

**POLİMER MEMBRANLAR KULLANILARAK
AĞIR METALLERİN SULU ÇÖZELTİLERDEN
FİLTASYON TEKNİĞİ İLE AYRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şükrü POLAT

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Cemal ÇİFCİ

KİMYA ANABİLİM DALI

AĞUSTOS 2007

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**POLİMER MEMBRANLAR KULLANILARAK AĞIR METALLERİN SULU
ÇÖZELTİLERDEN FİLTASYON TEKNİĞİ İLE AYRILMASI**

Şükrü POLAT

DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Cemal ÇİFCİ

KİMYA ANABİLİM DALI

AĞUSTOS 2007

ONAY SAYFASI

Yrd. Doç. Dr Cemal ÇİFCİ danışmanlığında,
Şükrü POLAT tarafından hazırlanan
“Polimer Membranlar Kullanılarak Ağır Metallerin Sulu Çözeltilerden Filtrasyon
Tekniği İle Ayrılması” başlıklı bu çalışma, lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin
ilgili maddeleri uyarınca
...../...../200....
tarihinde aşağıdaki jüri tarafından
Kimya Anabilim Dalında
Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

	Ünvanı, Adı, SOYADI	İmza
Başkan	Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ENGİNAR	
Üye	Yrd. Doç. Dr. Cemal ÇİFCİ (Danışman)	
Üye	Yrd. Doç. Dr. Atilla EVCİN	

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

Doç. Dr. Zehra BOZKURT
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1 Membranların Tanımı	3
2.2 Ayırma İşlemleri ve Dikkat Edilmesi Gereken Noktalar	3
2.3 Membran Teknolojisinin Diğer Ayırma İşlemlerine Göre Üstünlükleri	3
2.4 Membran Teknolojisinin Dezavantajları	4
2.5 Membran Seçiciliği ve Akı	4
2.6 Yapılarına Göre Membranlar	5
2.7 Sentetik Membranları Hazırlamada Kullanılan Teknikler	5
2.7.1 Sinterleme	6
2.7.2 Germe	6
2.7.3 Aşındırma	6
2.7.4 Kaplama	7
2.7.5 Faz dönüşümü	7
2.7.5.1 Çözücü Buharlaştırması ile Çöktürme	7
2.7.5.2 Buhar Fazdan Çöktürme	8
2.7.5.3 Kontrollü Buharlaştırma ile Çöktürme	8
2.7.5.4 Termal Çöktürme	8
2.7.5.5 Daldırarak Çöktürme	8
2.8 Membran Performansı	9
2.9 Membranların Karakterizasyonu	9
2.9.1 Gözenekli Membranların Karakterizasyonu	10

2.9.2	Gözeneksiz Membranların Karakterizasyonu	10
2.10	Membranla Yapılan Ayırma Yöntemleri	10
2.10.1	Mikrofiltrasyon	11
2.10.2	Ultrafiltrasyon	11
2.10.3	Nanofiltrasyon	12
2.10.4	Ters Ozmoz	12
2.10.5	Diyaliz	13
2.10.6	Elektrodiyaliz	13
2.11	Ağır Metaller Hakkında Genel Bilgiler	13
2.12	Konuyla İlgili Daha Önce Yapılan Bazı Çalışmalar	15
3.	MATERYAL VE METOT	17
3.1	Materyal	17
3.1.1	Deneyde Kullanılan Aletler ve Düzenek	17
3.1.2	Deneylerde Kullanılan Maddeler	17
3.2	Metot	20
3.2.1	Membranların Hazırlanması	20
3.2.2	Membranların Filtrasyon İşlemlerinde Kullanılması	21
4.	BULGULAR	23
4.1	Membran Çalışmaları	23
4.2	Demir(III) İyonlarının Sulu Çözeltilerden Filtrasyonu	24
4.2.1	Membran İçeriğinin Akıya ve Tutulmaya Etkisi	24
4.2.2	Basıncın Akıya ve Tutulmaya Etkisi	26
4.2.3	pH' nın Akıya ve Tutulmaya Etkisi	27
4.3	Demir(III) – AA Kompleksinin Sulu Çözeltilerden Filtrasyonu	29
4.3.1	Membran İçeriğinin Akıya ve Tutulmaya Etkisi	29
4.3.2	Basıncın Akıya ve Tutulmaya Etkisi	31
4.3.3	pH' nın Akıya ve Tutulmaya Etkisi	32
4.4	Demir(III) – PVA Kompleksinin Sulu Çözeltilerden Filtrasyonu	34
4.4.1	Membran İçeriğinin Akıya ve Tutulmaya Etkisi	34
4.4.2	Basıncın Akıya ve Tutulmaya Etkisi	36

4.4.3	pH' nın Akıya ve Tutulmaya Etkisi	37
4.5	Bakır(II) – AA Kompleksinin Sulu Çözeltiden Filtrasyonu	39
4.5.1	Membran İçeriğinin Akıya ve Tutulmaya Etkisi	39
4.5.2	Basıncın Akıya ve Tutulmaya Etkisi	41
4.5.3	pH' nın Akıya ve Tutulmaya Etkisi	42
4.6	Bakır(II) – PVA Kompleksinin Sulu Çözeltiden Filtrasyonu	44
4.6.1	Membran İçeriğinin Akıya ve Tutulmaya Etkisi	44
4.6.2	Basıncın Akıya ve Tutulmaya Etkisi	46
4.6.3	pH' nın Akıya ve Tutulmaya Etkisi	47
4.7	Kobalt(II)–AA Kompleksinin Sulu Çözeltiden Filtrasyonu	49
4.7.1	Membran İçeriğinin Akıya ve Tutulmaya Etkisi	49
4.7.2	Basıncın Akıya ve Tutulmaya Etkisi	51
4.7.3	pH' nın Akıya ve Tutulmaya Etkisi	52
4.8	Kobalt(II) – PVA Kompleksinin Sulu Çözeltiden Filtrasyonu	54
4.8.1	Membran İçeriğinin Akıya ve Tutulmaya Etkisi	54
4.8.2	pH' nın Akıya ve Tutulmaya Etkisi	56
	5. TARTIŞMA VE SONUÇ	58
	6. KAYNAKLAR	60

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Polimer Membranlar Kullanılarak Ağır Metallerin Sulu Çözeltilerden Filtrasyon Tekniği İle Ayrılması

Şükrü POLAT

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Cemal ÇİFCİ

Bu çalışmada Fe(III), Cu(II), Co(II)' nin sulu çözeltiden filtrasyon tekniği ile ayrılması çalışıldı. Polivinil alkol(PVA) – Aljinik asit(AA) / selüloz kompozit membranlar filtrasyonda kullanıldı. PVA ve AA tutulmayı arttırmak amacıyla kompleksleştirici olarak kullanıldı.

Fe(III) çözeltilerinin filtrasyonunda; membran içeriğinin , basıncın ve pH' nın tutulma ve akıya etkileri çalışıldı. Fe(III) çözeltisi için optimum tutulma 60 psi basınçta, pH 3'te, kompleksleştirici ajan olarak PVA varlığında, % 0,75 (m/v) [75 PVA / 25 AA (m/m)] / selüloz kompozit membranlar kullanılarak % 98 bulundu.

Cu(II) çözeltilerinin filtrasyonunda, pH' nın, basıncın ve membran içeriğinin tutulma ve akıya etkileri araştırıldı. Cu(II) çözeltisi için optimum tutulma 60 psi basınçta, pH 6'da, kompleksleştirici ajan olarak PVA varlığında , % 0,75 (m/v)[75 PVA / 25 AA (m/m)] / selüloz kompozit membranlar kullanılarak % 50 bulundu.

Co(II)' nin sulu çözeltileri değişik pH, basınç ve membran içerikleri ile filtre edildi. Co(II) için optimum tutulma % 0,75 (m/v)[75 PVA / 25 AA (m/m)] / selüloz kompozit membranları kullanılarak, PVA varlığında, pH 6'da ve 60 psi basıncında % 33 olarak bulundu.

2007, 62 sayfa

Anahtar kelimeler: kompozit membran, iyonların tutulması, su arıtımı, filtrasyon

ABSTRACT

Master Thesis

Removal of Heavy Metals from Aqueous Solution Using Polymer Membranes by Filtration Technique

Şükrü POLAT

**Afyon Kocatepe University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Chemistry**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Cemal ÇİFCİ

In this study separation of Fe(III), Cu(II) and Co(II) from aqueous solutions was studied by filtration technique. Polyvinyl alcohol(PVA) – Alginic Acid(AA) / cellulose composite membranes were used in the filtration. PVA and AA were used as complexing agents to enhance the retention.

In the filtration of Fe(III) solutions, the effects of membrane contents, pressure and pH on the retention and the flux were studied. The optimum retention was found as 98 % for Fe(III) solution at pressure of 60 psi, pH of 3 in the presence of PVA as complexing agent by using 0,75 % (m/v)[75 PVA / 25 AA (m/m)]/ cellulose composite membranes.

In the filtration of Cu(II) solutions, the effects of pH, pressure and membrane content on the retention and the flux were examined. The optimum retention was found as 50 % for Cu(II) solution at the pressure of 60 psi, pH of 6, in the presence of PVA, by using 0,75 % (m/v)[75 PVA / 25 AA (m/m)]/ cellulose composite membranes.

Aqueous solutions of Co(II) were filtrated at different pH, pressure and contents of the membranes, the optimum retention for Co(II) was found as 33 % using 0,75 % (m/v)[75 PVA / 25 AA (m/m)]/ cellulose composite membranes when filtration was carried out in the presence of PVA, at pH 6, pressure of 60psi.

2007, 62 sayfa

Keywords: composite membrane, retention of ions, water treatment, filtration

TEŞEKKÜR

Tez danışmanlığımı üstlenen ve çalışmalarım boyunca her türlü yardımlarını esirgemeyen danışmanım Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr Cemal ÇİFCİ' ye sonsuz saygı ve en içten teőekkürlerimi sunarım.

Bizden hiçbir zaman yakın ilgisini ve desteğini esirgemeyen Kimya Bölüm Başkanı Sayın Doç. Dr İbrahim Erol' a teşekkür ederim.

Bana her konuda destek olan sevgili aileme içten teşekkür ederim.

Şükrü POLAT

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

1. Simgeler

C	Derişim
C _b	Besleme çözeltisinin derişimi
C _f	Filtrat derişimi
P	Basınç
R	Tutulma

2. Kısaltmalar

AA	Aljinik asit
PVA	Polivinil alkol
C _{Fe(III)}	Demir(III) iyonu başlangıç derişimi
C _{Cu(II)}	Bakır(II) iyonu başlangıç derişimi
C _{Co(II)}	Kobalt(II) iyonu başlangıç derişimi
C _{PVA}	Polivinil alkol için başlangıç derişimi
C _{AA}	Aljinik asit için başlangıç derişimi

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa No
Şekil 3.1	Filtrasyon sisteminin akım şeması	18
Şekil 3.2	Filtrasyon Hücresi	19
Şekil 4.1	Fe(III) çözeltilerinin filtrasyonunda membran içeriğinin akıya etkisi	20
Şekil 4.2	Fe(III) çözeltilerinin filtrasyonunda membran içeriğinin tutulmaya etkisi	25
Şekil 4.3	Fe(III) çözeltilerinin filtrasyonunda basıncın akıya etkisi	26
Şekil 4.4	Fe(III) çözeltilerinin filtrasyonunda basıncın tutulmaya etkisi	27
Şekil 4.5	Fe(III) çözeltilerinin filtrasyonunda pH' nın akıya etkisi	28
Şekil 4.6	Fe(III) çözeltilerinin filtrasyonunda pH' nın tutulmaya etkisi	28
Şekil 4.7	Fe(III)-AA kompleks çözeltilisinin filtrasyonunda membran içeriğinin akıya etkisi	30
Şekil 4.8	Fe(III)-AA kompleks çözeltilisinin filtrasyonunda membran içeriğinin tutulmaya etkisi	30
Şekil 4.9	Fe(III)-AA kompleks çözeltilisinin filtrasyonunda basıncın akıya etkisi	31
Şekil 4.10	Fe(III)-AA kompleks çözeltilisinin filtrasyonunda basıncın tutulmaya etkisi.	32
Şekil 4.11	Fe(III)-AA kompleks çözeltilisinin filtrasyonunda pH'ın akıya etkisi	33
Şekil 4.12	Fe(III)-AA kompleks çözeltilisinin filtrasyonunda pH'ın tutulmaya etkisi	33
Şekil 4.13	Fe(III)-PVA kompleks çözeltilisinin filtrasyonunda membran içeriğinin akıya etkisi	35
Şekil 4.14	Fe(III)-PVA kompleks çözeltilisinin filtrasyonunda membran içeriğinin tutulmaya etkisi	35
Şekil 4.15	Fe(III)-PVA kompleks çözeltilisinin filtrasyonunda basıncın akıya etkisi	36
Şekil 4.16	Fe(III)-PVA kompleks çözeltilisinin filtrasyonunda basıncın tutulmaya etkisi	37

Şekil 4.17	Fe(III)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda pH'ın akıya etkisi	38
Şekil 4.18	Fe(III)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda pH'ın tutulmaya etkisi	38
Şekil 4.19	Cu(II)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda membran içeriğinin akıya etkisi	40
Şekil 4.20	Cu(II)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda membran içeriğinin tutulmaya etkisi	40
Şekil 4.21	Cu(II)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda basıncın akıya etkisi	41
Şekil 4.22	Cu(II)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda basıncın tutulmaya etkisi	42
Şekil 4.23	Cu(II)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda pH'ın akıya etkisi	43
Şekil 4.24	Cu(II)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda pH'ın tutulmaya etkisi	43
Şekil 4.25	Cu(II)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda membran içeriğinin akıya etkisi	45
Şekil 4.26	Cu(II)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda membran içeriğinin tutulmaya etkisi	45
Şekil 4.27	Cu(II)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda basıncın akıya etkisi	46
Şekil 4.28	Cu(II)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda basıncın tutulmaya etkisi	47
Şekil 4.29	Cu(II)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda pH'ın akıya etkisi	48
Şekil 4.30	Cu(II)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda pH'ın tutulmaya etkisi	48
Şekil 4.31	Co(II)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda membran içeriğinin akıya etkisi	50
Şekil 4.32	Co(II)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda membran içeriğinin tutulmaya etkisi	50

Şekil 4.33	Co(II)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda basıncın akıya etkisi	51
Şekil 4.34	Co(II)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda basıncın tutulmaya etkisi	52
Şekil 4.35	Co(II)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda pH' nın akıya etkisi	53
Şekil 4.36	Co(II)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda pH' nın tutulmaya etkisi	53
Şekil 4.37	Co(II)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda membran içeriğinin akıya etkisi	55
Şekil 4.38	Co(II)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda membran içeriğinin tutulmaya etkisi	55
Şekil 4.39	Co(II)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda pH' nın akıya etkisi	56
Şekil 4.40	Co(II)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda pH' nın tutulmaya etkisi	57

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1 Selüloz filtrenin özellikleri	20
Çizelge 3.2 Kullanılan membranların özellikleri	21
Çizelge 4.1 PVA-AA / Selüloz kompozit membranları için saf su geçişleri	24
Çizelge 4.2 Fe(III) çözeltilerinin filtrasyonunda membran içeriğinin akıya ve tutulmaya etkisi	24
Çizelge 4.3 Fe(III) çözeltilerinin filtrasyonunda basıncın akıya ve tutulmaya etkisi	26
Çizelge 4.4 Fe(III) çözeltilerinin filtrasyonunda pH' nın akıya ve tutulmaya etkisi	27
Çizelge 4.5 Fe(III)-AA kompleks çözeltilerinin filtrasyonunda membran içeriğinin akıya ve tutulmaya etkisi	29
Çizelge 4.6 Fe(III)-AA kompleks çözeltilerinin filtrasyonunda basıncın akıya ve tutulmaya etkisi	31
Çizelge 4.7 Fe(III)-AA kompleks çözeltilerinin filtrasyonunda pH 'nın akıya ve tutulmaya etkisi	32
Çizelge 4.8 Fe(III)-PVA kompleks çözeltilerinin filtrasyonunda membran içeriğinin akıya ve tutulmaya etkisi	34
Çizelge 4.9 Fe(III)-PVA kompleks çözeltilerinin filtrasyonunda basıncın akıya ve tutulmaya etkisi	36
Çizelge4.10 Fe(III)-PVA kompleks çözeltilerinin filtrasyonunda pH 'nın akıya ve tutulmaya etkisi	37
Çizelge4.11 Cu(II)-AA kompleks çözeltilerinin filtrasyonunda membran içeriğinin akıya ve tutulmaya etkisi	39
Çizelge4.12 Cu(II)-AA kompleks çözeltilerinin filtrasyonunda basıncın akıya ve tutulmaya etkisi	41
Çizelge4.13 Cu(II)-AA kompleks çözeltilerinin filtrasyonunda pH 'nın akıya ve tutulmaya etkisi	42
Çizelge4.14 Cu(II)-PVA kompleks çözeltilerinin filtrasyonunda membran içeriğinin akıya ve tutulmaya etkisi	44
Çizelge4.15 Cu(II)-PVA kompleks çözeltilerinin filtrasyonunda basıncın	46

	akıya ve tutulmaya etkisi	
Çizelge4.16	Cu(II)-PVA kompleks çözeltilsinin filtrasyonunda pH 'nın akıya ve tutulmaya etkisi	47
Çizelge4.17	Co(II)-AA kompleks çözeltilsinin filtrasyonunda membran içeriğinin akıya ve tutulmaya etkisi	49
Çizelge4.18	Co(II)-AA kompleks çözeltilsinin filtrasyonunda basıncın akıya ve tutulmaya etkisi	51
Çizelge4.19	Co(II)-AA kompleks çözeltilsinin filtrasyonunda pH 'nın akıya ve tutulmaya etkisi	52
Çizelge4.20	Co(II)-PVA kompleks çözeltilsinin filtrasyonunda membran içeriğinin akıya ve tutulmaya etkisi	54
Çizelge4.21	Co(II)-PVA kompleks çözeltilsinin filtrasyonunda pH 'nın akıya ve tutulmaya etkisi	56

1. GİRİŞ

Membran kullanılarak yapılan filtrasyon teknikleri, diğer ayırma yöntemlerine göre yeni olup kullanım alanları gittikçe artmaktadır. Bu yöntemlerin yaygın olarak kullanıldıkları alanlar, ilaç maddelerinin sterilizasyonu, atık suların arıtımı, meyve sularının deriştirilmesi, suyun saflaştırılması, kandaki üre ve toksinlerin giderilmesi olarak sıralanabilir.

Membran kullanılarak yapılan filtrasyon teknikleri diğer ayırma işlemlerine göre bir çok yönden avantaj sağlar. Membran kullanılarak yapılan işlemlerde genellikle enerji tüketimi azdır, diğer ayırma işlemleriyle kolaylıkla birleştirilebilir, oda sıcaklığında çalışılabilir, kullanılan membranların özellikleri değiştirilerek ayırma için daha uygun hale getirilebilir.

Yararlanılan sürücü kuvvetler ve membranların yakaladıkları tanecik boyutları göz önüne alındığında, membran kullanılarak yapılan filtrasyon işlemleri; mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, hiperfiltrasyon, çapraz akışlı filtrasyon, ters osmoz, elektrodializ, pervaporizasyon gibi gruplara ayrılabilirler (Mulder 1992).

Günlük hayatta hemen her alanda kullandığımız su, kullanım sonrası kirlenerek atık suya dönüşür. Atık su bünyesinde sağlığa zararlı kimyasal ve biyolojik maddeleri içerir ve bunları bir bölgeden diğerine taşır. Dünyadaki kullanılabilir su miktarı toplam su miktarının % 0,1'dir. Bu yüzden su kullanıldıktan sonra bünyesinde biriken kirliliklerden arındırıldıktan sonra çevreye bırakılması gerekir. Aksi halde içme, kullanma ve tarım için su sıkıntısının çekileceği ortadadır. Bu kirliliklerin içinde ağır metallerin önemli bir yeri vardır. Sulu ortamdaki ağır metallerin insan sağlığına çok zararlı olan toksik etkilerinin azaltılması ve ekonomik öneme sahip olan ağır metallerin geri kazanılması önemle yapılması gereken bir işlemdir (Chang and Hwang 1996, Uslu ve Türkmen 1987, Liman 1998).

Bu çalışmada , Fe(III), Cu(II) ve Co(II) iyonlarının sulu çözeltilerden filtrasyon sistemi ile ayrılması araştırılmıştır. % 0,25 (m/v) [75 PVA / 25 AA (m/m)] / selüloz, % 0,50

(m/v) [75 PVA / 25 AA (m/m)] / selüloz, % 0,75 (m/v) [75 PVA / 25 AA (m/m)] / selüloz, % 1,0 (m/v) [75 PVA / 25 AA (m/m)] / selüloz kompozit membranlarla filtrasyon yapılmıştır. Aljinik Asit (AA) polimeri ve Poli Vinil Alkol (PVA) polimeri tutulmayı arttırmak amacıyla kompleksleştirici olarak kullanılmıştır. Fe(III), Cu(II), Co(II) çözeltilerinin filtrasyonunda, membran içeriğinin, uygulanan basıncın ve pH'nın akı ve tutulma üzerine etkileri incelenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1 Membranların Tanımı

Membranlar ince geçirgen filtrelerdir. Bu tanımı biraz genişletecek olursak; membranlar, bir sürücü kuvvet etkisiyle membranla etkileşen türlerden bir kısmını geçiren bir kısmını tutan seçici ve geçirici ince bariyerlerdir (Lonsdale 1987).

2.2 Ayırma İşlemleri ve Dikkat Edilmesi Gereken Noktalar

Ayırma işlemlerinden hangisinin kullanılması gerektiğine karar verirken, seçilen ayırma işleminin teknik olarak uygulanabilir ve ekonomik olmasına dikkat edilmelidir.

