi üzerinde bulunan beherde toplanırken, membran geri yıkaması da bu suyla gerçekleştirilmiştir. Zamanla biriken temiz su miktarı dijital terazi vasıtasıyla bilgisayar veri tabanına aktarılarak depolanmış ve bu veriler kullanılarak akı değerleri hesaplanmıştır. Membran süzöntüsü bulanıklık probundan geçmiştir ve bulanıklık verileri SC1000 veri depolama aygıtında depolanmıştır.

4.5 Analizler

Çalışmada analiz edilen parametreler, analiz yöntemleri ve ekipmanları Çizelge 4.5'te görülmektedir.

Çizelge 4.5 Analiz yöntemleri

Parametre	Yöntem	Ekipman/Cihaz/Enstrüman
İletkenlik	Standart Metodlar, 2005	İletkenlik elektrodu
pH	Standart Metodlar, 2005	pH elektrodu
Sıcaklık	Standart Metodlar, 2005	Sıcaklık elektrodu
KOİ	Standart Metodlar, 2005	Kapalı reflux seti + titratör
AKM	Standart Metodlar, 2005	Süzme seti + etüv
TOK	Standart Metodlar, 2005	TOK Ölçüm cihazı
TKN	Standart Metodlar, 2005	Kaynatma - distilasyon seti + titratör
Cl ⁻ , NH ₄ ⁺	Standart Metodlar, 2005	İyon kromatografi cihazı

4.6 Deneysel Çalışma Sistematiği

Kompost sızıntı suyunun arıtılması için yapılan deneysel çalışmaların ön arıtım basamaklarını MP005, UC030, MP005+ZW-UF membranları ve santrifüj işlemi oluşturmaktadır. Çalışmada NP030, NP010, NF270, NF90 NF membranları ve BW30, SW30 TO membranları kullanılarak kompost sızıntı sularının arıtılabilirliği incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda izlenen sistematik Çizelge 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.6 Deneysel çalışma sistematiği

Membran					
UC030 + NP030/NP010/NF270/NF90		Santrifüj+UC030 + NP030/NP010/NF270/NF90		MP005+ZW-UF + BW30/SW30	
UC030	NP030 NP010 NF270 NF90	Santrifüj + UC030	NP030 NP010 NF270 NF90	MP005 + ZW-UF	BW30 SW30
5.1.1	5.1.2	5.2.1	5.2.2	5.3.1-5.3.2	5.3.3

DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

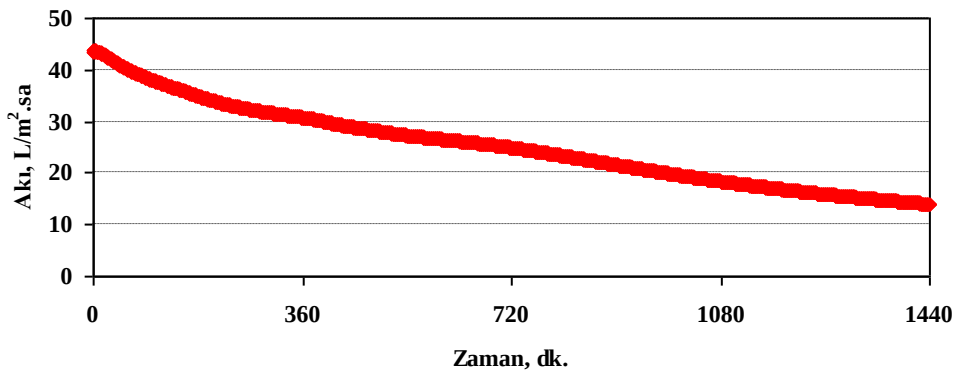
5.1 Ham Kompost Sızıntı Suyu Çalışması

5.1.1 UC030 Membranı ile Gerçekleşen Ön Arıtım Deney Verileri

Kompost sızıntı suyu, ön arıtım amaçlı 2.5 bar basınç altında UC030 membranında işletilmiştir.

Akı

Kompost sızıntı suyunun UC030 membranı ile ön arıtımına ait akı değerleri Şekil 5.1'de görülmektedir.



Şekil 5.1 Kompost sızıntı suyu UC030 membranı akı zaman grafiği

2.5 bar basınç altında işletilen UC030 membranı ile gerçekleştirilen ön arıtım çalışmasında, zamanla akı değerlerinde azalma gözlenmiştir. UC030 membranı ile elde edilen en yüksek ve en düşük akı değerleri sırasıyla 43.52 l/m².saat ve 13.99 l/m².saat'tir. UC030 membranından elde edilen süzüntü NP030, NP010, NF270 ve NF90 ileri arıtım membranlarına beslenmiştir.

Organik Madde Giderimi

Kompost sızıntı suyunun UC030 membranıyla ön arıtımı sonrası KOİ ve TOK konsantrasyonları sırasıyla 15750 mg/l ve 6765 mg/l'dir. Bu parametrelerin giderim verimleri ise sırasıyla % 34.0 ve % 34.5'dir.

İyon Giderimi

Kompost sızıntı suyunun UC030 membranıyla ön arıtımı sonrası Cl^- ve NH_4^+ konsantrasyonları sırasıyla 2935 mg/l ve 718 mg/l'dir.

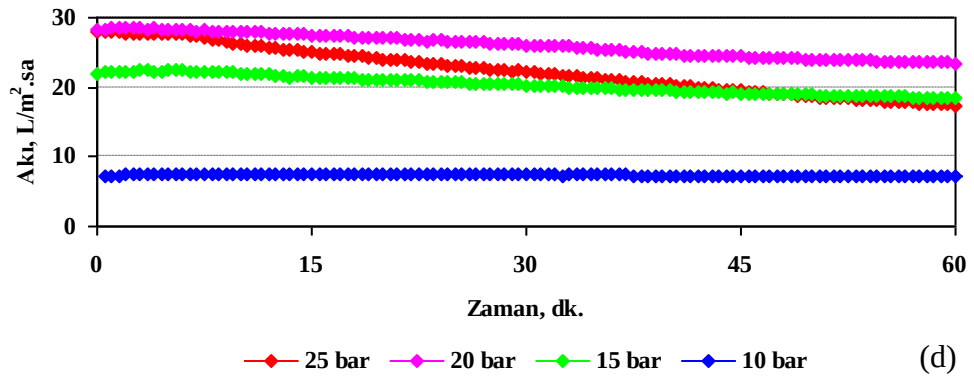
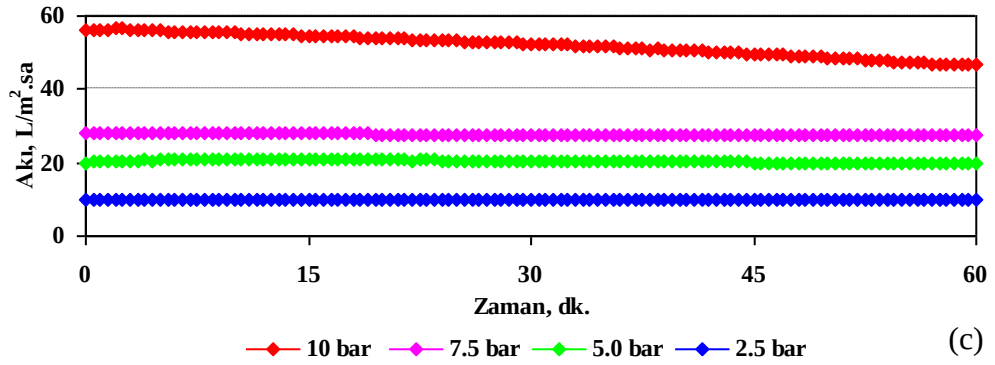
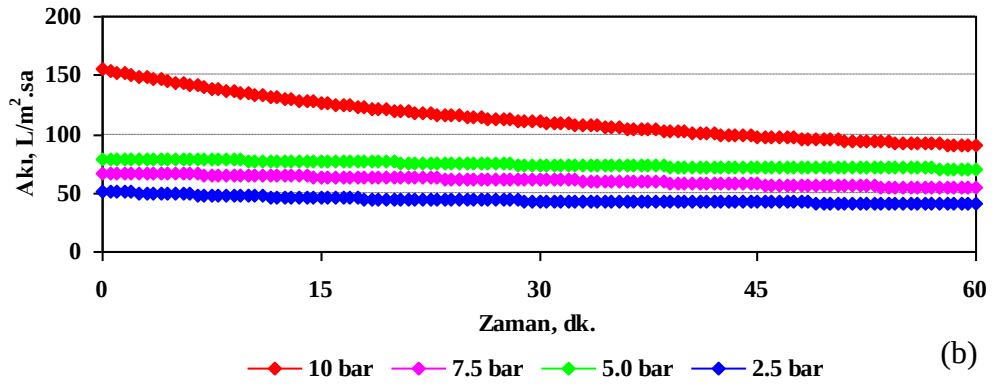
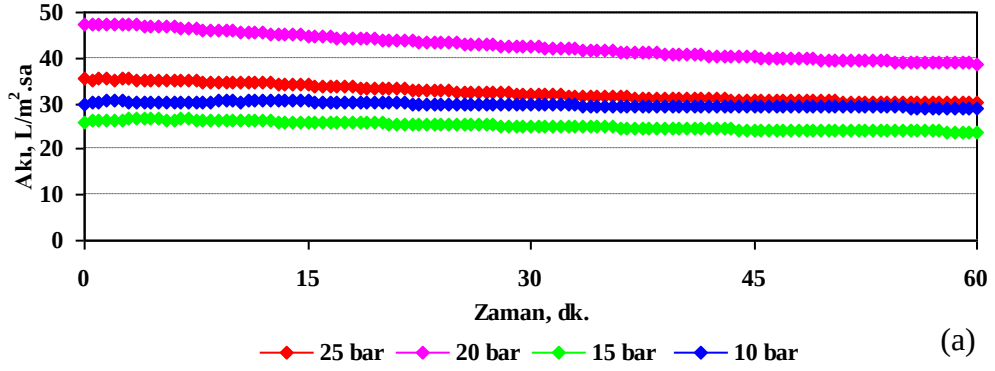
5.1.2 UC030 Membranı ile Ön Arıtım Sonrası NP030, NP010, NF270 ve NF90 Membranları ile Gerçekleşen Deney Verileri

Kompost sızıntı suyunun UC030 membranı ile ön arıtımı sonrasında NP030, NP010, NF270 ve NF90 ileri arıtım membranları kullanılmıştır. NP010 ve NF270 membranları 2.5, 5.0, 7.5 ve 10 bar TMP altında ve NP030 ve NF90 membranları ise 10, 15, 20 ve 25 bar TMP altında işletilmiştir.

Akı

Kompost sızıntı suyunun UC030 membranı ile ön arıtımı sonrası işletilen NP030, NP010, NF270 ve NF90 ileri arıtım membranlarına ait akı değerleri Şekil 5.2'de yer almaktadır.

En yüksek akı değeri NP010 membranının 10 bar TMP altında işletilmesiyle 155.24 l/m².saat olarak elde edilirken, en düşük akı değeri NF90 membranının 10 bar TMP altında işletilmesiyle 7.27 l/m².saat olarak elde edilmiştir. NF270 membranı hariç diğer membranlarda basınç artışı ile akı değerleri arasında doğru orantı gözlenmemiştir.



Şekil 5.2 Ön arıtılmış (UC030) kompost sızıntı suyunun (a) NP030, (b) NP010, (c) NF270 ve (d) NF90 membranı akı zaman grafiği

Organik Madde Giderimi

UC030 membranı ile ön arıtım sonrası kompost sızıntı suyu NP030, NP010, NF270 ve NF90 membranları ile arıtılmıştır. Bu membranlara ait KOİ ve TOK konsantrasyonları ile giderim verimleri sırasıyla Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te görülmektedir.

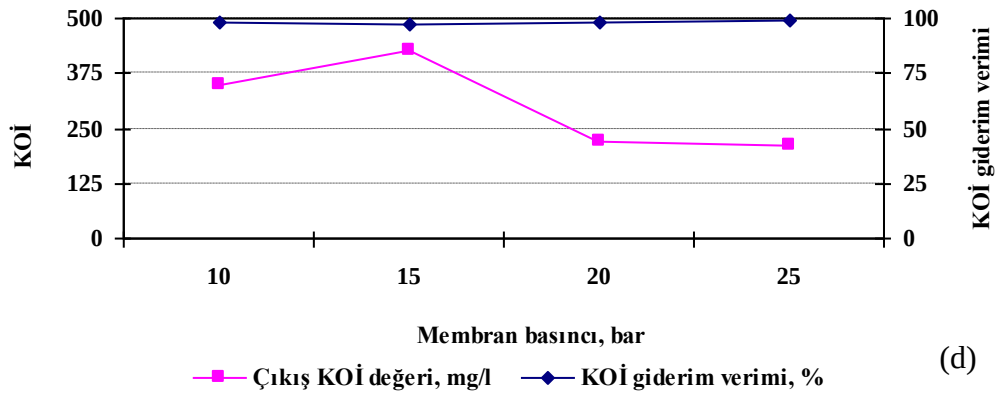
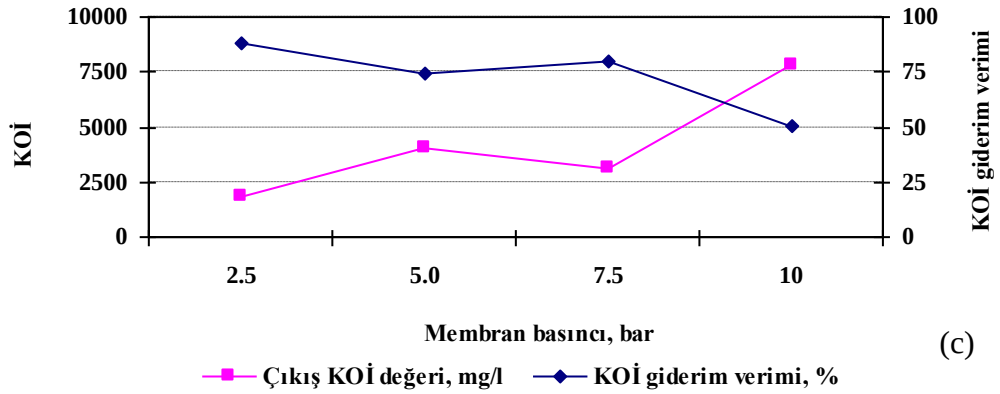
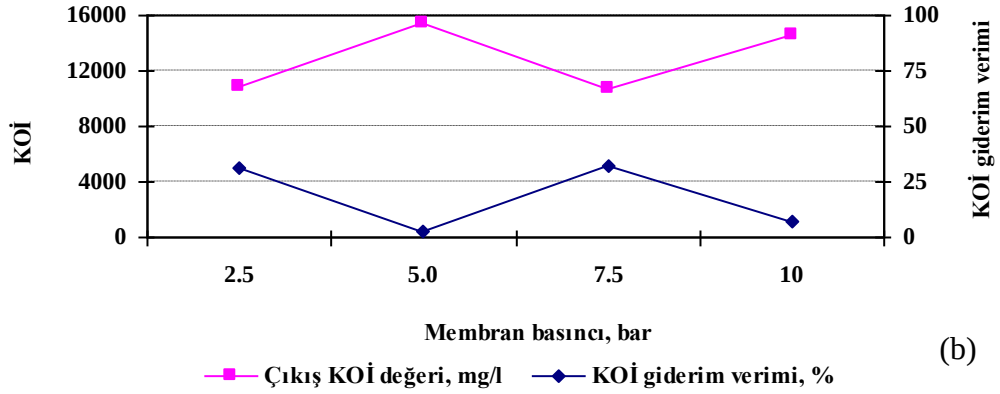
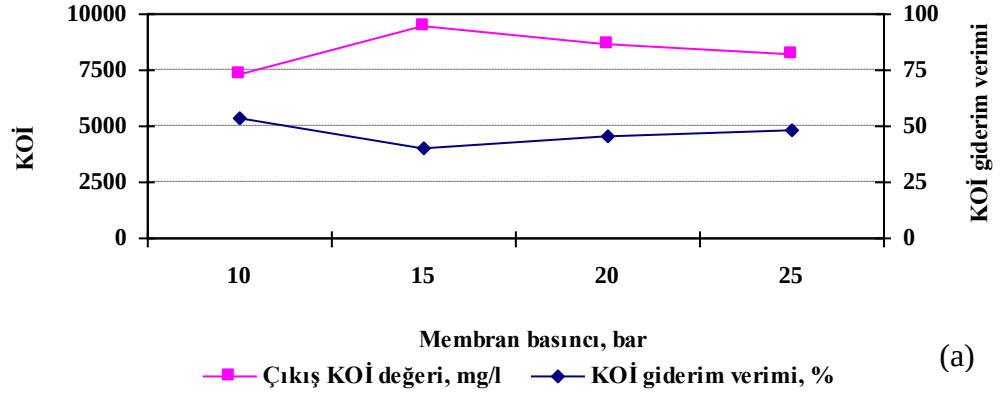
Şekil 5.3'de görüldüğü üzere en düşük KOİ çıkış konsantrasyonu ve en yüksek giderme verimi NF90 membranının 25 bar TMP altında işletilmesiyle 212 mg/l ve % 98.65 olarak elde edilmiştir. En yüksek KOİ çıkış konsantrasyonu ve en düşük giderme verimi NP010 membranının 5.0 bar TMP altında işletilmesiyle 15375 mg/l ve % 2.38 olarak elde edilmiştir.

