

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı**

**SERAMİK TÜBÜLER MF-UF-NF MEMBRAN
MODÜLLERİNİN MİKRO/NANOTASARIMI VE
SERAMİK ENDÜSTRİLERİ ATIKSU YÖNETİMİNDE
KULLANIMLARININ ARAŞTIRILMASI**

**Buğra KIZILER
Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. Selçuk ÖZCAN**

BİLECİK, 2017

Ref.No: 10138537



ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı**

**SERAMİK TÜBÜLER MF-UF-NF MEMBRAN
MODÜLLERİNİN MİKRO/NANOTASARIMI VE
SERAMİK ENDÜSTRİLERİ ATIKSU YÖNETİMİNDE
KULLANIMLARININ ARAŞTIRILMASI**

**Buğra KIZILER
Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı
Yrd. Doç. Dr. Selçuk ÖZCAN**

BİLECİK, 2017



ANADOLU UNIVERSITY



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
UNIVERSITY**

**Graduate School of Sciences
Department of Chemical Engineering**

**THE MICRO/NANODESIGN OF CERAMIC TUBULAR
MF-UF-NF MEMBRANE MODULES AND THE
INVESTIGATION OF THEIR UTILIZATION IN
CERAMIC INDUSTRIES WASTEWATER MANAGEMENT**

**Buğra KIZILER
Master's Thesis**

**Thesis Advisor
Asst. Prof. Selçuk ÖZCAN**

BİLECİK, 2017



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS

JÜRİ ONAY FORMU

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 14/12/2016 tarih ve 66 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 12/01/2017 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Buğra KIZILER'in "Seramik Tübüler MF-UF-NF Membran Modülerinin Mikro/Nanotasarımı ve Seramik Endüstrileri Atıksu Yönetiminde Kullanımlarının Araştırılması" başlıklı tez çalışması Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Yrd. Doç. Dr. Selçuk ÖZCAN

ÜYE : Prof. Dr. Süleyman KAYTAKOĞLU

ÜYE : Prof. Dr. Osman Sermet KABASAKAL

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANI:

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun/....../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/ MÜHÜR

TEŞEKKÜR

Yaptığım çalışmalar ve yüksek lisans eğitimim boyunca engin bilgi ve tecrübeleriyle bana yol gösteren, benden hiçbir şekilde yardımını ve hoşgörüsünü esirgmeden daima yanımda olan Yüksek Lisans Tezi danışmanım, saygıdeğer hocam Yrd. Doç. Dr. Selçuk ÖZCAN'a,

Yaptıkları önemli katkılar sayesinde bu tez çalışmasının gerçekleşmesini sağlayan; Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK)'na, TÜBİTAK 1003 projesinde birlikte çalışma fırsatı yakaladığım, başta Prof. Dr. Muhsin ÇİFTÇİOĞLU ve Dr. Burcu ALP olmak üzere, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Kimya Mühendisliği Bölümü'nde görev alan hocalarıma ve öğrenci arkadaşlarıma, Porland Porselen San. ve Tic. A. Ş. ile Bien Seramik/Yapı Ürünleri San. Trz. ve Tic. A. Ş.'ye, Bilecik 1. Organize Sanayi Bölgesi Yönetim Kurulu ve Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi personeline,

Bana çalışmalarım boyunca destek veren ve yardımcı olan sayın hocalarım Doç. Dr. Çağlayan AÇIKGÖZ, Yrd. Doç. Dr. Alev AKPINAR BORAZAN, Öğr. Gör. Şenay BALBAY ve Uzm. Gamze GÜNDÜZ'e, başta Uzm. Elif YAMAN olmak üzere, tüm Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı ekibine, arkadaşlarım Onur KAVUŞTU, Derya KAVUŞTU, Emir Ayberk GÜMÜLÜĞİL, Halil UÇAR, Erdoğan Acar ve Mustafa KALAYCI'ya, kuzenim İrem KILIÇARSLAN'a

Bana daima iyiyi ve doğru yolu gösteren, hayatımın her döneminde yanımda olan, bugünlere kadar gelmemi sağlayan, benden hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen ve bana güç veren sevgili annem Fatma KIZILER, babam Mehmet KIZILER, kardeşlerim Berkan KIZILER ve Berna KIZILER'e,

En içten teşekkürlerimi sunarım.

Buğra KIZILER

Ocak, 2017

ÖZET

Dünya üzerindeki insan nüfusunun hızlı bir şekilde artmasıyla birlikte, kullanılabilir temiz sular her geçen gün eksilmekte ve kirlenmektedir. Su kirliliğine sebep olan etmenlerin başında ise endüstriyel faaliyetler gelmektedir. Özellikle geleneksel ürünler üzerinde çalışan endüstriler, oluşturdukları yüksek atıksu miktarlarıyla dikkat çekmektedir. Bu yönde faaliyet gösteren seramik sektörü de, yüksek askıda katı madde miktarına sahip atıksuları ile ön plana çıkmaktadır.

Bu çalışmada; seramik endüstrisinde faaliyet gösteren 2 fabrikadan alınan 4 farklı seramik atık suyunun; 2, 4 ve 6 bar basınçlarda, temel ham maddesi alfa-alüminyum oksit ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) olan tübüler seramik destek ve mikrofiltrasyon membranlar ile arıtımı gerçekleştirilmiştir. MF membranlar, destek membranların sol-jel metodu ile kaplanması sonucu elde edilmiştir. Arıtma işlemi öncesinde; seramik atıksularının karakterizasyonu yapılmış ve civa porozimetresi kullanılarak destek membranların gözenekliliği belirlenmiştir. Destek membranların gözenek çapının 0,8896-1,1946 μm , gözenekliliğinin %28,32-32,73 aralığında değiştiği, atıksuların kirlilik yükü miktarlarının da çok yüksek olduğu görülmüştür. Bu nedenle atıksular bir ön filtrasyon işlemine tabi tutulmuş ve kirlilik yükü miktarları büyük oranda düşürülmüştür. Gerçekleştirilen arıtma işlemlerinde, membran performans parametreleri olan membran akıları (saf su akıları, atıksu akıları) ile membranların kirlilik (KOİ, AKM, pH ve iletkenlik) giderme verimleri incelenmiş ve bu parametrelere membran kullanım sayısının, membran gözenekliliğinin, atıksu kirlilik yüklerinin ve farklı sistem basınçlarının etkisi araştırılmıştır.

Membran akılarının, artan basınçla birlikte arttığı, artan membran kullanım sayısı ile birlikte azaldığı görülmüştür. Buna ek olarak membran akılarında meydana gelen düşüş miktarlarının, artan basınçla birlikte arttığı ve atıksuların kirlilik yükünü oluşturan madde özelliklerinden etkilendiği tespit edilmiştir. Ayrıca membran akılarının artmasına paralel olarak işlem sürelerinin kısaldığı belirlenmiştir. Destek membranlarda elde edilen saf su akıları 726,91-3649,43 $\text{L/m}^2\text{saat}$, atıksu akıları 147,41-2235,28 $\text{L/m}^2\text{saat}$; MF membranlarda elde edilen saf su akıları 482,64-3030,84 $\text{L/m}^2\text{saat}$ ve atıksu akıları 542,70-2194,11 $\text{L/m}^2\text{saat}$ aralıklarında ölçülmüştür.

Arıtma işlemleri sonucunda, atıksularda elde edilen kirlilik yükü giderimlerinin, özellikle AKM ve KOİ parametrelerinde olmak üzere, oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Ancak atıksuların pH değerlerinde düzenli ve belirgin bir değişime rastlanmamıştır. Bununla birlikte basıncın yükselmesiyle birlikte, atıksularda kalan KOİ ve AKM miktarlarının daha da azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca gözenek boyutunun küçülmesine bağlı olarak MF membranlarda elde edilen giderme verimleri destek membranlardan daha yüksek olmuştur. Atıksuların, sırasıyla AKM, KOİ ve iletkenlik parametrelerinde, destek membranlar ile elde edilen en yüksek giderme verimleri %96,99-99,98-57,12; MF membranlar ile elde edilen en yüksek giderme verimleri ise %99,15-100-70,65 şeklindedir.

Anahtar Kelimeler

Atıksu; Seramik membran; Mikrofiltrasyon; Akı; Giderme verimi.

ABSTRACT

Day by day with the rapid growth of the human population in the world, the available clean water levels are decreases and becomes dirty. One of the leading causes of water pollution is industrial activities. Especially, industries that are working on traditional products attract attention with their high wastewater amounts. Ceramic sector operating in this direction is stands out with wastewaters having a high amount of suspended solids.

In this study; 4 different ceramic wastewaters from 2 factories operating in the ceramic industry; at 2, 4 and 6 bar pressures, was treated with tubular ceramic support and microfiltration membranes which produced from alfa-aluminum oxide (α -Al₂O₃). MF membranes were obtained by coating the support membranes by the sol-gel method. Before the treatment process; characterization of ceramic wastewaters was carried out and porosity of support membranes was determined using mercury porosimetry. Pore diameters of support membranes range from 0.8896 to 1.1946 μ m and their porosity from 28.32 to 32.73%. Moreover, the pollutant loads of wastewaters were also found to be very high. For this reason, wastewaters were subjected to a pre-filtration process and the amount of pollution loads were greatly reduced. In the treatment processes carried out, membrane performance parameters; membrane fluxes (pure water fluxes and wastewater fluxes) and membrane pollution removal efficiencies (COD, SS, pH and conductivity) were investigated and the effects on the amount of the usage of membrane, membrane porosity, wastewater pollution loads and different system pressures were investigated to these parameters.

Membrane fluxes were observed to increase with increasing pressure and decrease with increasing membrane usage. However, It has been found that the amount of decrease in the fluxes of membrane was increased as the pressure increases and is also influenced by the properties of the substances that make up the pollution load of the waste water. In addition, it was determined that the processing times decreased with the increase of membrane currents. The pure water fluxes obtained with support membranes were measured in the range of 726,91-3649,43 L/m²h and wastewater fluxes in the range of 147,41-2235,28 L/m²h; the pure water fluxes obtained from MF membranes were

measured in the range of 482,64-3030,84 L/m²h and wastewater fluxes in the range of 542,70-2194,11 L/m²h.

It was seen that the pollution removal efficiencies of the membranes obtained by the treatment of wastewater were very high especially in the COD and SS parameters of wastewater. But, there has been no regular and significant change in pH values of wastewater. However, with the rise of the pressure, it has been found that the amounts of COD and SS residues in wastewater are further reduced. In addition, the removal efficiency of MF membranes was found to be higher than that of support membranes due to the reduction of pore size. The highest removal efficiencies obtained with support membranes in the wastewater, SS, COD and conductivity parameters, respectively, are 96.99-99.98-57.12%; The highest removal efficiencies obtained with MF membranes are 99,15-100-70,65%.

Keywords

Wastewater; Ceramic membrane; Microfiltration; Flux; Removal efficiency.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

JÜRİ ONAY SAYFASI

TEŞEKKÜR

ÖZET..... I

ABSTRACT III

İÇİNDEKİLER V

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ VIII

ÇİZELGELER DİZİNİ X

ŞEKİLLER DİZİNİ XI

1. GİRİŞ 1

**2. SERAMİK ENDÜSTRİSİ, ATIKSU KİRLİLİK PARAMETRELERİ VE
MEMBRAN PROSESLERİ..... 3**

2.1. Seramik Endüstrisi 3

2.1.1. Seramik ve endüstriyel boyutu 3

2.1.2. Seramik ham maddeleri 4

2.1.2.1. Kil grubu 4

2.1.2.3. Kuvars grubu 5

2.1.2.2. Feldspat grubu 5

2.1.3. Seramik üretim prosesi 5

2.1.3.1. Çamur hazırlama işlemi 6

2.1.3.2. Seramik çamurunun şekillendirilmesi 8

2.1.3.3 Seramik çamurunun kurutulması 8

2.1.3.4. Sırlama işlemi 8

2.1.3.5. Fırınlama işlemi 9

2.1.4. Seramik endüstrisi atıksuları 9

2.2. Atıksu Kirlilik Parametreleri 11

2.2.1. Askıda katı madde miktarı (AKM) 11

2.2.2. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) 11

2.2.3. pH 11

2.2.4. İletkenlik (EC) 12

2.3. Membran Prosesleri	12
2.3.1. Membran proseslerinin tarihsel gelişimi	12
2.3.2. Membran tanımı ve özellikleri	13
2.3.2.1. Akı	15
2.3.2.2. Giderme verimi	16
2.3.3. Membran malzemeleri ve membranların sınıflandırması	16
2.3.3.1. Seramik membranlar	17
2.3.4. Membran Tipleri	18
2.3.5. Sentetik membran üretimi	19
2.3.6. Basınçla çalışan membran sistemleri	20
2.3.6.1. Mikrofiltrasyon membranlar	20
2.3.6.2. Ultrafiltrasyon membranlar	22
2.3.6.3. Ters osmoz membranlar	22
2.3.6.4. Nanofiltrasyon membranlar	24
3. LİTERATÜR ÖZETİ	25
4. MALZEMELER VE METODLAR	29
4.1. Kullanılan Cihazlar ve Kimyasal Malzemeler	29
4.2. Kullanılan Membranlar ve Sirkülasyon Sistemi	29
4.3. Kullanılan Atıksular	31
4.4. Kullanılan Metotlar	31
4.4.1. Destek ve MF membranların üretimi	31
4.4.2. Membranların karakterizasyonu	33
4.4.2.1. Destek membranların civa porozimetresi	33
4.4.2.2. Destek ve MF membranların SEM analizi	34
4.4.3. Atıksuların karakterizasyonu	34
4.4.3.1. Askıda katı madde miktarı (AKM) tayini	34
4.4.3.2. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) tayini	35
4.4.3.3. pH tayini	37
4.4.3.4. İletkenlik tayini	38
4.4.4. Atıksu arıtma işlemi ve membran performanslarının incelenmesi	38
4.4.4.1. Numune alımı ve atıksuların ön filtrasyonu	38
4.4.4.2. Membranlar ile seramik atıksularının arıtılması işlemi	39

4.4.4.3. Membranların atıksu performanslarının belirlenmesi.....	40
4.4.4.4. Membranların temizlenmesi.....	41
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	42
5.1. Membranların Karakterizasyonu.....	42
5.1.1. Destek membranların civa porozimetresi	42
5.1.2. Destek ve MF membranların SEM analizi.....	43
5.2. Atıksuların Karakterizasyonu.....	45
5.2. Membranların Saf Su Akıları	47
5.3. Membranların Atıksu Akıları.....	53
5.4. Membran Giderme Verimleri.....	68
5.4.1. Ham atıksuların kirlilik yükleri.....	68
5.4.2. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) giderimleri	71
5.4.3. Askıda katı madde (AKM) giderimleri	77
5.4.4. İletkenlik (EC) giderimleri	82
6. SONUÇLAR	88
KAYNAKLAR	92
EK-1: 1. destek membran numunesinin civa porozimetresi sonuçları.....	96
EK-2: 2. destek membran numunesinin civa porozimetresi sonuçları.....	97
EK-3: 3. destek membran numunesinin civa porozimetresi sonuçları.....	98
EK-4: P-SH atıksu numunelerinin arıtma işlemlerine göre değişimi.....	99
EK-5: P-Ü atıksu numunelerinin arıtma işlemlerine göre değişimi.....	100
EK-6: B-MH atıksu numunelerinin arıtma işlemlerine göre değişimi.....	101
EK-7: B-AG atıksu numunelerinin arıtma işlemlerine göre değişimi.....	102
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

α	: Alfa
γ	: Gama
M.Ö.	: Milattan önce
°C	: Santigrat derece
μ S	: Mikrosiemens
ml	: Mililitre
L	: Litre
nm	: Nanometre
μ m	: Mikrometre
cm	: Santimetre
m	: Metre
sn	: Saniye
dk	: Dakika
h	: Saat
mg	: Miligram
gr	: Gram
kg	: Kilogram
NTU	: Nefelometrik bulanıklık birimi
kPa	: Kilopascal
kW	: kilowatt
J	: Akı
R	: Giderme verimi
C_p	: Filtre edilen kısmın derişimi
C_f	: İşlem öncesindeki karışımın derişimi
MF	: Mikrofiltrasyon
UF	: Ultrafiltrasyon
RO	: Ters osmoz
NF	: Nanofiltrasyon
MWCO	: Molekül ağırlığı engelleme sınırı
CMC	: Karboksimetil selüloz

HPMC	: Hidroksipropil metil selüloz
PVA	: Polivinil alkol
AKM	: Askıda katı madde
KOİ	: Kimyasal oksijen ihtiyacı
EC	: Elektriksel iletkenlik
TOC	: Toplam organik karbon
log	: Logaritma
TÜBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
S.K.K.Y.	: Su kirliliği kontrolü yönetmeliği
P-SH	: Porland Porselen sır hazırlama atıksuyu
P-Ü	: Porland Porselen üretim atıksuyu
B-MH	: Bien Seramik masse hazırlama atıksuyu
B-AG	: Bien Seramik arıtma giriş atıksuyu

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 2.1. Seramik endüstrisi atıksularının deşarj standartları.....	10
Çizelge 4.1. Membran hamurunda kullanılan malzeme, miktar ve özellikleri.....	32
Çizelge 4.2. Kaplama hazırlama işleminde kullanılan malzemeler ve miktarları	33
Çizelge 5.1. Atıksu isimlerinin kısaltmaları	42
Çizelge 5.2. Destek membran numunelerinin karakterizasyon verileri	42
Çizelge 5.3. Atıksuların karakterizasyon verileri	45
Çizelge 5.4. Membranların kullanıldığı atıksular ve basınç değerleri	54
Çizelge 5.5. Atıksuların ön filtasyon işlemi sonrası elde edilen kirlilik yükleri	55

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 2.1. Seramik üretim prosesi akış şeması.....	6
Şekil 2.2. Membran ayırma işlemi.....	14
Şekil 2.3. Tutulan madde, por boyutu, membran tipi dağılımları.....	17
Şekil 2.4. Ölü uç ve çapraz akış filtrasyonu.....	21
Şekil 2.5. Osmoz, osmotik denge ve ters osmoz ilişkisi.....	23
Şekil 4.1. Tübüler seramik (α -Al ₂ O ₃) membran	30
Şekil 4.2. Sirkülasyon sistemi.....	31
Şekil 4.3. KOİ tayininde kullanılan analiz kitleri	35
Şekil 4.4. KOİ tayininde kullanılan dijital termal reaktör	36
Şekil 4.5. KOİ tayininde kullanılan spektrofotometre	37
Şekil 4.6. pH tayininde kullanılan pH metre	37
Şekil 5.1. Destek membran kırık ara yüzeyinin 2500X'teki SEM görüntüsü	43
Şekil 5.2. Destek membran iç üst yüzeyinin 2500X ve 10000X'teki SEM görüntüleri.....	43
Şekil 5.3. MF membran iç üst yüzeyinin 5000X ve kırık ara yüzeyinin 250X'teki SEM görüntüleri.....	44
Şekil 5.4. Destek membranların 2 bar basınçta, kullanım sayılarına göre elde edilen saf su akıları.....	47
Şekil 5.5. Destek membranların 4 bar basınçta, kullanım sayılarına göre elde edilen saf su akıları.....	48
Şekil 5.6. Destek membranların 6 bar basınçta, kullanım sayılarına göre elde edilen saf su akıları.....	48
Şekil 5.7. MF membranların 2 bar basınçta, kullanım sayılarına göre elde edilen saf su akıları.....	49
Şekil 5.8. MF membranların 4 bar basınçta, kullanım sayılarına göre elde edilen saf su akıları.....	49
Şekil 5.9. MF membranların 6 bar basınçta, kullanım sayılarına göre elde edilen saf su akıları.....	50
Şekil 5.10. Destek membranların, kullanım sayılarına göre ortalama saf su akılarının artan basınçla değişimi.....	51

Şekil 5.11. MF membranların, kullanım sayılarına göre ortalama saf su akılarının artan basınçla değişimi	52
Şekil 5.12. MF ve destek membranların ortalama saf su akıları.....	53
Şekil 5.13. P-SH atıksuyunun arıtımında kullanılan membranlara ait başlangıç akıları	56
Şekil 5.14. P-SH atıksuyunda, 2 bar basınçta ölçülen membran akıları	56
Şekil 5.15. P-SH atıksuyunda, 4 bar basınçta ölçülen membran akıları	57
Şekil 5.16. P-SH atıksuyunda, 6 bar basınçta ölçülen membran akıları	57
Şekil 5.17. P-Ü atıksuyunun arıtımında kullanılan membranlara ait başlangıç akıları ..	58
Şekil 5.18. P-Ü atıksuyunda, 2 bar basınçta ölçülen membran akıları	59
Şekil 5.19. P-Ü atıksuyunda, 4 bar basınçta ölçülen membran akıları	59
Şekil 5.20. P-Ü atıksuyunda, 6 bar basınçta ölçülen membran akıları	60
Şekil 5.21. B-MH atıksuyunun arıtımında kullanılan membranlara ait başlangıç akıları	61
Şekil 5.22. B-MH atıksuyunda 2 bar basınçta ölçülen membran akıları	62
Şekil 5.23. B-MH atıksuyunda, 4 bar basınçta ölçülen membran akıları	62
Şekil 5.24. B-MH atıksuyunda, 6 bar basınçta ölçülen membran akı.....	63
Şekil 5.25. B-AG atıksuyunun arıtımında kullanılan membranlara ait başlangıç akıları	64
Şekil 5.26. B-AG atıksuyunda, 2 bar basınçta ölçülen membran akıları.....	65
Şekil 5.27. B-AG atıksuyunda, 4 bar basınçta ölçülen membran akıları.....	66
Şekil 5.28. B-AG atıksuyunda, 6 bar basınçta ölçülen membran akıları.....	66
Şekil 5.29. P-SH ham atıksuyunun kirlilik yükleri	69
Şekil 5.30. P-Ü ham atıksuyunun kirlilik yükleri	69
Şekil 5.31. B-MH ham atıksuyunun kirlilik yükleri	70
Şekil 5.32. B-AG ham atıksuyunun kirlilik yükleri.....	70
Şekil 5.33. P-SH atıksuyunun, arıtma işlemine göre kalan KOİ miktarları.....	72
Şekil 5.34. P-Ü atıksuyunun, arıtma işlemine göre kalan KOİ miktarları.....	72
Şekil 5.35. B-MH atıksuyunun, arıtma işlemine göre kalan KOİ miktarları.....	73
Şekil 5.36. B-AG atıksuyunun, arıtma işlemine göre kalan KOİ miktarları.....	73
Şekil 5.37. P-SH atıksuyunun, arıtma işlemine göre KOİ giderme verimleri	74
Şekil 5.38. P-Ü atıksuyunun, arıtma işlemine göre KOİ giderme verimleri.....	75
Şekil 5.39. B-MH atıksuyunun, arıtma işlemine göre KOİ giderme verimleri.....	75
Şekil 5.40. B-AG atıksuyunun, arıtma işlemine göre KOİ giderme verimleri	76

Şekil 5.41. P-SH atıksuyunun, arıtma işlemine göre kalan AKM miktarları	77
Şekil 5.42. P-Ü atıksuyunun, arıtma işlemine göre kalan AKM miktarları.....	77
Şekil 5.43. B-MH atıksuyunun, arıtma işlemine göre kalan AKM miktarları.....	78
Şekil 5.44. B-AG atıksuyunun, arıtma işlemine göre kalan AKM miktarları	78
Şekil 5.45. P-SH atıksuyunun, arıtma işlemine göre AKM giderme verimleri	80
Şekil 5.46. P-Ü atıksuyunun, arıtma işlemine göre AKM giderme verimleri	80
Şekil 5.47. B-MH atıksuyunun, arıtma işlemine göre AKM giderme verimleri	81
Şekil 5.48. B-AG atıksuyunun, arıtma işlemine göre AKM giderme verimleri	81
Şekil 5.49. P-SH atıksuyunun, arıtma işlemine göre kalan iletkenlik miktarları.....	82
Şekil 5.50. P-Ü atıksuyunun, arıtma işlemine göre kalan iletkenlik miktarları.....	83
Şekil 5.51. B-MH atıksuyunun, arıtma işlemine göre kalan iletkenlik miktarları.	83
Şekil 5.52. B-AG atıksuyunun, arıtma işlemine göre kalan iletkenlik miktarları.....	84
Şekil 5.53. P-SH atıksuyunun, arıtma işlemine göre iletkenlik giderme verimleri	85
Şekil 5.54. P-Ü atıksuyunun, arıtma işlemine göre iletkenlik giderme verimleri.....	85
Şekil 5.55. B-MH atıksuyunun, arıtma işlemine göre iletkenlik giderme verimleri.....	86
Şekil 5.56. B-AG atıksuyunun, arıtma işlemine göre iletkenlik giderme verimleri	86

1. GİRİŞ

Endüstriyel hareketliliğin ve dünya üzerindeki insan nüfusunun hızlı bir şekilde artmasıyla birlikte, kullanılabilir temiz sular her geçen gün eksilmekte ve kirlenmektedir. Bu nedenle yerin üstünde ve altında bulunan su rezervleri de tükenme tehlikesiyle karşı karşıya kalmaktadır. Su rezervlerinin taşıdığı önem dünya çapında kabul görmekte olup, susuzluk problemi yaşayan ülkelerin sayısı da sürekli olarak artış göstermektedir. Bu durum, mevcut rezervlerin korunması ve kullanılan suların tekrar geri kazanılması için gerçekleştirilecek uygulamaları zorunlu bir hale getirmektedir (Yarmuhammet, 2012).

Su kirliliğine sebep olan etmenlerin başında, endüstriyel faaliyetler gelmektedir. Özellikle ürettikleri atıksu miktarının fazlalığı nedeniyle, geleneksel ürünler üzerinde çalışan endüstrilerde bu konu kritik bir hal almaktadır (Salvador, 2012). Bu yönde faaliyet gösteren seramik sektörü de, yüksek askıda katı madde miktarına sahip atıksuları ile ön plana çıkmaktadır. Bu atıksular çoğunlukla prosesin sır hazırlama, sırlama ve çamur hazırlama bölümlerinde yapılan uygulama ve yıkama işlemleri sonucu oluşmaktadır. Ayrıca seramik endüstrisinde kullanılan suyun büyük bir kısmı da üretim esnasında buharlaşma vb. sebepler ile kaybolmaktadır. Bu durum hem maddi, hem de çevresel olarak su kaynaklarının kullanımı anlamında olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Bu nedenle, son yıllarda seramik endüstrisinde suyun geri kazanımı ve tekrar kullanımı üzerine yoğunlaşmalar başlamıştır (Gönüllü, 2004).

Hali hazırda kullanılan atıksu arıtma yöntemleri (genellikle fiziko-kimyasal yöntemler), özellikle kimyasal oksijen ihtiyacı ve biyolojik olarak parçalanamayan organik bileşiklerin giderilmesi bakımından tamamen etkili değildir. Bu durum suyun proseste yeniden kullanımına izin vermemekle beraber, özellik bakımından alıcı ortama deşarjını bile engelleyebilir. Bu sebeple seramik endüstrisinin atıksu arıtımı için, düşük maliyetli ve çevresel olarak da etkili ek bir yöntem ihtiyacı vardır (Salvador, 2012).

Bu konuda önemli bir yer tutan membran sistemleri, proses suyunun geri kazanılması için hem etkili hem de uygulama ve üretim maliyetleri düşük sistemler olarak öne çıkmaktadır (Mert ve Kestioğlu, 2008). Özellikle mikrogözenekli inorganik bir yapıya sahip olan seramik membranlar; yüksek sıcaklık dayanımı, kimyasal ve biyolojik etkilere karşı dirençli olma ve uzun kullanım ömrü sağlama gibi endüstriyel kullanıma

uygun özelliklere sahiptirler. Ayrıca seramik membranlar kolay temizlenebilen, yüksek enerji tasarrufu sağlayan ve kullanımı basit olan malzemelerdir (Topacık, 2006).

Bu çalışmanın amacı, seramik sektöründe faaliyet göstermekte olan 2 fabrikaya ait atıksuların bir sirkülasyon sistemi kullanılarak, temel ham maddesi alfa-alüminyum oksit ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) olan tübüler seramik destek ve mikrofiltrasyon membranlar ile arıtımının gerçekleştirilmesi ve membran performanslarının (membran akıları ve giderme verimleri) belirlenmesidir.

Bununla birlikte seramik endüstrisi atıksularının arıtımında, seramik membran kullanımına yönelik literatürde bulunan çalışmaların çok az sayıda olması ve membran sistemleri ile seramik sektörünün elde edebileceği kazanımlar göz önüne alındığında, yapılan çalışmanın önemi ve gerekliliği anlaşılmaktadır.

Tezin ilk kısımda, üzerinde çalışılan konunun taşıdığı anlam ve önem vurgulanarak yapılan çalışmanın amacı belirtilmiştir. İkinci kısımda çalışmanın amacına uygun olarak seramik endüstrisi, atıksu kirlilik parametreleri ve membran prosesleri ile ilgili teorik bilgiler verilmiştir. Üçüncü kısımda, bu çalışma konusu ile benzer konular üzerine daha önce yapılmış çalışmalara ait literatür özetleri bulunmaktadır. Dördüncü kısımda, çalışmada kullanılan malzeme ve ekipmanlar ile birlikte, yapılan deney ve analizlerde uygulanan yöntemler açıklanmıştır. Beşinci bölümde, yapılan deney ve analizler sonucunda elde edilen veriler verilmiş ve bu veriler teorik bilgiler kapsamında değerlendirilmiştir. Altıncı ve son bölümde ise, deneysel verilerin değerlendirilmesi ile elde edilen sonuçlar verilmiştir.

2. SERAMİK ENDÜSTRİSİ, ATIKSU KİRLİLİK PARAMETRELERİ VE MEMBRAN PROSESLERİ

2.1. Seramik Endüstrisi

2.1.1. Seramik ve endüstriyel boyutu

Seramik terimi, Yunanca'da yanmış toprak anlamına gelen “keramos” sözcüğünden türetilmiştir ve temeli topraktan elde edilen ham maddeler olan endüstri ürünlerini tanımlamak amacıyla kullanılır. Yapılan son araştırmalara göre topraktan ürün elde etme çalışmalarının başlangıcı M.Ö. 19000'e dayanmaktadır. Seramikler genellikle metalik olmayan bileşiklerden yapılmış ve ateşleme işlemi ile kalıcılığı sağlanmış inorganik (içeriğinde organik bileşik bulundurması muhtemel) yapıdaki malzemelerdir. Bu malzemelerin temel ham maddesi ince taneli kildir. Seramik ürünlerin karakteristik özellikleri, yüksek mukavemetli ve aşınmaya karşı dirençli olmaları, hizmet ömürlerinin uzun olması, toksik olmamaları, ısıya ve ateşe karşı dayanıklı olmaları, kimyasal tepkimede bulunmamaları, genellikle elektriksel olarak yalıtkan olmaları ve malzeme tipine göre gözenekli yapıya sahip olabilmeleri şeklinde sıralanabilir (EC, 2007).

İlk seramiklerin üretiminde odun külünden yola çıkılarak keşfedilen balçık kullanılmıştır. Elde edilen ürünlerin üzerinde bulunan desen ve motifler ise sır kavramının bulunmasından daha önce uygulanmaya başlanmış olup ilerleyen zamanlarda bu sürece renk verme işlemleri de eklenmiştir (Gönüllü, 2004).

Zaman geçtikçe seramik sektöründe yaşanan gelişmelerle birlikte seramik malzemeler, ürün özelliklerine göre sağlık gereçleri, kaplama materyalleri, teknik malzemeler, kaba malzemeler, refrakterler, süs ve yemek eşyaları şeklinde gruplandırılmıştır (İpekçi ve Aköz, 2010). Günümüze bakıldığında, seramik sektörünün öncü ülkeleri İtalya, İspanya, Brezilya, Çin ve Portekiz olarak karşımıza çıkmaktadır. Ülkemizde seramik üretimi çok uzun yıllardan beri bilinen ve uygulanan bir işlem olsa da, gelişmiş teknik ve fabrikasyon üretim anlamında ilk adımlar 1950'li yıllarda atılmaya başlanmıştır. Kısa zaman içerisinde de kendisine yer edinmiş olup en hızlı gelişim gösteren sektörler arasına girmiştir. Ülkemiz topraklarının seramik ham maddeleri

yönünden oldukça zengin oluşu da sektörün gelişimini kolaylaştıran bir etmen olmuştur (Gönüllü, 2004).

2.1.2. Seramik ham maddeleri

Seramik malzeme üretiminde kullanılan ham maddeleri üç ayrı grup altında değerlendirmek mümkündür. Bunlar;

- Kil grubu
- Kuvars grubu
- Feldspat gurubu

ham maddeleri şeklinde sıralanabilir. Kil, plastik özelliği sayesinde seramik malzemenin kalıcı bir yapıya dönüşmesini sağlar. Plastiklik özelliği bulunmayan kuvars plastik yapının istenilen seviyede tutulması amacıyla kullanılır. Feldspatlar ise düşük ergime sıcaklığına sahip olmaları nedeniyle kristal yapının oluşumunda rol oynarlar. Bu gruplar içerisinde en önemlisi kil gurubudur. Bu sebeple seramik işletmelerinin kurulumunda, özellikle kil rezervlerine yakın olan alanlar tercih edilmektedir (Yıldız, vd., 2014). Bunun yanı sıra üretilecek ürünün çeşidine göre de kullanılacak olan ham madde özellikleri ve temin şekilleri farklılık göstermekte olup, doğal ham maddeler dışında sentetik ham maddelerde kullanılabilir (EC,2007). Seramik üretiminde kullanılan diğer ham maddeler ise magnezit, kalker, boksit, talk, dolomit ve zirkondur (Kılıç, 2003). Ayrıca polimerik bir malzeme olan sodyum karboksimetil selülozda (Na-CMC), seramik üretiminde kullanılan malzemeler arasındadır. Na-CMC, su içerisinde çözünür ve katyonlar ile tepkime oluşturarak dağılan faz durumundaki malzemelerin stabilize olmalarını, su içerisindeki katıların süspansiyon şeklinde tutulmalarını ve bu sayede sır katmanının ham yapıya bağlanmasını sağlar (Yılmaz, 2006; Kayacı, 2007).

2.1.2.1. Kil grubu

Killer, belirli bir kristal yapısı bulunan, doğal, toprağa benzeyen, ince taneli ve su ile etkileşime geçtiklerinde plastik benzeri bir yapıya ulaşan maddelerdir (Malayoğlu ve Akar, 1995). Killeri, feldspat kayalarının ayrışması sonucunda oluşan malzemeler veya yapısında pek çok kil mineral örgüsünün bulunduğu hidrate alüminyum silikatlar şeklinde tanımlamak da mümkündür. Killerin temelini oluşturan mineraller içerisinde en önemli

olanlar ise kaolinit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), montmorillonit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) ve halloysit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)'tir. Kil bazlı seramik malzemelerin bileşiminde toz haline getirilmiş kuvars ve feldspat gibi plastik olmayan mineral değiştiriciler ile karıştırılmış bir veya birden fazla kil çeşidi de kullanılabilmektedir (EC, 2007).

2.1.2.3. Kuvars grubu

Kuvars (SiO_2), saf olarak sadece silisyum ve oksijenden oluşan bir malzemedir. Ancak doğal kuvars, içerisinde safsızlık meydana getiren alüminyum, titanyum, lityum, sodyum ve magnezyum elementlerinden biri veya birkaçı ile birlikte bulunur. Yalnızca hidroflorik asit içerisinde çözünen kuvars, rengi olmayan bir malzeme olmasına karşın yapısında bulunabilen farklı fazlar sebebiyle değişik renklerde görülebilir (Keser, 2010). Plastik olmayan yapısı sayesinde kilden gelen plastikliğin düzenlenmesini sağlar, seramik fırınlama işlemi sırasında hacimce azalmayı önler ve işlem esnasında oluşan gazın seramik bünyeden uzaklaşmasında yardımcı olur. Seramik endüstrisinde kuvarsın; kuvars kumu, kuvarsit, sileks, filint ve diatomit tipleri tercih edilmektedir (Baycık, 2003).

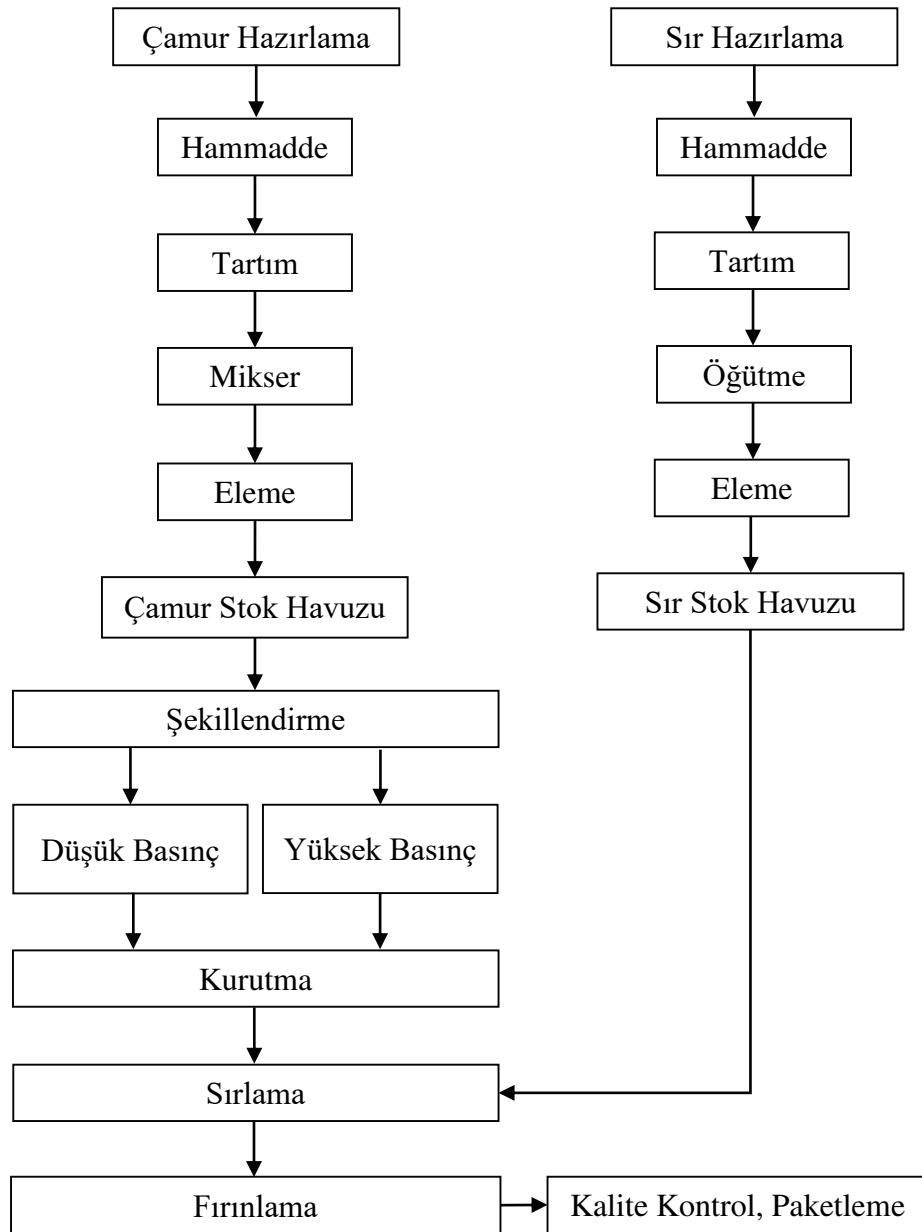
2.1.2.2. Feldspat grubu

Feldspat ($x \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot y \cdot \text{SiO}_2$), kil grubu ham maddelerin temel kaynağı olan ve yapısında bulunan alkaliler sayesinde düşük ergime sıcaklığına sahip bir malzemedir. Yapısı sert olan bir maddedir ve üretimde kullanılmadan önce fiziksel olarak inceltilmesi gerekmektedir. Seramik endüstrisinde genellikle iki tip feldspat kullanılır. Bunlar; ortoklas ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$) ve albit ($\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$)'tir. Bunların dışında anortit ($\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) ve celsian ($\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$)'da başlıca feldspatlardır. Feldspatlar, genellikle saf halde değildir. Az miktarda olsa bir feldspatın içerisinde diğer tip feldspat elementlerinden de bulunur. Bununla birlikte feldspatın yapısında kaolen ve kuvars da olabilmektedir. Bu da safsızlığa sebep olan bir diğer etmen olarak gösterilebilir (Kılıç, 2003).

2.1.3. Seramik üretim prosesi

Bütün seramik malzemelerin üretim prosesleri birbirine yakın şekillerdedir. Proseste izlenen işlemler kabaca; çamur hazırlama, sır hazırlama, şekillendirme, kurutma, sırlama, süsleme, fırınlama şeklindedir. Proses adımları ayrıntılı olarak şekil 2.1'de

gösterilmiştir. Bununla birlikte eğer dekorlu (boyamalı) seramik üretimi yapılıyorsa sırlama adımından önce dekorlama işlemi gerçekleştirilir (Gönüllü, 2004).



Şekil 2.1. Seramik üretim prosesi akış şeması (Gönüllü'den, 2004).