Ayırma işlemlerini kabaca üç sınıfa ayırabiliriz:

- Deriştirme; istenen bileşen düşük derişimdedir ve çözücü uzaklaştırılarak istenen bileşenin derişimi arttırılır.
- Saflaştırma; istenmeyen safsızlıklar uzaklaştırılır.
- Fraksiyonlandırma; karışım iki yada daha fazla istenen bileşenlerine ayrılır.

Membran işlemlerinde besleme çözeltisi derişik çözelti ve filtrat çözeltisi olmak üzere iki çözeltiye ayrılır. Burada ya derişik çözelti ya da filtrat üründür. Amaç deriştirme ise derişik çözelti ürün olarak alınır. Saflaştırma durumunda ise derişik çözelti veya filtrat uzaklaştırılmak istenen safsızlıklara göre ürün olarak alınabilir. Fraksiyonlandırmada da derişik çözelti veya filtrat ürün olarak alınabilir(Mulder 1992).

2.3 Membran Teknolojisinin Diğer Ayırma İşlemlerine Göre Üstünlükleri

Membran teknolojisinin diğer ayırma işlemlerine göre üstünlükleri şöyle sıralanabilir:

- Ayırma işleminde devamlılık vardır.
- Enerji tüketimi genelde azdır.

- Membran işlemleri diğer ayırma işlemleriyle kolaylıkla birleştirilebilir.
- Ayırma normal şartlarda yapılabilir.
- Membran özellikleri değiştirilerek daha uygun hale getirilebilir(Mulder 1992).

2.4 Membran Teknolojisinin Dezavantajları

Membran teknolojisinin dezavantajlarını şu şekilde sıralanabilir:

- Derişim polarizasyonu sebebiyle membran yüzeyinde birikim olmaktadır.
- Membranlar kısa ömürlüdür.
- Düşük seçicilik gösterirler(Mulder 1992).

2.5 Membran Seçiciliği ve Akı

Membran yeterliliği iki parametre ile belirlenir. Bunlar membranın seçiciliği ve membran boyunca çözeltinin akışıdır. Akış olayına akı veya filtrat oranı da denir ve membran boyunca birim alan ve süreden geçen akışkanın hacmi olarak tanımlanır. Hacim akısı olarak $L.m^{-2}.sa^{-1}$, $L.m^{-2}.gün^{-1}$, $ml.cm^{-2}.sa^{-1}$ gibi birimler kullanılır.

Membranın seçiciliği, tutulma (R) ile ifade edilir. Çözünen ve çözücü içeren sulu karışımlarda çözünenin tutulması % R ile gösterilir. Çözünen kısmen veya tamamen tutulurken, çözücü (genelde su) molekülleri membrandan geçerler. % tutulma:

$$\% (R) = (1 - C_f / C_b) \cdot 100 \quad (2.1)$$

ile ifade edilir. Burada C_b besleme çözeltisindeki çözünenin derişimi, C_f 'de filtrattaki çözünenin derişimidir(Geckeler et al. 1986, 1988).

2.6 Yapılarına Göre Membranlar

Doğal yapılarına göre membranlar biyolojik ve sentetik olarak iki sınıfa ayrılır. Biyolojik membranlar, canlı ve cansız türlerde bulunan doğal membranlar, sentetik membranlar ise organik ya da inorganik maddelerden yapılan membranlardır.

Katı sentetik membranlar da, simetrik ve asimetric olarak ikiye ayrılır. Simetrik membranlar gözenekli, gözeneksiz (homojen) ve silindirik gözenekli olarak üçe ayrılırlar. Simetrik membranların gerek gözenekli gerekse gözeneksiz olanları 10 ile 200 µm arasında kalınlığa sahiptirler. Kütle transferi membran kalınlığına belirlenir. Membran kalınlığı azaldıkça akı artar.

Asimetric membranlar gözenekli, üst tabakalı gözenekli, kompozit olmak üzere üçe ayrılırlar. Asimetric membranlar 0,1 ile 0,5 µm arasında kalınlığa sahip deri tabakası ve 50 ile 150 µm arasında kalınlığa sahip gözenekli destek tabakası içerirler. Kütle transferi büyük oranda ya da tamamen ince üst tabaka tarafından kontrol edilir. Kompozit membranlarda ince deri tabakası ile destek tabakası farklı materyallerden yapılmıştır. İnce tabaka toplam membran kalınlığının % 1'i kadardır(Mulder 1992, Koyuncu 2001).

2.7 Sentetik Membranları Hazırlamada Kullanılan Teknikler

Sentetik membran eldesi için bir çok değişik materyaller kullanılabilir. Bu materyaller metal, cam, seramik gibi inorganik maddeler ve çeşitli polimerlerden oluşan organik maddeler olabilirler. Filtrasyonda kullanılacak membranın özelliğine göre uygun membran hazırlama tekniği seçilir. Hem organik hem de inorganik membranların hazırlanması için çeşitli sentetik membran hazırlama teknikleri vardır. Bu teknikler;

- Sinterleme
- Germe
- Aşındırma
- Kaplama

- Faz dönüşümü
olarak sıralanabilir.

2.7.1 Sinterleme

Bu yöntem, belli boyuttaki organik veya inorganik taneciklerin sıkıştırılması ve yüksek sıcaklıklarda sinterlenmesini içerir. Sinterleme esnasında temasta olan taneciklerin ara yüzeyleri kaybolarak gözenek oluşur. Bu yöntemle gözenek boyutları 0.1 ile 10 µm aralığında olan düşük gözenekli membranlar elde edilebilir. Sinterlemede kullanılacak olan organik veya inorganik materyallerin kimyasal, termal ve mekaniksel dayanıklılığı olmalıdır.

2.7.2 Germe

Bu yöntemde, kristal ya da yarı kristal polimerik materyallerden oluşan filme mekanik kuvvet uygulanarak film gerilir. Germe sonucu polimerik filmde küçük kırılmalar meydana gelir. Bu kırılmalarla oluşan gözeneklerin boyutu 0.1 ile 3 µm aralığındadır. Germe yöntemiyle, sinterleme ile elde edilen membranlara göre gözenek boyutu daha yüksek membranlar elde edilir.

2.7.3 Aşındırma

Bu yöntemle gözenek boyutları düzgün olan düşük gözenekli membranlar elde edilir. Yüksek enerji parçacıklarının etkisiyle gözenekler oluşturulur. Kullanılan filmin kalınlığına ve ışınlamada kullanılan parçacıkların enerjilerine bağlı olarak kullanılacak materyal seçilir. Yüksek enerjili parçacıklar kullanıldığı zaman membran yapımında kullanılacak olan filmin kalınlığı da artırılabilir ve hatta film olarak inorganik materyaller de kullanılabilir.

2.7.4 Kaplama

Difüzyonla gerçekleşen filtrasyon işlemlerinde sıkı yapıdaki membranlar düşük akıya neden olurlar. Membran kalınlığının azaltılması akıdaki düşüşü önleyebilir. Membran kalınlığının azaltılması kompozit membranlar hazırlanarak sağlanabilir. Kompozit membranların seçici olan ince üst tabakası ve membrana destek sağlayan gözenekli alt tabakası farklı materyallerden oluşur. Seçiciliği üst tabaka belirler alt tabaka sadece destek görevini yapar. Bu şekilde yeterli incelikte ve yeterli dayanıklılıkta membranlar oluşturularak, akıdaki yeterlilik sağlanabilir.

2.7.5 Faz Dönüşümü

Bu yöntemde, çözelti halindeki polimer membran oluşturacak şekilde sıvı halden katı hale dönüştürülür. Genelde çözücü buharlaştırılması sonucu, polimerin katılaşması sağlanır. Polimer derişiminin yüksek olduğu sıvı faz ilk başta katılaşır bu durumdan faydalanarak isteğe bağlı olarak gözenekli veya gözeneksiz membranlar elde edilebilir. Faz dönüşümünde kullanılan bazı değişik teknikler şunlardır:

- Çözücü buharlaştırması ile çöktürme
- Buhar fazdan çöktürme
- Kontrollü buharlaştırma ile çöktürme
- Termal çöktürme
- Daldırarak çöktürme

2.7.5.1 Çözücü Buharlaştırması ile Çöktürme

Çözücü buharlaştırması ile çöktürme, faz dönüşüm membranlarının hazırlanmasında kullanılan çok basit bir tekniktir. Uygun bir çözücüde çözülen polimer gözenekli ya da gözeneksiz uygun bir desteğin üzerine dökülerek ya da destek çözelti içerisine daldırılarak çözücü buharlaştırılır.

2.7.5.2 Buhar Fazdan Çöktürme

Çözücü ile doyurulmuş çöktürücü içeren buhar atmosferine, polimer ve çözücü içeren film yerleştirilir. Buhar fazındaki yüksek çözücü derişimi döküm filminden çözücünün buharlaşmasına engel olur. Döküm filminin üzerine çöktürücünün difüzyonu ile membran oluşur.

2.7.5.3 Kontrollü Buharlaştırma ile Çöktürme

Kontrollü buharlaştırma ile çöktürme yönteminde polimer; çözücü ve çöktürücünün bir arada olduğu karışımında çözülür. Çözücü, çöktürücüden daha uçucu olduğundan buharlaştırma süresince çözücü daha önce buharlaşır ve bu da birleşimin çöktürücü ile yüksek polimer içeriğine doğru kaymasına neden olur. Polimerin çökmesiyle de membran oluşur.

2.7.5.4 Termal Çöktürme

Bu yöntemde polimer tek tip çözücü veya çözücü karışımında çözülür. Çözelti gerekli olan faz ayrımını sağlamak için soğutulur. Sıcaklığın düşmesiyle kararsız hale gelen çözeltide gözenekli yapı meydana gelir.

2.7.5.5 Daldırarak Çöktürme

Uygun bir destek üzerine dökülen polimer ve çözücünden oluşan çözelti, çöktürücü içeren banyoya daldırılır. Bu yöntemde polimerin çökmesi, çözücü ile çöktürücünün yer değiştirmesi sonucu oluşur. Polimerin çökmesiyle de membran elde edilir (Mulder 1992).

2.8 Membran Performansı

Membranların performansı, akı, alıkoyma veya seçicilik terimleriyle ifade edilmektedir. Akı, birim zamanda membranın birim alanından geçen akım miktarıdır. İdeal bir membranda, seçicilik (alıkoyma) ve yüksek akı istenir (Mulder 1996).

Membran performansına, çalışma şartlarının, kullanılan membran tipinin ve sistem tasarımının çok büyük etkisi vardır. Kullanılacak membran tipi belirlenirken göz önünde bulundurulması gereken bir çok değişken vardır. Bunlar;

- Sıcaklığa dayanıklılık
- Kimyasal uygunluk
- Basınca dayanıklılık
- pH' ya dayanıklılık
- Mekanik karalılık olarak sıralanabilir.

2.9 Membranların Karakterizasyonu

Filtrasyon işlemlerinde membranları kullanabilmek için membranın yapılacak olan işleme uygunluğunun tespit edilmesi gerekir. Bu yüzden membranların karakterizasyonunun yapılması gerekir. Membran oluşumu esnasında ortam parametrelerindeki küçük bir değişiklik dahi membranın yapısını ve performansını etkiler. Membran karakterizasyonunda; membranın yapısal özelliklerinden olan membran gözenek boyutunun, gözenek boyutu dağılımının, serbest hacmin ve kristalliğin belirlenmesi çok önemlidir. Bu özellikler membran performansı ile yakından ilgilidir.

Membranı elde ettikten sonra ilk önce yapılması gereken işlem membranın karakterizasyonunun en uygun ve en kolay tekniklerle yapılmasıdır.

2.9.1 Gözenekli Membranların Karakterizasyonu

Gözenekli membranların karakterizasyonunda gözenek boyutunun ve gözenek boyutu dağılımının yanısıra membranın performansını etkileyen derişim polarizasyonu, membran kirlenmeleri gibi durumlar da göz önüne alınmalıdır. Membranların gözeneklerinin şekli ve geometrisi de membranların ayırma yeteneklerini etkiler.

Gözenekli membranlar için iki ayrı karakterizasyon yöntemi vardır. Birincisi membranların yapısıyla ilgili; gözenek boyutunun, gözenek boyutu dağılımının, üst tabaka kalınlığının ve yüzey gözenekliliğinin belirlenmesi. İkincisi ise membranların aktarımıyla ilgili; değişik çözünen maddeler kullanarak bunların membranca tutulmalarında etkili olan parametrelerin belirlenmesi.

2.9.2 Gözeneksiz membranların karakterizasyonu

Gözeneksiz membranlar moleküler düzeydeki ayırma işlemlerinde kullanılırlar. Polimerik membranın kimyasal doğası ve morfolojisi çok önemlidir. Gözeneksiz membranlarda geçiş, çözelti – difüzyon mekanizması şeklinde ilerler. Ayırma çözünürlük ve difüzyon farkıyla sağlanır. Bu membranların kimyasal yapısıyla ilgili fiziksel özelliklerinin belirlenmesi çok önemlidir. Gözeneksiz membranların karakterizasyonunda farklı yöntemler kullanılır. En çok kullanılan karakterizasyon yöntemleri, geçirgenlik yöntemleri ve fiziksel yöntemlerdir(Mulder 1996).

2.10 Membranla Yapılan Ayırma Yöntemleri

Membranla ayırma işlemleri sürücü kuvvetlerin etkisiyle gerçekleşir. Sürücü kuvvetler akımın membranın bir tarafından diğer tarafına geçişini sağlar. Bu sürücü kuvvetler iki faz arasındaki basınç, sıcaklık, konsantrasyon ve elektriksel potansiyel farklarıdır. Membranla ayırma işlemleri; membran türlerine ve ayırma yöntemlerine göre sınıflandırılabilir. Yaygın olarak kullanılan membran ayırma işlemleri;

- Mikrofiltrasyon
- Ultrafiltrasyon
- Nanofiltrasyon
- Ters Ozmoz
- Diyaliz
- Elektrodializdir.

2.10.1 Mikrofiltrasyon

Mikrofiltrasyon genel olarak 0.6 μm ' den daha büyük partikülleri tutmak amacıyla kullanılır. Mikrofiltrasyonda sadece gözenekli membranlar kullanılır. Mikrofiltrasyon membranlarının büyük çoğunluğu simetrik yapıdadır. Membran direncinin düşük olduğu bu uygulamada ayırma düşük basınç altında yapılabilir. Mikrofiltrasyon uygulamalarında karşılaşılan en büyük problem zamanla akıda meydana gelen azalmadır. Bunun sebebi gözenek içinde ve membran yüzeyinde çözelti içinde bulunan katı maddelerin birikmesi sonucunda oluşan konsantrasyon polarizasyonu ve tıkanmadır. Mikrofiltrasyon membranları endüstride ilaç maddelerinin sterilizasyonu, atık suların arıtımı, meyve sularının süzülmesi, şarap ve bira hammaddelerinin ayırımı ve fermantasyonda kullanılmaktadır (Zaidi et al. 1992).

2.10.2 Ultrafiltrasyon

Ultrafiltrasyon 0,1 – 0,01 μm arasındaki partikülleri tutmak amacıyla kullanılır. Mikrofiltrasyonda olduğu gibi ultrafiltrasyonda da yalnızca gözenekli membranlar kullanılır. Ultrafiltrasyon membranları ile 1 – 10 bar basınç farkı arasında çalışılır. Membranda basınç arttırıldığı zaman akı da artar ancak konsantrasyon polarizasyonunun etkisi akıyı sınırlamaktadır. Bunun nedeni, sınır tabakası içinde, membran üst düzeyinde çözünen maddelerin birikmesidir. Bu durum daha sonra membran yüzeyinin tıkanmasına neden olmaktadır.

Membrandan çözücünün çözünene göre daha çok geçtiği bu işlemden ayırma mikroskopik düzeydeki bileşiklerin ayrılabilmesi için eleme mekanizmasıyla yapılır. Kullanıldığı alanlar; kağıt endüstrisinde ağartma, enzim değiştirme, süt değiştirme, peynir yapımı, atık suların geri kazanımı olarak sıralanabilir (Zaidi et al. 1992).

2.10.3 Nanofiltrasyon

Nanofiltrasyon, özellikle sulu çözeltilerdeki organik maddelerin giderilmesi amacıyla kullanılır. Daha yoğun ve ince olmasına rağmen daha az geçirgen olan membran tabakasının göstermiş olduğu dirençten dolayı, mikrofiltrasyon ve ultrafiltrasyondan daha yüksek basınçlarda, 10 – 20 bar basınç arasında çalışılır.

Nanofiltrasyon membranlarının önemli bir özelliği, iyon seçici olmalarıdır. Bir değerlikli iyonlar membrandan büyük oranda geçerken, sülfat ve karbonat gibi iki değerlikli iyonlar tutulur. Kullanıldığı alanlar; içme suyu arıtımı, iyon değiştirici, ters ozmoz için ön arıtma, atık sulardan renk giderimi, şarabın alkolünün giderimi olarak sayılabilir (Koyuncu 2001).

2.10.4 Ters Ozmoz

Ters ozmoz membranları bütün çözülmüş organik ve inorganik türleri ayırabilmektedir. Ters ozmoz olayının teorisi, solvent ve çözeltilerin membran üst tabakasında çözüldüğü ve difüze olduğu çözünme - difüzyon modeline dayandırılmaktadır. Ters ozmoz membranlarında 20 – 100 bar arasında değişen yüksek basınçların uygulanması gerekmektedir. Genel olarak, tuz giderimi ile proses suyu eldesi, atık sularda sorun gideren iyonların arıtımı, deniz suyundan içme suyu eldesi kullanıldığı alanlardır (Kaleli 2006).

2.10.5 Diyaliz

Sürücü kuvveti derişim farkı olan ve difüzyon mekanizmasıyla çalışan diyalizde homojen membranlar kullanılır. Bu yöntemle düşük moleköl ağırlıklı maddeler membrandan geçerek büyük moleköl ağırlıklı maddelerden ayrılır. En çok kullanıldığı alan hemodiyalizdir. Hemodiyalizde kandaki üre ve diğer toksinler membranla ayrılır.

2.10.6 Elektrodyaliz

Sürücü kuvvet elektriksel potansiyel farktır. Katyon ve anyon değiştirici homojen membranların kullanıldığı bu işlemden sadece bir iyonu geçirirken zıt yüklü iyonu ve yüksüz iyonu geçirmez. Kullanıldığı bazı alanlar; deniz suyunun tuzunu giderme, sülfirik asit ve sodyum hidroksit üretimidir (Mulder 1992).

2.11 Ağır Metaller Hakkında Genel Bilgiler

Ağır metaller genellikle metal kaplama endüstrisi, otomobil endüstrisi, elektriksel ve elektronik materyallerin üretilmesi ve kullanılması, boru, silah ve lastik endüstrilerinde kullanılır. Diğer kirleticilerle karşılaştırıldığında metallerin daha önemli olması bu maddelerin sulu ortamda biyolojik olarak ayrışamamasından kaynaklanır. Ağır metaller besin zincirine girerek canlı dokularda birikebilmektedir. Bu durum besin zinciri yoluyla insanlara kadar ulaşmalarına neden olmaktadır (İlhan vd. 2004, Schneegurt et al. 2001, Zouboulis et al. 2004).

Atık su bünyesinde sağlığa zararlı kimyasal ve biyolojik maddeleri içerir ve bunların bir bölgeden diğerine taşınmasına aracılık eder (Chang and Hwang 1996, Uslu ve Türkmen 1987, Brown and Savory 1983).

Hemen hemen bütün metaller; su içinde yaşayan organizmaların yanı sıra, maruziyet seviyesi yeterince yüksekse insanlar için de toksik etki gösterirler. Bu nedenle insan

sağlığı ve su ekosistemleri üzerindeki olumsuz etkilerinden dolayı metal iyonları çeşitli yöntemlerle su ve atık sulardan giderilmelidir (İlhan vd. 2004).

Çevresel problemlere neden olan kirletici atıkların en önemlileri, çevreye uzun süre toksik etki yapan ağır metaller gibi kimyasal maddelerdir. Bu kirleticiler belirli düzeylerden sonra normal ortamda yaşıyan her türlü canlının hayati aktivitelerine olumsuz etkiler yapmaktadır. Su kirlenmesinde önemli yer tutan ağır metal kirliliğinin en birinci kaynağı maden endüstrisidir. Cevherlerden metallerin kazanılması sırasında meydana gelen atıklar genelde geçirildikleri işlemlere bağlı olarak kirlilik kaynağı haline gelmektedirler. Atık sularda kirliliği oluşturan başlıca ağır metaller; krom, kurşun, bakır, demir, nikel, civa, arsenik, çinko ve kadmiyumdur. Bu metallerin bazıları biyolojik yaşamda gerekli olup yeterli miktarda sulu ortamda olmaları istenir. Fakat özellikle metal kaplama ve demir çelik endüstrisinden gelen atık sular içindeki ağır metallerden kadmiyum, civa, krom ve kurşun besin zincirleriyle girdikleri canlı bünyelerinden atılamadıkları için canlılarda birikir. Bünyede belirli sınır derişimlerinin aşılması durumunda canlıda toksik etkiler söz konusu olur. Bu birikim sonucunda sularda yaşıyan balıklar ve diğer canlılar ölebilir, hatta bu canlılarla beslenen insanların sağlıkları çok önemli ölçüde etkilenebilir. Bu nedenlerle bu ağır metallerin derişimlerinin önlenmesi yada standart değerlerde tutulması gerekmektedir (Beyazıt ve Peker 1998).

