

**YENİ POLİMER MEMBRANLAR
KULLANILARAK AĞIR METALLERİN SULU
ÇÖZELTİLERDEN DEĞİŞİK FİLTRASYON
TEKNİKLERİYLE AYRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet SAVRIK

Danışman
Doç. Dr. Cemal ÇİFCİ

KİMYA ANABİLİM DALI
Aralık 2017

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**YENİ POLİMER MEMBRANLAR KULLANILARAK
AĞIR METALLERİN SULU ÇÖZELTİLERDEN
DEĞİŞİK FİLTRASYON TEKNİKLERİYLE
AYRILMASI**

Mehmet SAVRIK

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Cemal ÇİFCİ**

KİMYA ANABİLİM DALI

ARALIK 2017

TEZ ONAY SAYFASI

Mehmet Savrık tarafından hazırlanan “Yeni Polimer Membranlar Kullanılarak Ağır Metallerin Sulu Çözeltilerden Değişik Filtrasyon Teknikleriyle Ayrılması” adlı tez çalışması, lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 28/12/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Kimya Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Cemal ÇİFCİ

Başkan : Prof. Dr. Hüseyin ENGİNAR

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Cemal ÇİFCİ

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Yard. Doç. Dr. İbrahim BULDUK

Uşak Üniversitesi, Sağlık Yüksek Okulu

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../2018 tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım
bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görseli işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

28/12/2017



Mehmet SAVRIK

ÖZET
Yüksek Lisans Tezi

YENİ POLİMER MEMBRANLAR KULLANILARAK AĞIR METALLERİN
DEĞİŞİK FİLTASYON TEKNİKLERİYLE AYRILMASI

Mehmet SAVRIK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Kimya Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Cemal ÇİFCİ

Bu araştırmada; Fe(III) ve Co(II) iyonlarının sulu çözeltilerden kompleksiz ve kompleksli olarak filtrasyonla ayrılması araştırılmıştır. Kompleks ajanı olarak aljinik asit polimeri kullanılmıştır.

Fe(III) iyonlarının sulu çözeltilerden kompleksiz ortamda ayırma işlemlerinde poli(vinil alkol)/selüloz üzerine kaplama [poli(metil metakrilat-ko-etil akrilat)] ve poli(vinil alkol)/selüloz üzerine kaplama [$1/3 \left(\frac{m}{m}\right)$ poli(5-bromo-1-benzofuran-2-il)(fenil)-O-metakrilketoksim-ko-2-(4asetilfenoksi-2-oksoetil-2 metakrilat -2/3 $\left(\frac{m}{m}\right)$ (poli(metil metakrilat-ko-etil akrilat)] kompozit membranları kullanılmıştır. Membranların içeriğinin, basıncın, pH'ın ve çözelti konsantrasyonunun tutulma ve akıya etkileri çalışılmıştır.

Co(II) iyonlarının kompleksiz ortamda filtrasyonunda; poli(vinil alkol)/selüloz üzerine kaplama [poli(metil metakrilat-ko-etil akrilat)] kompozit membranları kullanılmıştır. Membran içeriğinin, çözelti konsantrasyonunun, pH'ın ve basıncın tutulma ve akıya etkileri çalışılmıştır.

Fe(III) ve Co(II) iyonlarının sulu çözeltilerden aljinik asit varlığında ayırma işlemlerinde de poli(vinil alkol)/selüloz üzerine kaplama [poli(metil metakrilat-ko-etil

akrilat)] kompozit membranları kullanılmıştır. Membran içeriğinin, çözelti konsantrasyonunun, pH'ın ve basıncın tutulma ve akıya etkileri araştırılmıştır.

Yapılan bu çalışmada; en iyi tutulma % 0,75 ($\frac{m}{v}$) poli(vinil alkol)/selüloz 2 üzerine kaplama % 0,75 ($\frac{m}{v}$) [poli(metil metakrilat-ko-etil akrilat)] kompozit membranları kullanarak pH=4' te, $0,5 \times 10^{-4}$ M derişimle Fe(III) çözeltisinde, 30 Psi basınçta ve 400 devir/dk karıştırma hızında Aljinik asit varlığında % 94,20 olarak bulunmuştur.

2017, xv + 90 sayfa

Anahtar kelimeler: Membranla filtrasyon, polimer membran, metal iyonlarının tutulması

ABSTRACT

M. Sc Thesis

REMOVAL OF HEAVY METALS FROM AQUEOUS SOLUTIONS USING NEW POLYMER MEMBRANES BY DIFFERENT FILTRATION TECHNIQUES

Mehmet SAVRIK

Afyon Kocatepe University

Graduate school of Natural and Applied Science

Department of Chemistry

Supervisor: Assoc. Prof. Cemal ÇİFCİ

In this study separation of Fe(III) and Co(II) ions from aqueous solutions was investigated for absence and presence of complex. Alginate polymer was used as complexing agents.

Poly(methyl methacrylate-co-ethyl acrylate) covered on poly(vinyl alcohol)/cellulose and poly(methyl methacrylate-co-ethyl acrylate) covered on $[1/3(\frac{m}{m} \text{ Poly(5-bromo-1-Benzofuran-2-yl)(phenyl)-O-methacrylketoxime-co-2-(4-acetylphenoxy-2-oxoethyl-2-methylacrylate)}]$ composite membranes were used in the filtration of Fe(III) ions from aqueous solution for absence of complex

The effects of content of membranes, pressure, pH and concentration of solution on the retention and flux were studied.

Poly[(methyl methacrylate-co-ethyl acrylate)] covered on poly(vinyl alcohol)/cellulose composite membranes were used in the filtration of Co(II) ions for absence of complex. The effects of content of membranes, concentration of solution, pH and pressure on the retention and flux were studied.

Poly[methyl methacrylate-co-ethyl acrylate] covered on poly (vinyl alcohol)/Cellulose composite membranes were used in the filtration Fe(III) and Co(II) ions from aqueous solution for presence of alginic acid. The effects of content of membranes, concentration of solution, pH and pressure on the retention and flux were studied.

In this study; the best retention were found as 94,20 % by using 0,75 % ($\frac{m}{v}$) [Poly(methyl methacrylate-co-ethyl acrylate)] covered on 0,75% ($\frac{m}{v}$) poly(vinyl alcohol)/cellulose 2 composite membranes at pH of 4, concentration of $0,5 \times 10^{-4}$ M Fe(III), pressure of 30 and stirred velocity of 400 rev/min in the presence at alginic acid.

2017, xv + 90 pages

Keywords: Filtration with membrane, polymer membrane, retention of ions

TEŞEKKÜR

Bu alıŐma Afyon Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Fakóltesi Kimya Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerinden Doç. Dr. Cemal ÇİFCİ danışmanlığında hazırlanarak Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne 'Yüksek Lisans Tezi' olarak sunulmuŐtur.

Ayrıca Kimya bölümü başkanlığı bünyesinde yüksek lisans öğrenimime başladığım andan itibaren çalıŐmamın seçimi, planlanması ve yürütülmesi sırasında bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen, laboratuvar uygulamalarının her aşamasında beni yönlendirip, desteğini esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. Cemal ÇİFCİ'ye sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalıŐmalarımız boyunca laboratuvar ve kimyasal malzeme imkanı sağlayan Kimya Bölüm Başkanı Prof. Dr. İbrahim Erol'a ve laboratuvar malzeme imkanı sağlayan ve bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Edebiyat Fakóltesi Kimya Bölümü öğretim üyelerinden sayın hocam Prof. Dr. Hüseyin ENGİNAR'a teşekkür ederim.

Mehmet SAVRIK

AFYONKARAHİSAR, 2017

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiv
1.GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ.....	3
2.1 Membranların Tanımı.....	3
2.2 Membranların Ayırma Mekanizmaları.....	5
2.3 Membranların Sınıflandırılması.....	7
2.3.1 Ayırma Mekanizmalarına Göre Sınıflandırma.....	7
2.3.2 Morfolojilerine Göre Sınıflandırma.....	8
2.3.3 Geometrilerine Göre Sınıflandırma.....	9
2.3.4 Kimyasal Yapılarına Göre Sınıflandırma.....	9
2.4 Membran Performansının Belirlenmesi.....	10
2.4.1 Akı.....	10
2.4.2 Giderim Verimi.....	11
2.5 Membran Performansını Etkileyen Faktörler.....	11
2.5.1 Basınç.....	12
2.5.2 Sıcaklık.....	12
2.5.3 Konsantrasyon.....	12
2.5.4 Membran Ömrü.....	13
2.5.5 Ön Arıtma.....	14
2.5.6 Membran Temizliği.....	14
2.6 Membranların Kullanıldığı Filtrasyon Çeşitleri.....	15
2.6.1 Mikrofiltrasyon(MF).....	16

2.6.2 Ultrafiltrasyon(UF).....	17
2.6.3 Nanofiltrasyon(NF).....	18
2.6.4 Ters Osmoz(RO).....	19
2.6.5 Gaz Ayırma.....	20
2.6.6 Diyaliz.....	21
2.6.7 Pervaporasyon.....	22
2.7 Membran Proseslerin Ekonomik Değeri.....	23
2.8 Adsorpsiyon.....	24
2.8.1 Fiziksel Adsorpsiyon.....	25
2.8.2 Kimyasal Adsorpsiyon.....	25
2.8.3 Değişim(elektrostatik) Adsorpsiyon.....	26
2.9 Ağır Metaller Hakkında Genel Bilgiler.....	26
3. MATERYAL ve METOT.....	33
3.1 Materyal.....	33
3.1.1 Deneşlerde Kullanılan Alet ve Düzenekler.....	33
3.1.2 Deneşlerde Kullanılan Maddeler.....	34
3.2 Metot.....	39
3.2.1 Membranların Hazırlanması.....	39
3.2.2 Membranların Filtrasyon İşleminde Kullanılması.....	45
4. BULGULAR.....	46
4.1 Membran Saf Su Çalışmaları.....	46
4.2 MI, MII, MIII Membranları ile Demir(III) İyonlarının Sulu Çözeltilerden Filtrasyonu.....	50
4.2.1 Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi.....	50
4.2.2 pH'ın Tutulma ve Akıya Etkisi.....	51
4.2.3 Çözelti Konsantrasyonunun Tutulma ve Akıya Etkisi.....	53
4.2.4 Membran İçeriğinin Tutulma ve Akıya Etkisi.....	55
4.3 MIV Membranları İle Demir(III) İyonlarının Sulu Çözeltilerden Filtrasyonu....	56
4.3.1 pH'ın Tutulma ve Akıya Etkisi.....	56
4.3.2 Çözelti Konsantrasyonunun Tutulma ve Akıya Etkisi.....	57
4.3.3 Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi.....	59
4.4 Fe(III)+AA Çözeltilerinin Filtrasyonu.....	61

4.4.1 pH'in Tutulma ve Akıya Etkisi.....	61
4.4.2 Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi.....	62
4.4.3 Çözelti Konsantrasyonunun Tutulma ve Akıya Etkisi.....	63
4.4.4 Membran İçeriğinin Tutulma ve Akıya Etkisi.....	65
4.5 Kobalt(II) İyonlarının Sulu Çözeltilerden Filtrasyonu.....	67
4.5.1 pH'in Tutulma ve Akıya Etkisi.....	67
4.5.2 Çözelti Konsantrasyonunun Tutulma ve Akıya Etkisi.....	68
4.5.3 Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi.....	69
4.5.4 Membran İçeriğinin Tutulma ve Akıya Etkisi.....	71
4.6 Co(II)+AA Çözeltilerinin Filtrasyonu.....	73
4.6.1 pH'in Tutulma ve Akıya Etkisi.....	73
4.6.2 Çözelti Konsantrasyonunun Tutulma ve Akıya Etkisi.....	74
4.6.3 Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi.....	76
4.6.4 Membran İçeriğinin Tutulma ve Akıya Etkisi.....	77
5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....	79
6. KAYNAKLAR.....	81
ÖZGEÇMİŞ.....	90

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

°C	Celcius derece
AA	Aljinik asit
GA	Glutaraldehit
bg	birim gram
C _b	Besleme akımı konsantrasyonu
C _{Co(II)}	C _{Co(II)} çözeltisinin başlangıç derişimi
C _{Co(II)+AA}	C _{Co(II)+AA} çözeltisinin başlangıç derişimi
C _{Fe(III)}	C _{Fe(III)} çözeltisinin başlangıç derişimi
C _{Fe(III)+AA}	C _{Fe(III)+AA} çözeltisinin başlangıç derişimi
C _p	Süzüntü akımı konsantrasyonu
D	Dalton
dk	dakika
DMF	N,N-Dimetil formamit
g	Gram
kg	Kilogram
mg	Miligram
Å	Angstrom
µm	Mikrometre
kmol	Kilomol
kJ	Kilojoule
m/v	Yoğunluk

Kısaltmalar

cm	Santimetre
cm ³	Santimetreküp
ΔC	Konsantrasyon değişimi
ΔE	Enerji değişimi
ΔP	Basınç değişimi
ΔT	Sıcaklık değişimi
dev	Devir
L	Litre
m	Kütle
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
mL	Mililitre
MF	Mikrofiltrasyon
NF	Nanofiltrasyon
nm	Nanometre

Poli(MMA-ko-EA)
Poli(BPMKO-ko-AOEMA)

PVA
PVC
R
RO
Sa
sn
TÇK
UF
UV
V

Poli(metil metakrilat-ko-etil akrilat)
Poli(5-bromo-1-benzofuran-2-il)-O-
metakrilketoksim-ko-2-(4-asetilfenoksi-2-
oksoetil-2-metakrilat)

Poli vinil alkol
Poli vinil klorür
Tutulma
Ters osmoz
Saat
Saniye
Toplam çözünmüş katı
Ultrafiltrasyon
Morötesi
Hacim

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Membran Ayırma Prosesi.....	3
Şekil 2.2 Membran Proseslerde Giriş ve Çıkış Akımları.....	4
Şekil 2.3 MF, UF, NF, RO Membranlarının Ayırma İşleminin Şematik Gösterimi.....	5
Şekil 2.4 Dik ve Çapraz Akış Filtrasyonu.....	7
Şekil 2.5 Membranların Morfolojik Yapılarına Göre Sınıflandırılması.....	9
Şekil 2.6 Konsantrasyon Polarizasyonu ve Jel Tabaka Oluşumu.....	13
Şekil 2.7 Mikrofiltrasyon Membran Ayırma Prosesi.....	17
Şekil 2.8 Ultrafiltrasyon İşlemi.....	18
Şekil 2.9 Nanofiltrasyon İşlemi.....	19
Şekil 2.10 Osmoz ve Ters Osmoz Teknolojileri.....	20
Şekil 2.11 Amonyak Reaktörü Atık Gaz Akımından Hidrojen Geri Kazanımı İçin Oluşturulmuş Membran Sisteminin Basitleştirilmiş Akış Şeması.....	21
Şekil 2.12 Pervaporasyon Prosesinin Şematik Gösterimi.....	23
Şekil 2.13 Ağır Metallerin Çevreye Yayılmasının Şematik Olarak gösterilmesi.....	28
Şekil 3.1 Filtrasyon Akım Şeması.....	34
Şekil 3.2 Poli(vinil alkol)'ün açık kimyasal formülü.....	34
Şekil 3.3 Poli(metil metakrilat-ko-etil akrilat)'ın açık kimyasal formülü.....	35
Şekil 3.4 Poli(BPMKO-ko-AOEMA)'ın açık kimyasal formülü.....	35
Şekil 3.5 Selüloz 1 Filtre Kağıdı SEM Görüntüsü.....	36
Şekil 3.6 Selüloz 2 Filtre Kağıdı SEM Görüntüsü.....	37
Şekil 3.7 Selüloz 3 Filtre Kağıdı SEM Görüntüsü.....	37
Şekil 3.8 Aljinik asidin açık kimyasal formülü.....	38
Şekil 3.9 MI Membranı İçin SEM Görüntüsü.....	42
Şekil 3.10 MII Membranı İçin SEM Görüntüsü.....	42
Şekil 3.11 MIII Membranı İçin SEM Görüntüsü.....	43
Şekil 3.12 MIV Membranı İçin SEM Görüntüsü.....	43
Şekil 3.13 MV Membranı İçin SEM Görüntüsü.....	44
Şekil 3.14 MVI Membranı İçin SEM Görüntüsü.....	44
Şekil 4.1 MI Membranı İçin Saf Su Geçişi.....	47
Şekil 4.2 MII Membranı İçin Saf Su geçişi.....	48

Şekil 4.3 MIII Membranı İçin Saf Su Geçişi.....	48
Şekil 4.4 MIV Membranı İçin Saf Su Geçişi.....	49
Şekil 4.5 MV Membranı İçin Saf Su Geçişi.....	49
Şekil 4.6 MVI Membranı İçin Saf Su Geçişi.....	50
Şekil 4.7 Fe(III) Çözeltisi Filtrasyonunda Basıncın Tutulmaya Etkisi.....	51
Şekil 4.8 Fe(III) Çözeltisi Filtrasyonunda Basıncın Akıya Etkisi.....	51
Şekil 4.9 Fe(III) Çözeltisi Filtrasyonunda pH'ın Tutulmaya Etkisi.....	52
Şekil 4.10 Fe(III) Çözeltisi Filtrasyonunda pH'ın Akıya Etkisi.....	53
Şekil 4.11 Fe(III) Çözeltisi Filtrasyonunda Çözelti Konsantrasyonunun Tutulmaya Etkisi.....	54
Şekil 4.12 Fe(III) Çözeltisi Filtrasyonunda Çözelti Konsantrasyonunun Akıya Etkisi.....	54
Şekil 4.13 Fe(III) Çözeltisi Filtrasyonunda Membran İçeriğinin Tutulmaya Etkisi.....	55
Şekil 4.14 Fe(III) Çözeltisi Filtrasyonunda Membran İçeriğinin Akıya Etkisi.....	56
Şekil 4.15 MIV Membranları İle Fe(III) Çözeltisi Filtrasyonunda pH'ın Tutulmaya Etkisi.....	57
Şekil 4.16 MIV Membranları İle Fe(III) Çözeltisi Filtrasyonunda pH'ın Akıya Etkisi.....	57
Şekil 4.17 MIV Membranları İle Fe(III) Çözeltisi Filtrasyonunda Çözelti Konsantrasyonunun Tutulmaya Etkisi.....	58
Şekil 4.18 MIV Membranları İle Fe(III) Çözeltisi Filtrasyonunda Çözelti Konsantrasyonunun Akıya Etkisi.....	59
Şekil 4.19 MIV Membranları İle Fe(III) Çözeltisi Filtrasyonunda Basıncın Tutulmaya Etkisi.....	60
Şekil 4.20 MIV Membranları İle Fe(III) Çözeltisi Filtrasyonunda Basıncın Akıya Etkisi.....	60
Şekil 4.21 Fe(III)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda pH'ın Tutulmaya Etkisi.....	61
Şekil 4.22 Fe(III)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda pH'ın Akıya Etkisi.....	62
Şekil 4.23 Fe(III)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Basıncın Tutulmaya Etkisi.....	63
Şekil 4.24 Fe(III)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Basıncın Akıya Etkisi.....	63
Şekil 4.25 Fe(III)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Çözelti Konsantrasyonunun Tutulmaya Etkisi.....	64

Şekil 4.26 Fe(III)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Çözelti Konsantrasyonunun Akıya Etkisi.....	65
Şekil 4.27 Fe(III)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Membran İçeriğinin Tutulmaya Etkisi.....	66
Şekil 4.28 Fe(III)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Membran İçeriğinin Akıya Etkisi.....	66
Şekil 4.29 Co(II) Çözeltisi Filtrasyonunda pH'ın Tutulmaya Etkisi.....	67
Şekil 4.30 Co(II) Çözeltisi Filtrasyonunda pH'ın Akıya Etkisi.....	68
Şekil 4.31 Co(II) Çözeltisi Filtrasyonunda Çözelti Konsantrasyonunun Tutulmaya Etkisi.....	69
Şekil 4.32 Co(II) Çözeltisi Filtrasyonunda Çözelti Konsantrasyonunun Akıya Etkisi.....	69
Şekil 4.33 Co(II) Çözeltisi Filtrasyonunda Basıncın Tutulmaya Etkisi.....	70
Şekil 4.34 Co(II) Çözeltisi Filtrasyonunda Basıncın Akıya Etkisi.....	71
Şekil 4.35 Co(II) Çözeltisi Filtrasyonunda Membran İçeriğinin Tutulmaya Etkisi.....	72
Şekil 4.36 Co(II) Çözeltisi Filtrasyonunda Membran İçeriğinin Akıya Etkisi.....	72
Şekil 4.37 Co(II)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda pH'ın Tutulmaya Etkisi.....	73
Şekil 4.38 Co(II)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda pH'ın Akıya Etkisi.....	74
Şekil 4.39 Co(II)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Çözelti Konsantrasyonunun Tutulmaya Etkisi.....	75
Şekil 4.40 Co(II)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Çözelti Konsantrasyonunun Akıya Etkisi.....	75
Şekil 4.41 Co(II)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Basıncın Tutulmaya Etkisi.....	76
Şekil 4.42 Co(II)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Basıncın Akıya Etkisi.....	77
Şekil 4.43 Co(II)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Membran İçeriğinin Tutulmaya Etkisi.....	78
Şekil 4.44 Co(II)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Membran İçeriğinin Akıya Etkisi.....	78

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1 Membran Proseslerin Ticari Gelişim Süreci.....	2
Çizelge 2.1 Ticari Olarak Üretilen Organik Membran Çeşitleri.....	10
Çizelge 2.2 Membranların Sürücü Kuvvetlerine Göre Sınıflandırılmaları.....	16
Çizelge 3.1 Destek Olarak Kullanılan Filtre Kağıtlarının Fiziksel Özellikleri.....	36
Çizelge 3.2 Kullanılan Kompozit Membranların Özellikleri.....	41
Çizelge 4.1 MI, MII, MIII, MIV, MV, MVI Membranları için Saf Su Geçişi.....	47
Çizelge 4.2 Fe(III) Çözeltisi Filtrasyonunda Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi.....	50
Çizelge 4.3 Fe(III) Çözeltisi Filtrasyonunda pH'ın Tutulma ve Akıya Etkisi.....	52
Çizelge 4.4 Fe(III) Çözeltisi Filtrasyonunda Çözelti Konsantrasyonunun Tutulma ve Akıya Etkisi.....	53
Çizelge 4.5 Fe(III) Çözeltisi Filtrasyonunda Membran İçeriğinin Tutulma ve Akıya Etkisi.....	55
Çizelge 4.6 MIV Membranları İle Fe(III) Çözeltisi Filtrasyonunda pH'ın Tutulma ve Akıya Etkisi.....	56
Çizelge 4.7 MIV Membranları İle Fe(III) Çözeltisi Filtrasyonunda Çözelti Konsantrasyonunun Tutulma ve Akıya Etkisi.....	58
Çizelge 4.8 MIV Membranları İle Fe(III) Çözeltisi Filtrasyonunda Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi.....	59
Çizelge 4.9 Fe(III)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda pH'ın Tutulma ve Akıya Etkisi.....	61
Çizelge 4.10 Fe(III)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi.....	62
Çizelge 4.11 Fe(III)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Çözelti Konsantrasyonunun Tutulma ve Etkisi.....	64
Çizelge 4.12 Fe(III)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Membran İçeriğinin Tutulma ve Akıya Etkisi.....	65
Çizelge 4.13 Co(II) Çözeltisi Filtrasyonunda pH'ın Tutulma ve Akıya Etkisi.....	67
Çizelge 4.14 Co(II) Çözeltisi Filtrasyonunda Çözelti Konsantrasyonunun Tutulma ve Akıya Etkisi.....	68
Çizelge 4.15 Co(II) Çözeltisi Filtrasyonunda Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi.....	70
Çizelge 4.16 Co(II) Çözeltisi Filtrasyonunda Membran İçeriğinin Tutulma ve Akıya Etkisi.....	71

Çizelge 4.17 Co(II)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda pH'ın Tutulma ve Akıya Etkisi.....	73
Çizelge 4.18 Co(II)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Çözelti Konsantrasyonunun Tutulma ve Akıya Etkisi.....	74
Çizelge 4.19 Co(II)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi.	76
Çizelge 4.20 Co(II)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Membran İçeriğinin Tutulma ve Akıya Etkisi.....	77

1. GİRİŞ

Membran sistemler günümüzde su ve atıksu arıtımında alternatif bir teknoloji olarak tercih edilen Fransız fizikçi Jean Antoine Nollet tarafından 1748 yılında osmoz olayının ortaya konması ile gelişmeye başlamıştır (Water Environment federation 2006). Nollet bir şarap fiçisinin ağzına hayvan derisi gererek fiçiyi suya batırması ve yapmış olduğu çalışmada suyun fiçi içine geçerken şarabın suya geçmediğini gözlemleyerek osmoz olayını bulmuştur (Özkan 2007).

1855 yılında Fick tarafından ilk sentetik membran nitro selülozdan meydana gelmiştir. Graham sentetik membranlar ile 1861 yılında ilk elektrodializ deneylerini yapmıştır. Trauba ve Pfeffer daha sonraki 30 yıl boyunca osmotik basınç ve osmoz arasındaki ilişkiyi açıklamak üzere yapay membranlar yapmışlardır.

Ultrafiltrasyon terimi 1906 yılında Bechold tarafından ilk olarak kullanılmıştır. Mikro gözenekli filtreler 1910 yılında Zigmondy tarafından yapılmıştır. İlk ticari gelişim Almanya'da Sartorius firması tarafından yapılmıştır. İlk olarak 1920'lerde ters osmoz (RO) çalışmaları gözlemlenmiştir. Mikro gözenekli membranlar 1945'lere kadar öncelikli olarak mikroorganizma ve partikül gideriminde kullanılmıştır. Juda ve McRae İkinci Dünya Savaşı sonrasında iyon seçici membranları kullanarak elektrodialize (ED) öncülük etmişlerdir. ED sistemler daha sonra ticari olarak tuzlu su desalinasyonunda kullanılmıştır.

1950'li yıllarda polimerik ve çok ince selüloz asetat malzemeden yapılmış membranlar bulunmuştur. 1960'lı senelerde ise ilk olarak tübüler RO membranlar daha sonra tübüler membranlardan daha etkili olan spiral sargılı membran modülü yapılmıştır. Bu süreç diliminde aynı zamanda bilim adamları yeni membran materyali ve modülleri geliştirmişlerdir. Boşluklu elyaf ve ince film kompozit membran modülleri 1970'li yıllarda geliştirilmiştir (Singh 2006). 1980'li yıllarda organik membranların yanı sıra inorganik membran kullanımıyla nanofiltrasyon membranlar yapılmaya başlanmıştır (Koyuncu 2001). 1980'lerden itibaren ultrafiltrasyon, mikrofiltrasyon, ters osmoz ve elektrodializ prosesler dünya çapında yaygın olarak büyük tesislerde yapılmaya başlamıştır (Mulder 1996). Çizelge 1.1'de membran proseslerin ticari gelişim süreci verilmiştir.

Çizelge 1.1 Membran proseslerin ticari gelişim süreci (Singh 2006)

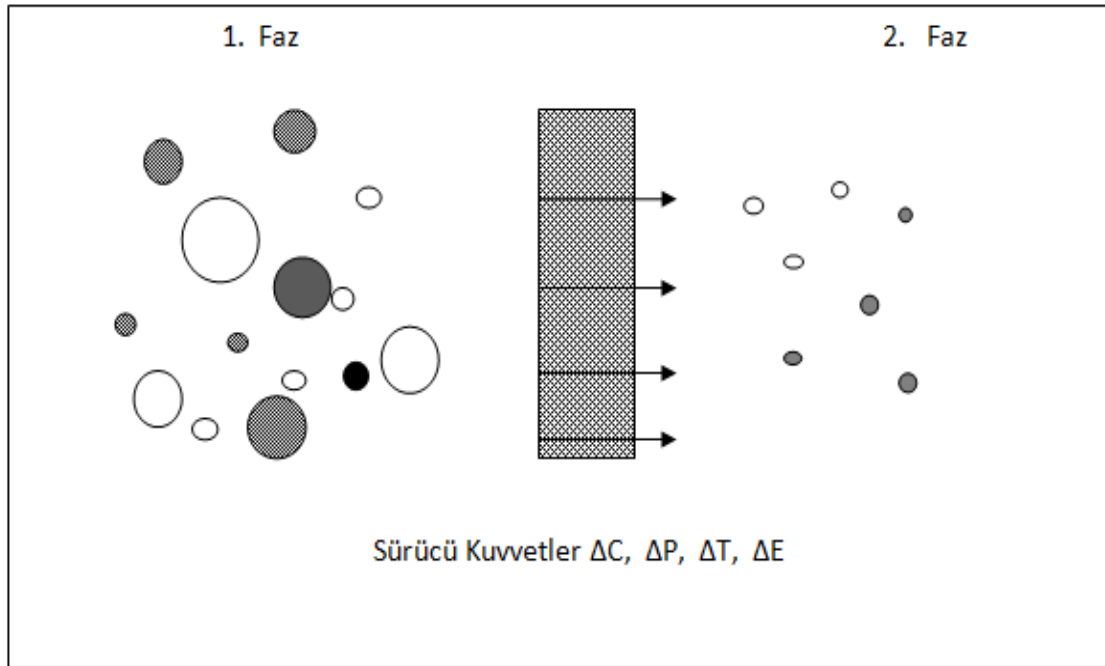
Membran Proses	Ülke	Yıl	Uygulama
Mikrofiltrasyon	Almanya	1920	Laboratuvar
Ultrafiltrasyon	Almanya	1930	Laboratuvar
Hemodiyaliz	Hollanda	1950	Yapay böbrek
Elektrodiyaliz	ABD	1955	Tuzsuzlaştırma
Ters osmoz	ABD	1965	Su desalinasyonu
Ultrafiltrasyon	ABD	1971	Makromolekül konsantrasyonu
Gaz ayırma	ABD	1979	Hidrojen geri kazanımı
Pervaporasyon	Almanya Hollanda	1982	Organik solventlerin dehidrasyonu
Nanofiltrasyon	ABD	1986	Su yumuşatma
Elektrodeiyonizasyonu	ABD	1987	Demineralizasyonu

Membran teknolojisindeki gelişmeyi 3 ayrı kısma ayırmak mümkündür. 1950’li yıllar sistemin ilk olarak ortaya çıktığı dönem, 1960’lı yıllar araştırmaların yoğunlaştığı dönem, 1980’li ve 1990’lı yıllar ise özellikle membran proseslerin endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlandığı dönemdir (Koyuncu 2001).

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

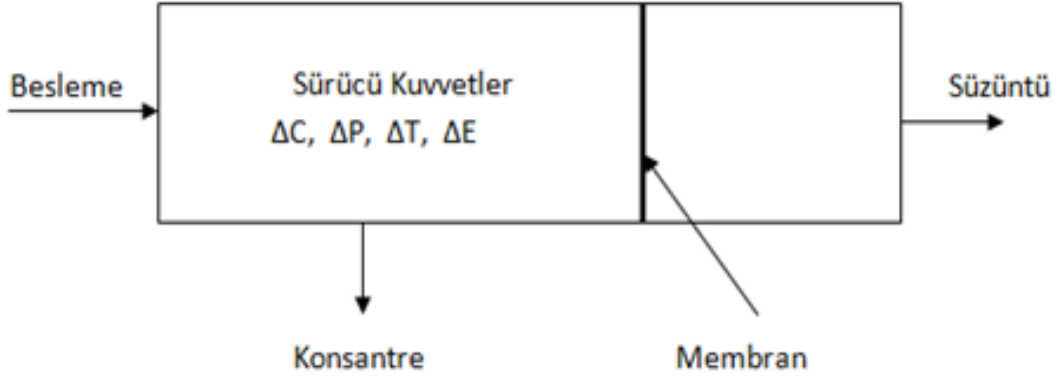
2.1 Membranların Tanımı

Membran iki faz arasında seçici geçirgenlik görevi gören bir ara yüzey olarak tanımlanabilir. Organik, inorganik ve metal polimerlerden yapılabilen membranlar katı-sıvı, sıvı-sıvı ve gaz ayırımı için kullanılan malzemedir. Membran seçici geçirgen özelliği sayesinde iki faz arasında bariyer etkisi göstererek partiküllerin, büyük moleküllerin ve kolloidlerin askıda kalmasını sağlarken iyonların ve katı maddelerin besleme akımından ayrılmasını sağlamaktadır. Bu şekilde ayırma işlemi membranların gözenek boyutuna bağlı olarak gerçekleşmiş olur. Membran üzerinde sürücü kuvvetlerin etkisiyle besleme akımındaki faz ikiye ayrılır. Şekil 2.1’de membran ayırma prosesi verilmiştir.



Şekil 2.1 Membran ayırma prosesi

Membrandan geçen akıma “süzüntü”, geçemeyen akıma ise “konsantre” olarak adlandırılır. Membran prosesler uygulanan sürücü kuvvet türüne bağlı olarak farklılık gösterir. Membranlara uygulanan sürücü kuvvetler; basınç farkı (ΔP), derişim farkı (ΔC), sıcaklık farkı (ΔT) ve Elektriksel Potansiyel farkı ise (ΔE) olarak sıralanabilir. Şekil 2.2’de membran proseslerde giriş ve çıkış akımları verilmiştir.



Şekil 2.2 Membran proseslerde giriş ve çıkış akımları

1960 ve 1970’li senelerde düşük maliyetli membran modülleri yapılmaya başlanmasıyla membranlar endüstriyel alanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır (Singh 2006). Son yıllarda membran teknolojisindeki gelişme sebebiyle, membran prosesler farklı endüstri alanlarda kullanılmaktadır. Gıda, petrokimya, maden, kimya, otomotiv, kâğıt, elektronik, biyoteknoloji kullanıldığı endüstri alanların başında gelmektedir.

Membranlar genel olarak;

1. Sıvılardan ve gazlardan mikron boyutundaki partiküllerin filtre edilmesi,
2. Sıvılardan kolloidlerin ve büyük ölçekli moleküllerin ayrılması,
3. İyonik türlerin ayrımı,
4. Sıvılardan ve diğer sıvılardan bütün askıda katı ya da çözünmüş maddelerin ayrımı,
5. Konsantre çözelti elde etmek

gibi amaçlar için kullanılırlar (Koyuncu 1997).

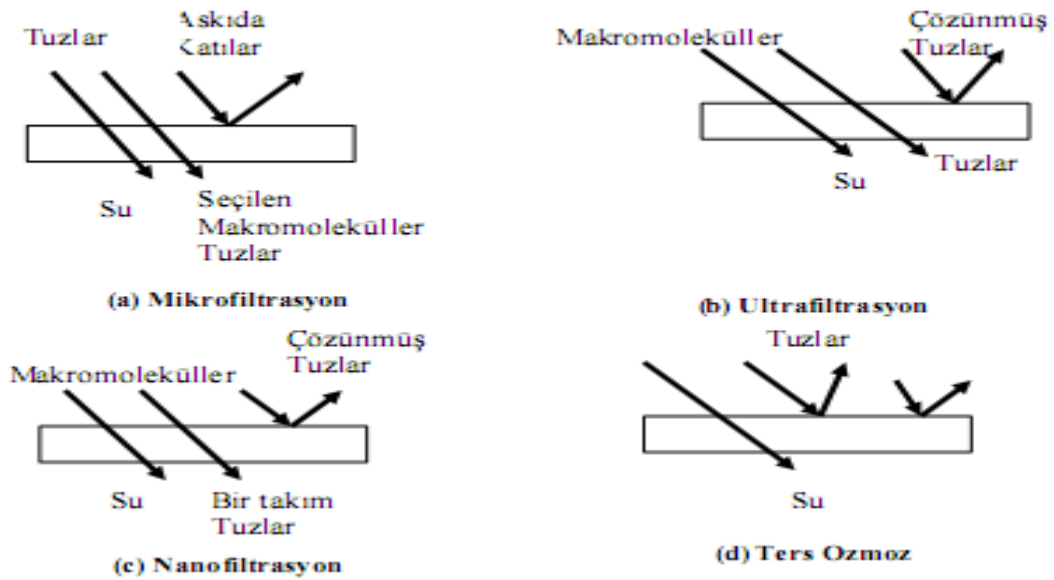
Membran teknolojileri diğer arıtma teknolojileri ile karşılaştırıldığında bir takım avantaj ve dezavantajlara sahiptir (Mulder 1996). Modüler olarak tasarlanabilir olmaları, otomatik sürekli işletilebilir halinde olabilmesi taşınabilir olması, çok yüksek konsantrasyonlu atıksu arıtımında kullanılabilmesi, maliyetin her geçen gün daha da aza indirgenmesi, az enerji kullanmaları en önemli avantajlarıdır. Dezavantajları ise, membran ömrünün kısa olması ve membran kirlenmesi şeklinde sayabiliriz (Hasar 2001, Demiral 2008, Bayar 2010).

2.2 Membranların Ayırma Mekanizmaları

Membran filtrasyonda, doğadan bir yarı geçirgen membrandan oluşan basınç farkı sebebiyle molekül taşınımında gerçekleşip durağan fiziksel prensipten yararlanır. Burada moleküller ya da partiküller boyutları, ağırlıkları veya yapıları sebebiyle membranda tutulurlar. Membran; por büyüklüğü, porların yüzeyde dağılımı membran yüzeyinde m^2 başına düşen porların sayısı, membran yükü ve kimyasal yapısı ile tanımlamak mümkündür (Kosutic *et al.* 2006).

