

**YENİ KOMPOZİT POLİMER
MEMBRANLARIN ÜRETİMİ VE AYIRMA
İŞLEMLERİNDE KULLANIMI**

İbrahim KOPAN

DANIŞMAN

Doç. Dr. Cemal ÇİFCİ

KİMYA ANABİLİM DALI

Nisan, 2016

Bu tez çalışması 14.FEN.BİL.28 numaralı proje ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon birimi tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YENİ KOMPOZİT POLİMER

**MEMBRANLARIN ÜRETİMİ VE AYIRMA
İŞLEMLERİNDE KULLANIMI**

İbrahim KOPAN

DANIŞMAN

Doç. Dr. Cemal ÇİFCİ

KİMYA ANABİLİM DALI

NİSAN, 2016

TEZ ONAY SAYFASI

İbrahim Kopan tarafından hazırlanan “Yeni Kompozit Polimer Membranların Üretimi ve Ayırma İşlemlerinde Kullanımı” adlı tez çalışması, lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 26/04/2016 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, Fen Edebiyat Fakültesi

Üye : Yard. Doç. Dr. İbrahim BULDUK

Uşak Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun

...../...../ tarih ve

..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. Hüseyin ENGİNAR

Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

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

- 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 tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

26/04/2016

İbrahim KOPAN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

YENİ KOMPOZİT POLİMER MEMBRANLARIN ÜRETİMİ VE AYIRMA İŞLEMLERİNDE KULLANIMI

İbrahim KOPAN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Kimya Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Cemal ÇİFCİ

Bu araştırmada; Fe(III) ve Co(II) iyonlarının sulu çözeltilerden aljinik asit varlığında filtrasyonla ayrılması araştırılmıştır. Ayırma işlemlerinde poli(akrilonitril-ko-metil-akrilat)/selüloz kompozit membranlar kullanılmıştır.

Fe(III) ve Co(II) çözeltilerinin filtrasyonunda; membranların poli(akrilonitril-ko-metil-akrilat) içeriğinin çözelti konsantrasyonunun ve basıncın tutulma ve akıya etkileri çalışılmıştır.

Fe(III) çözeltisinin filtrasyonunda en iyi tutulma pH=3,3'de $0,3 \times 10^{-4}$ M derişimli Fe(III) çözeltisinde 40 psi basınçta ve 400 devir/dk karıştırma hızında % 2,5'luk yoğunlukta poli(akrilonitril-ko-metil-akrilat)/selüloz kompozit membranı ile % 78,66 olarak bulunmuştur.

Aljinik asit varlığında Fe(III) çözeltisi için en iyi tutulma pH=6'da $0,5 \times 10^{-4}$ M derişimli Fe(III) çözeltisinde 40 psi basınçta ve 400 devir/dk karıştırma hızında % 2,5'luk yoğunlukta poli(akrilonitril-ko-metil-akrilat)/selüloz kompozit membranı ile % 78,2 olarak bulunmuştur.

Değişik pH, basınç ve çözelti konsantrasyonlarında Co(II)'nin sulu çözeltileri filtre edilmiştir. Co(II) çözeltisi için en iyi tutulma pH=6' da $0,3 \times 10^{-4}$ M derişimli Co(II) çözeltisinde 50 psi basınçta ve 400 devir/dk karıştırma hızında % 4,0'lük yoğunlukta

poli(akrilonitril-ko-metil-akrilat)/selüloz kompozit membranı ile % 77 olarak bulunmuştur.

Aljinik asit varlığında Co(II) çözeltisinin filtrasyonunda en iyi tutulma pH=6'da $0,5 \times 10^{-4}$ M derişimli Co(II) asit çözeltisinde 50 psi basınçta ve 400 devir/dk karıştırma hızında % 2,5'luk yoğunlukta poli(akrilonitril-ko-metil-akrilat)/selüloz kompozit membranı ile % 71,6 olarak bulunmuştur.

2016, xiii + 77 sayfa

Anahtar kelimeler: Membranla filtrasyon, polimer membran, membran prosesler

ABSTRACT

M. Sc Thesis

THE PRODUCTION OF NEW COMPOSITE MEMBRANES AND USING IN SEPERATION PROCESSES

İbrahim KOPAN

Afyon Kocatepe University

Institute of Science and Technology

Department of Chemistry

Supervisor: Doç. Dr. Cemal ÇİFCİ

In this study separation of Fe(III) and Co(II) ions in queous solution with alginic acid was investigated. Poly(acrylonitrile-co-methyl-acrylate)/cellulose composite membranes were used in seperation processes.

In the filtration of Fe(III) and Co(II) solutions, the effects poly(acrylonitrile-co-methyl-acrylate) content of membranes pH of solution, concentration of solution and pressure on the retention and the flux were studied.

In the filtrations Fe(III) solutions the optimum retantion was found as 78.66 % at pH of 3,3, concentration of $0,3 \times 10^{-4}$ M Fe(III) solution, pressure of 40 psi and the stirred velocity of 400 rev/min by using % 2,5 % (m/v) poly(acrylonitrile-co-methyl-acrylate)/cellulose composite membrane.

The optimum retantion was found as 78.2 % for Fe(III) solutions in the presence of alginic acid at pH of 6, concentration of $0,5 \times 10^{-4}$ M Fe(III) solution, pressure of 40 psi and stirred velocity of 400 rev/min by using % 2,5 % (m/v) poly(acrylonitrile-co-methyl-acrylate)/cellulose composite membrane.

Aqueous solutions of Co(II) were filtrated at different, pH, pressure, concentration of solutions the optimum retantion was found as 77 % for Co(II) solutions at pH of 6, concentration of $0,3 \times 10^{-4}$ M Co(II) solution, pressure of 50 psi and stirred velocity of

400 rev/min by using 4 % (m/v) poly(acrylonitrile-co-methyl-acrylate)/cellulose composite membrane.

In the filtration of Co(II) solutions in the presence of alginic acid the optimum retention was found as 71.6 % at pH of 6, concentration of $0,5 \times 10^{-4}$ M Co(II) solution, pressure of 50 psi and stirred velocity of 400 rev/min by using 2,5 % (m/v) poly(acrylonitrile-co-methyl-acrylate)/cellulose composite membrane.

2016, xiii + 77 pages

Keywords: Filtration with membrane, polymer membrane, membrane processes

TEŞEKKÜR

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

Ayrıca Kimya bölümü başkanlığı bünyesinde yüksek lisans öğrenimime baŐladıđım andan itibaren çalıŐmamın seçimi, planlanması ve yürütölmesi 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 teşekkür ederim.

Bu tez çalışmasında katkılarından dolayı Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinaasyon Birimi'ne teşekkür ederim.

İbrahim KOPAN

AFYONKARAHİSAR, 2016

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET.....	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	3
2.1 Membranların Tanımı.....	3
2.2 Membranların Ayırmada Kullanılma Prensipleri	4
2.3 Membranların Sınıflandırılması	5
2.4 Membran Performansının Belirlenmesi.....	11
2.4.1 Akı.....	11
2.4.2 Zenginleşme Oranı (%R)	12
2.5 Membran Performansını Etkileyen Parametreler	12
2.5.1 Basınç.....	12
2.5.2 Sıcaklık	13
2.5.3 Konsantrasyon.....	13
2.5.4 Membran Ömrü.....	14
2.5.5 Ön Arıtma	15
2.5.6 Membranın Temizlenmesi	15
2.6 Membranların Kullanıldığı Yöntemler	16
2.6.1 Mikrofiltrasyon(MF).....	17
2.6.2 Ultrafiltrasyon(UF)	18
2.6.3 Nanofiltrasyon(NF).....	18
2.6.4 Ters Ozmoz(RO).....	19
2.6.5 Gaz Ayırma.....	21
2.6.6 Diyaliz.....	23
2.6.7 Pervaporasyon.....	23
2.7 Membran Teknolojisinin Diğer Ayırma İşlemlerine Göre Avantaj ve Dezavantajları ..	24

2.8 Adsorpsiyon.....	25
2.8.1 Fiziksel Adsorpsiyon	27
2.8.2 Kimyasal Adsorpsiyon.....	28
2.8.3 İyon Değişim Adsorpsiyonu	28
2.9 Ağır Metaller Hakkında Genel Bilgiler	28
3. MATERYAL METOT	34
3.1 Materyal.....	34
3.1.1 DeneYlerde Kullanılan Alet ve Düzenekler	34
3.1.2 DeneYlerde Kullanılan Maddeler	35
3.2 Metot.....	37
3.2.1 Membranların Hazırlanması	37
3.2.2 Membranların Filtrasyon İşleminde Kullanılması	37
4. BULGULAR	38
4.1 Membran Saf Su Çalışmaları.....	38
4.2 Demir(III) İyonlarının Sulu Çözeltilerden Filtrasyonu	41
4.2.1 Membran Kalınlığının Tutulma ve Akıya Etkisi	41
4.2.2 pH'ın Tutulma ve Akıya Etkisi.....	42
4.2.3 Çözelti Konsantrasyonunun Tutulma ve Akıya Etkisi.....	44
4.2.4 Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi	45
4.3 Fe(III)+AA Çözeltilerinin Filtrasyonu	47
4.3.1 pH'ın Tutulma ve Akıya Etkisi.....	47
4.3.2 Çözelti Konsantrasyonunun Tutulma ve Akıya Etkisi.....	48
4.3.3 Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi	50
4.3.4 Membran Kalınlığının Tutulma ve Akıya Etkisi	52
4.4 Kobalt(II) İyonlarının Sulu Çözeltilerinden Filtrasyonu	52
4.4.1 Membran Kalınlığının Tutulma ve Akıya Etkisi	52
4.4.2 pH'ın Tutulma ve Akıya Etkisi.....	54
4.4.3 Çözelti Konsantrasyonunun Tutulma ve Akıya Etkisi.....	56
4.4.4 Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi	57
4.5 Co(II)+AA Çözeltilerinin Filtrasyonu	59
4.5.1 Membran Kalınlığının Tutulma ve Akıya Etkisi	59
4.5.2 pH'ın Tutulma ve Akıya Etkisi.....	60

4.5.3 Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi	62
4.5.4 Çözelti Konsantrasyonunun Tutulma ve Akıya Etkisi.....	63
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	66
6. KAYNAKLAR.....	68
ÖZGEÇMİŞ	77

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

°C	Celcius derece
AA	Aljinik Asit
bg	birim gram
Cb	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
Cp	Permeat Akımı Konsantrasyonu
D	Dalton
dk	dakika
DMSO	Dimetil sülfoksit
g	Gram
m/v	Yoğunluk

Kısaltmalar

ΔC	Konsantrasyon değişimi
ΔE	Enerji değişimi
ΔP	Basınç değişimi
ΔT	Sıcaklık değişimi
DD	Donan diyalizi
dev	Devir
L	Litre
m	Kütle
m ²	Metrekare
MF	Mikrofiltrasyon
mL	Mililitre
NF	Nanofiltrasyon
Poli(AKMA)	poli(akrilonitril-ko-metil-akrilat)
ppb	Milyarda bir
ppm	Milyonda bir
R	Tutulma
RO	Ters Ozmoz
Sa	Saat
UF	Ultrafiltrasyon
UV	Mor Ötesi
V	Hacim
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Bir Membran ile Ayrılmış İki Fazlı Sistemin Şematik Gösterimi.....	4
Şekil 2.2 Gözenekli Membran Proseslerinin Temel İlkesi.....	5
Şekil 2.3 Farklı Membran Morfolojisinin Şematik Olarak Gösterimi.....	10
Şekil 2.4 Membran Yüzeyinde Meydana Gelen Direnç Türleri.....	14
Şekil 2.5 Mikrofiltrasyon Membran Ayırma Prosesi.....	18
Şekil 2.6 Ultrafiltrasyon Membran Ayırma Prosesi.....	19
Şekil 2.7 Nanofiltrasyon Membran Ayırma Prosesi.....	19
Şekil 2.8 Ozmoz ve Ters Ozmozun Şematik Anlatımı.....	20
Şekil 2.9 Ters Ozmoz Ayırma Prosesi.....	21
Şekil 2.10 Katı Adsorbant Yüzeyinde Gerçekleşen Adsorpsiyon ve Desorpsiyon.....	27
Şekil 3.1 Filtrasyon Sisteminin Akım Şeması.....	36
Şekil 3.2 Poli(akrilonitril-ko-metil-akriyat)'ın açık kimyasal formülü.....	36
Şekil 3.3 Aljinik asidin açık kimyasal formülü.....	37
Şekil 4.1 MI Membranı İçin Saf Su Geçişi.....	40
Şekil 4.2 MII Membranı İçin Saf Su Geçişi.....	41
Şekil 4.3 MIII Membranı İçin Saf Su Geçişi.....	41
Şekil 4.4 Fe(III) Çözeltisi Filtrasyonunda Membran Kalınlığının Tutulmaya Etkisi...42	42
Şekil 4.5 Fe(III) Çözeltisi Filtrasyonunda Membran Kalınlığının Akıya Etkisi.....	43
Şekil 4.6 Fe(III) Çözeltisi Filtrasyonunda pH'ın Tutulmaya Etkisi.....	44
Şekil 4.7 Fe(III) Çözeltisi Filtrasyonunda pH'ın Akıya Etkisi.....	46
Şekil 4.8 Fe(III) Çözeltisi Filtrasyonunda Çözelti Konsantrasyonunun Tutulmaya Etkisi.....	46
Şekil 4.9 Fe(III) Çözeltisi Filtrasyonunda Çözelti Konsantrasyonunun Akıya Etkisi...47	47
Şekil 4.10 Fe(III) Çözeltisi Filtrasyonunda Basıncın Tutulmaya Etkisi.....	48
Şekil 4.11 Fe(III) Çözeltisi Filtrasyonunda Basıncın Akıya Etkisi.....	48
Şekil 4.12 Fe(III)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda pH'ın Tutulmaya Etkisi.....	49
Şekil 4.13 Fe(III)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda pH'ın Akıya Etkisi.....	49

Şekil 4.14 Fe(III)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Çözelti Konsantrasyonunun Tutulmaya Etkisi.....	51
Şekil 4.15 Fe(III)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Çözelti Konsantrasyonunun Akıya Etkisi.....	52
Şekil 4.16 Fe (III)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Basıncın Tutulmaya Etkisi.....	53
Şekil 4.17 Fe(III)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Basıncın Akıya Etkisi.....	53
Şekil 4.18 Co(II) Çözeltisi Filtrasyonunda Membran Kalınlığının Tutulmaya Etkisi...	55
Şekil 4.19 Co(II) Çözeltisi Filtrasyonunda Membran Kalınlığının Akıya Etkisi.....	55
Şekil 4.20 Co(II) Çözeltisi Filtrasyonunda pH'ın Tutulmaya Etkisi.....	57
Şekil 4.21 Co(II) Çözeltisi Filtrasyonunda pH'ın Akıya Etkisi.....	57
Şekil 4.22 Co(II) Çözeltisi Filtrasyonunda Çözelti Konsantrasyonunun Tutulmaya Etkisi.....	58
Şekil 4.23 Co(II) Çözeltisi Filtrasyonunda Çözelti Konsantrasyonunun Akıya Etkisi..	59
Şekil 4.24 Co(II) Çözeltisi Filtrasyonunda Basıncın Tutulmaya Etkisi.....	60
Şekil 4.25 Co(II) Çözeltisi Filtrasyonunda Basıncın Akıya Etkisi.....	60
Şekil 4.26 Co(II)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Membran Kalınlığının Tutulmaya Etkisi.....	61
Şekil 4.27 Co(II)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Membran Kalınlığının Akıya Etkisi...	62
Şekil 4.28 Co(II)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda pH'ın Tutulmaya Etkisi.....	63
Şekil 4.29 Co(II)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda pH'ın Akıya Etkisi.....	63
Şekil 4.30 Co(II)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Basıncın Tutulmaya Etkisi.....	64
Şekil 4.31 Co(II)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Basıncın Akıya Etkisi.....	65
Şekil 4.32 Co(II)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Çözelti Konsantrasyonunun Tutulmaya Etkisi.....	66
Şekil 4.33 Co(II)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Çözelti Konsantrasyonunun Akıya Etkisi.....	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Farklı Şekillerdeki Membranların Performans Özellikleri.....	9
Çizelge 2.2 Membranların Proseslerinin Sürücü Kuvvetlerine Göre Sınıflandırılması..	17
Çizelge 2.3 Gaz Ayırmanın Endüstrideki Bazı Uygulama Alanları.....	23
Çizelge 2.4 FAO-WHO Birleşik Gıda Kodeksi Tarafından Önerilen Ağır Metal Miktarları.....	32
Çizelge 3.1 Kullanılan Kompozit Membranların Özellikleri.....	39
Çizelge 4.1 MI, MII ve MIII Membranı İçin Saf Su Geçişi.....	41
Çizelge 4.2 Fe(III) Çözeltisi Filtrasyonunda Membran Kalınlığının Tutulma ve Akıya Etkisi.....	43
Çizelge 4.3 Fe(III) Çözeltisi Filtrasyonunda pH'ın Tutulma ve Akıya Etkisi.....	44
Çizelge 4.4 Fe(III) Çözeltisi Filtrasyonunda Çözelti Konsantrasyonunun Tutulma ve Akıya Etkisi.....	46
Çizelge 4.5 Fe(III) Çözeltisi Filtrasyonunda Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi.....	47
Çizelge 4.6 Fe(III)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda pH'ın Tutulma ve Akıya Etkisi.....	49
Çizelge 4.7 Fe(III)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Çözelti Konsantrasyonunun Tutulma ve Akıya Etkisi.....	51
Çizelge 4.8 Fe(III)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi.....	52
Çizelge 4.9 Fe(III)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Membran Kalınlığının Tutulma ve Akıya Etkisi.....	54
Çizelge 4.10 Fe(III)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Membran Kalınlığının Tutulma ve Akıya Etkisi.....	54
Çizelge 4.11 Co(II) Çözeltisi Filtrasyonunda Membran Kalınlığının Tutulma ve Akıya Etkisi.....	55
Çizelge 4.12 Co(II) Çözeltisi Filtrasyonunda Membran Kalınlığının Tutulma ve Akıya Etkisi.....	56

Çizelge 4.13 Co(II) Çözeltisi Filtrasyonunda pH'ın Tutulma ve Akıya Etkisi.....	58
Çizelge 4.14 Co(II) Çözeltisi Filtrasyonunda Çözelti Konsantrasyonun Tutulma ve Akıya Etkisi.....	59
Çizelge 4.15 Co(II)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Membran Kalınlığının Tutulma ve Akıya Etkisi.....	61
Çizelge 4.16 Co(II)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda pH'ın Tutulma ve Akıya Etkisi.....	62
Çizelge 4.17 Co(II)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi..	64
Çizelge 4.18 Co(II)+AA Çözeltisi Filtrasyonunda Çözelti Konsantrasyonunun Tutulma ve Akıya Etkisi.....	66

1. GİRİŞ

1960'lı yılların başında geliştirilen asimetrik bir membran, günümüz teknolojisine kadar gelen membran proseslerinin temelini oluşturmuştur (Nunes 2006). O günlerden günümüze binlerce üretici, membran temelli proseslerde tekstilden gıdaya, enerji üretiminden geri dönüşüme ve tıbbaya kadar birçok alanda gelişim göstermiş ve teknolojinin bir parçası haline gelmiştir (Ulbrich 2006).

Membran ayırma sistemleri, bir karışımdaki bir ya da daha çok sayıdaki bileşenin bir itici güç aracılığıyla seçici geçirgen bir tabakanın bir yüzeyinden diğer yüzeyine taşınması ve böylelikle karışımdan ayrılmasına dayanır. Membran teknolojisi çok sayıdaki avantajından dolayı diğer ayırma sistemlerine alternatif olarak kullanılmaktadır. Bu avantajlar kolay kapasite artırımı, düşük enerji tüketimi, devamlı ayırma, hibrid kullanımlarda diğer ayırma işlemlerine kolay uyum, katkı maddesi istememe ve özel şartlar gerektirmeme olarak sıralanabilir (Ghosh and Mittal 1996).

Endüstriyel uygulamalarda membranın yüksek seçicilik, yüksek geçirgenlik, ısı, mekanik ve kimyasal dayanıklılık göstermesi ve uzun süre kullanılabilir olması istenir (Mulder 1996). Literatürdeki çalışmalar genellikle membranın yukarıda verilen özellikleri sağlaması amacıyla yapılmıştır. Yüksek seçicilik, ürün saflığının yüksek olmasını sağlayacak, ayırma işlemini üst düzey performansla gerçekleştirecektir. Yüksek geçirgenlik ise gereken membran alanını ve itici gücü azaltıp membran prosesinin yatırım ve işletim maliyetini düşürecektir (Koros and Mahajan 2000).

Membran ayırma prensibi, genellikle şöyle özetlenir; ayrılacak olan bileşenlerle temas halindeki membranlar; basınç, konsantrasyon, elektriksel potansiyel gradientleri gibi itici kuvvetlerin etkisiyle maddelerden birini seçici olarak geçirirler (Khow and Mitra 2010). Bu geçiş membranın morfolojik yapısına (gözenekli, gözeneksiz, simetri, asimetrik, vs...), ayrılacak bileşenin moleküler boyutuna, membranın yapıldığı malzemeye ve membranın modülüne göre farklı şekillerde açıklanabilmektedir (Slater 1989).

Dünyadaki kullanılan membran proseslerinin % 80'ini mikrofiltrasyon(MF), diyaliz(D), ters ozmoz(RO) ve ultrafiltrasyon(UF) oluştururken; elektrodializ(ED), gaz ayırma ve pervaporasyon(PV) hala gelişmekte olan proseslerdir (Drioli 2004, Bhatia 2008). Bu teknolojinin gelişimi; ürün kalitesi, harcanan enerji miktarı, çevresel etmenler ve uygun membran üretimine bağlılık gösterir. Seçilen membran sisteminin kullanılabilirliği ise proses ürün değerine ve alternatif proseslerden çok yönlü avantaj sağlamasına bağlıdır.

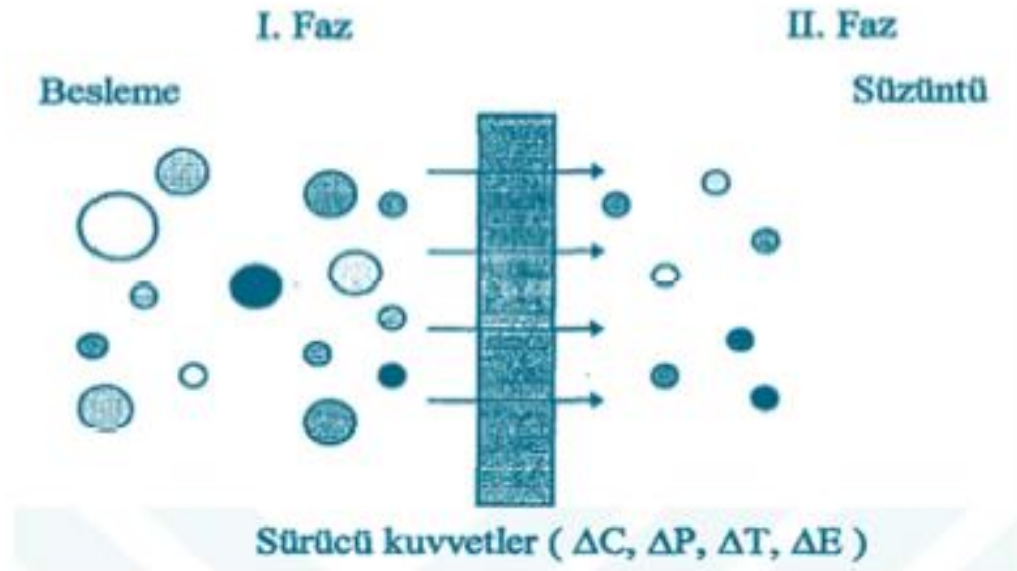
Bu çalışmada; Fe(III) ve Co(II) iyonlarının sulu çözeltilerden AA varlığında filtrasyonla ayrılması; Poli(AKMA)/selüloz iyon değiştiricili kompozit membranlar kullanılarak incelenmiştir. Membran kalınlığının, çözelti pH'nın, çözelti konsantrasyonunun ve basıncın tutulma ve akı üzerine etkileri çalışılmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Membranların Tanımı

Membran bir yarı geçirgen engel ya da fazlar arasındaki bir ara yüzey olarak söylenebilir (Mulder 1997). Değişik membran ayırma süreçlerinde özel membranlar kullanılır, ayırma işlemi de buna göre değişkenlik gösterir. Bu nedenle membran için kesin bir tanım yapmak güçtür ve genellikle iki faz arasındaki seçici bir engel olarak tanımlanır (Merbel 1993).

Bir membran prensibinin şematik gösterimi Şekil 2.1’de verilmiştir. Burada faz 1 genelde verici ya da besleme ve faz 2 alıcı ya da sızıntı faz olarak bilinir. Genellikle membranın çok iyi bir yarı geçirgen engel olmadığı bilinir. Fakat, ayırma işlemi membranın verici fazdan sızıntı faza bazı bileşenleri diğerlerine göre kolay bir şekilde taşıma özelliğine sahip olması nedeniyle gerçekleşir (Merbel 1993). Ayırma işlemi esnasında membran bazı molekülleri diğerlerine göre daha seri taşıyabilmelidir. Bu nedenle bazı bileşenler karşısında yüksek geçirgenlik göstermeli ve diğerleri için düşük geçirgenliğe sahip olmalı yani seçici geçirgenliği yüksek olmalıdır (Weber 1972).

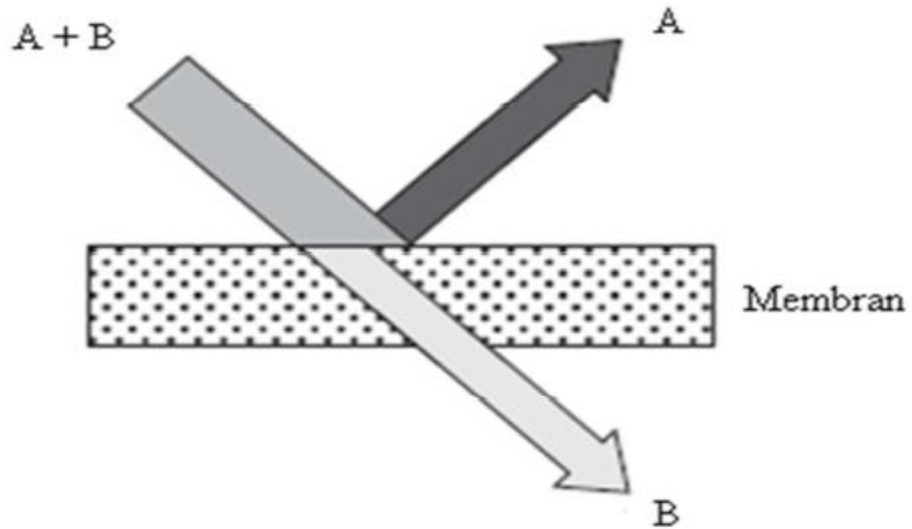


Şekil 2.1 Bir membran ile ayrılmış iki fazlı sistemin şematik gösterimi

Membranların esas kullanıldıkları alanlar; geri kazanma, ayırma ve saflaştırma olmasına rağmen, diğer önemli kullanım alanları da; membranların belli çeşit reaktörler içinde(membran reaktörler, elektrokimyasal hücreler), güç kaynaklarında(yakıt hücreleri, bataryalar) ve sensörlerde kullanılmalarıdır (Scott and Hughes 1996). Membranlarda ve membran süreçlerinde akı ve seçiciliğin yanında kimyasal, mekanik ve ısıl kararlılık da önem arz eder. Ayrıca membranların kirlenmeye eğiliminin az olması, operasyon ortamı ile uyumu, ekonomikliği ve hasar olmadan üretimi de oldukça önemlidir (Scott and Hughes 1996).

2.2 Membranların Ayırmada Kullanılma Prensipleri

Ayırma teknolojisinde dikkat çekici alanlardan ve en çabuk gelişenlerinden biri membran prosesleridir. Membran prosesleri kısmen ayırma işlemlerinin yeni model ayırma türlerindedir. Farklı membran prosesleri özellikle de ters ozmoz(RO), nanofiltrasyon(NF), ultrafiltrasyon(UF) ve mikrofiltrasyon(MF), biyoürünler ve gıda gibi endüstriyel alanda uygulanabilmektedir. Membran prosesleri kavramı kısmen basittir, ama yine de tam olarak anlaşılammaktadır. Membranlar(bir süzgeç gibi) klasik filtreler gibi betimlenebilir ama çok daha ince olan çok daha küçük bir ağ gözenegi ya da parçacıklar, hatta moleküllerin ayrılmasını sağlayacak daha küçük gözenekler diye de tanımlanır. Genellikle gözenekli ve gözeneksiz olarak 2 sınıfa ayrılabilir. Karışımların ayrılabilmesi için membrandan en az birinin geçememesi ve diğer bileşenlerin geçmesiyle elde edilir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Gözenekli membran proseslerinin temel ilkesi (Field and Oxford 2010).

Membranlar bir boyutsal ayırma sistemi değildir, fakat bu geçiş gözeneksiz membranlarda önem arz eder. Membran ayırma prensibi geniş bir uygulama alanı için kullanılabilir. Çoğunlukla fiziksel ayırma prensibine dayanan adsorpsiyon ve damıtma gibi klasik ayırmaya göre önemli avantajlar getirebilir. Klasik metotlarla kıyaslandığında çoğu membran mekanizması, kimyasal içermeyen bileşenin biyolojik ya da termal değişikliği ile alakalıdır. Membran ayırma özellikle sıcaklık(damıtma vs.) ve çözücülere(ekstraksiyon vs.) karşı duyarlılık oluşturabilen işlem görmüş biyoürünlerde dikkat çekmektedir (Field and Oxford 2010).

Membran, iki faz arasındaki seçici-geçirgenlik özelliğiyle bir itici gücün etkisinde fazın diğer faza taşınımını gerçekleştiren ince bir tabakadır. Taşınımı gerçekleştirecek olan itici güç; konsantrasyon, basınç, sıcaklık ya da elektriksel potansiyel farkı olabilmektedir (Chauhan and Pandey 2001).

Üretim aşamasında zeolitler, polimerler, metal organik kafesler gibi birçok farklı malzeme kullanılabilen membranlar, spiral sargı, düz levha şeklinde ya da içi boş lif formunda üretilebilirler. Membran temelli ayırma işlemi karışım durumundaki akışkanların ince bir ara yüzeyle ayrılmasına dayanır. Bu ara yüzey homojen bir yapıda olabileceği gibi katmanlı ya da gözenekli bir yapıda da olabilir. Ayırma işleminin gerçekleşebilmesi için membranın uygun şiddet ve doğrultuda bir itici güce maruz kalması gerekmektedir (Goh *et al.* 2011).

Bir membranın verimliliği seçicilik ve geçirgenlik kapasitesine göre değerlendirilir. Geçirgenlik, ayrılmasını istediğimiz türlerin membran içinden geçebilme kapasitesidir. Seçicilik ne kadar fazlaysa ayırma işlemi o kadar iyi gerçekleşir ve elde edilen ürün o derece saf olur. Endüstriyel uygulamalarda sistemin daha ekonomik olması için membranın geçirgenlik değerlerinin de yüksek olması gerekir. Bununla beraber membranın dayanıklılığı ve uzun süreli kullanılması da önem arz eder (Mulder 1996, Koros and Mahajan 1997).