İnsan sağlığı toksik maddelerden çok etkilenir. Pek çok kimyasal madde toksik olarak sınıflandırılrsa da bazıları diğerlerine göre çok daha fazla toksik etki yapabilmektedir. İnsan bünyesi için gerekli olan pek çok element, fazla alındığında toksik zararlıdır. Belli derişimin altında insan sağlığına olumsuz etkisi olmayan bazı elementler belli bir derişimi geçince toksik etkisinden dolayı insan sağlığını olumsuz etkiler. Ayrıca toksik metallere bazı insanlar daha duyarlı oldukları için öteki insanlara göre daha çok risk altındadırlar. Örneğin çocukların merkezi sinir sistemleri kurşun elementinin toksik etkilerinden daha çok etkilenir, yaşı kadınlar da kadmiyumun kemiklere olan hasar etkisi daha çok görülür (Fergusson 1991).

Toksik etkiye sahip ağır metaller proteinlerle kompleks oluştururlar. Birçok durumda toksik ağır metaller organizma için gerekli olan iz elementlerinin yerine geçerek istenmeyen metal-protein kompleksine sebep olurlar (Fergusson 1991, Brown and Savory 1983).

Bakırın az miktarı sağlığa zararlı değildir, fakat içme suyunda istenmeyen tat meydana getirir. Vücutta aşırı bakır birikimi olduğunda özellikle karaciğer zarar görmektedir (Uslu vd.1998).

Demir canlı organizmalar için gerekli iz elementleri sınıfına girmekte olup yaşam için gereklidir. Fakat demirin fazlası da kompleks oluşturduğu proteine zarar verebilmektedir (Brown and Savory 1983).

Ağır metallerin sulu ortamlardan giderilmesinde kullanılan geleneksel yöntemler; kimyasal çöktürme, iyon değişimi, aktif karbon ile adsorpsiyon, ters osmoz, filtrasyon ve membran teknolojileri şeklinde sıralanabilir (Hussein et al. 2004, Liu et al 2004).

Ağır metallerin sulu çözeltilerden filtrasyon ve membran teknolojileri kullanılarak uzaklaştırılmasında, yaygın olarak, ters osmoz, nanofiltrasyon, elektrodiyaliz ve misel büyütmeli ultrafiltrasyon prosesleri kullanılmaktadır (Yurlova vd. 2002, Qin vd. 2003).

2.12 Konuyla İlgili Daha Önce Yapılan Bazı Çalışmalar

Şanlı ve Asman (2000), Fe(III) iyonunu sulu çözeltilerden geri kazanmaya çalışmışlardır. Bunun için ultrafiltrasyon yöntemini kullanmışlardır. Kompleksleştirici olarak aljinik asitin kullanıldığı bu çalışmada, membran yapımı için poli (metil metakrilat-metakrilik asit) kopolimeri kullanılmıştır. Membranların geçirgenlik özelliklerini geliştirmek için poli etilen glikol kullanılmıştır. Fe(III) için en iyi geri kazanım pH 3,1' de ve aljinik asit varlığında % 87,13 olarak bulunmuştur.

Juang and Chen (1997) Cu(II)'yi ultrafiltrasyon yöntemiyle sulu çözeltilerden ayırmışlardır. EDTA ve NTA' nın Cu(II) şelatları selüloz YM10 ve YM30 filtrelerinden geçirilmiştir. pH 4 ve $\Delta P = 2,04$ atm şartlarında, Cu-EDTA şelatının tutulması % 97 ve Cu-NTA şelatının tutulması % 96 olarak bulunmuştur.

Juang and Shiau (2000) ağır metalleri sulu çözeltilerden ayırmak için, ultrafiltrasyon yöntemini ve yardımcı madde olarak sitozini kullanmışlardır. Ağır metallere Cu(II), Co(II), Ni(II) ve Zn(II)'nin selüloz YM10 ve YM30 membranlarıyla ayrılmasının incelendiği bu çalışmada pH' nın metal rejeksiyonuna çok etkili olduğu bulunmuştur. Cu(II)' nin sitozinle yaptığı yüksek koordinasyon yeteneğinden dolayı, Cu(II)' nin geri kazanımı diğer iyonlara göre daha yüksek bulunmuştur.

Yiğitoğlu vd. (1998) sulu çözeltilerdeki Fe(III), Cu(II) ve Co(II) iyonlarının poli etilen tereftalat (PET) lifleri tarafından adsorplamasını incelemişlerdir. Parametre olarak liflerin sulu çözeltilerde bekleme zamanı, sıcaklık, çözeltinin pH' sı ve iyonların derişimleri seçilmiştir. Metallerin lifler üzerine adsorplanma değerleri sırasıyla Co(II) > Cu(II) > Fe(III) olarak bulunmuştur. Sıcaklık artışının adsorplanma oranlarını düşürdüğü gözlenmiştir. Liflerin adsorpsiyon denge değerine ulaşması için çözeltilerde bir saat bekletilmesi gerektiği bulunmuştur.

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Materyal

3.1.1 Deneyde Kullanılan Aletler ve Düzeneç

- Etüv (Isolab)
- Isıtıcılı manyetik karıştırıcı (Ika)
- pH metre (Hanna)
- Perkin Emler Optical Emission Spectrometer Optima 4300 DV (ICP – OES)
- UV-Vis Spektrometre (UV – 1700 Pharma, Shimadzu)
- Filtrasyon sistemi (Millipore)
- Kronometre (Oregon)
- Mikrometre (Mib Messzeuge)

Filtrasyon sistemi Şekil 3.1’de görüldüğü gibi basınç ayarlayıcı azot gaz tüpü, manyetik karıştırıcı ve filtrasyon hücresinden oluşmaktadır. Şekil 3.2’de filtrasyon hücresi gösterilmiştir. Konsantrasyonu ve pH’ ı ayarlanmış 300 ml ağır metal iyonu (Fe(III), Cu(II), Co(II)) çözeltisi filtrasyon hücresinin çözelti konan bölümüne konur ve azot gazı yardımıyla istenen basınca getirilerek 7,6 cm çapındaki membrana gönderilir. 300 ml çözelti membrandan geçene kadar geçen süre, akıyı hesaplamak için not edilir ve bu arada membrandan geçen filtrat çözeltisi bir kaba alınır. Erlendeki bu filtrat çözeltisinden numune alınarak metal analizi yapılır.

3.1.2 Deneylerde Kullanılan Maddeler

- Poli Vinil Alkol (PVA, 72000)
- Fluka firmasına ait olan PVA membran yapımında ve filtrasyon işlemlerinde kompleksleştirici polimer olarak kullanılmıştır.

- Aljinik Asit (AA)

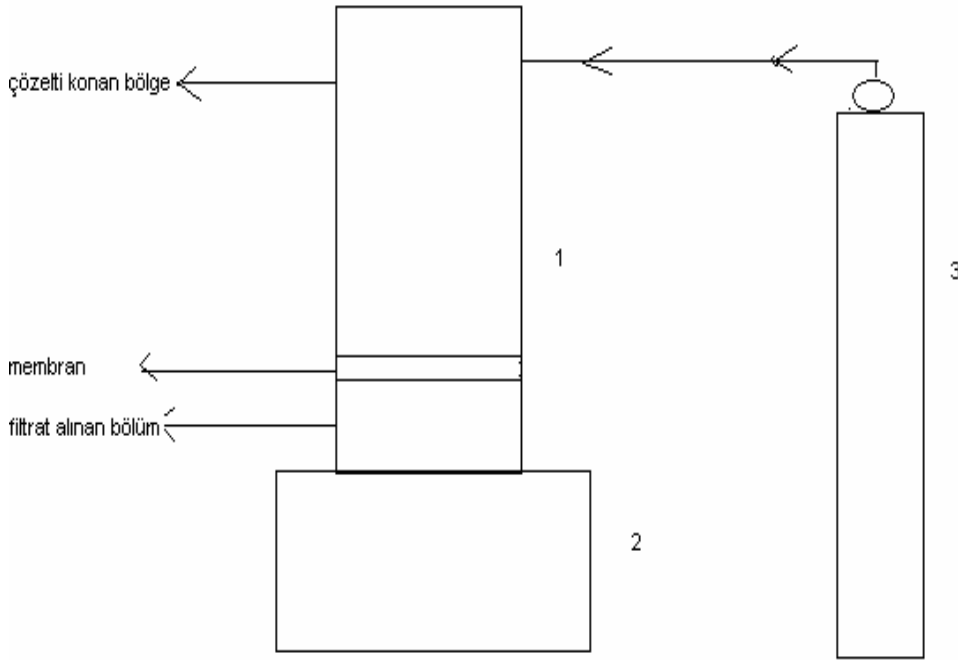
Sigma firmasına ait AA (sodyum tuzu) membran yapımında ve filtrasyon işlemlerinde kompleksleştirici polimer olarak kullanılmıştır.

- Glutarikdialdehid

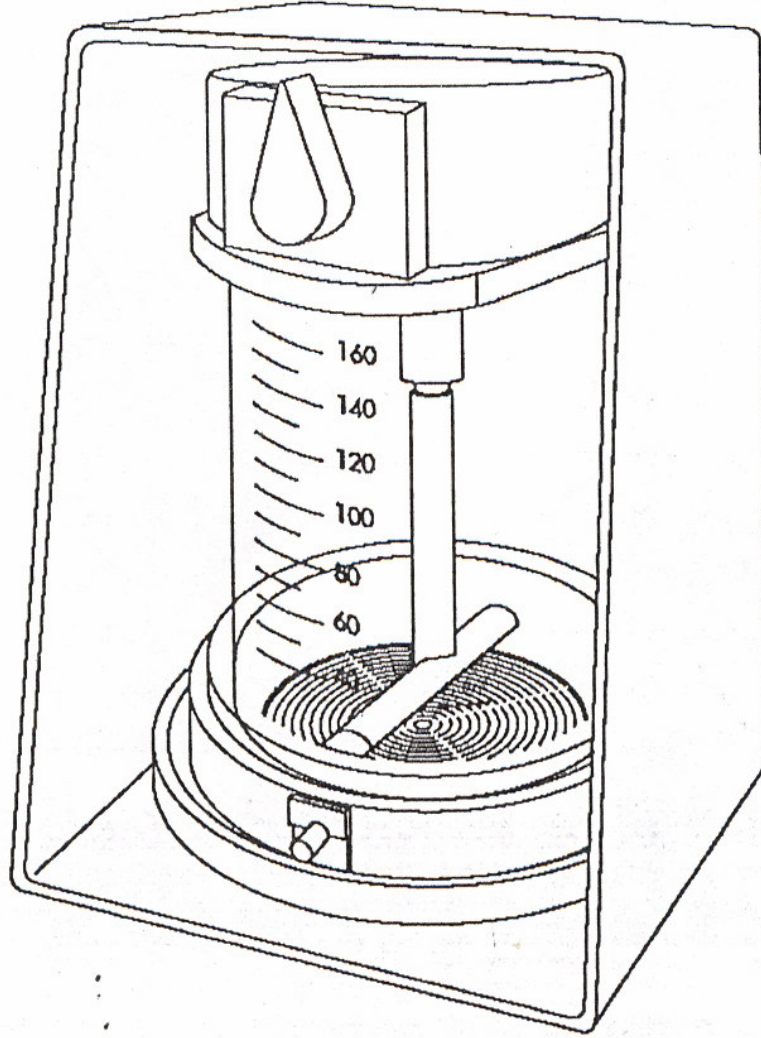
Sigma - Aldrich firmasına ait bu madde elde edilen membranların içerdiği polimer maddelerin çapraz bağlanması için kullanılmıştır.

- $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$

Riedel – de Haen firmasına ait bu maddeler yapay olarak ağır metal içeren sulu çözeltilerin hazırlanmasında kullanılmıştır.



Şekil 3.1 Filtrasyon sisteminin akım şeması (1. Filtrasyon hücresi, 2. Manyetik karıştırıcı, 3. Basınç ayarlayıcılı azot gazı tüpü)



Şekil 3.2 Filtrasyon Hücresi

- $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Sigma - Aldrich firmasına ait bu maddeler yapay olarak ağır metal içeren sulu çözeltilerin hazırlanmasında kullanılmıştır.

- $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Surechem firmasına ait bu maddeler yapay olarak ağır metal içeren sulu çözeltilerin hazırlanmasında kullanılmıştır.

-Selüloz Filtre

Macherey-Nagel (MN 640 de) firmasına ait olup, selüloz filtre membran yapımında destek olarak kullanılmıştır ve özellikleri çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Selüloz filtrenin özellikleri

Markası	Macherey-Nagel (MN 640 de)
Çapı (cm)	12,5
Kalınlığı (cm)	0,02
Ağırlığı (mg)	1132,8

- Diğer Kimyasal Maddeler

Çalışmalarda kullanılan diğer kimyasal maddeler Riedel – de Haen firmasına ait olup; KSCN Spektrofotometrede analiz edilen demir çözeltilerini renklendirmede, HCl ve NH₃ ise pH’ı ayarlama da kullanılmıştır.

3.2 Metot

3.2.1 Membranların Hazırlanması

% 0,25 (m/v) [75 PVA / 25 AA (m/m)], % 0,50 (m/v) [75 PVA / 25 AA (m/m)], % 0,75 (m/v) [75 PVA / 25 AA (m/m)] , % 1,00 (m/v) [75 PVA / 25 AA (m/m)]’lik çözeltiler hazırlanıp ve belli miktarlarda alınarak petri kaplara konulmuştur.

Daha sonra 7,6 cm çapında gözenekli selüloz filtreler destek olarak petri kaplarına daldırılmış ve 60⁰C’de etüvde kurutulmuştur.

Daha sonra bu membranlar oda şartlarında glutarikdialdehid çözeltisinde bekletilmiş daha sonra saf suda bekletilerek % 0,25 (m/v) [75 PVA / 25 AA (m/m)] / selüloz, % 0,50 (m/v) [75 PVA / 25 AA (m/m)] / selüloz , % 0,75 (m/v)[75 PVA / 25 AA (m/m)] / selüloz , % 1,00 (m/v)[75 PVA / 25 AA (m/m)] / selüloz kompozit membranlar

hazırlanmıştır. Elde edilen kompozit membranlar Çizelge 3.2'deki gibi numaralandırılmış ve özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 Kullanılan membranların özellikleri

Membran	Döküm çözeltisi içeriği%(PVA-AA)(m/v)	g (PVA-AA)/g Selüloz filtre	Kalınlık(μ m)	% Su tutma(m/m)
Selüloz Filtre	-	-	200	156
I	0,25	0,063	215	132
II	0,50	0,126	230	125
III	0,75	0,189	250	116
IV	1,00	0,253	275	106

I: % 0,25 (m/v)[75PVA/25AA(m/m)] / selüloz

II: % 0,50 (m/v)[75PVA/25 AA(m/m)] / selüloz

III: % 0,75 (m/v) [75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz

IV: % 1,0 (m/v) [75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz

3.2.2 Membranların Filtrasyon İşlemlerinde Kullanılması

Bu çalışmada Fe (III), Cu(II), Co(II) iyonunu içeren 300 mL'lik besleme çözeltileri kompleksiz, PVA kompleksleri ve AA kompleksleri halinde hazırlanmıştır.

Besleme çözeltisinin pH'sı ayarlanarak belli karıştırma hızı ve basınç altında membrana iletilmiştir. 300 mL besleme çözeltisinin membrandan geçişi tamamlanınca filtrattan örnek alınarak analiz yapılmıştır.

Fe(III)'ün analizi için filtrattan 3,5 ml'lik örnek alınarak 0,1 M KSCN ve 1 M HCl'den 0,1'er mL eklenmiştir. KSCN ile renklenmiş demir çözeltilerinin 456 nm'de spektrofotometre ile absorbansları ölçülerek derişimleri, kalibrasyon yardımıyla bulunmuştur.

Cu(II)-AA, Cu(II)-PVA, Co(II)-AA, Co(II)-PVP çözeltilerinin analizlerinde de filtrattan alınan 3,5 mL'lik numunelerin derişimleri ICD - OES kullanılarak bulunmuştur.

İyonların tutulması $\% R = (1 - \frac{C_f}{C_b}) \times 100$ eşitliği kullanılarak bulunmuştur. Burada C_f ve C_b sırasıyla filtratın ve besleme çözeltisinin derişimidir.

Filtrat akısı da; birim zamanda membran alanından geçen filtrat hacminin membran alanına ve birim zamana bölünmesiyle ($L/m^2 \cdot sa$) biriminde bulunmuştur.

4. BULGULAR

Bu çalışmada I, II, III ve IV nolu membranlar kullanılarak Fe(III), Cu(II) ve Co(II)'nin sulu çözeltilerinden ayrılması araştırılmıştır.

İlk olarak filtrasyon sistemine uygun membranların elde edilmesi için çalışmalar yapılarak çalışmalarda kullanılacak membranlar belirlenmiştir.

Sonra ki aşamada Fe(III) iyonlarını, Fe(III)-AA ve Fe(III)-PVA komplekslerini sulu çözeltilerinden ayırırken membran içeriğinin, basıncın ve çözelti pH'sının tutulmaya ve akıya etkileri bulunmuştur.

Daha sonra Cu(II)-AA ve Cu(II)-PVA komplekslerinin sulu çözeltilerinden ayrılmasında membran içeriğinin, basıncın ve çözelti pH'sının tutulmaya ve akıya etkileri bulunmuştur.

Son olarak da Co(II)-AA ve Co(II)-PVA kompleksinin sulu çözeltilerinden ayırırken membran içeriğinin, basıncın ve çözelti pH'sının tutulmaya ve akıya etkileri bulunmuştur.

4.1 Membran Çalışmaları

Deneylerin yapıldığı filtrasyon sistemi en fazla 75 psi basınçta çalışabilmektedir. Elde edilen membranlar filtrasyon sistemine yerleştirilerek test edilmiştir. Membranlara basınç uygulanarak saf su geçirgenliğini sağlayıp sağlamadığına bakılmıştır. Membran araştırma çalışmaları Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 PVA-AA / Selüloz kompozit membranları için saf su geçişleri

Membran	Basınç (psi)	Akı (L / m ² .sa)
% 0,25 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	30	1790,17
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	30	694,15
% 0,75 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	30	320,02
% 1,00 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	30	223,56

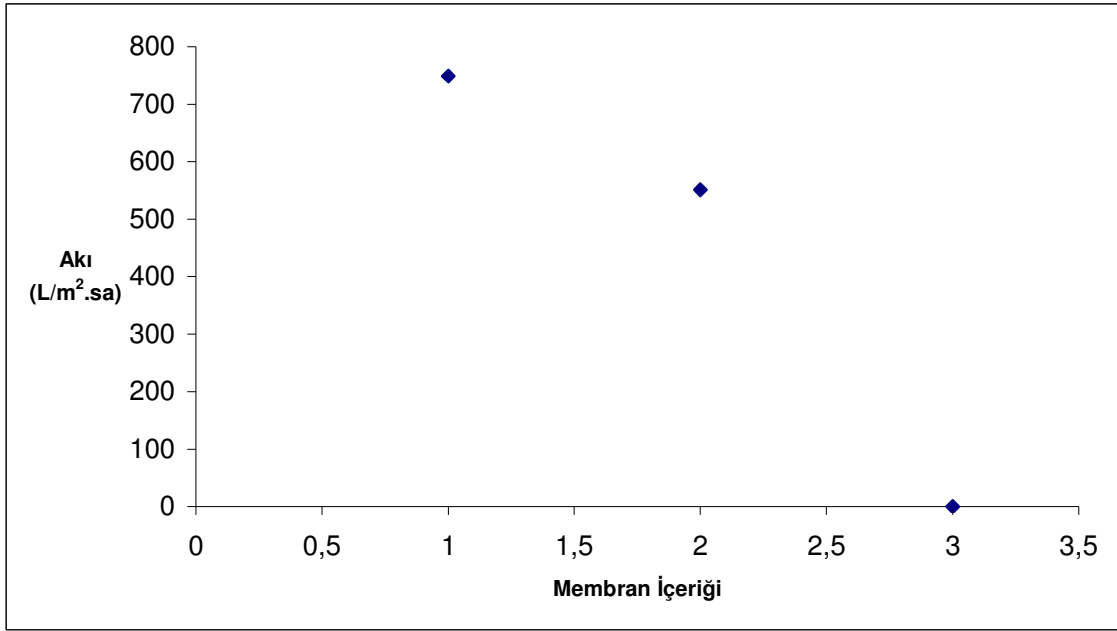
4.2 Demir(III) İyonlarının Sulu Çözeltiden Filtrasyonu

4.2.1 Membran İçeriğinin Akıya ve Tutulmaya Etkisi

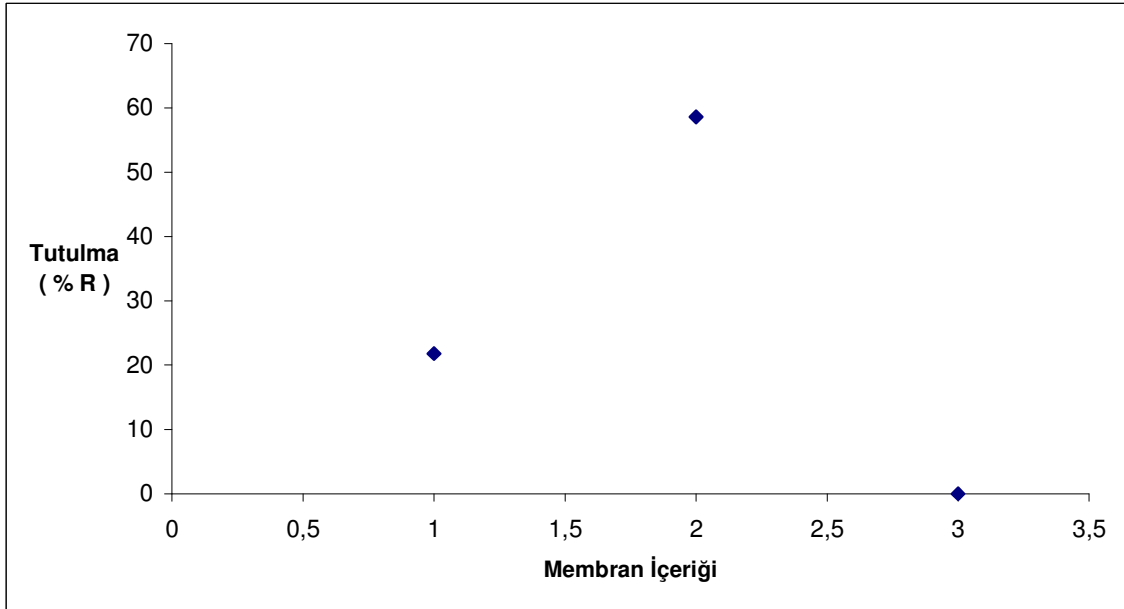
Filtrasyon işlemi için 300 mL, 1×10^{-4} M Fe(III) çözeltisi, 60 psi basınçta ve pH 3,0'de değişik membranlar kullanılarak filtre edilmiştir. Membran içeriğinin akıya ve tutulmaya etkileri Çizelge 4.2, Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de verilmiştir. Membran içeriğindeki toplam katı miktarının artmasıyla, gözenek boyutu küçülmekte ve dolayısıyla akı azalmakta ve tutulma artmaktadır. Belli bir membran kalınlığından sonra ise Fe(III) iyonlarının membrandan geçemediği gözlenmektedir.