Membranların ayırma fonksiyonu; sıcaklık, basınç, kimyasal kompozisyon, besleme akımı ve membran yüzeyinde bulunan bileşikler arası çekime bağlıdır (Coutinho *et al.* 2009). Karışım halindeki pek çok maddenin ayrılması amacıyla membranlardan faydalanılır. Membran proseslerde ayırma işlemi iki ayrı kısma ayrılır. Bunlardan birincisi, çözülmüş maddelerin ayrılması ikincisi ise tutulmak istenen partiküler maddelerin ayrılmasıdır (Özkan 2007).

Şekil 2.3' de membranın ayırma işleminin şematik gösterimi verilmiştir (Koyuncu 2001).

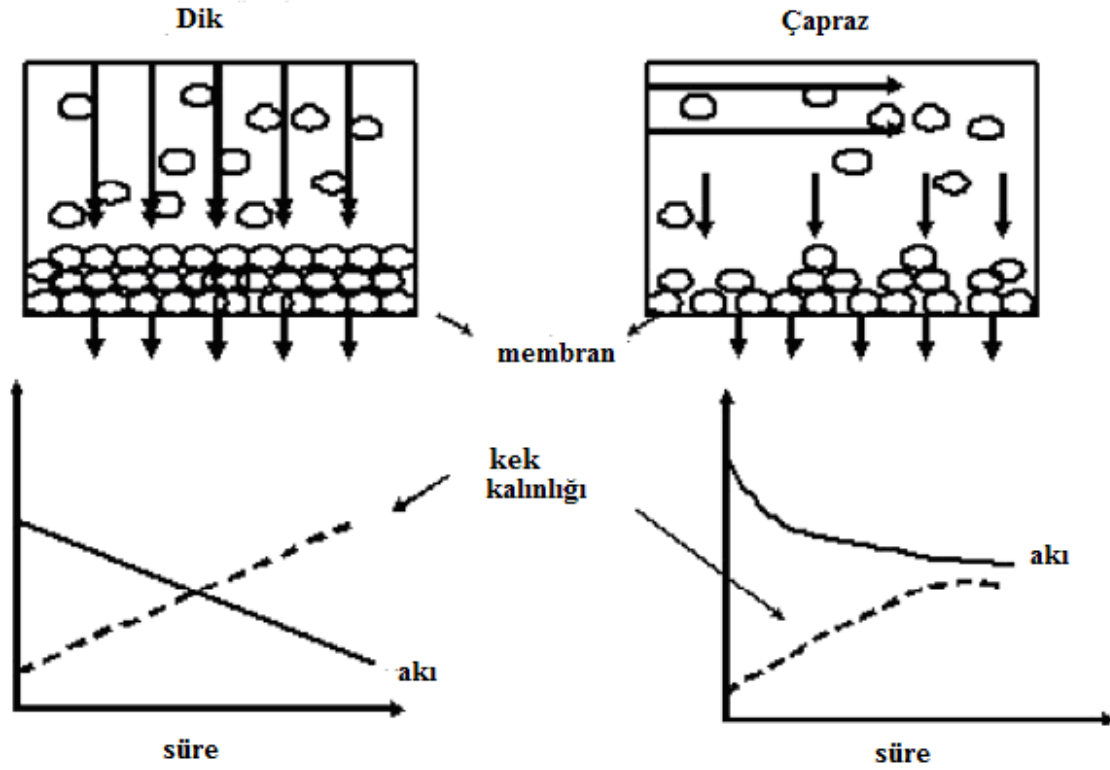


Şekil 2.3 MF, UF, NF, RO membranlarının ayırma işleminin şematik gösterimi

Membran proseslerinin çapraz akışlı ya da dik akışlı olmak üzere iki tür çalışma prensibi vardır.

- Basıncın yatay olarak uygulandığı çapraz akışlı membran filtrasyonu; mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF), ve ters osmoz (RO) membranları ile gerçekleşmektedir. Çapraz akışlı membran filtrasyonunda besleme akımı membran yüzeyine paralel olarak geçerken süzüntü akımı membrandan çapraz geçmektedir.
- Basıncın dikey olarak uygulandığı dik akışlı membran filtrasyonunda; besleme akımı membrana dikey uygulanmaktadır. Bu filtrasyonda membran yüzeyinde kek formunda birikim olmaktadır. Bu sebepten dolayı bu membran filtrasyonunda daha fazla tıkanma eğilimi gözlenmektedir (İnt.Kyn. 1).

Dik akışlı membran filtrasyonunda zamanla yüzeyde kek tabakasının kalınlığı artar ve bu durum akı da zamanla doğrusal olarak azalmasına neden olmaktadır. Çapraz akışlı membran filtrasyonunda ise yüksek hız, membran yüzeyinde kek oluşumunu belli bir sınırdan tutmaktadır ve bu durum prosesi daha kullanılır hale getirmektedir (Coutinho *et al.* 2009). Çapraz akışlı membran filtrasyonu, dik akışlı membran filtrasyonu ile kıyaslandığında; çapraz akışlı membran filtrasyonunda daha düşük kek kalınlığı meydana gelmektedir. Dik ve çapraz akışlı membran filtrasyonları ile zamanla akı ve kek kalınlığının değişimi şekil 2.4' de görülmektedir (Coutinho *et al.* 2009).



Şekil 2.4 Dik ve çapraz akış filtrasyonu (Coutinho *et al.* 2009)

2.3 Membranların Sınıflandırılması

Endüstride kullanılan membranlar kullandıkları alana göre değişiklik göstermektedir. Çünkü membran tipi membran prosesin performansını oldukça fazla etkilemektedir. Bu nedenle membran proseslerde kullanılan membranlar ayırma mekanizmalarına, morfolojilerine, geometrilerine ve kimyasal yapılarına göre sıralanabilir (Barlas 2002, Koyuncu 2001).

2.3.1 Ayırma Mekanizmalarına Göre Sınıflandırma

Membranlar ayırma mekanizmalarına göre; gözenekli, gözeneksiz ve iyon değiştirici membranlar olmak üzere 3 sınıfa ayırmak mümkündür. Gözenekli membranlar yapısal ve fonksiyonel olarak geleneksel filtrelere benzemekte olup, bununla birlikte 0,01-10 µm aralığında küçük gözenek boyutlarında filtrelerden ayrılmaktadırlar (Baker 2004).

Gözenekli membranlar konvektif madde taşınımı olup, madde taşınımı moleküler ve gözenek boyut dağılımının bir fonksiyonudur.

Gözeneksiz (Homojen) membranlarda çözünme-difüzyon modeli olup, bu membranlar gaz ayırma, pervaporasyon ve ters osmoz prosesleri uygulamalarında kullanılırlar (Baker 2004).

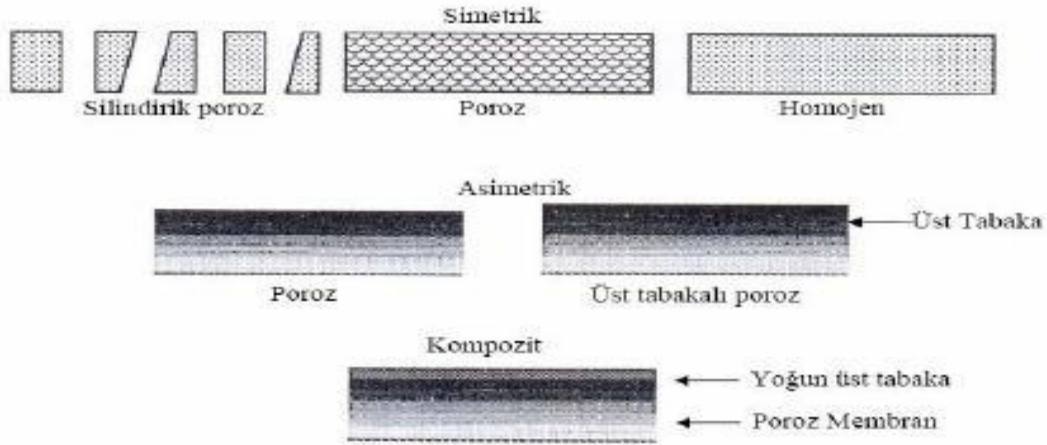
İyon değiştirici membranlar çok ince mikro gözenekli yapıda olup, gözenek duvarlarında pozitif veya negatif yüklü iyonlar vardır. Bu membranlarda elektrokimyasal etkiler söz konusudur.

2.3.2 Morfolojilerine Göre Sınıflandırma

Morfolojilerine membranlar simetrik, asimetrik ve kompozit membranlar diye 3'e ayırmak mümkündür (Kaleli 2006).

Simetrik membranlar (boşluklu ya da boşluksuz) kalınlıkları ise 10-200 µm aralığındadır. Asimetrik membranlar, uniform olmayan yapıda olup, kalınlıkları ise 10-200 µm aralığında değişmektedir. Bu membranlar 50-150 µm aralığında boşluklu bir alt tabaka (Porozlu destek tabakası) mevcut olan bu membranlar uniform olmayan yapıda bulunurlar (Arı 2009).

Kompozit membranlar ise asimetrik membranların en üst kısmına ince bir tabakanın yerleştirilmesiyle oluşmaktadırlar. Bu yerleştirilen ince tabaka toplam membran kalınlığının % 1'i kadar olup tabakalar farklı polimerlerden oluşur (Koyuncu 2001). Şekil 2.5'de membran kesitlerinin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.5 Membranların morfolojik yapılarına göre sınıflandırılması (Koyuncu 2001).

2.3.3 Geometrilerine Göre Sınıflandırma

Geometrik yapılarına göre membranlar tabaka ve silindirik tarzda olmak üzere sınıflandırılır. Tabaka membranlar, spiral sarım ve plaka-çerçeve, silindirik membranlar ise tüp (tübular) ve boşluklu elyaf (hollow fiber) şeklinde yapıları vardır. Tüp şeklindeki membranların iç çapı 3 mm'den küçüktür.

2.3.4 Kimyasal Yapılarına Göre Sınıflandırma

Kimyasal yapılarına göre membranlar organik ya da anorganik olmak üzere iki sınıfa ayrılırlar. Organik membranlar polimerden yapılmaktadırlar. Membran üretimi için yaklaşık 130 polimer kullanılmaktadır. Ancak proses ihtiyaçları ve membranın ömrü düşünüldüğünde belirli sayıda polimer membran yapımı için kullanılmaktadır. Anorganik membranlar termik ve kimyasal bakımından organik membranlardan daha dayanıklıdır. Hammaddelerine göre anorganik membranlar; cam, seramik ve metalik olarak 3'e ayrılırlar. Kolay kırılmaları ve pahalı olmaları sebebiyle organik malzemelere göre geniş kullanım alanları yoktur. Çizelge 2.1'de ticari olarak üretilen organik membran türlerinin listesi verilmiştir (Koyuncu 2001).

Çizelge 2.1 Ticari olarak üretilen organik membran çeşitleri

Malzeme	Uygulama Alanı		
	MF	UF	NF ve RO
Alumina	X		
Selüloz esterler	X		
Selüloz nitrat	X		
Poliamid, alifatik (naylon)	X		
Polikarbonat	X		
Polyester	X		
Polipropilen	X		
Politetrafloroetilen (PTFE)	X		
Polivinilklorür (PVC)	X		
Sinterlenmiş paslanmaz çelik	X		
Selüloz	X	X	
Seramik bileşikleri	X	X	
Poliakrilonitril (PAN)	X	X	
Polivinil alkol (PVA)	X	X	
Polisülfon	X	X	X
Polietersülfon (PES)	X	X	X
Selüloz asetat (CA)	X	X	X
Selüloztriasetat (CTA)	X	X	X
Poliamid	X	X	X
CA ve CTA karışımı	X	X	X

2.4 Membran Performansının Belirlenmesi

Membran proseslerde; akı, seçicilik ve alıkoyma gibi parametrelerle bu sistemin performansı ifade edilmektedir. Yüksek seçicilik ya da alıkoyma elde edildiğinde membranın ideal olduğu söylenebilmektedir (Yazıcı 2012).

2.4.1 Akı

Birim membran alanından birim zamanda geçen debi miktarı membran sistemlerde akı olarak ifade edilmektedir. Akı, $m^3/m^2.gün$ ya da $L/m^2.saat$ gibi birimlerle gösterilmektedir. Membrandan geçen akı, membrana uygulanan basınç ile doğru orantılı şekilde değişir.

Darcy kanununa göre akı;

$$J = \frac{\Delta P}{\mu Rm} \quad (2.1)$$

eşitliği ile tanımlanır. Burada;

J : Akı,

ΔP : Membrandaki basınç farkı,

μ : Akışkanın viskozitesi,

Rm : Membranın hidrolik direncini göstermektedir (Koyuncu 2001).

2.4.2 Giderim Verimi

Giderim verimi, membran tarafından reddedilen, alıkonulan orandır. Membranın giderim verimi R ile ifade edilir. R 0-1 aralığında değişen boyutsuz bir büyüklüktür. “0” tüm çözülmüş maddelerin membran yüzeyinden geçtiğini, “1” ise membran yüzeyinden hiçbir maddenin geçemediğini gösterir (Koyuncu 2001). Membran sistemlerde gözlenen verim ve gerçek verim olmak üzere iki tür verimden bahsedilir. Gözlenen verim süzüntü ve besleme akımı arasındaki fark ile ifade edilir. Gerçek verim ise süzüntü konsantrasyonu ve membran yüzeyinin konsantrasyonundan hareketle elde edilir.

$$Ro(\%) = \frac{cf - cp}{cf} = 1 - \frac{cp}{cf} \quad (2.2)$$

$$Rg(\%) = \frac{cm - cp}{cm} = 1 - \frac{cp}{cm} \quad (2.3)$$

Burada;

Ro : Gözlenen verim

Rg : Gerçek verim

cp : Süzüntü akım konsantrasyonu

cf : Besleme akımı konsantrasyonu

cm : Membran yüzeyindeki konsantrasyonu ifade etmektedir (Baştürk 2013).

2.5 Membran Performansını Etkileyen Faktörler

Bir membranın optimum performansı sağlaması, kullanılan membran tipinin ve sistem tasarımının doğru olarak yapılması ile ilgilidir. Membran performansına, verimine etki eden faktörler aşağıda verilmiştir.

2.5.1 Basınç

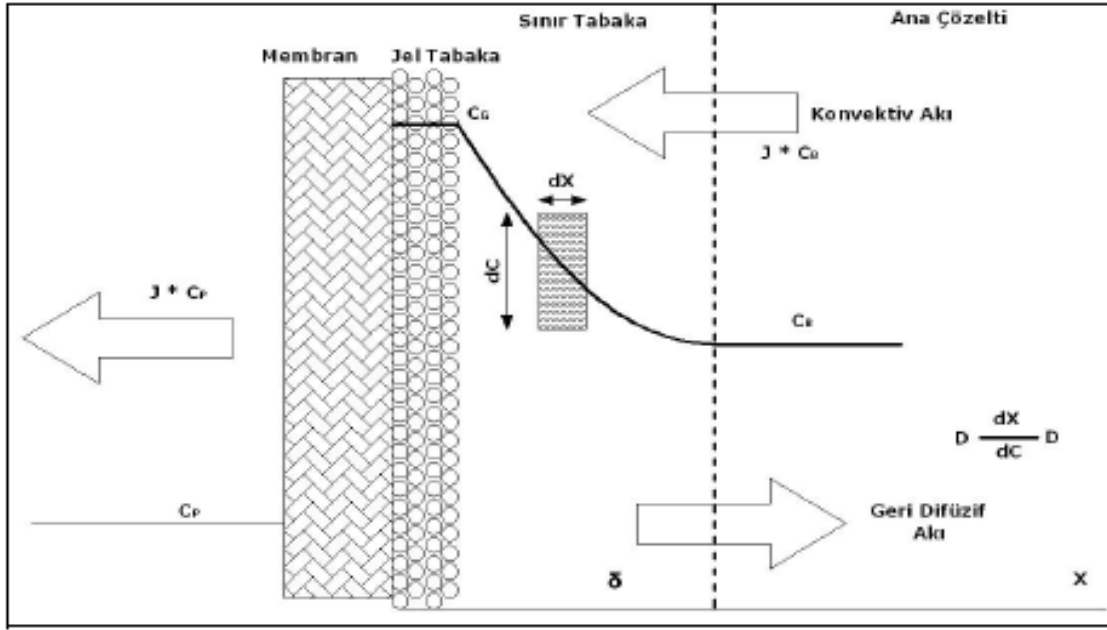
Her bir membran türü farklı basınç aralıklarında çalışmaktadırlar. Akı, uygulanan basınç ile doğru orantılı olarak değişmektedir. Düşük basınçtan yüksek basınca doğru membran prosesler; mikrofiltrasyon (<2 bar), ultrafiltrasyon (1-10 bar), nanofiltrasyon (10-30 bar), ters osmoz (10-100 bar) olarak sınıflandırılabilir. Bu aralıkta verilen değerlerden daha yüksek basınç membranların yapılarını bozmaktadır.

2.5.2 Sıcaklık

Sıcaklık bir çok proses için önemli parametredir. Ters osmoz sistemi, ultrafiltrasyona göre daha hassastır. Ve ters osmoz prosesinde sistem verimliliği açısından 25 °C sıcaklıkta çalışılır. Akı besleme suyundaki sıcaklık artışları ile artar. En çok kullanılan membran türü selüloz asetat membran olup maliyeti diğerlerine göre daha düşüktür. Selüloz asetat membranlar, 35-40 °C' ye kadar dayanıklıdır. Diğer bir membran türü olan seramik membranlar 800 °C' ye kadar dayanıklılık göstermektedir (Barlas 2002).

2.5.3 Konsantrasyon

Membrana giriş suyu konsantrasyon değerinin, membran performansına önemli etki göstermektedir. Konsantrasyon polarizasyonu, jel tabaka oluşumuna ve porların tıkanması akıyı azaltmakta ve membrandan sıvı geçişinde ilave dirençlerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu akı azalmasının boyutu membran proses türüne göre değişiklik gösterir. Konsantrasyon polarizasyonu şematik olarak Şekil 2.6'da görülmektedir (Danış 1996, Pinto *et al.* 1999, Judd 2006).



Şekil 2.6 Konsantrasyon polarizasyonu ve jel tabaka oluşumu

Burada:

J : Akı

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

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

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

X : Sınır tabaka mesafesi

δ : Ana çözelti mesafesi

2.5.4 Membran Ömrü

Bir membranın ideal performansı sağlaması, membran yapılacak malzemenin doğru seçilmesiyle alakalıdır. Bir uygulama için malzemenin doğru olarak seçilmesi, o uygulama için başarı ile başarısızlık arası farkı tanımlanmış olur. Belirli polimerlerin tasarlanması ve üretilmesi, bu membranın ömrünü, performansını önemli ölçüde etkiler. Ve ayrıca atık sudaki fenol, bakteri, mantar gibi maddelerin var olması, yüksek pH ya da yüksek sıcaklık değerleride bir membranın kullanım ömrünü önemli derecede etkiler. Membranların kullanım ömürleri en fazla iki yıl kullanılabilirler (Demiral 2008, Arçevik 2010).

2.5.5 Ön Arıtma

Membran sistemlerinin Toplam çözünmüş katı (TÇK) miktarı 10,000 mg/l'nin üstüne çıkan besleme akımlarına direk uygulanmaması gerekir. Bunun dışında kalsiyum karbonat, kalsiyum sülfat, demir oksit ve hidroksitleri, mangan ve silikon, baryum ve stronsiyum sülfat, çinko sülfür ve kalsiyum fosfat gibi tabakalaşmaya neden olan maddelerin ön arıtmayla kontrol altında tutulmaları gereklidir. Bu maddeler çöktürme, inhibisyon, filtrasyon, kimyasal arıtım ve pH ayarlaması gibi yöntemlerle kontrol altında tutulabilirler. Bakteriler ve organik kalıntılar karbonla ön arıtım, klorlama ve filtrasyon ile tutulabilirler. Yağ ve gres ise membranın yüzeyini saracağı ve tıkanmaya sebep olacağından membran proses öncesi giderilmelidir (Öztürk vd. 2005).

2.5.6 Membran Temizliği

Membran yüzeylerinde oluşan kirliliğin kontrolü ve giderilmesi konusunda membran temizleme önemli bir konu olarak meydana çıkmaktadır (Judd 2006). Bazı sistemlerde membranlar otomatik düzende, üretilen süzüntü suyu ile her 10-15 dakikada bir düzenli olarak geri yıkanılır. Bu işlemle tıkanan membran gözenekleri temizlenir. Esas amaç, membran yüzeylerine gevşek olarak tutunmuş materyallerin uzaklaştırılmasıdır. Geri yıkama prosesinde önce yıkanacak modüldeki arıtım durdurulur, sonra basınçla bu sefer dıştan içe doğru membranlara saniyeler mertebesinde (10-20 sn) kademeli olarak su basımı yapılır. Dolayısıyla, birinci temizleme metodu olan bu geri yıkamada her 10-15 dakikada bir üretim durdurulup, toplam yaklaşık 1 dakikalık bir geri yıkama ile zaman kaybolur.

Her üretici firmanın kendine özgü geri yıkama metodu olsa da, ana hatlarıyla metotlar benzerlik gösterirler (Kitiş 2009).

İkinci temizleme metodu olarak kimyasalların eklendiği süzüntü suyu ile geri yıkamadır. Sitrik asit (pH düşürüp tortuları çözmek için) ve sodyum hipoklorit (organik ya da mikrobiyolojik filmleri parçalamak için) bu amaç için kullanılmaktadır. Bu temizlik otomatik olarak gerçekleştirilip, birinci tur geri yıkamaya göre daha uzun

sürede uygulanmaktadır. İkinci temizleme metodu yetersiz kaldığı durumlarda ise üçüncü temizleme metodu uygulanmaktadır. Bu uygulamada membran tankı servis dışına alınıp tank boşaltılır, ikinci temizlemede uygulanan dozlardan daha yüksek dozlarda sitrik asitli ve sodyum hipokloritli basınçlı süzüntü suyu ile yıkanır. Bu yüksek dozlu süzüntü suyunda membranlar bir süre bekletilir. Bu süre sonunda temizleme suyunu nötralize etmek için sodyum hidroksit tanka basılır, tank boşaltılır ve bu su nihai arıtım için atılır, veya tesis girişine gönderilir. Bu en yoğun temizleme metodudur ve prosese ve atıksu türüne göre yılda birkaç kez tekrar uygulanabilir. Küçük tesislerde membranları kendi tankları içerisinde kimyasallara daldırmak yerine, membran kasetleri tank üstündeki hareketli vinç yardımıyla kaldırılıp, küçük ayrı bir tankta bu kimyasallarla temizleme yapmak mümkündür. Fakat büyük tesislerde bu işlem işletme personel açısından pratik olmayıp kendi orijinal tankında temizleme işleminin gerçekleştirilmesi daha uygun olur (Yiğit 2007, Kitiş 2009).

2.6 Membranların Kullanıldığı Filtrasyon Çeşitleri

Membran prosesler sürücü kuvvet farkına, kullanım alanına ve ayırma mekanizmalarına göre sınıflandırılırlar. Bu prosesler; mikrofiltrasyon (MF), ultrafiltrasyon (UF), nanofiltrasyon (NF), ters osmoz (RO), gaz ayırma (GS), pervaporasyon (PV) ve diyalizdir. Çizelge 2.2’de sürücü kuvvetlerine göre membranların sınıflandırılması gösterilmiştir.

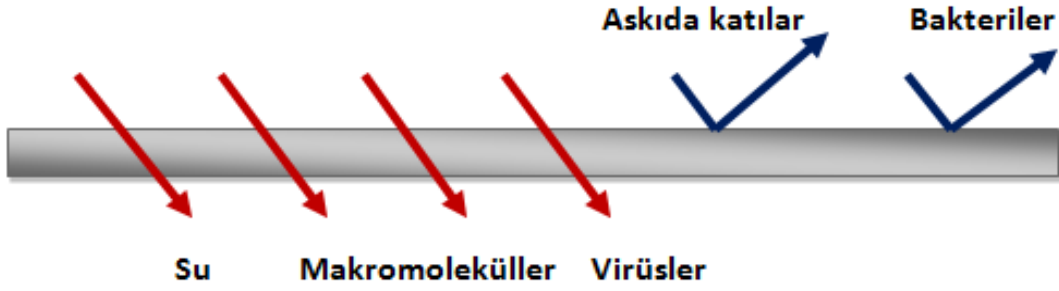
Çizelge 2.2 Membranların sürücü kuvvetlerine göre sınıflandırılmaları (Özyaka 2011)

Membran prosesi	Faz 1	Faz 2	Sürücü Kuvvet
Mikrofiltrasyon	Sıvı	Sıvı	Basınç
Ultrafiltrasyon	Sıvı	Sıvı	Basınç
Nanofiltrasyon	Sıvı	Sıvı	Basınç
Ters Osmoz	Sıvı	Sıvı	Basınç
Gaz ayırma	Gaz	Gaz	Basınç
Diyaliz	Sıvı	Sıvı	Konsantrasyon Farkı
Pervaporasyon	Sıvı	Gaz	Basınç

2.6.1 Mikrofiltrasyon

Bilinen en eski membran teknolojisi olup, ilk 1906 yılında Bechold tarafından uygulanabilirliği ortaya çıkarılmıştır (Ripperger and Altmann 2002). Teorik olarak MF ve UF aynı temele sahiptirler ve bu iki uygulama arasındaki tek fark ayırdıkları materyallerin boyut aralığıdır. MF yağ globalleri ve hücreler dağılmış parçacıklar, kolloidleri ayırırken UF çözünmüş makro moleküllerin ayrıldığı prosestir (Kitiş 2009). Mikrofiltrasyon membranları 0,01 μm 'den 5 μm 'ye (bazı kaynaklarda 0,02 μm 'den 20 μm 'ye) değişen boyutlarıyla en büyük gözeneğe sahip membranlardır. MF membranları ayırma eleme mekanizması ile gerçekleşir (Aydiner 2006, Arı 2009). MF membran teknolojisi 0-2 bar basınç farkı ile çalıştırılır ve akış yönü membran yüzeyine paraleldir. MF teknolojisi klasik filtrasyon işletim şekli işletilir. Fakat büyük ölçekli uygulamalarda çapraz akış filtrasyon işletim şekli tercih edilir (Koyuncu 2001, Kaleli 2006, Özçelep 2009).

MF genellikle, kolloidal maddelerin, bulanıklığın giderilmesi ve partiküllerin uzaklaştırılması için ve diğer membran prosesleri veya başka prosesler öncesi ön arıtım amacıyla kullanılmaktadır (Yetişmeyen ve Yıldız 2006).

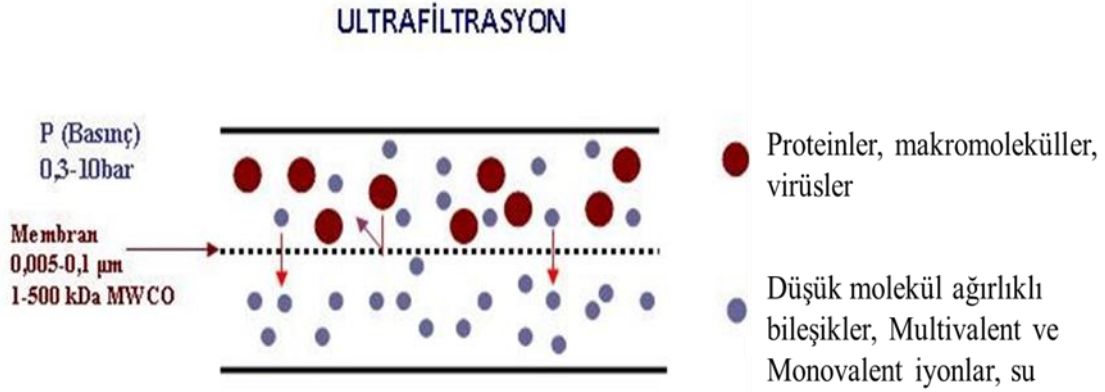


Şekil 2.7 Mikrofiltrasyon membran ayırma prosesi (Kural 2000)

2.6.2 Ultrafiltrasyon

Ultrafiltrasyon ile protein mikrobiyolojik kirleticiler ve büyük organik moleküller tutulurken daha küçük moleküller ve çözülmüş tuzlar membrandan geçer. UF membranları 0,05-1 nm aralığında değişen gözenek boyutlarına sahiptir (Scott and Hughes 1996, Arı 2009). UF membranları 1-10 bar basınç aralığında çalışır (Koyuncu 2001). UF membranlarında por büyüklüğü dağılımını saptamak pahalı bir işlemdir. Ayrıca ultrafiltrasyonla ayırım yapılacak moleküllerin partikül ölçüleri genellikle bilinemez. Bu nedenle; UF membranları için ayırma büyüklüğü olarak “molekül ağırlığı” kullanılmaktadır. UF membranları ile 1000-100,000 D(Dalton)=kg/kmol arasında değişen maddeler tutulabilmektedir (Rautenbach 1997, Van Der Bruggen *et al.* 2003, Kaya 2007).

Elektro kaplama metodu ile otomobil boyama işi yapan işyerlerinin durulama suyundan elektro kaplama boyasının geri kazanılması için 1969 yılında ilk endüstriyel ölçekli tesisi kurulmuştur. Kısa süre sonra da bu işlem gıda endüstrisinde elma suyu berraklaştırılması ve süttten protein ayırmak amacıyla istifade edilmiştir. Ayrıca atık suda yağ emülsiyonunun ayrılması önemli bir UF uygulaması olarak geçmektedir. UF teknolojisinin büyümesini engelleyen en büyük faktör işletim maliyetinin yüksek olmasıdır. Membran akıları makul seviyededir, tıkanmayı kontrol altında tutmak için besleme suyunu sirküle etmek amacıyla büyük miktarda enerji gereksinimine ihtiyaç vardır. UF membranlarının ömürleri kısadır (Kaya 2007).

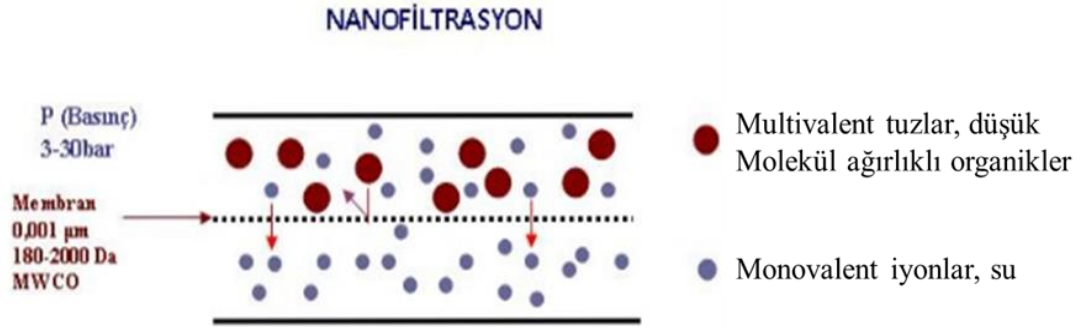


Şekil 2.8 Ultrafiltrasyon işlemi (İnt.Kyn. 2)

2.6.3 Nanofiltrasyon

Nanofiltrasyon membran prosesleri glikoz, sakkoroz gibi küçük organik moleküllerin (çapı 0,001 μm'den büyük) ve moleküler ağırlıkları düşük inorganik tuzların sulu çözeltilerden giderilmesi amacıyla kullanılır (Koyuncu 2001). NF membranları gözenek çapı bakımından ultrafiltrasyon ve ters osmoz membranları arasında yer alır. Moleküler ağırlığı 200-400 D(kg/kmol) arasında değişen organik molekülleri tutabilirler (Wagner 2001). NF membranları 10-20 bar basınç aralığında çalışırlar. NF membranları Na^+ , Cl^- gibi tek değerlikli iyonları daha düşük oranlarda tutarlarken, Ca^{+2} , CO_3^{-2} gibi çift değerlikli iyonları daha yüksek oranlarda tutarlar. Buna ek olarak NF membranları ile herbisitler, pestisitler, insektisit gibi düşük molekül ağırlıklı bileşikleri yüksek oranda giderim gerçekleştirilir (Koyuncu 2001, Koçak 2007).

Nanofiltrasyon membranı çözülmüş tuzlar için tam bir engel olmamaktadır. Tuz ve membran çeşidine bağlı olarak, tuz geçirgenliği düşük ya da yüksek oranda olabilmektedir. Eğer tuz geçirgenliği düşük ise, iki hazne arasındaki osmotik basınç farkı neredeyse ters osmozdaki kadar yüksek olabilmektedir. Diğer yandan, membrandaki yüksek tuz geçirgenliği iki hazne arasındaki tuz konsantrasyonunun çok farklı kalmasına izin vermemektedir. Dolayısıyla eğer tuz geçirgenliği yüksek ise osmotik basınca küçük bir rol düşmektedir (Wagner 2001).



Şekil 2.9 Nanofiltrasyon işlemi (İnt.Kyn. 2)

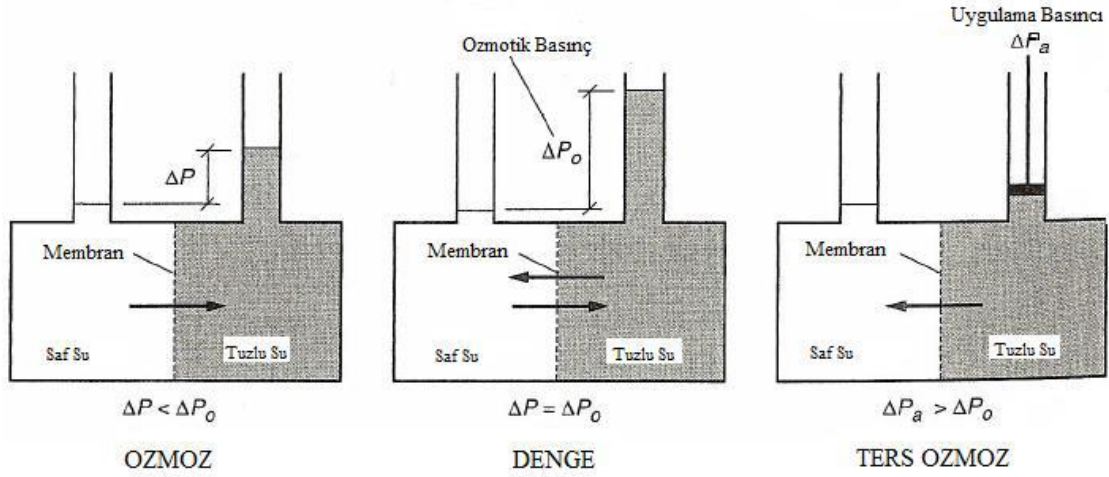
2.6.4 Ters Osmoz

Ters osmoz, osmotik basınç prensibinden yararlanılarak geliştirilen 1960'lı yıllarda kullanımı hızla artmış bir teknolojidir. Ters osmoz kullanımı özellikle atıksu arıtma ve desalinasyon alanlarında yaygın hale gelmiştir (Metcalf and Eddy 1991, Arı 2009).

Ters osmoz membranları molekül ağırlığı çok düşük olan çözelti halinde olan inorganik ve organik maddeleri tutmak için kullanılır. RO membranları [0,0001 µ - 0,001 µ (1-10 Å)] aralığındaki partikülleri tutabilir (Kural 2000). RO membranlarına 30-100 bar arasında değişen yüksek basınçlar uygulanmaktadır. Son yıllarda membran üretimindeki gelişmeler ile besleme suyuna bağlı olarak uygulanan basınç 10 bar'a kadar düşmüştür (Scott 1996, Koyuncu 2001, Arı 2009).

RO olayının teorisi, solvent ve çözeltilerin membran üst tabakasında çözüldüğü ve difüze olduğu "Çözünme-Difüzyon" modeline dayandırılır (Moftah 2002).

RO membran teknolojisinin başlıca; gıda endüstrisi atıksularının konsantre edilmesi, metal, süt kâğıt, tekstil endüstrileri atıksularının arıtımı ve geri kazanımı deniz suyu ya da tuzlu sudan içme suyu elde edilmesi (Öztürk vd. 2005, Özçelep 2009), değişik endüstriyel atıksularının arıtımı, evsel atıksu arıtımı, içme suyu üretimi, endüstriyel su üretimi (Arı 2009), acısu ve deniz suyunun saflaştırılması gibi uygulama alanları vardır (Aydiner 2006). Şekil 2.11'de Osmoz ve ters osmoz teknolojileri gösterilmektedir (Metcalf and Eddy 1991).