Şekil 5.4'de görüldüğü üzere en düşük TOK çıkış konsantrasyonu ve en yüksek giderme verimi NF90 membranının 10 bar TMP altında işletilmesiyle 129.60 mg/l ve % 98.08 olarak elde edilmiştir. En yüksek TOK çıkış konsantrasyonu ve en düşük giderme verimi NP010 membranının 7.5 bar TMP altında işletilmesiyle 5555 mg/l ve % 17.89 olarak elde edilmiştir.

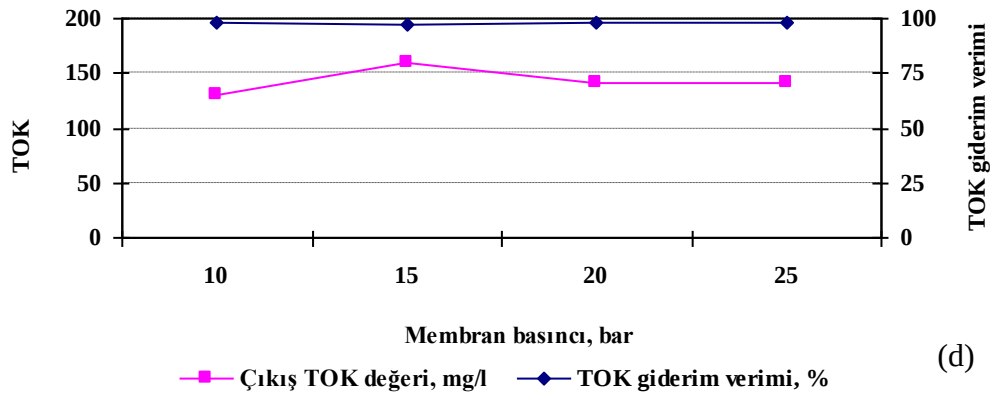
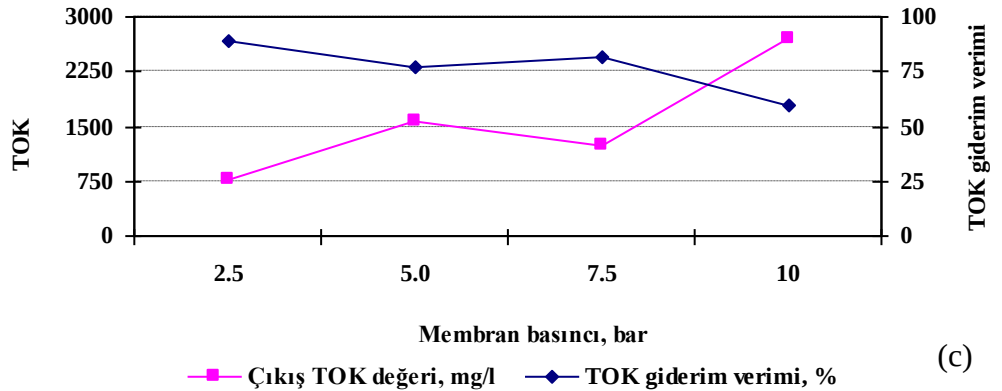
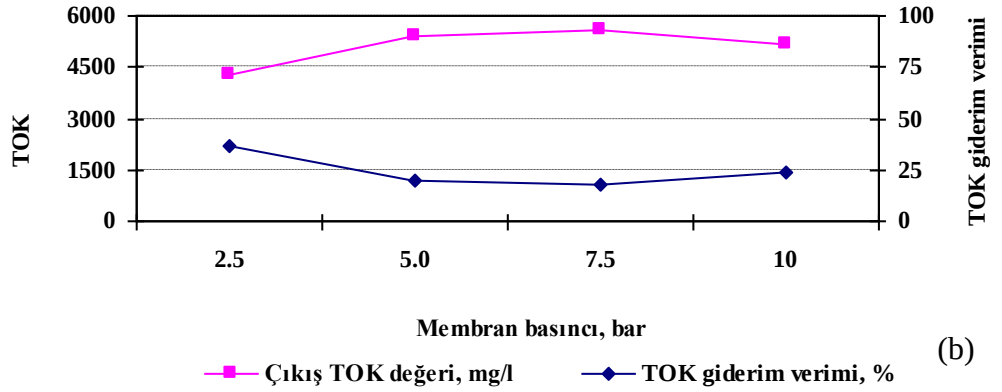
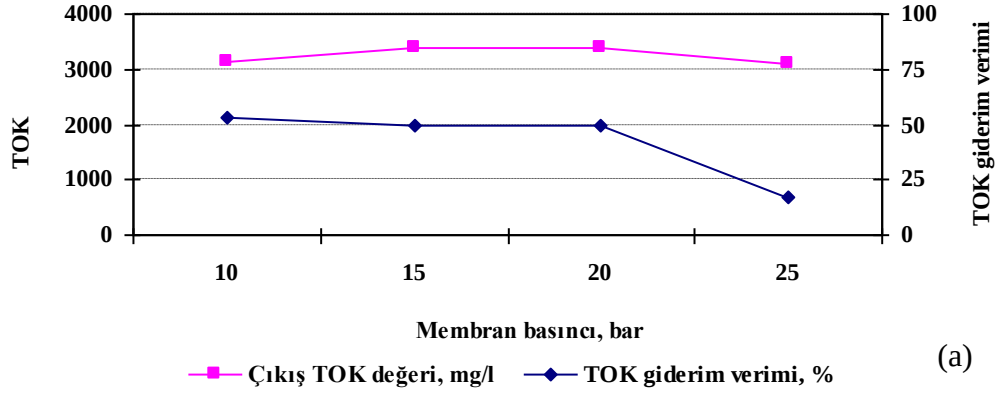
İyon Giderimi

UC030 membranı ile ön arıtım sonrası kompost sızıntı suyu NP030, NP010, NF270 ve NF90 membranları ile arıtılmıştır. Bu membranlara ait Cl^- ve NH_4^+ konsantrasyonları Şekil 5.5'te görülmektedir.

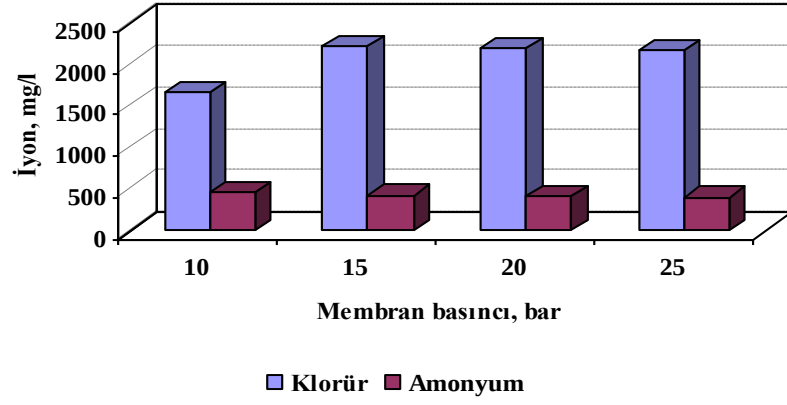
Şekil 5.5'de görüldüğü üzere en düşük Cl^- konsantrasyonu ve en yüksek giderme verimi NF90 membranının 10 bar TMP altında işletilmesiyle 237 mg/l ve % 91.91 olarak elde edilirken; en yüksek Cl^- konsantrasyonu NP010 membranının 5.0 bar TMP altında işletilmesiyle 2697 mg/l ve % 8.11 olarak elde edilmiştir. Şekil 5.5'de görüldüğü üzere en düşük NH_4^+ konsantrasyonu ve en yüksek giderme verimi NF90 membranının 25 bar TMP altında işletilmesiyle 106 mg/l ve % 85.21 olarak elde edilirken, en yüksek NH_4^+ konsantrasyonu ve en düşük giderme verimi NP010 membranının 5.0 bar TMP altında işletilmesiyle 635 mg/l ve % 11.58 olarak elde edilmiştir.



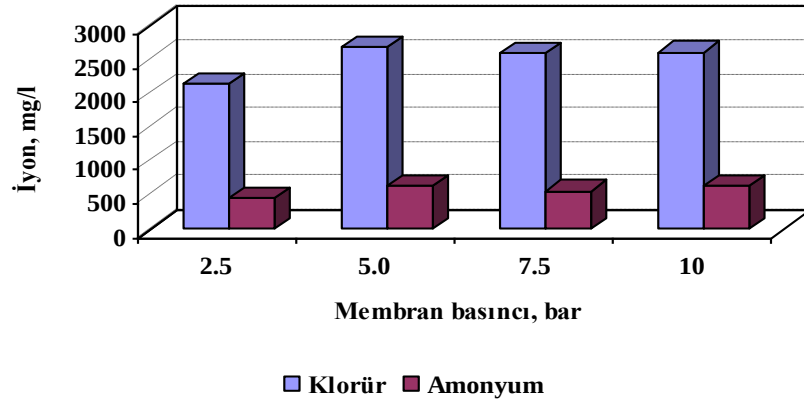
Şekil 5.3 Ön arıtılmış (UC030) kompost sızıntı suyunun (a) NP030, (b) NP010, (c) NF270 ve (d) NF90 membranı çıkış KOİ değeri ve KOİ giderim verimi



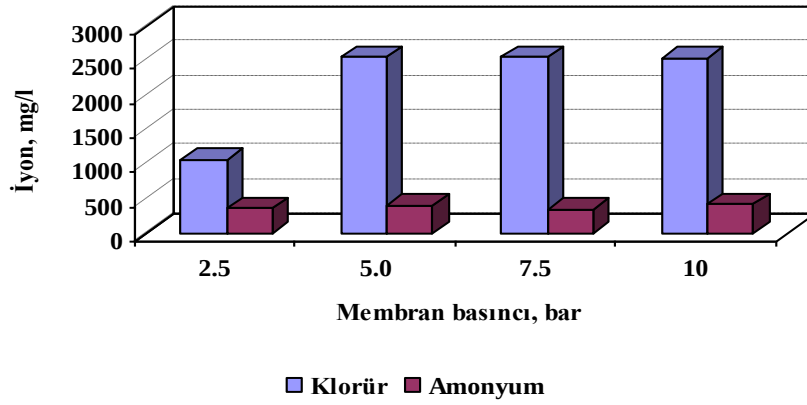
Şekil 5.4 Ön arıtılmış (UC030) kompost sızıntı suyunun (a) NP030, (b) NP010, (c) NF270 ve (d) NF90 membranı çıkış TOK değeri ve TOK giderim verimi



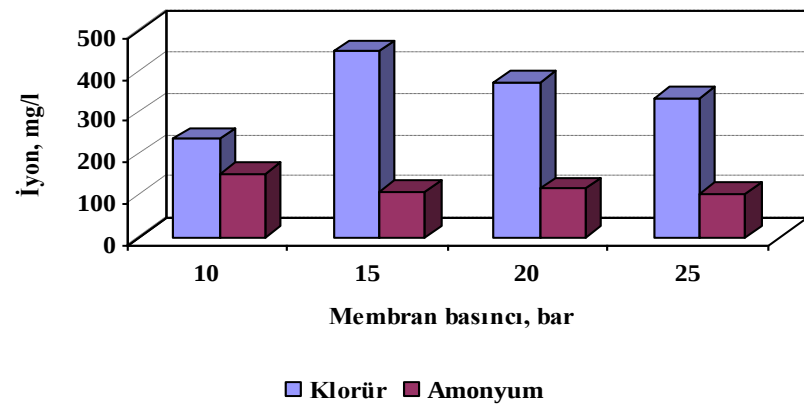
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 5.5 Ön arıtılmış (UC030) kompost sızıntı suyunun (a) NP030, (b) NP010, (c) NF270 ve (d) NF90 membranı çıkış iyon konsantrasyonları

5.2 Santrifüjlenmiş Kompost Sızıntı Suyu Çalışması

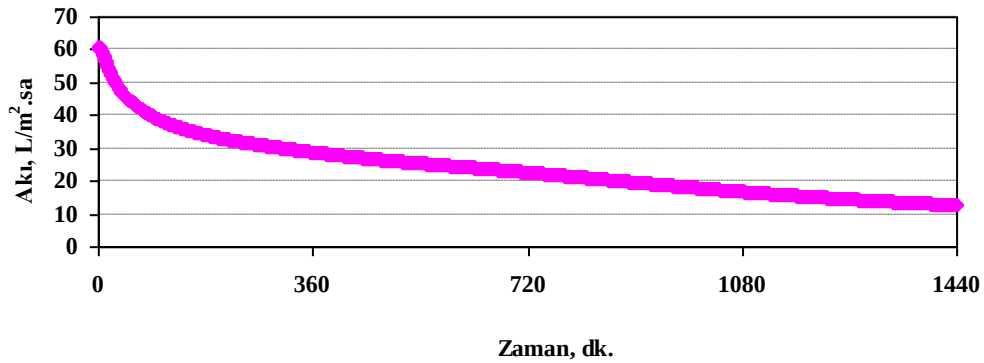
5.2.1 Santrifüjleme ve UC030 Membranı ile Gerçekleşen Ön Arıtım Deney Verileri

Kompost sızıntı suyuna santrifüj işlemi uygulanmasıyla sızıntı suyu KOİ ve TOK konsantrasyonları sırasıyla; 19850 mg/l ve 9649 mg/l değerlerine gerilemiştir. Santrifüjlenmiş atıksu UC030 membranına beslenmiştir.

NP030, NP010, NF270 ve NF90 ileri arıtım membranları öncesinde, santrifüjlemeye ilaveten ön arıtım amaçlı 2.5 bar basınç altında işletilen UC030 membranı kullanılmıştır.

Akı

Santrifüjlenmiş kompost sızıntı suyunun UC030 membranı ile ön arıtımına ait akı verileri Şekil 5.6'da yer almaktadır.



Şekil 5.6 Santrifüjlenmiş kompost sızıntı suyu UC030 membran akı zaman grafiği

Santrifüjleme ve UC030 membranı ile yapılan ön arıtımda zamana bağlı olarak akı değerinde azalma gözlenmiştir. UC030 membranı ile elde edilen en yüksek akı değeri 60.39 l/m².saat iken en düşük akı değeri ise 12.71 l/m².saat'tir. UC030 membranından elde edilen süzüntü NP030, NP010, NF270 ve NF90 ileri arıtım membranlarına beslenmiştir.

Organik Madde Giderimi

Santrifüjlenmiş kompost sızıntı suyunun UC030 membran süzüntü KOİ ve TOK konsantrasyonları sırasıyla 14400 mg/l ve 6330 mg/l olup elde edilen KOİ ve TOK giderim verimleri ise sırasıyla % 27.46 ve % 34.40'tır.

İyon Giderimi

Santrifüjlenmiş kompost sızıntı suyunun UC030 membranı ile ön arıtımı neticesinde Cl^- ve NH_4^+ çıkış konsantrasyonları sırasıyla 2950 mg/l ve 728 mg/l'dir.

5.2.2 Santrifüjleme ve UC030 Membranı ile Ön Arıtım Sonrası NP030, NP010, NF270 ve NF90 Membranları ile Gerçekleşen Deney Verileri

UC030 membranıyla kompost sızıntı suyuna ön arıtım işlemi gerçekleştirildikten sonra NP030, NP010, NF270 ve NF90 ileri arıtım membranları kullanılmıştır. NP010, NF270 membranları 2.5, 5.0, 7.5 ve 10 bar TMP altında işletilirken, NP030 ve NF90 membranları 10, 15, 20 ve 25 bar TMP altında işletilmiştir.