2.1.3.1. Çamur hazırlama işlemi

Çamur hazırlama işleminin öncesinde istenilen çamur özelliklerinin elde edilmesi amacıyla bir dizi hazırlık işlemi gerçekleştirilir. Bu işlemler ayıklama, ufalama, tane büyüklüğüne göre ayırma şeklindedir.

Ayıklama işlemi, ham maddelerin içerisinde bulunan ve hazırlanacak olan çamurun yapısında hatalara sebebiyet verebilecek zararlı maddelerin uzaklaştırılması işlemidir. Özellikle taşlar bu zararlı maddelerin başında gelmektedir. Ufalama işleminde ise kullanılacak olan ham madde parçaları öğütme yoluyla istenilen tane boyutuna getirilmektedir. İstenilen boyut hazırlanacak olan çamurun özelliklerine göre belirlenir ve ufalama işlemi sonrasında da bir elek yardımıyla ham madde parçaları tane büyüklüklerine göre ayrılır. Yapılan bu hazırlık işlemlerinin temel sebebi, hazırlanacak olan çamurun homojenliğinin en yüksek seviyede olmasını sağlamaktır (Çevikel, 2010). Hazırlık işlemlerinin tamamlanmasıyla birlikte çamur hazırlama işlemine geçilir. Doğal ve endüstriyel yöntemlerle olmak üzere çamur hazırlama yollarını iki başlık altında toplamak mümkündür.

Doğal çamur hazırlama yöntemlerinde, adından da anlaşılacağı üzere ham maddelerin olgunlaşması doğa koşulları etkisiyle gerçekleşir. Belli bir zaman dilimi boyunca doğa koşullarına maruz kalan çamur istenilen kıvama gelir ve plastik bir yapıya ulaşır. Doğal çamur hazırlama yöntemleri üç çeşittir. Bunlar yığarak depolama, çamur çürütme kuleleri ve çamur dinlendirme havuzu şeklindedir.

Endüstriyel çamur hazırlama yöntemleri ise yaş, yarı yaş, kuru, sıcak hazırlama ve diğer yöntemler şeklinde kendi içerisinde ayrılır. Uygulanacak yöntem tipi istenilen ürün özelliklerine göre belirlenir (Gönüllü, 2004).

Yaş hazırlama yöntemi, endüstriyel yöntemler içerisinde en yüksek homojenliğe ulaşılan yöntemdir. Bu yöntem ile plastik, kuru ve sulu çamur oluşturulur.

Yarı yaş hazırlama yönteminde, bir miktar nemli olan ve ufalanmış ham madde havalı veya havasız ortam özelliklerine sahip mikserlerde yardımcı maddeler ile birlikte karıştırılarak plastisite özelliğine sahip çamur elde edilir.

Kuru hazırlama yöntemine bakıldığında, ham maddeler tek tek veya hepsi birlikte bilyalı değirmenlerde ufalanarak karıştırılır. Bu karışım sonucunda kuru bir yapıya sahip üretim malzemesi meydana gelmektedir.

Sıcak hazırlama yönteminde ise amaç elde edilecek ürünün kuruma süresini düşürmek ve plastisitesi az olan çamura kıvam kazandırmaktır. Bu amaçla çamur ve sıcak

su, miksere ilaveten su buharı da verilerek karıştırılır ve sonucunda istenilen özelliklere sahip çamur elde edilir.

Santrifüj etkisi kullanılarak çamur hazırlanan diğer bir yöntemde de, ham maddeler tane boyutlarına göre ayrılır ve daha sonrasında belirli miktarlarda karıştırılarak çamur elde edilir (Çevikel, 2010).

2.1.3.2. Seramik çamurunun şekillendirilmesi

Seramik çamurunun biçimlendirilmesi amacıyla kullanılan pek çok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler içerisinde en önemlileri, hidrolik presler ile gerçekleştirilen kuru biçimlendirme, çift burgulu mikser veya filtre pres kullanılarak çamur suyunun bir kısmı ile havasının alındığı yarı yaş biçimlendirme, nemli ve ısı ayarlı odalarda sertleştirildikten sonra torna vasıtasıyla yapılan deri sertliğinde biçimlendirme ve sıvı çamurun kalıplara dökülmesi sonucu elde edilen yaş biçimlendirme yöntemleridir. (Gönüllü, 2004).

2.1.3.3 Seramik çamurunun kurutulması

Çamur içerisinde çamur hazırlama ve şekillendirme yöntemlerine bağlı olarak değişen miktarlarda su bulunmaktadır. Ürün kalitesi açısından sırlama ve fırınlama işlemlerine geçilmeden önce bu suyun, uygulanacak optimize bir yöntemle malzeme içerisinde uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu amaçla malzemenin şeklinde ve cinsine bağlı olarak uygulanan birçok yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemler açık havada kurutma, oda tipi, tünel tipi, ısımalı tip, bant tipi, salıncak tipi, döner masa tipi, döner tambur tipi ve püskürtmeli tip kurutucularda kurutma şeklinde sıralanabilir. Bütün bu yöntemlerin temeli suyun buharlaştırılarak malzemeden atılmasıdır. Buharlaştıran su malzeme bünyesinde bulunan gözenekler yoluyla dış ortama çıkar ve kuruma işlemi bu temel üzerinden gerçekleştirilir (Baycık, 2003).

2.1.3.4. Sırlama işlemi

Sır seramik malzemeyi bir film gibi sarar ve fırınlama işlemi esnasında eriyerek seramiğe camsı bir görüntü kazandırır. SiO_2 ve metal oksitlerin bir araya getirilip ısı etkisinde bırakılmaları sonucu elde edilir. Bununla birlikte sırlanacak olan ince yapılı

seramik malzemeler mukavemet kazanmaları amacıyla sırlama işleminden önce bir ön fırınlama işleminden geçirilir (Gönüllü, 2004). Sırlama için kullanılacak olan malzeme öncelikle iyi bir şekilde öğütülmeli ve daha sonrasında sırlama ayarı yapılmalıdır.

Başlıca sırlama yöntemleri; ham seramiklerin sırlanmasında kullanılan daldırma yöntemi, sırın malzemeye püskürtme aletleri ile uygulandığı püskürtme yöntemi, yürüyen bir bant üzerindeki seramik malzemenin sürekli akan sır perdesinin içerisinden geçirilerek sırlandığı akıtma yöntemi, sırın kuru olarak malzemenin bütününe uygulandığı tozlama yöntemi ve kamara tipi fırınlarda toz buharı ile sırlamanın yapıldığı tuzlama yöntemi şeklindedir (Çevikel, 2010).

2.1.3.5. Fırınlama işlemi

Şekil verilmiş ve kurutulmuş olan yarı ürünün önce yüksek sıcaklığa çıkartılması, daha sonrasında da soğutulması ve bu şekilde tam ürün haline gelmesi işlemine fırınlama denir. Fırınlama işlemi doldurma, pişirme, soğutma ve boşaltma şeklinde adımlarla ifade edilebilir. Her seferinde bu adımlar tekrar edilerek işlem gerçekleştiriliyorsa bu fırınlara kesikli çalışan fırınlar denir. Eğer fırın devamlı olarak pişirme sıcaklığında tutuluyor ve malzemeler fırın içerisinden geçirilerek işlem yapılıyorsa bu şekildeki fırınlara ise sürekli çalışan fırınlar adı verilmektedir (Gönüllü, 2004). Pişirme esnasında 2000 °C gibi çok yüksek sıcaklık değerlerine çıkılabilmektedir (Çevikel, 2010). Fırınlama işleminin asıl amacı suyu tamamen uzaklaştırmak ve malzemeye kalıcı özellikler kazandırmaktır. Fırınlama ile kazanılacak olan kristal yapı ve mukavemet artışı bu özelliklerin başında gelmektedir (Baycık, 2003).

2.1.4. Seramik endüstrisi atıksuları

Seramik endüstrisi atıksuyunun bileşimi, üretim aşamasına ve kullanılan maddelere göre farklılık göstermektedir. Atıksuyun bileşiminde genel olarak katı maddelerle birlikte, farklı nitelikteki elektrolitler ve organik maddelerde bulunmaktadır. (Salvador, vd., 2012). Seramik malzeme üretiminde illit, klorit, montmorillonit, kaolinit olmak üzere farklı grup killer ve bunlara ek olarak vallostonit, talk, mermer, dolomit, boksit, silikat, zirkonyum ham maddeleri de kullanılmaktadır. Söz konusu ham maddelerin üretimde kullanımı esnasında bu ham maddelerle birlikte bir takım organik

maddelerde proses suyuna karışarak suyun kimyasal oksijen ihtiyacını artırıcı yönde kirlilik oluşturur. Üretimde kullanılan ham maddelerden ayrılan çok küçük boyutlardaki kısımlar da kullanım suyuna geçerek askıda katı madde miktarının fazlalaştırmasına sebep olmaktadır (Şahin, vd., 2005).

Seramik malzemelerin üretim adımlarından, çamur hazırlama, döküm, sır hazırlama ile yıkama işlemleri kirlilik yükü oluşturmada başı çekmektedirler. Özellikle çamur hazırlama bölümünün oluşturduğu atıksular çok yüksek kirlilik yüküne sahiptir. Bu kirlilik yükünün sebebi ise oluşan atıksuyun yüksek katı madde miktarı ve organik içeriğidir. Kalıp kısmı atıksularında daha ziyade katkı malzemeleri ile kalsiyum iyonları, döküm kısmında ise çözünmüş katılar ve az da olsa askıda katı maddeler bulunur (Dinçer ve Kargı, 2000). Bununla birlikte seramik endüstrilerinde kullanılan suyun büyük bir kısmı da prosesin farklı kademelerinde meydana gelen buharlaşma sonucu kaybedilmektedir ve bu durum tesislerde su tüketimi açısından dezavantajlı bir durum oluşturmaktadır. Bu sebeple kullanılan suyu buharlaştırmak yerine arıtarak tekrar prosese verme çalışmaları son yıllarda oldukça önem kazanmış ve üzerinde yoğunlaşılan konular arasına girmiştir (Gönüllü, 2004). Su tüketiminin azaltılmasının yanı sıra endüstriyel atıksuların dış ortama deşarj edilme durumlarında da çevreye ve doğal yaşama zarar vermeyecek şekle getirilmeleri gerekmektedir. Seramik endüstrisi atıksularının dış ortama deşarj standartları çizelge 2.1.'de verilmiştir (ÇŞB, 2004).

Çizelge 2.1. S.K.K.Y. tablo 7.4'te seramik atıksuları için belirtilen deşarj standartları (ÇŞB, 2004).

Parametre	Birim	Kompozit Numune	
		2 Saatlik	24 Saatlik
Kimyasal Oksijen İhtiyacı	(mg/L)	80	-
Askıda Katı Madde	(mg/L)	100	-
Kurşun (Pb)	(mg/L)	1	-
Kadmiyum (Cd)	(mg/L)	0.1	-
Çinko (Zn)	(mg/L)	3	-
pH	-	6-9	6-9

2.2. Atıksu Kirlilik Parametreleri

2.2.1. Askıda katı madde miktarı (AKM)

Bir sıvı içerisinde bulunan ve filtrelenemeyen katıların oluşturduğu miktara askıda katı madde miktarı adı verilmektedir. Askıda katı madde miktarı, mg/L birimleri ile ifade edilmekte olup, en önemli atıksu kirlilik parametrelerinden birisidir. Askıda katı madde yoğunluğu fazla olan atıksular sanayi tesislerinin deşarj suyu kalitesi ve alıcı ortam açısından olumsuz etkiler ortaya koymaktadır. Deşarj edilecek olan atıksuların katı madde yoğunluğunun, alıcı ortama hem görüntü olarak hem de yapısal anlamda zarar vermesi sebebiyle belirlenmiş sınır miktardan fazla olması istenmez (Samsunlu, 1999).

2.2.2. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ)

Atıksuların kirlilik yükünü belirlemede kullanılan en önemli parametrelerden biri de kimyasal oksijen ihtiyacıdır. Organik içeriğin redoks tepkimeleri yoluyla oksidasyonu işlemini temel alır ve mg/L birimleri ile ifade edilir. KOİ, atıksu yapısında bulunan organik içeriğin oksidasyon işlemi için ihtiyaç duyulan oksijen miktarı şeklinde belirlenebilir (Peker, 2007).

Elektron alış veriş yapmayan organik bileşikler için kimyasal oksijen ihtiyacı kavramı söz konusu değildir. Bununla birlikte elektron alış veriş yapmayan bileşikler ve birkaç istisnai durum hariç, organiklerin tamamının oksidasyona uğrayacağı kabul edilir ve KOİ'nin hesaplanmasında bu organikler göz önüne alınır (Samsunlu, 1999). Bu sayede canlı yaşamı için zehir niteliğinde olan atıksuların organik madde yoğunluğu da tespit edilmiş olur (Peker, 2007)

2.2.3. pH

pH bir sıvının asidik ya da bazik olma durumunun derecesini veren bir ifade olup, sıvıdaki H^+ ve OH^- iyonlarının yoğunluğunu veya aktifliğini belirtir (Peker, 2007). Ayrıca sudaki; kimyasal yumaklaştırma, dezenfekte olma, sertliğin giderilmesi ve korozyon etkilerinin önüne geçilmesi konusunda önemi çok yüksektir. Bu sebeple pH, atıksu arıtım işlemlerinde daima göz önünde tutulması ve kontrolü yapılması gereken bir parametredir. Özellikle kireçleme ve çöktürme proseslerinde ihmal edilmemesi gerekir. H^+ ve OH^- iyon

yoğunluğunun molar yoğunluk ifadeleri ile gösterilmesi kolay değildir. Bu sebeple iyon yoğunluğu logaritmik eşitlik ile belirlenir (Samsunlu, 1999).

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+] \quad (2.1)$$

$$\text{pOH} = -\log [\text{OH}^-] \quad (2.2)$$

pH değeri 7 olan sular nötral, 7'den büyük olan sular bazik ve 7'den küçük olan sular da asidik sular şeklinde belirtilir. Tabi sular için pH, 4-9 değerleri arasında değişir ve birçoğu yapısında bulunan karbonat ve bikarbonat bileşikleri sebebiyle az da olsa bazik özellik gösterir (Peker, 2007).

2.2.4. İletkenlik (EC)

İletkenlik, bir sulu çözeltinin bir elektrik akımını taşıma kabiliyetini gösterir. Evsel atık suların iletkenliği genelde 50 ila 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığındadır, ancak bazı endüstriyel atıksuların iletkenliği 10000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'den daha yüksektir. Atık su, su kaynağındaki çözünmüş katı konsantrasyonlarıyla bağlantılı normal bir iletkenlik aralığına sahiptir. Atıksuyun iletkenliğinde önemli bir artış, muhtemelen bir endüstriyel kaynaktan gelen anormal bir deşarjı gösterir (WEF, 2007).

Bu bağlamda ortaya çıkan elektriksel iletkenlik atıksu kirlilik parametrelerinin en önemlilerinden bir tanesidir. İletkenlik değeri yüksek olan suların hem evsel hem de endüstriyel alanda kullanımları da sıkıntılı sonuçlar doğurabilmektedir (Yeşilirmak, vd., 2007).

2.3. Membran Prosesleri

2.3.1. Membran proseslerinin tarihsel gelişimi

Membran proseslerine ait ilk sistematik çalışmalar, 18. yüzyılın filozof bilim adamlarına kadar uzanmaktadır. 1748 yılında Abbé Nollet bir diyafram kullanarak yaptığı deneyle suyun nüfuz etme özelliğini keşfetmiş ve bu durumu tanımlamak amacıyla ozmos kelimesini kullanmıştır (Baker, 2012). 1800'lü yıllara gelindiğinde selüloz kullanılarak ilk yapay membran, 1900'lü yılların başlarında ise ilk ultra ve mikrofiltrasyon membranlar geliştirilmiştir (Erkmen, 2013).

20. yüzyılın başlarına kadar membran sistemleri ticari anlamda hiç kullanılmamış olup sadece fiziksel veya kimyasal teorileri gerçekleştirmek amacıyla yapılan laboratuvar araştırmalarında araç olarak kullanılmıştır. Özellikle ilk araştırmacılar birçok farklı tipte diyafram kullanarak membran deneyleri gerçekleştirmiştir. Bu deneylerde domuz, sığır ve balık mesaneleri veya çeşitli hayvanların bağırsaklarından imal edilmiş olan ürünler diyafram olarak kullanılmıştır. Ancak daha sonralarda tekrarlanabilir olmalarının verdiği avantaj sebebiyle nitroselülozdan yapılmış membranlar tercih edilmeye başlanmıştır. 1907 yılında ise Bechhold tarafından dereceli gözenek boyutuna sahip nitroselüloz membranların hazırlanması için bir teknik geliştirmiştir. Sonraki 20 yıl içinde de membranların yapımında diğer polimerler ve özellikle de selüloz asetat kullanılmaya başlanmıştır (Baker, 2012).

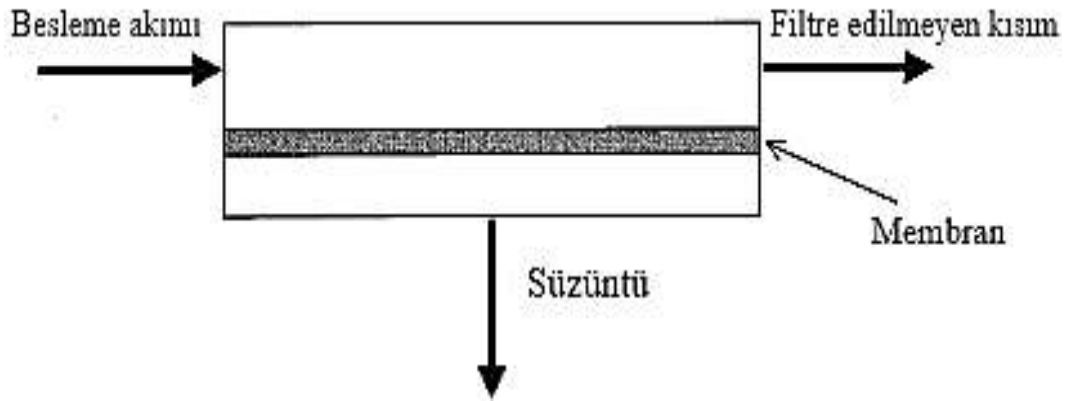
Membran sistemlerinde ticari anlamdaki ilk girişim 1920'li yıllarda bir Alman firması tarafından yapılmıştır. Bu girişimle birlikte ticari kullanıma kazandırılan membran sistemleri, 20. Yüzyılın ikinci yarısına kadar özellikle küçük parçacıkların ve mikroorganizmaların tutulmasında kullanılmıştır. Sonraki yıllarda elektrodialize membranların geliştirilmesiyle birlikte deniz suyunun arıtılması ve tuz giderimi sağlanmıştır (Erkmen, 2013).

İlk zamanlar çok yüksek olan membran maliyetleri sürekli devam eden gelişmeler sayesinde daha düşük hale getirilmiştir (Taşyıcı, 2009). 20. yüzyılın ikinci yarısına gelindiğinde ise membran prosesleri daha büyük boyutlarda üretilebilir hale gelmiş ve başta endüstriyel alanlar olmak üzere pek çok yerde kullanılmaya başlanmıştır. Günümüz dünyasında ise membran prosesleri geniş kullanım alanına sahip olmalarının yanı sıra, su kaynaklarının korunması ve geri kazanımı amacıyla atıksu arıtma tesislerinde de yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Taşyıcı, 2009; Kaykıoğlu, 2010).

2.3.2. Membran tanımı ve özellikleri

Membranlar için tam bir tanım elde etmek zor olsa da, genel tanım olarak membranlar, iki faz arasında seçici bir bariyer görevi gören, geçirgen veya yarı geçirgen bir engel olarak tanımlanabilir (IAEA, 2004; Mulder, 1996; Topacık, 2006; Salt ve Dinçer, 2006). İki faz tabirini; sıvı-sıvı, katı-sıvı ve gazların birlikteliği şeklinde betimlemek mümkündür.

Fazların, membran yoluyla birbirinden ayrılması olayında konsantre ve süzüntü olmak üzere iki farklı terim ile karşılaşılır. Konsantre, ayırım işlemi sonucunda membrandan geçemeyen kısım, süzüntü ise membrandan geçerek ayrılan kısım olarak tanımlanabilir. Söz konusu iki kısmın birbirinden ayrılma ve membrandan geçip geçmeme durumlarını belirleyen bir takım etmenler mevcuttur. Bu etmenlere ise itici kuvvetler denir (Topacık, 2006). Bu itici kuvvetler; basınç, konsantrasyon, sıcaklık veya elektrik potansiyeli olabilir.



Şekil 2.2. Membran ayırma işlemi (Tsuru, 2001).

Membran sistemleri kimyasal madde kullanımı olmadan tek aşamalı bir şekilde sonuca götüren sistemlerdir (Varbanets, vd., 2009). Ayrıca yüksek enerji verimliliği, uygulama basitliği, kolay ölçeklendirilmesi, oda sıcaklığında çalışabilmesi ve herhangi bir bozulmayla veya değişim isteğiyle karşılaşılması da membran proseslerinin tercih sebepleri arasında gösterilebilir (Strathmann, vd., 2006).

Geleneksel membran sistemleri büyük tanecikleri karışımdan uzaklaştırılmak için kullanılmaktadır. Kaliteli membranlardan istenen özelliklerin başında kütle akısının fazla olması gelmektedir. Bu özellik membran kalınlığı ne kadar azalır o kadar artmaktadır. Bu sebeple membran kalınlığı olabildiğince az tutulmalıdır (Helvacı ve Emrullahoğlu, 1999). Özellikle basınçla çalışan membran sistemlerinde basıncın artırılması ile birlikte elde edilen akı değeri de artmaktadır. Ancak yükselen basınçla birlikte bir süre sonra membranda sıkışmalar meydana gelmekte ve bu da yükselen akı değerinin düşmesine sebep olabilmektedir (Pala, 1982). Kütle akısını artıran bir diğer etken ise gözenek sayısının fazla olmasıdır. Bununla birlikte gözenek yapısı bir diğer önemli özellik olan seçiciliği de belirlemektedir. Amaçlanan seçiciliğe ulaşmak için por büyüklüklerinin

neredeyse aynı olması gerekmektedir. Bunların yanı sıra, bir membranın kalite derecesini belirleyen diğer özellikler de, yüksek sıcaklığa, basınca ve kimyasal maddelere karşı dirençli olması, inorganik olmayan çözücüler ile karşılaştığında zarar görmemesi ve mekanik dayanımının yüksek olması şeklinde sıralanabilir. Bütün bu özellikler membranın üretildiği malzemeye ve üretim şekline bağlı durumdadır (Helvacı ve Emrullahoğlu, 1999).

Bununla birlikte membran gözenekleri ayırım işleminin koşullarına bağlı olarak tıkanabilir ve membrandan istenilen verim alınamayabilir. Tıkanıklık problemi ya baştan engellenmeli ya da tıkanıklığı giderebilecek bir işlem uygulanmalıdır. Tıkanıklığın başlıca sebebi ayırım işlemi uygulanacak olan karışımın konsantrasyon polarizasyonudur. Bu durum özellikle yatay akım prensibine sahip membran işlemlerinde meydana gelen kayma gerilimi sonucu oluşur. Kayma gerilimi ile birlikte membran üzerindeki konsantrasyon, karışımdaki konsantrasyondan fazla duruma gelmekte ve membran gözeneklerinde gerek gözenek boyutundan büyük, gerekse küçük parçaların katılımı ile birikim gerçekleşmektedir. Meydana gelen birikim sonucunda da tıkanma sorunu ile karşılaşmaktadır. Bu nedenle yoğunluğu fazla olan karışımların membran işleminden önce yoğunluğunun düşürülmesi bu problemi saf dışı bırakabilir (Kaykıoğlu, 2010). Ayrıca tıkanmayı temizlemek amacıyla kullanılan belli başlı yöntemler vardır. Geri yıkama ve hava verme işlemlerini içeren fiziksel metod, kimyasal malzemeler ile uygulanan kimyasal metod, temelini nadir olarak gerçekleştirilen kimyasal yıkama işlemi oluşturan yerinde temizleme ve prosesin akı değerini azaltma bu yöntemlerin başında gelmektedir (Taşıyıcı, 2009).

Ayrıca membranların ekonomik açıdan uygunluğu ve kullanım avantajlarının iyi olması da oldukça önemlidir. Bu sebeple iyi bir membrandan, teknik özelliklerinin yanı sıra uzun kullanım süresine sahip olması, yüksek maliyetler gerektirmemesi, fazla yer kaplamaması ve taşınabilir olması beklenmektedir (Topacık, 2006).

2.3.2.1. Akı

Membran performansını belirleyen önemli etmenlerden bir tanesi olan membran akısı, membranın yüzey alanından işlem zamanı boyunca geçen madde akımının değeri

olarak tanımlanabilir. Bu sebeple akı (J), hacim (L), alan (m²) ve zaman (saat) birimlerinin meydana getirdiği bir eşitlik yoluyla hesaplanmaktadır. Söz konusu eşitlik;

$$J = L / (m^2 \cdot \text{saat}) \quad (2.3)$$

şeklinde ifade edilebilir (Kaykıoğlu, 2010).

2.3.2.2. Giderme verimi

Membran performansının belirlenmesinde rol oynayan bir diğer önemli etmende giderme verimidir. Filtrasyon işlemi ile birlikte uzaklaştırılan kısım yüzdesel olarak giderme verimi (R) şeklinde tanımlanabilir. Giderme verimi en az 0, en çok da 1 değerini alabilir. 0 değeri membranın hiçbir maddeyi tutmadığını ve besleme akımının değişikliğe uğramadan geçişine izin verdiğini gösterir. 1 değeri ise membranın besleme akımı içerisindeki tüm maddeleri tuttuğu anlamına gelmektedir. Giderme verimi, filtre edilen kısmın derişimi (C_p) ve işlem öncesindeki karışımın derişimine (C_f) ait değerler kullanılarak hesaplanabilir. Bu eşitlik;

$$R = (C_f - C_p) / C_f \quad (2.4)$$

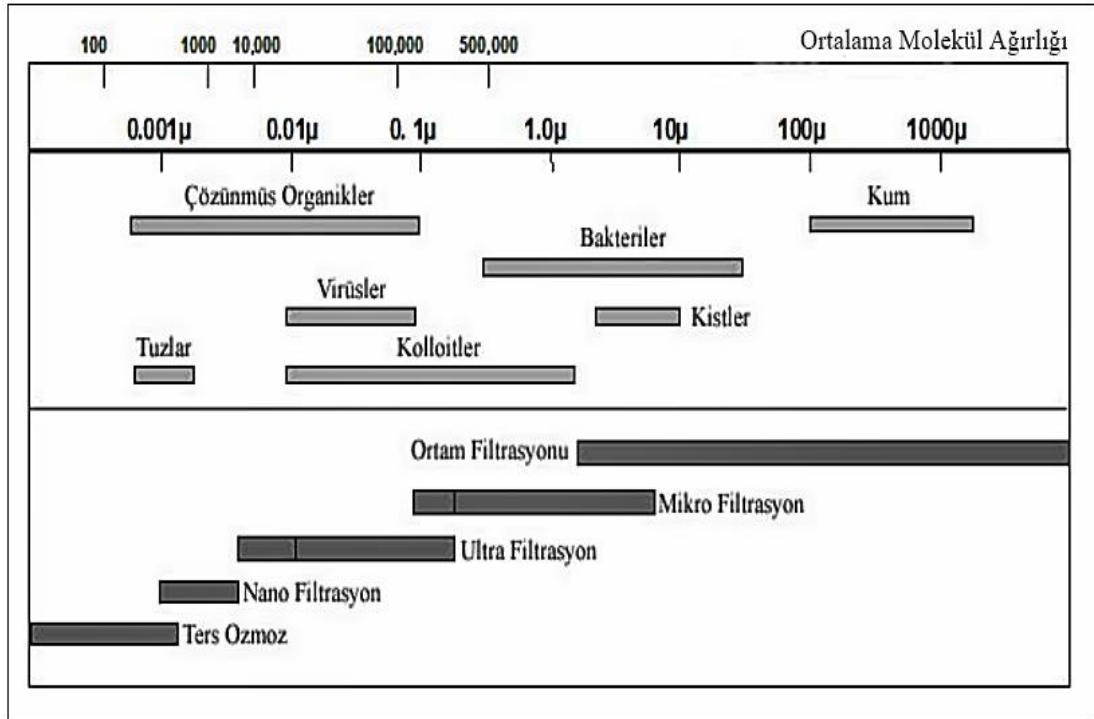
şeklinde ifade edilebilir. Eşitlikte bulunan 0-1 arasındaki giderme verim değeri 100 ile çarpılarak %R elde edilir (Kaykıoğlu, 2010).

2.3.3. Membran malzemeleri ve membranların sınıflandırması

Membranların üretiminde kullanılan malzemeleri organik ve inorganik olmak üzere iki ayrı gruba ayırmak mümkündür. Ayrıca membranlar üretildikleri malzemelere bağlı olarak organik veya inorganik membranlar şeklinde de adlandırılabilir. Organik membran malzemeleri; selüloz asetat, aromatik poliamid, florokarbon, poliimid, polisülfon ve polivinilidin florit şeklinde sıralanabilir (Büyükdere, 2008). Başlıca inorganik membran malzemeleri ise; farklı metal ve ametallerden oluşan seramik (γ -Al₂O₃, ZrO₂), cam (SiO₂) ve zeolitler (AlO₄, SiO₄) şeklindedir (Gönüllü, 2004).

İnorganik malzemelerden üretilen membranların organik malzemelerden üretilen membranlara göre, başta yüksek ısı, yüksek basınç ve kimyasal malzeme direnci olmak üzere birçok konuda üstünlüğü bulunmaktadır (Büyükdere, 2008). Membran sistemlerini

ayırma prensibine ve itici kuvvet tipine göre sınıflandırmak mümkündür. Bu kapsamda yapılan membran sınıflandırmasında, itici kuvvetler olarak basınç, sıcaklık, konsantrasyon ve elektrik potansiyeli göz önüne alınır. Bu sınıflandırma içerisinde kullanım açısından en çok tercih edilen grup ise itici kuvvetin basınç olduğu membran grubudur. Bu grup içerisinde yer alan membran tipleri ise; mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters osmoz membranlardır (Kaykıoğlu, 2010).



Şekil 2.3. Tutulan madde, por boyutu, membran tipi dağılımları (Kitiş, vd., 2009).

2.3.3.1. Seramik membranlar

Membran sistemlerinin birçoğu polimer malzemelerden üretilmektedir. Ancak son zamanlarda seramik malzemelerden üretilen membranlarda önem kazanmaya başlamıştır. Bunun sebebi seramik membranların polimerlerden üretilen membranlara göre daha kuvvetli özelliklere sahip olmasıdır. Seramik membranlar alüminyum, titanyum veya silisyum oksitler kullanılarak üretilmektedirler. Sahip oldukları yapı gereği yüksek sıcaklıklara ve kimyasallara karşı dayanım ve kararlılıkları oldukça yüksektir. Bu dayanımları sayesinde seramik mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyon membranlar; gıda, biyoteknoloji ve ilaç endüstrisinde özellikle tercih edilmektedirler.

Seramik membranlar, 0.01-10 μm aralığında değişen gözenek çapı gereksinimine sahip mikrofiltasyon ve ultrafiltasyon proseslerine uygun olarak, kaplamalı sinterleme yoluyla üretilirler. Kaplamalı sinterlemede; toz haldeki ince taneli seramik malzeme, bir bağlayıcı ile karıştırılıp hazırlandıktan sonra kalıba dökülür ve ardından da yüksek sıcaklıkta sinterlenir. Bu sayede gözenekli yapıya sahip destek tüpü şeklindeki seramik membranlar üretilebilir. Destek tüpü membranların gözenek çapı büyüktür. Bu sebeple membranın bir yüzü gözenek yapısını düzenleyecek ve istenilen boyuta getirebilecek bir malzeme ile kaplanarak mikrofiltasyon ve ultrafiltasyon uygulamaları için hazır hale getirilir (Baker, 2012). Seramik membranlar, temizlenmesi kolay malzemeler olup buharlı temizlemeye de olanak sağlamaktadırlar. Ayrıca bakteriyel etkilere karşıda oldukça dayanıklıdırlar. Bunun yanı sıra yapısı gereği ağır malzemeler olup üretimleri de pahalıdır. Ancak uzun yıllara varan kullanım sürelerinin oluşu bu dezavantajlı durumları göz ardı edilebilir hale getirmektedir. Başlarda daha çok atıksu arıtma tesislerinde kullanılan seramik membranlar son zamanlarda neredeyse tüm sektörlerde kullanılır hale gelmiştir (Ciora ve Liu, 2003).

2.3.4. Membran Tipleri

Düzenleniş şekillerine göre membranlar, plaka ve çerçeve, tübüler, boşluklu elyaf ve spiral sargılı membranlar şeklinde ayrılırlar.

Plaka ve çerçeve membranlar; büyük daire şeklindeki plakaların arasında bulunur. Bu tip membranlar kütleli fazlalığı ve hantal yapısı sebebiyle uygulama açısından elverişsizdir.

Tübüler membranlar; çok miktarda ki küçük filtrelerin daha büyük çaptaki boruların içine koyulması ile meydana gelirler. Basınçla çalışan membran tiplerindendir. Fazla yer kaplamaları ve imalatının yüksek maliyetli oluşundan dolayı sınırlı uygulama alanına sahiptir. Bu nedenle daha çok atıksu arıtma tesislerinde tercih edilmektedir.

Boşluklu elyaf membranlar; uzun ve çok küçük çapa sahip yüzlerce tüpün çok daha büyük çaplı bir boru içine yerleştirilmesinden meydana gelirler (Topacık, 2006).

Spiral sargılı membranlar; plaka çerçeve membranların daha kullanışlı hale getirilmiş biçimidir. Membran, içerisinden atıksuyun geçtiği bir borunun etrafına sarılmış biçimde bulunur. Mevcut durumda en çok tercih edilen membran tipidir (Gönüllü, 2004).

2.3.5. Sentetik membran üretimi

Sentetik membranların plaka ve silindir olmak üzere iki şekilde üretimi mevcuttur. Ham madde olarak seramik ve polimer malzemeler tercih edilir. Membranları yapısal olarak simetrik ve simetrik olmayan membranlar şeklinde üretmek mümkündür. Bununla birlikte membran üretiminde kullanılan birçok metot bulunmaktadır. Bu metotların başlıcaları; sinterleme, germe, çözücü buharlaşmasıyla film meydana getirme, difüzyon yardımıyla faz ayrılması, uçucu çözücü ve düşük uçuculuğa sahip sıvı içerisinde polimer çözdürme ve sıcaklık yoluyla faz ayrımı şeklinde sıralanabilir (Türken, 2013).

Bunların yanı sıra kompozit yapılı membran üretimi için uygulanan farklı metotlar da bulunmaktadır. Bu metotlar ise; arayüz polimerleştirilmesi, membran yüzeyine film uygulama, plazma polimerleştirilmesi ve yapısal olarak homojenize olan membranlara uygulanan iyonik değişimler şeklindedir (Gönüllü, 2004).

Sinterleme; seramik membran üretiminde tercih edilen bir metottur. Ham maddenin toz hale sahip yapısına yüksek sıcaklık ve basınç uygulanması ile gerçekleştirilir. Germe; kristal yapılı polimer malzemelere uygulanmaktadır. Polimer ergime noktasına yaklaştığı esnada seri bir çekme hareketiyle uzatılır ve bu sayede por oluşumları gerçekleşir. Malzeme bu pozisyondayken tekrar soğutulduğunda, kristal yapı yeniden şekil alır ve membran oluşumu tamamlanmış olur (Türken, 2013). Çözücü buharlaşmasıyla film meydana getirmede de; kullanılacak ham maddenin ağırlıkça en fazla %30'luk kısmının çözücü içinde çözdürülmesi sağlanır. Elde edilen çözelti ince film halinde uygun bir katman üstüne uygulanır. Daha sonra çözücü uçurularak ham maddeden meydana gelen kabuklaşmış bir yapıya ulaşılır. Membrana dayanım vermek amacıyla bu aşamada sıcaklık uygulaması da yapılabilir (Gönüllü, 2004). Bir diğer metot olan difüzyon yardımıyla faz ayrılması; çözücü ve ham maddeden oluşan karışımın başka bir sıvı buharıyla bir araya getirilmesi temeline dayanır. Çözücü ve sıvı buharı belli bir noktaya geldiğinde sıvı, çözücünün yerini alır. Buhar nüfuzu tamamlandığında kurutma işlemi ile sıvı ve çözücü uzaklaştırılır (Türken, 2013). Uçucu çözücü ve düşük uçuculuğa

sahip sıvı içerisinde polimer çözdürmede ise; ham madde, çözücü ve sıvı karışımı içerisinde sıvının uçurulmasıyla gerçekleştirilir. İşlem sonrasında membranı oluşturan film tabakası meydana gelir (Gönüllü, 2004). Sıcaklık yoluyla faz ayrımı işleminde de, ham madde çözücü içerisinde çözdürüldükten sonra çözelti sıcaklığı değiştirilir ve ham maddenin çöküp sertleşmesi sağlanır. Sonrasında da çözücünün uzaklaştırılmasıyla birlikte gözenekli yapı oluşturulur (Türken, 2013).

Kompozit membran üretim metotlarından olan arayüz polimerleştirilmesi; iki polimerin, karışım durumu olmayan iki sıvı yüzeyi arasında gerçekleşen polimerleşme işlemine dayanır. Membran üzerine film uygulamada ise membran, üzerine uygulaması yapılacak olan polimer çözeltisine batırılır ve membran üzerinde film katmanı oluşumu sağlanır. Plazma polimerleştirmesinde; membran ham maddeleri, elektrik akımı yoluyla gaz iyonlaştırma işlemi yapılan ortama eklenir. Tepkime sonrası meydana gelen ürün membran şekillendirmesinde rol alır. Son olarak yapısal olarak homojenize olan membranlara uygulanan iyonik değişimler metodunda ise, membranın bir yanı iyon gruplarının etkisinde bırakılarak tamamıyla değişik özelliklere sahip kompozit filtre oluşturulur (Gönüllü, 2004).

2.3.6. Basınçla çalışan membran sistemleri

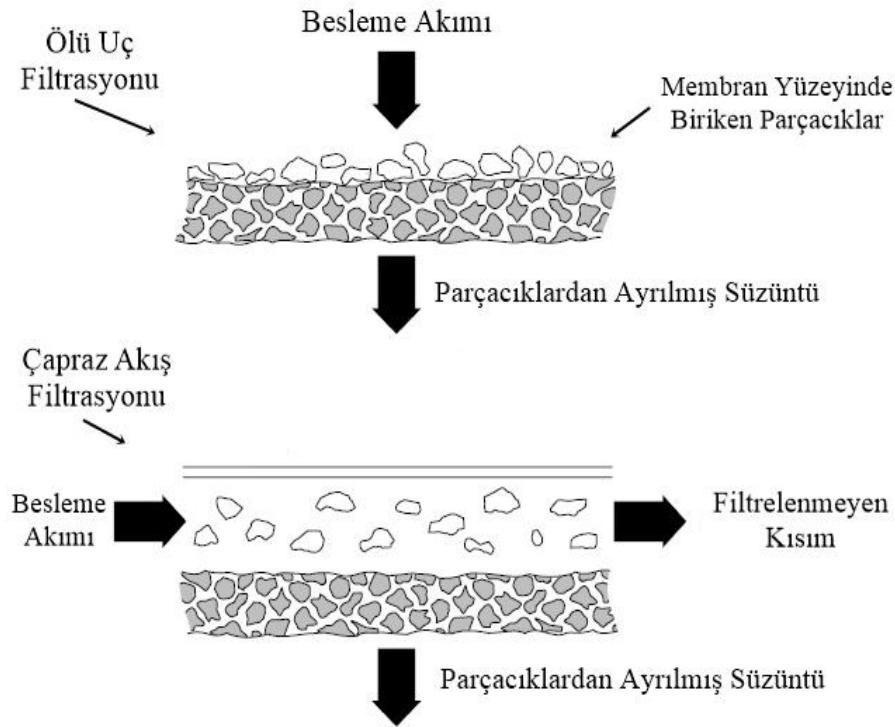
2.3.6.1. Mikrofiltrasyon membranlar

Mikrofiltrasyon (MF) membranlar basınç ile çalışan, gözenek boyutu 100 – 10000 nm aralığında olan ve genel olarak katı ile sıvının birbirinden ayrılması işleminde kullanılan membran tipleridir. Bu ayırım ile birlikte mikron ve mikrondan daha büyük boyuttaki katı parçacıklar sıvı içerisinde uzaklaştırılır (Rossignol, vd., 1998). Ayrıca sıvı bünnyeden katı parçacıklarla birlikte mikroorganizmalarda ayrılır (Arı, 2009).

Mikrofiltrasyon membranların karakterizasyonu, en fazla sayıda bulunan gözenek boyutuna göre yapılır. Bir parçacığın gözeneklerden geçip geçmeyeceği boyutsal özelliklerin yanında parçacığın ve membranın gözenek yapısına da bağlıdır (Baker, 2012). Bu membran sistemlerinde işletme basıncı 2-4 bar aralığında olup, 1-13 pH değerlerine kadar çalışma imkanı bulunmaktadır. Ayrıca MF membranlar yüksek sıcaklık değerlerine ve oksidasyona karşı dayanıklıdır (Baburşah, 2004).