2.3 Membranların Sınıflandırılması

Çeşitli alanlara göre yapılan sınıflandırma ile membran türleri hakkında daha ayrıntılı bilgi edinme imkanı vardır (Kesting 1971).

Membranların sınıflandırılması ;

A. Doğasına göre

- Doğal membranlar
 1. Biyolojik(canlı) membranlar
 2. Doğal maddeler: Modifiye rejenere edilmiş
- Sentetik membranlar
 - 1.Organik membranlar: Polimerler
 2. İnorganik membranlar: Seramik, metaller, cam, zeolit

B. Fiziksel görünümüne göre

- Düz tabaka membranlar
- Tübüler membranlar
- Boş tüp(Hollow Fiber) membranlar
- Sargılı membranlar

C. Yapısına göre

- Simetrik membranlar
- Asimetrik membranlar (Bungay *et al.* 1983).

Ayırma işlemlerinde kullanılan membranlar, ince ya da kalın, homojen ya da heterojen yapılı olabilmektedir. Membranda pasif ya da aktif şekilde gerçekleşen taşınım işlemlerinde itici güç olarak; konsantrasyon, basınç, sıcaklık ya da elektriksel potansiyel farkı kullanılır. Membranlar, doğal ya da sentetik olarak da sınıflandırılabilir. Sentetik membranlar, organik(sıvı ve polimerik) ve inorganik(metal, seramik) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Biyolojik membranlar, canlı yaşamı için çok büyük öneme sahiptirler ve her canlı hücrede bulunurlar. Bu tip membranlar, yapay olarak elde edilmiş membranlardan yapı ve fonksiyonellik bakımından çok farklıdır.

Sentetik membranlar, organik ve inorganik membranlar ya da bunların farklı kombinasyonları kullanılarak hazırlanmaktadır. Polimerler, makroyapıdaki kimyasal moleküller olup, membranın yapısı için oldukça büyük önem taşırlar. Polimerlerdeki molekül ağırlıkları, mekanik ve kimyasal özellikleri, ısıl özellikleri, geçirim değerleri,

zincir esnekliği, kimyasal yapısı, polimerdeki zincir etkileşimleri, kristalin ve amorf bölge düzeyleri gibi parametreler, elde edilen membran özelliklerinde oldukça etkilidirler. Membran üretiminde polimerik yapılar olarak farklı kimyasal yapılardaki homo ve kopolimerler ya da bunların farklı karışımları kullanılır.

Büyük ölçekli sentetik membran üretimlerinde ilk önce ticari termoplastikler ve selülozlu malzemeler kullanılmıştır. 1980'li yılların ortalarına dek spesifik çekici membran ihtiyacının sonucu olarak birkaç çeşit polimer geliştirilmiştir.

Yoğun ve nötr polimerlerdeki kütle aktarımı, sadece amorf fazda gerçekleşir ve membrandan geçen bileşenlerin çözünürlük özellikleri, genellikle polimer zincirlerinin bölgesel dizilimine bağlıdır. Yarı kristal yapılı polimerler heterojen özellik gösterirler. Çünkü bu tip polimerik membranlarda difüzyon, saf amorf fazda ve kristal-amorf ara yüzeyinde olan difüzyondan farklı olarak gerçekleşir. Difüzyon olan bileşenler ile polimer zincirindeki fonksiyonel yapılar arasındaki etkileşim, amorf fazda yer alan grupların dağılımına bağlıdır.

İyonomer membranlardaki iyonik grupların bir araya gelme durumu, iyonik kısımların rastgele dağılımı ile karakterize edilen diğer tür membranlardan oldukça farklı kütle aktarım özelliklerine neden olmaktadır. İyon değiştirici membranlarda, çok iyi tanımlanmış kuvvetlerin etkisiyle geçen akımdaki bileşenler ile etkileşen membran ve polimerlerin yapı ve özellikleri arasındaki ilişki hakkında yeterli bilginini bulunduğu literatürde belirtilmektedir (Dhingra and Sukhtej 1997). Ancak, hidrojen bağlanması, dipol-dipol etkileşimlerinin ve saçılım kuvvetlerinin neden olduğu seçicilik özelliği üzerindeki membran yapı bloklarının etkileri konusunda yeterli bilgi bulunmamaktadır.

Polimerik maddelerle kıyaslandığında, inorganik maddeler çoğunlukla yüksek ısısal ve kimyasal kararlılığa sahip maddelerdir. Fakat gittikçe artan bir öneme sahip olduğu halde inorganik maddelerin membran olarak kullanımında kısıtlılıklar bulunmaktadır. Membran üretiminde kullanılan inorganik maddeler; cam, seramik, metal ve zeoliti kapsamaktadır.

Seramik membranlar, zirkonyum oksit(ZrO_2) ve alüminyum oksit(Al_2O_3) gibi maddelerden oluşurlar. Seramik membranlar, sol-jel ve sinterleme yöntemi ile hazırlanırlar. Ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon işlemlerinde kullanılırlar. Seramik

madde olarak düşünölen cam membranlar(silika) katı-sıvı ekstraksiyonuyla hazırlanmaktadır (Battaglia 2000).

Metalik membranlar da metal tozlarının sinterlenmesiyle elde edilmektedir. Taşınım işlemini kolaylaştırmak ve fazlaştırmak için gözeneksiz metal membranlar, özellikle paladyum membranlar geliştirilmektedir.

İnorganik malzemeler arasındaki zeolit, iyon değiştirebilme, moleküler süzgeç olabilme, seçici adsorpsiyon yapabilme ve katalizör olabilme gibi avantajlarından ötürü yüksek verimli bir membran için en önemli adaylardan biri haline gelmiştir. Zeolit membranlarının gelişimi 1980'li yılların başlarına dayanır. Gaz ayırma işlemlerinde kullanılmak amacıyla hazırlanmış zeolit membranların bileşimi hakkında birçok araştırma yapılmış ve bu araştırmalar yayınlanmıştır. Ayrıca pervaporasyon işlemlerinde de zeolit membranların farklı şekillerde kullanımı önem arz etmektedir.

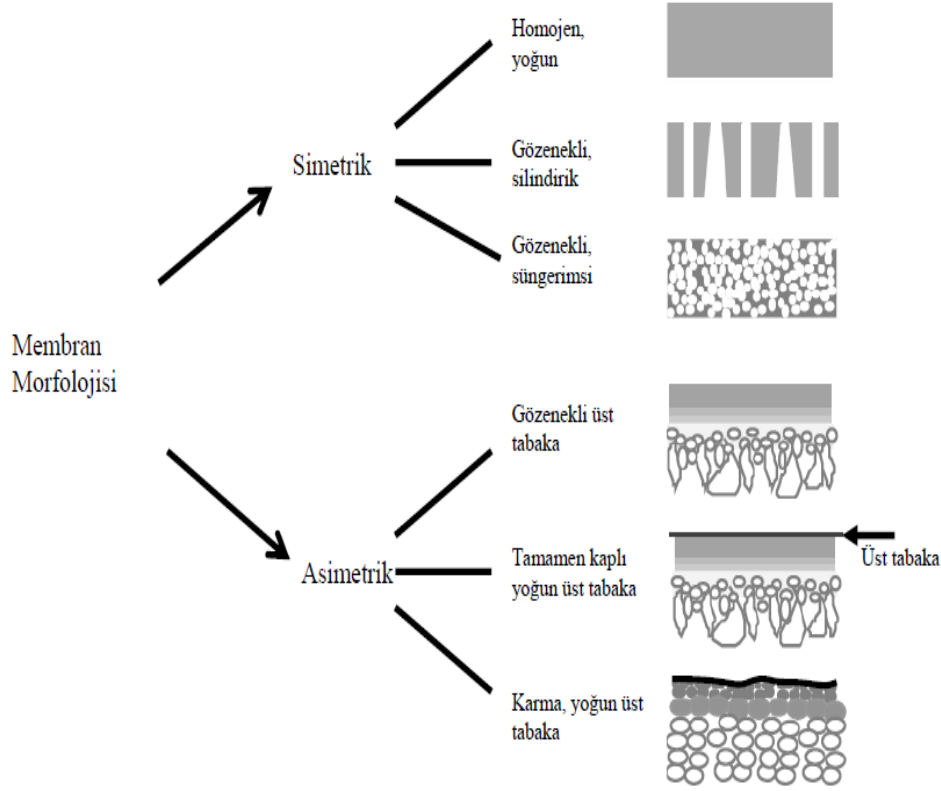
Zeolitler, toprak alkali ve alkali elementlerini de içinde barındırabilen, sulu alüminyum silikatlardır. Bir zeolit kristalinin en küçük yapı birimi AlO_4 veya SiO_4 dört yüzlüsüdür. Zeolitlerin en önemli özelliklerinden biri, bal peteğine benzer tek tip, mikro gözenekli bir yapıya sahip olmalarıdır. Bu mikro gözenekler, yine mikro pencerelerle birleşip tek, çift veya üç boyutlu boşluk sistemlerini meydana getirirler (Breck 1974).

Fiziksel görünümüne göre dört çeşit membran kullanılmaktadır. Bunlar; düz tabaka, spiral sargı, borusal(tübüler) ve boş tüptür. Çeşitli şekillerde oluşturulmuş membranlara ait verim özellikleri Çizelge 2.1'de belirtilmiştir.

Çizelge 2.1 Farklı şekillerdeki membranların performans özellikleri (Araujanlian 2001).

Özellikler	Düz tabaka ve çerçeve	Spiral sargı	Borusal Membran	Boş tüp
Sıkıştırma Yoğunluğu(g/cm ³)	200-400	300-900	150-300	10000-75000
Toplam akı(L/m ² .sa)	0,3-1,0	0,3-1,0	0,3-1,0	0,004-0,1
Akı yoğunluğu(1/gün)	60-400	90-900	45-300	36-2400
Besleme kanal çapı(mm)	5	1,3	13	0,1-1,0
Membran değiştirme yöntemi	Tabaka	Modül sistemi	Tüp	Tüp modül
Basınç düşümü kalan akı tarafı	Orta	Orta	Düşük	Yüksek
Besleme akım tarafı	Orta	Orta	Yüksek	Düşük
Konsantrasyon polaritesi	Yüksek	Orta	Yüksek	Orta
Askıda asılı katı madde birikimi	Düşük-orta	Orta-yüksek	Düşük	Yüksek

Membranların bir diğer sınıflandırılması da, yapı veya morfolojisine göre yapılmaktadır. Ayırma işlemlerindeki membran morfolojisi, ayırma stilini gösteren önemli bir özelliktir. Uygulanabilirliğine göre çeşitli membran morfolojileri kullanılır. Şekil 2.3'te de gösterildiği gibi membranlara simetrik ve simetrik olarak iki ana gruba ayrılmaktadırlar.



Şekil 2.3 Farklı membran morfolojisinin şematik olarak gösterilmesi (Breck 1974, Battaglia 2000).

Simetrik membranlar sınıfında üç alt grup yer alır (Battaglia 2000).

- Gözeneksiz homojen membranlar, kalınlıkları 10 μ m'den daha fazla olup, pervaporasyon ve gaz ayırma işlemlerinde kullanılır. Ayrıca polimer malzeme biliminin çalışma alanında yer almaktadırlar.
- Gözenekli silindirik membranlar, sulu çözeltilerden dna ve enzim tipi moleküllerin ayrılması gibi ufak çaplı laboratuvar çalışmalarında kullanılırlar.
- Gözenekli süngerimsi yapıdaki membranlar, gözenek çapı 0,2-5 μ m olan ve mikrofiltrasyon işlemlerinde kullanılan membranlardır.

Asimetrik membranlar da üç alt gruba ayrılmaktadır:

- Gözenekli membranlar, membran kalınlığı boyunca farklı gözenek boyutuna sahip membranlardır.
- Gözenekli üst tabakalı membranlar, gözenekli bir alt tabaka üzerine gözenek çapı daha küçük (5–500 nm) ikinci bir tabakanın yerleştirildiği membranlardır.

Bu şekilde tamamen kaplanmış membranlar çoğunlukla ultrafiltrasyon işlemlerinde kullanılmaktadır. Gaz ayırma işlemlerinde gözenekli üst tabaka, gazları Pouiseuille mekanizmasına ya da Knudsen difüzyon prensibine göre ayırmaktadır. Üst tabakanın yoğun olması, yani devamlı bir polimer faz olması halinde katı tanecikler tutularak yalnızca akışkan faz geçebilmektedir.

- Karma(kompozit) membranlar, destekleyici konumundaki bir membran üzerine homojen bir tabakanın yerleştirilmesi ile oluşturulmaktadır. Sıvı ve gazların ayrılmasında kullanılan ve yüzeyi tamamen kaplanmış olan bu karma membranlar, 1µm'den daha ince spesifik bir yüzeye sahip olmaktadır.

2.4 Membran Performansının Belirlenmesi

Membran proseslerinde performans değerlendirilmesi esasolarak iki parametre üzerinden yapılır. Bunlar “akı (J)” ve “zenginleşme oranı”dır. Membranda yüksek verimlilik için yüksek akı ve yüksek düzeyde zenginleşme oranı istenir.

2.4.1 Akı

Akı, birim zamanda membran birim alanından geçen akım miktarına denir. Genellikle $[Hacim/(Alan.Zaman)]$ formülüyle hesaplanır. Membran proseslerinde basınçla akı doğru orantılıdır. Membranın akışkanlığa karşı direnci ve içerisinde barındırdığı maddelerin molekül ağırlıkları arttıkça akı değerinde azalma gözlemlenir. İyi işleyen bir membran prosesinde akının kabul edilebilir bir seviyede kalması istenir. Akı değerleri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$J = V_p / (A_m \cdot t) \quad (2.1)$$

Burada;

J : Akı(L/m².saat)

V_p : Birim zamandaki süzüntü akımı hacmi(L)

A_m : Membran aktif kesim alanı(m²)

t : Zaman(saat)

2.4.2 Zenginleşme Oranı (%R)

İstenilmeyen maddelerin daha az molekül ağırlığına sahip olduğu durumlarda süzüntü akımı uzaklaştırılan maddeleri içermekte, elde edilmesi istenen maddeler ise konsantre akımda daha verimli hale gelmektedir. Bu olay zenginleşme oranı olarak ifade edilmektedir. Herhangi bir birimi olmayan zenginleşme oranı 0-1 aralığında değer alır. Fakat yaygın olarak % R değeri 0-100 aralığında değerler alır. “0” değeri tüm çözülmüş maddelerin membrandan geçtiğini, “100” değeri ise hiç madde geçemediğini gösterir. Proses işlemlerinde zenginleşme oranı(%R) aşağıdaki gibi hesaplanabilir (King and Starr 1992, Kaleli 2006).

$$\begin{aligned}\% R &= (C_b - C_p)/C_b \\ &= 1 - C_p/C_b\end{aligned}\quad (2.2)$$

Burada;

% R : Yüzde zenginleşme oranı

C_b : Besleme akımı konsantrasyonu

C_p : Süzüntü akımı konsantrasyonu

2.5 Membran Performansını Etkileyen Parametreler

Membran performansı akı ve zenginleştirme oranı terimleri ile açıklanabilir. Membran verimliliği, standart koşullarda membranın özelliklerine ve besleme suyunun kalitesine göre değişmektedir. Ayrıca; konsantrasyon farklılığı, basınç ve sıcaklığın etkisi de verim üzerinde oldukça etkilidir. Membranların verimliliğini etkileyen parametreler aşağıda açıklanmıştır.

2.5.1 Basınç

Akı, uygulanan basınç ile basınç farklılığına göre artar. Fakat membrana uygulanabilecek basınç sınırlıdır. Her daim basınç ile akı arasında doğru orantılı bir ilişki vardır (Koyuncu 2001). Normalden yüksek seviyede uygulanan basınç membranın yapısını bozmaktadır. Basınç etkili membran proseslerin por büyüklüğüne göre seçicilik gösterdikleri maddeler birbirinden farklıdır.

Membran yüzeyindeki yüksek basınçlardan etkilenen kırılma tabaka nedeniyle membranlardan yüksek basınçta da mekanik dayanıklılığının yüksek olması istenir (Aydınol 2009).

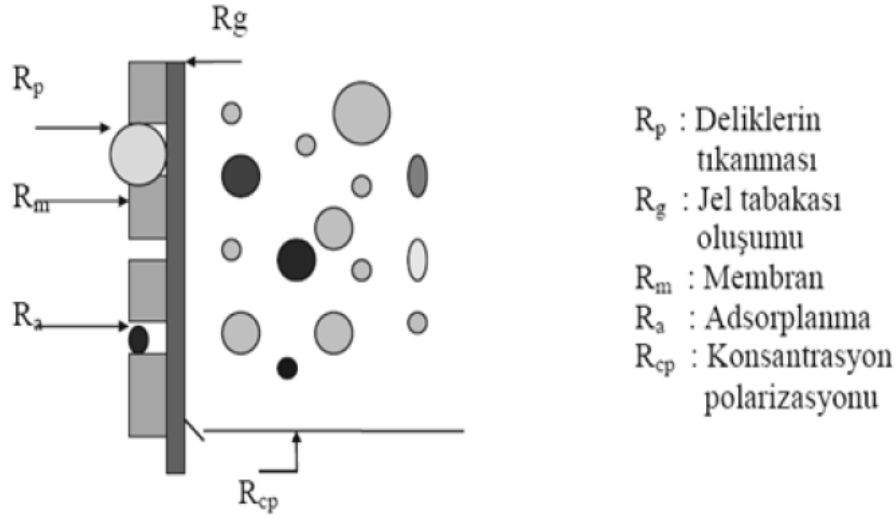
Membran biyorektörler kimyasal oksijen ihtiyacı ve biyolojik oksijen ihtiyacı konsantrasyonu yüksek atık suları biyolojik olarak etkin bir şekilde arıtılabilmektedir. Fakat diğer membran proseslere benzer şekilde tıkanma sorunu ciddi düşümlere neden olmaktadır (Gander 2000, Chang and Kim 2005). Biyokütle konsantrasyonuna bağlı olarak, süzüntü akısı trans membran basıncın artmasıyla artmaktadır. Kritik akıya gelindiğinde, süzüntü akısı basınçla orantılı bir şekilde artmamaktadır ve kritik akının üzerindeki işletme şartlarında membran yüzeyindeki biyokütle birikmesi kısıtlayıcı faktördür (Ognier 2004).

2.5.2 Sıcaklık

Sıcaklık, hem ozmotik basıncı hem su akımını etkiler. Geçirgenlik katsayısı, sıcaklıkla doğru orantılıdır. Sıcaklığın her 1°C'lik artışıyla membranın akı değeri % 3-5 oranında artmaktadır. En uygun çalışma sıcaklığı farklı soğutma sistemleri yardımı ile belirli aralıklarda tutulmalıdır. Standart sıcaklık 21°C olarak verilmektedir. Fakat 29°C'ye kadar sıcaklıklarda sorunsuz membran çalışmaları yapılabilmektedir. 29°C'nin üzerindeki 38°C'ye kadar olan sıcaklıklar membranın bozulmasını tetiklemekte olup uzun süreli çalışmalarda tercih edilmemelidir (Dhodapkar *et al.* 2007).

2.5.3 Konsantrasyon

Membrana giriş suyunun derişim değerinin, membranın verimliliği noktasında önemli etkisi olmaktadır. Giriş suyunun derişimi arttıkça, membrana uygulanan net basınç azalmakta ve buna bağlı olarak da zenginleşme oranı düşmektedir. Konsantrasyon polarizasyonu sebebiyle akıda düşüş meydana gelmiş ve bir tabaka oluşmuştur. Bu tabaka nedeniyle besleme suyu geçişi esnasında ekstra direnç meydana gelmiştir. Membran işletiminde meydana gelen direnç türleri Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Membran yüzeyinde meydana gelen direnç türleri (Koyuncu 2001).

Konsantrasyon polarizasyonunun neden olduğu etkiler:

- Membran yüzeyinde akı düşmesiyle ozmotik basınç artışı,
- Membran yüzeyinde ayrı bir jel tabakası oluşarak geçiş sırasında direncin artmasıyla birlikte gözeneklerin tıkanması,
- Bu tıkanmalar sonucunda membran prosesindeki meydana gelen performans düşüklüğü (Yalçın 1998).

Bu durumu minimuma indirmek ve kütle transferini artırmak için bir takım işlemler yapılmalıdır. Bu işlemler, membrandan geçişi sağlayan sıvıda membran yüzeyine yakın yerde iyi karışım oluşturmak, bu konsantrasyon polarizasyonu azaltmak için iyi bir ön arıtım uygulamak, belirli zaman aralıklarıyla oluşan kekleşmiş tabakayı geri yıkamayla azaltmaktır (Yıldız 2000, Kaleli 2006).

2.5.4 Membran Ömrü

Atık sudaki fenol, mantar, bakteri gibi maddelerin varlığı yüksek sıcaklık ve yüksek veya düşük pH değerleri membran ömrünü olumsuz yönde etkiler. Membranın ömrünün uzun olması aşağıdaki parametrelere sahip olmasıyla ilişkilidir:

- Çok yüksek seçicilik,
- Yüksek difüzyon katsayısı,

- Yüksek ayırma faktörleri,
- Düşük enerji ihtiyacı,
- Ölçeklendirme kolaylığı,
- Daha az sayıda ayırma kademesi,
- Düşük yatırım ve işletim maliyeti,
- Düşük konsantrasyondan yüksek konsantrasyona ayırma ve zenginleştirme,
- Askıda katı madde içeren çözeltilerin işlenebilmesidir (Pattillo 1995, Kısılık 2010).

2.5.5 Ön Arıtma

Membran sistemlerinin Toplam Çözünmüş Katı miktarı 10.000 mg/l'nin üzerindeki besleme akımlarına dolaysız bir şekilde uygulanmaması gerekir. Bununla beraber kalsiyum sülfat, kalsiyum karbonat, demir oksit ve hidroksitleri, mangan ve silikon, baryum ve stronsiyum sülfat, çinko sülfür ve kalsiyum fosfat gibi tabakalaşmış maddelerin ön arıtma ile kontrol altına alınmalıdır. Bu maddeler; kimyasal arıtım, pH ayarlaması, çöktürme ve filtrasyon gibi işlemlerle kontrol altına alınabilir. Gres ve yağ ise membranın yüzeyinde tabaka oluşturup tıkanmaya sebebiyet vereceğinden membran prosesi öncesinde uygun ön arıtmalarla giderilmelidir (Demiral 2008).

2.5.6 Membranın Temizlenmesi

Son yıllarda membranlarda tıkanmayı giderici kontrol mekanizmaları geliştirilmiş olmasına ve bu konuda değişik yöntemler kullanılmasına rağmen tıkanma membran proseslerinin günümüzde de yaşadığı en büyük sorun olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bazı mekanizmalarda membranlar otomatik bir şekilde, üretilen süzüntü suyu kullanılarak düzenli bir şekilde geri yıkanılır. Bu işlem sayesinde membran yüzeylerine zayıf bir kuvvetle tutunmuş materyallerin ortamdan uzaklaştırılarak tıkanan membran gözenekleri açılmaya çalışılır. Geri yıkama işleminde ilk başta yıkanacak modüldeki arıtım durdurulur, sonra basınçla dıştan içe doğru aşamalı olarak su basılır (Yiğit 2007).

Son zamanlarda ön plandaki tıkanma kontrolü stratejilerinden biri de kimyasalların eklendiği süzüntü suyunun kullanıldığı geri yıkamadır. Kimyasalların eklendiği çalışmalarda polimerlerle metal tuzların kullanıldığı flokülasyon ve çoğunlukla toz aktif karbonun kullanıldığı adsorpsiyon mekanizmaları üzerinden tıkanma kontrolü gerçekleştirilir. Bu çalışmalarda esas amaç çözünmüş tıkanmaya sebep olabilecek organik maddelerin tutulmasıdır. Bir diğer amaç; adsorban bir madde üzerine adsorplanarak sulu ortamdan giderilmesi yolu ile membran porları içerisinde sebep olacakları tıkanmayı minimuma indirmektir (Köseoğlu *et al.* 2009).

Bir başka temizleme yöntemi de hava ile sıyırmadır. Bu yöntemle geri temizleme su yerine basınçlı hava kullanılarak yapılır. İlk yöntemden tek farkı su yerine basınçlı hava kullanılarak temizliğin yapılmasıdır.

Bütün bu temizleme yöntemlerinin yetersiz kaldığı zamanlarda membran servis dışına alınarak yüksek miktarlarda kimyasal içeren başka bir tanka batırılarak birkaç saat bekletilir. Bu yöntem en yoğun temizleme yöntemidir. Prosese ve kullanılan atık suyun özelliğine bağlı olarak yılda birkaç kez yapılabilir (Yiğit 2007).

2.6 Membranların Kullanıldığı Yöntemler

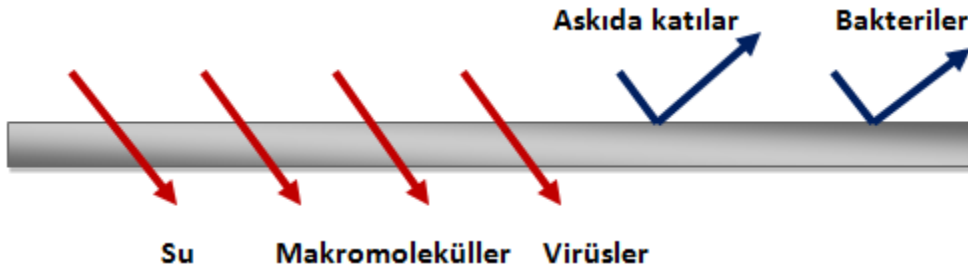
Membran prosesler uygulanan ayırma mekanizması, basınç ve kullanım şekline göre değişiklikler göstermektedirler. Bu proseslerin başlıcaları; MF, UF, NF, RO, gaz ayırma, diyaliz, pervaporasyondur. Bahsedilen membran proseslerinin sürücü kuvvetlerine etkisi Çizelge 2.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2 Membranların proseslerinin sürücü kuvvetlerine göre sınıflandırılmaları (Koyuncu 2001).

Membran Prosesi	Faz I	Faz II	Sürücü Kuvvet
Mikrofiltrasyon	Sıvı	Sıvı	Basınç
Ultrafiltrasyon	Sıvı	Sıvı	Basınç
Nanofiltrasyon	Sıvı	Sıvı	Basınç
Ters Ozmoz	Sıvı	Sıvı	Basınç
Gaz Ayırma	Gaz	Gaz	Basınç
Diyaliz	Sıvı	Sıvı	Konsantrasyon Farkı
Pervaporasyon	Sıvı	Gaz	Basınç

2.6.1 Mikrofiltrasyon(MF)

MF’de çapı 0,1-10 µm aralığındaki maddeleri tutabilmektedir. Burada kullanılan membranların yapısal özelliğinden kaynaklanan düşük dirençten dolayı yalnızca 2 bara kadar işletim yapılabilir (El-Abbasi *et al.* 2011). Burada membrana yapılan akım membran yüzeyine paralel ya da dik biçimde olabilmekte ve geçiş esnasında maddeler membran yüzeyinde biriktiğinden tabakalar oluşturarak tıkanmalara sebep olmaktadır. Bu tabakalaşma neticesinde alınan akı değerlerinde büyük oranda düşüş görülmektedir. Bu durumun oluşmaması için membranın temizlenmesi ya da yenisiyle değiştirilmesi gerekir (Kural 2000, Koyuncu 2001). Dik akışlı membran sisteminde membran üzerindeki oluşan tıkanmalar çapraz akışa göre çok daha yoğundur. Bu akış şeklinde maddeler membranın yüzeyine yapışır ve membran üzerinde bir kek tabakası meydana gelir. Zamanla alınan akı değerinde önemli ölçüde düşüş yaşanır. Fakat çapraz akışlı sistemlerde bu maddelerin yüzeye tutunma istekleri azalır. Artık membran için akı değerinde önemli derecede artış sağlamak mümkündür. Buradan hareketle çapraz akışlı filtrasyon sistemleri daha kullanışlıdır (Yıldız 2000). Mikrofiltrasyon prosesinin şematik gösterimi Şekil 2.5’de verilmiştir.



Şekil 2.5 Mikrofiltrasyon membran ayırma süreci (Yazıcı 2012).

MF prosesinde kullanılacak membranın seçimi çok önemlidir. Çünkü bu tür membran sistemler tıkanmaların olmaması için kullanılan kimyasal maddelere karşı direnç göstermeli, geniş bir pH aralığında aktif olmalı ve filtrasyon işlemi maddelerin membran yüzeyine tutulma isteğinde olmaması istenmektedir (Kural 2000).

MF membranları diğer membranlar için bir ön arıtım işlemi oluşturmaktadır. Çünkü bu ön arıtım NF ve RO membranlarındaki performansı yükseltmektedir. Bu membranlar meyve suları, sterilizasyon, yağ-su karışımının arıtımı için kullanılabilir (Koyuncu 2001).

2.6.2 Ultrafiltrasyon(UF)

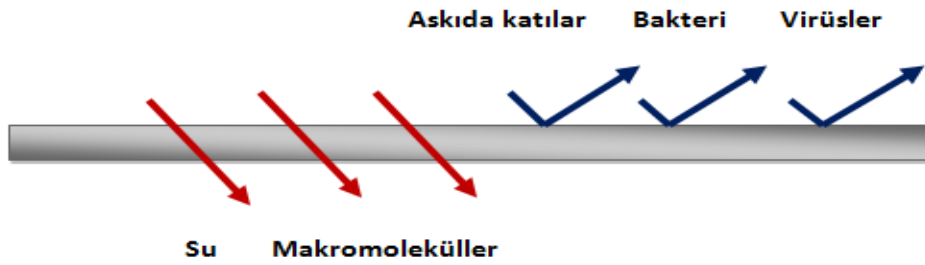
Bu yöntemde kullanılan membranlar yüksek yapıdaki çözünmüş maddeleri, mikroorganizma ve askıdaki maddeleri sudan arındırırlar. UF prosesi, gözenek çapı 1-100 nm aralığında olup, 10 bara kadar uygulanan basınca direnç gösterebilmektedir (Bayar 2010).

UF membranlardaki tutulan maddeler; moleküler büyüklüğe ve maddenin şekline göre farklılık göstermektedir (Bayar 2010).

UF membranlarının alt tabaka direnci daha zayıftır. MF membranları ile karşılaştırıldığında geçirimsizlik katsayıları daha azdır. Bu katsayı membranı meydana getiren malzemeye göre farklılık göstermektedir (Yıldız 2000).

UF membranları aynen MF membranları gibi çapraz akışlı çalışır, buna bağlı olarak membran üzerindeki kek tabakasının oluşma hızı azalmaktadır. Bu da membran temizliği için bir olumlu bir durumdur (Kaleli 2006).

UF membranları ilaç teknolojisi, kimya teknolojisi (yağ-su karışımları, boya geri kazanımı), tekstil teknolojisi ve deri teknolojisinde kullanılmaktadır (Taşıyıcı 2009). Ultrafiltrasyon prosesinin şematik gösterimi Şekil 2.6'da verilmiştir.