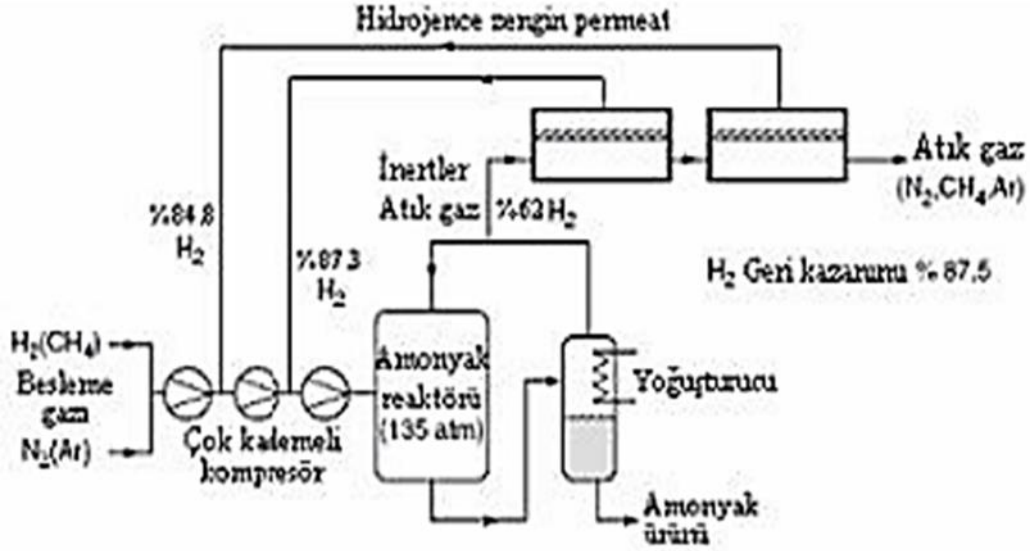


Şekil 2.10 Osmoz ve ters osmoz teknolojileri

2.6.5 Gaz Ayırma

Gaz ayırma basınç farkıyla çalışan bir membran teknolojisidir. Gazların ayrılması işlemi bir absorpsiyon olayıdır (Osada and Nakogava 1992). Bir gazın polimerdeki geçirgenliği, gaz boyutunun küçülmesi ve gazın çözünürlüğünün yükselmesi ile artma göstermektedir. Membran türüne göre, gözenekli, gözeneksiz ve asimetric olmasında gaz ayırma performansı değişim göstermektedir. Gözenekli membranlarda gaz ayırma yüksek akı ve düşük seçicilik ile sonuçlanırken, gözeneksiz membranlarda, gaz ayırma düşük akı ve yüksek seçicilik ile sonuçlanır. Gözeneksiz membranların en büyük avantajı, permeantların boyutları aynı olsa bile membrandaki çözünürlükleri farklı ise ayrılabilir olmalarıdır. Asimetric membranlar ise ince bir ayırıcı üst tabaka ve çok daha kalın bir fiziksel destek tabakasından meydana gelir. Genellikle ince film kompozit polimerik membranlar kullanarak havadan oksijen ya da azot ayrılması (polisülfon, etil selüloz, silikon kauçuk, polianilin membranlar), hidrokarbonlardan CO₂ ve H₂S ayrılması (polisülfon, polieterimid, selüloz asetat membranlar), havadan hidrokarbon buharlarının ayrılması (silikon kauçuk membranlar) ya da CH₄ veya NH₃'den H₂ ayrılması (polisülfon membranlar) gibi uygulamaları vardır. Genellikle içi boş lif ve spiral-sargılı membran modülleri kullanılır (Deveci 2007). Membranlarla gaz ayrılması işleminin düşük enerji, düşük yatırım maliyeti ve kolay işletme gibi avantajları bulunduğu için petrokimya ve kimya endüstrilerinde yaygın kullanmaya başlanmıştır

(Gönüllü 2004). Bir amonyak tesisi atık gaz akımından hidrojen geri kazanımı için oluşturulmuş tipik bir membran sistemi Şekil 2.11’de gösterilmiştir.



Şekil 2.11 Amonyak reaktörü atık gaz akımından hidrojen geri kazanımı için oluşturulmuş membran sisteminin basitleştirilmiş akış şeması (Deveci 2007).

2.6.6 Diyaliz

Diyaliz; difüzyon ve derişim farkı esaslarına dayanan bir ayırım yöntemidir. Diyaliz, membranla ayrılmış çözeltilerin, çözünen maddelerin aktivite farkı etkisiyle, bir membranda elektrolitin taşınması olayıdır. Diyalizde ayırma işlemi, çözünen maddelerin membran yapısı içindeki difüzyon farkından dolayı gerçekleşmiş olur. Elektrolitlerin membrandan geçtiği gibi asitler ve küçük moleküllerde difüze olurlar. Böylece difüze olamayan büyük moleküller ayrılırlar. Madde transferi çözelti ve membran fazları arasında kimyasal potansiyel farkından dolayı gerçekleşir. Bu potansiyel, membranın iki yüzeyinde bulunan sıvıların derişim farkından dolayı gerçekleşir. Diyaliz proseslerinde, membrana karşı oluşan bu derişim farkını devam ettirmek için bir ters akım sistemi uygulanmalıdır (Osada and Nakogava 1992). Diyalizin başlıca uygulama alanı yapay böbrek ve plazma saflaştırılmasında tıp alanındaki kullanımınıdır. Endüstrideki uygulaması ise viskoz rayon üretim sırasında

meydana gelen hemiselüloz çözeltilerinden kostiğin geri kazanımıdır. Diyaliz ayrıca biradan alkolün uzaklaştırılması işleminde de kullanılır(Scott and Hughes 1996).

2.6.7 Pervaporasyon

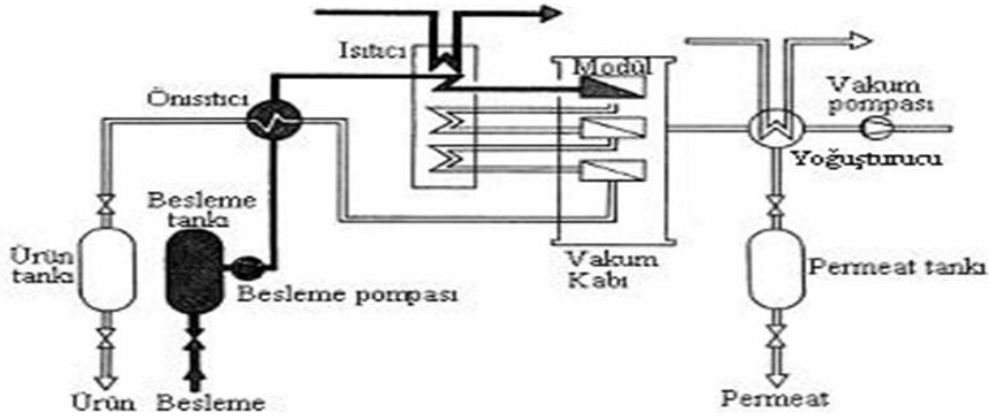
Pervaporasyon prosesi polimerik membranlar kullanılarak sıvı karışımları ayırmak için kullanılan teknolojidir. Pervaporasyon teknolojisinde geçmiş on yıllık zaman diliminde hem temel hem de uygulama açısından önemli atılımlar ve gelişmelerde bulunulmuştur (Shao and Huang 2007). Pervaporasyon sistemi gerekli olan faz dönüşümü ve membran seçici geçirgenliği düşünülerek seçici geçirgenlik (permselective) ve buharlaştırma (evaporation) kelimelerinden türemiştir. PV, prosesinde besleme karışımı, besleme bileşenlerinden birini seçici olarak geçiren membranın bir yüzüyle temas halinde tutulur ve itici kuvvetlerin yardımıyla diğer yüzeyden membran içinden geçen maddeler buhar olarak atılır. Bu buhar genelde soğutulularak yoğuşturulur ve uzaklaştırılır. Pervaporasyon işleminde membran kesiti boyunca kütle taşınımı için itici gücün farklı olmasındandır. (kimyasal potansiyel farkı) İtici güç beslemedeki bileşenlerin kısmi basınçları ile membrandan geçen maddelerin kısmi basınçları arasındaki farktan meydana gelir.

PV ayrılması zor olan sıvı karışımların yüksek enerji verimiyle uzaklaşmasını sağlayan ve geleceği iyi olan bir teknolojidir. Diğer geleneksel yöntemlere göre azeotropik karışımların yanı sıra kaynama noktası yakın bileşenlerin oluşturduğu karışımlarda, çok düşük miktarlardaki bileşenlerin uzaklaşmasını ya da geri kazanımını düşük maliyetlerde sağlamaktadır.

Pervaporasyon uygulamaları üç gruba ayrılabilir;

1. Suyun organik çözücülerden bertaraf edilmesi
2. Organik bileşenlerin sulu çözeltilerden uzaklaştırılması
3. Organik karışımların ayrılması (Hasanoğlu 2003).

Şekil 2.12’de Pervaporasyon prosesinin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.12 Pervaporasyon prosesinin şematik gösterimi (Deveci 2007)

2.7 Membran Proseslerin Ekonomik Değeri

1960'lı yıllardan itibaren membran teknolojisi önemli gelişme göstermiş ve daha önceleri tuzlu sudan içme suyu elde etmek için RO tekniği kullanılmıştır.

Sütlerin RO tekniğiyle konsantre edilmesi özellikle peynir önemli bir yer tutmuştur. Peynir yapımında konsantrasyon faktörü kalsiyum fosfat çökeltisinin 3 ya da 4 katı kadar oranda tutulmalıdır. Membran sistemleri, daha az enerji ve daha ekonomik yapıya sahip oldukları için tercih edilmektedir.

Peynir üretiminde ortama bırakılan yaklaşık % 85 oranında peynir altı suyunda, peynir altı suyu proteinleri, laktoz ve tuz bulunmaktadır. Peynir altı suyu konsantresi için RO, fraksiyonlama için ise ultrafiltrasyon, gıda endüstrisinde günümüzde en çok kullanılan yöntemdir. Ters osmoz tekniği ile elde edilen peynir altı suyu konsantrasyonu, peynir altı protein konsantraktı gibi önemli yan ürünlerin çıkması taşıma maliyetini düşürdüğü için bu yöntem tercih edilmektedir.

Membran sistemleri basit sertlikte meyve suyu üretiminde, suspandiyel ve kolloidal yapının kaldırılmasında kullanılmaktadır. Genellikle bu işlem vakum filtreleri, filtre yardımcı maddeleri ve durultma ajanları kullanılarak basınçlı yaprak filtrelerinde

yapılmaktadır. Ultrafiltrasyon daha iyi ürün kalitesi sağlayıp, atık oranını azalttığı için maliyet avantajı sağlayan bir tekniktir. Şeker kamışı ve şeker pancarı işlemede, suyunun temizlenmesi ve suspandiyel ve kolloidal yapının kaldırılması için ultrafiltrasyon yöntemi tercih edilmektedir. Suyun inceltilmesi için ise RO yöntemi kullanılmaktadır (İnt.Kyn. 3). Günümüzde içme suyu elde edilmesinde membran sistemler tercih edilmektedir. Örneğin kuyu suyu arıtımında RO ve NF membran sistemleri tercih edilmektedir. NF membranları ile işletme maliyeti 0,071 \$/m³ iken RO membranları ile 0,072 \$/m³: ilk yatırım maliyeti ise NF membranlarda 0,066 \$/m³ iken RO membranlarda 0,061 \$/m³'tür. İlk yatırım maliyetine göre RO membranlar NF membranlara göre daha ekonomiktir (İnt.Kyn. 4).

2.8 Adsorpsiyon

Atom, iyon veya moleküllerin bir katı yüzeyinde tutunması olayına adsorpsiyon, tutunan maddelerin yüzeyden ayrılmasına desorpsiyon, katıya adsorplayıcı, katı yüzeyinde tutunan taneciğe ise adsorplanan adı verilmektedir (Sarıkaya 2008).

Adsorpsiyonda moleküller biri katı, diğeri sıvı ya da gaz olmak üzere iki ayrı faza ayrılırlar. Adsorpsiyondan farklı olarak, çözülmüş moleküller yoğun olan gaz fazından yoğun olan sıvı faza doğru difüzlenirler. Adsorpsiyon işleminde moleküller akışkanın yoğun olduğu fazdan ayrı bir adsorplanmış faz meydana getirmek üzere katı adsorbanın yüzeyine doğru difüze olurlar (Fırlak 2008). Adsorpsiyon olayı maddenin yüzeyinde bulunan moleküller arasındaki denkleşmemiş kuvvetlerin denkleşmesi sonucunda adsorpsiyon olayı son bulur (Eşiyok 2011).

Adsorpsiyon yöntemi sıvı fazdaki eser miktarda bulunan bileşenlerin uzaklaşması, yeniden kazanılmasında ve zararlı maddelerin bir endüstriyel atıktan kolayca uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır (Fırlak 2008).

Adsorpsiyon işleminin endüstride başlıca; su arıtımı, tat, koku ve renk giderimi, atık su arıtımı, hava ya da diğer gazlardan nemin uzaklaştırılması, organik maddelerin, ağır metallerin giderimi ve petrol ürünlerinden rengin giderilmesi gibi uygulamaları mevcuttur (Florence and Siepmann 2009).

Adsorbanın adsorbent yüzeyinde tutunması sıvının adsorbana doğru elektriksel çekimi, Van der Waals çekimi ya da kimyasal olarak meydana gelir. Tutunma farklı bağlardan olduğu için 3 başlık altında incelenebilir (Eşiyok 2011).

2.8.1 Fiziksel adsorpsiyon

Fiziksel adsorpsiyon atom, molekül veya iyon şeklinde olabilen adsorplanan ile katı yüzey arasında tutunmayı zayıf Van der Waals kuvvetleri rol oynar (Eşiyok 2011).

Adsorpsiyonun yaygın olan bu türünde tüm katılar adsorplayıcı olabildikleri gibi tüm sıvı ve gazlarda adsorplanan olabilirler. Tutunmayı sağlayan kuvvetler Van der Waals kuvvetleri olduğu için bu tür adsorpsiyonlarda bağlar zayıf olup, adsorpsiyon tersinirdir (Koçer 2013). Katı adsorban yüzeyinde gevşek bir tabaka oluşturan adsorbat molekülleri hareketli durumdadır. Fiziksel adsorpsiyon için geçerli ve desorpsiyon olarak bilinen bu durumda katı yüzeyde yüksek konsantrasyonda bulunan bu moleküller katı yüzeyden diğer faza hareket edebilirler (Florence and Siepmann 2009). Adsorpsiyon ısısı 20 kJ/mol civarındadır (Koçer 2013).

2.8.2 Kimyasal Adsorpsiyon

Kimyasal adsorpsiyonda, adsorbat molekülleri adsorban yüzeyine fiziksel adsorpsiyonda söz konusu olan Van der Waals çekim kuvvetlerinden daha kuvvetli olan kovalent veya iyonik bağlarla bağlanırlar (Aygün 2002). Kimyasal adsorpsiyon da bazı gaz veya sıvılar adsorplanan iken, bazı katılarda adsorplayıcı olabiliyor. Kimyasal adsorpsiyon da adsorban yüzeyinin tamamı monomoleküler olabilirken fiziksel adsorpsiyon bir tabaka veya çok tabakalı yani multimoleküler olabilmektedir. Bir diğer taraftan fiziksel adsorpsiyon tersinir olarak gerçekleşebildiği halde kimyasal adsorpsiyon tersinmez olarak gerçekleşmektedir (Koçer 2013).

Kimyasal adsorpsiyon enerjisi fiziksel adsorpsiyon enerjisine göre daha yüksektir. Kimyasal olarak yüzeye tutunan moleküller serbest hareket edemezler. Kimyasal adsorpsiyon hızı fiziksel adsorpsiyon hızından daha düşüktür. Çünkü kimyasal adsorpsiyon süreçleri belirli bir aktivasyon enerjisi ile bilinirler ve bu nedenle ancak

belli bir minimum sıcaklığın üstünde tepkime hızla gerçekleşir. Kimyasal adsorpsiyon özellikle kimyasal reaksiyonlardaki katı katalizör uygulamalarında karşımıza gelmektedir (Aygün 2002). Adsorpsiyon ısısı 200 kJ/mol civarındadır (Eşiyok 2011).

2.8.3 Değişim (elektrostatik) Adsorpsiyon

Kaynaklarda iyonik adsorpsiyon olarak da geçen değişim adsorpsiyonu, elektrostatik çekim kuvvetlerinin etkisiyle iyonların adsorban yüzeyindeki yüklü bölgelere tutunması temeline dayanır. Burada temel adsorban molekülü ve adsorbanla adsorbat moleküllerinin iyon yüklerinin gözenek yapılarıdır.

Adsorbanla zıt elektrik yüküne sahip olan iyonlardan yükü fazla olan ve iyon çapı küçük olan daha iyi adsorplanmaktadır. Ortamdaki iyonların yükleri eşit olması durumunda iyon çapı küçük olan moleküller yüzey tarafından tercih edilir.

Adsorpsiyon sürecini yukarıda özetlenen adsorpsiyon çeşitlerinden sadece biri ile açıklamak zordur. Çoğu adsorpsiyon olayında farklı adsorpsiyon türleri birlikte ya da ard arda görülür (Aygün 2002).

2.9 Ağır Metaller Hakkında Genel Bilgiler

Literatürde ağır metal fiziksel özellik açısından özkütleleri 5 g/cm³'ten daha fazla ve atom numarası 22'den 92'ye kadar olan elementler geçmektedir. Bu grubun içinde yer alan kadmiyum, krom, kurşun, demir, kobalt, bakır, nikel, cıva ve çinko başta olmak üzere 60'dan fazla metal doğaları gereği yeryüzünde silikat, sülfür, karbonat ve oksit şeklinde kararlı bileşik halinde ya da silikatlar içinde bulunurlar.

Ağır metaller derişim sınırının üstüne çıktıkları zaman, toksik etkiye neden olmaktadır (Kahvecioğlu vd. 2009). Ağır metaller sık sık eser element olarak da isimlendirilir. Fakat eser elementler organizmalarda düşük konsantrasyonlarda bulunurlar. Birçok metal, organizma için gerekli olup bunların bulunmaması durumunda vücutta bir takım bozukluklar meydana gelebilir. Kalsiyum, sodyum,

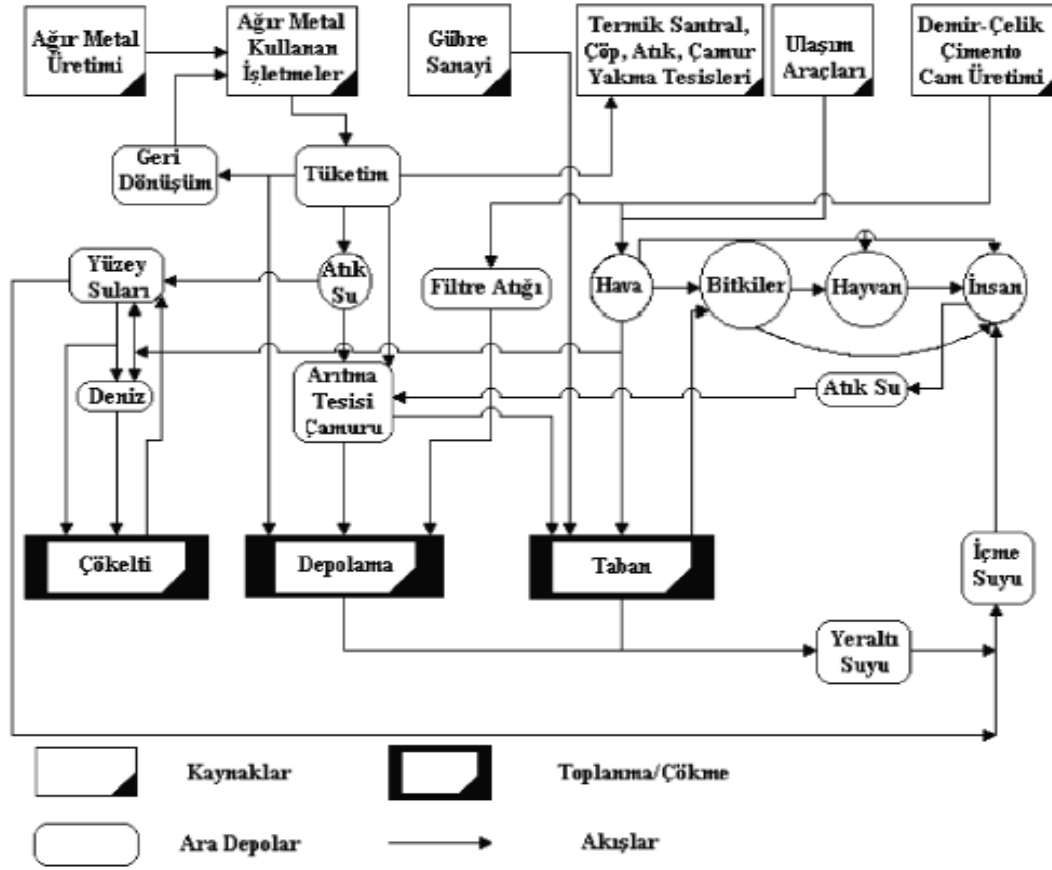
potasyum ve magnezyum gibi önemli metaller hayatın devamı için gerekli olup diğerleri de ancak eser miktarda (organizma kütlesinin % 0,01'inden küçük) organizmada bulunmaktadır (Kayaalp 2012).

Ağır metaller çeşitli kaynaklardan çevreye yayılmaktadır. Bu kaynaklardan ilk sırayı insanoğlunun yaptığı gündelik faaliyetler oluşturmaktadır. Maden faaliyetleri, sanayileşme ile birlikte ağır metal içeren katı yakıtların fazla kullanılması, endüstriyel ve evsel atıklar, egzoz emisyonları ağır metal kirliliğinin ciddi boyutlara ulaşmasının temel nedenleri olabilmektedir (Karabulut vd. 2000, Kahvecioğlu vd. 2003).

Ağır metallerin yer üstü ve yer altı su kaynaklarına ulaşabilmesi endüstriyel ve evsel atıkların su kaynaklarına ulaşması ve asit yağmurları ile olmaktadır. Endüstriyel atıklar içerisinde bulunan ve çevreye zarar veren ağır metal türleri kömür, metal madenciliği, metal kaplamacılık, deri ve cila endüstrilerinin kaplama, yıkama ve durulama atık sularında bulunurlar (Wieder 1990, Al-Asheh *et al.* 1999, Kahvecioğlu vd. 2003).

Ayrıca, asit yağmurlarının toprağa ulaşması ile birlikte toprak içerisinde bulunan ağır metaller çözünmektedir. Böylece çözünen ağır metaller ırmak, göl ve yer altı sularına karışarak su kirliliğine sebep olabilmektedir. Ağır metallerin su kaynaklarına taşınmasıyla aşırı derecede seyrelmiş durumda oluyor ve kısmen karbonat, sülfat, sülfürleri halinde katı bileşik meydana getirerek tabana çökerler, böylece bu bölgede toplanmış olurlar. Sediment tabakasının adsorpsiyon kapasitesinin sınırlı olması bu bölgede ağır metal derişiminin sürekli olarak artmasına neden oluyor. Ağır metallerin çevreye yayımında etken olan en önemli endüstriyel faaliyetler demir çelik sanayi, termik santraller, çimento üretimi, cam üretimi, çöp ve atık çamur yakma fabrikalarıdır (Kahvecioğlu vd. 2003). Genel olarak endüstri kuruluşlarından çevreye yayılan ağır metal türleri şekil 2.13'te verilmiştir.

Ağır metallerin çevreye yayılma sürecine bakıldığında bu yayılmanın çeşitli sektörlerin farklı işlem mertebelerinden kaynaklandığı görülebiliyor. Şekil 2.13'te farklı sektörlerden çevreye ağır metal yayılması şematik olarak gösterilmiştir (Kahvecioğlu vd. 2003).



Şekil 2.13 Ağır metallerin çevreye yayılmasının şematik olarak gösterilmesi (Alcabey 2014)

Doğal süreçlerle önemli derecedeki miktarı doğaya karışmamış, çinko üretimi sırasında meydana gelen ve daha sonra endüstriyel olarak nikel/kadmiyum korozyona karşı gemi sanayinde, pillerde, çeliklerin kaplanmasında, PVC stabilizörü olarak, alaşımlarda ve elektronik sanayinde kullanılmaya başlanması ile çevre kirliliğine neden olan ağır metaller arasında sayılmıştır. Kadmiyumun doğaya yıllık yayılması 25,000-30,000 ton olup, bunun 4,000-13,000 tonu insan faaliyetleri sonucu meydana gelmektedir (Kahvecioğlu vd. 2003). Kadmiyum diğer ağır metallere göre suda çözünmesi hızlı olduğu için doğada yayılma hızı yüksek ve insan yaşamı için gerekli bir element değildir. Kadmiyumun insan vücudundaki seviyesi yaşla beraber artar. 50’li yaşlarda maksimum seviyesine ulaşır ve sonra azalma gösterir. Genellikle böbrekler ve karaciğerde birikir (Kahvecioğlu vd. 2003).

Demir, canlılarda birçok enzimin yapısında bulunan, özellikle omurgalı hayvanların oksijen taşınımında önemli rol oynayan bir metaldir.

Demir diğer metallere göre doğada yüksek miktarlarda bulunurken element halinde bulunmaz. Demir element halinde sadece meteorların yapısında görülür. Buna rağmen bileşikleri doğada bol ve yaygındır. Doğada sülfür, karbonat ve oksit bileşikleri halinde bulunur. Doğal olarak toprakta var olan demir nehirler, akarsular ile deniz ve göllere taşınır. Ayrıca endüstriyel atıklarda kirletici kaynakları meydana getirmektedir (Tuncay 2007).

Demir toprakta bol miktarda bulunmasına rağmen, uygun olmayan toprak şartlarında bitkiler demirden fayda sağlayamazlar. Bitkiler toprakta demiri daha çok Fe^{+2} iyonları halinde alırlar. Bitki demiri, Fe^{+3} ya da Fe-şelat şeklinde olsa bile bitki bünyesinde aktif olan Fe^{+2} iyonlarına indirilmesi gerekir. Eğer toprak pH'ı yüksek ise demir bileşikleri Fe^{+2} ve Fe^{+3} formlarına indirilmez. Fe^{+3} iyonları bitkide fazla miktarda bulunsun bile bitki bünyesinde Fe^{+3} iyonları aktif olmadığı için demir eksikliği olabilir. Bitkide demir alımını Fe-şelat, çinko (Zn^{+2}) ve bakır (Cu^{+2}) olumsuz yönde etkilemektedir (Yaşar 2009). Demir oksidatif metabolizma, eritropoetik fonksiyon ve hücrel immünite için gereklidir. Vücuttaki demirin yaklaşık % 65'i hemoglobinler içinde dağılırlar. Yaklaşık % 10'u ise kas lifleri içinde, stokrom ve enzimlerde mevcuttur. Geriye kalan miktarı kemik iliği ve karaciğerde retikuloendotelial sistem makrofajında bulunmaktadır (Gürsel vd. 2014).

Kobalt yeryüzünde ortalama 25 mg/ton ile en az sıklıkla bulunan elementler içerisinde. Okyanus diplerinde mevcut, mangan yumruları (% 0,25 Co) hariç, tahmini rezervi $5,7 \times 10^6$ ton olarak düşünülüyor. Kobaltın stratejik ve endüstriyel uygulamalarda ve askeri alanda önemli kullanım alanları vardır. Kobalt, süper alaşım olarak jet motor türbinlerinde, malzemelere manyetik özellik kazandırmak için, korozyondan korumak için, mekanik özelliklerin iyileştirilmesi amacı ile alaşımlarda ve paslanmaz çelik üretiminde, takım çeliklerinde, elmas takımlarında, yüksek hız çeliklerinde ve kesici uçlarda alaşım elementi olarak kullanılmaktadır (Atanassova 1999, Alacabey 2014).

Kurşun, atom numarası 82, atom ağırlığı 207,2 g/mol, yoğunluğu $11,34 \text{ g/cm}^3$ olan fiziksel özelliklere sahiptir (Boşgelmez vd. 2001). Kurşun insan faaliyetleri ile ekolojik

hayata en çok zarar veren ilk metaldir. Kurşun, atmosfere metal ya da bileşik olarak yayıldığı ve her durumda toksik özellik taşıdığı için çevresel kirliliğe neden olan en önemli ağır metalidir.

Kurşun insanlar için yıllardan beri önemli bir metaldir. Kurşun tabiatta organik ve inorganik halde bulunur. İnorganik kurşun atmosferde partiküller halinde bulunurken, organik kurşun uçucu olup çoğunlukla gıda maddeleri ve içme suyuna karışmaktadır. Bu nedenle organik kurşunun inorganik kurşuna göre canlı yaşamı üzerinde daha fazla öneme sahiptir (Okçu vd. 2009).

Mangan toprakta bol bulunur. Mangan kirliliğinin hem yakıt hem de motorlu araçlardan kaynaklandığı gibi, ayrıca hava yolu trafiğinin yoğun olduğu merkezlerde yüksek mangan derişimi bulunabilir (Tosyalı 2006).

Bitkilerde mangan temelde Mn (II) halinde bulunmaktadır. Çok kolay yükseltgenmesi sebebiyle bitkilerde manganın, oksijen içermeyen radikallerin zehir etkilerinin giderilmesi ve fotosentezde elektron aktarımı gibi redoks işlemlerinde önemli görevleri vardır. Mangan toksisitesinde çoğu bitkinin olgunlaşmış yapraklarında kahverengi lekelenmeler meydana çıkar (Bayar 2009).

Hg atom numarası 80, atom ağırlığı 200,6 g/mol, erime noktası -38,8 °C, yoğunluğu 13,55 g/cm³, buhar basıncı 20 °C de 1,22×10⁻³ olan fiziksel özelliklere sahiptir. Oda sıcaklığında sıvı, gümüş-beyaz renkli, elektrik iletkenliği iyi fakat ısı iletkenliği zayıftır. Oksidasyon basamağı 0., 1., 2. Olmak üzere 3 tanedir. Özellikleri ve kimyasal davranışları oksidasyon basamağına göre değişir. Cıva elementinin ¹⁹⁵Hg, ¹⁹⁸Hg, ¹⁹⁹Hg, ²⁰⁰Hg, ²⁰¹Hg, ²⁰²Hg, ²⁰⁴Hg olmak üzere yedi kararlı izotopu bulunur (Bradl 2005).

Atmosferde en çok elementel halde Hg buharı bulunur. Sediment, toprak, su ortamlarında en çok Hg'nın inorganik tuzları ve organik kompleksleriyle karşılaşılır. Toprak ve sediment içerisindeki Hg'nın durumunu Hg uygulamalarının kimyasal formu, organik ve inorganik toprak kolloidlerinin reaktifliği, toprağın pH'ı, kompleksler içerisindeki anyon ve katyonların türü, redoks potansiyeli ve toprak

organik maddesi belirler. Bu Hg'nın adsorpsiyonunu belirleyen faktörler içerisindeki pH en önemlisidir. Yaygın olarak Hg endüstri ve tarımda kullanılmaktadır.

Başlıca endüstri alanları klor-alkali sanayi (elektroliz), kâğıt endüstrisi, diş amalgamları, laboratuvar ürünleri ile elektrik ve kontrol aletleridir. Tarımda ise, tahıl tohumlarının, çiçek soğanlarının, şeker kamışının, patatesin hastalıklardan korunması gibi kullanım alanları vardır (Bradl 2005).

Bakır canlılar açısından önemli bir metaldir (Stern *et al.* 2007). İnsanlar tarafından kullanılan ilk metallere birisi ve doğada doğal olarak bulunmaktadır. Doğada 200'den fazla bakır minerali bulunmakta ve bunlardan sadece 20 tanesinin bakır cevheri olarak endüstriyel önemi vardır (Şener 2010). Atmosfer koşullarında metalik gri tonu olmayan 2 metalden biri olan bakır, M.Ö. 5000 yılından beri bilinmektedir. Adını ilk bulunduğu yer olan Kıbrıs'ın Latince'sinden (aes cyprium=Kıbrıs cevheri, cyprium ve daha sonra cuprum) almıştır (Kartal vd. 2004). Bakır 9:1 oranında kalay ile karıştırılması ile bronz alaşımı elde edilmesiyle bronz çağı başlamıştır (Stern *et al.* 2007). Cu mısırlılar tarafından ilk kez üretilmesi ile M.Ö. 3000 yılından beri (Bronz çağı), Anadolu, Hindistan ve Yunanistan'da mekanik özellikleri alaşımla artırılarak faydalanılmıştır. Cu'nun çok çeşitli özelliklere sahip olmasından dolayı endüstride önemli rol oynamaktadır. Bakırın en önemli özellikleri arasında aşınma ve korozyona karşı direnci, yüksek elektrik ve ısı iletkenliği gibi özelliklerini sayabiliriz. Buna ek olarak alaşımları çok çeşitli olup endüstride (otomotiv, borular, vanalar, elektrik santralleri, basınçlı sistemler ve elektrik, elektronik vb.) değişik amaçlı kullanılabilir (Kartal vd. 2004).

Çinko, atom ağırlığı 65,39 g/mol ve atom numarası 30 olan fiziksel özelliklere sahip gümüş renkli bir geçiş metalidir. Çinko metali mavimsi açık gri renkte olup kırılma yapıdadır. Kimyasal yönden aktif olduğu ve diğer metallerle kolay alaşım yapabildiği için, endüstride birçok alaşımın ve bileşiğin üretiminde kullanılır (Boşgelmez vd. 2001). Bitkiler için çinkonun suda çözünen formları yararlıdır. Toprakta bitkiler tarafından çinkonun alınımı topraktaki madde konsantrasyonu arttıkça artma gösterir. Çinko alınımı, bitki türüne bağlı olduğu kadar bulunduğu ortama göre değişkenlik gösterir.

Çinko, bitki metabolizması için gerekli bir metaldir. Çinkonun karbonhidrat, protein, fosfat ve RNA oluşumunda görevi olduğu gibi membranın geçirimsizliğinde de rolü vardır. Ayrıca bakteri ve mantarların yol açtığı hastalıklara karşı koruma özelliği de biliniyor (Okcu vd. 2009).

Krom darbe ve ısıya karşı dayanıklılığı ile paslanmaz özelliği nedeniyle birçok alanda faydalanılmaktadır. Özellikle savunma sanayinde yaygın kullanılmaktadır. Bu nedenle günümüzde jeopolitik önemi olan madenler arasında yer alıyor. Cr'un Cr^{+2} , Cr^{+3} , Cr^{+6} olmak üzere üç farklı değerlikli atomu bulunmaktadır. Bunlardan en çok bulunan ve en kararlı olanı Cr^{+3} iyonudur. Krom çelik üretiminde kütük demir içine eklenerek sağlamlılığı, sertliği ve kimyasal bozunma ve aşınmaya karşı dayanıklılığı arttırdığından dolayı yüksek çelik üretiminde kullanılıyor. Krom son yıllarda metalürji alanında kullanılmaya başlandı ve bununda yaklaşık % 95'i ferrokrom halindedir. Kromun demir ile alaşımına ferrokrom adı verilir ve buna çelik de deniliyor. Ferrokromun % 90'ı başlıca paslanmaya karşı ve ısıya karşı dirençli çelik üretiminde kullanılıyor. Paslanmaz çelikler % 12-40 arasında krom içeriyor. Krom, çeliğe başlıca yüksek karbonlu ferrokrom halinde katılır. Krom kimyasalları paslanmayı önleyici özelliği nedeniyle uçak ve gemi sanayinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca kimya endüstrisinde de kromik asit, sodyum bikromat ve boya hammaddesi olarak kullanılır (Kahvecioğlu vd. 2003, Daş vd. 2012).

Ni, atom numarası 28 ve atom ağırlığı 58,69 g/mol olan gümüş renkte bir geçiş metalidir (Yaşar 2009). Nikel, kilyet bileşiklerini kolay şekilde meydana getirdiği için, bitkilerdeki enzimlerde ve fizyolojik aktif merkezlerde bulunan ağır metallerin yerine geçebilir. Nikel, üreaz ve birçok hidrogenaz enzimlerinin metal yapı taşıdır. Bu nedenle nikel içerikleri az olan bitkiler üre şeklinde uygulanan gübreden faydalanamadıkları gibi ürenin bu bitkilere toksik etkiside olabilmektedir (Asri ve Sönmez 2006). Bitkide nikelin fazla miktarda bulunması, klorofil sentezi ve yağ metabolizması üzerine olumsuz etkisi olabilmektedir. Bitki köklerinin diğer besin elementlerini almasını engelleyerek besin elementleri eksiklikleri ortaya çıkmaktadır (Zengin ve Munzuroğlu 2005).