MF membranların imalatında genellikle polipropilen, politetrafloretillen, polikarbonat gibi organik polimerler kullanılmaktadır. Ancak son zamanlarda seramikler, metaller ve cam elyaf gibi inorganik malzemelerde imalat için tercih edilir hale gelmiştir (Yarmuhammet, 2012). Bu değişimin temel sebebi inorganik malzemeden yapılan membranların birçok konuda ki dayanımlarının (sıcaklık, basınç vb.) organik olanlara göre daha üstün olmasıdır.

Membran randımanını yükseltmek için gözenek sayısı artırılmalı, gözenek çapı da azaltılmalıdır. MF membranlarda iki çeşit akış göze çarpar. Bunlardan biri ölü uç, diğeri ise çapraz akıştır. Çapraz akışta, gözeneklerden geçemeyen partiküller besleme akımı ile birlikte akışa devam ederek sistemden çıkar. Bu akışta arıtılacak olan karışımın bir bölümü arıtılırken diğer bölümü ise işlem görmemiş olur. Ölü uçta ise arıtılacak olan karışımın tamamı membrandan geçirilerek tam arıtma hedeflenmektedir.



Şekil 2.4. Ölü uç ve çapraz akış filtrasyonu (Baker, 2012).

MF prosesleri; ilaç, yiyecek, içecek, nükleer, kimya ve tekstil sanayinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bununla birlikte atıksu arıtma tesislerinde de MF uygulamaları çevresel anlamda önemli bir yer tutmaktadır (Gönüllü, 2004).

2.2.6.2. Ultrafiltrasyon membranlar

Ultrafiltrasyon (UF) membranların gözenek çapı 2 – 100 nm aralığında değişmektedir ve MF membranlara göre seçiciliği daha fazladır. Bu sayede protein gibi küçük bakteriler, virüsler ve çözünür makro moleküller membran tarafından tutulabilmektedir. Gözenek çapı küçüldükçe çalışma basıncı artacağından UF membran sistemlerinin çalışma basınç değerleri 0.5 – 5 bar aralığında değişmektedir (Salvador, vd., 2012). Bununla birlikte UF membranlar renk gibi kirletici etkilerin sadece bir bölümünü (%31 ila %76 arası) giderebilirken, makro molekül ve parçacıkların tamamını ortamdan uzaklaştırabilirler. UF, ters-osmoz işleminde ya da biyolojik bir reaktör ile kombinasyon halinde bir ön arıtma sistemi olarak kullanılabilir (Moulin, vd., 2006).

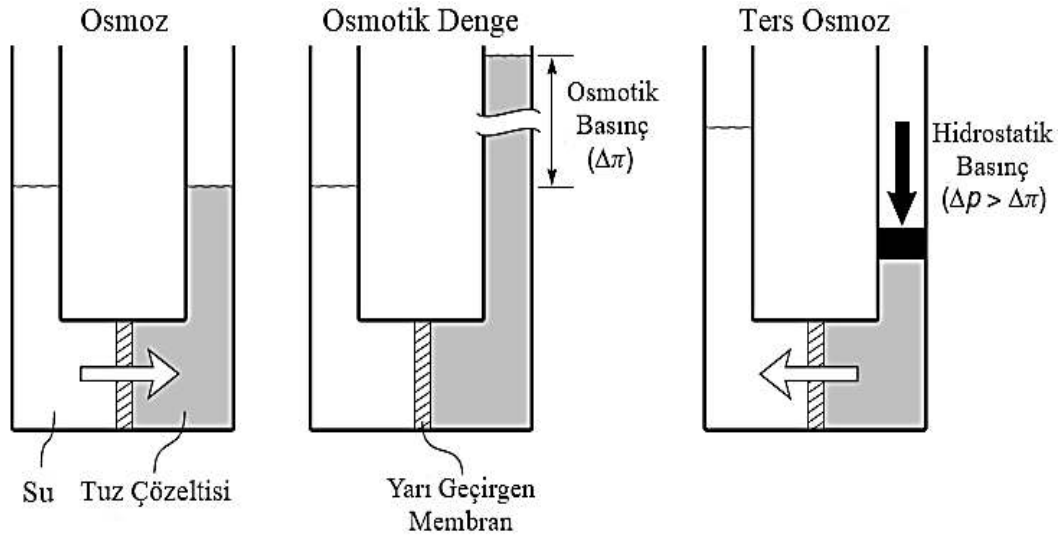
UF membranların tutuculuk dereceleri molekül ağırlığı engelleme sınırı (MWCO) ifadesiyle tanımlanır. Bu sınır her membran çeşidi için tespit edilmiştir (Arı, 2009). MF membranlardan olduğu gibi işletme pH aralıkları 1 – 13 aralığındadır. Yüksek sıcaklıklara, kimyasallara, oksidasyonlara ve klora karşı dayanıklıdırlar. UF membran sistemleri de çapraz akış prensibine göre çalışmaktadır. Bu şekilde membrandan geçemeyen parçacıklar devamlı olarak sistemden uzaklaştırılmakta ve gözenekleri tıkayacak şekilde birikmesi engellenmektedir. Bu sayede UF membranlar daha uzun ömürlü bir kullanım ortaya koyar (Gönüllü, 2004). UF membranların polimerler ile olan üretimi bir faz ters çevirme işlemi ile yapılmakta olup, kullanılan polimer malzemeler; polisülfonlar, poliviniliden florür, poliakrilonitril, selülozlar, poliimid ve alifatik poliamidler şeklinde sıralanabilir. Buna ek olarak, alümina (Al_2O_3) ve zirkonya (ZrO_2) gibi inorganik yapılı seramik malzemelerde UF membranların üretiminde kullanılmaktadır (Mulder, 1996). UF sistemlerinin; yiyecek ve içecek, sağlık, tekstil, kimya sanayilerinde ve içme suyu arıtmasında yaygın olarak kullanım alanı bulunmaktadır (Taşıyıcı, 2009).

2.3.6.3. Ters osmoz membranlar

Osmoz, düşük konsantrasyona sahip çözelti içerisindeki sıvının daha yüksek konsantrasyona sahip bir çözelti içerisine geçme eğilimi olarak tanımlanabilir. Bu eğilimi açıklayan doğal basınca ise osmotik basınç adı verilir. Ters osmozda ise osmoz olayının tersine yüksek konsantrasyona sahip çözeltideki sıvı, düşük konsantrasyona sahip

çözeltiye geçer. Bu olay; iki çözelti arasında bulunan yarı geçirgen membran doğal osmotik basınç altınayken, sisteme tersi yönde daha yüksek bir basınç uygulanması sonucu meydana gelir.

Ters osmoz (RO) membran sistemleri sulu çözeltilerden çözünmüş iyonları ve kirletici küçük molekülleri ayırmak amacıyla kullanılır. İşlemde uygulanacak olan basıncın belirlenmesinde hem doğal osmotik basıncın hem de membranın gösterdiği akma direncinin değeri önemli rol oynar. Ters osmoz işlemiyle, toplam çözünmüş inorganik katılar %95 ila %99,5, çözünmüş organik katılar ise %95 ila %97 arasında uzaklaştırılmış olur (IAEA, 2004).



Şekil 2.5. Osmoz, osmotik denge ve ters osmoz ilişkisi (Baker, 2012).

Membranların gözenek boyutu 0.001 μm 'den daha küçüktür (Salt ve Dinçer, 2006). Ters osmoz membran sistemlerinde, uygulanacak olan işletme basıncı 20 – 100 bar gibi büyük basınç değerlerine çıkabilmektedir. Ancak ilerleyen teknoloji sayesinde günümüzde bu değer sistem koşullarına bağlı olarak 10 bar'a kadar indirilmiştir.

Ters osmoz membranlar çoğunlukla sodyum tuzunun % giderimine göre gruplandırılmaktadır (Arı, 2009). Bu özelliklerin yanı sıra; aşırı basınç, membranın suda çözünmesi, bakteri üremesi ve yüksek işletme sıcaklığı gibi etmenler, membran etkinliğini azaltmakta hatta durdurmaktadır. Bu sebeple sistem çalışır hale getirilmeden önce problem oluşturacak etmenlerin ortadan kaldırılması gerekmektedir.

Ters osmoz sistemi kullanılarak gerçekleştirilen tuzlu su arıtma işlemlerinde, kullanılan diğer metotlara (distilasyon, elektrodializ) kıyasla daha düşük miktarda enerji tüketilmektedir (Gönüllü, 2004). Ayrıca RO membranlar tuzlu su prosesleri dışında gıda, sağlık, elektronik ve atıksu arıtma sektörlerinde de kullanım alanına sahiptir (Salt ve Dinçer, 2006). Özellikle spiral sargılı ters osmoz membranlar, üretimlerinin pahalı olmaması, uygulama basitliği ve fazla alana ihtiyaç duymamaları sebebiyle tercih edilmektedir (Gönüllü, 2004).

RO membran üretiminde gösterdikleri optimum dayanımlar sebebiyle kullanılan başlıca malzemeler selüloz asetat ve poliamid şeklinde ifade edilebilir (Büyükdere, 2008).

2.3.6.4. Nanofiltrasyon membranlar

Nanofiltrasyon (NF) membranlar, sahip oldukları özellikler bakımından ters osmoz ve ultrafiltrasyon membranların arasında yer alırlar. Çözeltilerde bulunan iyonları tutarak iyon etkinliğini azaltır. Bunun yanı sıra sudaki sertliğin düşürülmesini ve organik parçacıkların uzaklaştırılmasını sağlar (Mohammad, vd., 2003). Parçacık boyutu 0.001 μm 'den daha fazla olan maddeleri tutarlar ve membranların MWCO sınırı 10^2 ila $3 \cdot 10^2$ arasında değişmektedir (Kaykıoğlu, 2010). Nanofiltrasyon membranlar çoğunlukla çözeltiden uzaklaştırabildikleri % sodyum klorür ve % magnezyum sülfat miktarına göre gruplandırılırlar. Ayrıca MWCO sınırı da bu gruplandırmada göz önünde bulundurulmuş bir parametredir. İşletme basınçları RO membranlara göre daha düşüktür. -1 ve +1 değerlikli iyonlara nazaran yüksek değerliğe sahip iyonlara ve düşük molekül ağırlığı olan çözülmüş maddelere karşı seçicilikleri daha yüksektir (Arı, 2009).

NF membranların çalışma pH değerleri 1 ile 10 arasındadır. Ayrıca bu membran tipleri tıkanma problemine karşı zayıf oldukları için işlem öncesinde tıkanmayı önlemek amacıyla bir ön arıtma aşaması uygulanabilir (Gönüllü, 2004). NF membranlar; sudan mineral, iyon, ağır metal ve organik madde giderimi ve suyun sertlik değerinin düşürülmesi gibi birçok uygulamada etkin olarak kullanılmaktadır (Salt ve Dinçer, 2006). Bununla birlikte NF membran prosesleri endüstriyel anlamda özellikle tekstil, yiyecek ve içecek, boya, ilaç ve atıksu arıtma tesisleri gibi birçok alanda da tercih edilmektedir (Topacık, 2006).

3. LİTERATÜR ÖZETİ

Bottino vd., 2001 yılında içme suyu arıtımı için seramik mikrofiltrasyon membran kullanımını araştırmışlardır. Bu amaçla Cenova yakınında bulunan bir gölden çektikleri ham su üzerinde mikrofiltrasyon işlemini uygulamışlardır. Yaptıkları analizlerde sıcaklık, membran basıncı ve çalışma süresi değişkenlerinin bir fonksiyonu olan süzüntü akısının davranışlarını ve membranın tutma kapasitesini incelemişlerdir. Sonuç olarak seramik mikrofiltrasyon membran ile askıda katı maddelerin, mikroorganizma ve yosunlar ile birlikte tamamen, toplam organik karbon ve kloroformların ise sırasıyla % 64 ve % 56 oranında giderildiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca süzüntü akısının konsantrasyon artışıyla birlikte düştüğünü ve en yüksek bulanıklılık değerindeyken 200 L/m² h değeri civarında olduğunu belirtmişlerdir.

Bendick vd., 2004 yılında seramik mikrofiltrasyon membran kullanarak kanalizasyonlardan taşan suların meydana getirdiği karışımın arıtılması amacıyla bir çalışma yürütmüşlerdir. Deneylerde, α -Al₂O₃ kullanılarak üretilmiş ve 0.2-5 µm aralığında gözenek çaplarına sahip 4 farklı seramik mikrofiltrasyon membran kullanmışlardır. Su kalitesi ve akı oranı üzerinde çapraz akış hızı ve basıncın etkisini incelemişlerdir. Deneyler sonucu elde ettikleri su kaliteleri açısından yüzey suyu boşaltma kanalları için 0.2 ve 0.8 µm gözenek çapına sahip olan membranların diğerlerine göre daha uygun olduğunu tespit etmişlerdir. Bununla birlikte bu iki membranın, kimyasal ve biyolojik açıdan süzüntü suyu birleşimleri ile akı oranlarına baktıklarında uygulama için en uygun olanın 0.2 µm gözenek çaplı membran olduğunu belirlemişlerdir. Bu membran ile elde edilen KOİ değerleri 24-31 mg/L aralığında olup diğerlerine göre daha düşüktür. Ayrıca diğer membranlar ile yapılan işlemler sonucu süzüntü suyunda kalan dışkı koliformları, bağırsak yollu ve hastalık yapıcı bakteriler 0.2 µm gözenek çaplı membran ile elde edilen süzüntü suyunda bulunamamıştır.

Khemakhem vd., 2006 yılında yaptıkları bir çalışmada Tunus kilinden ürettikleri seramik mikrofiltrasyon membran ile mürekkep balığı prosesi atıksuyunun arıtılmasını incelemişlerdir. Membran sistemini iki katmanlı olarak üretmişlerdir. Membran katmanları, % 48.5'i 6.3 µm çapa sahip yakın merkezli gözeneklerden oluşan destek ve ortalama gözenek çapı 0.18 µm olan mikrofiltrasyon katmanından oluşmaktadır. Çalışmada hem α -Al₂O₃ ile üretilmiş endüstriyel seramik membranı hem de Tunus

kilinden hazırlanmış membranı birlikte kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre her iki membranında çözünmüş organik karbon ve bulanıklık gideriminin sırasıyla, yaklaşık % 65 ve 1 NTU olmak üzere neredeyse aynı olduğunu tespit etmişlerdir.

Almandoz vd., 2010 yılında yaptıkları bir çalışmada ise, seramik mikrofiltrasyon membran kullanarak mısır şurubunun arıtılmasını incelemişlerdir. Bunun için kendi ürettikleri sırasıyla yarıçapları 0.14-0.5-0.75 μm olan gözeneklere sahip 3 farklı membran kullanmışlardır. Yaptıkları testler sonucunda en yüksek verimi gözenek yarıçapı 0.5 μm olan mikrofiltrasyon membrandan almışlar ve mısır şurubunun arıtımıyla ilgili çalışmanın sonraki kısımlarını bu membran ile yapmışlardır. 10.3-103.4 kPa aralığında değişen işletme basınçlarında, sıcaklığı 60 °C tutarak 1.32-3.18 m/sn aralığında akış hızları elde etmişlerdir. Geri yıkamasız yapılan deneyin ilk saatlerinde süzülme akısında % 60-70 arası bir azalma gözlemişlerdir. Meydana gelen akı düşüşünün sebebi olan tıkanmayı, farklı engelleme ve kek filtrasyon modelleri ile değerlendirmişlerdir. Sonuç olarak elde edilen deneysel veriler ile gözenek engelleme modelleri arasında bir ilişki olduğunu tespit etmişlerdir. Sonrasında geri yıkama işlemini uygulayarak deneyleri tekrar yaptıklarında 95-105 L/m² h aralığında yüksek akı değerleri elde etmişler ve filtrasyon işlemi esnasında uzun bir süre geri yıkama işleminin yapılması gerektiğini belirtmişlerdir. Giderim konusunda elde ettikleri sonuçlara göre, kullandıkları seramik MF membranın bulanıklık, çözünmeyen katı ve toplam protein uzaklaştırmasında geleneksel döner vakum filtrasyonuna göre çok daha iyi performans gösterdiğini tespit etmişlerdir.

Ghosh vd., 2010 yılında 0.045 m² filtrasyon alanına sahip α – alümina ve kilden üretilmiş çapraz akışlı tübüler mikrofiltrasyon membran kullanarak, giysi işleme endüstrisinin kükürt siyahı atıksuyunu artırmak amacıyla bir çalışma yürütmüşlerdir. Membran filtrasyonunu, kimyasal koagülasyon ve adsorpsiyon işlemleri ile kombine bir şekilde gerçekleştirmişlerdir. Çıkış suyu konsantrasyonunu 5912 NTU bulanıklık ve 3910 mg/L KOİ değerlerine sahip kükürt siyahı boya ile zenginleştirmişlerdir. Adsorplama işlemini E. Crassipes isimli su altı bitkisinden hazırladıkları biyosorbent ile gerçekleştirmişlerdir. Kimyasal ön arıtma işlemini çeşitli inorganik koagulantlar kullanmışlardır. 1 kg/cm² basınçta sabit basınç filtrasyonu yürütmüşler ve 0.4-1.2 kg/cm² aralığında, farklı membran basınçlarının etkisini de gözlemlemişlerdir. Tek kademeli çapraz akışlı membran performansını, süzülme açısından iki kademeli süreçler olan KOİ,

bulanıklılık, AKM ve akı etkisi ile karşılaştırmışlardır. Yaptıkları deneylerin sonuçlarına göre KOİ değerlerinde %80-99 arasında giderim tespit etmişler ve buna dayanarak mikrofiltrasyon işleminin ön arıtma sistemiyle daha yüksek verim verebileceğini belirtmişlerdir.

Gomes vd., 2010 yılında mikrofiltrasyon işlemi ile biyodizel ve gliserol'ün ayrılması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Deneyleri, 0.2, 0.4 ve 0.8 μm gözenek çapı ve 0.005 m^2 filtrasyon alanına sahip Al_2O_3 ve TiO_2 'den üretilmiş membranlar kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. Deneyin birinci kısmında, kütsel bileşimi %80 biyodizel, %10 gliserol ve %10 susuz etanol olan sentetik karışımın, 60°C sıcaklık ve 1, 2, 3 bar basınçlarda mikrofiltrasyon işlemini yapmışlardır. Membran performansını, gliserol tutma kapasitesi ve süzüntü akısı değerlerine göre değerlendirmişlerdir. Deneysel sonuçlara göre membran basıncının biyodizel mikrofiltrasyonu üzerinde güçlü bir etkiye sahip olduğunu belirtmişlerdir. En iyi sonucu 0.2 μm gözenek boyutuna sahip membranda ve 2 bar basınçta elde etmişlerdir. Bu koşullar altında ve aynı sıcaklık değeri ile yapılan önceki deneylerde etanol katkısının filtrasyon işlemine etkisini de incelemişlerdir. Besleme çözeltisinde, en yüksek konsantrasyonda (%20) etanol kullandıklarında, çıkış akımındaki en yüksek gliserol miktarını elde etmişlerdir. En düşük akı azalma hızı ve en yüksek gliserol tutma verimini ise en düşük (%5) etanol konsantrasyonu ile elde etmişlerdir.

Mohammadi vd., 2010 yılında yaptıkları çalışmada yağlı atıksular üzerinde seramik malzemeden yapılmış mikrofiltrasyon membranların performansını araştırmışlardır. Tübüler seramik ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) MF membran sistemini Tahran rafinerisinin API akıntısından gelen tipik bir yağlı atıksuyun arıtımında kullanmışlardır. Ayrıca membranın; giderme verimi, kirlenme direnci parametreleri ile birlikte süzüntü akısı üzerinde, çapraz akış hızı ve sıcaklığın etkilerini de incelemişlerdir. Deneysel çalışmayı, 1.25 bar basınç, 2.25 m/sn çapraz akış hızı ve 32.5 °C sıcaklık koşullarında gerçekleştirmişlerdir. Bu sistemin, ulusal deşarj standartlarında olan ve %95'ten daha yüksek TOC giderimi sağlayan, 4 mg/L yağ ve gres içeriğine sahip süzüntü suyu üretebildiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca membran gözeneklerini tıkayan yağ damlacıkları ve partiküllerin temizliğini geri yıkama işlemi ile yapmışlar ve bu işlemin sistemdeki akı düşüşünü önemli ölçüde engelleyebildiğini de gözlemlemişlerdir.

Madaeni vd., 2012 yılında γ -Al₂O₃ esaslı seramik mikrofiltrasyon membran kullanarak petrokimyasal yağlı atıksudan kok giderimini sağlamak amacıyla bir çalışma yapmışlardır. Kullandıkları membran sistemi ile kok parçalarının gideriminde oldukça yüksek bir verim almışlardır. Bununla birlikte çalışmada filtrasyon süresi ve yeniden kullanılabilirlik gibi bazı parametreler ile birlikte sıcaklığın etkisi de incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre uçucu organik bileşiklerin miktarında önemli bir değişiklik olmamasına rağmen askıda katı madde miktarında dikkat çekici bir azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Sıcaklığın yükseltilmesi ile birlikte oluşan çözücü yayılımındaki artış ve viskozite düşüşünün akışı artırdığını gözlemişlerdir. Mikrofiltrasyon işlemi 15 bar basınç, 2 m/sn çapraz akış hızı ve 20-80 °C aralığında değişen farklı sıcaklık koşullarında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca membranın yeniden kullanım durumunu da incelemişler ve HCl'nin etkili bir çözüm sunmadığını ancak NaOH'nin normal akının geri kazanımı konusunda istedikleri sonucu verdiğini tespit etmişlerdir.

Salvador vd., 2012 yılında yaptıkları bir çalışmada seramik endüstrisi atıksuyunun arıtımında polimer yapılı nanofiltrasyon membran kullanımını incelemişlerdir. İlk olarak atıksu içerisinde bulunan organik maddeleri (KOİ azalması) ve Na⁺, Mg⁺², Cl⁻ ve SO₄⁻² gibi çoğunlukta bulunan iyonları gidermeyi hedeflemişlerdir. Deneysel fazı optimize etmek amacıyla çalışmanın birinci bölümünde, nanoflux yazılımı kullanarak nanofiltrasyon işlemi gerçekleştirilen bir simülasyon kullanmışlardır. Simülasyondaki duruma göre süzöntü akış hızının fonksiyonuna ve giderim olayında maddeleri tutma düzeyine bakılarak en uygun membran seçiminin yapıldığını belirtmişlerdir. Bir sonraki deneyi ise düz bir membran ile çalışan teğetsel süzme sistemini kullanarak bir laboratuvar ortamında gerçekleştirmişlerdir. Düşük işletme basınçları kullanarak yapılan deneylerin sonucunda iyi bir akış hızı ve yaklaşık %90 giderme verimi elde edilmiştir.

4. MALZEMELER VE METODLAR

4.1. Kullanılan Cihazlar ve Kimyasal Malzemeler

Deneyisel çalışmalarda kullanılan cihaz ve kimyasal malzemeler aşağıdaki gibidir.

Cihazlar;

- UV/Visible Spektrofotometre (Hach Lange / DR 2800).
- UV/Visible Spektrofotometre (Merck / Nova 60).
- Dijital Termoreaktör (Merck / TR 320).
- pH Metre (Mettler Toledo / S20 Seven Easy).
- İletkenlik Ölçer (Hach Lange / HQ40D).
- Ultrasonik Banyo (Bandelin Sonorex / RK 106).
- Vakum Pompası (KNF / N022).
- Taramalı Elektron Mikroskobu/SEM (Philips / XL 30S FEG)
- Civa Porozimetre Cihazı (Micromeritics / AutoporeIV 9510)

Kimyasal Malzemeler;

- KOİ Analiz Kitleri (Merck / Fotometrik 5.0 – 80.0 mg/L).
- KOİ Analiz Kitleri (Merck / Fotometrik 25 – 1500 mg/L).
- KOİ Analiz Kitleri (Merck / Fotometrik 500 – 10000 mg/L).
- %99,99 Safılıkta, Civa (Hg).

4.2. Kullanılan Membranlar ve Sirkülasyon Sistemi

Deneyisel çalışmalarda kullanılan tübüler seramik (α -Al₂O₃) membranlar TÜBİTAK 1003 Projesi kapsamında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü tarafından üretilmiştir. Çalışmada kullanılan membran tipleri ve adetleri aşağıdaki gibidir.

- Destek membran - 5 adet.
- Mikrofiltrasyon membran - 5 adet.

Membranların iç çapı yaklaşık 14,2 mm olup, uzunlukları ise yaklaşık 205 mm'dir.

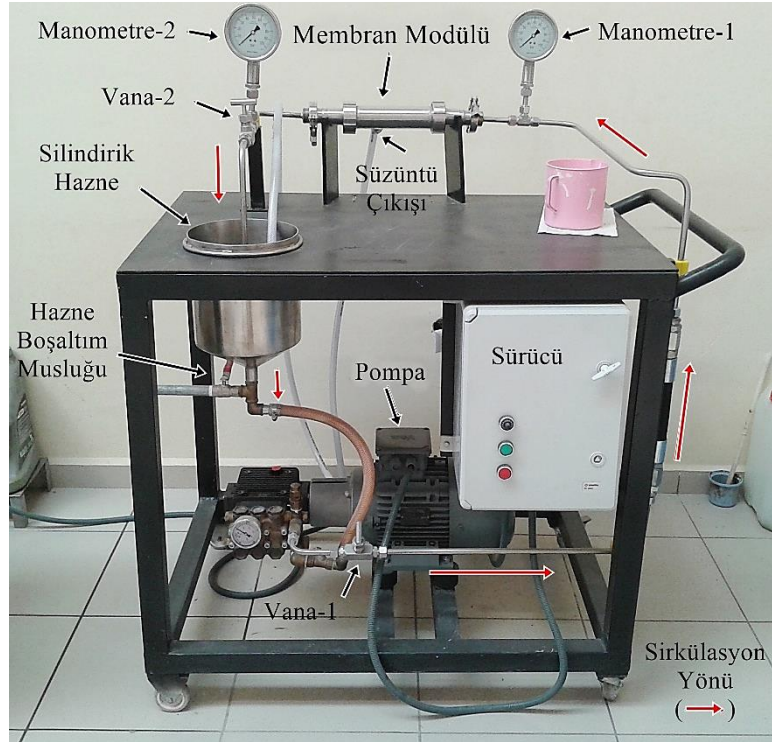


Şekil 4.1. Tübüler seramik (α -Al₂O₃) membran.

Sirkülasyon sistemi Onmak Mak. San. ve Tic. Ltd. Şti. tarafından imal edilmiştir. Sistem paslanmaz metal malzemeden üretilmiş kapalı boru hatlarından oluşmakta olup sıvı sirkülasyonu 5.5 kW gücündeki bir pompa (Volt / SP 1420) ile sağlanmaktadır. Pompa hızı sürücü (Delta / VFD Serisi) kontrolü ile ayarlanmaktadır.

Sistemin sıvı basıncının ayarlanması 2 adet vananın hareketi ile sağlanmakta olup basınç değeri boru hattına bağlı 2 adet gliserinli manometre ile bar cinsinden ölçülmektedir. Sistemin üst kısmında membranın yerleştirildiği bir modül bulunmaktadır. Modülün ve membranın sızdırmazlığı plastik contalar ile sağlanmaktadır. Membrandan geçirilen besleme akımının filtre edilen süzüntü kısmının alınabilmesi amacıyla modülün alt kısmında bir çıkış noktası bırakılmıştır.

Bununla birlikte sisteme sıvı deşarjının yapılabilmesi ve numune alımlarının gerçekleştirilmesi amacıyla alt kısmı konik yapıda olan, üst kısmı açık silindirik bir hazne bulunmaktadır. Bu haznenin alt kısmında sıvının boşaltımı amacıyla da bir musluk bulunmaktadır. Tüm bu sistem yine paslanmaz metal malzemeden üretilmiş olan bir platform üzerine yerleştirilmiştir.



Şekil 4.2. Sirkülasyon sistemi.

4.3. Kullanılan Atıksular

Çalışmada membranlar ile Bilecik ilinde faaliyet gösteren Bien Seramik ve Porland Porselen fabrikalarının üretim prosesleri sonucu oluşan atıksuların arıtım işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bien Seramik fabrikasından alınan atıksular arıtma giriş ve masse hazırlama, Porland Porselen fabrikasına ait atıksular ise sırlama ve üretim olmak üzere, ayrı ayrı 4 atıksu hattından alınan numunelerden oluşmaktadır.

4.4. Kullanılan Metotlar

4.4.1. Destek ve MF membranların üretimi

Membranların üretim sürecini destek membran üretimi ve bu destek membranın bir çözücü yardımıyla kaplanması temeline dayanan MF membran üretimi şeklinde ikiye ayırmak mümkündür. Destek membran üretiminde ilk olarak hamur hazırlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem için kullanılan malzemeler, karışım miktarları ve malzeme özellikleri çizelge 4.1’de verilmiştir. Bu malzemelerden oluşan karışım iyice yoğurulmuş ve homojen yapı kazanımı için bir kıyma makinası kullanılarak 2-3 kez kıyma işlemine tabi tutulmuştur.

Çizelge 4.1. Membran hamurunda kullanılan malzeme, miktar ve özellikleri.

Malzeme Cinsi	Tane Boyutu (μm)	Miktarı (gr)	Markası
$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ (Alfa-Alümina)	0.5	146	Almatis
	1.3	374	
	4	3146	
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (Böhmit)	-	110	Disperal / Sasol
HPMC (Hidroksipropil Metil Selüloz)	-	124	Methocel / F4M
$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ (Gliserin)	-	110	Dalan Kimya
Deiyonize Su	-	700-760	-

Hamurdaki fazla havanın alınması amacıyla ikinci ve daha sonraki kıyma işlemlerinde makinaya bir süzgeç takılmış ve kıyma işlemi devam ederken bir yandan da vakum pompası ile birlikte fazla olan hava uzaklaştırılmıştır. Tekrarlanan bu işlemler sonucunda istenilen kıvama ve homojen yapıya gelen hamur, kıyma makinasının çıkışına takılan bir aparat yardımıyla silindir (sucuk) şekline getirilerek, makina dışına alınmıştır. Daha sonrasında boyları sirkülasyon sisteminde bulunan membran modülüne uygun olacak şekilde misina kullanılarak kesilen hamur parçaları, tübüler yapının oluşturulması amacıyla pistonlu ekstruderden geçirilmiştir. Bu işlem sonrasında membran tüpleri, kuruması için birkaç gün dış ortamda bekletilmiş ve yeterli kuruluğa ulaşan membran tüpleri 1525 °C’de 2 saat boyunca sinterleme işlemine tabi tutulmuştur. Sinterleme işlemi sonrasında kalıcı kristal yapıya sahip seramik destek membranlar elde edilmiştir.

MF membranlar, destek membranların sol-jel metodu ile kaplanması sonucu elde edilmiştir. Kaplaması yapılacak olan karışımın hazırlanmasında kullanılan malzemeler ve miktarları çizelge 4.2.’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Kaplama hazırlama işleminde kullanılan malzemeler ve miktarları.

Malzeme Cinsi	Tane Boyutu (μm)	Miktarı
%3'lük Toz Al_2O_3 (Alümina)	0.5	3 gr
%0.2'lik PVA (Polivinil Alkol)	-	93.2 gr
Deiyonize Su	-	90 ml
Dolapix	-	1 Drop
Defoamer	-	Değişken

Kaplama karışımının hazırlanması işleminde ilk olarak deiyonize su bir beher içerisinde ve ısıtıcılı manyetik karıştırıcıda 80 °C'ye kadar ısıtılmıştır. Bu ısıtma sonrasında suya PVA eklenmiş ve tam olarak çözünene kadar beklenmiştir. PVA'nın çözünmesi sonrasında karışım ılık bir hale gelene kadar soğutulmuş ve ardından alümina ve dolapix eklenmiştir. Tüm malzemelerin koyulmasından sonra karışım homojen bir yapıya ve şeffaf jel kıvamına gelene kadar karıştırılmaya devam edilmiştir. PVA'dan kaynaklı olarak meydana gelen köpüğü engellemek ve uzaklaştırmak amacıyla defoamer kullanılmıştır. Kullanılacak olan defoamer miktarı oluşan köpüğün durumuna göre değişmektedir. Karışım istenilen jel kıvamına geldikten sonra destek membran tüplerinin tüm iç kısmına akış yoluyla ve her iki ağız kısmına da daldırma (1-2 cm karışım içerisine girecek şekilde) yoluyla boşluk kalmayacak şekilde 7 dk boyunca kaplanma yapılmıştır. İşleminin tamamlanmasının ardından kaplamanın kurutulması ve kalıcı film haline gelmesi amacıyla membranlar 1200 °C'de 2 saat süreyle sinterlenmiş ve MF özelliğe sahip seramik membranlar elde edilmiştir.

4.4.2. Membranların karakterizasyonu

4.4.2.1. Destek membranların civa porozimetresi

Destek membranların gözenekliliğinin belirlenmesi amacıyla civa porozimetresi metodu kullanılarak karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Civa porozimetresi için, ilk olarak 5 cc'lik numune kabına kütlesi tartılan destek membran numunesi koyulmuştur.

Numuneye micromeritics / autopore IV 9510 cihazında, düşük (0,10 psia) ve yüksek basınç (60000 psia) uygulanarak %99.99 saflıktaki metalik civanın, numune gözeneklerine girmesi sağlanmıştır. Numune kütlesi ve gözeneklere giren metalik civanın kütlesi bilindiğinden, membran gözenekliliği cihaz yazılımı tarafından otomatik olarak hesaplanmıştır. İşlem, 5 destek membranının farklı olan 3 numunesine uygulanmıştır.

4.4.2.2. Destek ve MF membranların SEM analizi

Isıl işlem görmüş destek ve MF membran numunelerinin mikroyapısal özelliklerinin analizleri için yüksek çözünürlüğe sahip Philips / XL 30S FEG taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır. Görüntüler membranların iç üst yüzeylerinden ve kırık ara yüzeylerinden alınmıştır.

4.4.3. Atıksuların karakterizasyonu

Atıksuların karakterizasyonu için numune alımları Bien Seramik ve Porland Porselen fabrikalarının her birinin tüm atıksu deşarj hatlarından (fabrika başına 2 atıksu deşarj hattından toplamda 4 atıksu deşarj hattı) ikişer hafta arayla olmak üzere 3 kez gerçekleştirilmiştir. Alınan her bir numunenin miktarı 5 L'dir.

Atıksuların karakterizasyon ölçümleri, tübüler seramik membranlar ile gerçekleştirilecek olan arıtma işlemlerinde izlenecek yolların ve kullanılacak atıksuların kirlilik derecelerinin belirlenmesi amacıyla yapılmıştır. Alınan atıksu numunelerinin karakterizasyonu AKM, KOİ ve pH değerleri olmak üzere 3 parametre üzerinden gerçekleştirilmiştir. Ölçülen kirlilik parametreleri ile birlikte atıksu özelliklerinin yanı sıra, çalışmanın ilerleyen deneysel kısımlarında daha hassas ölçümler yapılabilmesi amacıyla, kullanılması gereken KOİ kitlerinin aralıkları da belirlenmiştir.

4.4.3.1 Askıda katı madde miktarı (AKM) tayini

Atıksuların AKM ölçümleri Bilecik 1. Organize Sanayi Bölgesi'nin Merkezi Atıksu Arıtma Tesisi'ne ait laboratuvarda, Hach Lange / DR 2800 spektrofotometre cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. AKM ölçüm işlemi için cihaza ait olan kapaklı ve camdan yapılmış numune kapsülünün içerisine, ölçümü yapılacak olan atıksu numunesinden, iyi bir karıştırma işlemi sonrasında 15 ml alınmıştır. Karıştırma işlemi,

atıksuyun kirlilik yükleri açısından homojenliğinin sağlanması amacıyla yapılmıştır. Daha sonrasında kapsül cihazın okuma yuvasına koyulmuş ve cihaz ekranından seçim yapılarak AKM ölçüm işlemi otomatik olarak mg/L cinsinden gerçekleştirilmiştir.

Spektrofotometre cihazının AKM ölçümü için maksimum sınırı 750 mg/L'dir. Bu nedenle AKM değeri bu sınır değer üzerinde olan atıksularda ilk seferde okuma yapılamamıştır. Okuma yapılamayan atıksulara saf su ile seyreltme işlemi uygulanmış ve ölçüm bu şekilde tekrar gerçekleştirilmiştir. Seyreltme uygulanarak ölçülen AKM değerleri bu durum dikkate alınarak hesaplanmıştır.

4.4.3.2. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) tayini

Kimyasal oksijen ihtiyacı tayin işlemleri Merck marka olan ve 3 farklı aralıkta ölçüm yapabilen KOİ analiz kitleri kullanılarak 2 aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir. İlk aşama kitlerin içerisine atıksu numunelerinin koyulması ve termal reaktörde kitlerin içerisinde bulunan kimyasal ile tepkimeye sokulması işlemi kapsamaktadır. KOİ analiz kitlerinin içerisinde bulunan kimyasal madde bileşimi; sülfürik asit, cıva(II)sülfat ve potasyum dikromattan oluşmaktadır.



Şekil 4.3. KOİ tayininde kullanılan analiz kitleri.

Bu işlem için öncelikle 5-80 mg/L, 25-1500 mg/L ve 500-10000 mg/L değer aralıklarında ölçüm yapabilen analiz kitlerinden, ölçüm yapılacak olan KOİ değer

aralığına uygun kit tipi seçilmiştir. Kullanılacak olan analiz kiti kapağı açılmadan önce içerisinde bulunan kimyasal bileşimin iyice karışması amacıyla birkaç defa çalkalanmıştır. Daha sonra analizi yapılacak olan atıksudan, seçilen kit tipine göre sırasıyla 2 ml, 3 ml veya 1 ml alınarak kit içerisine boşaltılmış ve kitin kapağı kapatılarak tekrardan birkaç kez çalkalanmıştır. Ardından analiz kiti, 148 °C'ye ısıtılmış olan Merck / TR 320 dijital termal reaktöre koyulmuş ve 2 saat boyunca sıcaklık değeri sabit tutulmak suretiyle bekletilmiştir.



Şekil 4.4. KOİ tayininde kullanılan dijital termal reaktör.

2 Saatin sonunda reaktörden çıkartılan analiz kiti oda sıcaklığına gelmesi amacıyla dış ortamda bir süre bekletilmiş ve ardından işlemin ikinci aşamasına geçilerek Merck / Nova 60 spektrofotometre cihazının okuma yuvasına dikkatli bir şekilde yerleştirilmiştir. Cihaz yerleştirilen kiti otomatik olarak tanımakta olduğundan, KOİ değerini herhangi bir müdahale olmadan mg/L cinsinden okuyarak ekranında göstermiştir.



Şekil 4.5. KOİ tayininde kullanılan spektrofotometre.

4.4.3.3. pH tayini

pH tayin işlemleri Mettler Toledo / S20 Seven Easy pH metre cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. pH ölçümü gerçekleştirilecek olan atıksu bir beher içerisine alındıktan sonra pH metre cihazının probu atıksu içerisine daldırılmış ve cihaz ekranında okunan değer dengeye gelene kadar beklenmiştir. Okunan değer denge noktasına ulaşip sabitlendikten sonra atıksuya ait pH değeri olarak kaydedilmiştir. pH metrenin kalibrasyonu her ölçüm öncesinde ayarlama kimyasalları ile kontrol edilmiş ve eğer kalibrasyonda bozulma gözlenmişse cihaz yeniden kalibre edilmiştir.



Şekil 4.6. pH tayininde kullanılan pH metre.

4.4.3.4. İletkenlik tayini

İletkenlik tayin işlemleri Hach Lange / HQ40D iletkenlik ölçüm cihazı kullanılarak $\mu\text{S}/\text{cm}$ cinsinden gerçekleştirilmiştir. İletkenlik ölçümü yapılacak olan atıksu bir beher içerisine alındıktan sonra 25°C 'ye getirilmiş ve iletkenlik ölçüm cihazının probu atıksu numunesi içine daldırılmıştır. Ardından cihaz ekranında okunan değerin dengeye ulaşması beklenmiş ve değer denge noktasına ulaşp sabitlendikten sonra okunan iletkenlik değeri kaydedilmiştir. İletkenlik ölçümleri yapılmadan önce %0.05'lik NaCl solüsyonu ile cihaz kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. İletkenlik tayini karakterizasyon işlemlerinde gerçekleştirilmemiş olup, atıksuların arıtma işlemleri sırasında uygulanmıştır.

4.4.4. Atıksu arıtma işlemi ve membran performanslarının incelenmesi

4.4.4.1. Numune alımı ve atıksuların ön filtrasyonu

Tübüler seramik membranlar kullanılarak gerçekleştirilecek atıksu arıtım işlemi için ilk olarak Porland Porselen ve Bien Seramik fabrikalarına ait atıksuların her birinden miktarları 5 L olmak üzere 3'er adet yeni numune alımı gerçekleştirilmiştir. Bu numune alımı karakterizasyon işleminden farklı olarak membran sistemi ile arıtılacak olan atıksu numunelerinin alımını kapsamaktadır.