Çizelge 4.2 Fe(III) çözeltilerinin filtrasyonunda membran içeriğinin akıya ve tutulmaya etkisi ($C_{Fe(III)} = 1 \times 10^{-4}$ M, pH= 3, P= 60 Psi)

Membran	Membran içeriği	Akı(L/m ² .sa)	Tutulma(%R)
% 0,25 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	% 0,25 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)]	748,73	21.8
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)]	551,15	58.6
% 0,75 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	% 0,75 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)]	geçirmedi	-



Şekil 4.1 Fe(III) çözeltilerinin filtrasyonunda membran içeriğinin akıya etkisi
(1:%0,25[75PVA/25AA], 2: %0,50[75PVA/25AA], 3: %0,75[75PVA/25AA], $C_{Fe(III)}=1 \times 10^{-4}$ M, pH= 3, P= 60 psi)



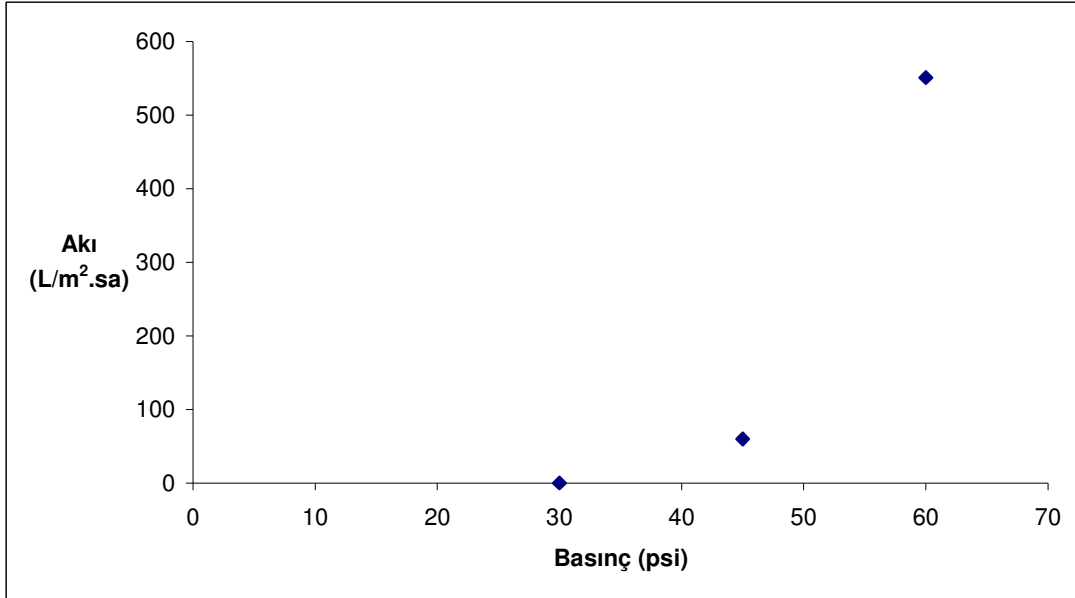
Şekil 4.2 Fe(III) çözeltilerinin filtrasyonunda membran içeriğinin tutulmaya etkisi
(1:%0,25[75PVA/25AA], 2: %0,50[75PVA/25AA], 3: %0,75[75PVA/25AA], $C_{Fe(III)}=1 \times 10^{-4}$ M, pH= 3, P= 60 psi)

4.2.2 Basıncın Akıya ve Tutulmaya Etkisi

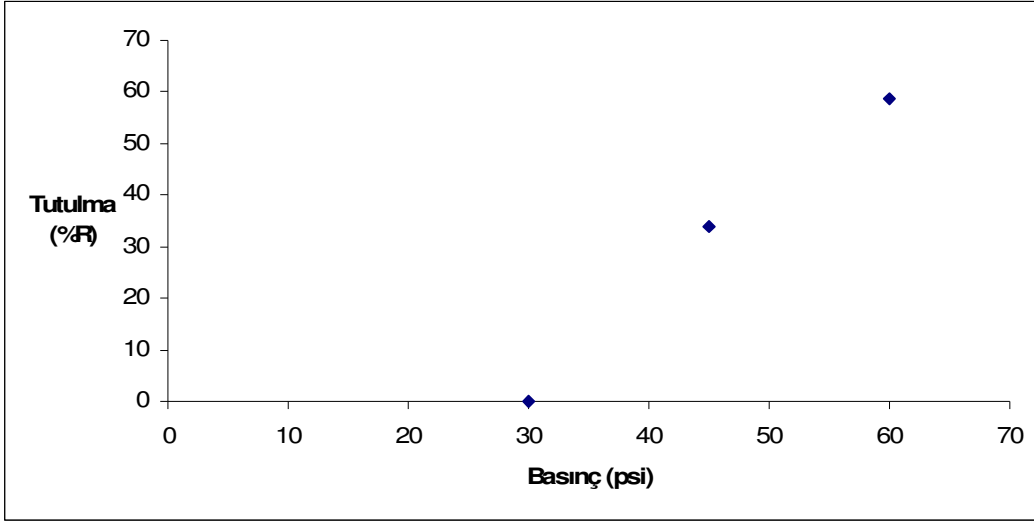
300 mL, 1×10^{-4} M Fe(III) çözeltisi için membran II (% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz) kullanılarak ve pH sabit tutularak, basıncın akıya ve tutulmaya etkisi incelenmiştir. Basıncın artmasıyla akının ve tutulmanın arttığı gözlenmektedir. Basınç artışı ile membran üzerindeki adsorplanmadan dolayı tutulma artmıştır. Belli bir basınç değerinin altında ise Fe(III) iyonlarının geçemediği gözlenmektedir. Sonuçlar Çizelge 4.3, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.3 Fe(III) çözeltilerinin filtrasyonunda basıncın akıya ve tutulmaya etkisi ($C_{Fe(III)} = 1 \times 10^{-4}$ M, membran II, pH= 3)

Membran	Basınç(psi)	Akı (L / m ² .sa)	Tutulma(%R)
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	30	geçirmedi	-
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	45	60,08	34
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	60	551,15	58.6



Şekil 4.3 Fe(III) çözeltilerinin filtrasyonunda basıncın akıya etkisi (membran: %0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)]/selüloz, $C_{Fe(III)} = 1 \times 10^{-4}$ M, pH= 3)



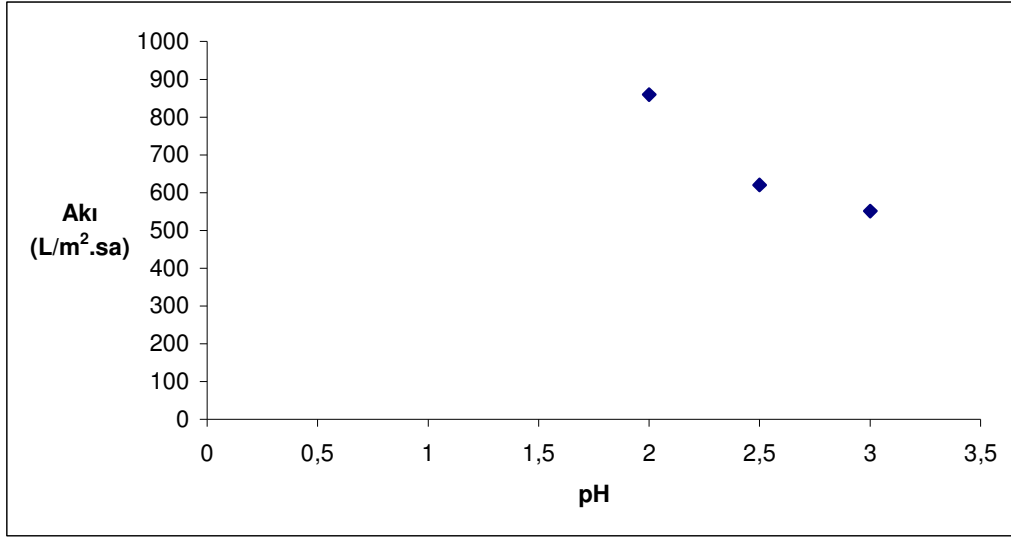
Şekil 4.4 Fe(III) çözeltilerinin filtrasyonunda basıncın tutulmaya etkisi (membran: %0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)]/selüloz, $C_{Fe(III)} = 1 \times 10^{-4}$ M, pH= 3)

4.2.3 pH' nın Akıya ve Tutulmaya Etkisi

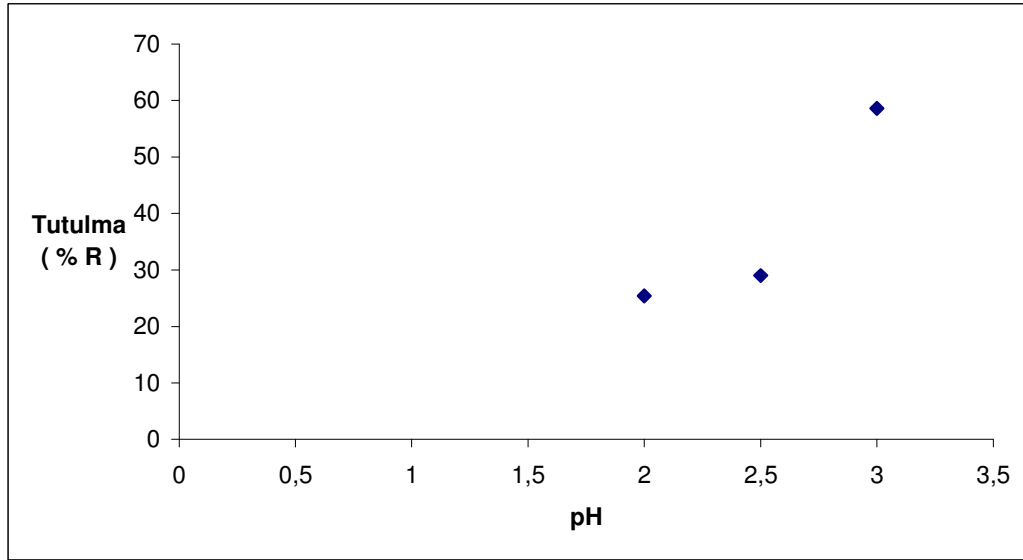
300 mL, 1×10^{-4} M Fe(III) çözeltisi için membran II (% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz) kullanılarak ve bu kez basınç sabit tutularak, pH' nın akıya ve tutulmaya etkisi incelenmiştir. pH'ın düşmesiyle akı artmakta, tutulma azalmaktadır. Sonuçlar Çizelge 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Düşük pH' larda ortamdaki H^+ iyonları artmakta ve H^+ iyonlarınca elektrostatik olarak pozitif yüklü metal iyonlarının itilmesinden dolayı tutulma düşmektedir.

Çizelge 4.4 Fe(III) çözeltilerinin filtrasyonunda pH' nın akıya ve tutulmaya etkisi ($C_{Fe(III)} = 1 \times 10^{-4}$ M, membran II, P= 60 psi)

Membran	pH	Akı (L / m ² .sa)	Tutulma(%R)
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	2	859,55	25.4
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	2,5	620,04	29
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	3	551,15	58.6



Şekil 4.5 Fe(III) çözeltilerinin filtrasyonunda pH'nın akıya etkisi (membran: %0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)]/selüloz, $C_{Fe(III)} = 1 \times 10^{-4}$ M, P= 60 psi)



Şekil 4.6 Fe(III) çözeltilerinin filtrasyonunda pH'nın tutulmaya etkisi (membran: %0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)]/selüloz, $C_{Fe(III)} = 1 \times 10^{-4}$ M, P= 60 psi)

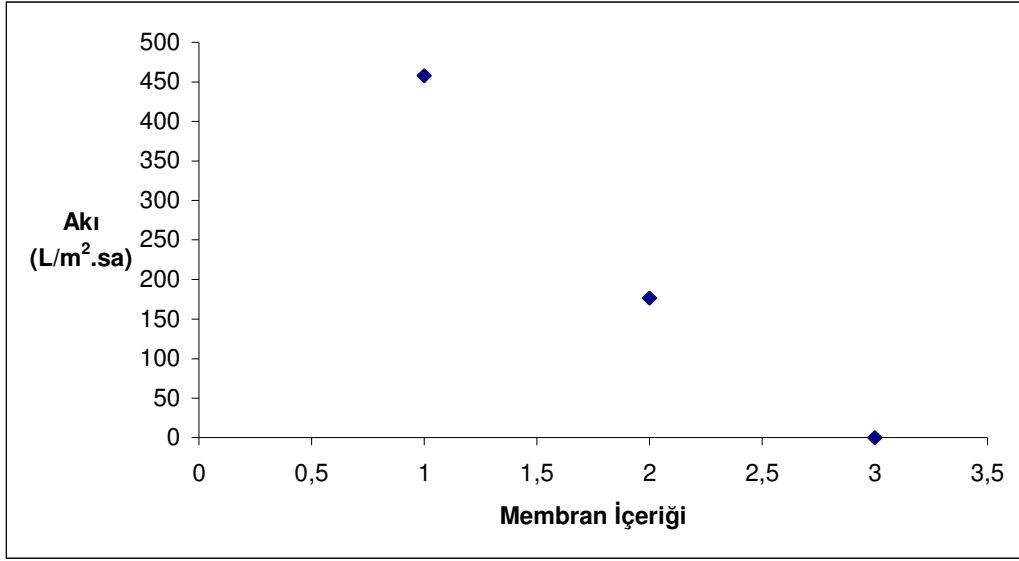
4.3 Demir(III) – AA Kompleksinin Sulu Çözeltiden Filtrasyonu

4.3.1 Membran İçeriğinin Akıya ve Tutulmaya Etkisi

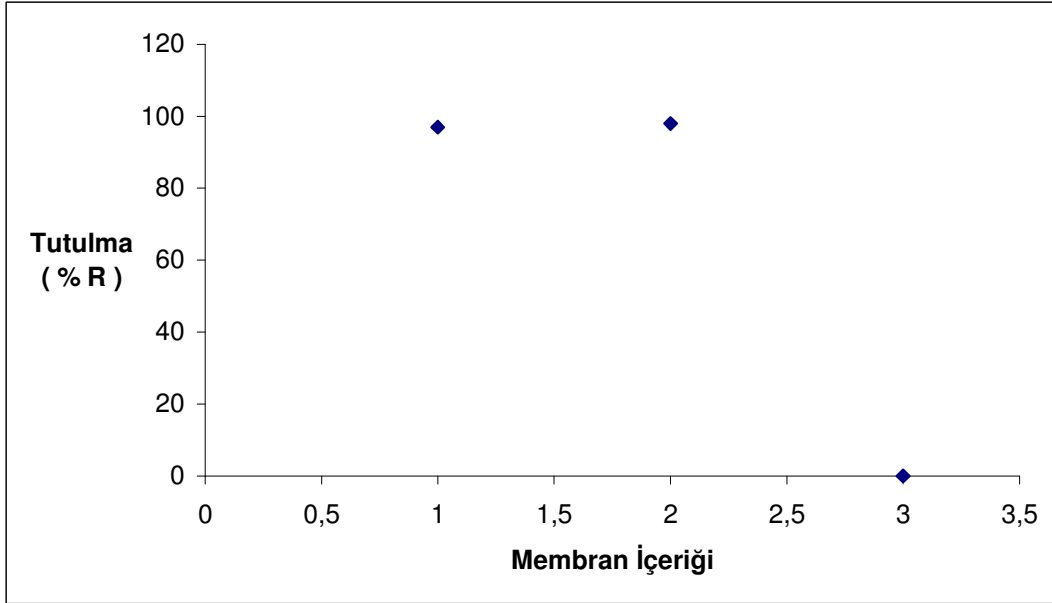
Filtrasyon işlemi için 2×10^{-4} bg/L AA ve 1×10^{-4} M Fe(III) içeren 300 mL çözelti, 60 psi basınçta ve pH 3,0'de değişik membranlar kullanılarak filtre edilmiştir. Membran içeriğinin akıya ve tutulmaya etkileri Çizelge 4.5, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi membran içeriği artışıyla gözenekler küçülmüş ve akı azalmıştır. Tutulma yüksek oranda gerçekleşmiştir.

Çizelge 4.5 Fe(III)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda membran içeriğinin akıya ve tutulmaya etkisi ($C_{Fe(III)} = 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{AA} = 2 \times 10^{-4}$ bg/L, pH= 3, P= 60 psi)

Membran	Membran içeriği	Akı (L / m ² .sa)	Tutulma(%R)
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)]	457,88	97
% 0,75 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	% 0,75 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)]	176,37	98
% 1,00 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	% 1,00 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)]	geçirmedi	-



Şekil 4.7 Fe(III)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda membran içeriğinin akıya etkisi (1:%0,50[75PVA/25AA], 2: %0,75[75PVA/25AA], 3: %1,00[75PVA/25AA], $C_{Fe(III)}= 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{AA}= 2 \times 10^{-4}$ bg/L, pH= 3, P= 60 psi)



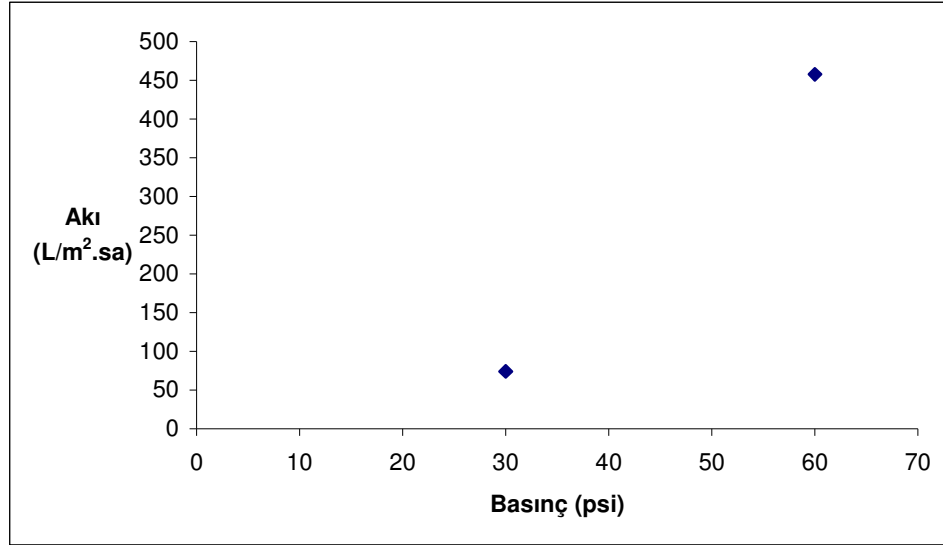
Şekil 4.8 Fe(III)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda membran içeriğinin tutulmaya etkisi (1:%0,50[75PVA/25AA], 2: %0,75[75PVA/25AA], 3:%1,00[75PVA/25AA], $C_{Fe(III)}= 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{AA}= 2 \times 10^{-4}$ bg/L, pH= 3, P= 60 psi)

4.3.2 Basıncın Akıya ve Tutulmaya Etkisi

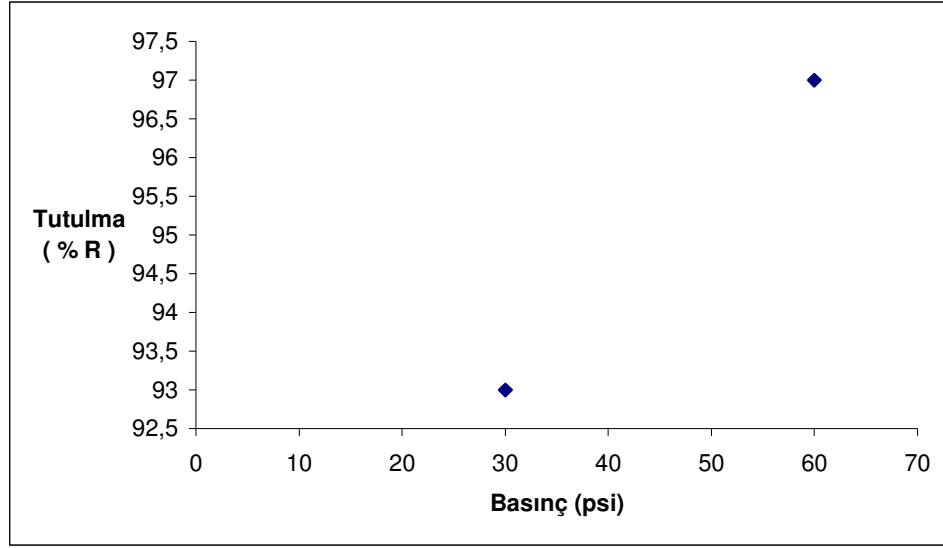
300 mL, 2×10^{-4} bg/L AA ve 1×10^{-4} M Fe(III) içeren çözelti için, membran II (%0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz) kullanılarak ve pH sabit tutularak, basıncın akıya ve tutulmaya etkisi incelenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.6, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Basıncın artması ile akı artmıştır. Tutulmalarda her iki basınçta yüksek değerlerde gözlenmiştir.

