

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SIZINTI SULARININ MEMBRAN PROSESLERLE ARITILABİLİRLİĞİ: ODAYERİ
ÖRNEĞİ**

GÖKÇEN ACI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. MEHMET ÇAKMAKCI**

İSTANBUL, 2011

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SIZINTI SULARININ MEMBRAN PROSESLERLE ARITILABİLİRLİĞİ: ODAYERİ
ÖRNEĞİ

Gökçen ACI tarafından hazırlanan tez çalışması 20.06.2011 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

Yrd. Doç. Dr. Bestamin ÖZKAYA
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İsmail KOYUNCU
İstanbul 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

Çalışmada biyolojik ve kimyasal olarak arıtımı zor olan sızıntı suyunun membran prosesler ile arıtımı incelenmektedir. Literatür incelendiğinde ham sızıntı suyunun arıtımında membran prosesler sadece ileri arıtım kademesi olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise ham sızıntı suyu herhangi bir biyolojik veya kimyasal ön arıtım işleminde tabi tutulmadan membran prosesler ile arıtılabilirliği incelenmiştir. Biyolojik ve kimyasal ön arıtım yerine mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon gibi ön arıtım membranları ve ileri arıtım için nanofiltrasyon ve ters osmoz membranları kullanılmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen çıkış konsantrasyonları daha önce yapılan çalışmalar ile mukayesesi yapılmıştır.

Çalışmamın yürütülmesinde sırasında gösterdiği katkı ve özveri sebebiyle Sayın Hocam Doç. Dr. Mehmet ÇAKMAKCI'ya şükranlarımı sunarım.

Çalışmamın yönlendirilmesinde verdiği fikir ve görüşler ile birlikte çalışmama destek ve yakın alaka gösteren Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Bestamin ÖZKAYA'ya şükranlarımı sunarım.

Çalışma süresince atıksu numunelerinin temininde ve organizasyonunda katkılarından dolayı Odayeri Katı Atık Düzenli Depolama Sahası çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam sürecinde manevi desteğini esirgemeyen ve çalışmama gösterdiği sabır ve katkılarından dolayı Yasemin KALKAN'a şükranlarımı sunarım.

Bu günlere gelmemde maddi ve manevi desteğini bir an olsun esirgemeyen ve yalnız bırakmayan babam Ayhan ACI'ya ve annem Fatma ACI'ya en içten şükranlarımı sunarım.

Mayıs, 2011

Gökçen ACI

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	viii
KISALTMA LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ÖZET.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	2
BÖLÜM 2	
KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA SAHASI VE SIZINTI SUYU OLUŞUMU	3
2.1 Katı Atık	3
2.1.1 Katı Atık Depolama Sahası	3
2.1.2 Ülkemizde Katı Atıklarla İlgili Çeşitli İstatistik Verileri	5
2.2 Katı Atık Düzenli Depolama Sahalarında Sızıntı Suyu Oluşumu.....	8
2.2.1 Sızıntı Suyu Karakterizasyonu	10
2.3 Sızıntı Suyu Arıtımı	12
BÖLÜM 3	
MEMBRAN PROSESLER	14
3.1 Giriş	14
3.2 Membranların Sınıflandırılması, Modülleri ve Özellikleri	17
3.3 Batık Membran Prosesler	21
3.4 Membran Proseslerin Performansını Etkileyen Parametreler	22
3.4.1 Akı	22
3.4.2 Sıcaklık.....	24

3.4.3	pH.....	24
3.4.4	Membran Kirliliği	24
3.5	Sızıntı Suyu Arıtımının Membran Proseslerle Gerçekleştirildiği Örnek Çalışmalar.....	27
BÖLÜM 4		
DENEYSEL YAKLAŞIM.....		33
4.1	Odayeri Katı Atık Düzenli Depolama Sahası.....	33
4.2	Deneyisel Çalışma Düzeneği	37
4.2.1	Tabaka Membran Düzeneği.....	37
4.2.2	Batık Membran Sistemi (Submerged Membrane).....	37
4.3	Çalışma Kullanılan Membranlar	38
4.4	Deney Düzeneklerinin İşletme Prosedürleri	39
4.4.1	Tabaka (flat sheet) Membran Düzeneği İşletme Prosedürü.....	39
4.4.2	Batık Membran Düzeneğinin İşletme Prosedürü	41
4.4.3	Batık (Submerged Membrane) Membran Düzeneği İşletme Prosedürü	41
4.5	Analizler	42
4.6	Deneyisel Çalışma Sistematiği	43
BÖLÜM 5		
DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME		44
5.1	Genç Sızıntı Suyu Deney Verileri	44
5.1.1	MP005, NF270, NF90, BW30 ve XLE Membranlarıyla Gerçekleştirilen Deneyisel Çalışma Verileri	44
5.1.1.1	MP005 Mikrofiltrasyon Membraniyle Önarıtma Deney Verileri .	44
5.1.1.2	MP005 Mikrofiltrasyon Membrani Önarıtımı Sonrası NF270, NF90, BW30 ve XLE Membranlarıyla İleri Arıtım Deney Verileri	45
5.1.2	UC030, NF270, NF90, BW30 ve XLE Membranlarıyla Gerçekleştirilen Deney Çalışma Verileri	53
5.1.2.1	UC030 Ultrafiltrasyon Membraniyle Önarıtma Deney Verileri....	53
5.1.2.2	UC030 Ultrafiltrasyon Önarıtımı Sonrası NF270, NF90, BW30 ve XLE Membranlarıyla İleri Arıtıma Deney Verileri	54
5.1.3	MP005, ZW-UF, BW30 ve SW30 Membranlarıyla Gerçekleştirilen Deney Çalışma Verileri	62
5.1.3.1	MP005+ZW-UF Membranlarıyla Önarıtma Deney Verileri	62
5.1.3.2	MP005+ZW-UF Önarıtımı Sonrası BW30 ve SW30 Membranlarıyla İleri Arıtıma Deney Verileri	63
5.1.4	MP005, UC030, BW30 ve SW30 Membranlarıyla Gerçekleştirilen Deney Çalışma Verileri	65
5.1.4.1	MP005+UC030 Membranlarıyla Önarıtma Deney Verileri	65
5.1.4.2	MP005+UC030 Önarıtımı Sonrası BW30 ve SW30 Membranlarıyla İleri Arıtıma Deney Verileri	66
5.2	Yaşlı Sızıntı Suyu Deney Verileri	67
5.2.1	MP005, NF270, NF90, BW30 ve XLE Membranlarıyla Gerçekleştirilen Deney Çalışma Verileri	67

5.2.1.1	MP005 Mikrofiltrasyon Membraniyle Önartıma Deney Verileri .	67
5.2.1.2	MP005 Mikrofiltrasyon Önartımı Sonrası NF270, NF90, BW30 ve XLE Membranlarıyla İleri Arıtıma Deney Verileri	68
5.2.2	UC030, NF270, NF90, BW30 ve XLE Membranlarıyla Gerçekleştirilen Deney Çalışma Verileri	77
5.2.2.1	UC030 Ultrafiltrasyon Membraniyle Önartıma Deney Verileri....	77
5.2.2.2	UC030 Ultrafiltrasyon Önartımı Sonrası NF270, NF90, BW30 ve XLE Membranlarıyla İleri Arıtıma Deney Verileri	78
5.2.3	MP005, ZW-UF, BW30 ve SW30 Membranlarıyla Gerçekleştirilen Deney Çalışma Verileri	86
5.2.3.1	MP005+ZW-UF Membranlarıyla Önartıma Deney Verileri	86
5.2.3.2	MP005+ZW-UF Önartımı Sonrası BW30 ve SW30 Membranlarıyla İleri Arıtıma Deney Verileri	87
5.2.4	MP005, UC030, BW30 ve SW30 Membranlarıyla Gerçekleştirilen Deney Çalışma Verileri	89
5.2.4.1	MP005+UC030 Membranlarıyla Önartıma Deney Verileri	89
5.2.4.2	MP005+UC030 Önartımı Sonrası BW30 ve SW30 Membranlarıyla İleri Arıtıma Deney Verileri	90
5.3	Genç ve Yaşlı Sızıntı Suyu Deney Verilerinin Karşılaştırılması.....	91
5.3.1	MP005, UC030, MP005+ZW-UF, MP005+UC030 Önartım Membranları Deney Verilerinin Karşılaştırılması	91
5.3.2	NF270, NF90, BW30, XLE, SW30 İleri Arıtım Membranları Deney Verilerinin Karşılaştırılması	95

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER	109
KAYNAKLAR.....	112
EK-A.....	114
ÇALIŞMAYA AİT FOTOĞRAFLAR.....	114
EK-B.....	117
ULUSAL POSTER BİLDİRİSİ.....	118
ÖZGEÇMİŞ.....	119

SİMGE LİSTESİ

ΔP	Basınç farkı
ΔC	Konsantrasyon farkı
ΔT	Sıcaklık farkı
ΔE	Elektriksel potansiyel fark
CR	Kritik oran
J	Süzüntü akısı
η	Süzüntü viskozitesi
R_t	Toplam direnç
R_m	Membran direnci
R_p	Por direnci
R_c	Kek direncinin toplamı
R	Alıkonulan kirletici oranı
C_p	Membrandan geçen çözünen madde konsantrasyonu
C_f	Besleme fazındaki çözünen madde konsantrasyonu
r	Geri kazanma oranı
Q_p	Temizsu debisi
Q_f	Membrana beslenen suyun debisi
Q_c	Konsantre debisi
J_{20}	20°C'deki akı
T	Sıcaklık
C_B	Besleme çözeltisindeki çözünen madde konsantrasyonu
C_G	Membran üzerindeki kirletici madde konsantrasyonu
C_p	Membrandan geçen çözünen madde konsantrasyonu
x	Sınır tabaka mesafesi
δ	Ana çözelti mesafesi

KISALTMA LİSTESİ

TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu
KOI	Kimyasal oksijen ihtiyacı
BOİ ₅	Biyokimyasal oksijen ihtiyacı
TOK	Toplam organik karbon
MBR	Membran biyoreaktör
MF	Mikrofiltrasyon
UF	Ultrafiltrasyon
NF	Nanofiltrasyon
RO	Ters osmoz
PV	Pervaporasyon
ED	Elektrodiyaliz
İSTAÇ	Odayeri Katı Atık Düzenli Depolama Sahası
MWCO	Moleküler boyut dağılımı
TMP	Transmembran basıncı

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 Katı atık depo sahasının en kesit görünüşü	4
Şekil 2.2 2008 Yılı depolanan tehlikesiz katı atık bileşenleri ve yüzdesel dağılımları	7
Şekil 2.3 Katı atıkların sızıntı suyu oluşum basamakları.....	9
Şekil 3.1 Membran proses akış diyagramı	14
Şekil 3.2 Batık membran sisteminin akım diyagramı	21
Şekil 3.3 Konsantrasyon polarizasyonu ve jel tabaka oluşumu	25
Şekil 4.1 İSTAÇ Odayeri Katı Atık Düzenli Depolama Sahası'nın genel krokisi.....	33
Şekil 4.2 İSTAÇ Odayeri Katı Atık Düzenli Depolama Sahası'nın detaylı planı	34
Şekil 4.3 Genç sızıntı suyunun (a) 0.45 µm'lik filtre yüzeyindeki kalıntı (b) 0.45 µm'lik filtreden geçen süzüntünün moleküler boyut dağılımı (MWCO) analizi	36
Şekil 4.4 Yaşlı sızıntı suyunun (a) 0.45 µm'lik filtre yüzeyindeki kalıntı (b) 0.45 µm'lik filtreden geçen süzüntünün moleküler boyut dağılımı (MWCO) analizi	36
Şekil 4.5 Laboratuvar ölçekli membran düzeneğinin akım şeması	37
Şekil 4.6 Laboratuvar ölçekli batık membran düzeneğinin akım şeması	38
Şekil 4.7 Genç ve yaşlı sızıntı sularının tabaka membran deney düzeneğindeki ön ve ileri arıtım aşamaları	41
Şekil 4.8 Genç ve yaşlı sızıntı sularının iki kademeli ön arıtımı sonrası batık ve basınçlı membran deney düzeneğindeki ileri arıtım aşamaları	42
Şekil 5.1 Genç sızıntı suyunun MP005 membranı ile ön arıtımının akı grafiği	45
Şekil 5.2 Genç sızıntı suyu MP005 sonrası (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE ileri arıtım akı verileri	47
Şekil 5.3 MP005 ile önarıtımı yapılmış genç sızıntı suyunun ileri arıtımı sonrası KOİ konsantrasyonları ve giderme verimleri (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE.....	48
Şekil 5.4 MP005 ile önarıtımı yapılmış genç sızıntı suyunun ileri arıtımı sonrası TOK konsantrasyonları ve giderme verimleri (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE.....	49
Şekil 5.5 MP005 ile önarıtımı yapılmış genç sızıntı suyunun ileri arıtımı sonrası ağır metal giderme verimleri (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE	51
Şekil 5.6 MP005 ile önarıtımı yapılmış genç sızıntı suyunun ileri arıtımı sonrası iyon konsantrasyonları (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE	52
Şekil 5.7 Genç sızıntı suyunun UC030 membranı ile ön arıtımının akı grafiği	53
Şekil 5.8 Genç sızıntı suyu UC030 sonrası (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE ileri arıtım akı verileri	56

Şekil 5.9 UC030 ile önarıtımı yapılmış genç sızıntı suyunun ileri arıtımı sonrası KOİ konsantrasyonları ve giderme verimleri (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE.....	57
Şekil 5.10 UC030 ile önarıtımı yapılmış genç sızıntı suyunun ileri arıtımı sonrası TOK konsantrasyonları ve giderme verimleri (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE	58
Şekil 5.11 UC030 ile önarıtımı yapılmış genç sızıntı suyunun ileri arıtımı sonrası ağır metal giderme verimleri (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE.....	60
Şekil 5.12 UC030 ile önarıtımı yapılmış genç sızıntı suyunun ileri arıtımı sonrası iyon konsantrasyonları (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE	61
Şekil 5.13 Genç sızıntı suyunun MP005 sonrası ZW-UF ön arıtımında elde edilen akı grafiği.....	62
Şekil 5.14 Genç sızıntı suyunun MP005 sonrası ZW-UF ön arıtımında elde edilen basınç değişim grafiği	63
Şekil 5.15 Genç sızıntı suyunun MP005 + ZW-UF ön arıtım sonrası BW30 ve SW30 ileri arıtım membranlarından elde edilen akı grafiği.....	64
Şekil 5.16 Genç sızıntı suyunun MP005 sonrası UC030 ön arıtımında elde edilen akı grafiği.....	65
Şekil 5.17 Genç sızıntı suyunun MP005+UC030 ön arıtım sonrası BW30 ve SW30 ileri arıtım membranlarından elde edilen akı grafiği.....	66
Şekil 5.18 Yaşlı sızıntı suyunun MP005 ön arıtımında elde edilen akı grafiği	68
Şekil 5.19 Yaşlı sızıntı suyu MP005 sonrası (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE ileri arıtım akı verileri	70
Şekil 5.20 MP005 ile önarıtımı yapılmış yaşlı sızıntı suyunun ileri arıtımı sonrası KOİ konsantrasyonları ve giderme verimleri (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE	72
Şekil 5.21 MP005 ile önarıtımı yapılmış yaşlı sızıntı suyunun ileri arıtımı sonrası TOK konsantrasyonları ve giderme verimleri (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE	73
Şekil 5.22 MP005 ile önarıtımı yapılmış yaşlı sızıntı suyunun ileri arıtımı sonrası ağır metal giderme verimleri (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE.....	74
Şekil 5.23 MP005 ile önarıtımı yapılmış yaşlı sızıntı suyunun ileri arıtımı sonrası iyon konsantrasyonları (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE	76
Şekil 5.24 Yaşlı sızıntı suyunun UC030 ön arıtımında elde edilen akı grafiği.....	77
Şekil 5.25 Yaşlı sızıntı suyu UC030 sonrası (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE ileri arıtım akı verileri	80
Şekil 5.26 UC030 ile önarıtımı yapılmış yaşlı sızıntı suyunun ileri arıtımı sonrası KOİ konsantrasyonları ve giderme verimleri (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE	81
Şekil 5.27 UC030 ile önarıtımı yapılmış yaşlı sızıntı suyunun ileri arıtımı sonrası TOK konsantrasyonları ve giderme verimleri (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE	82
Şekil 5.28 UC030 ile önarıtımı yapılmış yaşlı sızıntı suyunun ileri arıtımı sonrası ağır metal giderme verimleri (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE.....	84
Şekil 5.29 UC030 ile önarıtımı yapılmış yaşlı sızıntı suyunun ileri arıtımı sonrası iyon konsantrasyonları (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE	85

Şekil 5.30 Yaşlı sızıntı suyunun MP005 sonrası ZW-UF ön arıtımında elde edilen akı grafiği.....	86
Şekil 5.31 Yaşlı sızıntı suyunun MP005 sonrası ZW-UF ön arıtımında elde edilen basınç değişim grafiği	87
Şekil 5.32 Yaşlı sızıntı suyunun MP005 + ZW-UF ön arıtım sonrası BW30 ve SW30 ileri arıtım membranlarından elde edilen akı grafiği.....	88
Şekil 5.33 Yaşlı sızıntı suyunun MP005 sonrası UC030 ön arıtımında elde edilen akı grafiği.....	89
Şekil 5.34 Yaşlı sızıntı suyunun MP005 + UC030 ön arıtım sonrası BW30 ve SW30 ileri arıtım membranlarından elde edilen akı grafiği.....	90
Şekil 5.35 Genç ve yaşlısızıntı suyu önarıtım membranlarına ait akı değerlerinin karşılaştırılması.....	92
Şekil 5.36 Genç sızıntı suyu önarıtım membranlarına ait KOİ ve TOK giderim verimleri karşılaştırılması.....	93
Şekil 5.37 Yaşlı sızıntı suyu önarıtım membranlarına ait KOİ ve TOK giderim verimleri karşılaştırılması.....	94
Şekil 5.38 Genç sızıntı suyunun MP005 sonrası basınca bağlı ileri arıtım akı değerleri ..	96
Şekil 5.39 Genç sızıntı suyunun UC030 sonrası basınca bağlı ileri arıtım akı değerleri ..	96
Şekil 5.40 Yaşlı sızıntı suyunun MP005 sonrası basınca bağlı ileri arıtım akı değerleri ..	97
Şekil 5.41 Yaşlı sızıntı suyunun UC030 sonrası basınca bağlı ileri arıtım akı değerleri ...	97
Şekil 5.42 Genç sızıntı suyunun 35 bar basınç altında BW30 ve SW30 sonrası ileri arıtım akı değerleri.....	98
Şekil 5.43 Yaşlı sızıntı suyunun 35 bar basınç altında BW30 ve SW30 sonrası ileri arıtım akı değerleri.....	98
Şekil 5.44 Genç sızıntı suyunun MP005 sonrası basınca bağlı ileri arıtım KOİ giderim verimleri	99
Şekil 5.45 Genç sızıntı suyunun UC030 sonrası basınca bağlı ileri arıtım KOİ giderim verimleri	100
Şekil 5.46 Yaşlı sızıntı suyunun MP005 sonrası basınca bağlı ileri arıtım KOİ giderim verimleri	101
Şekil 5.47 Yaşlı sızıntı suyunun UC030 sonrası basınca bağlı ileri arıtım KOİ giderim verimleri	101
Şekil 5.48 Genç sızıntı suyunun MP005 sonrası basınca bağlı ileri arıtım TOK giderim verimleri	102
Şekil 5.49 Genç sızıntı suyunun UC030 sonrası basınca bağlı ileri arıtım TOK giderim verimleri	103
Şekil 5.50 Yaşlı sızıntı suyunun MP005 sonrası basınca bağlı ileri arıtım TOK giderim verimleri	104
Şekil 5.51 Yaşlı sızıntı suyunun UC030 sonrası basınca bağlı ileri arıtım TOK giderim verimleri	104
Şekil 5.52 Genç sızıntı suyunun 35 bar basınç altında BW30 ve SW30 sonrası ileri arıtım KOİ ve TOK giderim verimleri	105
Şekil 5.53 Yaşlı sızıntı suyunun 35 bar basınç altında BW30 ve SW30 sonrası ileri arıtım KOİ ve TOK giderim verimleri	105

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 2001 – 2008 Yılları arasında ülkemizdeki belediye sayısı ve katı atık miktarındaki değişim.....	5
Çizelge 2.2 2001 – 2008 Yılları arasında İstanbul'daki katı atık miktarı değişimi	6
Çizelge 2.3 2008 Türkiye ve İstanbul'daki yaz ve kış mevsimlerinde üretilen katı atık miktarları ve kişi başı günlük katı atık tüketim miktarları.....	7
Çizelge 2.4 Sızıntı suyu tipleri.....	11
Çizelge 2.5 Sızıntı suyu bileşenlerinin depo yaşına bağlı olarak değişimi	11
Çizelge 3.1 Membranların gelişimini etkileyen tarihsel olaylar	15
Çizelge 3.2 Membran proseslerinin tarihsel gelişimi	16
Çizelge 3.3 Membran üretiminde kullanılan bazı organik polimerler ve inorganik maddeler	18
Çizelge 3.4 Sürücü kuvvetlerine göre membran proseslerin sınıflandırılması	18
Çizelge 3.5 Su arıtımında kullanılan bazı membran proseslerinin özellikleri	19
Çizelge 3.6 Membran kirliliği kaynakları.	26
Çizelge 4.1 Genç ve yaşlı sızıntı sularının analiz sonuçları	35
Çizelge 4.2 Genç ve yaşlı sızıntı sularının moleküler boyut dağılımı (MWCO) analiz sonuçları.....	35
Çizelge 4.3 Membranların teknik özellikleri.....	39
Çizelge 4.4 Analiz yöntemleri.....	43
Çizelge 4.5 Deneysel çalışma sistemi.....	43
Çizelge 5.1 Genç ve yaşlı sızıntı suyunun ağır metal giderim verimleri	107
Çizelge 5.2 Genç ve yaşlı sızıntı suyunun iyon giderim verimleri.....	108

SIZINTI SULARININ MEMBRAN PROSESLERLE ARITILABİLİRLİĞİ: ODAYERİ ÖRNEĞİ

Gökçen ACI

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet ÇAKMAKCI

Konvansiyonel sistemlerle arıtımında güçlükler yaşanan genç ve yaşlı çöp sızıntı sularının membran proseslerle arıtılabilirliğinin bu çalışmada araştırılmıştır. Çalışmada mikrofiltrasyon (MP005), ultrafiltrasyon (UC030), ters osmoz (BW30, XLE ve SW30) ve nanofiltrasyon (NF90 ve NF270) membranları basınçla işletilirken, hollow-fiber (batık ultrafiltrasyon, ZW-UF) membranı ise vakumla işletilmiştir. MP005, UC030 ve ZW-UF membranları nanofiltrasyon ve ters osmoz membranları öncesinde ön arıtma amacıyla kullanılmıştır. Genç ve yaşlı sızıntı suları MP005 ve UC030 membranlarından sırasıyla 1 bar ve 2,5 bar basınç altında arıtıldıktan sonra 20, 25, 30 ve 35 bar transmembran basıncı (TMP) altında BW30, XLE ve NF90 ile ve 5, 10, 15 ve 20 bar TMP altında da NF270 membranıyla arıtılmıştır. Aki, organik madde (KOİ, TOK), demir, nikel, krom, bakır, klor, nitrit, nitrat, amonyum, sülfat ve fosfat parametreleri membran performansının belirlenmesi amacıyla ölçülmüştür. Her iki atık suda da en yüksek organik madde giderme verimi MP005+BW30 membranlarıyla 35 bar TMP altında BW30'un işletilmesiyle elde edilmiştir. Bu sistem ile organik maddenin, ağır metallerin ve iyonların %98 ve üzerinde verimle giderimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ikinci aşamasında MP005 membranıyla arıtma sonrası ZW-UF ve UC030 membranları kullanılarak ön arıtma veriminin artırılması hedeflenmiştir. Bu aşamada MP005+ ZW-UF/UC030 +BW30/SW30 sisteminde en yüksek organik madde giderimi MP005+ UC030 +BW30 sistemiyle elde edilmiştir. Bu aşamada organik madde giderme verimi %99 ve üzerinde olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Sızıntı Suyu, Membran, Ters Osmoz, Nanofiltrasyon, Ultrafiltrasyon, Mikrofiltrasyon

**TREATMENT OF LANDFILL LEACHATE WITH MEMBRANE PROCESSES: A
CASE OF ODAYERI**

Gökçen AÇI

Department of Environmental Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Mehmet ÇAKMAKCI

Conventional treatment systems are inadequate to provide complete treatment of leachates. In this study, full membrane treatment was proposed as an alternative system for the ultimate treatment of young and old leachates. Microfiltration (MP005), ultrafiltration (UC030), reverse osmosis (BW30, XLE and SW30) and nanofiltration (NF90 and NF270) membranes were operated with pressure, whereas hollow-fiber (submerged ultrafiltration, ZW-UF) membrane was operated with vacuum. Before nanofiltration and reverse osmosis, leachate pre-treatment was performed using MP005, UC030 and ZW-UF membranes. During the pre-treatment, MP005 and UC030 membranes were operated under 1 and 2.5 bars pressures, respectively. BW30, XLE and NF90 membranes were operated under 20, 25, 30 and 35 bars transmembrane pressures (TMP) while NF270 was operated under 5, 10, 15 and 20 bars TMP. Treatment performances of membrane systems were evaluated by monitoring the changes in organic matters (COD, TOC), iron, nickel, chrome, copper, chlorine, nitrite, nitrate, ammonium, sulphate and phosphate. In the treatment of both young and old leachates, the highest removal efficiency in organic matters was obtained with MP005+BW30 configuration, while BW30 was operated under 35 TMP bars. Removal efficiencies of organic matters, heavy metals and ions were over 98 % with this system. In the second stage, ZW-UF and UC030 membranes were applied following the pretreatment with MP005 and the highest organics removal was obtained with the combination of MP005 + UC030 + BW30 system as over 99 %.

Key Words: Landfill Leachate, Membrane, Reverse Osmosis, Nanofiltration, Ultrafiltration, Microfiltration

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE

1.1 Literatür Özeti

Katı atıkların bertarafında birçok yöntem bulunmasına rağmen en eski yöntemlerden biri olan çöplerin düzenli depolanması günümüzde de en çok tercih edilenidir. Gelişen teknoloji ve artan tüketim alışkanlıklarındaki değişim sebebiyle katı atık miktarlarında artış görülmektedir. Katı atık düzenli depolama sahalarında meydana gelen biyokimyasal reaksiyonlar sonrası sızıntı suları oluşmaktadır. Sızıntı suyu miktarını yağmur ve diğer etkenler etkilemektedir.

Geri kazanım yapıldıktan sonra düzenli depolama yapılması oluşacak sızıntı suyunun karakterizasyonunu etkilemektedir. Geri dönüşüm ile kazanılacak ve düzenli depolama sahasında sızıntı suyunun karaktersizasyonunu olumsuz yönde etkileyebilecek kirleticilerin azaltılması, sızıntı suyunun arıtımında daha stabil, uzun ömürlü ve daha az maliyet gerektiren arıtma sistemlerinin kurulmasına olanak sağlayacaktır.

Günümüzde katı atık düzenli depolama sahalarında oluşan sızıntı sularının arıtımında güçlükler yaşanması sebebiyle fiziksel, kimyasal, fizikokimyasal ve biyolojik birçok arıtma alternatifi kullanılmaktadır. Farklı özelliklere sahip su ve atıksuların ileri düzeyde arıtılmasında membran prosesler başarıyla kullanılmaktadır. Gelişen teknoloji, üretim maliyetlerinin azalması, diğer proseslere göre daha az yer kaplaması ve işletiminin basit ve etkin giderime sahip olması sebebiyle membran prosesler gün gittikçe yaygınlaşmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Çalışmada Odayeri Katı Atık Düzenli Depolama Sahası'nda oluşan genç ve yaşlı sızıntı sularının çeşitli membranlarla fiziksel olarak arıtılabilirliğinin araştırılması tezin amacını oluşturmaktadır.

1.3 Hipotez

Her hangi bir biyolojik veya kimyasal ön arıtma yapmaksızın sadece farklı özelliklerde membran prosesler kullanılarak Odayeri Katı Atık Düzenli Depolama Sahası'nda oluşan genç ve yaşlı sızıntı sularının fiziksel olarak arıtılabilirliğinin ortaya konması çalışmanın hipotezini oluşturmaktadır.

KATI ATIK DÜZENLİ DEPOLAMA SAHASI VE SIZINTI SUYU OLUŞUMU

2.1 Katı Atık

Katı Atık Kontrolü Yönetmeliğinde katı atık terimi: “Üreticisi tarafından atılmak istenen ve toplumun huzuru ile özellikle çevrenin korunması bakımından, düzenli bir şekilde bertaraf edilmesi gereken katı maddeleri ve arıtma çamurunu (iri katı atık, evsel katı atık) ifade eder” şeklinde tanımlanmaktadır [1].

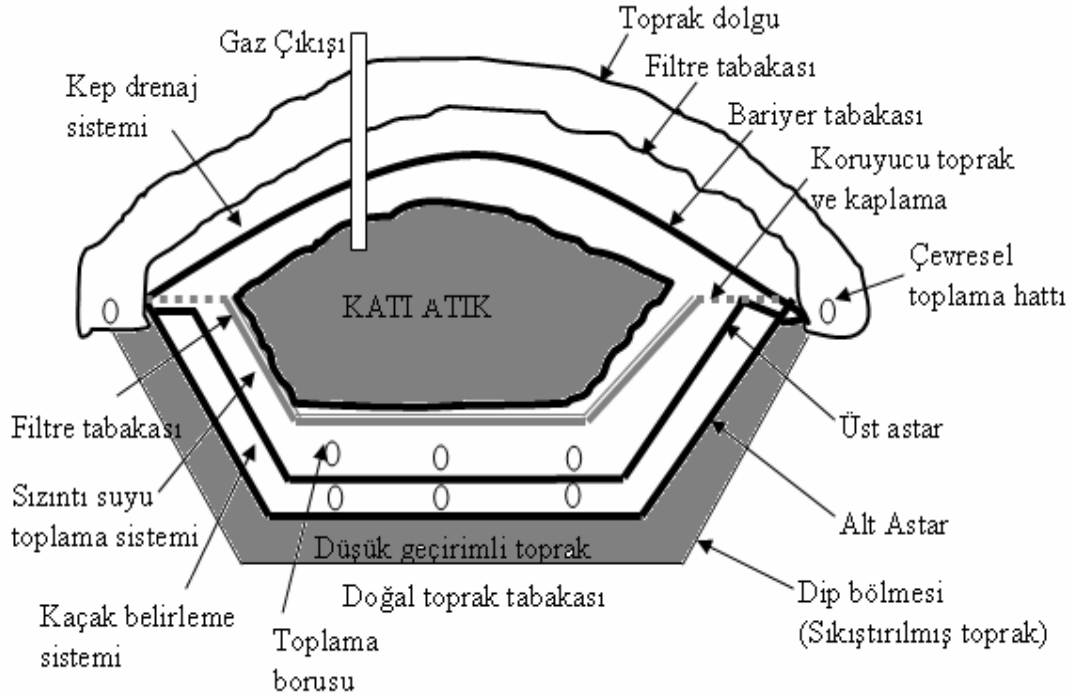
Katı atıkları kısaca;

- » Evsel katı atıklar (çöp)
- » İri katı atıklar
- » Arıtma çamuru
- » Özel atıklar (tıbbi atık, yakma tesisi külleri gibi)
- » Sokak süprüntüleri
- » İnşaat ve hafriyat atıkları
- » Endüstriyel ve ticari evsel katı atıklar olarak sınıflandırılabilir [2].

2.1.1 Katı Atık Depolama Sahası

Katı atıkların düzenli depolama sahalarında depolanması, günümüzde hem ekonomik hem de çevresel açıdan kabul görmüş yöntemlerden biri olup yaygın olarak

kullanılmaktadır. Katı atık depo sahaları gelişi güzel (vahşi depolama) ve mühendislik kriterlerinin kullanımı ile planlı bir şekilde yapılabilir. Mühendislik öngörü ve teknik bilgisi ile yapılan katı atık depolama sahaları hem optimum işletme ömrünün sağlanmasında hem de çevresel açıdan görülebilecek olumsuz etkileri en aza indirmesi bakımından tercih edilmelidir. Şekil 2.1’de bir katı atık depo sahasının en kesit görünüşü yer almaktadır [3].



Şekil 2.1 Katı atık depo sahasının en kesit görünüşü [3]

Katı atık düzenli depolama sahaları, atıkların çeşitli biyokimyasal reaksiyonlar sonucu ayrışması ile gaz ve sızıntı suyunun oluştuğu biyokimyasal reaktörler olarak da açıklanabilir. Biyokimyasal reaksiyonlar sonucu organik ve inorganik maddeler ayrışabilmektedir. Çöp depo sahalarında biyodegradasyona uğrayan organik maddeler ile inorganik maddeler yer almaktadır. Katı atık depo sahalarında organik katı maddelerin biyokimyasal bozunmalar sonucu ayrışmasıyla elde edilen çöp depo gazının atmosfere salınımını engellenmeli veya kontrol altına alınmalıdır. Çöp depo gazının geri kazanımı ile enerji elde etmek mümkün olmakla birlikte alev kontrol sistemlerinde yanma gerçekleştirilmesiyle zararlı birleşenlerin atmosfere salınımı engellenebilmektedir.

Katı atıkların ihtiva ettiği su, biyokimyasal bozunmalar sonucu ortaya çıkmaktadır ve böylece sızıntı suları oluşmaktadır. Bu sızıntı suları depolama sahası tabanına kadar katı atıklar arasından süzülerek ulaşmaktadır. Sızıntı suyunun karakteri katı atıkların içeriğine bağlı olarak değişim göstermektedir [4]. Depolama sahası tabanına süzülerek ulaşan sızıntı suları depo tabanında bulunan drenaj boruları ile toplanmaktadır ve toplanan sızıntı suları deşarj kriterlerini sağlayacak şekilde kurulan arıtma tesisine iletilmektedir.

2.1.2 Ülkemizde Katı Atıklarla İlgili Çeşitli İstatistik Verileri

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından belediye yerleşimi olan merkezlerde üretilen katı atıklara ilişkin istatistiksel veriler toplanmaktadır. TÜİK verilerine göre ülkemizde 2001 – 2008 yılları arasında bulunan belediye sayısı ve üretilen katı atık miktarları Çizelge 2.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1 2001 – 2008 Yılları arasında ülkemizdeki belediye sayısı ve katı atık miktarındaki değişim [5]

Yıl	Belediye Sayısı	Katı Atık Miktarı (ton/yıl)
2001	2921	25 133 696
2002	2984	25 373 133
2003	3018	26 117 539
2004	3028	25 013 521
2006	3115	25 279 971
2008	3129	24 360 863

2001 – 2008 yılları arasında belediye sayısında artışı olmasına rağmen 2008 yılında katı atık miktarında bir düşüş olduğu Çizelge 2.1’de görülmektedir. Ülkemizde geri dönüşüm ile yeni bir hammadde kaynağı elde edildiği bilincinin gelişmesi sonucu 2008 yılındaki düşüşün olduğu kabul edilmektedir. Geri dönüşüm işlemlerinin daha bilinçli bir şekilde yapılması ile düzenli depolama sahalarına gidecek atık miktarlarında azalma

olacaktır ve sahanın faydalı kullanım ömrü uzaltılacaktır. Bu durum sızıntı suyu oluşumunu ve karakterini de olumlu yönde etkileyecektir.

TÜİK verilerine göre İstanbul’da 2001 – 2008 yılları arasında üretilen katı atık miktarları Çizelge 2.2’de görülmektedir. En fazla göç alan illerden biri İstanbul olmasına ve yıllar bazında nüfusunun artmasına rağmen katı atık miktarlarında 2001 yılından sonra azalmalar olduğu görülmektedir. Bu azalmaların sebebi olarak geri dönüşümün yönetmeliklerle zorunlu hale gelmesi olarak düşünülmektedir. 06/03/2008 tarihli ve 5747 sayılı yasa gereği tüm İstanbul il sınırları İstanbul Büyükşehir Belediyesi’ne bağlanmıştır. Belde belediyeleri ile köy gibi diğer yerleşim birimlerinin katı atıkları İstanbul Büyükşehir Belediyesi sorumluluğuna bu yasa ile geçmiştir. 2008 yılı katı atık miktarındaki artışın bu yasa değişiminden kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Çizelge 2.2 2001 – 2008 Yılları arasında İstanbul’daki katı atık miktarı değişimi [5]

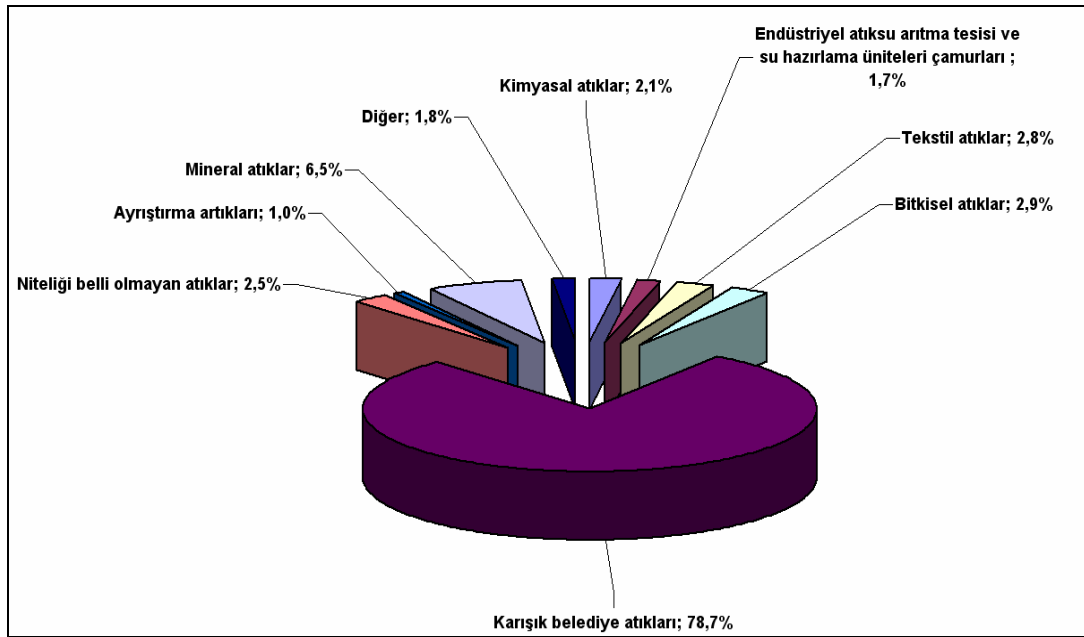
Yıl	Katı Atık Miktarı (ton/yıl)
2001	6 112 454
2002	5 231 233
2003	5 374 854
2004	4 470 687
2006	4 771 604
2008	5 215 122

Çizelge 2.3’te 2008’de ülkemizde ve İstanbul’da yaz ve kış mevsimlerinde oluşan katı atık miktarları ile kişi başı günlük katı atık üretim miktarları görülmektedir. Çizelge 2.3’te görüldüğü üzere İstanbul’da 2008 yılında toplanan katı atık miktarı Türkiye genelinde toplanan katı atık miktarının yaklaşık %25’ini oluşturmaktadır. Ayrıca, Türkiye genelinde kişi başı günlük katı atık üretim miktarının, İstanbul’a ait günlük kişi başı üretim miktarına eşit olduğu ve bu verinin 1.15 kg/kişi.gün olduğu görülmektedir.

Çizelge 2.3 2008 Türkiye ve İstanbul'daki yaz ve kış mevsimlerinde üretilen katı atık miktarları ve kişi başı günlük katı atık tüketim miktarları [5]

	Toplam		Yaz			Kış		
	Miktar (ton/yıl)	Kişi başı (kg/kişi- gün)	Miktar (ton/yaz)	Miktar (ton/gün)	Kişi başı (kg/kişi- gün)	Miktar (ton/kış)	Miktar (ton/gün)	Kişi başı (kg/kişi- gün)
Türkiye	24 360 863	1,15	13 306 071	66 775	1,16	11 054 792	65 271	1,13
İstanbul	5 215 122	1,15	3 106 976	14 519	1,17	2 108 146	13 869	1,11

Katı atıklar tehlikeli ve tehlikesiz atıklar olarak ayrı ayrı toplanmaktadır. Düzenli depolama sahalarında tehlikesiz atıklar bertaraf edilmektedir. Tehlikeli atıklar ise farklı bertaraf metodlarına maruz kalmaktadır. 2008 yılı TÜİK verilerine göre düzenli depolama sahalarında bertaraf edilen tehlikesiz katı atıkların bileşenleri Şekil 2.2'de görülmektedir. Şekil 2.2'de görüldüğü üzere düzenli depolama sahalarında bertaraf edilen tehlikesiz atıkların yaklaşık % 78,7'si belediyeler tarafından toplanan karışık atıklardır.



Şekil 2.2 2008 Yılı depolanan tehlikesiz katı atık bileşenleri ve yüzdesel dağılımları [5]

2.2 Katı Atık Düzenli Depolama Sahalarında Sızıntı Suyu Oluşumu

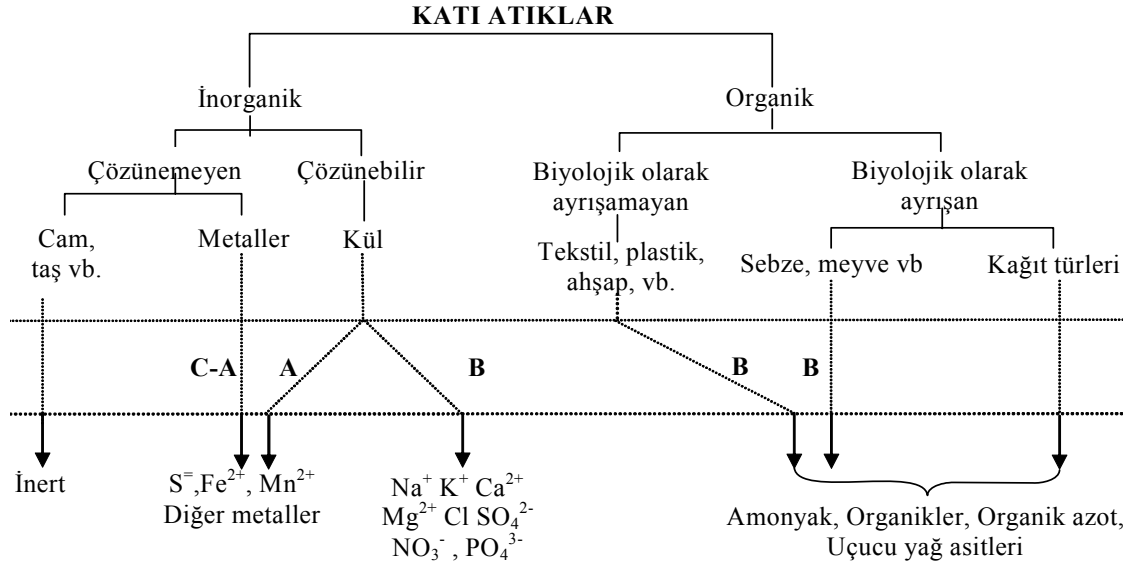
Evsel katı atık gibi yüksek nem içeriğine sahip katı atıkların düzenli depolama sahasına getirilmesiyle sızıntı suyu oluşumu başlamaktadır ve depo sahasının kapatılmasını müteakiben on yıl boyunca devam etmektedir.

Sızıntı suyu üç farklı koşulda oluşabilmektedir. Bunlar;

- » Düzenli depolama sahalarındaki katı atıkların biyokimyasal reaksiyonlar sonucu aerobik ve anaerobik koşullar altında ayrışması sonucu,#
- » Katı atıkların ihtiva ettiği su içeriğinin bir kısmının düzenli depolama sahasında katı atıkların sıkıştırılması sonrasında ortaya çıkması,
- » Ve yüzeysel suların ve yağmur sularının katı atık düzenli depolama sahalarının iç kısımlara sızması sonucu oluşan sızıntı sularıdır [6].

Sızıntı suları, yüksek organik madde ve amonyum azotu muhtevasına sahip ayrışması ve arıtılması zor olan atıksulardan biridir. Sızıntı suyunun karakterizasyonunu, katı atıkların depolanma yaşı, katı atık miktarına, depo sahasında oluşan biyokimyasal proseslere ve depo sahasına düşen yağış miktarı gibi faktörler etkilemektedir [3].

Katı atık düzenli depolama sahasında katı atıkların kimyasal ve biyolojik reaksiyonlar ile sıkıştırılması sonucu oluşan sızıntı suyu, depo tabanında bulunan drenaj sistemine ulaşıncaya kadar farklı katmanlarda bulunan katı atıkların arasından sızarken bu katmanlarda bulunan organik ve inorganik maddelerle etkileşime girerek karakterizasyonunda değişimler olabilmektedir. Organik maddeler (KOİ, TOK, uçucu yağ asitleri, fulvik ve humik asitler), inorganik maddeler (Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Cl^- , SO_4^{-2} ve HCO_3^-) ve ağır metaller (Cu^{+2} , Zn^{+2} , Cd^{+2} , Cr^{+2} , Pb^{+2} , Ni^{+2} , Fe^{+2} , Mn^{+2}) sızıntı suyu bileşiminde bulunabilen başlıca parametrelerdir [7]. Katı atık düzenli depolama sahalarında oluşan sızıntı suyunun içeriğinin değişimi katı atıkların stabilizasyon süresi ile değişim göstermektedir. Özkaya (2006) tarafından katı atıkların sızıntı suyu oluşum basamakları Şekil 2.3'teki gibi gösterilmiştir.



A: Doğrudan çözünme, B: Biyolojik ayrışma, C: Kimyasal çözünme

Şekil 2.3 Katı atıkların sızıntı suyu oluşum basamakları [6]

Katı atık düzenli depolama sahalarında oluşan sızıntı suyu miktarını mevsimsel değişimler ve nem miktarı etkilemektedir. Mevsimsel değişimlerde özellikle yaz aylarında nem miktarında artış gözlenmektedir. Yaz aylarında tüketilen sebze ve meyvelerin katı atık düzenli depolama sahalarında bertaraf edilmesi süresince sızıntı suyunun miktarında önemli bir artış görülebilmektedir. Kış aylarında ise sıcaklığın düşmesi ve buharlaşmanın azalması sonucu sızıntı suyu miktarında azalma görülebilmektedir. Bahar aylarında mevsimsel yağışların artışı ile katı atık düzenli depolama sahalarında sızıntı suyu miktarında da artış görülebilmektedir. Katı atık düzenli depolama sahalarında katı atık bünyesinde tutulan nem miktarı, katı atıkların aerobik ve anaerobik biyokimyasal reaksiyon sürelerinin uzamasına ve oluşan sızıntı suyunun kirletici konsantrasyonunun artmasına yol açmaktadır.