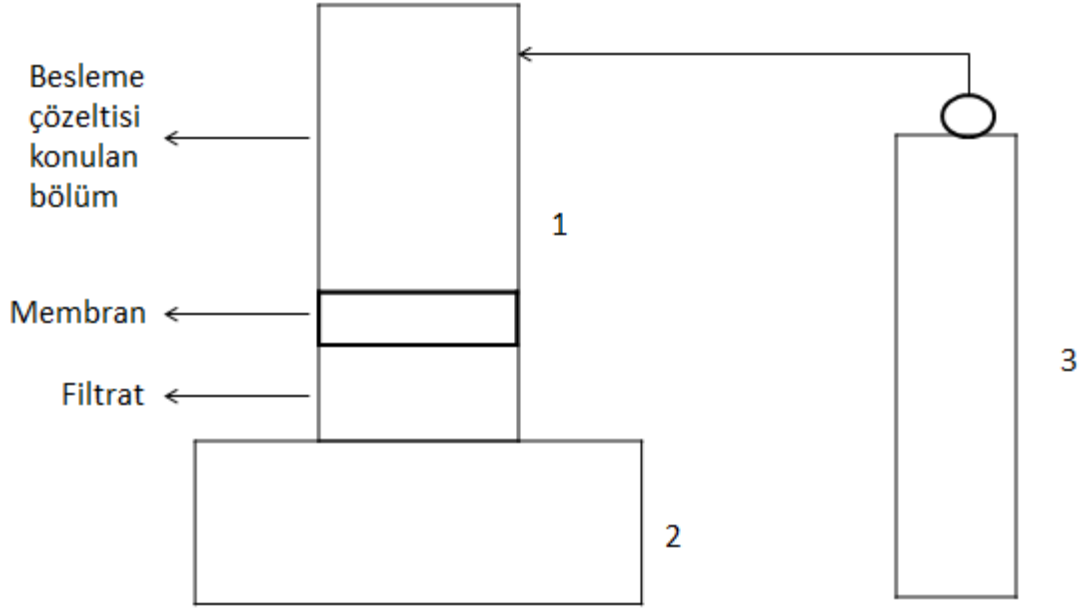
3. MATERYAL ve METOT

3.1 Materyal

3.1.1 Deneylerde Kullanılan Alet ve Düzenekler

- Filtrasyon sistemi (Milipore Amicon 8400)
- Etüv (İsolab)
- pH metre (OHAUS)
- UV-Vis Spektrofotometre (UV-1700 Pharma, SHIMADZU)
- Isıtcılı manyetik karıştırıcı (İka)
- Otomatik pipet (Eppendorf)
- Kronometre (Oregon)

Filtrasyon işlemi Şekil 3.1'de görüldüğü gibi filtrasyon hücresi, manyetik karıştırıcı ve basınc ayarlamalı azot gazı tüpünden oluşmaktadır. Konsantrasyonu ve pH'ı ayarlanmış 300 mL metal c zeltisi filtrasyon hücresinin besleme c zeltisi bölümüne konur ve azot gazı yardımıyla istenen basınc ayarlanarak, filtrasyon sistemine yerleştirilmiş 7,6 cm c pındaki membrana gönderilir. 300 mL c zelti membrandan tamamen geçene kadar geçen süre, daha sonra akı hesaplamak için kaydedilir ve bu sırada membrandan geçen filtrat c zeltisi bir behere alınır. Beherdeki bu filtrat c zeltisinden numune alınarak metal analizi yapılır.



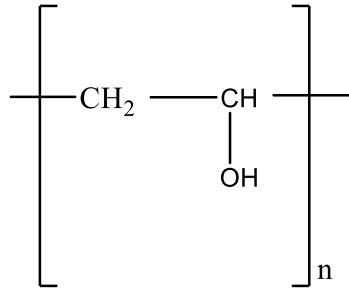
Şekil 3.1 Filtrasyon Akım Şeması

- 1: Filtrasyon hücresi
- 2: Manyetik karıştırıcı
- 3: Basınç ayarlamalı azot gazı tüpü

3.1.2 Deneylede Kullanılan Maddeler

-Poli(vinil alkol) (PVA) (Fluka)

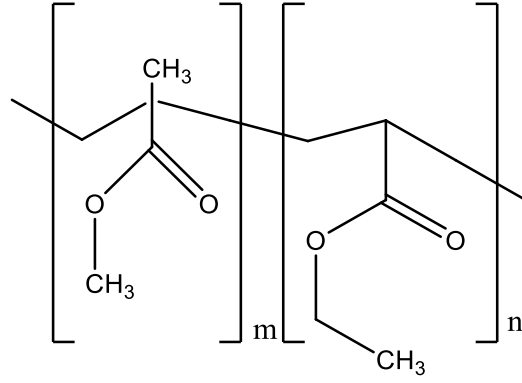
Polimer membran yapımında kullanılmıştır.



Şekil 3.2 Poli(vinil alkol)'ün açık kimyasal formülü

-Poli(metil metakrilat-ko-etil akrilat) P(MMA ko EA) (Sigma-Aldrich)

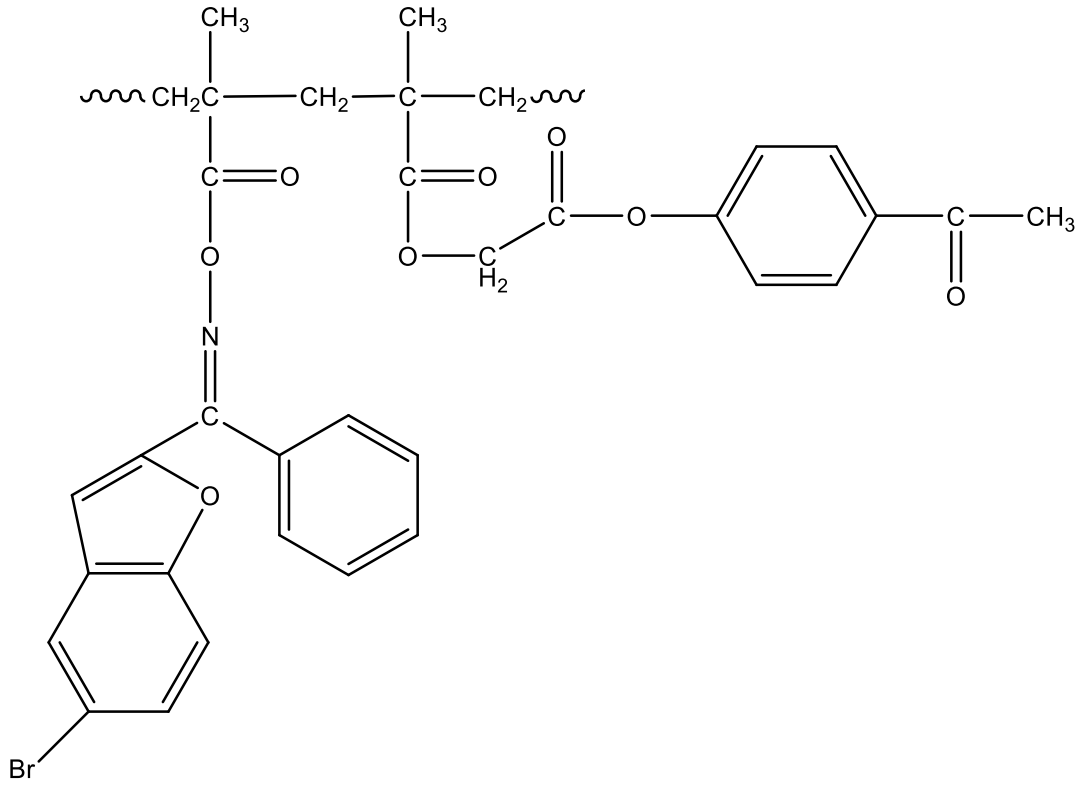
Polimer membran yapımında kullanılmıştır.



Şekil 3.3 Poli(metil metakrilat-ko-etil akrilat)'ın açık kimyasal formülü

-Poli(5-bromo-1-benzofuran-2-il)(fenil)-O-metakrilketoksim-ko-2-(4-asetilfenoksi-2-oksoetil-2-metakrilat) Poli(BPMKO-ko-AOEMA)

Polimer membran yapımında kullanılmıştır.



Şekil 3.4 Poli(5-bromo-1-benzofuran-2-il)(fenil)-O-metakrilketoksim-ko-2-(4-asetilfenoksi-2-Oksoetil-2-metakrilat)'ın açık kimyasal formülü

-Selüloz Filtre (Macherey-Nagel)

S1=MN 640 de

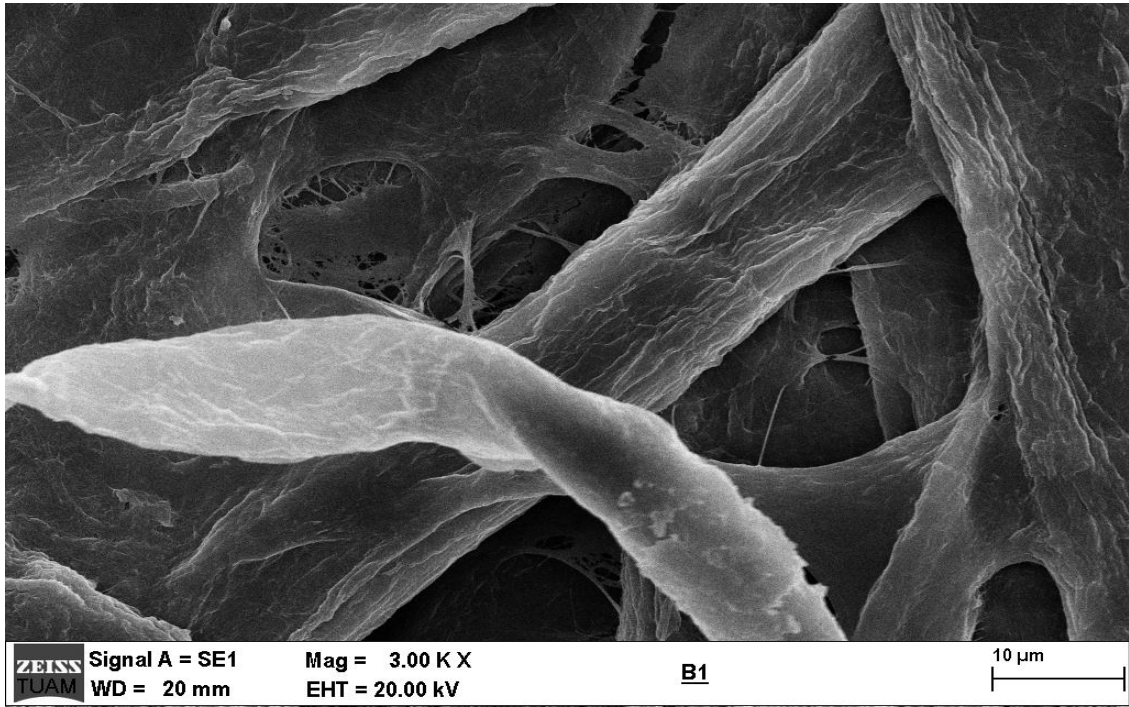
S2=MN 616 MD

S3=MN 640 m

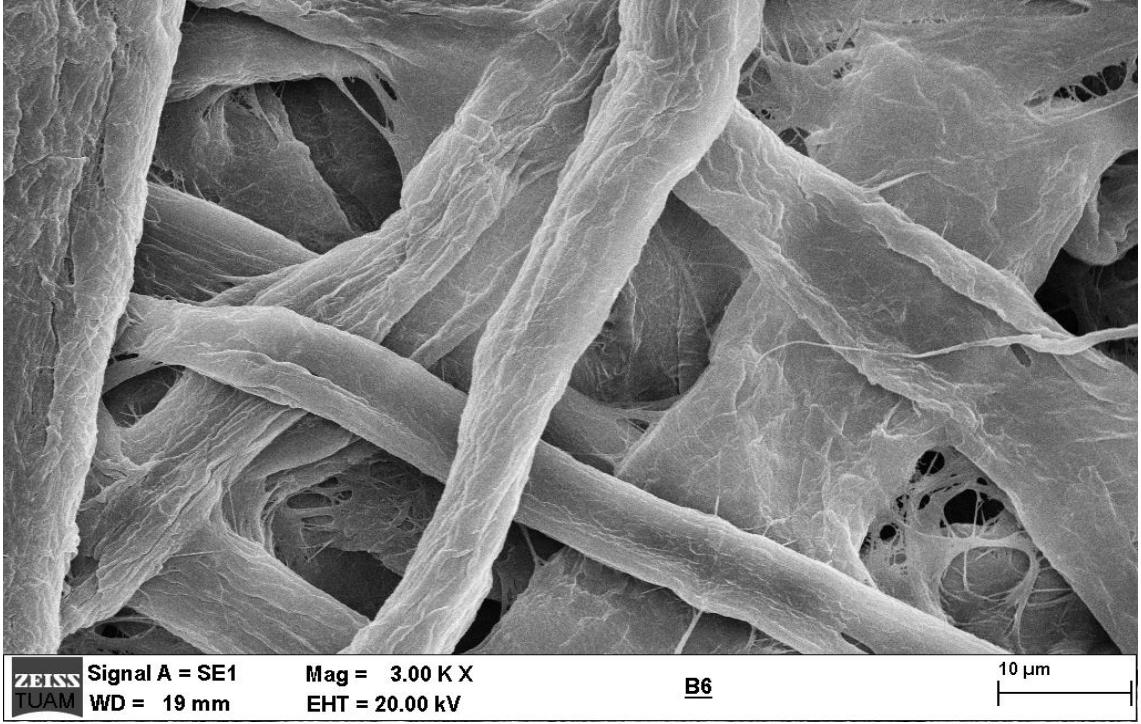
Membran yapımında destek olarak kullanılmıştır.

Çizelge 3.1 Destek Olarak Kullanılan Filtre Kağıtların Fiziksel Özellikleri

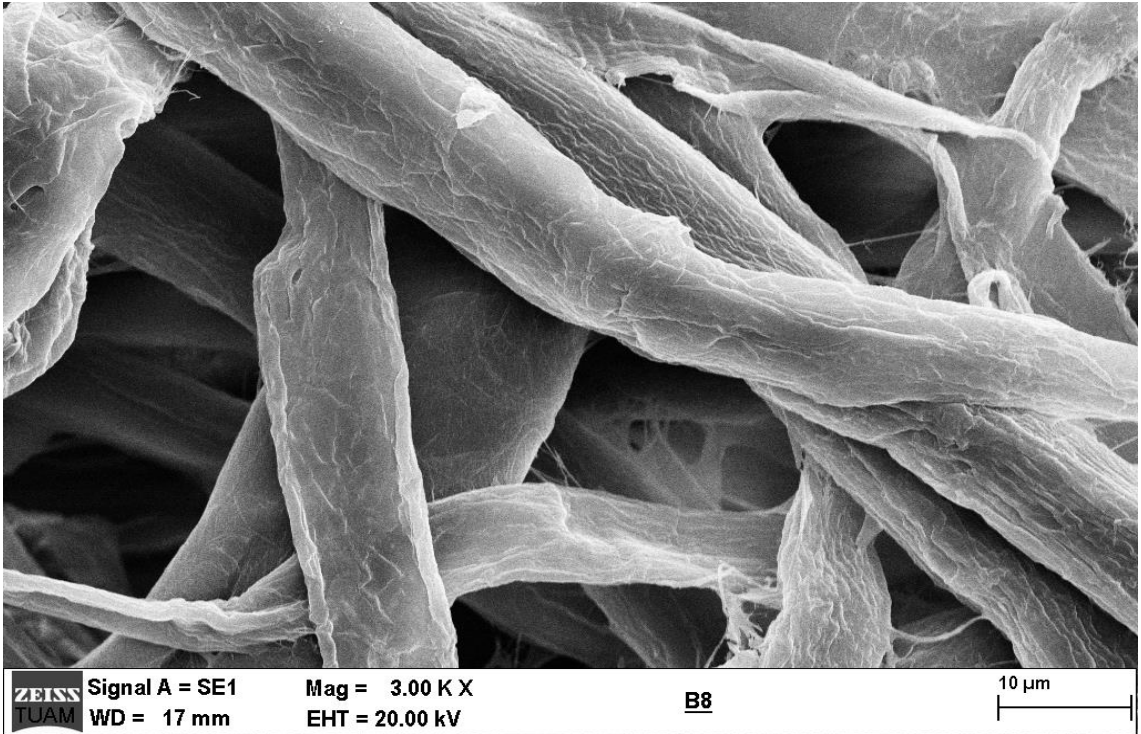
Macherey-Nagel (MN) derecesi	Filtre Kâğıdı İsmi	Kalınlık (mm)	Ortalama Tutma Kapasitesi (μm)
MN 640 de	Selüloz 1	0,2	1-2
MN 616 md	Selüloz 2	0,2	4-7
MN 640 m	Selüloz 3	0,2	4-12



Şekil 3.5 Selüloz 1'in SEM görüntüsü



Şekil 3.6 Selüloz 2'nin SEM görüntüsü



Şekil 3.7 Selüloz 3'ün SEM görüntüsü

-FeCl₃.6H₂O (Sigma-Aldrich)

-CoCl₂.6H₂O (Fluka)

Bu maddeler yapay olarak ağır metal içerikli sulu çözeltiler hazırlanmasında kullanılmıştır.

-N,N-Dimetil formamit (Riedel)

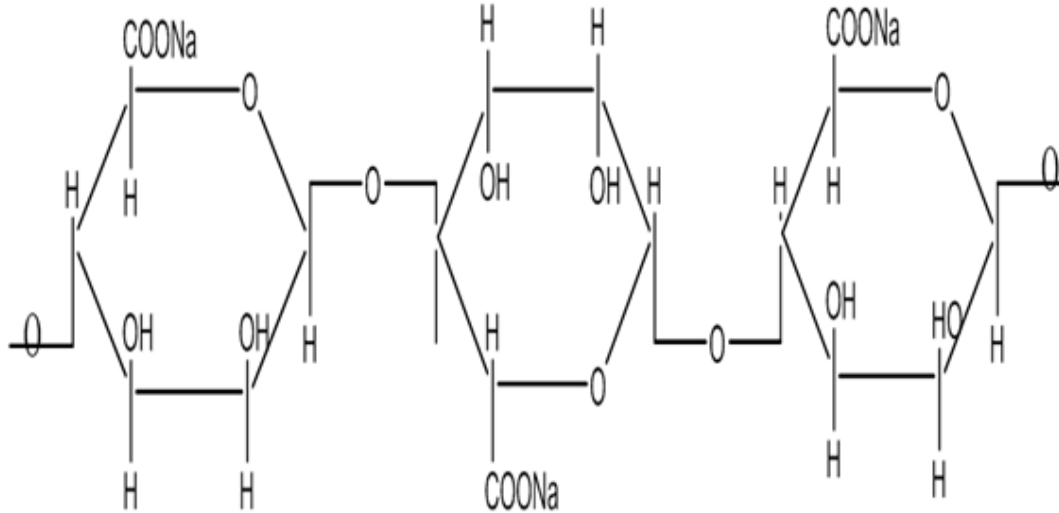
Membran yapımında kullanılmıştır.

-Glutaraldehyd (Sigma-Aldrich)

Membran yapımında kullanılmıştır.

Diğer Kimyasal Maddeler

-Aljinik Asit(sodyum tuzu) (Sigma-Aldrich) metallerde kompleksleştirici olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.8 Aljinik asidin açık kimyasal formülü

-KSCN(Riedel) UV-Vis Spektrometresinde yapılan metal analizlerinde renklendirici olarak kullanılmıştır.

-HCl(Merck) pH'ı ayarlamak için kullanılmıştır.

-NH₃(Sigma-Aldrich) pH'ı ayarlamak için kullanılmıştır.

3.2 Metot

3.2.1 Membranların Hazırlanması

a) Membran I'in Hazırlanması (MI)

Saf su çözücü içerisinde % 0,75 (m/v)'lik Poli(vinil alkol) (PVA) çözeltisinden 10 mL alınıp 9 cm çapındaki petri kabına döküldü. Sonra 7,6 cm çapında selüloz filtre (S1) hazırlanan çözeltiye daldırılarak 60 °C etüvde tam kuruluğa kadar bekletildi. Sonra çapraz bağlama için oda şartlarında 2 saat glutaraldehit (GA) çözeltisinde bekletilip saf su ile yıkandı ve DMF çözücü içerisinde % 0,75 (m/v)'lik Poli(metil metakrilat-ko-etil akrilat) çözeltisinden 10 mL alınarak üzerine kaplama yapılıp 60 °C etüvde tam kuruluğa kadar bekletildi. Saf su ile yıkandıktan sonra 45 dakika saf suda bekletilip filtrasyon işleminde kullanılıncaya kadar oda şartlarında kurumaya bırakıldı.

b) Membran II'nin Hazırlanması (MII)

Saf su çözücü içerisinde % 1 (m/v)'lik PVA çözeltisinden 10 mL alınıp 9 cm çapındaki petri kabına döküldü. Sonra 7,6 cm çapında selüloz filtre (S1) hazırlanan çözeltiye daldırılarak 60 °C etüvde tam kuruluğa kadar bekletildi. Sonra çapraz bağlama için oda şartlarında 2 saat glutaraldehit (GA) çözeltisinde bekletilip saf su ile yıkandı ve DMF çözücü içerisinde % 0,75 (m/v)'lik Poli(metil metakrilat-ko-etil akrilat) çözeltisinden 10 mL alınarak üzerine kaplama yapılıp 60 °C etüvde tam kuruluğa kadar bekletildi. Saf su ile yıkandıktan sonra 45 dakika saf suda bekletilip filtrasyon işleminde kullanılıncaya kadar oda şartlarında kurumaya bırakıldı.

c) Membran III'ün Hazırlanması (MIII)

Saf su çözücü içerisinde % 1,5 (m/v)'luk PVA çözeltisinden 10 mL alınıp 9 cm çapındaki petri kabına döküldü. 7,6 cm çapında selüloz filtre (S1) hazırlanan çözeltiye daldırılarak 60 °C etüvde tam kuruluğa kadar bekletildi. Sonra çapraz bağlama için oda şartlarında 2 saat glutaraldehit çözeltisinde bekletilip saf su ile yıkandı ve DMF çözücü içerisinde % 0,75 (m/v)'lik Poli(metil metakrilat-ko-etil akrilat) çözeltisinden 10 mL alınarak üzerine kaplama yapılıp 60 °C etüvde tam kuruluğa kadar bekletildi. Saf su ile yıkandıktan sonra 45 dakika saf suda bekletilip filtrasyon işleminde kullanılıncaya

kadar oda şartlarında kurumaya bırakıldı.

d) Membran IV'ün Hazırlanması (MIV)

Saf su çözücü içerisinde % 0,75 (m/v)'lik PVA çözeltisinden 10 mL alınıp 9 cm çapındaki petri kabına döküldü. Sonra 7,6 cm çapında selüloz filtre (S1) hazırlanan çözeltiye daldırılarak 60 °C etüvde tam kuruluğa kadar bekletildi. Daha sonra çapraz bağlama için oda şartlarında 2 saat glutaraldehit çözeltisinde bekletilip saf su ile yıkandı ve DMF çözücü içerisinde % 0,75 (m/v)'lik $[1/3 \left(\frac{m}{m}\right) \text{Poli(BPMKO-ko-AOEMA)} - 2/3 \left(\frac{m}{m}\right) \text{Poli(metil metakrilat-ko-etil akrilat)}]$ çözeltisinden 10 mL alınarak üzerine kaplama yapıp 60 °C etüvde tam kuruluğa kadar bekletildi. Saf su ile yıkandıktan sonra 45 dakika saf suda bekletilip filtrasyon işleminde kullanılıncaya kadar oda şartlarında kurumaya bırakıldı.

e) Membran V'in Hazırlanması (MV)

Saf su çözücü içerisinde % 0,75 (m/v)'lik PVA çözeltisinden 10 mL alınıp 9 cm çapındaki petri kabına döküldü. Sonra 7,6 cm çapında selüloz filtre (S2) hazırlanan çözeltiye daldırılarak 60 °C etüvde tam kuruluğa kadar bekletildi. Sonra çapraz bağlama için oda şartlarında 2 saat glutaraldehit çözeltisinde bekletilip saf su ile yıkandı ve DMF çözücü içerisinde % 0,75 (m/v)'lik Poli(metil metakrilat-ko-etil akrilat) çözeltisinden 10 mL alınarak üzerine kaplama yapıp 60 °C etüvde tam kuruluğa kadar bekletildi. Saf su ile yıkandıktan sonra 45 dakika saf suda bekletilip filtrasyon işleminde kullanılıncaya kadar oda şartlarında kurumaya bırakıldı.

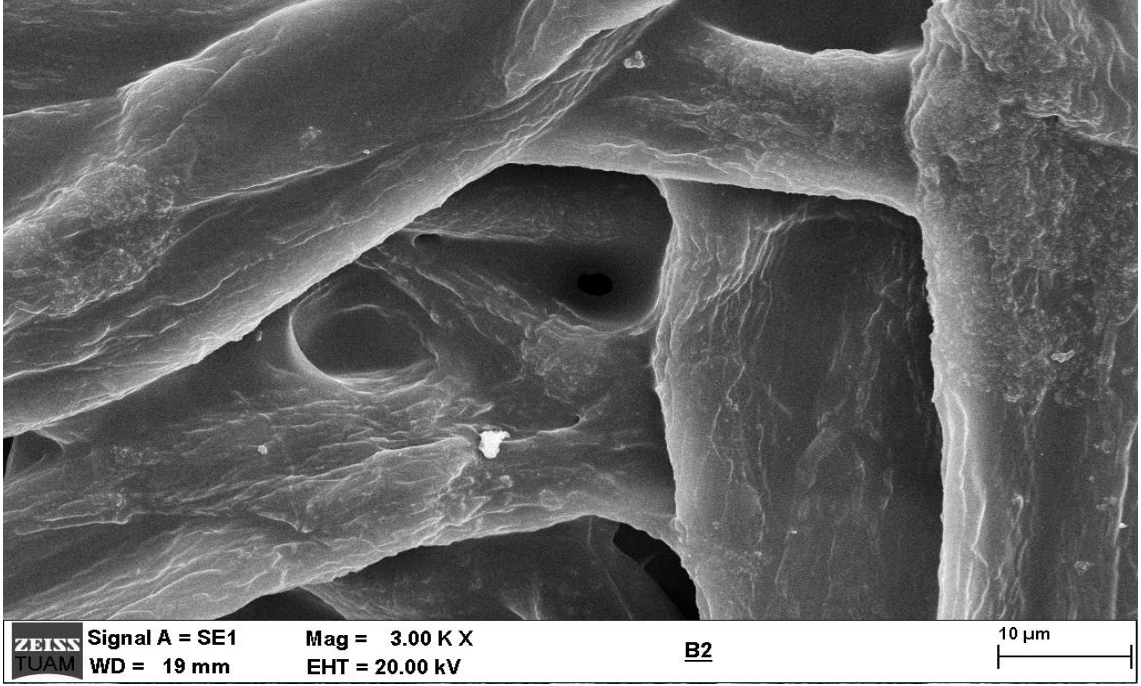
f) Membran (VI)'nın Hazırlanması (MVI)

Saf su çözücü içerisinde % 0,75 (m/v)'lik PVA çözeltisinden 10 mL alınıp 9 cm çapındaki petri kabına döküldü. Sonra 7,6 cm çapında selüloz filtre (S3) hazırlanan çözeltiye daldırılarak 60 °C etüvde tam kuruluğa kadar bekletildi. Sonra çapraz bağlama için oda şartlarında 2 saat glutaraldehit çözeltisinde bekletilip saf su ile yıkandı ve DMF çözücü içerisinde % 0,75 (m/v)'lik Poli(metil metakrilat-ko-etil akrilat) çözeltisinden 10 mL alınarak üzerine kaplama yapıp 60 °C etüvde tam kuruluğa kadar bekletildi. Saf su ile yıkandıktan sonra 45 dakika saf suda bekletilip filtrasyon işleminde

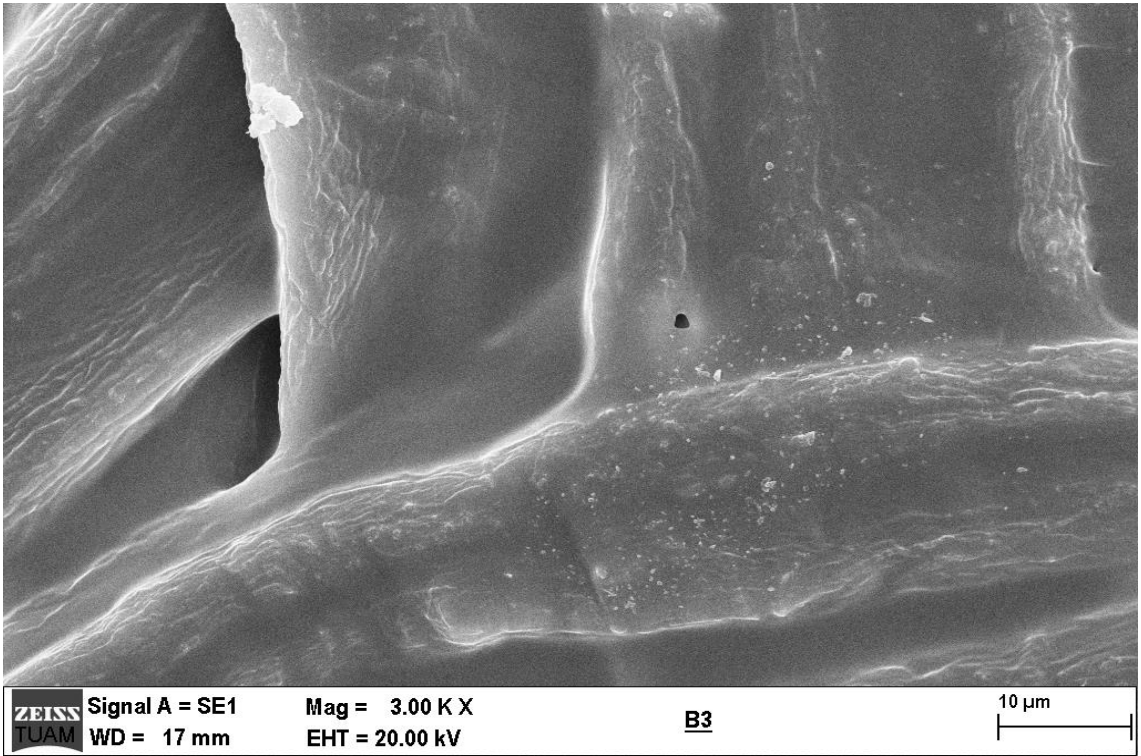
kullanılıncaya kadar oda şartlarında kurumaya bırakıldı. Elde edilen kompozit membranlar Çizelge 3.2'deki gibi numaralandırılıp gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 Kullanılan Kompozit Membranların Özellikleri

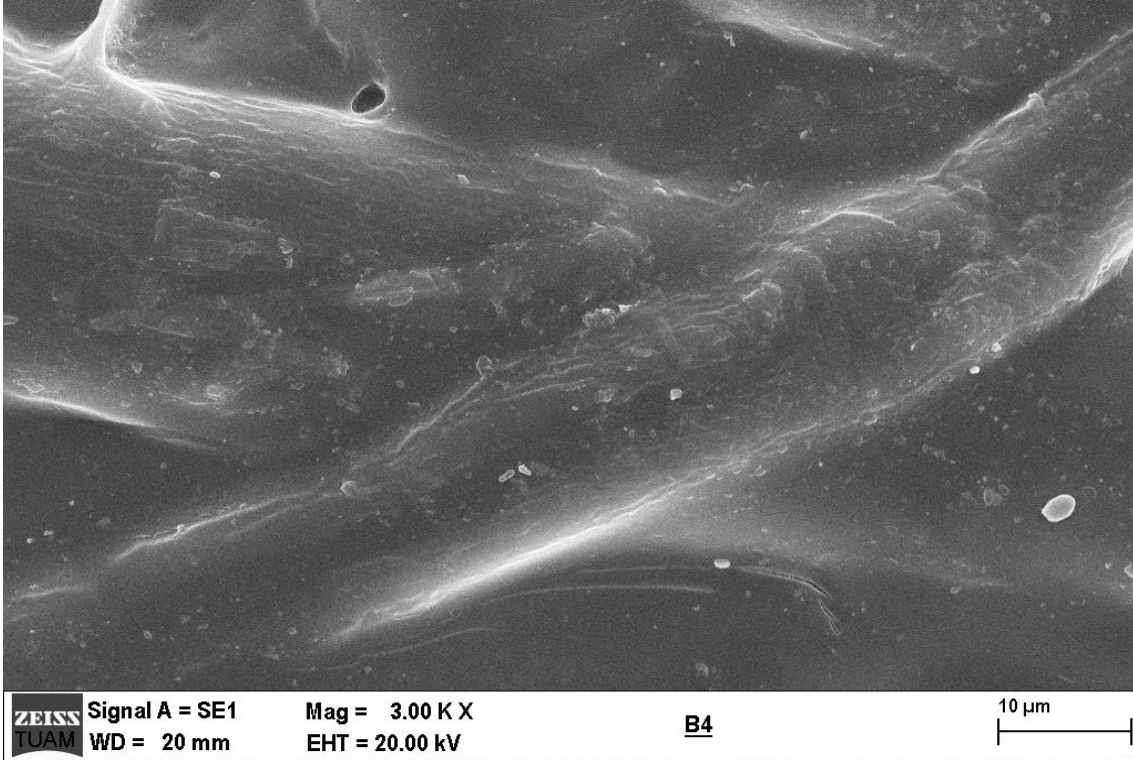
Membran	Membran içeriği
MI	% 0,75 (m/v) PVA-S1 üzerine kaplama % 0,75 (m/v) P(MMA-ko-EA)
MII	% 1 (m/v) PVA-S1 üzerine kaplama % 0,75 (m/v) P(MMA-ko-EA)
MIII	% 1,5 (m/v) PVA-S1 üzerine kaplama % 0,75 (m/v) P(MMA-ko-EA)
MIV	% 0,75 (m/v) PVA-S1 üzerine kaplama % 0,75 (m/v) $[1/3 (\frac{m}{m})$ Poli(BPMKO-ko- AOEMA) – $2/3 (\frac{m}{m})$ Poli(MMA-ko-EA)]
MV	% 0,75 (m/v) PVA-S2 üzerine kaplama % 0,75 (m/v) P(MMA-ko-EA)
MVI	% 0,75 (m/v) PVA-S3 üzerine kaplama % 0,75 (m/v) P(MMA-ko-EA)



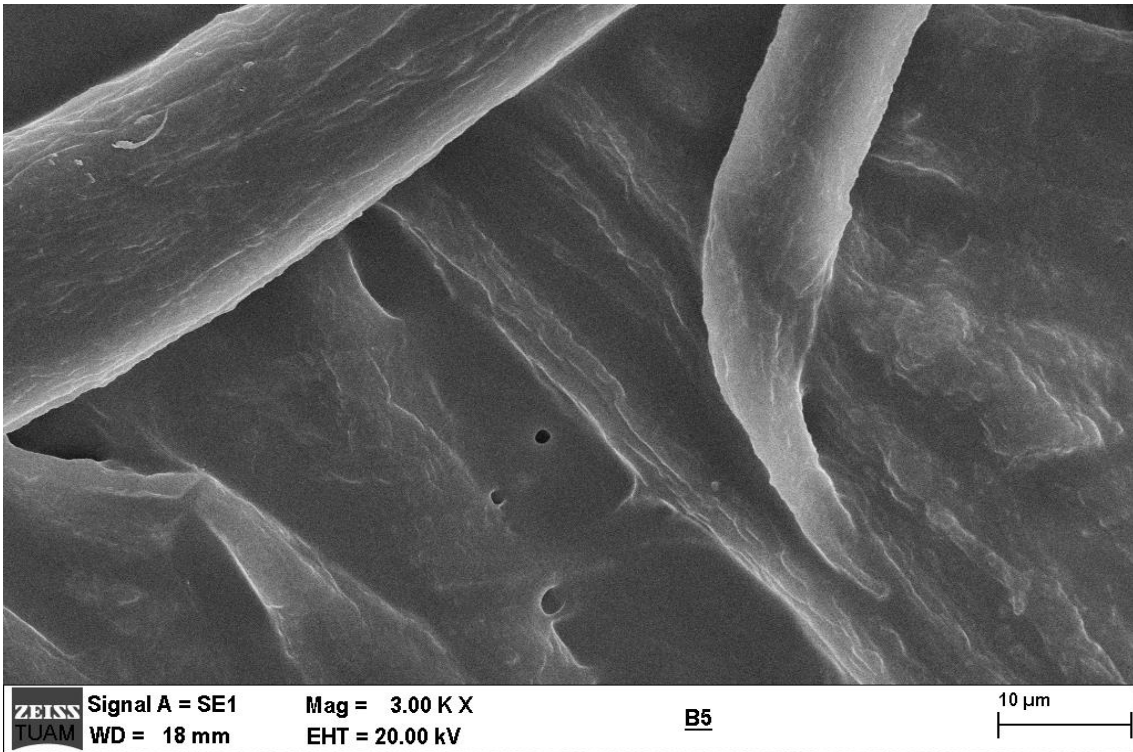
Şekil 3.9 MI membranı için SEM görüntüsü



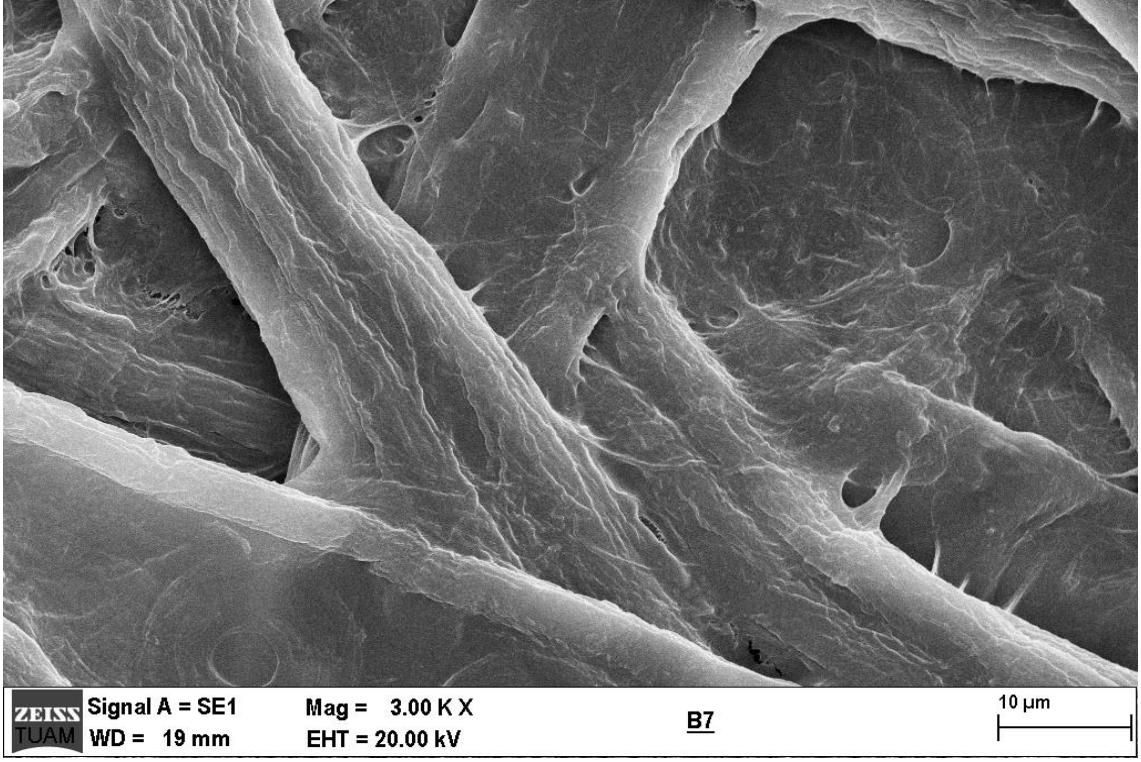
Şekil 3.10 MII membranı için SEM görüntüsü



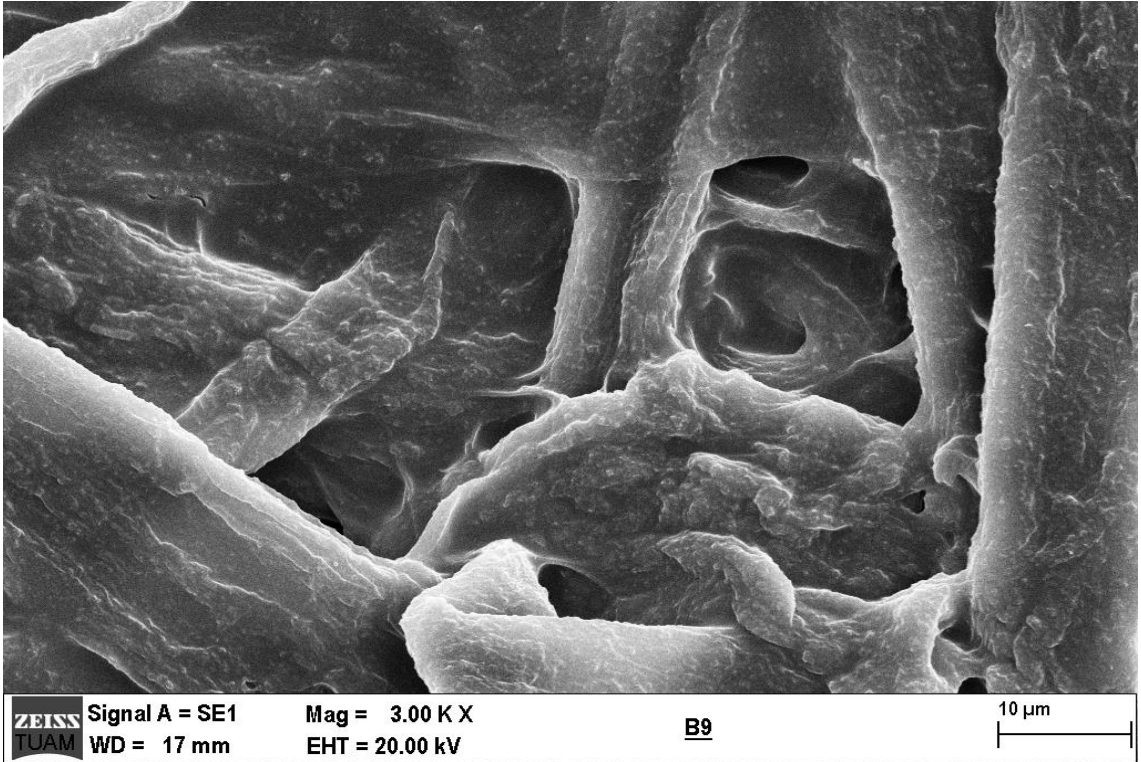
Şekil 3.11 MIII membranı için SEM görüntüsü



Şekil 3.12 MIV membranı için SEM görüntüsü



Şekil 3.13 MV membranı için SEM görüntüsü



Şekil 3.14 MVI membranı için SEM görüntüsü

3.2.2 Membranların Filtrasyon İşleminde Kullanılması

Bu çalışmada Fe(III), Fe(III)+AA, Co(II), Co(II)+AA çözeltilerini içeren 300 mL'lik besleme çözeltisi hazırlanmıştır. Besleme çözeltisinin pH'ı ayarlanarak filtrasyon hücresine dökülmüş ve basınç yardımıyla besleme çözeltisinin membrandan geçişi sağlanmıştır. Membrandan geçiş tamamlandıktan sonra filtattan örnek alınarak analiz yapılmıştır. Fe(III), Fe(III)+AA, Co(II) ve Co(II)+AA'nın çözeltilerindeki metal konsantrasyonları UV-Vis Spektrometre yardımıyla bulunmuştur. İyonların tutulması aşağıdaki eşitlik kullanılarak bulunmuştur.

$$\%R = \left(1 - \frac{C_f}{C_b}\right) \times 100 \quad (3.1)$$

Burada;

C_f: Filtrat çözeltisi derişimi

C_b: Besleme çözeltisi derişimidir.