Membran sistemi ile gerçekleştirilen atıksu arıtma işlemleri öncesinde, sistemin tecrübe edilmesi amacıyla deneme çalışmaları yapılmış ve bu çalışmalar sırasında, atıksuların katı madde içeriği sebebiyle sirkülasyon sistemini çok hızlı bir şekilde tıkadığı tespit edilmiştir. Bu nedenle atıksuların membran sistemine sokulmadan önce bir ön filtrasyon işleminden geçirilmesinin bu sorunu önleyebileceği kanısına varılmıştır.

Bu bağlamda, atıksu numunelerinin tamamı, membran sistemine sokulmadan önce, KNF / N022 vakum pompası, seramik huni ve 20-25 μm aralığında gözenek boyutuna sahip kaba süzgeç kağıdı kullanılarak süzölmüş ve katı madde içeriği azaltılmıştır.

4.4.4.2. Membranlar ile seramik atıksularının arıtılması işlemi

Ön filtarsyon işleminden geçirilen atıksuların destek ve MF membranlar ile arıtım işlemi, ayrı ayrı olmak üzere 3 farklı basınç değerinde (2, 4 ve 6 bar) gerçekleştirilmiştir. İşlemin ilk aşamasında membranların maksimum akı performanslarını belirlemek ve referans akı değerleri elde etmek amacıyla her bir membrandan saf su geçirilerek saf su akıları ölçülmüştür. İkinci aşamasında ise seramik atıksuları, ilk olarak destek membrandan geçirilmiş, daha sonra da seri bağlı olarak MF membrandan geçirilmiştir. Bu şekilde hem destek membranların, hem de MF membranların performanslarının daha pratik bir şekilde incelenmesi amaçlanmıştır.

Membran sistemi kullanılarak gerçekleştirilen atıksu arıtma işlemi için ilk olarak kullanılacak olan membran, membran modülünün içerisine yerleştirilmiş ve membranın her iki ağız kısmına da plastik contalar takılarak sızdırmazlığı sağlanmıştır. Ardından sistemin besleme haznesi yarısına kadar saf su ile doldurulmuştur. Dolum işlemi sonrasında, sürücü üzerinden verilen komutla birlikte pompa çalıştırılarak atıksuyun sirkülasyonu ve bu sayede de membran geçirimi başlatılmıştır. İstenilen sistem basıncı (2, 4 veya 6 bar), boru hattı üzerinde bulunan vanalar hareket ettirilerek ya da sürücü yardımıyla pompanın hız değeri değiştirilerek ayarlanmıştır. Sabit basınç altında ve çapraz akış prensibine göre, membrana ulaşan saf suyun bir kısmı membrandan geçerken, bir kısmı da membrandan geçmeden sirkülasyona devam etmiştir. Membrandan geçen saf su, arıtım işlemi bitene dek modülün alt kısmındaki süzüntü çıkış noktasına bağlı bir hortum ile birlikte tekrardan besleme haznesine verilmiş ve membrandan geçmeyen saf su ile sürekli olarak karışım halinde tutulmuştur. Membran geçirim işleminin tamamlanmasının ardından membran modülünün süzüntü çıkış noktasındaki hortum yoluyla, su sistemden alınmıştır.

İşlemin tamamlanıp tamamlanmadığı belirli zaman aralıklarında ölçülen süzüntü akış hızının durumuna göre tespit edilmiştir. Akış hızının ölçümü için 1000 ml hacme sahip bir beher kullanılmıştır. Sistem çalışması devam ederken süzüntü çıkışını sağlayan hortum, beher içerisine çevrilmiş ve beherin tüm hacmini kaç saniyede doldurduğu gözlemlenmiştir. Akış hızı ölçümünde hacim sabit tutulmuş ve tek değişken zaman olarak alınmıştır. Süzüntü akış hızı, membranın maksimum tutuculuğa eriştiği anda sabitlenmektedir. Bu da membranın sıvı içerisinde tutabileceği başka bir maddenin

kalmadığını, dolayısıyla gözeneklerde birikimin durduğunu ve işlemin tamamlandığını göstermektedir. Bu şekilde gerçekleştirilen ölçümlerde, süzüntü akışının beher hacmini doldurma zamanının sabitlendiği noktada işlemin sona erdiği anlaşılmış ve sistem durdurulmuştur.

Çalışma esnasında elde edilen süzüntü akış hızları kullanılarak membranlara ait akı değerleri hesaplanmıştır. Beherin gerçek hacmi (0.91 ml) bir mezür yardımıyla tespit edilmiş ve yapılan hesaplamalarda behere ait gerçek hacim değeri kullanılmıştır. Bu işlem destek ve MF membranların tamamı için, her atıksu arıtma işlemi öncesinde 3 basınç değerinde de yeniden gerçekleştirilmiş ve tüm membranların, kullanım sayılarına bağlı olarak değişen saf su akıları belirlenmiştir.

Saf suyun membran geçiriminin tamamlanmasının ardından sistem boşaltılmış ve seramik atıksularının arıtım işlemine geçilmiştir. Membran modülünün içerisine, sızdırmazlığı sağlanacak şekilde ilk olarak destek membran yerleştirilmiş ve sistemin besleme haznesi yarısına kadar atıksu ile doldurulmuştur. Ardından pompa çalıştırılmış ve sirkülasyon başlatılmıştır. Sirkülasyonun başlamasının hemen sonrasında sistem basıncı da istenilen değere ayarlanmıştır. Saf su geçiriminde olduğu gibi atıksu arıtma işleminde de atıksuyun membrandan geçerek arıtılan süzüntü kısmı, işlem bitene kadar besleme haznesine verilmeye devam edilmiştir. Süzüntü akış hızları belirli zaman aralıklarında kontrol edilerek, akış hızının sabitlendiği noktada arıtma işlemi tamamlanmış ve sistem durdurulmuştur. İşlem gören su sistemden alınmadan, destek membran, membran modülü içerisinden çıkartılmış ve yerine MF membran yerleştirilerek sistem tekrar çalıştırılmıştır. Destek membran ile gerçekleştirilen arıtma işlemi aynı şekilde MF membran ile de gerçekleştirilerek seramik atıksuyunun arıtımı tamamlanmıştır. Tüm bu işlemler, seramik atıksu numunelerinin tamamı için 3 farklı basınç değerinde ayrı ayrı uygulanmıştır.

4.4.4.3. Membranların atıksu performanslarının belirlenmesi

Kullanılan membranların atıksu performansları, akı ve giderme verimi parametreleri üzerinden incelenmiştir. Membranlara ait atıksu akıları destek ve MF membranlar ile gerçekleştirilen atıksu arıtma işlemlerinde ölçülen her bir hacimsel akış hızı değerinin (litre/saat), membranın iç yüzey alanına (metrekare) bölünmesi ile elde

edilmiştir. Kirlilik giderme verimleri ise; ham atıksu durumunda, ön filtrasyon sonrasında, destek membran geçirimi sonrasında ve MF membran geçirimi sonrasında elde edilen tüm sulardan alınan analiz numunelerinin, AKM, KOİ, pH ve iletkenlik değerleri ayrı ayrı ölçülerek hesaplanmıştır.

4.4.4.4. Membranların temizlenmesi

Yapılan deneysel çalışmalarda membranların çoğu, birden fazla kez kullanılmıştır. Bu sebeple her bir membranın atıksu arıtımı için tekrar kullanımı öncesinde, ilk olarak iç kısmı saf su ve yumuşak bir fırça kullanılarak temizlenmiş, daha sonra da membranlar ultrasonik banyoda 3 saat süreyle yıkanmıştır. Yıkama işleminin ardından membranlar dış hava ortamında kurumaya bırakılmıştır.

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmanın amacı, seramik sektöründe faaliyet göstermekte olan 2 fabrikaya ait atıksuların, 4 kirlilik parametresi üzerinden karakterizasyonlarının yapılması ve bu atıksuların bir sirkülasyon sistemi kullanılarak, α -alüminadan (α -Al₂O₃) üretilen tübüler seramik destek ve mikrofiltrasyon membranlar ile farklı işletme koşullarında arıtımlarının gerçekleştirilmesi ve işlem sonucu elde edilen veriler ışığında, membran performans göstergeleri olan akı değerleri ile giderme verimlerinin belirlenmesidir. Bu amaç doğrultusunda membran kullanım sayısı ve atıksu kirlilik parametrelerinin, membran akılarının değer ve değişimlerine olan etkileri de ayrıca incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen membran akıları ve giderme verimlerinin, her atıksu ve membran için kıyaslamaları yapılmıştır. Bundan sonraki kısımlarda geçen atıksu isimleri, çizelge 5.1’de verilen şekillerde kısaltılmıştır.

Çizelge 5.1. Atıksu isimlerinin kısaltmaları.

Ait Olduğu Fabrika	Alındığı Hat	Kısaltması
Porland Porselen	Sır hazırlama	P-SH
	Üretim	P-Ü
Bien Seramik	Masse hazırlama	B-MH
	Arıtma giriş	B-AG

5.1. Membranların Karakterizasyonu

5.1.1. Destek membranların civa porozimetresi

Destek membran numunelerine ait civa porozimetresi sonucunda elde edilen veriler çizelge 5.2’de verilmiştir.

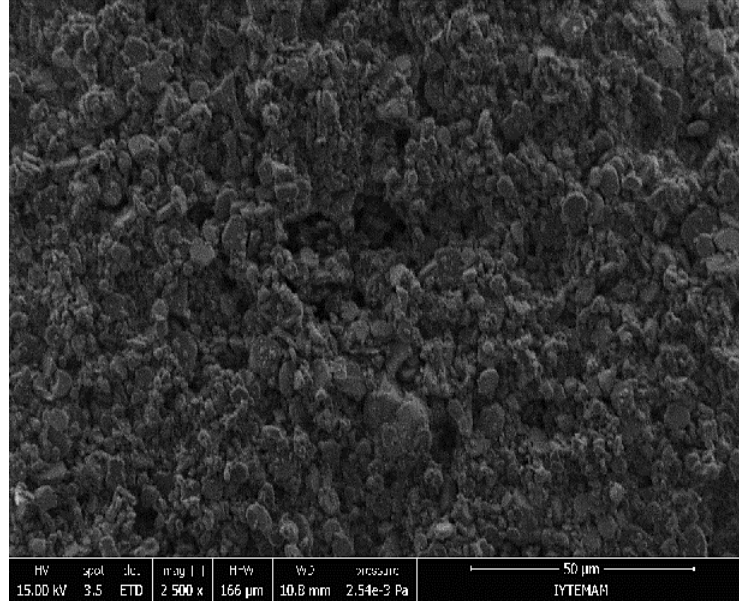
Çizelge 5.2. Destek membran numunelerinin karakterizasyon verileri.

Numune	Ortalama Gözenek Çapı (µm)	Gözeneklilik (%)
1.	1,0308	28,32
2.	1,5222	32,73
3.	1,2271	30,03

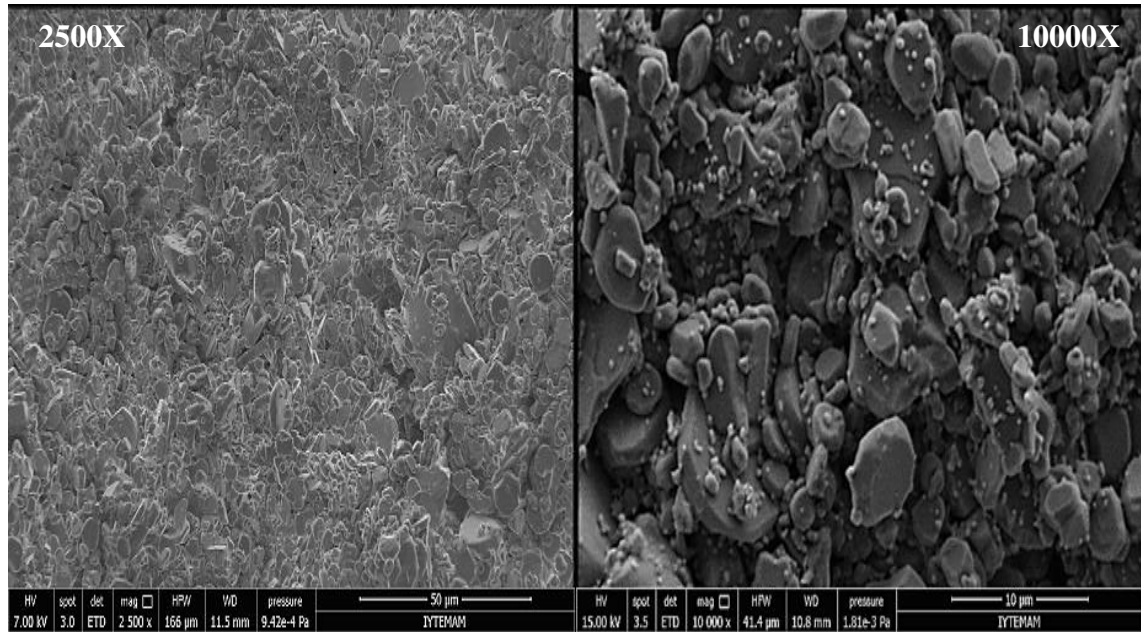
Çizelge 5.2'ye bakıldığında destek membranların 1,0308-1,5222 μm aralığında gözenek çapına, %28,32-32,73 aralığında gözenekliliğe sahip olduğu görülmektedir.

5.1.2. Destek ve MF membranların SEM analizi

Destek membranlara ait SEM analizi ile elde edilen görüntüler şekil 5.1 ve şekil 5.2'de verilmiştir.



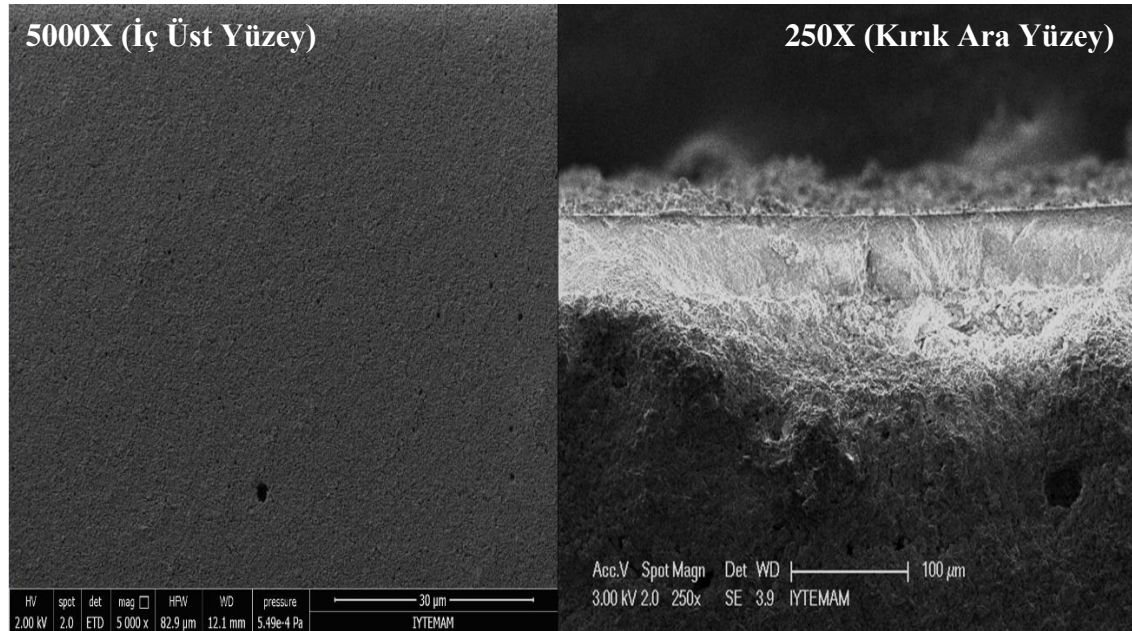
Şekil 5.1. Destek membran kırık ara yüzeyinin 2500X'teki SEM görüntüsü.



Şekil 5.2. Destek membran iç üst yüzeyinin 2500X ve 10000X'teki SEM görüntüleri.

Destek membranının iç üst yüzey ve kırılma ara yüzeyinden elde edilen SEM görüntülerinde, mikroyapıyı meydana getiren granüllerin, boyut olarak membran yapımında kullanılan ham maddelerin tane boyutlarında ($0,5\ \mu\text{m}$, $1,3\ \mu\text{m}$ ve $4\ \mu\text{m}$) olduğu görülmektedir. Bununla birlikte kullanılan α -alüminalarda en küçük tane boyutunun $0,5\ \mu\text{m}$ olmasına rağmen, mikroyapıda daha küçük boyutta tanecikler olduğu tespit edilmiştir. Bu taneciklerin sinterleme sonrasında, α -alüminaya dönüşen böhmitten kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca kırık ara yüzey görüntüsüne bakıldığında bazı gözeneklerin diğerlerine göre daha büyük ($10\text{-}15\ \mu\text{m}$ civarında) olduğu gözlemlenmektedir. Bu büyük gözenek oluşumu, hamurun hazırlanması ve ekstruderden geçirilmesi sırasında bağlayıcı organik polimerde meydana gelen kısmi çözünmeyle alakalı olabilir. Bununla birlikte bağlayıcı polimerin gözenek sayısını da artırdığı, böhmitten ise tam tersi yönde etki yaparak gözenek boyut ve sayısını azalttığı tespit edilmiştir. Ayrıca görüntülerde ekstrüzyon sırasında kalıp yüzeylerinde meydana gelen kaymanın gözenek boyutunun artmasına izin vermediği ve daha iyi tanecik paketlenmesi meydana getirdiği belirlenmiştir.

MF membrana ait SEM analizi ile elde edilen görüntüler şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.3. MF membran iç üst yüzeyinin 5000X ve kırık ara yüzeyinin 250X'teki SEM görüntüleri.

MF membrana ait SEM görüntülerine bakıldığında, MF membranının yapısal olarak destek membrana nazaran daha pürüzsüz ve çatlaksız bir yüzeye sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca SEM görüntüleri MF membrana ait gözenek boyutlarının destek membran gözenek boyutlarına göre daha küçük olduğunu da göstermektedir. Bu durumun kaplamanın hazırlanmasında kullanılan ham maddelerin tane boyutuyla alakalı olduğu düşünülmektedir. MF membranının kırık ara yüzey görüntüsünde destek ve kaplamanın birbirleri ile olan durumu ve yapısal anlamdaki farklılıkları açıkça görülmektedir. Ayrıca kaplama destekten ayrı bir katman olarak dursa da, bir kısmının desteğe nüfuz ettiği de göze çarpmaktadır.

5.2. Atıksuların Karakterizasyonu

Bien Seramik ve Porland Porselen fabrikalarına ait ham atıksu numunelerinin karakterizasyonunda elde edilen veriler çizelge 5.3’de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Atıksuların karakterizasyon verileri.

Numunenin Alındığı Atıksu Hattı	Numune Sırası	KOİ (mg/L)	AKM (mg/L)	pH
P-SH	1	11485	36540	7,17
	2	12607	32730	7,91
	3	3621	8880	8,10
P-Ü	1	2259	11580	7,22
	2	554	2610	8,16
	3	3472	11670	7,92
B-MH	1	2616	7620	6,97
	2	1934	7710	8,68
	3	2407	5340	8,61
B-AG	1	3197	4800	7,57
	2	2121	4980	8,64
	3	4431	11730	8,50

Atıksuların karakterizasyonu sonucunda elde edilen AKM ve KOİ değerleri, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nın 2004 yılında yayınlamış olduğu Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde belirtilen, seramik atıksularının deşarj standartları ile karşılaştırıldığında, sınır değerlerin (KOİ; 80 mg/L, AKM; 100 mg/L) oldukça üzerindedir. Standartların, atıksuların çevreye zarar vermeyeceği maksimum kirlilik sınırlarına göre düzenlendiği göz önüne alındığında, bu atıksuların, çevreye verebileceği zararın büyüklüğü açıkça görülmektedir. Bu durum, yapılan çalışmanın gerekliliğini bir kez daha ortaya koymuştur. Bununla birlikte elde edilen pH değerleri standart değer aralığında (pH 6-9) çıkmıştır. Bu da incelenen seramik atıksularının asidik ve ya bazik etkiler açısından, çevreye zararlı bir durum teşkil etmeyeceğini göstermiştir.

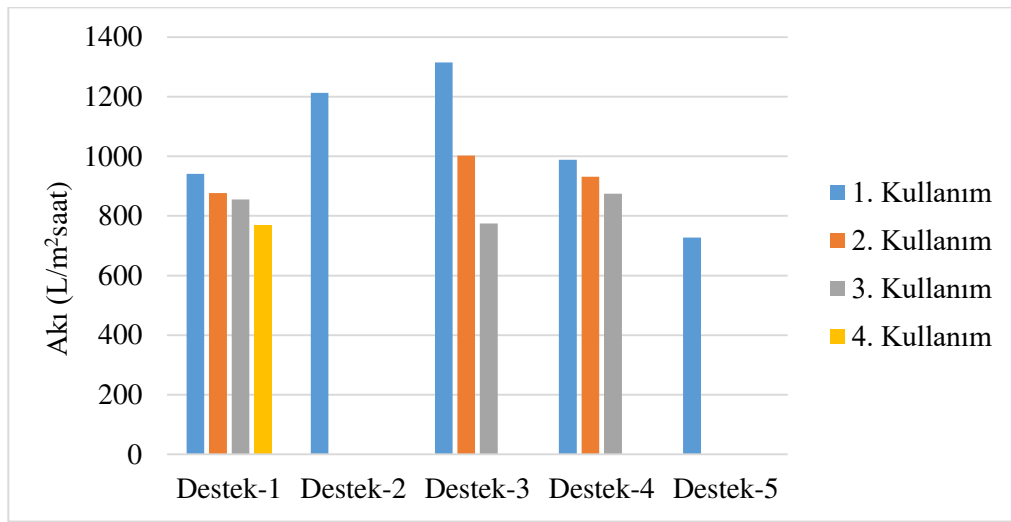
Seramik üretim prosesleri incelendiğinde seramik atıksularına ait AKM değerlerinin bu denli yüksek olmasına, özellikle çamur ve sır proseslerinde gerçekleştirilen yıkama işlemlerinin sebep olduğu düşünülmektedir. Bu proseslerde yüksek katı madde içeriğine sahip malzemeler kullanıldığından, kullanılan malzemelerden kopan ve ya dökülen katı partiküllerin, yıkama vb. işlemler ile birlikte atıksuya geçmesi sonucu, atıksuya ait AKM değerleri de yükselmiş olabilir. Ayrıca atıksuların KOİ değerlerinin de yüksek oluşu, sulara karışan partiküllerin inorganik içeriğinin yanında, hatırı sayılır bir organik içeriğe sahip olduğunu da göstermektedir.

Bien Seramik'e ait arıtma giriş ve masse hazırlama atıksularının KOİ değerleri birbirine yakın olsa da, Porland Porselen'in sır hazırlama hattından gelen atıksuyun KOİ değerleri, üretim hattı atıksuyuna ve Bien Seramik atıksularına ait KOİ değerlerinden oldukça yüksektir. Buda Porland Porselen'e ait sır hazırlama hattından gelen atıksuyun, organik madde içeriğinin diğerlerine göre daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte Porland Porselen'e ait sırlama hattı atıksuyunun, AKM değerleri de diğer atıksulara göre daha yüksek çıkmıştır. Tüm bu durumlar göz önüne alındığında Porland Porselen'in sırlama prosesinde hem organik hem de katı madde içeriğine sahip malzeme kullanımlarının fazla olduğu düşünülebilir.

5.2. Membranların Saf Su Akıları

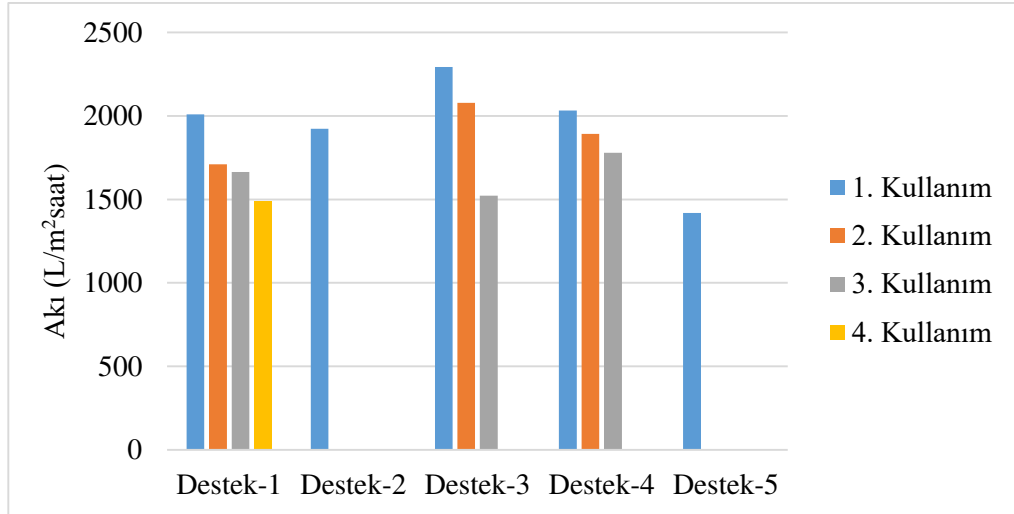
Membran sistemi ile gerçekleştirilen çalışmalarda, kullanılan destek ve MF membranların, 2, 4 ve 6 bar olan sistem basınçlarında, farklı kullanım sayılarına göre membran akıları belirlenmiştir. Destek membranlarda; tek membran için en fazla 4 kez, MF membranlarda ise; tek membran için en fazla 5 kez kullanım gerçekleştirilmiştir.

Destek membranların 2, 4 ve 6 bar basınçta, kullanım sayılarına göre elde edilen saf su akıları sırasıyla şekil 5.4, şekil 5.5 ve şekil 5.6'da verilmiştir.



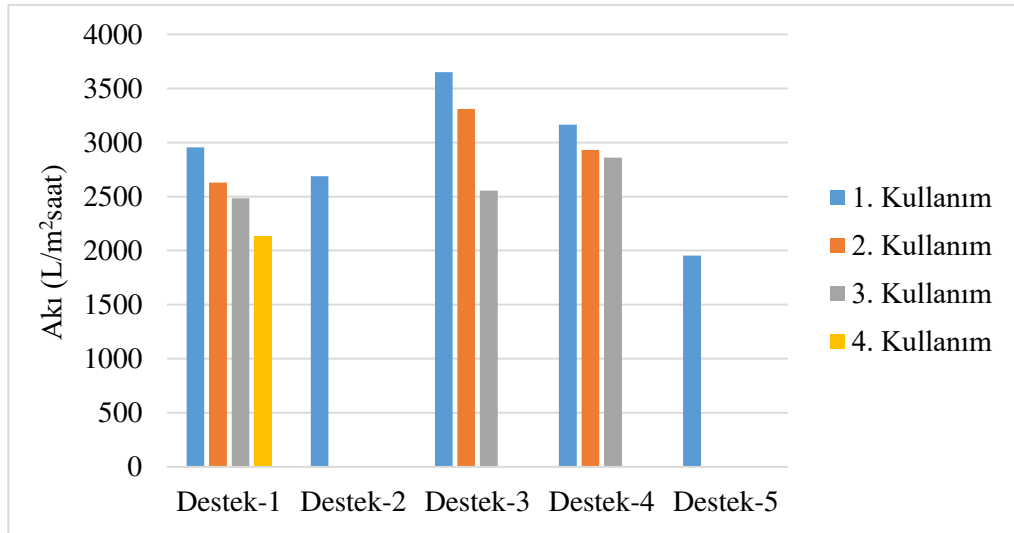
Şekil 5.4. Destek membranların 2 bar basınçta, kullanım sayılarına göre elde edilen saf su akıları.

2 bar basınç altında kullanım sayılarına göre elde edilen saf su akıları destek-1 için 769,12-941,15 L/m²saat, destek-3 için 774,11-1314,85 L/m²saat ve destek-4 için 874,43-987,95 L/m²saat aralığında değişmekte olup, tek sefer kullanım görmüş olan destek-2 ve destek 5'in saf su akıları ise sırasıyla 1212,35 L/m²saat ve 726,91 L/m²saat olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.5. Destek membranların 4 bar basınçta, kullanım sayılarına göre elde edilen saf su akıları.

4 bar basınç altında kullanım sayılarına göre elde edilen saf su akıları destek-1 için 1490,16-1862,72 L/m²saat, destek-3 için 1521,87-2292,59 L/m²saat ve destek-4 için 1779,32-2032,05 L/m²saat aralığında değişmekte olup, tek sefer kullanım görmüş olan destek-2 ve destek 5'in saf su akıları ise sırasıyla 1922,79 L/m²saat ve 1419,21 L/m²saat olarak belirlenmiştir.

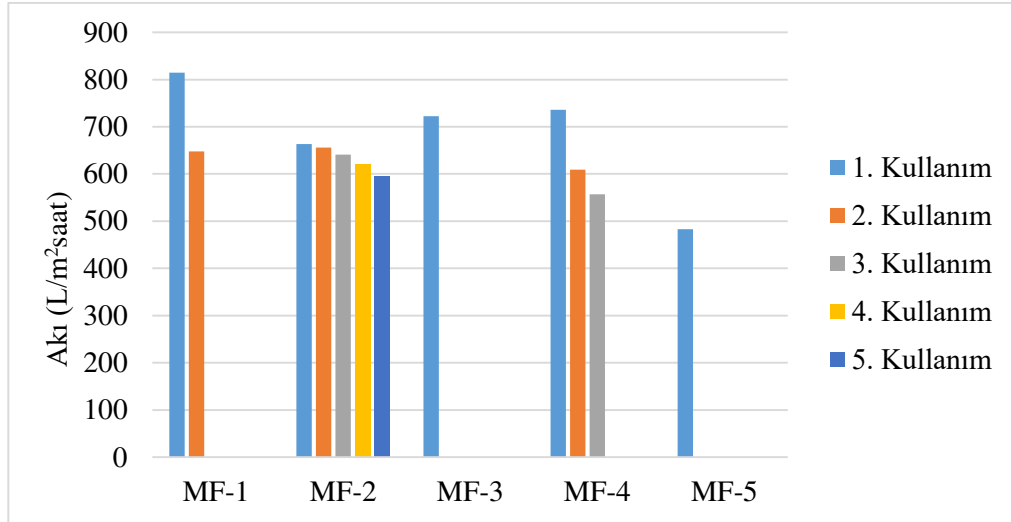


Şekil 5.6. Destek membranların 6 bar basınçta, kullanım sayılarına göre elde edilen saf su akıları.

6 bar basınç altında kullanım sayılarına göre elde edilen saf su akıları destek-1 için 2128,80-2955,72 L/m²saat, destek-3 için 2554,57-3649,43 L/m²saat ve destek-4 için 2861,15-3164,96 L/m²saat aralığında değişmekte olup, tek sefer kullanım görmüş olan

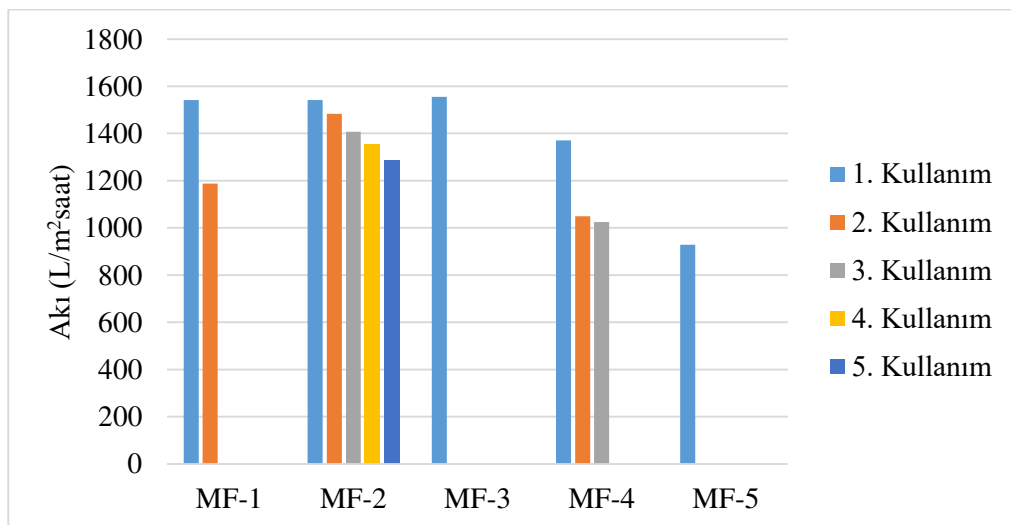
destek-2 ve destek 5'in saf su akıları ise sırasıyla 2689,06 L/m²saat ve 1954,34 L/m²saat olarak belirlenmiştir.

MF membranların 2, 4 ve 6 bar basınçta, kullanım sayılarına göre elde edilen saf su akıları sırasıyla şekil 5.7, şekil 5.8 ve şekil 5.9'da verilmiştir.



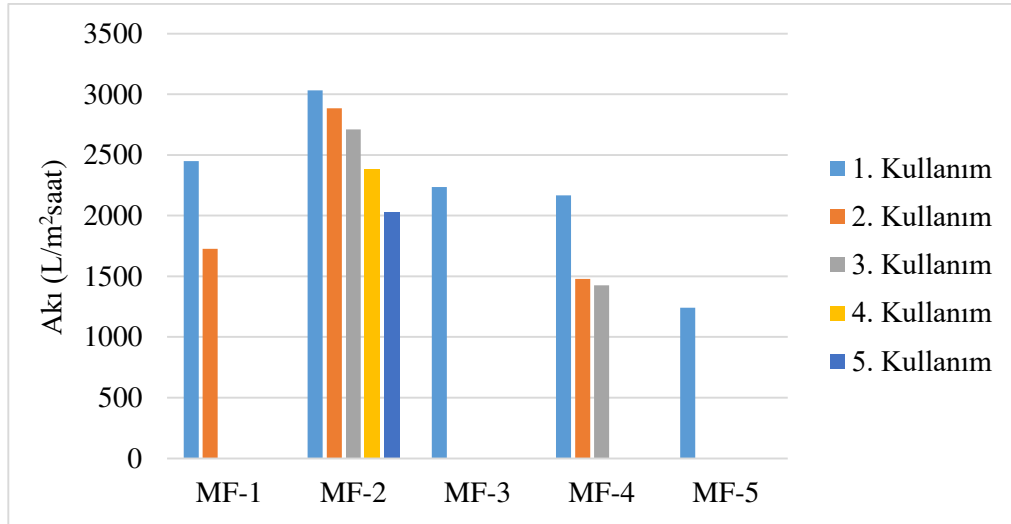
Şekil 5.7. MF membranların 2 bar basınçta, kullanım sayılarına göre elde edilen saf su akıları.

2 bar basınç altında kullanım sayılarına göre elde edilen saf su akıları MF-1 için 647,90-814,67 L/m²saat, MF-2 için 595,07-663,52 L/m²saat ve MF-4 için 557,07-735,88 L/m²saat aralığında değişmekte olup, tek sefer kullanım görmüş olan MF-3 ve MF-5'in saf su akıları ise sırasıyla 1121,13 L/m²saat ve 482,64 L/m²saat olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.8. MF membranların 4 bar basınçta, kullanım sayılarına göre elde edilen saf su akıları.

4 bar basınç altında kullanım sayılarına göre elde edilen saf su akıları MF-1 için 1188,18-1541,57 L/m²saat, MF-2 için 1286,48-1541,57 L/m²saat ve MF-4 için 1024,76-1370,27 L/m²saat aralığında değişmekte olup, tek sefer kullanım görmüş olan MF-3 ve MF-5'in saf su akıları ise sırasıyla 1554,96 L/m²saat ve 928,94 L/m²saat olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.9. MF membranların 6 bar basınçta, kullanım sayılarına göre elde edilen saf su akıları.

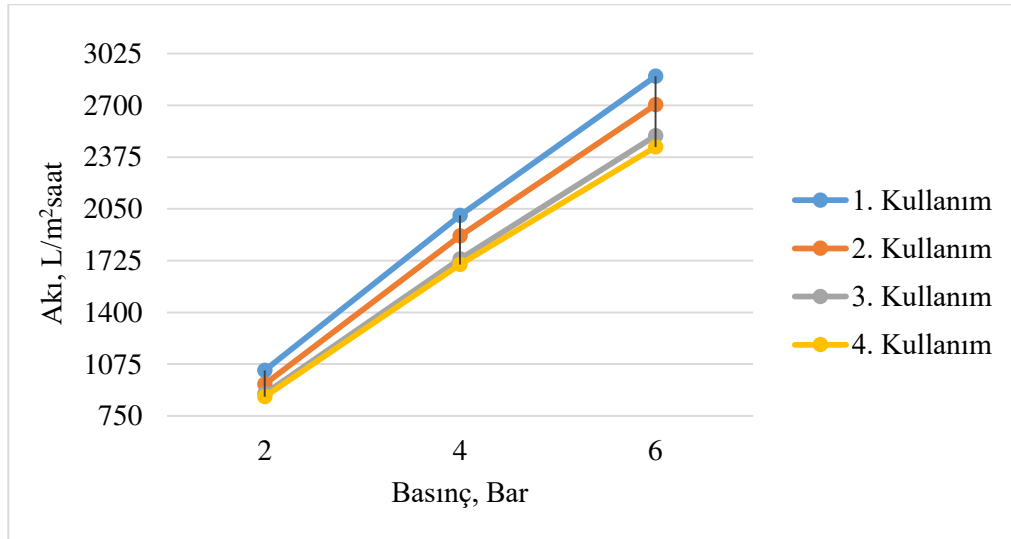
6 bar basınç altında kullanım sayılarına göre elde edilen saf su akıları MF-1 için 1727,73-2449,57 L/m²saat, MF-2 için 2032,05-3030,84 L/m²saat ve MF-4 için 1424,87-2167,54 L/m²saat aralığında değişmekte olup, tek sefer kullanım görmüş olan MF-3 ve MF-5'in saf su akıları ise sırasıyla 2235,28 L/m²saat ve 1241,81 L/m²saat olarak belirlenmiştir.

Şekillere bakıldığında destek ve MF membranlara ait farklı kullanım sayılarında elde edilen saf su akı değerlerinin yükselen sistem basıncına bağlı olarak arttığı görülmektedir. Ayrıca birden fazla kez kullanılan membranlarda, kullanım sayısı arttıkça ölçülen saf su akı değerlerinde de azalma olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi, membranların tekrardan kullanıldığı her atıksu arıtma işleminde, gözeneklerinde meydana gelen birikimlerin biraz daha artmasıdır. Dolayısıyla membran gözeneklerinde oluşan birikimler arttıkça elde edilen akı değerleri de her seferinde daha da azalmaktadır. Ayrıca membranların kullanım sayısı arttıkça meydana gelen saf su akı düşüşlerinin her membran için farklı miktarlarda olduğu görülmektedir. Bu durum, membranların kullanıldıkları atıksulara ait kirlilik yüklerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu

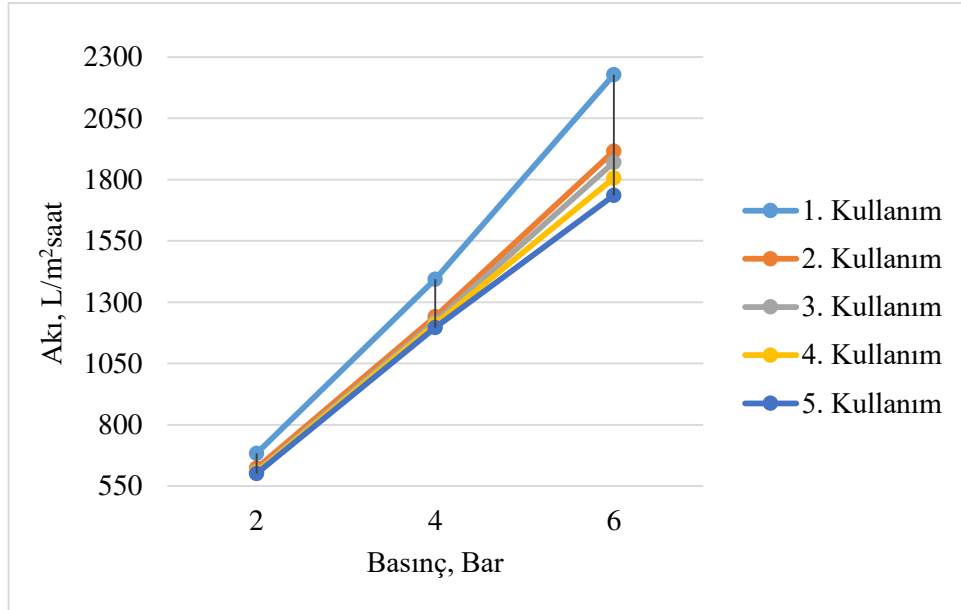
da kullanım sayısına bağılı olarak membran gözeneklerinde meydana gelen birikimlerin ve membranlara ait akı düşüşlerinin farklı miktarlarda olması anlamına gelmektedir.