Düzenli depolama sahalarında yapılan sıkıştırma işlemi sonucunda açığa çıkan su yerçekiminin etkisi ile yol almaktadır. Sızıntı suyu katı atıkların nem muhtevasına doygun hale gelinceye kadar absorbe edilmekte ve geriye kalan kısmı ise depolama sahası içerisinde akışa geçmektedir. Akışa geçen sızıntı suyu yer çekimi etkisiyle katı atık katmanları arasında düşey ve yatay yönde hareket ederek depolama sahası tabanında bulunan geçirimsiz tabakaya ve geçirimsiz tabakada bulunan drenaj

sistemine ulaşmaktadır. Sıkıştırma sonucu katı atıkların içerdiği su miktarının azalması ile bu atıkların anaerobik koşullara adaptasyonu daha hızlı olabilmektedir. Sıkıştırma sonrası ortaya çıkan suyun depolama sahası tabanına ulaşması ile sızıntı suyunun özelliklerinde değişim gözlemlenmektedir [6].

2.2.1 Sızıntı Suyu Karakterizasyonu

Sızıntı suyunun karakterizasyonu; depolanmış katı atığın kompozisyonuna, depolanmış alandaki katı atıkların depolanma yaşına, katı atıkların sıkıştırılma oranlarına, yağış miktarına ve deponun içerisinde gerçekleşen aerobik ve anaerobik reaksiyonların verime bağlı olarak farklılık göstermektedir.

Organik bileşikler ve amonyak azotu sızıntı suyunun yaşını ve biyolojik olarak parçalanabildiğini gösteren en önemli iki parametredir. Sızıntı suyundaki organik kirletici miktarının belirlenmesinde KOİ (kimyasal oksijen ihtiyacı), BOİ₅ (biyokimyasal oksijen ihtiyacı) ve TOK (toplam organik karbon) kullanılmaktadır [6].

Katı atıkların depolanmasından sonra geçen süre sızıntı suyu karakterizasyonunu etkilemektedir. Depolanmadan sonra geçen süre depolanma yaşı olarak belirtilmektedir. Sızıntı suyunun karakterizasyonunda depolanma yaşı büyük önem arz etmektedir. Sızıntı sularında BOİ₅/KOİ oranı ile sızıntı suyunun (depolanmanın) yaşı belirlenebilmektedir. Genç sızıntı suyunda organik madde içeriği parçalanma reaksiyonlarının henüz başlamaması ve çevre koşullarının yeni oluşum göstermesi sebebiyle yüksek olmaktadır. Bu sebeple genç sızıntı sularında bu oran 0.6–1.0 arasında olmakta ve biyolojik olarak parçalanabilirliğin yüksek olduğu ve yeni depolanma sahasından çıkan bir sızıntı suyu olduğu anlaşılmaktadır. Yaşlı sızıntı suları ise genç sızıntı suyunun aksine inorganik içeriği yüksek ve inert haldeki organik maddeleri içermektedir. Yaşlı sızıntı sularında inert haldeki organik maddelerin biyolojik olarak parçalanabilmesi güç olmaktadır. Bu sebeple yaşlı sızıntı sularında bu oran 0–0.3 arasında değişmektedir. Çizelge 2.4'te sızıntı sularının BOİ₅/KOİ oranlarına göre sınıflandırılması görülmektedir.

Çizelge 2.4 Sızıntı suyu tipleri

Sızıntı Suyu Tipi	Yaşı	BOİ ₅ /KOİ Oranı
Genç	3 – 12 ay	0.6 – 1.0
Orta	1 – 5 yıl	0.3 – 0.6
Yaşlı	> 5 yıl	0 – 0.3

Ayrıca KOİ/TOK oranı da sızıntı suyunun yaşını belirlemede önemli alternatif ve kullanışlı bir yöntemdir. KOİ/TOK oranı genç sızıntı suları için 3.3, yaşlı sızıntı suları için ise 1.16 civarındadır. KOİ/TOK oranı BOİ₅/KOİ oranı gibi depo yaşının artışı ile azalma göstermektedir. Çizelge 2.5'te sızıntı suyu bileşenlerinin depolanma yaşı ile değişimi verilmiştir [6].

Çizelge 2.5 Sızıntı suyu bileşenlerinin depo yaşına bağlı olarak değişimi [6]

Parametre	Depo yaşı			
	0-5	5-10	10-20	>20
BOİ	10,000-25,000	1,000-4,000	50-1,000	<50
KOİ	15,000-40,000	10,000-20,000	1,000-5,000	<1,000
TKN	1,000-3,000	400-600	75-300	<50
Amonyak azotu	500-1,500	300-500	50-200	<30
TDS	10,000-25,000	5,000-10,000	2,000-5,000	<1000
pH	3-6	6-7	7-7,5	7,5
Kalsiyum	2,000-4,000	500-2,000	300-500	<300
Sodyum ve Potasyum	2,000-4,000	500-1,500	100-500	<100
Magnezyum ve Demir	500-1,500	500-1,000	100-500	<100
Çinko ve Alüminyum	100-200	50-100	10-50	<10
Klorür	1,000-3,000	500-2,000	100-500	<100
Sülfat	500-2,000	200-1,000	50-200	<50
Fosfor	100-300	10-100	10-50	<10

Sızıntı suyunun karakteristiğini gösteren en önemli faktörlerden birisi amonyak konsantrasyonudur. Katı atık depo sahalarında biyokimyasal reaksiyonlar sonucu proteinin parçalanmasıyla ortaya çıkan amonyak sızıntı suyuna karışmaktadır. Genç sızıntı suyunda, depo sahasında katı atıkların hidroliz, parçalanma ve fermentasyona uğraması nedeniyle azot konsantrasyonları oldukça yüksektir. Anaerobik evreye geçilmesiyle amonyak içeriğinin azalması ve buna karşılık nitrit ve nitrat bileşiklerine dönüşmesi gerçekleşmektedir. Bu durum depo yaşının ilerlemesiyle amonyak konsantrasyonunun azalmasını net bir şekilde ortaya koymaktadır. Yüksek amonyak aktif çamur gibi biyolojik reaksiyonlarının temel alındığı arıtma sistemlerinde mikroorganizmaları inhibe edebilme özelliğine sahiptir. Yüksek amonyak ve sınırlı fosfor içeriği sebebiyle sızıntı sularının arıtımında biyolojik prosesler yerine fizikokimyasal prosesler tercih edilmektedir [3].

2.3 Sızıntı Suyu Arıtımı

Katı atık düzenli depolama sahalarından kaynaklanan sızıntı suları deşarj kriterlerine uygun şekilde arıılmaz ise kalıcı çevresel problemlere yol açabilmektedir. Sızıntı suyunun kompozisyonu, depolama sahasının iklimi, hidrolojisi, işletimi ve depolanan katı atıkların içeriğine bağlı olarak değişim göstermektedir. Sızıntı suyundaki organik bileşenlerin %80–95'i çözünmüş ve %5–20'si patiküler halde bulunmaktadır [7]. Parçalanması güç organik ve toksik maddeler, ağır metaller, iyonlar, renk ve koku oluşturan kirletici maddeler sızıntı suyunda bulunabilmektedir. Depolanan katı atığın içeriğindeki değişim sızıntı suyu karakterizasyonunu da etkilemektedir. Bu sebeple, sızıntı suları stabil bir karakterde değil ve sürekli farklı karakterlerde olabilmektedir. Stabil bir karaktere sahip olmayan sızıntı suyunun arıtımında güçlüklerle karşılaşılabilir.

Biyolojik, fiziksel ve kimyasal prosesler ile bunların farklı kombinasyonları sızıntı suyu arıtımı amacıyla kullanılabilir. Sızıntı suyu arıtımında ilk olarak biyolojik ve kimyasal prosesler kullanılmıştır. Sızıntı suyu karakterinin yeni atıklardan kaynaklanan sızıntı suları ile karışım sonrası değişime uğraması sebebiyle bu proseslerin arıtma verimini doğrudan etkilemektedir [8]. Birçok araştırmacı sızıntı suyunda bulunan

humik maddelerin bulunduğunu ve içeriğinde karboksil grubu ve fenolik gruplar ile birlikte alifatik hidrokarbonlar bulunduğunu belirtmektedir. Humik maddelerin anyonik makromoleküllerinin ortalama moleküler ağırlığı 1000–10000 Da aralığında değiştiği ve bu moleküller ağırlığına sahip organik maddelerin biyolojik proseslerde kolayca parçalanamadığı ve nihayetinde tesis çıkışında yüksek KOİ değerlerinin görüldüğü belirtilmektedir [9].

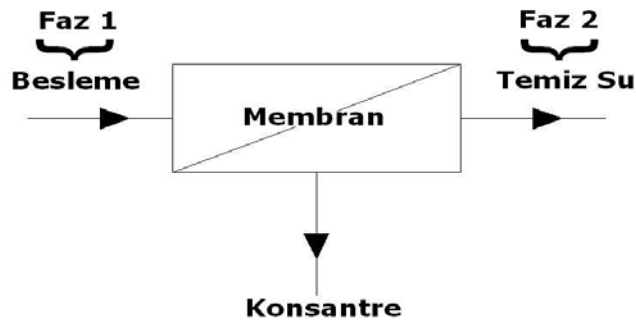
Sızıntı suyundaki kimyasal bileşenler sucul ortamdaki türler tarafından asimile edilerek besin zincirine dâhil olup canlıda biyoakümülyasyona sebep olabilmektedir. Katı atık depo sahaları yakınında yaşayan insanlarda, ağırlıkça düşük doğum, artan özürlü doğumu ve belirli türdeki kanserler gibi olumsuz etkiler görülebilmektedir. Ayrıca Li ve diğ. (2010) tarafından düzenli olarak içme suyuna farklı konsantrasyonlarda sızıntı suyu verilerek kobay fareler ile üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma sonucunda sızıntı suyunun konsantrasyonuna bağlı olarak beyin, böbrek, karaciğer ve dalakta toksik etkiler görülmüştür [10]. Bu sağlık bulguları sızıntı sularının istenilen deşarj kriterlerine uygun şekilde arıtması gerektiğini göstermektedir.

Sızıntı sularının arıtılmasında istenilen deşarj standartlarının sağlanması amacıyla ileri arıtma tekniklerinin kullanılması bazı durumlarda gerekli olabilmektedir. Kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşan ileri arıtma tekniklerinden biri de membran proseslerdir. Sızıntı suyunun arıtmında membran proseslerin kullanımı 1980’li yıllarda başlamıştır [8]. Sızıntı sularında yüksek konsantrasyonlarda bulunabilen ağır metaller ile organik maddelerin konvansiyonel sistemlerle giderilmesinde sorunlar yaşanabilirken ters osmoz sistemleri ile ağır metal ve KOİ gideriminde % 98 – 99 oranında verim elde edilebilmektedir [11]. İleri arıtma tekniği olarak ters osmoz ve nanofiltrasyon membranlarının yanı sıra membran biyoreaktörlerin (MBR) (ultrafiltrasyon ile mikrofiltrasyon membranlarının kullanıldığı) sızıntı suyu ve farklı karakterdeki atıksuların arıtımı amacıyla kullanımı gün geçtikçe rağbet görmektedir [12].

MEMBRAN PROSESLER**3.1 Giriş**

Membran, iki farklı fazı veya ortamı birbirinden ayıran ve belirli türlerin geçişine izin veren yarıgeçirgen bir yapıdır (Şekil 3.1). Karışım halindeki pek çok maddenin ayrılması amacıyla membranlar kullanılabilmektedir (gaz ayırımı, katı\sıvı ve sıvı\sıvı ayırımı gibi).

Membranların bilimsel olarak incelenmesi 18. yüzyılın ortalarına kadar uzanmaktadır. Osmoz kelimesi suyun bir diyaframdan geçişini tanımlamak amacıyla Abbé Nollet tarafından 1748 yılında ortaya atılmıştır. Bu dönemde kimyager, fizikçi ve biyologlar tarafından membranlar, membran özelliklerinin açıklanabilmesi amacıyla incelenmiş ve çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yarı-geçirgen seçici membranların bulunması, gazların kinetik teorilerinin kanıtlanması bu döneme denk gelmektedir [13, 14] .



Şekil 3.1 Membran proses akış diyagramı

Geçmiş dönemlerde imkânların kısıtlılığı sebebiyle araştırmacılar membran teorisini açıklayabilmek amacıyla doğada bulunan domuz, balık veya büyükbaş hayvanların idrar keseleri, bağırsaklarını incelemiştir [13, 14].

Birinci Dünya Savaşı'ı sonrasında Avrupa'da yaşanan temiz su sıkıntısı, ülkeleri içme sularının kalitelerini belirleme çalışmalarına yönlendirilmesini sağlamıştır. Alman Sartorius firması tarafından laboratuvar ölçekli üretilen membran filtreler membranların endüstride ilk kullanımına önayak olmuştur. Sartorius tarafından üretilen bu filtreler mikrofiltrasyonun ilk örneği sayılabilir. Aynı şekilde Amerika desteği ile Millipore firmasının kurulması da bu döneme denk gelmektedir. Yine de endüstriyel alanda mikrofiltrasyonun kullanılabilmesi 1970'li yıllarda başlayacaktır [14]. Membranların gelişimini etkileyen tarihsel olaylar Çizelge 3.1'de ve membran proseslerinin tarihsel gelişimi ise Çizelge 3.2'de görülmektedir.

Çizelge 3.1 Membranların gelişimini etkileyen tarihsel olaylar [13]

Gerçekleşen olay	Bilim insanı	Yıl
Osmoz	Abbe Nollet	1748
Difüzyon yasaları	Fick	1855
Diyaliz, gazların süzülmesi	Graham	1861,1866
Ozmotik basınç	Traube, Pfeffer, van't Hoff	1860–1887
Mikroporoz membranlar	Zigmondy	1907–1918
Dağılım kanunu	Donnan	1911
Membran potansiyeli	Teorell, Meyer, Sievers	1930'lar
Hemodiyaliz	Kolff	1944
Membran kaplama	Sourirajan ve Loeb	1959
Membran aktarım modelleri	Kedem, Katchalsky, Lonsdale, Merten, Pusch, Sourirajan	1960–1970
Spiral sarımlı membranlar	Westmoreland, Bray	1965–1970
Hollo fiber ve ters ozmos membranları	Mahon, Hoehn ve Milford	1965–1970
İnce filmli kompozit membranlar	Codette ve Rozelle	1972

Çizelge 3.2 Membran proseslerinin tarihsel gelişimi [14]

Membran Prosesi	Ülke	Yıl	Uygulama
Mikrofiltrasyon	ABD	1920	Laboratuar kullanımı
Ultrafiltrasyon	Almanya	1930	Laboratuar kullanımı
Hemodiyaliz	Hollanda	1950	Yapay böbrek
Elektrodiyaliz	ABD	1955	Tuz giderimi
Ters Ozmos	ABD	1965	Su tuzsuzlaştırması
Ultrafiltrasyon	ABD	1971	Makromoleküllerin yoğunlaştırılması
Gaz ayrımı	ABD	1979	Hidrojen kazanımı
Pervaporasyon	Almanya, Hollanda	1982	Organik çözücülerin dehidrasyonu
Çapraz akımlı mikrofiltrasyon	Avustralya, ABD	1980	Su arıtımı
Nanofiltrasyon	ABD	1986	Su yumuşatma
Elektrodeiyonizasyon	ABD	1987	Deminerilizasyon

1950'li yılların ortasında California Üniversitesi tarafından membranlar yardımı ile deniz suyunun tuzsuzlaştırılması araştırılmaya başlanmıştır. Bu tarihlerde California ve Florida Üniversite'si araştırmacıları deniz suyundan içme suyu elde etmeyi başarmalarına rağmen sistemin artılabildiği debi miktarı ticari alanda kullanılamayacak kadar düşük olmuştur. Ters Osmoz adı verilen bu sistem, suların yüksek basınçta bir membran filtreden geçirilmesi esasına dayanmaktadır. Ters Osmos sistemini Mikrofiltrasyon, Ultrafiltrasyon ve Nanofiltrasyon izlemiştir. 1960 yılına kadar

membranla ilgili bilimsel çalışmalar yapılmış ve 1960 yılından sonraki dönemde ise elde edilen bu sistemlerin daha da geliştirilmesi ve membranların ticari kullanımını kolaylaştıracak sistemlerin bulunmasına yönelik çalışmalar devam etmiştir. Son 40 yılda elde edilen gelişmeler sayesinde, membran teknolojileri bugün yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [14, 15].

Günümüzde membranlar oldukça geniş bir yelpazede hizmet vermektedir. Endüstriyel atıksuların arıtılması ve atıksulardan istenilen materyallerin geri kazanımı, tuzlu suyun içilebilir hale getirilmesi, yiyecek ve ilaç endüstrilerinde solüsyonların birbirlerinden ayrılması, sağlık hizmetleri gibi alanlarda kullanılmaktadır [14, 15].

3.2 Membranların Sınıflandırılması, Modülleri ve zellikleri

Membranlar zelliklerine göre farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır. Yapılarına göre doğal veya sentetik, organik veya inorganik, boşluklu veya boşluksuz, simetrik veya asimetrik, gözenekli ve gözeneksiz olarak gruplandırılmaktadır. Farklı organik ve inorganik malzemelerden membranlar retilabilmektedir. Membran retiminde kullanılan bazı organik ve inorganik maddeler izelge 3.3'te görülmektedir.

Membran prosesler, sahip oldukları itici güç ya da ayırma mekanizmasına bağlı olarak da sınıflandırılabilir (izelge 3.4). Ticari olarak kullanılan başlıca membran prosesleri mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF), ters osmoz (RO), pervaporasyon (PV) ve elektrodiyaliz (ED)'dir.

Su ve atıksu arıtma işlemlerinde genellikle MF, UF, NF ve RO membranları kullanılmaktadır. Bu membranların bazı işletme parametreleri izelge 3.5'te görülmektedir.

Çizelge 3.3 Membran üretiminde kullanılan bazı organik polimerler ve inorganik maddeler

Organik maddeler	İnorganik maddeler
•Selülozik polimerler	•Seramikler
–Selüloz asetat	–Alumina (g-Al ₂ O ₃ , a-Al ₂ O ₃)
–Selüloz triasetat	–Zirconia (ZrO ₂)
– Selüloz nitrat	–Titania (TiO ₂)
– Selüloz esterler	– Silisyum dioksit (SiO ₂)
•Polysülfonlar	•Metal
• Polyvinildin florürler (PVDF)	– Sinterlenmiş çelik fiberler veya tozlar
• Polykarbonatlar	–Farklı destek tabakaları üzerinde ince veya kalın filmler
•Polyesterler	
•Polyeterler	
•Polyamidler	
•Polypropilen	
• Politetrafloroetilen (PTFE)	
•Polyvinil kloridler (PVC)	
•Poliakrilonitriller (PAN)	
•Poliüre	

Çizelge 3.4 Sürücü kuvvetlerine göre membran proseslerin sınıflandırılması

Membran prosesler	Faz 1	Faz 2	Hareket gücü*
Mikrofiltrasyon	Sıvı	Sıvı	ΔP
Ultrafiltrasyon	Sıvı	Sıvı	ΔP
Hiperfiltrasyon (HF), (RO)	Sıvı	Sıvı	ΔP
Gaz seperasyonu	Gaz	Gaz	ΔP
Dializ	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)

Çizelge 3.5 Su arıtımında kullanılan bazı membran proseslerinin özellikleri [14]

Proses	Por açıklığı	Sürücü kuvveti	Taşıyım mekanizması
Mikrofiltrasyon (MF)	0,05 – 10 μm	Basınç, 1 – 2 bar	Eleme
Ultrafiltrasyon (UF)	0,001 – 0,05 μm	Basınç, 2 – 5 bar	Eleme
Nanofiltrasyon (NF)	< 2,0 nm	Basınç, 5 – 15 bar	Seçici geçirgen
Ters ozmos (RO)	< 1,0 nm	Basınç, 15 – 100 bar	Seçici geçirgen

Membranlar içi boş lif (hollow-fiber), levha-çerçeve, spiral sargılı ve tübular modüller şeklinde hazırlanabilmektedir. İdeal bir membran modülü aşağıdaki özellikleri içermelidir:

- » Yüksek membran alanı/modül hacmi oranı
- » Besleme tarafında kütle transferini attırmak için yüksek türbülans
- » Üretilen birim su başına düşük enerji tüketimi
- » Birim membran alanı başına düşük maliyet
- » Verimli yıkama yapılabilecek ve modifikasyona imkân verecek şekilde dizayn edilmiş olmalıdır.

İçi boş lif modülü, silindirik kapların içinde demet halinde bulunan, küçük çaplı çok sayıda liflerden (makarna şeklinde) oluşmaktadır. Tipik bir içi boş lifin iç çapı 50 μm , dış çapı ise 100–200 μm aralığındadır. Bu çap aralığında liflerden oluşan modüllerde, besleme sıvısı liflerin dışından içine doğru vakumla ve içinden dışına doğru basınçla verilmektedir. İçi boş lif modülün membran alanı 0.2-1 m^2 arasında değişmektedir. Modül 30,000 m^2/m^3 kadar yüksek paketleme yoğunluğuna ve dolayısıyla modül hacmi başına daha yüksek membran yüzey alanı ve kapasiteye sahiptir. Belli performans kapasitesi için boyutları diğer modüllerden çok daha küçüktür ve düşük işletme maliyetine sahiptir. Spiral wound modellere göre daha kısa sürede tıkanabilir [16].

Levha-çerçeve (plate-frame) modülü, dairesel veya kare plakalar arasında dizilmiş düz tabaka membranlardan oluşmaktadır. Plakalar, besleme suyu için akış kanalı oluşturmaktadır. Besleme suyu bir tabakadan diğerine geçmektedir. Bakımı, sökme ve

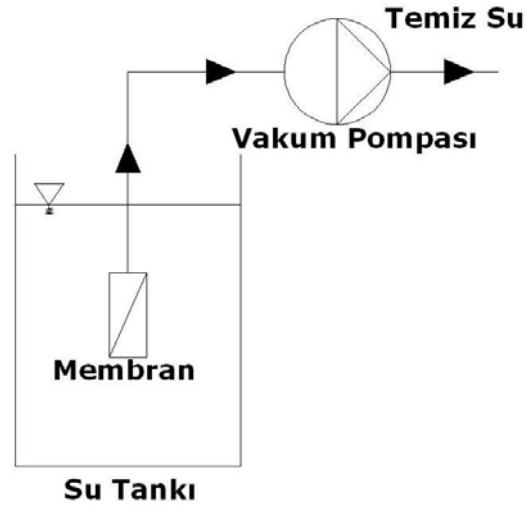
takma işlemleri kolaydır. Paketleme yoğunluğu 100–400 m²/m³ arasında değişmektedir.

Spiral sargı (spiral-wound) modüllerde, bir zarf oluşturulmak üzere düz tabaka membranın üç tarafı sızdırmaz yapılarak kapatılmaktadır. Dıştan içe doğru, besleme kanalı levhası, membran ve süzüntü toplama malzemesi üstüste gelecek şekilde, membran zarfların iki veya daha fazlası, arıtılmış suyu toplayan gözenekli kanalına yapıştırılmakta ve spiral şekilde yuvarlanarak birleştirilmektedir. Süzüntü, toplama kanalına akarken, besleme ara plakalar (spacer) tarafından oluşturulan kanallardan aksel olarak akmaktadır. Destek tabakaları, basınç düşüşünü minimize etmek ve daha yüksek paketleme yoğunluğu elde etmek için dizayn edilmektedir. Spiral sargı modüllerin paketleme yoğunluğu 300–1000 m²/m³'dir ve bu modüller yüksek sıcaklık, basınç ve pH'larda kullanılabilir. Son zamanlarda içecek ve kâğıt sanayisinde geniş olarak kullanılmaktadır. Spiral sargı modüllerin başlıca uygulaması RO (Ters osmoz) prosesi olarak kullanılabilir [16].

Tübular (tubular) modüllerin dizaynı basit ve kolaydır. Değişik sayılarda gözenekli tüplerden oluşmaktadır ve uzunluk olarak 6 m'ye kadar ulaşabilmektedir. Seramik, karbon veya plastikten üretilmiş gözenekli tüplerin iç çapları 3.2 mm ile 7.5 cm arasında değişmektedir. Bu tüpler arasına polimer çözeltisinin döküm yapılmasıyla tübular modül elde edilmektedir. Gözenekli kanalın iç tarafı membranla kaplanmıştır. Basıncı besleme suyu, membran filmin iç tarafından girip gözenekli tüp arasından çıkarak arıtılmış su elde edilmektedir. Bu modül sisteminin avantajları, besi çözeltisi akış hızının kolayca ayarlanabilmesi ve besi kanalları ve ürün kanallarının mekanik olarak kolayca temizlenebilmesidir. Bu da sık temizlemenin gerekli olduğu gıda uygulamaları için uygunluk gösterebilmektedir. Türbülanslı akışı sağlayacak kadar tüp çaplarının büyük olması bir diğer avantajdır. Bu özellik onu tıkanmaya karşı çok dirençli hale getirebilmektedir. Bu modülün dezavantajları ise yüksek enerji kullanımı ve paketleme yoğunluğunun düşük olmasıdır [17].

3.3 Batık Membran Prosesler

Batık membranlar, genellikle atmosferik basınç altında tutulan bir havuzun içine daldırılmış membranlardan oluşmaktadır. Tank içerisinde kirletici içeriğine sahip olan su, tanka daldırılmış halde bulunan membran vasıtasıyla arıtılabilmektedir. Bu membran modifikasyonu batık membran düzeneği olarak bilinmektedir. Batık halde vakumla işletilen membran fiziksel bir bariyer görevi ifa etmektedir. Şekil 3.2’de batık membran sisteminin akım diyagramı görülmektedir.



Şekil 3.2 Batık membran sisteminin akım diyagramı

Batık membranlar su ve atıksu arıtımında son yıllarda kullanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Batık membranların ilk örneği 1988 yılında Japonya’da kullanılmıştır. Okubo ve diğ. (1988) tarafından alınan patentte dikey bir tüp içerisine yerleştirilmiş hollow fiber membranlar ve bu membranların temizlenebilmesi için hava yolu ile membranların hareketini sağlayan bir sistem şematize edilmiştir. Batık hollow fiber membranların ilk kullanımı ise atık su arıtımında Yamamoto tarafından 1989 yılında kullanılmıştır. Bu sistemde yığın halindeki lifler kullanılmaktadır ve havalandırma, karıştırma işlemleri için hava kabarcıkları kullanılmaktadır. İlk zamanlarda araştırma amaçlı olarak kurulan bu düşük basınçlı membran sistemleri, etkinliklerinin keşfedilmesiyle birlikte su ve atıksu endüstrisinde daha yaygın kullanılmaya başlanmıştır.

3.4 Membran Proseslerin Performansını Etkileyen Parametreler

3.4.1 Akı

Birim zamanda membranın birim alanından geçen akım miktarı ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{sn}$ veya $\text{l}/\text{m}^2/\text{saat}$) akı olarak tanımlanmaktadır. Membran akısı işletme basıncı, membran materyalinin özellikleri, membranın por boyutu ve dağılımı, giderilmesi istenen kirleticinin türü ve konsantrasyonu, işletme sıcaklığı ve benzeri parametrelere bağlı olarak değişim göstermektedir. Akı matematiksel olarak denklem 3.1’de ifade edilmiştir.

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

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

ΔP : İşletim basıncı (Pa, kPa veya atm)

η : Süzüntü viskozitesi ($\text{kg}/\text{m} \cdot \text{s}^2$ veya $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ veya $\text{Pa} \cdot \text{s}$)

R_t : Toplam direnç (m^{-1})

Denklem 3.1’deki ifadeye göre işletme basıncının artması ile akı doğru orantılı olarak artmaktadır. İşletme basıncı, uygulanan basınçla osmotik basınç arasındaki farka eşittir. Viskozite ve toplam direncin artmasıyla akı ters orantılı olarak değişim göstermektedir. Membran direnci (R_m), por direnci (R_p), kek direncinin toplamı (R_c) toplam direnç (R_t) olarak ifade edilmektedir [18].

Membran direnci, incelenecek membranın yapısal özelliklerine bağlıdır. Membran materyali, gözenek boyutu, yüzey porozitesi ve kalınlığı gibi parametreler membranın yapısal özelliklerini göstermektedir. Membran direnci deneysel olarak belirlenebilir. Distile su ile farklı basınçlar altında işletilen membranın akı-zaman grafiği çizilerek membran direnci (R_m) belirlenebilir. Membran yüzeyinde oluşan kekin sebep olduğu direnç, uygulanan hidrolik şartlar kadar, süspansiyon maddelerin konsantrasyonu ve kompozisyonunun da bir fonksiyonudur. Konsantrasyonu bilinen süspansiyon farklı basınçlar altında membrandan süzülürken akı-zaman grafiği yardımı ile toplam direnç (R_t) belirlenebilir. Yüzeyi konsantrasyonu bilinen süspansiyonla tıkanmış membranın

por direncini bulabilmek amacıyla membran yüzeyinde biriken tabaka fiziksel olarak uzaklaştırılır ve daha sonra distile su ile farklı basınçlarda işletilerek akı-zaman grafiği elde edilir. Bu akı zaman grafiği membran direnci ve por direncinin toplamını (R_m+R_p) ifade etmektedir. Bu belirlenen dirençten membran direnci çıkarıldığında por direnci (R_p) belirlenmektedir. Toplam dirençten R_m+R_p 'den çıkarıldığında kek direnci (R_c) belirlenmektedir [18].

Membran akısının yanı sıra membran giderme verimi ve geri kazanım oranı da performans açısından önemli bir parametredir. Membran verimi genellikle alıkonulan kirletici oranıyla ifade edilmektedir. Membran tarafından alıkonulan kirletici oranının hesaplanması denklem 3.2'de görülmektedir.

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_f} \quad (3.2)$$

R: Alıkonulan kirletici oranı (rejeksiyon)

C_p : Membrandan geçen çözünen madde konsantrasyonu (mg/l)

C_f : Besleme fazındaki çözünen madde konsantrasyonu (mg/l)

R değeri 1 ise, çözünen madde membran tarafından tamamen tutulmuş, R değeri 0 olduğunda ise, membran çözünen maddeyi hiç tutamamış demektir [19].

Membrandan geçen temiz suyun membrana beslenen suya oranı geri kazanım oranı olarak ifade edilmektedir. Denklem 3.3'te geri kazanım oranının hesaplanması görülmektedir.

$$r = \frac{Q_p}{Q_f} = 1 - \frac{Q_c}{Q_f} \quad (3.3)$$

r: Geri kazanım oranı

Q_p : Temizsu debisi

Q_f : Membrana beslenen suyun debisi

Q_c : Konsantre debisi

3.4.2 Sıcaklık

Membranlarda akı, besleme atıksuyu sıcaklığı ile artar. Su sıcaklığının artması ile viskozite azalmaktadır ve böylece yüksek sıcaklığa sahip suların membrandan geçişi daha kolay olmaktadır. Kış aylarında aynı akı değerini elde etmek için daha fazla basınçta ihtiyaç olacağı da aşikardır.

Sıcaklığa bağlı olarak akıdaki değişim denklem 3.4’de göre hesaplanmaktadır.

$$J = J_{20} * 1.025^{(T-20)} \quad (3.4)$$

J: T sıcaklığındaki akı

J₂₀: 20 °C’deki akı

T: Sıcaklık

Özellikle organik membranlar sıcaklığa karşı dayanımı çok yüksek değildir. Kullanılan membranların üreticisi tarafından belirtilen sıcaklığın aşılması membranın faydalı kullanımı süresi için önem arz etmektedir [20].

3.4.3 pH

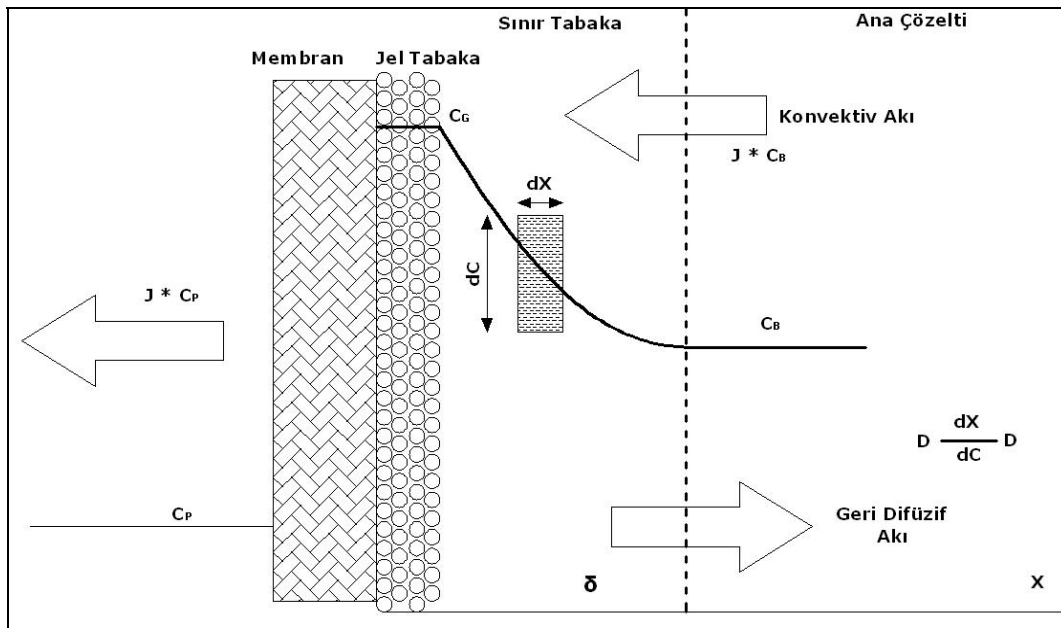
pH değerinin yüksek veya düşük olması membran yapısını etkilemektedir. Yüksek ve düşük pH’larda bazı membran tipleri, özellikle selüloz asetat membranlar, hidrolize olarak kendini oluşturan maddelere ayrılabilir. Bu nedenle membran proseslerde üreticiler tarafından verilen pH işletme aralığına uygun değerlerde membranlar işletmelidir [21].

3.4.4 Membran Kirliliği

Membranların kirleticiler tarafından tıkanması membran proseslerin en önemli dezavantajlarından biridir. Tıkanma derecesine bağlı olarak akıda da azalmalar görülebilmektedir. Membranların tıkanması veya kirlenmesi, sıvıdan ayrılması istenen çözünmüş veya katı haldeki maddelerin membran yüzeyinde birikmeleri sonucu oluşur. Ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon membran yüzeylerine yaklaştıkça birikimdeki kirleticiler

konsantrasyonu artmakta ve membran yüzeyinde maksimuma ulaşmaktadır. Bu durumda membran yüzeyinden ana çözeltiliye doğru bir geri akım oluşmaktadır ve konsantrasyon polarizasyonu adı verilen olay meydana gelmektedir. Membran yüzeyinde biriken maddelerin basıncın etkisi ile kekleşmesi sonucu jel tabakası adı verilen ve membran üzerinde adeta ikinci filtrasyon ünitesi olarak davranan bir tabaka oluşmaktadır. Konsantrasyon polarizasyonu şematik olarak Şekil 3.3’de görülmektedir [18].

Konsantrasyon polarizasyonu, jel tabaka oluşumu ve porların tıkanması akıyı azaltmakta ve membrandan sıvı geçişinde ilave dirençlerin oluşmasına sebep olmaktadır. Bu akı azalmasının boyutu membran prosesin türüne ve hamsu özellikleri göre farklılık göstermektedir.



Şekil 3.3 Konsantrasyon polarizasyonu ve jel tabaka oluşumu

Burada:

J : Akı

C_B : Besleme çözeltisindeki çözünen madde konsantrasyonu (mg/l)

C_G : Membran üzerindeki kirlenici madde konsantrasyonu (mg/l)

C_P : Membrandan geçen çözünen madde konsantrasyonu (mg/l)

x : Sınır tabaka mesafesi

δ: Ana çözelti mesafesi

Membran yüzeyinde biriken ve membranı tıkayan maddelerin ön arıtım ile giderilmesi gerekmektedir. Kalsiyum karbonat, kalsiyum sülfat, demir ve mangan hidroksitleri, baryum ve stronsyum sülfat, çinko sülfür ve kalsiyum fosfat gibi tabakalama yapan maddeler kontrol altına alınmalıdır. Bu maddeler pH ayarlaması, çözünürlüğün artırılması, kimyasal arıtım, çöktürme ve filtrasyon gibi yöntemlerle ön arıtma aşamasında giderilebilir veya çözünmüş forma dönüştürülebilir veya membran yüzeyinde birikim oluşturmaması engellenebilir. Yağ ve gres gibi maddeler membran yüzeyini bloke edebileceğinden bu maddelerin membran öncesi giderilmesi gerekmektedir. Membran yüzeyinde birikip membranın tıkanmasına sebep olabilen bazı kirleticiler Çizelge 3.6'da görülmektedir [22, 23]. Membran yüzeyinde biriken ve tıkanmalara sebep olan kirleticiler kimyasal veya fiziksel yollarla temizlenebilir veya kalıcı kirlenme olarak membran yüzeyinde kalabilir [22].

Çizelge 3.6 Membran kirliliği kaynakları [22, 23].

Madde	Mekanizma
Fe, Mn, ve Al Hidroksitler	Hızlı kinetik, kalıntı oluşumu
Mineral Tuzlar (CaCO ₃ , CaSO ₄ , BaSO ₄ , SrSO ₄)	Çözünürlük sınırının aşılması nedeniyle mineral kalıntı (tortu) oluşumu
Kolloidler	Elektriksel yük: SDI ve zeta potansiyeli kirlenmeyi belirler.
Mikrobiyolojik	Biofilm jel katmanı oluşumu
Proteinler	Hidrofobik ve yük etkileşimleri nedeniyle kirlenme
Polielektrolitler	Yük etkileşimleri nedeniyle kirlenme
Organik asitler	Hümik ve fülvik asitler ciddi kirlenme sebebi
Askıda maddeler	Tıkanma
Yağ ve gres	Hidrofobik membran kirliliği

3.5 Sızıntı Suyu Arıtımının Membran Proseslerle Gerçekleştirildiği Örnek Çalışmalar

Peters ve diğ. (1998) tarafından dünyanın çeşitli yerlerinde bulunan çöp deponi sahalarında sızıntı suyu arıtımını gerçekleştiren ters osmoz sistemleri incelenmiştir. İncelenen tesislerden biri Lübeck (Almanya) şehrindeki Schönberg deponi sahasında uygulanan ters osmoz sistemidir. 36 m³/saat kapasiteli olan bu ters osmoz sisteminin 1989 yılında kurulmuş ve inceleme yapılan tarihe kadar önemli bir işletme probleminin oluşmadığı belirtilmiştir. Sistem ortam sıcaklığında 36–60 bar arasında işletilmiş ve ortalama 15 l/m².saat akı değeri elde edilmiştir. Hannover (Almanya) şehri yakınındaki Kolenfeld deponi sahasındaki ters osmoz tesisi ise %99 KOİ giderim verimine sahip olduğu ve 1993 yılından beri sorunsuz işletildiği belirtilmiştir. Sızıntı suyunun nanofiltrasyon membranları ile arıtılması sonucu organik madde ve iletkenlik gideriminde artış olduğu ve KOİ değerinin 17000 mg/l'den 700 mg/l'ye düşürüldüğü belirtilmiştir[7].

Chianese ve diğ. (1998) tarafından yapılan çalışmada pilot ölçekli ters osmoz membran sistemi sızıntı suyunun arıtımında kullanılmıştır. 1749 mg/l KOİ değerine sahip sızıntı suyu arıtımında membrandan elde edilen akı miktarında zamana bağlı olarak lineer bir azalma olduğu gözlenmiştir. Organik madde giderme oranı basınç artışı ile değişim göstermiştir. Uygulanan transmembran basıncının (TMP) 20 atm'den 53 atm'ye yükseltilmesi ile KOİ giderim verimi %96'dan %98'e kadar arttığı belirtilmiştir. Cu, Zn ve Cd gibi ağır metallerin giderim verimlerinin KOİ muhtevası ile ilişkisi incelenmiştir. Çalışmada ağır metallerin, organik madde içeriğinin artışıyla giderim verimi değerinin çok değişiklik göstermediği gözlenmiş ve çok önemli bir faktör olmadığı görülmüştür. Cd ve Cu giderim veriminin yüksek olması ve organik madde miktarı ile giderim verimlerinin ilişkili olmamasına rağmen Zn giderim veriminin organik madde muhtevasının artışı ile giderim veriminin düştüğü çalışmanın vardığı en önemli sonuçlardan birisi olmuştur [11].

Bohdziewicz ve diğ. (2000) tarafından gerçekleştirilen çalışmada farklı arıtma prosesleri kullanılarak sızıntı suyunun arıtılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmada aktif çamur, kimyasal çöktürme için Fe₂(SO₄)₃, ultrafiltrasyon ve ters osmoz membranları kullanılmıştır. Organik maddelerin biyolojik ayrışmaya karşı dirençli olması sebebiyle

aktif çamur sistemi tek başına yeterli olmadığı belirtilmiştir. Aktif çamur sistemi ile %10 KOİ giderimi sağlanmıştır. Aktif çamur+ $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ prosesleriyle KOİ konsantrasyonu 1660 mg/l'den 546 mg/l'ye kadar azaltılmıştır. Aktif çamur+ultrafiltrasyon prosesleriyle 1660 mg/l'den 846 mg/l'ye ve ultrafiltrasyon çıkış suyuna $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ uygulanması halinde de KOİ konsantrasyonu 482 mg/l'ye ve aynı ultrafiltrasyon çıkış suyuna ters osmoz membranı uygulanması halinde KOİ konsantrasyonu 56 mg/l'ye düşürülmüştür. Bu çalışma, sızıntı suyu gibi biyolojik olarak zor parçalanan atıksuların membran prosesler ile etkin bir şekilde arıtılabilirliğini göstermiştir [24].

Trebouet ve diğ. (2001) tarafından yapılan çalışmada sızıntı suyunun MPT–20 ve MPT–31 nanofiltrasyon membranıyla arıtılabilirliği araştırılmıştır. FeCl_3 ve müteakiben filtrasyon prosesi ön arıtma amacıyla kullanılmıştır. Nanofiltrasyon membranlarının 2 MPa TMP altında işletilmesiyle ham sızıntı suyunda MPT–20 ile % 70, MPT–31 ile % 80'e yakın organik madde giderimi sağlanmıştır. HCl ve NaOH ilavesi ile sızıntı suyunun pH değeri 4, 7.5 ve 10 değerlerine getirilerek nanofiltrasyon prosesinde arıtma gerçekleştirilmiştir. pH 4 değerinde, makro büyüklükteki organik (hümik maddelerin) ve inorganik maddelerin membran tıkanmasında etkin olduğu ve pH 10 değerinde ise nanofiltrasyon membranının KOİ gideriminde etkin olmadığı belirtilmiştir. Düşük ve yüksek pH değerlerinde nanofiltrasyon membranı kullanımında istenilen giderim verimi sağlanmadığından sızıntı suyunun normal pH değeri olan 7.5'de sistem işletilmiştir. Bu pH değerinde 1–1.5 g/l demir içeren FeCl_3 ile yapılan koagülasyon sonucu % 55 KOİ giderimi gerçekleştirilmiştir. Kimyasal arıtım sonrası sızıntı suyu MPT – 31 nanofiltrasyon membranının 2 MPa TMP altında işletilmesiyle sızıntı suyunda % 80'in üstünde organik madde giderim verimi elde edildiği belirtilmiştir. FeCl_3 dozlaması sonucu atıksuda biriken 30 mg/l konsantrasyonundaki Fe içeriği % 96 oranında giderilmiştir [9].

Chung–Nam (Kore) şehrindeki katı atık depolama sahası sızıntı suyu arıtma tesisinin modifikasyonunda membran biyoreaktör ve ters osmoz ünitesi Ahn ve diğ (2002) tarafından ilave edilmiştir. Kimyasal çöktürme, havalandırmalı temas tankı, biyodisk ve aktif karbon ünitesinden müteşekkil mevcut arıtma tesisinde KOİ giderimi % 66 ve amonyum azotu giderimi % 81 iken modifikasyonla kimyasal çöktürme, membran

biyorekatör ve ters osmoz ünitesinden müteşekkil sistemde bu parametrelerin giderim verimi % 96'nın üzerinde olduğu belirlenmiştir. Sızıntı suyunun organik madde içeriğinin % 38'i membran biyoreaktör, % 59'u ise ters osmoz sistemi ile giderilmiştir. Mevcut sistemin işletme maliyeti 5 \$/ton atıksu iken kimyasal çöktürme+membran biyoreaktör+ters osmoz sisteminin işletme maliyeti 3 \$/ton atıksu'ya kadar düşürüldüğü belirtilmiştir [25].

Tsilogeorgis ve diğ. (2008) tarafından yapılan çalışmada pilot ölçekli ardışık kesikli membran reaktör kullanılarak sızıntı suyu arıtmaya çalışılmıştır. Çalışmada hollow fiber ultrafiltrasyon membranı kullanılmıştır. Ardışık kesikli reaktörde 1.25 saat doldurma, 7 saat aerobik havalandırma, 1 saat anoksik, 2.42 saat çamur çökmesi ve 0.33 saat ise reaktör boşaltımı ile toplam 12 saate bir döngü gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın başlangıcında reaktörün işletme performansının azalmaması ve kesikli reaktörde mikrobiyal kültürün stabil olabilmesi için 3 ay boyunca reaktör sentetik su ile besleme yapılarak işletilmiştir. 4 ay boyunca çamur çekme işlemi yapılmadan reaktör sonsuz çamur yaşı ile işletilmiştir. 3. ay sonunda eklenen 250 ml sızıntı suyu ile aşılama yapıldığında askıda katı madde oranında hızlı bir artış gözlenmiştir. MLSS artışı son iki ay içerisinde 6000 mg/l'den 10000 mg/l'ye yükselmiştir. Bu içeriğin % 78'inden fazlasının uçucu yağ asitlerinin oluşturduğu belirtilmiştir. Ardışık kesikli membran reaktörün işletilmesiyle KOİ giderim verimi % 40–60 arasında olduğu belirtilmiştir [26].

Kwon ve diğ (2008) tarafından yapılan çalışmada, döner disk membran modülün (NF – RDM) kullanımı ile sızıntı suyunda yüksek konsantrasyondaki organik maddenin nanofiltrasyon ve ters osmoz membranlarıyla arıtılabilirliği araştırılmıştır. 300–750 rpm aralığında gerçekleştirilen çalışmalarda 2 kg_f/cm² basınç altında akı değerinde en az düşüş 400 rpm'de elde edilmiştir. Membrana uygulanan fiziksel ve kimyasal temizleme prosesleri ile membranın ilk akı değerinin % 97'sine yakını geri kazanılmıştır. Sızıntı suyundaki organik madde giderim verimi % 51.9 ve KOİ değeri ise 1192 mg/l'den 574 mg/l'ye düşürülmüştür. NF–RDM sonrası uygulanan ters osmoz membranı ile organik madde giderim verimi % 97,7'ye kadar artmış ve çıkış KOİ konsantrasyonu 27.8 mg/l'ye kadar azalmıştır. Sistemde ayrıca yaklaşık % 92 oranında amonyum azotu gideriminin

gerçekleştirdiği ve çıkış konsantrasyonu 129 mg $\text{NH}_4^+\text{-N/l}$ olduğu belirtilmiştir. Bu çalışmada, kimyasal ve biyolojik arıtım basamağı gerçekleştirilmeksizin, sızıntı suyu gibi yüksek organik içeriği olan ve biyolojik olarak zor parçalanabilir atıksuların arıtımında yalnızca membran sistemler kullanılarak yüksek giderim verimi elde edilebileceği gösterilmiştir [8].