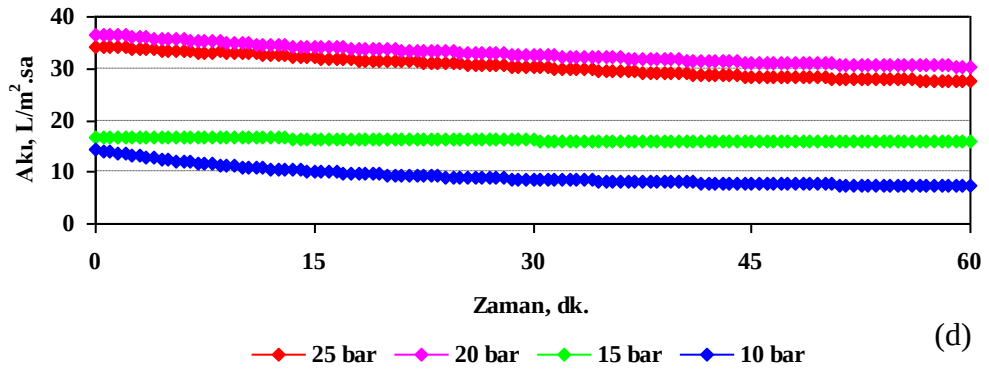
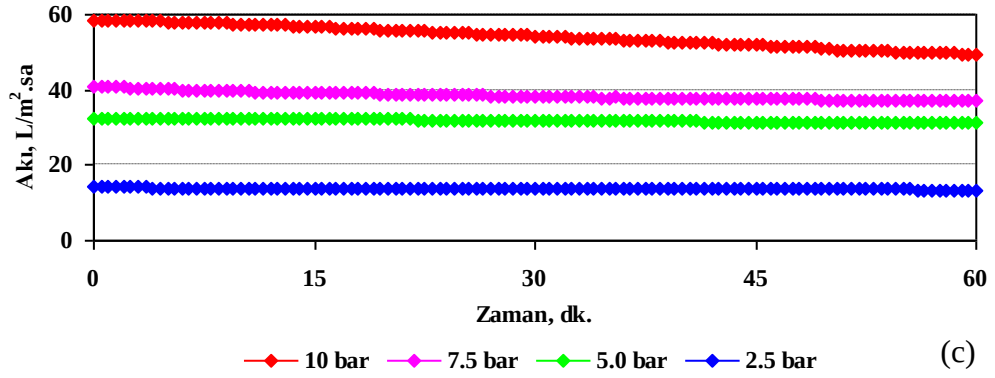
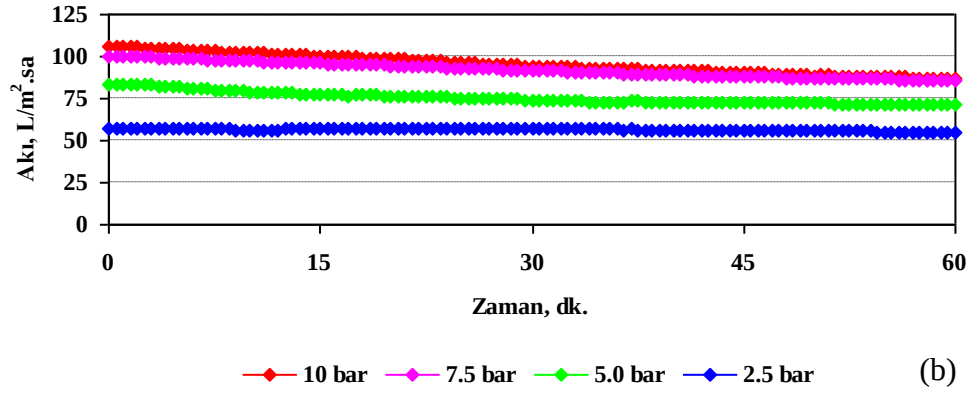
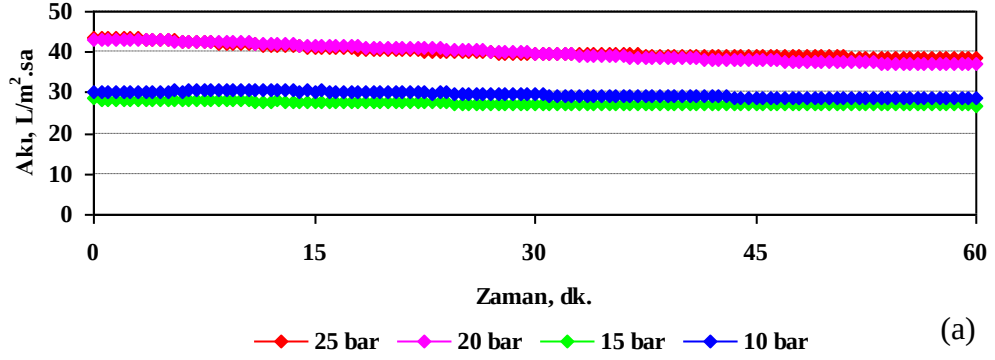
Akı

UC030 membranı ile gerçekleşen ön arıtım sonrasında işletilen NP030, NP010, NF270 ve NF90 ileri arıtım membranlarına ait akı verileri Şekil 5.7'de görülmektedir.

En yüksek akı değeri NP010 membranının 10 bar TMP altında işletilmesiyle 106.06 l/m².saat olarak elde edilirken, en düşük akı değeri NF90 membranının 10 bar TMP altında işletilmesiyle 7.30 l/m².saat olarak elde edilmiştir. NP010 ve NF270 ileri arıtım membranlarında akı değerleri basınç artışıyla doğru orantı sergilerken, NP030 ve NF90 membranlarında akı değerleri basınç artışıyla doğru orantılı olarak değişmemiştir.

Organik Madde Giderimi

Santrifüjleme ve UC030 membranı ile ön arıtılmış kompost sızıntı suyunun NP030, NP010, NF270 ve NF90 ileri arıtım membranlarına ait KOİ, TOK değerleri ve giderim verimleri sırasıyla Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da görülebilmektedir.



Şekil 5.7 Ön arıtılmış (santrifüj+UC030) kompost sızıntı suyunun (a) NP030, (b) NP010, (c) NF270 ve (d) NF90 membranı akı zaman grafiği

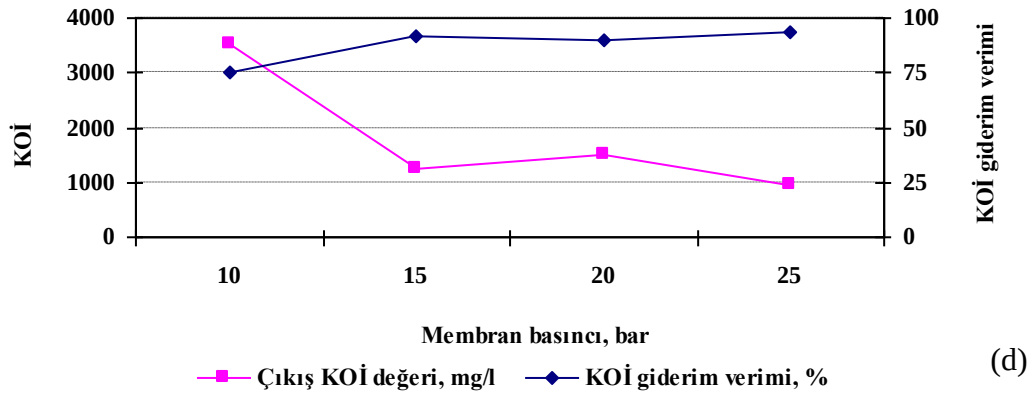
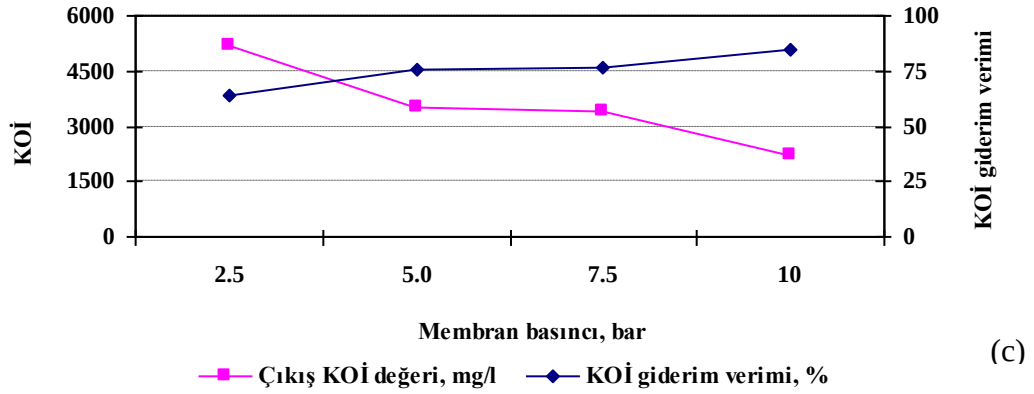
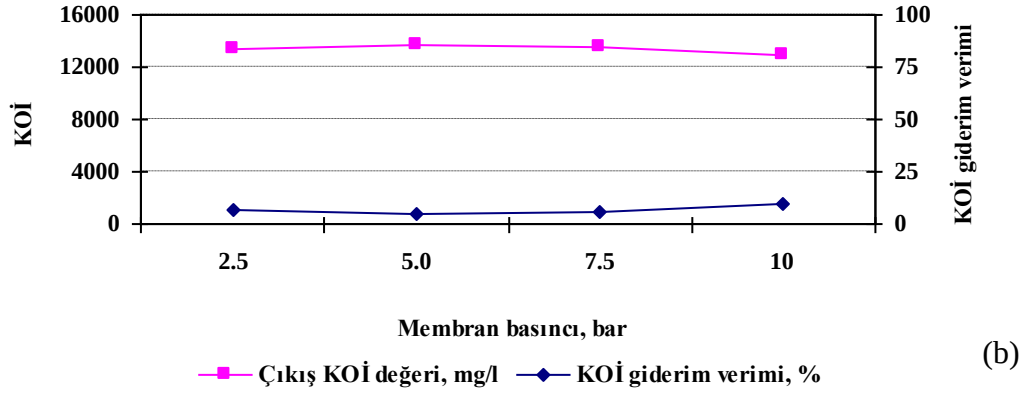
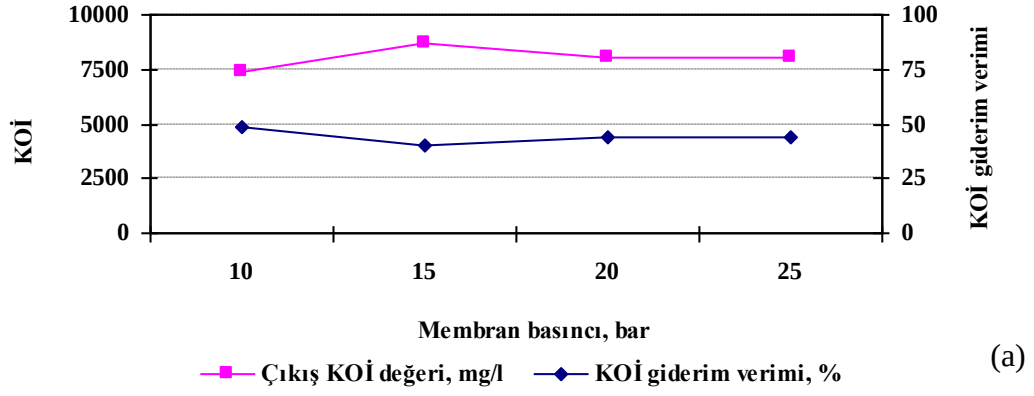
Şekil 5.8’de görüldüğü üzere en düşük KOİ çıkış konsantrasyonu ve en yüksek giderme verimi NF90 membranının 25 bar TMP altında işletilmesiyle 945 mg/l ve % 93.43 olarak elde edilmiştir. En yüksek KOİ çıkış konsantrasyonu ve en düşük giderme verimi NP010 membranının 5.0 bar TMP altında işletilmesiyle 13767 mg/l ve % 4.39 olarak elde edilmiştir.

Şekil 5.9’de görüldüğü üzere en düşük TOK çıkış konsantrasyonu ve en yüksek giderme verimi NF90 membranının 25 bar TMP altında işletilmesiyle 403.90 mg/l ve % 93.61 olarak elde edilmiştir. En yüksek TOK çıkış konsantrasyonu ve en düşük giderme verimi NP010 membranının 2.5 bar TMP altında işletilmesiyle 5665 mg/l ve % 10.50 olarak elde edilmiştir.

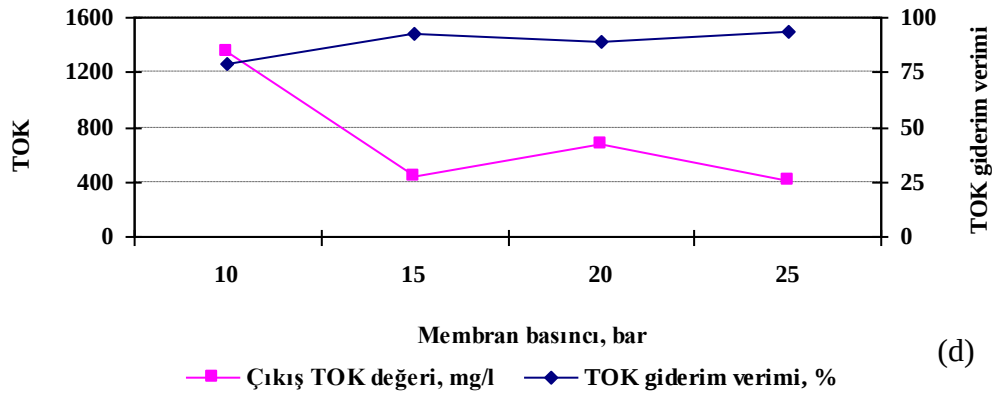
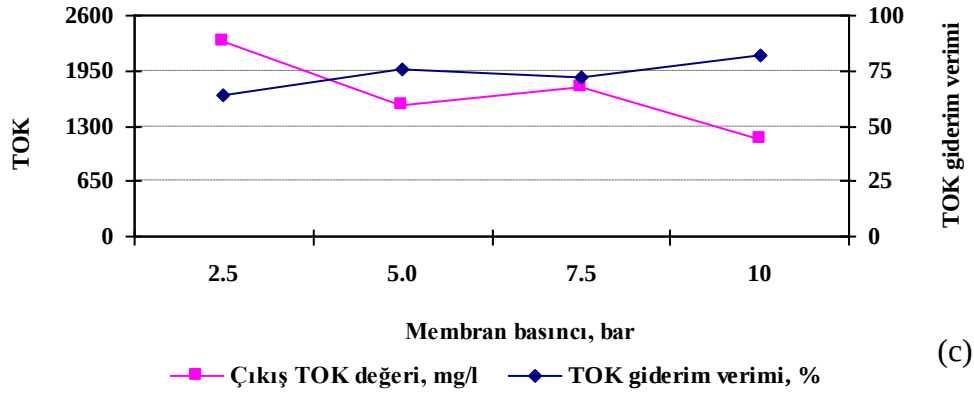
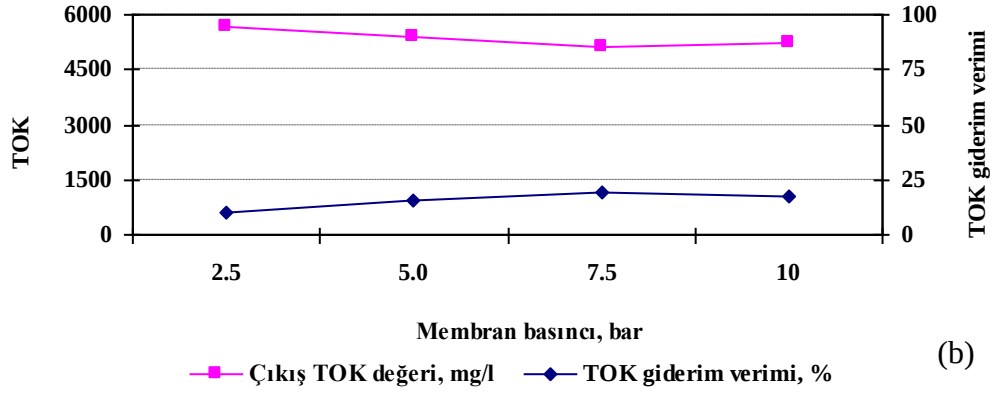
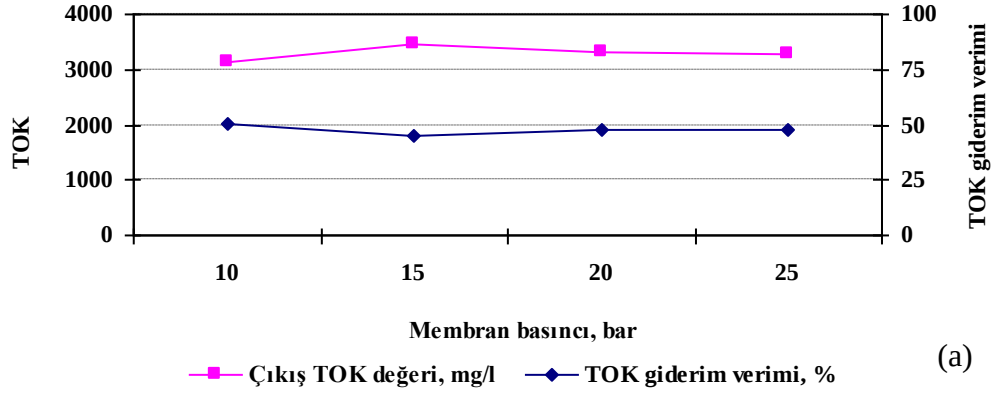
İyon Giderimi

UC030 membranı ile ön arıtılmış kompost sızıntı suyunun NP030, NP010, NF270 ve NF90 ileri arıtım membranlarına membranlarına ait çıkış Cl^- ve NH_4^+ konsantrasyonları Şekil 5.10’da görülmektedir.