Destek ve MF membranların ilk kullanımlarına ait ölçülen saf su akı değerleri incelendiğinde, henüz atıksu arıtımında kullanılmamış olmalarına rağmen birbirleri arasında farklar olduğu, özellikle destek-5 ve MF-5 membran akılarının diğerlerine göre çok düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu duruma, membranların gözenek boyut ve dağılımındaki farklılıkların sebep olduğu düşünülmektedir.

Şekil 5.10 ve 5.11’de destek ve MF membranların, kullanım sayılarına göre elde edilen ortalama akı değerlerinin, artan basınçla birlikte meydana gelen değişimleri verilmiştir.



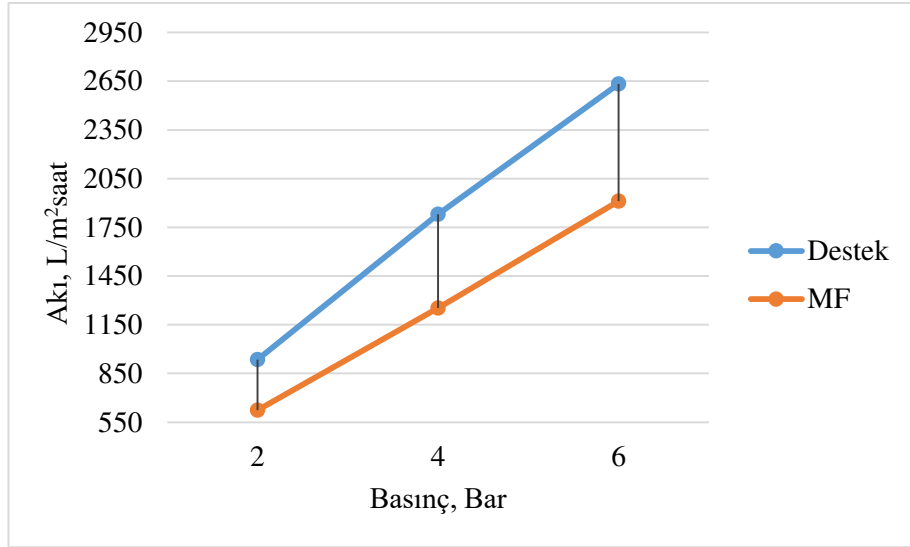
Şekil 5.10. Destek membranların, kullanım sayılarına göre ortalama saf su akılarının artan basınçla değişimi.



Şekil 5.11. MF membranların, kullanım sayılarına göre ortalama saf su akılarının artan basınçla değişimi.

Membranların, kullanım sayısına göre ortalama saf su akıları, destek membranlarda; 2 bar basınçta 850-1050 L/m²saat, 4 bar basınçta 1600-1950 L/m²saat ve 6 bar basınçta 2400-2900 L/m²saat, MF membranlarda ise; 2 bar basınçta 650-800 L/m²saat, 4 bar basınçta 1150-1400 L/m²saat ve 6 bar basınçta 1700-2250 L/m²saat değer aralıklarında değişim göstermiştir.

Bu değer aralıklarına bakıldığında, artan basınçla birlikte membranların ortalama saf su akıları yükselirken, kullanım sayılarına bağlı olarak meydana gelen akı düşüş miktarlarının da arttığı görülmektedir. Bunun, yüksek basıncın membran gözeneklerinin iç kısımlarına kadar birikimler meydana getirmesinin bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Dolayısıyla yüksek basınçlarda meydana gelen birikimler daha fazla olmakta ve membranlarda yaşanan akı düşüş miktarları da artmaktadır.



Şekil 5.12. MF ve destek membranların ortalama saf su akıları.

Şekil 5.12'ye bakıldığında, MF ve destek membranların 3 farklı basınç değerine ait ortalama saf su akı değerleri arasındaki fark açık bir şekilde görülmektedir. Bu farkın sebebi membran gözenek boyutunun, membran akısını doğrudan etkilemesidir. Destek membranların ortalama gözenek boyutunun, MF membranların ortalama gözenek boyutundan büyük olması sebebiyle, destek membranlara ait akı değerleri daha yüksek çıkmıştır.

5.3. Membranların Atıksu Akıları

Yapılan deneysel çalışmalarda alınan veriler üzerinden, Porland Porselen ve Bien Seramik fabrikalarının atıksularına ait destek ve MF membran akı değerleri ve değişimleri ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Membranların, kullanım sayılarına göre değişen ve her atıksu arıtma işlemi öncesinde 2, 4 ve 6 bar basınçlarda ölçülen saf su akıları, membranların atıksu arıtımında kullanılacakları basınca göre başlangıç (referans) akı değeri olarak alınmıştır. Alınan başlangıç akı değerleri üzerinden, membranlara ait elde edilen atıksu akılarının kıyaslaması yapılmış ve bu akıları etkileyen faktörler incelenmiştir. Membranların kullanıldıkları atıksu ve sistem basıncı bilgileri ile kullanım sayıları çizelge 5.4'te verilmiştir.

Çizelge 5.4. Membranların kullanıldığı atıksular ve basınç değerleri.

Atıksu Adı	Basınç (Bar)	Destek Membran	Kullanım Sayısı	MF Membran	Kullanım Sayısı
P-SH	2	Destek-3	2	MF-1	2
	4	Destek-1	1	MF-2	1
	6	Destek-3	1	MF-3	1
P-Ü	2	Destek-1	2	MF-2	2
	4	Destek-2	1	MF-1	1
	6	Destek-4	1	MF-4	1
B-AG	2	Destek-4	2	MF-4	2
	4	Destek-5	1	MF-5	1
	6	Destek-3	3	MF-2	5
B-MH	2	Destek-1	3	MF-2	3
	4	Destek-1	4	MF-2	4
	6	Destek-4	3	MF-4	3

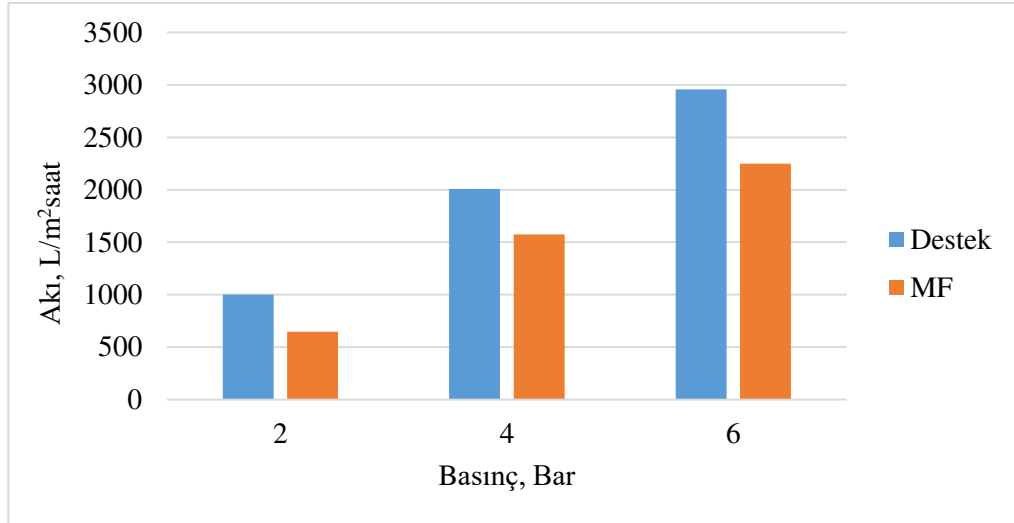
Membran kullanımlarında belirli bir sıra uygulanmamış olup hazır olma durumlarına göre kullanımları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca membranlara ait atıksu akı ölçümlerinin yapıldığı uygulamalarda, ön filtrasyondan geçirilen atıksular kullanıldığından, ön filtrasyon sonucunda elde edilen atıksu kirlilik yükleri çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.5. Atıksuların ön filtarsyon işlemi sonrası elde edilen kirlilik yükleri.

Atıksu Adı	Numune Sırası	KOİ (mg/L)	AKM (mg/L)	pH	İletkenlik (µS/cm)
P-SH	1	221	137	8,11	957
	2	193	36	7,8	1078
	3	254	247	7,86	1083
P-Ü	1	683	16	7,84	1309
	2	151	26	7,90	1182
	3	163	44	7,93	1203
B-MH	1	221	282	7,36	942
	2	205	151	7,38	933
	3	190	90	7,36	927
B-AG	1	1101	461	8,67	2300
	2	247	249	8,23	2340
	3	240	221	8,15	2360

Atıksu arıtma işlemlerinde uygulanan basınç koşulları; atıksuların 1, 2, 3 olan numune sıralarına göre, sırasıyla 2, 4 ve 6 bar şeklindedir. Tüm akı değerlerine ait şekil ve çizelgelerde bu sıralama esas alınmıştır.

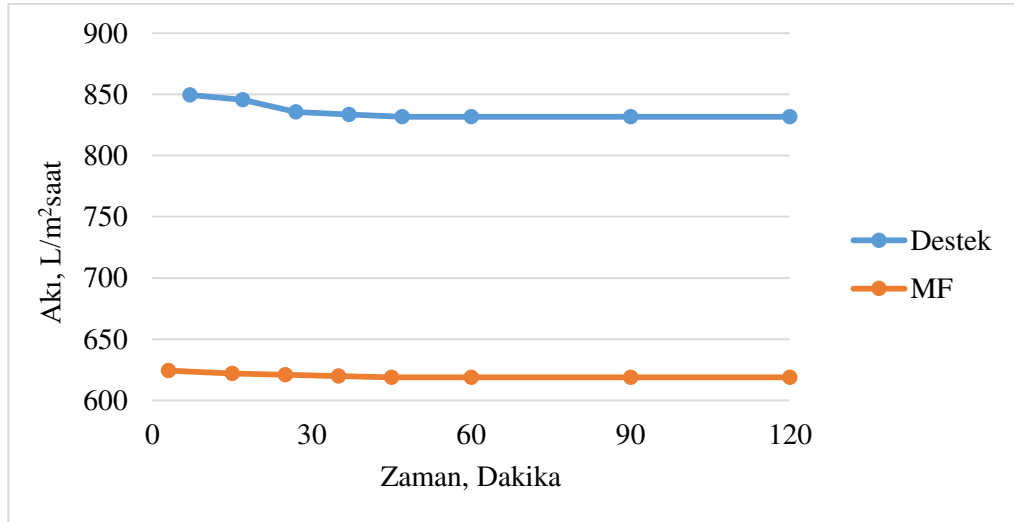
Şekil 5.13'te P-SH atıksuyunun arıtımı için 2, 4 ve 6 bar basınçta kullanılan destek ve MF membranlara ait başlangıç akıları verilmiştir.



Şekil 5.13. P-SH atıksuyunun arıtımında kullanılan membranlara ait başlangıç akıları.

P-SH atıksuyunun arıtımında kullanılan membranlara ait başlangıç akı değerleri, 2, 4 ve 6 bar olan sistem basınçlarına göre sırasıyla; destek membranlar için 1001,79-2009,24-2955,72 L/m²-saat ve MF membranlar için 647,90-1575,52-2249,32 L/m²-saat olarak bulunmuştur.

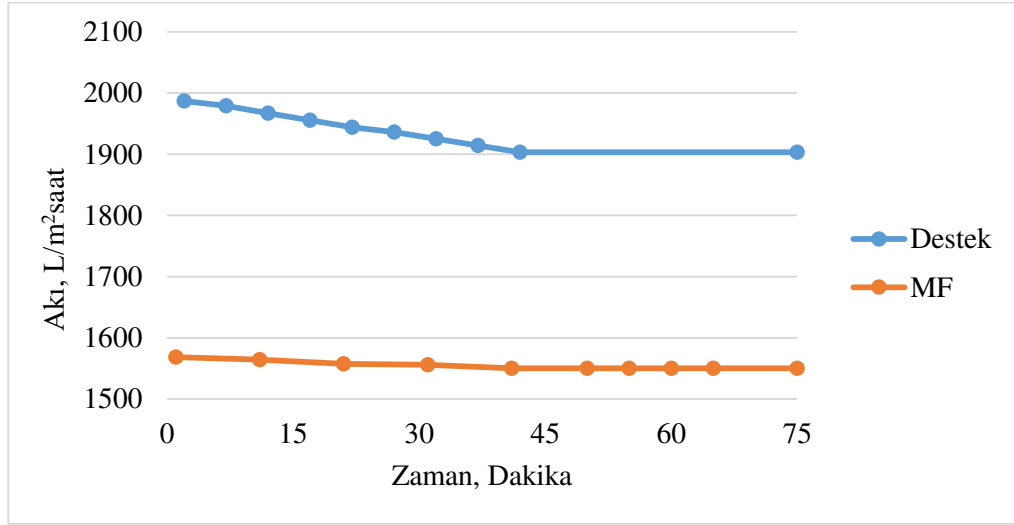
Şekil 5.14, şekil 5.15 ve şekil 5.16’da P-SH atıksuyunda, 2, 4 ve 6 bar basınçlarda ölçülen, destek ve MF membranlara ait atıksu akıları verilmiştir.



Şekil 5.14. P-SH atıksuyunda, 2 bar basınçta ölçülen membran akıları.

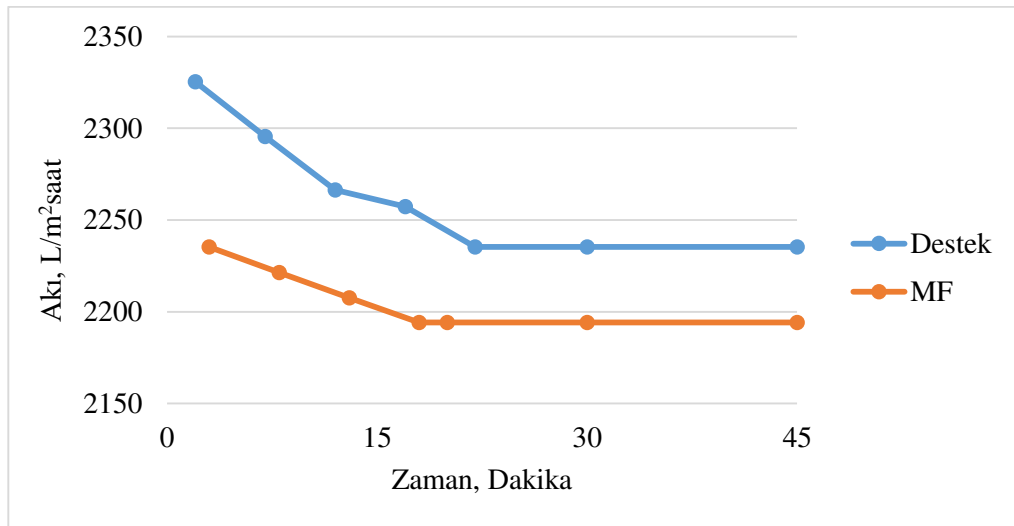
2 bar basınçta, P-SH atıksuyuna ait ölçülen akı değerleri, destek membranda 849,50 L/m²-saat ile 831,72 L/m²-saat aralıklarında değişim göstermiş ve işlemin 47. dakikasında akı değeri sabitlenmıştır. MF membranda ise akı değerleri 624,15 L/m²-saat

ile 618,75 L/m²saat aralıklarında değişim gösterirken, akı değerinin sabitlenmesi, işlemin 45. dakikasında gerçekleşmiştir.



Şekil 5.15. P-SH atıksuyunda, 4 bar basınçta ölçülen membran akıları.

4 bar basınçta, P-SH atıksuyuna ait ölçülen akı değerleri, destek membranda 1986,89 L/m²saat ile 1903,16 L/m²saat aralıklarında değişim göstermiş ve işlemin 42. dakikasında akı değeri sabitlenmiştir. MF membranda ise akı değerleri 1568,61 L/m²saat ile 1550,37 L/m²saat aralıklarında değişim gösterirken, akı değerinin sabitlenmesi, işlemin 41. dakikasında gerçekleşmiştir.

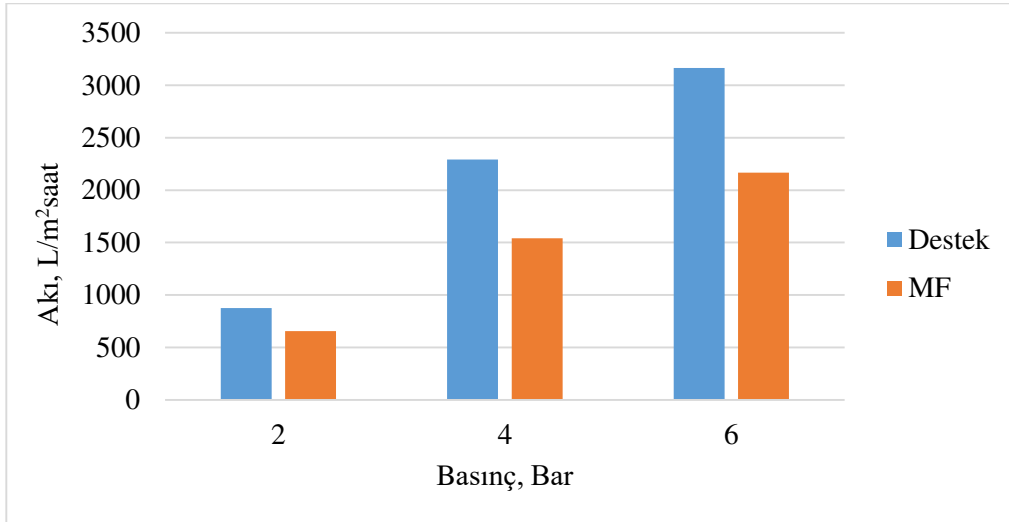


Şekil 5.16. P-SH atıksuyunda, 6 bar basınçta ölçülen membran akıları.

6 bar basınçta, P-SH atıksuyuna ait ölçülen akı değerleri, destek membranda 2325,38 L/m²saat ile 2235,28 L/m²saat aralıklarında değişim göstermiş ve işlemin 22.

dakikasında akı değeri sabitlenmiştir. MF membranda ise akı değeri 2235,28 L/m²saat ile 2194,11 L/m²saat aralıklarında değişim gösterirken, akı değerinin sabitlenmesi, işlemin 18. dakikasında gerçekleşmiştir.

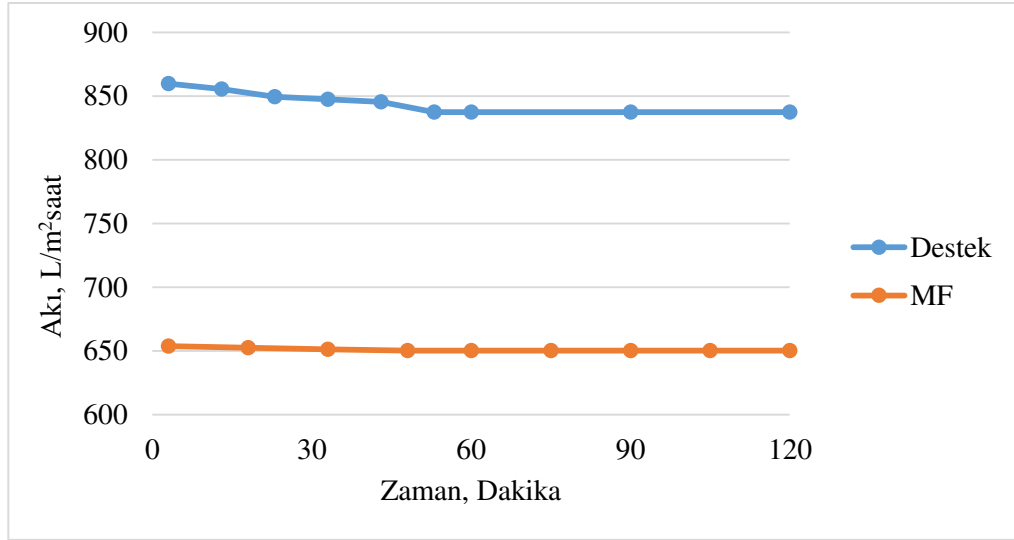
Şekil 5.17’de P-Ü atıksuyunun arıtımı için 2, 4 ve 6 bar basınçta kullanılan destek ve MF membranlara ait başlangıç akı değerleri verilmiştir.



Şekil 5.17. P-Ü atıksuyunun arıtımında kullanılan membranlara ait başlangıç akıları.

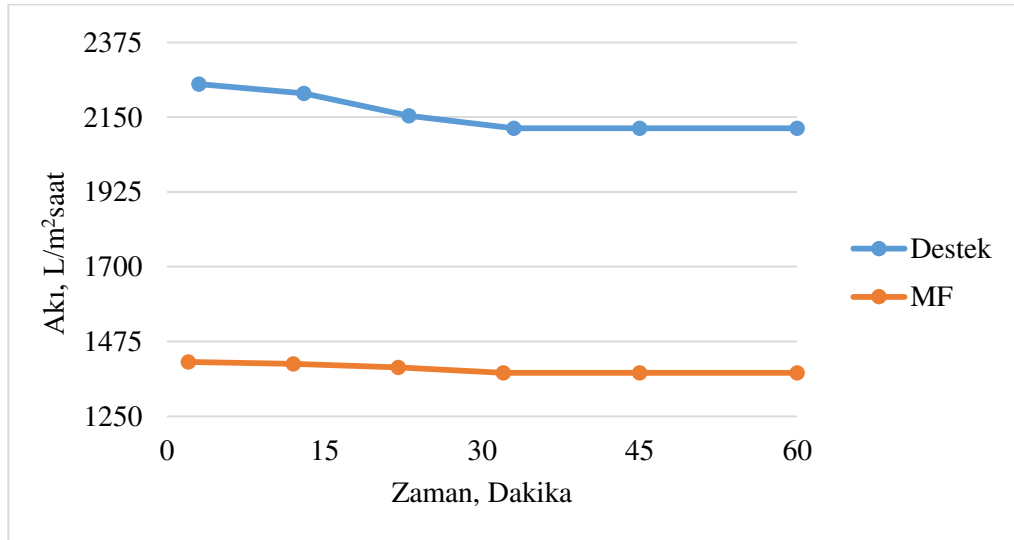
P-Ü atıksuyunun arıtımında kullanılan membranlara ait başlangıç akı değerleri, 2, 4 ve 6 bar olan sistem basınçlarına göre sırasıyla; destek membranlar için 876,57-2292,59-3164,96 L/m²saat ve MF membranlar için 656,22-1541,57-2167,54 L/m²saat olarak bulunmuştur.

Şekil 5.18, şekil 5.19 ve şekil 5.20’de P-Ü atıksuyunda, 2, 4 ve 6 bar basınçlarda ölçülen, destek ve MF membranlara ait atıksu akıları verilmiştir.



Şekil 5.18. P-Ü atıksuyunda, 2 bar basınçta ölçülen membran akıları.

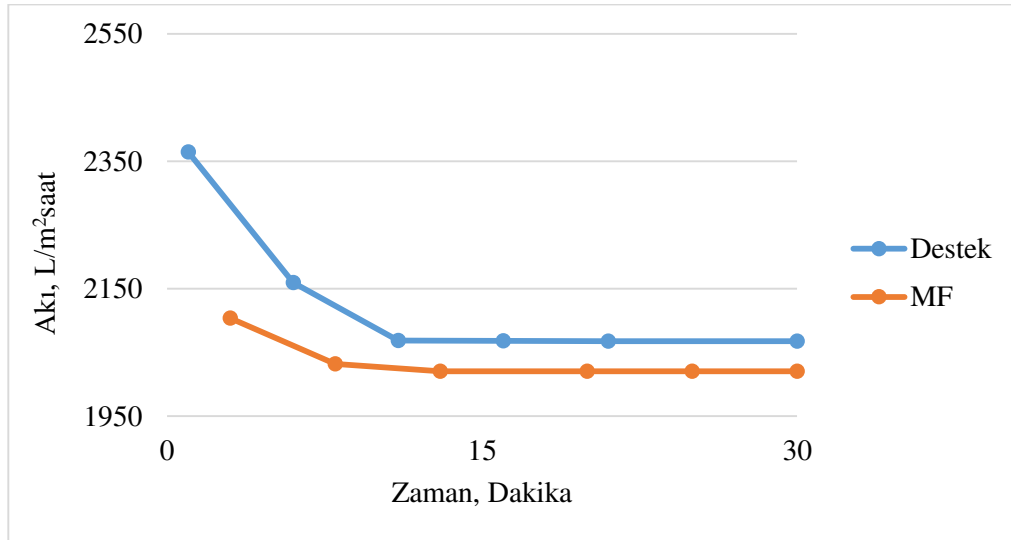
2 bar basınçta, P-Ü atıksuyuna ait ölçülen akı değerleri, destek membranda 859,75 L/m²saat ile 837,57 L/m²saat aralıklarında değişim göstermiş ve işlemin 53. dakikasında akı değeri sabitlenmiştir. MF membranda ise akı değerleri 653,82 L/m²saat ile 650,25 L/m²saat aralıklarında değişim gösterirken, akı değerinin sabitlenmesi, işlemin 48. dakikasında gerçekleşmiştir.



Şekil 5.19. P-Ü atıksuyunda, 4 bar basınçta ölçülen membran akıları.

4 bar basınçta, P-Ü atıksuyuna ait ölçülen akı değerleri, destek membranda 2249,30 L/m²saat ile 2116,24 L/m²saat aralıklarında değişim göstermiş ve işlemin 33. dakikasında akı değeri sabitlenmiştir. MF membranda ise akı değerleri 1413,59 L/m²saat

ile 1380,86 L/m²saat aralıklarında değişim gösterirken, akı değerinin sabitlenmesi, işlemin 32. dakikasında gerçekleşmiştir.



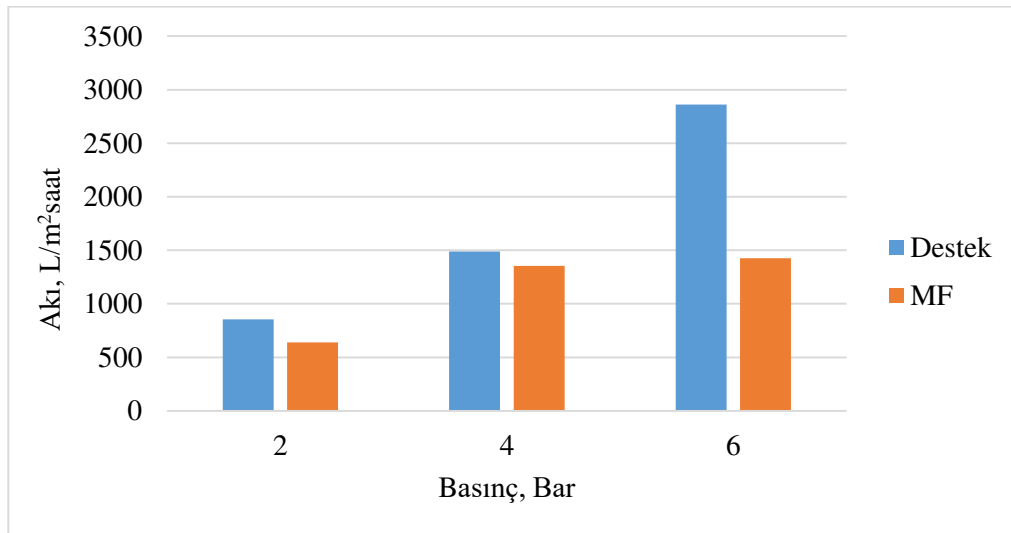
Şekil 5.20. P-Ü atıksuyunda, 6 bar basınçta ölçülen membran akıları.

6 bar basınçta, P-Ü atıksuyuna ait ölçülen akı değerleri, destek membranda 2364,79 L/m²saat ile 2068,30 L/m²saat aralıklarında değişim göstermiş ve işlemin 21. dakikasında akı değeri sabitlenmiştir. MF membranda ise akı değerleri 2103,78 L/m²saat ile 2020,56 L/m²saat aralıklarında değişim gösterirken, akı değerinin sabitlenmesi, işlemin 13. dakikasında gerçekleşmiştir.

P-SH ve PÜ atıksularında destek ve MF membranlara ait 3 farklı basınçta elde edilen atıksu akı değerlerine ve değişimlerine bakıldığında, basınç artışıyla birlikte ölçülen membran akılarının yükseldiği gözlenirken, akı düşüş miktarlarının da arttığı tespit edilmiştir. Her iki atıksuda da destek membranlarda meydana gelen akı düşüşlerinin, MF membranlara göre daha fazla olduğu görülmektedir. Çünkü seri bağlı yapılan deneylerde, ilk arıtma işlemi destek membranlar ile gerçekleştirilip, kirlilik yükünün büyük bir kısmı destek membran ile tutulmakta olduğundan, MF membrana geçildiğinde çok daha az kirlilik yükü ile çalışılmaktadır. Bu da kirlilik yükünü ilk karşılayan olmasından dolayı, destek membranlarda basınç artışına bağlı gerçekleşen akı düşüşlerinin daha fazla olmasına sebep olmaktadır. Buna rağmen gözenek boyutlarının daha büyük olması sebebiyle, destek membranlarda elde edilen akı değerleri, MF membranlara göre daha yüksek çıkmıştır.

Kullanım sayılarına bakıldığında her iki atıksuda da kullanılan destek ve MF membranlarda, çoğunluğu 1. kullanım olmak üzere en fazla 2. kullanıma kadar çıkıldığı ve buna rağmen membranların gözenek boyut ve dağılımlarına da bağlı olarak başlangıç akıları arasında azda olsa farklar olduğu tespit edilmiştir. Membranların başlangıç akılarının; genellikle destek membranlar için P-Ü atıksuyunda kullanılanlarda, MF membranlar için de P-SH atıksuyunda kullanılanlarda daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu farklılık ölçülen atıksu akılarına da yansımış ve genellikle P-Ü atıksuyunda destek membran akıları, P-SH atıksuyunda ise MF membran akıları daha yüksek çıkmıştır. Bunun yanı sıra atıksu kirlilik yüklerine bağlı olduğu düşünülen atıksu akı düşüş miktarlarının, daha düşük kirlilik yükü miktarına sahip olmasına rağmen P-Ü atıksuyunda kullanılan membranlarda daha fazla olduğu tespit edilmiştir. P-Ü atıksuyunda kullanılan ve başlangıç akıları, P-SH atıksuyunda kullanılanlara göre daha yüksek olan membranlarda dahi, atıksu akı düşüşleri daha fazla gerçekleşmiştir. Bu nedenle söz konusu durumun, atıksuların kirlilik yükü miktarlarının yerine, bu kirlilik yükünü oluşturan maddelerin özellikleriyle alakalı olduğu düşünülmektedir.

Şekil 5.21’de B-MH atıksuyunun arıtımını için 2, 4 ve 6 bar basınçta kullanılan destek ve MF membranlara ait başlangıç akı değerleri verilmiştir.

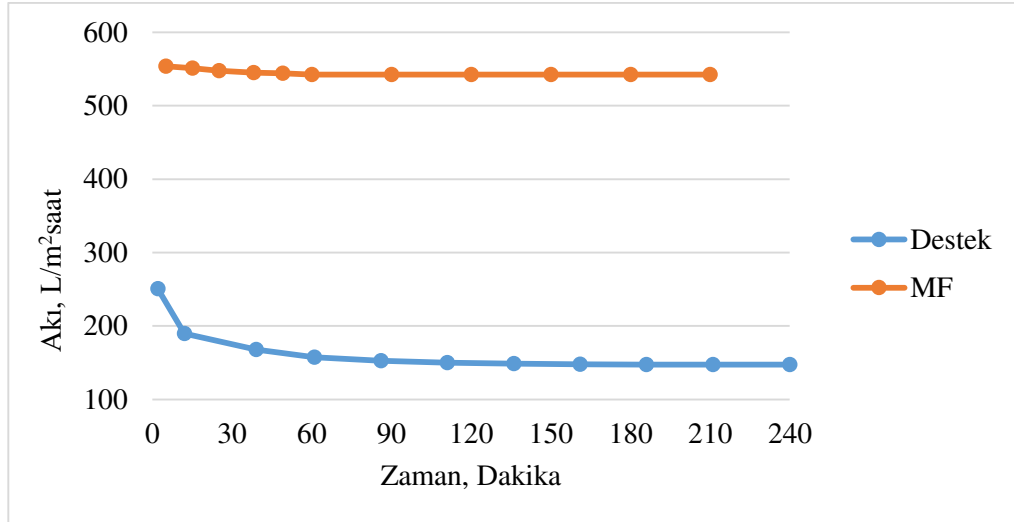


Şekil 5.21. B-MH atıksuyunun arıtımında kullanılan membranlara ait başlangıç akıları.

B-MH atıksuyunun arıtımında kullanılan membranlara ait başlangıç akı değerleri, 2, 4 ve 6 bar olan sistem basınçlarına göre sırasıyla; destek membranlar için 855,60-

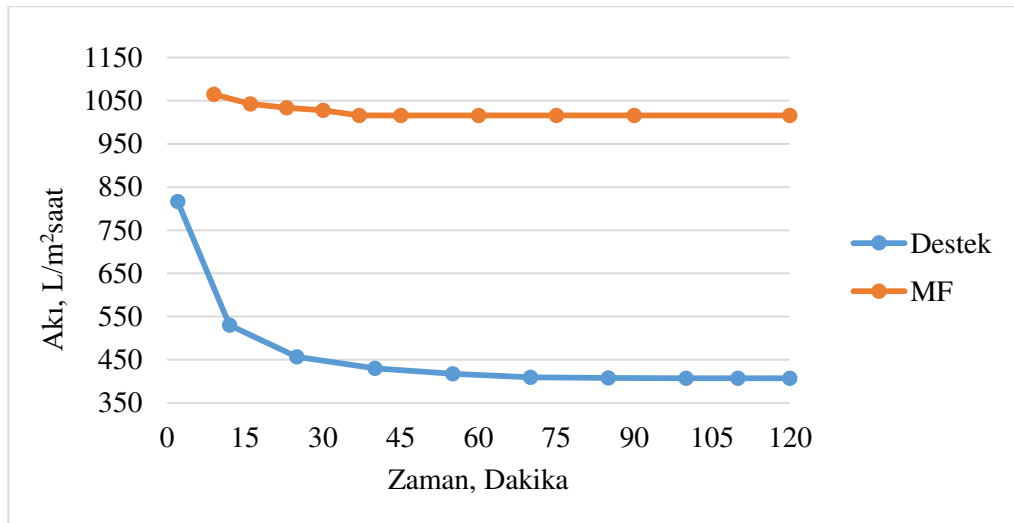
1490,16-2861,15 L/m²saat ve MF membranlar için 640,93-1354,71-1424,87 L/m²saat olarak bulunmuştur.

Şekil 5.22, şekil 5.23 ve şekil 5.24'te B-MH atıksuyunda, 2, 4 ve 6 bar basınçlarda ölçülen, destek ve MF membranlara ait atıksu akıları verilmiştir.



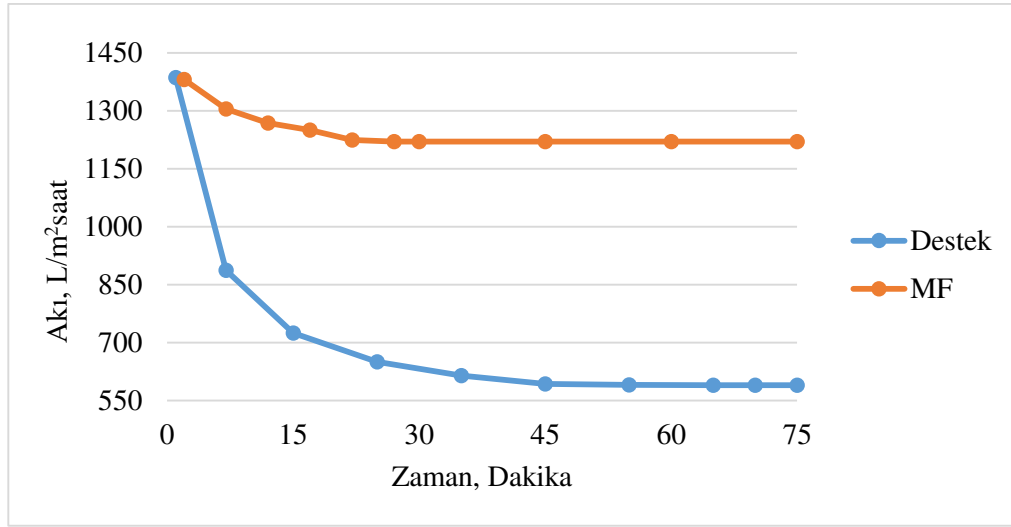
Şekil 5.22. B-MH atıksuyunda 2 bar basınçta ölçülen membran akıları.

2 bar basınçta, B-MH atıksuyuna ait ölçülen akı değerleri, destek membranda 250,95 L/m²saat ile 147,41 L/m²saat aralıklarında değişim göstermiş ve işlemin 211. dakikasında akı değeri sabitlenmiştir. MF membranda ise akı değerleri 553,62 L/m²saat ile 542,70 L/m²saat aralıklarında değişim gösterirken, akı değerinin sabitlenmesi, işlemin 60. dakikasında gerçekleşmiştir.



Şekil 5.23. B-MH atıksuyunda, 4 bar basınçta ölçülen membran akıları.

4 bar basınçta, B-MH atıksuyuna ait ölçülen akı değerleri, destek membranda 816,53 L/m²saat ile 407,33 L/m²saat aralıklarında değişim göstermiş ve işlemin 100. dakikasında akı değeri sabitlenmiştir. MF membranda ise akı değerleri 1064,41 L/m²saat ile 1016,02 L/m²saat aralıklarında değişim gösterirken, akı değerinin sabitlenmesi, işlemin 37. dakikasında gerçekleşmiştir.



Şekil 5.24. B-MH atıksuyunda, 6 bar basınçta ölçülen membran akı.

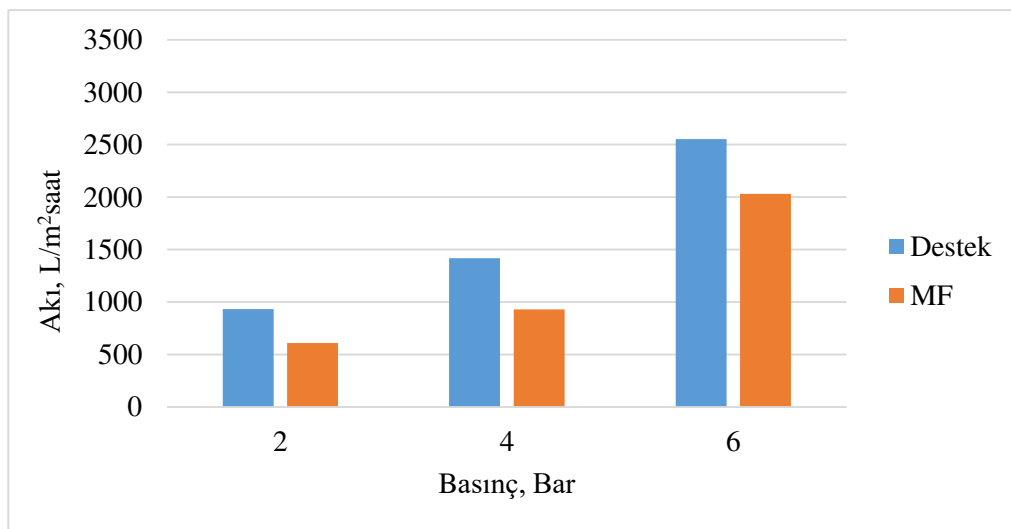
6 bar basınçta, B-MH atıksuyuna ait ölçülen akı değerleri, destek membranda 1386,20 L/m²saat ile 590,16 L/m²saat aralıklarında değişim göstermiş ve işlemin 65. dakikasında akı değeri sabitlenmiştir. MF membranda ise akı değerleri 1380,86 L/m²saat ile 1220,61 L/m²saat aralıklarında değişim gösterirken, akı değerinin sabitlenmesi, işlemin 27. dakikasında gerçekleşmiştir.

B-MH atıksuyunda destek ve MF membranlara ait 3 farklı basınçta elde edilen atıksu akı değerlerine ve değişimlerine bakıldığında, basınç artışıyla birlikte ölçülen membran akılarının ve akı düşüşlerinin yükseldiği, ancak bunun yanı sıra beklenenin dışında bir durumla karşılaşıldığı görülmektedir. Hem gözenek boyutları daha büyük olmasına rağmen elde edilen destek membran akıları, MF membran akılarından daha düşük çıkmış, hem de destek membran akılarında meydana gelen düşüşler kısa sürede çok fazla gerçekleşmiştir.