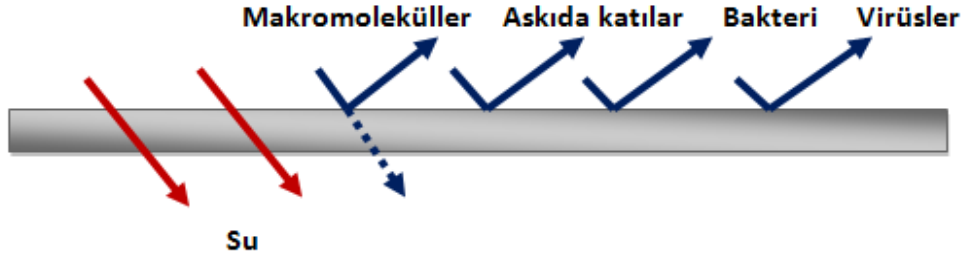


Şekil 2.6 Ultrafiltrasyon membran ayırma prosesi (Yazıcı 2012).

2.6.3 Nanofiltrasyon(NF)

NF' de kullanılan membranlar RO membranları kadar iyi su kalitesi vermemekte fakat RO'dan daha az basınca ihtiyaç duymaktadır. NF membranlarının çalışma basıncı 10 ile 20 bar arasında değişebilmektedir. Bu membran türü iyi bir spesifik iyon özelliğindedir. Fakat çift yüklü iyonlarda giderim verimi tek yüklü iyonlara kıyasla daha iyi sonuç vermektedir (Koyuncu 2001, Koçak 2007).

NF membranları; mekanizma çözünme-difüzyon modeline göre oluşmaktadır. NF membranları; nitrat gideriminde, tuzlu peynir sularının arıtılmasında ve atıksuların geri kazanmasında kullanılırlar (Yıldız 2000, Koyuncu 2001). Nanofiltrasyon prosesinin şematik gösterimi Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 2.7 Nanofiltrasyon membran ayırma prosesi (Yazıcı 2012).

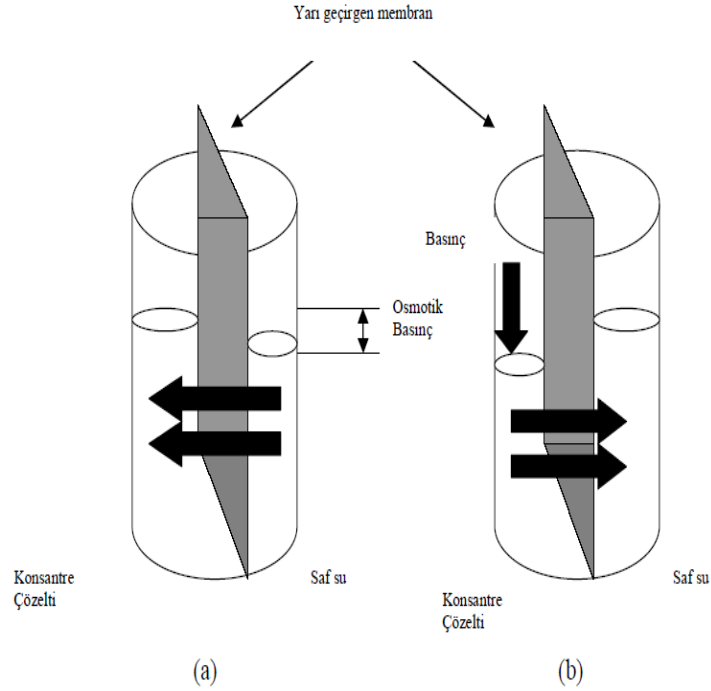
2.6.4 Ters Ozmoz(RO)

Ters ozmoz en çok kullanılan membran proseslerindedir. Ters ozmoz, çok düşük moleküler ağırlıktaki inorganik tuzların ve küçük organik moleküllerin çözeltilerinin giderilmesinde kullanılır (Kural 2000). RO membranları çözünmüş bütün organik ve inorganik maddelerin sulardan uzaklaştırılmasını sağlayan, çözünme-difüzyon modeline göre işleyen bir sistemdir (Koyuncu 2001). Ters ozmoz kavrayabilmek için ilk başta ozmoz kavramak gerekir. Ozmoz: İki değişik konsantrasyondaki çözeltinin yarı geçirgen bir engel ile ayrılması neticesinde seyreltik bölümden daha yoğun bölüme doğru geçiş süresince gerçekleşir. Her iki bölümde konsantrasyonlar eşitleninceye kadar ozmoz olayı sürer. Ters ozmoz ise yoğun bölüme basınç uygulayarak, gerçekleşen ozmoz olayının tersine dönmesini sağlamaktır. Bu şekilde yeterince basınç altında yoğun bölümden seyreltik bölüme yarı geçirgen membran öncülüğünde su geçişi olur.

Genellikle kullanılan RO membranları kompozit ya da asimetric yapıdadır. RO’da kullanılacak membranların uzun çalışma periyodu, yüksek sıcaklık, yüksek klor konsantrasyonu, biyolojik ve kimyasal etkilere ve geniş ölçekli pH aralıklarına karşı direnç göstermesi beklenir.

RO membranları açık yapılı poroz ya da yüksek dirençli ve yoğun nanoporoz membranlar olarak bilinir. İnce, yoğun ve yüksek dirençli membran yüzeyi kullanımından ötürü yüksek basınç(30-100 bar) işlemlerine uyum sağlamaktadır (Kural

2000, Koyuncu 2001). Ozmoz ve ters ozmozun şematik gösterimi Şekil 2.8'de

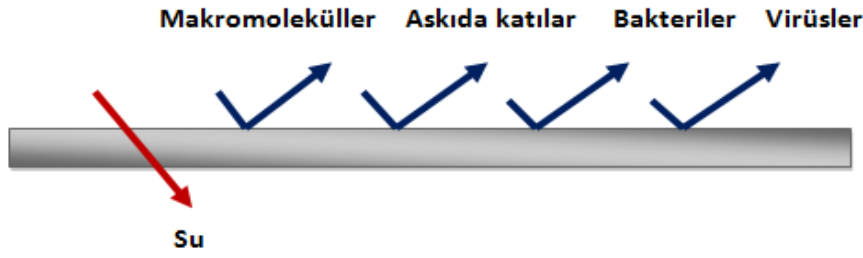


verilmiştir.

Şekil 2.8 Ozmoz(a) ve ters ozmoz(b) sistemlerinin şematik anlatımı (Sımmaz 2007).

Ters ozmoz ile anyon ve katyon gibi iyonik yapı ve boyutları 0,0001-0,001 μm olan suda çözünebilen maddeleri gidermek mümkündür. RO membranların gözenek çapları çok küçük olduğundan tıkanma riskleri oldukça fazladır. Tıkanma olmaması için RO' dan önce iyi bir ön arıtma işlemi gerekir.

RO ilk önce deniz ve kuyu suyu ortamında kullanılmış, tekstil teknolojisinde renk gideriminde, elektro kaplama teknolojisinde metal geri kazanımı, mezbaa atık sularının arıtımı, gıda teknolojisinde geri kazanım, sızıntı suyu arıtımı, kağıt teknolojisinde renk giderimi ve madencilikte uygulanmaktadır (Koyuncu 2001). Ters ozmozun şematik gösterimi Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.9 Ters ozmoz membran ayırma prosesi

2.6.5 Gaz Ayırma

Gaz geçirgenliği gaz boyutunun küçülmesi ve çözünürlüğünün artmasıyla yükselmektedir. Gözenekli, gözeneksiz ve asimetrik membran çeşitlerinde gaz ayırma verimliliği değişkenlik göstermektedir. Gözenekli membranlarla gaz ayırımı düşük oranda seçicilik ve yüksek akı oluştururken gözeneksiz membranlar yüksek oranda seçicilik ve düşük akı oluşturur. Genellikle ince film kompozit polimerik membranlar kullanarak havadan O_2 ya da N_2 ayrılması (polisülfon, silikon kauçuk, etilselüloz, polianilin membranlarla), hidrokarbonlardan CO_2 ve H_2S ayrılması (polisülfon, selüloz asetat, etilselüloz, polieterimid membranlarla), havadan hidrokarbon buharlarının ayrılması (silikon kauçuk membranlarla) ya da CH_4 ve NH_3 'den H_2 ayrılması (polisülfon membranlarla) gibi işlemler mevcuttur. Kullanılan membran modülleri çoğunlukla spiral-sargılı ve içi boş lif modülleridir.

Membranların gaz ayırmada kullanılmasının düşük yatırım maliyeti, düşük enerji tüketimi ve kolay işletme gibi üstünlükleri olduğundan petrokimya ve kimya teknolojilerinde yoğun bir şekilde kullanılmaya başlamıştır (Gönüllü 2004).

Hatta, var olan sistemde yeni geliştirilen membranların kolaylıkla kullanılabilmesi ve istendiği takdirde daha büyük sistemlerde uygulanabilirliği bu metodu üstün kılmaktadır (Kohl and Nielsen 1997).

Çizelge 2.3 gaz ayırma proseslerinin uygulama alanlarını özetlemektedir. Membran prosesiyle O_2/N_2 , CO_2/CH_4 , H_2/N_2 , He/hava, $H_2O/hava$ ve H_2/CH_4 gaz karışımları ayrılabilir. H_2 geri kazanımı, havadan N_2 oluşumu ve doğalgazın saf hale getirilmesi gibi endüstriyel uygulamaların başında yer alır (Kohl and Nielsen 1997). Saflaştırılan veya geri kazanılan H_2 gazı, yakıt hücreli araçlarda, yakıt hücreleri kullanılarak etkin

olmayan enerji üretiminde veya sürdürülebilir bir enerji sistemine ulaşmak için alışlagelmiş motorlarda kullanılacak temiz ve güvenilir potansiyel bir enerji kaynağıdır. H₂ gazı üretiminin % 80'i hidrokarbonların işlenmesiyle elde edilebilir. Bunun yanı sıra kömürün gazlaştırılması, suyun elektrolizi gibi metotlar da H₂ gazı üretiminde önemli pay sahibidirler (David *et al.* 2012). Havanın saflaştırılmasıyla elde edilen N₂ gazı kimyasal uygulamalarda pasif ortam oluşturmak amacıyla kullanılmaktadır.

Çizelge 2.3 Gaz ayırmanın endüstrideki bazı uygulama alanları (Goh *et al.* 2011).

Gaz Ayırma	Uygulama Alanı
O ₂ /N ₂	Oksijen zenginleştirme, inert gaz üretimi
H ₂ /Hidrokarbon	Rafineri ürünlerinden hidrojen geri kazanımı
H ₂ /N ₂	Amonyak tavsiye gazı
H ₂ /CO	Sentez gazı oranı
CO ₂ /Hidrokarbon	Asit gazı işleme, sera gazı yakalama
H ₂ O/Hidrokarbon	Doğalgaz dehidrasyonu
H ₂ S/Hidrokarbon	Asitli gazların işlenmesi
He/Hidrokarbon	Helyum ayırma
He/N ₂	Helyum geri kazanımı
Hidrokarbon/Hava	Hidrokarbon geri kazanımı
H ₂ O/Hava	Havanın kurutulması

Dünyada araştırmacılar, bir yandan enerji ihtiyacını karşılamak için yeni metotlar keşfetme çabasında, bir yandan da var olan doğal enerji kaynaklarının en fazla verimle kullanılması için çaba göstermektedirler. Çevre dostu yakıt olarak belirtilen doğalgazın kullanımı her geçen gün yaygınlaşmaktadır. Bundan dolayı gaz ayırma metodu doğalgazın başlıca uygulama alanlarından biri haline gelmiştir.

2.6.6 Diyaliz

Uzaklaştırılmak istenen iyon için membranın her iki bölgesindeki iyonların derişim farklarından yararlanır. Çözünen maddeler tutulur ve mikro çözeltiler(düşük molekül ağırlığındaki) ile su geçer. Bu proses genellikle tıpta kullanılır.

Diyaliz, endüstriyel alanda kullanılmamasına karşın böbrek yetmezliği olan hastalardaki kandan zehirli metabolitlerin uzaklaştırılması gibi önemli bir kullanım alanı vardır ve büyük miktarlarda kullanılır. Zamanla birçok değişime uğrayan diyaliz bugün 1m²'lik membran alanına sahip modüller arasında içi boş olan lif membranlardan üretilirler. Kanla aynı seviyede tuz oranına sahip diyaliz çözeltilinde çözelti liflerin dışından çapraz akımla pompalanırken, kan liflerin merkezinden dolaşıma dahil edilir.

Kandaki üre, kreatinin ve diğer düşük molekül ağırlıklı yıkım ürünleri lif duvarından difüzyona uğrarlar ve tuz çözeltilisiyle ortamdan uzaklaştırılırlar. Ayırma işlemi için itici güç derişimi gradyenedir. İşlem çok yavaş ilerler ve uzaklaştırılması gereken metabolit miktarı birkaç saatte gerçekleşir. Haftada bir ya da iki kez uygulanması gerekir.

Diyalitik ayırmalar belli şartlarda çözünen ve membran arasındaki iyonların geri itilmesi ile gerçekleşir. Bu olaya Donan diyalizi(DD) denir. DD membranların belirli iyonların geçişini engellemesi prensibine dayanır. Diyalizin diğer bir çeşidi de uçucu gazların bir sıvıdan diğer bir sıvıya aktarılmasıyla gerçekleşir ve gaz teması olarak adlandırılır (Duran 2012).

2.6.7 Pervaporasyon

Organik/su karışımlarının ayrılabilmesi için kullanılan pervaporasyon prosesine olan ilgi zamanla artmaktadır. Yeni gelişmekte olan bir membran ayırma prosesidir. Verici karışımı, atmosferik basınçtaki yoğun bir membranın bir yüzeyi ile direk temas halindedir. Membranın diğer yüzeyi vakum ya da sürücü, tepkimeye girmeyen bir gazla düşük basınçta tutulur. Geçen bileşen buhar olarak elde edilir ve yoğunlaştırılır. Pervaporasyonda ayırma için gerekli itici güç besleme akımından geçen akıma doğrudur. Membran ayırma işlemi boyunca kimyasal potansiyel farkı vardır. Ayırma işlemi sıvı bileşenlerin membran içinde spesifik çözünmesi ve membrandan değişik difüzyon hızlarında geçmesi ile açıklanabilir. Homojen bir membrandan bileşenlerin taşınması çoğunlukla çözünme-difüzyon olayı ile nitelendirilmektedir. Pervaporasyon; sıvı karışımların bilhassa da azeotropik karışımların ayrılmasında, distilasyona oranla

çok daha etkili ve ucuz bir prosesdir. Bundan dolayı pervaporasyon üzerindeki araştırmalar çok geniş çaplı ve yoğun bir şekilde devam etmektedir. Pervaporasyon işlemleri genellikle şöyle verilir:

- Organik çözücülerin dehidrasyonu
- Sulardan organik bileşenlerin giderilmesi
- Organik-organik karışımların ayrılması

2.7 Membran Teknolojisinin Diğer Ayırma İşlemlerine Göre Avantaj ve Dezavantajları

Membran proseslerini avantajlı hale getiren etmenler kısaca şöyle özetlenebilir:

- Membranı oluşturan malzeme zararlı kimyasallardan oluşmaz,
- Membran prosesleri çoğunlukla atmosferik şartlarda işlem görür,
- Ek kimyasallara gerek yoktur,
- Tutuklanacağı maddeler için(protein, enzim, katalizör) zehir etkisi taşımaz,
- Yapı maddesi ve kullanım modülü farklılığına sahiptir,
- Proseslerde kurulması ve işletilmesi basittir,
- Reaksiyon sistemlerinin kullanımında işlem performansı fazladır,
- Maliyeti azdır (Strathmann 1988, Ravanchi 2009).

Membranlarda arıtma işlemi tek bir ortamda gerçekleştiği için sistem kontrol ve mekanik açıdan geleneksel sistemlere göre daha karmaşıktır. Fakat % 100 otomasyon neticesinde işletim basitleşir. İşletim esnasında zamanla membranın gözenekleri tıkanır ve arıtılmış su akışı düşer. Bunu önlemek için belirli periyotlarda basınçlı hava/su ve kimyasallarla(sitrik asit ve sodyum hipoklorür) gözenekler temizlenir. Bütün bu temizlik işlemi otomatik olarak yapılır. Fakat bu kimyasallar için az hacimlere de dahi biriktirme amacıyla depolama tankları lazımdır (Kitis 2003).

Membranlardaki tıkanma membranın geçirgenliğini kısıtlar. Dolayısıyla da, birim membran alanı başına arıtılmış temiz su üretiminde azalmaya sebep olur.

Tanecikli madde ya da mikropların sebep olduğu kirlenmenin giderimi için hazırlanmış membranlarda tıkanma, materyallerin membran yüzeyinde veya membran gözeneklerinde birikmesi sonucunda oluşur. Azalmış süzüntü akısının kimyasal ya da mekanik işlemlerle tekrar arıtılabildiği tıkanmalar “geri dönüşümlü” tıkanmalar olarak nitelendirilir. Hatta “geri dönüşümsüz” tıkanmalardaaysa azalan süzüntünün akısı tekrar orijinal miktarlara çıkamaz (Kitis 2003).

Membran tıkanmasından kaynaklı dezavantajları ortadan kaldırmak veya azaltmak için aşağıdaki işlemler uygulanabilmektedir:

Fiziksel yöntemler: Membran tıkanmasını engellemek için havalandırma, geri yıkama gibi fiziksel işlemler uygulanabilir. Membranın havalandırılması, katı maddelerin askıda kalmasına sebep olurken membran yüzeyinin de temizlenmesine olanak sağlar. Yükselen hava kabarcıkları, membranın yüzeyinde oldukça fazla kesme kuvveti oluştururlar. Hava debisine bağlı olarak süzüntü akısı da önemli derecede farklılaşır. Geri yıkama işlemi ile membran üzerindeki kekleşmiş tabaka rahatlıkla giderilebilir (Singh 2006).

Kimyasal yıkama: Membranın tıkanmasını azaltmak için günde birkaç kereden haftada bire kadar belirli aralıklarda kimyasal yıkama uygulanabilir. Alkali çözeltiler(NaOH) organik tıkanıklığı, asit çözeltiler(HCl, H₂SO₄ gibi) inorganik tıkanıklığı ve biyositler(Cl₂, H₂O₂ gibi) biyolojik kirliliği giderirler (Singh 2006).

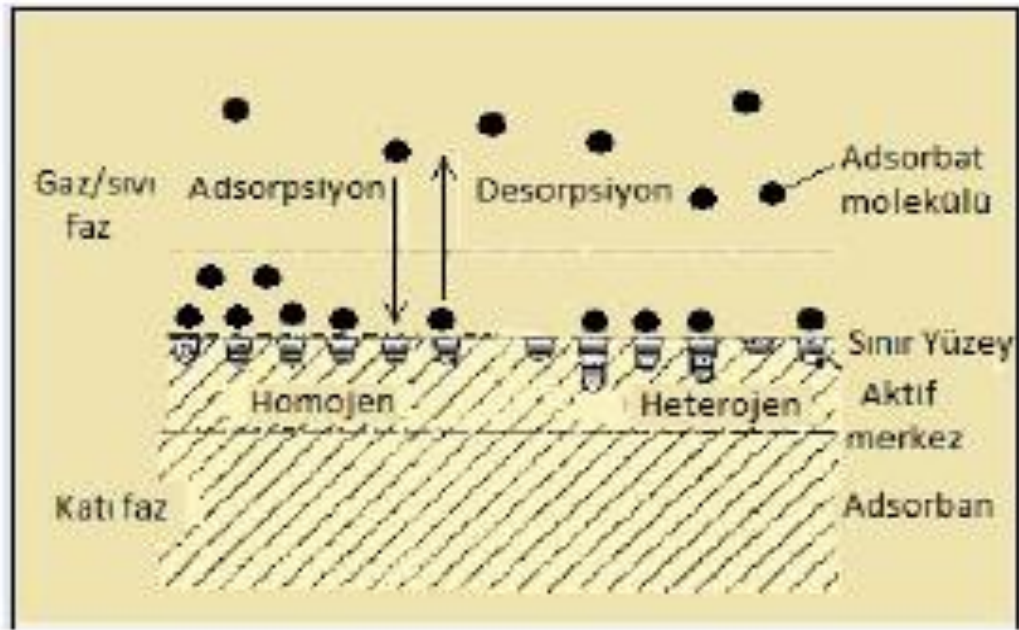
Sistemi kritik akıdan daha düşük bir akıda çalıştırmak: Kritik akı sistemin hidrolük verimini düşürmeden uygulanabilecek maksimum akı olarak tanımlanır. Teorik olarak sistemin bu kritik akıdan daha düşük bir akı ile işlem görmesi durumunda membran içinde kirlenici çoğalmayacak ve hidrolük verim düşmeyecektir.

2.8 Adsorpsiyon

Geniş bir uygulama alanı olan adsorpsiyon olayı iki fazı birbirinden ayıran ve ara yüzeylerde meydana gelen bir tutunmadır. Bu tutunma olayı sıvı-sıvı, gaz-sıvı, gaz-katı ve sıvı-katı fazları ara yüzeylerinde olabilmektedir. Adsorpsiyon işleminin esası fazlar arası yüzeyde moleküllere etki eden dengelenmemiş kuvvetlerin ortamda bulunan diğer moleküllerle etkileşim sonucu dengelenmesidir (Singh and Yadava 2003).

Adsorpsiyon işlemlerinde, adsorplayan faz adsorban ve adsorplanan maddeler adsorbat olarak bilinir. Sıvı veya gaz çözeltiler içindeki kirleticilerin katı adsorban yüzeyi üzerinde tutularak giderilmesi biçiminde uygulanan adsorpsiyon işlemi, çevre kirliliğini azaltmada önemli bir konumdadır (Başural 1996, Dinçer 2007).

Şekil 2.10’da görüldüğü gibi iyon veya moleküllerin katı adsorban yüzeyindeki aktif merkezlere tutunması, adsorpsiyon olarak bilinirken, tutunan adsorbatların yüzeyden ayrılması desorpsiyon olarak bilinir (Bozkaya 2010).



Şekil 2.10 Katı adsorban yüzeyinde gerçekleşen adsorpsiyon ve desorpsiyon (Yuana *et al.* 2009).

Sıvı fazdaki adsorbatın katı adsorban yüzeyine adsorpsiyonu dört adımda gerçekleşmektedir. Adsorpsiyon işleminin ilk aşamasında sıvı faz içerisindeki adsorbat molekülleri katı-sıvı ara yüzeyine doğru difüzyon olmaktadır. Film difüzyonu ya da film taşınımı olarak bilinen ikinci aşamada, adsorbat molekülleri sıvı-katı ara yüzeyindeki statik bölümden esas adsorbanın gözeneklerine doğru yol alır. Üçüncü adımda gözenek difüzyonunda, adsorbatların kendi büyüklüklerine göre gözeneklere taşınımları gerçekleşir. Dördüncü adım olan ve adsorpsiyon işleminin olduğu “sorpsiyon” aşamasında ise taşınan adsorbat molekülleri uygun büyüklüklerdeki gözeneklere yerleşir (Onyanha *et al.* 2008).

Adsorpsiyonun teknolojideki başlıca uygulamaları; atık su arıtımı, su arıtımı, hava veya diğer gazlardan nemin giderilmesi, tat, koku ve renk giderimi ile organik maddelerin, ağır metallerin uzaklaştırılmasıdır. Adsorpsiyon işleminin endüstrideki uygulamalarına başlıca örnekler vermek gerekirse:

- Su buharının havadan ya da diğer gazlardan giderilmesi,
- Endüstriyel gaz karışımı içerisindeki CO₂, SO₂ gibi safsızlıkların giderilmesi,
- Gaz ya da sıvı karışımlardan istenmeyen kokuların giderilmesi,
- Şeker çözeltilerinde ve petrol ürünlerinden rengin giderilmesi,
- Organik sıvılar içerisinde çözünen suyun uzaklaştırılması söylenebilir.

Adsorpsiyonda, adsorban yüzeyi ile adsorbat molekülleri arasındaki etkili olan kuvvetler dikkate alındığında adsorpsiyon işlemi üçe ayrılabilir.

2.8.1 Fiziksel Adsorpsiyon

Fiziksel adsorpsiyonda adsorban yüzeyindeki aktif bölgeler ile adsorbat molekülleri arasındaki zayıf Van der Waals kuvvetleri etkilidir. Fakat, adsorbat ve adsorban arasında herhangi bir elektron alışverişi veya elektron paylaşımının olmadığı bir adsorpsiyon türüdür. Katı adsorban yüzeyinde sık olmayan bir tabaka oluşturan adsorbat molekülleri hareketli durumda olduğundan işlem çift yönlüdür. Fiziksel adsorpsiyon için geçerliliği olan ve desorpsiyon olarak tanımlanan bu durumda katı yüzey üzerinde yüksek konsantrasyonda bulunan moleküller katı yüzeyinden diğer faza hareket edebilmektedirler (Florence and Siepmann 2009).

Fiziksel adsorpsiyonda gereken aktivasyon enerjisi az olduğundan adsorpsiyonun olabilmesi için düşük sıcaklık aralığı yeterlidir. Fiziksel adsorpsiyonda adsorbat, katı adsorbanın kristal yapısı içine giremez ve çözünemez; fakat yüzeyi tamamen kaplar. Bundan dolayı fiziksel adsorpsiyondan sonra adsorban kolaylıkla yenilenecek bir dahaki kullanıma hazır hale gelir. Hatta ortamdaki giderilen moleküllerin geri kazanımı da mümkündür. Çift yönlü olması ve düşük sıcaklıklarda gerçekleşmesi sebebiyle fiziksel adsorpsiyon endüstriyel işlemlerde tercih edilir (Filiz ve Özçimen 2007, Othmer 2008).

2.8.2 Kimyasal Adsorpsiyon

Kimyasal adsorpsiyonda, adsorbat molekülleri adsorban yüzeyine fiziksel adsorpsiyona göre Wan der Waaals kuvvetlerinden çok daha kuvvetli olan kovalent veya iyonik bağlarla bağlanmaktadır. Kimyasal adsorpsiyonda adsorbatın elektronik dağılımı önemli ölçüde farklılaşarak adsorban yüzeyinde monomoleküler bir tabaka oluşturur. Adsorban yüzeyinin tamamı monomoleküler tabaka ile örtüldüğünde adsorbanın adsorlama limiti dolmaktadır.

Kimyasal adsorpsiyonun enerjisi fiziksel adsorpsiyon enerjisine göre daha fazladır. Kimyasal olarak adsorplanmış moleküllerin yüzey üzerinde serbest olarak hareket etmesi söz konusu değildir. Kimyasal adsorpsiyon hızı fiziksel adsorpsiyona kıyasla daha azdır. Çünkü kimyasal adsorpsiyon işlemleri belirli bir aktivasyon enerjisi ile karakterize edilirler. Bu nedenle yalnızca belirli bir minimum sıcaklığın üstündeki sıcaklıklarda işlem hızlı gerçekleşir. Kimyasal adsorpsiyon özellikle kimyasal reaksiyonlardaki katı katalizör işlemlerinde aktif olarak karşımıza çıkmaktadır.

2.8.3 İyon Değişim Adsorpsiyonu

Literatürde iyonik adsorpsiyon olarak da bilinen değişim adsorpsiyonunun esası elektrostatik çekim kuvvetlerinin etkisinde iyonların adsorban yüzeyindeki yüklü bölgelere tutunması olayına dayanır. Buradaki esas olan adsorban molekülünün gözenek yapısı ve adsorbanla adsorbat moleküllerinin iyon yükleridir. Adsorbanla zıt elektrik yüküne sahip olan iyonlardan yükü çok olan ve iyon çapı az olanlar daha çok adsorplanırlar. Ortamdaki iyonların aynı yüklü olması halinde daha küçük iyon çapındaki moleküller yüzey tarafından kullanılırlar.

Adsorpsiyon işleminin yukarıda özetlenen adsorpsiyon türlerinden yalnızca biri ile açıklanması oldukça zordur. Birçok adsorpsiyon işleminde farklı adsorpsiyon türleri birlikte ya da arka arkaya gözlemlenmektedir.

2.9 Ağır Metaller Hakkında Genel Bilgiler

İnsanoğlu geçmişten beri doğadan çok farklı yönlerden yararlanma yoluna başvurmuş ve geçen süre zarfında artan bir oranda gelişme göstermiştir (Sur 1998). Doğa insan ilişkileri endüstrinin gelişmesiyle günümüzde çok ileri bir seviyeye varmış ve bu gelişim doğadaki dengeyi bozarak bir takım sorunları da beraberinde getirmiştir.

Dünyadaki hızlı teknolojik gelişmeler, nüfus artışı ve kentleşme büyük boyutlara varan bir çevre kirliliğine sebep olmuştur. Çevre kirlenmesinin neticesinde insan ve hayvan sağlığı ciddi boyutta bir tehdit altına girmiştir (Ekşi 1981, Mert 1993). Bundan dolayı çevre sorunları artık uluslararası alanda tartışılmakta ve gereken önlemlerin alınması için geniş ölçekli araştırmalar devam etmektedir.

Her çevre sorununun temelini su, hava ve topraktan en az birinin doğal bileşiminin bozularak kirlenmesi oluşturur. Bunlardan birçoğunun bir arada etkili olması çevre sorunlarını çok daha kompleks bir hale dönüştürmüştür. Bütün canlı ve cansız varlık için gereken olan hava, su ve topraktaki en ufak olumsuz bir değişim sonunda kendisinden yararlanan canlıları da etkilemektedir. İklimi de olumsuz yönde etkileyen, havayı toprağı ve suyu kirleten farklı kimyasal atıklar doğadaki kirlenmenin esas sebebi olarak gösterilmektedir. Canlı varlıklara özellikle de insanlara birçok yarar sağlayan doğanın yapısı teknolojinin gelişmesiyle tahrip edilmektedir. Toprağın, havanın ve suyun kirlenmesiyle birtakım bulaşmalar yoluyla bitkisel ve hayvansal gıdaların doğal bileşiminde değişiklik olmaktadır. Gıda maddelerine bulaşan zehirli kirleticiler içinde insan sağlığını en çok tehdit eden ve zararlı olarak bilinenler; ağır metaller, hidrokarbonlar, pestitler gibi kimyasal bileşiklerdir.

Büyük şehirlerde sanayileşme ve kentleşme nedeniyle endüstriyel ve sanayi atığı maddelerin çoğalması, nüfus artışı ile birlikte araç sayısının trafik yoğunluğunu artırması hava kirliliğinin önemli nedenlerini oluşturur. Ağır metallerin atmosferdeki yüzeyleri çevre sorunları ve sağlık yönünden şehirlerde ve kentlerde önemli sıkıntılar oluşturmaktadır. Trafik, meskenler ve endüstriyel kirleticilerden kaynaklanan metal derişimlerinin ve metal birikmelerinin önceden hesaplanması insan sağlığının korunması bakımından önlem alınmasına katkıda bulunur.

Atmosferde ve çevremizde bulunan ağır metaller toksik ve kümülatif etkileri sebebiyle en önemli kirleticiler içerisinde (Vural 1984). Atmosferde bulunan kirleticiler, çeşitli hava akımları ve diğer atmosferik olaylarla çok uzak yerlere taşınabilir. Zamanla yeryüzüne çökerek çok geniş su ve kara alanlarının, dolayısıyla bitkisel besinlerin, hayvansal besinlerin ve su ürünlerinin de kirlenmesine sebep olurlar (Şanlı 1984, Baysal 1989). Yeryüzünde doğal olarak bulunan doksan elementten altmış tanesi insan ve hayvan vücudunda yer alır.