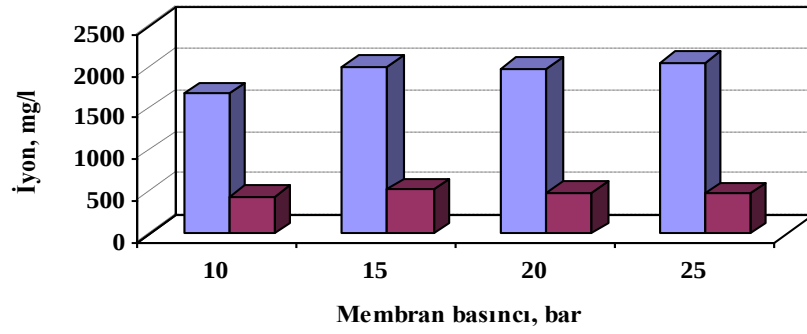
Şekil 5.10’da görüldüğü üzere en düşük Cl^- konsantrasyonu ve en yüksek giderme verimi NF90 membranının 25 bar TMP altında işletilmesiyle 466 mg/l ve % 84.21 olarak elde edilirken; en yüksek Cl^- konsantrasyonu NF270 membranının 5.0 bar TMP altında işletilmesiyle 2441 mg/l ve % 17.24 olarak elde edilmiştir. Şekil 5.10’da görüldüğü üzere en düşük NH_4^+ konsantrasyonu ve en yüksek giderme verimi NF90 membranının 20 bar TMP altında işletilmesiyle 145 mg/l ve % 80.08 olarak elde edilirken, en yüksek NH_4^+ konsantrasyonu ve en düşük giderme verimi NP010 membranının 2.5 bar TMP altında işletilmesiyle 713 mg/l ve % 2.07 olarak elde edilmiştir.



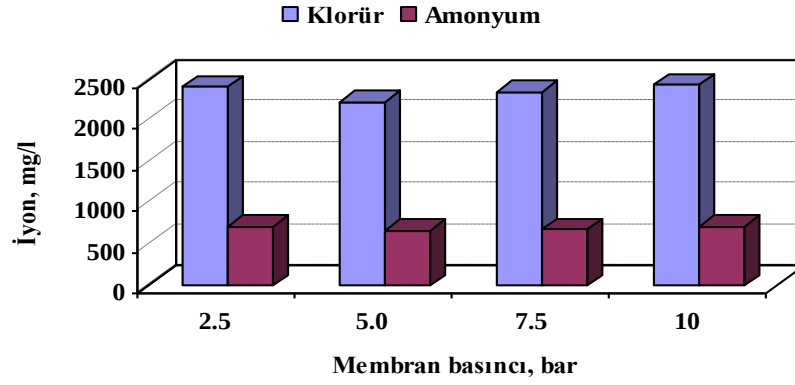
Şekil 5.8 Ön arıtılmış (santrifüj+UC030) kompost sızıntı suyunun (a) NP030, (b) NP010, (c) NF270 ve (d) NF90 membranı çıkış KOİ değeri ve KOİ giderim verimi



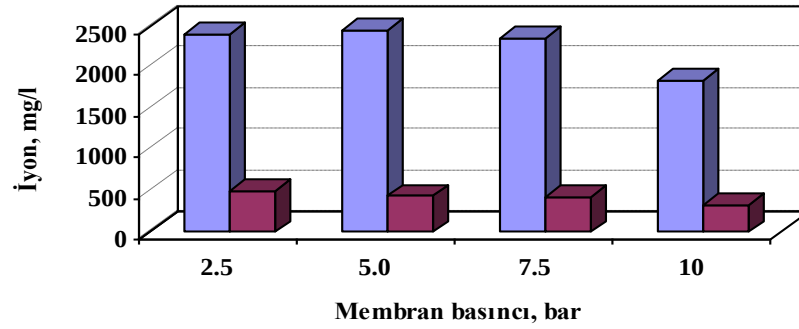
Şekil 5.9 Ön arıtılmış (santrifüj+UC030) kompost sızıntı suyunun (a) NP030, (b) NP010, (c) NF270 ve (d) NF90 membranı çıkış TOK değeri ve TOK giderim verimi



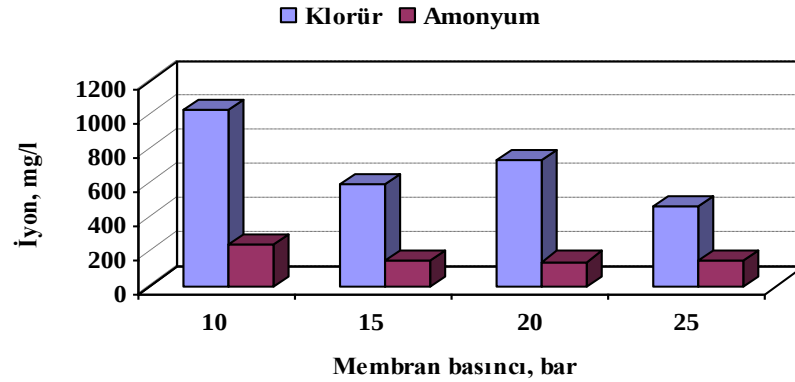
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 5.10 Ön arıtılmış (santrifüj+UC030) kompost sızıntı suyunun (a) NP030, (b) NP010, (c) NF270 ve (d) NF90 membranı çıkış iyon konsantrasyonları

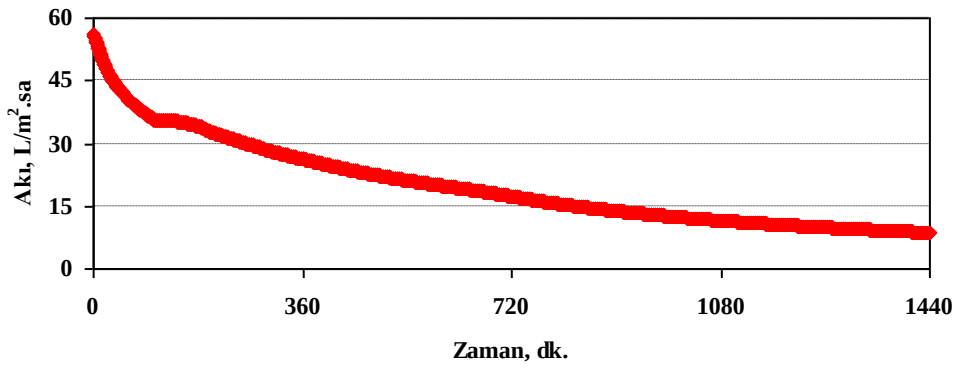
5.3 Kompost Sızıntı Suyunun MF+Batık UF ile Ön Arıtımının Gerçekleştirildiği Membran Çalışması

5.3.1 MP005 Membranı ile Gerçekleşen Ön Arıtım Deney Verileri

Kompost sızıntı suyunun, MP005 membranında işletilerek ön arıtımı gerçekleştirilmiştir. MP005 membranı 1 bar sabit basınçta işletilmiştir.

Akı

Kompost sızıntı suyunun MP005 membranı ile ön arıtımına ait akı verileri Şekil 5.11’de yer almaktadır.



Şekil 5.11 MP005 membranı akı zaman grafiği

MP005 membranı ile kompost sızıntı suyunun ön arıtımı sırasında zamana bağlı olarak akı değerlerinde azalma gözlenmiştir. MP005 membranı ile elde edilen en yüksek akı değeri 55.98 l/m².saat, en düşük akı değeri ise 8.69 l/m².saat'tir. MP005 membranından elde edilen süzüntü batık ZW-UF membranına beslenmiştir.

Organik Madde Giderimi

Kompost sızıntı suyunun MP005 membranı ile ön arıtımı neticesinde KOİ değerinde % 21.54'lük oranda giderim verimi yaşanmıştır. Süzüntü KOİ değeri 18750 mg/l'dir.

İyon Giderimi

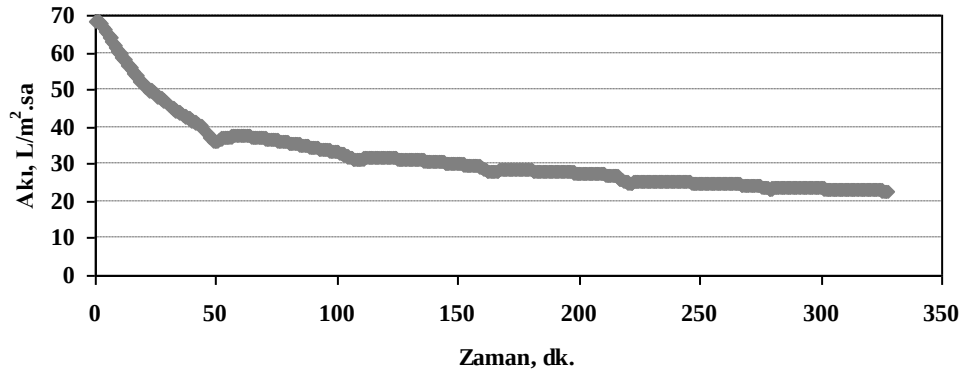
Kompost sızıntı suyunun MP005 membranı ile ön arıtılması neticesinde sadece Cl⁻ iyonu analiz edilmiştir. Bu iyonun çıkış konsantrasyonu 2974.11 mg/l olarak analiz edilmiştir.

5.3.2 MP005+ZW-UF Membranları ile Gerçekleşen Ön Arıtım Deney Verileri

Kompost sızıntı suyunun ön arıtımında sırasıyla MP005 ve ZW-UF membranları kullanılmıştır. 1 bar sabit basınç altında işletilen MP005 membran süzöntüsü batık ZW-UF membranına beslenmiştir.

Akı

Kompost sızıntı suyunun MP005+ZW-UF membranı ile ön arıtımına ait akı verileri Şekil 5.12' de yer almaktadır.

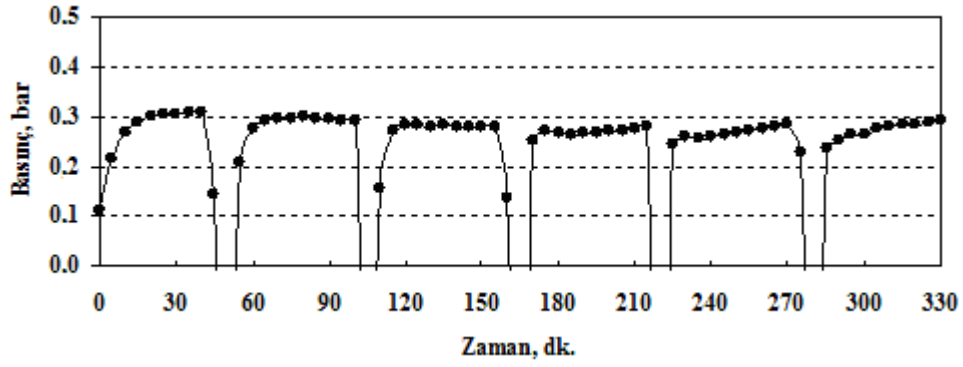


Şekil 5.12 MP005+ZW-UF membranı akı zaman grafiği

ZW-UF membranı ile gerçekleşen ön arıtımda zamanla akı değerlerinde azalma gözlenmiştir. ZW-UF membranı ile elde edilen en yüksek akı değeri 68.47 l/m².saat ve en düşük akı değeri 22.83 l/m².saat olarak hesaplanmıştır. ZW-UF membranında işletme basıncının artışıyla akıdaki azalma düşmüştür. ZW-UF membranına ait zamana bağlı işletme basınç değişimi Şekil 5.13'de görülebilmektedir. 0.31 bar ZW-UF membranının işletiminde elde edilen en yüksek basınç değeridir. ZW-UF membranından elde edilen süzöntü BW30 ve SW30 membranlarına beslenmiştir.

Organik Madde Giderimi

Kompost sızıntı suyunun MP005 ve ZW-UF membranları ile ön arıtılması sonucunda elde edilen KOİ değeri % 12'lik giderim verimiyle 16500 mg/l olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.13 ZW-UF membranı basınç zaman grafiği

İyon Giderimi

MP005 ve ZW-UF membranları ile ön arıtılmış kompost sızıntı suyunun Cl^- çıkış konsantrasyonu 2871 mg/l'dir.

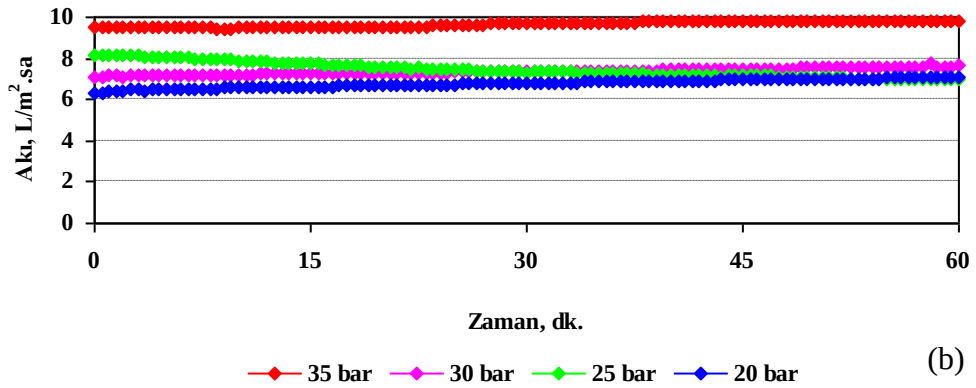
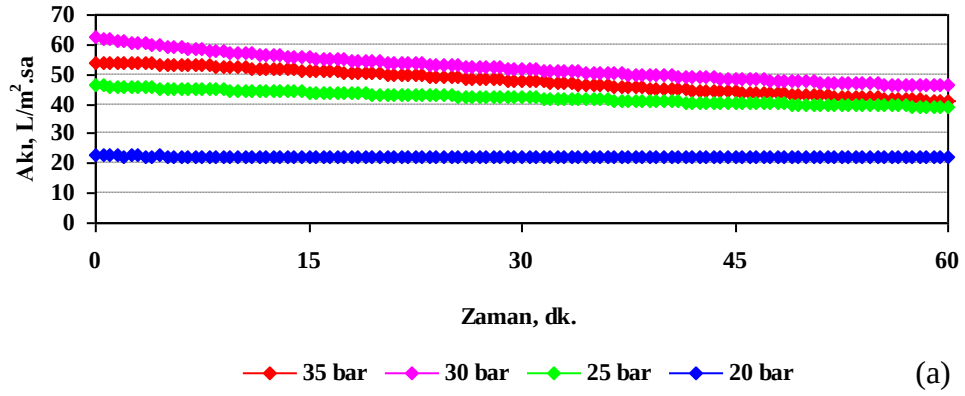
5.3.3 MP005 ve ZW-UF Membranları ile Ön Arıtım Sonrası BW30 ve SW30 Membranları ile Gerçekleşen Deney Verileri

Kompost sızıntı suyunun MP005 ve ZW-UF membranları ile ön arıtımı sonrasında BW30 ve SW30 membranları kullanılmıştır. BW30 ve SW30 membranları 20, 25, 30 ve 35 bar TMP altında işletilmiştir.

Akı

MP005 ve ZW-UF ön arıtım membranlarından sonra işletilen BW30 ve SW30 membranlarına ait akı verilerine Şekil 5.14'de yer verilmiştir.