Sızıntı suyunun anaerobik batık membran biyoreaktör+ters osmoz membranlarıyla arıtılabilirliği Neczaj ve diğ. (2005) tarafından araştırılmıştır. Çalışmada sızıntı suyu ve sentetik su karışımları hacimsel olarak % 5–75 oranları arasında olacak şekilde membran sisteme besleme yapılmıştır. Hacimsel olarak % 10–20 arasında sızıntı suyu içeren atıksuyun arıtımında % 95'in üstünde KOİ giderim verimi elde edilmiştir. Sızıntı suyunun hacimsel olarak artışı sonucu organik madde giderim verimi % 80'den % 25'e kadar düşüş göstermiştir. Ayrıca hacimsel olarak % 30'un üzerinde eklenen sızıntı suları membran biyoreaktör sistemindeki mikroorganizmalar üzerinde inhibasyona neden olmasından dolayı anaerobik arıtım veriminde düşüş gözlenmiştir. Ham sızıntı suyunun KOİ değeri 5000 mg/l KOİ iken membran biyoreaktör çıkışında bu değer 417 mg/l'ye ve ters osmoz çıkışında ise 12 mg/l'ye kadar düşürülmüştür. Bu çalışmada biyolojik olarak zor ayrışabilen sızıntı suyunun arıtımında, atıksuyun bölgesel deşarj sınır değerlerine indirgenebilmesi amacıyla membran biyoreaktör sisteminin tek başına yeterli olmadığını ve ters osmoz sistemi ile entegre olması durumunda başarılı bir arıtım gerçekleştirildiği belirtilmiştir [12].

Hasar ve diğ. (2009) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, sızıntı suyunda bulunan yüksek organik madde ve amonyum içeriğini tamamen giderimini hedeflenmiştir. Sızıntı suyundaki yüksek askıda katı madde içeriği koagülasyon ve flokülasyon işlemleri ile giderilmeye çalışılmıştır. 5.5, 7 ve 10 olmak üzere 3 farklı pH değeri için 0.1, 0.25, 0.5 ve 1.0 g Al^{+3}/L olmak üzere 4 farklı dozda $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ kullanılmıştır. Yüksek askıda katı madde ve KOİ gideriminin elde edildiği optimum kimyasal madde dozajı ve pH değeri belirlenmiştir. 0.25 g Al^{+3}/l kullanılması ile pH 7'de 30 saniye boyunca 1000 rpm hızlı karıştırma, sonrasında yapılan 90 dakika boyunca 100 rpm yavaş karıştırma ve son olarak 30 dakika çöktürme süresi ile sızıntı suyundaki KOİ konsantrasyonu 11000 mg/l'den 7300 mg/l değerine, askıda katı madde konsantrasyonu ise 5200 mg/l'den

2800 mg/l'ye düşürülmüştür. Havayla sıyırma prosesi ile amonyak giderimi, membran biyoreaktörde oluşacak olan mikrobiyal içerikte toksisite etkisini bertaraf etmek amacıyla uygulanmıştır. Amonyak sıyırma yöntemi farklı işletme koşullarında denenmiştir. 6 saat boyunca havalandırmanın yapıldığı ve pH'ın 10 olduğu koşulda amonyak gideriminin % 66,4 olduğu görülmüştür. Kimyasal arıtım ve amonyak sıyırma yöntemi sonrasında yapılan membran biyoreaktör prosesi ile sızıntı suyunun biyolojik olarak membran prosesler yardımı ile arıtımı gerçekleştirilmiştir. Membran biyoreaktör 45 dakika aerobik ve 15 dakika anoksik şartlarda ve 10 – 50 gün çamur yaşı aralığında işletilmiştir. Çamur yaşının 30 gün işletilmesi haricindeki tüm koşullarda, organik madde yükleme oranı düşürülmesi durumunda KOİ gideriminin düştüğü gözlenmiştir. Membran biyoreaktör işletmesindeki optimum koşulların, çamur yaşının 30 gün ve organik madde yüklemesinin 20–35 kg/m³.gün olduğu koşullarda sızıntı suyunun KOİ değeri 7300 mg/l'den 450 mg/l değerine düşürülmüştür. Bu koşullarda KOİ giderim verimi % 90'ın üzerinde olmuştur. Membran biyoreaktör sonrasında uygulanan ters osmoz yöntemi ile sızıntı suyunun KOİ değeri 450 mg/l'den 3.5 mg/l'ye kadar azaltılmıştır. Elde edilen akı ise membran biyoreaktördeki çamur yaşına bağlı olarak değişim göstermiştir. 30 gün çamur yaşı için elde edilen akı değeri 22 l/m².saat iken 50 gün için bu değer 5.69 l/m².saat'ye düştüğü gözlenmiştir [27].

Mariam ve diğ. (2010) tarafından yapılan çalışmada sızıntı suyunun elektrokoagülasyon –nanofiltrasyon hibrit sistemi ile arıtılabilirliği araştırılmıştır. Al₂(SO₄)₃ alüminyum elektrotlarının kullanıldığı elektrokoagülasyon sistemine alternatif olarak kullanılmıştır. Çalışmada 100 mg/l Al₂(SO₄)₃ kullanılarak bulanıklık giderim verimi % 65'e ulaşmıştır. Buna karşın kimyasal dozaj miktarının arttırılmasına rağmen TOK giderim verimi % 10 seviyesinde kalmıştır. Al₂(SO₄)₃ ile düşük TOK giderim veriminin elde edilmesi çalışmada kullanılan sızıntı suyunun düşük moleküler ağırlığa sahip organik madde içermesinden kaynaklandığı varsayılmıştır. Elektrokoagülasyon kullanıldığında 80–100 dakika reaksiyon süresi aralığında bulanıklık giderme veriminin % 80'den yüksek olduğu ve TOK giderme veriminin ise % 70'e yakın olduğu görülmüştür. Elektrokoagülasyon sonrası NF270 ve TFCSR2 model nanofiltrasyon membranları kullanılmıştır. NF270 nanofiltrasyon membranı ile % 90–93 TOK giderim verimi gerçekleşirken, TFCSR2 nanofiltrasyon membranı ile % 89–91 arasında TOK giderim verimi elde edilmiştir.

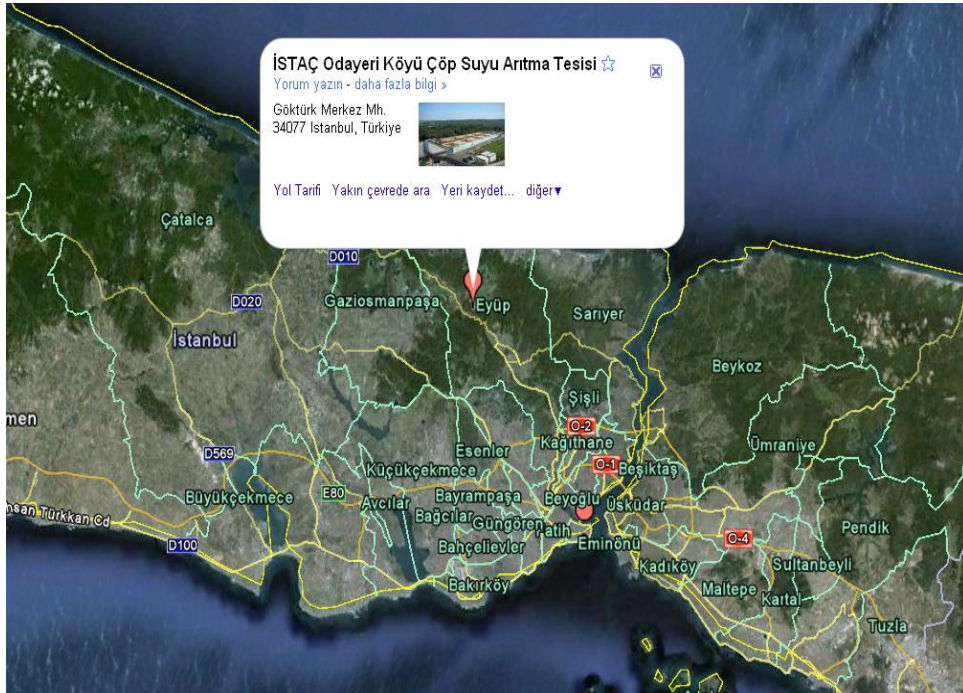
Membran prosesler öncesinde ön arıtım sistemlerinin kullanılması halinde sızıntı suyundan yüksek organik madde giderim verimi sağlandığı belirlenmiştir [28].

Pi ve diğ. (2009) tarafından yapılan çalışmada havayla sıyırma, koagülasyon ve ultrafiltrasyon prosesleri sızıntı suyunun biyolojik olarak parçalanabilirliğini arttırmak amacıyla test edilmiştir. 3–24 saat arasında havalandırma süresi ve 20 – 65 °C arasında farklı sıcaklık değerleri amonyum sıyrılmasında hava/sıvı oranının optimum olduğu işletme şartlarının belirlenmesi amacıyla uygulanmıştır. Optimum işletme koşullarının, 18 saat boyunca hava/sıvı oranının 3500 ve sıcaklık değerinin 50 °C olduğu koşul altında elde edildiği ve bu koşullar altında amonyum giderim veriminin % 88.6 olduğu görülmüştür. FeCl₃ ve PFC (poliferrik klorit) ile yapılan koagülasyon aşamasında pH 7’de optimum FeCl₃ dozajının 570 mg/l ve pH 10 için PFC dozajının 620 mg/l olduğu belirlenmiştir. Elde edilen optimum pH ve dozaj değerleri daha fazla KOİ giderimi sağlaması nedeniyle BOİ/KOİ oranının artmasına sebep olmuştur ve dozaj optimizasyonu aşamasında her iki kimyasalda da bu oranı yaklaşık 0.133 olarak tespit edilmiştir. PFC kimyasalarının kullanılmasıyla % 43.6 KOİ giderimi elde edilmiştir. Son aşamada kullanılan 3 kDa ultrafiltrasyon membranının 0.7 MPa TMP altında işletimliyle BOİ/KOİ oranı 0.43’e yükselmiştir. Çalışmada tüm işlemler sonunda sızıntı suyunun KOİ değeri 18725.8 mg/l’den 2845.5 mg/l’ye düşürüldüğü tespit edilmiştir [29].

DENEYSEL YAKLAŞIM

4.1 Odayeri Katı Atık Düzenli Depolama Sahası

Çalışmada kullanılan genç ve yaşlı sızıntı suları İSTAÇ Odayeri Katı Atık Düzenli Depolama Sahası'ndan temin edilmiştir. Odayeri Düzenli Depolama Sahası 1994 yılında işletmeye alınmış ve halen günümüzde işletimi devam etmektedir. Tesise giriş yapan ortalama günlük katı atık miktarı 10,000 ton/gün ve sızıntı suyu miktarı ise 1500 m³/gün'dür. Şekil 4.1'de İSTAÇ Odayeri Katı Atık Düzenli Depolama Sahası'nın genel krokisi ve şekil 4.2'de ise sahanın detaylı planı görülmektedir.



Şekil 4.1 İSTAÇ Odayeri Katı Atık Düzenli Depolama Sahası'nın genel krokisi



Şekil 4.2 İSTAÇ Odayeri Katı Atık Düzenli Depolama Sahası'nın detaylı planı

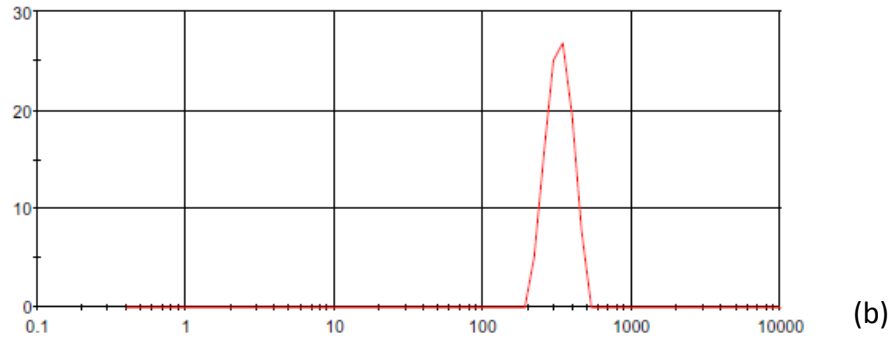
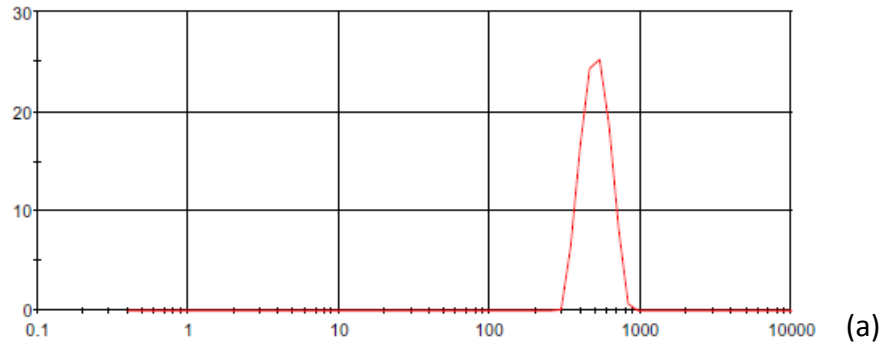
Sızıntı suları Odayeri Katı Atık düzenli Depo Sahasında mevcut bulunan genç ve yaşlı depolama hücrelerinden alınmıştır. 2010 yılına ait katı atık depolama hücresinden genç sızıntı suyu, 2000 yılına ait katı atık depolama hücresinden ise yaşlı sızıntı suyu temin edilmiştir. Temin edilen genç ve yaşlı sızıntı sularının özellikleri Çizelge 4.1'de gösterilmiştir. Genç ve yaşlı sızıntı sularının moleküller boyut analiz grafikleri sırasıyla Şekil 4.3'te ve Şekil 4.4'te, analiz verileri ise Çizelge 4.2'de görülmektedir. Moleküller boyut analizi yapılmadan önce numuneler 0.45 μm çaplı membran filtreden süzülmüştür. Elde edilen süzüntülerde doğrudan moleküller boyut analizi yapılırken, filtre kalıntısı nitrik asit ilavesi ile parçalandıktan sonra analiz edilmiştir. Temin edilen sızıntı suları laboratuvar koşullarında +4 $^{\circ}\text{C}$ 'de muhafaza edilmiştir.

Çizelge 4.1 Genç ve yaşlı sızıntı sularının analiz sonuçları

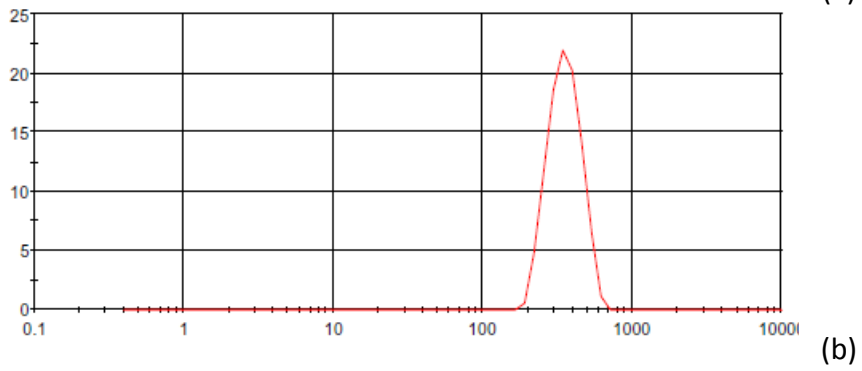
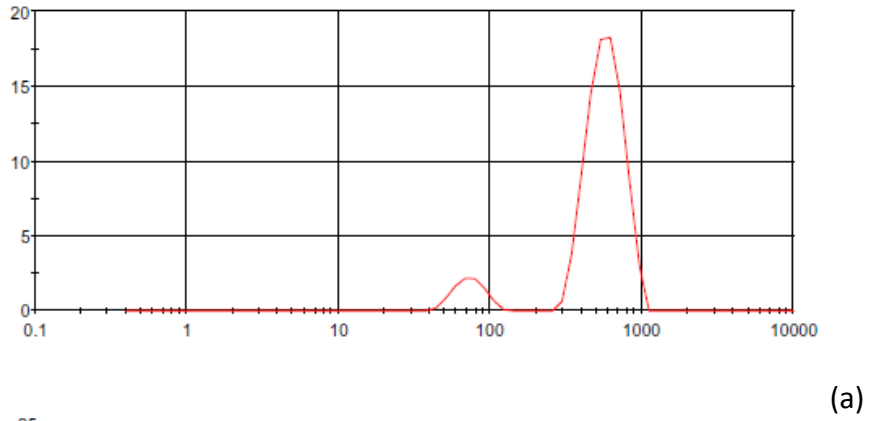
Parametreler	Genç Sızıntı Suyu	Yaşlı Sızıntı Suyu
KOİ(mg/L)	47500 ± 2000	16610 ± 2000
TOK (mg/L)	16530±1000	8380 ±1000
AKM (mg/L)	1750 ± 250	1000 ± 250
pH	6.8 ± 0.5	8.2 ± 0.2
İletkenlik (mS/cm)	26 ± 1	32 ± 1
Cl ⁻ (mg/L)	3512.81	2353.14
NO ₂ ⁻ (mg/L)	17.91	11.79
NO ₃ ⁻ (mg/L)	11.67	11.83
SO ₄ ⁻² (mg/L)	932.21	42.50
PO ₄ ⁻³ (mg/L)	3.66	5.96
NH ₄ ⁺ (mg/L)	858.87	851.12
Fe (mg/L)	32.12	10.40
Cr (mg/L)	1.01	1.80
Zn (mg/L)	3.32	6.72
Ni (mg/L)	1.85	2.08

Çizelge 4.2 Genç ve yaşlı sızıntı sularının moleküler boyut dağılımı (MWCO) analiz sonuçları

Sızıntı Suyu Tipi	Analiz Türü	Parametreler			
		Pik Sayısı	Çap (nm)	Yoğunluk (%)	Genişlik (nm)
Genç	Filtre kalıntısı	1	511.2	100	104.1
	Süzüntü	1	330	100	63.1
Yaşlı	Filtre kalıntısı	1	585.2	90.7	150.3
		2	73.66	9.3	16.17
	Süzüntü	1	359.2	100	87.10



Şekil 4.3 Genç sızıntı suyunun (a) 0.45 μm 'lik filtre yüzeyindeki kalıntı (b) 0.45 μm 'lik filtreden geçen süzütünün moleküler boyut dağılımı (MWCO) analizi

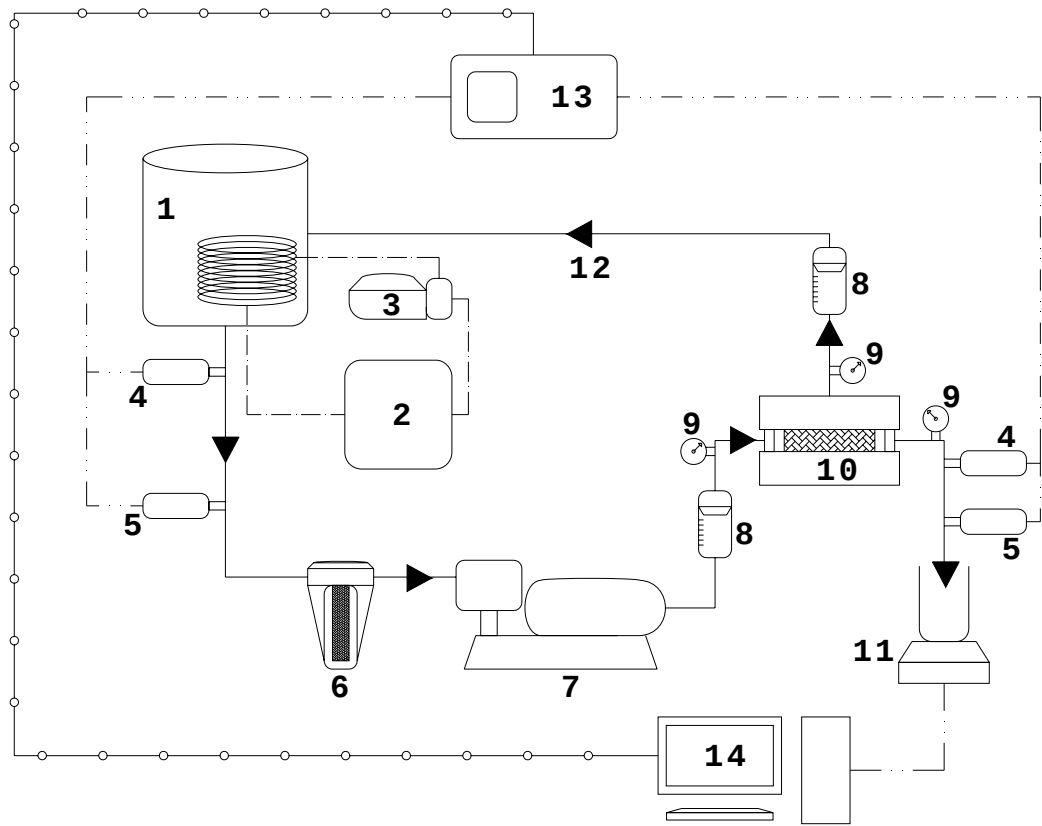


Şekil 4.4 Yaşlı sızıntı suyunun (a) 0.45 μm 'lik filtre yüzeyindeki kalıntı (b) 0.45 μm 'lik filtreden geçen süzütünün moleküler boyut dağılımı (MWCO) analizi

4.2 Deneysel Çalışma Düzenegi

4.2.1 Tabaka Membran Düzenegi

Çalışmada laboratuvar ölçekli tabaka (flat sheet) membran düzenegi kullanılmıştır. Tabaka membran düzenegi ile mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters osmoz membranları farklı işletme basınçları altında işletilmiştir. Tabaka membran düzeneginde membran hücresinin etkili alanı 155 cm²'dir. Membran düzeneginde bulunan ekipmanlar ile düzenegin akım diyagramı Şekil 4.5'te görülmektedir.



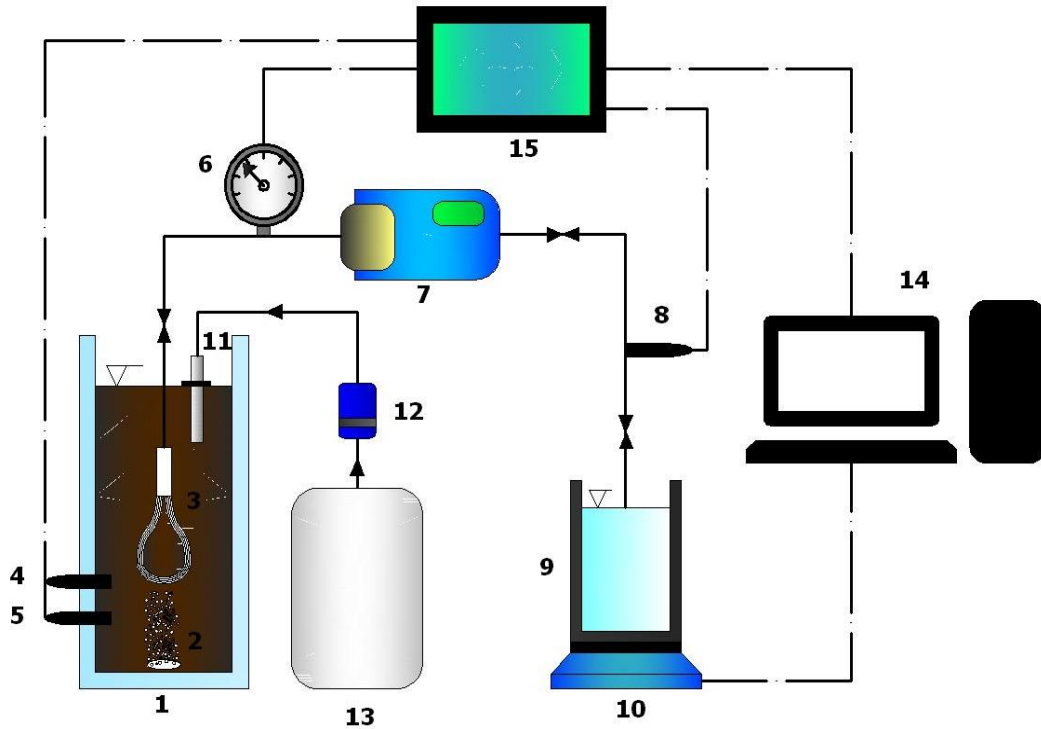
1. Atıksu tankı, 2. Sıcaklık kontrol ünitesi, 3. Sirkülasyon pompası, 4. İletkenlik ölçer, 5. pH sensörü, 6. Kartuş filtre haznesi, 7. Yüksek basınçlandırma pompası, 8. Debimetre, 9. Manometre, 10. membran modülü, 11. Hassas terazi, 12. Konsantre hattı, 13. veri Deposu, 14. Bilgisayar)

Şekil 4.5 Laboratuvar ölçekli membran düzeneginin akım şeması

4.2.2 Batık Membran Sistemi (Submerged Membrane)

Çalışmada basınçlı membran sistemi ile batık membran düzenegi ön arıtma amacıyla kullanılmıştır. Batık membran düzeneginde ultrafiltrasyon membranı ile arıtma

gerçekleştirilmiştir. Düzeneğe ait ekipmanlar ve akım diyagramı Şekil 4.6’da görülmektedir.



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

Şekil 4.6 Laboratuvar ölçekli batık membran düzeneğinin akım şeması

4.3 Çalışma Kullanılan Membranlar

Tabaka membran düzeneğinde mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters osmoz membranları kullanılmıştır. Mikrofiltrasyon ile ultrafiltrasyon membranları Microdyn-Nadir ve nanofiltrasyon ile ters osmoz membranları ise Dow-Filmtec firmasından temin edilmiştir. Çalışmada kullanılan tabaka membranların özellikleri Çizelge 4.3’te görülmektedir.

Çizelge 4.3 Membranların teknik özellikleri

Özellikler	Ön Arıtım Membranları		İleri Arıtım Membranları				
	MP005	UC030	NF270	NF90	BW30	XLE	SW30
Tipi	Mikrofiltrasyon	Ultrafiltrasyon	Nanofiltrasyon	Nanofiltrasyon	Ters Osmoz	Ters Osmoz	Ters Osmoz
Malzeme	Polietersülfon	Selüloz Dirençli	Poliamid İnce Komposit Film	Poliamid İnce Komposit Film	Poliamid İnce Komposit Film	Poliamid İnce Komposit Film	Poliamid İnce Komposit Film
Maksimum İşletme Sıcaklığı (°C)	95	55	45	45	45	45	45
Maksimum İşletme Basıncı (BAR)	-	-	41	41	41	41	69
pH Aralığı	1 – 11	0 – 14	3 – 10	3 – 10	2 – 11	2 – 11	2 – 11
Giderim Verimi (%)	-	-	40-60 NaCl	85-95 CaCl ₂	99 NaCl	99 NaCl	99.7 NaCl
Moleküler Ağırlık Kesim Noktası (MWCO)	0.05 µm	30 kDa	200-300 Da	150 Da	-	100 Da	-
Maksimum Akı (L/m ² .saat)	> 800	> 300	115.8	72.5	44.7	48.8	27.4

Batık membran düzeneğinde Zenon marka (Kanada) ZW–UF model UF membranı kullanılmıştır. Dış çapı 2 mm ve gözenek çapı ise 0.04 mikron (MWCO’su 150 kDa) olan hidrofilik karakterdeki membranın spesifik yüzey alanı 235 cm²’dir .

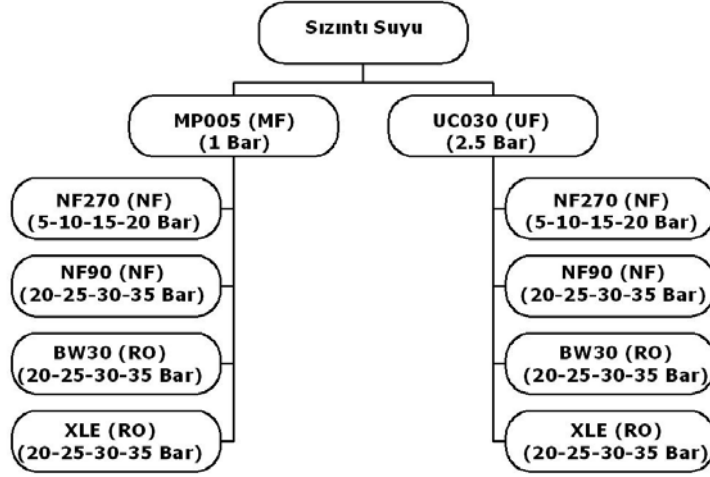
4.4 Deney Düzeneklerinin İşletme Prosedürleri

4.4.1 Tabaka Membran Düzeneği İşletme Prosedürü

Sisteme hamsu beslemesi 10 L hacme sahip bir tanktan sağlanmıştır. Eşanjör sistemi ile besleme tankı içerisindeki su sıcaklığı 23 ± 2 °C aralığında tutulmuştur. Besleme tankı çıkışında 1’er adet pH ve iletkenlik probaları bulunmaktadır. Böylece membran hücresi öncesinde pH ve iletkenlik değerleri on-line olarak analiz edilmiştir. Probların bağlı

olduğu hattan geçen su 1 mikron gözenek çapına sahip kartuş filtreden geçerek Cat-Pump marka yüksek basıncı pompasına iletilmektedir. Yüksek basıncı pompasının devri frekans konvektr ile ayarlanabilmektedir. Yüksek basıncı pompası vasıtasıyla sular istenilen basınçlarda membran hücresine iletilmiştir. Membran hücresi girişi, temiz su ve konsantre hattı üzerinde analog ölçüm yapan manometreler ile basınçlar ölçülmüş ve TMP hesaplanmıştır. Membran hücresi çıkışındaki temiz su hattında on-line pH ve iletkenlik ölçümü problemler tarafından gerçekleştirilmiştir. Membrandan geçen temiz su Kern marka dijital hassas terazi üzerinde bulunan tanklarda depolanmıştır. Zamanla biriken temiz su miktarı dijital terazi vasıtasıyla bilgisayar veri tabanına aktarılarak depolanmıştır. Bu veriler dikkate alınarak akı değerleri hesaplanmıştır. Membran konsantresi ise besleme tankına geri devir hattı ile iletilmiştir. Yüksek basıncı pompası çıkışında ve konsantre hattı üzerinde debimetreler bulunmaktadır. Problemler tarafından ölçülen veriler SC1000 veri depolama aygıtına aktarılmıştır. SC1000 veri depolama sistemindeki veriler bilgisayar veri tabanında depolanmıştır. Kullanılan problemler ve SC1000 veri depolayıcı sistemi Hach-Lange firmasından temin edilmiştir.

Genç ve yaşlı sızıntı suyunun tabaka membran deney düzeneğinde n ve ileri arıtımı gerçekleştirilmiştir. MP005 mikrofiltrasyon ve UC030 ultrafiltrasyon membranları ile sırasıyla 1 bar ve 2.5 bar basınç altında sızıntı sularının ön arıtımı sağlanmıştır. n arıtım sonrası elde edilen sznt, NF90, NF270, BW30 ve XLE nanofiltrasyon ve ters osmoz membranları ile arıtılmıştır. BW 30, XLE ve NF 90 membranları sırasıyla 20, 25, 30 ve 35 bar ve NF 270 nanofiltrasyon membranı ise 5, 10, 15 ve 20 bar transmembran basınç değerleri altında işletilmiştir. Sızıntı sularının tabaka membran deney düzeneğindeki n ve ileri arıtım aşamaları şekil 4.7’de görülmektedir.



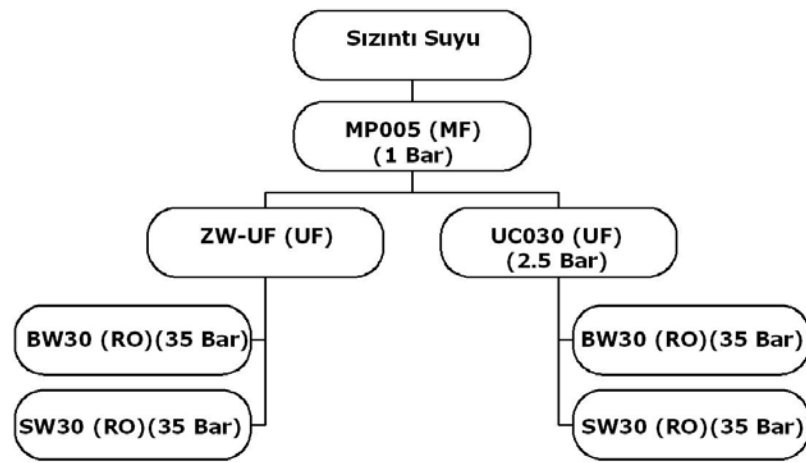
Şekil 4.7 Genç ve yaşlı sızıntı sularının tabaka membran deney düzeneğindeki ön ve ileri arıtım aşamaları

4.4.2 Batık Membran Düzeneğinin İşletme Prosedürü

4.4.3 Batık (Submerged Membrane) Membran Düzeneği İşletme Prosedürü

Batık membran sistemi 10 L hacme sahip pleksiglas reaktör, Watson-Marlow marka peristaltik pompa, seviye sensörü, online manometre, Hach-Lange marka SC1000 veri depolama aygıtı, pH ve bulanıklık problarından oluşmaktadır. Membranın yerleştirildiği bölmenin tabanında havalandırma işlemi gerçekleştirilerek batık membran yüzeyinde tıkanmanın önlenmesi amaçlanmıştır. pH ve bulanıklık probları ile on-line ölçüm yapılmaktadır. Sistem 55 dakika vakum ve 5 dakika geri yıkama yapacak şekilde işletilmiştir. Batık membran sisteminde vakum peristaltik pompa ile sağlanmış ve basınç değeri manometre ile ölçülmüştür. Geri yıkamada batık membran sisteminden elde edilen süzüntü kullanılmıştır. Membrandan geçen temiz su Kern marka dijital hassas terazi üzerinde bulunan tanklarda depolanmıştır. Zamanla biriken temiz su miktarı dijital terazi vasıtasıyla bilgisayar veri tabanına aktarılarak depolanmıştır. Bu veriler dikkate alınarak akı değerleri hesaplanmıştır. Membrandan geçen arıtılmış su bulanıklık probundan geçerek anlık bulanıklık değeri ölçülmüş ve bu veriler SC1000 veri depolama aygıtında depolanmıştır. Reaktördeki su seviyesinin 5 cm azalması halinde PLC sistemi tarafından besleme tankına ilave su, pompa vasıtasıyla iletilmiştir. Böylece su seviyesi 5 cm'lik aralıkta sabit tutulmuştur.

MP005 membranından geçirilmiş sızıntı suları batık ZW-ultrafiltrasyon membranı sistemine iletilmiştir. ZW-ultrafiltrasyon membranıyla ön arıtımı tamamlanan sızıntı suları BW30 ve SW30 ters osmoz membranlarına beslenmiştir. Ters osmoz membranları 35 bar basınç altında işletilmiştir. MP005 membranından geçirilen sular aynı zamanda basınçla işletilen UC030 tabaka membranından süzülerek ön arıtımı tamamlanmış ve 35 bar basınç altında işletilen BW30 ile SW30 membranlarına beslenmiştir. Böylece batık ultrafiltrasyon sistemi ile basınçlı işletilen ultrafiltrasyon sistemlerinin verimleri mukayese edilmiştir. Genç ve yaşlı sızıntı sularının bu aşamada işletim basamakları Şekil 4.8’de görülmektedir.



Şekil 4.8 Genç ve yaşlı sızıntı sularının iki kademeli ön arıtımı sonrası batık ve basınçlı membran deney düzeneğindeki ileri arıtım aşamaları

4.5 Analizler

Çalışmada analiz edilen parametreler, analiz yöntemleri ve ekipmanları Çizelge 4.4’te görülmektedir.

Çizelge 4.4 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	ISO 6060, 1986a	Açık reflux seti+titratör
TKM	Standart Metodlar, 2005	Süzme seti+etüv
TOK	Standart Metodlar, 2005	TOK Ölçüm cihazı
TKN	Standart Metodlar, 2005	Kaynatma-distilasyon seti+titratör
NH_4^+-N	Standart Metodlar, 2005	Distilasyon seti+ titratör
Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , SO_4^{2-}	Standart Metodlar, 2005	İyon kromatografi cihazı
Ağır metaller	Standart Metodlar, 2005	Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi

4.6 Deneysel Çalışma Sistematığı

Genç ve yaşlı sızıntı suları için yapılan deneysel çalışmalar 4 ana aşama ve 8 alt basamaktan oluşmaktadır. Yapılan 8 basamağın 4'ü ön arıtım diğer 4'ü ise ön arıtım sonrasında kullanılan ileri arıtım membranlarından oluşmaktadır. Ön arıtım aşamasını içeren ilk 4 basamağın ilki MP005, ikincisi UC030, üçüncüsü MP005+ZW-UF ve dördüncüsü ise MP005+UC030 kullanımından oluşmaktadır. İleri arıtım aşamasında ise ön arıtım aşamasında kullanılan NF270/NF90/BW30/XLE ve BW30/SW30 ileri arıtım membranlarından oluşan alt basamaklardan oluşmaktadır. Deneysel çalışmalarda izlenen sistematik Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5 Deneysel çalışma sistematığı

	Membranlar							
	MP005 +		UC030 +		MP005+ZW-UF +		MP005+UC030 +	
	NF270/NF90/BW30/XLE		NF270/NF90/BW30/XLE		BW30/SW30		BW30/SW30	
Sızıntı Suyu Tipi	MP005	NF270 NF90 BW30 XLE	UC030	NF270 NF90 BW30 XLE	MP005 + ZW-UF	BW30 SW30	MP005 + UC030	BW30 SW30
Genç	5.1.1.1	5.1.1.2	5.1.2.1	5.1.2.2	5.1.3.1	5.1.3.2	5.1.4.1	5.1.4.2
Yaşlı	5.2.1.1	5.2.1.2	5.2.2.1	5.2.2.2	5.2.3.1	5.2.3.2	5.2.4.1	5.2.4.2

DENEYSEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

5.1 Genç Sızıntı Suyu Deney Verileri

5.1.1 MP005, NF270, NF90, BW30 ve XLE Membranlarıyla Gerçekleştirilen Deneysel Çalışma Verileri

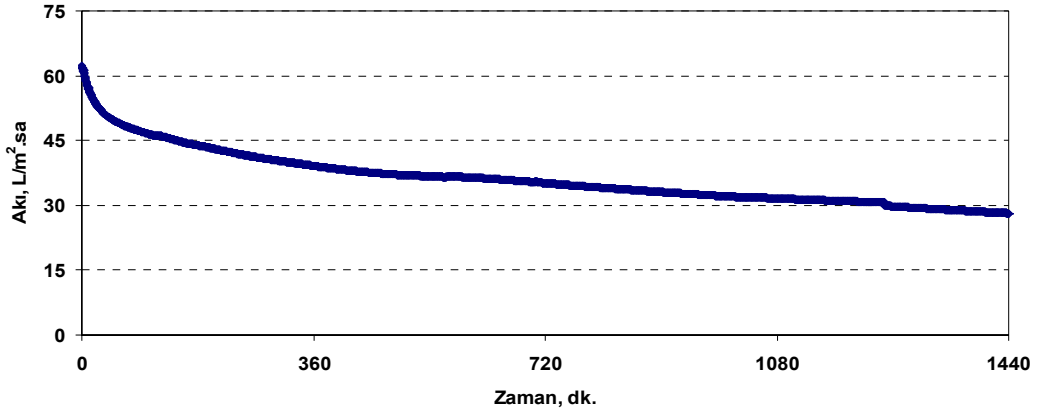
5.1.1.1 MP005 Mikrofiltrasyon Membranıyla Önarıtma Deney Verileri

Genç sızıntı suyunun ileri arıtımından önce MP005 membranı ön arıtma amacıyla kullanılmıştır. MP005 mikrofiltrasyon membranı 1 bar basınç altında işletilmiştir.

Akı:

Genç sızıntı suyunun MP005 membranı ile önarıtımına ait akı verileri Şekil 5.1’de görülmektedir.

MP005 mikrofiltrasyon membranının 1 bar transmembran basıncı (TMP) altında işletilmesi sonucu zamana bağlı olarak akıda azalma görülmektedir. MP005 membranı ile elde edilen en yüksek akı değeri $62.24 \text{ l/m}^2.\text{saat}$ iken en düşük akı değeri ise $27.94 \text{ l/m}^2.\text{saat}$ ’tir. MP005 mikrofiltrasyon membranından elde edilen süzüntü NF270, NF90, BW30 ve XLE ileri arıtım membranlarına beslenmiştir.



Şekil 5.1 Genç sızıntı suyunun MP005 membranı ile ön arıtımının akı grafiği

Organik Madde Giderimi:

Genç sızıntı suyunun MP005 membranı ile ön arıtımı sonrası KOİ ve TOK konsantrasyonları sırasıyla 35290 mg/l ve 11024 mg/l'dir. KOİ ve TOK giderim verimleri ise sırasıyla % 25.63 ve % 33.31'dir.

Ağır Metal Giderimi:

Genç sızıntı suyunun MP005 membranı ile ön arıtımı sonrası Fe, Cr, Zn ve Ni konsantrasyonları sırasıyla 0.88 mg/l, 0.88 mg/l, 1.50 mg/l ve 1.85 mg/l'dir. Genç sızıntı suyunun MP005 ön arıtımı sonrası % 97.27 Fe % 12.62 Cr ve % 54.79 Zn giderimi olmasına rağmen Ni'de bir giderim görülmemiştir.

İyon Giderimi:

Genç sızıntı suyunun MP005 membranı ile ön arıtımı sonrası Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{-3} ve SO_4^{-2} parametrelerinde kayda değer bir giderim görülmemiştir.

5.1.1.2 MP005 Mikrofiltrasyon Membranı Ön Arıtımı Sonrası NF270, NF90, BW30 ve XLE Membranlarıyla İleri Arıtım Deney Verileri

Genç sızıntı suyunun MP005 mikrofiltrasyon membranı ile ön arıtımı sonrasında NF270, NF90, BW30 ve XLE ileri arıtım membranları kullanılarak nihai arıtımı

gerçekleştirilmiştir. NF270 membranı 5, 10, 15 ve 20 bar TMP altında, NF90, BW30 ve XLE membranları ise 20, 25, 30 ve 35 bar TMP altında işletilmiştir.

Akı:

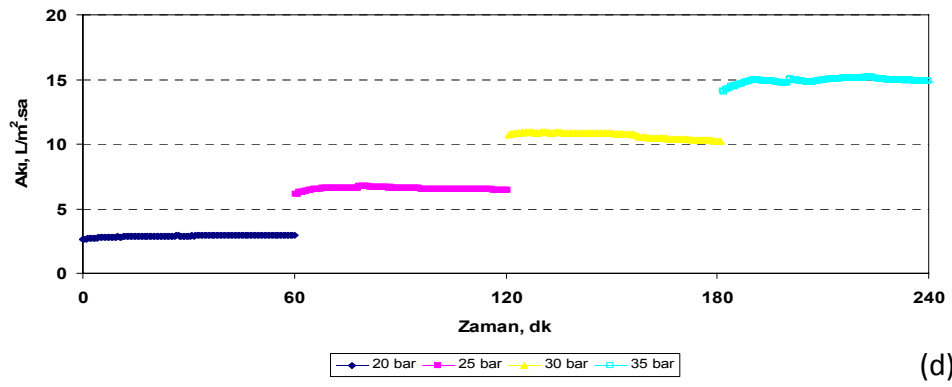
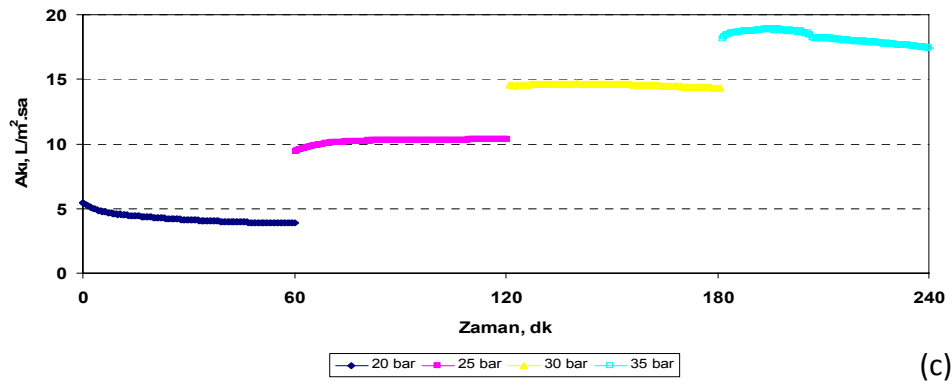
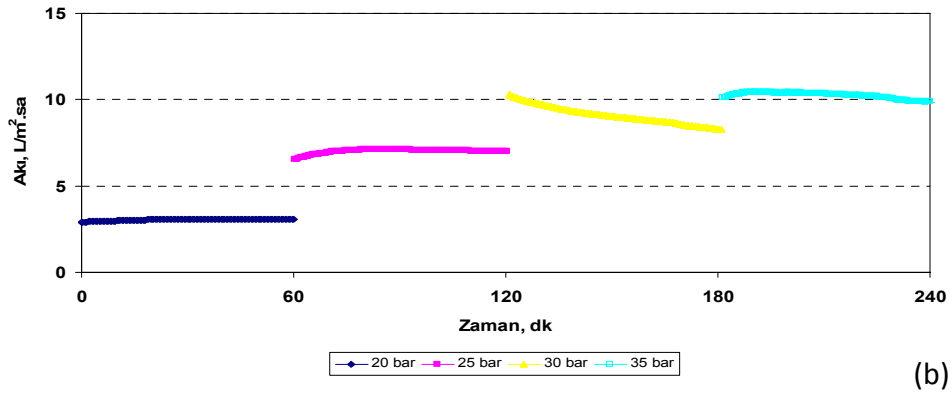
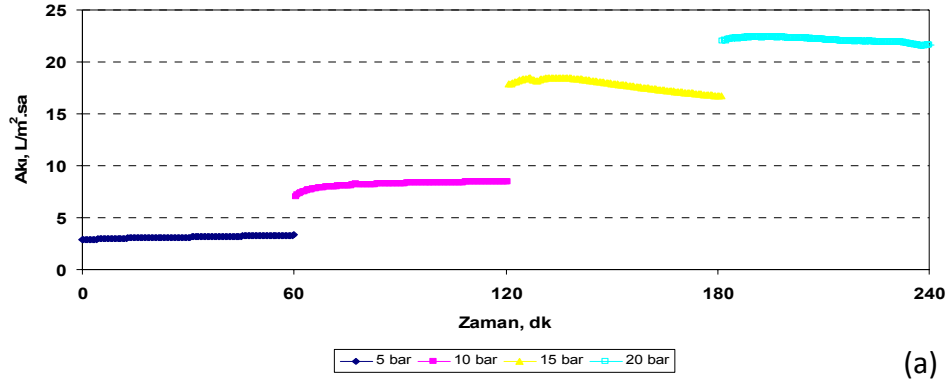
Genç sızıntı suyunun MP005 membranıyla ön arıtımı sonrasında kullanılan NF270, NF90, BW30 ve XLE ileri arıtım membranlarına ait akı verileri Şekil 5.2’de görülmektedir.