Arsenik, kurşun, kadmiyum, civa gibi elementlerin zehirli etkilerinin olduğu bilinmekte, belirli dozlardan sonra sağlık üzerine olumsuz etki yaptıkları ve zehirlenmelere yol açtıkları bilinmektedir (Klaassen 1986). Bu elementlere “ toksik metal ya da ağır metal” denir. Toksik etki gösteren maddeler suda düşük derişimlerde bulunmaları halinde bile insan sağlığına zarar vererek hastalıklara ve ölümlere sebep olmaktadır. Eser miktarda bile zehir etkisi yapabilen bu maddeler arasında en önemli grubu: Ag, Be, Cd, Pb, Mn, Hg, Ni, Se, V, Zn gibi elementler oluşturur. Bu elementlerin birçoğu ağır metal grubuna girmektedir. (Ekşi 1981).

Son yıllarda sağlık kuruluşları, çevre kirliliğine bağlı olarak bulaşan zehir etkisine sahip metallerin tüketici yönünden sağlık sorunları oluşturduğu gerekçesi ile konuya dikkat çekerek, buna ilişkin çalışmalarını artırmaktadırlar. Gıda-Tarım Örgütü(FAO) ve Dünya Sağlık Örgütü(WHO) bünyesinde barınan Gıda Kodeks Komisyonu günümüz endüstrisinin olanaklarını göz önünde bulundurarak, farklı gıdalarda en çok bulunabilecek zehir etkisi gösteren metal miktarlarını belirlemiştir. Geçici olan bu kararlar kişilerin vücutlarına kabul edebileceği maksimum miktardaki toksik metal miktarları da belirlenmiştir (Çizelge 2.4). Bu belirlemede gıda maddesinin türü ve çevresel faktörlerin de göz önüne alındığı söylenmiştir (FAO-WHO 1984).

Çizelge 2.4 FAO-WHO Birleşik Gıda Kodeksi Tarafından Önerilen Ağır Metal Miktarları

Ağır metal maksimum miktar	Gıdalarda bulunabilecek maksimum miktar	Vücut ağırlığı başına alınabilecek maksimum miktar
Arsenik	0,1-1,0 mg/kg	0,014 mg/kg(haftalık)
Kadmiyum	0,05 mg/kg	0,0067-0,0083 mg/kg(haftalık)
Bakır	0,1-5,0 mg/kg	0,35-3,5 mg/kg(haftalık)
Demir	1,5-15,0 mg/kg	5,6 mg/kg(haftalık)
Kurşun	0,1-2,0 mg/kg	0,05 mg/kg(haftalık)
Kalay	150-250 mg/kg	140 mg/kg(haftalık)
Çinko	5mg/kg	2,1-7,0 mg/kg(haftalık)

Gıdalara zehir etkili element bulaşmaları çok farklı kaynaklardan olmaktadır. Bu kirletici kaynaklardan doğaya bulaşan toksik metaller doğadan bitkinin yapısına geçmekte, insanlar ve hayvanlar tarafından gıda olarak alınmakta ve uygulanan değişik teknik işlemlerle tekrar doğaya dönmekte ya da canlı vücudunda birikmektedirler. Teknolojinin gelişmesine bağlı olarak bu çember içerisinde dolaşan metal miktarı giderek fazlalaşmıştır (Ekşi 1981).

Kadmiyum metalinin zehirleyici etkisi olmadığı düşünülse de sanayi alanında kullanılmasıyla birlikte kurşun, civa gibi toksik açıdan önemi artmıştır. Genellikle çinko, bakır, kurşun gibi metallerin üretim aşamasında yan ürün olarak ya da fosfatlı gübrelerde önemli oranlarda kullanılmaktadır. Kadmiyum diğer ağır metaller gibi su, hava ve toprak ortamlarından hayvan ve bitki tarafından emilerek besin yolu ile insanların vücuduna nüfus etmektedir. Kadmiyum canlı organizmalara sindirim ve solunum yoluyla geçiyorsa da esas hedef organı böbrektir. Kadmiyum ilaç ve yabancı maddelerin anne karnından plasenta yoluyla yavrunun dolaşımına geçmesi neticesinde yavruda biçimsel bozukluklar ve kanser yapan zehirli bir metal olarak kabul görülür (Kayhan 2006).

Demir, hayvanların solunum pigmentlerinde bulunmasından dolayı oldukça önemlidir. Ayrıca klorofil yapısında bulunmaz ama üretiminde bulunması zorunludur. Sudaki FeO miktarı 0,2-2 ppm ise algler daha hızlı büyür. Fakat 5 ppm'i geçtiği zaman toksik etki yapar. Buna ilaveten 5 ppm'i geçen değerlerdeki suda; kalsiyum tuzların ve organik bileşiklerin olması tampona sebep olur ve zehirli etki ortadan kalkar (Tanyolaç 2004). İnsanda zehir etkisi taşıyan demir artışı hemoglobin bozukluklarına dayanan yaygın komplikasyonlara sebep olur (Coates 2014).

Kobalt insan yaşamı için vazgeçilmezdir. Eksik olması enzim aktivasyonunun durmasına sebep olur. Kobalt ve diğer metaller(çinko, bakır, magnezyum, demir) kofaktör(enzim reaksiyonlarında enzimin görevini yapabilmesi için bağlanan vitamin, mineral veya metal iyonlarından oluşan yan grup) ve koenzim(enzimde ana işi yapan inorganik veya organik kısım) görevi görür. Kobalt yalnızca B12 vitamininde vardır. Ayrıca çoğu mavi yeşil algin siyanokobalamine ihtiyacı vardır ve sentezleme gücüne sahiptir (Tanyolaç 2004). Kobalt yüksek konsantrasyonlarda zehir etkisi gösterir. Uluslar arası kanser araştırma ajansı kobalt içeren bazı kimyasal bileşenleri kanserojen

etki yapan maddeler sınıfına almıştır. Kobalt yüksek konsantrasyonlarda fibrozis, astım ve zatürre(pnonömi) hastalıklarına sebep olur (Darolles 2014).

Kurşun günlük hayatta sıkça kullanılan zehir etkisi gösteren bir ağır metaldir. İnsan kurşunun zehir etkisini hava, toprak, geleneksel ilaçlar, seramik, su, gıda, kozmetik ürünler ve benzin yoluyla vücuduna alır. Kurşun ağız ve solunum yoluyla alındığından her yaş grubu için tokiktir. 800 ppb'den yüksek değerlerde koma, nöbet ve ölüm semptomlarına sebep olur. 100 ppb'nin altındaki değerlerde bile tehlikelidir (Wang 2009). Kurşunun zehirli olmasında; ortamın pH'ı, organik maddelerin ve diğer elementlerin varlığı, kurşunu oluşturan kimyasal bileşiklerin türü ve suyun sertliği gibi parametreler etkilidir. Sucul ortamlarda canlıların kurşunu biriktirmeleri kurşunun toksik etkisini artırır (Baykurt 1987).

Yetişkin bir bireydeki mangan miktarı yaklaşık 10-20 mg/kg'dır. Manganın konsantrasyonu organların yapısına ve insanın yaşına göre farklılık gösterir. Mitokondri düzeyi fazla olan dokularda(karaciğer, böbrekler ve bağırsak) mangan derişim düzeyi fazladır. Manganın zehirli etkisi insanlarda sinirsel ve psikolojik hastalıklara neden olur. Hayvanlarda ise manganın zehirli etkisi mide ve bağırsak bozulmaları, büyümede gerileme ve kansızlığa sebep olur. Bitkilerdeyse; yaşı fazla olan yapraklarda MnO₂'nin çökmesiyle kahverengi lekeler oluşur (Topbaş 1998).

Tıbbi araştırmalara göre bor bileşiklerini toksik maddeler düzeyinde 2. grupta yer alır. Bor; azot, kalsiyum ve bakır gibi besin metabolizmasına olumlu etki eder. İnsanların beslenmesinde çok önemlidir ama bitkilere olan yararı kesin bilinmemektedir. Borun eksikliğinde magnezyum, kalsiyum ve fosfor emiliminde düşüş görülür. Bor birçok organın çalışmasında olumlu etki yapar. Fakat yüksek derişimlerde koronere, sinir ve üreme sistemlerinde olumsuz etkiye, kan bileşiklerinde değişime, çocukların zeka gelişimine olumsuz etkileri vardır. WHO(Dünya Sağlık Örgütü) sağlıklı bir insanın günde 1-13 mg bor alması gerektiğini savunur. Borun bitkiler için önemi ancak 20. yüzyılda anlaşılabilmiştir. Bor bitkilerin büyümesine önemli derecede katkı sağlamaktadır. Fakat gereken miktar ile toksik etki gösteren miktarlar arasında çok az fark vardır. Eksikliğinde ise enzimatik reaksiyonların yavaşlamasına, hücre oluşumunda bozulmalara meristematik doku gelişiminde inhibisyona sebep olmaktadır. Yüksek derişimlerdeyse; zehirli etkisini göstererek meyvelerde olgunlaşmadan dökülmeye,

lekelenmeye, çürümeye ve yaprak dökümüne neden olmaktadır (Wolska and Bryjak 2013).

Bakır zehirlenmeleri nadir görülür. Bakır zehirlenmeleri böbrek işlevlerinde azalmalar, siroz, karaciğerde lekelenme, sinir sisteminde bozulmalara sebep olur. Yüksek derişimlerde bakır bitkiler için oldukça fazla derecede zehirli etki yapar. Bu etki köklerde başlayarak daha sonra yapraklarda birçok fizyolojik işlemi kısıtlayabilir. Bakır, mineral alımını düşürdüğü için protein sentezini, bitkilerin büyümesini, enzim aktivasyonunu, solunum ve fotosentez işlemlerinde değişikliklere sebep olabilir (Canbrolle 2015).

Çinko zehirlenmelerine insanlarda pek rastlanmaz. Çinkonun fazla olması bakırın fonksiyonunu da engeller. Çinko yaklaşık olarak 200 enzim ve diğer proteinler için kesinlikle olması gereken bir elementtir. Ayrıca çinko; protein metabolizması ve nükleik asitte, hücre bölünmesinde önemlidir. Hayvanlar üzerinde adalenin gelişmemesi, doğurganlığın azalması, gelişim bozukluğu, kansızlığa sebep olan olumsuz etkileri vardır (Topbaş 1998).

Ağız yoluyla alınan nikel bileşikleri toksik etki gösterir. Nikel az miktarda da olsa bağırsaklardan emilerek vücuda dağılır. İnsanda en yüksek nikel derişiminin beyin ve karaciğerde olduğu saptanmıştır. En büyük olumsuzluk ise burun boşluğunda kansere sebep olmasıdır. Nikelin toksik etkisiyle yaprak ve tahıllarda boydan boya sarı çizgiler görülür ve bitki kökleri zarar görür. Yüksek konsantrasyonlarda yaprağın uçlarında yanma meydana gelir (Topbaş 1998).

Alüminyum biyolojik olarak seçici bir vazifesi olmayan fakat dünyada görünür seviyede olan bir elementtir. Mineralli toprağın yapısında sıkça bulunur. Biyoayarlanım bakımından kullanışlılığı zehirli etkisinden dolayı yalnızca asitli ortamlarla olabilmektedir (Poschenrieder 2008).

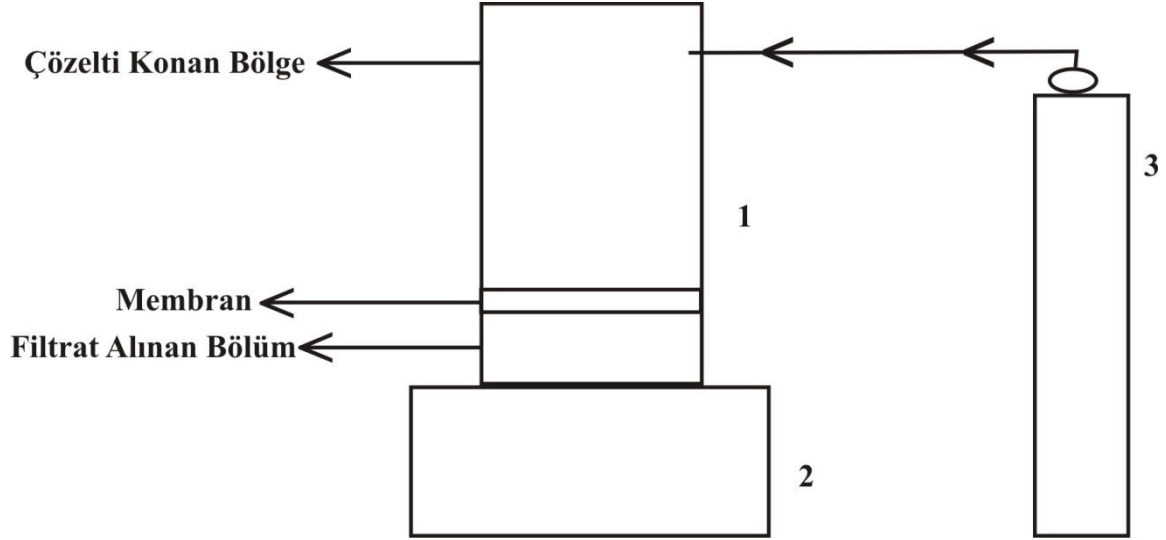
3. MATERYAL METOT

3.1 Materyal

3.1.1 Deneylerde Kullanılan Alet ve Düzenekler

- Filtrasyon sistemi(Milipore Amicon 8400)
- Etüv(İsolab)
- pH metre(HANNA instruments)
- UV-Vis Spektrometre(UV-1700 Pharma, shimadzu)
- Isıtıcılı manyetik karıştırıcı(İka)
- Kronometre(Oregon)

Filtrasyon işlemi Şekil 3.1’de görüldüğü gibi basınc ayarlayıcı azot gaz tüpü, manyetik karıştırıcı ve filtrasyon hücresinden oluşmaktadır. pH’ı ve konsantrasyonu ayarlanmış 300 mL metal  zeltisi filtrasyon hücresinin  zelti konan bölümüne konur ve azot gazı yardımıyla istenen basınc ayarlanarak, filtrasyon sistemine yerleştirilmiş 7,6 cm çapındaki membrana gönderilir. 300 mL  zelti membrandan tamamen geçene kadar geçen süre, akı hesaplamak için not edilir ve bu arada membrandan geçen filtrat  zeltisi ayrı bir behere alınır. Beherdeki bu filtrat  zeltisinden numune alınarak metal analizi yapılır.



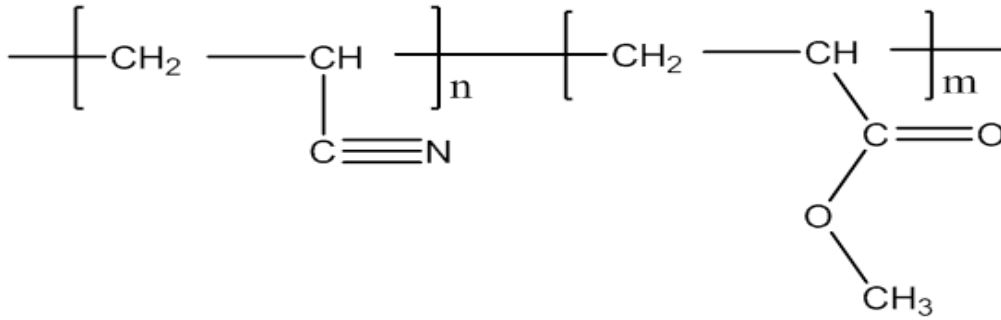
Şekil 3.1 Filtrasyon Sisteminin Akım Şeması

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

3.1.2 Deneylede Kullanılan Maddeler

-Poli(akrilonitril-ko-metil-akrilat) Poli(AKMA) (Sigma-Aldrich)

Polimer membran yapımında kullanılmıştır.



poly(acrylonitrile-co-methyl acrylate)

Şekil 3.2 Poli(akrilonitril-ko-metil-akrilat)'ın açık kimyasal formülü

-Selüloz Filtre (Macherey-Nagel)

Membran yapımında destek olarak kullanılmıştır.

-FeCl₃.6H₂O(Sigma Aldrich)

CoCl₂.2H₂O(Surechem)

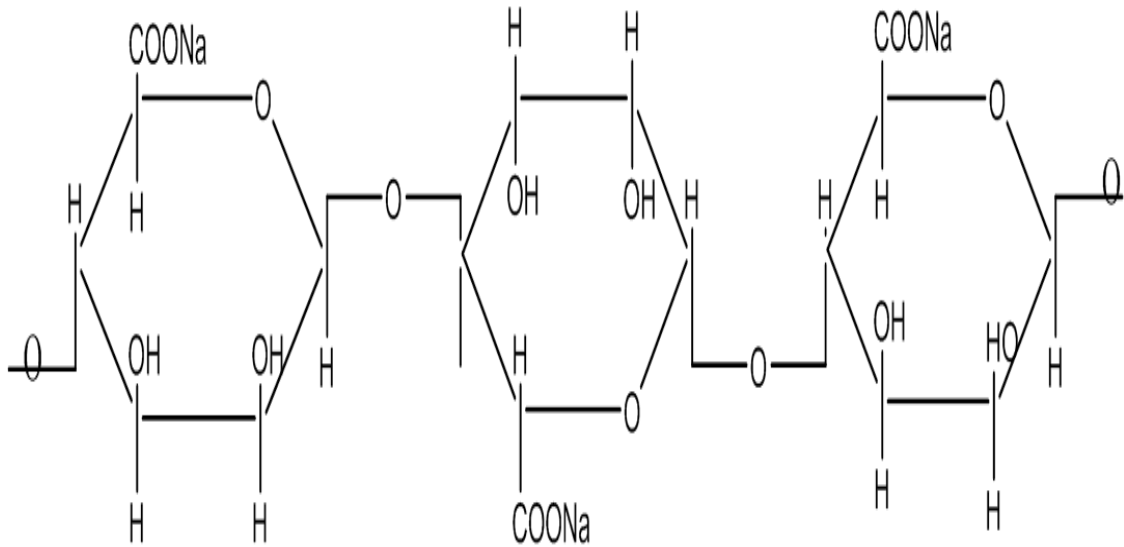
Bu maddeler yapay olarak ağır metal içeren sulu çözeltilerin hazırlanmasında kullanılmıştır.

-Dimetil sülfoksit(DMSO) (Sigma-Aldrich)

Membran yapımında kullanılmıştır.

-Diğer Kimyasal Maddeler

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



Şekil 3.3 Aljinik asidin açık kimyasal formülü

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

HCl(Riedel) pH'ı ayarlamak için kullanılmıştır.

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

3.2 Metot

3.2.1 Membranların Hazırlanması

DMSO çözücü içerisinde % 2,5 (m/v), % 3,5 (m/v) ve % 4 (m/v)'lük poli(akrilonitril-ko-metil-akrilat) çözeltileri hazırlandı. Bu çözeltilerin her birinden 10 mL alınıp 9 cm çapındaki petri kabına döküldü. Sonra 7,6 cm çapında selüloz filtreler, hazırlanan çözeltiye daldırılıp 90°C etüvde tam kuruluğa kadar bekletildi. Daha sonra saf su ile yıkandıktan sonra 45 dakika saf suda bekletilip filtrasyon işlemine kullanılıncaya kadar oda şartlarında kurumaya bırakıldı. Elde edilen kompozit membranlar Çizelge 3.1'deki gibi numaralandırılıp gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 Kullanılan Kompozit Membranların Özellikleri

Membran	Döküm çözeltisinin içeriği % Poli(AKMA) (m/v)
MI	% 2,5 (m/v) Poli(AKMA)/Selüloz
MII	% 3,5 (m/v) Poli(AKMA)/Selüloz
MIII	% 4,0 (m/v) Poli(AKMA)/Selüloz

3.2.2 Membranların Filtrasyon İşleminde Kullanılması

Bu çalışmada Fe(III), Fe(III)+AA, Co(II) ve 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 filtrattan 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.

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

Burada C_f ve C_b sırasıyla filtratın ve besleme çözeltisinin derişimidir.

Filtratın akışı da; birim zamanda membran alanından geçen filtrat hacminin membran alanına ve birim zamana ($L/m^2 \cdot sa$) biriminde kullanılmıştır.

4. BULGULAR

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

İlk aşamada filtrasyon tekniğinde kullanılacak uygun membranların elde edilebilmesi için çalışmalar yapılmış ve bu çalışmada kullanılacak membranlar seçilmiştir.

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

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

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

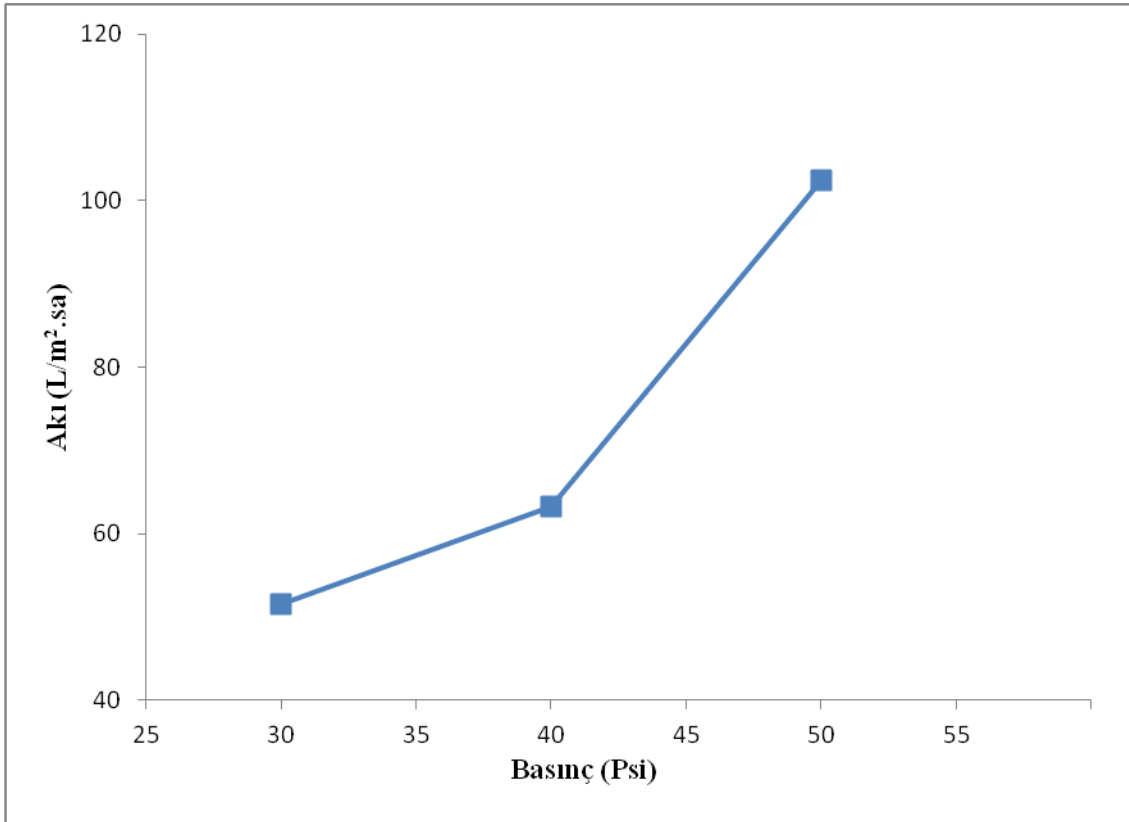
Beşinci aşamada Co(II) iyonlarına AA kompleksleri eklenerek Co(II) iyonlarının sulu çözeltilerden ayırırken membran kalınlığının, çözelti pH'ının, basıncın ve çözelti konsantrasyonunun tutulma ve akıya etkileri tespit edilmiştir.

4.1 Membran Saf Su Çalışmaları

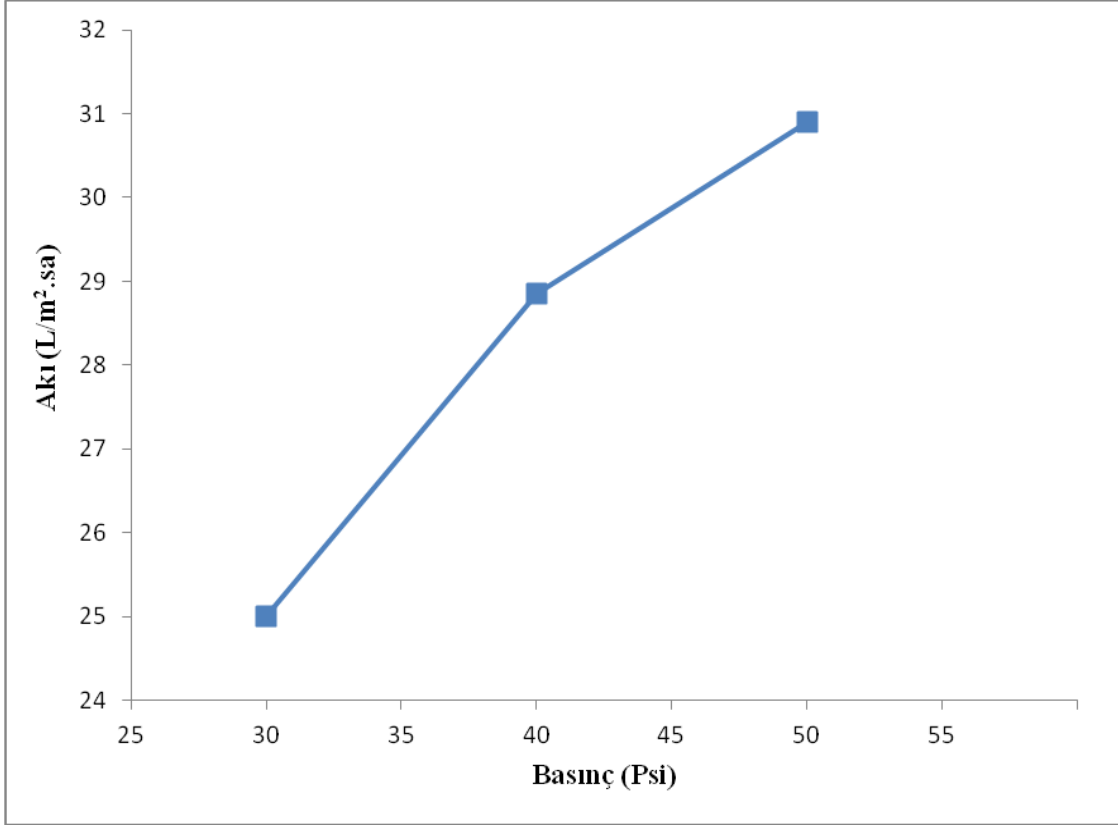
Filtrasyon tekniği ile yapılan deneylerde yukarıda elde ettiğimiz membranlar denenmiştir. Membranlara 50 psi'ye kadar basınç uygulanarak saf su geçirgenliklerine bakılmıştır. Saf su geçişinin filtrasyon tekniği ile yapılan deneylerde, elde edilen membranların kullanıp kullanılmayacağı araştırılmıştır. Membranların saf su geçişleri sonuçları Çizelge 4.1, 4.2, 4.3 ve Şekil 4.1, 4.2, 4.3'te verilmiştir. Beklendiği şekilde basınç artışıyla her üç membranda da akı artmıştır.