İşletmedeki en yüksek akı değeri $62.56 \text{ l/m}^2.\text{saat}$ olup, BW 30 membranının 30 bar TMP altında işletilmesiyle elde edilmiştir. Sistemdeki en düşük akı değeri ise, $6.31 \text{ l/m}^2.\text{saat}$ olup, SW30 membranının 20 bar TMP altında işletilmesiyle elde edilmiştir.

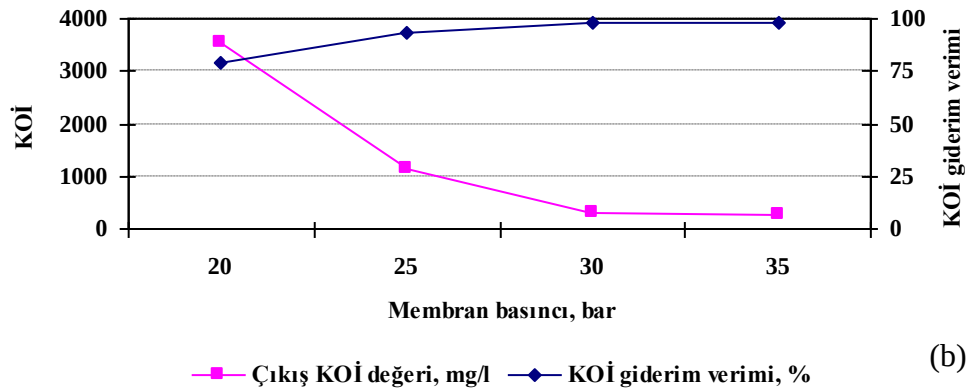
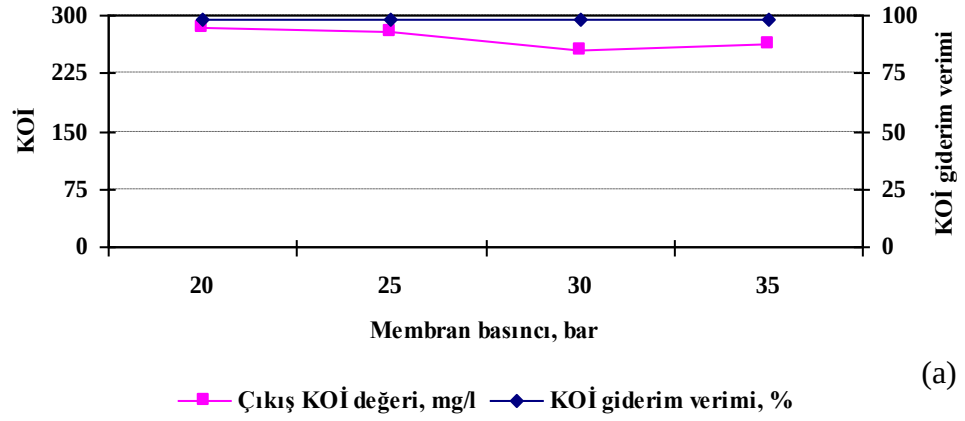


Şekil 5.14 Ön arıtılmış (MP005+ZW-UF) kompost sızıntı suyu (a) BW30, (b) SW30 membranı akı zaman grafiği

Organik Madde Giderimi

MP005 ve ZW-UF ön arıtım membranları sonrasında işletilen BW30 ve SW30 membranlarına ait KOİ değerleri ve giderim verimleri Şekil 5.15'de gösterilmiştir.

Şekil 5.15'de görüldüğü üzere en düşük KOİ çıkış konsantrasyonu ve en yüksek giderme verimi BW30 membranının 30 bar TMP altında işletilmesiyle 255 mg/l ve % 98.45 olarak elde edilmiştir. En yüksek KOİ çıkış konsantrasyonu ve en düşük giderme verimi SW30 membranının 20 bar TMP altında işletilmesiyle 3525 mg/l ve % 78.64 olarak elde edilmiştir.

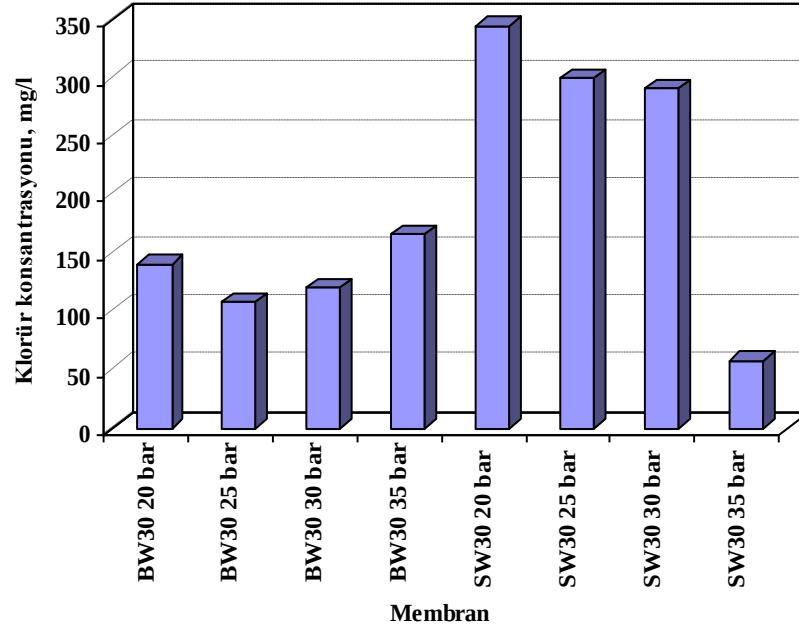


Şekil 5.15 Ön arıtılmış (MP005+ZW-UF) kompost sızıntı suyunun (a) BW30 (b) SW30 membranı çıkış KOİ değeri ve KOİ giderim verimi

İyon Giderimi

İşletmede MP005 ve ZW-UF membranları sonrası kullanılan BW30, SW30 membranlarına ait Cl^- konsantrasyonları Şekil 5.16'da gösterilmiştir. NH_4^+ konsantrasyonları ise analiz edilememiştir.

Şekil 5.16'da görüldüğü üzere en düşük Cl^- konsantrasyonu ve en yüksek giderme verimi SW30 membranının 35 bar TMP altında işletilmesiyle 58.30 mg/l ve % 97.97 olarak elde edilirken; en yüksek Cl^- konsantrasyonu SW30 membranının 20 bar TMP altında işletilmesiyle 345.10 mg/l ve % 87.98 olarak elde edilmiştir.



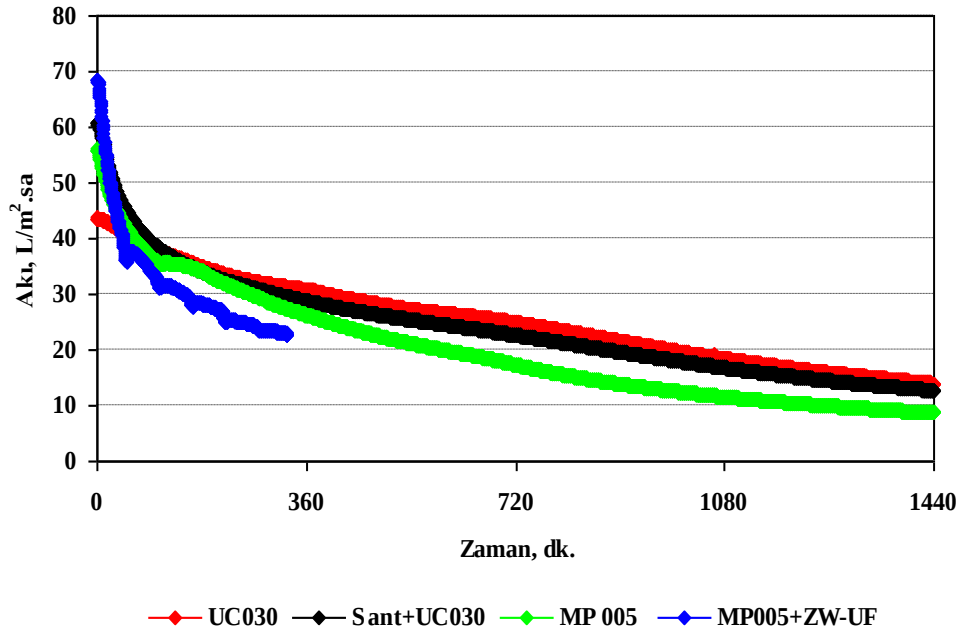
Şekil 5.16 Ön arıtılmış (MP005+ZW-UF) kompost sızıntı suyunun ileri arıtım sonrası Cl konsantrasyonları

5.4 Kompost Sızıntı Suyunun Membran Proseslerle Arıtılabilirlik Çalışma Sonuçlarının Karşılaştırılması

5.4.1 UC030, Santrifüjleme+UC030 ve MP005+ZW-UF Membranları ile Gerçekleşen Ön Arıtım Deney Verilerinin Karşılaştırılması

Akı

Çalışmalarda kullanılan İstanbul Kompost ve Geri Kazanım Tesisi kompost sızıntı suyunun UC030, santrifüj+UC030, MP005 ve MP005+ZW-UF ön arıtım membranlarına ait akı zaman verileri Şekil 5.17'de görülmektedir.



Şekil 5.17 Ön arıtım membranlarına (UC030, sant+UC030, MP005 ve ZW-UF) ait akı grafiği

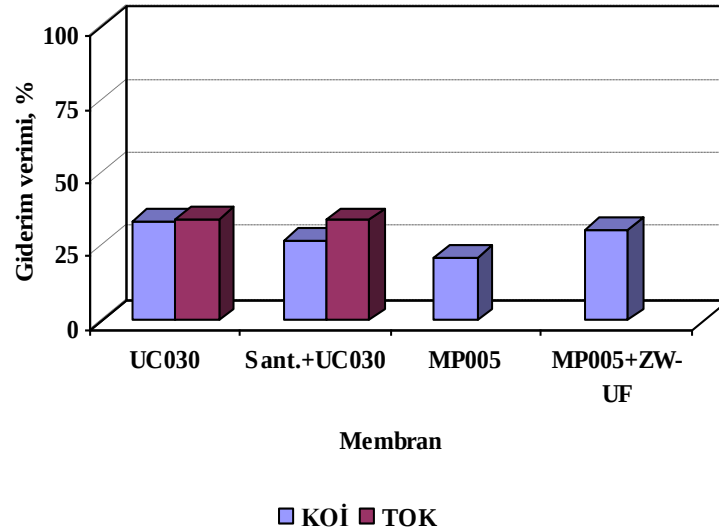
MF, UF ve vakumla işletilen UF membranları kullanılarak gerçekleştirilen çalışma sonunda en yüksek ön arıtma akı değeri UC030 ve santrifüj+UC030 membranları ile elde edilmiştir. Bu ön arıtmaların akı değerleri birbirine oldukça yakındır. Santrifüjlemenin UC030 akısını pek etkilemediği görülmektedir. Ön arıtma başlangıç akı değerleri dikkate alındığında MP005+ZW-UF membran kombinasyonunun akı değerinin yüksek olduğu ve bu membran kombinasyonunda akı düşüş hızının da diğer membranlara göre daha fazla olduğu görülmektedir. Ön arıtma çalışmaları sonunda MP005 ve UC030 membranlarının akı değerleri sırasıyla 8.69 l/m².saat ve 13.99 l/m².saat'tir. MP005 ile UC030 membranları sırasıyla 1 bar ve 2.5 bar TMP altında işletilmiştir. MP005 membranı 0,05 µm por çapına sahip iken UC030 membranı yaklaşık 0.015 µm (30 kDa) por çapına sahiptir. UC030 membranı daha küçük por çapına sahip olmasına rağmen 2.5 kat fazla basınç uygulanması ile daha büyük por çapına sahip MP005 membranından daha fazla akı elde edilmiştir. Kirleticiler UC030 membranının yüzeyinde birikirken MP005 membranının hem yüzeyinde birikmekte hemde porlarına nüfuz etmektedir. Böylece kirleticilerin MP005 membranında UC030 membranından daha fazla tıkanmaya sebep olduğu düşünülmektedir.

Kompost sızıntı sularının moleküller boyut analizleri Şekil 4.4 ve Çizelge 4.3’de görülmektedir. Boyut dağılım analizi incelendiğinde 0.45 µm’lik membran filtreden geçen süzüntüde bulunan kirleticilerin % 94.2’si yaklaşık 1000-4000 nm (ortalama 2057 nm) çapa sahiptir. Bu kirletici boyutları dikkate alındığında MP005 membranının porlarına da bu kirleticilerin nüfuz edebileceği ve membranda tıkanmalara sebep olabileceği düşünülmektedir. MP005 membranı ile yakın por çapına (0.04 µm) sahip ZW-UF membranında da çok hızlı bir akı düşüşünün olduğu Şekil 5.17’de görülmektedir. Bu da MP005 ve ZW-UF membranlarındaki akı düşüşünün UC030’dan neden daha fazla olduğunu göstermektedir. Sonuçta, moleküller boyutun ön arıtım membranlarının akı değerleri üzerinde etkili olduğu anlaşılmaktadır.

Organik Madde Giderimi

UC030, santrifüj+UC030, MP005 ve ZW-UF ön arıtım membranlarına ait organik madde giderim verimleri Şekil 5.18’de görülmektedir.

Ön arıtım membranları arasında UC030 membranıyla % 34.00 KOİ ve % 34.50 TOK giderim verimi elde edilirken, santrifüj+UC030 membranı ile % 27.46 KOİ ve % 34.40 TOK giderim verimleri elde edilmiştir. MP005 membranıyla % 21.54 KOİ ve MP005+ZW-UF membranı ile % 30.96 KOİ giderim verimi elde edilmiştir.

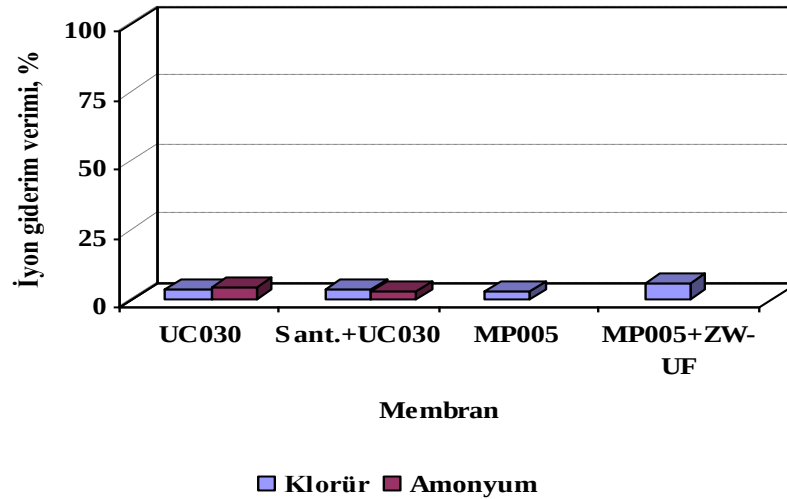


Şekil 5.18 Ön arıtım membranlarına (UC030, sant+UC030, MP005 ve ZW-UF) ait organik madde giderim verimleri

Membran por boyutu ve kirleticilerin MWCO değerlerinin organik madde giderimini de etkiledikleri Şekil 5.18’de görülmektedir. En düşük giderme verimi por boyutu en büyük membran olan MP005 ile elde edilmiştir. Santrifüjlemenin KOİ giderimi üzerine olumsuz etkisi görülürken, TOK giderimi üzerine pek bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Santrifüjleme ile kaba partiküler maddeler ve dolayısıyla partiküler maddelerin ihtiva ettiği organik maddeler sudan uzaklaştırılmaktadır. Bu münasebetle, santrifüjlemenin organik madde giderimine olumlu etkisi beklenmesine rağmen herhangi bir olumlu etkisinin olmadığı görülmüştür. Ham ve santrifüjlenmiş kompost sızıntı suları UC030 ve MP005 membranları öncesinde 1 µm çaplı kartuş filtreden geçirilmiştir. Bu çalışmada santrifüjleme ile 1 µm ve üzerindeki maddelerin sudan uzaklaştırıldığı düşünülmekte ve bu varsayıma göre Şekil 5.18’de santrifüjlemenin ön arıtma verimi açısından önemli bir etkisinin olmadığı düşünülmektedir.

İyon Giderimi

UC030, santrifüj+UC030, MP005 ve MP005+ZW-UF ön arıtım membranlarına ait iyon giderim verimleri Şekil 5.19’da görülmektedir. Ön arıtım membranlarının temel amacı partiküler ve kolloidal kirleticilerin sudan uzaklaştırılmasıdır. Bu çalışmada ön arıtım membranlarıyla Cl^- ve NH_4^+ iyonlarında kayda değer giderim verimleri sağlanamamıştır.