MP005 mikrofiltrasyon membranı sonrası uygulanan ileri arıtmada artan TMP’ye bağlı olarak akı değerlerinde artış olduğu görülmektedir. İleri arıtım membranlarıyla elde edilen en yüksek akı değeri 20 bar TMP altında NF270 membranıyla elde edilmiş ve bu akı değeri 22.42 l/m².saat’dir. İleri arıtım membranlarıyla elde edilen en düşük akı değeri ise 20 bar TMP altında XLE membranıyla elde edilmiş ve bu akı değeri 2.64 l/m².saat’dir.

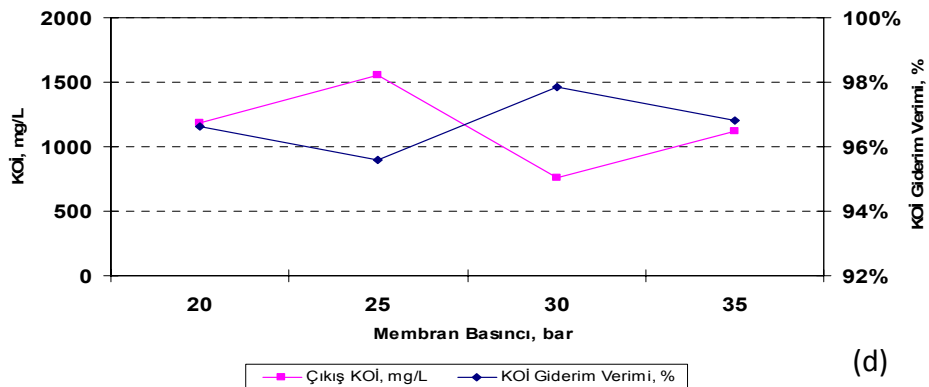
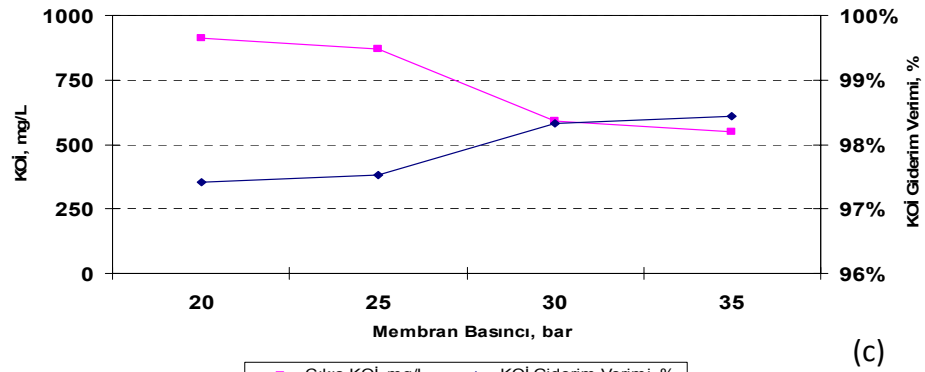
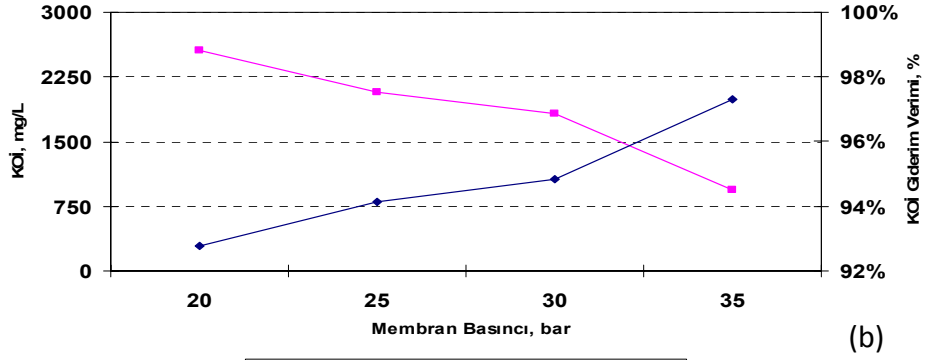
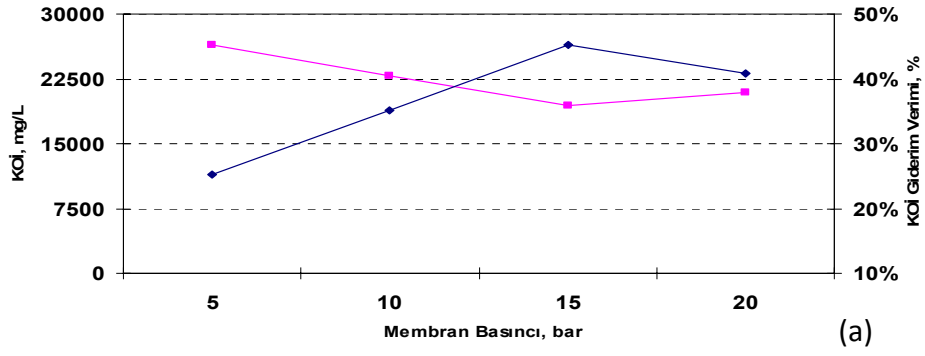
Organik Madde Giderimi:

Genç sızıntı suyunun MP005 membranı sonrası NF270, NF90, BW30 ve XLE ileri arıtım membranları kullanılması sonucu elde edilen çıkış KOİ ile TOK konsantrasyonları ve giderim verimleri sırasıyla Şekil 5.3 ve 5.4’te görülmektedir.

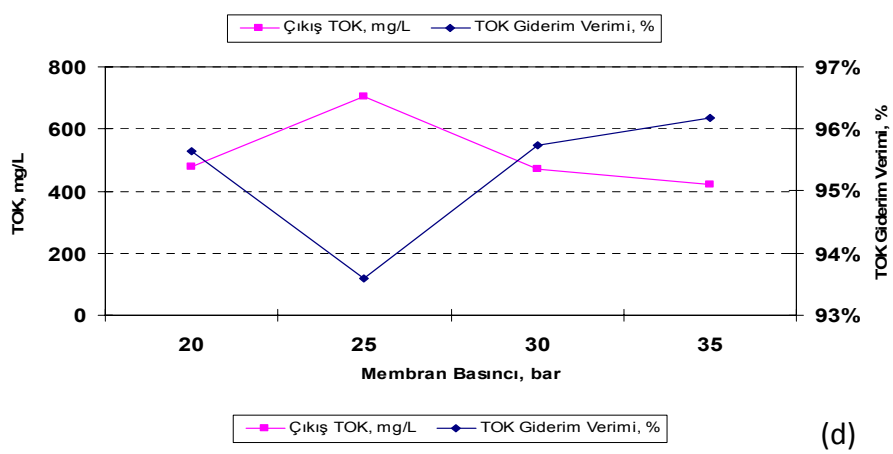
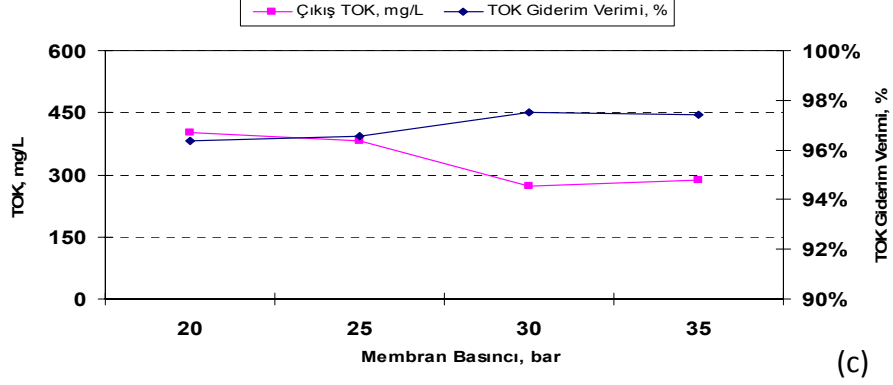
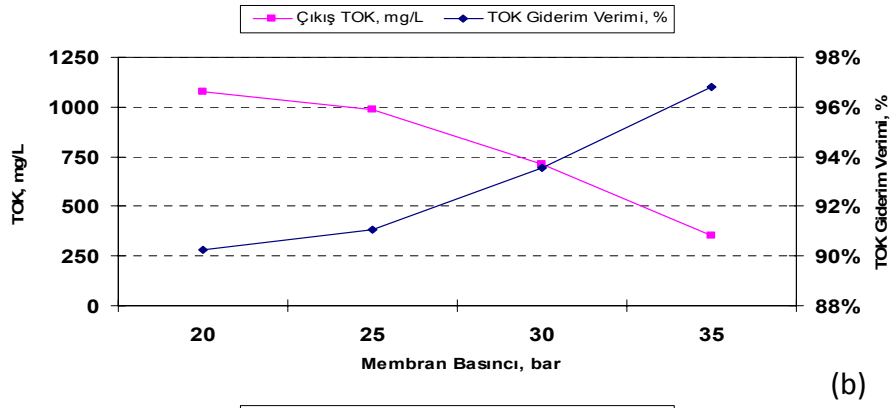
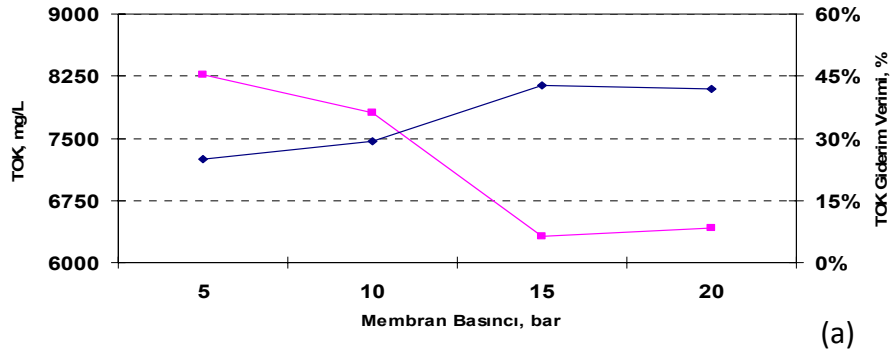
Şekil 5.3 ve Şekil 5.4’de görüldüğü üzere NF90 ve BW30 ileri arıtım membranlarında organik madde giderim verimlerinde TMP artışı ile artış olduğu görülmektedir. İleri arıtım membranlarıyla elde edilen en düşük KOİ ve TOK çıkış konsantrasyonu 35 bar TMP altında BW30 membranıyla elde edilmiştir ve bu değerler sırasıyla 550 mg/l ve 287.2 mg/l’dir. BW30 membranının 35 bar TMP altında işletilmesi sonucu elde edilen KOİ ve TOK giderim verimleri sırasıyla % 98.44 ve % 97.39’dur. İleri arıtım membranlarıyla elde edilen en yüksek KOİ ve TOK çıkış konsantrasyon değerleri 26400 mg/l ve 8270 mg/l olup bu değer NF270 nanofiltrasyon membranının 5 bar TMP altında işletilmesi sonucu elde edilmiştir.



Şekil 5.2 Genç sızıntı suyu MP005 sonrası (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE ileri arıtım akı verileri



Şekil 5.3 MP005 ile önartıtımı yapılmış genç sızıntı suyunun ileri arıtımı sonrası KOİ konsantrasyonları ve giderme verimleri (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE



Şekil 5.4 MP005 ile önarıtımı yapılmış genç sızıntı suyunun ileri arıtımı sonrası TOK konsantrasyonları ve giderme verimleri (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE

Ağır Metal Giderimi:

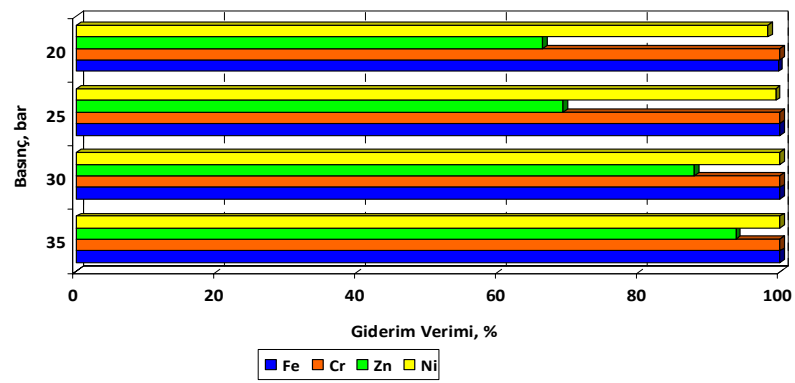
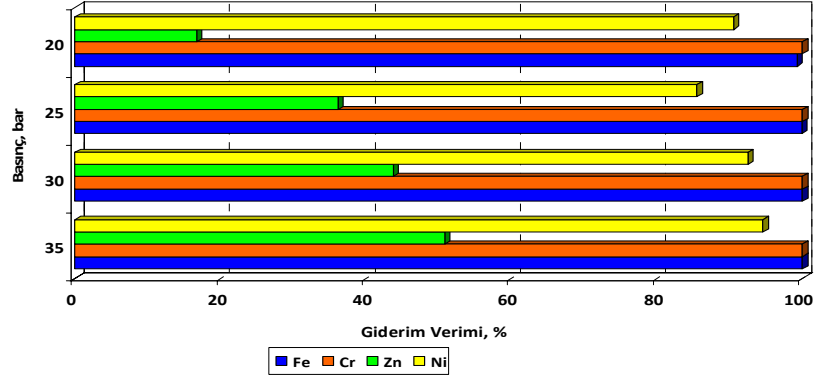
Genç sızıntı suyunun MP005 membraniyle önartıtımı sonrasında kullanılan NF270, NF90, BW30 ve XLE ileri arıtım membranlarına ait Fe, Cr, Zn ve Ni çıkış konsantrasyonları Şekil 5.5'te görülmektedir.

İleri arıtım membranlarıyla arıtımda Fe, Cr, Zn ve Ni giderim verimlerinde artan TMP'ye bağlı olarak artış olduğu Şekil 5.5'te görülmektedir. En düşük Fe, Cr, Zn ve Ni konsantrasyonları BW30 ters osmoz membranının 35 bar TMP altında işletilmesiyle elde edilmiştir. BW30'un 35 bar TMP altında işletimi sonucunda Fe, Cr ve Ni tamamen giderilmiştir. Elde edilen Zn çıkış konsantrasyonu değeri 0.143 mg/l ve Zn giderim verimi ise % 95.69'dir. En düşük ağır metal giderim verimi NF270 membranının 5 bar TMP altında işletiminde görülmektedir.

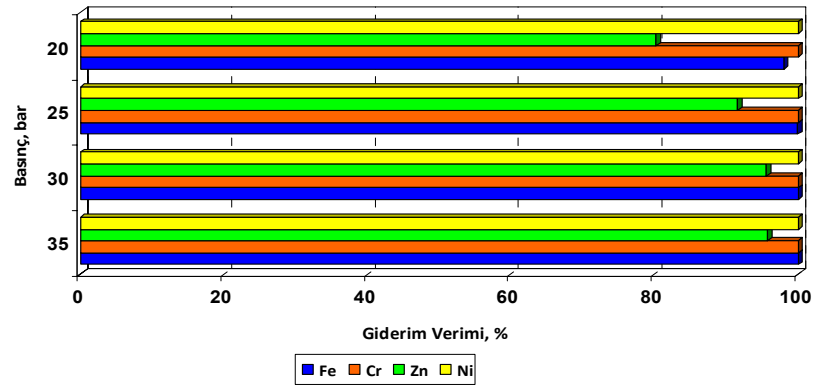
İyon Giderimi:

Genç sızıntı suyunun MP005 membraniyle önartıtımı sonrasında kullanılan NF270, NF90, BW30 ve XLE ileri arıtım membranlarına ait Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} ve SO_4^{2-} çıkış konsantrasyonları Şekil 5.6'da görülmektedir.

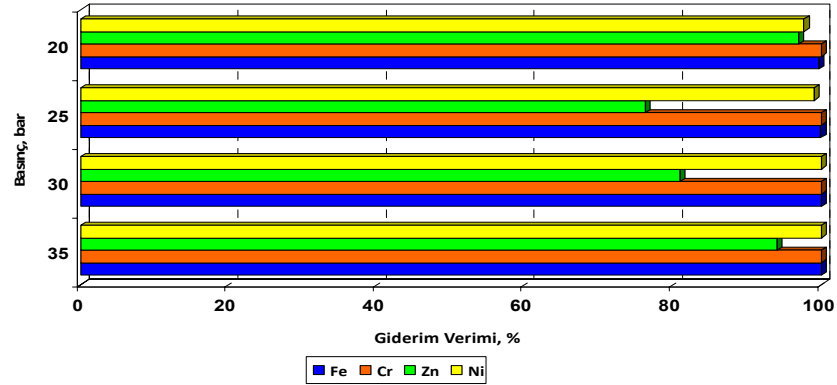
Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} ve SO_4^{2-} giderim verimlerinin NF90, BW30 ve XLE ileri arıtım membranlarında artan TMP'ye bağlı olarak arttığı Şekil 5.6'da görülmektedir. En düşük Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} ve SO_4^{2-} çıkış konsantrasyonları BW30 ters osmoz membranının 35 bar TMP altında işletilmesiyle elde edilmiştir. BW30'un 35 bar TMP altında işletimi sonucunda elde edilen Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} ve SO_4^{2-} çıkış konsantrasyonları sırasıyla 184.54 mg/l, 0.24 mg/l, 0.20 mg/l, 61.42 mg/l, 0.01 mg/l ve 9.75 mg/l'dir. İleri arıtım membranlarıyla elde edilen en yüksek Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} ve SO_4^{2-} çıkış konsantrasyon değerleri NF270 nanofiltrasyon membraniyle elde edilmiştir.



(a)



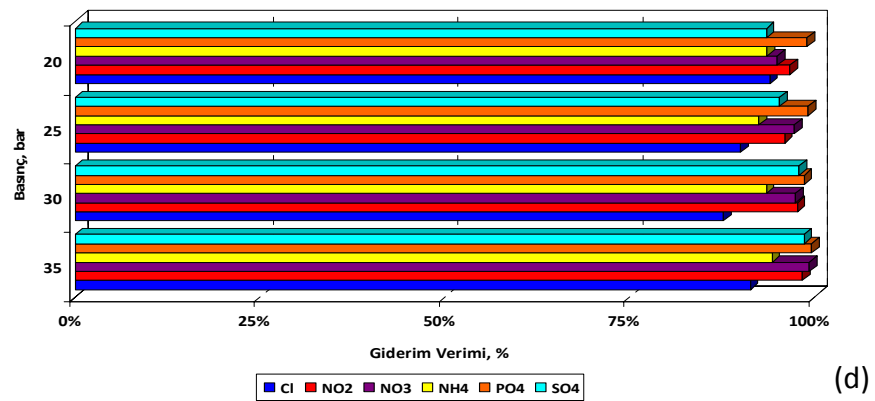
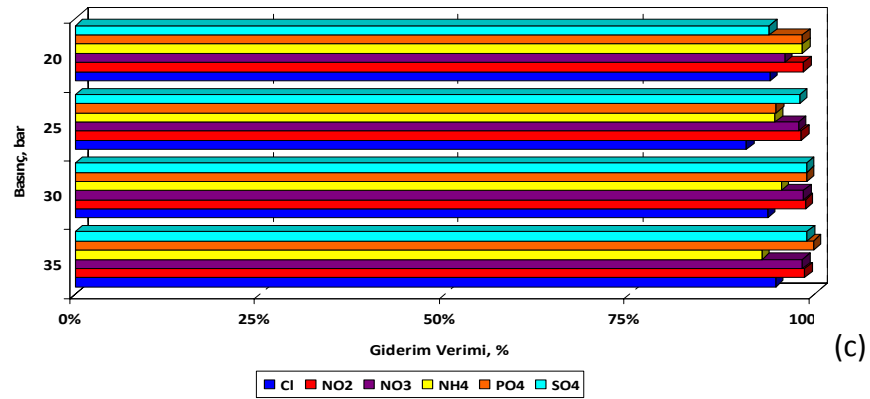
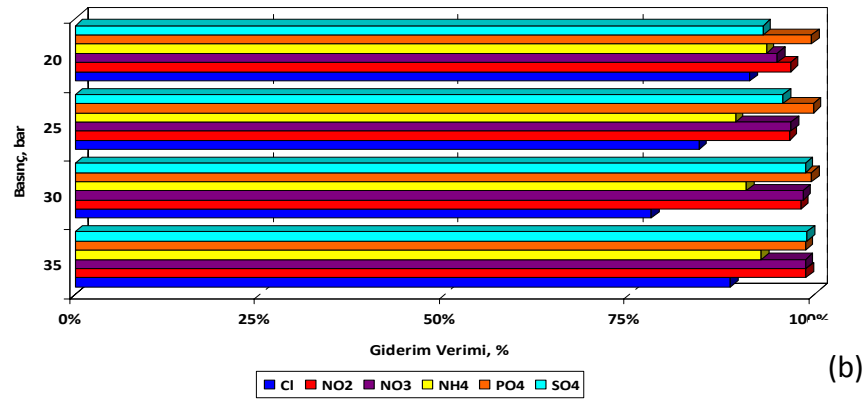
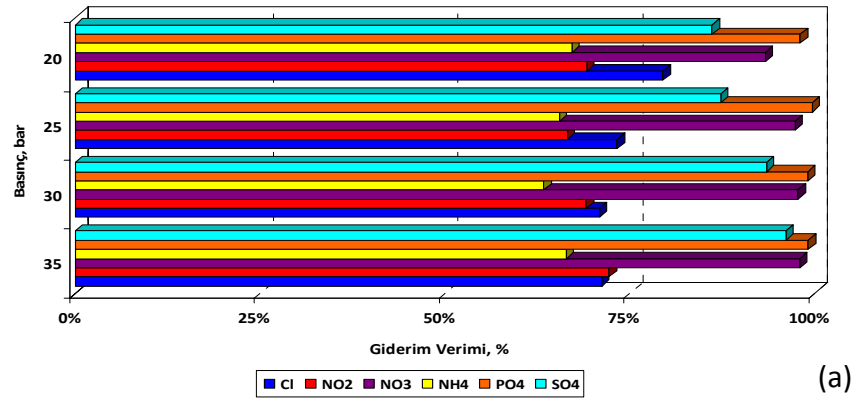
(b)



(c)

(d)

Şekil 5.5 MP005 ile önarıtımı yapılmış genç sızıntı suyunun ileri arıtımı sonrası ağır metal giderme verimleri (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE



Şekil 5.6 MP005 ile önarıtımı yapılmış genç sızıntı suyunun ileri arıtımı sonrası iyon konsantrasyonları (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE

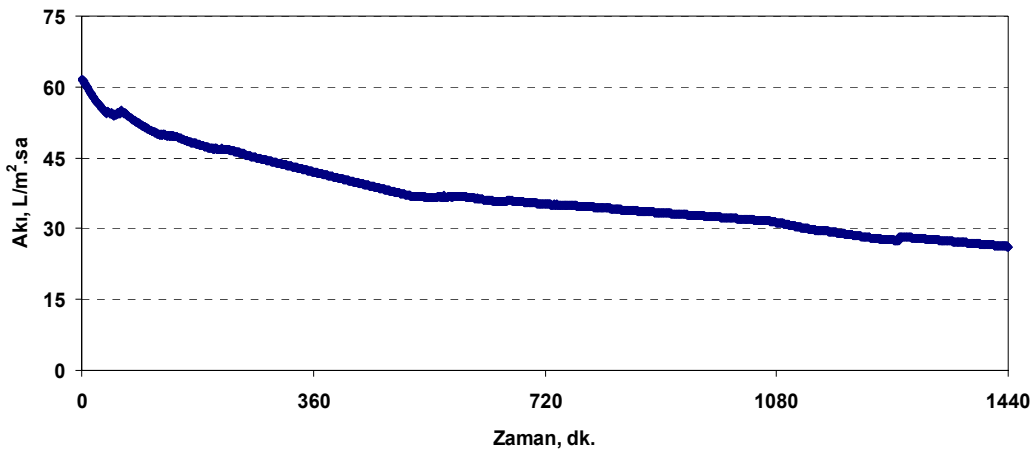
5.1.2 UC030, NF270, NF90, BW30 ve XLE Membranlarıyla Gerçekleştirilen Deney Çalışma Verileri

5.1.2.1 UC030 Ultrafiltrasyon Membraniyla Ön Arıtma Deney Verileri

Genç sızıntı suyunun ileri arıtımından önce UC030 membranı ön arıtma amacıyla kullanılmıştır. UC030 ultrafiltrasyon membranı 2.5 bar basınç altında işletilmiştir.

Akı:

Genç sızıntı suyunun UC030 membranı ile ön arıtımına ait akı verileri Şekil 5.7’de görülmektedir.



Şekil 5.7 Genç sızıntı suyunun UC030 membranı ile ön arıtımının akı grafiği

UC030 ultrafiltrasyon membranının 2.5 bar TMP altında işletilmesi sonucu zamana bağlı olarak akıda azalma görülmektedir. UC030 ultrafiltrasyon membranı ile elde edilen en yüksek akı değeri 61.59 l/m².saat iken en düşük akı değeri ise 26.16 l/m².saat'tir. UC030 ultrafiltrasyon membranından elde edilen süzüntü BW30, XLE, NF90 ve NF270 ileri arıtım membranlarına beslenmiştir.

Organik Madde Giderimi:

Genç sızıntı suyunun UC030 membraniyle ön arıtımıyla elde edilen çıkış KOİ ve TOK konsantrasyonları sırasıyla 34520 mg/l ve 9758 mg/l'dir. KOİ ve TOK giderim verimleri ise sırasıyla % 27.25 ve % 40.97'dir.

Ağır Metal Giderimi:

Genç sızıntı suyunun UC030 membranıyla ön arıtımı sonrası ait Fe, Cr, Zn ve Ni konsantrasyonları sırasıyla 0.84 mg/l, 1.01 mg/l, 1.69 mg/l ve 1.83 mg/l'dir. Genç sızıntı suyunun UC030 ön arıtımı sonrası % 97.39 Fe, % 48.98 Zn ve % 1.27 Ni giderimi olmasına rağmen Cr'de bir giderim görülmemiştir.

İyon Giderimi:

Genç sızıntı suyunun UC030 membranıyla ön arıtımı sonrası Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{-3} ve SO_4^{-2} parametrelerinde bir giderim görülmemektedir.

5.1.2.2 UC030 Ultrafiltrasyon Ön arıtımı Sonrası NF270, NF90, BW30 ve XLE Membranlarıyla İleri Arıtıma Deney Verileri

Genç sızıntı suyunun UC030 ultrafiltrasyon membranıyla ön arıtımı sonrasında NF270, NF90, BW30 ve XLE ileri arıtım membranları kullanılarak nihai arıtımı gerçekleştirilmiştir. NF270 membranı 5, 10, 15 ve 20 bar TMP altında, NF90, BW30 ve XLE membranları ise 20, 25, 30 ve 35 bar TMP altında işletilmiştir.

Akı:

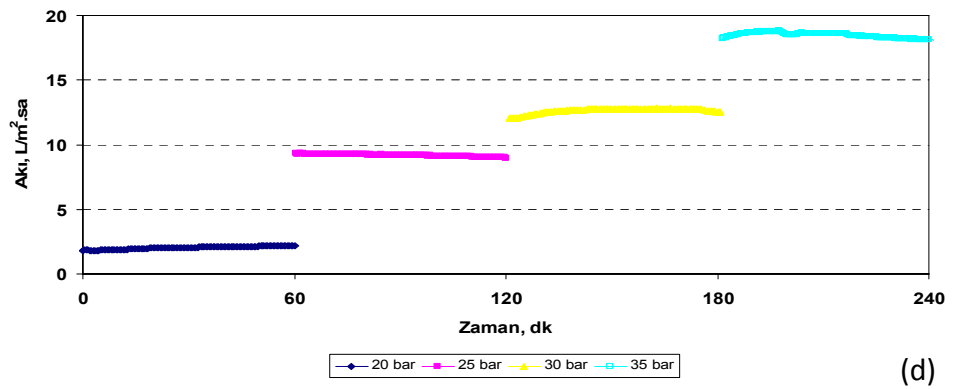
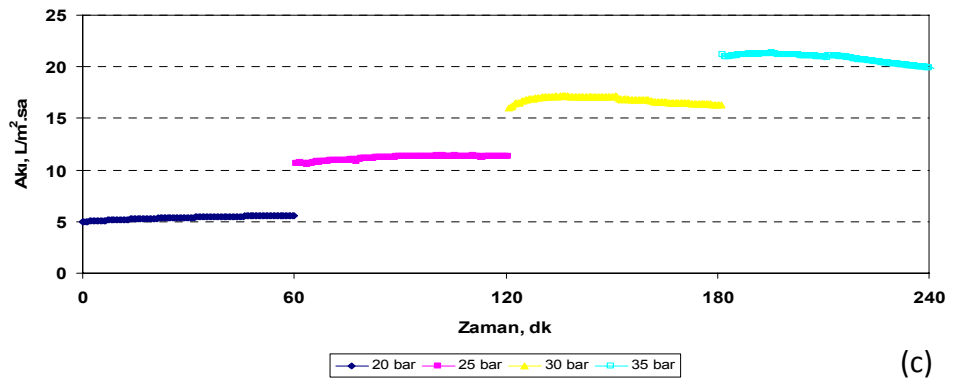
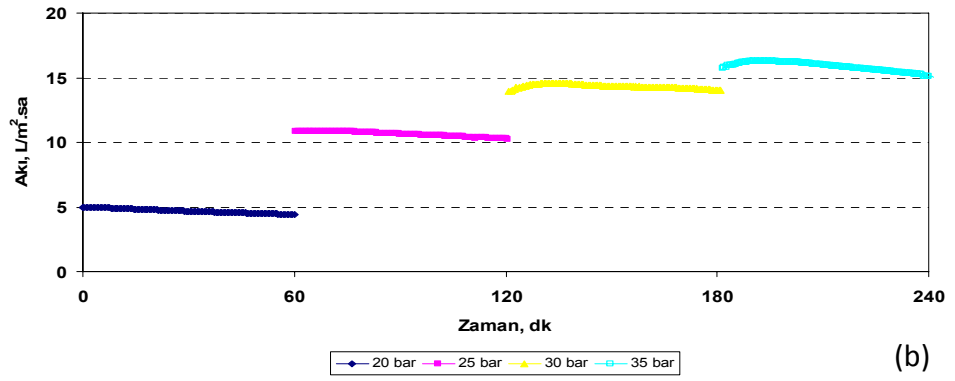
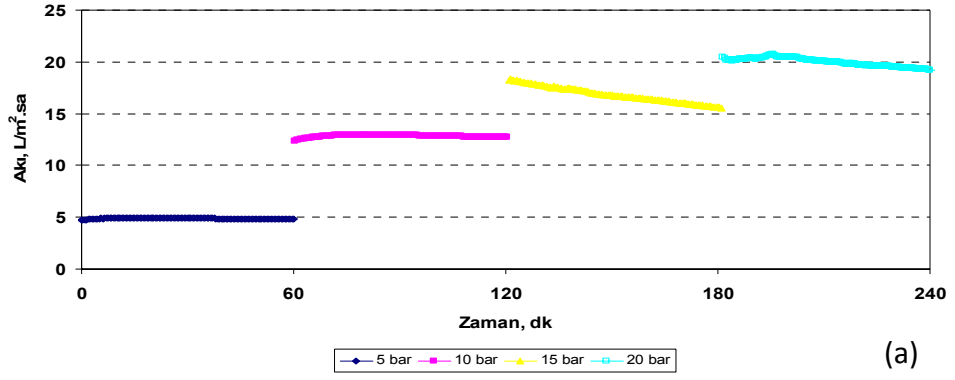
Genç sızıntı suyunun UC030 membranıyla ön arıtımı sonrasında kullanılan NF270, NF90, BW30 ve XLE ileri arıtım membranlarına ait akı verileri Şekil 5.8'de görülmektedir.

UC030 ultrafiltrasyon membranı sonrası uygulanan ileri arıtımda artan TMP'ye bağlı olarak akı değerlerinde artış olduğu görülmektedir. İleri arıtım membranlarıyla elde edilen en yüksek akı değeri 35 bar TMP altında BW30 membranıyla elde edilmiş ve bu akı değeri 21.37 l/m².saat'tir. İleri arıtım membranlarıyla elde edilen en düşük akı değeri ise 20 bar TMP altında XLE membranıyla elde edilmiş ve bu akı değeri 1.81 l/m².saat'tir.

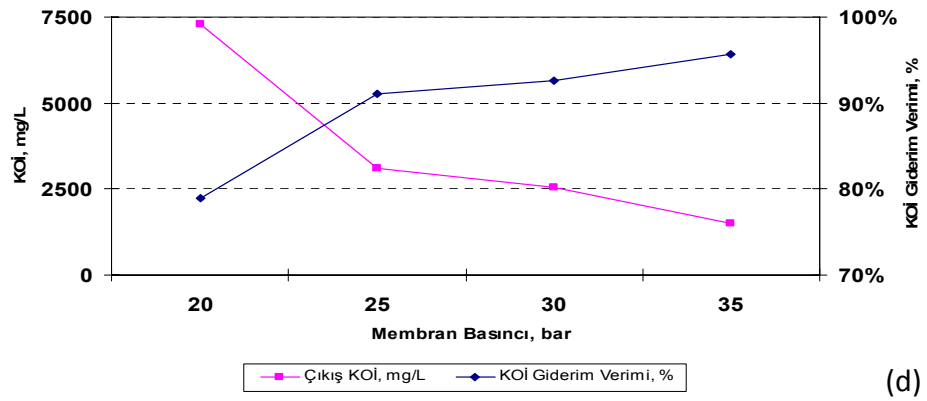
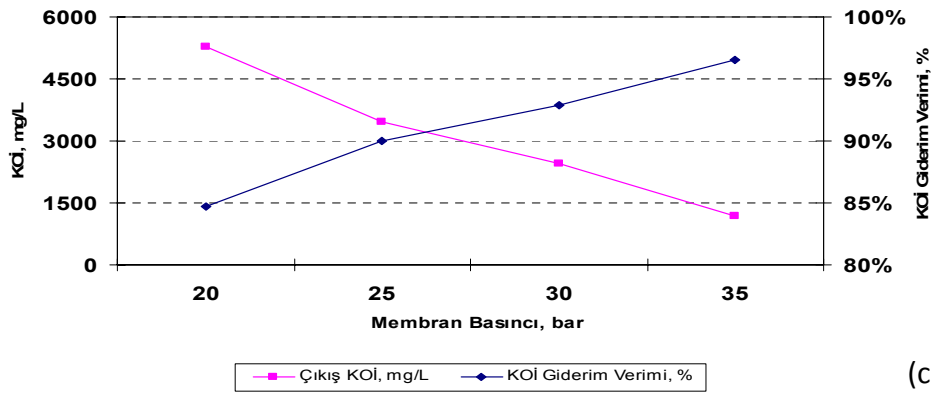
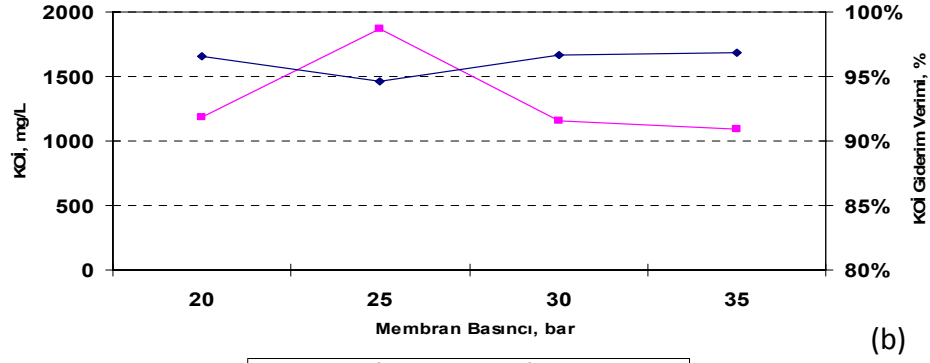
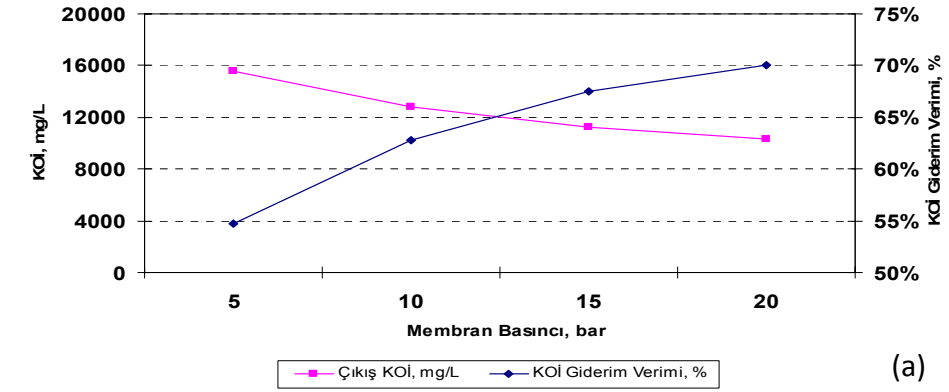
Organik Madde Giderimi:

Genç sızıntı suyunun UC030 membranı sonrası NF270, NF90, BW30 ve XLE ileri arıtım membranları kullanılması sonucu elde edilen çıkış KOİ ile TOK konsantrasyonları ve giderim verimleri Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da görülmektedir.

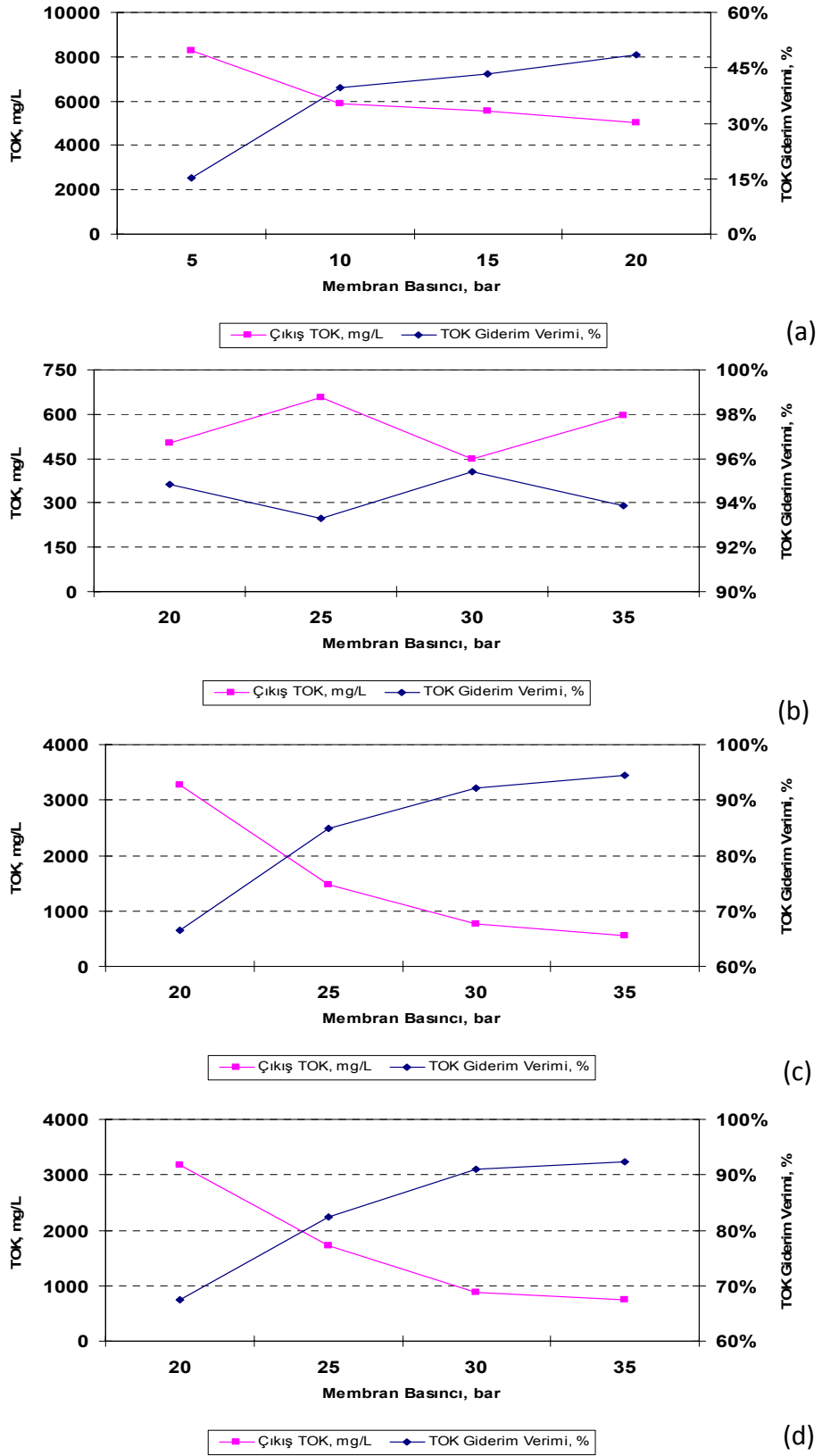
Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da görüldüğü üzere ileri arıtım membranlarında organik madde giderim verimlerinde artan TMP ile artış olduğu görülmektedir. İleri arıtım membranlarıyla elde edilen en düşük KOİ ve TOK çıkış konsantrasyonu 35 bar TMP altında NF90 membranınla elde edilmiştir ve bu değerler sırasıyla 1091 mg/l ve 597.2 mg/l'dir. NF90 membranın 35 bar TMP altında işletilmesi sonucu elde edilen KOİ ve TOK giderim verimleri sırasıyla % 96.84 ve % 93.88'dir. İleri arıtım membranlarıyla elde edilen en yüksek KOİ ve TOK çıkış konsantrasyon değerleri ise sırasıyla 15620 mg/l ve 8270 mg/l olup bu değer NF270 nanofiltrasyon membranının 5 bar TMP altında işletilmesi sonucu elde edilmiştir.



Şekil 5.8 Genç sızıntı suyu UC030 sonrası (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE ileri arıtım akı verileri



Şekil 5.9 UC030 ile önarıtımı yapılmış genç sızıntı suyunun ileri arıtımı sonrası KOI konsantrasyonları ve giderme verimleri (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE



Şekil 5.10 UC030 ile önarıtımı yapılmış genç sızıntı suyunun ileri arıtımı sonrası TOK konsantrasyonları ve giderme verimleri (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE

Ağır Metal Giderimi:

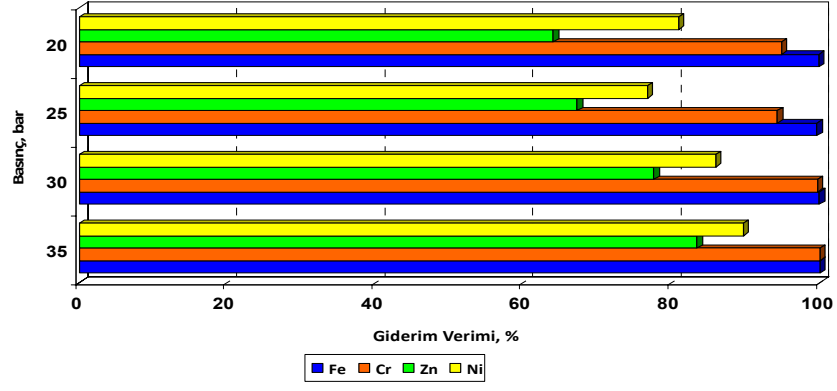
Genç sızıntı suyunun UC030 membranıyla ön arıtımı sonrasında kullanılan NF270, NF90, BW30 ve XLE ileri arıtım membranlarına ait Fe, Cr, Zn ve Ni çıkış konsantrasyonları Şekil 5.11’de gösterilmiştir.

İleri arıtım membranlarıyla arıtımda Fe, Cr, Zn ve Ni giderim verimlerinde artan TMP’ye bağlı olarak artış olduğu Şekil 5.11’de görülmektedir. En düşük Fe, Cr, Zn ve Ni konsantrasyonları BW30 ters osmoz membranının 35 bar TMP altında işletilmesiyle elde edilmiştir. BW30’un 35 bar TMP altında işletimi sonucunda Cr ve Ni tamamen giderilmiştir. Elde edilen Fe ve Zn çıkış konsantrasyonu değerleri 0.29 mg/l ve 0.35 mg/l olup elde edilen giderim verimleri ise % 99.11 ve % 89.39’dur. İleri arıtım membranlarıyla elde edilen en yüksek Fe, Zn ve Ni çıkış konsantrasyonu değerleri ise XLE ters osmoz membranının 20 bar TMP altında işletilmesiyle elde edilmiştir.

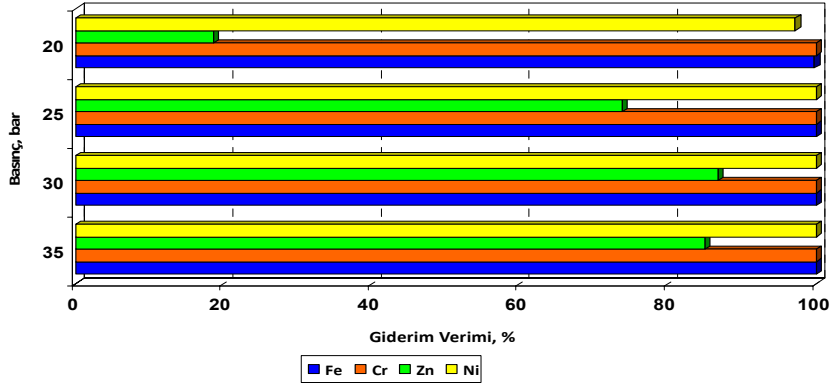
İyon Giderimi:

Genç sızıntı suyunun UC030 membranıyla ön arıtımı sonrasında kullanılan NF270, NF90, BW30 ve XLE ileri arıtım membranlarına ait Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} çıkış konsantrasyonları Şekil 5.12’de görülmektedir.

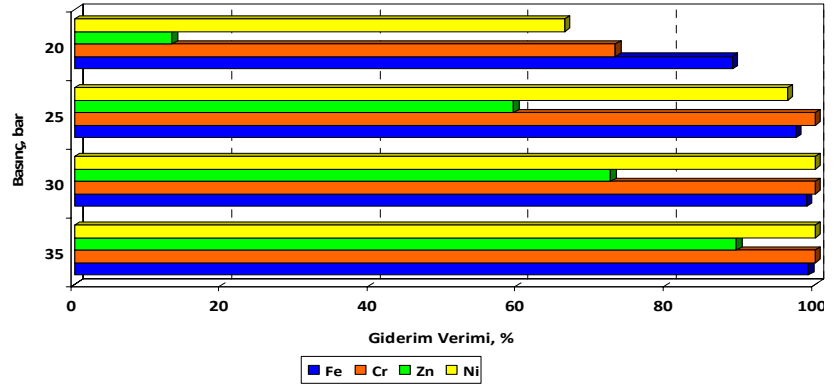
Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} giderim verimlerinin NF90, BW30 ve XLE ileri arıtım membranlarında artan TMP’ye bağlı olarak arttığı Şekil 5.12’de görülmektedir. En düşük Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} ve SO_4^{2-} çıkış konsantrasyonları XLE ters osmoz membranının 35 bar TMP altında işletilmesiyle elde edilmiştir. XLE’nin 35 bar TMP altında işletimi sonucunda elde edilen Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} ve SO_4^{2-} çıkış konsantrasyonları sırasıyla 362.83 mg/l, 0.75 mg/l, 0.17 mg/l, 50.86 mg/l, 0.03 mg/l ve 30.03 mg/l’dir. Bu iyonlara ait elde edilen giderim verimleri ise sırasıyla % 89.67, %95.81, % 98.55, % 94.08, % 99.22 ve % 96.78’dir.