Destek membran akılarının MF membran akılarından düşük çıkmasına, membran kullanım sayılarına bağlı olarak değişen başlangıç akılarının neden olduğu

düşünülmektedir. Bakıldığı zaman, B-MH atıksuyunun arıtımı öncesinde ölçülen başlangıç membran akılarının, P-SH ve P-Ü atıksularının arıtımı öncesinde ölçülen başlangıç membran akılarından çok daha düşük olduğu görülmektedir. B-MH atıksuyunda kullanılan membranların çoğunlukla 3. ve 4. kullanım sayılarında olduğu göz önüne alındığında, bu durumun yüksek membran kullanım sayılarından kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Durum böyleyken, B-MH atıksuyunda kullanılan membranların başlangıç akılarının düşük olması, destek membranlarda ölçülen atıksu akılarını da doğrudan etkilemiştir. Bu, birde kirlilik yükünü ilk karşılayan olma durumu eklenince destek membran akılarının, MF membran akılarından daha düşük çıkmasına sebep olmuştur. Ayrıca destek membran akılarında kısa sürede çok fazla gerçekleşen düşüşlerin, atıksu kirlilik yükleriyle alakalı olduğu düşünülerek, ön filtrasyon sonrası elde edilen, B-MH atıksuyuna ait kirlilik yükü miktarları ile P-SH ve P-Ü atıksularının kirlilik yükü miktarları karşılaştırılmış, ancak miktarlar arasında belirgin bir farka rastlanmamıştır. Bu nedenle atıksu kirlilik yüklerinin söz konusu akı düşüşlerine bir etkisi olmuşsa bile, bu etki kirlilik yükü miktarlarından değil, kirlilik yükünü oluşturan maddelerin özelliklerinden kaynaklı olabilir. Özellikle 6 bar basınçta kullanılan destek membranın başlangıç akısı yüksek olmasına rağmen, atıksu akısında meydana gelen düşüşün yine fazla miktarda olması bu düşüncüyü destekler niteliktedir.

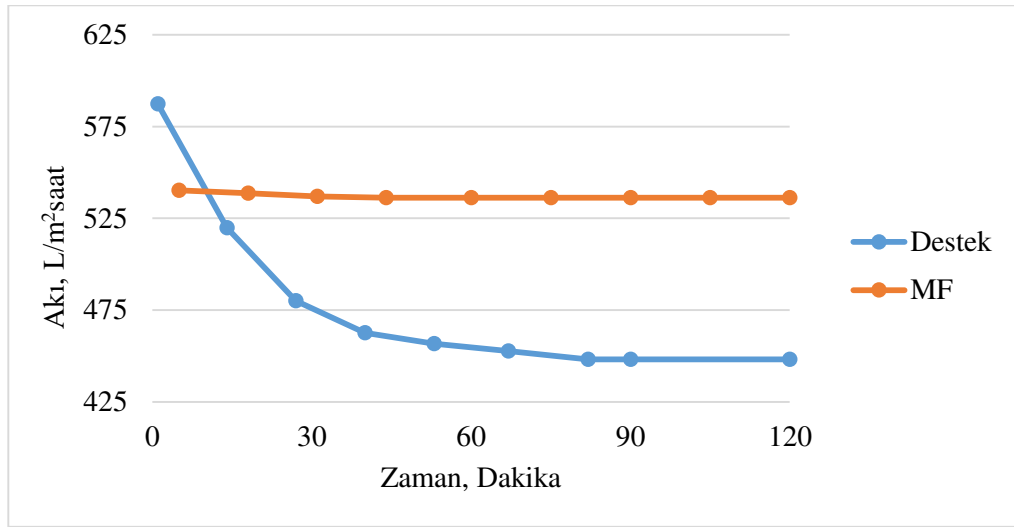
Şekil 5.25'te B-MH atıksuyunun arıtımı için 2, 4 ve 6 bar basınçta kullanılan destek ve MF membranlara ait başlangıç akı değerleri verilmiştir.



Şekil 5.25. B-MH atıksuyunun arıtımında kullanılan membranlara ait başlangıç akıları.

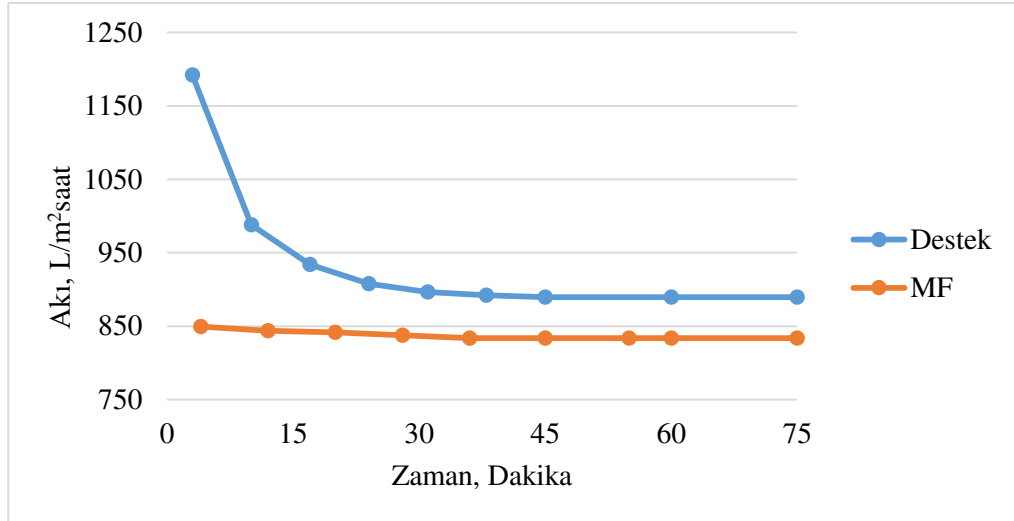
B-AG atıksuyunun arıtımında kullanılan membranlara ait başlangıç akı değerleri, 2, 4 ve 6 bar olan sistem basınçlarına göre sırasıyla; destek membranlar için 931,36-1419,21-2554,57 L/m²saat ve MF membranlar için 609,26-928,94-2032,05 L/m²saat olarak bulunmuştur.

Şekil 5.26, şekil 5.27 ve şekil 5.28’de B-AG atıksuyunda, 2, 4 ve 6 bar basınçlarda ölçülen, destek ve MF membranlara ait atıksu akıları verilmiştir.



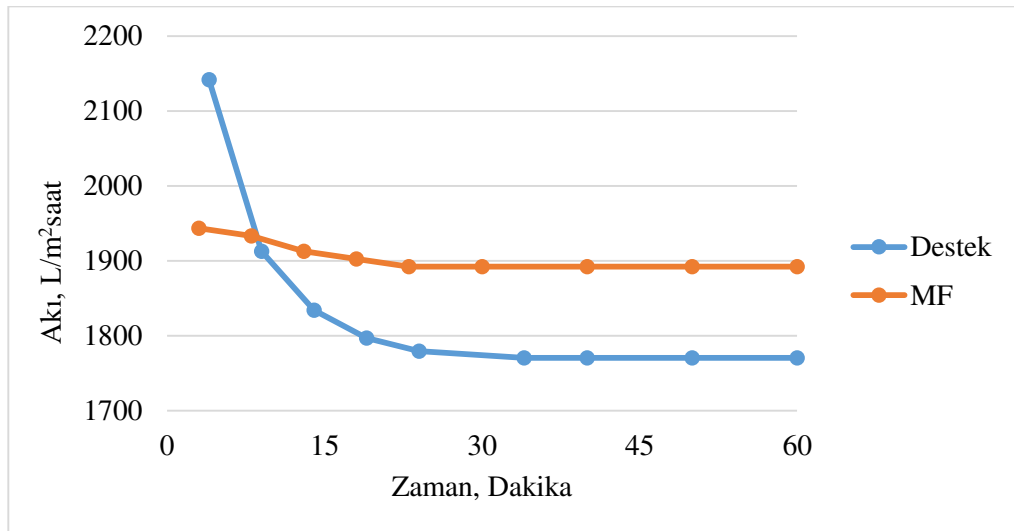
Şekil 5.26. B-AG atıksuyunda, 2 bar basınçta ölçülen membran akıları.

2 bar basınçta, B-AG atıksuyuna ait ölçülen akı değerleri, destek membranda 587,52 L/m²saat ile 448,17 L/m²saat aralıklarında değişim göstermiş ve işlemin 82. dakikasında akı değeri sabitlenmiştir. MF membranda ise akı değerleri 540,24 L/m²saat ile 536,19 L/m²saat aralıklarında değişim gösterirken, akı değerinin sabitlenmesi, işlemin 44. dakikasında gerçekleşmiştir.



Şekil 5.27. B-AG atıksuyunda, 4 bar basınçta ölçülen membran akıları.

4 bar basınçta, B-AG atıksuyuna ait ölçülen akı değerleri, destek membranda 1192,14 L/m²saat ile 889,65 L/m²saat aralıklarında değişim göstermiş ve işlemin 45. dakikasında akı değeri sabitlenmiştir. MF membranda ise akı değerleri 849,50 L/m²saat ile 833,66 L/m²saat aralıklarında değişim gösterirken, akı değerinin sabitlenmesi, işlemin 36. dakikasında gerçekleşmiştir.



Şekil 5.28. B-AG atıksuyunda, 6 bar basınçta ölçülen membran akıları.

6 bar basınçta, B-AG atıksuyuna ait ölçülen akı değerleri, destek membranda 2141,56 L/m²saat ile 1770,50 L/m²saat aralıklarında değişim göstermiş ve işlemin 34. dakikasında akı değeri sabitlenmiştir. MF membranda ise akı değerleri 1943,71 L/m²saat

ile 1892,28 L/m²saat aralıklarında değişim gösterirken, akı değerinin sabitlenmesi, işlemin 23. dakikasında gerçekleşmiştir.

B-AG atıksuyunda destek ve MF membranlara ait 3 farklı basınçta elde edilen atıksu akı değerlerine ve değişimlerine bakıldığında, basınç artışıyla birlikte ölçülen membran akılarının ve akı düşüşlerinin yükseldiği, bunun yanı sıra 2 ve 6 bar basınçlarda ölçülen destek membran akılarının, B-MH atıksuyunda olduğu gibi MF membran akılarından daha düşük çıktığı ve akı düşüşlerinin de çok fazla olduğu görülmektedir.

B-AG atıksuyunda 2 ve 6 bar basınçlarda kullanılan membranlara ait başlangıç akılarının, B-MH atıksuyuna göre çoğunlukla yüksek olduğu görülmektedir. Buna bağlı olarak B-AG atıksuyunda, 2 ve 6 bar basınçlarda ölçülen destek membran akıları, ilk olarak MF membran akılarından yüksek çıkmış ve meydana gelen yüksek akı düşüşü sonrasında MF membran akılarından daha aşağıya düşmüştür. Bununla birlikte, B-AG atıksuyunda elde edilen membran akıları da B-MH atıksuyunda ölçülenlere göre daha yüksek çıkmıştır. Ayrıca, B-MH atıksuyunda meydana gelen akı düşüş miktarları da, B-AG atıksuyuna göre çok daha fazla olmuştur. Bu yüksek akı düşüş farkı, atıksuların kirlilik yükleriyle alakalı olabilir. Ancak bakıldığı zaman B-AG atıksuyunun kirlilik yükü miktarlarının, B-MH atıksuyuna göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu nedenle söz konusu durumun, atıksuların kirlilik yükü miktarlarından değil, kirlilik yükünü oluşturan maddelerin özelliklerinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Diğer yandan, B-AG atıksuyunda, 4 bar basınç için elde edilen akı değişimlerine bakıldığında, 2 ve 6 bar basınçta elde edilen akı değişimlerine göre farklılık olduğu ve destek membran akılarının MF membran akılarından yüksek çıktığı görülmektedir. Bu farklı durumun sebebinin anlaşılması için tüm destek ve MF membranların 4 bar basınçta elde edilen başlangıç membran akıları incelenmiştir. Yapılan inceleme sonucu B-AG atıksuyunda, 4 bar basınçta kullanılan MF-5 membranının başlangıç akısının, 1. kullanım sayısında olmasına rağmen, 928,94 L/m²saat değeriyle diğerlerinden oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle B-AG atıksuyunda, 4 bar basınçta elde edilen destek membran akıları, kısa sürede çok fazla düşmüş olsa da, MF membran akılarından daha yüksek çıkmıştır.

MF-5 membranının başlangıç akısının, 1. kullanım sayısında bu denli düşük olmasının membranın gözenek boyut ve dağılımından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca aynı sebepten kaynaklı benzer bir durumun, B-AG atıksuyunda, 6 bar basınçta kullanılan MF-2 membranı içinde geçerli olduğu görülmektedir. 5. kullanım sayısında olmasına rağmen MF-2 membranında ölçülen başlangıç akı değeri, aynı basınç altında ve daha düşük kullanım sayılarına sahip membranların başlangıç akı değerlerine çok yakın, hatta bir çoğunun da üzerinde çıkmıştır. Bunların dışında, 2 bar basınçta 2. kullanım sayısına sahip destek ve MF, 4 bar basınçta 1. kullanım sayısına sahip destek ve 6 bar basınçta 3. kullanım sayısına sahip destek membranlar kullanılmış olup, bu membranlara ait başlangıç akılarının, kullanım sayılarına göre ortalama değerlerde olduğu tespit edilmiştir.

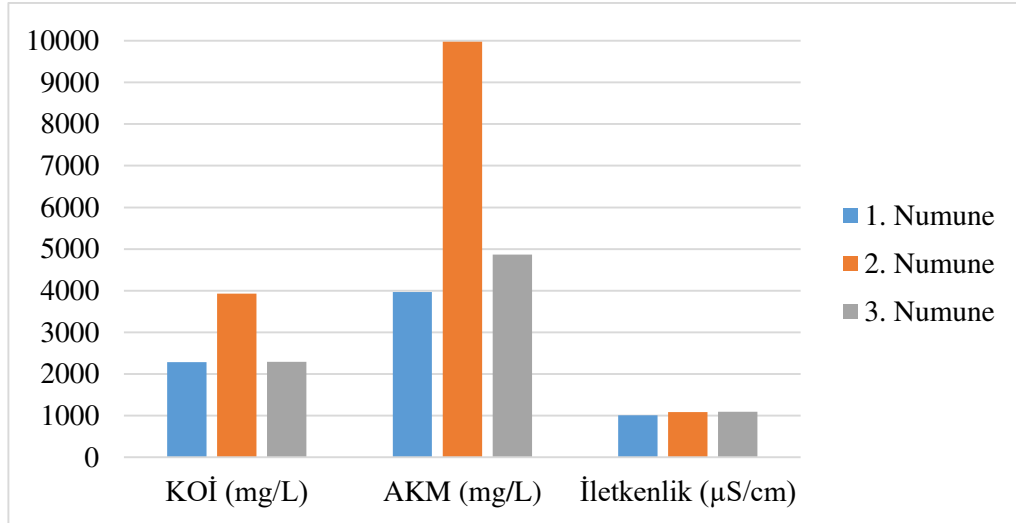
5.4. Membran Giderme Verimleri

Bu bölümde; kullanılan membranların atıksu kirlilik parametreleri üzerinden hesaplanan, giderme verim değerleri bulunmaktadır. Giderme verimleri 3 atıksu kirlilik parametresi (KOİ, AKM, iletkenlik) temel alınıp, ham atıksu değerleri üzerinden hesaplanmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda atıksulara ait pH değerlerinde düzenli ve belirgin bir değişim olmadığı tespit edilmiş ve bu sebeple pH değerleri bu hesaba dahil edilmemiştir. Atıksuların ön filtrasyon işlemi ile tüm destek ve MF membranlara ait elde edilen giderme verimleri, her atıksu ve kirlilik parametresi için ayrı ayrı sunulmuştur.

Atıksu arıtma işlemlerinde uygulanan basınç koşulları; atıksuların 1, 2, 3 olan numune sıralarına göre, sırasıyla 2, 4 ve 6 bar şeklindedir. Ham atıksu kirlilik yükleri hariç olmak üzere, diğer tüm giderme verim değerlerine ait şekil ve çizelgelerde bu sıralama esas alınmıştır.

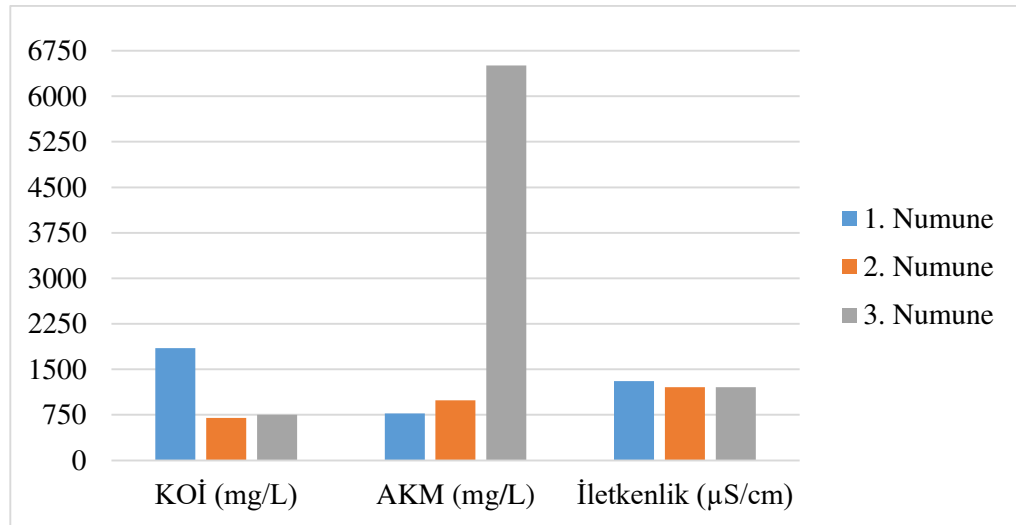
5.4.1. Ham atıksuların kirlilik yükleri

Deneysel çalışmalarda kullanılan P-SH, P-Ü, B-MH ve B-AG atıksularının 3 ayrı numunesine ait ham atıksu kirlilik yükleri şekil 5.29, şekil 5.30, şekil 5.31 ve şekil 5.32’de verilmiştir.



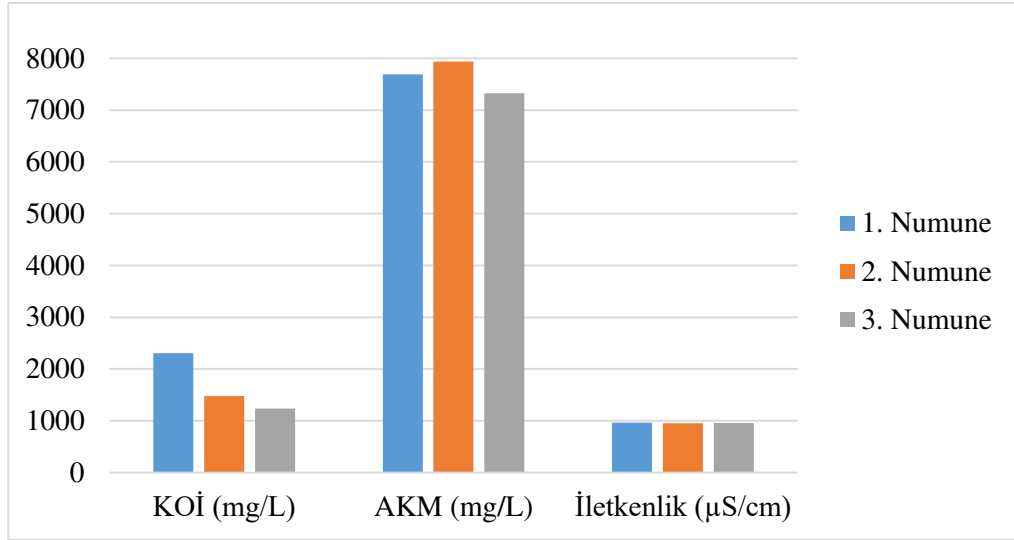
Şekil 5.29. P-SH ham atıksuyunun kirlilik yükleri.

P-SH ham atıksu numunelerinin kirlilik yükleri sırasıyla (1., 2. ve 3. numune olmak üzere); KOİ için 2285-3930-2290 mg/L, AKM için 3968-9982-4867 mg/L ve iletkenlik için 1007-1083-1091 µS/cm şeklindedir.



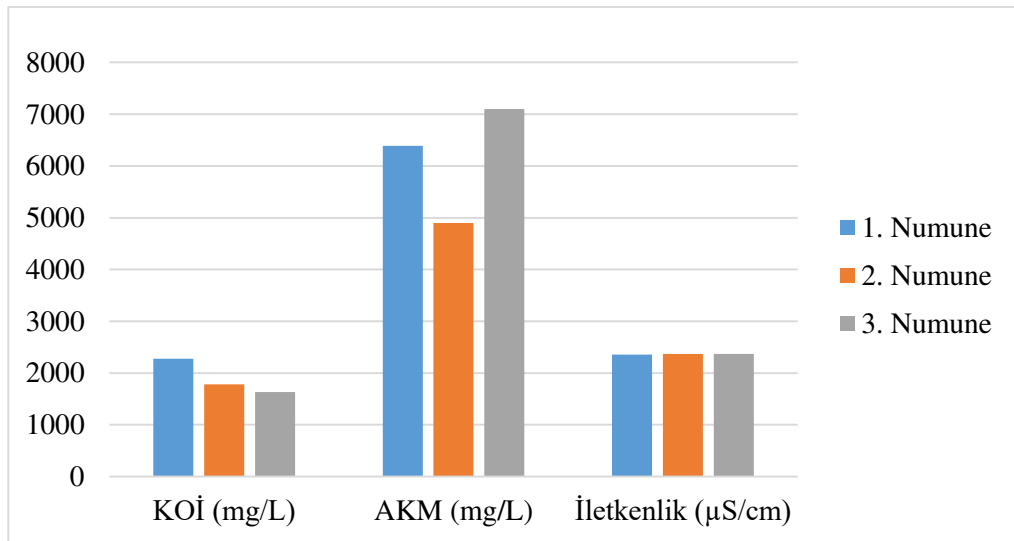
Şekil 5.30. P-Ü ham atıksuyunun kirlilik yükleri.

P-Ü ham atıksu numunelerinin kirlilik yükleri sırasıyla (1., 2. ve 3. numune olmak üzere); KOİ için 1850-700-755 mg/L, AKM için 775-992-6510 mg/L ve iletkenlik için 1309-1205-1208 µS/cm şeklindedir.



Şekil 5.31. B-MH ham atıksuyunun kirlilik yükleri.

B-MH ham atıksu numunelerinin kirlilik yükleri sırasıyla (1., 2. ve 3. numune olmak üzere); KOİ için 2305-1475-1235 mg/L, AKM için 7688-7936-7326 mg/L ve iletkenlik için 963-952-954 µS/cm şeklindedir.



Şekil 5.32. B-AG ham atıksuyunun kirlilik yükleri.

B-MH ham atıksu numunelerinin kirlilik yükleri sırasıyla (1., 2. ve 3. numune olmak üzere); KOİ için 2275-1780-1635 mg/L, AKM için 6386-4898-7099 mg/L ve iletkenlik için 2360-2370-2372 µS/cm şeklindedir.

Şekillere bakıldığında, özellikle ham atıksu numunelerine ait ölçülen AKM değerlerinin çok yüksek olduğu görülmektedir. Seramik üretim prosesi ve kullanılan

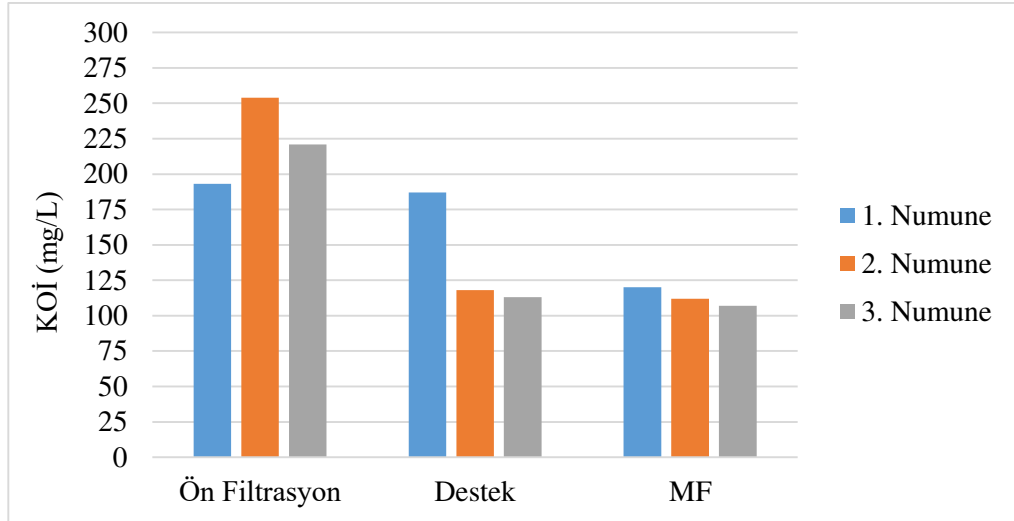
malzemeler göz önüne alındığında, ölçülen bu yüksek parametre değerleri normaldir. Bununla birlikte aynı atıksuya ait numunelerin, her kirlilik parametresi başta iletkenlik değerleri olmak üzere, kendi içinde birbirine yakın değerler göstermiştir. Ancak, özellikle P-SH atıksuyunun 2. numunesi ile P-Ü atıksuyunun 3. Numunesine ait AKM değerlerinin, aynı atıksulara ait diğer numunelere göre çok daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebinin, numunelerin alındığı dönemde fabrikanın üretim proseslerinde gerçekleştirilen ve atıksuların AKM içeriğini standart düzeyin üzerine çıkartan ekstra bir çalışma olduğu düşünülmektedir. Ayrıca B-AG atıksuyu numunelerinin tamamına ait ölçülen iletkenlik değerlerinin diğer atıksulara göre çok daha yüksek olduğu görülmektedir.

Bu durum, B-AG atıksuyunda bulunan ve sudaki iyon etkinliğini artıran bir maddeden kaynaklı olabilir. Özellikle seramik üretiminde kullanılan, sodyum karboksimetil selüloz (Na-CMC) malzemesinin bu yönde bir etkisinin olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla B-AG atıksuyunun içerisinde iletkenliği yükselten maddenin Na-CMC olduğu düşünülmektedir.

Bunun yanı sıra tüm atıksuların KOİ değerlerine bakıldığında ölçülen değer aralıklarının birbirinden çok farklı olmadığı görülmüştür. Bu durum tüm atıksuların farklı proseslerden gelmelerine rağmen organik madde miktarları bakımından benzer olduklarını göstermektedir. Ayrıca ölçülen yüksek AKM değerleri, yapılan deneysel çalışmalar öncesinde sistemin tıkanma riskini en aza indirmek için gerçekleştirilen, ön filtrasyon işleminin yerinde bir uygulama olduğunu bir kez daha göstermiştir.

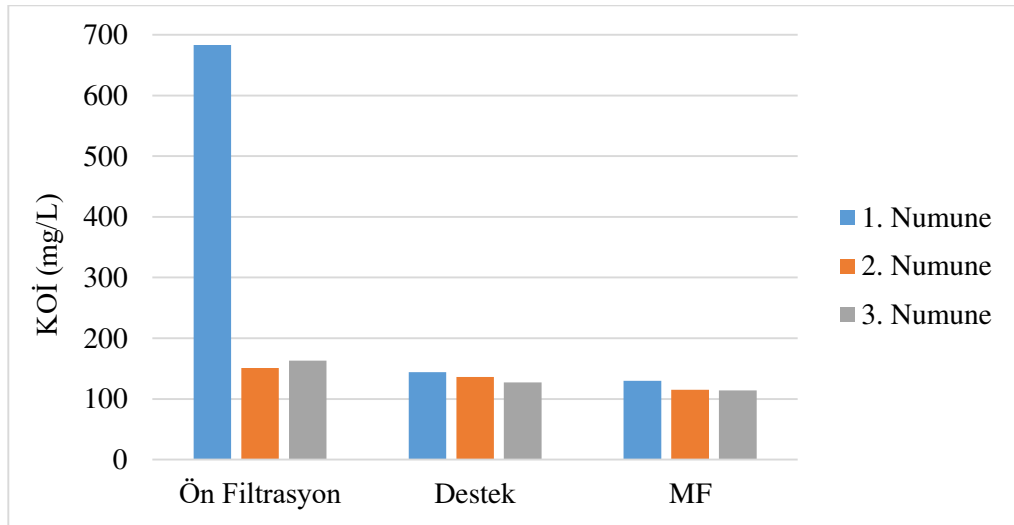
5.4.2. Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) giderimleri

Tüm atıksulara ait mg/L cinsinden elde edilen KOİ giderimleri şekil 5.33, şekil 5.34, şekil 5.35 ve şekil 5.36'da verilmiştir. Verilen değerler gördüğü işlem sonrası atıksularda kalan kimyasal oksijen ihtiyacı düzeylerini miktar olarak göstermektedir.



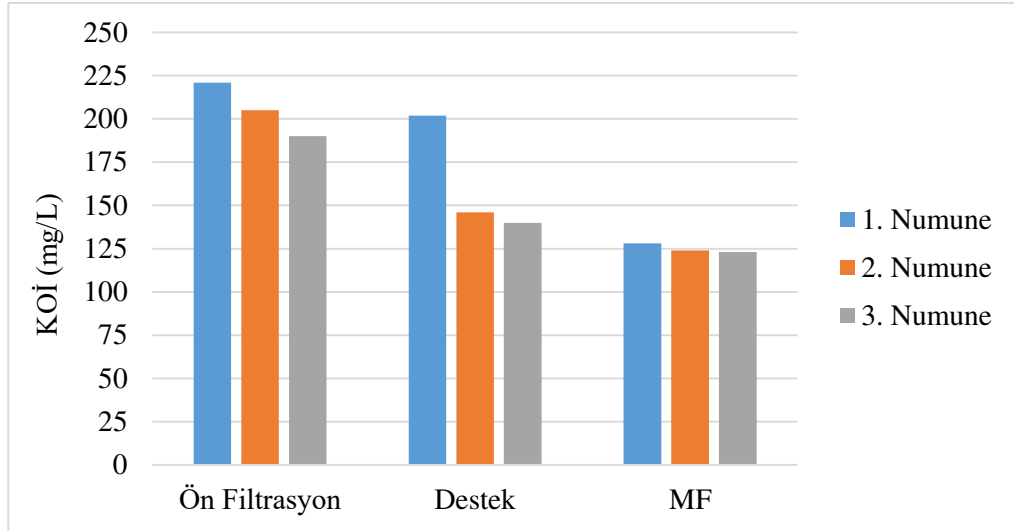
Şekil 5.33. P-SH atıksuyunun, arıtma işlemine göre kalan KOİ miktarları.

P-SH atıksu numunelerinde kalan KOİ miktarları sırasıyla (1., 2. ve 3. numune olmak üzere); ön filtrasyon işlemi sonrasında 193-254-221 mg/L, destek membran geçirimi sonrasında 187-118-113 mg/L ve MF membran geçirimi sonrasında 120-112-107 mg/L şeklindedir.



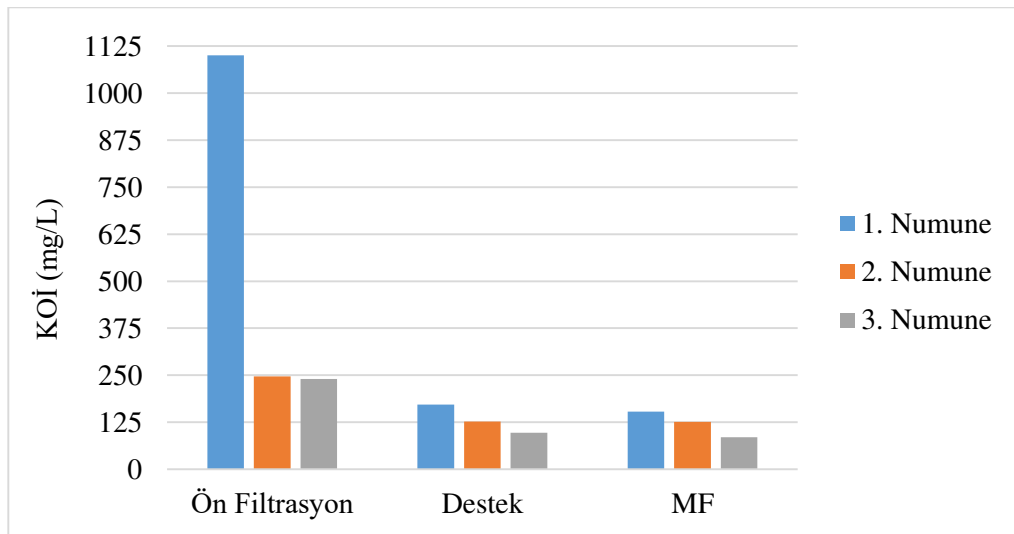
Şekil 5.34. P-Ü atıksuyunun, arıtma işlemine göre kalan KOİ miktarları.

P-Ü atıksu numunelerinde kalan KOİ miktarları sırasıyla (1., 2. ve 3. numune olmak üzere); ön filtrasyon işlemi sonrasında 683-151-163 mg/L, destek membran geçirimi sonrasında 144-136-127 mg/L ve MF membran geçirimi sonrasında 130-115-114 mg/L şeklindedir.



Şekil 5.35. B-MH atıksuyunun, arıtma işlemine göre kalan KOİ miktarları.

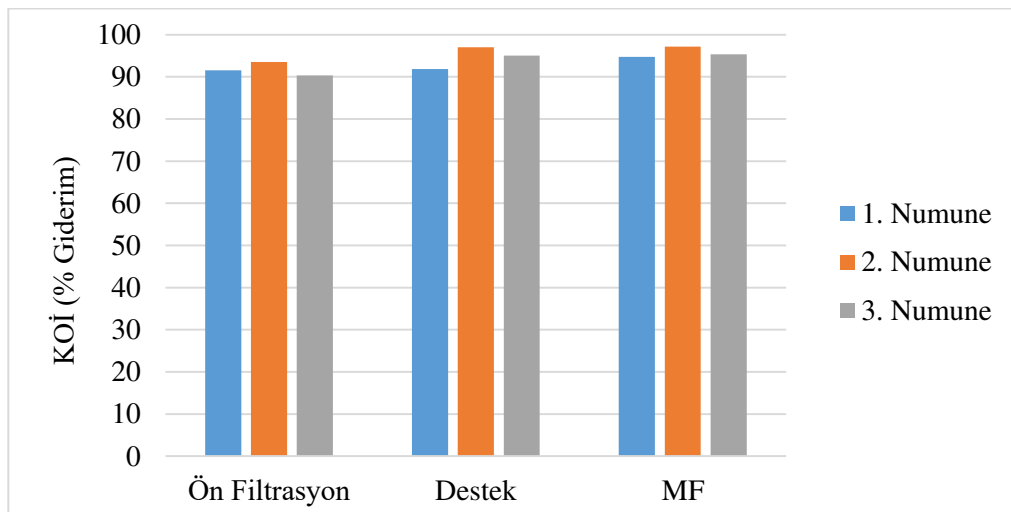
B-MH atıksu numunelerinde kalan KOİ miktarları sırasıyla (1., 2. ve 3. numune olmak üzere); ön filtrasyon işlemi sonrasında 221-205-190 mg/L, destek membran geçirimi sonrasında 202-146-140 mg/L ve MF membran geçirimi sonrasında 128-124-123 mg/L şeklindedir.



Şekil 5.36. B-AG atıksuyunun, arıtma işlemine göre kalan KOİ miktarları.

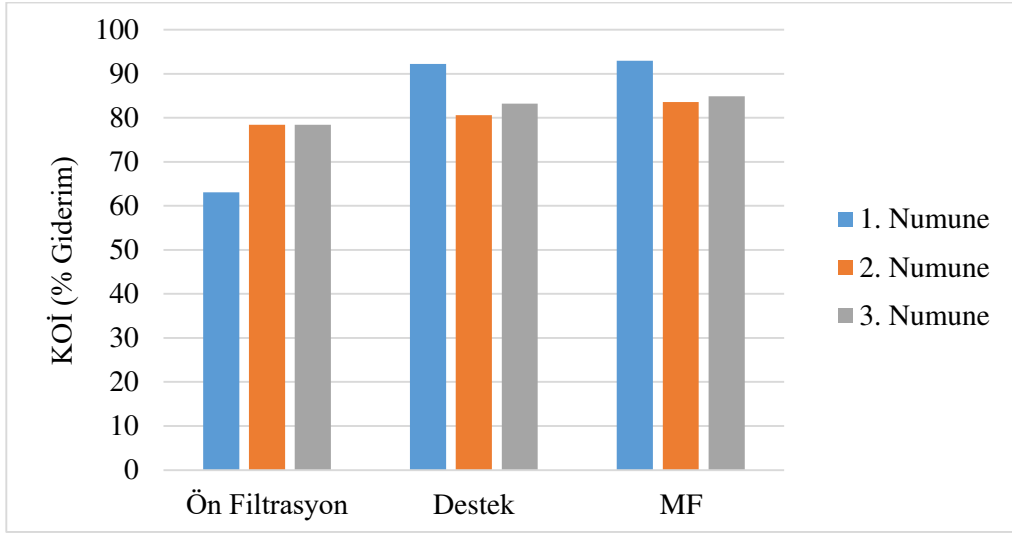
B-AG atıksu numunelerinde kalan KOİ miktarları sırasıyla (1., 2. ve 3. numune olmak üzere); ön filtrasyon işlemi sonrasında 1101-247-240 mg/L, destek membran geçirimi sonrasında 172-127-97 mg/L ve MF membran geçirimi sonrasında 153-126-85 mg/L şeklindedir.

Şekillere bakıldığında, elde edilen KOİ değerleri, ham atıksu değerlerine göre çok aşağıdadır. Bu, yapılan işlemlerin atıksuların KOİ parametresi bakımından oldukça verimli geçtiğinin bir göstergesidir. Ayrıca gerçekleştirilen arıtma işlemlerinde, ilk aşama olan ön filtrasyondan, son aşama olan MF membran geçirime gidildikçe kalan KOİ miktarı da azalma göstermiştir. Bunun sebebi her aşamada arıtma işleminin yapıldığı gözenek boyutunun daha da küçülmesidir. Genel olarak destek ve MF membran geçirimleri sonrasında elde edilen KOİ değerleri, 3 atıksu numunesi içinde birbirine çok yakın çıkmıştır. Bu durum kullanılan membranlara ait gözeneklerin belirli boyut aralığında olmasından kaynaklanmaktadır. Ancak P-Ü ve B-AG atıksularının ön filtrasyon işlemleri için, 1. atıksu numunelerinde kalan KOİ miktarları, 2. ve 3. atıksu numunelerinde kalana göre çok daha fazla çıkmıştır. Bu durumun, atıksu numunelerinde bulunan organik maddelerin boyut dağılımından kaynaklandığı ve ön filtrasyon işlemi için 1. numunelere ait organik madde boyutlarının, diğer numunelere göre daha küçük olduğu düşünülmektedir. Ayrıca gerçekleştirilen arıtma işlemlerinin, destek ve MF membranlarda 1, 2 ve 3 olan numune sıralarına göre, sırasıyla 2, 4 ve 6 bar basınç altında gerçekleştirildiği göz önüne alındığında, basınç artışıyla birlikte giderilen KOİ miktarının daha da arttığı görülmektedir. Bu durum tübüler seramik membranlarda, basıncın artmasıyla birlikte KOİ tutma performansının da arttığını göstermektedir. Tüm atıksulara ait yapılan arıtma işlemleri sonucunda elde edilen KOİ değerleri kullanılarak yüzdesel olarak hesaplanan KOİ giderme verimleri şekil 5.37, şekil 5.38, şekil 5.39 ve şekil 5.40'ta verilmiştir. Giderme verim değerleri ham atıksu için ölçülen KOİ değerleri başlangıç alınarak hesaplanmıştır.



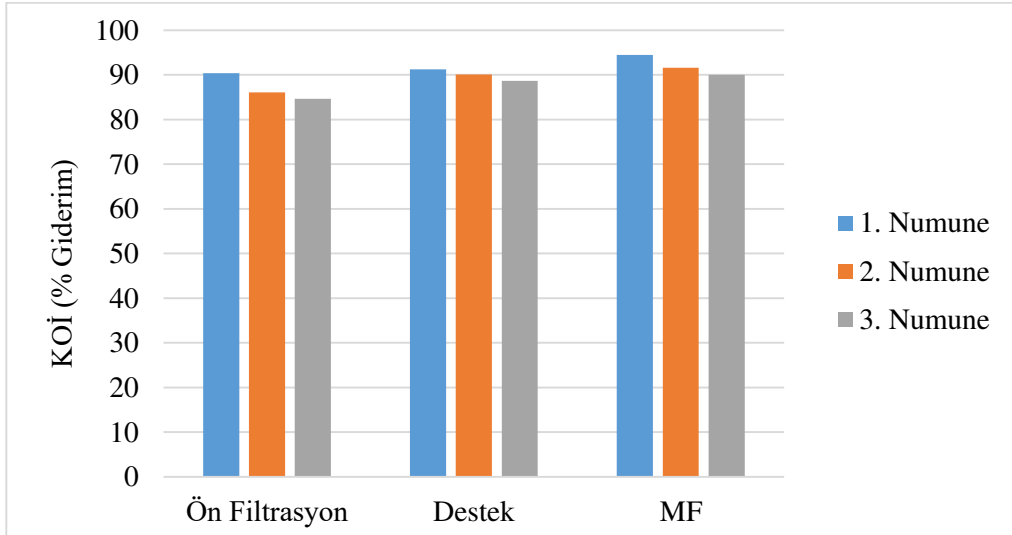
Şekil 5.37. P-SH atıksuyunun, arıtma işlemine göre KOİ giderme verimleri.

P-SH atıksu numunelerinde elde edilen KOİ giderme verimleri; ön filtrasyon işlemi sonrasında % 90,34-93,53, destek membran geçirimi sonrasında % 91,81-96,99 ve MF membran geçirimi sonrasında % 94,74-97,15 aralığında bulunmuştur.



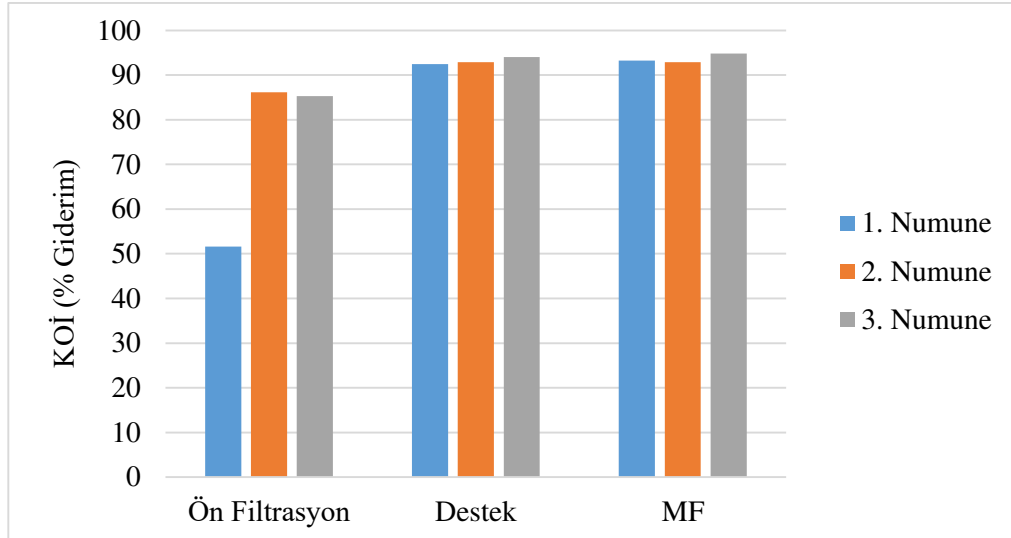
Şekil 5.38. P-Ü atıksuyunun, arıtma işlemine göre KOİ giderme verimleri.

P-Ü atıksu numunelerinde elde edilen KOİ giderme verimleri; ön filtrasyon işlemi sonrasında % 63,08-78,42, destek membran geçirimi sonrasında % 80,57-92,24 ve MF membran geçirimi sonrasında % 83,57-92,97 aralığında bulunmuştur.



Şekil 5.39. B-MH atıksuyunun, arıtma işlemine göre KOİ giderme verimleri.

B-MH atıksu numunelerinde elde edilen KOİ giderme verimleri; ön filtrasyon işlemi sonrasında % 84,61-90,41, destek membran geçirimi sonrasında % 88,66-91,23 ve MF membran geçirimi sonrasında % 90,04-94,44 aralığında bulunmuştur.



Şekil 5.40. B-AG atıksuyunun, arıtma işlemine göre KOİ giderme verimleri.

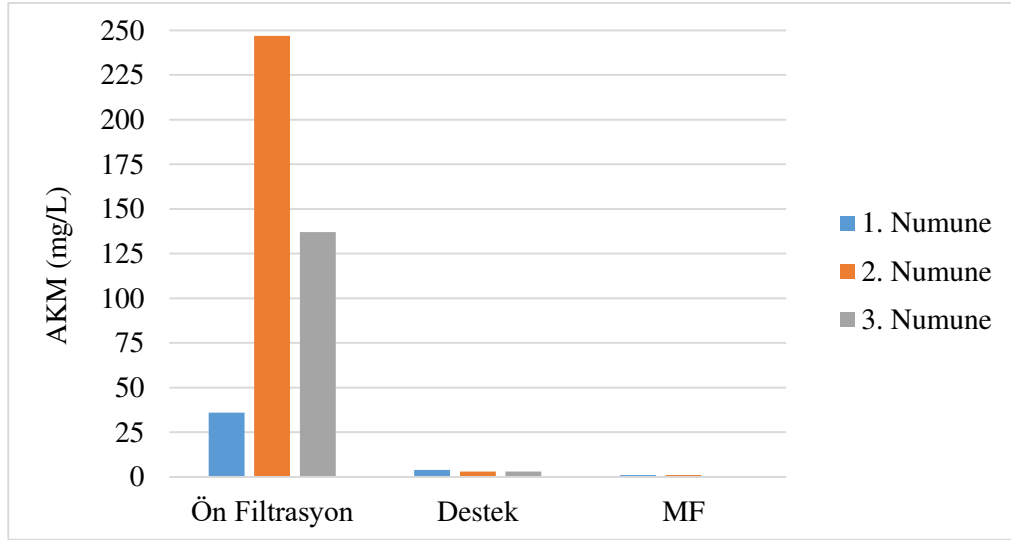
B-MH atıksu numunelerinde elde edilen KOİ giderme verimleri; ön filtrasyon işlemi sonrasında % 51,60-86,12, destek membran geçirimi sonrasında % 92,43-94,06 ve MF membran geçirimi sonrasında % 92,92-94,80 aralığında bulunmuştur.

Elde edilen KOİ giderme verim değerlerine bakıldığında, özellikle destek ve MF membranlarda çok yüksek değerlere ulaşıldığı görülmektedir. KOİ giderme verimleri gözenek boyutunun küçülmesine bağlı olarak artmış olsa da ölçülen değerler arasında bir düzensizlik bulunmaktadır. Bu düzensizliğin sebebi kullanılan atıksu numunelerinin, ham atıksu değerlerinin birbirinden farklı olmasıdır. Çünkü yapılan arıtma işlemleri sonucunda her aşamaya ait elde edilen, kalan KOİ değerleri miktar olarak birbirine çok yakın çıkmıştır. Dolayısıyla ham atıksu değerlerinin çok farklı olması yüzdesel olarak yapılan hesaplamalarda düzensizlik meydana getirmiştir.

Yanı sıra P-Ü ve B-AG atıksularının 1. numunelerine ait ön filtrasyona ait giderme verimleri de beklenildiği şekilde diğerlerine göre daha düşük çıkmıştır. Çünkü bu iki numunenin, ön filtrasyonda tutulan miktarları da oldukça düşük olduğundan, haliyle bu durum doğrudan giderme verimleri üzerine etki yapmıştır. Tüm bunlar göz önüne alındığında elde edilen giderme verimleri başta MF membranlar olmak üzere oldukça tatmin edici bulunmuştur.

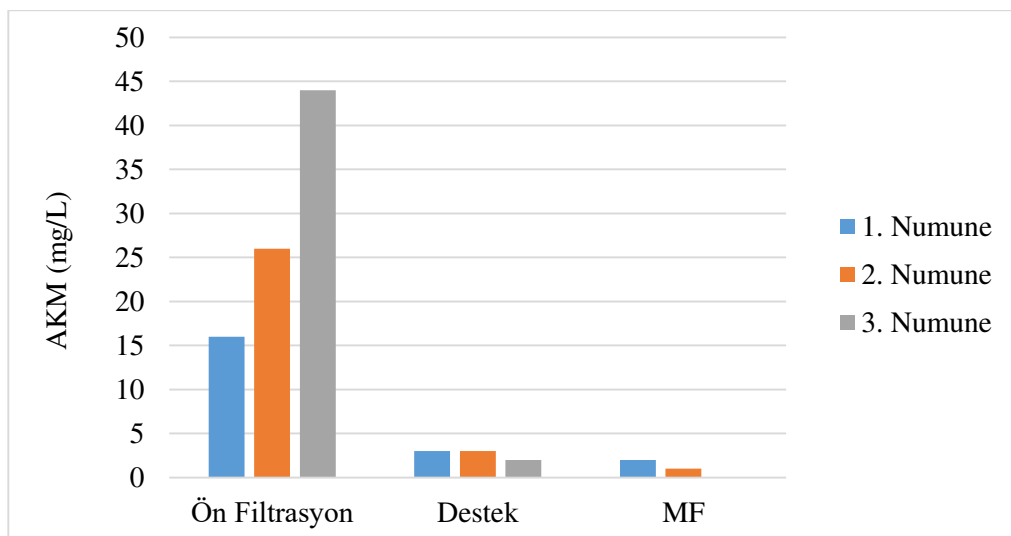
5.4.3. Askıda katı madde (AKM) giderimleri

Tüm atıksulara ait mg/L cinsinden elde edilen AKM giderimleri şekil 5.41, şekil 5.42, şekil 5.43 ve şekil 5.44'te verilmiştir. Verilen değerler gördüğü işlem sonrası atıksularda kalan askıda katı madde düzeylerini miktar olarak göstermektedir.



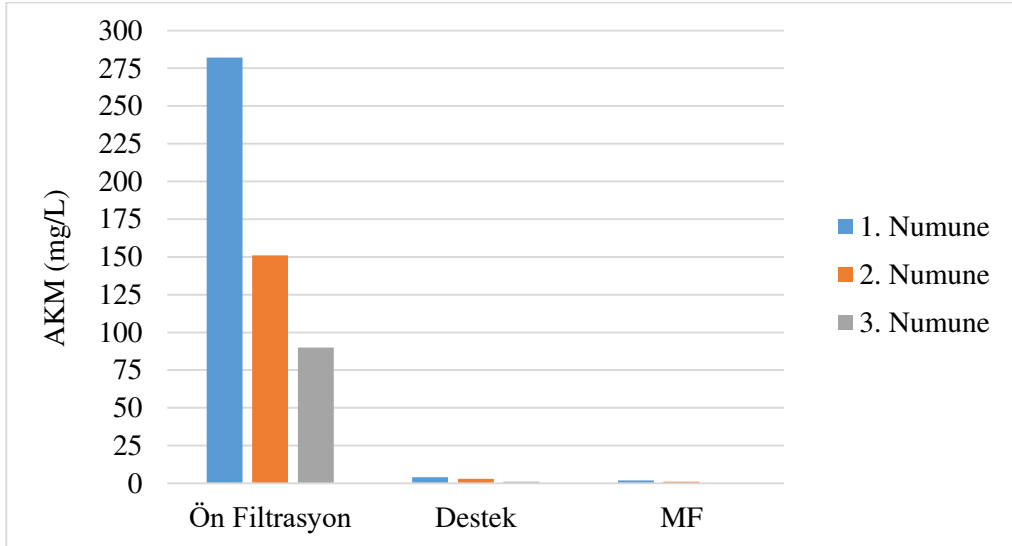
Şekil 5.41. P-SH atıksuyunun, arıtma işlemine göre kalan AKM miktarları.

P-SH atıksu numunelerinde kalan AKM miktarları sırasıyla (1., 2. ve 3. numune olmak üzere); ön filtrasyon işlemi sonrasında 36-247-137 mg/L, destek membran geçirimi sonrasında 4-3-3 mg/L ve MF membran geçirimi sonrasında 1-1-0 mg/L şeklindedir.



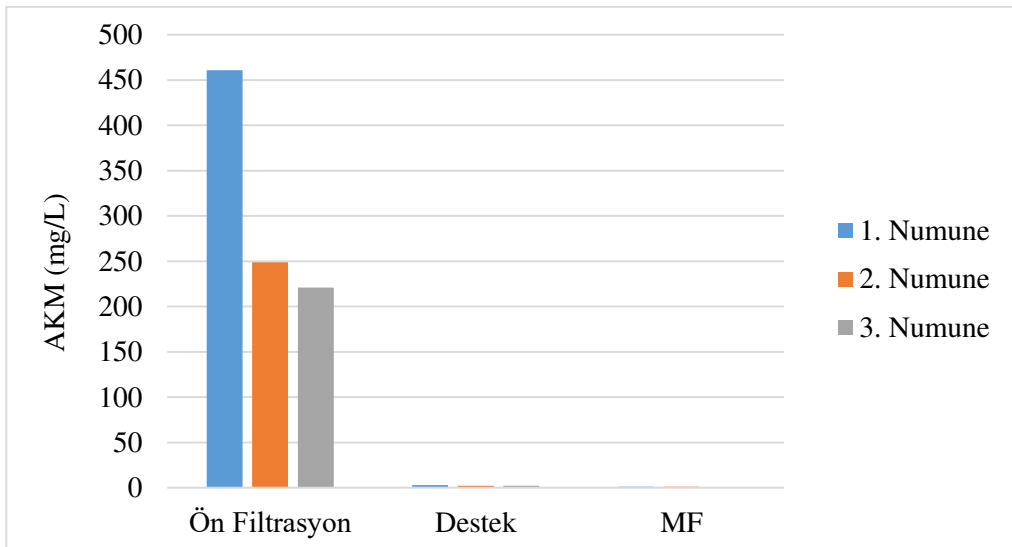
Şekil 5.42. P-Ü atıksuyunun, arıtma işlemine göre kalan AKM miktarları.

P-Ü atıksu numunelerinde kalan AKM miktarları sırasıyla (1., 2. ve 3. numune olmak üzere); ön filtrasyon işlemi sonrasında 16-26-44 mg/L, destek membran geçirimi sonrasında 3-3-2 mg/L ve MF membran geçirimi sonrasında 2-1-0 mg/L şeklindedir.



Şekil 5.43. B-MH atıksuyunun, arıtma işlemine göre kalan AKM miktarları.

B-MH atıksu numunelerinde kalan AKM miktarları sırasıyla (1., 2. ve 3. numune olmak üzere); ön filtrasyon işlemi sonrasında 282-151-90 mg/L, destek membran geçirimi sonrasında 4-3-1 mg/L ve MF membran geçirimi sonrasında 2-1-0 mg/L şeklindedir.



Şekil 5.44. B-AG atıksuyunun, arıtma işlemine göre kalan AKM miktarları.

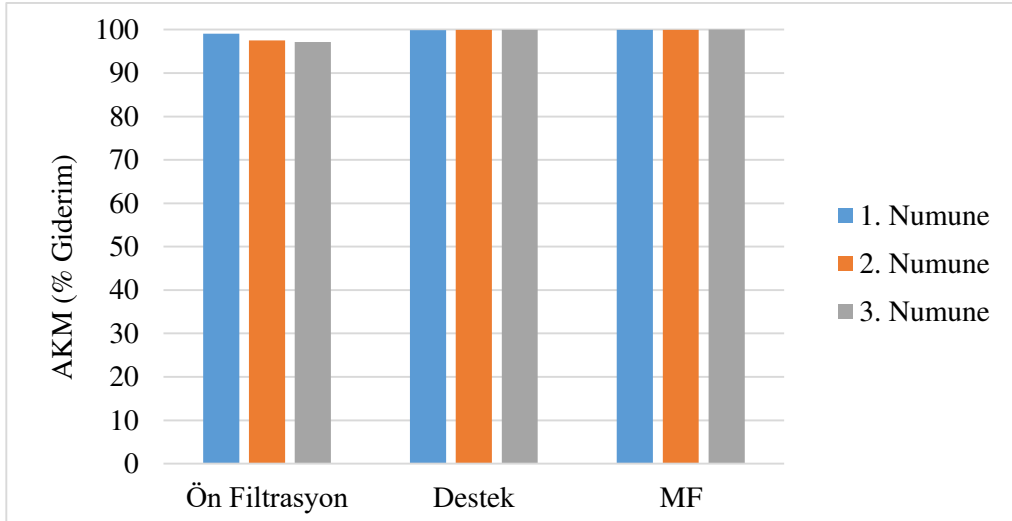
B-AG atıksu numunelerinde kalan AKM miktarları sırasıyla (1., 2. ve 3. numune olmak üzere); ön filtrasyon işlemi sonrasında 461-249-221 mg/L, destek membran geçirimi sonrasında 3-2-2 mg/L ve MF membran geçirimi sonrasında 1-1-0 mg/L şeklindedir.

Şekillere bakıldığında, özellikle destek ve MF membran uygulamaları sonrasında kalan AKM miktarları oldukça düşüktür. Bu miktarlar ham atıksulara ait değerler ile kıyaslandığında aradaki fark bariz bir şekilde göze çarpmaktadır.

Bununla birlikte ön filtrasyonda elde edilen sonuçlar destek ve MF membranlardaki kadar fazla olmasa da, gözenek boyutu açısından bakıldığında bu durum normaldir ve giderilen AKM miktarlarının gözenek boyutu azaldıkça daha da arttığı görülmektedir. Ayrıca ön filtrasyon sonrasında aynı atıksuya ait numuneler arasında dikkat çeken farklılıklar olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun, AKM içeriğini oluşturan maddelerin, boyut farklılıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca destek ve MF membranlara geçildiğinde gözenek boyutunun küçülmesiyle birlikte bu durumun ortadan kalktığı ve elde edilen değerlerin birbirine çok yakın çıktığı görülmektedir.

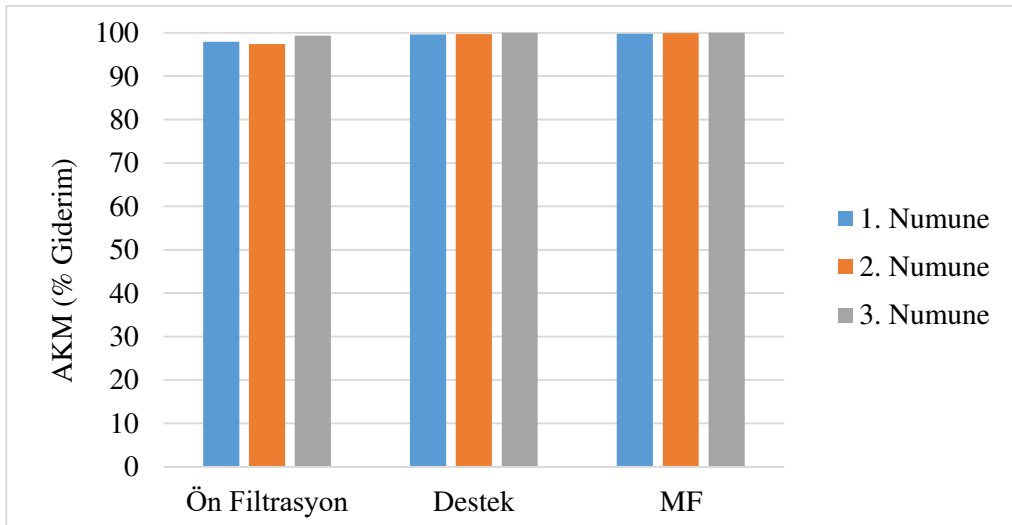
Destek ve MF membran uygulamaları sonrasında, kalan AKM miktarları; 1, 2 ve 3 olan numune sıralarına göre, 2, 4 ve 6 bar basınç altında git gide daha da azalmıştır. Hatta tüm atıksuların, 6 bar basınçta yapılan MF membran uygulamaları sonrasında sahip oldukları AKM içeriklerinin tamamen giderildiği tespit edilmiştir. Bu durum tübüler seramik membranlarda, basıncın artmasıyla birlikte AKM tutma performansının da arttığını göstermektedir.

Tüm atıksulara ait yapılan arıtma işlemleri sonucunda elde edilen AKM değerleri kullanılarak yüzdesel olarak hesaplanan AKM giderme verimleri şekil 5.45, şekil 5.46, şekil 5.47 ve şekil 5.48’de verilmiştir. Giderme verim değerleri ham atıksu için ölçülen AKM değerleri başlangıç alınarak hesaplanmıştır.



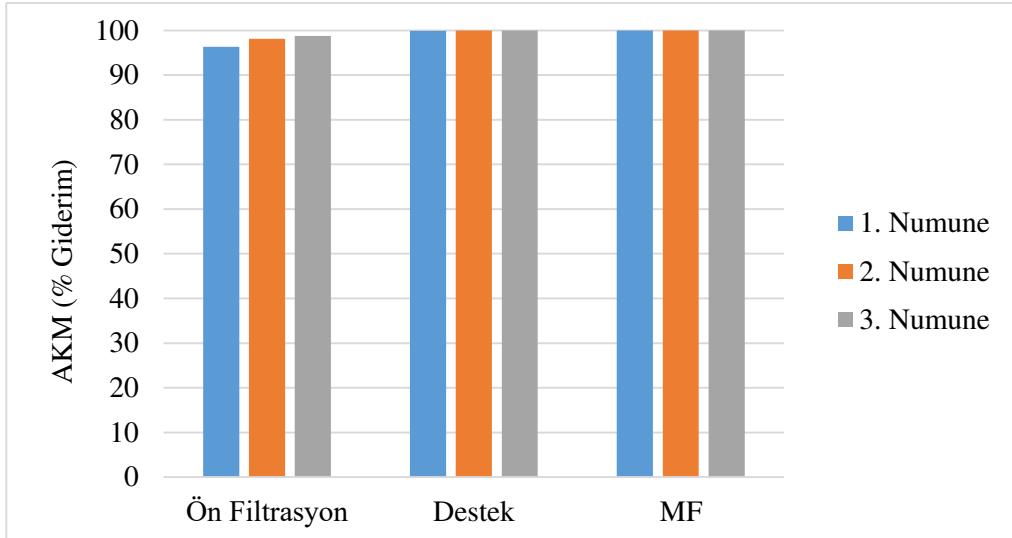
Şekil 5.45. P-SH atıksuyunun, arıtma işlemine göre AKM giderme verimleri.

P-SH atıksu numunelerinde elde edilen AKM giderme verimleri; ön filtrasyon işlemi sonrasında % 97,18-99,09, destek membran geçirimi sonrasında % 99,89-99,96 ve MF membran geçirimi sonrasında % 99,97-100 aralığında bulunmuştur.



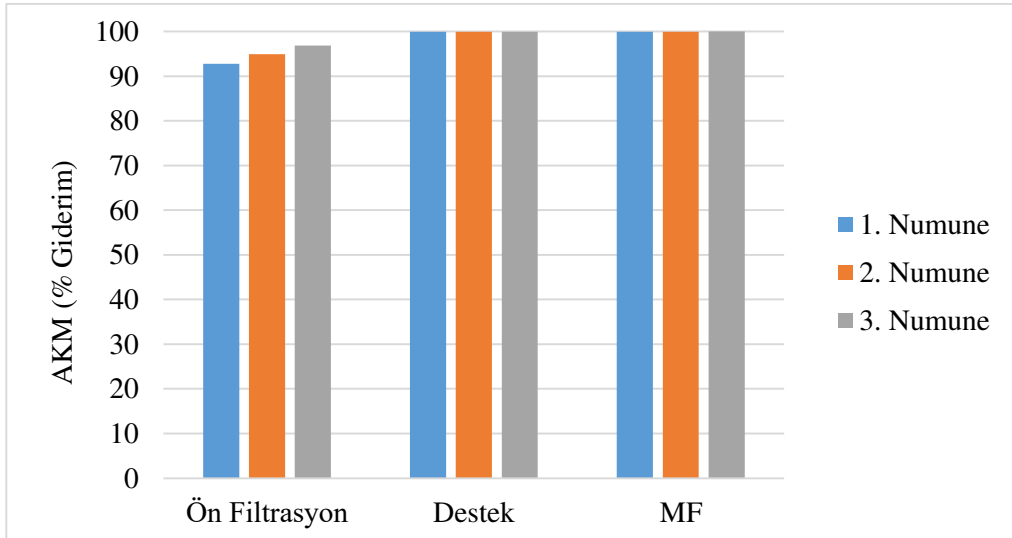
Şekil 5.46. P-Ü atıksuyunun, arıtma işlemine göre AKM giderme verimleri.

P-Ü atıksu numunelerinde elde edilen AKM giderme verimleri; ön filtrasyon işlemi sonrasında % 97,37-99,32, destek membran geçirimi sonrasında % 99,61-99,96 ve MF membran geçirimi sonrasında % 99,74-100 aralığında bulunmuştur.



Şekil 5.47. B-MH atıksuyunun, arıtma işlemine göre AKM giderme verimleri.

B-MH atıksu numunelerinde elde edilen AKM giderme verimleri; ön filtrasyon işlemi sonrasında % 96,33-98,77, destek membran geçirimi sonrasında % 99,94-99,98 ve MF membran geçirimi sonrasında % 99,97-100 aralığında bulunmuştur.



Şekil 5.48. B-AG atıksuyunun, arıtma işlemine göre AKM giderme verimleri.

B-AG atıksu numunelerinde elde edilen AKM giderme verimleri; ön filtrasyon işlemi sonrasında % 92,78-96,88, destek membran geçirimi sonrasında % 99,95-99,97 ve MF membran geçirimi sonrasında % 99,97-100 aralığında bulunmuştur.

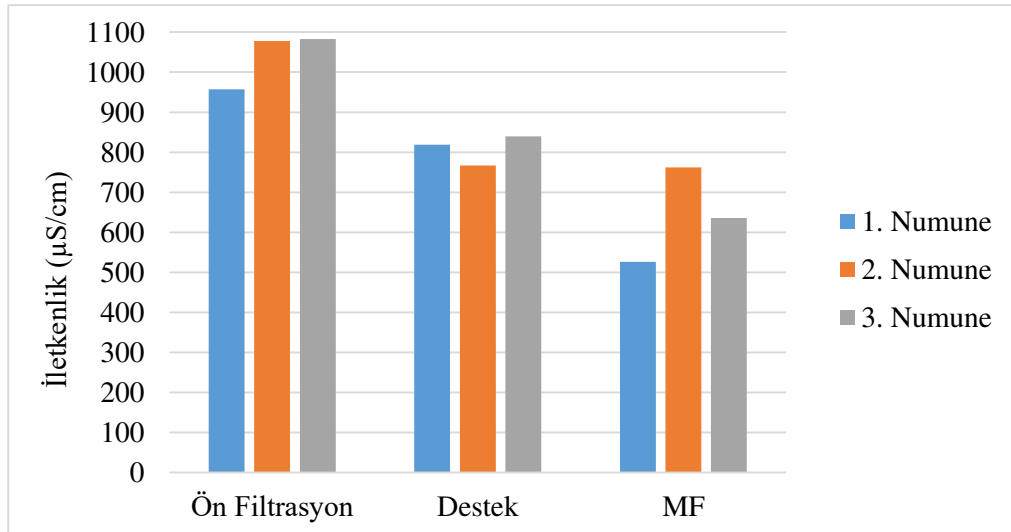
Şekillere bakıldığında, tüm atıksular için elde edilen AKM giderme verim değerlerinin, her üç arıtma aşamasında da % 90'ın üzerinde olduğu görülmektedir. Destek

ve MF membranlarda bu durum % 99'un da üzerindedir ve bu, sağlanan giderimin bir hayli yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Özellikle 6 bar basınçta MF membranlar kullanılarak, atıksuların 3. numunelerinde tam giderim (% 100) sağlanması alınan verimin boyutunu açıkça göstermektedir.

Bu membran tiplerinin kullanımı sonucu kalan AKM miktarlarının çok az ve birbirine çok yakın olması sebebiyle, ham atıksu değerlerindeki farklılıklar, yüzdesel giderme verimleri üzerinde çok fazla düzensizlik meydana getirmemiştir. Ayrıca MF membranlar ile birlikte tam AKM gideriminin sağlanabilmesi, kullanılan seramik atıksularında bulunan askıda katı maddelerin, boyut bakımından mikrofiltrasyon gözenek boyutundan daha büyük olduğunu da göstermektedir.

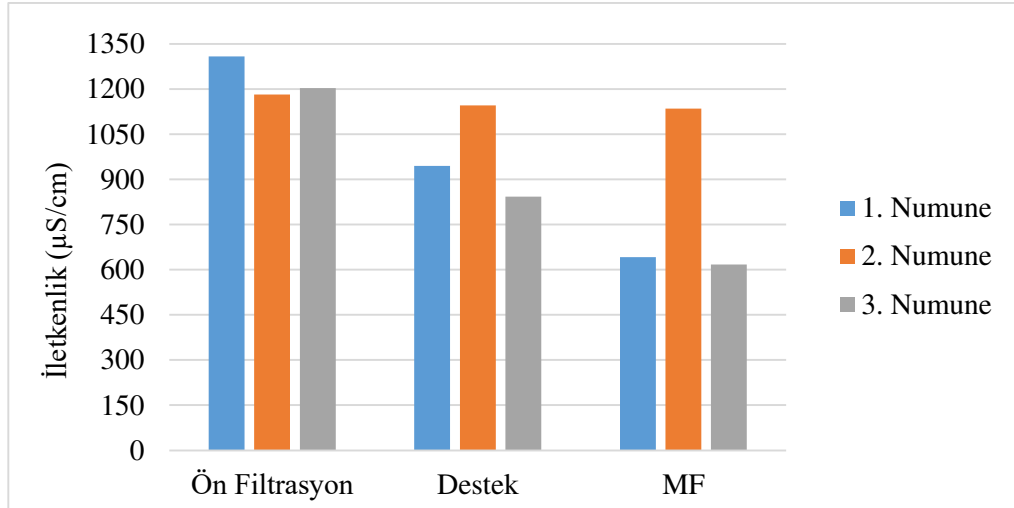
5.4.4. İletkenlik (EC) giderimleri

Tüm atıksulara ait $\mu\text{S}/\text{cm}$ cinsinden elde edilen iletkenlik giderimleri şekil 5.49, şekil 5.50, şekil 5.51 ve şekil 5.52'de verilmiştir. Verilen değerler gördüğü işlem sonrası atıksularda kalan iletkenlik düzeylerini miktar olarak göstermektedir.



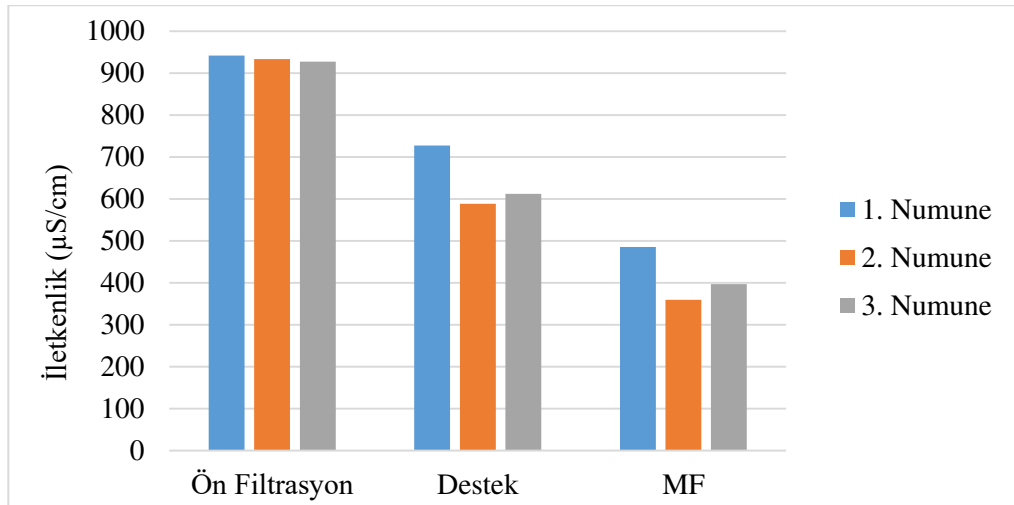
Şekil 5.49. P-SH atıksuyunun, arıtma işlemine göre kalan iletkenlik miktarları.

P-SH atıksu numunelerinde kalan iletkenlik miktarları sırasıyla (1., 2. ve 3. numune olmak üzere); ön filtrasyon işlemi sonrasında 957-1078-1083 $\mu\text{S}/\text{cm}$, destek membran geçirimi sonrasında 819-767-840 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ve MF membran geçirimi sonrasında 526-762-636 $\mu\text{S}/\text{cm}$ şeklindedir.



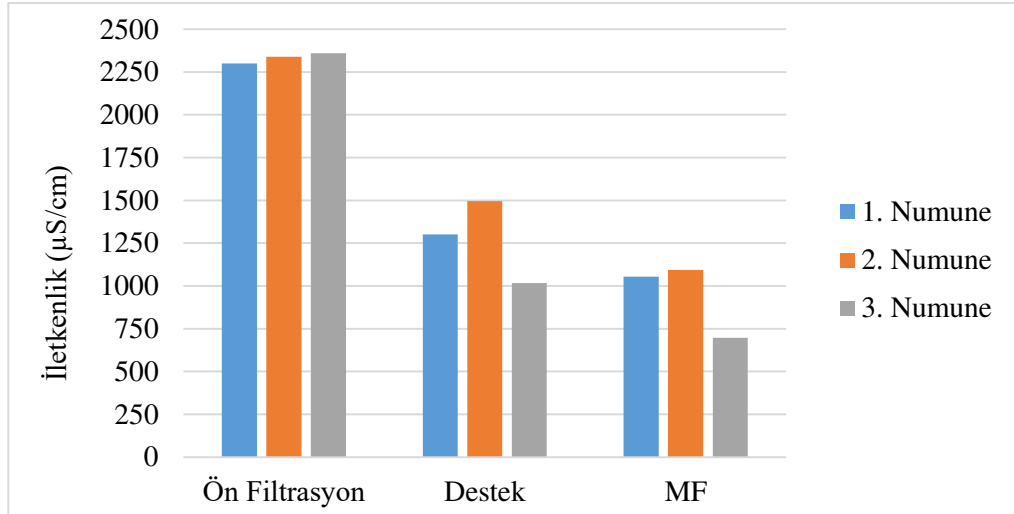
Şekil 5.50. P-Ü atıksuyunun, arıtma işlemine göre kalan iletkenlik miktarları.

P-Ü atıksu numunelerinde kalan iletkenlik miktarları sırasıyla (1., 2. ve 3. numune olmak üzere); ön filtrasyon işlemi sonrasında 1309-1182-1203 $\mu\text{S/cm}$, destek membran geçirimi sonrasında 945-1146-843 $\mu\text{S/cm}$ ve MF membran geçirimi sonrasında 642-1135-617 $\mu\text{S/cm}$ şeklindedir.



Şekil 5.51. B-MH atıksuyunun, arıtma işlemine göre kalan iletkenlik miktarları.

B-MH atıksu numunelerinde kalan iletkenlik miktarları sırasıyla (1., 2. ve 3. numune olmak üzere); ön filtrasyon işlemi sonrasında 942-933-927 $\mu\text{S/cm}$, destek membran geçirimi sonrasında 727-588-612 $\mu\text{S/cm}$ ve MF membran geçirimi sonrasında 485-359-397 $\mu\text{S/cm}$ şeklindedir.



Şekil 5.52. B-AG atıksuyunun, arıtma işlemine göre kalan iletkenlik miktarları.

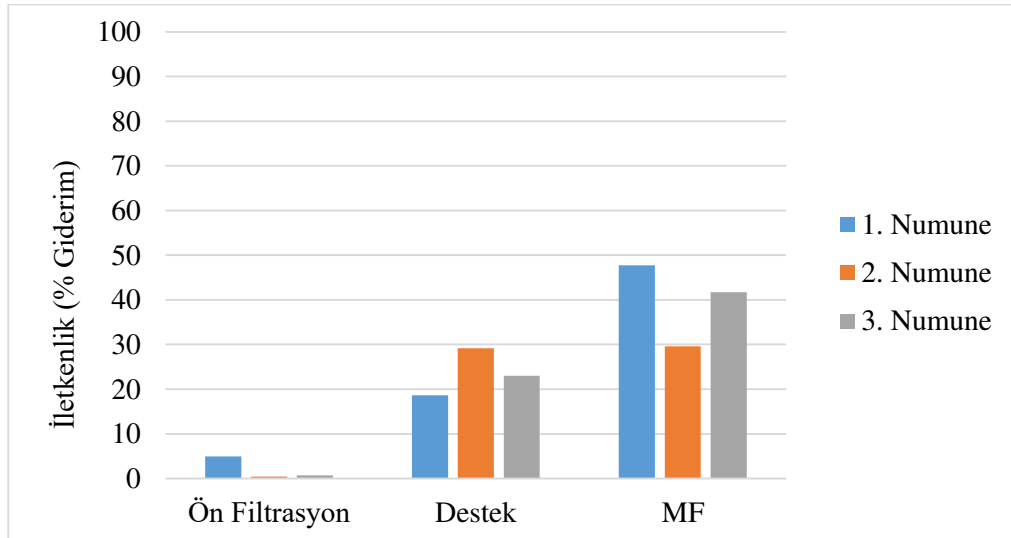
B-AG atıksu numunelerinde kalan iletkenlik miktarları sırasıyla (1., 2. ve 3. numune olmak üzere); ön filtrasyon işlemi sonrasında 2300-2340-2360 $\mu\text{S/cm}$, destek membran geçirimi sonrasında 1302-1495-1017 $\mu\text{S/cm}$ ve MF membran geçirimi sonrasında 1054-1094-696 $\mu\text{S/cm}$ şeklindedir.

Arıtma aşamaları sonrası kalan iletkenlik miktarları, ham atıksu değerleri ile karşılaştırıldığında, ön filtrasyon ile elde edilen iletkenlik giderimlerinin tüm atıksular için çok az olduğu görülmektedir. Ayrıca, destek ve MF membran aşamaları sonrasında kalan iletkenlik miktarları göz önüne alındığında, aynı atıksu numunelerine ait, basınç artışına bağlı olarak ölçülen değerler arasında düzenli bir değişim olmadığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla iletkenlik giderimleri ile uygulanan sistem basınçları arasında bir bağlantı kurulamamıştır. Bu durumun, iletkenliği oluşturan iyonların boyut ve dağılımlarıyla birlikte, iyonların hareketlilik, değerlik ve bağlı konsantrasyon farklarından da kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

Tüm bunlara rağmen membran gözenek boyutlarının azalmasıyla birlikte kalan iletkenlik miktarları git gide azalmıştır. Özellikle destek ve MF membran uygulamalarının etkinliği, genel anlamda oldukça fazla olmuştur. Öyle ki, ham atıksu halindeyken çok yüksek iletkenlik miktarına sahip olan atıksuların dahi iletkenlik miktarları çok düşük değerlere kadar indirilebilmiştir.

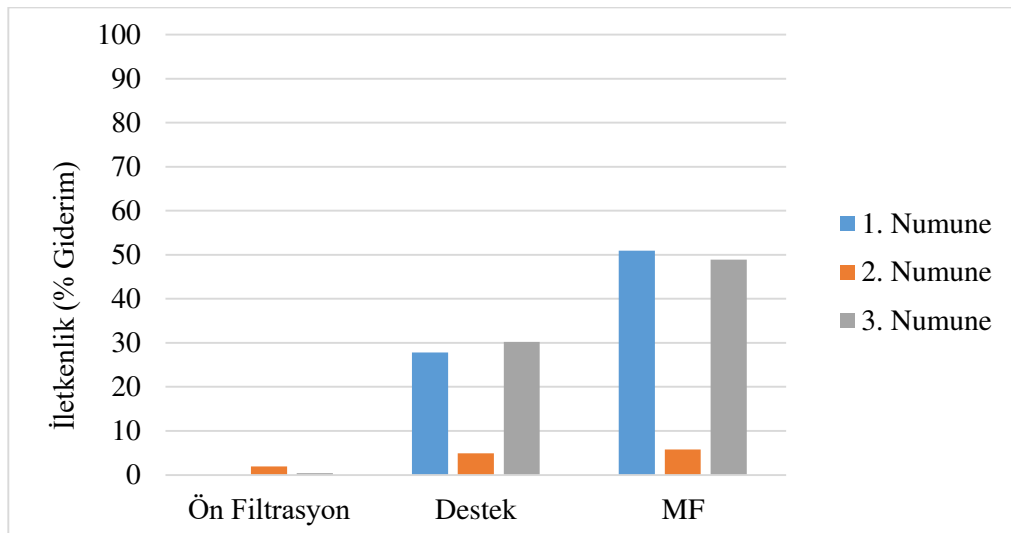
Tüm atıksulara ait yapılan arıtma işlemleri sonucunda elde edilen iletkenlik değerleri kullanılarak yüzdesel olarak hesaplanan iletkenlik giderme verimleri şekil 5.53,

şekil 5.54, şekil 5.55 ve şekil 5.56’da verilmiştir. Giderme verim değerleri ham atıksu için ölçülen iletkenlik değerleri başlangıç alınarak hesaplanmıştır.



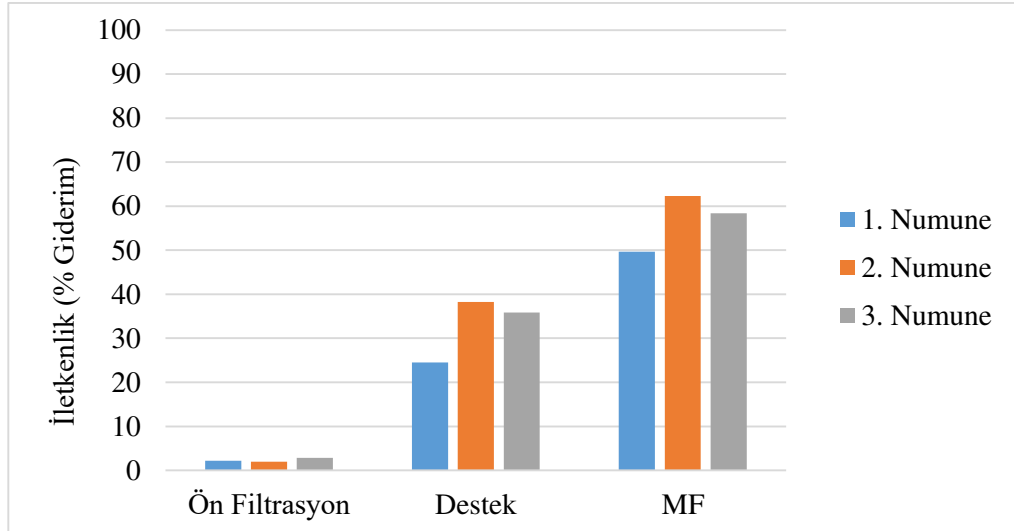
Şekil 5.53. P-SH atıksuyunun, arıtma işlemine göre iletkenlik giderme verimleri.