Filtratın akısında; birim zamanda membran alanından geçen filtrat hacminin membran alanına ve birim zamana bölünmesiyle L/m².sa biriminde kullanılmıştır.

4. BULGULAR

Bu çalışmada MI, MII, MIII, MIV, MV, MVI membranları kullanılarak Fe(III) ve Co(II) iyonlarının sulu çözeltilerden kompleksiz ve AA kompleksi varlığında ayrılması araştırılmıştır. Filtrasyon tekniği ile gerçekleştirilen çalışmalar toplam beş aşamada gerçekleştirilmiştir.

Birinci aşamada filtrasyon tekniğinde kullanılacak uygun membranların elde edilebilmesi için çalışmalar yapılmış ve kullanılacak membranların seçimi yapılmıştır.

İkinci aşamada Fe(III) iyonlarını sulu çözeltilerden ayırırken çözelti pH'ının, basıncın, çözelti konsantrasyonunun ve membran kalınlığının tutulma ve akıya etkileri tespit edilmiştir.

Üçüncü aşamada Fe(III) iyonlarına AA kompleksleri eklenerek Fe(III) iyonlarının sulu çözeltilerden ayırırken çözelti pH'ının, basıncın, çözelti konsantrasyonunun ve membran kalınlığının tutulma ve akıya etkileri tespit edilmiştir.

Dördüncü aşamada Co(II) iyonlarını sulu çözeltilerden ayırırken basıncın, çözelti pH'ının, çözelti konsantrasyonunun ve membran kalınlığının tutulma ve akıya etkileri tespit edilmiştir.

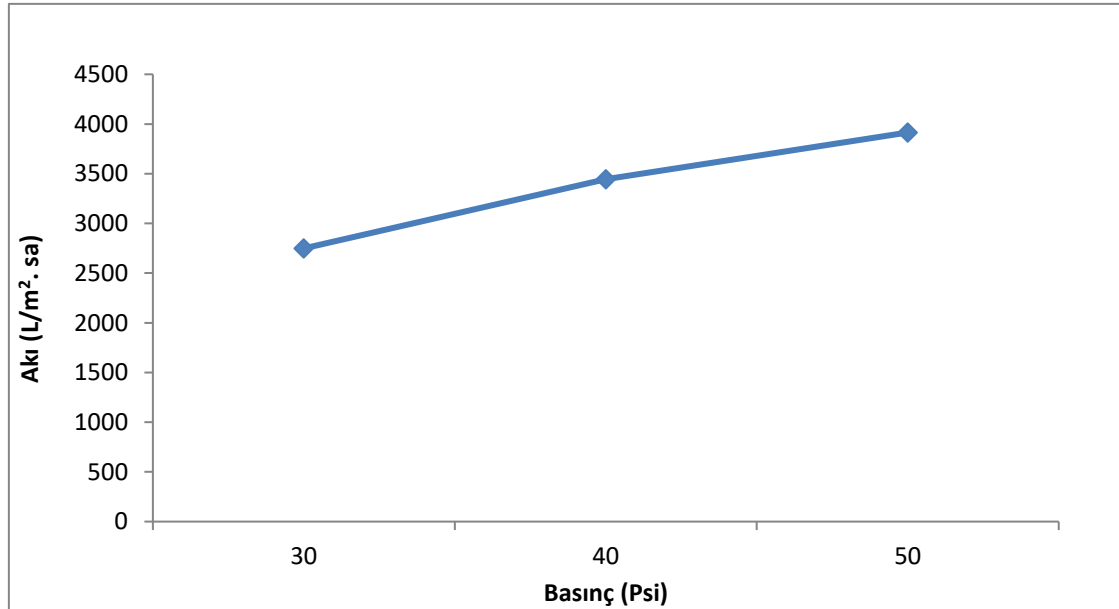
Beşinci aşamada Co(II) iyonlarına AA kompleksleri eklenerek Co(II) iyonlarının sulu çözeltilerden ayırırken çözelti pH'ının, basıncın, çözelti konsantrasyonunun ve membran kalınlığının tutulma ve akıya etkileri tespit edilmiştir.

4.1 Membran Saf Su Çalışmaları

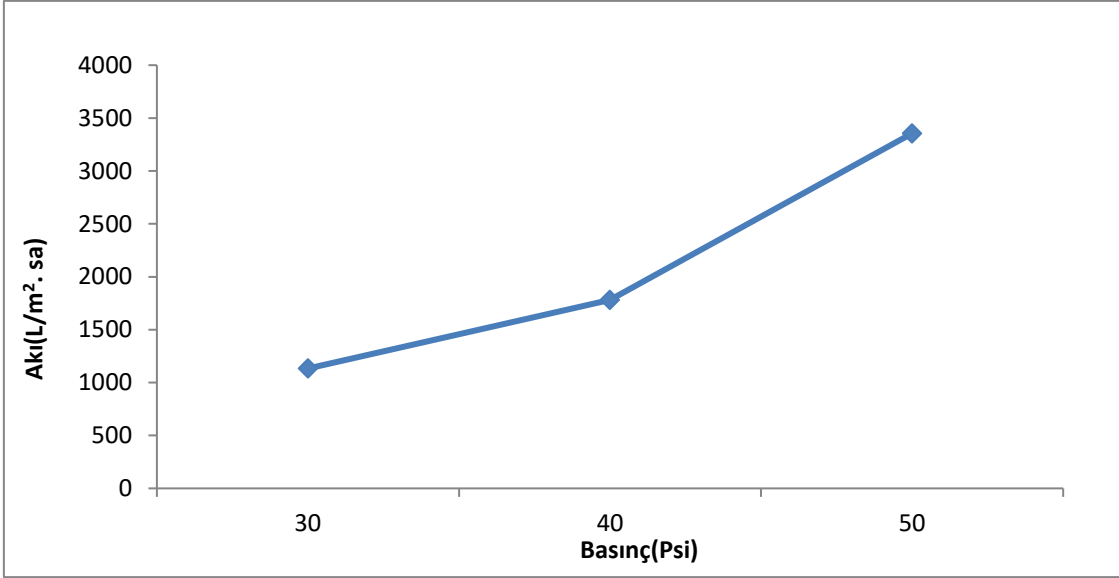
Elde edilen uygun membranlara 50 Psi'ye kadar basınç uygulanarak saf su geçirgenliklerine bakılmıştır. Saf su geçişinin filtrasyon tekniği ile yapılan deneylerde, elde edilen membranların kullanıp kullanılmayacağı araştırılmıştır. Membranların saf su geçişleri Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6'da verilmiştir. Beklendiği şekilde basınç artışı ile 6 membranda da akı artışı gözlenmiştir.

Çizelge 4.1 MI, MII, MIII, MIV, MV, MVI membranları için saf su geçişi

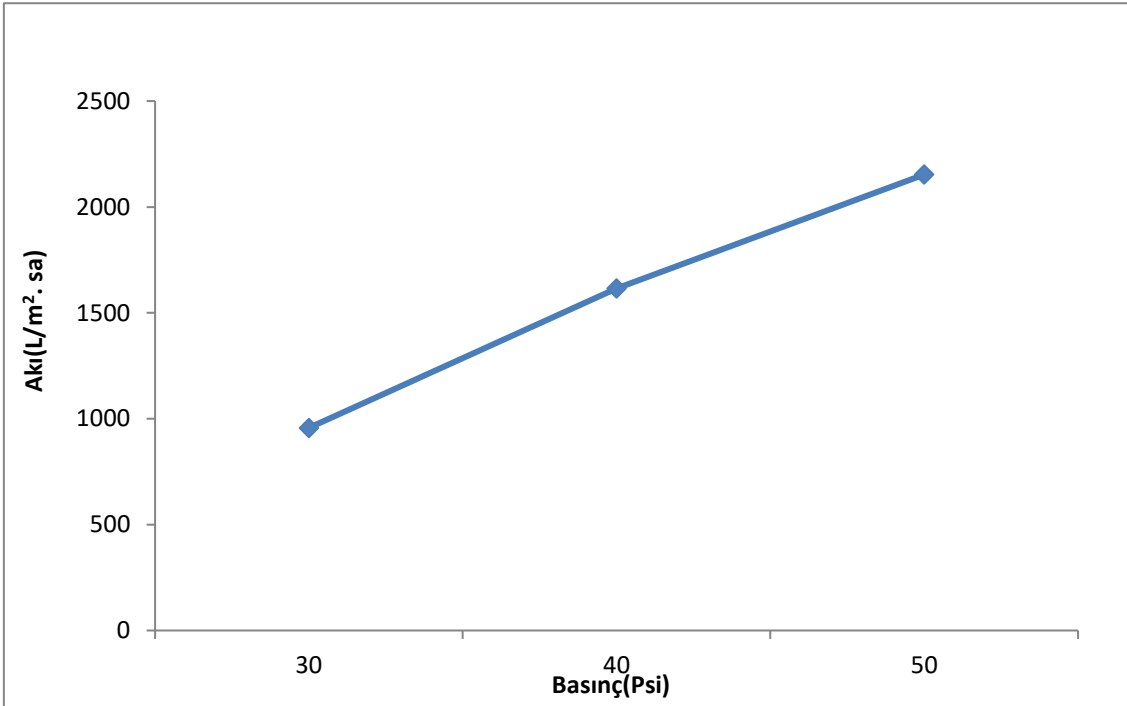
Membran	Basınç(Psi)		
	30	40	50
MI için Akı değeri (L/m ² .sa)	2748,60	3444,90	3914,70
MII için Akı değeri (L/m ² .sa)	1133,20	1781,90	3355,50
MIII için Akı değeri (L/m ² .sa)	956,90	1614,80	2153,10
MIV için Akı değeri (L/m ² .sa)	6065	7865,20	10252,80
MV için Akı değeri (L/m ² .sa)	6945	9842,70	11112,70
MVI için Akı değeri (L/m ² .sa)	10567,30	10971	11797,70



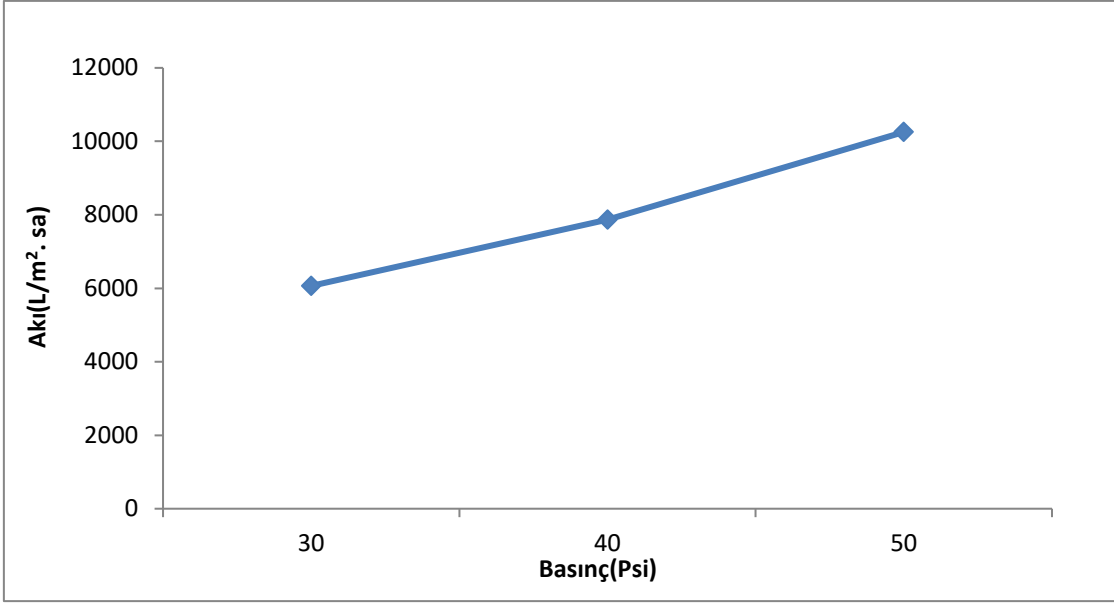
Şekil 4.1 MI membranı için saf su geçişi



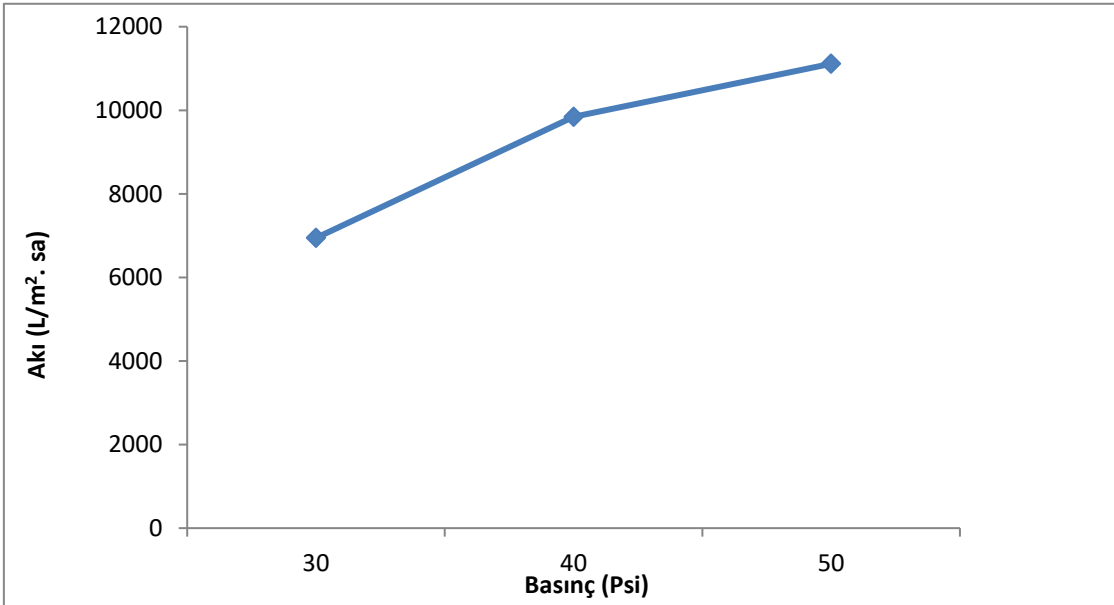
Şekil 4.2 MII membranı için saf su geçişi



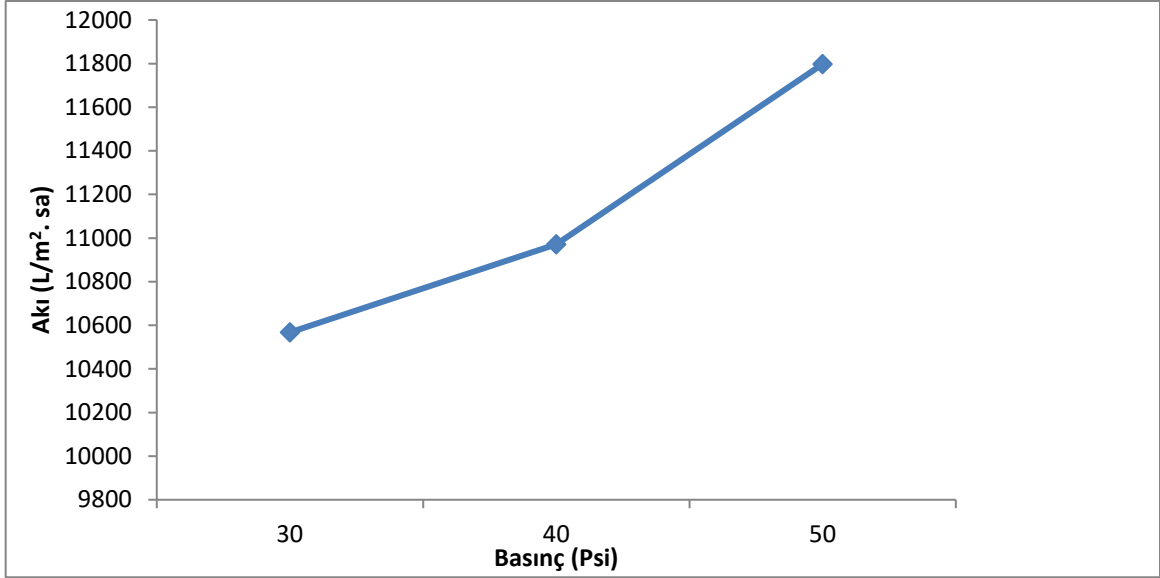
Şekil 4.3 MIII membranı için saf su geçişi



Şekil 4.4 MIV membranı için saf su geçişi



Şekil 4.5 MV membranı için saf su geçişi



Şekil 4.6 MVI membranı için saf su geçişi

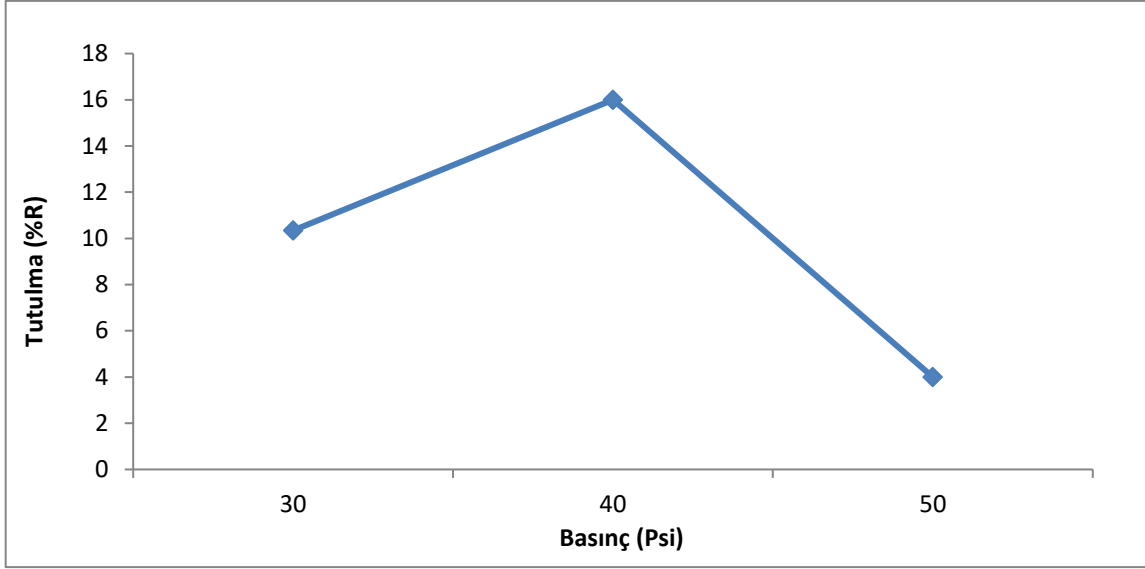
4.2 MI, MII ve MIII Membranları İle Demir(III) İyonlarının Sulu Çözeltilerden Filtrasyonu

4.2.1 Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi

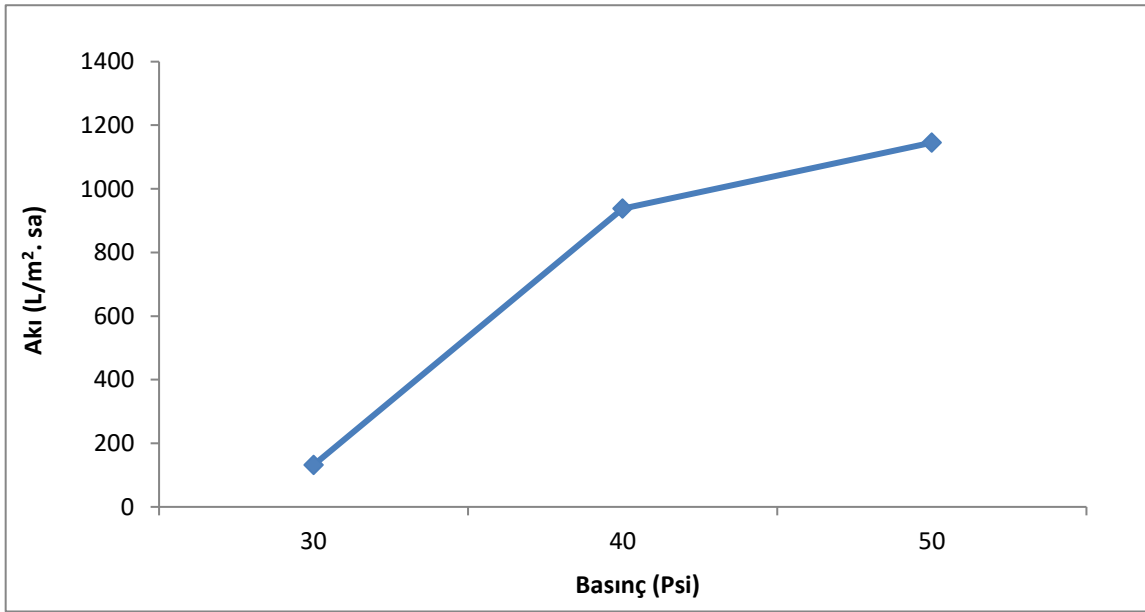
$0,3 \times 10^{-4}$ M Fe(III) çözeltisi MIII membranı kullanılarak 400 dev/dk karıştırma hızında, pH=4'te filtre edilmiştir. Basıncın tutulma yüzdesi ve akıya etkilerinin sonuçları Çizelge 4.2, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de verilmiştir. Beklenen şekilde membrana uygulanan basınç artışı ile akı artmıştır. Membranda en iyi tutulma yüzdesi 40 psi basınçta gözlenmiştir.

Çizelge 4.2 Fe(III) çözeltisi filtrasyonunda basıncın tutulma ve akıya etkisi ($C_{Fe(III)}=0,3 \times 10^{-4}$ M, pH=4, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

Membran	Basınç(Psi)	Tutulma(%R)	Akı(L/m².sa)
MIII	30	10,34	131,68
MIII	40	16	938,17
MIII	50	4	1145,27



Şekil 4.7 Fe(III) çözeltisi filtrasyonunda basıncın tutulmaya etkisi ($C_{Fe(III)}=0,3 \times 10^{-4}$ M, pH=4, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)



Şekil 4.8 Fe(III) çözeltisi filtrasyonunda basıncın akıya etkisi ($C_{Fe(III)}=0,3 \times 10^{-4}$ M, pH=4, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

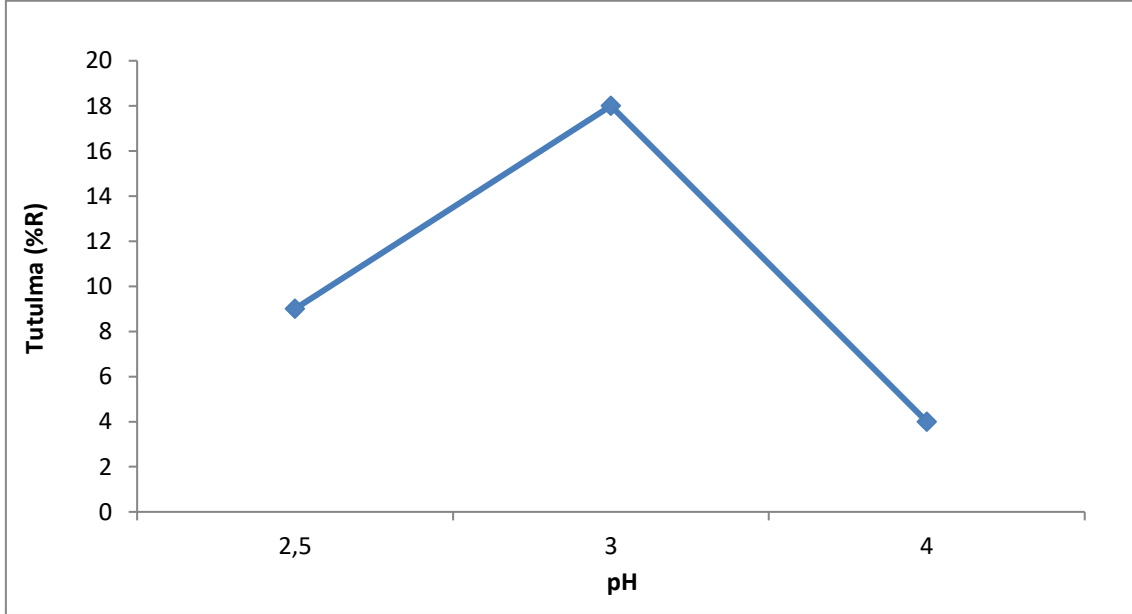
4.2.2 pH'ın Tutulma ve Akıya Etkisi

$0,3 \times 10^{-4}$ M Fe(III) çözeltisi ve MIII membranı kullanılarak 400 dev/dk karıştırma hızında, 40 psi'de değişik pH'larda filtre edilmiştir. pH'ın tutulma yüzdesi ve akıya etkilerinin sonuçları Çizelge 4.3, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da verilmiştir. Düşük pH'larda ortamdaki H^+ 'lar Fe(III) iyonlarını iter ve membrana tutulma azalır. pH=3'te maksimum tutulma

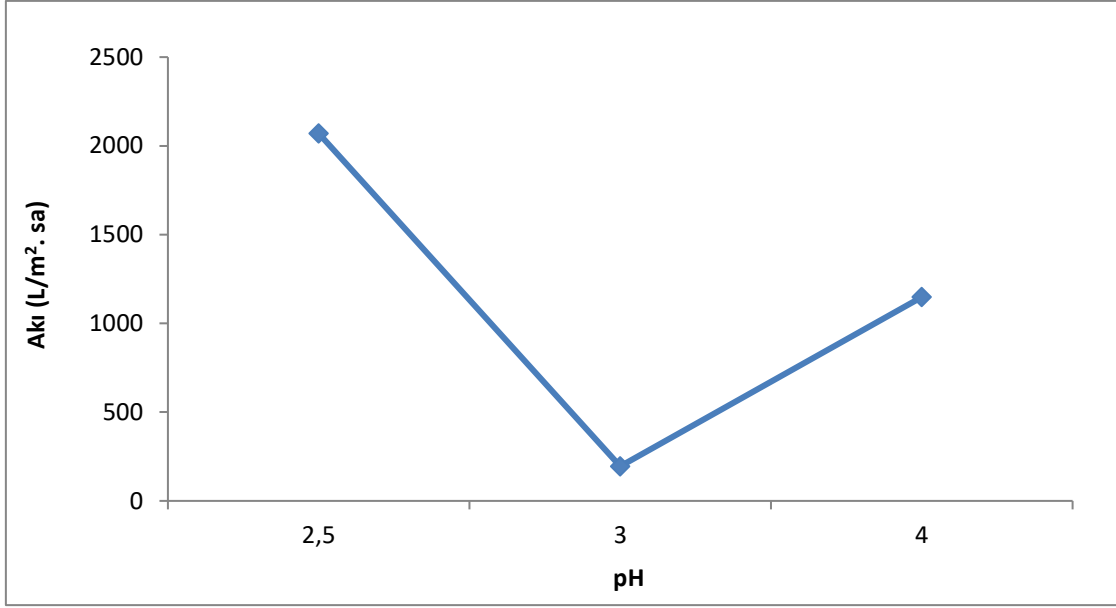
gözlenirken pH=4'te tekrar Fe(III) iyonlarındaki hidroliz artışından dolayı düşüş gözlenir. Tutulmanın en yüksek olduğu pH=3'te membran üzerindeki kekleşmeden dolayı en düşük akı gözlenmiştir.

Çizelge 4.3 Fe(III) çözeltisi filtrasyonunda pH'ın tutulma ve akıya etkisi ($C_{Fe(III)}=0,3 \times 10^{-4}$ M, P=40 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

Membran	pH	Tutulma(%R)	Akı(L/m ² .sa)
MIII	2,5	9	2070,29
MIII	3	18	194,93
MIII	4	4	1148,32



Şekil 4.9 Fe(III) çözeltisi filtrasyonunda pH'ın tutulmaya etkisi ($C_{Fe(III)}=0,3 \times 10^{-4}$ M, P=40 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)



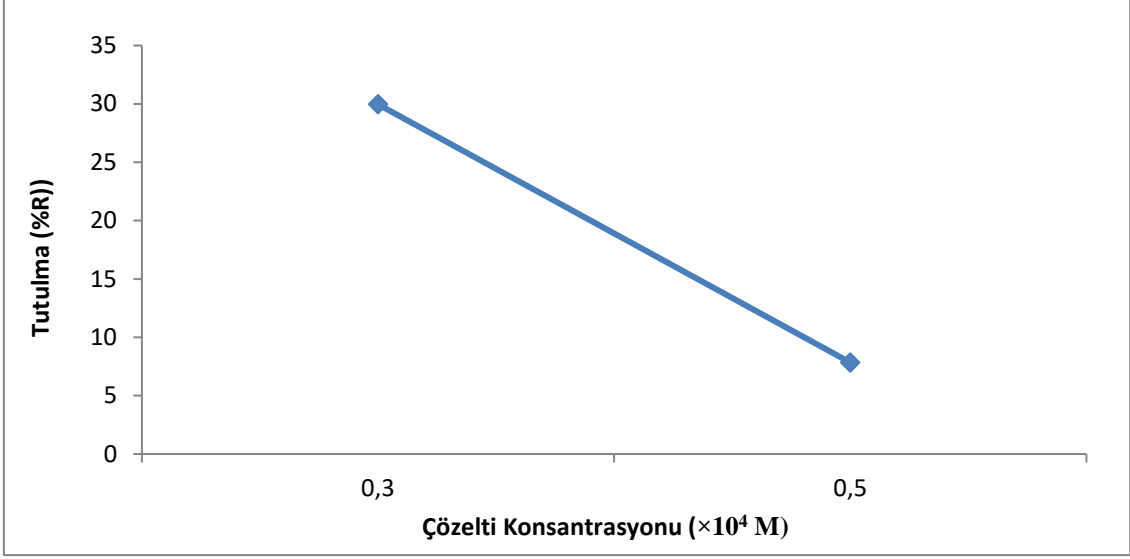
Şekil 4.10 Fe(III) çözeltisi filtrasyonunda pH'ın akıya etkisi ($C_{Fe(III)}=0,3 \times 10^{-4}$ M, P=40 Psi, Karıştırma Hızı=400dev/dk)

4.2.3 Çözelti konsantrasyonunun Tutulma ve Akıya Etkisi

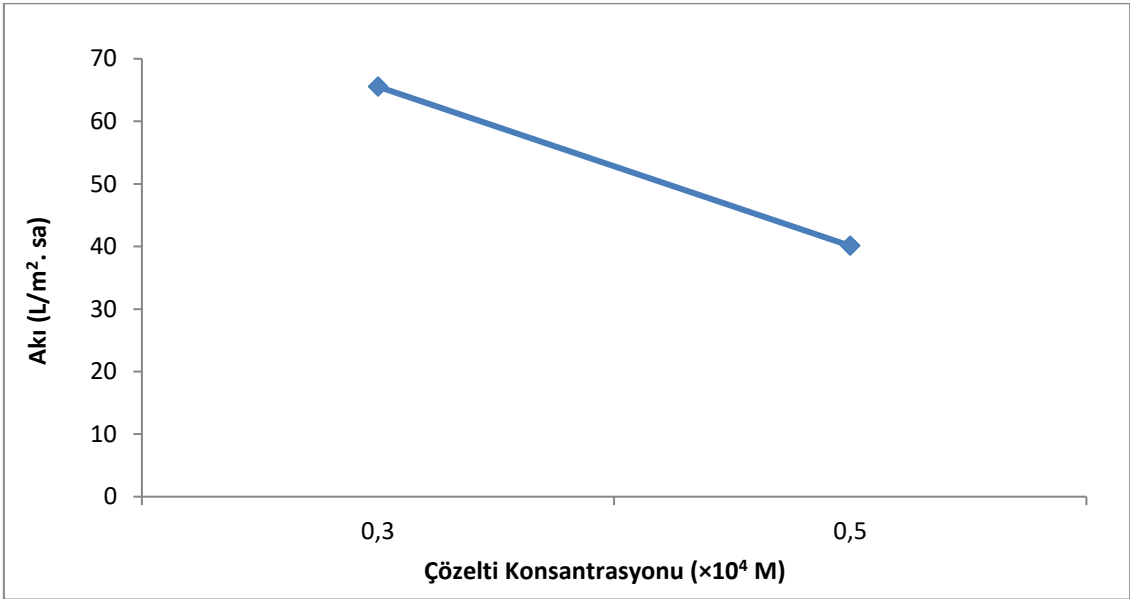
pH=3'te P=40 Psi basınçta 400 dev/dk karıştırma hızında, MIII membranı ile değişik konsantrasyonlarda yapılan Fe(III) çözeltisi filtrasyonunun tutulma yüzdesine ve akıya etkileri Çizelge 4.4, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Çözelti konsantrasyonu arttıkça membran yüzeyinde kekleşme dediğimiz birikme arttığı için akı değeri düşmektedir. Tutulma yüzdesi ise membranın maksimum tutma kapasitesine ulaşıldığı için düşmektedir.