Çizelge 4.1 MI, MII ve MIII membranları için saf su geçişi

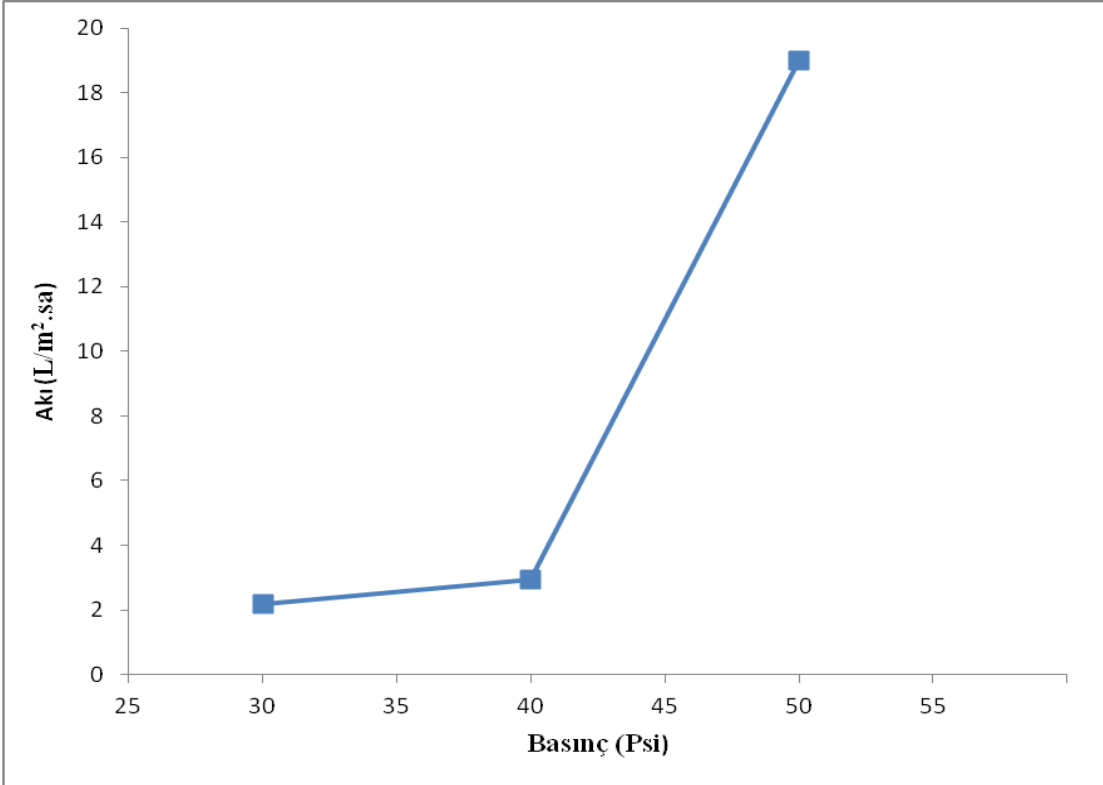
Basınç(Psi)	MI için Akı değeri(L/m ² .sa)	MII için Akı değeri(L/m ² .sa)	MIII için Akı değeri(L/m ² .sa)
30	51,55	25,00	2,19
40	63,29	28,85	2,94
50	102,39	30,90	18,99



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

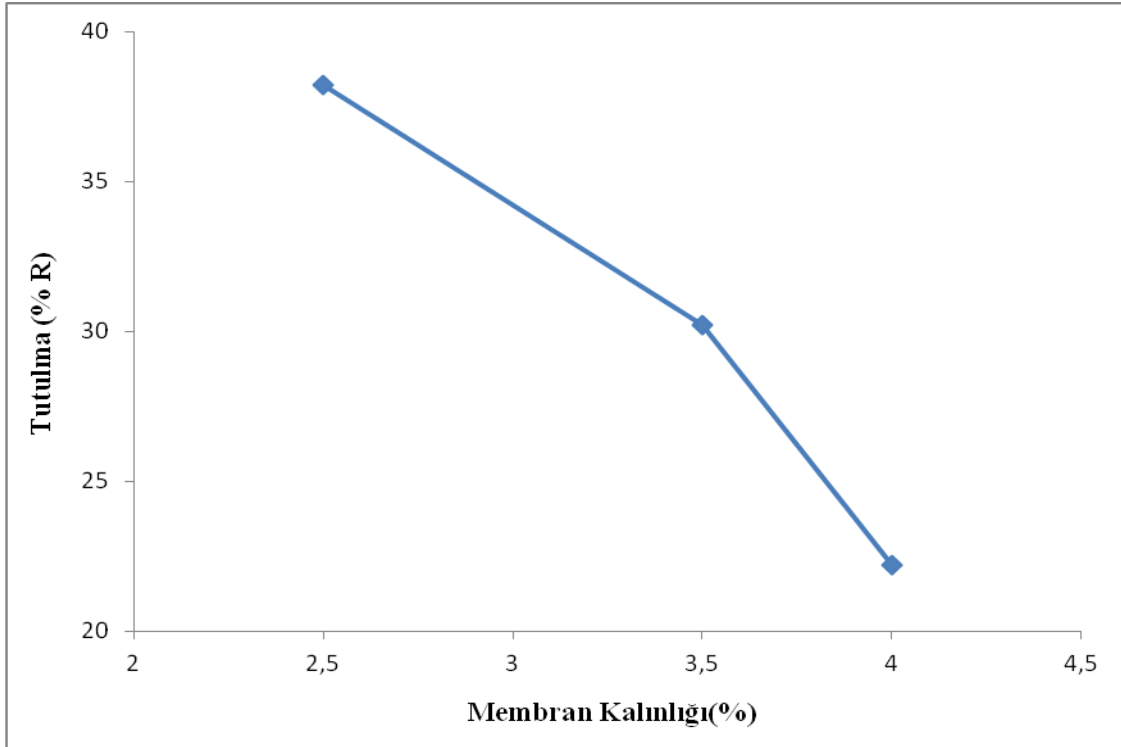
4.2 Demir(III) İyonlarının Sulu Çözeltilerden Filtrasyonu

4.2.1 Membran Kalınlığının Tutulma ve Akıya Etkisi

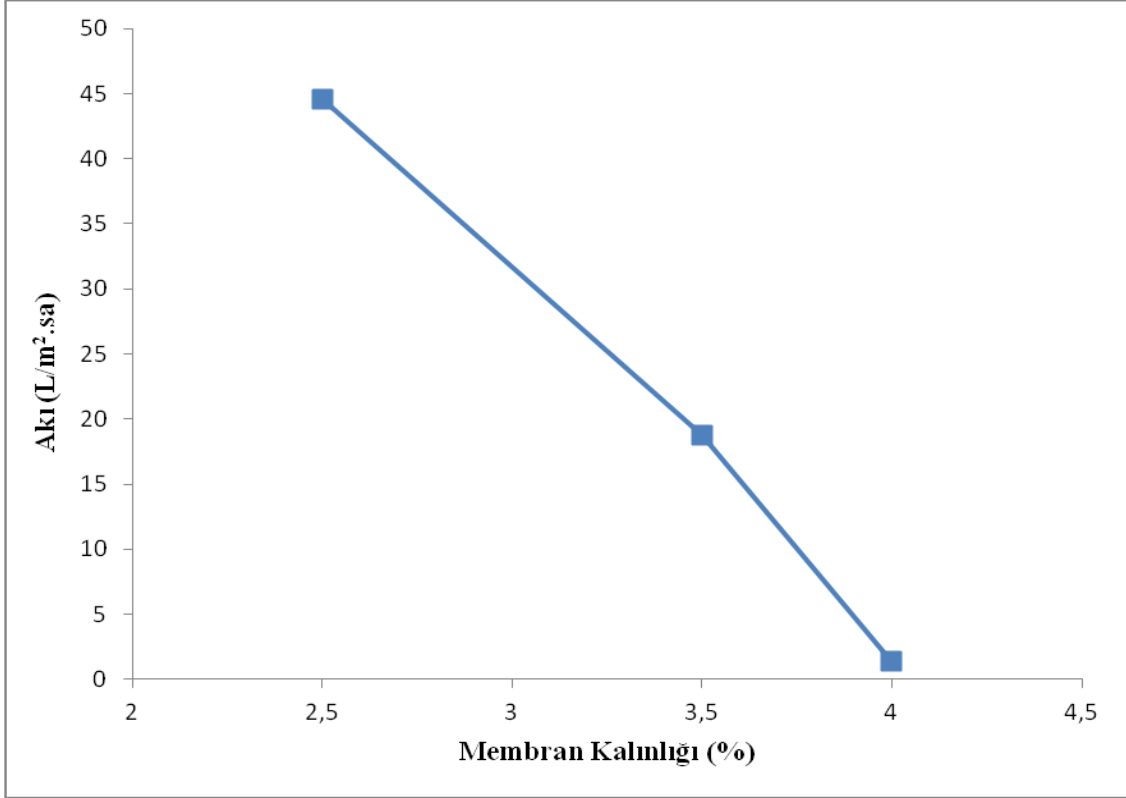
Burada $0,5 \times 10^{-4}$ M Fe(III) çözeltisinin pH=3,3, P=30 psi ve 400 dev/dk karıştırma hızında membran kalınlığının tutulma ve akıya etkisi Çizelge 4.2, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi akı da tutulma yüzdesi de düşmüştür. Membran kalınlığı artışı ile membran destek kısmı olan selüloz tabakasının gözenekleri daha çok dolmakta ve akı beklenen şekilde düşmektedir. Tutulmada ki düşüşse; kalınlık artışı ile membran yüzeyindeki iyon tutulma özelliği daha düşük olan kısımların baskın olmasıyla açıklanabilir.

Çizelge 4.2 Fe(III) çözeltisi filtrasyonunda membran kalınlığının tutulma ve akıya etkisi ($C_{Fe(III)}=0,5 \times 10^{-4}$ M, P=30 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

Membran Kalınlığı	Tutulma(%R)	Akı(L/m ² .sa)
MI	38,2	44,58
MII	30,2	18,75
MIII	22,2	1,40



Şekil 4.4 Fe(III) çözeltisi filtrasyonunda membran kalınlığının tutulmaya etkisi ($C_{Fe(III)}=0,5 \times 10^{-4}$ M, P=30 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)



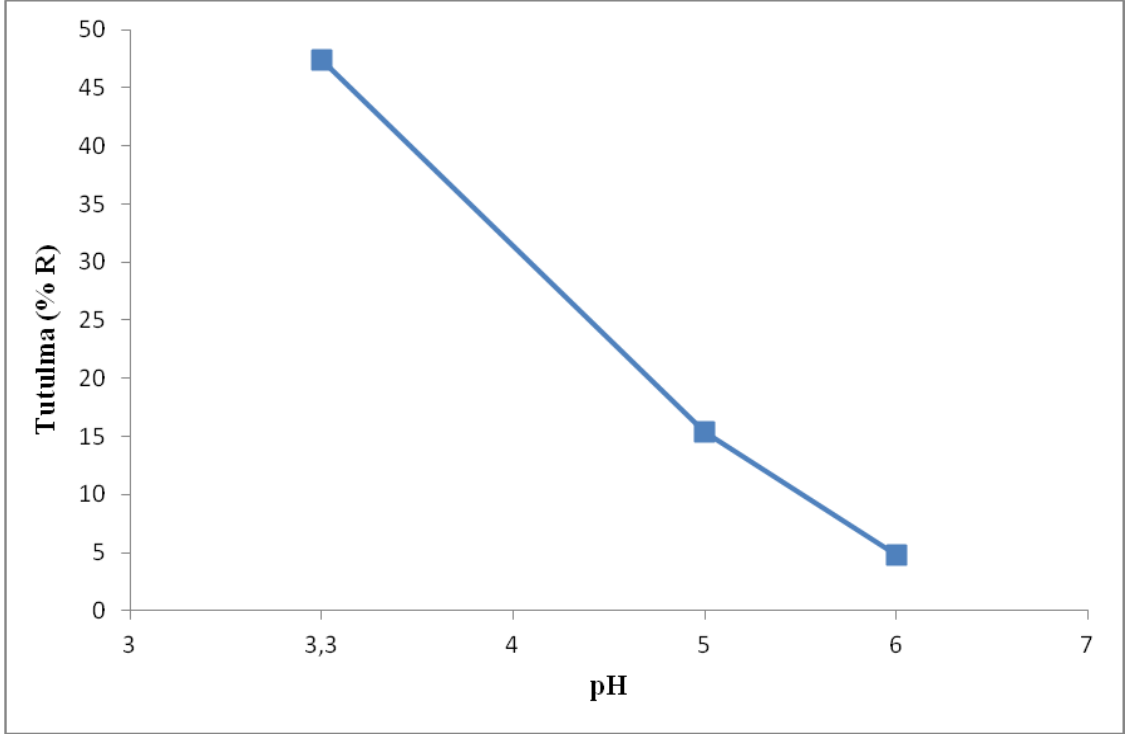
Şekil 4.5 Fe(III) çözeltisi filtrasyonunda membran kalınlığının akıya etkisi ($C_{Fe(III)}=0,5 \times 10^{-4}$ M, $P=30$ Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

4.2.2 pH'in Tutulma ve Akıya Etkisi

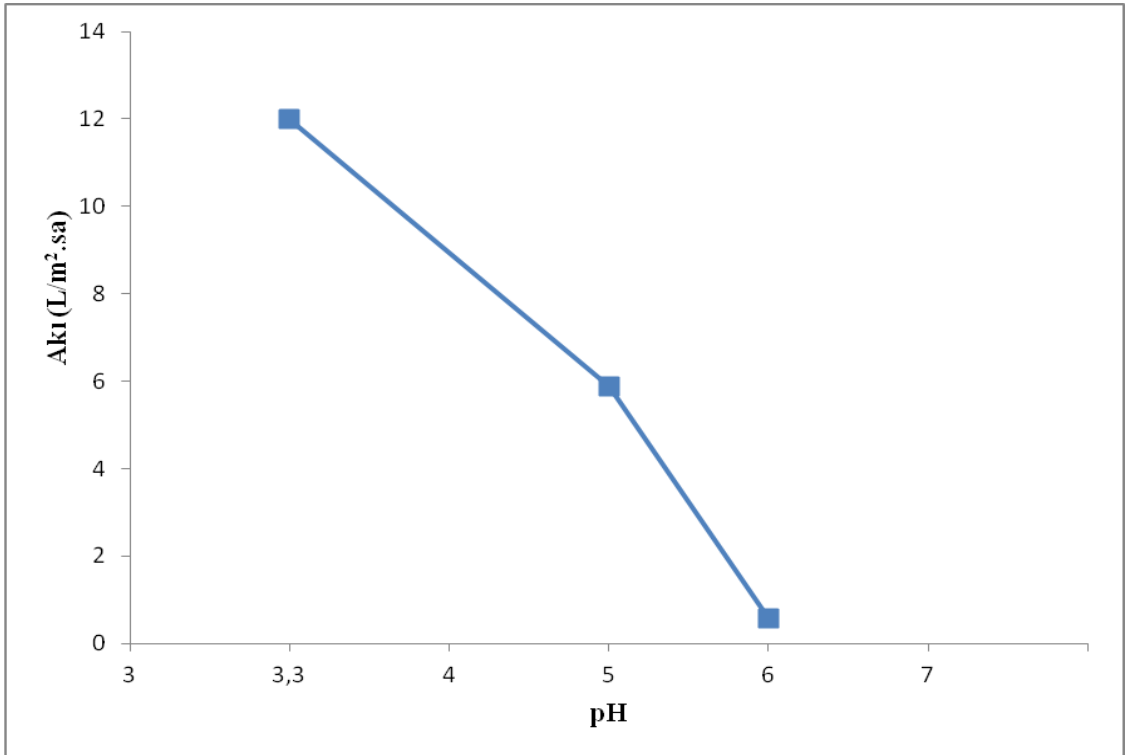
$0,5 \times 10^{-4}$ M Fe(III) çözeltisi MIII membranı kullanılarak 400 dev/dk karıştırma hızında, 50 psi'de değişik pH'larda filtre edildi. pH'ın tutulma yüzdesi ve akıya etkilerinin sonuçları Çizelge 4.3, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de verilmiştir. pH'ın artmasıyla akının azaldığı gözlemlenmiştir. Akıdaki düşüş membranın kekleşmesindeki artış oranından kaynaklanabilir. pH'ın artması ile ortamdaki Fe(III) iyonları hidrolize uğramakta olduğundan Fe(III) tutulması azalmaktadır.

Çizelge 4.3 Fe(III) çözeltisi filtrasyonunda pH'ın tutulma ve akıya etkisi ($C_{Fe(III)}=0,5 \times 10^{-4}$ M, $P=50$ Psi, Karıştırma Hızı= 400 dev/dk)

Membran	pH	Tutulma(%R)	Akı(L/m ² .sa)
MIII	3,3	47,4	12
MIII	5	15,4	5,88
MIII	6	4,8	0,58



Şekil 4.6 Fe(III) çözeltisi filtrasyonunda pH'ın tutulmaya etkisi ($C_{Fe(III)}=0,5 \times 10^{-4}$ M, P=50 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)



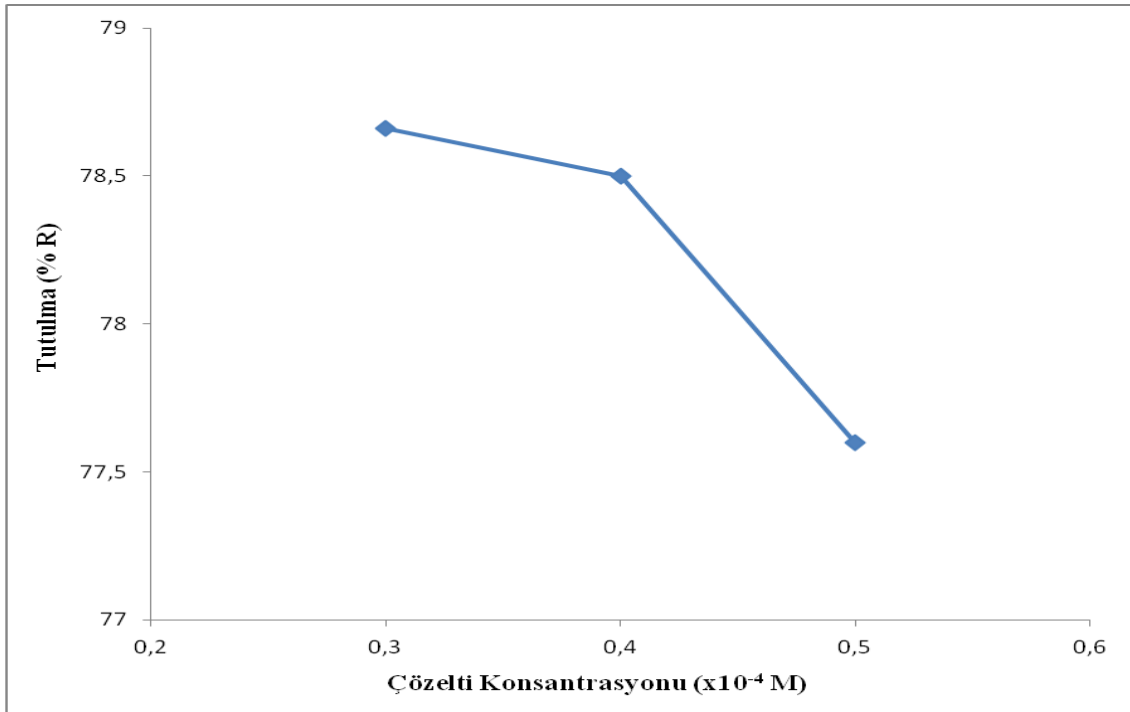
Şekil 4.7 Fe(III) çözeltisi filtrasyonunda pH'ın akıya etkisi ($C_{Fe(III)}=0,5 \times 10^{-4}$ M, P=50 Psi, Karıştırma Hızı=400dev/dk)

4.2.3 Çözelti Konsantrasyonunun Tutulma ve Akıya Etkisi

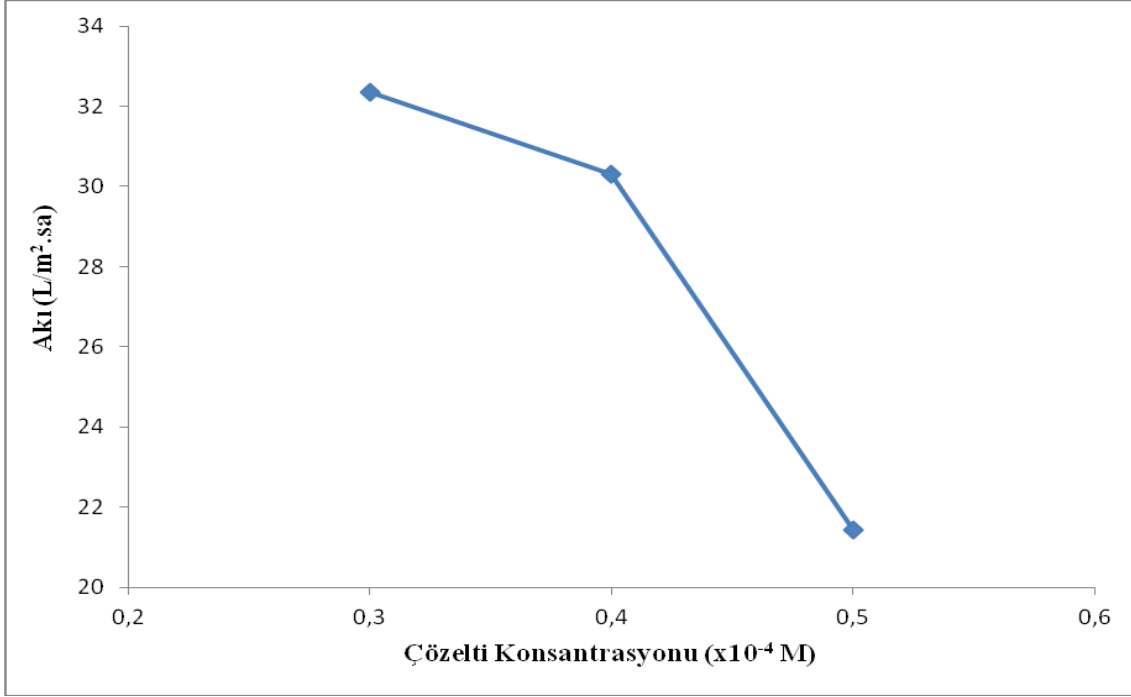
pH=3,3'te P=40 psi basınçta 400 dev/dk karıştırma hızında, MI membranı ile değişik konsantrasyonlarda yapılan Fe(III) çözeltisi filtrasyonunun tutulma yüzdesine ve akıya etkileri Çizelge 4.4, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Görüldüğü gibi akı değerleri kekleşmeden dolayı düşerken tutulma yüzdelerinde nispeten bir azalma görülmektedir. Konsantrasyon arttıkça daha çok Fe(III) iyonu membranların tutma kapasitesi sabit olduğundan membrana bağlanmadan ortamda serbest kalmakta ve beslemeden filtrata geçmektedir. Neticede tutulma oranı düşmektedir.

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

Membran	Çözelti Konsantrasyonu	Tutulma(%R)	Akı(L/m ² .sa)
MI	0,3x10 ⁻⁴ M	78,66	32,36
MI	0,4 x10 ⁻⁴ M	78,5	30,30
MI	0,5x10 ⁻⁴ M	77,6	21,43



Şekil 4.8 Fe(III) çözeltisi filtrasyonunda çözelti konsantrasyonunun tutulmaya etkisi (pH=3,3, P=40 Psi, Karıştırma Hızı= 400dev/dk)



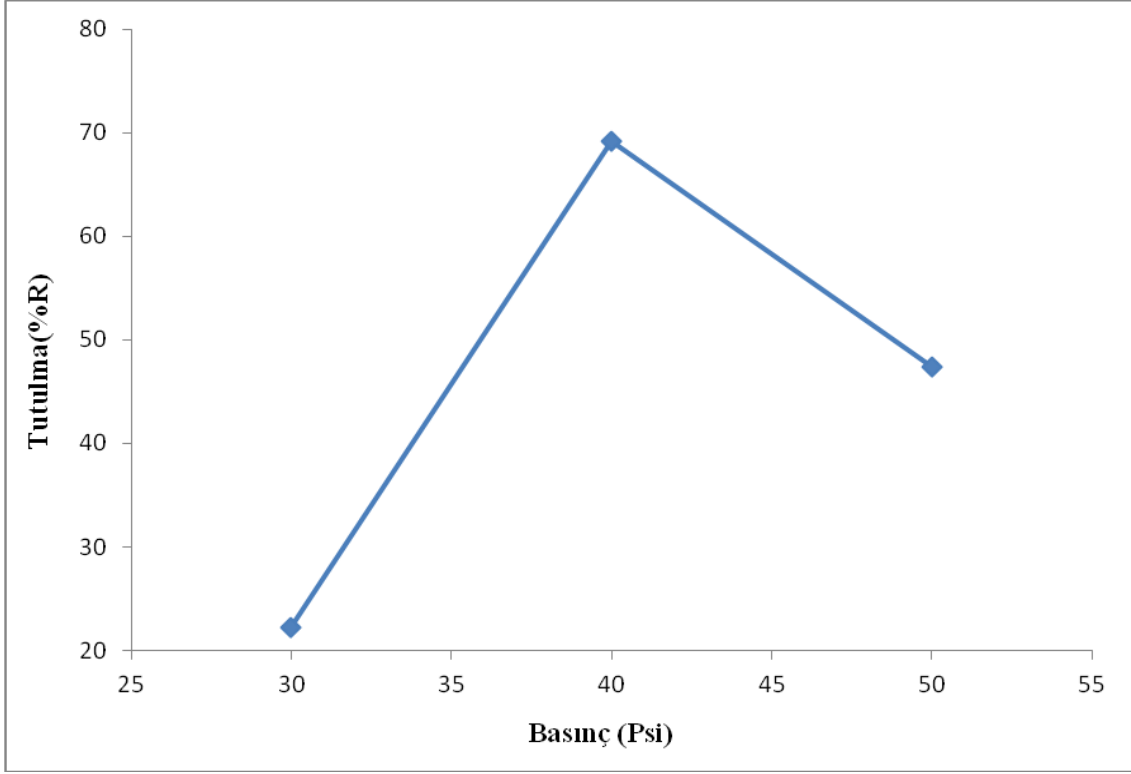
Şekil 4.9 Fe(III) çözeltisi filtrasyonunda çözelti konsantrasyonunun akıya etkisi (pH=3,3, P=40 Psi, Karıştırma Hızı= 400 dev/dk)

4.2.4 Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi

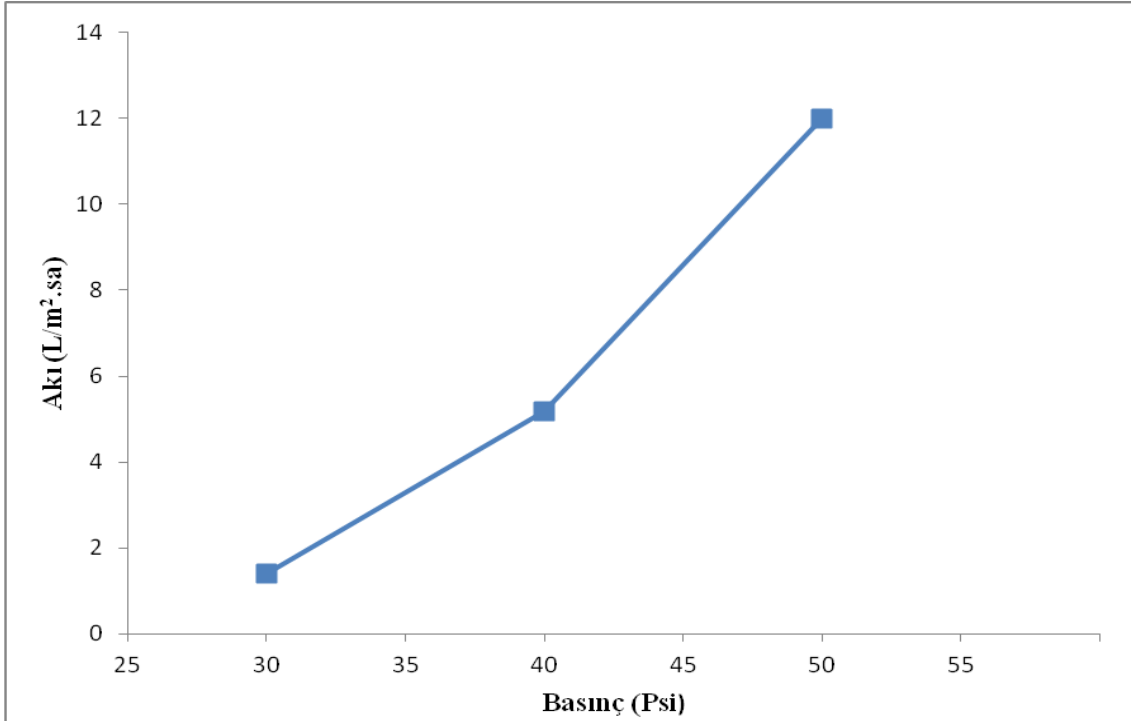
0,5x10⁻⁴ M Fe(III) çözeltisi MIII kullanılarak 400 dev/dk karıştırma hızında, pH=3,3'te filtre edildi. Basıncın tutulma yüzdesi ve akıya etkilerinin sonuçları Çizelge 4.5, Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de verilmiştir. Membrana uygulanan basınç artışı ile beklenen şekilde akı artmıştır. En iyi optimum tutulma dengesi 40 psi basınçta gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.5 Fe(III) çözeltisi filtrasyonunda basıncın tutulma ve akıya etkisi (C_{Fe(III)}=0,5x10⁻⁴ M, pH=3,3, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

Membran	Basıncı(Psi)	Tutulma(%R)	Akı(L/m ² .sa)
MIII	30	22,2	1,40
MIII	40	69,2	5,17
MIII	50	47,4	12



Şekil 4.10 Fe(III) çözeltisi filtrasyonunda basıncın tutulmaya etkisi ($C_{Fe(III)}=0,5 \times 10^{-4}$ M, pH=3,3, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)



Şekil 4.11 Fe(III) çözeltisi filtrasyonunda basıncın akıya etkisi ($C_{Fe(III)}=0,5 \times 10^{-4}$ M, pH=3,3, Karıştırma Hızı=400dev/dk)

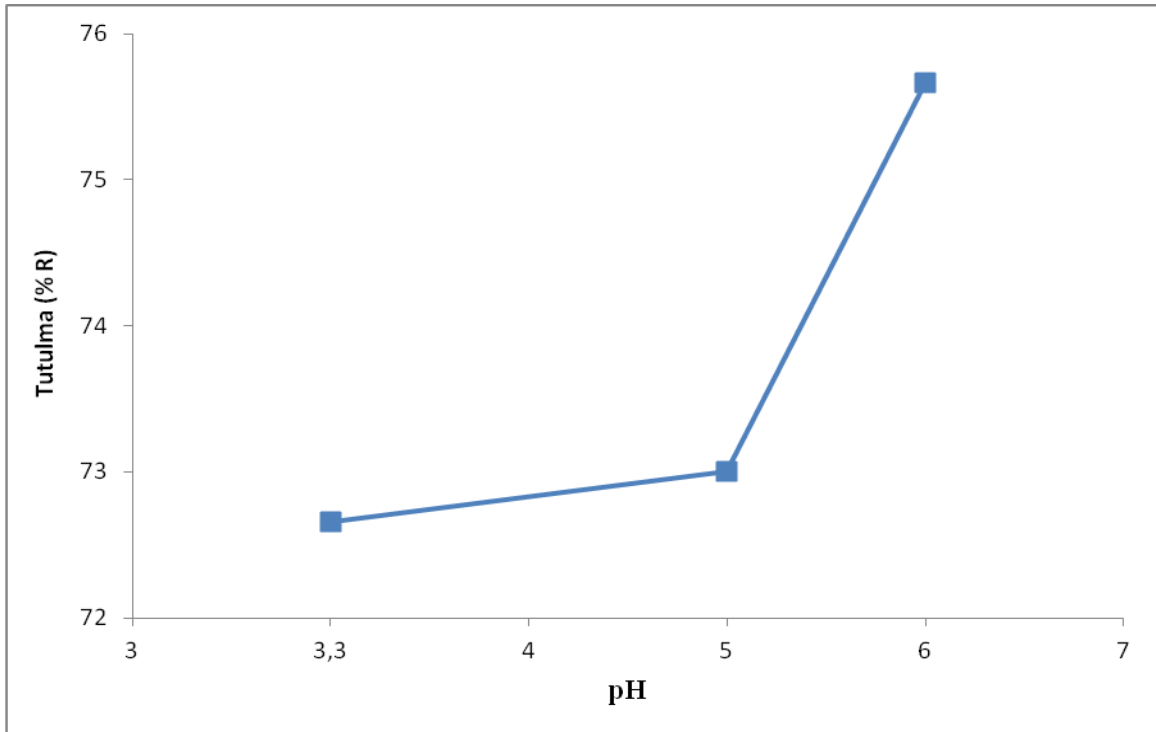
4.3 Fe(III)+AA Çözeltilerinin Filtrasyonu

4.3.1 pH'ın Tutulma ve Akıya Etkisi

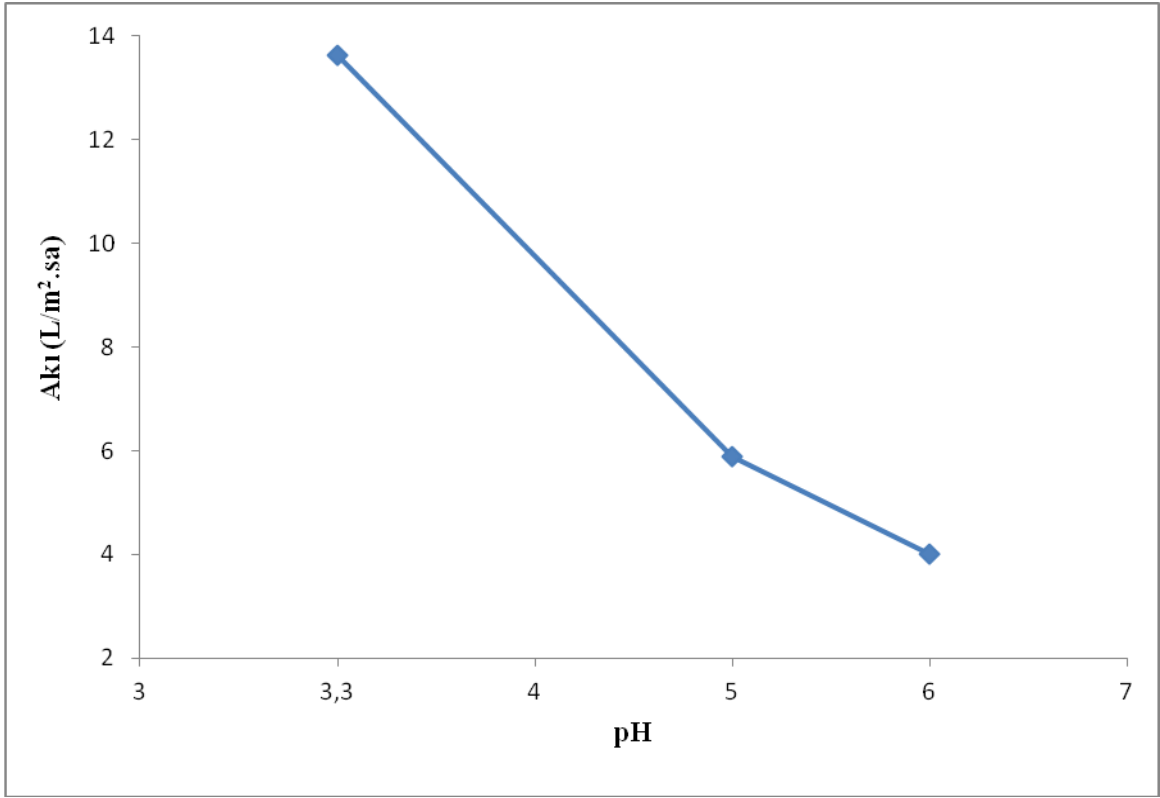
Burada $0,3 \times 10^{-4}$ M Fe(III) ile $0,6 \times 10^{-4}$ M bg/L AA içerikli çözeltilerin 400 dev/dk karıştırma hızında, P=40 psi basınçta pH=3,3 , pH=5 ve pH=6 değerlerinde MI membranları ile yapılan filtrasyonun tutulma ve akıya etkileri Çizelge 4.6, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te gösterilmiştir. Görüldüğü gibi Fe(III)+AA çözeltisinin pH'ı arttıkça akı düşmüş ve tutulma yüzdesi artmıştır. pH artışıyla sulu ortamdaki H^+ iyonları azalmakta ve Fe(III) iyonlarının AA ile kompleks oluşturması artmaktadır. Dolayısıyla tutulma artmaktadır. Akı düşüşü ise kekleşme oranındaki artış ile açıklanabilir.