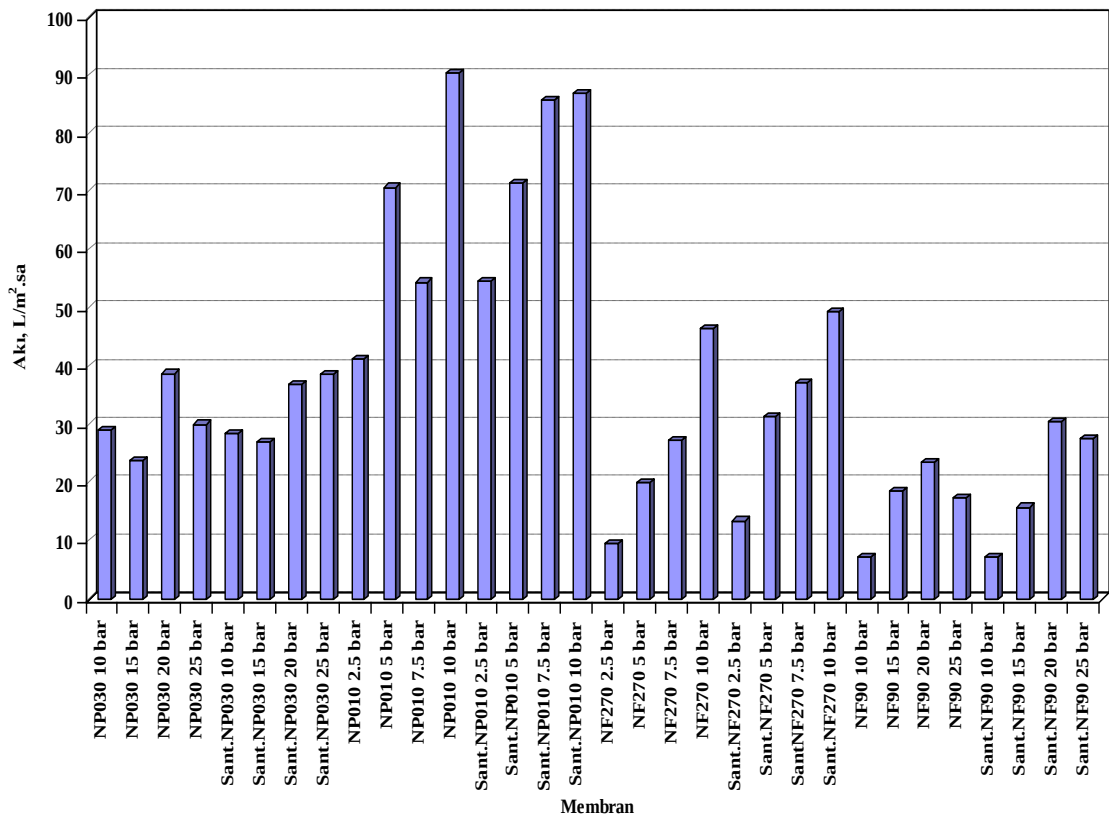


Şekil 5.19 Ön arıtım membranlarına ait iyon giderim verimleri

5.4.2 NP030, NP010, NF270, NF90, BW30 ve SW30 Membranları ile Gerçekleşen Deney Verilerinin Karşılaştırılması

Akı

Kompost sızıntı sularının UC030 ve santrifüj+UC030 membranlarıyla ön arıtımı sonrası uygulanan NP030, NP010, NF270 ve NF90 ileri arıtım membranlarına ait minimum akı değerleri Şekil 5.20’de görülmektedir.



Şekil 5.20 Ön arıtılmış (UC030, sant.+UC030) kompost sızıntı suyunun ileri arıtım membranlarına ait akı grafiği

Kompost sızıntı suyunun ön arıtımı sonrası uygulanan ileri arıtım membranlarında genellikle TMP’nin artışı ile akı değerlerinin arttığı Şekil 5.20’de görülmektedir. NP030 membranının 15 bar ve 25 bar, NP010 membranının 7.5 bar ve NF90 membranının ise 25 bar TMP basınçlarında bir önceki TMP değerlerinde oluşan akı değerinden daha düşük akı olduğu görülmektedir. Her basınç değişimi sonrası yeni membran kullanılmasına rağmen TMP artışları sonucu akı düşüşleri olmuştur. Kompost sızıntı suyunda bulunan kirlenmelerin Çizelge 4.3 ve Şekil 4.4’de görüldüğü üzere % 94.2’sinin yaklaşık 1000-4000 nm (ortalama 2057 nm) gibi büyük çapa sahip olması ve bunların membranın bazı

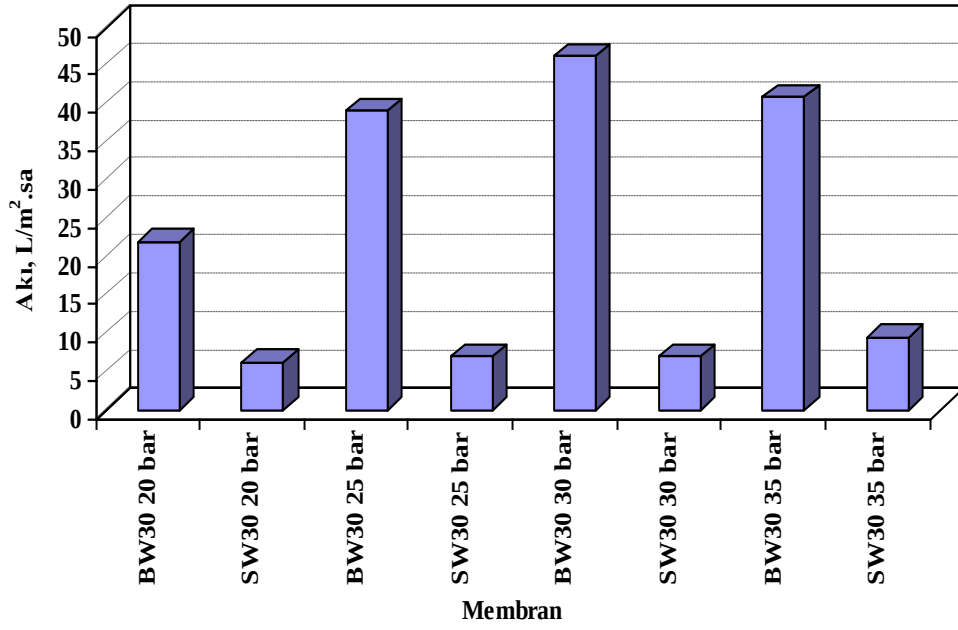
gözeneklerini bloke etmesi bu akı düşüşlerinin sebebi olarak düşünülmektedir. Deneylerin tekrarlanması durumunda da bu akı düşüşlerinin pek değişmediği de görülmüştür. NF270 membranında TMP artışlarıyla akı değerinde de artışlar görülmektedir. Santrifüj ön arıtımının akı üzerinde olumlu etkisi NF270 membranında belirgin iken NP030, N010 ve NF90 membranlarında ise bu durum pek belirgin değildir.

İleri arıtım membranlarının Çizelge 4.4'te görülen özellikleri dikkate alınarak akı verileri karşılaştırıldığında NP010 membranının 342 Da'na sahip laktozları giderme veriminin NP030 membranından daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durumda NP010 membranının NP030 membranından daha büyük bir MWCO'ya sahip olduğu anlaşılmaktadır. Büyük MWCO'ya sahip NP010 membranı ile daha düşük basınçlarda NP030 membranından daha yüksek akı değerleri elde edilmiştir. Benzer durum NF270 ve NF90 membranlarında da görülmektedir. MWCO'su büyük olan NF270 membranıyla NF90 membranından daha yüksek akı değerleri elde edilmiştir. Bu durum membran MWCO'sunun akı verileri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.

Kullanılan NF membranları arasında uygulanan basınç ve akı değerleri dikkate alınarak bir karşılaştırma yapıldığında akı değerlerine göre sıralama NP010>NF270>NP030>NF90 şeklinde olmaktadır. Membranların MWCO değerleri ile membran yapımında kullanılan materyalin bu duruma etki eden faktörler olduğu düşünülmektedir.

MP005+ZW-UF şeklinde iki aşamalı ön arıtma membranı uygulanması sonrası kompost sızıntı suları BW30 ve SW30 ileri arıtım membranları ile arıtılmıştır. Şekil 5.21'de görüldüğü üzere iki aşamalı ön arıtım sonrası ileri arıtımda minimum akı değerleri SW30 membranı ile elde edilmiştir. TMP artışlarıyla SW30 membranının akı değerlerinde artışlar olduğu ve 35 bar TMP işletiminde de bu artış miktarının belirgin olduğu görülmektedir. BW30 membranı ile elde edilen akı değerlerinin, SW30 membranından birkaç kat daha fazla olduğu ve 35 bar TMP hariç diğer basınç artışlarında da akı değerlerinin arttığı görülmektedir. Çizelge 4.4'de membran özelliklerinde, maksimum akı değerleri ile işletim basınçları SW30 için 27.4 l/m².saat ve 69 bar, BW30 membranı için 45.05 l/m².saat ve 41 bar olarak membran üreticileri tarafından belirtilmiştir. BW30 membranı ile 30 bar TMP altında işletimde membran üreticisi tarafından belirtilen maksimum akı değerinde akı elde edildiği görülmektedir.

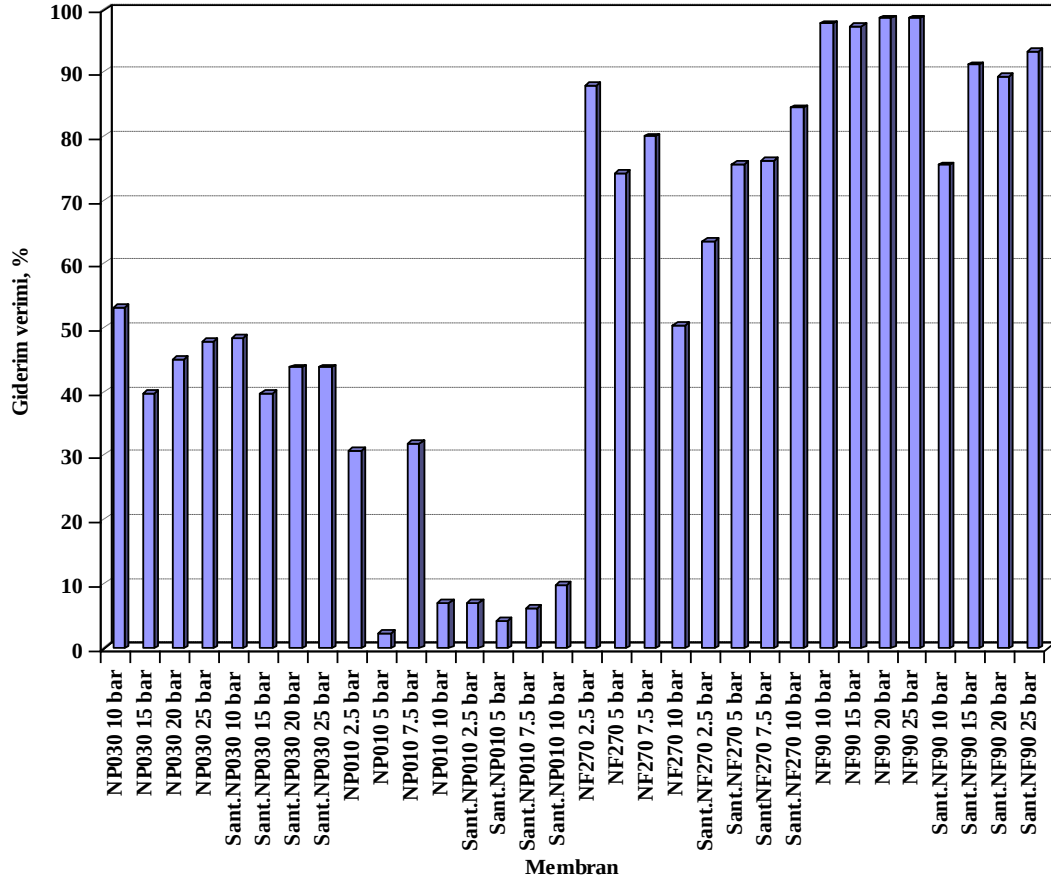
Deniz suyu arıtma amacıyla kullanılması önerilen SW30 membranının işletildiği TMP değerleri membran üreticisi tarafından belirtilen maksimum TMP değerinden oldukça düşüktür. SW30 membranı 35 bar TMP altında işletildiğinde maksimum akı değerinin yaklaşık 1/3'ü kadar bir akı ürettiği bu çalışmada belirlenmiştir. Her basınç değişiminde yeni membranlar kullanılmasına rağmen 35 bar TMP altında BW30 membranının akı değerinde bir önceki basınç değerine göre azalma olduğu görülmektedir. Bu durum kirleticilerin bu basınç değerinde membranda bir önceki basınç değerine göre daha fazla tıkanmaya sebep olması olarak düşünülmektedir.



Şekil 5.21 Ön arıtılmış (MP005+ZW-UF) kompost sızıntı suyunun ileri arıtım membranlarına ait akı grafiği

Organik Madde Giderimi

Kompost sızıntı sularının UC030 ve santrifüj+UC030 membranlarıyla ön arıtımı sonrası uygulanan NP030, NP010, NF270 ve NF90 ileri arıtım membranlarına ait KOİ ve TOK giderme verimleri sırasıyla Şekil 5.22 ve Şekil 5.23'de görülmektedir.



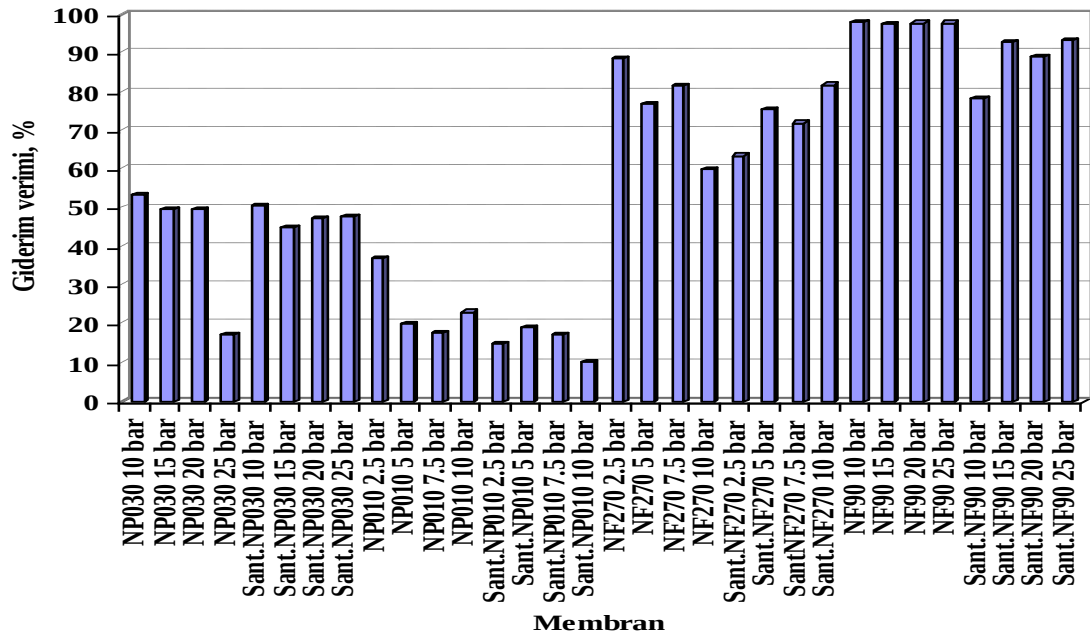
Şekil 5.22 Ön arıtılmış (UC030, sant.+UC030) kompost sızıntı suyunun ileri arıtım membranlarına ait KOİ giderim verimleri

Şekil 5.22’de görüldüğü üzere UC030 ve santrifüj+UC030 membranı kullanımı sonrası uygulanan ileri arıtma membranlarında en düşük KOİ giderme verimi NP010 membranıyla elde edilmiştir. NP010 membranının akı değeri diğer membranlara göre daha yüksek ve KOİ giderim veriminde düşük olması bu membranın % 66’sı çözünmüş olan organik maddelerin gideriminde pek etkili olmadığını göstermektedir. Çözünmüş organik maddelerin düşük oranda giderilmesi bu membranın akısının yüksek olmasının sebeplerinden biri olarak düşünülmektedir. Santrifüj uygulanması sonrası bu membranın giderme veriminde önemli bir düşüş olduğu da Şekil 5.22’de görülmektedir. Şekil 5.22’ye göre NP030 membranın KOİ giderme verimi NP010 membranından daha yüksektir. Bu membranlarda akılar ve KOİ giderme verimleri arasında doğrusal olmayan bir ilişki olduğu anlaşılmaktadır. NP030 membranın akı değerleri NF270 membranından daha düşük olmasına rağmen NF270 membranın KOİ giderme verimi NP030 membranından daha yüksektir. Bu iki membranın MWCO ve üretim malzemelerindeki farklılığın buna sebep olduğu düşünülmektedir. NF90 membranıyla