Çizelge 4.6 Fe(III)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda basıncın akıya ve tutulmaya etkisi ($C_{Fe(III)} = 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{AA} = 2 \times 10^{-4}$ bg/L, pH =3)

Membran	Basınç(psi)	Akı (L / m ² .sa)	Tutulma(%R)
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	30	73,94	93
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	60	457,88	97



Şekil 4.9 Fe(III)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda basıncın akıya etkisi (membran: %0,50 (m/v) [75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz, $C_{Fe(III)} = 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{AA} = 2 \times 10^{-4}$ bg/L, pH= 3)



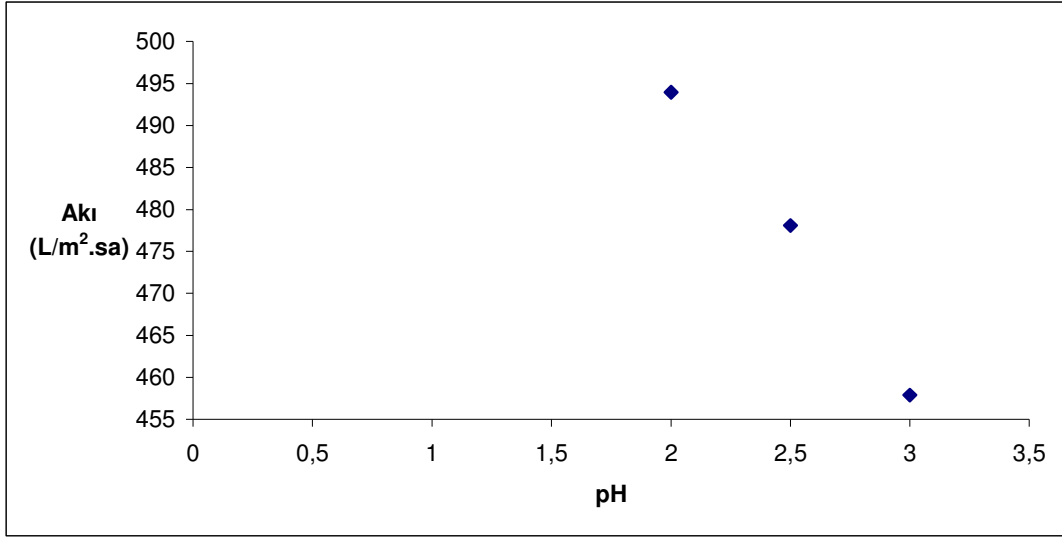
Şekil 4.10 Fe(III)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda basıncın tutulmaya etkisi(membran: %0,50 (m/v) [75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz, $C_{Fe(III)}= 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{AA}= 2 \times 10^{-4}$ bg/L, pH= 3)

4.3.3 pH' nın Akıya ve Tutulmaya Etkisi

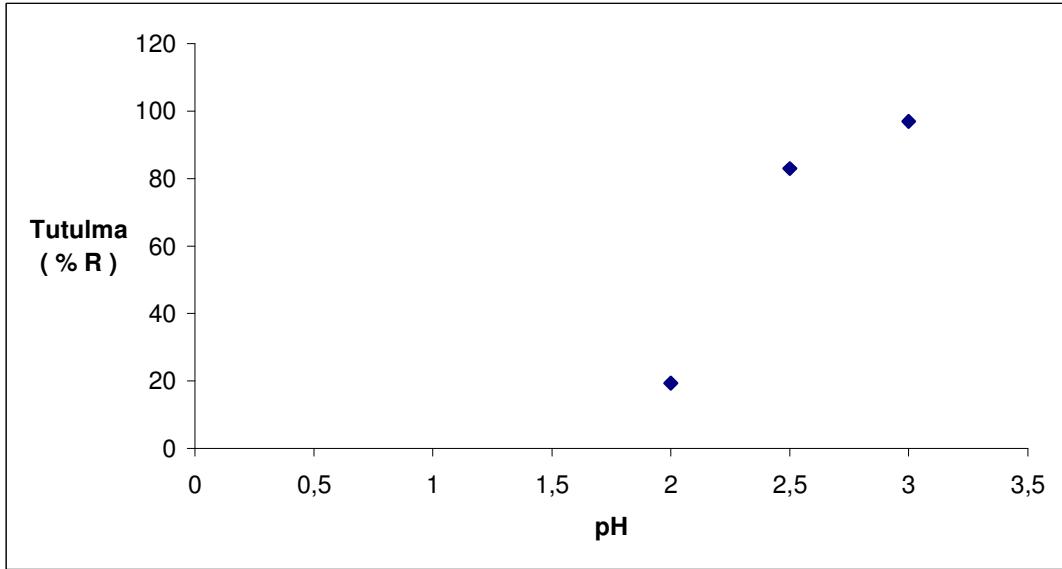
300 mL, 2×10^{-4} bg/L AA ve 1×10^{-4} M Fe(III) içeren çözelti için, membran II (%0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz) kullanılarak ve basınç sabit tutularak, pH' nın akıya ve tutulmaya etkisi incelenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.7, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Burada pH artışıyla ortamdaki H^+ iyonları azalmakta ve AA' daki karboksil gruplarıyla Fe(III) iyonlarının kompleks oluşturması artmakta ve dolayısıyla tutulma artmaktadır.

Çizelge 4.7 Fe(III)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda pH 'nın akıya ve tutulmaya etkisi ($C_{Fe(III)}= 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{AA}= 2 \times 10^{-4}$ bg/L, P= 60 psi)

Membran	pH	Akı(L/m ² .sa)	Tutulma(%R)
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	2	493,97	19.4
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	2,5	478,10	83
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	3	457,88	97



Şekil 4.11 Fe(III)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda pH'ın akıya etkisi(membran: %0,50 (m/v) [75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz, $C_{Fe(III)} = 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{AA} = 2 \times 10^{-4}$ bg/L, P= 60 psi)



Şekil 4.12 Fe(III)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda pH'ın tutulmaya etkisi(membran: %0,50 (m/v) [75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz, $C_{Fe(III)} = 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{AA} = 2 \times 10^{-4}$ bg/L, P= 60 psi)

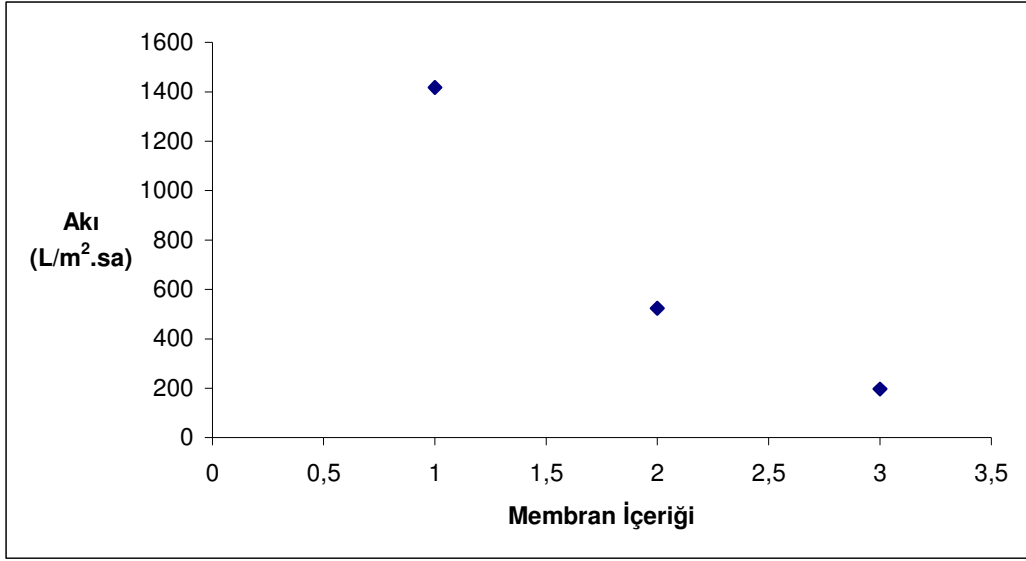
4.4 Demir(III) – PVA Kompleksinin Sulu Çözeltiden Filtrasyonu

4.1.1 Membran İçeriğinin Akıya ve Tutulmaya Etkisi

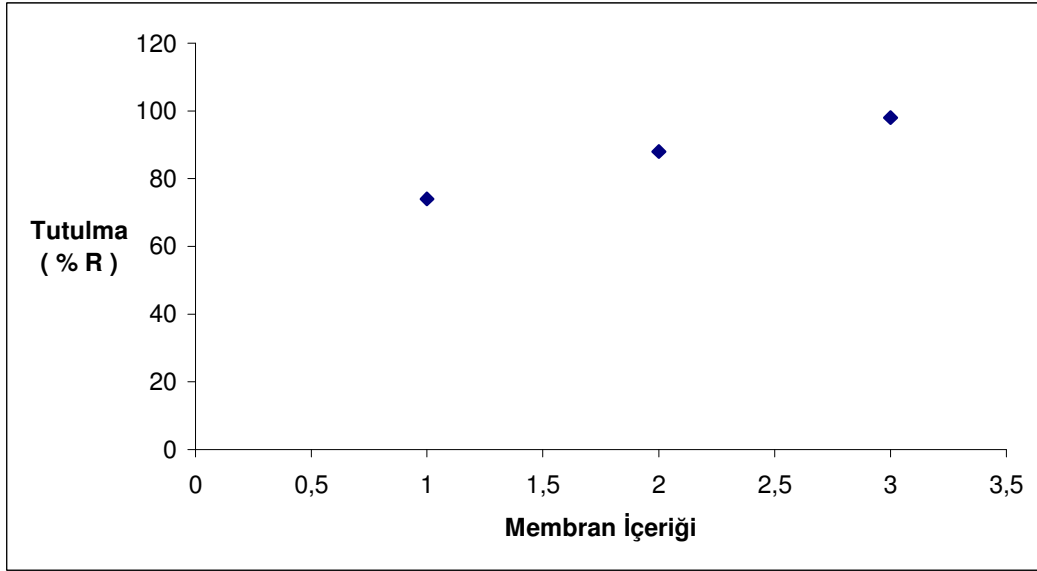
Filtrasyon işlemi için 300 mL, 2×10^{-4} bg/L PVA ve 1×10^{-4} M Fe(III) içeren çözelti, 60 psi basınçta ve pH 3,0'de değişik membranlar kullanılarak filtre edilmiştir. Membran içeriğinin akıya ve tutulmaya etkileri Çizelge 4.8, Şekil 4.13 ve Şekil 4.14'de verilmiştir. Membran içeriği artışı ile gözenek boyutu küçülmesinden dolayı akı düşmüş ve tutulma artmıştır.

Çizelge 4.8 Fe(III)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda membran içeriğinin akıya ve tutulmaya etkisi ($C_{Fe(III)} = 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{PVA} = 2 \times 10^{-4}$ bg/L, pH= 3, P= 60 psi)

Membran	Membran içeriği	Akı (L / m ² .sa)	Tutulma(%R)
% 0,25 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	% 0,25 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)]	1417,23	74
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)]	523,29	88
% 0,75 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	% 0,75 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)]	196,61	98



Şekil 4.13 Fe(III)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda membran içeriğinin akıya etkisi (1: %0,25[75PVA/25AA], 2: %0,50[75PVA/25AA], 3: %75[75PVA/25AA], $C_{Fe(III)} = 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{PVA} = 2 \times 10^{-4}$ bg/L, pH= 3, P= 60 psi)



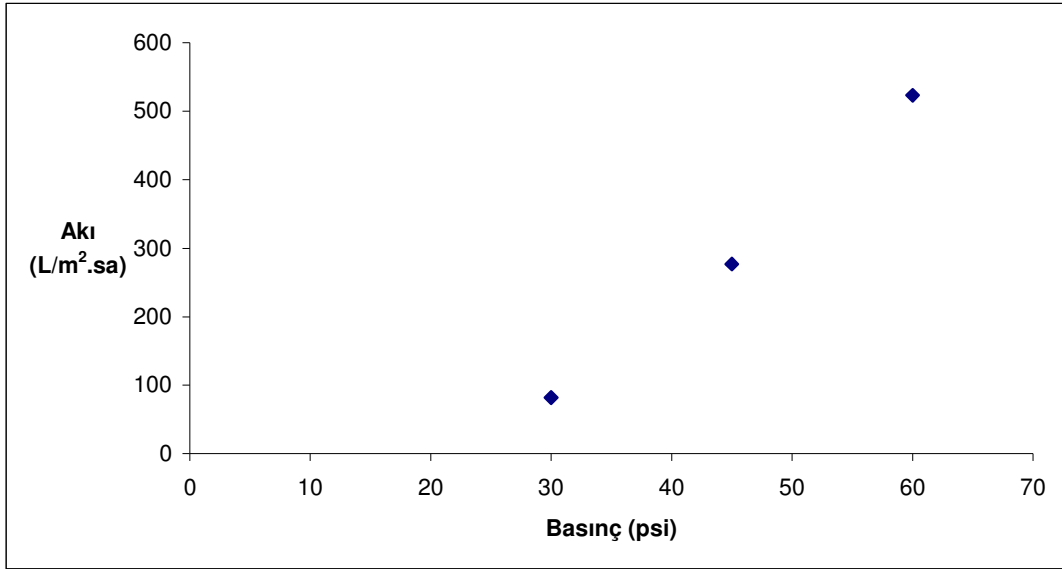
Şekil 4.14 Fe(III)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda membran içeriğinin tutulmaya etkisi (1: %0,25[75PVA/25AA], 2: %0,50[75PVA/25AA], 3: %75[75PVA/25AA], $C_{Fe(III)} = 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{PVA} = 2 \times 10^{-4}$ bg/L, pH= 3, P= 60 psi)

4.4.2 Basıncın Akıya ve Tutulmaya Etkisi

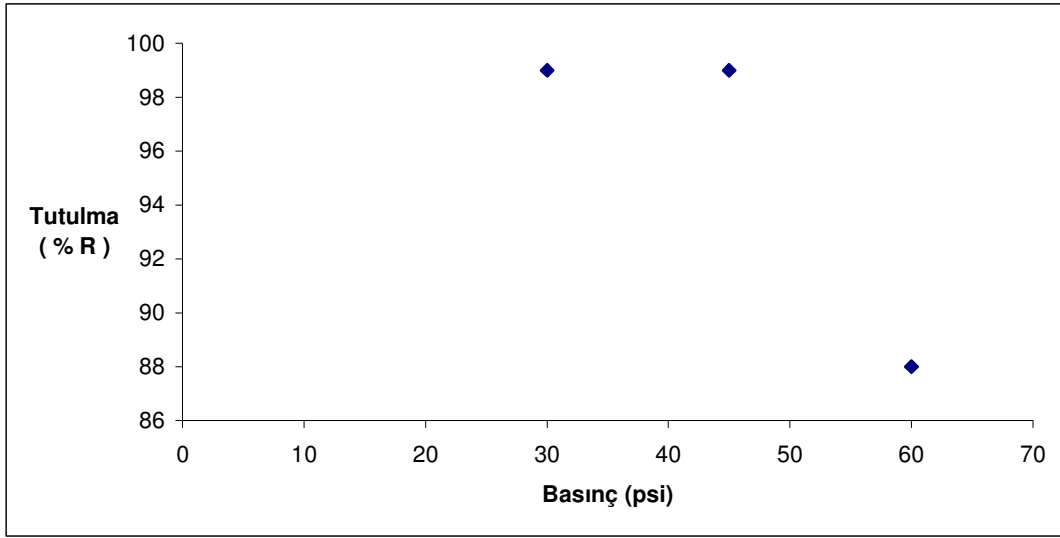
300 mL, 2×10^{-4} bg/L PVA ve 1×10^{-4} M Fe(III) içeren çözelti için, membran II (% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz) kullanılarak ve pH sabit tutularak, basıncın akıya ve tutulmaya etkisi incelenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.9, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Basınç artışı ile akı artmış ve tutulma azalmıştır. Basıncın arttırılmasıyla, düşük basınçlarda nispeten daha tıkalı olan gözenekler açılmış ve tutulma düşmüştür.

Çizelge 4.9 Fe(III)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda basıncın akıya ve tutulmaya etkisi($C_{Fe(III)}= 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{PVA}= 2 \times 10^{-4}$ bg/L, pH =3)

Membran	Basınç(Psi)	Akı (L / m ² .sa)	Tutulma(%R)
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	30	82,02	99
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	45	276,85	99
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	60	523,29	88



Şekil 4.15 Fe(III)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda basıncın akıya etkisi(membran: %0,50 (m/v) [75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz, $C_{Fe(III)}= 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{PVA}= 2 \times 10^{-4}$ bg/L, pH= 3)



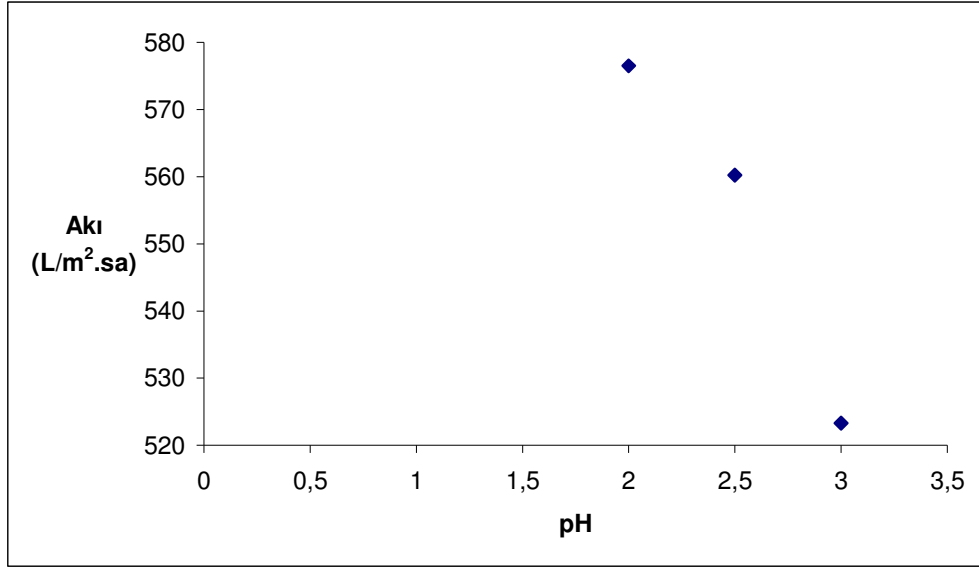
Şekil 4.16 Fe(III)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda basıncın tutulmaya etkisi(membran: %0,50 (m/v) [75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz, $C_{Fe(III)}= 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{PVA}= 2 \times 10^{-4}$ bg/L, pH= 3)

4.4.3 pH' nın Akıya ve Tutulmaya Etkisi

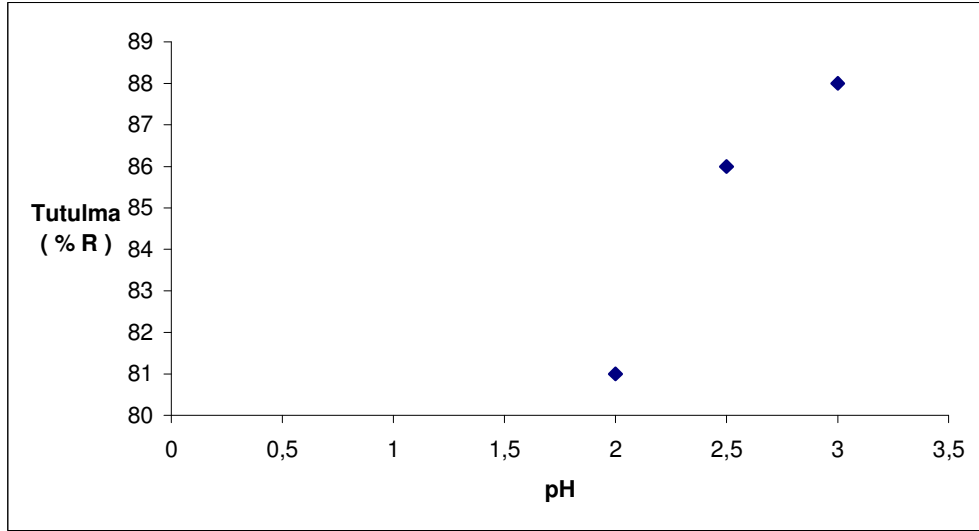
300 mL, 2×10^{-4} bg/L PVA ve 1×10^{-4} M Fe(III) içeren çözelti için, membran II (% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz) kullanılarak ve basınç sabit tutularak, pH'nın akıya ve tutulmaya etkisi incelenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.10, Şekil 4.17 ve Şekil 4.18'de gösterilmiştir. pH artışı ile kompleksleşme artmış ve tutulma artmıştır.