Çizelge 4.6 Fe(III)+AA çözeltisinin filtrasyonunda pH'ın tutulma ve akıya etkisi ($C_{Fe(III)+AA}=0,3 \times 10^{-4}$ M, P=40 Psi, Karıştırma Hızı=400dev/dk)

Membran	pH	Tutulma(%R)	Akı(L/m ² .sa)
MI	3,3	72,66	13,64
MI	5	73	5,88
MI	6	75,66	4



Şekil 4.12 Fe(III)+AA çözeltisinin filtrasyonunda pH'ın tutulmaya etkisi ($C_{Fe(III)}=0,3 \times 10^{-4}$ M, P=40 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)



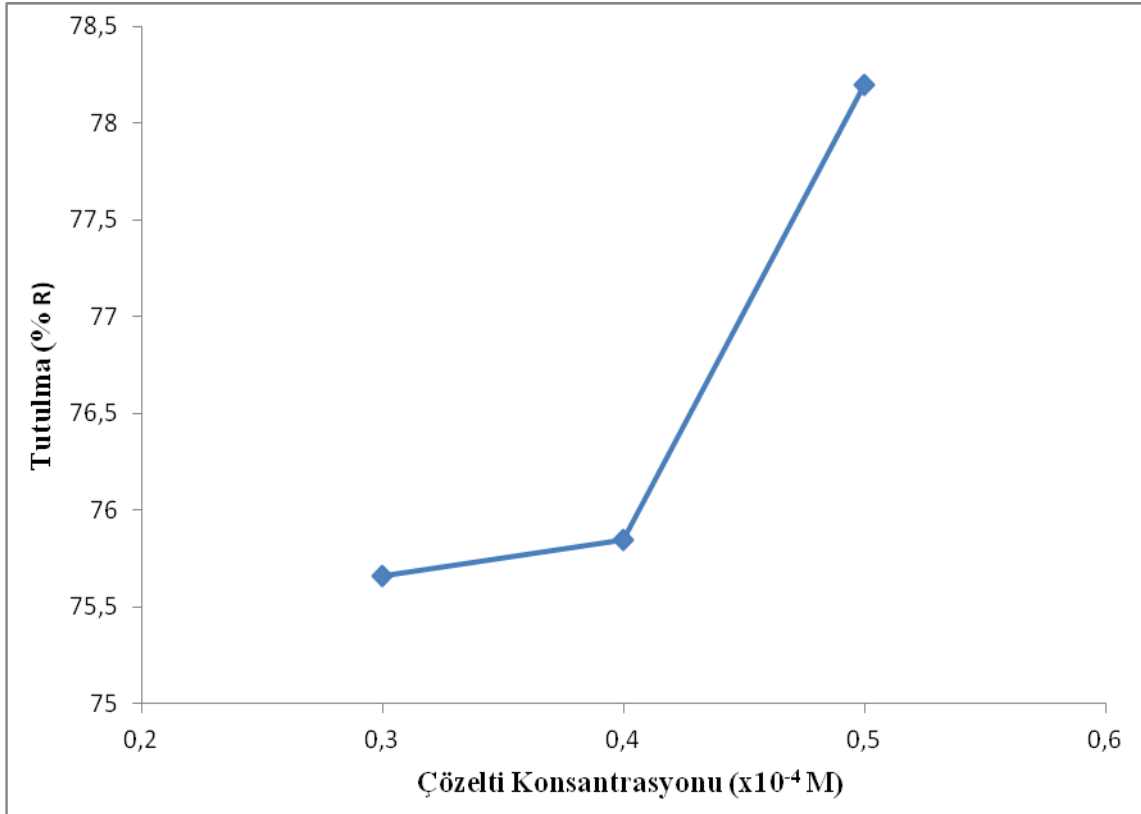
Şekil 4.13 Fe(III)+AA çözeltisinin filtrasyonunda pH'ın akıya etkisi ($C_{Fe(III)}=0.3 \times 10^{-4}$ M, P=40 Psi, Karıştırma Hızı= 400 dev/dk)

4.3.2 Çözelti Konsantrasyonunun Tutulma ve Akıya Etkisi

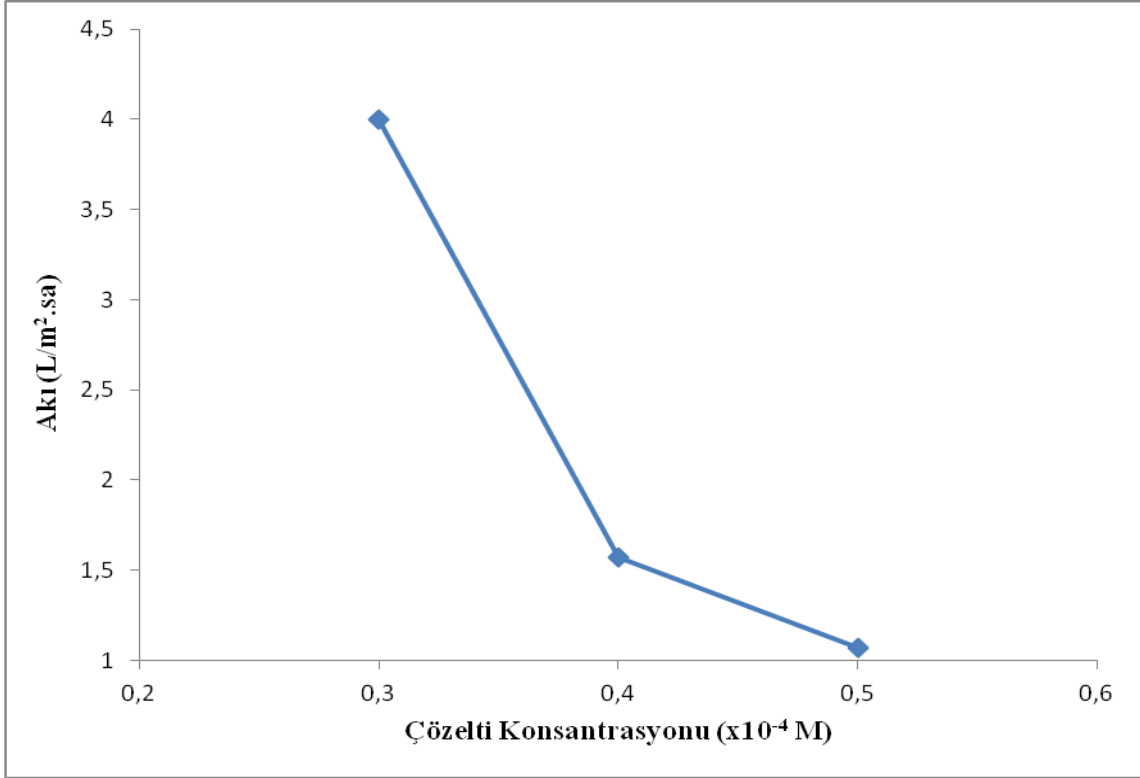
pH=6, P=40 psi basınçta, 400 dev/dk karıştırma hızında MI membranı ile değişik konsantrasyonlarda yapılan Fe(III) ve AA içerikli çözeltilerinin çözelti filtrasyonunda tutulma yüzdesi ve akıya etkileri Çizelge 4.7, Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'de gösterilmiştir. Yüksek konsantrasyondaki Fe(III)+AA çözeltisinden kompleksler ek olarak fazla kekleşme oluşturur ve bu da geçişi zorlaştırdığından tutulma artar. Kekkleşme arttıkça da membran geçirgenliği azalır dolayısıyla akı düşmüş olur.

Çizelge 4.7 Fe(III)+AA çözeltilisinin filtrasyonunda çözelti konsantrasyonunun tutulma ve akıya etkisi (pH=6, P=40 Psi, Karıştırma Hızı=400dev/dk)

Membran	Çözelti Konsantrasyonu	Tutulma(%R)	Akı(L/m ² .sa)
MI	0,3x10 ⁻⁴ M Fe(III) ile 0,6x10 ⁻⁴ M AA	75,66	4
MI	0,4x10 ⁻⁴ M Fe(III) ile 0,8x10 ⁻⁴ M AA	75,85	1,57
MI	0,5x10 ⁻⁴ M Fe(III) ile 1x10 ⁻⁴ M AA	78,2	1,07



Şekil 4.14 Fe(III)+AA çözeltilisinin filtrasyonunda çözelti konsantrasyonunun tutulmaya etkisi (pH=6, P=40 Psi, Karıştırma Hızı= 400dev/dk)



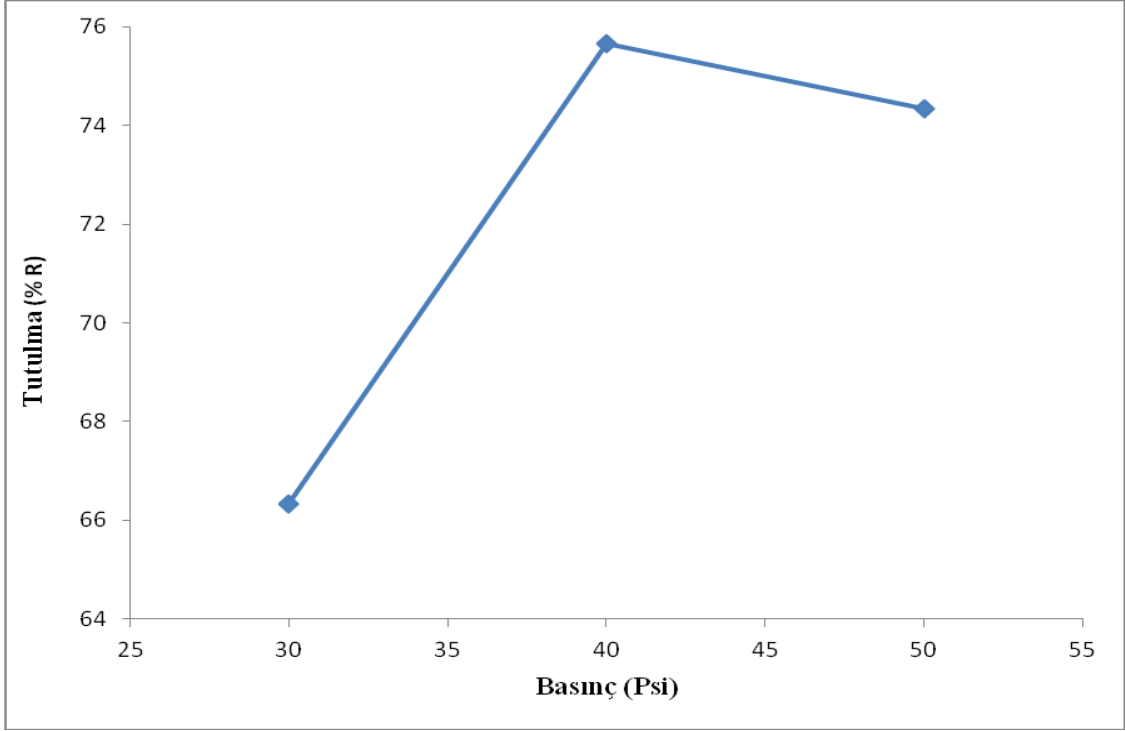
Şekil 4.15 Fe(III)+AA çözeltisinin filtrasyonunda çözelti konsantrasyonunun akıya etkisi (pH=6, P=40 Psi, Karıştırma Hızı= 400 dev/dk)

4.3.3 Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi

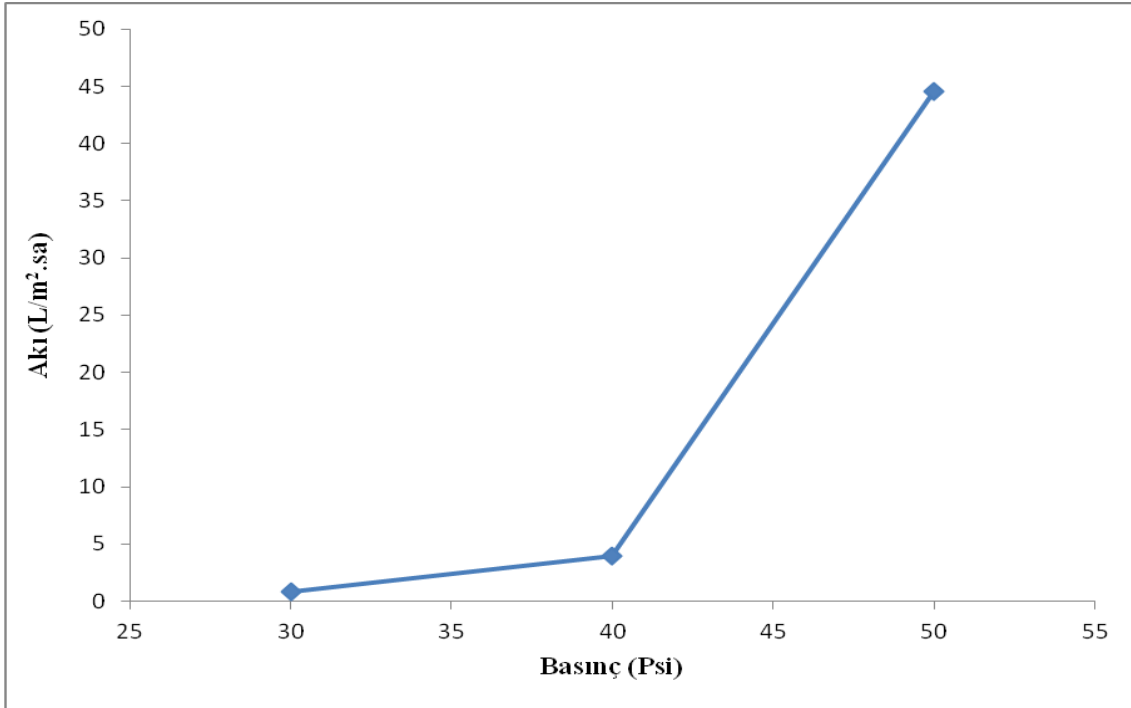
$0,3 \times 10^{-4}$ M Fe(III) ile $0,6 \times 10^{-4}$ M bg/L AA içerikli çözeltilerin 400 dev/dk karıştırma hızında pH=6'da MI membranı ile filtre edildi. Basıncın tutulma yüzdesi ve akıya etkilerinin sonuçları Çizelge 4.8, Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de gösterilmiştir. Yapılan basınç deneylerinde en iyi optimum tutulma dengesi 40 psi'de gözlenmiştir. Basıncın artmasıyla akının beklenen şekilde arttığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.8 Fe(III)+AA çözeltisi filtrasyonunda basıncın tutulma ve akıya etkisi ($C_{Fe(III)+AA} = 0,3 \times 10^{-4}$ M, pH=6, Karıştırma Hızı=400dev/dk)

Membran	Basıncı(Psi)	Tutulma(%R)	Akı($L/m^2 \cdot sa$)
MI	30	66,33	0,81
MI	40	75,66	4
MI	50	74,33	44,58



Şekil 4.16 Fe(III)+AA çözeltisi filtrasyonunda basıncın tutulmaya etkisi ($C_{Fe(III)}=0,3 \times 10^{-4}$ M, pH=6, Karıştırma Hızı=400dev/dk)



Şekil 4.17 Fe(III)+AA çözeltisi filtrasyonunda basıncın akıya etkisi ($C_{Fe(III)}=0,3 \times 10^{-4}$ M, pH=6, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

4.3.4 Membran Kalınlığının Tutulma ve Akıya Etkisi

İlk önce $0,3 \times 10^{-4}$ M Fe(III) ile $0,6 \times 10^{-4}$ M bg/L AA içerikli çözeltilerin pH=6 ve pH=3,3'te P=40 psi ve 400 dev/dk karıştırma hızında MI, MII ve MIII membranları ile filtre edildi.

Çizelge 4.9 Fe(III)+AA çözeltisi filtrasyonunda membran kalınlığının tutulma ve akıya etkisi ($C_{\text{Fe(III)+AA}}=0,3 \times 10^{-4}$ M, pH=6, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

Membran	Basınç(Psi)	Tutulma(%R)	Akı(L/m ² .sa)
MI	40	75,66	4
MII	40	-	-
MIII	40	-	-

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

Membran	Basınç(Psi)	Tutulma(%R)	Akı(L/m ² .sa)
MI	50	72,66	13,64
MII	50	-	-
MIII	50	-	-

MI membranı Fe(III)+AA çözeltilisini geçirirken MII, MIII membranları tıkanı. Bunun üzerine basınç 50 psi'ye çıkartıldı ancak MI membranı Fe(III)+AA çözeltilisini geçirirken MII, MIII membranlarının tıkanma sorunu devam etmiştir.

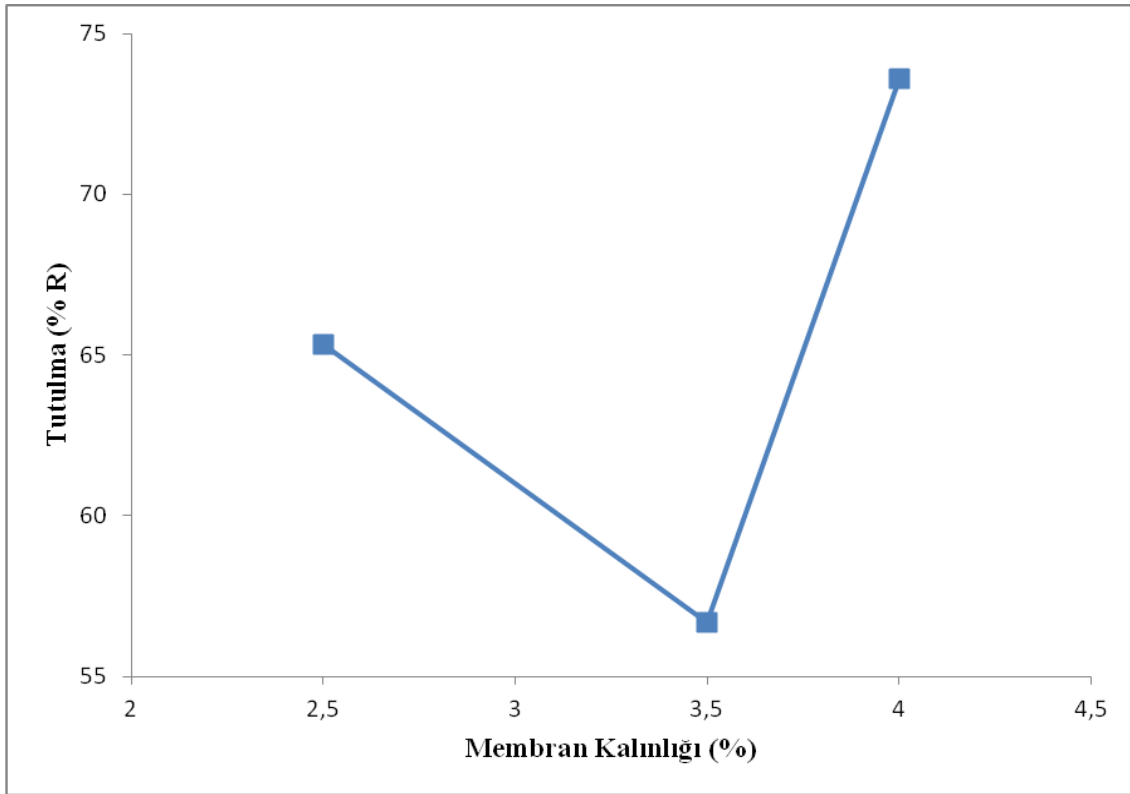
4.4 Kobalt(II) İyonlarının Sulu Çözeltilerinden Filtrasyonu

4.4.1 Membran Kalınlığının Tutulma ve Akıya Etkisi

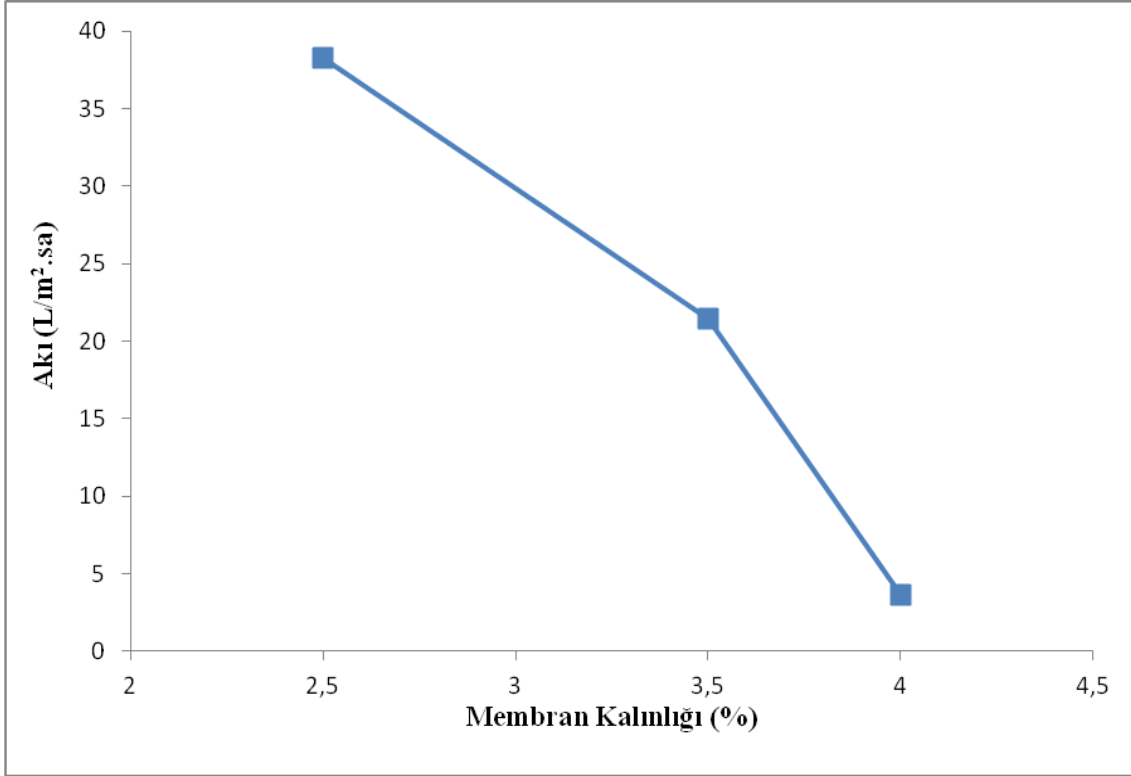
Burada $0,3 \times 10^{-4}$ M Co(II) çözeltilisinin pH=5, P=50 psi ve 400 dev/dk karıştırma hızında membran kalınlığının tutulma yüzdesi ve akıya etkisi Çizelge 4.11, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da gösterilmiştir. Membran kalınlığı arttıkça membranın gözenek boyutu azalmış dolayısıyla beklenen şekilde sonuçta tutulma artarken akı da azalmıştır.

Çizelge 4.11 Co(II) çözeltisi filtrasyonunda membran kalınlığının tutulma ve akıya etkisi
($C_{Co(II)}=0,3 \times 10^{-4}$ M, P=50 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/ dk)

Membran Kalınlığı	Tutulma(%R)	Akı(L/m ² .sa)
MI	65,33	38,27
MII	56,66	21,43
MIII	73,60	3,61



Şekil 4.18 Co(II) çözeltisi filtrasyonunda membran kalınlığının tutulmaya etkisi ($C_{Co(II)}=0,3 \times 10^{-4}$ M, P=50 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)



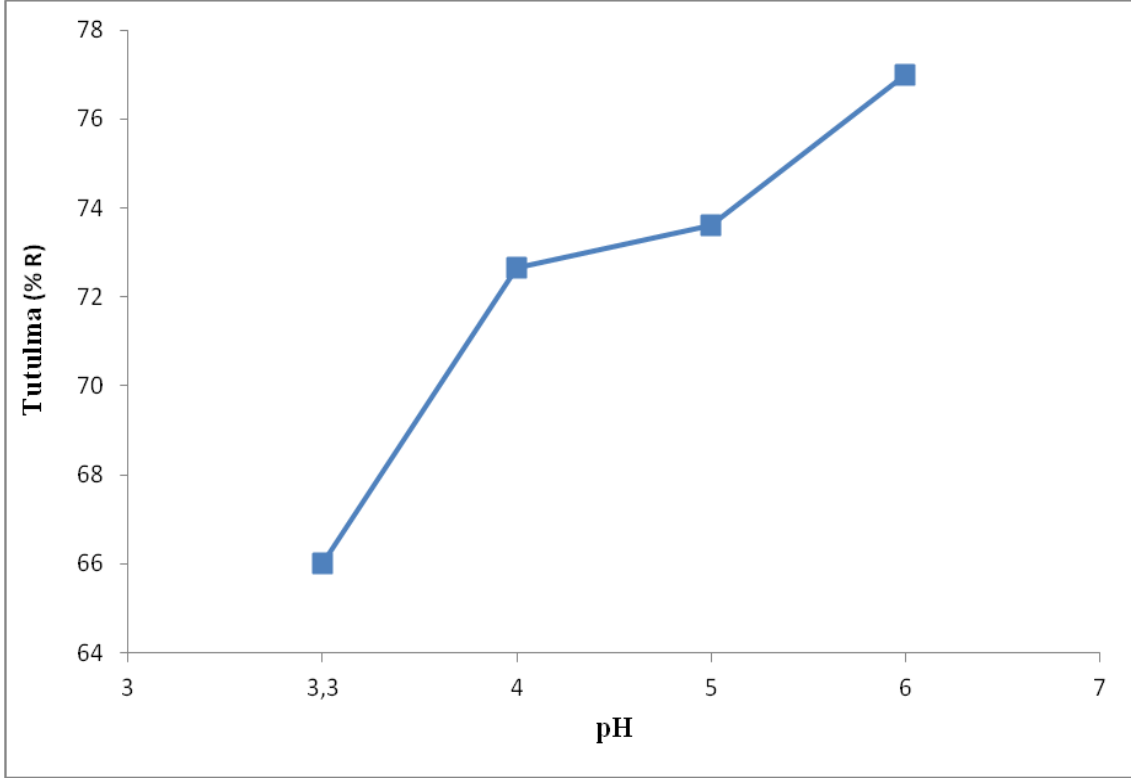
Şekil 4.19 Co(II) çözeltisi filtrasyonunda membran kalınlığının akıya etkisi ($C_{Co(II)}=0,3 \times 10^{-4}$ M, $P=50$ Psi, Karıştırma Hızı= 400 dev/dk)

4.4.2 pH'ın Tutulma ve Akıya Etkisi

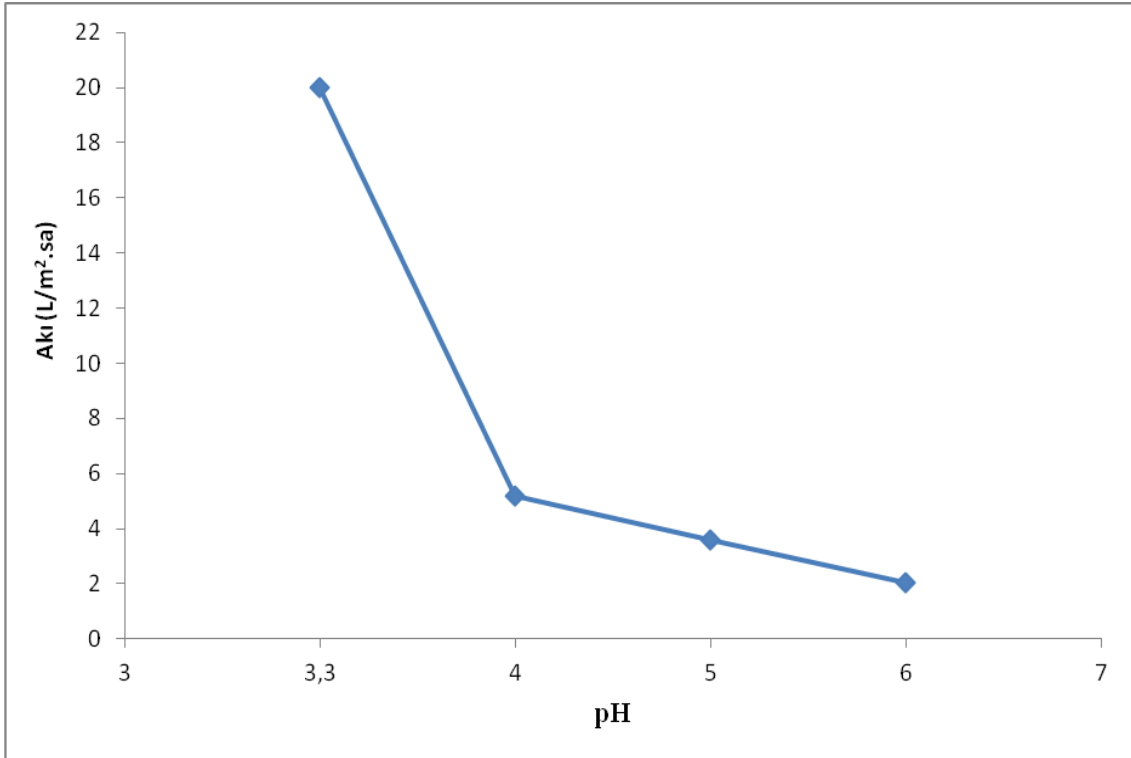
$0,3 \times 10^{-4}$ M Co(II) çözeltisi MIII membranı kullanılarak 400 dev/dk karıştırma hızında 50 psi'de değişik pH'larda filtre edildi. pH'ın tutulma yüzdesi ve akıya etkilerinin sonuçları Çizelge 4.12, Şekil 4.20 ve Şekil 4.21'de verilmiştir. Görüldüğü gibi pH=6'da tutulma yüzdesi en yüksek değerini alırken akı da beklendiği gibi en düşük değerini almıştır. pH'ın artması ile H^+ iyonları konsantrasyonu azalacağından Co(II) iyonlarının membrandaki karbonil grubuna iyon değiştirme ile bağlanması artmaktadır.