Çizelge 4.4 Fe(III) çözeltisi filtrasyonunda çözelti konsantrasyonunun tutulma ve akıya etkisi (pH=3, P=40 Psi, Karıştırma Hızı=400dev/dk)

Membran	Çözelti Konsantrasyonu	Tutulma(%R)	Akı(L/m ² .sa)
MIII	$0,3 \times 10^{-4}$ M	29,96	65,54
MIII	$0,5 \times 10^{-4}$ M	7,84	40,095



Şekil 4.11 Fe(III) çözeltisi filtrasyonunda çözelti konsantrasyonunun tutulmaya etkisi (pH=3, P=40 Psi, Karıştırma Hızı=400dev/dk)



Şekil 4.12 Fe(III) çözeltisi filtrasyonunda çözelti konsantrasyonunun akıya etkisi (pH=3, P=40 Psi, Karıştırma Hızı=400dev/dk)

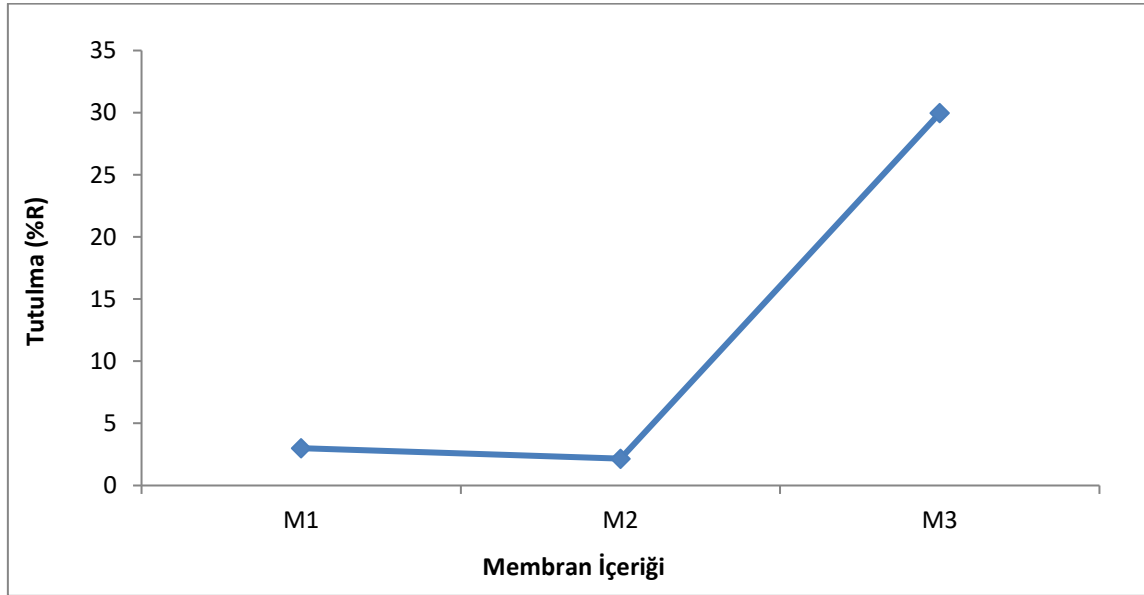
4.2.4 Membran İçeriğinin Tutulma ve Akıya Etkisi

Bu çalışmada $0,3 \times 10^{-4}$ M Fe(III) çözeltisinin pH=3, P=40 Psi ve 400 dev/dk karıştırma hızında membran içeriğinin tutulma ve akıya etkisi Çizelge 4.5, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de gösterilmiştir.

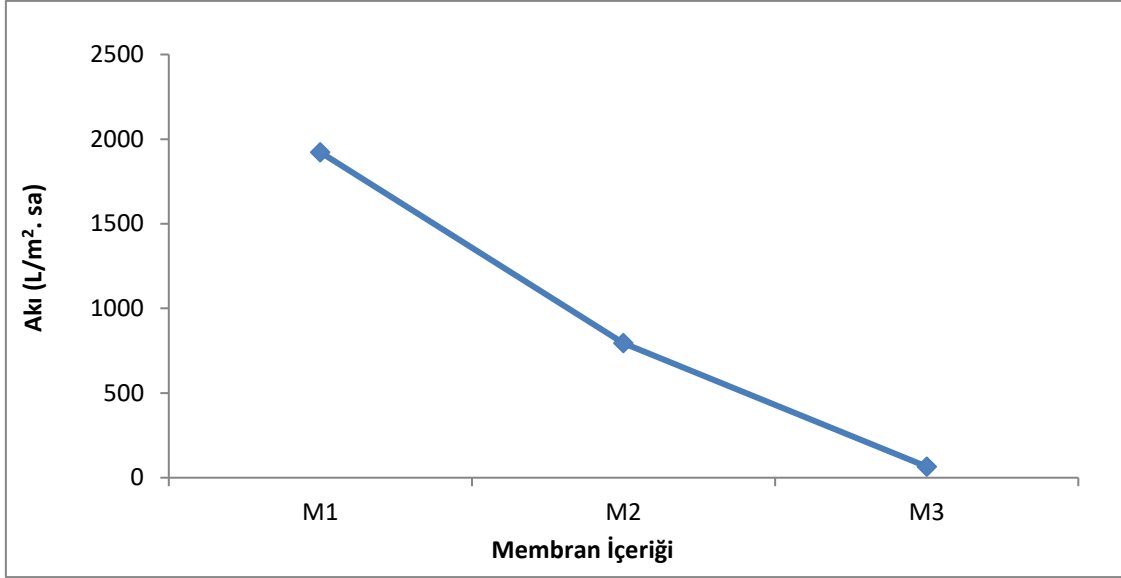
Membran kalınlığı arttıkça besleme çözeltisi daha geç sürede geçeceği için akı düşmüştür. Tutulma ise kalınlık arttıkça membran gözenek boyutu daha küçüldüğünden artmıştır.

Çizelge 4.5 Fe(III) çözeltisi filtrasyonunda membran içeriğinin tutulma ve akıya etkisi
($C_{Fe(III)}=0,3 \times 10^{-4}$ M, P=40 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

Membran İçeriği	Tutulma(%R)	Akı(L/m ² .sa)
MI	3	1922,41
MII	2,16	794,50
MIII	29,96	65,54



Şekil 4.13 Fe(III) çözeltisi filtrasyonunda membran içeriğinin tutulmaya etkisi
($C_{Fe(III)}=0,3 \times 10^{-4}$ M, P=40 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)



Şekil 4.14 Fe(III) çözeltisi filtrasyonunda membran içeriğinin akıya etkisi ($C_{Fe(III)}=0,3 \times 10^{-4}$ M, $P=40$ Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

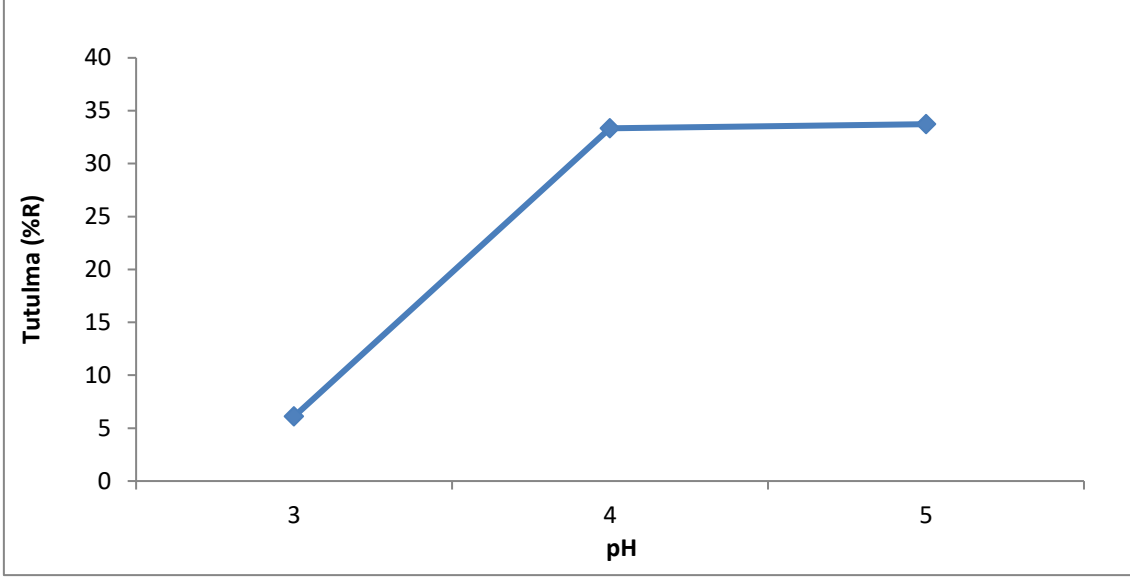
4.3 MIV Membranları İle Demir(III) İyonlarının Sulu Çözeltilerden Filtrasyonu

4.3.1 pH'ın Tutulma ve Akıya etkisi

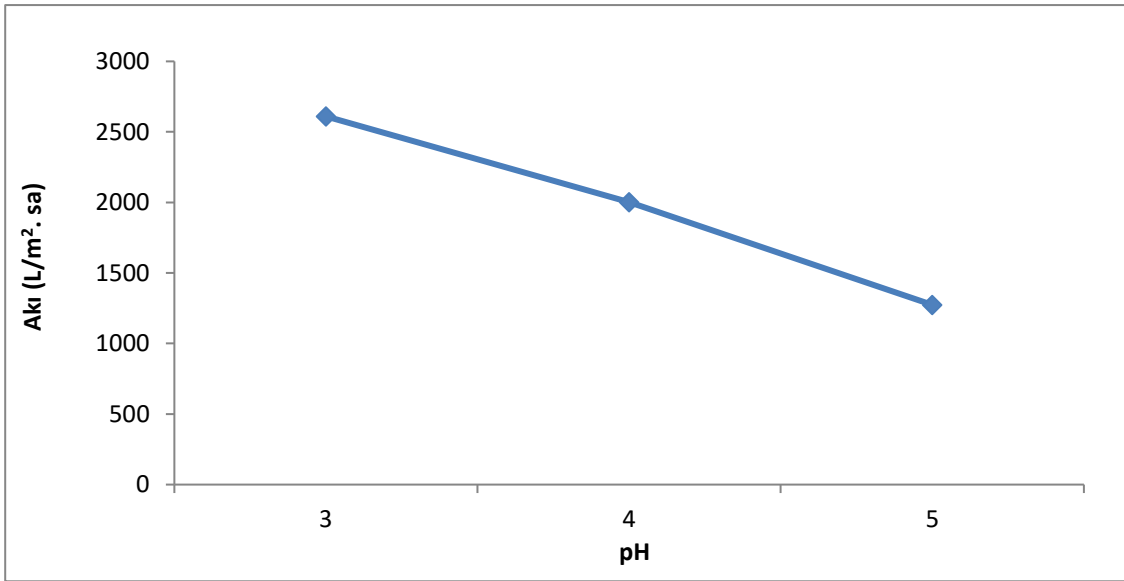
$0,3 \times 10^{-4}$ M Fe(III) çözeltisi MIV membranı kullanılarak 400 dev/dk karıştırma hızında, 50 psi'de değişik pH'larda filtre edilmiştir. pH'ın tutulma yüzdesi ve akıya etkilerinin sonuçları Çizelge 4.6, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da verilmiştir. Beklenen şekilde pH'ın artmasıyla tutulma yüzdesinde artış gözlemlenmiştir. Akı ise beklenen şekilde azalmıştır.

Çizelge 4.6 Fe(III) çözeltisi filtrasyonunda pH'ın tutulma ve akıya etkisi ($C_{Fe(III)}=0,3 \times 10^{-4}$ M, $P=50$ Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

Membran	pH	Tutulma(%R)	Akı(L/m².sa)
MIV	3	6,10	2609,83
MIV	4	33,33	2002,89
MIV	5	33,73	1274,02



Şekil 4.15 Fe(III) çözeltisi filtrasyonunda pH'ın tutulmaya etkisi ($C_{Fe(III)}=0,3 \times 10^{-4}$ M, P=50 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)



Şekil 4.16 Fe(III) çözeltisi filtrasyonunda pH'ın akıya etkisi ($C_{Fe(III)}=0,3 \times 10^{-4}$ M, P=50 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

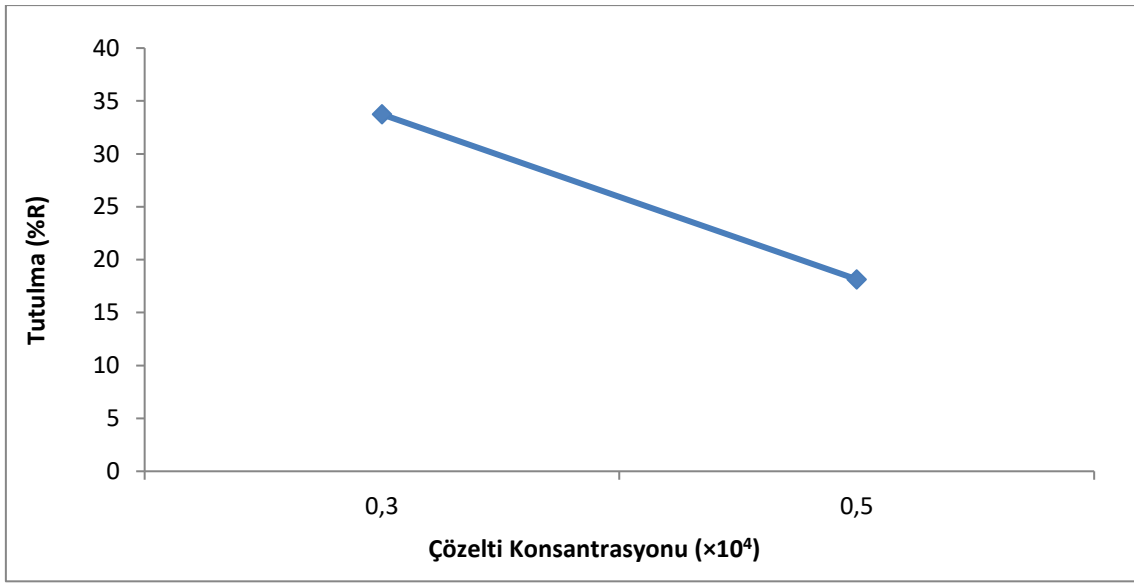
4.3.2 Çözelti Konsantrasyonunun Tutulma ve Akıya Etkisi

pH=5, P=50 Psi basınçta 400 dev/dk karıştırma hızında farklı konsantrasyonlarda MIV membranı ile yapılan Fe(III) çözeltisi filtrasyonunun tutulma yüzdesine ve akıya etkileri Çizelge 4.7, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de gösterilmiştir. Konsantrasyon arttıkça membranın tutma kapasitesi dolduğu için tutulma yüzdesi düşmüştür.

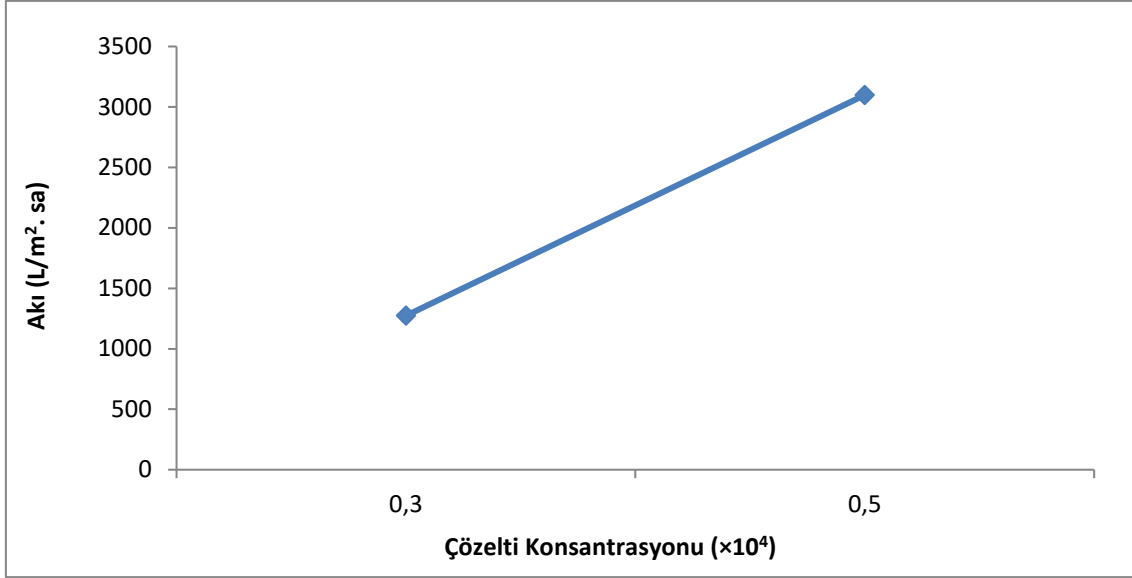
Akı değeri ise Fe(III) iyonları membran yüzeyinde oluşan kekleşmeden dolayı tutulmadan filtrata geçtiği için akı düşmüştür.

Çizelge 4.7 Fe(III) çözeltisi filtrasyonunda çözelti konsantrasyonunun tutulma ve akıya etkisi (pH=5, P=50 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

Membran	Çözelti Konsantrasyonu	Tutulma(%R)	Akı(L/m ² .sa)
MIV	$0,3 \times 10^{-4}$ M	33,73	1274,02
MIV	$0,5 \times 10^{-4}$ M	18,14	3098



Şekil 4.17 Fe(III) çözeltisi filtrasyonunda çözelti konsantrasyonunun tutulmaya etkisi (pH=5, P=50 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)



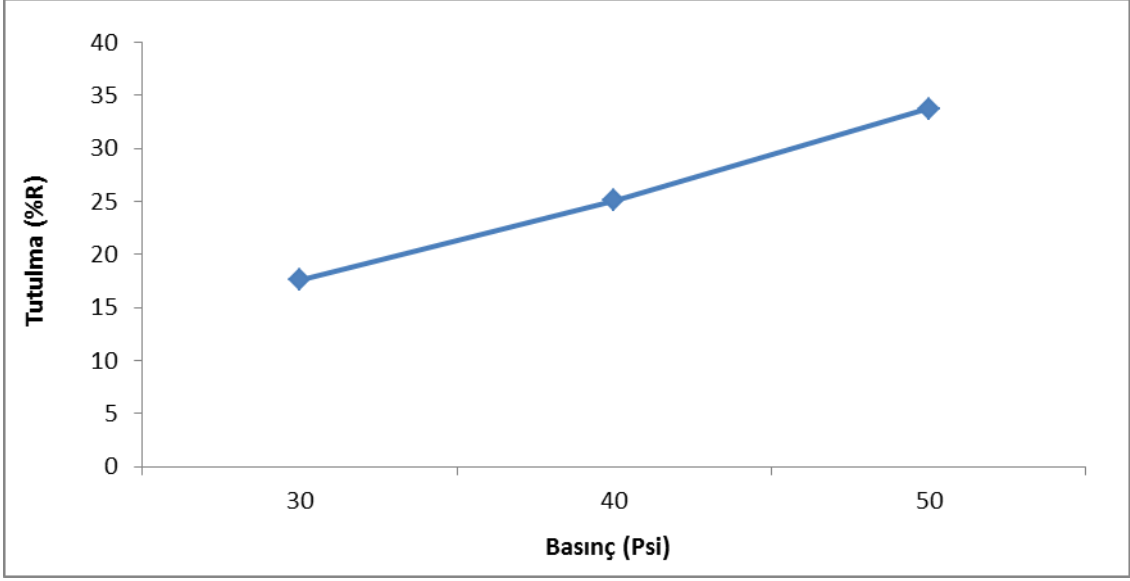
Şekil 4.18 Fe(III) çözeltisi filtrasyonunda çözelti konsantrasyonunun akıya etkisi (pH=5, P=50 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

4.3.3 Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi

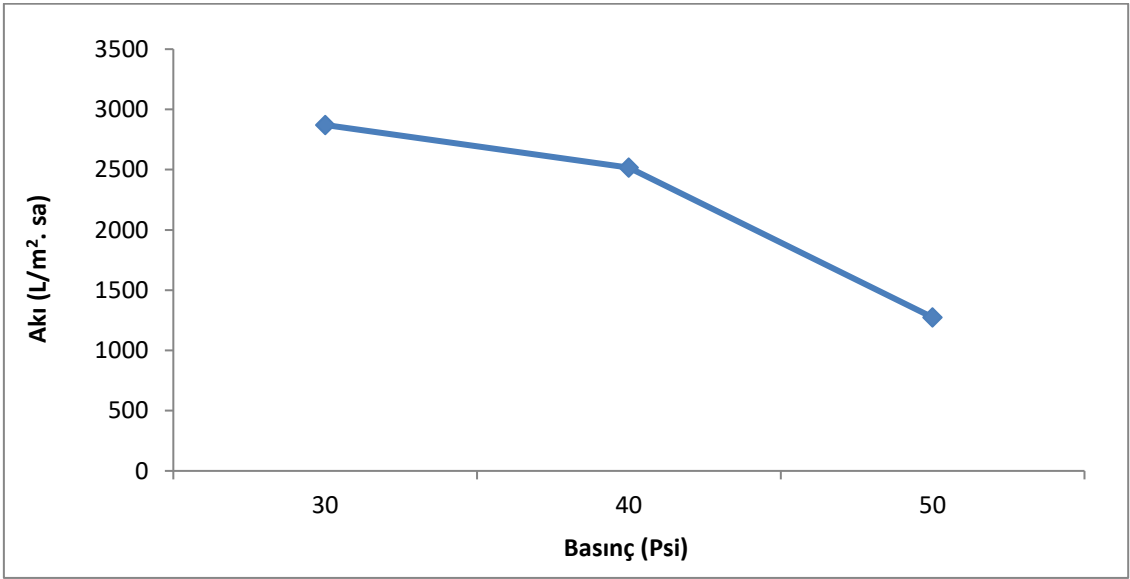
$0,3 \times 10^{-4}$ M Fe(III) çözeltisi MIV membranı kullanılarak pH=5, 400 dev/dk karıştırma hızında filtrasyon işlemleri yapılmıştır. Basıncın tutulma yüzdesi ve akıya etkilerinin sonuçları Çizelge 4.8, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de verilmiştir. Basınç artışı ile ek kekleşme oluşmuş ve en yüksek tutulma yüzdesi gözlenmiştir. Membranda yüksek basınçta ek kekleşme olduğundan akı değerinde de düşme gözlenmiştir.

Çizelge 4.8 Fe(III) çözeltisi filtrasyonunda basıncın tutulma ve akıya etkisi ($C_{Fe(III)}=0,3 \times 10^{-4}$ M, pH=5, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

Membran	Basınç(Psi)	Tutulma(%R)	Akı($L/m^2 \cdot sa$)
MIV	30	17,60	2870,81
MIV	40	25,06	2518,25
MIV	50	33,73	1274,02



Şekil 4.19 Fe(III) çözeltisi filtrasyonunda basıncın tutulmaya etkisi ($C_{Fe(III)}=0,3 \times 10^{-4}$ M, pH=5, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)



Şekil 4.20 Fe(III) çözeltisi filtrasyonunda basıncın akıya etkisi ($C_{Fe(III)}=0,3 \times 10^{-4}$ M, pH=5, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

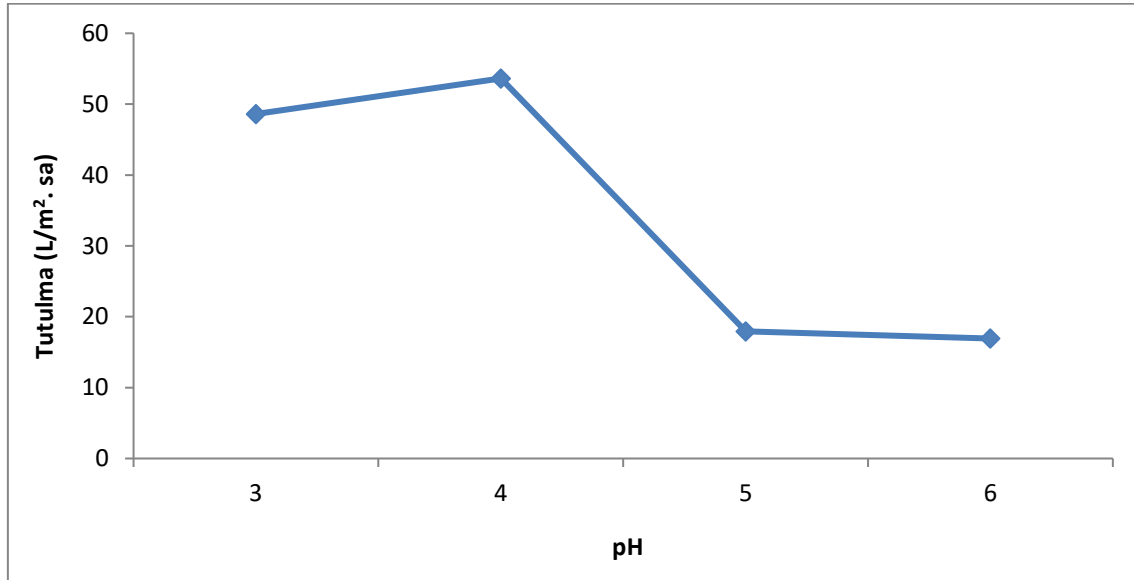
4.4 Fe(III)+AA Çözeltilerinin Filtrasyonu

4.4.1 pH'ın Tutulma ve Akıya Etkisi

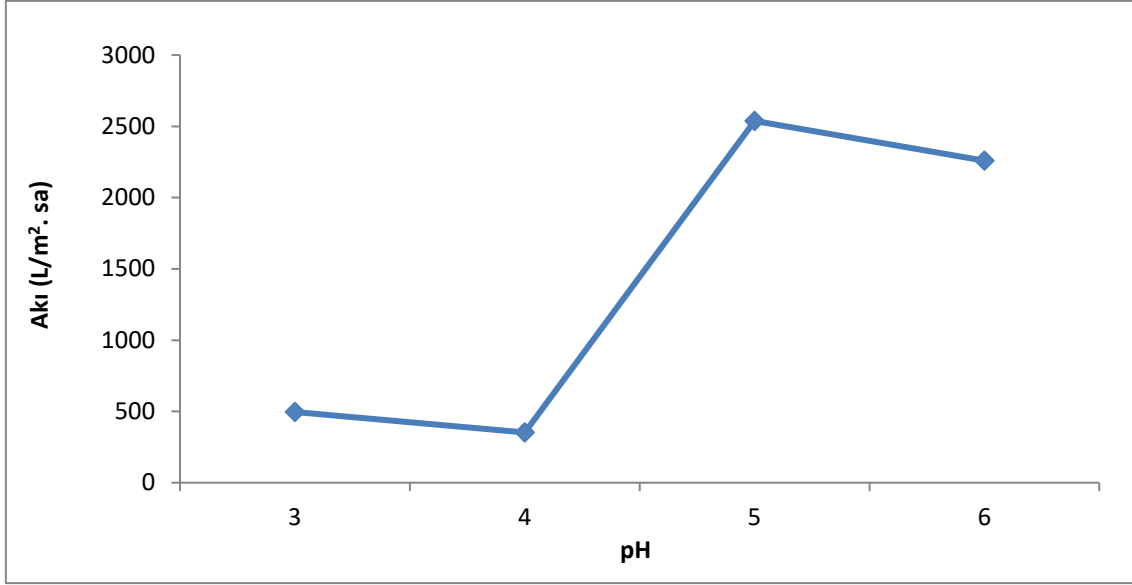
Burada $0,3 \times 10^{-4}$ M Fe(III) ile $0,3 \times 10^{-4}$ M bg/L AA içerikli çözeltilerin 400 dev/dk karıştırma hızında, P=50 Psi basınçta pH 3, 4, 5 ve 6 değerlerinde MVI membranı ile yapılan filtrasyonun tutulma ve akıya etkileri Çizelge 4.9, Şekil 4.21 ve Şekil 4.22'de gösterilmiştir. pH 4'e ulaştığında en yüksek tutulma ve membran gözeneklerinin tıkanması dolayısıyla en düşük akı gözlenmiştir. pH 5 ve 6'da Fe(III) iyonlarının hidrolizinden dolayı tutulma yüzdesi düşmüştür.

Çizelge 4.9 Fe(III)+AA çözeltilerinin filtrasyonunda pH'ın tutulma ve akıya etkisi
($C_{Fe(III)+AA}=0,3 \times 10^{-4}$ M, P=50 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

Membran	pH	Tutulma(%R)	Akı(L/m ² .sa)
MVI	3	48,60	494,96
MVI	4	53,63	352,40
MVI	5	17,96	2538
MVI	6	16,93	2258,30



Şekil 4.21 Fe(III)+AA çözeltilerinin filtrasyonunda pH'ın tutulmaya etkisi ($C_{Fe(III)+AA}=0,3 \times 10^{-4}$ M, P=50 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)



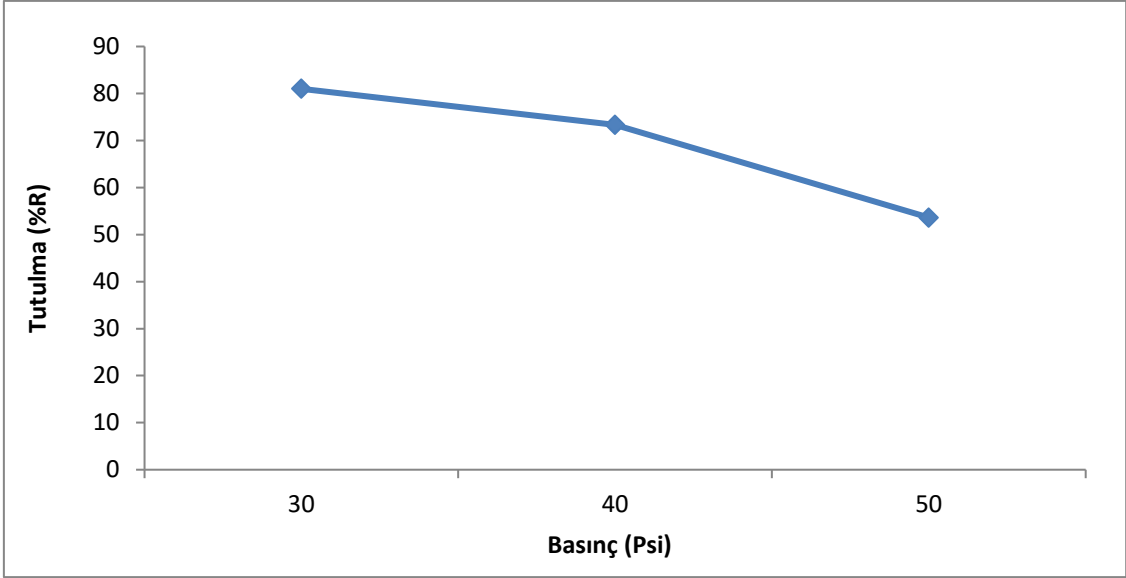
Şekil 4.22 Fe(III)+AA çözeltisinin filtrasyonunda pH'm akıya etkisi ($C_{Fe(III)+AA}=0,3 \times 10^{-4}$ M, P=50 psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

4.4.2 Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi

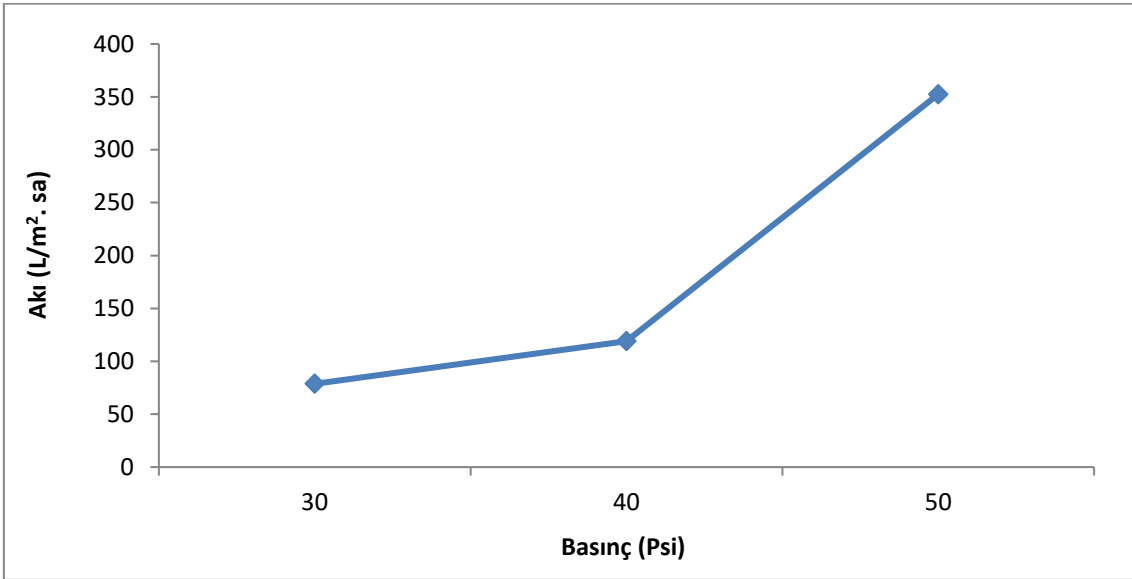
$0,3 \times 10^{-4}$ M Fe(III) ile $0,3 \times 10^{-4}$ M bg/L AA içerikli çözeltilerin 400 dev/dk karıştırma hızında pH=4'de MVI membranı ile filtre edilmiştir. Basıncın tutulma yüzdesine ve akıya etkilerinin sonuçları Çizelge 4.10, Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'de verilmiştir. Beklediğimiz şekilde basınç artışıyla akı değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Membranın düşük basınçta daha fazla tutma yüzdesi artmıştır.