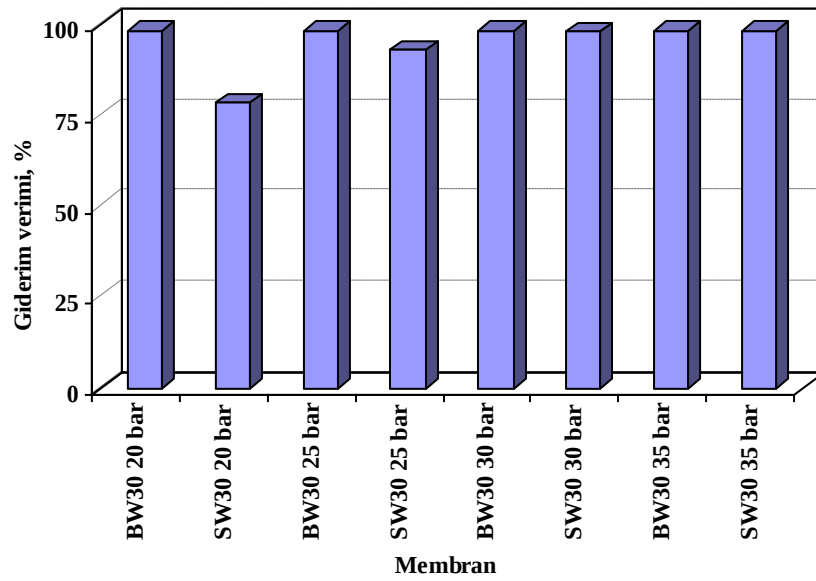
genellikle en yüksek KOİ giderme verimi elde edilmiştir. NF90 membranının KOİ giderme verimi genellikle % 90 ve üzerindedir. Santrifüj ön arıtımı bu membranın giderme veriminde bir miktar düşüşe sebebiyet vermiştir. NF270 ve NF90 membranları aynı materyalle üretilmelerine rağmen aralarında sadece MWCO farklılığı bulunmaktadır. Bu MWCO farklılığının hem akı ve hemde KOİ giderme verimi üzerinde etkili olduğu Şekil 5.20’de ve Şekil 5.22’de görülmektedir. Kullanılan NF membranları arasında KOİ giderme verimi bakımından NF90>NF270>NP030>NP010 şeklinde sıralama söz konusudur.

Bu çalışmada organik madde gideriminin belirlenmesi amacıyla analiz edilen ikinci parametre TOK’tur. Şekil 5.22’de görülen KOİ giderme verimine benzer şekilde Şekil 5.23’de UC030 ve santrifüj+UC030 membranı kullanımı sonrası uygulanan ileri arıtma membranlarında en düşük TOK giderme verimi NP010 membranıyla elde edilmiştir. En yüksek TOK giderme verimi ise KOİ giderimiyle paralellik göstermektedir ve NF90 membranı ile elde edilmiştir. NF90 membranı ile genellikle % 80 ve üzerinde giderme verimi sağlanırken NP010 membranı ile bu oran genellikle % 20’lerden daha düşük oranlarda olmuştur. Şekil 5.23’e göre TOK giderme verimleri bakımından NF membranları KOİ giderme verimine benzer şekilde NF90>NF270>NP030>NP010 sıralanabilir. Membran MWCO’larının ve yapım malzemelerinin TOK gideriminde de etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca santrifüj ön arıtımı uygulamasının, kullanılan NF membranlarında genellikle TOK giderme verimini azalttığı da Şekil 5.23’de görülmektedir.

Kompost sızıntı suyunun MP005+ZW-UF ile ön arıtımı sonrası uygulanan BW30 ve SW30 membranlarının KOİ giderme verimleri Şekil 5.24’de incelendiğinde BW30 membranın giderme veriminin basınç artışından pek etkilenmediği görülmektedir. BW30 membranı ile genellikle % 98 ve üzerinde KOİ giderimi elde edilirken artan TMP değerlerine bağlı olarak SW30 membranın giderme verimi de % 78’den, % 98’lerin üzerine kadar artmıştır. Maksimum işletme basıncı farklı olan bu iki membranın KOİ giderme verimleri 35 bar TMP’de birbirine yakın değere ulaşmıştır.



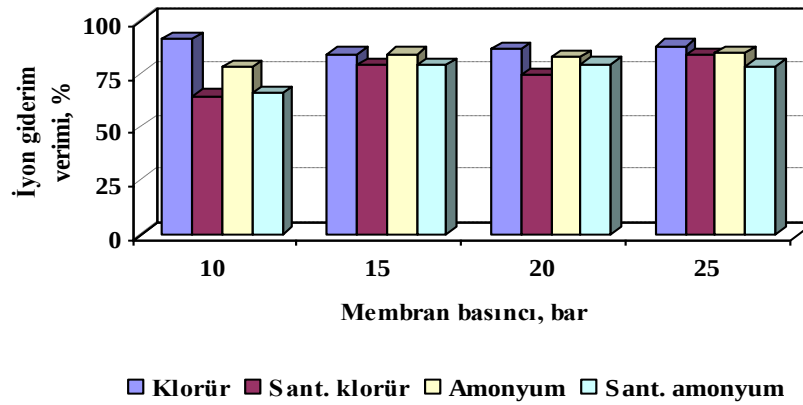
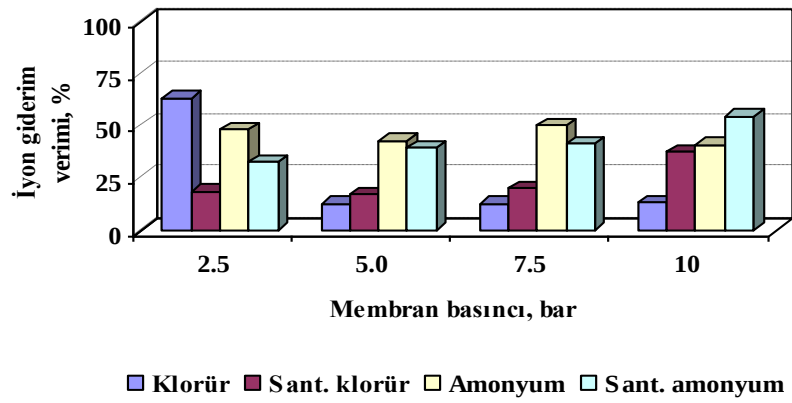
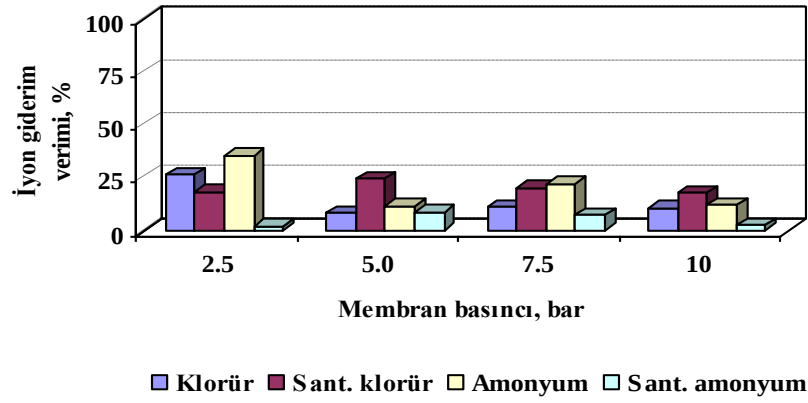
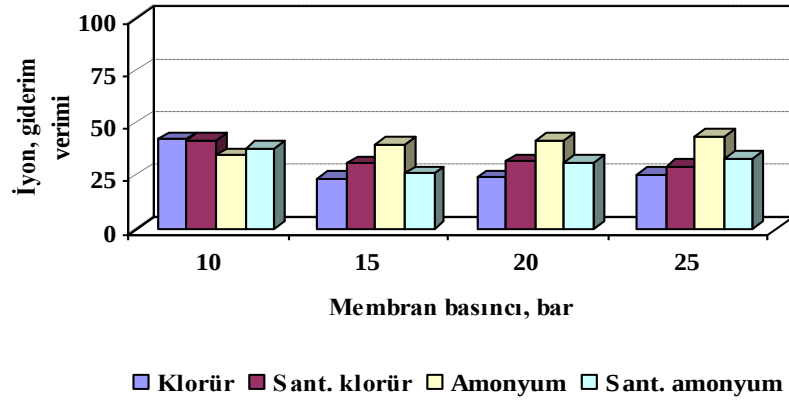
Şekil 5.23 Ön arıtılmış (UC030, sant.+UC030) kompost sızıntı suyunun ileri arıtım membranlarına ait TOK giderim verimleri



Şekil 5.24 Ön arıtılmış (MP005+ZW-UF) kompost sızıntı suyunun ileri arıtım membranlarına ait KOİ giderim verimleri

İyon Giderimi

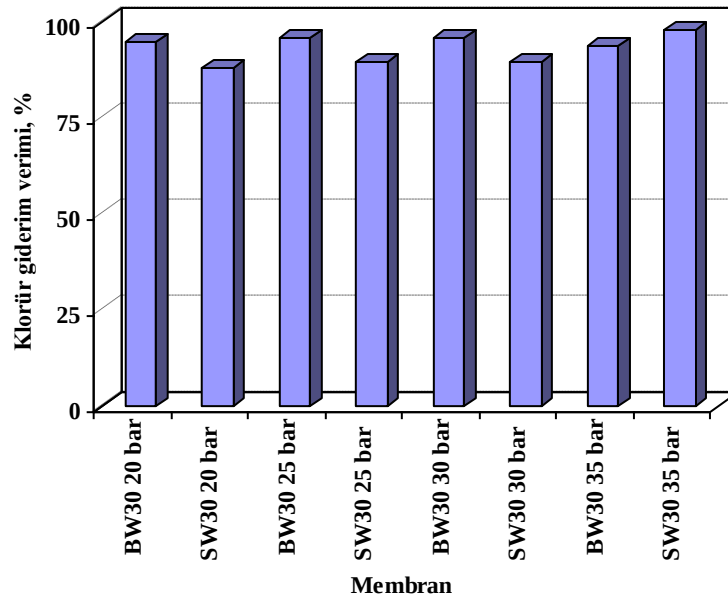
Kompost sızıntı suyunun ön arıtımı sonrası işletilen ileri arıtım membranlarına ait Cl^- ve NH_4^+ iyonlarının giderim verimleri Şekil 5.25’de görülmektedir.



Şekil 5.25 Ön arıtılmış (UC030 ve sant.+UC030) kompost sızıntı suyunun a) NP030 b) NP010 c) NF270 ve d) NF90 membranı iyon giderim verimi

Şekil 5.25’de görüldüğü üzere Cl^- ve NH_4^+ iyonlarının en düşük giderme verimleri NP010 membranı ile elde edilmiştir. Yüksek akı, düşük KOİ, TOK ve iyon giderimi bu membranla sağlanmıştır. NP030 membranı ile Cl^- ve NH_4^+ giderme verimleri % 20 ila % 45 aralığında değişim göstermektedir. NF270 membranı ile Cl^- iyonu giderim verimi genellikle % 20’den daha düşük iken NH_4^+ iyonun giderme verimi ise genellikle % 30-55 aralığında değişim göstermektedir. NF90 membranı ile % 65 ila % 85 aralığında Cl^- ve NH_4^+ iyonlarının giderimi sağlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan NF membranları arasında en düşük MWCO’ya sahip NF90 membranı ile en yüksek KOİ, TOK ve iyon giderimi sağlanmıştır. NF membranlarıyla iyon gideriminde MWCO değerinin önem arz ettiği bu çalışmada da görülmüştür.

Kompost sızıntı suyunun MP005+ZW-UF ile ön arıtımı sonrası uygulanan BW30 ve SW30 membranlarının Cl^- iyonu giderme verimleri Şekil 5.26’da incelendiğinde BW30 membranın giderme veriminin basınç artışından pek etkilenmediği görülmektedir. BW30 membranı ile Cl^- iyonu giderme verimi genellikle % 95 ila % 97 aralığında iken artan TMP değerlerine bağlı olarak SW30 membranın giderme verimi de % 87’den % 98’lere kadar artmıştır. Tuz giderme verimi yüksek olan SW30 membranı ile TMP arttıkça Cl^- iyonu giderme verimi de artmıştır.



Şekil 5.26 Ön arıtılmış (MP005+ZW-UF) kompost sızıntı suyunun ileri arıtım membranlarına ait Cl^- giderim verimleri

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında İstanbul Kompost ve Geri Kazanım Tesisi'nden temin edilen kompost sızıntı sularının membran prosesler ile arıtılabilirliği incelenmiştir. Herhangi bir kimyasal veya biyolojik ön arıtım işlemi uygulanmadan kompost sızıntı suyu santrifüj ön arıtımı ve doğrudan membran proseslerle fiziksel olarak arıtılmıştır. Santrifüj işlemi, MF (MP005) ve UF (UC030 ve ZW-UF) membranları ön arıtma, NF (NP030, NP010, NF270 ve NF90) ve TO (BW30 ve SW30) membranları ise ileri arıtım amacıyla çalışmada kullanılmıştır. Membran performanslarının belirlenmesi amacıyla KOİ, TOK, Cl^- ve NH_4^+ konsantrasyonları analiz edilmiştir. Ayrıca membran performansının en önemli göstergelerinden biri olan akı değeri dijital terazi ve bilgisayar yardımıyla zamana bağlı olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada ulaşılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- UC030, santrifüj+UC030, MP005 ve MP005+ZW-UF membranları ile gerçekleştirilen ön arıtma çalışmalarında UC030 membranın akı değerinin zamanla azalma eğiliminin düşük olduğu ve santrifüjün UC030 membranın akısını arttırmada etkili olmadığı belirlenmiştir. MP005+ZW-UF membranın başlangıç akı değeri yüksek olmasına rağmen akının azalma eğiliminin UC030'a göre daha yüksek olduğu görülmüştür.
- İleri arıtma membranlarında en yüksek akı değeri NP010 membranı ile ve en düşük akı değeri ise iki kademeli ön arıtma sonrası SW30 membranı ile elde edilmiştir. Kullanılan NF membranları arasında uygulanan basınç ve akı değerleri dikkate alınarak bir karşılaştırma yapıldığında akı değerlerine göre sıralama NP010>NF270>NP030>NF90 şeklinde olmaktadır. 25 bar TMP'de BW30 membranıyla NF90 membranından daha fazla akı değeri elde edilmiştir.