Çizelge 4.12 MIII membranı ile yapılan Co(II) çözeltisinin filtrasyonunda pH'ın tutulma ve akıya etkisi ($C_{Co(II)}=0,3 \times 10^{-4}$ M, $P=50$ Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

Membran	pH	Tutulma(%R)	Akı(L/m ² .sa)
MIII	3,3	66	20
MIII	4	72,66	5,17
MIII	5	73,6	3,61
MIII	6	77	2,05



Şekil 4.20 Co(II) çözeltisinin filtrasyonunda pH'nin tutulmaya etkisi ($C_{Co(II)}=0,3 \times 10^{-4}$ M, P=50 Psi, Karıştırma Hızı=400dev/dk)



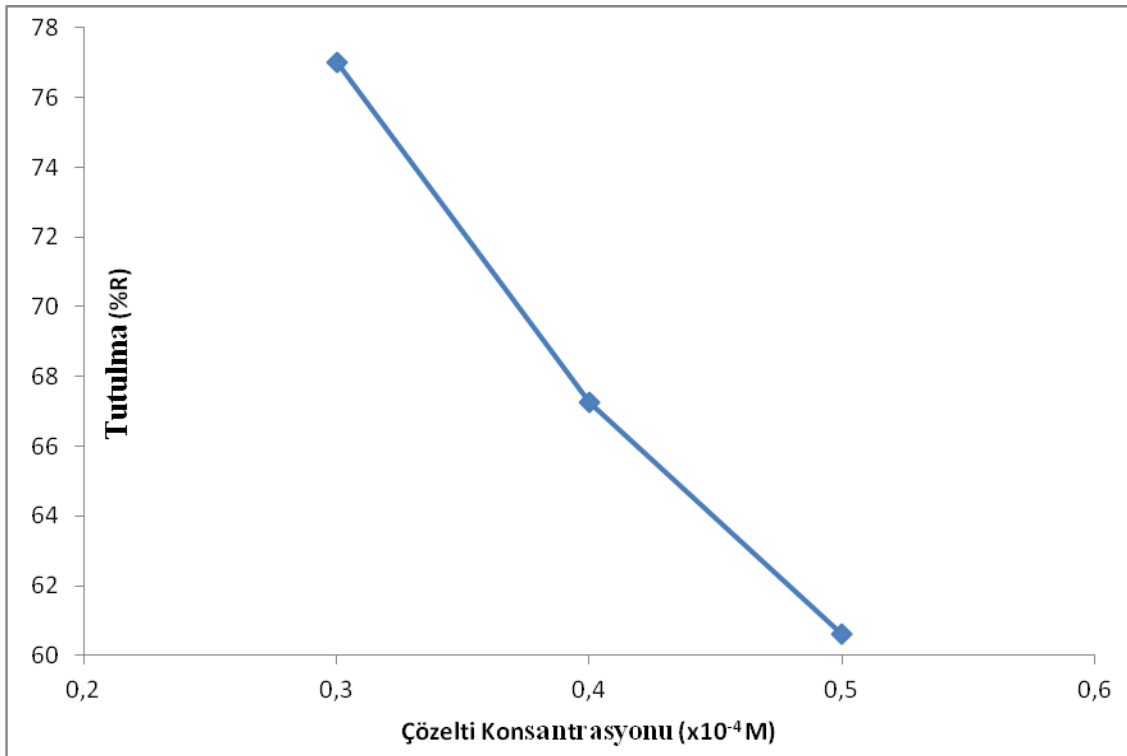
Şekil 4.21 Co(II) çözeltisinin filtrasyonunda pH'nin akıya etkisi ($C_{Co(II)}=0,3 \times 10^{-4}$ M, P=50 Psi, Karıştırma Hızı=400dev/dk)

4.4.3 Çözelti Konsantrasyonunun Tutulma ve Akıya Etkisi

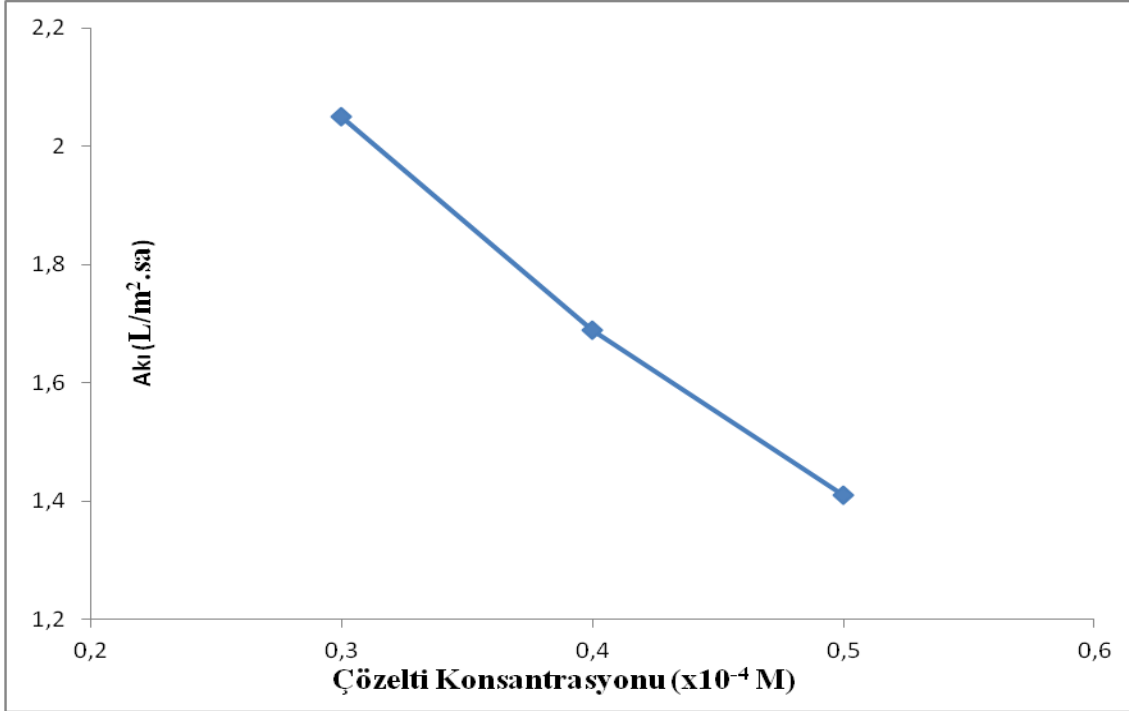
pH=6, P=50 psi basınçta,400 dev/dk karıştırma hızında, MIII membranı ile değişik konsantrasyonlarda yapılan Co(II) çözeltisi filtrasyonunun tutulma yüzdesi ve akıya etkileri Çizelge 4.13, Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'te gösterilmiştir. Görüldüğü gibi Co(II) iyonları derişimi arttıkça tutulma yüzdesi azalmıştır ve akı düşmüştür. Konsantrasyon artışı ile daha çok Co(II) iyonu membranların tutma kapasitesi sabit olduğundan tutulmadan ortamda serbest kalacağından tutulma yüzdesi azalmaktadır. Akıdaki düşüş ise membrandaki zamanla oluşmuş yüksek orandaki kekleşmiş tabakadır.

Çizelge 4.13 Co(II) çözeltisi filtrasyonunda çözelti konsantrasyonunun tutulma ve akıya etkisi (pH=6, P=50 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

Membran	Çözelti Konsantrasyonu	Tutulma(%R)	Akı(L/m ² .sa)
MIII	0,3x10 ⁻⁴ M	77	2,05
MIII	0,4x10 ⁻⁴ M	67,25	1,69
MIII	0,5x10 ⁻⁴ M	60,6	1,41



Şekil 4.22 Co(II) çözeltisi filtrasyonunda çözelti konsantrasyonunun tutulmaya etkisi (pH=6, P=50 Psi, Karıştırma Hızı= 400dev/dk)



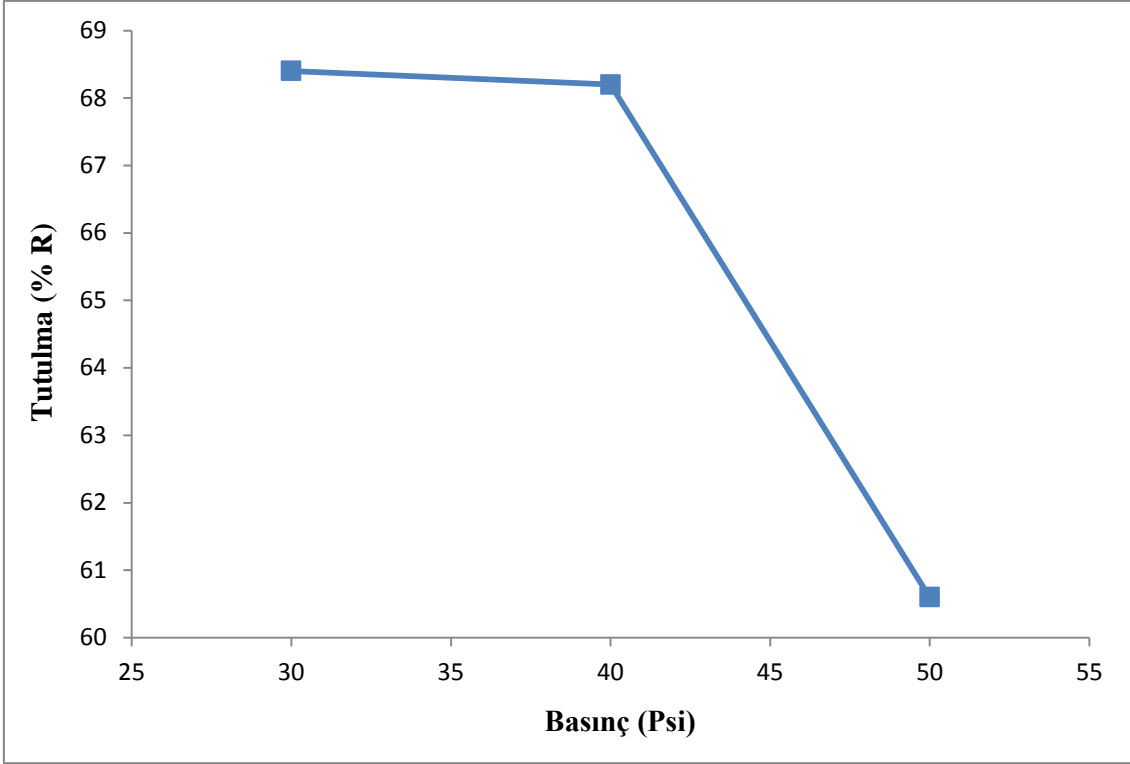
Şekil 4.23 Co(II) çözeltisi filtrasyonunda çözelti konsantrasyonunun akıya etkisi (pH=6, P=50 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

4.4.4 Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi

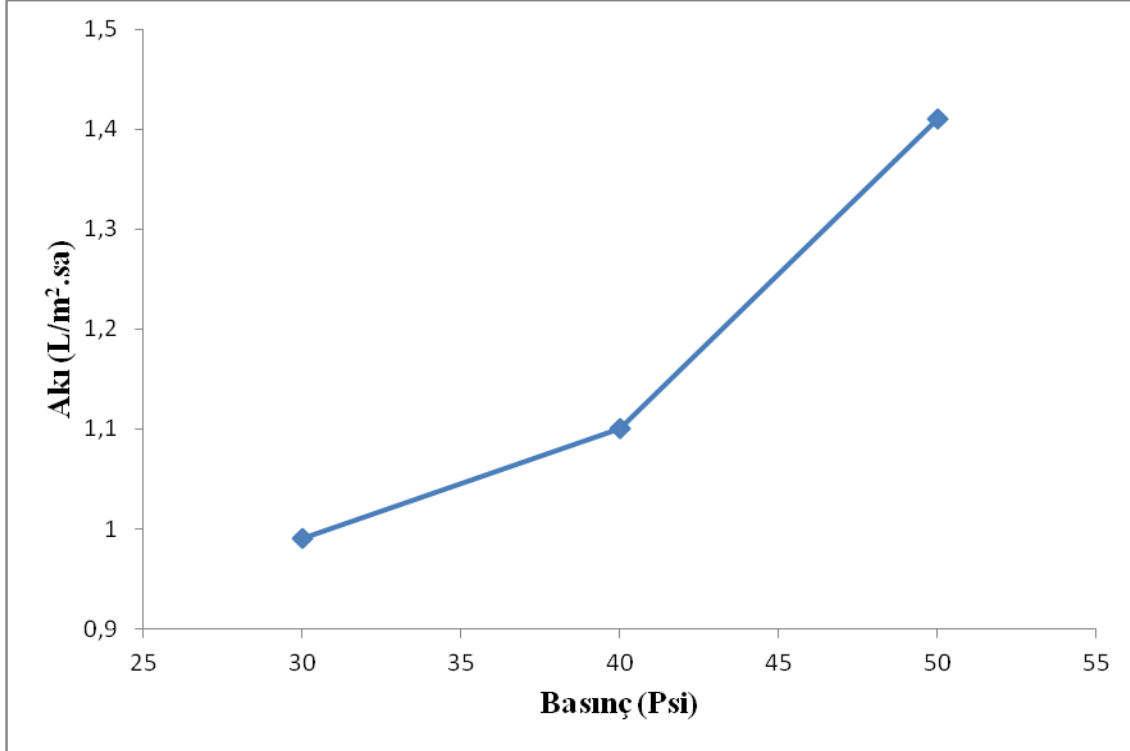
0,5x10⁻⁴ M Co(II) çözeltisi MIII membranı kullanılarak 400 devir/dk karıştırma hızında, pH=6'da filtre edildi. Basıncın tutulma yüzdesi ve akıya etkilerinin sonuçları Çizelge 4.14, Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'de verilmiştir. Membrana uygulanan basınç artışı ile beklenen şekilde akı artmıştır. En iyi optimum tutulma dengesi 30 psi basıncında gözlenmiştir.

Çizelge 4.14 Co(II) çözeltisi filtrasyonunda basıncın tutulma ve akıya etkisi (C_{Co(II)}=0,5x10⁻⁴ M, pH=6, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

Membran	Basıncı(Psi)	Tutulma(%R)	Akı(L/m ² .sa)
MIII	30	68,4	0,99
MIII	40	68,2	1,10
MIII	50	60,6	1,41



Şekil 4.24 Co(II) çözeltisi filtrasyonunda basıncın tutulmaya etkisi ($C_{Co(II)}=0,5 \times 10^{-4}$ M, pH=6, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)



Şekil 4.25 Co(II) çözeltisi filtrasyonunda basıncın akıya etkisi ($C_{Co(II)}=0,5 \times 10^{-4}$ M, pH=6, Karıştırma Hızı= 400dev/dk)

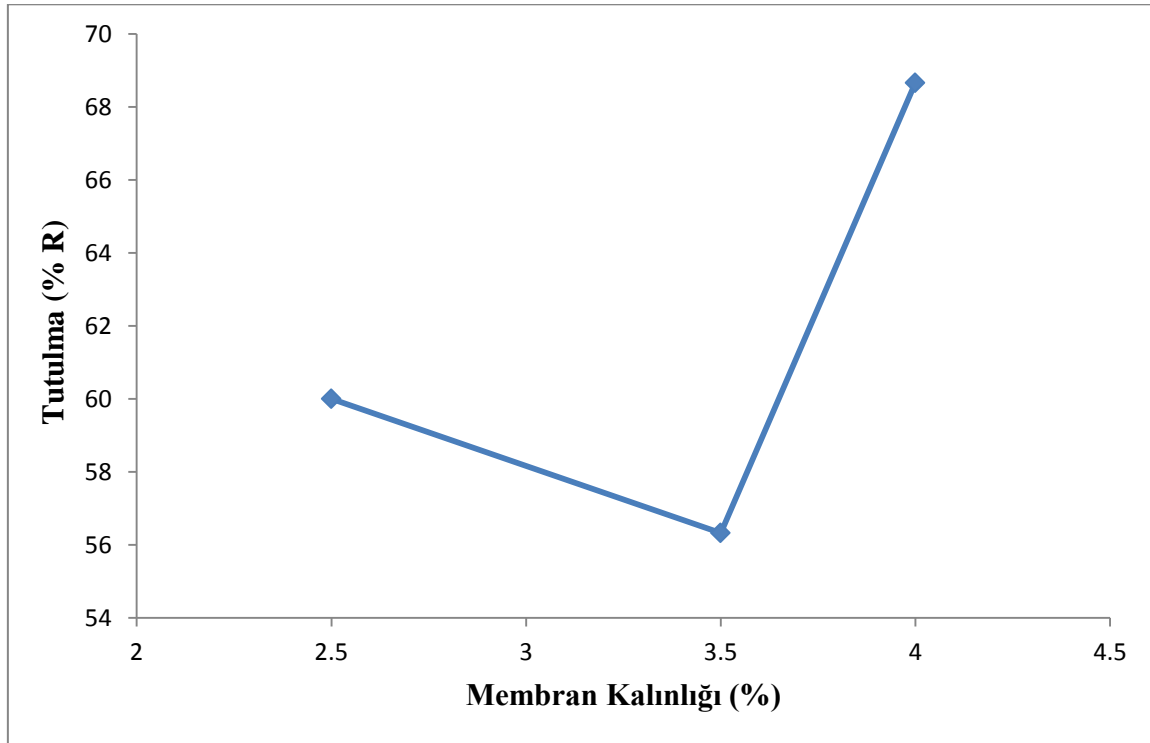
4.5 Co(II)+AA Çözeltilerinin Filtrasyonu

4.5.1 Membran Kalınlığının Tutulma ve Akıya Etkisi

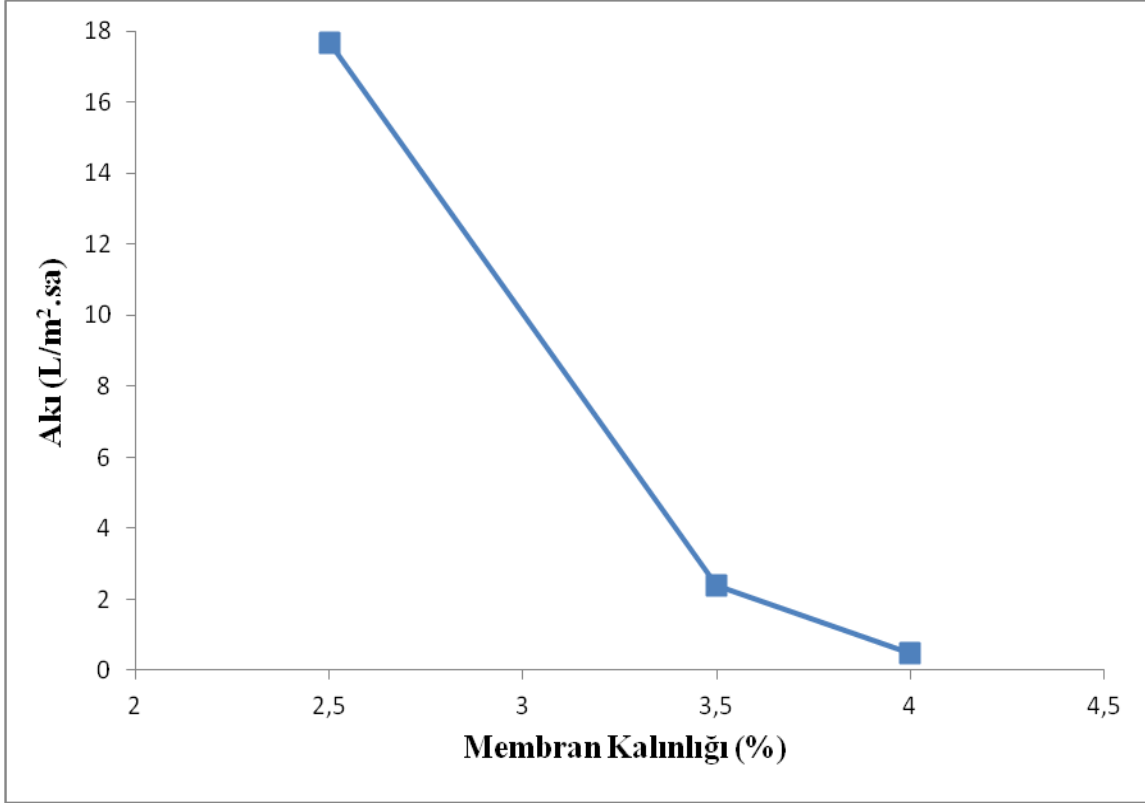
Burada $0,3 \times 10^{-4}$ M Co(II) ile $0,6 \times 10^{-4}$ M bg/L AA içerikli çözeltilerin pH=6'da, P=50 psi ve 400 dev/dk karıştırma hızında membran kalınlığının tutulma yüzdesi ve akıya etkileri Çizelge 4.15, Şekil 4.26 ve Şekil 4.27'de gösterilmiştir. Membran kalınlaştıkça gözenek boyutu azaldığından akı da düşmüştür. En iyi tutulma en küçük gözenek boyutuna sahip olan MIII membranında gözlenmiştir.

Çizelge 4.15 Co(II)+AA çözeltisi filtrasyonunda membran kalınlığının tutulma ve akıya etkisi ($C_{Co(II)}=0,3 \times 10^{-4}$ M, P=50 Psi, Karıştırma Hızı=400dev/dk)

Membran Kalınlığı	Tutulma(%R)	Akı(L/m ² .sa)
MI	60	17,65
MII	56,33	2,38
MIII	68,66	0,50



Şekil 4.26 Co(II)+AA ile yapılan filtrasyon işleminde membran kalınlığının tutulmaya etkisi ($C_{Co(II)+AA}=0,3 \times 10^{-4}$ M, P= 50 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)



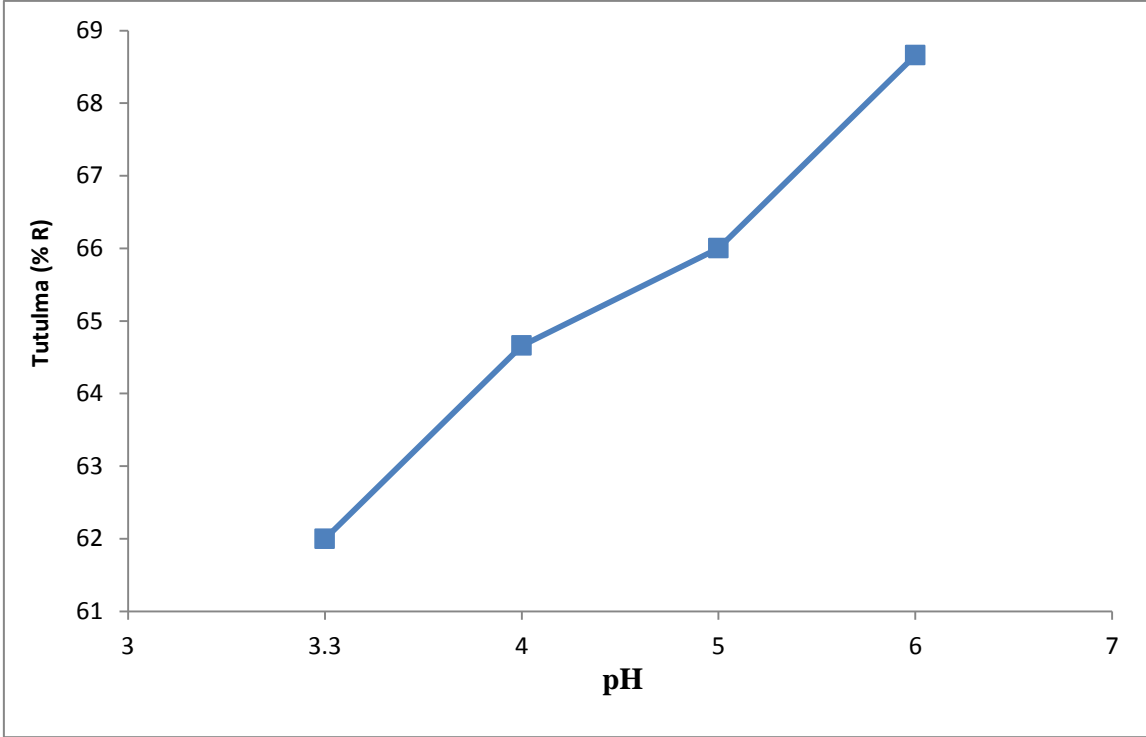
Şekil 4.27 Co(II)+AA ile yapılan filtrasyon işleminde membran kalınlığının akıya etkisi ($C_{Co(II)+AA}=0,3 \times 10^{-4}$ M, P=50 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

4.5.2 pH'in Tutulma ve Akıya Etkisi

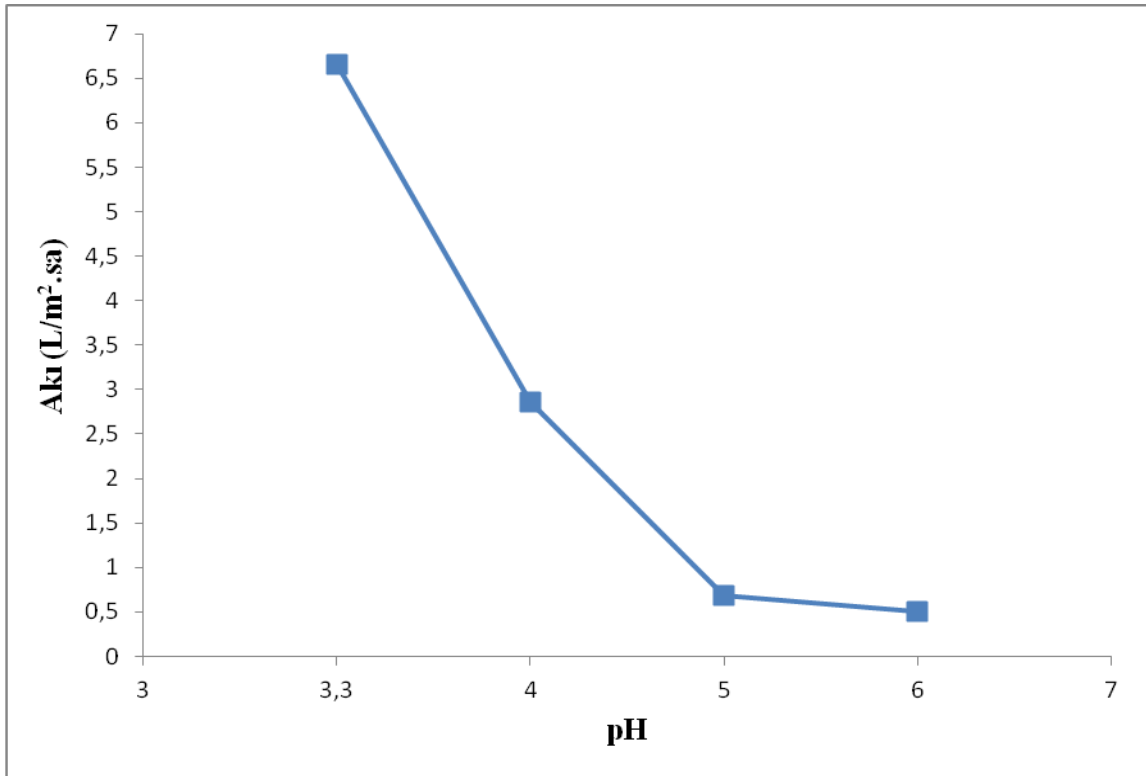
$0,3 \times 10^{-4}$ M Co(II) ile $0,6 \times 10^{-4}$ M bg/L AA içerikli çözeltilerin MIII membranı kullanılarak 400 dev/dk karıştırma hızında, P=50 psi'de değişik pH'larda filtre edildi. pH'in tutulma yüzdesi ve akıya etkilerinin sonuçları Çizelge 4.16, Şekil 4.28 ve Şekil 4.29'da verilmiştir. Burada pH artışıyla ortamdaki H⁺ iyonları azalmakta ve AA'daki karboksil gruplarıyla Co(II)'in kompleks oluşturması artmakta ve dolayısıyla tutulma artmaktadır. Kekleşme oranındaki artıştan dolayı ise akı düşmüştür.