Çizelge 4.10 Fe(III)+AA çözeltisi filtrasyonunda basıncın tutulma ve akıya etkisi ($C_{Fe(III)+AA}=0,3 \times 10^{-4}$ M, pH=4, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

Membran	Basınç(Psi)	Tutulma(%R)	Akı(L/m ² .sa)
MVI	30	81	78,70
MVI	40	73,33	119,10
MVI	50	53,63	352,40



Şekil 4.23 Fe(III)+AA çözeltisi filtrasyonunda basıncın tutulmaya etkisi ($C_{Fe(III)}=0,3 \times 10^{-4}$ M, pH=4, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)



Şekil 4.24 Fe(III)+AA çözeltisi filtrasyonunda basıncın akıya etkisi ($C_{Fe(III)}=0,3 \times 10^{-4}$ M, pH=4, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

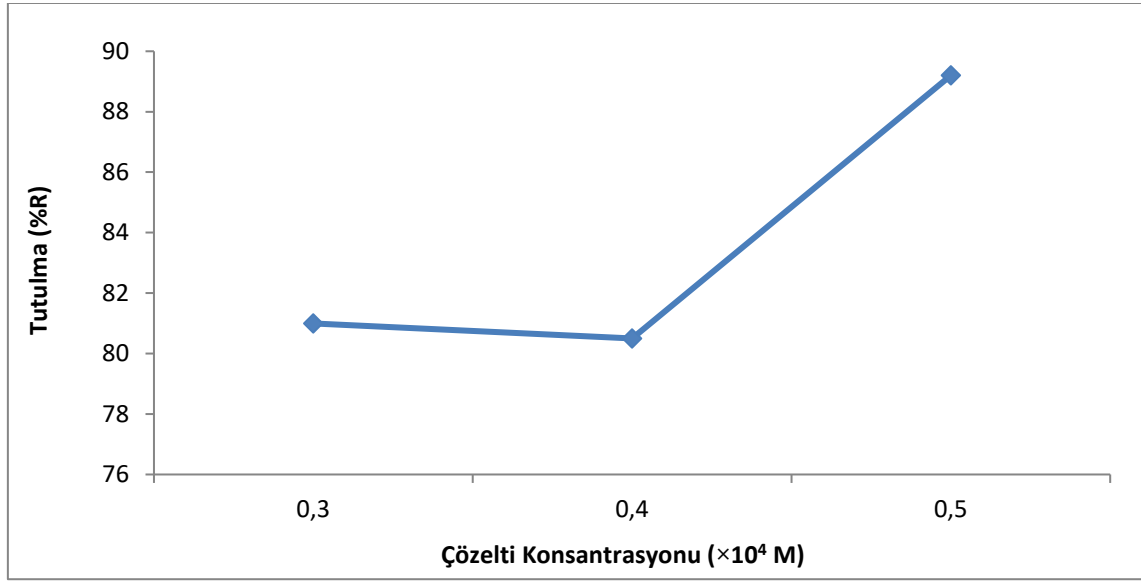
4.4.3 Çözelti Konsantrasyonunun Tutulma ve Akıya Etkisi

P=30 psi, pH=4, 400 dev/dk karıştırma hızında MVI membranı ile farklı derişimlerde yapılan Fe(III) ve AA içerikli çözeltilerinin filtrasyonunda tutulma yüzdesi ve akıya etkileri Çizelge 4.11, Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da verilmiştir. Konsantrasyon arttıkça Fe(III)+AA kompleks sayısında arttığından membran yüzeyinde daha fazla birikme

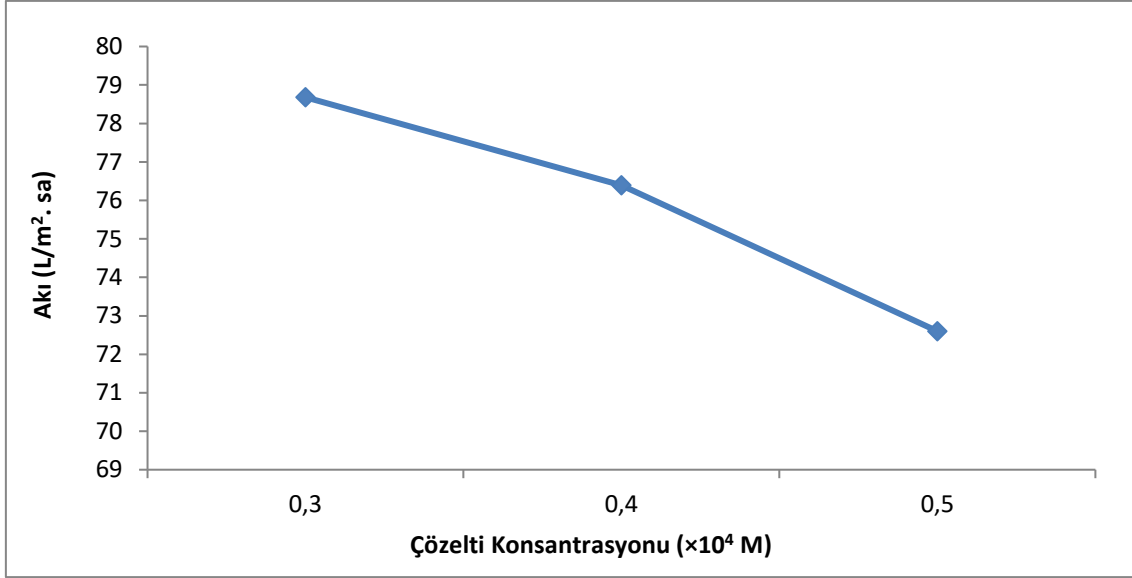
oluşmuştur. Dolayısıyla bu durum akıyı düşürdüğü gibi membran tarafından daha fazla Fe(III)+AA kompleksi tutulduğundan tutulma yüzdesi artmıştır.

Çizelge 4.11 Fe(III)+AA çözeltisinin filtrasyonunda çözelti konsantrasyonunun tutulma ve akıya etkisi (P=30 Psi, pH=4, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

Membran	Çözelti Konsantrasyonu	Tutulma(%R)	Akı(L/m ² .sa)
MVI	0,3×10 ⁻⁴ M Fe(III) ile 0,3×10 ⁻⁴ bg/L AA	81	78,68
MVI	0,4×10 ⁻⁴ M Fe(III) ile 0,4×10 ⁻⁴ bg/L AA	80,50	76,39
MVI	0,5×10 ⁻⁴ M Fe(III) ile 0,5×10 ⁻⁴ bg/L AA	89,20	72,60



Şekil 4.25 Fe(III)+AA çözeltisinin filtrasyonunda çözelti konsantrasyonunun tutulmaya etkisi (P=30 Psi, pH=4, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)



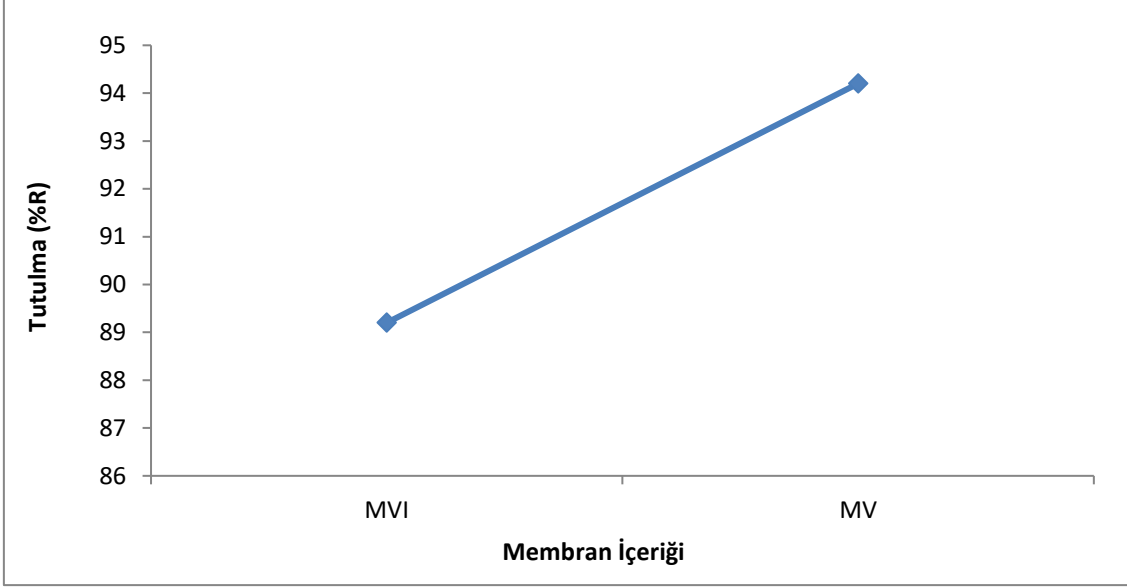
Şekil 4.26 Fe(III)+AA çözeltisinin filtrasyonunda çözelti konsantrasyonunun akıya etkisi (P=30 Psi, pH=4, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

4.4.4 Membran İçeriğinin Tutulma ve Akıya Etkisi

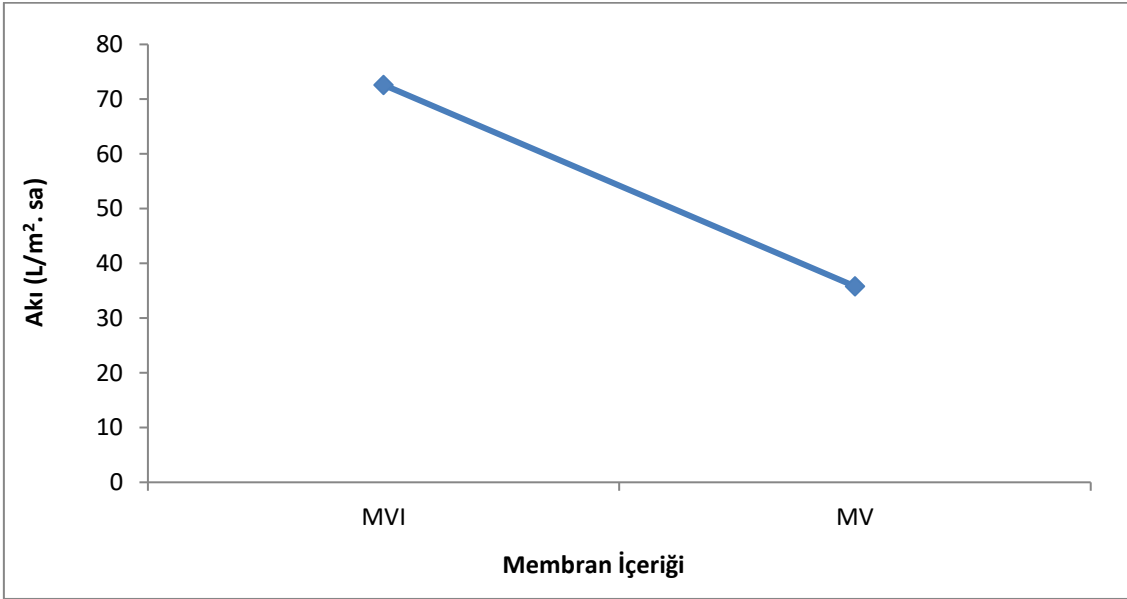
Bu çalışmada $0,5 \times 10^{-4}$ M Fe(III) ile $0,5 \times 10^{-4}$ M bg/L AA içerikli çözeltilerin P=30 Psi, pH=4 ve 400 dev/dk karıştırma hızında MVI ve MV membranları ile filtrasyonu incelenmiştir. Membran içeriğinin tutulma yüzdesi ve akıya etkisi Çizelge 4.12, Şekil 4.27 ve Şekil 4.28’de gösterilmiştir. Membran yapımında kullanılan selülozun gözenek çapı küçüldükçe oluşan membran daha fazla Fe(III)+AA kompleksi tutmakta ve tutulma yüzdesi artmakta, dolayısıyla daha geç sürede süzüleceği için akı değeride azalmaktadır.

Çizelge 4.12 Fe(III)+AA çözeltisi filtrasyonunda membran içeriğinin tutulma ve akıya etkisi ($C_{Fe(III)+AA}=0,5 \times 10^{-4}$ M, P=30 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

Membran İçeriği	Tutulma(%R)	Akı($L/m^2 \cdot sa$)
MVI	89,20	72,60
MV	94,20	35,80



Şekil 4.27 Fe(III)+AA çözeltisi filtrasyonunda membran içeriğinin tutulmaya etkisi
($C_{\text{Fe(III)+AA}}=0,5 \times 10^{-4}$ M, P=30 psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)



Şekil 4.28 Fe(III)+AA çözeltisi filtrasyonunda membran içeriğinin akıya etkisi
($C_{\text{Fe(III)+AA}}=0,5 \times 10^{-4}$ M, P=30 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

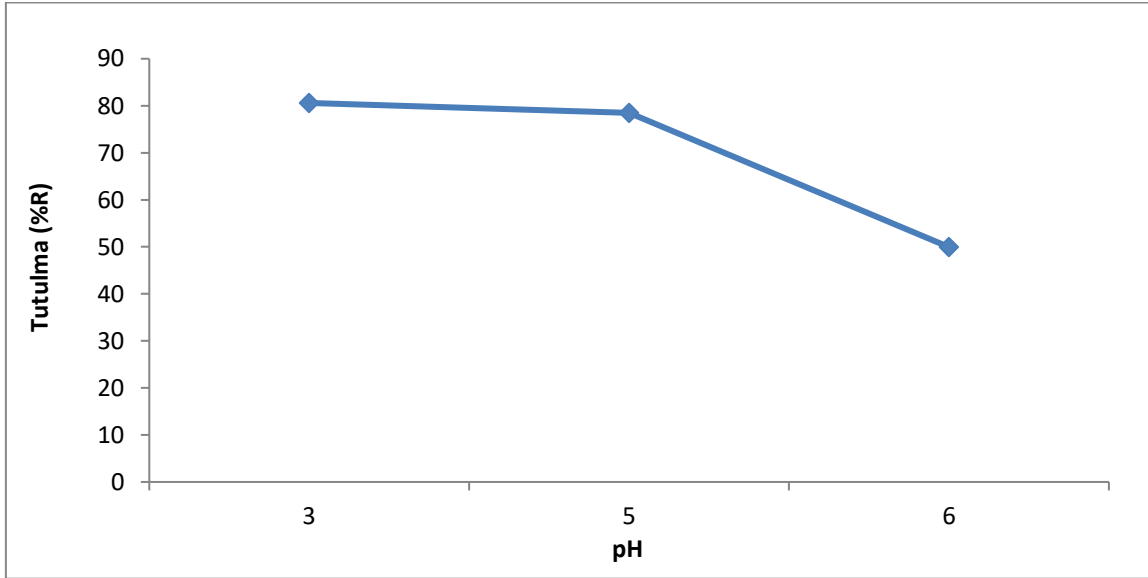
4.5 Kobalt(II) İyonlarının Sulu Çözeltilerinden Filtrasyonu

4.5.1 pH'ın Tutulma ve Akıya Etkisi

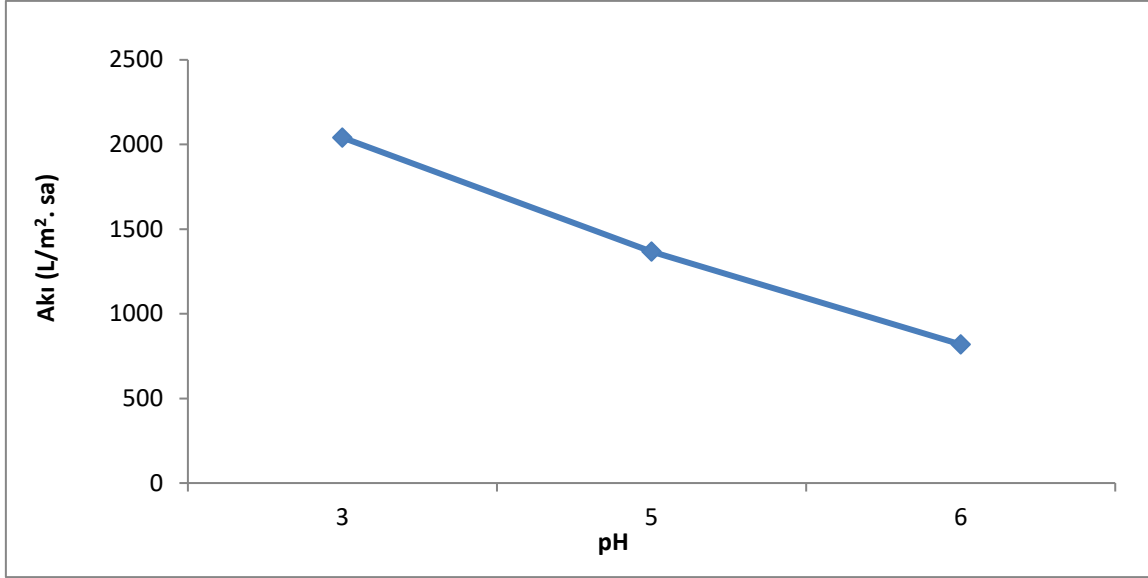
Bu çalışmada $0,5 \times 10^{-4}$ M Co(II) çözeltisinin P=50 psi ve 400 dev/dk karıştırma hızında değişik pH'larda MII membranı ile filtrasyonuna bakılmıştır. pH'ın tutulma yüzdesi ve akıya etkilerinin sonuçları Çizelge 4.13, Şekil 4.29 ve Şekil 4.30'da verilmiştir. pH 5'e kadar tutulma yüzdesi neredeyse sabit gözlenmiştir. pH 6'daki düşüş Co(II) iyonlarının hidrolizinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çizelge 4.13 Co(II) çözeltisinin MII membranı ile yapılan filtrasyonunda pH'ın tutulma ve akıya etkisi ($C_{Co(II)}=0,5 \times 10^{-4}$ M, P=50 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

Membran	pH	Tutulma(%R)	Akı(L/m ² .sa)
MII	3	80,60	2040,86
MII	5	78,48	1367,05
MII	6	49,96	818,67



Şekil 4.29 Co(II) çözeltisinin filtrasyonunda pH'ın tutulmaya etkisi ($C_{Co(II)}=0,5 \times 10^{-4}$ M, P=50 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)



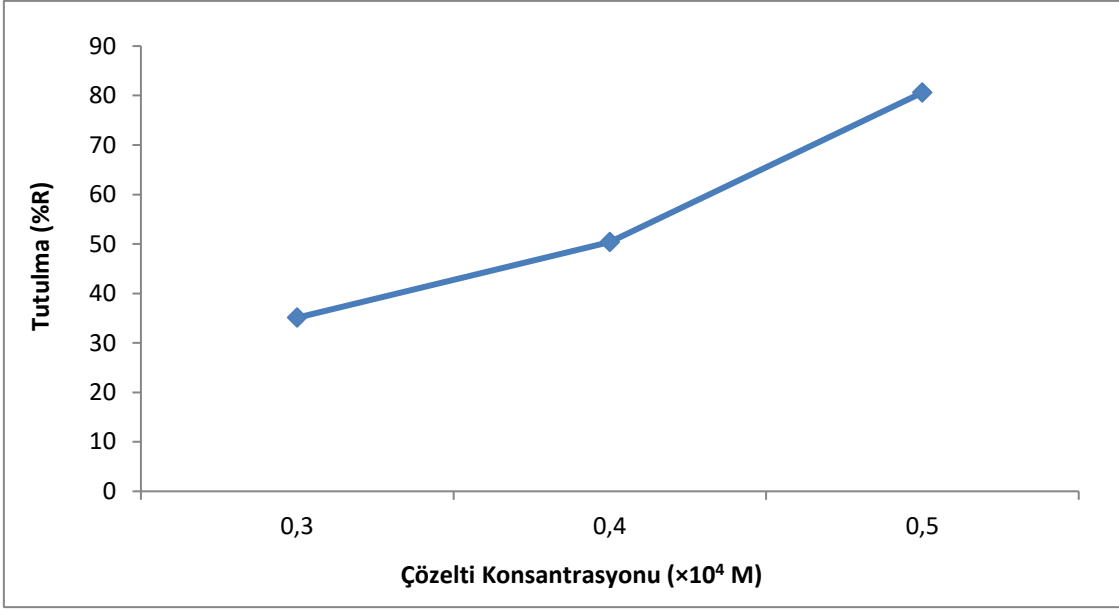
Şekil 4.30 Co(II) çözeltisinin filtrasyonunda pH'ın akıya etkisi ($C_{Co(II)}=0,5 \times 10^{-4}$ M, P=50 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

4.5.2 Çözelti Konsantrasyonunun Tutulma ve Akıya Etkisi

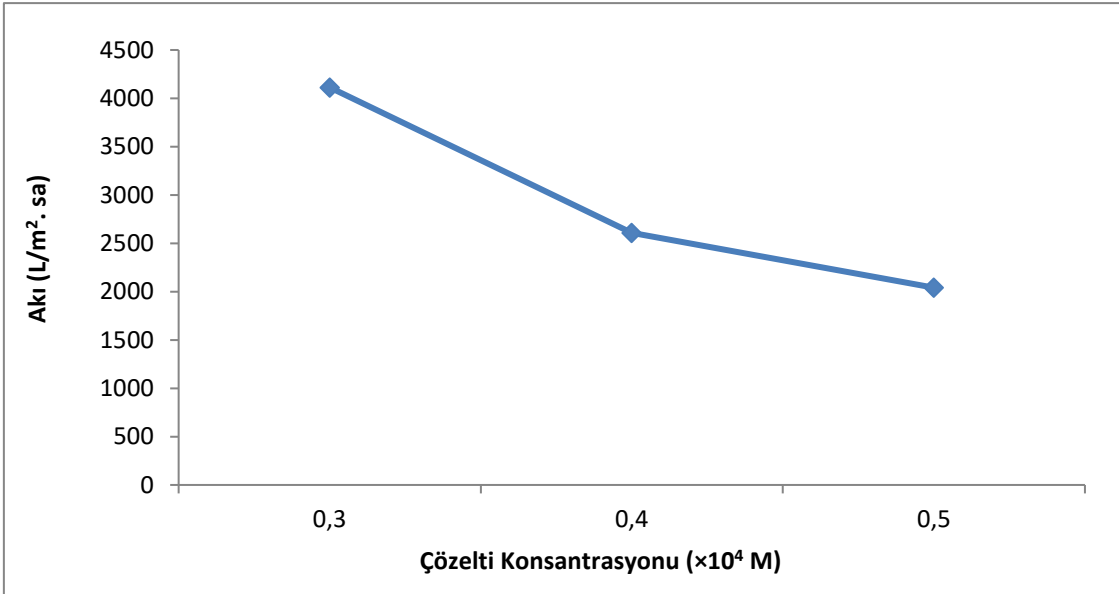
P=50 psi, pH=3, 400 dev/dk karıştırma hızında, MII membranı ile farklı derişimlerde yapılan Co(II) çözeltisi filtrasyonunun tutulma yüzdesi ve akıya etkileri Çizelge 4.14, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32'de gösterilmiştir. Konsantrasyon artışından dolayı ortamdaki daha fazla Co(II) iyonları membranın gözeneklerini nispeten tıkararak küçülmüştür ve bu durumda tutulma yüzdesinde artışa ve akıda azalışa yol açmıştır.

Çizelge 4.14 Co(II) çözeltisi filtrasyonunda çözelti konsantrasyonunun tutulma ve akıya etkisi (P=50 Psi, pH=3, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

Membran	Çözelti Konsantrasyonu	Tutulma(%R)	Akı(L/m ² .sa)
MII	$0,3 \times 10^{-4}$ M	35,10	4112,91
MII	$0,4 \times 10^{-4}$ M	50,38	2609,83
MII	$0,5 \times 10^{-4}$ M	80,60	2040,86



Şekil 4.31 Co(II) çözeltisi filtrasyonunda çözelti konsantrasyonunun tutulmaya etkisi (pH=3, P=50 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)



Şekil 4.32 Co(II) çözeltisi filtrasyonunda çözelti konsantrasyonunun akıya etkisi (pH=3, P=50 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

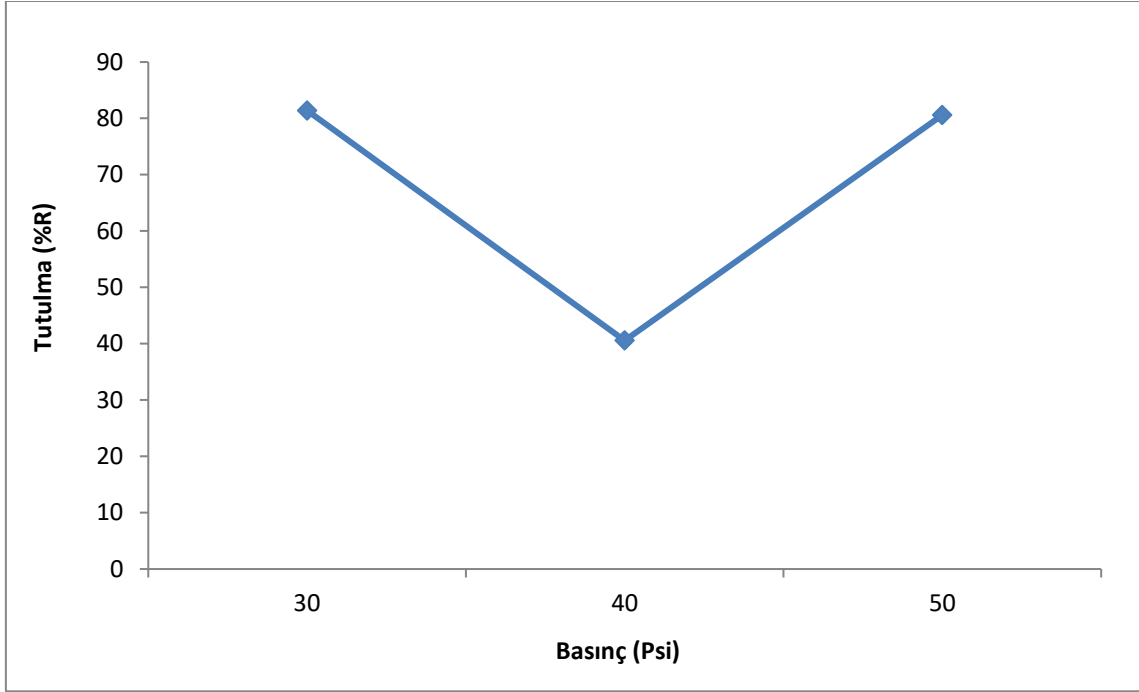
4.5.3 Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi

$0,5 \times 10^{-4}$ M Co(II) çözeltisi pH=3, 400 dev/dk karıştırma hızında, MII membranları kullanılarak filtre edilmiştir. Basıncın tutulma yüzdesi ve akıya etkileri Çizelge 4.15, Şekil 4.33 ve Şekil 4.34'de gösterilmiştir. 30, 40 ve 50 psi basınçlarda yapılan

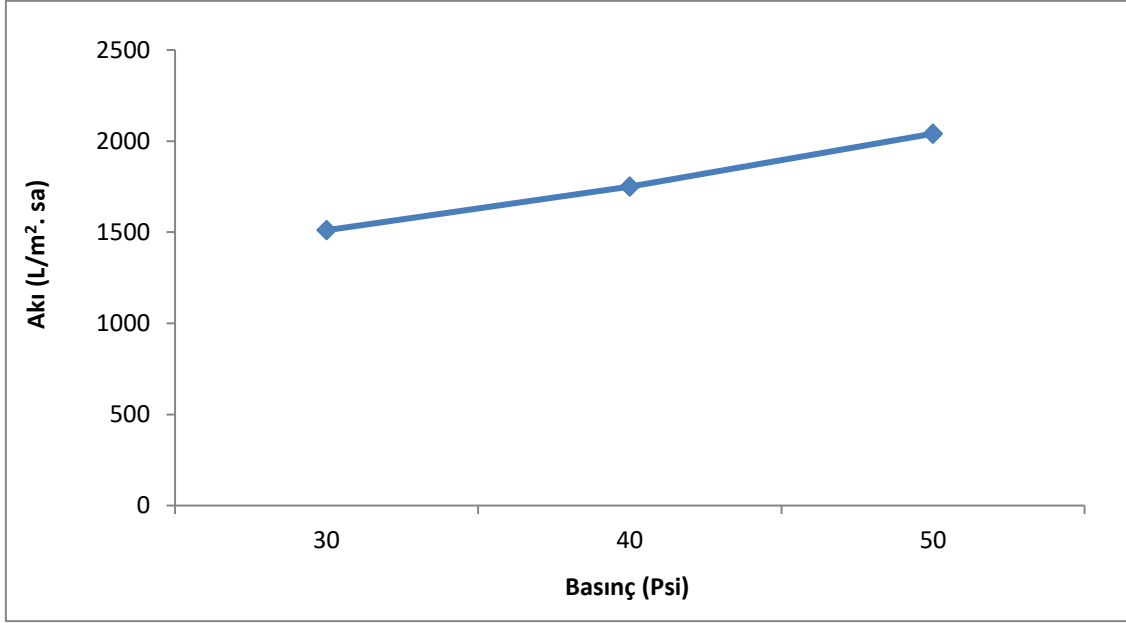
çalışmalarda en yüksek tutulma yüzdesi 30 psi'de gözlenmiştir. Akı ise beklendiği gibi basınç artışı ile artmıştır.

Çizelge 4.15 Co(II) çözeltisi filtrasyonunda basıncın tutulma yüzdesi ve akıya etkisi
($C_{Co(II)}=0,5 \times 10^{-4}$ M, pH=3, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

Membran	Basınç(Psi)	Tutulma(%R)	Akı(L/m ² .sa)
MII	30	81,40	1510,95
MII	40	40,56	1750,49
MII	50	80,60	2040,86



Şekil 4.33 Co(II) çözeltisi filtrasyonunda basıncın tutulmaya etkisi ($C_{Co(II)}=0,5 \times 10^{-4}$ M, pH=3, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)



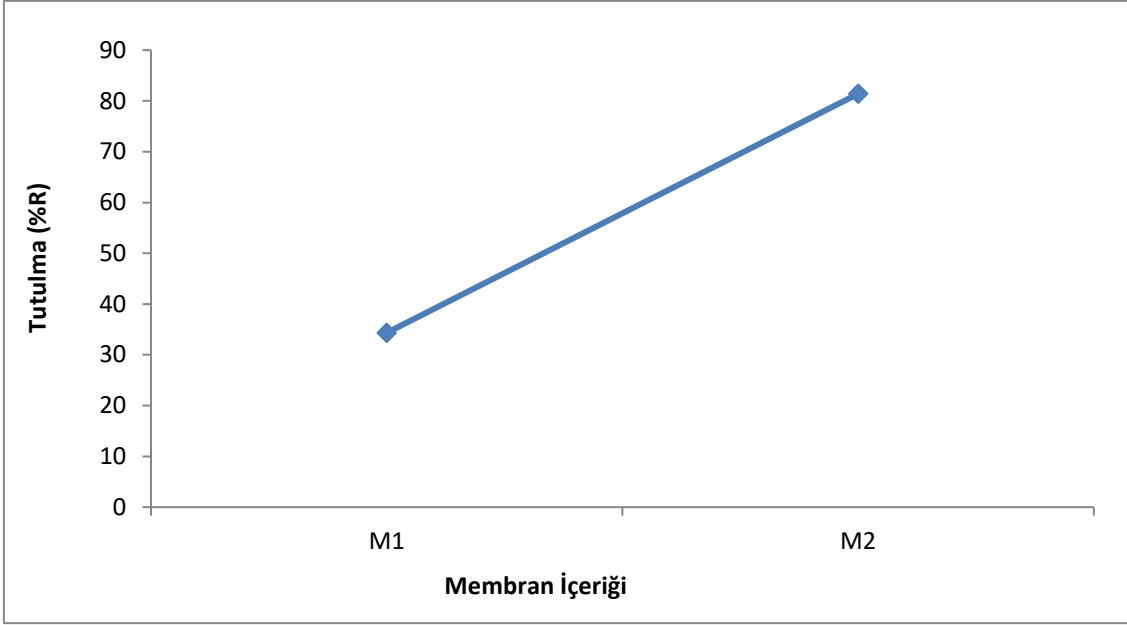
Şekil 4.34 Co(II) çözeltisi filtrasyonunda basıncın akıya etkisi ($C_{Co(II)}=0,5 \times 10^{-4}$ M, pH=3, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

4.5.4 Membran İçeriğinin Tutulma ve Akıya Etkisi

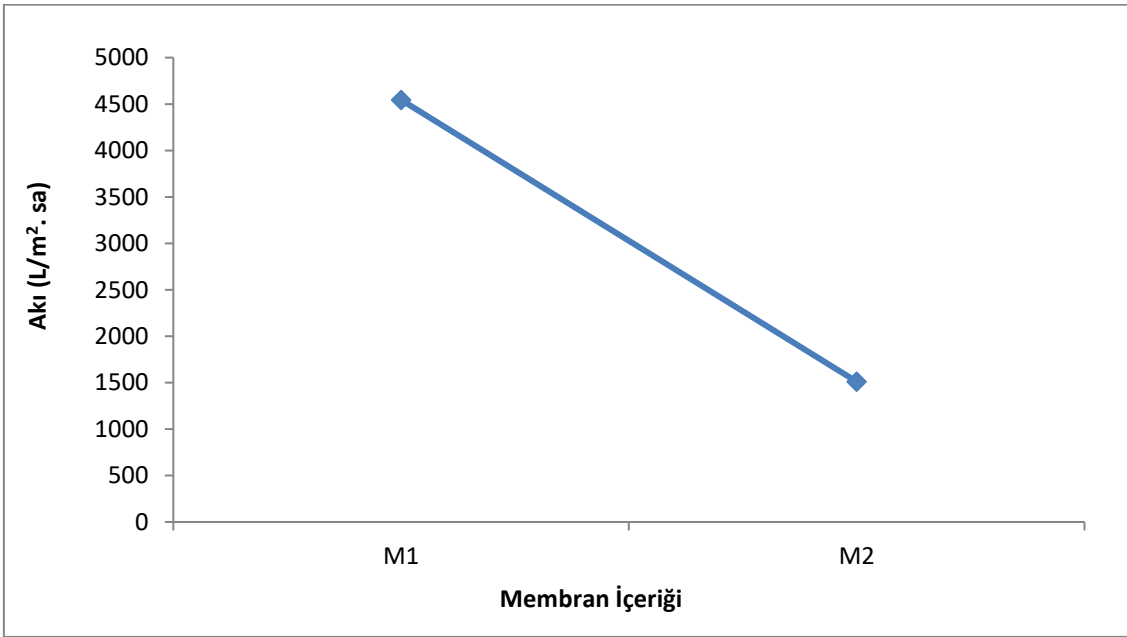
$0,5 \times 10^{-4}$ M, Co(II) çözeltisi P=30 psi, pH=3 ve 400 dev/dk karıştırma hızında, MI ve MII membranları kullanılarak filtre edilmiştir. Membran içeriğinin tutulma yüzdesi ve akıya etkilerinin sonuçları Çizelge 4.16, Şekil 4.35 ve Şekil 4.36'da verilmiştir. Membran kalınlığı arttıkça membranın gözenek boyutunda küçülme olduğu için tutulma artarken akı değeri azalmıştır.

Çizelge 4.16 Co(II) çözeltisi filtrasyonunda membran içeriğinin tutulma ve akıya etkisi ($C_{Co(II)}=0,5 \times 10^{-4}$ M, P=30 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

Membran İçeriği	Tutulma(%R)	Akı(L/m ² .sa)
MI	34,34	4544,82
MII	81,40	1510,95



Şekil 4.35 Co(II) çözeltisi filtrasyonunda membran içeriğinin tutulmaya etkisi ($C_{Co(II)}=0,5 \times 10^{-4}$ M, P=30 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)



Şekil 4.36 Co(II) çözeltisi filtrasyonunda membran içeriğinin akıya etkisi ($C_{Co(II)}=0,5 \times 10^{-4}$ M, P=30 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

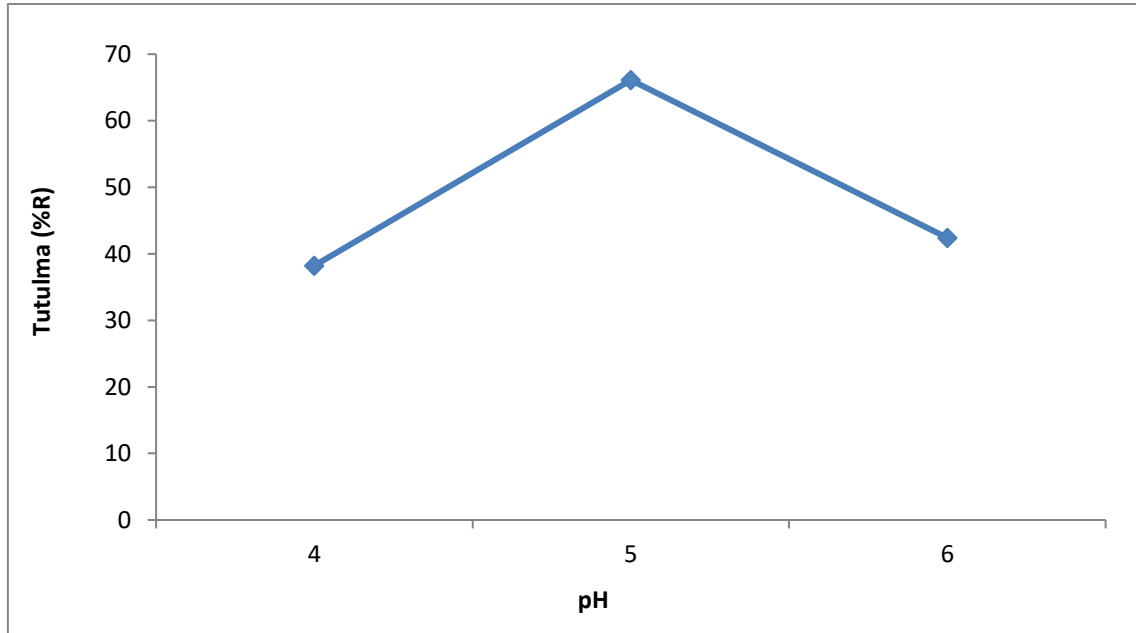
4.6 Co(II)+AA Çözeltilerinin Filtrasyonu

4.6.1 pH'in Tutulma ve Akıya Etkisi

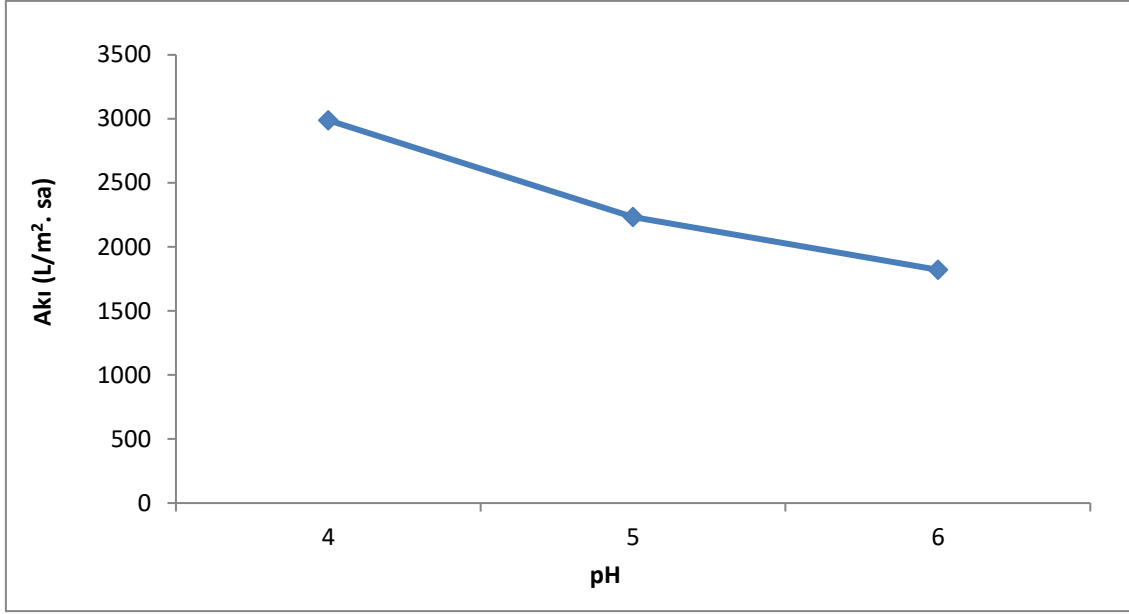
Bu çalışmada $0,5 \times 10^{-4}$ M Co(II) ile $0,5 \times 10^{-4}$ M bg/L AA içerikli çözeltilerinin P=50 psi, 400 dev/dk karıştırma hızında MII membranı kullanılarak farklı pH'larda filtrasyonu yapılmıştır. pH'in tutulma ve akıya etkileri Çizelge 4.17, Şekil 4.37 ve Şekil 4.38'de gösterilmiştir. pH arttıkça ortamdaki H^+ iyonları sayısı azalmakta Co(II) iyonlarının karboksil grupları ile kompleks oluşturma eğilimi artmıştır. pH 6'daki tutulma yüzdesinin düşüşü hidrolizden olduğu düşünülmektedir.