Çizelge 4.10 Fe(III)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda pH 'nın akıya ve tutulmaya etkisi ($C_{Fe(III)}= 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{PVA}= 2 \times 10^{-4}$ bg/L, P= 60 psi)

Membran	PH	Akı (L / m ² .sa)	Tutulma(%R)
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	2	576,50	81
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	2,5	560,22	86
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	3	523,29	88



Şekil 4.17 Fe(III)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda pH'ın akıya etkisi(membran: %0,50 (m/v) [75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz, $C_{Fe(III)} = 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{PVA} = 2 \times 10^{-4}$ bg/L, P= 60 psi)



Şekil 4.18 Fe(III)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda pH'ın tutulmaya etkisi(membran: %0,50 (m/v) [75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz, $C_{Fe(III)} = 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{PVA} = 2 \times 10^{-4}$ bg/L, P= 60 psi)

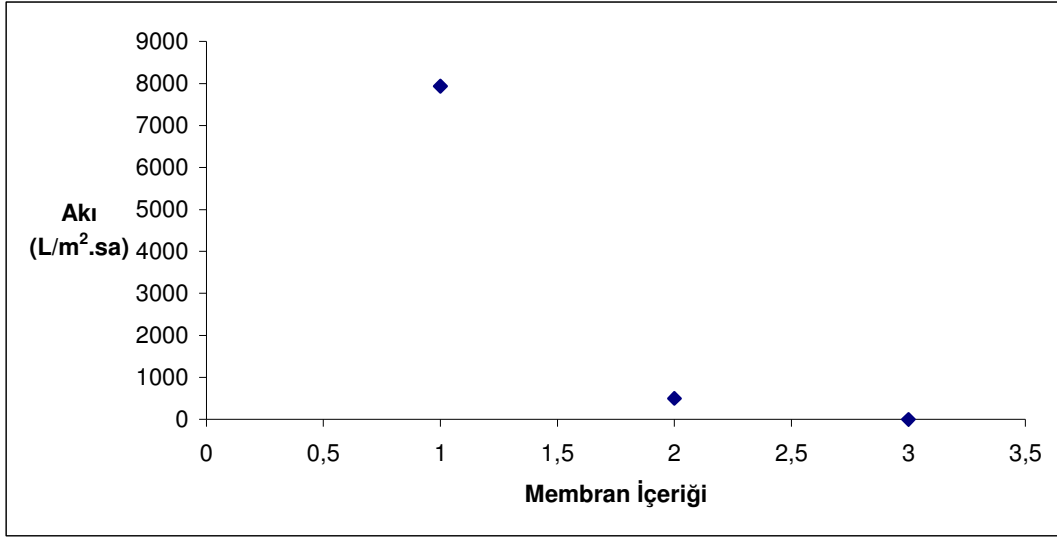
4.5 Bakır(II) – AA Kompleksinin Sulu Çözeltiden Filtrasyonu

4.5.1 Membran İçeriğinin Akıya ve Tutulmaya Etkisi

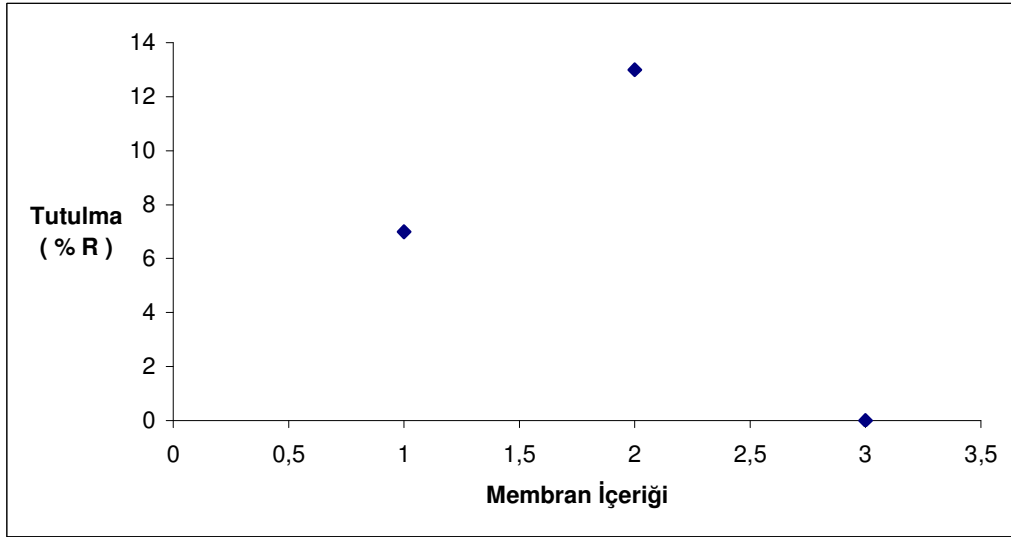
Filtrasyon işlemi için 300 mL, 2×10^{-4} bg/L AA ve 1×10^{-4} M Cu(II) içeren çözelti, 60 psi basınçta ve pH 6,0'da değişik membranlar kullanılarak filtre edilmiştir. Membran içeriğinin akıya ve tutulmaya etkileri Çizelge 4.11, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20'de verilmiştir. Membran içeriği artışıyla tutulma artmış ve % 0,75 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz kompozit membranında gözenekler iyice tıkanmıştır.

Çizelge 4.11 Cu(II)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda membran içeriğinin akıya ve tutulmaya etkisi ($C_{Cu(II)} = 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{AA} = 2 \times 10^{-4}$ bg/L, pH= 6, P= 60 psi)

Membran	Membran içeriği	Akı (L / m ² .sa)	Tutulma(%R)
% 0,25 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	% 0,25 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)]	7936,50	7
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)]	503,37	13
% 0,75 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	% 0,75 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)]	geçirmedi	-



Şekil 4.19 Cu(II)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda membran içeriğinin akıya etkisi (1:%0,25[75PVA/25AA], 2: %0,50[75PVA/25AA], 3: %0,75[75PVA/25AA], $C_{Cu(II)}= 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{AA}= 2 \times 10^{-4}$ bg/L, pH= 6, P= 60 psi)



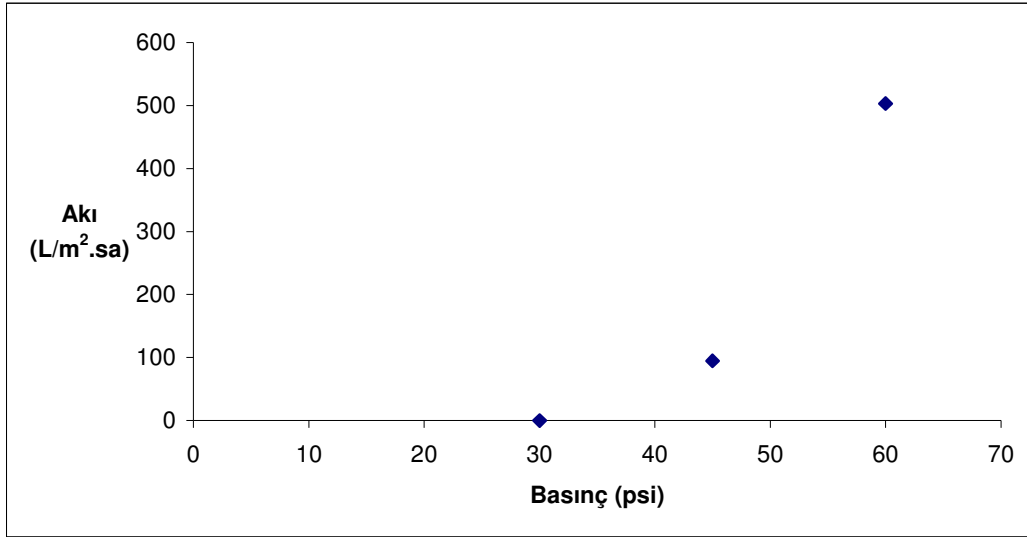
Şekil 4.20 Cu(II)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda membran içeriğinin tutulmaya etkisi (1:%0,25[75PVA/25AA], 2:%0,50[75PVA/25AA], 3:%0,75[75PVA/25AA], $C_{Cu(II)}= 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{AA}= 2 \times 10^{-4}$ bg/L, pH= 6, P= 60 psi)

4.5.2 Basıncın Akıya ve Tutulmaya Etkisi

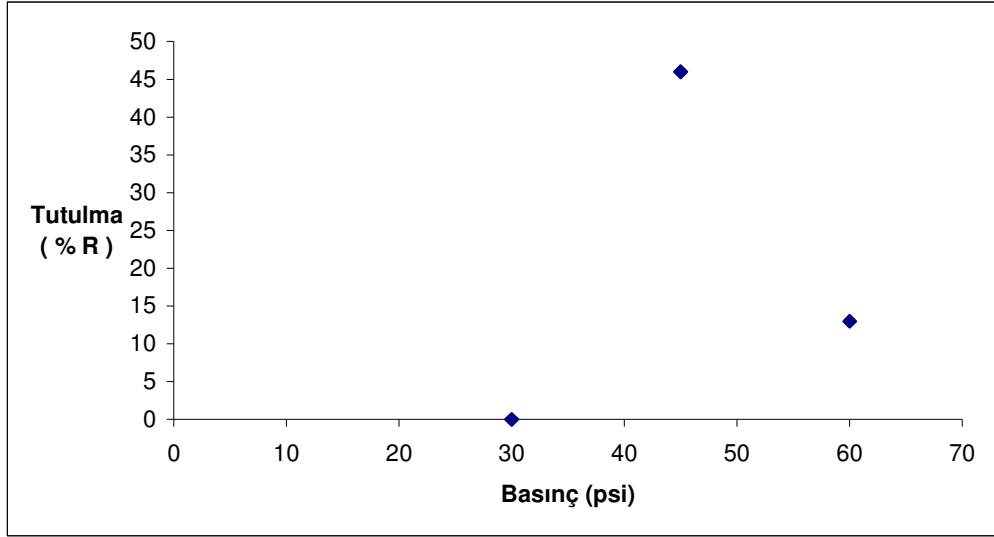
300 mL, 2×10^{-4} bg/L AA ve 1×10^{-4} M Cu(II) içeren çözelti için, membran II (% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz) kullanılarak ve pH sabit tutularak, basıncın akıya ve tutulmaya etkisi incelenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.12, Şekil 4.21 ve Şekil 4.22'de gösterilmiştir. Basınç artışı ile akı artmış, gözeneklerdeki tıkanmadan kaynaklanan gözenek küçülmesinin giderilmesiyle tutulma düşmüştür.

Çizelge 4.12 Cu(II)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda basıncın akıya ve tutulmaya etkisi($C_{Cu(II)}= 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{AA}= 2 \times 10^{-4}$ bg/L, pH =6)

Membran	Basınç(Psi)	Akı (L / m ² .sa)	Tutulma(%R)
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	30	geçirmedi	-
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	45	94,67	46
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	60	503,37	13



Şekil 4.21 Cu(II)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda basıncın akıya etkisi(membran: %0,50 (m/v) [75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz, $C_{Cu(II)}= 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{AA}=2 \times 10^{-4}$ bg/L, pH= 6)



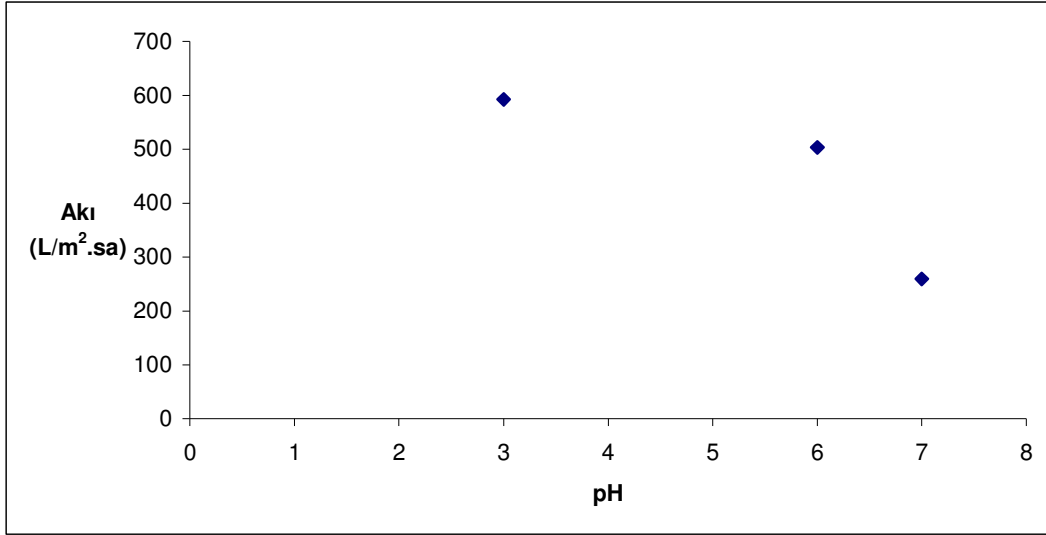
Şekil 4.22 Cu(II)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda basıncın tutulmaya etkisi(membran: %0,50 (m/v) [75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz, $C_{Cu(II)}= 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{AA}=2 \times 10^{-4}$ bg/L, pH= 6)

4.5.3 pH'ın Akıya ve Tutulmaya Etkisi

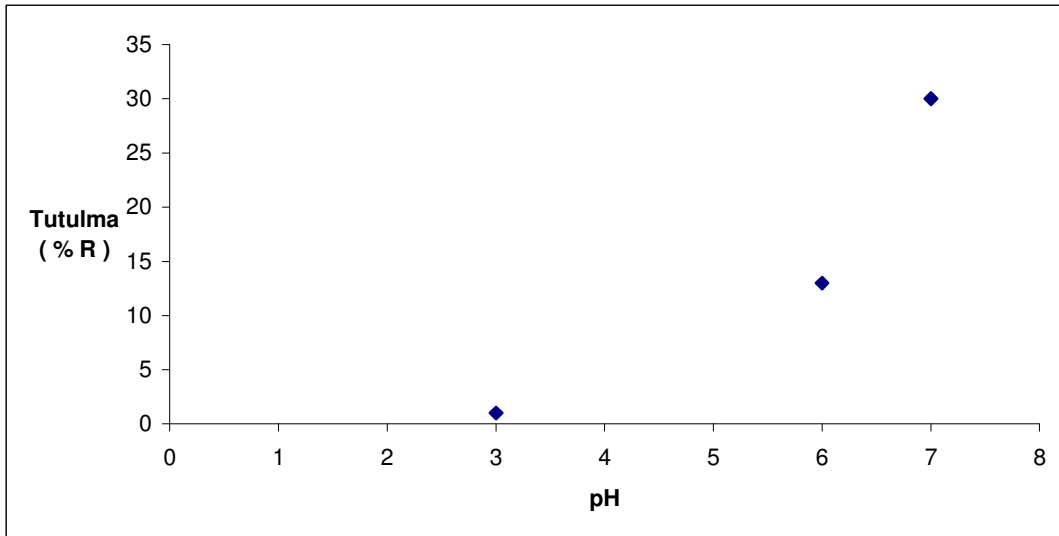
300 mL, 2×10^{-4} bg/L AA ve 1×10^{-4} M Cu(II) içeren çözelti için, membran II (% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz) kullanılarak ve basınç sabit tutularak, pH'ın akıya ve tutulmaya etkisi incelenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.13, Şekil 4.23 ve Şekil 4.24'de gösterilmiştir. pH artışı ile tutulma, kompleksleşmedeki artmadan dolayı artmıştır.

Çizelge 4.13 Cu(II)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda pH'ın akıya ve tutulmaya etkisi ($C_{Cu(II)}= 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{AA}= 2 \times 10^{-4}$ bg/L, P= 60 psi)

	PH	Akı (L / m ² .sa)	Tutulma(%R)
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	3	592,28	1
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	6	503,37	13
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	7	259,36	30



Şekil 4.23 Cu(II)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda pH' nın akıya etkisi(membran: %0,50 (m/v) [75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz, $C_{Cu(II)} = 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{AA} = 2 \times 10^{-4}$ bg/L, P= 60 psi)



Şekil 4.24 Cu(II)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda pH' nın tutulmaya etkisi(membran: %0,50 (m/v) [75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz, $C_{Cu(II)} = 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{AA} = 2 \times 10^{-4}$ bg/L, P= 60 psi)

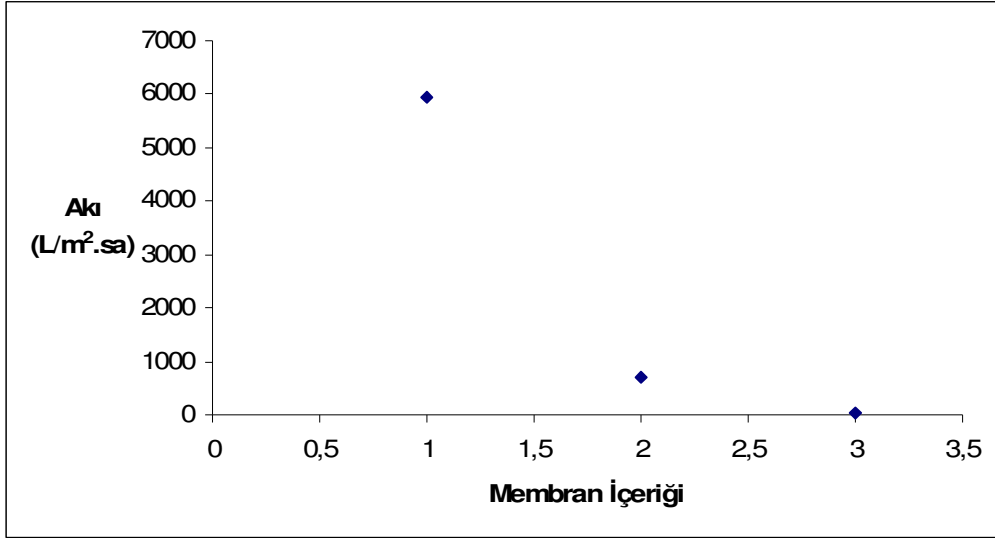
4.6 Bakır(II) – PVA Kompleksinin Sulu Çözeltiden Filtrasyonu

4.6.1 Membran içeriğinin Akıya ve Tutulmaya Etkisi

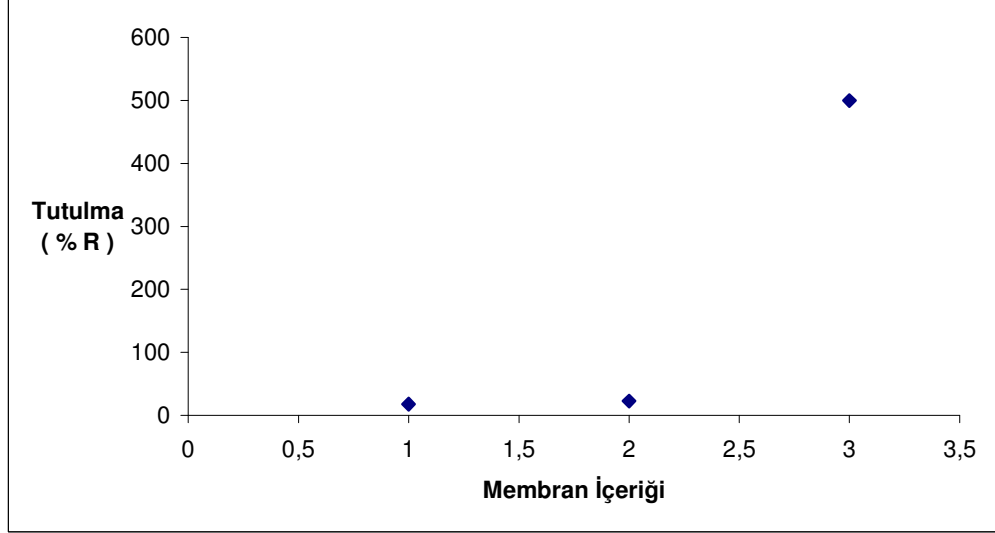
Filtrasyon işlemi için 300 mL, 2×10^{-4} bg/L PVA ve 1×10^{-4} M Cu(II) içeren çözelti, 60 psi basınçta ve pH 6,0'da değişik membranlar kullanılarak filtre edilmiştir. Membran içeriğinin akıya ve tutulmaya etkileri Çizelge 4.14, Şekil 4.25 ve Şekil 4.26'da verilmiştir. Membran içeriği artışı ile membranın gözenek boyutu küçülmüştür. Dolayısıyla tutulma artmış ve akı azalmıştır.