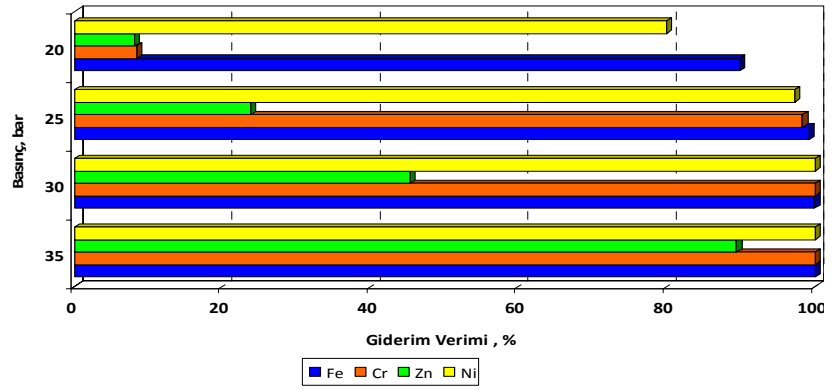
(a)



(b)

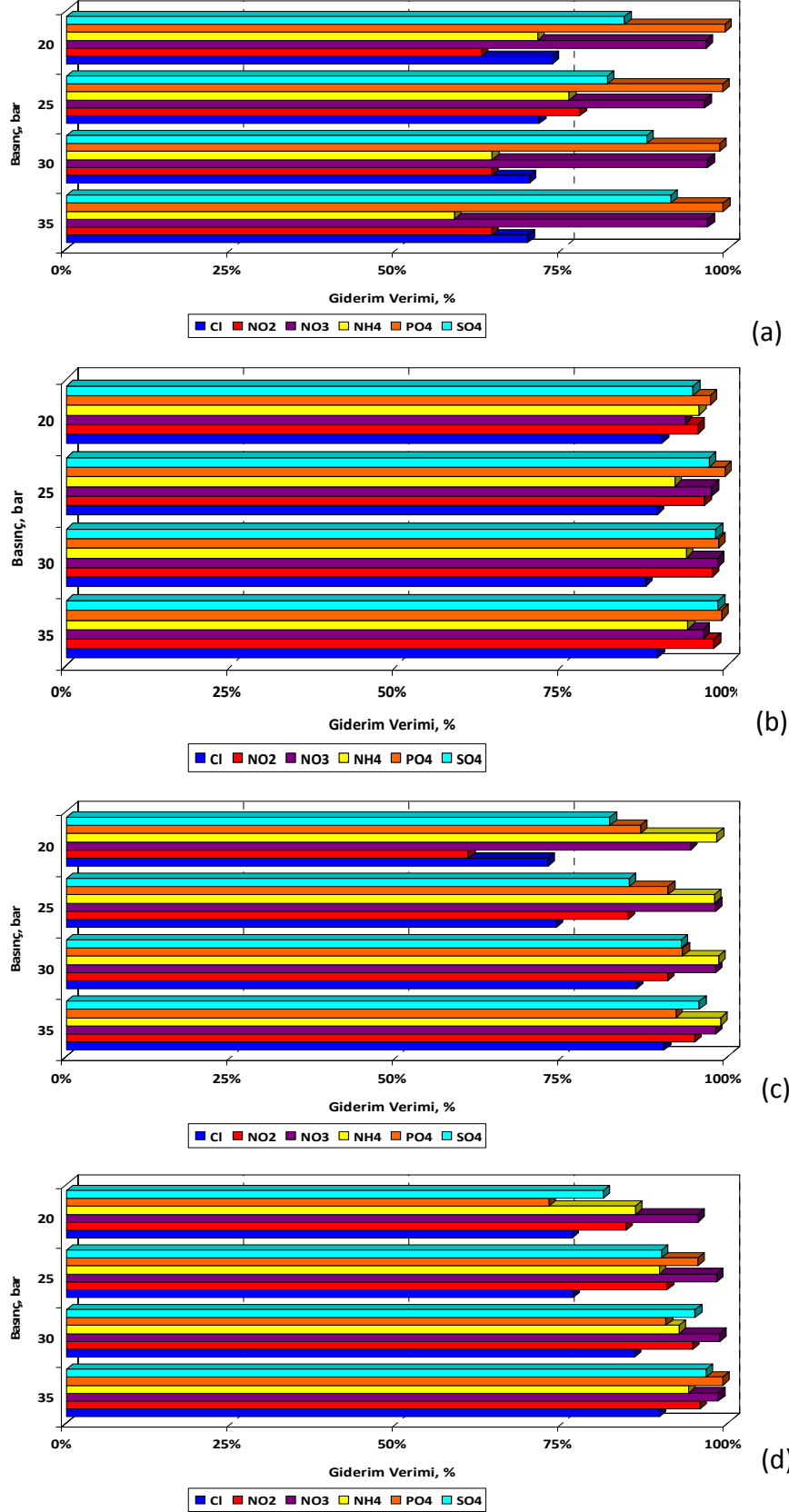


(c)



(d)

Şekil 5.11 UC030 ile önartıtımı yapılmış genç sızıntı suyunun ileri arıtımı sonrası ağır metal giderme verimleri (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE



Şekil 5.12 UC030 ile önarıtımı yapılmış genç sızıntı suyunun ileri arıtımı sonrası iyon konsantrasyonları (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE

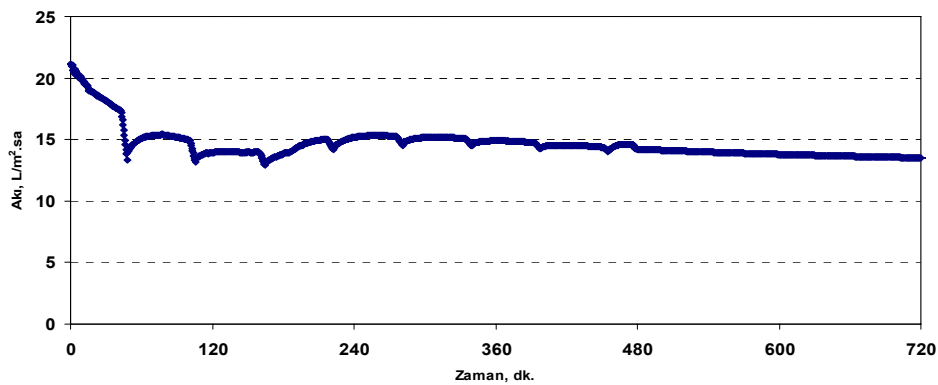
5.1.3 MP005, ZW-UF, BW30 ve SW30 Membranlarıyla Gerçekleştirilen Deney Çalışma Verileri

5.1.3.1 MP005+ZW-UF Membranlarıyla Önarıtma Deney Verileri

Genç sızıntı suyunun ileri arıtım ünitesi öncesinde ön arıtma amacıyla MP005 ve ZW-UF membranları sırasıyla kullanılmıştır. MP005 mikrofiltrasyon membranı 1 bar sabit TMP ile işletilmesinden sonra batık ZW-UF ultrafiltrasyon membranı işletilmiştir.

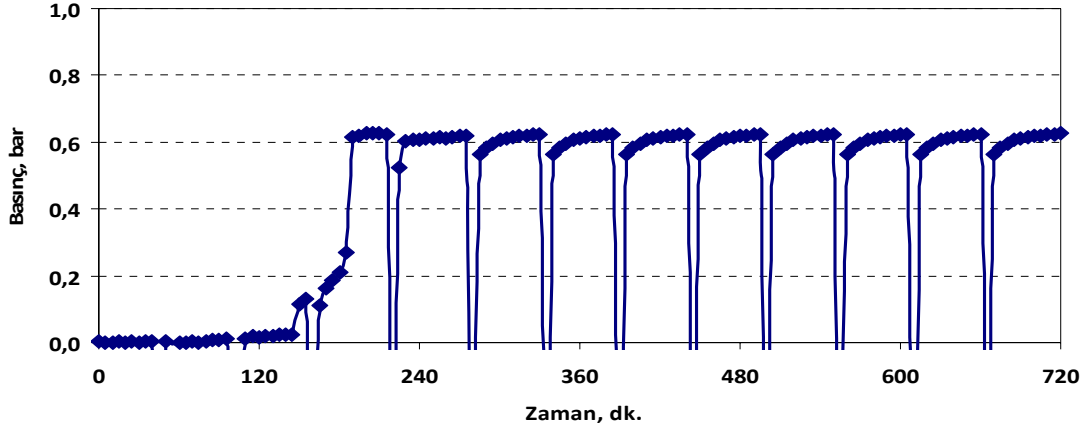
Akı:

Genç sızıntı suyunun MP005 membranı sonrasında ZW-UF membranı ile önarıtımına ait akı verileri Şekil 5.13'te gösterilmiştir.



Şekil 5.13 Genç sızıntı suyunun MP005 sonrası ZW-UF ön arıtımında elde edilen akı grafiği

ZW-UF membranı ile yapılan ön arıtımda zamana bağlı olarak akı değerinde azalma olduğu gözlenmiştir. ZW-UF membranı ile elde edilen en yüksek akı değeri 21.12 l/m².saat iken en düşük akı değeri ise 13.22 l/m².saat'tir. ZW-UF membranına ait akıdaki azalma hızı zamana bağlı olarak işletme basıncının yükselmesiyle düşüş göstermiştir. ZW-UF membranına ait zamana bağlı işletme basıncındaki değişim Şekil 5.14'te görülmektedir. ZW-UF membranının işletiminde elde edilen en yüksek basınç değeri 0.63 bar'dır. ZW-UF membranından elde edilen süzüntü BW30 ve SW30 ters osmoz membranlarına beslenmiştir.



Şekil 5.14 Genç sızıntı suyunun MP005 sonrası ZW-UF ön arıtımında elde edilen basınç değişim grafiği

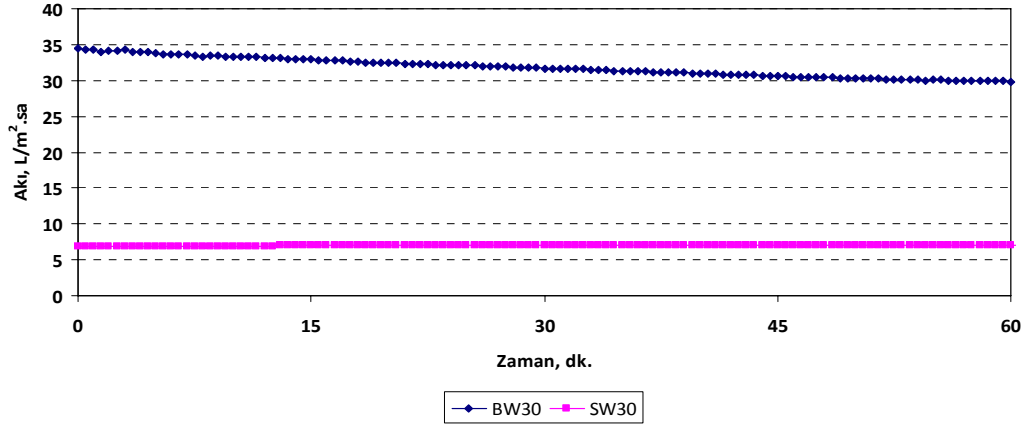
Organik Madde Giderimi:

Genç sızıntı suyunun MP005 membranı sonrasında ZW-UF membranı ile ön arıtımıyla elde edilen çıkış KOİ ve TOK konsantrasyonları sırasıyla 32780 mg/l ve 10850 mg/l olup elde edilen KOİ ve TOK giderim verimleri ise sırasıyla % 31.02 ve % 34.36'dır.

5.1.3.2 MP005+ZW-UF Ön arıtımı Sonrası BW30 ve SW30 Membranlarıyla İleri Arıtıma Deney Verileri

Akı:

Genç sızıntı suyunun ZW-UF membranı ön arıtımı sonrasında 35 bar TMP altında işletilen BW30 ve SW30 ters osmoz membranlarına ait akı verileri Şekil 5.15'te görülmektedir.



Şekil 5.15 Genç sızıntı suyunun MP005 + ZW-UF ön arıtım sonrası BW30 ve SW30 ileri arıtım membranlarından elde edilen akı grafiği

MP005+ZW-UF membranları ön arıtım sonrası yapılan BW30 ve SW30 ileri arıtım membranlarına ait akı değerlerinde TMP'ye bağlı olarak akı değerinde zamanla düşük bir oranda azalma olduğu gözlenmiştir. BW30 ve SW30 ters osmoz membranlarından elde edilen en yüksek akı değerleri sırasıyla $34.49 \text{ l/m}^2.\text{saat}$ ve $7.06 \text{ l/m}^2.\text{saat}$ iken en düşük akı değerleri ise $29.86 \text{ l/m}^2.\text{saat}$ ve $6.81 \text{ l/m}^2.\text{saat}$ 'tir. Akı değerleri incelendiğinde 35 bar TMP altında işletilen BW30 ve SW30 ters osmoz membranlarından, BW30'a ait akı değerinin daha yüksek olduğu görülmektedir.

Organik Madde Giderimi:

Genç sızıntı suyunun MP005+ZW-UF ön arıtımı sonrası yapılan BW30 ve SW30 ileri arıtım membranlarına ait çıkış KOİ konsantrasyonları sırasıyla 645 mg/l ve 884 mg/l iken elde edilen KOİ giderim verimleri ise sırasıyla % 98.03 ve % 97.30'tür. BW30 ve SW30 ileri arıtım membranlarına ait çıkış TOK konsantrasyonları ise sırasıyla 203.8 mg/l ve 292.5 mg/l iken elde edilen TOK giderim verimleri ise sırasıyla % 98.12 ve % 97.30'dur. MP005+ZW-UF ön arıtım sonrası 35 bar transmembran basıncı altında işletilen BW30 ters osmoz membranından elde edilen organik madde giderim verimleri SW30 ters osmoz membranı ile karşılaştırıldığında, BW30 ters osmoz membranının daha yüksek organik madde giderim verimine sahip olduğu görülmektedir.

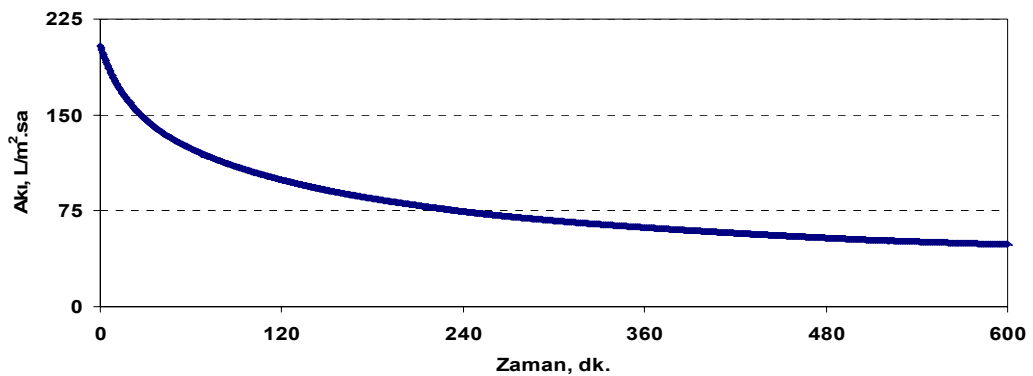
5.1.4 MP005, UC030, BW30 ve SW30 Membranlarıyla Gerçekleştirilen Deney Çalışma Verileri

5.1.4.1 MP005+UC030 Membranlarıyla Ön Arıtma Deney Verileri

Genç sızıntı suyunun ileri arıtım ünitesi öncesinde ön arıtma amacıyla MP005 ve UC030 membranları sırasıyla kullanılmıştır. MP005 mikrofiltrasyon membranı 1 bar sabit TMP ile işletilmesinden sonra UC030 ultrafiltrasyon membranı 2.5 bar TMP altında işletilmiştir.

Akı:

Genç sızıntı suyunun UC030 membranı ile ön arıtımına ait akı verileri Şekil 5.16'da görülmektedir.



Şekil 5.16 Genç sızıntı suyunun MP005 sonrası UC030 ön arıtımında elde edilen akı grafiği

UC030 membranı ile yapılan ön arıtımda zamana bağlı olarak akı değerinde azalma olduğu gözlenmiştir. UC030 membranı ile elde edilen en yüksek akı değeri 204.28 l/m².saat iken en düşük akı değeri ise 48.51 l/m².saat'tir. UC030 membranından elde edilen süzüntü BW30 ve SW30 ters osmoz membranlarına beslenmiştir.

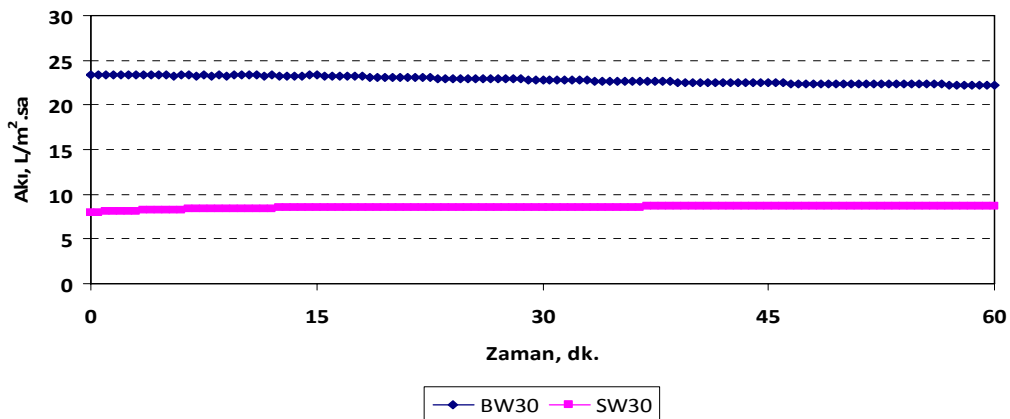
Organik Madde Giderimi:

Genç sızıntı suyunun MP005 membranı sonrasında UC030 membranıyla ön arıtımıyla elde edilen çıkış KOİ ve TOK konsantrasyonları sırasıyla 31240 mg/l ve 10150 mg/l olup elde edilen KOİ ve TOK giderim verimleri ise sırasıyla % 34.26 ve % 38.60'tır.

5.1.4.2 MP005+UC030 Ön arıtımı Sonrası BW30 ve SW30 Membranlarıyla İleri Arıtıma Deney Verileri

Akı:

Genç sızıntı suyunun UC030 membranı ön arıtımı sonrasında 35 bar TMP altında işletilen BW30 ve SW30 ters osmoz membranlarına ait akı verileri Şekil 5.17'de gösterilmiştir.



Şekil 5.17 Genç sızıntı suyunun MP005+UC030 ön arıtım sonrası BW30 ve SW30 ileri arıtım membranlarından elde edilen akı grafiği

MP005+UC030 membranları ön arıtım sonrası yapılan BW30 ve SW30 ileri arıtım membranlarına ait akı değerlerinde zamana bağlı olarak akı değerinde azalma olduğu gözlemlenmiştir. BW30 ve SW30 ters osmoz membranlarından elde edilen en yüksek akı değerleri sırasıyla 23.43 l/m².saat ve 8.63 l/m².saat iken en düşük akı değerleri ise 22.25 l/m².saat ve 7.98 l/m².saat'tir. Akı değerleri incelendiğinde 35 bar TMP altında işletilen BW30 ve SW30 ters osmoz membranlarından, BW30'a ait akı değerinin daha yüksek olduğu görülmektedir.

Organik Madde Giderimi:

Genç sızıntı suyunun MP005+UC030 önartımı sonrası yapılan BW30 ve SW30 ileri arıtım membranlarına ait çıkış KOİ konsantrasyonları sırasıyla 341 mg/l ve 440 mg/l iken elde edilen KOİ giderim verimleri ise sırasıyla % 98.91 ve % 98.59'dur. BW30 ve SW30 ileri arıtım membranlarına ait çıkış TOK konsantrasyonları ise sırasıyla 108.5 mg/l ve 131.3 mg/l iken elde edilen TOK giderim verimleri ise sırasıyla % 98.93 ve % 98.71'dir. MP005+UC030 önartım sonrası 35 bar TMP altında işletilen BW30 ters osmoz membranından elde edilen organik madde giderim verimleri SW30 ters osmoz membranı ile karşılaştırıldığında, BW30 ters osmoz membranının daha yüksek organik madde giderim verimine sahip olduğu görülmektedir.

5.2 Yaşlı Sızıntı Suyu Deney Verileri

5.2.1 MP005, NF270, NF90, BW30 ve XLE Membranlarıyla Gerçekleştirilen Deney Çalışma Verileri

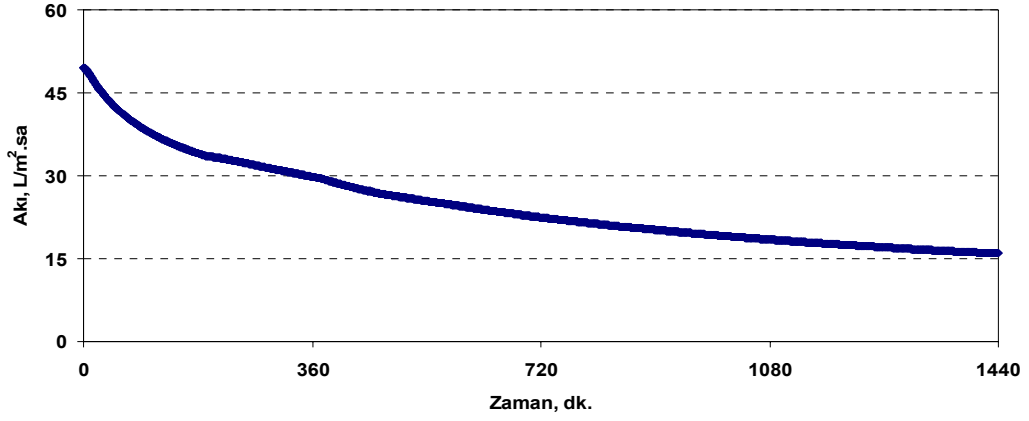
5.2.1.1 MP005 Mikrofiltrasyon Membranıyla Önartıma Deney Verileri

Yaşlı sızıntı suyunun ileri arıtımından önce MP005 membranı ön arıtıma amacıyla kullanılmıştır. MP005 mikrofiltrasyon membranı 1 bar TMP altında işletilmiştir.

Akı:

Yaşlı sızıntı suyunun MP005 membranı ile önartımına ait akı verileri Şekil 5.18'de görülmektedir.

MP005 mikrofiltrasyon membranının 1 bar TMP altında işletilmesi sonucu zamana bağlı olarak akıda azalma görülmektedir. MP005 mikrofiltrasyon membranı ile elde edilen en yüksek akı değeri 49.55 l/m².saat iken en düşük akı değeri ise 15.96 l/m².saat'tir. MP005 mikrofiltrasyon membranından elde edilen süzöntü BW30, XLE ters osmoz membranları ile NF90 ve NF270 nanofiltrasyon membranlarına beslenmiştir.



Şekil 5.18 Yaşlı sızıntı suyunun MP005 ön arıtımında elde edilen akı grafiği

Organik Madde Giderimi:

Yaşlı sızıntı suyunun MP005 membranı ile ön arıtımıyla elde edilen çıkış KOİ ve TOK konsantrasyonları sırasıyla 13050 mg/l ve 6750 mg/l'dir. KOİ ve TOK giderim verimleri ise sırasıyla % 21.43 ve % 19.45'tir.

Ağır Metal Giderimi:

Yaşlı sızıntı suyunun MP005 membranı ön arıtımı sonrasında ait Fe, Cr ve Ni konsantrasyonları sırasıyla 1.58 mg/l, 0.53 mg/l ve 0.41 mg/l'dir. Yaşlı sızıntı suyunun MP005 ön arıtım sonrası Fe, Cr ve Ni giderim verimleri sırasıyla % 84.81, % 70.59 ve % 80.29 olmasına rağmen Zn'de giderim görülmemiştir.

İyon Giderimi:

Yaşlı sızıntı suyunun MP005 membranı ile ön arıtımı sonrası Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} ve SO_4^{2-} parametrelerinde bir giderim görülmemektedir.

5.2.1.2 MP005 Mikrofiltrasyon Önarıtımı Sonrası NF270, NF90, BW30 ve XLE Membranlarıyla İleri Arıtıma Deney Verileri

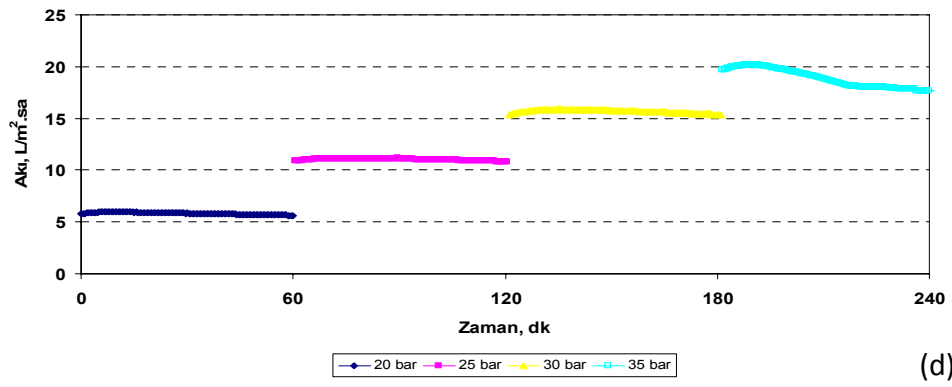
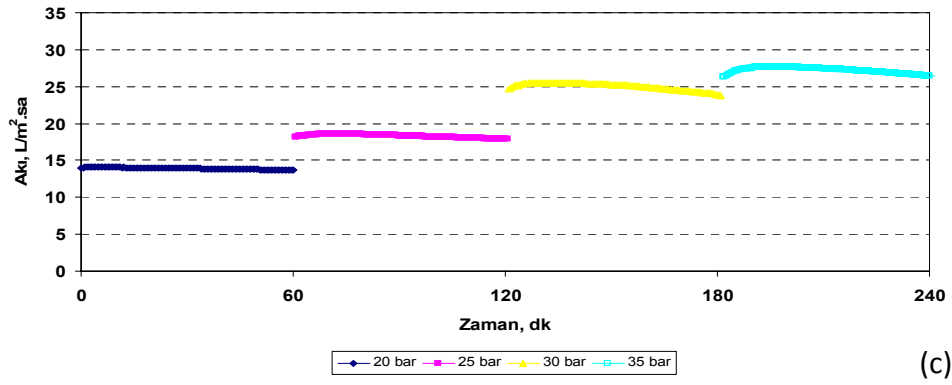
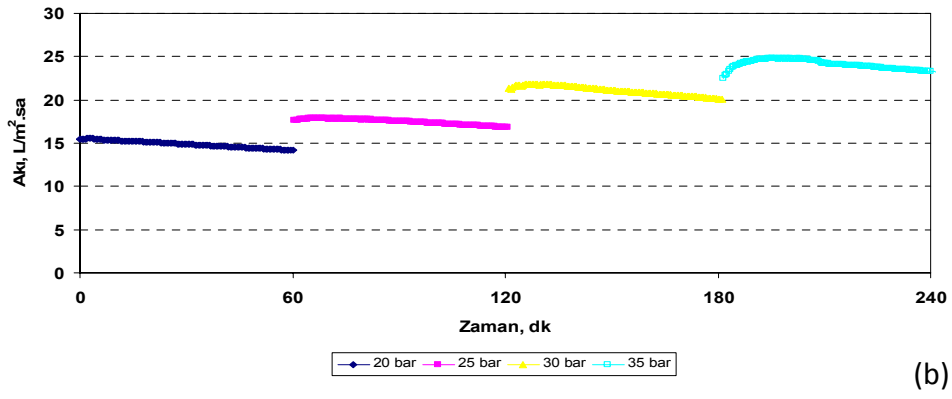
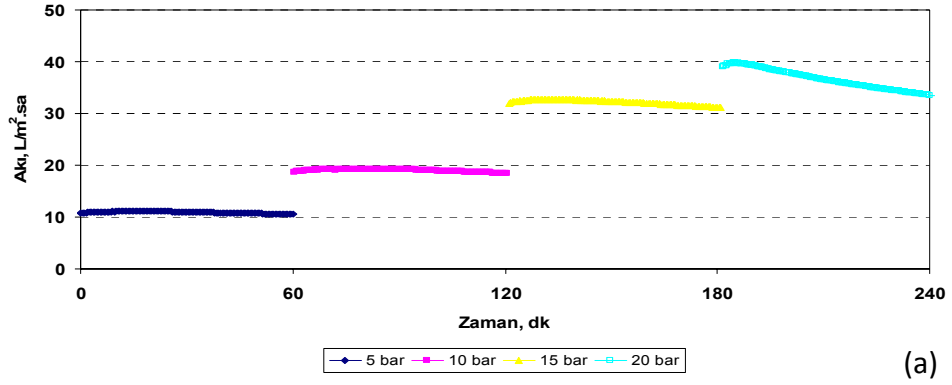
Yaşlı sızıntı suyunun MP005 mikrofiltrasyon membranı ile ön arıtımı sonrasında NF270, NF90, BW30 ve XLE ileri arıtım membranları kullanılarak nihai arıtımı

gerçekleştirilmiştir. NF270 membranı 5, 10, 15 ve 20 bar TMP altında, NF90, BW30 ve XLE membranları ise 20, 25, 30 ve 35 bar TMP altında işletilmiştir.

Akı:

Yaşlı sızıntı suyunun MP005 membranıyla ön arıtımı sonrasında kullanılan NF90, BW30 ve XLE ileri arıtım membranlarına ait akı verileri Şekil 5.19'da görülmektedir.

MP005 mikrofiltrasyon membranı sonrası yapılan ileri arıtmada artan TMP'ye bağlı olarak akı değerlerinde artış olduğu görülmektedir. İleri arıtım membranlarıyla elde edilen en yüksek akı değeri 20 bar TMP altında NF270 membranıyla elde edilmiş ve bu akı değeri 39.77 l/m².saat'tir. İleri arıtım membranlarıyla elde edilen en düşük akı değeri ise 20 bar TMP altında XLE membranıyla elde edilmiş ve bu akı değeri 5.64 l/m².saat'tir.



Şekil 5.19 Yaşlı sızıntı suyu MP005 sonrası (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE ileri arıtım akı verileri

Organik Madde Giderimi:

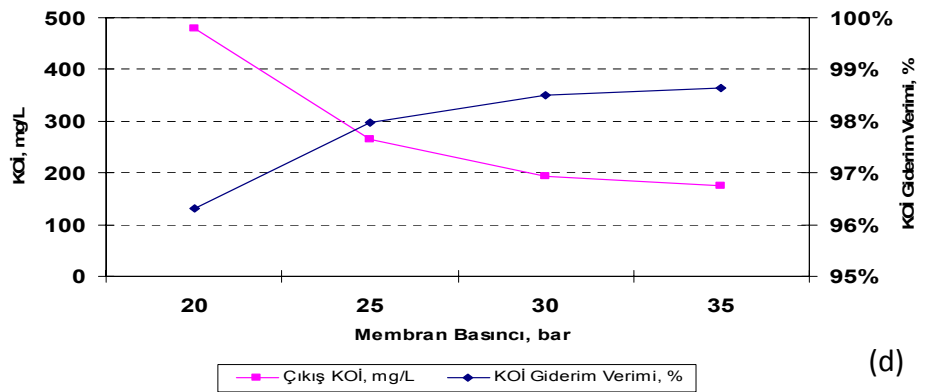
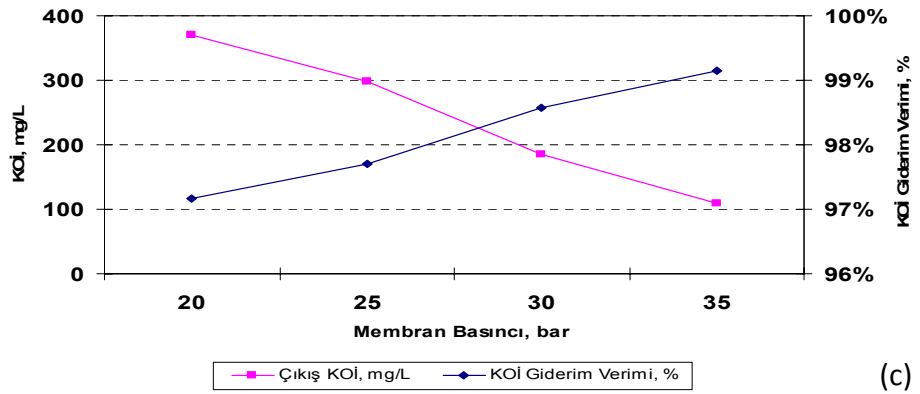
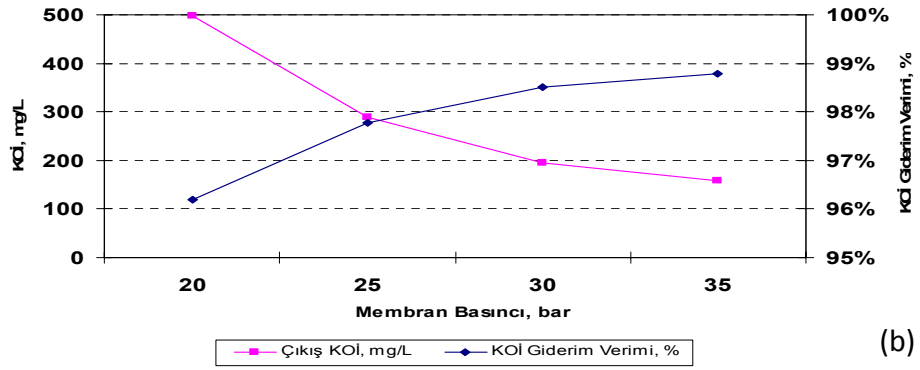
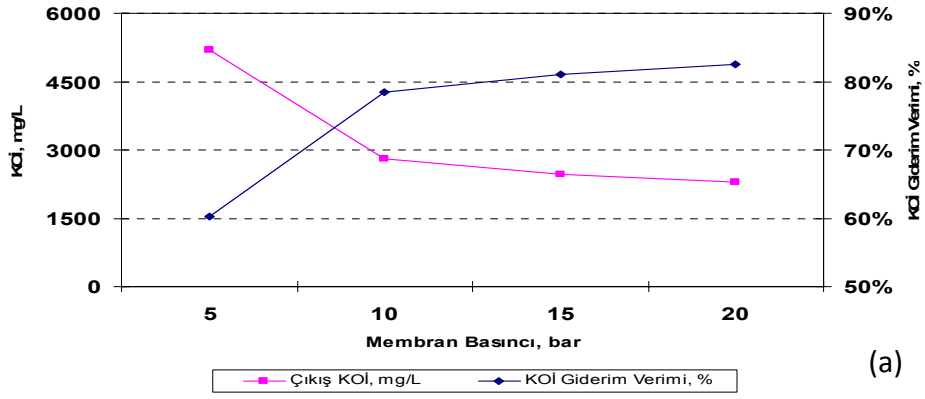
Yaşlı sızıntı suyunun MP005 membranı sonrası NF270, NF90, BW30 ve XLE ileri arıtım membranları kullanılması sonucu elde edilen çıkış KOİ ve TOK konsantrasyonları ve giderim verimleri Şekil 5.20 ve Şekil 5.21’de görülmektedir.

Şekil 5.20 ve Şekil 5.21’de görüldüğü üzere ileri arıtım membranlarında organik madde giderim verimlerinde artan TMP ile artış olduğu görülmektedir. İleri arıtım membranlarıyla elde edilen en düşük KOİ ve TOK çıkış konsantrasyonu 35 bar TMP altında BW30 membranı ile elde edilmiştir ve bu değerler sırasıyla 110 mg/l ve 58 mg/l’dir. BW30 membranının 35 bar TMP altında işletilmesi sonucu elde edilen KOİ ve TOK giderim verimleri sırasıyla % 99.16 ve % 99.14’tür. İleri arıtım membranlarıyla elde edilen en yüksek KOİ ve TOK çıkış konsantrasyon değerleri ise sırasıyla 5192 mg/l ve 1749.20 mg/l olup bu değer NF270 nanofiltrasyon membranının 5 bar TMP altında işletilmesi sonucu elde edilmiştir.

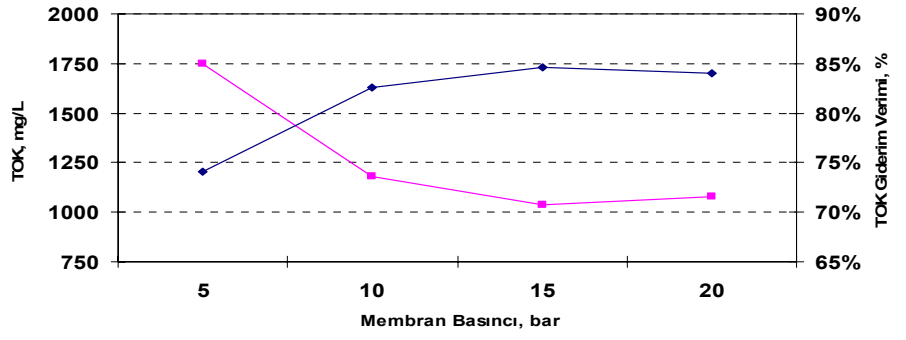
Ağır Metal Giderimi:

Yaşlı sızıntı suyunun MP005 membranı ile ön arıtımı sonrasında kullanılan NF270, NF90, BW30 ve XLE ileri arıtım membranlarına ait Fe, Cr, Zn ve Ni çıkış konsantrasyonları Şekil 5.22’de görülmektedir.

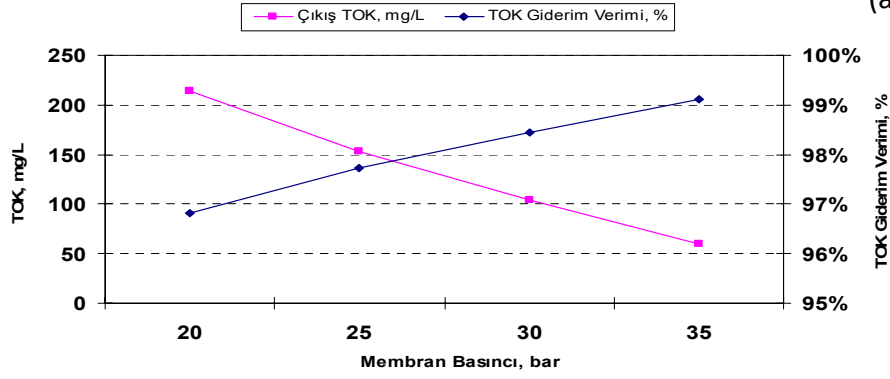
İleri arıtım membranlarıyla arıtımda Fe, Cr, Zn ve Ni giderim verimlerinde artan TMP’ye bağlı olarak artış olduğu Şekil 5.22’de görülmektedir. En düşük Fe, Cr, Zn ve Ni konsantrasyonları NF90’nın 35 bar TMP altında işletimi sonucunda elde edilmiştir. NF90’nın 35 bar TMP altında işletimi sonucunda Fe, Cr ve Ni tamamen giderilmiştir. Elde edilen Zn çıkış konsantrasyonu değeri 0.33 mg/l ve Zn giderim verimi ise % 95.09’dur. İleri arıtım membranlarıyla elde edilen en yüksek Fe, Zn ve Ni çıkış konsantrasyonu değerleri sırasıyla 0.08 mg/l, 3.98 mg/l ve 0.20 olup, bu değerler NF270 nanofiltrasyon membranının 5 bar TMP altında işletilmesi sonucu elde edilmiştir.



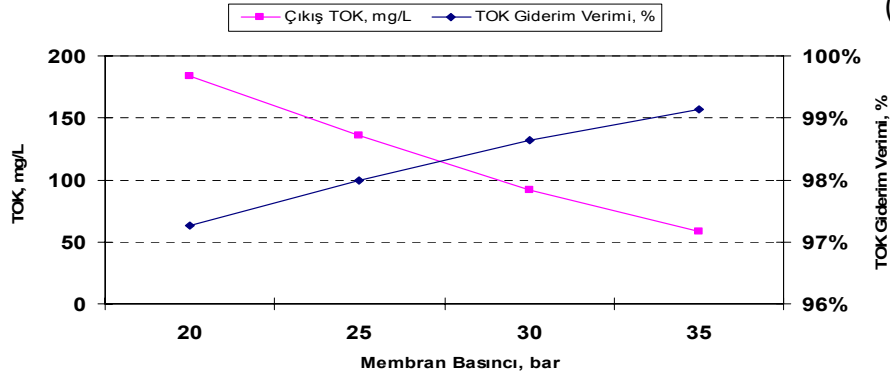
Şekil 5.20 MP005 ile önarıtımı yapılmış yaşlı sızıntı suyunun ileri arıtımı sonrası KOİ konsantrasyonları ve giderme verimleri (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE



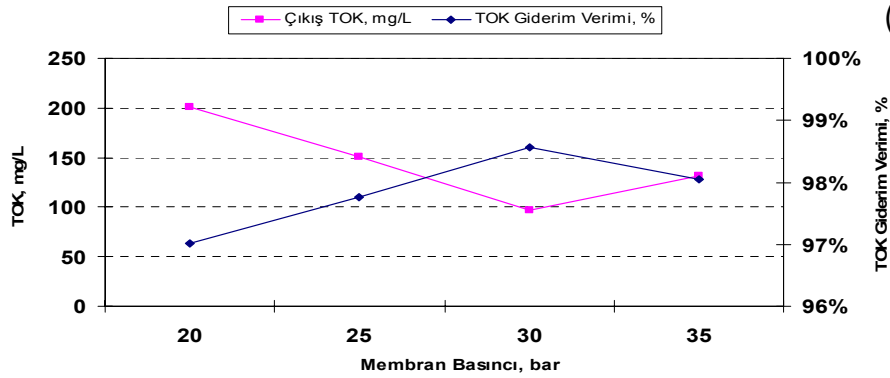
(a)



(b)

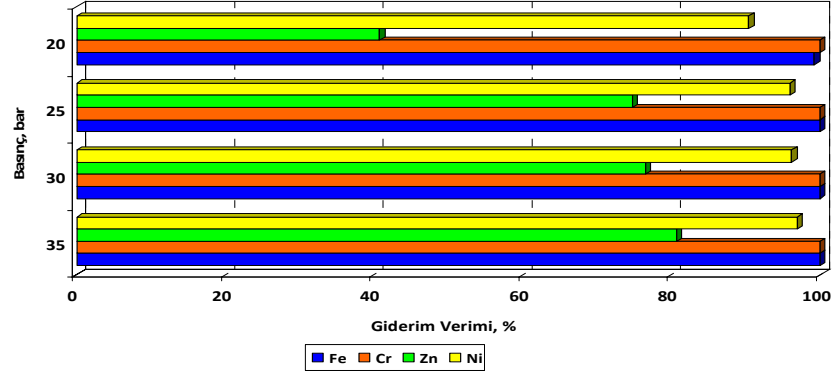


(c)

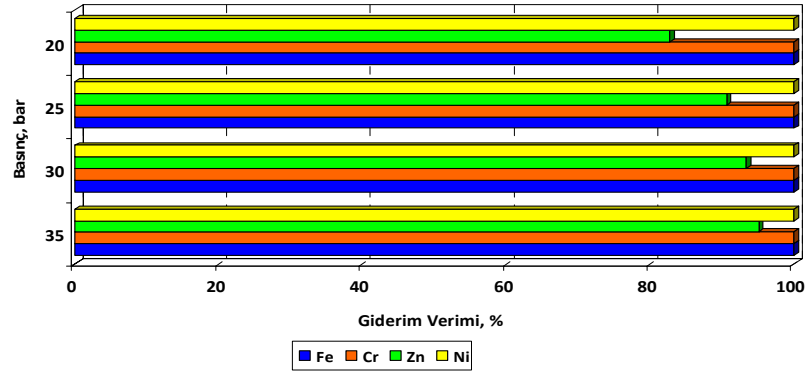


(d)

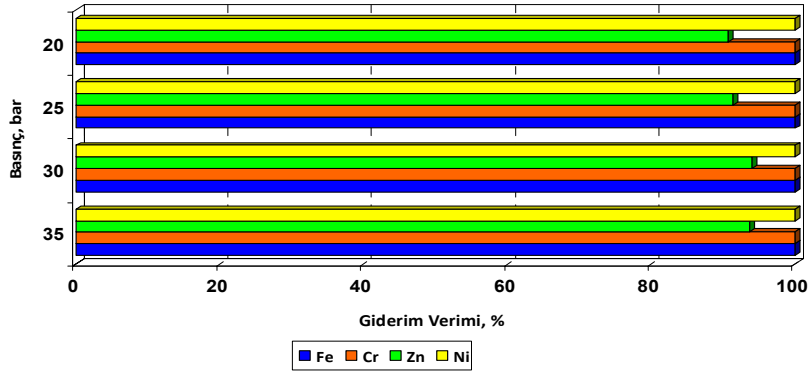
Şekil 5.21 MP005 ile önarıtımı yapılmış yaşlı sızıntı suyunun ileri arıtımı sonrası TOK konsantrasyonları ve giderme verimleri (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE



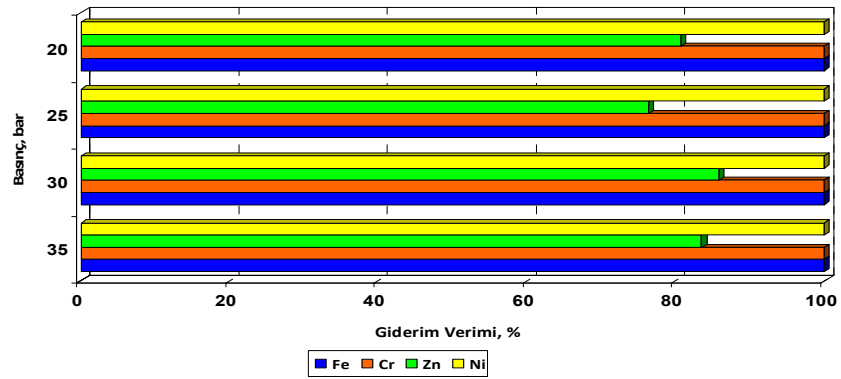
(a)



(b)



(c)



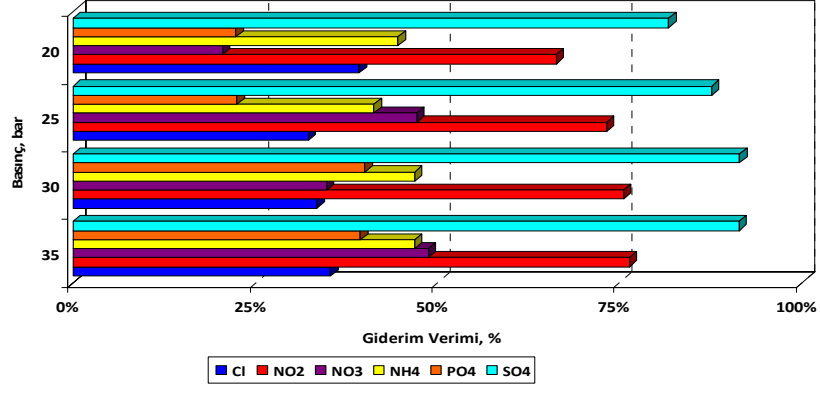
(d)

Şekil 5.22 MP005 ile öneritimi yapılmış yaşlı sızıntı suyunun ileri arıtımı sonrası ağır metal giderme verimleri (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE

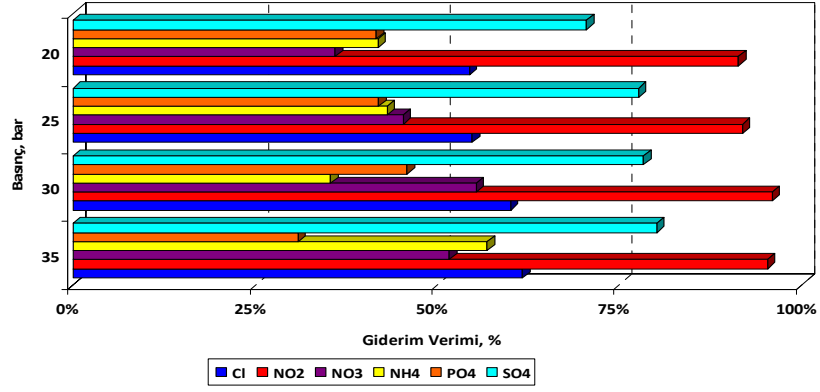
İyon Giderimi:

Yaşlı sızıntı suyunun MP005 membranıyla ön arıtımı sonrasında kullanılan NF270, NF90, BW30 ve XLE ileri arıtım membranlarına ait Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} ve SO_4^{2-} çıkış konsantrasyonları Şekil 5.23'te görülmektedir.