- Ön arıtma membranlarıyla en yüksek organik madde giderim verimi UC030 membranıyla elde edilmiştir. Santrifüjün UC030'un organik madde giderimi üzerinde pek etkili olmadığı ve MP005+ZW-UF membranlarıyla ön arıtımın da UC030'dan daha düşük giderme verimi sağladığı belirlenmiştir.
- İleri arıtma membranlarında en yüksek organik madde giderme verimi 30 bar TMP altında işletilen BW30 ve 35 bar TMP altında işletilen SW30 membranlarıyla elde edilirken, en düşük giderme verimi ise NP010 membranıyla elde edilmiştir. Kullanılan NF membranları organik madde giderme verimi bakımından NF90>NF270>NP030>NP010 şeklinde sıralanabilir.
- Ön arıtım membranları kolloidal ve partiküler maddelerin gideriminde etkili olmuştur fakat Cl^- ve NH_4^+ iyonları gideriminde pek etkili olmamıştır.
- İleri arıtım membranlarıyla en yüksek Cl^- giderim verimi SW30 membranı ile elde edilirken en düşük Cl^- giderme verimi ise NP010 membranıyla elde edilmiştir. Cl^- konsantrasyonu SW30 membranı ile 3059 mg/l'den 58 mg/l'ye kadar azaltılmıştır.
- Bu çalışmada elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde gerek akı ve gerekse organik madde ile iyon gideriminde membranın MWCO'su, imal edildiği materyal ve uygulanan TMP'nin etkili olduğu görülmüştür.
- Membran proseslerle kirleticilerin giderme verimlerini arttırmak amacıyla çeşitli biyolojik ve fizikokimyasal (fenton, elektrokoagülasyon vb.) ön arıtım yöntemlerinin membran uygulaması öncesinde kullanılmasının faydalı olabileceği düşünülmektedir. Bu çalışmada da görüldüğü üzere kompost sızıntı sularının yaklaşık % 66'sı çözünmüş haldedir. Biyolojik ön arıtma uygulanması halinde çözünmüş organik maddelerin bir kısmının mikroorganizmalar tarafından giderilebileceği ve membrana ulaşan çözünmüş organik madde konsantrasyonunun daha az olacağı ve böylece membran performansının artacağı düşünülmektedir. Sonuçta yüksek giderme verimine sahip ön arıtım yapılması, kompost sızıntı suyu arıtımında membran proseslerin performansını ve etkili kullanım ömrünü arttırabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Clarke, M.J., Read, A.D. ve Phillips, P.S., (1999). "Integrated Waste Management Planning and Decision-Making in New York City", Resources, Conservation and Recycling, 26: 125–141.
- [2] Farrell, M. ve Jones, D.L., (2009), "Critical Evaluation of Municipal Solid Waste Composting and Potential Compost Markets", Bioresource Technology, 100: 4301–4310.
- [3] T.C. Başbakanlık Türkiye İstatistik Kurumu Haber Bülteni, Belediye Atık İstatistikleri 2008, <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=6214>, 15 Mart 2011.
- [4] T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Atık Yönetimi Daire Başkanlığı, Mimko Mühendislik, İmalat, Müşavirlik, Koordinasyon ve TİC. A.Ş. Engineering Construction Manufacturing Consulting & Trade, (2006). Katı Atık Ana Planı Nihai Rapor Cilt I, İstanbul.
- [5] Prof. Dr. İzzet Öztürk ve T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, (2010), Türkiye'nin Ulusal İklim Değişikliği Eylem Planı'nın Geliştirilmesi Projesi, Atık Sektörü Mevcut Durum Değerlendirmesi Raporu, www.iklim.cob.gov.tr/iklim/.../Atik_Sektoru_Mevcut_Durum_..., 15 Şubat 2011.
- [6] T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Atık Yönetimi Daire Başkanlığı, Mimko Mühendislik, İmalat, Müşavirlik, Koordinasyon ve TİC. A.Ş. Engineering Construction Manufacturing Consulting & Trade, (2006). Katı Atık Ana Planı Katı Atık Oluşumu ve Karakterizasyonu Raporu. İstanbul.
- [7] Bayer, Y., (2008), Ayrı Toplamanın Kompostlaştırma Üzerindeki Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] Hubpages, Gardening, <http://hubpages.com/hub/The-history-of-composting>, 20 Mayıs 2011.
- [9] Wikipedia, Compost, <http://en.wikipedia.org/wiki/Compost>, 20 Mayıs 2011.
- [10] Ingram, D.T., (2009). Assessment of Foodborne Pathogen Survival During Production and Pre-Harvest Application of Compost and Compost Tea, Doctor of Philosophy, Faculty of the Graduate School of the University of Maryland, College Park.

- [11] Weber, J., Karczewska, A., Drozd, J., Licznar, M., Licznar, S., Jamroz, E. ve Kocowicz, A., (2007). "Agricultural and Ecological Aspects of a Sandy Soil as Affected by the Application of Municipal Solid Waste Composts", *Soil Biology and Biochemistry*, 39: 1294–1302.
- [12] United States Environmental Protection Agency, Wastes-Resource, Conservation- Reduce, Reuse, Recycle- Composting, <http://www.epa.gov/wastes/conserve/rrr/composting/basic.htm>, 25 Nisan 2011.
- [13] Durbin, D., (2008) Batch Composting of Human Excrement with Urban Waste Products, A. B. Environmental Studies, Senior Honors Thesis.
- [14] Özkaya, B. ve Demir, A., (2010). "Kompost Teknolojileri ve Uygulama Örnekleri" , ORAK, 8-9 Haziran 2010, İstanbul.
- [15] Diaz, L.F., Savage, G. ve Eggerth, L.L., (2005). Solid Waste Management, First Edition, United Nations Environment Programme International Environmental Technology Centre, Calrecovery, Inc.
- [16] Erdin, E., (2006), Bodrum Yarımadasında Biyoçöplerin (Yaş Çöplerin) Kompostlaştırılması, <http://web.deu.edu.tr/erdin/pubs/doc44.htm>, 20 Mayıs 2011.
- [17] Bagchi, A., (2004). Design of Landfills and Integrated Solid Waste Management, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- [18] Sasikumar, K. ve Krishna, S.G., (2009). Solid Waste Management, Eastern Economy Edition, PHI Learning Private Limited, New Delhi.
- [19] O'Leary, P.R., (1995). Decision Maker's Guide to Solid Waste Management, Second Edition, Environmental Protection Agency Office of Solid Waste, Washington D.C.
- [20] Alpaslan, M.N., (2005). Katı Atıkların Yönetimi, TMMOB Çevre Mühendisleri Odası, İzmir.
- [21] An, K., (2006). Amandments for pH Control in Food-Waste Composting, Master in Environmental System Engineering, University of Regina, Faculty of Graduate Studies and Research, Regina.
- [22] Cheremisinoff, N.P., (2003). Handbook of Solid Waste Management and Waste Minimization Technologies, British Library Cataloguing-in- Publication Data, United States of America.
- [23] Leungprasert, S., (2003). Fate of Formaldehyde in Medium Density Fibreboard Sawdust During Municipal Solid Waste Composting, Doctor of Philosophy, the Faculty of Graduate Studies of the University of Guelph, Canada.
- [24] Öztürk, B. ve Bildik, B., (2005), Hayvan Çiftliklerinde Kompost Üretimi, <http://www2.cevreorman.gov.tr/KompostUretim.html>, 21 Mayıs 2011.
- [25] Li, S., (2007). Evaluation of Wheat Straw Quality And Compost for Mushroom Production, Master of Science, The Faculty of Graduate Studies of The University of Guelph, Canada.
- [26] Vesilind, P.A. ve Worrell, W.A., (2002). Solid Waste Engineering, Second Edition, Cengage Learning, USA.

- [27] Filemon, A. ve Uriarte, Jr., (2008). Solid Waste Management Principles and Practices, The University of the Philippines Press, Quezon City.
- [28] Lin, Y., (2006). Simulation Modeling and Process Control of Composting System Under Complexity and Uncertainty, Doctor of Philosophy, University of Regina, Canada.
- [29] Uysal, F., (2008). Katı Atıklar, Namık Kemal Üniversitesi, Lisans Ders Notları, Çorlu, Tekirdağ.
- [30] United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service, Part 637 Environmental Engineering National Engineering Handbook, www.wsi.nrcs.usda.gov/products/w2q/awm/docs/neh637c2.pdf, 15 Şubat 2011.
- [31] Çevre ve Orman Bakanlığı, Atık Yönetimi, www.atikyonetimi.cevreorman.gov.tr/evsel/1.doc, 10 Mayıs 2011.
- [32] E&A Environmental Consultants, Inc., Evaluation and Prioritization of Compost Facility Runoff Management Methods, <http://www.p2pays.org/ref/14/13426.pdf>, 15 Şubat 2011.
- [33] United States Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response, (1994). Composting of Yard Trimmings and Municipal Solid Waste.
- [34] Trujillo, D., Font, X. ve S´anchez, A., (2006). “Use of Fenton Reaction for The Treatment of Leachate From Composting of Different Wastes”, Journal of Hazardous Materials, B138: 201–204.
- [35] Liu, C. ve Loa, K.V., (2001). “Ammonia Removal From Compost Lachate Using Zeolite. II. A Study Using Continuous Flow Packed Columns”, Journal of Environmental Science and Health, Part B, 36(5): 667-675.
- [36] Nayono, S.E., Winter, J. ve Gallert, C., (2010). “Anaerobic Digestion of Pressed off Leachate From the Organic Fraction of Municipal Solid Waste”, Waste Management, 30: 1828–1833.
- [37] Tyrrel, S.F., Seymour, I. ve Haris, J.A., (2008). “Bioremediation of Leachate from a Green Waste Composting Facility Using Waste-Derived Filter Media”, Bioresource Technology, 99: 7657–7664.
- [38] Savage, A.J. ve Tyrrel, S.F., (2005). "Compost Liquor Bioremediation Using Waste Materials as Biofiltration Media", Bioresource Technology, 96: 557–564.
- [39] Wang, Y., Pelkonen, M. ve Kotro, M., (2010). "Treatment of High Ammonium–Nitrogen Wastewater from Composting Facilities by Air Stripping and Catalytic Oxidation", Water Air Soil Pollut. 208: 259–273.
- [40] Laitinen, N., Luonsi, A. ve Vilen, J., (2006). "Landfill Leachate Treatment with Sequencing Batch Reactor and Membrane Bioreactor", Desalination, 191: 86–91.
- [41] Ravanchi, M.T., Kaghazchi, M.T. ve Kargarib, A., (2009). "Application of Membrane Separation Processes in Petrochemical Industry: A Review", Desalination, 235: 199–244.

- [42] Mulder, M., (1996). Basic Principles of Membrane Technology, Second Edition, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- [43] Coutinho, C.M., Chiu, M.C., Basso, R.C. ve Ribeiro, A.P.B., (2009). "State of Art of the Application of Membrane Technology to Vegetable Oils: A review", Food Research International, 42: 536–550.
- [44] Öztürk, İ., Timur, H. ve Koşkan, U., Atıksu Arıtımının Esasları, Evsel, Endüstriyel Atık su Arıtımı ve Arıtma Çamurlarının Kontrolü, web.deu.edu.tr/atiksu/ana58/kapak.pdf, 10 Mart 2009.
- [45] Scott, K. ve Hughes, R., (1996). Industrial Membrane Separation Technology, Chapman & Hall, London.
- [46] Shirazi, S., Lin, C. ve Chen, D., (2010). "Inorganic Fouling of Pressure-Driven Membrane Processes — A Critical Review", Desalination, 250: 236–248.
- [47] Koyuncu, İ., (2006), Çevre Mühendisliğinde Membran Prosesler, İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Ders Notları, İstanbul.
- [48] Bruggen, B.V.D., Lejon, L. ve Vandecasteele, C., (2003). "Reuse, Treatment and Discharge of the Concentrate of Pressure-Driven Membrane Processes", Environmental Science and Technology, 37(17): 3733-3738
- [49] American Water Works Association Research Foundation, Lyonnaise des Eaux,. Water Research Commission of South Africa, (1996). Water Treatment Membran Process, McGraw-Hill Companies, United States of America
- [50] European Membrane House, Membrane Principles, <http://www.euromemhouse.com/Principles-of-Membrane-Technology/Membrane-Technology.html>, 8 Temmuz 2011.
- [51] Wang, L.K., Chen, J.P., Hung, Y-T. ve Shammas, N.K., (2011), Membrane and Desalination Technologies, Springer Science, USA.
- [52] Mu, C., Su, Y., Sun, M., Chen, W. ve Jiang, Z., (2010). "Remarkable Improvement of the Performance of Poly(vinylidene fluoride) Microfiltration Membranes by the Additive of Cellulose Acetate", Journal of Membrane Science, 350: 293–300.
- [53] Cheng, S., Oatley, D.L., Williams, P.M. ve Wright C.J., (2011). "Positively Charged Nanofiltration Membranes: Review of Current Fabrication Methods and Introduction of a Novel Approach", Advances in Colloid and Interface Science, 164: 12–20.
- [54] Bermea, E.A., (1999). Dual-Membran Treatment of the Rio Grande: Meeting El Paso's Future Water Demands, Master of Science, The University of Texas Civil Engineering Department, El Paso.
- [55] Öztürk, M., (2007). Ters Osmoz Sistemleri İle Tuzlu/Atık Suların Arıtımı, [www.mozturk.net/Upload//membran%20son1\(1\).pdf](http://www.mozturk.net/Upload//membran%20son1(1).pdf), 15 Mart 2009.
- [56] Rodriguez, R.I.P., (2005). Control Of Silica Scaling Phenomena In Reverse Osmosis Systems, Doctor of Philosophy, The University of Texas, Austin.
- [57] Baker, R.W., (2004). Membrane Technology and Application, Second Edition, John Wiley & Sons, Ltd., England.

- [58] Li, N.N., Fane, A.G., Ho, W.S.W. ve Matsuura, T., (2008). Advanced Membrane Technology and Application, John Wiley & Sons. Inc., United States of America.
- [59] Hurd, S.M., (1999). Low Pressure Reverse Osmosis Membrane Treatment of Landfill Leachate, Master of Engineering, University of Ottawa, Department of Civil and Environmental Engineering, Ottawa.
- [60] United States Environmental Protection Agency, Office of Water (4601), Membrane Filtration Guidance Manual, www.epa.gov/ogwdw/disinfection/.../guide_lt2_membranefiltration_final.p..., 7 Temmuz 2011.
- [61] Aydınol, İ.F., (2009). İleri Su Arıtma Metotları, Yıldız Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Ders Notları, İstanbul.
- [62] Koch Membrane Systems, Configurations, www.kochmembrane.com/prod_tubular.html, 07 Temmuz 2011.
- [63] Aydın, M.İ., (2010). Batık Membran Sistemleri ile Su Arıtımı ve Uygulamaları, Lisans Bitirme Çalışması, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [64] Water Online, Products and Services, <http://www.wateronline.com/product.mvc/MEMCOR-XS-Pre-Engineered-Submerged-Membrane-S-0001>, 16 Temmuz 2011.
- [65] Noble, R.D. ve Stern, S.A. (1995). Membrane Science and Tehnology Series, 2, Membrane Separations Technology Principles and Applications, Elsevier Science B.V., Netherlands.
- [66] Al-Amoudi, A.S., (2010). "Factors Affecting Natural Organic Matter (NOM) and Scaling Fouling in NF Membranes: A Review", Desalination, 259: 1–10.
- [67] Al-Amoudi, A. ve Lovitt, R.W., (2007). "Fouling Strategies and The Cleaning System of NF Membranes And Factors Affecting Cleaning Efficiency", Journal of Membrane Science, 303: 4–28.
- [68] Liu, L-F., Yu, S-C., Wu, L-G. ve Gaob, C-J., (2006). "Study on a Novel Polyamide-Urea Reverse Osmosis Composite Membrane (ICIC-MPD) II. Analysis of Membrane Antifouling Performance", Journal of Membrane Science, 283: 133–146.
- [69] Yu, H-L., Liu, L-Q., Tang, Z-Q., Yan, M-G., Gu, J-S. ve Wei, X-W., (2008). "Mitigated Membrane Fouling In An SMBR By Surface Modification", Journal of Membrane Science, 310: 409–417.
- [70] Nanda, D., Tung, K-L., Li, Y-L., Lin, N-J. ve Chuang, C-J., (2010). "Effect of pH on Membrane Morphology, Fouling Potential And Filtration Performance of Nanofiltration Membrane For Water Softening", Journal of Membrane Science, 349: 411–420.
- [71] Metcalf & Eddy, (2004), Wastewater Engineering Treatment and Reuse, Fourth Edition, McGraw-Hill, New York.
- [72] Öztürk, İ., Demir, İ., Akgül, H.O., Yıldız, Ş., Özabalı, A. ve Tezer, B.H., (2007). "İstanbul İçin AB İle Uyumlu Entegre Katı Atık Yönetimi Stratejik

Planı”, Türkay 2007 AB Sürecinde Türkiye'de Katı Atık Yönetimi ve evre Sorunları Sempozyumu, 28-31 Mayıs 2007, İstanbul.

- [73] Varank, G., Demir, A., Akkaya, E., Bilgili, M.S. ve zkaya, B., (2007). “Kompost ürünü ve Aerobik Stabilize Edilmiş Katı Atıkların Fototoksisite ve Hijyen Kalitesi Bakımından Değerlendirilmesi”, Türkay 2007 AB Sürecinde Türkiye'de Katı Atık Yönetimi ve evre Sorunları Sempozyumu, 28-31 Mayıs 2007, İstanbul.
- [74] Korkut, E. ve Erol, V., (2007). "Atık Bertarafında Biyolojik Yöntemler Kompostlaştırma ve Geri Kazanım", TÜRKAY 2007 AB Sürecinde Türkiye'de Katı Atık Yönetimi ve evre Sorunları Sempozyumu, 28-31 Mayıs 2007, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı :Vahide Şeyda ÖZYAKA
Doğum Tarihi ve Yeri :15/02/1986, İstanbul
Yabancı Dili :İngilizce
E-posta :seyda_ozyaka@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Çevre Mühendisliği	Trakya Üniversitesi	2008
Lise	Sayısal	Erenköy Kız Lisesi	2004