P-SH atıksu numunelerinde elde edilen iletkenlik giderme verimleri; ön filtrasyon işlemi sonrasında % 0,46-4,96, destek membran geçirimi sonrasında % 18,66-29,17 ve MF membran geçirimi sonrasında % 29,63-47,76 aralığında bulunmuştur.



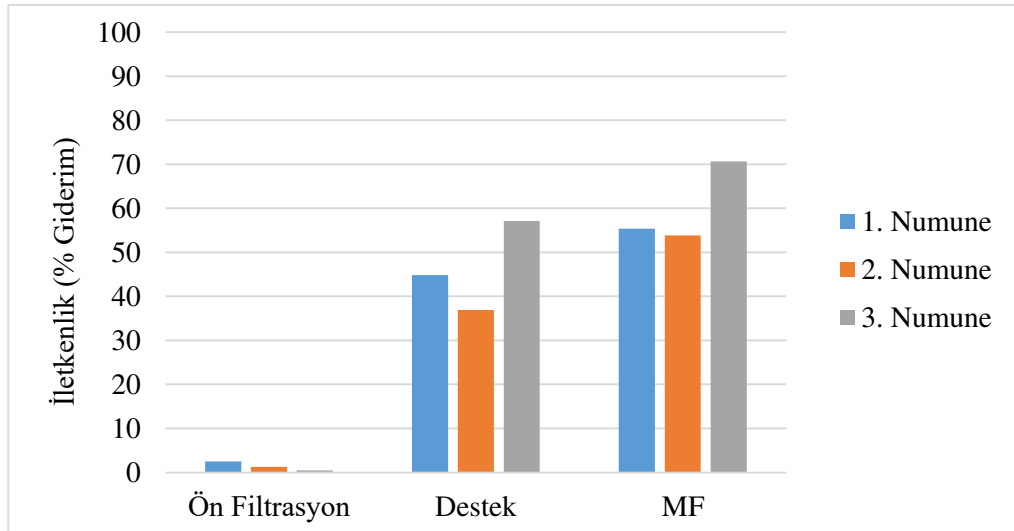
Şekil 5.54. P-Ü atıksuyunun, arıtma işlemine göre iletkenlik giderme verimleri.

P-Ü atıksu numunelerinde elde edilen iletkenlik giderme verimleri; ön filtrasyon işlemi sonrasında % 0-1,90, destek membran geçirimi sonrasında % 4,89-30,21 ve MF membran geçirimi sonrasında % 5,80-50,95 aralığında bulunmuştur.



Şekil 5.55. B-MH atıksuyunun, arıtma işlemine göre iletkenlik giderme verimleri.

B-MH atıksu numunelerinde elde edilen iletkenlik giderme verimleri; ön filtrasyon işlemi sonrasında % 1,99-2,83, destek membran geçirimi sonrasında % 24,50-38,23 ve MF membran geçirimi sonrasında % 49,63-62,28 aralığında bulunmuştur.



Şekil 5.56. B-AG atıksuyunun, arıtma işlemine göre iletkenlik giderme verimleri.

B-AG atıksu numunelerinde elde edilen iletkenlik giderme verimleri; ön filtrasyon işlemi sonrasında % 0,50-2,54, destek membran geçirimi sonrasında % 36,91-57,12 ve MF membran geçirimi sonrasında % 53,83-70,65 aralığında bulunmuştur.

Şekillere bakıldığında arıtma aşamalarına göre elde edilen iletkenlik giderme verimleri, aynı koşullar altında elde edilen KOİ ve AKM giderme verimleri kadar yüksek çıkmamıştır. Bu durum, KOİ içeriğini oluşturan organik maddeler ile AKM içeriğini

oluşturan katı maddelerin, özellik olarak iletkenlik içeriğini oluşturan iyonlardan daha farklı olduğunu göstermektedir.

Özellikle ön filtrasyonda gerçekleşen iletkenlik giderimlerinin azlığı yüzdesel giderme verim değerlerine bakıldığında daha net anlaşılmaktadır. Hatta P-Ü atıksuyuna ait 1. atıksu numunesinin ön filtrasyonunda hiç iletkenlik giderimi olmamıştır. Ancak gözenek boyutunun küçülmesiyle birlikte destek ve MF membran uygulamalarında elde edilen iletkenlik giderme verimleri belirgin bir atış göstermiştir. Yalnızca P-Ü atıksuyunun 2. numunesine ait iletkenlik giderme verimlerinde, kullanılan membranların gözenek boyutu azalsa bile çok fazla bir atış gözlenmemiştir. Bu durumun hem iyon boyutları hem de iyon etkinlikleriyle alakalı olduğu düşünülmektedir. Ayrıca giderme verim değerlerinde de aynı atıksu numuneleri için düzensizlik olduğu görülmektedir. Bu, kalan iletkenlik miktarları göz önüne alındığında normal bir durumdur.

6. SONUÇLAR

α -Al₂O₃ kullanılarak üretilmiş tübüler seramik destek ve MF membranlar ile Porland Porselen ve Bien Seramik fabrikalarına ait 4 farklı seramik atıksuyunun (her atıksu için 3'er numune olmak üzere toplamda 12 atıksu numunesi) arıtımı gerçekleştirilmiştir. Tüm atıksuların, 3 atıksu kirlilik parametresi (KOİ, AKM ve pH) üzerinden karakterizasyonları yapılmıştır. Arıtma işleminin hemen öncesinde de arıtımı gerçekleştirilecek olan atıksuların, ham atıksu değerleri 4 atıksu kirlilik parametresi (KOİ, AKM, pH ve iletkenlik) üzerinden ölçülmüş ve atıksular kaba süzgeç kağıdından geçirilerek ön filtrasyon işlemi uygulanmıştır. Gerçekleştirilen arıtma işlemlerinde kullanılan membranların performans parametreleri olan saf su akıları, atıksu akıları ve kirlilik (KOİ, AKM ve iletkenlik) giderme verimleri belirlenmiş ve membran performans parametrelerine, membran kullanım sayılarının, atıksu kirlilik yüklerinin ve 2, 4 ve 6 bar olmak üzere farklı sistem basınçlarının etkisi araştırılmıştır. Ayrıca farklı sistem basınçlarına bağlı olarak, atıksu arıtımlarına ait işlem sürelerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir.

Atıksuların karakterizasyonunda, kullanılan atıksu numunelerine ait AKM miktarları 2610-36540 mg/L, KOİ miktarları 554-12607 mg/L ve pH değerleri 6,97-8,68 aralığında bulunmuştur. Elde edilen pH değerlerinin, S.K.K.Y. tablo 7.4'te seramik atıksuları için belirtilen deşarj standartlarına uygun olduğu, ancak AKM ve KOİ miktarlarının standart değerlerin çok üzerinde çıktığı görülmüştür. Destek membranların civa porozimetresi ile gerçekleştirilen karakterizasyonunda ise membranların gözenek çapları 0,8896-1,1946 μ m, gözenekliliği %28,32-32,73 aralıklarında bulunmuştur. Membranlara ait SEM görüntülerine bakıldığında, destek membran üretiminde kullanılan böhmitin gözenek boyutunu ve sayısını azaltıcı, bağlayıcı polimerin ise gözenek boyutunu ve sayısını artırıcı yönde etki yaptığı görülmüştür. Ayrıca ekstrüzyon işleminin gözeneklerin büyümesine izin vermediği ve taneciklerin daha iyi paketlenmesini sağladığı belirlenmiştir.

Arıtma işlemi öncesinde, kullanılacak olan ham atıksu numunelerine ait AKM miktarları 775-9982 mg/L, KOİ miktarları 700-3930 mg/L, iletkenlik miktarları 952-2372 μ S/cm ve pH değerleri 7,12-8,23 aralığında bulunmuştur. Elde edilen KOİ ve AKM miktarlarına ait üst değerlerin, karakterizasyonda ölçülen üst değerlerden daha düşük

olduğu görülmüştür. Bu durum, atıksu numunelerinin alım dönemlerinin farklı olmasının, proseslerden kaynaklı durumlar sebebiyle kirlilik yüklerini belirgin bir şekilde değiştirebileceğini göstermiştir.

Ham atıksu numunelerinin ön filtrasyonu sonrasında ölçülen AKM miktarları 16-461 mg/L, KOİ miktarları 151-1101 mg/L, iletkenlik miktarları 942-2360 $\mu\text{S}/\text{cm}$ aralığında bulunmuştur. Ölçülen bu değerlerin ham atıksuların kirlilik yüklerine göre hesaplanan giderme verimleri; AKM için en yüksek %99,32, KOİ için en yüksek %93,53 ve iletkenlik için %4,96 olarak elde edilmiştir. AKM ve KOİ parametrelerinde giderimin çok yüksek, iletkenlik parametresinde ise çok düşük olduğu görülmektedir. Bu, iletkenlik içeriğini oluşturan iyonların, KOİ ve AKM içeriğini oluşturan maddelerden daha düşük boyutlara sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca, ön filtrasyonda kullanılan kaba süzgeç kağıdının gözenek boyutlarının 20-25 μm aralığında olduğu göz önüne alındığında, KOİ ve AKM içeriğini oluşturan maddelerin büyük bir kısmının bu değerin üzerinde boyutlara sahip olduğu anlaşılmıştır.

Destek ve MF membranlara ait saf su ve atıksu akılarının, basıncın artmasıyla birlikte yükseldiği görülmüştür. Ayrıca basınç artışıyla birlikte membranların saf su ve atıksu akılarında meydana gelen düşüş miktarlarının da arttığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte, membranların kullanım sayıları arttıkça hem saf su hem de buna bağlı olarak atıksu akılarında azalma olmuştur. Diğer yandan, atıksuların kirlilik yükünü oluşturan madde özelliklerinin, membranlara ait atıksu akılarında meydana gelen düşüş miktarlarını önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir. Membranların atıksu arıtımı öncesinde, aynı basınç değerinde ölçülen saf su akılarının da birbirinden farklı olduğu görülmüştür. Bu membranlara ait gözenek boyut ve dağılımlarının aynı olmamasından kaynaklanmaktadır.

Destek membranlara ait sırasıyla 2, 4 ve 6 bar basınçlarda elde edilen en düşük saf su akıları 726,91-1419,21-1954,34 $\text{L}/\text{m}^2\text{saat}$, en yüksek saf su akıları 1314,85-2292,59-3649,43 $\text{L}/\text{m}^2\text{saat}$, en düşük atıksu akıları 147,41-407,33-590,16 $\text{L}/\text{m}^2\text{saat}$, en yüksek atıksu akıları ise 837,57-2116,24-2235,28 $\text{L}/\text{m}^2\text{saat}$ olarak ölçülmüştür.

MF membranlara ait sırasıyla 2, 4 ve 6 bar basınçlarda elde edilen en düşük saf su akıları 482,64-928,94-1241,81 $\text{L}/\text{m}^2\text{saat}$, en yüksek saf su akıları 814,67-1575,52-

3030,84 L/m²saat, en düşük atıksu akıları 542,70-833,66-1220,62 L/m²saat, en yüksek atıksu akıları ise 650,25-1550,38-2194,11 L/m²saat olarak ölçülmüştür. Sonuçlar incelendiğinde aynı basınç değerinde ölçülen destek membran saf su akılarının, MF membran akılarından daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu, destek membranların gözenek boyutlarının, MF membranların gözenek boyutlarından daha büyük olmasının bir sonucudur. Ancak en düşük atıksu akılarında bunun tersi bir durum görülmektedir. Atıksuların ilk olarak destek membranlardan geçirilmesi, dolayısıyla MF membranlara daha az kirlilik yükü gitmesi, böyle bir duruma sebebiyet vermiştir.

Destek ve MF membranlar ile gerçekleştirilen atıksu arıtmalarında basıncın artmasıyla birlikte, atıksu içerisinde kalan KOİ ve AKM miktarlarının daha da azaldığı, ancak iletkenlik miktarlarında basınca bağlı bir değişim elde edilmediği görülmüştür. Bu, iletkenlik yükünün, iyonların boyut ve miktarının yanında hareketliliği, değeri ve bağlı konsantrasyonu gibi özelliklerine de bağlı olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca atıksuların pH değerleri, hiçbir arıtma aşamasında düzenli ve belirgin bir değişim göstermemiştir. Bu nedenle giderme verim hesaplarına atıksuların pH değerleri katılmamıştır.

Destek membranlarla yapılan atıksu arıtmaları sonrasında kalan en düşük KOİ miktarı, 97 mg/L olarak 6 bar basınçta Bien Seramik/Arıtma Giriş atıksuyunda ölçülmüştür. Ulaşılan en yüksek KOİ giderme verimi ise, %96,99 olarak 4 bar basınçta Porland Porselen/Sır Hazırlama atıksuyunda elde edilmiştir.

MF membranlarla yapılan atıksu arıtmaları sonrasında kalan en düşük KOİ miktarı, 85 mg/L olarak 6 bar basınçta Bien Seramik/Arıtma Giriş atıksuyunda ölçülmüştür. Ulaşılan en yüksek KOİ giderme verimi ise, %99,15 olarak 4 bar basınçta Porland Porselen/Sır Hazırlama atıksuyunda elde edilmiştir. Hem destek, hem de MF membranlarda, kalan en düşük KOİ miktarları ile ulaşılan en yüksek KOİ giderme verimlerinin farklı basınçlarda ve farklı atıksularda elde edildiği görülmektedir. Buna atıksuların, ham atıksu KOİ değerlerinin birbirinden çok farklı olması neden olmuştur.

Destek membranlarla yapılan atıksu arıtmaları sonrasında kalan en düşük AKM miktarı, 1 mg/L, ulaşılan en yüksek AKM giderme verimi ise, %99,98 olarak 6 bar basınçta Bien Seramik/Masse Hazırlama atıksuyunda elde edilmiştir.

MF membranlarla yapılan atıksu arıtmaları sonrasında kalan en düşük AKM miktarı, 6 bar basınçta tüm atıksular için 0 mg/L, ulaşılan en yüksek AKM giderme verimi de buna bağlı olarak %100 olarak elde edilmiştir. Destek membranlarda, kalan en düşük AKM miktarı ile ulaşılan en yüksek AKM giderme verimi aynı koşullarda, aynı atıksuda elde edilmiştir. Atıksularda kalan AKM miktarlarının, çok küçük ve birbirine çok yakın değerlerde olması sebebiyle, ham atıksu değerlerindeki farklılıklar, elde edilen AKM giderme verimlerine, sonucu değiştirici yönde bir etki yapmamıştır.

Destek membranlarla yapılan atıksu arıtmaları sonrasında kalan en düşük iletkenlik miktarı, 588 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak 4 bar basınçta Bien Seramik/Masse Hazırlama atıksuyunda ölçülmüştür. Ulaşılan en yüksek iletkenlik giderme verimi ise, %57,12 olarak 6 bar basınçta Bien Seramik/Arıtma Giriş atıksuyunda elde edilmiştir.

MF membranlarla yapılan atıksu arıtmaları sonrasında kalan en düşük KOİ miktarı, 359 $\mu\text{S}/\text{cm}$ olarak 4 bar basınçta Bien Seramik/Masse Hazırlama atıksuyunda ölçülmüştür. Ulaşılan en yüksek iletkenlik giderme verimi ise, %70,65 olarak 6 bar basınçta Bien Seramik/Arıtma Giriş atıksuyunda elde edilmiştir. Hem destek, hem de MF membranlarda, kalan en düşük iletkenlik miktarları ile ulaşılan en yüksek iletkenlik giderme verimlerinin farklı basınçlarda ve farklı atıksularda elde edildiği görülmektedir. Buna, KOİ'de olduğu gibi ham atıksu değerlerinin birbirinden çok farklı olması neden olmuştur.

MF membranlar ile gerçekleştirilen atıksu arıtmaları sonucunda elde edilen değerlere bakıldığında, atıksularda kalan AKM miktarlarının S.K.K.Y. tablo 7.4'te seramik atıksuları için belirtilen deşarj standartlarına uygun olduğu, ancak kalan KOİ miktarlarının standart değerlerin biraz üzerinde çıktığı görülmüştür. S.K.K.Y.'de iletkenlik parametresi ile ilgili bir standart değer belirtilmediği için bu konuda bir yargıya varılamamıştır. Tüm bu sonuçlar; tübüler seramik MF membranların, seramik atıksularının her 3 kirlilik parametresi üzerinde de etkisinin olduğunu göstermiştir. Özellikle AKM parametresi bakımından elde edilen sonuçlar oldukça tatmin edici bulunmuştur.

KAYNAKLAR

- Almandoz, C., Pagliero, C., Ochoa, A. and Marchese, J., “Corn syrup clarification by microfiltration with ceramic membranes”, *Journal of Membrane Science*, 363: 87-95 (2010).
- Arı, P. H., “Türkiye’de içme suyu amaçlı büyük kapasiteli membran sistemlerinin maliyet analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2009).
- Baburşah, S., “Tekstil endüstrisi atıksularının gerikazanımı ve yeniden kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2004).
- Baker, R. W., “Membrane Technology and Applications 6th ed.”, *John Wiley and Sons Ltd.*, Chichester (2012).
- Baycık, S., “Granüle yüksek fırın curuflarının karo sektöründe kullanılabilirliğinin araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2003).
- Bendick, J. A., Modise, C. M., Miller, C. J., Neufeld, R. D. and Vidic, R. D., “application of cross-flow microfiltration for the treatment of combined sewer overflow wastewater”, *Journal of Environmental Engineering*, 130 (12): 1442-1449 (2004).
- Bottino, A., Capannelli, C., Borgi, A. D., Colombino, M. and Conio, O., “Water treatment for drinking purpose: Ceramic microfiltration application”, *Desalination*, 141: 75-79 (2001).
- Büyükdere, A., “Tekstil endüstrisi atıksularının membran teknolojileri ile arıtılması ve geri kazanılması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2008).
- Ciora, R. J. and Liu, P. K. T., “Ceramic membranes for environmental related applications”, *Fluid/Particle Separation Journal*, 15 (1): 51 -60 (2003).
- Çevikel, Ü. İ., “Özel betonarme yüzme havuzlarında kaplama malzemesi olarak pvc, cam mozaik ve seramik karoların uygulama yönünden karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2010).
- Dinçer, A. R. ve Kargı, F., “Seramik endüstrisi atıksularının özellikleri ve biyolojik arıtılabilirliği”, *Çevre Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1 (1): 24-28 (2000).
- Erkmen, J., “Boraksın bipolar membranlı bir hücrede elektrodializi ile borik asit ve sodyum hidroksit üretimi”, Doktora Tezi, *Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Erzurum (2013).
- European Commission (EC), “Reference document on best available techniques in the ceramic industry”, *Institute for Prospective Technological Studies*, Seville (2007).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Ghosh, S., Bhattacharya, P., Dutta, S., Vedajnananda, S. and Bandyopadhyay, S., “Crossflow microfiltration using ceramic membrane for treatment of sulphur black effluent from garment processing industry”, *Desalination*, 261: 67-72 (2010).
- Gomes, M. C. S., Pereira, N. C. and De Barros, S. T. D., “Separation of biodiesel and glycerol using ceramic membranes”, *Journal of Membrane Science*, 352: 271-276 (2010).
- Gönüllü, T., “Endüstriyel Kirlenme Kontrolü 1. Cilt”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul (2004).
- Helvacı, A. ve Emrullahoğlu, Ö. F., “Sol-jel metodu ile alümina membranların hazırlanması”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 1 (1): 23-33 (1999).
- International Atomic Energy Agency (IAEA), “Application of membrane technologies for liquid radioactive waste processing”, *Technical Reports Series No. 431 / IAEA*, Vienna (2004).
- İpekçi, C. A. Ve Aköz, F., “Seramik ve seramiklerin şekillendirilmesinde kullanılan kalıp alçısının özellikleri”, *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 28: 249-258 (2010).
- Kayacı, K., “Karaköy (Bilecik) yöresi mikrogranitinin jeolojisi ve seramik bünyelerde kullanım olanaklarının araştırılması”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2007).
- Kaykıoğlu, G., “Biyolojik ön arıtmalı membran sistemler ile tekstil atıksularının geri kazanımı”, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2010).
- Keser, B. Y., “Kaliteli cam üretiminde küçük boyutlu silis kumu kullanımının araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2010).
- Khemakhem, S., Larbot, A. and Amar R. B., “Study of performances of ceramic microfiltration membrane from Tunisian clay applied to cuttlefish effluents treatment”, *Desalination*, 200: 307-309 (2006).
- Kılıç, A., “Doğal seramik ham maddelerden porselen diş yapımı ve metal-seramik arayüzey karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2003).
- Kitiş, M., Yiğit, N. Ö., Köseoğlu, H. ve Bekaroğlu, Ş. Ş., “Su ve atıksu arıtımında ileri arıtma teknolojileri-arıtılmış atıksuların geri kullanımı”, Çevre Görevlisi Eğitimi Ders Notları, *T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı*, Ankara, 1-63 (2009).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Madaeni, S. S., Monfared, H. A., Vatanpour, V., Shamsabadi, A. A., Salehi, E., Daraei, P., Laki, S. and Khatami, S. M., “Coke removal from petrochemical oily wastewater using γ -Al₂O₃ based ceramic microfiltration membrane”, *Desalination*, 293: 87-93 (2012).
- Malayoğlu, U. ve Akar, A., “Killerin sınıflandırmasında ve kullanım alanlarının saptanmasında aranan kriterlerin irdelenmesi”, *Endüstriyel Ham maddeler Sempozyumu*, İzmir (1995).
- Mert, B. K. ve Kestioğlu, K., “Farklı endüstriyel atıksularda membrane teknolojisi uygulamalarının incelenmesi”, *e-Journal of New World Sciences Academy*, 3 (1): 1-19 (2008)
- Mohammad, A. W., Hilal, N. and Seman, M. N. A., “A study on producing composite nanofiltration membranes with optimized properties”, *Desalination*, 158: 73-78 (2003).
- Mohammadi, T., Abadi, S. R. H., Sebzari, M. H., Hemati, M. and Rekabdar, F., “Ceramic membrane performance in microfiltration of oily wastewater”, *Desalination*, 265: 222-228 (2010).
- Moulin, P., Allègre, C., Maisseu, M. and Charbit, F., “Treatment and reuse of reactive dyeing effluents”, *Journal of Membrane Science*, 269: 15-34 (2006).
- Mulder, M., “Basic Principles of Membrane Technology”, *Kluwer Academic Publishers*, Dordrecht (1996).
- Pala, M., “Ters ozmos ile ultrafiltrasyonun temel ilkeleri ve gıda sanayiinde kullanım alanları”, *Gıda*, 4: 155-164 (1982).
- Peker, İ., “Çevre Mühendisliği Kimyası”, *Birsen Yayınevi*, İstanbul (2007).
- Rossignol, N., Vandanjon, L., Jaouen, P. and Quéméneur, F., “Membrane technology for the continuous separation microalgae/culture medium: Compared performances of cross-flow microfiltration and ultrafiltration”, *Aquacultural Engineering*, 20: 191-208 (1998).
- Salt, Y. ve Dinçer, S., “Özel ayırma işlemlerinde bir seçenek: Membran prosesleri”, *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences*, 4 (2006).
- Salvador, R. M., Deratani, A., Palmeri, J. and Sánchez, E., “Use of nanofiltration membrane technology for ceramic industry wastewater treatment”, *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 51 (2):103-110 (2012).
- Samsunlu, A., “Çevre Mühendisliği Kimyası”, *SAM-Çevre Teknolojileri Merkezi Yayınları*, İstanbul (1999).
- Strathmann, H., Giorno, L. and Drioli, E., “An Introduction to Membrane Science and Technology”, *Consiglio Nazionale Delle Ricerche*, Rome (2006).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Şahin, Ü., Elmaslar, E., Tüfekçi, N. ve Bayat, C., “Seramik endüstrisi atıksularının kimyasal arıtılabilirliği”, *Türk Sucul Yaşam Dergisi*, 4: 356-360, (2005).
- Taşıyıcı, S., “Batık membran sistemleri ile içme suyu arıtımı: membran tıkanıklığını azaltmak için farklı yöntemlerin kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2009).
- Topacık, M. S., “Çöp sızıntı sularının nanofiltrasyon ile arıtılması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2006).
- Tsuru, T., “Inorganic porous membranes for liquid phase separation”, *Separation and Purification Methods*, 30 (2): 191-220 (2001).
- Türken, T., “Gümüş nanopartiküller ile kompozit ince boşluklu fiber (hollow fiber) membran üretimi, karakterizasyonu ve uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2013).
- Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB), “Su kirliliği kontrolü yönetmeliği”, *Resmi Gazete*, 25687 (2004).
- Varbanets, M. P., Zurbrügg, C., Swartz, C. and Pronk, W., “Decentralized systems for potable water and the potential of membrane technology”, *Water Research*, 43: 245-265 (2009).
- Water Environment Federation, “Characterization and sampling of wastewater”, *Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants, WEF Manual of Practice No. 11*, 2 (17): 1-40 (2007).
- Yarmuhammet, G., “Tekstil atıksularının membran prosesleri ile geri kazanımında ön arıtmanın etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2012).
- Yeşilırmak, E., Anaç, S. ve Solow, A. R., “Büyük menderes akarsuyu elektriksel iletkenlik değerlerinin mekansal değişiminin jeostatistiksel yöntemlerle belirlenmesi”, *V. Ulusal hidroloji kongresi*, Ankara, 469-478 (2007).
- Yıldız, A., Bağcı, M., Dumlupınar, İ. ve Başaran, C., “Afyonkarahisar ilinin seramik sektörü ham madde potansiyeli”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14: 553-564 (2014).
- Yılmaz, B., “Na-CMC polielektrolit ilavesinin puzolanlı çimento özelliklerine etkisi”, *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 11: 143-154 (2006).

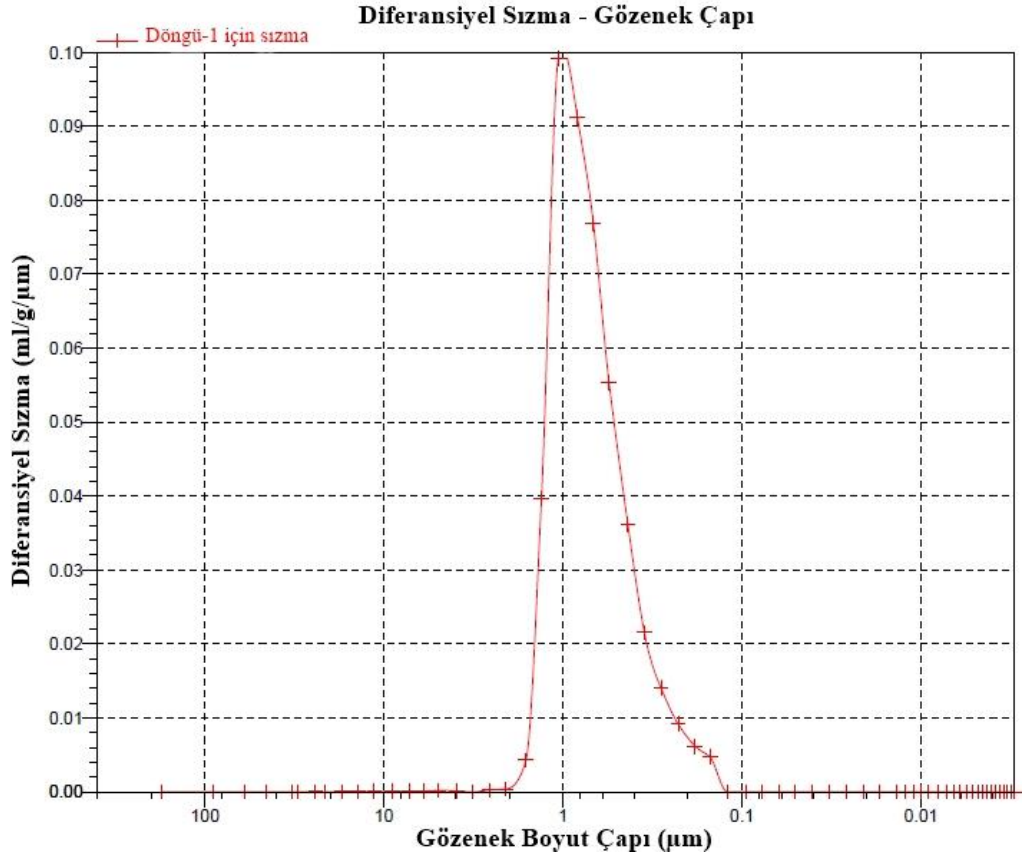
EK-1: 1. destek membran numunesinin civa porozimetresi sonuçları.

Özet Raporu

Basınç; 0,10 psia - 60000,00 psia

Veri Özeti

Örnek Ağırlığı	: 2,9933 g
Toplam nüfuz edilen hacim	: 0,0898 ml/g
Toplam gözenek alanı	: 0,404 m ² /g
Orta gözenek çapı (Hacim)	: 1,0308 µm
Orta gözenek çapı (Alan)	: 0,8547 µm
Ortalama gözenek çapı (4V/A)	: 0,8896 µm
1,04 psia'daki yığın yoğunluğu	: 3,1524 g/ml
Görünür (iskelet) yoğunluk	: 4,3980 g/ml
Gözeneklilik	: 28,32%
Kullanılan gövde hacmi	: 24%



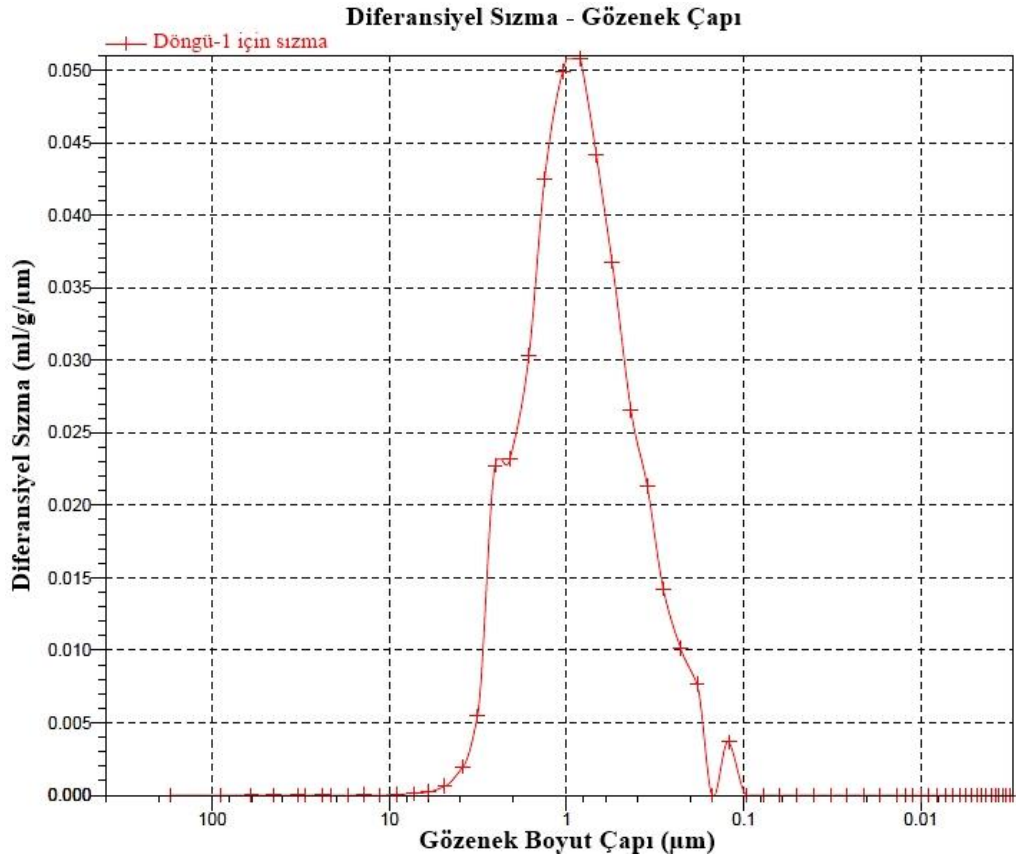
EK-2: 2. destek membran numunesinin civa porozimetresi sonuçları.

Özet Raporu

Basınç; 0,10 psia - 60000,00 psia

Veri Özeti

Örnek Ağırlığı	: 2,2022 g
Toplam nüfuz edilen hacim	: 0,1039 ml/g
Toplam gözenek alanı	: 0,348 m ² /g
Orta gözenek çapı (Hacim)	: 1,5222 µm
Orta gözenek çapı (Alan)	: 0,9664 µm
Ortalama gözenek çapı (4V/A)	: 1,1946 µm
1,04 psia'daki yığın yoğunluğu	: 3,1499 g/ml
Görünür (iskelet) yoğunluk	: 4,6831 g/ml
Gözeneklilik	: 32,74%
Kullanılan gövde hacmi	: 20%



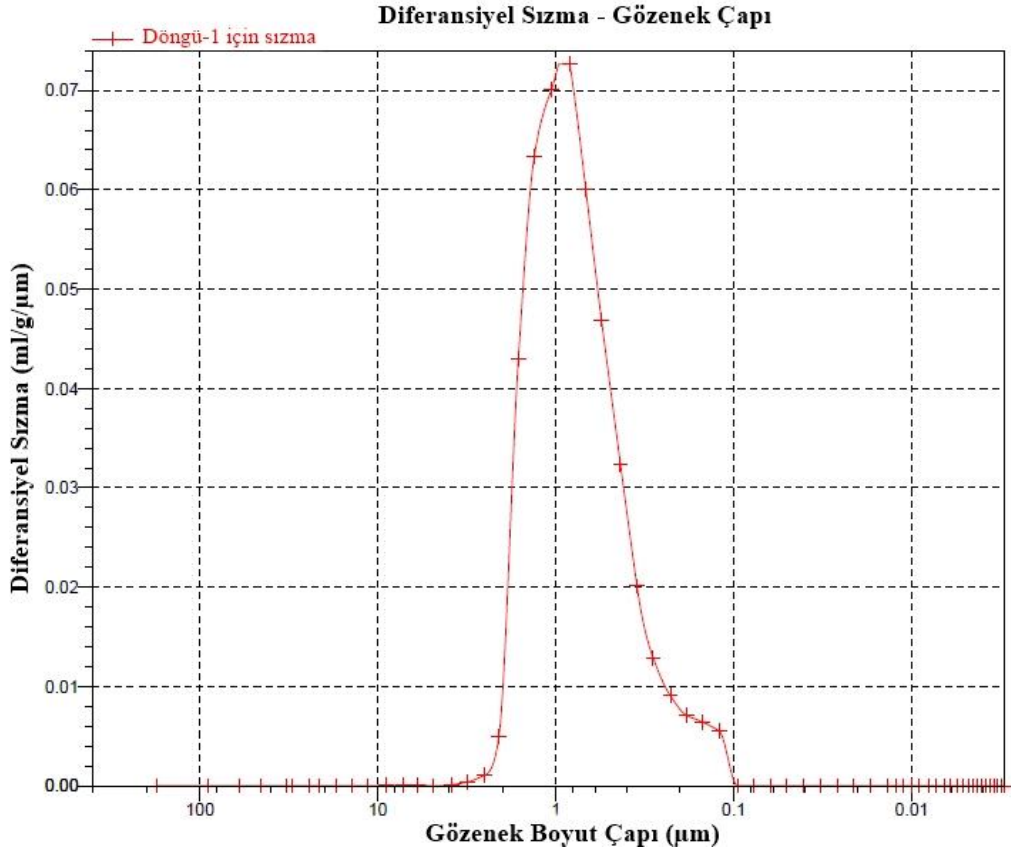
EK-3: 3. destek membran numunesinin civa porozimetresi sonuçları.

Özet Raporu

Basınç; 0,10 psia - 60000,00 psia

Veri Özeti

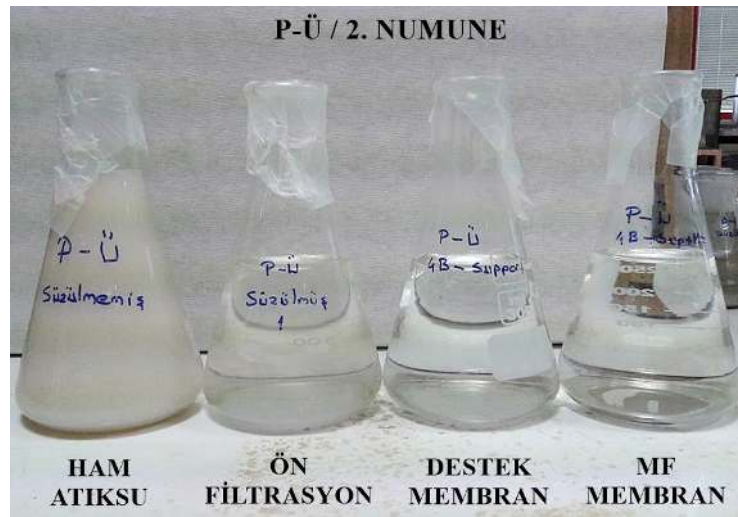
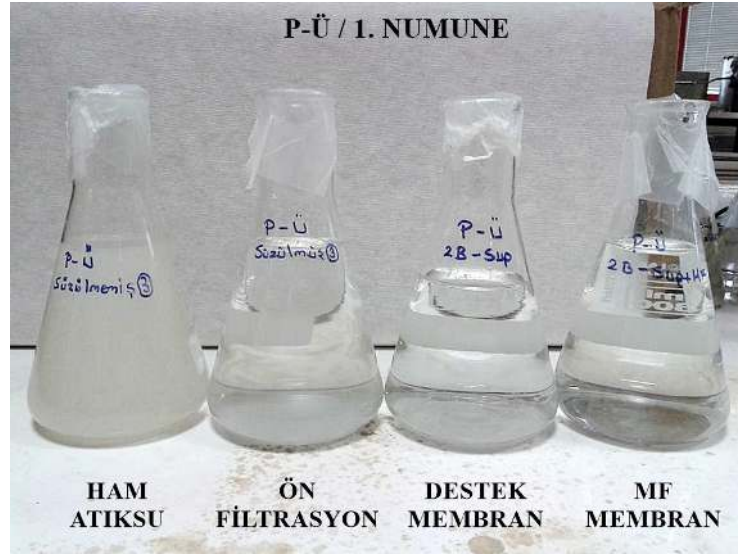
Örnek Ağırlığı	:	2,9276 g
Toplam nüfuz edilen hacim	:	0,1015 ml/g
Toplam gözenek alanı	:	0,403 m ² /g
Orta gözenek çapı (Hacim)	:	1,2271 µm
Orta gözenek çapı (Alan)	:	0,9270 µm
Ortalama gözenek çapı (4V/A)	:	1,0091 µm
1,04 psia'daki yığın yoğunluğu	:	2,9578 g/ml
Görünür (iskelet) yoğunluk	:	4,2277 g/ml
Gözeneklilik	:	30,04%
Kullanılan gövde hacmi	:	26%



EK-4: P-SH atıksu numunelerinin arıtma işlemlerine göre değişimi.



EK-5: P-Ü atıksu numunelerinin arıtma işlemlerine göre değişimi.



EK-6: B-MH atıksu numunelerinin arıtma işlemlerine göre değişimi.



EK-7: B-AG atıksu numunelerinin arıtma işlemlerine göre değişimi.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Buğra KIZILER
Doğum Yeri ve Tarihi : BALIKESİR



Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi / Kimya ve Süreç Mühendisliği
Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

İş Deneyimi

Stajlar : Laboratuvar Stajı / Tahsildaroğlu Süt Ürünleri A.Ş. (2011)
Üretim Stajı / Türk Ytong A.Ş. (2012)
Projeler : TÜBİTAK 1003/Seramik Tübüler MF-UF-NF Membran Modüllerinin Mikro/Nanotasarımı ve Endüstriyel Atıksu Yönetiminde Kullanımlarının Araştırılması
Çalıştığı Kurumlar : Çevre Yapı Arıtma Sistemleri LTD. ŞTİ. (2014-2016)

İletişim

Adres : Atatürk Mah. Alperen Sok. 1 / 3 Karesi / BALIKESİR
Tel : 0 554 430 73 15
E-Posta Adresi : bugra.kpm@gmail.com

Akademik Çalışmaları

Lisans / Ticari Elma Suyu Örneklerinde Antioksidan Aktivite ve Toplam Fenol Miktarı.
Yüksek Lisans / Seramik Tübüler MF-UF-NF Membran Modüllerinin Mikro/Nano tasarımı ve Seramik Endüstrileri Atıksu Yönetiminde Kullanımlarının Araştırılması.

Yabancı Dil Bilgisi

İngilizce (Orta)

Ocak, 2017