Çizelge 4.14 Cu(II)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda membran içeriğinin akıya ve tutulmaya etkisi ($C_{Cu(II)} = 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{PVA} = 2 \times 10^{-4}$ bg/L, pH= 6, P= 60 psi)

Membran	Membran içeriği	Akı (L / m ² .sa)	Tutulma(%R)
% 0,25 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	% 0,25 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)]	5952,38	18
% 0,50(m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)]	704,42	23
% 0,75 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	% 0,75 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)]	50,86	50



Şekil 4.25 Cu(II)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda membran içeriğinin akıya etkisi (1:%0,25[75PVA/25AA], 2: %0,50[75PVA/25AA], 3: %0,75[75PVA/25AA], $C_{Cu(II)} = 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{PVA} = 2 \times 10^{-4}$ bg/L, pH= 6, P= 60 psi)



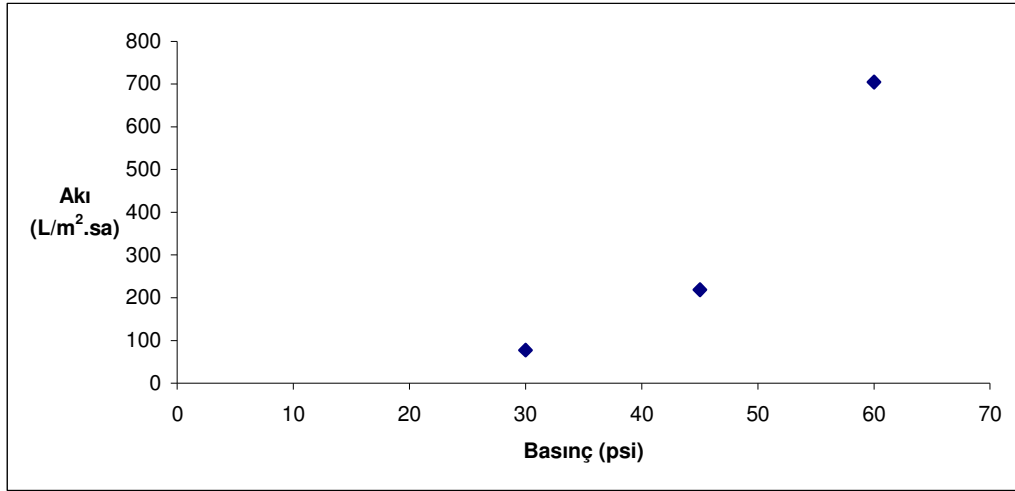
Şekil 4.26 Cu(II)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda membran içeriğinin tutulmaya etkisi (1:%0,25[75PVA/25AA], 2: %0,50[75PVA/25AA], 3:%0,75[75PVA/25AA], $C_{Cu(II)} = 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{PVA} = 2 \times 10^{-4}$ bg/L, pH= 6, P= 60 psi)

4.6.2 Basıncın Akıya ve Tutulmaya Etkisi

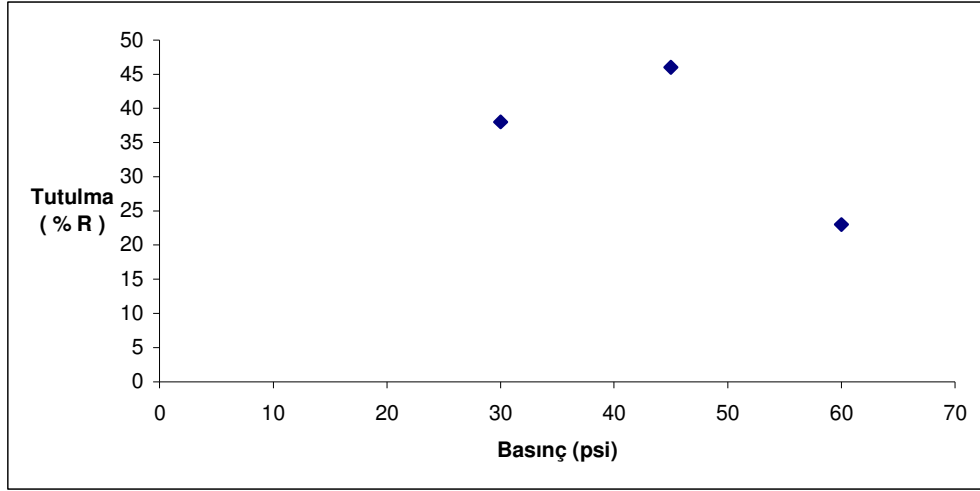
300 mL, 2×10^{-4} bg/L PVA ve 1×10^{-4} M Cu(II) içeren çözelti için, membran II (% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz) kullanılarak ve pH sabit tutularak, basıncın akıya ve tutulmaya etkisi incelenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.15, Şekil 4.27 ve Şekil 4.28'de gösterilmiştir. Basınç artışı ile akı, beklenen şekilde artmıştır ve tutulma, yüksek basınçta düşmüştür.

Çizelge 4.15 Cu(II)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda basıncın akıya ve tutulmaya etkisi ($C_{Cu(II)} = 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{PVA} = 2 \times 10^{-4}$ bg/L, pH =6)

Membran	Basınç(Psi)	Akı (L / m ² .sa)	Tutulma(%R)
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	30	77,20	38
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	45	218,44	46
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	60	704,42	23



Şekil 4.27 Cu(II)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda basıncın akıya etkisi (membran: %0,50 (m/v) [75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz, $C_{Cu(II)} = 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{PVA} = 2 \times 10^{-4}$ bg/L, pH= 6)



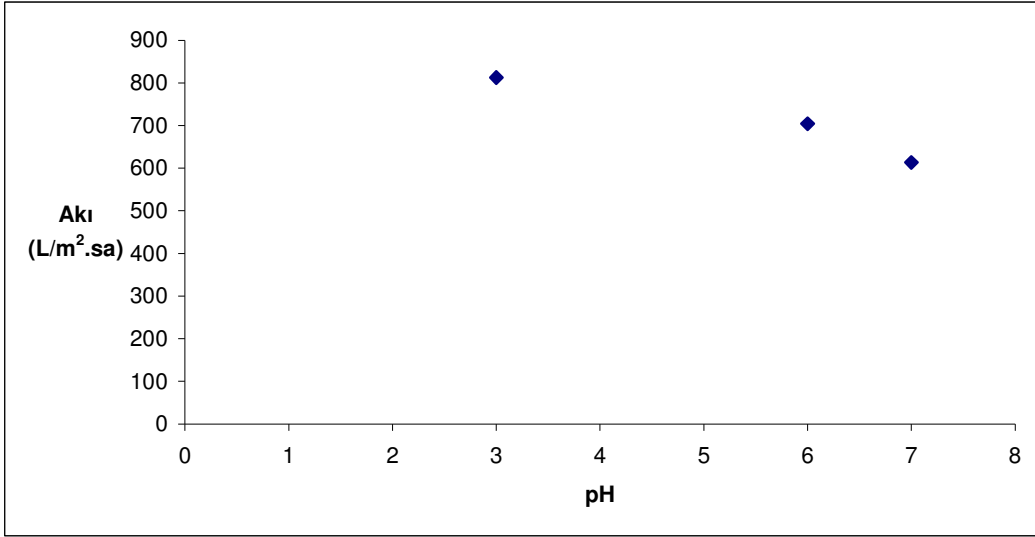
Şekil 4.28 Cu(II)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda basıncın tutulmaya etkisi(membran: %0,50 (m/v) [75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz, $C_{Cu(II)} = 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{PVA} = 2 \times 10^{-4}$ bg/L, pH= 6)

4.6.3 pH' nın Akıya ve Tutulmaya Etkisi

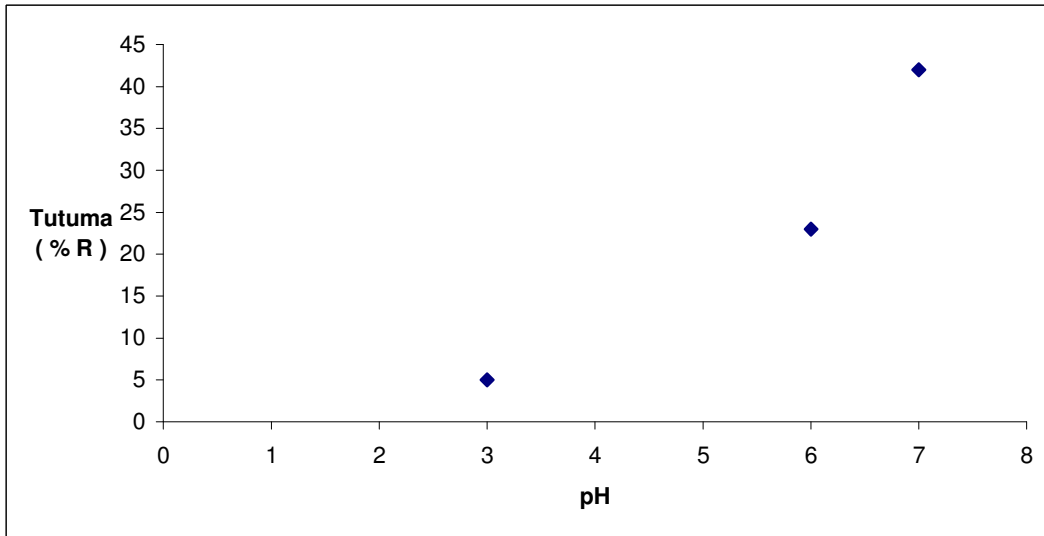
300 mL, 2×10^{-4} bg/L PVA ve 1×10^{-4} M Cu(II) içeren çözelti için, membran II (% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz) kullanılarak ve basınç sabit tutularak, pH' nın akıya ve tutulmaya etkisi incelenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.16, Şekil 4.29 ve Şekil 4.30'da gösterilmiştir. pH artışı ile kompleksleşme artışından dolayı tutulma artmıştır.

Çizelge 4.16 Cu(II)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda pH 'nın akıya ve tutulmaya etkisi ($C_{Cu(II)} = 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{PVA} = 2 \times 10^{-4}$ bg/L, P= 60 psi)

Membran	PH	Akı (L / m ² .sa)	Tutulma(%R)
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	3	812,61	5
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	6	704,42	23
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	7	613,65	42



Şekil 4.29 Cu(II)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda pH' nın akıya etkisi(membran: %0,50 (m/v) [75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz, $C_{Cu(II)} = 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{PVA} = 2 \times 10^{-4}$ bg/L, P= 60 psi)



Şekil 4.30 Cu(II)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda pH' nın tutulmaya etkisi(membran: %0,50 (m/v) [75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz, $C_{Cu(II)} = 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{PVA} = 2 \times 10^{-4}$ bg/L, P= 60 psi)

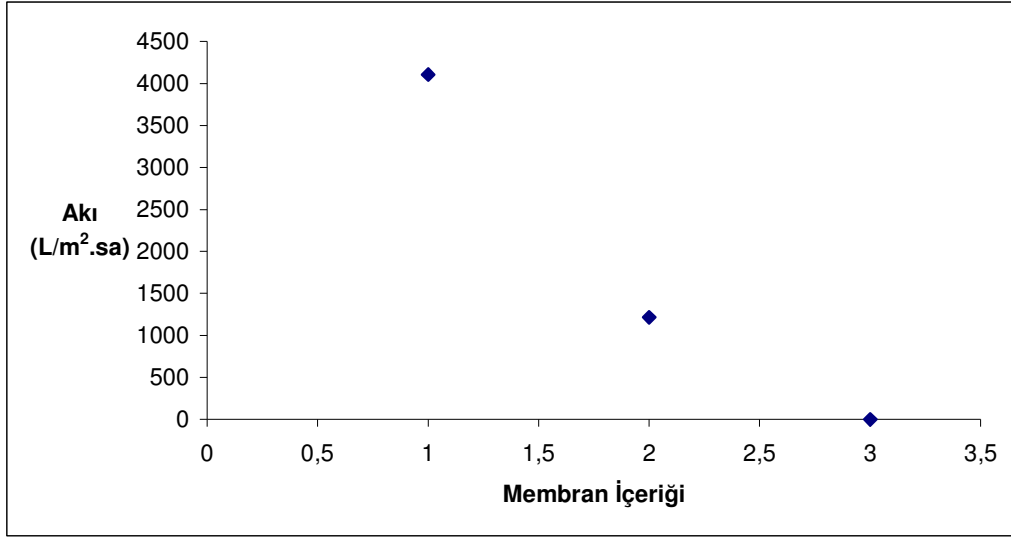
4.7 Kobalt(II) – AA Kompleksinin Sulu Çözeltiden Filtrasyonu

4.7.1 Membran İçeriğinin Akıya ve Tutulmaya Etkisi

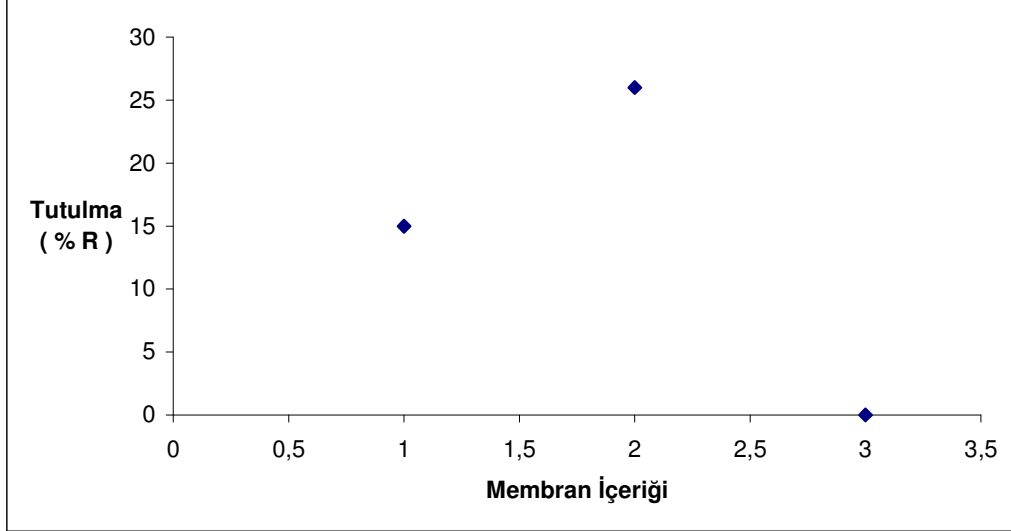
Filtrasyon işlemi için 300 mL, 2×10^{-4} bg/L AA ve 1×10^{-4} M Co(II) içeren çözelti, 60 psi basınçta ve pH 6,0'da değişik membranlar kullanılarak filtre edilmiştir. Membran içeriğinin akıya ve tutulmaya etkileri Çizelge 4.17, Şekil 4.31 ve Şekil 4.32'de verilmiştir. Membran içeriği artışı ile membranın gözenek boyutu küçüldüğünden tutulma artmıştır.

Çizelge 4.17 Co(II)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda membran içeriğinin akıya ve tutulmaya etkisi ($C_{Co(II)} = 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{AA} = 2 \times 10^{-4}$ bg/L, pH= 6, P= 60 psi)

Membran	Membran içeriği	Akı (L / m ² .sa)	Tutulma(%R)
% 0,25 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	% 0,25 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)]	4105,09	15
% 0,50(m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	% 0,50(m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)]	1214,77	26
% 0,75 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	% 0,75 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)]	geçirmedi	-



Şekil 4.31 Co(II)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda membran içeriğinin akıya etkisi (1:%0,25[75PVA/25AA], 2: %0,50[75PVA/25AA], 3: %0,75[75PVA/25AA], $C_{Co(II)}= 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{AA}= 2 \times 10^{-4}$ bg/L, pH= 6, P= 60 psi)



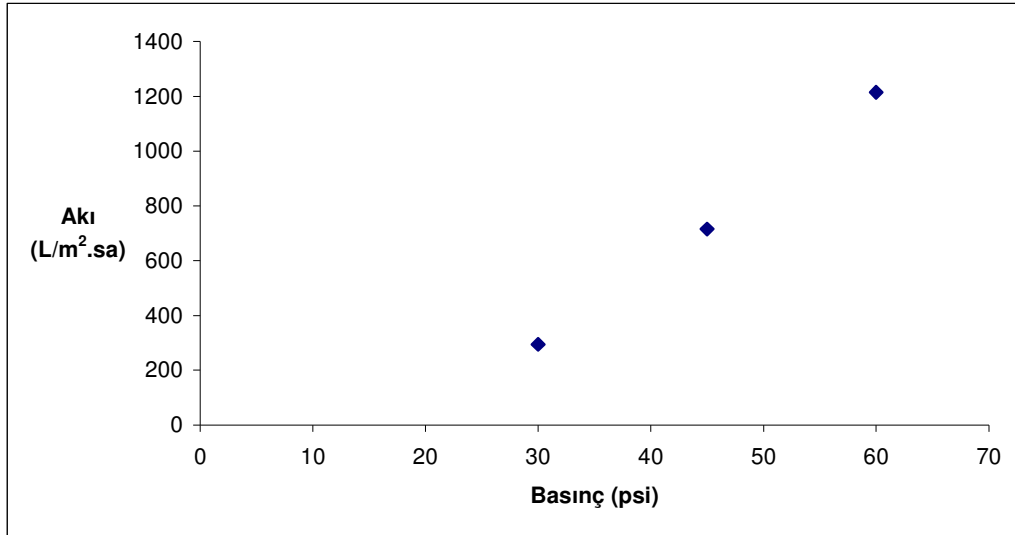
Şekil 4.32 Co(II)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda membran içeriğinin tutulmaya etkisi (1:%0,25[75PVA/25AA], 2: %0,50[75PVA/25AA], 3:%0,75[75PVA/25AA], $C_{Co(II)}= 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{AA}= 2 \times 10^{-4}$ bg/L, pH= 6, P= 60 psi)

4.7.2 Basıncın Akıya ve Tutulmaya Etkisi

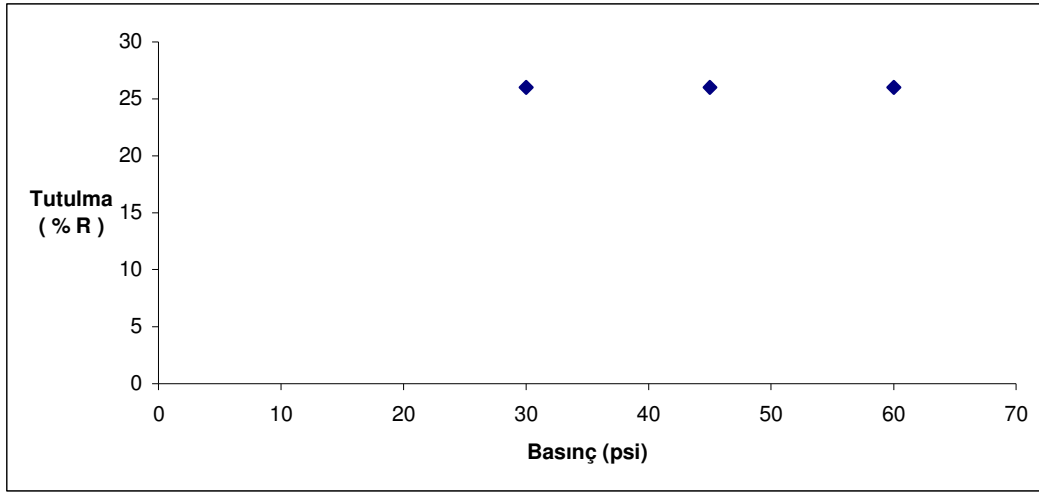
300 mL, 2×10^{-4} bg/L AA ve 1×10^{-4} M Co(II) içeren çözelti için, membran II (% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz) kullanılarak ve pH sabit tutularak, basıncın akıya ve tutulmaya etkisi incelenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.18, Şekil 4.33 ve Şekil 4.34'de gösterilmiştir. Basınç artışı ile akı artmış, tutulma ise membran yüzeyinde oluşan kekleşmelerle sabit kalmıştır.

Çizelge 4.18 Co(II)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda basıncın akıya ve tutulmaya etkisi($C_{Co(II)} = 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{AA} = 2 \times 10^{-4}$ bg/L, pH =6)

Membran	Basınç(Psi)	Akı (L / m ² .sa)	Tutulma(%R)
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	30	295,04	26
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	45	715,00	26
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	60	1214,77	26



Şekil 4.33 Co(II)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda basıncın akıya etkisi(membran: %0,50 (m/v) [75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz, $C_{Co(II)} = 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{AA} = 2 \times 10^{-4}$ bg/L, pH= 6)



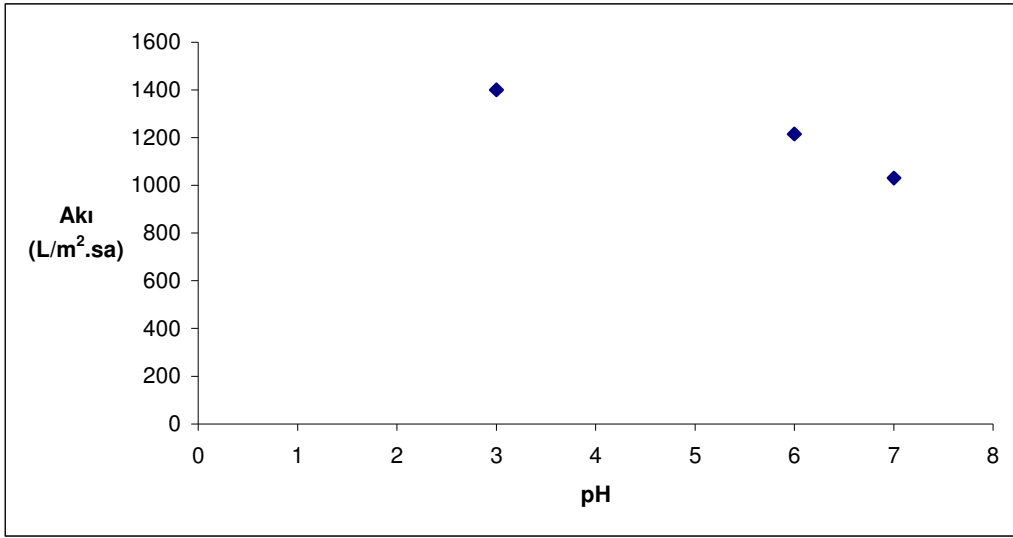
Şekil 4.34 Co(II)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda basıncın tutulmaya etkisi(membran: %0,50 (m/v) [75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz, $C_{Co(II)}= 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{AA}=2 \times 10^{-4}$ bg/L, pH= 6)

4.7.3 pH' nın Akıya ve Tutulmaya Etkisi

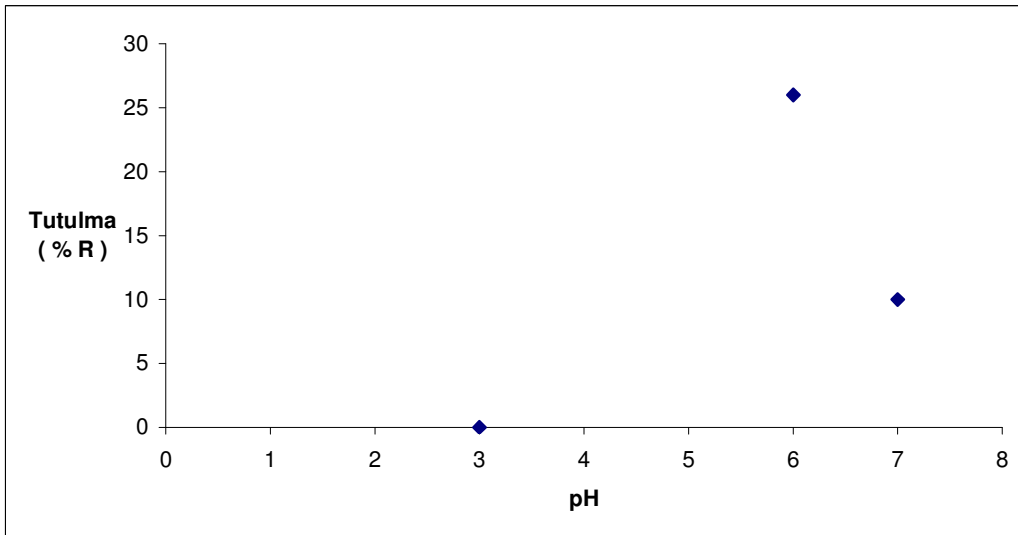
300 mL, 2×10^{-4} bg/L AA ve 1×10^{-4} M Co(II) içeren çözelti için, membran II (% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz) kullanılarak ve basınç sabit tutularak, pH' nın akıya ve tutulmaya etkisi incelenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.19, Şekil 4.35 ve Şekil 4.36'da gösterilmiştir. pH 3'te kompleks oluşumunun hemen hemen hiç olmadığı ve dolayısıyla bu pH'ta tutulmanın da olmadığı gözlenmiştir. pH 6'ya ulaşıldığında tutulma artmıştır. Ancak pH 7'de Co(II)'nin hidrolize uğramasından dolayı AA ile kompleks yapması azaldığından dolayı tutulma da azalmıştır.