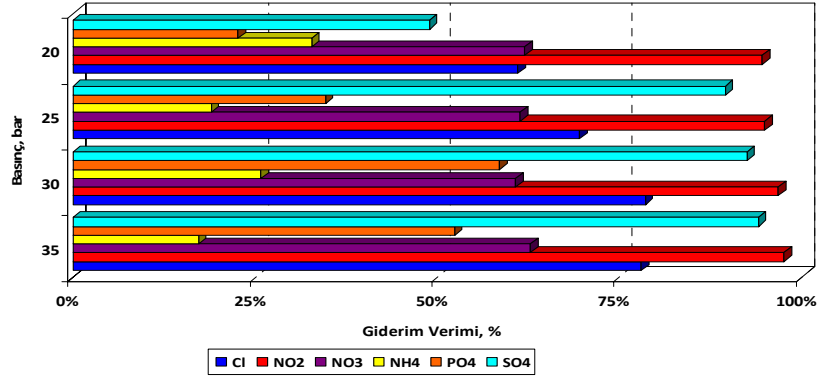
Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} ve SO_4^{2-} giderim verimlerinin NF90, BW30 ve XLE ileri arıtım membranlarında artan TMP'ye bağlı olarak arttığı Şekil 5.23'te görülmektedir. En düşük Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} ve SO_4^{2-} çıkış konsantrasyonları XLE ters osmoz membranının 35 bar TMP altında işletilmesiyle elde edilmiştir. XLE'nin 35 bar TMP altında işletimi sonucunda elde edilen Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} ve SO_4^{2-} çıkış konsantrasyonları sırasıyla 619.08 mg/l, 0.30 mg/l, 3.20 mg/l, 615.26 mg/l, 1.89 mg/l ve 5.97 mg/l'dir. XLE'nin 35 bar TMP altında işletimi sonucunda elde edilen Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} giderim verimleri ise sırasıyla % 73.69, % 97.44, % 72.97, % 27.71, % 68.26 ve % 85.96'dır.



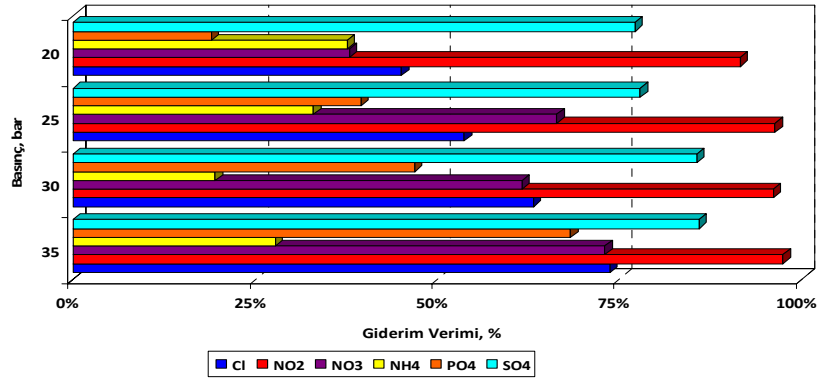
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 5.23 MP005 ile önarıtımı yapılmış yaşlı sızıntı suyunun ileri arıtımı sonrası iyon konsantrasyonları (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE

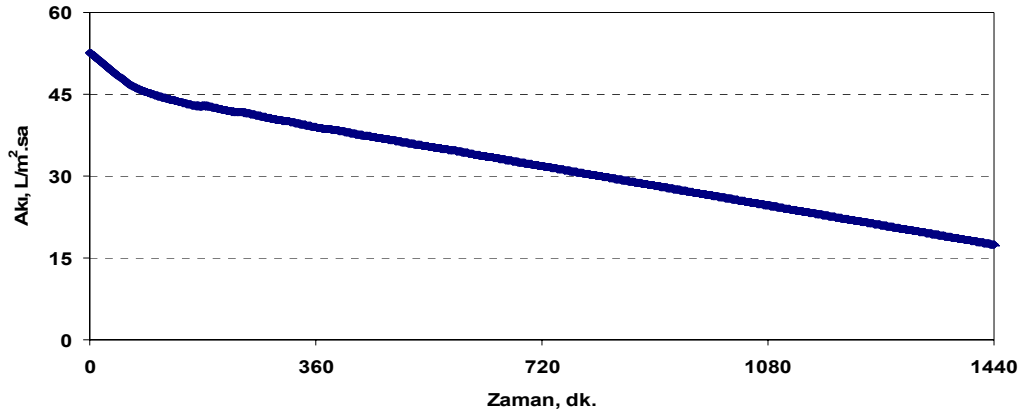
5.2.2 UC030, NF270, NF90, BW30 ve XLE Membranlarıyla Gerçekleştirilen Deney Çalışma Verileri

5.2.2.1 UC030 Ultrafiltrasyon Membraniyle Ön Arıtma Deney Verileri

Yaşlı sızıntı suyunun ileri arıtımından önce UC030 membranı ön arıtma amacıyla kullanılmıştır. UC030 ultrafiltrasyon membranı 2.5 bar TMP altında işletilmiştir.

Akı:

Yaşlı sızıntı suyunun UC030 membranı ile ön arıtımına ait akı verileri Şekil 5.24'te görülmektedir.



Şekil 5.24 Yaşlı sızıntı suyunun UC030 ön arıtımında elde edilen akı grafiği

UC030 ultrafiltrasyon membranının 2.5 bar TMP altında işletilmesi sonucu zamana bağlı olarak akıda azalma görülmektedir. UC030 ultrafiltrasyon membranı ile elde edilen en yüksek akı değeri $52.59 \text{ l/m}^2.\text{saat}$ iken en düşük akı değeri ise $17.21 \text{ l/m}^2.\text{saat}$ 'tir. UC030 ultrafiltrasyon membranından elde edilen süzüntü BW30, XLE ters osmoz membranları ile NF90 ve NF270 nanofiltrasyon membranlarına beslenmiştir.

Organik Madde Giderimi:

Yaşlı sızıntı suyunun UC030 membranı ile ön arıtımıyla elde edilen çıkış KOİ ve TOK konsantrasyonları sırasıyla 12045 mg/l ve 6750 mg/l olup elde edilen KOİ ve TOK giderim verimleri ise sırasıyla % 27.48 ve % 19.45'tir.

Ağır Metal Giderimi:

Yaşlı sızıntı suyunun UC030 membranı ile ön arıtımına ait Fe, Cr, Zn ve Ni konsantrasyonları sırasıyla 1.19 mg/l, 0.31 mg/l, 5.53 mg/l ve 0.27 mg/l'dir. Yaşlı sızıntı suyunun UC030 ön arıtım sonrası % 88.52 Fe, % 82.69 Cr, % 17.68 Zn ve % 87.07 Ni giderimi olduğu görülmüştür.

İyon Giderimi:

Yaşlı sızıntı suyunun UC030 membranıyla ön arıtımı sonrası Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{-3} ve SO_4^{-2} parametrelerinde bir giderim görülmemektedir.

5.2.2.2 UC030 Ultrafiltrasyon Ön arıtımı Sonrası NF270, NF90, BW30 ve XLE Membranlarıyla İleri Arıtıma Deney Verileri

Yaşlı sızıntı suyunun UC030 ultrafiltrasyon membranıyla ön arıtımı sonrasında NF270, NF90, BW30 ve XLE ileri arıtım membranları kullanılarak nihai arıtımı gerçekleştirilmiştir. NF270 membranı 5, 10, 15 ve 20 bar TMP altında, NF90, BW30 ve XLE membranları ise 20, 25, 30 ve 35 bar TMP altında işletilmiştir.

Akı:

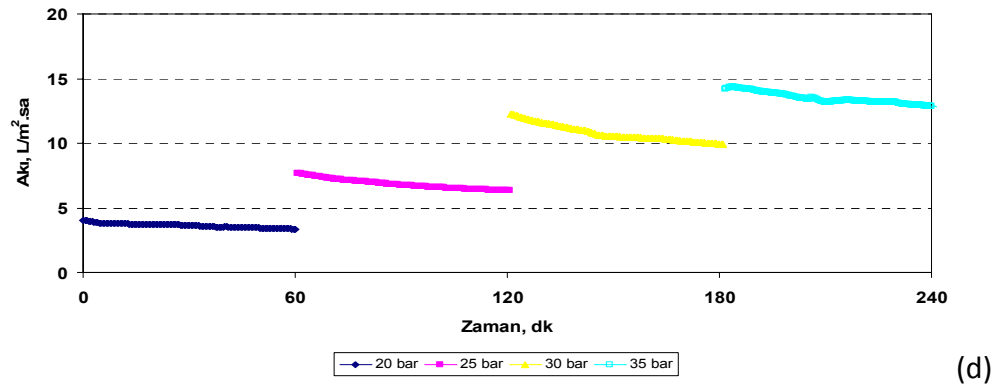
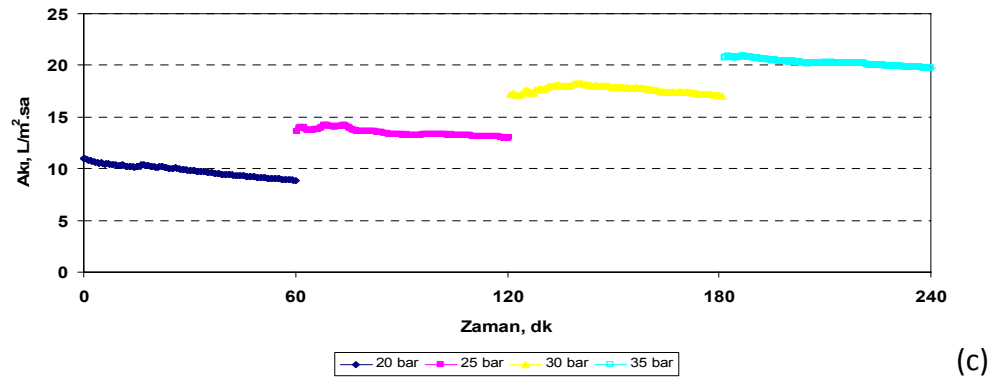
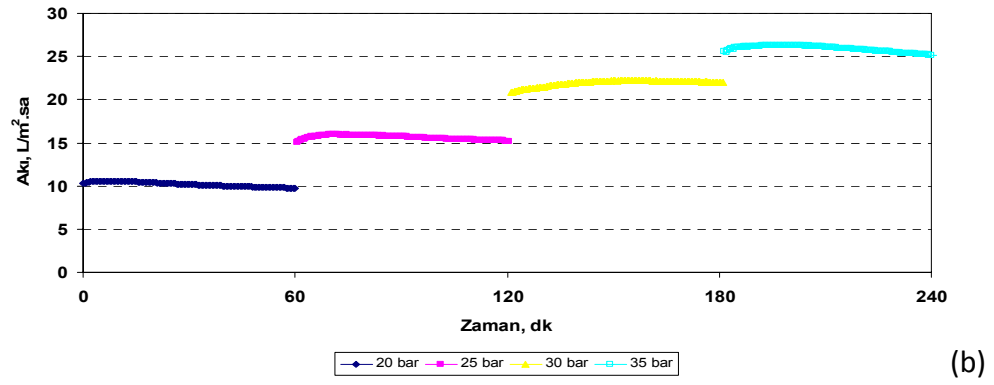
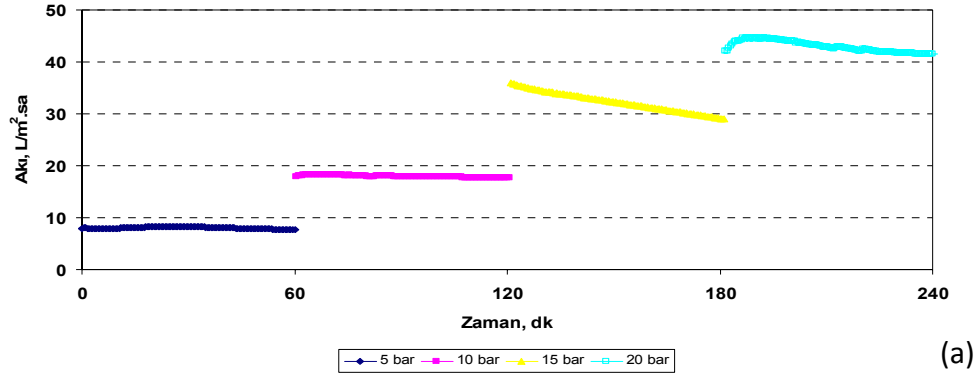
Yaşlı sızıntı suyunun UC030 membranıyla ön arıtımı sonrasında kullanılan NF270, NF90, BW30 ve XLE ileri arıtım membranlarına ait akı verileri Şekil 5.25'te görülmektedir.

UC030 ultrafiltrasyon membranı sonrası uygulanan ileri arıtımda artan TMP'ye bağlı olarak akı değerlerinde artış olduğu görülmektedir. İleri arıtım membranlarıyla elde edilen en yüksek akı değeri 20 bar TMP altında NF270 nanofiltrasyon membranıyla elde edilmiş ve bu akı değeri 44.67 l/m².saat'tir. İleri arıtım membranlarıyla elde edilen düşük akı değeri 20 bar TMP altında XLE membranıyla elde edilmiş ve bu akı değeri 3.36 l/m².saat'tir.

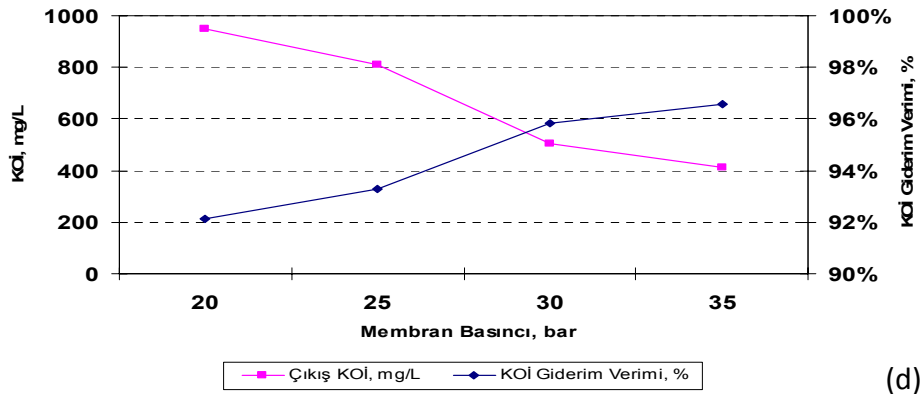
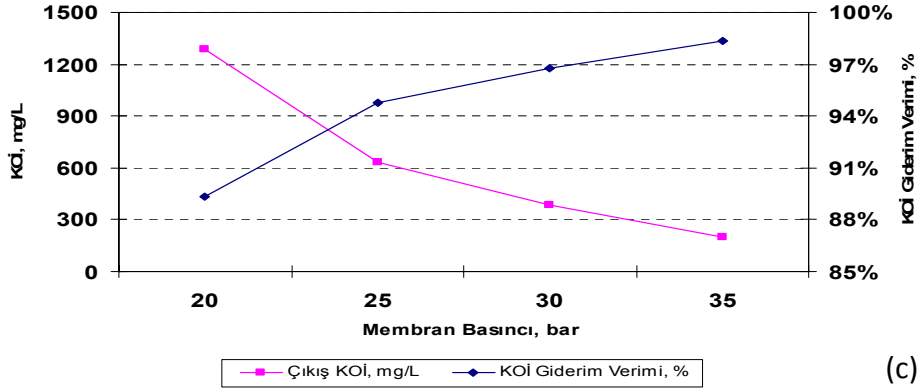
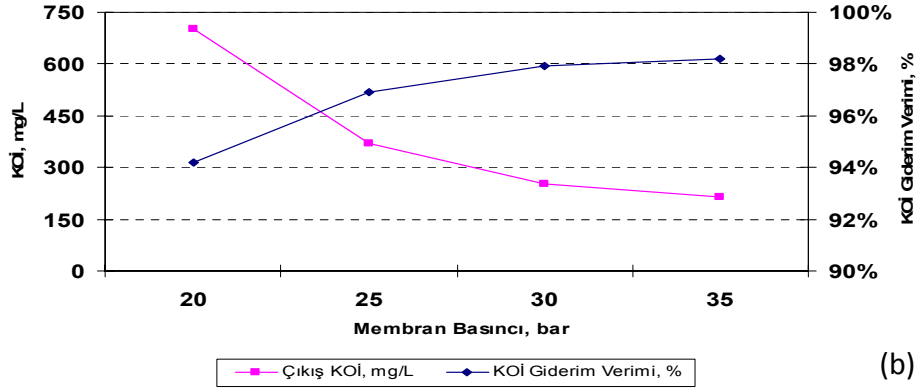
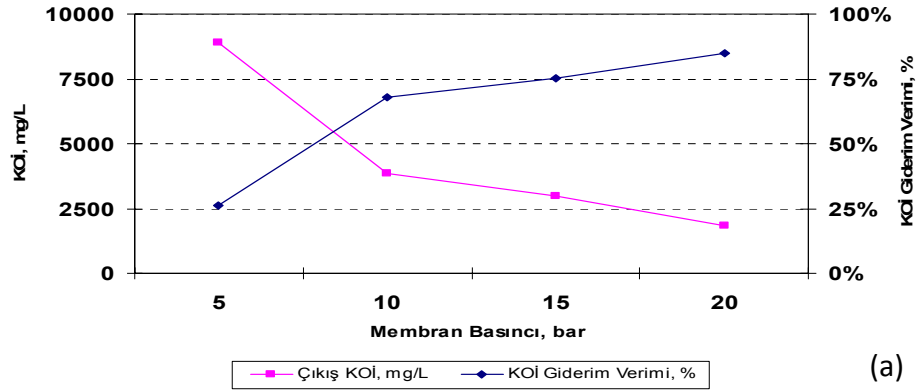
Organik Madde Giderimi:

Yaşlı sızıntı suyunun UC030 membranı sonrası NF270, NF90, BW30 ve XLE ileri arıtım membranları kullanılması sonucu elde edilen çıkış KOİ ve TOK konsantrasyonları ve giderim verimleri Şekil 5.26 ve Şekil 5.27’de görülmektedir.

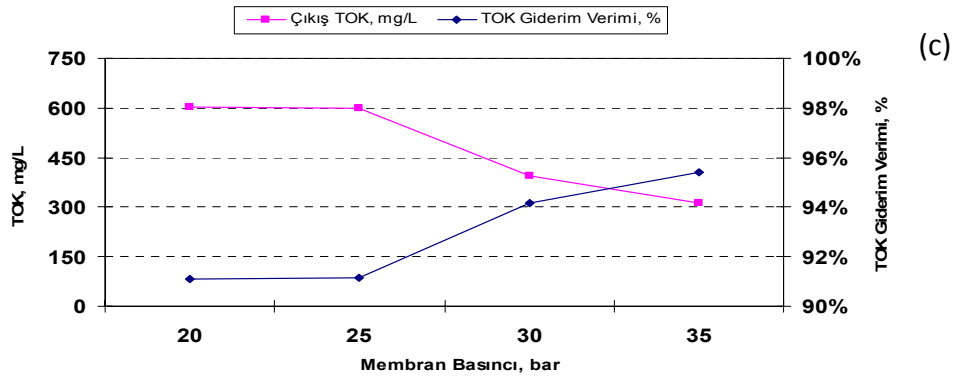
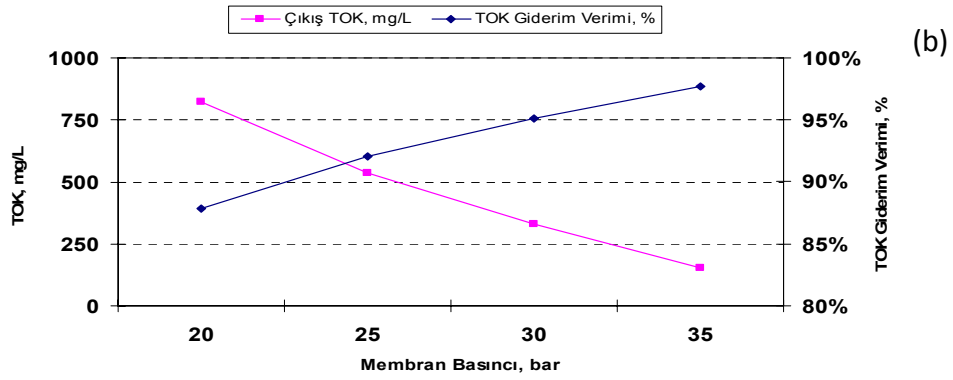
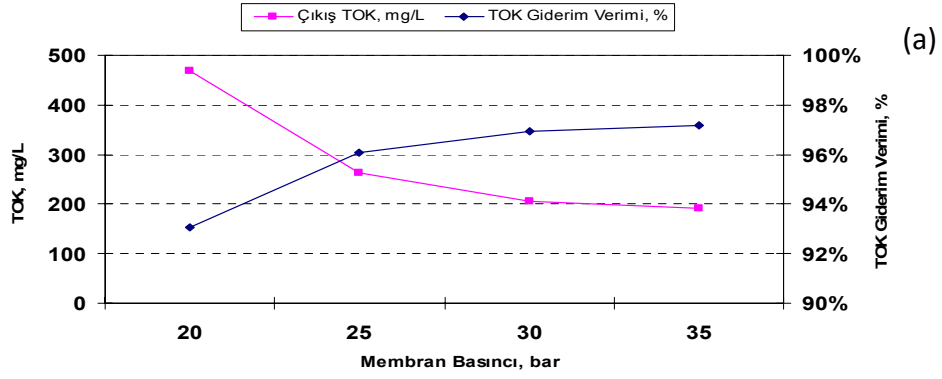
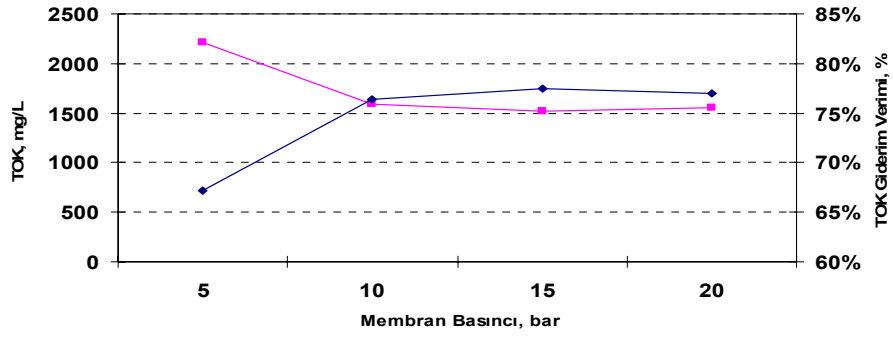
Şekil 5.26 ve Şekil 5.27’de görüldüğü üzere ileri arıtım membranlarında organik madde giderim verimlerinde artan TMP ile artış olduğu görülmektedir. İleri arıtım membranlarıyla elde edilen en düşük KOİ ve TOK çıkış konsantrasyonu 35 bar TMP altında BW30 membranınla elde edilmiştir ve bu değerler sırasıyla 198 mg/l ve 152.4 mg/l’dir. BW30 membranın 35 bar TMP altında işletilmesi sonucu elde edilen KOİ ve TOK giderim verimleri sırasıyla % 98.36 ve % 97.74’tür. İleri arıtım membranlarıyla elde edilen en yüksek KOİ ve TOK çıkış konsantrasyon değerleri ise sırasıyla 8888 mg/l ve 2212 mg/l olup bu değer NF270 nanofiltrasyon membranının 5 bar TMP altında işletilmesi sonucu elde edilmiştir.



Şekil 5.25 Yaşlı sızıntı suyu UC030 sonrası (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE ileri arıtım akı verileri



Şekil 5.26 UC030 ile önarıtımı yapılmış yaşlı sızıntı suyunun ileri arıtımı sonrası KOI konsantrasyonları ve giderme verimleri (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE



Şekil 5.27 UC030 ile önarıtımı yapılmış yaşı sızıntı suyunun ileri arıtımı sonrası TOK konsantrasyonları ve giderme verimleri (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE

Ağır Metal Giderimi:

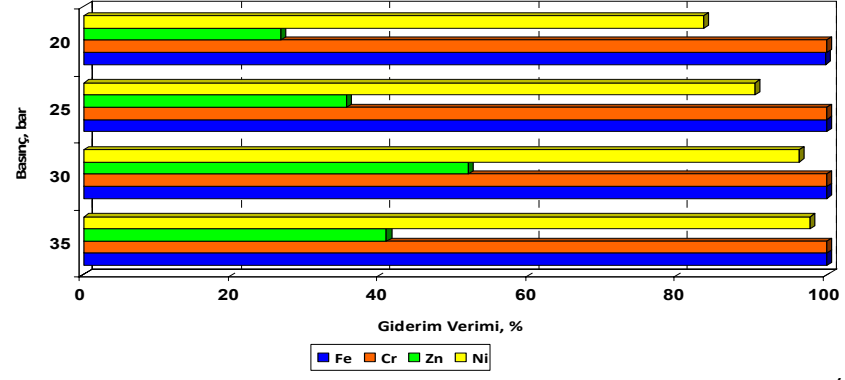
Yaşlı sızıntı suyunun UC030 membranıyla ön arıtımı sonrasında kullanılan NF270, NF90, BW30 ve XLE ileri arıtım membranlarına ait Fe, Cr, Zn ve Ni çıkış konsantrasyonları Şekil 5.28’de gösterilmiştir.

İleri arıtım membranlarıyla arıtımda Fe, Cr, Zn ve Ni giderim verimlerinde artan TMP’ye bağlı olarak artış olduğu Şekil 5.28’de görülmektedir. En düşük Fe, Cr, Zn ve Ni konsantrasyonları NF90’nın 35 bar TMP altında işletilmesiyle elde edilmiştir. NF90’nın 35 bar TMP altında işletimi sonucunda Fe, Cr ve Ni tamamen giderilmiştir. Elde edilen Zn çıkış konsantrasyonu değeri 0.46 mg/l ve Zn giderim verimi ise % 93.15’tir. İleri arıtım membranlarıyla elde edilen en yüksek Fe, Zn ve Ni çıkış konsantrasyonu değerleri ise NF270 nanofiltrasyon membranının 5 bar TMP altında işletilmesiyle elde edilmiştir.

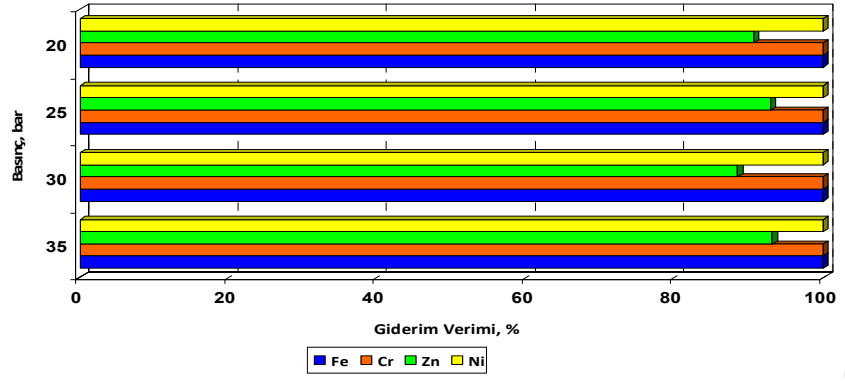
İyon Giderimi:

Yaşlı sızıntı suyunun UC030 membranıyla ön arıtımı sonrasında kullanılan NF270, NF90, BW30 ve XLE ileri arıtım membranlarına ait Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} çıkış konsantrasyonları Şekil 5.29’da görülmektedir.

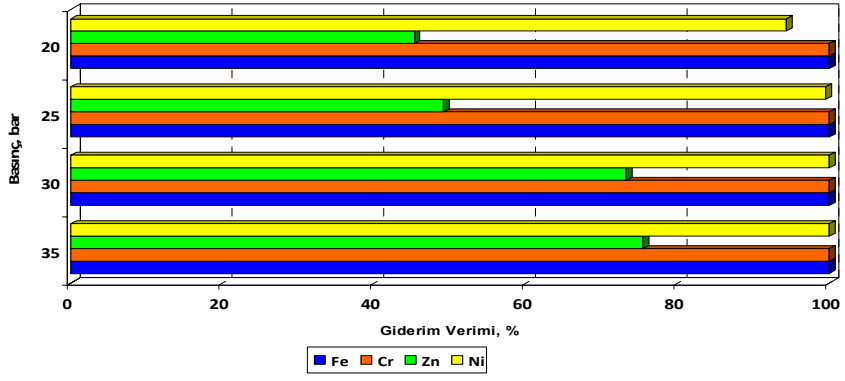
Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , SO_4^{2-} giderim verimlerinin NF90, BW30 ve XLE ileri arıtım membranlarında artan TMP’ye bağlı olarak arttığı Şekil 5.29’da görülmektedir. En düşük Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} ve SO_4^{2-} çıkış konsantrasyonları NF90 nanofiltrasyon membranının 35 bar TMP altında işletilmesiyle elde edilmiştir. NF90’nın 35 bar TMP altında işletimi sonucunda elde edilen Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} ve SO_4^{2-} çıkış konsantrasyonları sırasıyla 489.78 mg/l, 0.15 mg/l, 1.82 mg/l, 475.83 mg/l, 2.36 mg/l ve 1.98 mg/l’dir. Elde edilen Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} ve SO_4^{2-} giderim verimleri ise sırasıyla %79.19, % 98.73, % 84.62, % 44.09, % 60.34 ve % 95.35’tir.



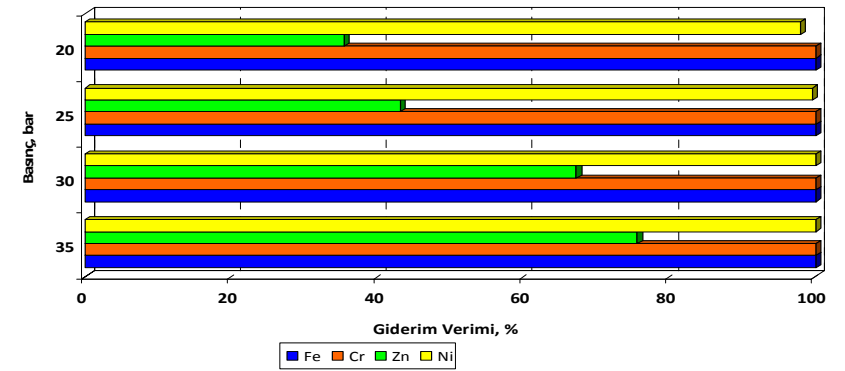
(a)



(b)

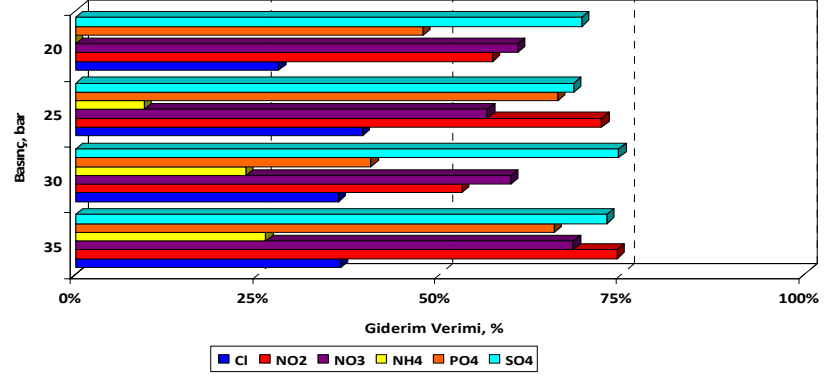


(c)

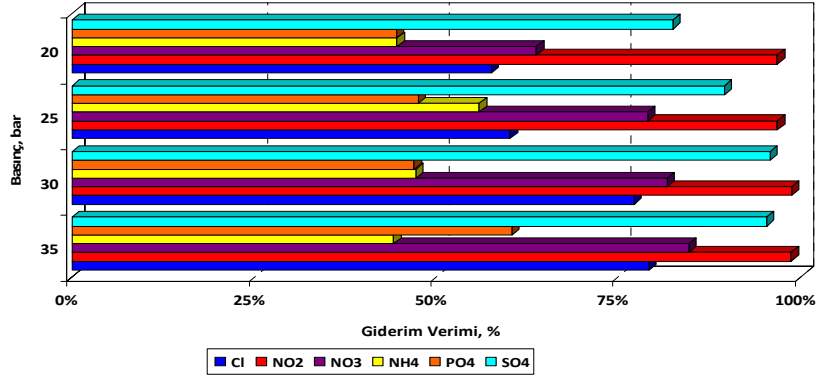


(d)

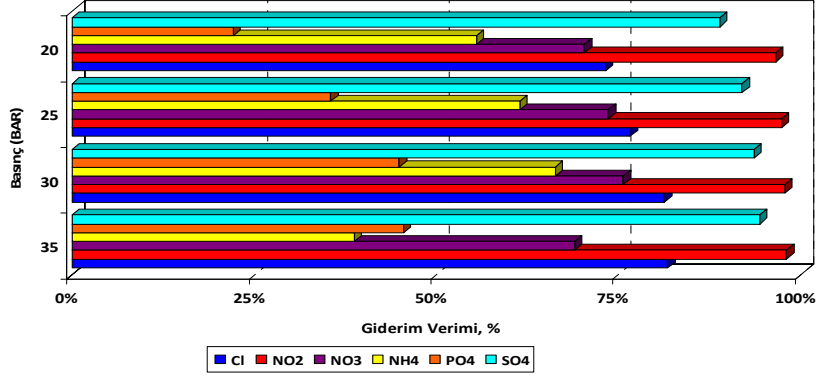
Şekil 5.28 UC030 ile önarıtımı yapılmış yaşlı sızıntı suyunun ileri arıtımı sonrası ağır metal giderme verimleri (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE



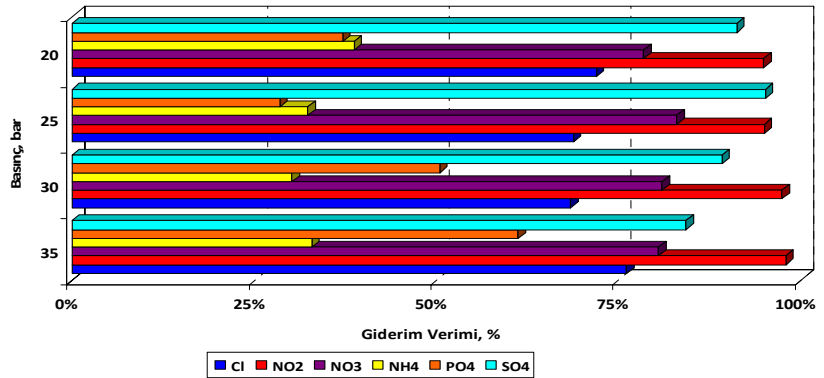
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 5.29 UC030 ile önarıtımı yapılmış yaşı sızıntı suyunun ileri arıtımı sonrası iyon konsantrasyonları (a) NF270, (b) NF90, (c) BW30 ve (d) XLE

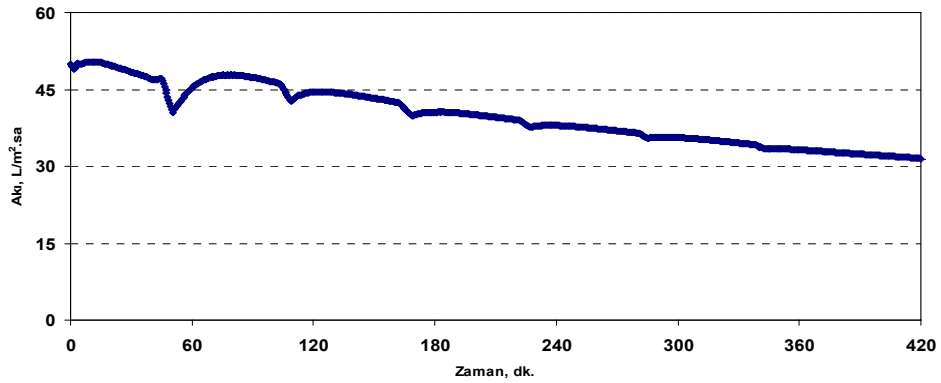
5.2.3 MP005, ZW-UF, BW30 ve SW30 Membranlarıyla Gerçekleştirilen Deney Çalışma Verileri

5.2.3.1 MP005+ZW-UF Membranlarıyla Ön Arıtma Deney Verileri

Yaşlı sızıntı suyunun ileri arıtım ünitesi öncesinde ön arıtma amacıyla MP005 ve ZW-UF membranları sırasıyla kullanılmıştır. MP005 mikrofiltrasyon membranı 1 bar sabit TMP ile işletilmesinden sonra batık ZW-UF ultrafiltrasyon membranı işletilmiştir.

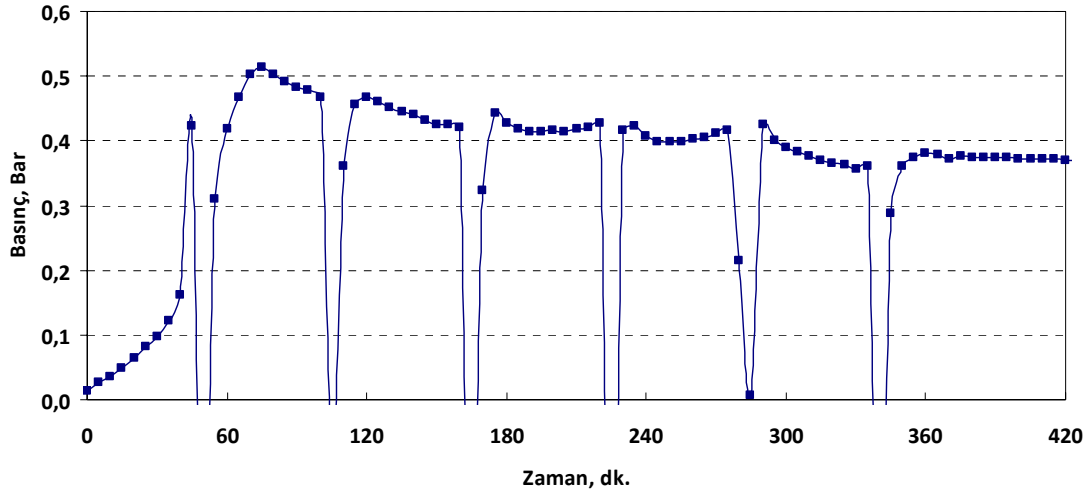
Akı:

Yaşlı sızıntı suyunun ZW-UF membranı ile ön arıtımına ait akı verileri Şekil 5.30'da gösterilmiştir.



Şekil 5.30 Yaşlı sızıntı suyunun MP005 sonrası ZW-UF ön arıtımında elde edilen akı grafiği

ZW-UF membranı ile yapılan ön arıtımda zamana bağlı olarak akı değerinde azalma olduğu gözlenmiştir. ZW-UF membranı ile elde edilen en yüksek akı değeri 50 l/m².saat iken en düşük akı değeri ise 31.76 l/m².saat'tir. ZW-UF membranına ait akıdaki azalma hızı zamana bağlı olarak işletme basıncının yükselmesiyle düşüş göstermiştir. ZW-UF membranına ait zamana bağlı işletme basıncındaki değişim Şekil 5.31'de gösterilmiştir. ZW-UF membranının işletiminde elde edilen en yüksek basınç değeri 0.51 bar'dır. ZW-UF membranından elde edilen süzüntü BW30 ve SW30 ters osmoz membranlarına beslenmiştir.



Şekil 5.31 Yaşlı sızıntı suyunun MP005 sonrası ZW-UF ön arıtımında elde edilen basınç değişim grafiği

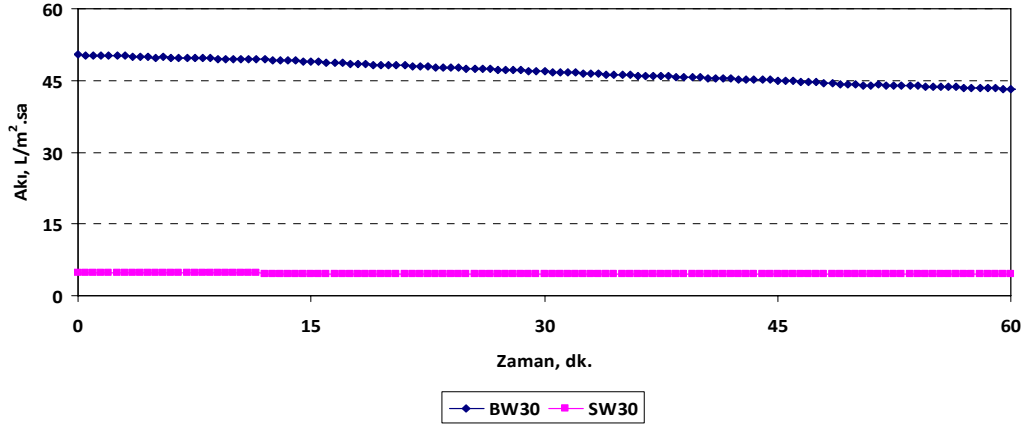
Organik Madde Giderimi:

Yaşlı sızıntı suyunun MP005 membranı sonrasında ZW-UF membranı ile ön arıtımıyla elde edilen çıkış KOİ ve TOK konsantrasyonları sırasıyla 12790 mg/l ve 6675 mg/l olup elde edilen KOİ ve TOK giderim verimleri ise sırasıyla % 23.00 ve % 20.35'tir.

5.2.3.2 MP005+ZW-UF Önarıtımı Sonrası BW30 ve SW30 Membranlarıyla İleri Arıtıma Deney Verileri

Akı:

Yaşlı sızıntı suyunun ZW-UF membranı önarıtımı sonrasında 35 bar TMP altında işletilen BW30 ve SW30 ters osmoz membranlarına ait akı verileri Şekil 5.32'de gösterilmiştir.



Şekil 5.32 Yaşlı sızıntı suyunun MP005 + ZW-UF ön arıtım sonrası BW30 ve SW30 ileri arıtım membranlarından elde edilen akı grafiği

MP005+ZW-UF membranları ön arıtım sonrası yapılan BW30 ve SW30 ileri arıtım membranlarına ait akı değerlerinde zamana bağlı olarak akı değerinde azalma olduğu gözlenmiştir. BW30 ve SW30 ters osmoz membranlarından elde edilen en yüksek akı değerleri sırasıyla $50.41 \text{ L/m}^2.\text{saat}$ ve $4.76 \text{ L/m}^2.\text{saat}$ iken en düşük akı değerleri ise $43.41 \text{ L/m}^2.\text{saat}$ ve $4.47 \text{ L/m}^2.\text{saat}$ 'tir. Akı değerleri incelendiğinde 35 bar TMP altında işletilen BW30 ve SW30 ters osmoz membranlarından, BW30'a ait akı değerinin daha yüksek olduğu görülmektedir.

Organik Madde Giderimi:

Yaşlı sızıntı suyunun MP005+ZW-UF ön arıtımı sonrası yapılan BW30 ve SW30 ileri arıtım membranlarına ait çıkış KOİ konsantrasyonları sırasıyla 359 mg/l ve 937 mg/l iken elde edilen KOİ giderim verimleri ise sırasıyla % 97.19 ve % 92.67'dir. BW30 ve SW30 ileri arıtım membranlarına ait çıkış TOK konsantrasyonları ise sırasıyla 169.2 mg/l ve 389.2 mg/l iken elde edilen TOK giderim verimleri ise sırasıyla % 97.47 ve % 94.17'dir. MP005+ZW-UF ön arıtım sonrası 35 bar TMP altında işletilen BW30 ters osmoz membranından elde edilen organik madde giderim verimleri SW30 ters osmoz membranı ile karşılaştırıldığında, BW30 ters osmoz membranının daha yüksek organik madde giderim verimine sahip olduğu görülmektedir.

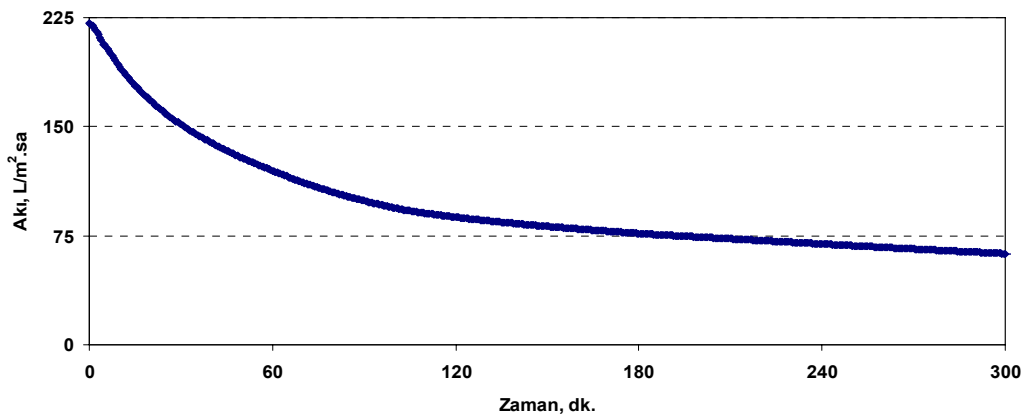
5.2.4 MP005, UC030, BW30 ve SW30 Membranlarıyla Gerçekleştirilen Deney Çalışma Verileri

5.2.4.1 MP005+UC030 Membranlarıyla Önarıtma Deney Verileri

Yaşlı sızıntı suyunun ileri arıtım ünitesi öncesinde ön arıtma amacıyla MP005 ve UC030 membranları sırasıyla kullanılmıştır. MP005 mikrofiltrasyon membranı 1 bar sabit TMP ile işletilmesinden sonra UC030 ultrafiltrasyon membranı 2.5 bar TMP altında işletilmiştir.

Akı:

Yaşlı sızıntı suyunun UC030 membranı ile önarıtımına ait akı verileri Şekil 5.33'te gösterilmiştir.



Şekil 5.33 Yaşlı sızıntı suyunun MP005 sonrası UC030 ön arıtımında elde edilen akı grafiği

UC030 membranı ile yapılan ön arıtımda zamana bağlı olarak akı değerinde azalma olduğu gözlenmiştir. UC030 membranı ile elde edilen en yüksek akı değeri 221.52 l/m².saat iken en düşük akı değeri ise 62.54 l/m².saat'tir. UC030 membranından elde edilen süzüntü BW30 ve SW30 ters osmoz membranlarına beslenmiştir.

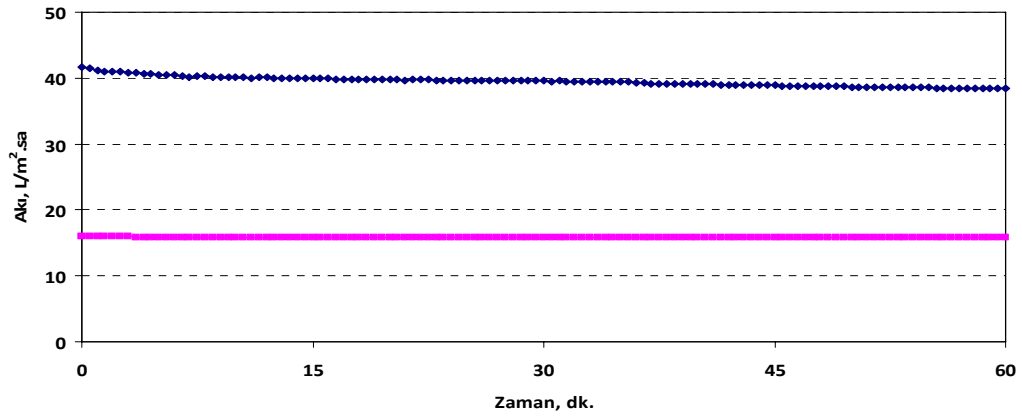
Organik Madde Giderimi:

Yaşlı sızıntı suyunun MP005 membranı sonrasında UC030 membranıyla ön arıtımıyla elde edilen çıkış KOİ ve TOK konsantrasyonları sırasıyla 11600 mg/l ve 6250 mg/l olup elde edilen KOİ ve TOK giderim verimleri ise sırasıyla % 30.16 ve % 25.42'dir.

5.2.4.2 MP005+UC030 Ön arıtımı Sonrası BW30 ve SW30 Membranlarıyla İleri Arıtıma Deney Verileri

Akı:

Yaşlı sızıntı suyunun UC030 membranı ön arıtımı sonrasında 35 bar TMP altında işletilen BW30 ve SW30 ters osmoz membranlarına ait akı verileri Şekil 5.34'te gösterilmiştir.



Şekil 5.34 Yaşlı sızıntı suyunun MP005 + UC030 ön arıtım sonrası BW30 ve SW30 ileri arıtım membranlarından elde edilen akı grafiği

MP005+UC030 membranları ön arıtım sonrası yapılan BW30 ve SW30 ileri arıtım membranlarına ait akı değerlerinde zamana bağlı olarak akı değerinde azalma olduğu gözlenmiştir. BW30 ve SW30 ters osmoz membranlarından elde edilen en yüksek akı değerleri sırasıyla 41.73 l/m².saat ve 15.96 l/m².saat iken en düşük akı değerleri ise 38.38 l/m².saat ve 15.81 l/m².saat'tir. Akı değerleri incelendiğinde 35 bar TMP altında işletilen BW30 ve SW30 ters osmoz membranlarından, BW30'a ait akı değerinin daha yüksek olduğu görülmektedir.

Organik Madde Giderimi:

Yaşlı sızıntı suyunun MP005+ZW-UF önartımı sonrası yapılan BW30 ve SW30 ileri arıtım membranlarına ait çıkış KOİ konsantrasyonları sırasıyla 161 mg/l ve 367 mg/l iken elde edilen KOİ giderim verimleri ise sırasıyla % 98.61 ve % 96.84'tür. BW30 ve SW30 ileri arıtım membranlarına ait çıkış TOK konsantrasyonları ise sırasıyla 73 mg/l ve 182.70 mg/l iken elde edilen TOK giderim verimleri ise sırasıyla % 98.83 ve % 97.08'tir. MP005+ZW-UF önartım sonrası 35 bar TMP altında işletilen BW30 ters osmoz membranından elde edilen organik madde giderim verimleri SW30 ters osmoz membranı ile karşılaştırıldığında, BW30 ters osmoz membranının daha yüksek organik madde giderim verimine sahip olduğu görülmektedir.

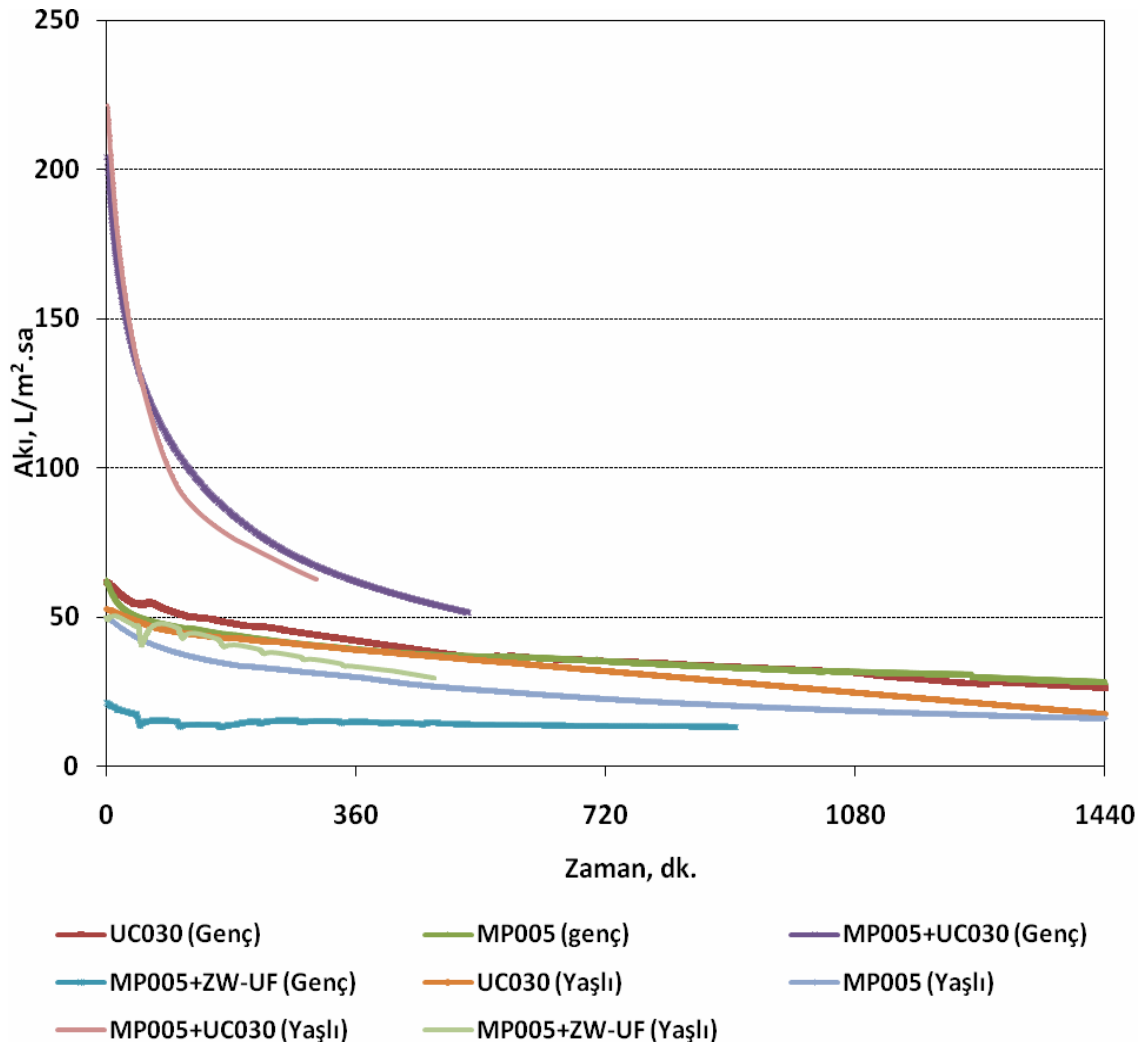
5.3 Genç ve Yaşlı Sızıntı Suyu Deney Verilerinin Karşılaştırılması

5.3.1 MP005, UC030, MP005+ZW-UF, MP005+UC030 Önartım Membranları Deney Verilerinin Karşılaştırılması

Akı:

Genç ve yaşlı sızıntı sularının önartım membranlarına ait akı değerlerinin karşılaştırılması Şekil 5.35'te görülmektedir. Mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon ve vakumla işletilen ultrafiltrasyon membranları kullanılarak gerçekleştirilen çalışma sonunda en yüksek ön arıtma akı değeri MP005+UC030 membranları kombinasyonu ile hem genç ve hemde yaşlı sızıntı suyu için elde edilmiştir. MP005'ten sonra kullanılan UC030 membranının genç ve yaşlı sızıntı suyu için elde edilen akı değerleri sırasıyla 204.28 l/m².saat ve 221.52 l/m².saat'tir. MP005 ile UC030 membranları sırasıyla 1 bar ve 2.5 bar TMP altında işletilmiştir. 2.5 kat daha fazla basınç uygulanmasına rağmen UC030 membranıyla elde edilen akı değerleri MP005 membranı akı değerlerine yakın olduğu görülmektedir. MP005 membranı 0,05 µm gözenek çapına sahip iken UC030 membranı yaklaşık 0.015 µm (30 kDa) gözenek çapına sahiptir. UC030 membranı daha küçük gözenek çapına sahip olduğundan 2.5 kat fazla basınç uygulanmasına rağmen daha düşük gözenek çapına sahip MP005 membranıyla yaklaşık aynı akı değerleri elde edilmiştir. UC030 membranı yüzeyinde birikimin MP005 membranına göre daha fazla

olduğu ve bu sebeple MP005 membranına göre daha yüksek basınçta akı geçişinin mümkün olduğu anlaşılmaktadır.



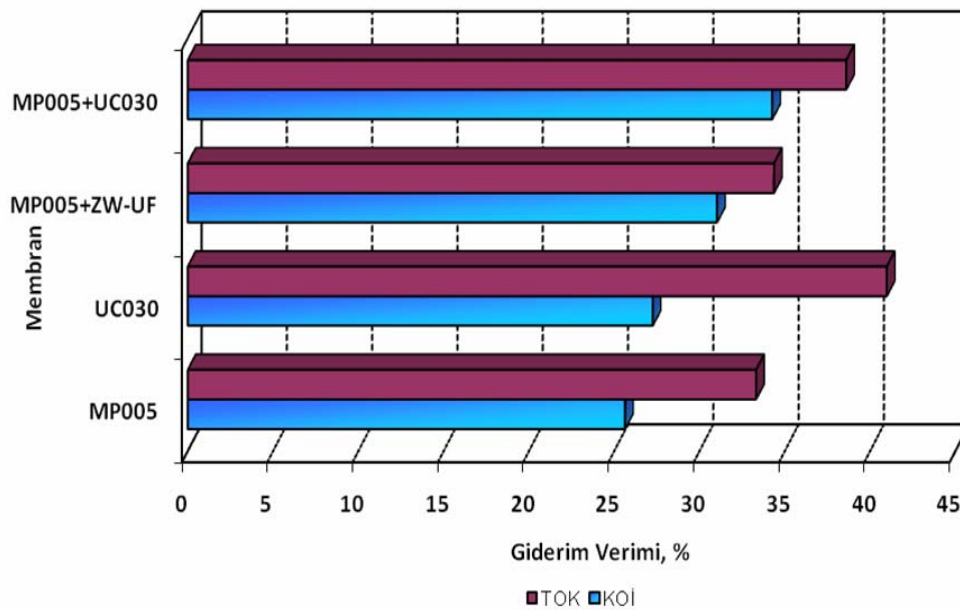
Şekil 5.35 Genç ve yaşlısızıntı suyu önarıtım membranlarına ait akı değerlerinin karşılaştırılması

Genç ve yaşlı sızıntı sularının moleküller boyut analizleri Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Çizelge 4.2'de görülmektedir. Boyut dağılım analizine incelendiğinde yaşlı sızıntı sularının moleküller boyutlarının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Hem MP005 membranında ve hemde UC030 membranında moleküller boyutu daha büyük olan yaşlı sızıntı sularının akı verilerinin daha düşük olduğu ve moleküller boyutun akı üzerinde etkili olduğu görülmektedir.

MP005 membranı ile yapılan önartım sonrası UC030 ve ZW-UF membranı kullanılmıştır. ZW-UF membranı 150 kDa MWCO'ya yani yaklaşık 0.04 μm gözenek çapına sahiptir. 0.05 μm gözenek çapına sahip membrandan geçen sızıntı suları UC030 membranına verildiğinde UC030 membranın akı değerinin başlangıçta yaklaşık 4 kat arttığı ve çok hızlı bir düşüş gösterdiği görülmektedir (MP005+UC030). 0.05 μm gözenek çapına sahip membrandan geçen sızıntı suları ZW-UF membranına verildiğinde ZW-UF membranın akı değeri yaşlı sızıntı suyunda çok az bir artış gösterirken genç sızıntı suyunda ise önemli derecede azalma olduğu görülmüştür (MP005+ZW-UF). MP005 membranından geçen moleküllerin ZW-UF membranında gözenek tıkanmasına yol açtığı ve bu sebeple akı değerlerinde olumlu bir gelişme olmadığı düşünülmektedir. UC030 membranın gözenek çapı MP005 membranında çok daha küçük olduğu için MP005 membranından geçen moleküllerin UC030 membranı yüzeyinde birikime sebep olduğu ve bu birikimin akı üzerinde olumsuz etki yaptığı düşünülmektedir.

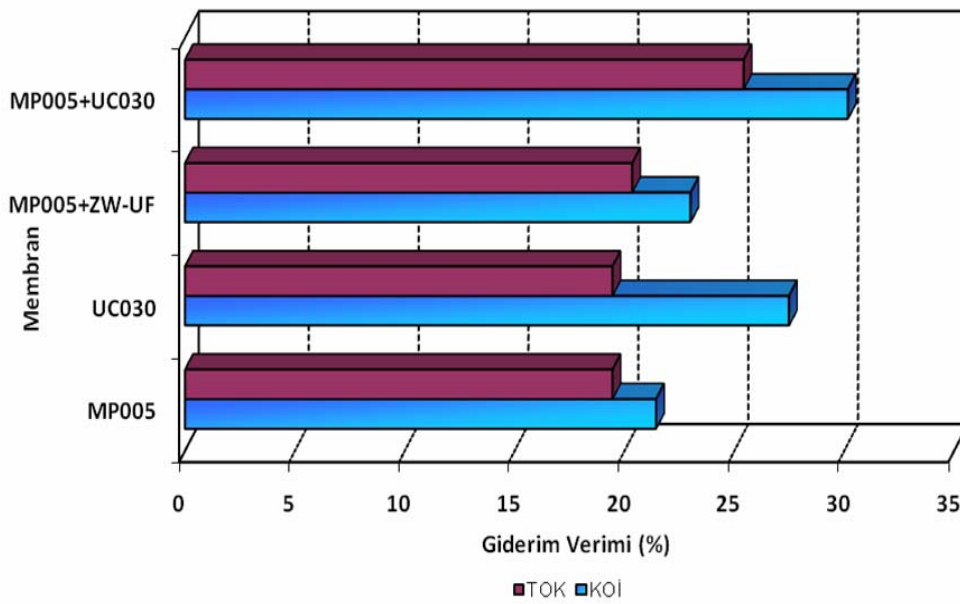
Organik Madde Giderimi:

Genç ve yaşlı sızıntı sularının ön arıtımında kullanılan membranların KOİ ve TOK giderim verimleri sırasıyla Şekil 5.36 ve 5.37'de görülmektedir.



Şekil 5.36 Genç sızıntı suyu önartım membranlarına ait KOİ ve TOK giderim verimleri karşılaştırılması

Genç sızıntı suyunda ön arıtım membranlarıyla KOİ giderim verimi % 25–35 arasında olduğu görülmektedir. Uygulanan MP005 ve UC030 ön arıtım membranlarıyla elde edilen KOİ giderim verimleri % 25–30 düzeyindeyken MP005 sonrası uygulanan UC030 ve ZW-UF ön arıtım membranlarıyla giderim verimi % 30–35 civarına kadar arttığı görülmektedir. TOK giderim verimleri incelendiğinde, en yüksek TOK giderim veriminin UC030 ultrafiltrasyon membranıyla elde edildiği görülmüştür. MP005 sonrası elde edilen TOK giderim verimi % 32’lerdeyken, MP005 sonrası uygulanan ZW-UF ön arıtım membranlarıyla bu giderim veriminin pek değişmediği ve UC030 ön arıtım membranıyla bu giderim veriminin arttığı görülmektedir.



Şekil 5.37 Yaşlı sızıntı suyu ön arıtım membranlarına ait KOİ ve TOK giderim verimleri karşılaştırılması

Yaşlı sızıntı suyunda MP005, UC030 ve MP005+ZW-UF ön arıtım membranlarıyla KOİ giderim verimi yaklaşık % 22–27 aralığında iken, MP005+UC030 ön arıtımıyla bu giderim veriminin % 30’a kadar artmıştır. En düşük KOİ giderim verimi MP005 membranının ön arıtımda uygulanmasında elde edilmiştir. TOK giderim veriminde ise MP005, UC030 ve MP005+ZW-UF membranlarıyla giderim verimi yaklaşık % 18–20 civarında iken, MP005+UC030 membranlarıyla bu giderim veriminin % 25’e kadar artmıştır.

Genç sızıntı suyunda TOK giderme verimi KOİ giderme veriminden fazla iken, yaşlı sızıntı suyunda KOİ giderme verimi TOK giderme veriminden daha fazladır. Yaşlı sızıntı

suyunda inert organik maddelerin daha fazla konsantasyonda bulunmasının bu duruma sebebiyet verdiği düşünülmektedir. Genç sızıntı suyunda hem KOİ ve hem de TOK giderim verimi yaşlı sızıntı suyundan daha fazladır. Organik madde konsantrasyonunun genç sızıntı suyunda fazla olması membran yüzeyinde yeni bir bariyer tabakasının oluşmasına katkı sağladığı ve böylece organik madde giderim veriminin yaşlı sızıntı suyuna göre daha fazla olduğu düşünülmektedir.

5.3.2 NF270, NF90, BW30, XLE, SW30 İleri Arıtım Membranları Deney Verilerinin Karşılaştırılması

Akı:

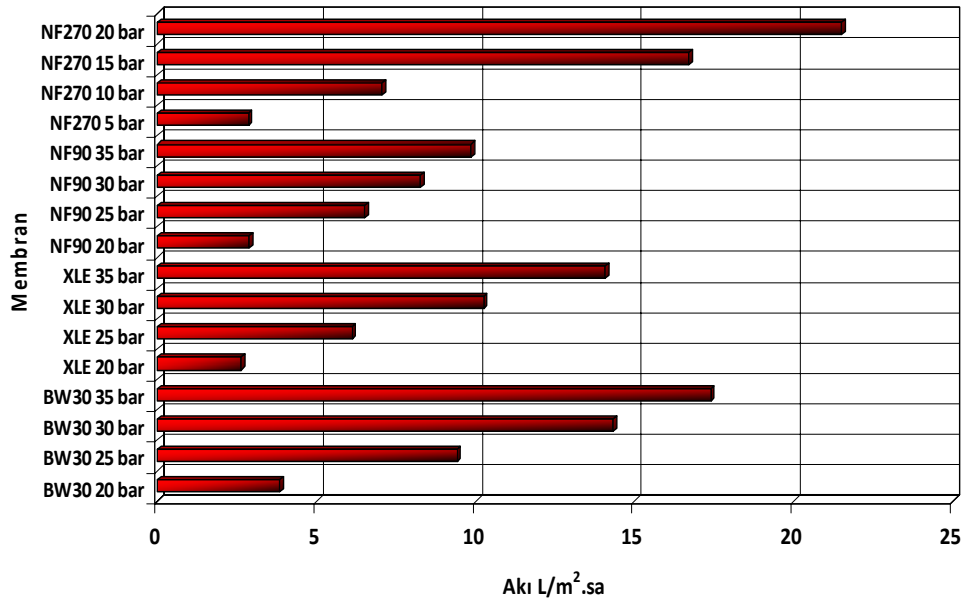
Genç ve yaşlı sızıntı sularının ön arıtımı sonrası uygulanan NF270, NF90, BW30 ve XLE ileri arıtım membranlarına ait minimum akı değerleri Şekil 5.38, 5.39, 5.40, 5.41’de görülmektedir.

Genç ve yaşlı sızıntı sularının ön arıtımı sonrası uygulanan ileri arıtım membranlarında TMP’nin artışı ile akı değerlerinin arttığı görülmüştür. Genç sızıntı suyunun UC030 ön arıtımından sonra uygulanan ileri arıtım membranlarının akı değerlerinin genellikle MP005 ön arıtımından sonra uygulanan ileri arıtım membranları akı değerlerinden daha fazla olduğu görülmektedir. MP005 membranından 0.05 μm ’den küçük koloidal maddeler geçerken UC030 membranında ancak yaklaşık 0.015 μm ’den ve daha küçük kirleticilerin geçmesi mümkündür. MP005 membranından geçen kirleticilerin ileri arıtım membranları yüzeyinde daha fazla birikim olmasına ve daha fazla akı düşüşüne sebep olduğu düşünülmektedir.

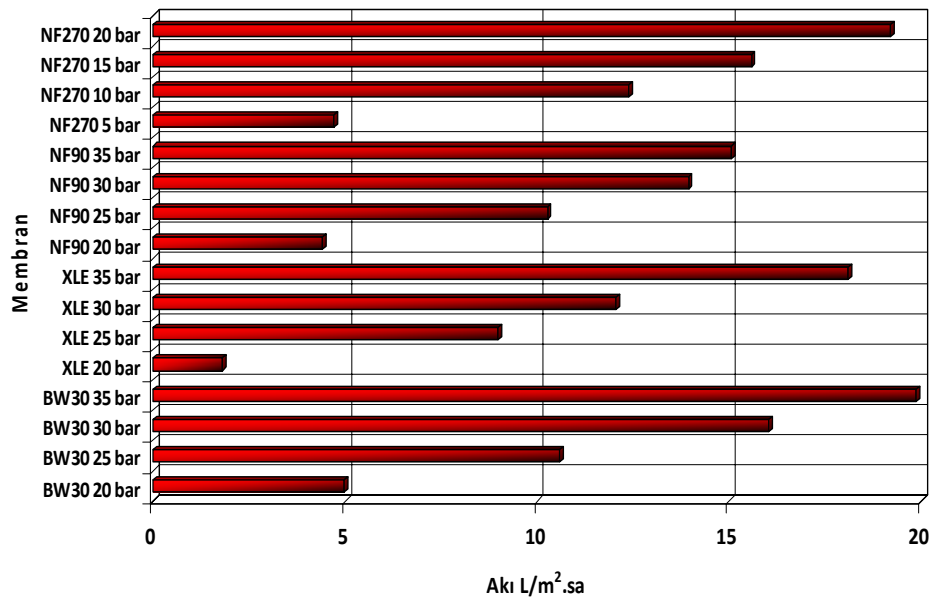
Genç sızıntı suyu çalışmalarının aksine, yaşlı sızıntı suyu çalışmalarında MP005 membranıyla ön arıtım sonrası uygulanan ileri arıtımda genellikle daha fazla akı elde edilmiştir. UC030 membranından geçen çok küçük MWCO’ya sahip kirleticilerin membran porlarına nüfus ederek akı düşmesine sebep olduğu düşünülmektedir.

İleri arıtım membranlarının Çizelge 4.3’te görülen MWCO değerleri dikkate alınarak akı verileri karşılaştırıldığında en yüksek MWCO’ya sahip NF270 membranı ile yüksek akı

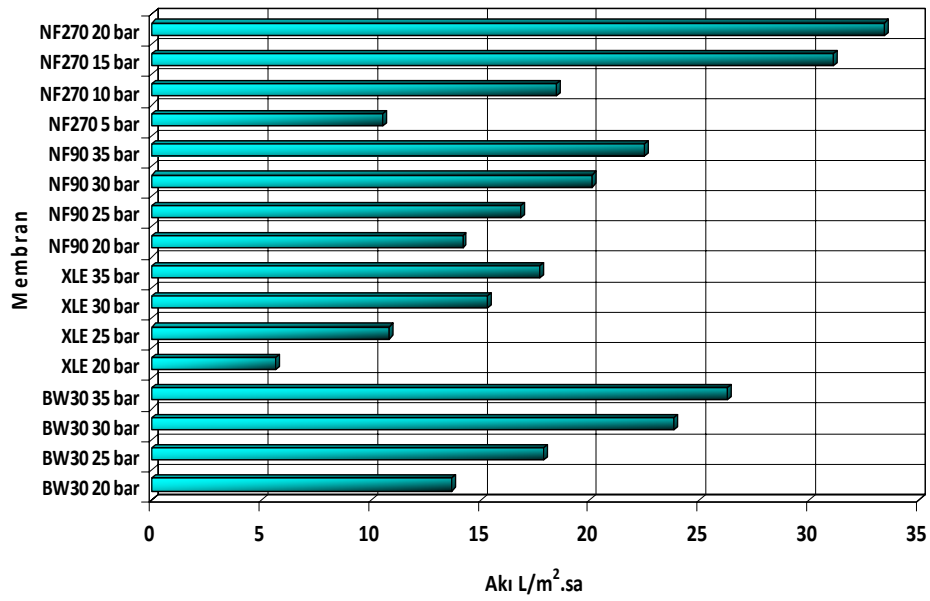
değerlerinin elde edildiği görülmektedir. Benzer şekilde düşük MWCO'ya sahip XLE membranı ile NF270'ten daha düşük akı değerleri elde edildiği Şekil 5.38, 5.39, 5.40 ve 5.41'de görülmektedir. XLE membranının NF270'e göre daha yüksek TMP'lerde işletilmelerine rağmen NF270 kadar akı elde edilememiştir. Bu durum membran MWCO'sunun akı verileri üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.



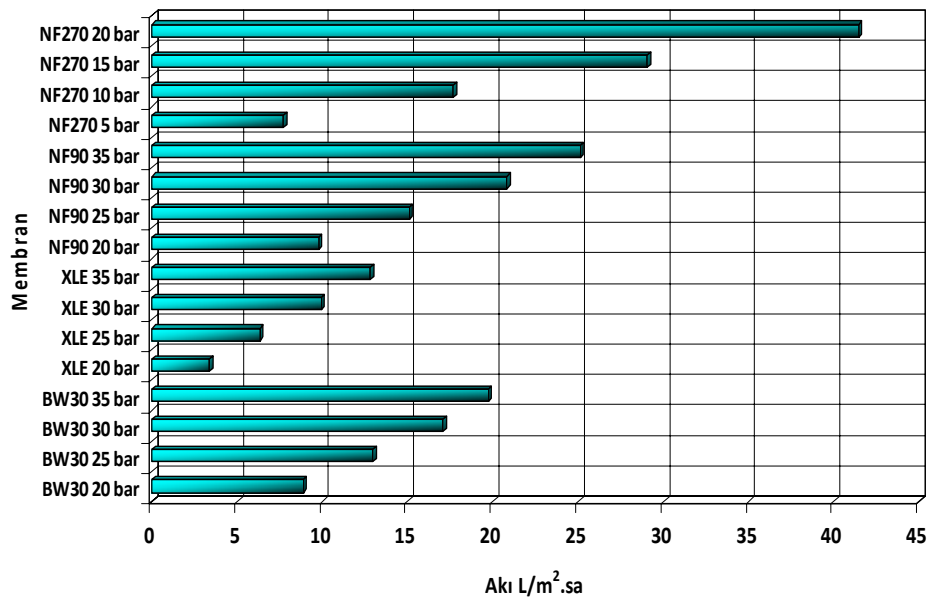
Şekil 5.38 Genç sızıntı suyunun MP005 sonrası basınca bağlı ileri arıtım akı değerleri



Şekil 5.39 Genç sızıntı suyunun UC030 sonrası basınca bağlı ileri arıtım akı değerleri



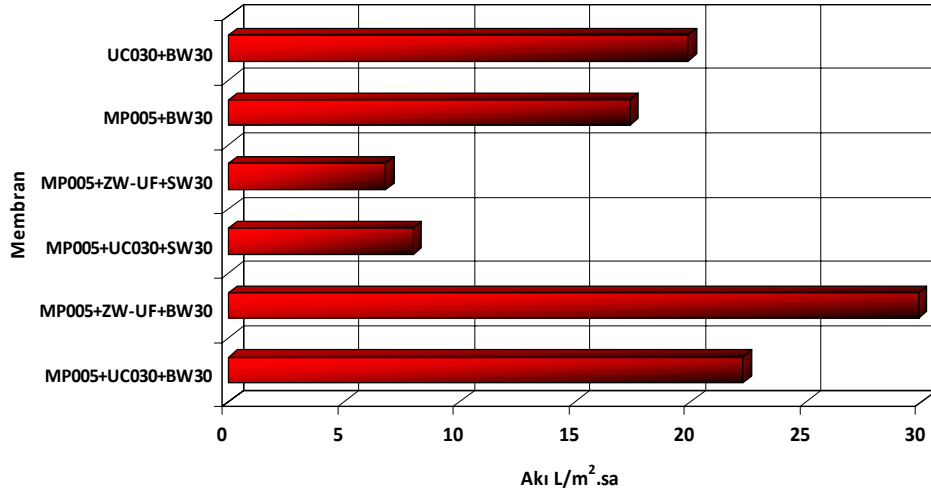
Şekil 5.40 Yaşlı sızıntı suyunun MP005 sonrası basınca bağlı ileri arıtım akı değerleri



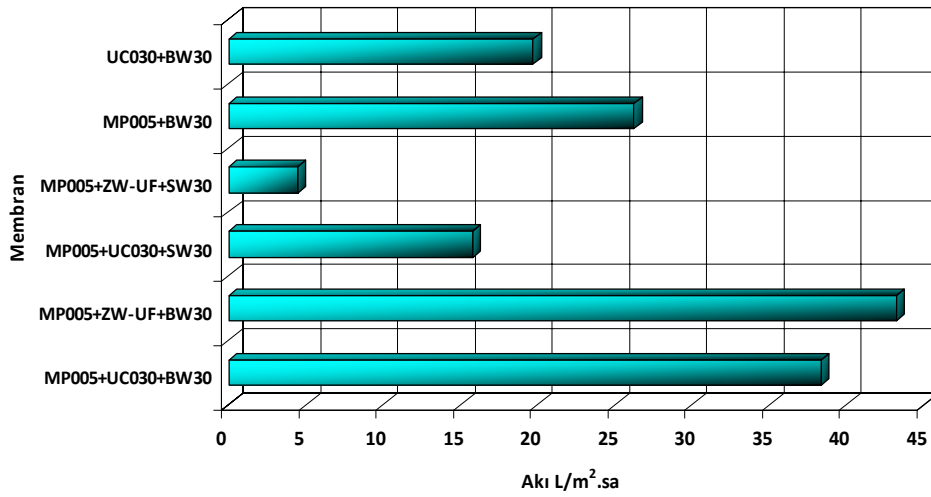
Şekil 5.41 Yaşlı sızıntı suyunun UC030 sonrası basınca bağlı ileri arıtım akı değerleri

MP005+ZW-UF ve MP005+UC030 şeklinde iki aşamalı ön arıtma uygulanması sonrası genç ve yaşlı sızıntı suları BW30 ve SW30 ileri arıtım membranları ile arıtılmıştır. Bu arıtmalardaki minimum akı değerleri ve daha önce yapılan BW30 akı verileri Şekil 5.42 ve Şekil 5.43'te görülmektedir. İki aşamalı ön arıtım sonrası BW30 membranının akı değerlerinin uygulanan diğer ön arıtma alternatiflerinden daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu durum uygun ön arıtımın ileri arıtım membranlarının akı verilerini arttırmada etkili olduğunu göstermektedir. Deniz suyu arıtma amacıyla kullanılan SW30

membranı bu aşamada kullanıldığında BW30 membranına göre çok daha düşük akı değeri elde edildiği görülmüştür. Bu aşamada, MP005+ZW-UF ön arıtımı sonrası 35 bar TMP altında işletilen BW30 ters osmoz membranıyla en yüksek akı değeri elde edilmiştir.



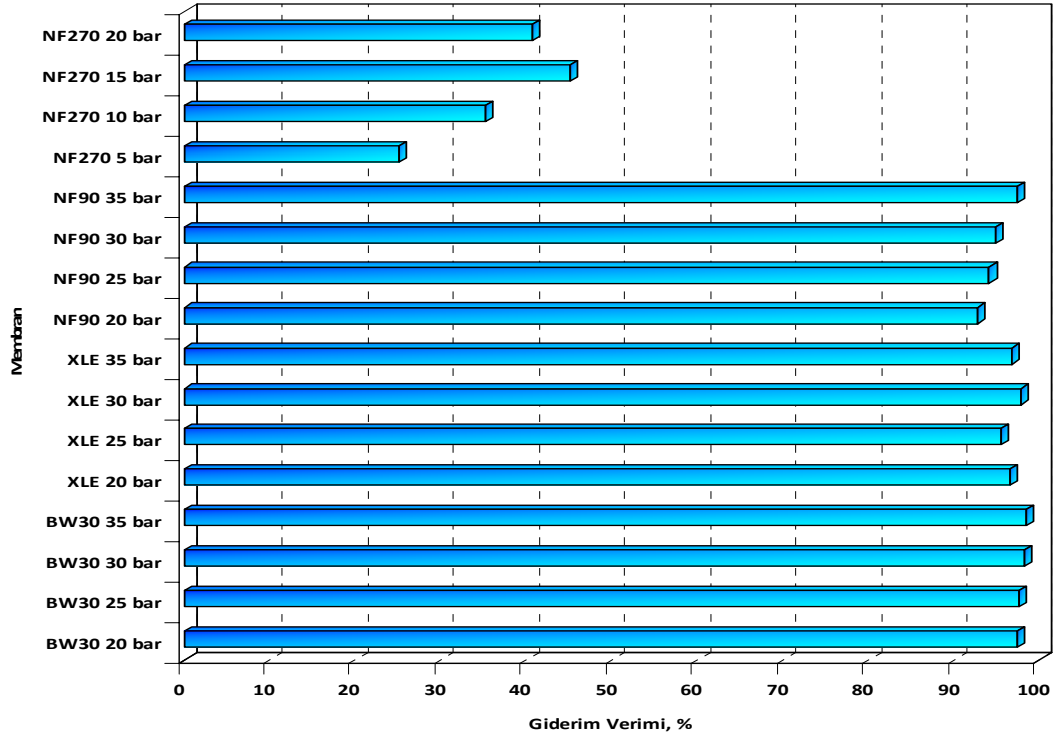
Şekil 5.42 Genç sızıntı suyunun 35 bar basınç altında BW30 ve SW30 sonrası ileri arıtım akı değerleri



Şekil 5.43 Yaşlı sızıntı suyunun 35 bar basınç altında BW30 ve SW30 sonrası ileri arıtım akı değerleri

Organik Madde Giderimi:

Genç ve yaşlı sızıntı suyunun MP005 ve UC030 ön arıtım membranları sonrasında uygulanan NF270, NF90, BW30 ve XLE ileri arıtım membranlarına ait KOİ giderim verimleri Şekil 5.44, 5.45, 5.46 ve 5.47’de görülmektedir.



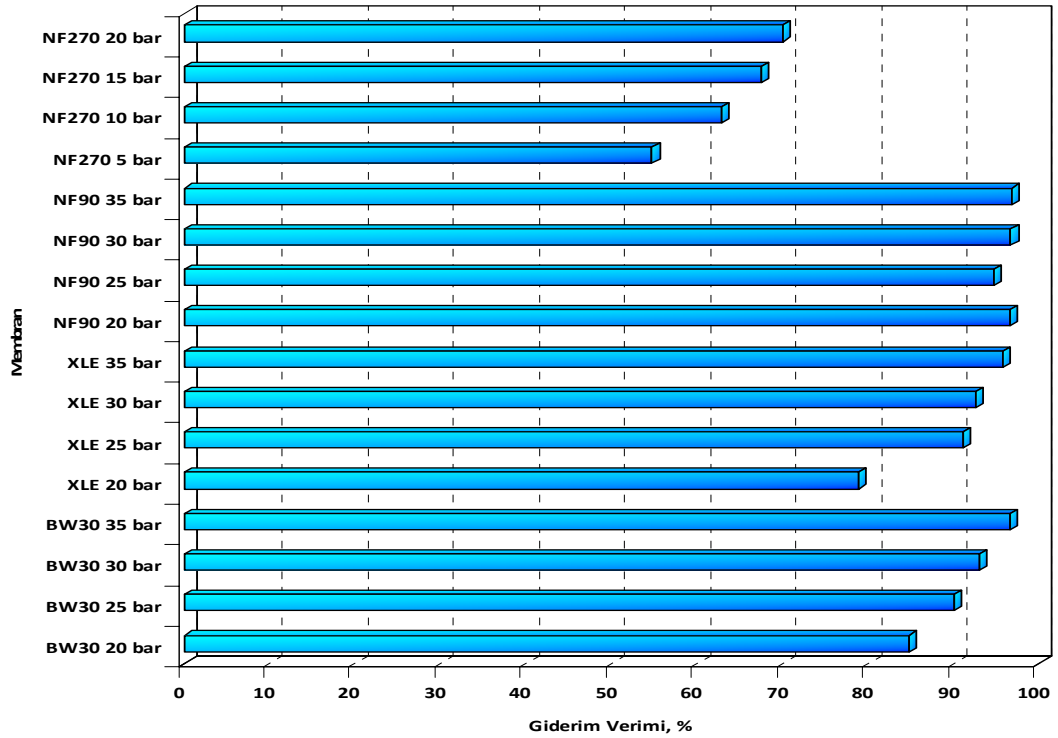
Şekil 5.44 Genç sızıntı suyunun MP005 sonrası basınca bağlı ileri arıtım KOİ giderim verimleri

Şekil 5.44’te görüldüğü üzere MP005 membranı sonrası KOİ giderim verimleri NF270 hariç %90 ve üzerindedir. NF90, XLE ve BW30 membranlarında basınç artışının KOİ giderim verimi üzerine etkisinin düşük olduğu görülmektedir. NF270 membranı diğer ileri arıtım membranlarına göre daha düşük KOİ giderim verimine sahip olmasının sebebi MWCO’sunun daha büyük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

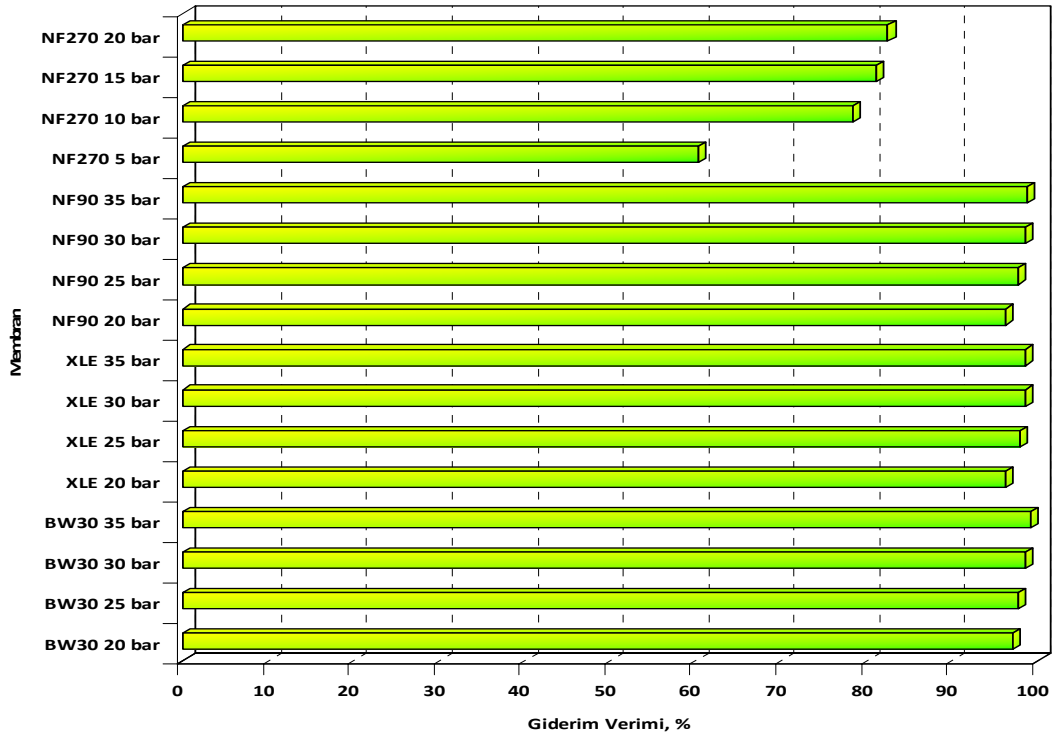
Şekil 5.45’te görüldüğü üzere UC030 ön arıtımı sonrası KOİ giderim veriminin XLE ve BW30 membranlarında MP005’ten daha düşük olduğu ve yine aynı ön arıtım sonrası NF270 membranı ile giderim veriminin MP005 ön arıtımından daha yüksek olduğu görülmektedir.

Genç sızıntı suyuna benzer şekilde, yaşlı sızıntı suyunda MP005 membranı sonrası uygulanan NF90, XLE ve BW30 membranlarıyla KOİ giderim veriminin %90'nın üzerinde olduğu Şekil 5.46'da görülmektedir. Şekil 5.46'da görüldüğü üzere NF270 membranı ile giderim verimi genç sızıntı suyundan daha yüksektir.

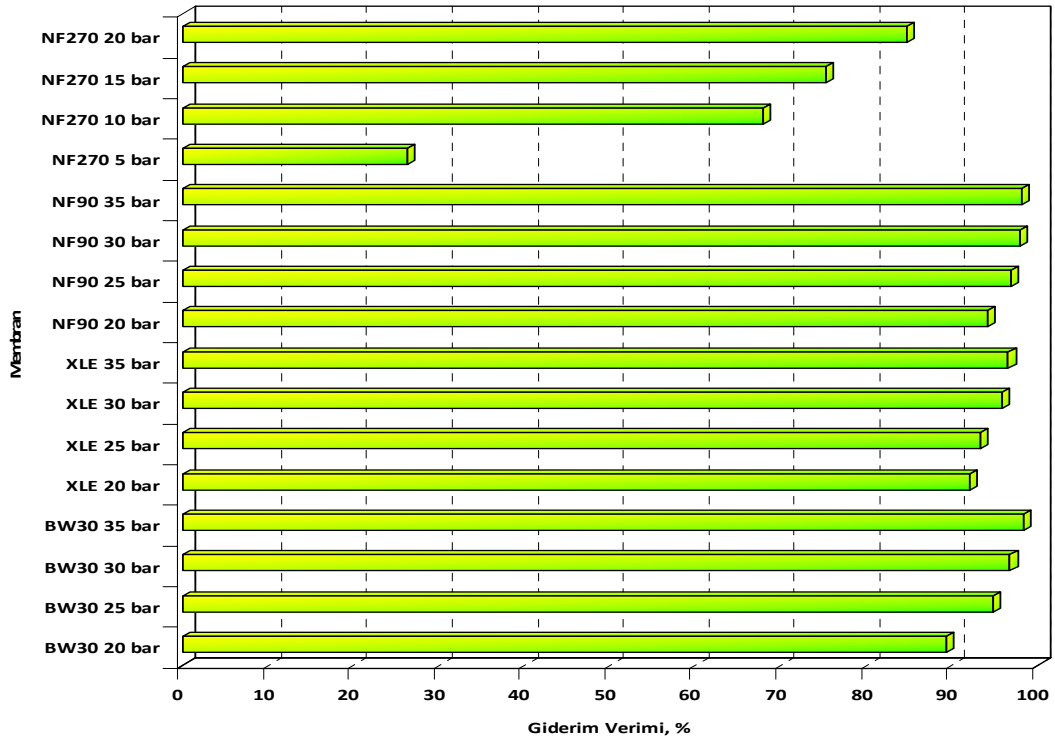
Şekil 5.47'de görüldüğü üzere UC030 membranı sonrası ileri arıtım membranlarıyla NF270 membranı hariç yaklaşık %90 giderim verimi sağlanmıştır. Bu durum genç sızıntı suyuna göre daha yüksek KOİ giderim veriminin olduğunu göstermektedir. NF270 membranı ile basınç artışıyla %80'lere kadar KOİ giderim veriminin arttığı görülmektedir.



Şekil 5.45 Genç sızıntı suyunun UC030 sonrası basınca bağlı ileri arıtım KOİ giderim verimleri



Şekil 5.46 Yaşlı sızıntı suyunun MP005 sonrası basınca bağlı ileri arıtım KOİ giderim verimleri

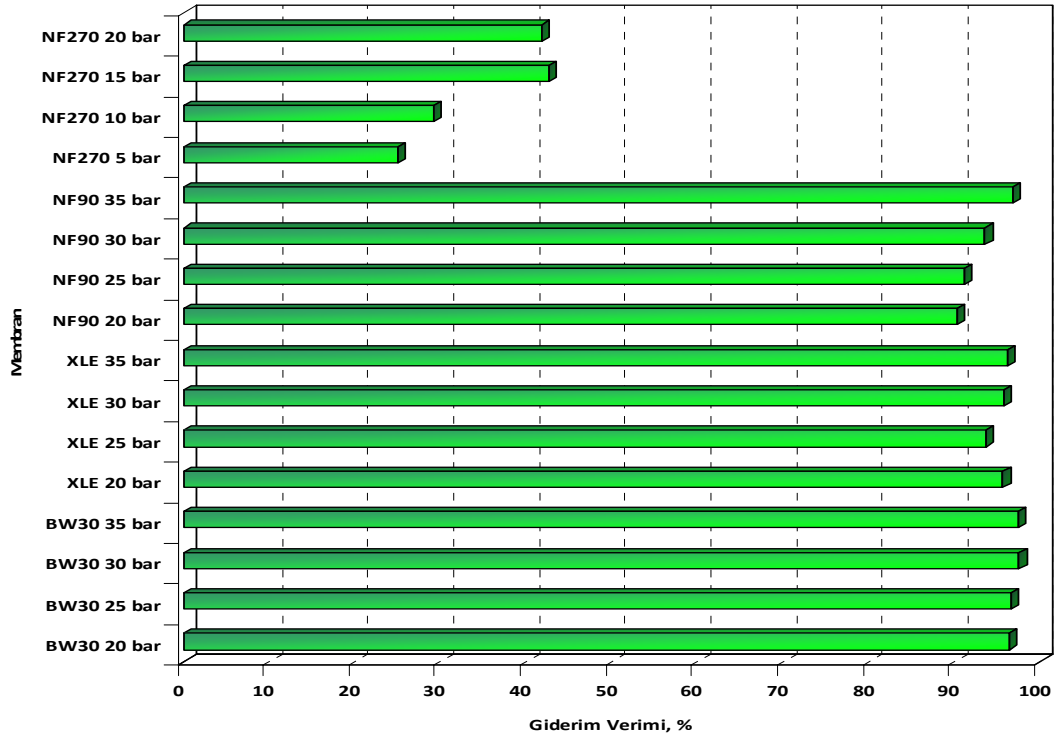


Şekil 5.47 Yaşlı sızıntı suyunun UC030 sonrası basınca bağlı ileri arıtım KOİ giderim verimleri

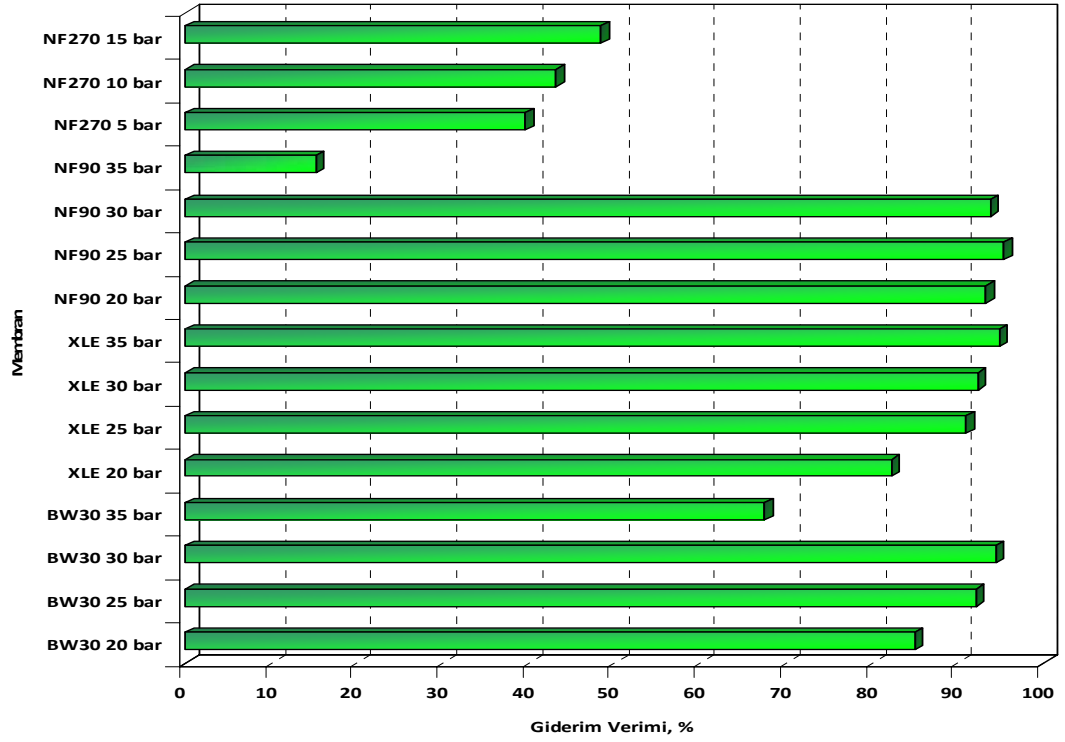
Genç ve yaşlı sızıntı suyunun MP005 ve UC030 ön arıtım membranları sonrasında uygulanan NF270, NF90, BW30 ve XLE ileri arıtım membranlarına ait TOK giderim verimleri Şekil 5.48, 5.49, 5.50 ve 5.51’de görülmektedir.

Şekil 5.48 ve Şekil 5.49’da görüldüğü üzere MP005 membranı sonrası TOK giderim verimleri NF270 hariç %90 ve üzerindedir. NF90, XLE ve BW30 membranlarında basınç artışının TOK giderim verimi üzerine etkisinin düşük olduğu görülmektedir. NF270 membranı ile % 40’lara kadar TOK giderim verimi elde edilmiştir. MP005 membranı sonrası uygulanan ileri arıtım membranlarında Şekil 5.44 ve Şekil 5.48’de görüldüğü üzere KOİ ve TOK giderimleri birbirine oldukça yakın oranlarda gerçekleşmiştir.

Şekil 5.45 ve Şekil 5.49 incelendiğinde UC030 ön arıtımı sonrası NF270 hariç diğer ileri arıtım membranlarıyla KOİ ve TOK giderim verimlerinin birbirine oldukça yakın değerlerde olduğu görülmektedir. NF270 membranı ile elde edilen TOK giderim verimi MP005 membranı ile ön arıtım sonrası elde edilen TOK giderim verimine yakın değerlerdedir.



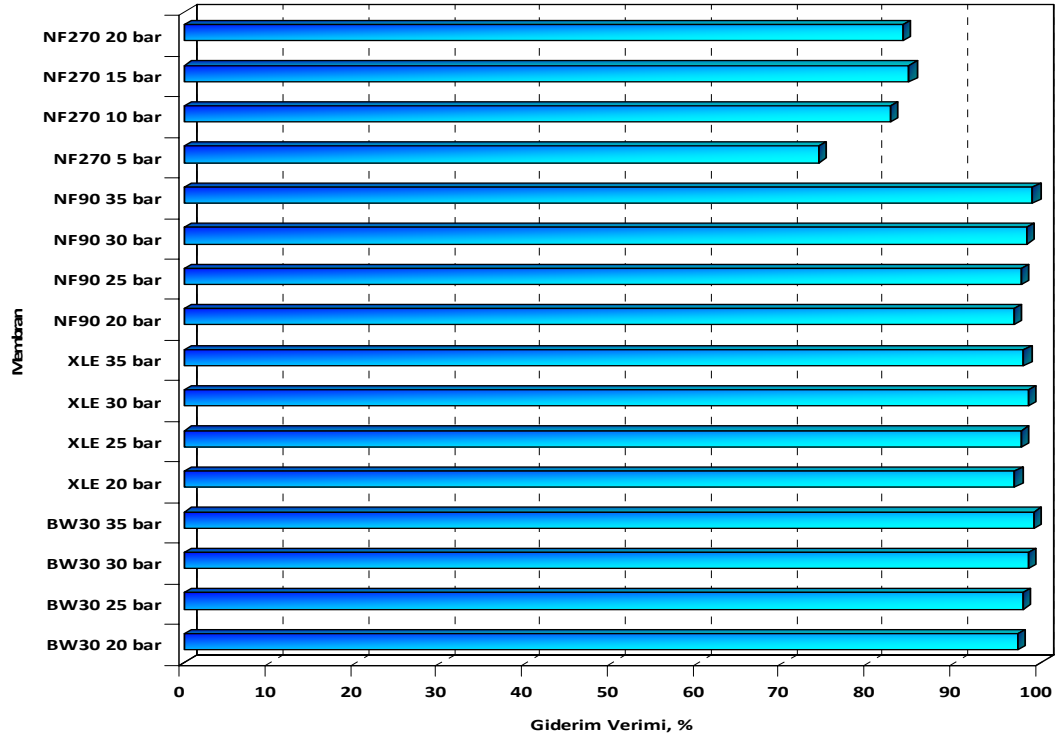
Şekil 5.48 Genç sızıntı suyunun MP005 sonrası basınca bağlı ileri arıtım TOK giderim verimleri



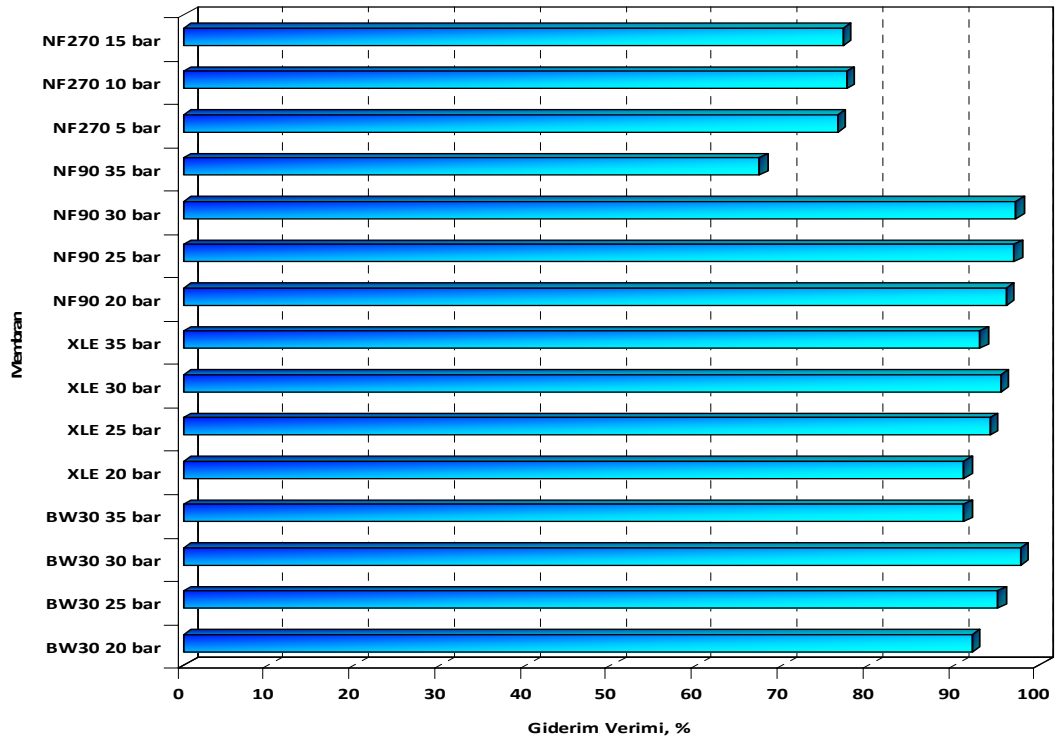
Şekil 5.49 Genç sızıntı suyunun UC030 sonrası basınçla bağlı ileri arıtım TOK giderim verimleri

Yaşlı sızıntı suyunda da genç sızıntı suyuna benzer TOK-KOİ ilişkisi hem MP005 hem de UC030 ön arıtım membranları sonrası Şekil 5.50 ve Şekil 5.51’de görülmektedir. NF270 membranı hariç diğer ileri arıtım membranlarıyla yaşlı sızıntı suyundaki TOK gideriminin yaklaşık %90 ve üzerindedir. NF90, BW30 ve XLE membranlarında basınç artışının TOK giderim verimi üzerine çok belirgin bir etkisinin olmadığı Şekil 5.50 ve Şekil 5.51’de görülmektedir.

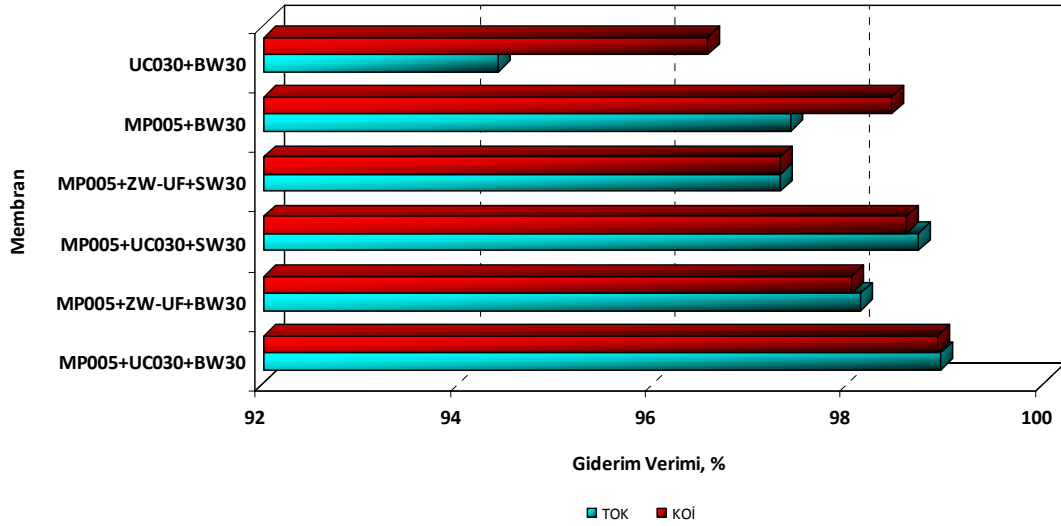
MP005+ZW-UF ve MP005+UC030 şeklinde iki aşamalı ön arıtma uygulanması sonrası genç ve yaşlı sızıntı sularının arıtıldığı BW30 ve SW30 ileri arıtım membranları ile BW30 membranının önceki ön arıtım aşamaları sonrası elde edilen KOİ ve TOK giderim verimleri Şekil 5.52 ve Şekil 5.53’te görülmektedir.



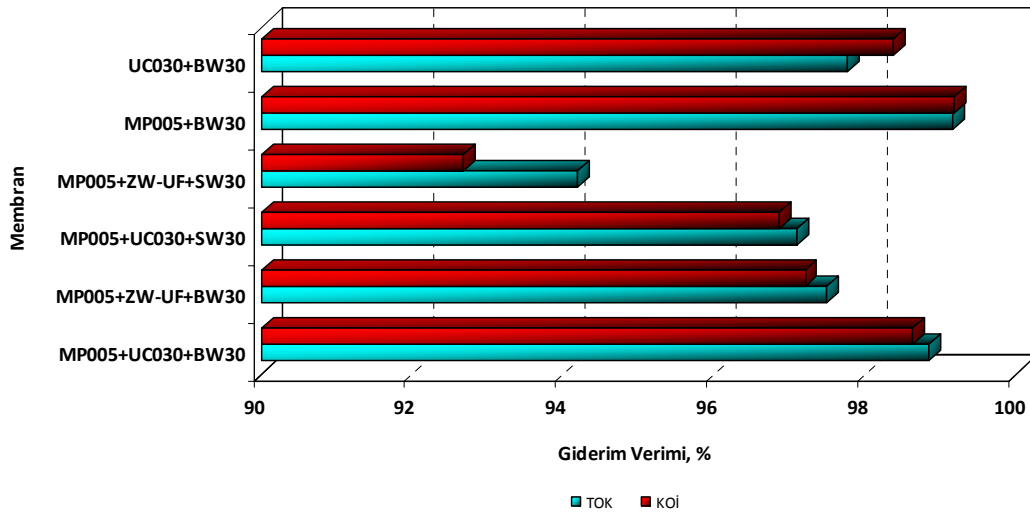
Şekil 5.50 Yaşlı sızıntı suyunun MP005 sonrası basınca bağlı ileri arıtım TOK giderim verimleri



Şekil 5.51 Yaşlı sızıntı suyunun UC030 sonrası basınca bağlı ileri arıtım TOK giderim verimleri



Şekil 5.52 Genç sızıntı suyunun 35 bar basınç altında BW30 ve SW30 sonrası ileri arıtım KOİ ve TOK giderim verimleri



Şekil 5.53 Yaşlı sızıntı suyunun 35 bar basınç altında BW30 ve SW30 sonrası ileri arıtım KOİ ve TOK giderim verimleri

Genç sızıntı suyunun MP005+UC030 sonrası uygulanan BW30 membranının KOİ ve TOK giderim verimlerinin diğer ön arıtma alternatiflerinden daha yüksek olduğu Şekil 5.52’de görülmektedir. İki aşamalı ön arıtımı sonrası BW30 membranının KOİ ve TOK giderim verimlerini diğer ön arıtma alternatiflerinden çok daha iyi bir giderim verimi sağlamadığı ve giderim verimlerinin diğer ön arıtım sistemleriyle birbirine yakın olduğu Şekil 5.53’te görülmektedir. Deniz suyu arıtma amacıyla kullanılan SW30 membranı bu aşamada kullanıldığında BW30 membranına göre düşük KOİ ve TOK giderim verimleri elde edildiği görülmüştür. Bu aşamada, MP005+UC030 ön arıtımı sonrası 35 bar TMP

altında işletilen BW30 ters osmoz membranıyla en yüksek KOİ veTOK giderim verimleri elde edilmiştir.

Ağır Metal Giderimi:

Genç ve yaşlı sızıntı suyunun MP005 ve UC030 ön arıtım membranları sonrası uygulanan NF270, NF90, BW30 ve XLE ileri arıtım membranlarına ait ağır metal giderim verimleri Çizelge 5.1’de görülmektedir.

Her iki sızıntı suyunda Fe, Cr ve Ni genellikle kullanılan ileri arıtım membranlarıyla % 90 ve üzerinde giderim verimi elde edilmiştir. Zn’de giderim verimi membran türüne ve uygulanan basınca bağlı olarak % 13’lerden %95’e kadar geniş bir aralıkta değişim gösterdiği Çizelge 5.1’de görülmektedir. İlgili ağır metaller +2 ve daha yüksek değerlikli olduklarından nanofiltrasyon ve ters osmoz membranlarıyla yüksek oranda giderilmiştir.

İyon Giderimi:

Genç ve yaşlı sızıntı suyunun MP005 ve UC030 ön arıtım membranları sonrası uygulanan NF270, NF90, BW30 ve XLE ileri arıtım membranlarına ait iyon giderim verimleri Çizelge 5.2’de görülmektedir.

Genç sızıntı suyunda Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{-3} ve SO_4^{-2} giderim verimi yaşlı sızıntı suyuna göre daha yüksek olduğu Çizelge 5.2’de görülmektedir. Genç sızıntı suyunda % 69.76 – 94.75 Cl^- , % 60.77 – 98.78 NO_2^- , % 93.32 – 99.27 NO_3^- , % 58.66 – 98.92 NH_4^+ , 72.94 – 99.79 PO_4^{-3} ve % 81.16 – 98.95 SO_4^{-2} giderimi gözlenirken, yaşlı sızıntı suyunda ise % 27.79 – 81.76 Cl^- , % 52.99 – 98.74 NO_2^- , % 20.54 – 84.61 NO_3^- , % 0 – 66.28 NH_4^+ , 18.99 – 68.25 PO_4^{-3} ve % 48.86 – 95.76 SO_4^{-2} giderim verimleri elde edilmiştir. Konvansiyonel sistemlerle gideriminin güç olduğu -1 ve daha yüksek değerlikli iyonların ileri arıtım membranlarıyla etkin bir giderim verimi elde edildiği görülmektedir.

Çizelge 5.1 Genç ve yaşlı sızıntı suyunun ağır metal giderim verimleri

	Ön Arıtım	İleri Arıtım	Basınç (bar)	AĞIR METAL GİDERİM VERİMİ (%)							
				GENÇ SIZINTI SUYU				YAŞLI SIZINTI SUYU			
				Fe	Cr	Zn	Ni	Fe	Cr	Zn	Ni
Membranlar	MP005	NF270	5	99,21	100,00	16,77	90,49	99,26	100,00	40,77	90,43
			10	99,94	100,00	36,16	85,51	99,95	100,00	74,70	95,91
			15	100,00	100,00	43,69	92,43	100,00	100,00	76,49	96,20
			20	100,00	100,00	50,87	94,54	100,00	100,00	80,65	96,88
		NF90	20	99,69	100,00	66,30	98,27	100,00	100,00	82,74	100,00
			25	100,00	100,00	69,19	99,35	100,00	100,00	90,63	100,00
			30	100,00	100,00	87,82	100,00	100,00	100,00	93,30	100,00
			35	100,00	100,00	93,70	100,00	100,00	100,00	95,09	100,00
		BW30	20	97,97	100,00	80,23	100,00	100,00	100,00	90,71	100,00
			25	99,94	100,00	91,50	100,00	100,00	100,00	91,40	100,00
			30	100,00	100,00	95,54	100,00	100,00	100,00	94,02	100,00
			35	100,00	100,00	95,69	100,00	100,00	100,00	93,69	100,00
		XLE	20	99,65	100,00	96,93	97,68	100,00	100,00	80,65	100,00
			25	99,91	100,00	76,25	98,97	100,00	100,00	76,34	100,00
			30	100,00	100,00	80,92	100,00	100,00	100,00	85,79	100,00
			35	100,00	100,00	94,00	100,00	100,00	100,00	83,48	100,00
	UC030	NF270	5	99,89	94,85	64,01	80,92	99,77	100,00	26,49	83,41
			10	99,61	94,26	67,23	76,70	99,95	100,00	35,42	90,34
			15	99,93	99,70	77,57	85,89	99,97	100,00	51,79	96,30
			20	99,96	100,00	83,42	89,68	100,00	100,00	40,77	97,74
		NF90	20	99,74	100,00	18,61	97,19	100,00	100,00	90,70	100,00
			25	100,00	100,00	73,78	100,00	100,00	100,00	92,93	100,00
			30	100,00	100,00	86,74	100,00	100,00	100,00	88,47	100,00
			35	100,00	100,00	84,93	100,00	100,00	100,00	93,15	100,00
		BW30	20	88,81	73,07	13,19	66,22	100,00	100,00	45,24	94,33
			25	97,43	100,00	59,31	96,32	100,00	100,00	49,11	99,47
			30	98,87	100,00	72,39	100,00	100,00	100,00	73,21	100,00
			35	99,11	100,00	89,39	100,00	100,00	100,00	75,45	100,00
		XLE	20	89,76	8,42	8,06	79,95	100,00	100,00	35,42	97,98
			25	99,15	98,32	23,74	97,24	100,00	100,00	43,15	99,57
			30	99,92	100,00	45,32	100,00	100,00	100,00	67,26	100,00
			35	100,00	100,00	89,39	100,00	100,00	100,00	75,60	100,00

Çizelge 5.2 Genç ve yaşlı sızıntı suyunun iyon giderim verimleri

	Ön Arıtım	İleri Arıtım	Basınç (bar)	İYON GİDERİM VERİMİ (%)											
				GENÇ SIZINTI SUYU						YAŞLI SIZINTI SUYU					
				Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	PO ₄ ⁻³	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	PO ₄ ⁻³	NH ₄ ⁺
Membranlar	MP005	NF 270	5	79,45	69,19	93,33	86,12	98,01	67,15	39,27	66,31	20,54	81,73	22,32	44,59
			10	73,30	66,57	97,31	87,26	99,64	65,46	32,25	73,23	47,17	87,67	22,48	41,28
			15	70,88	69,08	97,77	93,47	99,02	63,39	33,47	75,56	34,76	91,49	40,06	46,86
			20	71,19	72,23	97,98	96,10	99,12	66,38	35,31	76,35	48,75	91,42	39,39	46,86
		NF 90	20	91,21	96,69	94,96	93,02	99,57	93,48	54,38	91,31	35,98	70,43	41,64	41,81
			25	84,33	96,55	96,84	95,69	99,80	89,26	54,76	91,89	45,29	77,59	41,95	43,09
			30	77,90	98,09	98,43	98,75	99,60	90,79	60,01	95,98	55,30	78,34	45,87	35,34
			35	88,62	98,78	98,73	98,94	98,72	92,81	61,71	95,28	51,67	80,13	30,91	56,81
		BW 30	20	93,90	98,53	95,98	93,87	98,32	98,35	61,09	94,62	62,01	48,87	22,62	32,71
			25	90,74	98,20	97,83	97,99	94,78	94,62	69,54	94,96	61,39	89,53	34,66	18,94
			30	93,61	98,71	98,49	98,91	98,91	95,51	78,56	96,83	60,73	92,54	58,56	25,78
			35	94,75	98,66	98,32	98,95	99,80	92,85	77,98	97,57	62,77	94,04	52,38	17,23
		XLE	20	93,97	96,63	94,92	93,51	98,96	93,58	45,09	91,53	37,97	77,17	18,99	37,65
			25	89,98	95,92	97,24	95,29	99,14	92,45	53,72	96,35	66,39	77,81	39,46	33,00
			30	87,68	97,67	97,38	97,90	98,59	93,44	63,15	96,15	61,59	85,60	46,88	19,47
			35	91,28	98,37	99,27	98,61	99,57	94,27	73,69	97,44	72,97	85,96	68,26	27,71
	UC030	NF 270	5	73,43	62,70	96,74	84,37	99,61	71,26	27,79	57,19	60,65	69,41	47,65	0,00
			10	71,47	77,61	96,53	81,82	99,27	76,07	39,31	72,17	56,51	68,36	66,19	9,35
			15	69,96	64,31	96,95	87,74	98,75	64,38	36,01	52,99	59,72	74,55	40,52	23,36
			20	69,76	64,28	96,98	91,37	99,34	58,66	36,38	74,27	68,30	72,94	65,69	26,09
		NF 90	20	90,03	95,49	93,63	94,79	97,36	95,69	57,51	96,81	63,72	82,45	44,50	44,58
			25	89,32	96,52	97,58	97,21	99,55	92,02	60,11	96,84	78,97	89,55	47,48	55,89
			30	87,65	97,66	98,44	98,24	98,61	93,74	77,17	98,74	81,69	95,76	46,95	47,19
			35	89,41	97,94	96,25	98,54	99,05	93,97	79,19	98,73	84,62	95,35	60,34	44,09
		BW 30	20	72,83	60,76	94,37	82,17	86,83	98,38	73,20	96,59	70,31	88,91	22,08	55,45
			25	74,07	84,91	98,12	85,08	91,02	97,96	76,56	97,37	73,63	91,97	35,49	61,44
			30	86,24	90,95	98,12	92,95	93,18	98,63	81,28	97,79	75,67	93,55	44,90	66,29
			35	90,35	94,97	98,12	95,72	92,21	98,92	81,76	98,07	68,99	94,41	45,47	38,75
		XLE	20	76,45	84,65	95,44	81,16	72,95	86,06	71,98	94,93	78,48	91,24	37,15	38,75
			25	76,56	90,84	98,32	90,00	95,44	89,63	68,84	94,98	83,03	95,21	28,52	32,37
			30	85,93	94,69	98,74	95,06	90,67	92,69	68,41	97,45	80,96	89,18	50,44	30,15
			35	89,67	95,81	98,55	96,78	99,22	94,08	76,08	98,01	80,47	84,24	61,24	32,90

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında İstanbul Odayeri Katı Atık Düzenli Depolama Sahası'ndan temin edilen genç ve yaşlı sızıntı sularının membran prosesler ile arıtılabilirliği incelenmiştir. Türkiye'nin en büyük atık depolama kapasitesine sahip olan katı atık düzenli depolama alanının genç ve yaşlı hücrelerinden temin edilen sızıntı suları herhangi bir kimyasal veya biyolojik ön arıtım işlemine tabi tutulmaksızın sadece membran proseslerle fiziksel olarak arıtılmıştır. Mikrofiltrasyon (MP005) ve ultrafiltrasyon (UC030 ve ZW-UF) membranları ön arıtma, nanofiltrasyon (NF270 ve NF90) ve ters osmoz (BW30, XLE ve SW30) membranları ise ileri arıtım amacıyla çalışmada kullanılmıştır. Membran performanslarının belirlenmesi amacıyla KOİ, TOK, iyon (Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} ve SO_4^{2-}) ve ağır metal (Fe, Cr, Zn ve Ni) konsantrasyonları gibi parametreler analiz edilmiştir. Ayrıca membran performansının en önemli göstergelerinden biri olan akı değeri dijital terazi ve bilgisayar yardımıyla zamana bağlı olarak belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

- 2.5 bar TMP'de işletilen UC030 membranı ile 1 bar TMP altında işletilen MP005 membranının akı değerleri birbirine oldukça yakındır. Bu sonuç, membran gözenek boyutunun akı değeri üzerinde etkili olduğunu göstermektedir. MP005 membranı sonrasında, UC030 membranı ile ikincil bir ön arıtmadaki akı değerinin, sadece UC030 membranı ile ön arıtmadaki akı değerinden daha yüksek bir değere sahip olduğu belirlenmiştir. Bu durum ön arıtım membranları öncesinde sızıntı sularında bulunan 0.05 μm ve üzerindeki koloidal maddelerin giderilmesi halinde UC030 membranının daha yüksek akılarda işletilebileceğini göstermektedir.

- İleri arıtım membranlarında hem genç hem de yaşlı sızıntı suyunda TMP artışı ile akı değerlerinde artış olduğu ve MWCO değerinin de akı üzerinde etkili olduğu görülmüştür. Kullanılan ileri arıtma membranları içerisinde MWCO değerinin en yüksek olduğu NF270 membranı ile diğer membranlara göre daha düşük TMP değerlerinde yüksek akı değerleri elde edilmiştir.
- MP005, UC030 ve ZW-UF ön arıtma membranları kullanılarak genç sızıntı suyunda % 26-34 ve yaşlı sızıntı suyunda ise % 21-30 KOİ giderilirken, TOK parametresi ise genç sızıntı suyunda % 19-41 ve yaşlı sızıntı suyunda % 19-%22 giderilmiştir. SW30, NF90, BW30 ve XLE membranlarıyla hem genç hem de yaşlı sızıntı suyunda KOİ % 90-99 ve TOK ise % 85-99 aralığında giderilmiştir. KOİ ve TOK giderim oranları NF270 membranında % 24-85 aralığındadır. SW30, NF90, BW30 ve XLE membranları ile NF270 membranının MWCO'su ve işletme basınçları farklıdır. Bu farklılıkların KOİ ve TOK giderim verimini etkilediği de düşünülmektedir.
- Her iki sızıntı suyunda Fe, Cr ve Ni kullanılan ileri arıtım membranlarıyla genellikle % 90 ve üzerinde giderim verimi elde edilmiştir. Zn'de giderim verimi membran türüne ve uygulanan basınca bağlı olarak % 13'lerden %95'e kadar geniş bir aralıkta değişim göstermiştir. Nanofiltrasyon ve ters osmoz membranlarından oluşan ileri arıtım membranları ile genellikle +2 ve daha yüksek değerlikli olan ağır metallerin yüksek giderme verimleri ile uzaklaştırılabildikleri görülmüştür.
- Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} ve SO_4^{2-} iyonlarının %59-99 aralığında genç sızıntı suyunda ve % 0-99 aralığında da yaşlı sızıntı suyunda giderimi sağlanmıştır. Konvansiyonel sistemlerle gideriminin güç olduğu ± 1 ve daha yüksek değerlikli iyonların ileri arıtım membranlarıyla etkin bir giderim verimi elde edilmiştir.
- Sızıntı suları yüksek konsantrasyonda organik madde, anyon, katyon ve ağır metal içeriğine sahip ve oldukça kompleks bir yapıya sahiptir. Kirletici konsantrasyonunun yüksek olması sebebiyle konvansiyonel sistemlerle arıtılabilirliği oldukça güçtür. Sadece membran proseslerle sızıntı sularının arıtılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada yaşlı sızıntı sularının KOİ değeri NF270 membranı hariç 600 mg/L'nin altına düşürülürken genç sızıntı suyunda ise KOİ değeri 550 mg/L - 4000 mg/L aralığında değişmektedir. Genç sızıntı sularının

membran proseslerle arıtma performansını artırmak için kimyasal veya biyolojik ön arıtmalarının yapılması gerektiği bu çalışma sonuçlarından anlaşılmaktadır. Yapılacak olan kimyasal veya biyolojik arıtma ön arıtma membranlarının performansının artmasına katkı sağlayacaktır.

- Membran proseslerle kirleticilerin giderme verimlerini arttırmak amacıyla çeşitli fizikokimyasal (fenton, elektrokoagülasyon vb.) ön arıtım yöntemlerinin denemesi faydalı olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca 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 artırılacağı düşünülmektedir. Yüksek giderme verime sahip ön arıtım yapılması, sızıntı suyu arıtımında membran proseslerin performansını arttırarak membranların tıkanmasını geciktirebilir.

KAYNAKLAR

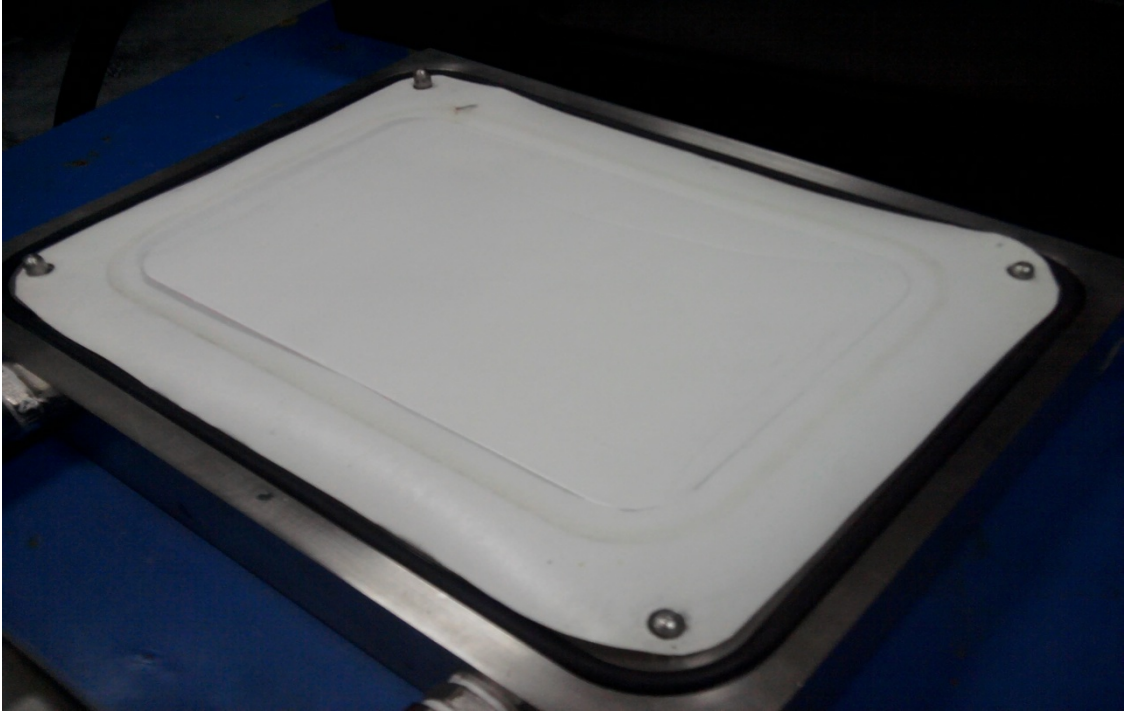
-
- [1] T.C. Çevre Bakanlığı, Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği, www.atikyonetimi.cevreorman.gov.tr/yonetmelikler/kaky.doc, 12 Şubat 2011.
- [2] Yerel Yönetimler Portalı, Bildiriler Makaleler, http://www.yerelnet.org.tr/bildiriler_makaleler/bildiri_makale.php?kod=811&tipi=6, 13 Şubat 2011.
- [3] Hasar H., İpek, U., Kınacı, C., Çakmakçı, M., TÜBİTAK, (2008). Çöp Sızıntı Sularının Arıtımında Batık Membran Biyoreaktörünün Arıtımında Batık Membran Biyoreaktörünün Etkinliğinin Araştırılması, Yayın No:105Y345, Elazığ.
- [4] Cheremisinoff, N.P., (2003). Handbook of Solid Waste Management and Waste Minimization Technologies, Butterworth Heinemann, Burlington.
- [5] TUİK, (2003). Katı Atık Hizmeti Veren Belediye Sayısı, Nüfusu, Yaz ve Kış Mevsimine Göre Ortalama Katı Atık Miktarı, Yayın No: 105, Ankara
- [6] Özkaya, B., (2006). Katı Atık Düzenli Depo Sahalarında Atıkların Aerobik ve Anaerobik Ayrışması Üzerine Sızıntı Suyu Geri Devrinin Etkileri, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [7] Peters, T.A., (1998). "Purification of Landfill Leachate With Reverse Osmosis and Nanofiltration", Desalination, 119: 289-293.
- [8] Kwon, O., Lee, Y. ve Noh, S., (2008). "Performance of the NF – RDM (Rotary Disk Membrane) Module for the Treatment of Landfill Leachate", Desalination, 234: 378 – 385.
- [9] Trebouet, D., Schlumpf, J.P., Jaouen, P. ve Quemeneur, F. (2001). "Stabilized Landfill Leachate Treatment by Combined Physicochemical – Nanofiltration Processes", Water Research, 12: 2935 – 2942.
- [10] Li, H., Han, M., Hou, L., Li, G. Ve Sang, N., (2010). "Landfill Leachate Ingestion Induces Protein Oxidation and DNA – Protein Crosslinks in Mouse Viscera", Journal of Hazardous Materials, 174: 54 – 58.
- [11] Chianese, A., Ranauro R. Ve Verdone N., (1998). "Treatment of Landfill Leachate by Reverse Osmosis", Water Research, 3: 647 – 652.

- [12] Neczaj, E., Okoniewska, E. Ve Kacprzak, M., (2005). "Treatment of Landfill Leachate by Sequencing Batch Reactor", Desalination, 185: 357 – 362.
- [13] Lonsdale H. K., (1982). The growth of membrane technology, Journal of Membrane Science, 10: 81-181.
- [14] Aydın, İ., (2010). Batık Membran Sistemleri İle Su Arıtımı ve Uygulamaları, Bitirme Tezi, YTÜ Çevre Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- [15] Hendricks, D. W., (2010). Fundamentals of Water Treatment Unit Processes: Physical, Chemical, and Biological, CRC Press, Florida – ABD.
- [16] Salt Y. ve Dinçer S., (2006). "Özel Ayırma İşlemlerinde Bir Seçenek: Membran Prosesleri", Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, İstanbul.
- [17] Köseoğlu, H., (2005). Hibrit siyanürleme ve Yüksek Basıncılı Membran Prosesiyle Madencilik Atıksularından gümüş geri kazanımı – Sentetik Su Deneyleri, Yüksek Lisans Tezi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [18] Danış, Ü., (1996). Çapraz akış ultrafiltrasyon tekniği ile endüstriyel atıksulardan ağır metal giderimi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [19] Hasar, H., (2001). Batık Membran – Aktif Çamur Sistemlerinin Arıtma Kapasitesinin Geliştirilmesi ve Modellenmesi, Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [20] Engin, G., Erhan, E. ve İnce, M., TÜBİTAK, (2007). Kemerburgaz – Odayeri Düzenli Deponi Sahası Sızıntı Sularının Yüksek Performanslı Kompakt Membran Biyoreaktörlerle Arıtılabilirliğinin Araştırılması, Yayın No:104Y310,Kocaeli.
- [21] Öztürk, İ., (2005). Atıksu Arıtımının Esasları, <http://web.deu.edu.tr/atıksu/ana58/arityon.html>, 15 Aralık 2010.
- [22] Judd, S., (2006). The MBR Book: Principles and applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment, Elsevier Ltd., Oxford.
- [23] Singh, R., (2006). Hybrid Membrane Systems for Water Purification, Elsevier Science & Technology Boks, London.
- [24] Bohdziewicz, J., Bodzek, M. ve Gorska, J., (2001). "Application of Pressure – Driven Membrane Techniques to Biological Treatment of Landfill Leachate", Process Biochemistry, 36: 641 – 646.
- [25] Ahn, W. Y., Kang, M.S., Yim, S.K. ve Choi, K.H., (2002). "Advanced Landfill Leachate Treatment Using an Integrated Membrane Process", Desalination, 149: 109 – 114.
- [26] Tsilogeorgis, J., Zouboulis, A., Samaras, P. ve Zamboulis, D., (2008). "Application of a Membrane Sequencing Batch Reactor for Landfill Leachate Treatment", Desalination, 221: 283 – 493
- [27] Hasar H., Unsal, S.A., Ipek, U., Karatas, S., Cinar, O., Yaman, C. ve Kinacı, C., (2009). "Stripping/ flocculation/ membrane bioreactor/ reverse osmosis

treatment of municipal landfill leachate”, Journal of Hazardous Materials, 171: 309 – 317.

- [28] Mariam, T., ve Nghiem L.D., (2010). “Landfill Leachate Treatment Using Hybrid Coagulation – Nanofiltration Processes”, Desalination, 250: 677 – 681.
- [29] Pi K. W., Li, Z., Wan, D.J. ve Gao, L.X., (2009). “Pretreatment of Municipal Landfill Leachate by a Combined Process”, Process Safety and Environmental Protection, 87: 191 – 196.

ÇALIŞMAYA AİT FOTOĞRAFLAR



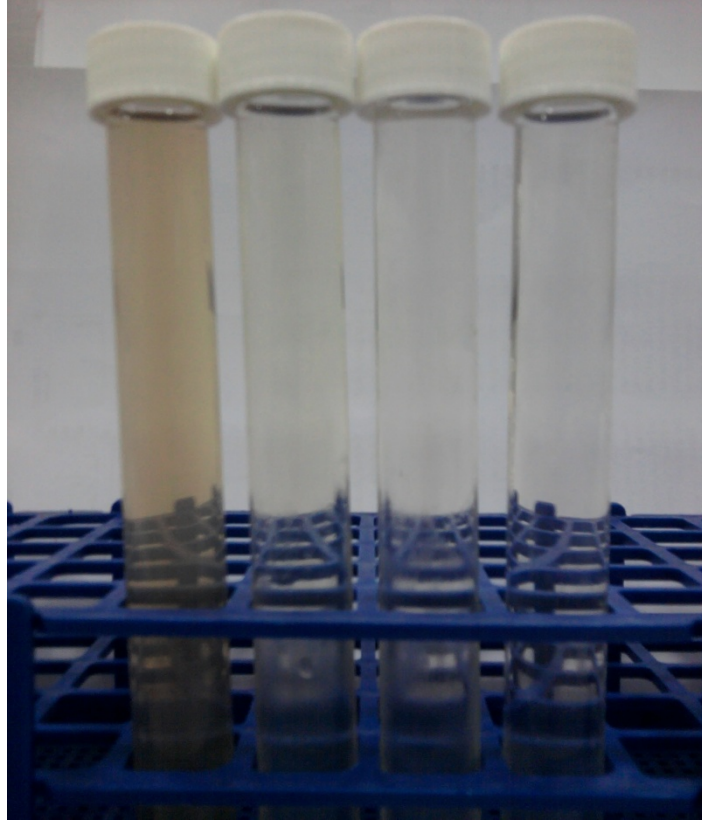
Tabaka Membran Modül ve Membran



BW30 Ters Osmoz Flat Sheet Membran



ZW-UF Batık Ultrafiltrasyon Membranı

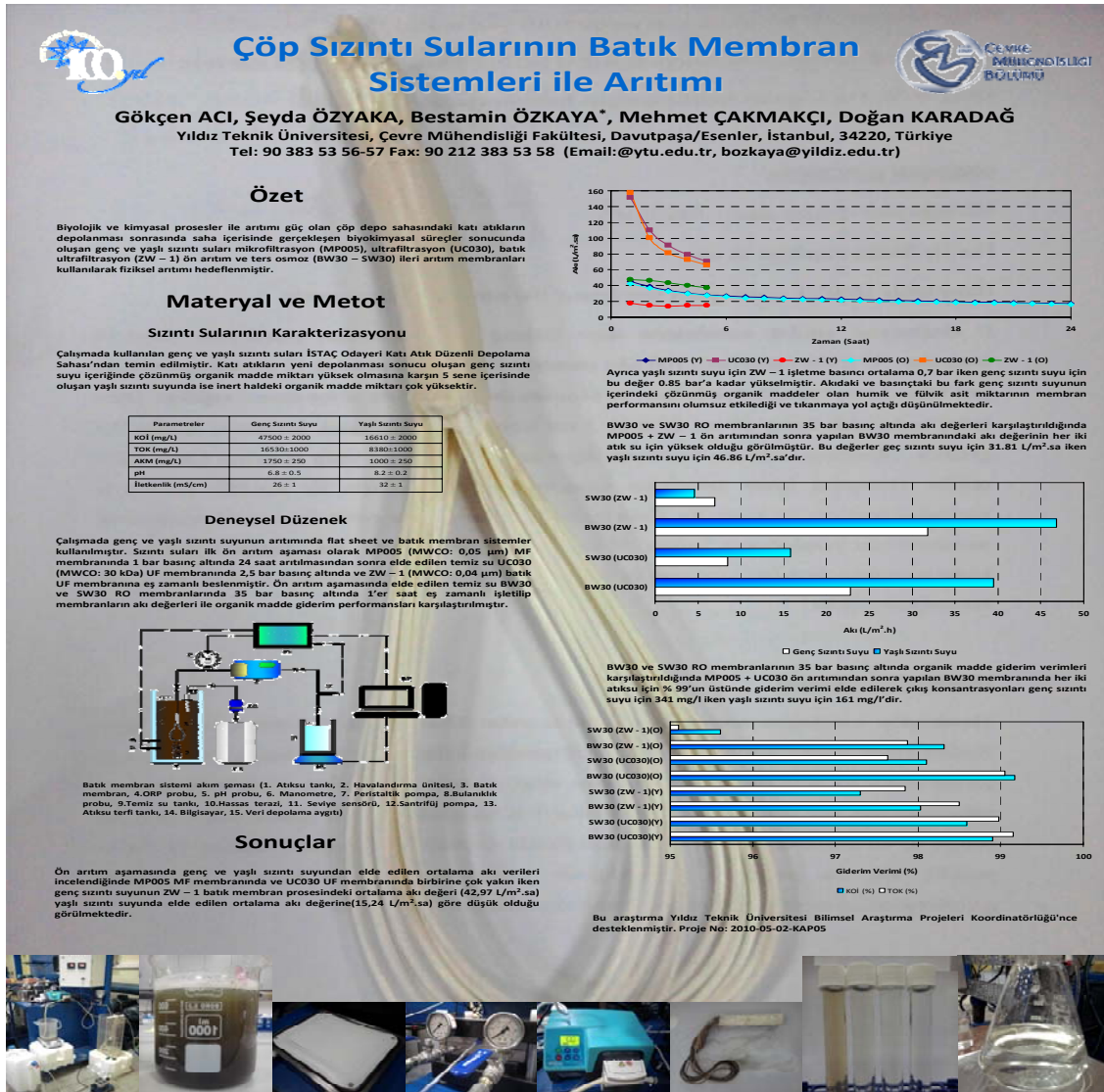


Genç Sızıntı Suyunun MP005 Mikrofiltrasyon Sonrası BW30 Ters Osmoz Membranının 20 – 25 – 30 – 35 Bar (sağdan sola doğru) Trasmembran Basıncı Altında Elde Edilen Çıkış Suları



MP005 + UC030 + BW30 Sonrası Elde Edilen Genç Sızıntı Suyu

ULUSAL POSTER BİLDİRİSİ



Çalışma Kapsamında Hazırlanmış Poster Sunumu (Yıldız Teknik Üniversitesi Fikirler Pazarı Etkinliği, 24 – 25 Mayıs 2011)

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : GÖKÇEN ACI
Doğum Tarihi ve Yeri : 19.11.1984 – İSTANBUL
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : gokcenacitr@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Çevre Mühendisliği	Kocaeli Üniversitesi	2008
Lise	Sayısal	Gaziosmanpaşa A.L.	2003

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2008	Hazar Su Arıtma Sistemleri	Mühendis
2007	Gebze Olmuksa International Paper	Stajyer
2006	Unilever A.Ş.	Stajyer

YAYINLARI

Makale

1. Application of Nanofiltration and Reverse Osmosis Membranes for the Treatment of Young and Old Landfill Leachate, Journal of Hazardous Materials, [İncelemede]

Bildiri

1. Electricity Generation in MFC Using Selective Membrane (IWA Regional Conference and Exhibition 18 – 22 October 2010, on Membrane Technology & Water Reuse Istanbul – TURKEY)

2. Çöp Sızıntı Sularının Batık Membran Sistemleri ile Arıtımı, Fikirler Pazarı 24 – 25 Mayıs 2011, Yıldız Teknik Üniversitesi

Proje

1. Mikrobiyal Yakıt Hücresiyle Asit Oluşumu ve Metan Oluşumu Safasındaki Katı Atık Depolama Alanı Sızıntı Sularından Elektrik Üretimi (TÜBİTAK Projesi, Proje No: 109Y269).