Çizelge 4.16 Co(II)+AA çözeltisi filtrasyonunda pH'in tutulma ve akıya etkisi ($C_{Co(II)+AA}=0,3 \times 10^{-4}$ M, P=50 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

Membran	pH	Tutulma(%R)	Akı(L/m ² .sa)
MIII	3,3	62	6,66
MIII	4	64,66	2,86
MIII	5	66	0,69
MIII	6	68,66	0,50



Şekil 4.28 Co(II)+AA çözeltisi filtrasyonunda pH'ın tutulmaya etkisi ($C_{Co(II)+AA}=0,3 \times 10^{-4}$ M, P=50 Psi, Karıştırma Hızı= 400 dev/dk)



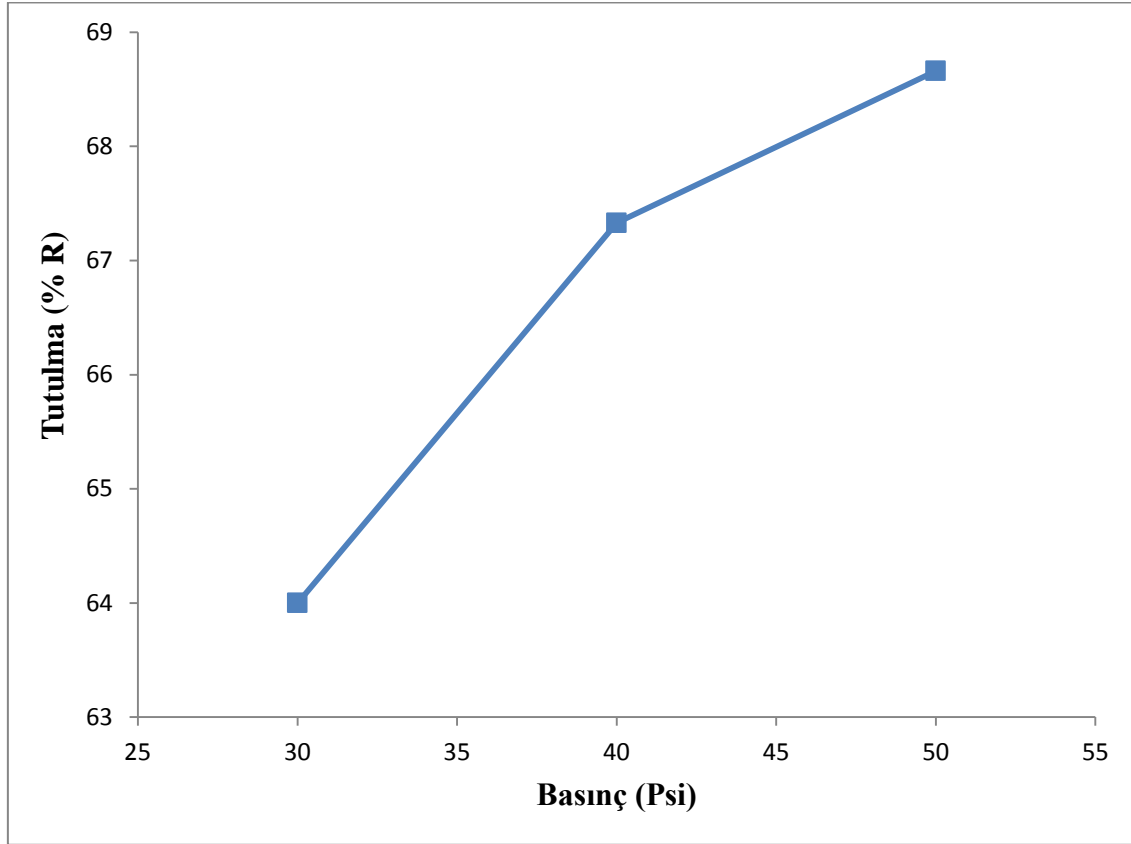
Şekil 4.29 Co(II)+AA çözeltisi filtrasyonunda pH'ın akıya etkisi ($C_{Co(II)+AA}=0,3 \times 10^{-4}$ M, P=50 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

4.5.3 Basıncın Tutulma ve Akıya Etkisi

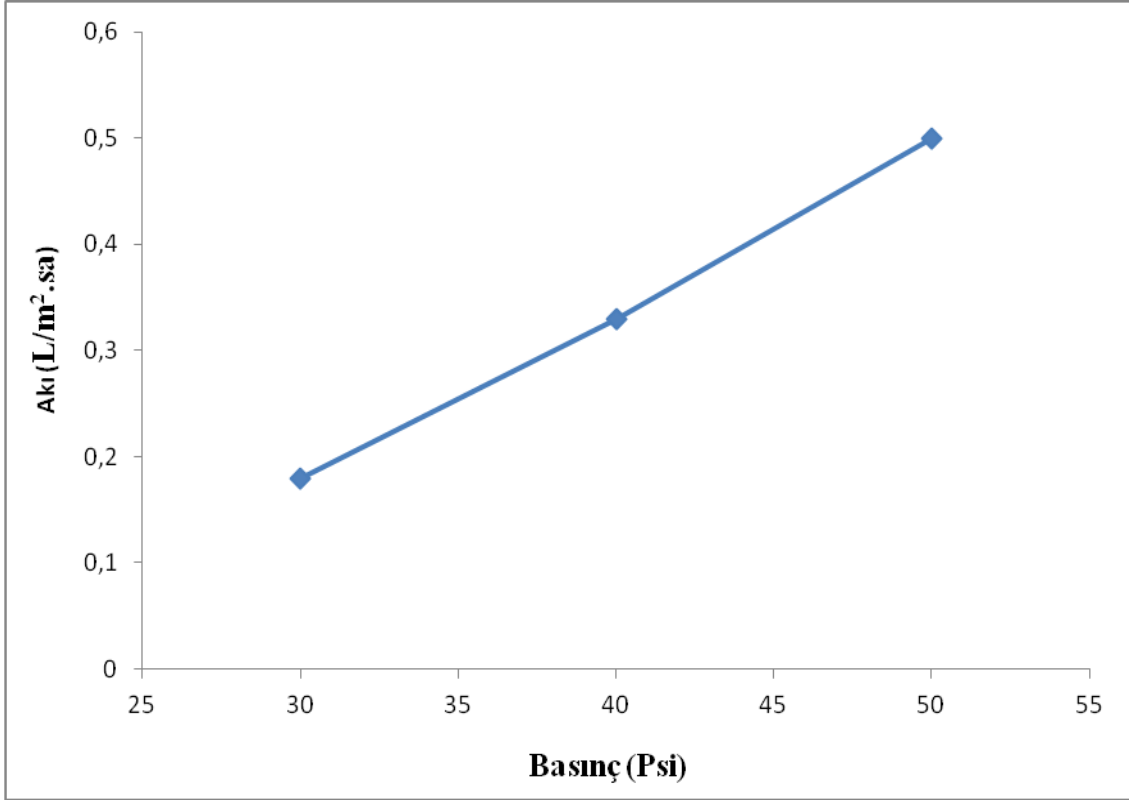
$0,3 \times 10^{-4}$ M Co(II) ile $0,6 \times 10^{-4}$ M bg/L AA içerikli çözeltilerin çözeltisi MIII membranı kullanılarak 400 dev/dk karıştırma hızında, pH=6'da filtre edildi. Basıncın tutulma yüzdesi ve akıya etkilerinin sonuçları Çizelge 4.17, Şekil 4.30 ve Şekil 4.31'de verilmiştir. En iyi optimum tutulma dengesi 50 psi'de gözlenmiştir. Akıdaki artışında beklenen şekilde membrana uygulanan basınç kuvvetiyle doğru orantılı bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir.

Çizelge 4.17 Co(II)+AA çözeltisi filtrasyonunda basıncın tutulma ve akıya etkisi
($C_{Co(II)+AA}=0,3 \times 10^{-4}$ M, pH=6, Karıştırma Hızı= 400dev/dk)

Membran	Basınç(Psi)	Tutulma(%R)	Akı(L/m ² sa)
MIII	30	64	0,18
MIII	40	67,33	0,33
MIII	50	68,66	0,50



Şekil 4.30 Co(II)+AA çözeltisi filtrasyonunda basıncın tutulmaya etkisi ($C_{Co(II)+AA}=0,3 \times 10^{-4}$ M, pH=6, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)



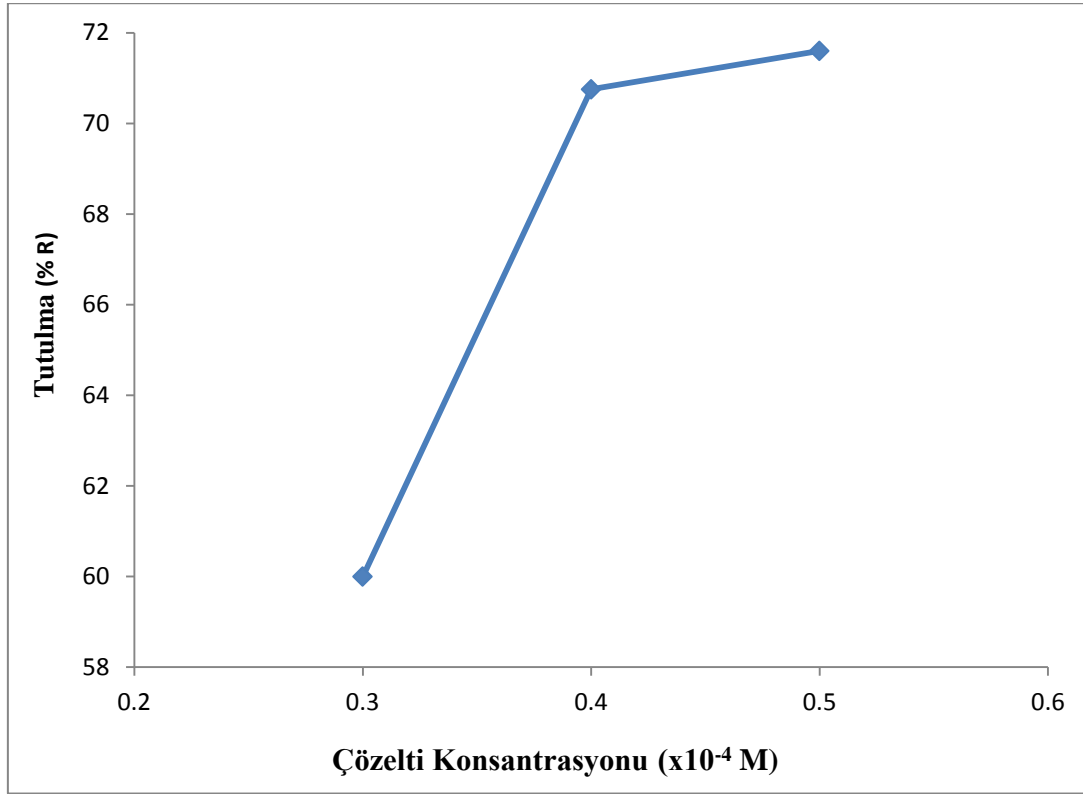
Şekil 4.31 Co(II)+AA çözeltisi filtrasyonunda basıncın akıya etkisi ($C_{Co(II)+AA}=0,3 \times 10^{-4}$ M, pH=6, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

4.5.4 Çözelti Konsantrasyonunun Tutulma ve Akıya Etkisi

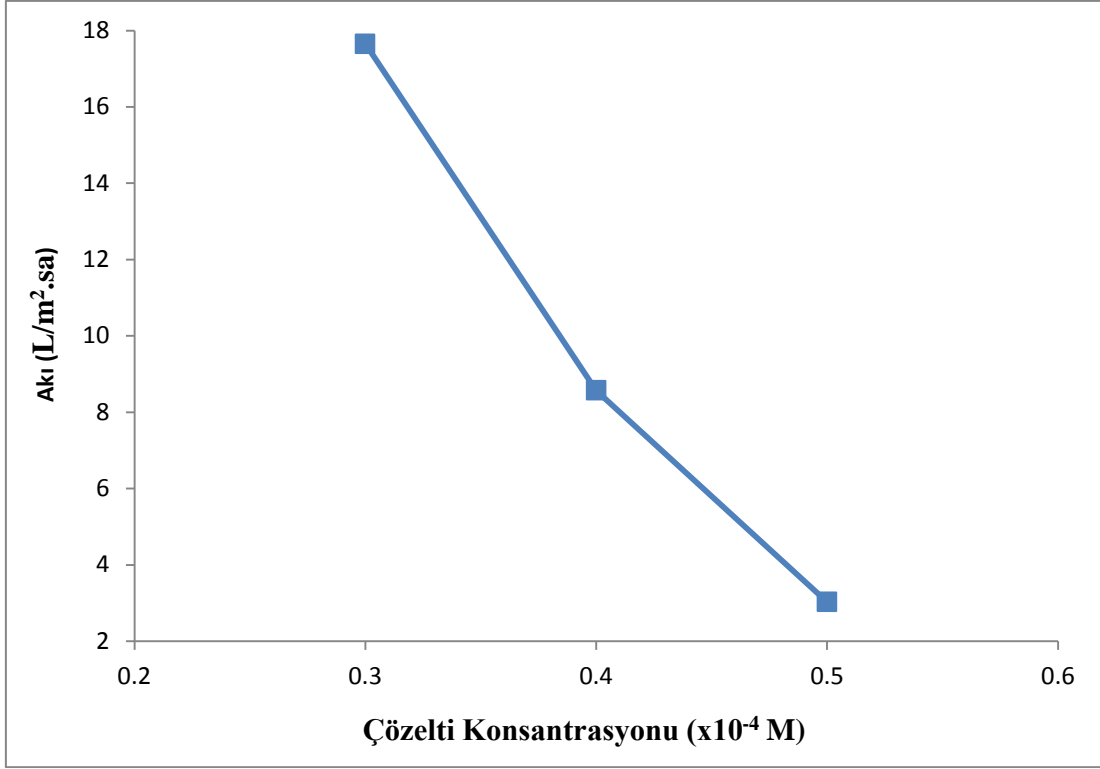
pH=6, P=50 psi, 400 dev/dk karıştırma hızında MI membranı ile değişik konsantrasyonlarda yapılan Co(II) ve AA içerikli çözeltilerinin filtrasyonunda tutulma yüzdesi ve akıya etkileri Çizelge 4.18, Şekil 4.32 ve Şekil 4.33'te gösterilmiştir. Yüksek konsantrasyondaki Co(II)+AA çözeltisinde kompleksler ek olarak fazla kekleşme oluşturur ve bu da geçişi zorlaştırdığından tutulma artar. Kekleşme arttıkça da membran geçirgenliği azalır dolayısıyla akı düşer.

Çizelge 4.18 Co(II)+AA çözeltisi filtrasyonunda çözelti konsantrasyonunun tutulma ve akıya etkisi (pH=6, P=50 Psi, Karıştırma Hızı=400 dev/dk)

Membran	Çözelti Konsantrasyonu	Tutulma(%R)	Akı(L/m ² .sa)
MI	0,3x10 ⁻⁴ M Co(II) ile 0,6x10 ⁻⁴ M AA	60	17,65
MI	0,4x10 ⁻⁴ M Co(II) ile 0,8x10 ⁻⁴ M AA	70,75	8,57
MI	0,5x10 ⁻⁴ M Co(II) ile 1x10 ⁻⁴ M AA	71,6	3,03



Şekil 4.32 Co(II)+AA çözeltisi filtrasyonunda çözelti konsantrasyonunun tutulmaya etkisi (pH=6, P= 50 Psi, Karıştırma Hızı= 400 dev/dk)



Şekil 4.33 Co(II)+AA çözeltisi filtrasyonunda çözelti konsantrasyonunun akıya etkisi (pH= 6, P= 50 Psi, Karıştırma Hızı= 400 dev/dk)

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

1. Bu çalışmada 50 psi basınca dayanıklı ve saf suyu geçirebilen gözenekli membranlar üretildi. Sonuçta MI, MII ve MIII membranlarının filtrasyon işlemi için uygun olduğu tespit edildi.

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

MI membranı ile yapılan deneylerde; çözelti konsantrasyonunun artması ile tutulma yüzdesi azalırken akı azalmıştır. Fe(III) iyonları ile yapılan deneylerde; membran kalınlığı ve pH artışı ile tutulma yüzdesi ve akı azalmıştır. Basınç artışı ile tutulma yüzdesi önce artıp sonra azalmışken akı sürekli artmıştır.

En iyi Fe(III) tutulması; MI membranı ile yapılan deneylerde pH=3,3, $0,3 \times 10^{-4}$ M Fe(III) çözeltisi, 40 psi basınç ve 400 devir/dk karıştırma hızında % 78,66 olarak bulunmuştur.

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

Çözelti konsantrasyonu ve pH artırıldığında tutulma yüzdesi artarken akı azalmıştır. Basınç artışı ise; tutulma yüzdesinde önce artış sonra hafif bir düşüş gözlemlenmesine sebep olurken akı da büyük bir oranda artış gözlemlenmiştir. Membran kalınlığı etkisi amaçlı çalışmalarda MI geçirirken MII ve MIII membranları tıkanmıştır.

En iyi Fe(III)+AA tutulması; MI membranı ile yapılan deneylerde pH=6, $0,5 \times 10^{-4}$ M Fe(III)+AA çözeltisi, 40 psi basınç ve 400 devir/dk karıştırma hızında % 78,2 olarak bulunmuştur.

4. Co(II) iyonlarının sulu çözeltilerden filtrasyon tekniği ile ayrılması incelenmiştir. Bu işlemler MI, MII ve MIII membranları için membran kalınlığı, çözelti pH'ı, çözelti konsantrasyonu ve basınç parametreleri incelenmiştir.

Co(II) ile yapılan deneylerde; membran kalınlığı artışı ve pH artışı ile genel olarak tutulma yüzdesi artarken akı azalmıştır. Çözelti konsantrasyonunun artışı ile tutulma yüzdesi azalırken akı da azalmıştır. Basınç artışı ile tutulma yüzdesi azalırken akı da artış gözlemlenmiştir.

En iyi Co(II) tutulması; MIII membranı ile yapılan deneylerde pH=6, $0,3 \times 10^{-4}$ M Co(II) çözeltisi, 50 psi basınç ve 400 devir/dk karıştırma hızında % 77 olarak bulunmuştur.

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

Co(II)+AA ile yapılan deneylerde; membran kalınlığı, pH ve çözelti konsantrasyonu artışı ile genel olarak tutulma yüzdesi artarken akı azalmıştır. Basınç artışı ile tutulma yüzdesi artarken akı da artmıştır.

En iyi Co(II)+AA tutulması; MI membranı ile yapılan deneylerde pH=6, $0,5 \times 10^{-4}$ M Co(II)+AA çözeltisi, 50 psi basınç ve 400 devir/dk karıştırma hızında % 71,6 olarak bulunmuştur.

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

6. KAYNAKLAR

- Araujalian, A. (2001). Ethanol recovery from an aqueous medium using a pervaporation membrane, thesis (PhD), Universite Laval, Quebec, 14-24.
- Aydınoğ, İ.F. (2009). İleri Su Arıtma Metotları, Yıldız Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Ders Notları, İstanbul.
- Baker R.W. Lokhandwala, K.A. He, Z. Pinnau, I. (2001). Processes Including PSA and Membrane Separation for Separating Hydrogen from Hydrocarbons. U.S. Patent 6. 183, 628. Baker, England.
- Başural, Y. (1996). Çeşitli adsorbanlarla fosfat giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Battaglia, R. (2000). Pyromellitic Dianhydride Oxydianiline (PMDA/ODA): Studies of the Imidization Reaction Using Model Compounds, Thesis (PhD), Temple University, USA.
- Baykurt, F. Baykurt, S. Aydın, A. (1987). Su kirleticileri ve özellikleri. Çevre Sorunları ve Korunma. İstanbul Üniversitesi Yayınları, sayfa 131-134, İstanbul.
- Baysal A. (1989): "Genel Beslenme Bilgisi" **14(5)** 47-48 Ankara.
- Boyar S., (2010). Biyolojik Arıtma Çamur Özelliklerinin Klasik Membran Filtrasyonuna Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Bozkaya, O. (2010). Civa iyonlarının çinko ve nikel iyonları içeren sulu ortamda 4-vinil pirdin aşılınmış poli(etilen tereftalat) lifler ile seçimli adsorpsiyonu, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Breck, D.W. (1974). Zeolite Molecular Sieves, John Wiley & Sons, New York.

- Bungay, P.M. Lonsdale, H.K. DE Pinho, M.N. (1983). Synthetic, membranes: Science Engineering and Applications, *Nato Asi Series*, **35**, 23-29.
- Canbrolle, J. Figueroa, M. Cantos, M. (2015). Evaluating wild grapevine tolerance to copper toxicity. *Chemosphere*, **120**: 171-178.
- Cassano, A. Conidi, C. ve Drioli, E. (2011). "Comparison of the performance of UF membranes in olive mill wastewaters treatment", *Water Research*, **45 (10)**, 3197-3204.
- Chang I.S. and Kim S.N. (2005): wastewater treatment using membrane filtration-effect of biosolids concentration on cake resistance. *Process Biochem*, **40**: 1307-1314.
- Coates, T. (2014). Physiology and pathophysiology of iron in hemoglobin--associated diseases. *Free Radical Biology and Medicine*, **72**: 23-40.
- Cui, F. Jiang, Y. Field R.W. *Membrane Technology*, Elsevier, 1-12, Oxford, UK. (2010).
- Darolles, C. Sage, N. Armengaud, J. Malard V. (2013). In vitro assessment of cobalt oxide particle toxicity: Identifying and circumventing interference. *Toxicology in vitro*, **27**: 1699-1710.
- Demiral N. (2008). Pamuklu Tekstil Endüstrisi Atık Sularının Membran Teknolojisi ile Geri Kazanımı, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Deveci, F. (2007). Elektrodializ Yöntemi ile SO_4^{-3} ve BO_3^{-3} 'ün Endüstriyel Atık Sularda Gideriminin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, GYTE Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Dhokapkar, R. Girish, R. Tapas, N. Ve Sukumar D. (2007). Exploitation Results of Seven Results of Seven RO Plants for Recovery and Reuse of Treated Effluents in Textile Industries, *Desalination* **217**, 291-300.

- Dinçer, A. (2007). Sepiyolit ve genleşmiş perlit üzerine katyonil poliakrilamid adsorpsiyonu, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Drioli, E. Fontananova E. “Membrane Technology and Sustainable Growth”, Chemical.
- Duran M. (2012). Silika Kaplı Alümina Esaslı Katalitik Membranların Hidrojen Üretimi ve Ayrımı İçin Hazırlanması, Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üni. Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorum.
- Ekşi, A. (1981). Richard W. (2004). Membrane Technology and Applications John Wiley & Sons.
- El- Abbassi, A. Khayet M. Kiai, H. Hafidi, A. Ve Garcia-Payo, M.C. (2013). “Treatment of crude olive mill wastewaters by osmotic distillation and osmotic membrane distillation”, *Seperation and Purification Techonology*, **104**, 327-332.
- FAO-WHO (1984): Food standart programme Contaminants Codex Alimentarius Commission, caclvol xvii- Ed1.
- Filiz E. (2007). Doğal kaynaklardan elde edilen adsorbanlarla sulardan ağır emtal giderimi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Florence, A.T. Siepmann, J. (2009). Modern Pharmaceutics: Basic Principles and Sytems, 5. Baskı, Informa Healthcare, New York, ABD.
- Gander, M. Jefferson B., Judd S. (2000). Aerobic MBR for domestic wastewater treatment: a review with cost considerations. *Seperation and Purification Technology* 119-130.
- Goh P.S., A.F. Ismail, S.M. Sanip, B.C. Ng, M.Aziz, 2011. Recent advances of inorganic fillers in mixed matrix membrane for gas seperation, *Seperation and Purification Techonology*, **81**, 243-264.
- Gönüllü, M.T. (2004). Endüstriyel Kirlenme Kontrolü, Birsen Yayınevi, Cilt 1, 1. Baskı, İstanbul.

- Kaleli. B. (2006). Atıksuların İleri Arıtımında Membran Proseslerinin Kullanımının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kaya, Y. (2007). Nanofiltrasyon ile Proses Sularından Organik Maddelerin Geri Kazanımının Araştırılması, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kayhan, F. (2006). S-Su ürünlerinde kadmiyum biyobirikimi ve toksisitesi. *Ege Üniversitesi Su Ürünleri Dergisi* **23**: 215-220.
- Kesting, R.E. (1971). Synthetic Polymeric Membranes, Mc Graw-Hill, Inc., New York.
- Khow, O. S., Mitra S. “Pervaporation in chemical analysis”, *Journal of Chromatography*, **1217**, 2736-2746. (2010).
- King J.C. Star, J. (1992). Recovery of carboxylic acids from water by precipitation from organic solutions, US Patents 5104492.
- Kıslık V.S. (2010). Liquid Membranes Principle and Applications in Chemical Separations and Wastewater Treatment, Elsevier, Amsterdam-The Netherlands, 978-0-444-53218-3.
- Kitis M., Köseoğlu H., Gül N., Ekinci F. (2003). “Atıksu Arıtımı ve Geri Kazanımında Membran Biorektörleri”, V. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi.
- Klaassen, C.D., Amdur M.O., Daull J. (1986). The basic science of poisoning toxicology.
- Koçak, İ. (2007). Ters Osmoz Sistemi ile Sudan Borun Uzaklaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Kohl, A.L., Nielsen, R. (1997). Gas Purification (5th ed.) Houston, Texas, USA, Gulf Publishing Company.

- Konuk M. (2014). Kimyasal Arıtma İşlemi Görmüş Evsel Atıksuların Proseslerle Arıtmaya Uygunluğunun İncelenmesi, Yüksek Lisan Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Koros, W. J. and Mahajan, R. (2000). Pushing The Limits on Possibilities for Large, Scale Gas Separation: Which Strategies, *Journal Membranes Science* **175**, 181-196.
- Koyuncu, İ. (1997). Membran teknolojinin çevre mühendisliğinde kullanım potansiyeli ve ters osmoz ile amonyum iyonu giderimi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Koyuncu, İ. (2001). Nanofiltrasyon Membranları ile Tuz Gideriminde Organik İyon Etkisi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Köseoğlu, H., Harman, B.İ., Yiğit, N.Ö. Membran biyorektör proseslerinde yeni tıkanma kontrolü stratejileri. Membran Teknolojileri ve Uygulamaları Sempozyumu, İTÜ, İstanbul, (2009). 45-46.
- Kural, E. (2000). Tekstil Boyahane Atıksularının Nanofiltrasyon Membranları ile Geri Kazanımı ve Renk Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Merbel, N.C., Hageman, J. J. and Brinkman U.A. (1993). Membrane-based Sample Preparation for Chromotography *Journal of Chromotography*, **634**, 1-29.
- Mert N., Çetin M., Tayor M. (1993): “Bursa yöresinde tüketilen sütlerdeki kurşun (Pb) düzeylerinin saptanması” Uludağ Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi, **1(12)**.
- Mulder M. (1996). Basic Principles of Membrane Techonology(2nd ed.). Toronto, USA, Kluwer Academic Publishers.
- Mulder, M. (1996) Basic Principles of Membrane Techonology, Kluwer Academic Publishers, *The Netherlands*, **0-923**, 4248-8.

- Mulder, M. (1997). Basic Principles of Membrane Technology, *Kluwer Academic Publishers*, London. 6, 12, 14-16.
- Nunes, S.P., Peinemann, K.V. "Membrane Technology in the Chemical Industry" Second Edition, Wiley VCH, 5-7, (2006).
- Oana C. David, Daniel Gorri, Kitty Nijmeiger, Inmacualda Ortiz, Ane Urriaga (2012). Hydrogen separation from multicomponent gas mixtures containing CO, N₂ and CO₂ using Matrimid asymmetric hollow fiber membranes, *Journal of Membrane Science* **419-420**: 49-56.
- Ognier S., Wisniewski C. and Grasmick A. (2004); Membrane bioreactor fouling in sub-critical filtration conditions; a local flux concept. *Journal of Membrane Science*. (**229**) 171-177.
- Onyancha, D., Mavura, W., Ngila, J.C., Ongoma, P. and Chacho, J. (2008). Studies of chromium removal from tannery wastewaters by algaebiosorbents, *Spirogyra condensata* and *Rhizoclonium hieroglyphicum*, *Journal of Hazardous Materials*, **158**, 605-614.
- Othmer, K. (2008). Separation Technology, Second Edition, John Wiley & Sons, USA. 85-156.
- Özçimen, D. (2007). Çeşitli bitkisel atıkların karbonizasyon yoluyla değerlendirilmesi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pandey, P. and Chauhan, R.S. (2001). Membranes for gas separation, *Progress in Polymer Science*, **26**, 853-893.
- Pattillo, C. (1995). Membranes: Liquid Membranes in Particular, Rensselaer Polytechnic Institute.
- Pinto, C.G., Laespodo, E.D., Pavan, J. L. P. and Cordero, B.M., 1999. Analytical Application of Separation Techniques Through Membranes. Laboratory Automation and *Information Management*, **34**, 115-130.

- Poschenrieder, C., Gunse, B., Carrales, I., Barcelo, J, (2008). A glance into aluminum toxicity and resistance in plants. *Science of The Total Environmental Sciences*, **20**: 664-669.
- Ravanchi, M., T., Kaghazchi, T. A. “Application of membrane separation processes in petrochemical industry: a review”, *Desalination*, 235-199-244 (2009).
- Scott, K., Hugges, R. (1996). Overview of the Application of Synthetic Membrane Processes Industrial Membran Separation Techonology(Eds). Blackie and Academic Professional Chapman and Hall Glasgow, 8-32.
- Sınmaz, B. (2007). Eysel nitelikli atıksuların ters ozmoz kullanılarak geri kazanımı, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi. Gebze, Kocaeli.
- Singh R. (2006). Hybrid Membrane Sytems for Water Purification: Technology, Sytems Design and Operations, Elsevier Science and Technology Books.
- Singh, V.P. and Yadava, R.N. (2003). Wastewater Treatment and Waste Management, Allied Publishers, New Delhi.
- Slater, C. S. “Membrane Technology For Energy Conservation in Traditional and Emerging Engineering Fields”, İEEE, 1731-1736 (1989). *Engineering Research and Design*, **82**, 1557-1562, (2004).
- Stratmann, H. “Membrane processes for sustainable industrial growth”, *Membrane Techonology*, **113**, 9-11, (1998).
- Sukhtej, S. Dhingra (1997). Mixed Gas Transport Study Through Polymeric Mebranes: A Novel Technique, Thesis (PhD), Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg Virginia.
- Sur, H., Köksal L. (1998): “Katı atık sorunu ve katı atıkların geri kazanılmasının ekonomik önemi” *T.S.E.* 439. sayfa 55-60 Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Şanlı Y. (1984): “Çevre sorunları ve besin kirlenmesi” Selçuk Üniversitesi Veterinerlik Fakültesi Dergisi 17-37.

- Tanyolaç, J. (2004). Suyun kimyasal özellikleri. Limnoloji. Hatiboğlu Yayınları, sayfa 63-73, Ankara.
- Taşıyıcı, S. (2009). Batık Membran Sistemleri ile İçme Suyu Arıtımı: Membran Tıkanıklığını Azaltmak İçin Farklı Yöntemlerin Kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Topbaş, M., Brohi A., Karaman, M. (1998). Çevre kirliliğine sebep olan faktörler. Çevre Bakanlığı Yayınları, sayfa 12-61, Ankara.
- Ulbricht, M. “ Advanced functional polymer membranes”, Polymer, 47, 2217-2262, (2006). Wang, Q., Chen, J., Gu, K., Zhang, Y., Zhu, Y., Zhou, Y., Ye, L. (2009). Adverse health effects of lead exposure on children and exploration to internal lead indicator. *Science of the Total Environment*, **407**: 5986-5992.
- Vural N. (1984): “Toksoloji” Ankara Üniversitesi Ankara.
- Weber, W. J. (1972). Physicochemical Processes for water Quality Control. Wiley Interscience, *New York*. **7**, 336-337.
- Wolska, J. Bryjak, M. (2013). Methods for boron removal from aqueous solutions. *Desalination*, **3(10)**: 18-24.
- Xu, T. (2005). Ion Exchange Membranes: State of Their Development and *Perspective Journal of Membrane Science*. **263**, 1-29.
- Yalçın F. (1998). Membran Proseslerle Endüstriyel Atıksularda Renk Giderimi, Yüksek Lisans Tezi. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yaşa, E. (1995). Reverse Osmosis(Ters Osmoz) Su Arıtma Tesisleri 95 Teskon/Sua 044.
- Yazıcı, S. (2012). Elektrodializ bipolar membran proseslerinin tıkanma mekanizması ve önleme çalışmalarının analizi: sızıntı suyu örneği, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Yıldız, A.H. (2000). Membran Arıtma Sistemiyle Florürün Arıtılması, Yüksek Lisans Tezi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Yiğit, N.Ö., Membran biyorektörü ile evsel atıksu arıtımı. Süleyman Demirel üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 2007.
- Yuana, H., Zhanga, J., Lua, Koyuncu. İ. (2001). Nanofiltrasyon Membranları ile Tuz Gideriminde Organik İyon Etkisi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Z., Mina, H., and Wuc, C. (2009).Studies on biosorption equilibrium and kinetics of Cd²⁺ by Streptamycetes sp, K33 and HL-12, *Journal of Hazardous Materials*, **164**, 423-431.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı İbrahim KOPAN
Doğum Tarihi 20.05.1991
Doğum Yeri Afyonkarahisar
Medeni Hali Bekar
Yabancı Dili İngilizce
İletişim ibocanc@hotmail.com

Eğitim Durumu

Lise Afyon Atatürk Lisesi(2005-2009)
Lisans Balıkesir Üniversitesi Kimya Bölümü(2009-2013)
Yüksek Lisans Afyon Kocatepe Üniversitesi Fizikokimya Anabilim Dalı(2013-2016)