Çizelge 4.17 Co(II)+AA çözeltisi filtrasyonunda pH'in tutulma ve akıya etkisi
($C_{Co(II)+AA}=0,5 \times 10^{-4}$ M, P=50 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

Membran	pH	Tutulma(%R)	Akı(L/m ² .sa)
MII	4	38,22	2989,40
MII	5	66,10	2233,30
MII	6	42,42	1821,40



Şekil 4.37 Co(II)+AA çözeltisi filtrasyonunda pH'in tutulmaya etkisi ($C_{Co(II)+AA}=0,5 \times 10^{-4}$ M, P=50 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)



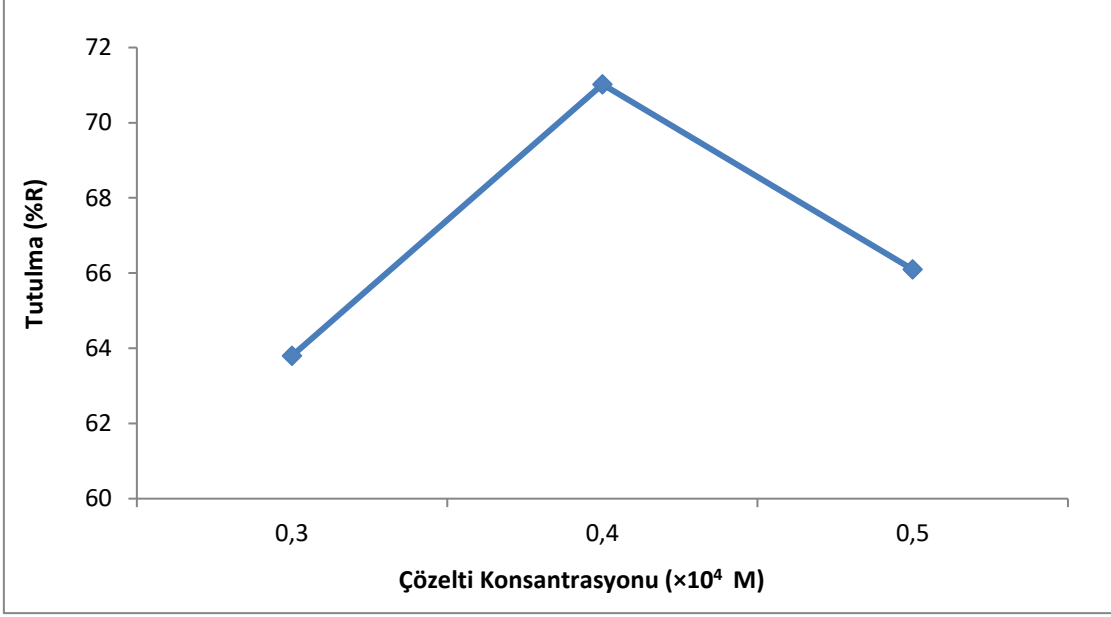
Şekil 4.38 Co(II)+AA çözeltisi filtrasyonunda pH'nın akıya etkisi ($C_{Co(II)+AA}=0,5 \times 10^{-4}$ M, P=50 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

4.6.2 Çözelti Konsantrasyonunun Tutulma ve Akıya Etkisi

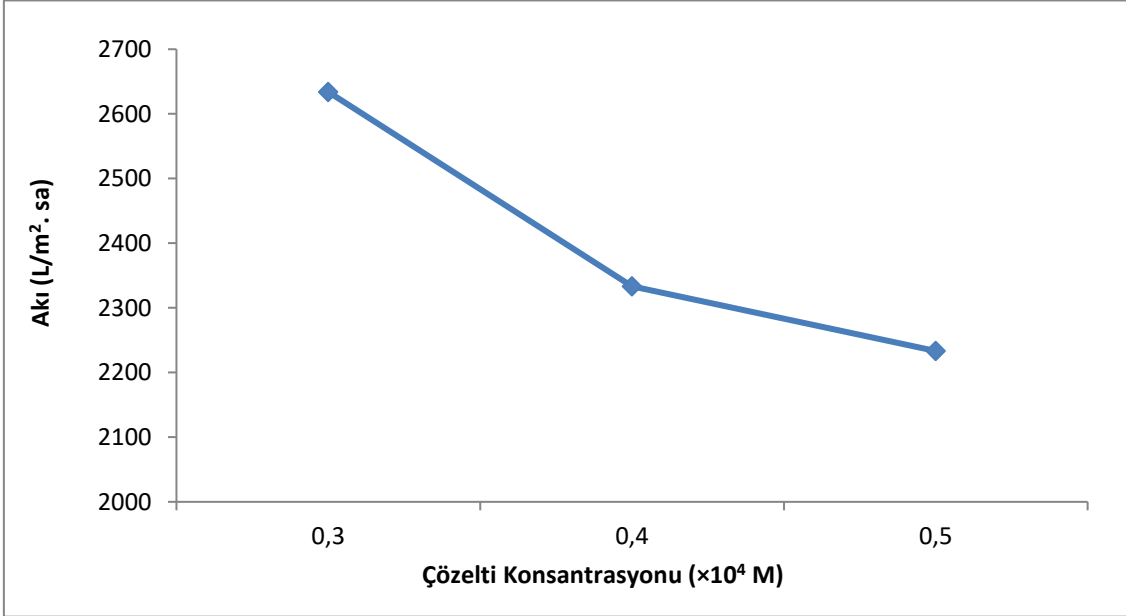
pH=5, P=50 psi, 400 dev/dk karıştırma hızında MII membranları kullanılarak değişik konsantrasyonlarda yapılan Co(II) ve AA içerikli çözeltilerinin filtrasyonunda tutulma ve akıya etkilerinin sonuçları Çizelge 4.18, Şekil 4.39 ve Şekil 4.40'da verilmiştir. Başlangıç konsantrasyon artışı ile membranda tutulma artmıştır. Metal başlangıç konsantrasyonu arttıkça membran üzerinde kek oluşumu artmıştır. Bu durumda akıyı düşürmüştür.

Çizelge 4.18 Co(II)+AA çözeltisi filtrasyonunda çözelti konsantrasyonunun tutulma ve akıya etkisi (pH=5, P=50 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

Membran	Çözelti Konsantrasyonu	Tutulma(%R)	Akı(L/m².sa)
MII	$0,3 \times 10^{-4}$ M Co(II) ile $0,3 \times 10^{-4}$ bg/L AA	63,80	2634
MII	$0,4 \times 10^{-4}$ M Co(II) ile $0,4 \times 10^{-4}$ bg/L AA	71,02	2333,50
MII	$0,5 \times 10^{-4}$ M Co(II) ile $0,5 \times 10^{-4}$ bg/L AA	66,10	2233,30



Şekil 4.39 Co(II)+AA çözültisi filtrasyonunda çözülti konsantrasyonunun tutulmaya etkisi (pH=5, P=50 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)



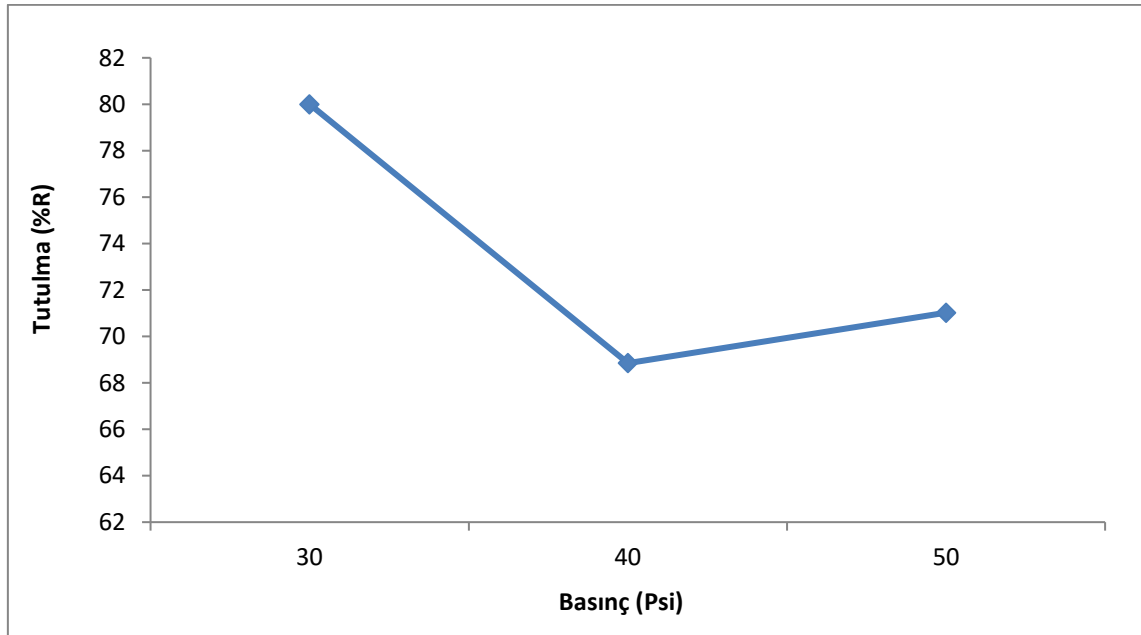
Şekil 4.40 Co(II)+AA çözültisi filtrasyonunda çözülti konsantrasyonunun akıya etkisi (pH=5, P=50 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

4.6.3 Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi

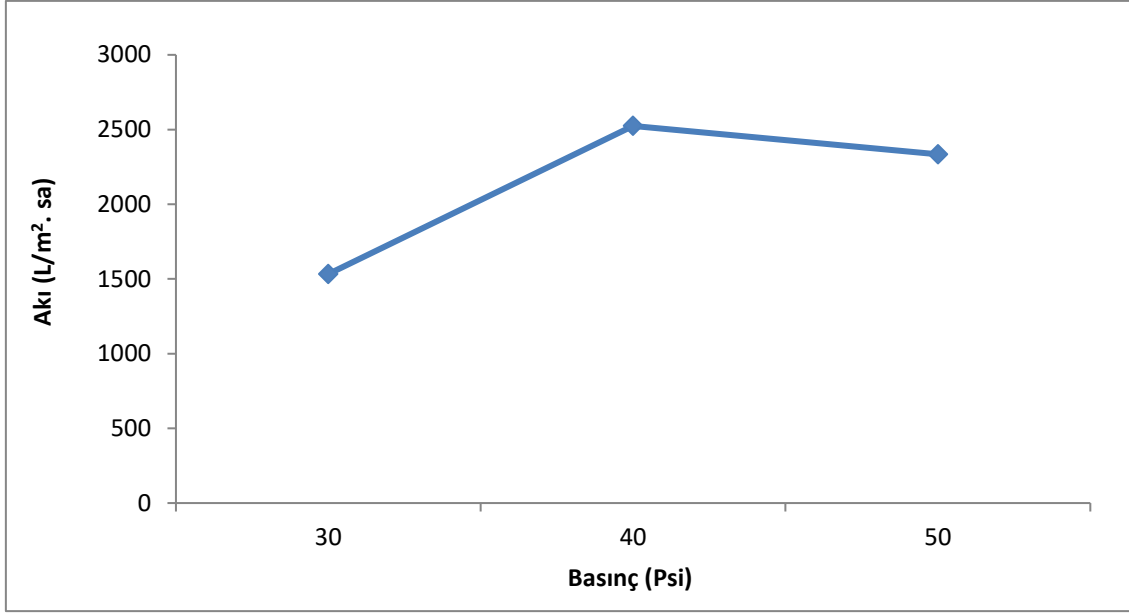
$0,4 \times 10^{-4}$ M Co(II) ile $0,4 \times 10^{-4}$ M bg/L AA içerikli çözeltinin pH=5, 400 dev/dk karıştırma hızında MII membranı kullanılarak filtrasyonu işlemi yapılmıştır. Basıncın tutulma ve akıya etkilerinin sonuçları Çizelge 4.19, Şekil 4.41 ve Şekil 4.42’de verilmiştir. En yüksek tutulma yüzdesi 30 psi’de gözlenmiştir.

Çizelge 4.19 Co(II)+AA çözeltisi filtrasyonunda basıncın tutulma ve akıya etkisi
($C_{Co(II)+AA}=0,4 \times 10^{-4}$ M, pH=5, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

Membran	Basıncı(Psi)	Tutulma(%R)	Akı(L/m ² .sa)
MII	30	80	1532,90
MII	40	68,85	2524,10
MII	50	71,02	2333,50



Şekil 4.41 Co(II)+AA çözeltisi filtrasyonunda basıncın tutulmaya etkisi ($C_{Co(II)+AA}=0,4 \times 10^{-4}$ M, pH=5, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)



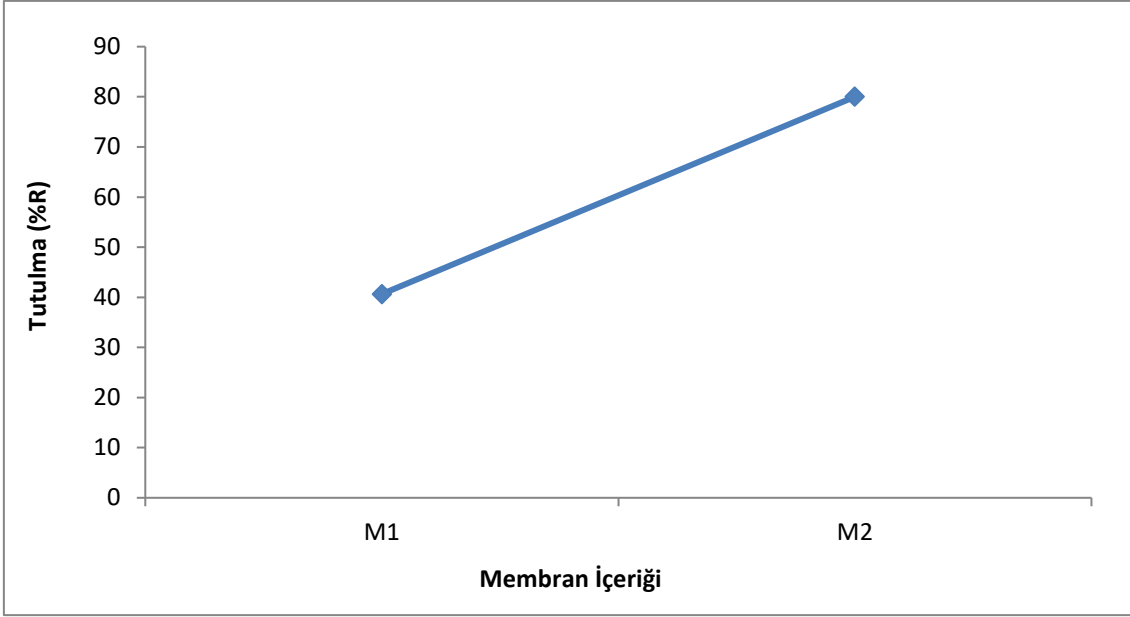
Şekil 4.42 Co(II)+AA çözeltisi filtrasyonunda basıncın akıya etkisi ($C_{Co(II)+AA}=0,4 \times 10^{-4}$ M, pH=5, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

4.6.4 Membran İçeriğinin Tutulma ve Akıya Etkisi

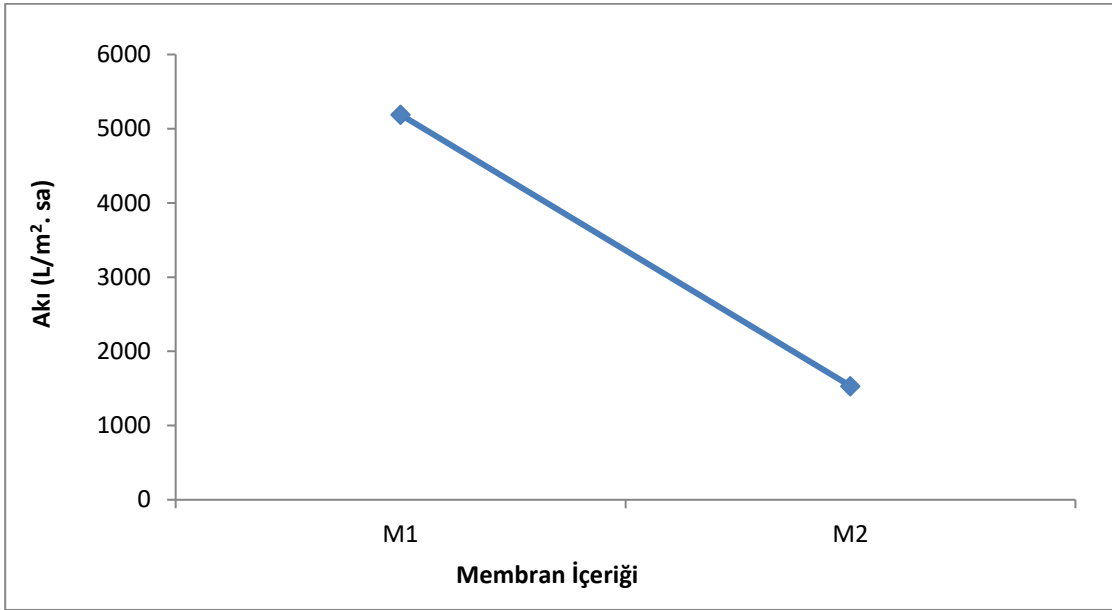
$0,4 \times 10^{-4}$ M Co(II) ile $0,4 \times 10^{-4}$ M bg/L AA içerikli çözelti pH=5, P=30 psi ve 400 dev/dk karıştırma hızında membran içeriğinin tutulma yüzdesi ve akıya etkileri Çizelge 4.20, Şekil 4.43 ve Şekil 4.44’de gösterilmiştir. Görüldüğü üzere membran kalınlığı arttıkça gözenek boyutu küçüldüğü için tutulma artmıştır dolayısıyla membran daha geç sürede geçireceğinden akı düşmüştür.

Çizelge 4.20 Co(II)+AA çözeltisi filtrasyonunda membran içeriğinin tutulma ve akıya etkisi ($C_{Co(II)+AA}=0,4 \times 10^{-4}$ M, P=30 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

Membran İçeriği	Tutulma(%R)	Akı(L/m².sa)
MI	40,65	5189,20
MII	80	1532,90



Şekil 4.43 Co(II)+AA çözeltisi ile yapılan filtrasyon işleminde membran içeriğinin tutulmaya etkisi ($C_{Co(II)+AA}=0,4 \times 10^{-4}$ M, P=30 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)



Şekil 4.44 Co(II)+AA çözeltisi ile yapılan filtrasyon işleminde membran içeriğinin akıya etkisi ($C_{Co(II)+AA}=0,4 \times 10^{-4}$ M, P=30 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

1. Bu çalışmada 50 psi basınca dayanıklı saf suyu geçirebilen gözenekli membranlar yapılmıştır. Sonuçta MI, MII, MIII, MIV, MV, MVI membranlarının filtrasyon işlemi için uygun olduğu belirlenmiştir.

2. Fe(III) iyonlarının sulu çözeltilerden filtrasyon tekniği ile ayrılması incelenmiştir. Basınç, çözelti pH'ı, çözelti konsantrasyonu ve membran kalınlığı parametreleri incelenmiştir.

En iyi Fe(III) tutulması; MIII membranı ile yapılan deneyde pH=3, $0,3 \times 10^{-4}$ M Fe(III) çözeltisi, 40 psi basınç ve 400 devir/dk karıştırma hızında % 29,96 olarak bulunmuştur. MIV membranı ile yapılan deneyde pH=5, $0,3 \times 10^{-4}$ M Fe(III) çözeltisi, 50 psi basınç ve 400 devir/dk karıştırma hızında % 33,73 olarak bulunmuştur.

3. Fe(III)+AA'nın sulu çözeltilerden filtrasyon tekniği ile ayrılması incelenmiştir. Bu çalışmalarda çözelti pH'ı, basınç, çözelti konsantrasyonu ve membran kalınlığı parametreleri incelenmiştir.

En iyi Fe(III)+AA tutulması; MV membranı ile yapılan deneyde pH=4, $0,5 \times 10^{-4}$ M Fe(III)+AA çözeltisi, 30 psi basınç ve 400 devir/dk karıştırma hızında % 94,2 olarak bulunmuştur.

4. Co(II) iyonlarının sulu çözeltilerden filtrasyon tekniği ile ayrılması incelenmiştir. Membran kalınlığı, çözelti pH'ı, çözelti konsantrasyonu ve basınç parametreleri incelenmiştir.

En iyi Co(II) tutulması; MII membranı ile yapılan deneylerde pH=3, $0,5 \times 10^{-4}$ M Co(II) çözeltisi, 30 psi basınç ve 400 devir/dk karıştırma hızında % 81,4 olarak bulunmuştur.

5. Co(II)+AA iyonlarının sulu çözeltilerinden filtrasyon tekniği ile ayrılması incelenmiştir. Çözelti pH'ı, çözelti konsantrasyonu, basınç ve membran kalınlığı parametreleri incelenmiştir.

En iyi Co(II)+AA tutulması; MII membranı ile yapılan deneylerde pH=5, $0,4 \times 10^{-4}$ M Co(II)+AA çözeltisi, 30 psi basınç ve 400 devir/dk karıştırma hızında % 80 olarak bulunmuştur.

Bu çalışmalar metal tutulmasını sağlayan ve belirlenen parametre değerlerinde hassas çalışıldığı takdirde uygulanabilir olan bir çalışmadır. Bu membranlar, ağır metallerin sulu çözeltilerinden uzaklaştırılmasında kullanıldığı gibi diğer büyük moleküllerin sulu çözeltilerinden uzaklaştırılmasında da kullanılabilir.

6. KAYNAKLAR

- Alacabey, İ. (2014). Doğal ve Aktive Edilmiş Van Gölü Sediment (Dip Çamuru) Örneklerinin Bazı Ağır Metallerle Adsorpsiyonunun İzoterm ve Termodinamik Analizi. Doktora Tezi, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Van.
- Al-Asheh, S., Banat, F. and Mohai, F. (1999). Sorption of Copper and nickel by spent animal bones. *Chemosphere*, **39** (12): 2087-2096.
- Arçevik, E. (2010). Dehidrasyona Yönelik Zeolit Dolgulu Membranların Saf Çözücülerdeki Sorpsiyon Davranışın ve Pervaporasyon Performansının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Arı H. (2009). Türkiye’de İçme Suyu Amaçlı Büyük Kapasiteli Membran Sistemleri Maliyet Analizi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 251864.
- Arı, P.H. (2009). Türkiye’de İçme Suyu Amaçlı Büyük Kapasiteli Membran Sistemlerinin Maliyet Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Asri, F. ve Sönmez, S. (2006). Ağır Metal Toksikitesinin Bitki Metabolizması Üzerine Etkileri. Akdeniz Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, Toprak Bölümü, Antalya, **23**: 36-45.
- Atanassova, I. (1999). Competitive effect of copper, zinc, cadmium and nickel on adsorption and desorption by Soil Clays. *Water, Air and Soil Pollution*, **113**: 115-125.
- Aydiner C. (2006). Hibrit Sistem Toz Aktif Karbon/Çapraz Akış Mikrofiltrasyon Teknolojisi ile Sulu Ortamdan Ağır Metal Giderimi ve Modellenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 216812.

- Aygün, A. (2002). Yerli doğal hammaddelerden aktif karbon üretimi ve adsorpsiyon özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Baker, R.W. (2004). Membrane Technology and Applications. John Wiley&Sons Ltd. The Atrium, Southern Gate, Chichester, 538., Menlo Park, California.
- Barlas, H. (2002). Suların arıtımında ileri teknolojiler ders notları, İ.Ü. Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü.
- Baştürk, İ. (2013). Zeytin Karasularının Membran Prosesleri ile Arıtımında Çözünmüş Madde, Basınç ve Akı İlişkisinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Bayar S. (2010). Biyolojik Arıtma Çamur Özelliklerinin Klasik Membran Filtrasyonuna Etkileri. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Bayar, E. (2009). Erzurum Şehir Merkezlerindeki Bazı Kavşaklarda Bitki (*Sarıçam, Pinus Sylvestris*) ve Toprakların Ağır Metal (Fe, Cu, Zn, Mn, Cd, Pb ve Ni) Kontaminasyon Durumunun Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Boşgelmez, A., Boşgelmez, İ.İ., Paslı, N., Savaşçı, S. ve Kaynaş, S. (2001). Ekoloji II Toprak ISVAK yayınları, No:6, 460-707.
- Brad, H.B. (2005). Heavy metals in the environment Chapter 1, sources and origins of heavy metals, 6, Arthur Hubbard, *Elsevier* akademik pres, Germany, 1-148.
- Coutinho, C.M., Chiu, M.C., Basso, R.C and Ribeiro, A.P.B. (2009). State of Art of the Application of Membrane Technology to Vegetable Oil: A review, *Food Research International*, **42**: 536-550.

- Danış, Ü. (1996). Çapraz akış ultrafiltrasyon tekniği ile endüstriyel atıksulardan ağır metal giderimi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Daş, B., Arık, F., Öztürk, A. ve Altay, O. (2012). Krom Madenciliği ve Geçmişten Günümüze İnsanlık Tarihi Üzerindeki Etkileri. *Journal of Life Science*, 1:2.
- Demiral N. (2008). Pamuklu Tekstil Endüstrisi Atıksularının Membran Teknolojisi ile Geri Kazanımı. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Deveci, F. (2007). Elektrodializ Yöntemi ile SO_4^{2-} ve BO_3^{3-} 'ün Endüstriyel Atık Sularda Gideriminin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Eşiyok, G. (2011). *Çapraz bağlı polivinilpirolidon nanokompozitlerinin hazırlanması ve adsorpsiyon kinetiklerinin incelenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Fırlak, M. (2008). *2-akrilamido-2-metilpropan sulfonik asit bazlı hidrojellerle ağır metallerin adsorpsiyonu*. (Yüksek Lisans Tezi), Marmara Üniversitesi.
- Florence, A.T. and Siepmann, J. (2009). *Modern Pharmaceutics, Volume 1: Basic Principles and Systems*, 5. Baskı, Informa Healthcare, New York , ABD.
- Gönüllü, M.T. (2004). Endüstriyel Kirlenme Kontrolü, Birsen Yayınevi, Cilt 1, 1. Baskı, İstanbul.
- Gürsel, O., Eker, İ. ve Kürekçi, E.A. (2014). Demir Metabolizması ve Bozuklukları, *Türkiye Çocuk Hastalıkları Dergisi*, Ankara.
- Hasanoğlu A. (2003). PDMS Membran ile Sorpsiyon ve Pervaporasyon, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Hasar H. (2001). Batık Membran-Aktif Çamur Sistemlerinin Arıtma Kapasitesinin Geliştirilmesi ve Modellenmesi. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Judd, S. (2006). The MBR Book: Principles an applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment, Elsevier Ltd., Oxford.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A. ve Timur, S. (2003). Metallerin Çevresel Etkileri-I. Metalurji Dergisi, **136**, 47-53s.
- Kahvecioğlu, Ö., Kartal, G., Güven, A. ve Timur, S. (2009). Metallerin Çevresel Etkileri-I, Metalurji, **136**. Sayı, İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü.
- Kaleli, B. (2006). Atıksuların İleri Arıtımında Membra Proseslerin Kullanımının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Karabulut, S., Karabakan, A., Denizli, A. ve Yürüm, Y. (2000). Batch removal of copper (II) and Zinc(II) from aqueous solution with low-rank Turkish Coals. *Seperation and Purification Technology*, **18**: 177-184.
- Kartal G., A. Güven, Ö. Kahvecioğlu ve S. Timur (2004). Metallerin Çevresel Etkileri-II TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası Dergi, Sayı: **137**: 46-531. (online:http://www.metalurji.org.tr/dergi137/d137_4651.pdf)
- Kaya Y. (2007). Nanofiltrasyon İle Proses Sularından Organik Maddelerin Geri Kazanımının Araştırılması. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi.
- Kayaalp, Y. (2012). *Saroz Körfezi Bazı Balık Türlerinde Seleniumun Hidrür Oluşturmalı Atomik Absorpsiyon ve Grafit Fırın Atomik Absorpsiyon Spektrofotometre İle Tayini*. (Yüksek Lisans Tezi). Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

- Kitiş, M. ve Yiğit, N. (2009). Su ve Atıksu Arıtımında İleri Arıtma Teknolojileri-Arıtılmış Atıksuların Geri Kullanımı. Ders Notu, Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi.
- Koçak, İ. (2007). Ters Osmoz sistemi ile Sudan Borun uzaklaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Koçer O. (2013). Zeytin Posası (Pirinç) Üzerine Malaşit Yeşili'nin Sulu Çözeltiden Adsorpsiyonu. Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Kosutic, K., Dolar, D. and Kunst, B. (2006). On Experimental Parameters Characterizing The revers Osmosis And Nanofiltration membranes Active layer, *Journal of Membrane Science* **282**, 109-114.
- Koyuncu, İ. (1997). Membran Teknolojisinin Çevre Mühendisliğinde Kullanım Potansiyeli ve Ters Osmoz ile Amonyum İyonu Giderimi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Koyuncu, İ. (2001). Nanofiltrasyon Membranları ile Tuz Gideriminde Organik İyon Etkisi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Koyuncu, T., Kural, E. ve Topacık D. (2001). Pilot scale nanofiltration membrane seperation for waste management in textile industry, *Water Science and Technology*, **43** (10), 223-240 P.
- Kural E. (2000). Tekstil Boyahane Atıksularının Nanofiltrasyon Membranları ile Geri Kazanımı ve Renk Giderimi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Metcalf and Eddy (1991). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, McGraw-Hill, 4th edition/revised by Tchobanoglous G., L-Burten F., Stensel H.D., North America.

- Moftah. K. (2002). High PH RO for Wastewater Treatment Pollution Engineering, ÇEVRE VE ORMAN BAKANLIĞI, 16s.
- Mulder, M. (1996). Basic Principles of Membrane Technology, second Edition, Kluwer Academic Publishers The NetherLands.
- Okçu, M., Tozlu, E., Kumlay, M. ve Pehlivan, M. (2009). Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri. Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Erzurum. **17** (B), 14-26.
- Osada, Y. and Nakogava, T. (1992). Membrane science and technology. *Marcel Dekker*, USA. **3,47. 106.**
- Osada, Y. and Nakogava, T. (1992). Membrane science and technology, *Marcel Dekker*, Inc., USA. **3:** 1-488.
- Özçelep B. (2009). Kağıt Endüstrisi Atıksularının Membran Prosesleriyle İleri Arıtımı. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 282, 844.
- Özkan Ü. (2007). Tekstil Endüstrisi Proses Suyu Hazırlanmasında Membran Proseslerin Uygulanması. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul.
- Öztürk İ., Timur H. ve Koşkan U. (2005). *Atıksu Arıtımının Esasları-Evsel*, Endüstriyel Atıksu Arıtımı ve Arıtma Çamurlarının Kontrolü. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, 223-226.
- Özyaka, V.Ş. (2011). Kompost ve Geri Kazanım Tesisi Sızıntı Sularının Membran Proseslerle Arıtılabilirliği: İstanbul Örneği, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pinto, C.G., Laespada, M.E.F., Pavon, J.L.P. and Cordero, B.M. (1999). Analytical Applications of Seperation Techniques through Membranes. Laboratory Automation Information Management, **34**, 115-130.

- Rautenbach R. (1997). Membran Verfahren Grundlegender Modul-und Anlagenauslegung, Springer, **540** (3), 540-543.
- Ripperger S. and Altman J. (2002). Crossflow Microfiltration-State of Art, *Seperation and Purification Technology*, **26**, 19-31.
- Sarıkaya, Y. (2008). Fizikokimya, Gazi Kitabevi, Ankara, 633.
- Scott K. and Hughes R. (1996). *Industrial Membrane Seperation Technology*, First Edition, Blackie Academic&Professional, Great Britain.
- Scott, K. and Hughes, R. (1996). Overview of The Application of Synthetic Membrane Process. *Industrial Membran Seperation Technology* (Eds) Blackie and Academic Professional. Chapman and Hall, Glasgow, **8-32**.
- Shao, P. and Huang, R.Y.M. (2007). Polymeric Membrane Pervaporation, *Journal of Membrane Science*, **287**: 169-179.
- Singh, R. (2006). Hybrd Membrane system for water Purification: Technology, Systems Design and operations. Elsevier Science & Technology Books.
- Stern, B.R., M. Solioz, D. Krewski, P. Aggett, T.C. Aw, S. Baker, K. Crump, M. Dourson, L. Haber, R. Hertzberg, C. Keen, B. Meek, L. Ruden ko, R. Choeny, W. Slob and T. Starr (2007). *Copper and Human Health. Biochemistry; Genetics, and Strategies for Modeling Dose-response Relationships. Journal of Toxicol and Environ Health B Crit Rev.*, Apr-May; **10**(3): 157-222.
- Şener, S. (2010). Ağır Metallerin Çevresel Etkileri. SDUGEO (**online: www.geo.sdu.ed.tr**), *e-dergisi (Süleyman Demirel Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği)*, Yıl:1, **Sayı 3**. 33-36, ISSN 1309-6656.
- Tosyalı, K. (2006). Araç Egzozlarından Kaynaklanan Ağır Metal Tayini. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.

- Tuncay, Y. (2007). Kovada Gölü'nde Yaşayan Istakozlarda (*AstacusLeptodactylus* U.S Environmental Protection agency (U.S. EPA). 1991f. Guidance for the Implementation of water quality-based decisions: The TMDL Process. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water Regulations and Standards, Washington, D.C. EPA **440/4-91-001**.
- Van Der Bruggen B., Vandecasteele C., Van Gestel T., Doyan W. and Leysen R. (2003). A review of Pressure-driven membrane Processes in wastewater treatment and drinking water Production. *Environmental Progress* **22** (1), 46-56.
- Wagner J. (2001). Membrane filtration handbook: Practical tips and hint, 1 st Edition, Minnetonka, MN: Osmonics.
- Water Environment Federation (2006). Membrane systems for Wastewater Treatment, First Edition, MC Graw-Hill BookCo., NewYork.
- Wieder, R.K. (1990). Metal Cation binding to Sphagnum Peat and Sawdust: relation to wetland treatment of metal-polluted water. *Water, Air and Soil Pollution*, **53**: 391-400.
- Yaşar, Ü. (2009). *Cercis Siliquastrum* 1. Subsp. *Siliquastrum* (Fabaceae)'un ağır metal kirliliğinde biomonitor olarak kullanımı. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yazıcı, S. (2012). Elektrodializ bipolar membran proseslerin tıkanma mekanizması ve önleme çalışmalarının analizi: sızıntı suyu örneği. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yetişmeyen A. ve Yıldız F. (2006). Süt Endüstrisinde Mikrofiltrasyonun Kullanımı. Türkiye 9. Gıda Kongresi; 931-934, Bolu, Türkiye, 24-26 Mayıs.
- Yiğit, N.Ö. (2007). Membran Biyoreaktörü ile Evsel Atıksu Arıtımı. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Isparta.

Zengin , K.F., ve Munzuroğlu, Ö. (2005). Fasulye Fidelerinin (*Phaseolus vulgaris L.*) Klorofil ve Karotenoid Miktarı Üzerine Bazı Ağır Metallerin (Ni^{+2} , Co^{+2} , Cr^{+3} , Zn^{+2}) Etkileri. Fırat Üniversitesi, Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, **17**(1), 164-172.

İnternet Kaynakları

1- European Membrane House, Membrane Principles,

<http://www.euromemhouse.com/Principles-of-Membrane-Technology/Membrane-technology.html>, 27.06.2017

2- Ultra Membrane, Ultrafiltrasyon Membranları,

<http://ultramembrane.com/archives/526>, 29.06.2017

3- <http://www.suvecevre.com/?pid=26919> 24.07.2017

4-<http://dunyagida.com.tr/kose-yazisi/gida-endustrisinde-ters-osmoz-uygulamalari/1155>
24.07.2017

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet SAVRIK
Doğum Yeri ve Tarihi : Afyonkarahisar/Merkez 21.05.1986
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim : mehmetsavrik@hotmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Afyon Lisesi(2004)
Lisans : Kafkas Üniversitesi(2013)