Çizelge 4.19 Co(II)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda pH 'nın akıya ve tutulmaya etkisi ($C_{Co(II)}= 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{AA}= 2 \times 10^{-4}$ bg/L, P= 60 psi)

Membran	PH	Akı(L/m ² .sa)	Tutulma(%R)
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	3	1400,56	0
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	6	1214,77	26
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	7	1030,71	10



Şekil 4.35 Co(II)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda pH' nın akıya etkisi(membran: %0,50 (m/v) [75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz, $C_{Co(II)}= 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{AA}=2 \times 10^{-4}$ bg/L, P= 60 psi)



Şekil 4.36 Co(II)-AA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda pH' nın tutulmaya etkisi(membran: %0,50 (m/v) [75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz, $C_{Co(II)}= 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{AA}=2 \times 10^{-4}$ bg/L, P= 60 psi)

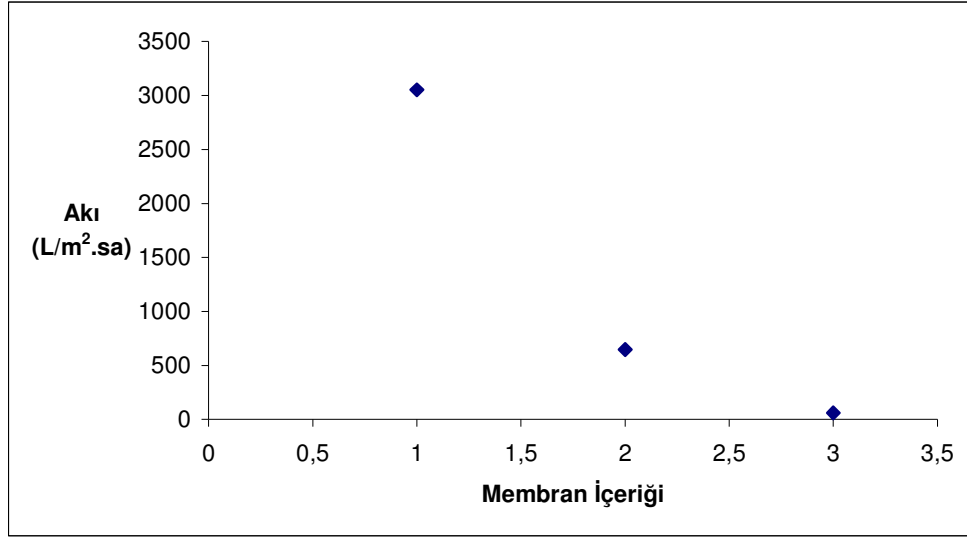
4.8 Kobalt(II) – PVA Kompleksinin Sulu Çözeltiden Filtrasyonu

4.8.1 Membran İçeriğinin Akıya ve Tutulmaya Etkisi

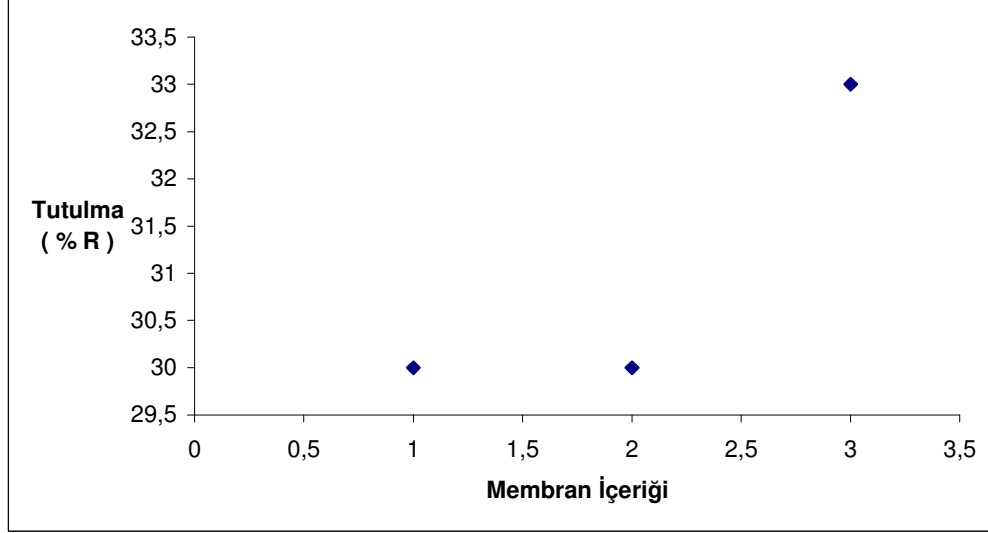
Filtrasyon işlemi için 300 mL, 2×10^{-4} bg/L PVA ve 1×10^{-4} M Co(II) içeren çözelti, 60 psi basınçta ve pH 6,0'da değişik membranlar kullanılarak filtre edilmiştir. Membran içeriğinin akıya ve tutulmaya etkileri Çizelge 4.20, Şekil 4.37 ve Şekil 4.38'de verilmiştir. Membran içeriği artışıyla akı düşmüş ve tutulma nispeten artmıştır.

Çizelge 4.20 Co(II)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda membran içeriğinin akıya ve tutulmaya etkisi ($C_{Co(II)} = 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{PVA} = 2 \times 10^{-4}$ bg/L, pH= 6, P= 60 psi)

Membran	membran içeriği	Akı (L / m ² .sa)	Tutulma(%R)
% 0,25 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	% 0,25 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)]	3052,50	30
% 0,50(m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)]	648,76	30
% 0,75 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	% 0,75 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)]	61,46	33



Şekil 4.37 Co(II)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda membran içeriğinin akıya etkisi (1:%0,25[75PVA/25AA], 2: %0,50[75PVA/25AA], 3: %0,75[75PVA/25AA], $C_{Co(II)} = 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{PVA} = 2 \times 10^{-4}$ bg/L, pH= 6, P= 60 psi)



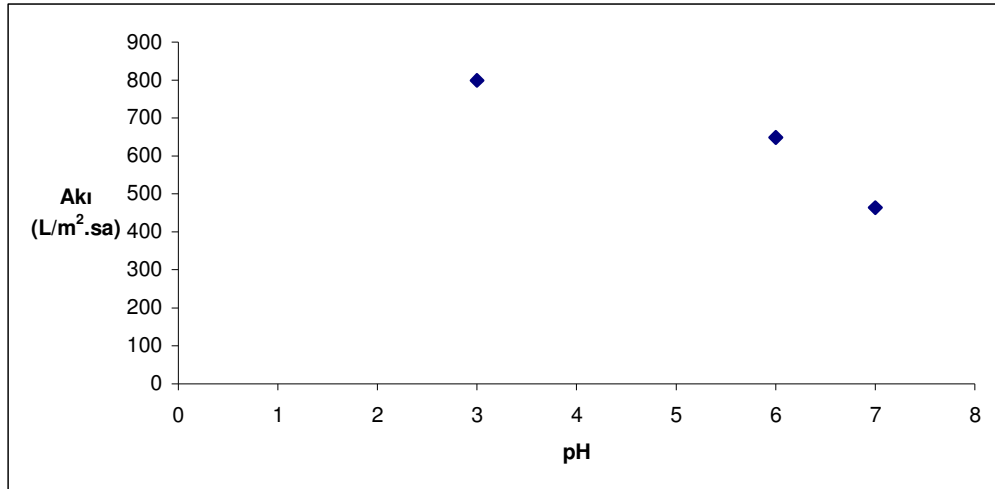
Şekil 4.38 Co(II)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda membran içeriğinin tutulmaya etkisi (1:%0,25[75PVA/25AA], 2: %0,50[75PVA/25AA], 3:%0,75[75PVA/25AA], $C_{Co(II)} = 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{PVA} = 2 \times 10^{-4}$ bg/L, pH= 6, P= 60 psi)

4.8.2 pH' nın Akıya ve Tutulmaya Etkisi

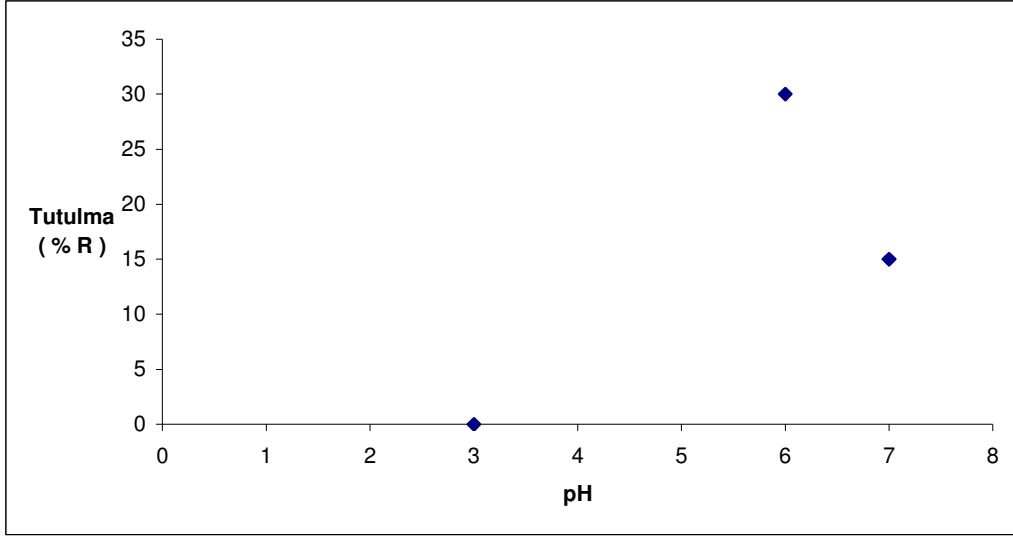
300 mL, 2×10^{-4} bg/L PVA ve 1×10^{-4} M Co(II) içeren çözelti için, membran II (% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz) kullanılarak ve basınç sabit tutularak, pH'nın akıya ve tutulmaya etkisi incelenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.21, Şekil 4.39 ve Şekil 4.40'da gösterilmiştir. pH 3'te kompleks oluşumunun olmadığı ve dolayısıyla tutulmanın da olmadığı gözlenmiştir. pH 6'da tutulma gözleniyor. pH 7'de Co(II)'nin hidrolize uğraması sebebiyle kompleks oluşumunun azaldığı ve bu sebepten tutulmanın da olmadığı anlaşılıyor.

Çizelge 4.21 Co(II)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda pH' nın akıya ve tutulmaya etkisi ($C_{Co(II)} = 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{PVA} = 2 \times 10^{-4}$ bg/L, P= 60 psi)

Membran	PH	Akı (L / m ² .sa)	Tutulma(%R)
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	3	798,98	0
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	6	648,76	30
% 0,50 (m/v)[75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz	7	464,12	15



Şekil 4.39 Co(II)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda pH' nın akıya etkisi(membran: %0,50 (m/v) [75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz, $C_{Co(II)} = 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{PVA} = 2 \times 10^{-4}$ bg/L, P= 60 psi)



Şekil 4.40 Co(II)-PVA kompleks çözeltisinin filtrasyonunda pH' nın tutulmaya etkisi(membran: %0,50 (m/v) [75 PVA/25 AA(m/m)] / selüloz, $C_{Co(II)}= 1 \times 10^{-4}$ M, $C_{PVA}=2 \times 10^{-4}$ bg/L, P= 60 psi)

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada; Fe(III), Fe(III) – AA, Fe(III) – PVA, Cu(II) – AA, Cu(II) – PVA, Co(II) – AA, Co(II) – PVA çözeltilerinin filtrasyonunda sırasıyla membran içeriğinin, basıncının ve pH'ın akıya ve tutulmaya etkileri araştırılmıştır. Filtrasyon işlemleri için % 0,25 (m/v)[75 PVA / 25 AA (m/m)] / selüloz, % 0,50 (m/v)[75 PVA / 25 AA (m/m)] / selüloz, % 0,75 (m/v)[75 PVA / 25 AA (m/m)] / selüloz , % 1,0 (m/v)[75 PVA / 25 AA (m/m)] / selüloz kompozit membranları üretilmiştir.

Kompleksiz haldeki Fe(III) çözeltilerinin filtrasyonunda en iyi Fe(III) tutulması; yeterince yüksek akıda, % 0,50 (m/v)[75 PVA / 25 AA (m/m)] / selüloz kompozit membranı kullanarak, pH 3'te ve 60 psi basınçta % 58,6 olarak bulunmuştur. Fe(III) tutulmasını arttırmak için ortama AA ve PVA kompleksleştiricileri eklenmiştir. AA eklenmesiyle en iyi Fe(III) tutulması; uygun akıda, % 0,50 (m/v)[75 PVA / 25 AA (m/m)] / selüloz kompozit membranı kullanarak, pH 3'te ve 60 psi basınçta % 97 olarak bulunmuştur. Fe(III) – PVA kompleksleşmesi durumunda en iyi tutulma; uygun akıda, % 0,75 (m/v)[75 PVA / 25 AA (m/m)] / selüloz kompozit membranı kullanarak, pH 3'te ve 60 psi basınçta % 98 olarak bulunmuştur.

Cu(II) çözeltilerinin filtrasyonunda tutulmayı arttırmak için AA ve PVA ortama kompleksleştirici olarak katılmıştır. En iyi Cu(II) tutulması; AA varlığında % 0,50 (m/v)[75 PVA / 25 AA (m/m)] / selüloz kompozit membranı kullanarak, 45 psi ve pH 6'da, % 46 olarak bulunmuştur. PVA varlığında en iyi Cu(II) tutulması; % 0,75 (m/v)[75 PVA / 25 AA (m/m)] / selüloz kompozit membranı kullanarak, 60 psi ve pH 6'da, % 50 olarak bulunmuştur.

Co(II) iyonlarının filtrasyonunda pH 6 ve 60 psi'de yapılan deneylerde AA kompleksleştiricisi varlığında % 0,50 (m/v)[75 PVA / 25 AA (m/m)] / selüloz kompozit membranla tutulma % 26, PVA kompleksleştiricisi varlığında % 0,75 (m/v)[75 PVA / 25 AA (m/m)] / selüloz kompozit membranla tutulma % 33 olarak bulunmuştur.

Bu çalışmalar ek başka parametreler kullanılarak geliştirilebilir. Üretilen membranlar, 60 psi basınca kadar dayanıklı oldukları test edildiğinden ağır metallerin sulu ortamdan uzaklaştırılmasında kullanıldığı gibi başka çözeltilerin filtrasyonunda da kullanılabilirler.

6. KAYNAKLAR

- Beyazıt, N., Peker, İ., 1998, “Atıksularda Ağır Metal Kirliliği ve Giderim Yöntemleri”, I. Atıksu Sempozyumu, Kayseri, 209-211.
- Brown, S.S., Savory, J., 1983, “Chemical Toxicology and Clinical Chemistry of Metals”, Academic Press, London, 206-208.
- Chang, D.J., Hwang, S.J., 1996, “Removal of Metal Ions from Liquid Solutions by Cross Flow Microfiltration”, Separation Science and Technology, 31 (13), 1831-1842.
- Fergusson, J.E., 1991, “The Heavy Elements, Pergamon Pres”, Tokyo, 533-551.
- Geckeler, K.E., Bayer, Spivakov, B.Y., Shkinev, V.M., Vorobeva, G.A., 1986 “ Anal. Chim.Acta”, 189, 285.
- Geckeler, K.E., Shkinev, V.M., Spivakov, B.Y., 1988, “Sep. Purif. Methods” 17, 105.
- İlhan S., Nourbakhsh N.M., Kılıçarslan S., Özdağ H., 2004, “Removal of chromium, lead and copper ions from industrial wastewaters by staphylococcus saprophyticus” , Turkish Electronic Journal of Biotechnology, 2, 50-57.
- Hussein, H., Ibrahim, S. F., Kandeel K., 2004, “Biosorption of heavy metals from waste water using Pseudomonas sp.” , Electronic Journal of Biotechnology, 1, 7, 38-46.
- Juang, R.S., Chen, M.N., 1997, “Removal of Copper(II) Chelates of EDTA. and NTA from Dilute Aqueous Solutions by Membrane Filtration”, Ind. Eng. Chem. Res., 36, 179-186.
- Juang, R.S., Shiau, R.C., 2000, “Metal Removal from Aqueous Solutions Using Chitosan-Enhanced Membrane Filtration”, Journal of Membrane Science, 165, 159-167.
- Kaleli, B., 2006, “Atık Suların İleri Arıtımında Membran Proseslerinin Kullanımının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Koyuncu, İ., 1999, “Nanofiltrasyon Membranları ile Tuz Gideriminde Organik İyon Etkisi”, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Liman, B.C., 1998, "Atıksulardan Kaynaklanan Çevre Sorunları", I. Atıksu Sempozyumu, Kayseri, 1-3.
- Liu, H., Chenb, B., Lana, Y., Chenga, Y., 2004, "Biosorption of Zn(II) and Cu(II) by the indigenous Thiobacillus thiooxidans", Chem. Engineering J. , 97, 195–201.
- Lonsdale, H.K., 1987, "What is a Membrane", Journal of Membrane Science, 34 (2), 125-126.
- Mulder, M., 1992, "Basic Principles of Membrane Technology", Kluwer Academic Publishers, London, 1 – 285.
- Mulder, M., 1996, "Basic Principles of Membrane Technology", Kluwe Academic Publisher, Netherlands.
- Qin, J.J., Oo, M.H., Wai, M.N., Ang, C.M., Wong, F.S., Lee, H., 2003, "A Dual Membrane UF/RO Process for Reclamation of Spent Rinses from a Nickel-Plating Operation—a Case Study", Water Research, 37, 3269–3278.
- Schneegurt M, ., Jain J., Menicucci J. et. al., 2001, "Biomass Byproducts for the Remediation of Wastewaters Contaminated with Toxic Metals" , Environ. Sci. Technol., 35, 3786-791.
- Şanlı, O., Asman, G., 2000, "Removal of Fe(III) İons from Dilute Aqueous Solutions by Alginic Acid-Enhanced Ultrafiltration", Journal of Applied Polymer Science, 77, 1096-1101.
- Uslu, G., Ekiz, H.İ., Özer, A., Özer, D., 1998, "Atıksularda Bulunan Bakır(II) İyonlarının R. Arrhizus ile Giderilmesi", I. Atıksu Sempozyumu, Kayseri, 268-269.
- Uslu, O., Türkmen, A., 1987, "Su Kirliliği ve Kontrolü", Başbakanlık Çevre Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, 72-99.
- Yiğitoğlu, M., Ersöz, M., Coşkun, R., Şanlı, O., Ünal, H.İ., 1998, "Adsorption of Copper(II), Cobalt(II) and İron(III) Ions from Aqueous Solutions on Poly (ethylene terephthalate) Fibers", Journal of Applied Polymer Science, 68, 1935-1939.
- Yurlova, L. Kryvoruchko, A., Kornilovich, B., 2002, "Removal of Ni(II) ions from Wastewater by Micellar-Enhanced Ultrafiltration", Desalination, 144, 1–3, 255–260.

Zaidi, A., Simms, K., Kok, S., 1992, "The Use of Microfiltration and Ultrafiltration for the Removal of Oil and Suspended Solids from Oilfield Brine", *Water Science Technology*, 25, 163-176.

Zouboulis, A.I., Loukidou, M.X., Matis, K.A., 2004, "Biosorption of toxic metals from aqueous solutions by bacteria strains isolated from metal-polluted soils", *Process Biochemistry*, 39, 909–916.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı	Şükrü POLAT
Doğum Yeri	Emirdağ
Doğum Tarihi	30.03.1980
Medeni Hali	Bekar
Yabancı Dili	İngilizce
Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)	
Lise	1996-2000 Emirdağ Lisesi (Yabancı Dil Ağırlıklı Süper Lise)
Lisans	2001-2005 Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü
Yüksek Lisans	2005-2007 Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı