

**T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DESTEKLİ SIVI MEMBRANLARLA SULU  
ÇÖZELTİLERDEN KROM VE NİKELİN AYRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Kimyager Vuslat SARIKAYA**

**Enstitü Anabilim Dalı : KİMYA**

**Enstitü Bilim Dalı : FİZİKOKİMYA**

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Osman TUTKUN**

**Haziran - 2011**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DESTEKLİ SIVI MEMBRANLARLA SULU  
ÇÖZELTİLERDEN KROM VE NİKELİN AYRILMASI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kimyager Vuslat SARIKAYA

Enstitü Anabilim Dalı : KİMYA

Enstitü Bilim Dalı : FİZİKOKİMYA

Bu tez 09/06/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr. Osman TUTKUN

Jüri Başkanı



Yrd. Doç. Dr. Aynur  
MANZAK

Üye



Prof. Dr. Cuma BİNDAL

Üye

## **TEŞEKKÜR**

Bilgisini, deneyimini, teknik donanımını ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, çalıőmalarımın olumlu sonuçlanmasında en büyük pay sahibi sayın danışman hocam Prof. Dr. Osman TUTKUN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tüm deneysel çalıőmalarım boyunca destek, her türlü malzeme ve madde konularında yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Aynur MANZAK'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen aileme özellikle değerli annem ve babama, dostlarım Nihal YILMAZ ve őahika DİREYFOğLU'na teşekkürü bir borç bilirim.

Bu tez Sakarya Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyon Başkanlığı tarafından 2009-50-01-053 numaralı proje ile desteklenmiőtir.

# İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER .....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xiv
ÖZET.....	xvi
SUMMARY.....	xvii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
KROM-NİKEL GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. Kromun Genel Özellikleri.....	3
2.1.1. Krom elementinin temel ve fiziksel özellikleri.....	3
2.1.2. Krom atomunun temel ve spesifik özellikleri.....	4
2.2. Krom Maden Yatakları.....	5
2.2.1. Bushveld tipi maden yatakları.....	5
2.2.2. Alpin tipi maden yatakları.....	5
2.2.3. Ultrabazik-bazik kayaç tipi maden yatakları.....	5
2.3. Türkiye’de Mevcut Durum.....	6
2.4. Kromun Kullanım Alanları.....	6
2.4.1. Metalurji sanayi.....	6
2.4.2. Kimya sanayi .....	7
2.4.3. Refrakter sanayi .....	7
2.5. Krom Kimyası.....	8

2.5.1. Sulu ortamdaki Cr(VI) kimyası .....	9
2.6. Cr(VI) Ekstraksiyonu ve Sıyırma Kimyası.....	9
2.6.1. Sekonder ve tersiyer amin mekanizmaları.....	9
2.6.2. Kuaterner amin mekanizmaları.....	10
2.7. Cr(VI) Diğer Geri Kazanım Metodları.....	11
2.7.1. Aktif çamur metodu.....	11
2.7.2. İyon değiştirme metodu .....	11
2.7.3. Evaporasyon .....	11
2.7.4. Ters osmoz metodu .....	12
2.7.5. Elektrodializ metodu.....	12
2.7.6. Solvent ekstraksiyonu metodu.....	13
2.8. Cr(VI)'nın Biyolojik Önemi ve Zararlı Etkileri .....	14
2.9. Nikelin Genel Özellikleri.....	14
2.9.1. Nikel elementinin temel ve fiziksel özellikleri .....	15
2.9.2. Nikel atomunun temel ve spesifik özellikleri.....	16
2.10. Nikel Maden Yatakları.....	16
2.10.1. Likid mağmasal nikel yatakları.....	17
2.10.2. Lateritik ve tortul nikel yatakları.....	17
2.10.3. Hidrotermal nikel yatakları.....	17
2.11. Nikel Üretimi ve Safsıztıştırma.....	17
2.12. Türkiye'de Mevcut Durum.....	18
2.13. Dünyada Nikel Üretimi ve Tüketimi.....	18
2.14. Nikelin Metal Değeri.....	19
2.15. Nikelin Kullanım Alanları.....	20
2.16. Nikel Kimyası.....	21
2.16.1. Kimyasal reaksiyonları .....	21
2.16.1.1. Hava ile reaksiyonu.....	21
2.16.1.2. Su ile reaksiyonu.....	21
2.16.1.3. Halojenler ile reaksiyonu.....	21
2.16.1.4. Asit ile reaksiyonu.....	22
2.16.1.5. Baz ile reaksiyonu.....	22
2.17. Nikel İçin Güvenlik Önlemleri.....	22

## BÖLÜM 3.

SIVI MEMBRAN PROSESLERİ.....	23
3.1. Membran Prosesleri.....	23
3.2. Sıvı Membran Prosesleri.....	26
3.3. Sıvı Membran Tipleri.....	27
3.3.1. Bulk tipi sıvı membranlar.....	28
3.3.2. Emülsiyon tipi sıvı membranlar.....	28
3.3.3. Destekli sıvı membranlar.....	31
3.4. Sıvı Membranlarda Taşınım Mekanizması.....	33
3.5. Destekli Sıvı Membranların Avantajlar.....	36
3.6. Sıvı Membranların Dezavantajlar.....	36
3.7. Sıvı Membran Sistemlerinde Kullanılan Organik Çözücünün Seçimi .....	36
3.8. Sıvı Membran Proseslerinde Kullanılan Taşıyıcının Seçimi.....	37
3.9. Sıvı Membran Uygulamaları.....	38
3.9.1. Endüstriyel uygulamalar.....	38
3.9.2. Metal ekstraksiyonu.....	38
3.10. Sıvı Membran Destek Tipleri ve Özellikleri.....	39
3.10.1. Celgard membran filmlerinin özellikleri .....	39

## BÖLÜM 4.

MATERYAL VE METOD.....	40
4.1. Kimyasal Maddeler.....	40
4.2. Destekli Sıvı Membranların Hazırlanması ve Ölçülmesi.....	40
4.3. Düz Levha Destekli Sıvı Membranların Hazırlanması ve Ölçülmesi.....	40
4.4. Membran Desteği.....	41
4.5. Test Hücresi.....	42
4.6. Sistemin Çalışması.....	42

BÖLÜM 5.	
SONUÇLAR .....	43
BÖLÜM 6.	
TARTIŞMALAR.....	45
6.1. Giriş.....	45
6.2. Çözücü Cinsinin Etkisi .....	45
6.3. Besleme Çözeltisi pH'ının Etkisi .....	46
6.4. Ekstraktant (Alamine 300) Konsantrasyonunun Etkisi.....	46
6.5. Modifiyer (TBP) Konsantrasyonunun Etkisi.....	47
6.6. Sıyırma Çözeltisi (NaOH) Konsantrasyonunun Etkisi.....	48
6.7. Sıcaklık Değişiminin Etkisi.....	48
6.8. Optimum Şartlarda, Besleme Çözeltisi Cr(VI) Konsantrasyonunun Etkisi .....	49
6.9. Optimum Şartların Elde Edilmesi.....	49
6.10. Eşit Molar Besleme Çözeltisi Konsantrasyonunun Etkisi.....	50
6.11. Eşit Molar Olmayan Besleme Çözeltisi Konsantrasyonunun .... Etkisi.....	51
6.12. Uzun Salınlı Eşit Molar Besleme Çözeltisi Konsantrasyonunun Etkisi.....	51
KAYNAKLAR.....	119
EKLER.....	124
ÖZGEÇMİŞ.....	127

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

a	:Selektivite
A	:Membran kesit alanı
AAS	:Atomik absorpsiyon spektrofotometresi
ABD	:Amerika Birleşik Devletleri
aq	:Aqua (sulu)
B	:Besleme fazı
C	:Herhangi bir andaki konsantrasyon
C/C <sub>0</sub>	:Metal iyonlarının herhangi bir andaki konsantrasyonu/Başlangıç konsantrasyonu (boyutsuz konsantrasyon)
C <sub>i</sub>	:Çözünürlük
D <sub>i</sub>	: Difüzyon katsayısı
DSM	: Destekli sıvı membran
dev/dak.	:Devir/dakika
ELM	: Emülsiyon tipi sıvı membran
eks	: Ekstraksiyon
g	: Gram
(g)	: Gaz
IE	: İyonlaşma enerjisi
J	: Joule
J <sub>0</sub>	:Başlangıç kütle akısı (kg/m <sup>2</sup> .s)
kj	: Kilo joule
kg	:Kilogram
k	:Katı
L	:Litre
M.Ö	: Milattan önce
org	:Organik



OF	: Oyuk fiber
O/W	: Organik/Su (organik fazın sulu faz içerisinde dağılması)
O/W/O	: Organik/Su/Organik
P <sub>i</sub>	: Permeabilite
pH	: Çözeltideki hidronyum iyonu molar konsantrasyonunun eksi logaritması (-log[H <sup>+</sup> ])
IE	: İyonlaşma enerjisi
s	: Saniye
S	: Sıyırma fazı
SLM	: Destekli sıvı membran
V	: Volt
v.b	: Ve benzeri
y.y	: Yüzyıl
µm	: Mikrometre
\$	: Amerikan doları
%	: Yüzde
<sup>0</sup> C	: Santigrad derece
E <sup>0</sup>	: İndirgenme potansiyeli
<sup>0</sup> F	: Fahrenheit
<sup>0</sup> K	: Kelvin

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Ters Osmoz Metodu.....	12
Şekil 2.2.	Elektrodiyaliz Metodu.....	13
Şekil 3.1.	Bulk Tipi Sıvı Membranlar.....	28
Şekil 3.2.	Emülsiyon Tipi Sıvı Membranlar.....	29
Şekil 3.3.	Destekli Sıvı Membran.....	31
Şekil 3.4.	Emülsiyon ve Destekli Sıvı Membran Tipleri.....	32
Şekil 3.5.	Destekli Sıvı Membran İçerisindeki Taşınım Prosesinin Şematik Gösterimi.....	33
Şekil 3.6.	Celgard 2500 (PP)'nin SEM Fotoğrafi (X20000).....	39
Şekil 4.1.	Destekli Sıvı Membrana Ait Test Hücresinin Şematik Olarak Gösterilmesi.....	42
Şekil 6.1.	Çözücü cinsinin Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (besleme).....	54
Şekil 6.2.	Çözücü cinsinin Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme).....	54
Şekil 6.3.	Çözücü cinsinin Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma).....	55
Şekil 6.4.	Çözücü cinsinin Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma).....	55
Şekil 6.5.	Çözücü cinsinin Cr (VI) ekstraksiyonuna etkisi başlangıç kütle akısı ( $J_0$ ).....	56
Şekil 6.6.	Çözücü cinsinin Cr (VI) ekstraksiyonuna etkisi permeasyon katsayısı (P).....	57
Şekil 6.7.	Besleme çözeltisi pH'ının Cr (VI) ekstraksiyonuna etkisi (besleme).....	61
Şekil 6.8.	Besleme çözeltisi pH'ının Ni (II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme).....	61
Şekil 6.9.	Besleme çözeltisi pH'ının Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma).....	62

Şekil 6.10.	Besleme çözeltisi pH'nın Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma).....	62
Şekil 6.11.	Besleme çözeltisi pH'nın Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi başlangıç kütle akısı ( $J_0$ ).....	63
Şekil 6.12.	Besleme çözeltisi pH'nın Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi permeasyon katsayısı (P).....	64
Şekil 6.13.	Ekstraktant (Alamine 300) konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (besleme).....	67
Şekil 6.14.	Ekstraktant (Alamine 300) konsantrasyonunun Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme).....	67
Şekil 6.15.	Ekstraktant (Alamine 300) konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma).....	68
Şekil 6.16.	Ekstraktant (Alamine 300) konsantrasyonunun Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma).....	68
Şekil 6.17.	Ekstraktant (Alamine 300) konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi başlangıç kütle akısı ( $J_0$ ).....	69
Şekil 6.18.	Ekstraktant (Alamine 300) konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi permeasyon katsayısı (P) .....	70
Şekil 6.19.	Tribütil fosfat (TBP) konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (besleme).....	74
Şekil 6.20.	Tribütil fosfat (TBP) konsantrasyonunun Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme).....	74
Şekil 6.21.	Tribütil fosfat (TBP) konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma).....	75
Şekil 6.22.	Tribütil fosfat (TBP) konsantrasyonunun Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma).....	75
Şekil 6.23.	Tribütil fosfat (TBP) konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi başlangıç kütle akısı ( $J_0$ ).....	76
Şekil 6.24.	Tribütil fosfat (TBP) konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi permeasyon katsayısı (P).....	77
Şekil 6.25.	Sıyırma çözeltisi (NaOH) konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (besleme).....	81

Şekil 6.26.	Sıyırma çözeltisi (NaOH) konsantrasyonunun Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme).....	81
Şekil 6.27.	Sıyırma çözeltisi (NaOH) konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma).....	82
Şekil 6.28.	Sıyırma çözeltisi (NaOH) konsantrasyonunun Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma).....	82
Şekil 6.29.	Sıyırma çözeltisi (NaOH) konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi başlangıç kütle akısı ( $J_0$ ).....	83
Şekil 6.30.	Sıyırma çözeltisi (NaOH) konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi permeasyon katsayısı (P).....	84
Şekil 6.31.	Sıcaklık değişiminin Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (besleme).....	88
Şekil 6.32.	Sıcaklık değişiminin Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme).....	88
Şekil 6.33.	Sıcaklık değişiminin Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma).....	89
Şekil 6.34.	Sıcaklık değişiminin Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma).....	89
Şekil 6.35.	Sıcaklık değişiminin Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi başlangıç kütle akısı ( $J_0$ ).....	90
Şekil 6.36.	Sıcaklık değişiminin Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi permasyon katsayısı (P).....	91
Şekil 6.37.	Besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (besleme).....	95
Şekil 6.38.	Besleme çözeltisi konsantrasyonunun Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme).....	95
Şekil 6.39.	Besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma).....	96
Şekil 6.40.	Besleme çözeltisi konsantrasyonunun Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma).....	96
Şekil 6.41.	Besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi başlangıç kütle akısı ( $J_0$ ).....	97
Şekil 6.42.	Besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi permeasyon katsayısı (P).....	98
Şekil 6.43.	Eşit molar besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (besleme).....	103

Şekil 6.44.	Eşit molar besleme çözeltisi konsantrasyonunun Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme).....	103
Şekil 6.45.	Eşit molar besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma).....	104
Şekil 6.46.	Eşit molar besleme çözeltisi konsantrasyonunun Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma).....	104
Şekil 6.47.	Eşit molar besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi başlangıç kütle akısı ( $J_0$ ).....	105
Şekil 6.48.	Eşit molar besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna permeasyon katsayısı (P).....	106
Şekil 6.49.	Eşit molar olmayan besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (besleme).....	111
Şekil 6.50.	Eşit molar olmayan besleme çözeltisi konsantrasyonunun Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme).....	111
Şekil 6.51.	Eşit molar olmayan besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma).....	112
Şekil 6.52.	Eşit molar olmayan besleme çözeltisi konsantrasyonunun Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma).....	112
Şekil 6.53.	Eşit molar olmayan besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi başlangıç kütle akısı ( $J_0$ ).....	113
Şekil 6.54.	Eşit molar olmayan besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna permeasyon katsayısı (P).....	114
Şekil 6.55.	Optimum şartlarda uzun salınımlı eşit molar konsantrasyonda besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (besleme).....	117
Şekil 6.56.	Optimum şartlarda uzun salınımlı eşit molar konsantrasyonda besleme çözeltisi konsantrasyonunun Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme).....	117
Şekil 6.57.	Optimum şartlarda uzun salınımlı eşit molar konsantrasyonda besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma).....	118

Şekil 6.58. Optimum şartlarda uzun salımlı eşit molar konsantrasyonda besleme çözeltisi konsantrasyonunun Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma)..... 118

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Krom Elementinin Temel ve Fiziksel özellikleri.....	3
Tablo 2.2.	Krom Atomunun Temel ve Spesifik Özellikleri.....	4
Tablo 2.3.	Nikel Elementinin Temel ve Fiziksel Özellikleri .....	15
Tablo 2.4.	Nikel Atomunun Temel ve Spesifik Özellikleri.....	16
Tablo 3.1.	Ayırma Potansiyeli Bakımından Membran Prosesleri.....	24
Tablo 3.2.	Membran Tipine Göre Membran Proseslerinin Rolü.....	25
Tablo 3.3.	Celgard 2500 (PP)'nin özellikleri.....	39
Tablo 6.1.	Çözücülerin 20 °C'deki Dielektrik Sabitleri.....	46
Tablo 6.2.	Çözücü cinsinin Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme).....	52
Tablo 6.3.	Çözücü cinsinin Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma).....	53
Tablo 6.4.	Besleme çözeltisi pH'nın Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme).....	58
Tablo 6.5.	Besleme çözeltisi pH'nın Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma).....	60
Tablo 6.6.	Ekstraktant (Alamine 300) konsantrasyonunun Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme).....	65
Tablo 6.7.	Ekstraktant (Alamine 300) konsantrasyonunun Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma).....	66
Tablo 6.8.	Tribütil fosfat (TBP) konsantrasyonunun Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme).....	71
Tablo 6.9.	Tribütil fosfat (TBP) konsantrasyonunun Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma).....	73
Tablo 6.10.	Sıyırma çözeltisi (NaOH) konsantrasyonunun Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme).....	78

Tablo 6.11. Sıyırma çözeltisi (NaOH) konsantrasyonunun Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma).....	80
Tablo 6.12. Sıcaklık değişiminin Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme).....	85
Tablo 6.13. Sıcaklık değişiminin Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma).....	87
Tablo 6.14. Besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme).....	92
Tablo 6.15. Besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma).....	94
Tablo 6.16. Eşit molar besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme).....	99
Tablo 6.17. Eşit molar besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma).....	101
Tablo 6.18. Eşit molar olmayan besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme).....	107
Tablo 6.19. Eşit molar olmayan besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma).....	109
Tablo 6.20. Optimum şartlarda uzun salınımlı eşit molar konsantrasyonda Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonunu (besleme).....	115
Tablo 6.21. Optimum şartlarda uzun salınımlı eşit molar konsantrasyonda Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonunu (sıyırma).....	116



## ÖZET

Anahtar Kelimeler: Destekli sıvı membranlar; Krom-Nikel Ayrılması; Trioktil amin (TOA); TBP; Solvent ekstraksiyonu.

Kromun deri dabaklamada, metalürji, elektrokaplama ve diğer endüstrilerde çok fazla kullanılması, birçok yerde kromun yer altı sularına geçmesine sebep olmuştur. Cr (VI), bir çok endüstriyel uygulamalarından dolayı oldukça fazla önem arz etmekte ve kuvvetli oksidasyon potansiyeli yüzünden ve kolaylıkla biyolojik membranları geçebilmesi sebebiyle uzun zamandan beri toksik bir madde olarak tanınmıştır.

Bu çalışmada, krom ve nikel karışımlarını içeren asitli ortamlardan trioktil amin (TOA) kullanarak destekli sıvı membran prosesiyle kromun seçici olarak ayrılması incelenmiştir. Sıvı membran, uygun bir konsantrasyondaki ekstraktant (TOA), bir modifiyer (TBP) ve bir çözücünden (kloroform, kerosen ve sikloheksan) ibarettir. Membran desteği, mikroporöz hidrofobik polipropilendir (Celgard 2500). Çözücü tipi, besleme çözeltisi pH'ı, ekstraktant (TOA) konsantrasyonu, modifiyer (TBP) konsantrasyonu ve sıcaklık deneysel olarak incelenmiş ve optimum şartlar da tayin edilmiştir. Permeasyon katsayıları (P) ve kromun başlangıç kütle akıları ( $J_0$ ) hesaplanmıştır. Kromun nikel göre ayırma faktörleri deneysel ölçümlerden hesaplanmıştır.

Krom ve nikelin eşit molar ve eşit molar olmayan taşınımı pyrex bir camdan yapılmış düz levha (flat sheet membrane) kesi alanı (A)  $12.56 \text{ cm}^2$  olan iki bölmeli bir permeasyon hücresinde incelenmiştir.

Bütün deneylerde, sıvı membranlar için kullanılan polimer destekler, mikroporöz ve hidrofobik polipropilendir (Celgard 2500, 25  $\mu\text{m}$  kalınlık, 0.209  $\mu\text{m}$  x 0.054  $\mu\text{m}$  gözenek çapı ve % 55 porözite).

# SEPARATION OF CHROMIUM AND NICKEL FROM AQUEOUS SOLUTIONS BY SUPPORTED LIQUID MEMBRANES

## SUMMARY

Keywords: Supported liquid membranes; chromium-nickel separation; tri-octylamine (TOA); TBP; solvent extraction

The extensive use of chromium in leather tanning, metallurgy, electroplating and other industries has resulted in the release of aqueous chromium to the subsurface at numerous sites. Cr (VI) has received considerable attention owing to its extensive industrial applications and has long been recognised as a toxic substance due to its strong oxidising potential and the ease with which it can cross the biological membranes.

In this work the selective separation of chromium from acidic media, containing the mixtures of chromium and nickel by SLM was investigated using TOA (tri-octylamine) as carrier. The liquid membrane was consisted of the desired concentration of an extractant (TOA), a modifier (TBP), and a diluent (chloroform, kerosene, cyclohexane). The membrane support was microporous hydrophobic polypropylene Celgard 2500. Such parameters as, the solvent type, feed solution pH, extractant (TOA) concentration, modifier (TBP) concentration and temperature were experimentally studied and the optimum conditions were determined. The permeation coefficients (P) and the initial fluxes of chromium ( $J_0$ ) were calculated. Separation factors of chromium over nickel was calculated from the experimental measurements.

Competitive transport of the equimolar and non-equimolar mixtures of Cr and Ni ions across the SLM from the aqueous solutions was studied using a two-compartment permeation cell, made from a pyrex glass, with flat-sheet membranes of 12.56 cm<sup>2</sup> area (A).

In all experiments the supports used for the liquid membranes were microporous hydrophobic polypropylene Celgard 2500, 25µm thick, 0.209 µm x 0.054 µm pore size and 55 % porosity.

## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Krom 1797 yılında Sibiry'a da bir maden yatağında Fransız kimyageri Vauquelin tarafından bulundu. Ancak 1854 yılında Bunsen tarafından elde edilebildi. Krom metali ısıya çok dayanıklıdır ve demirden daha yüksek sıcaklıklarda, 1765 °C de erir. Çok sert bir metal olup aşınmaz ve havadaki oksijen ile oksitlenmez, parlaklığını korur. Bu metalin bütün tuzları kuvvetli ve renklendirici olduklarından, adı Yunanca' da renk anlamına gelen chrome' den gelmektedir [1].

Ağır metallere biri olan krom, trivalent (+3) krom ve heksavalent (+6) krom halinde bulunur. Krom(VI), krom(III)'den daha toksiktir [2]. Atıklardaki krom bileşikleri balıkların ve diğer akuatik canlıların yaşamına toksik etkiler yapar. Cr (VI), mutajenik ve kanserojenik özelliklerinden dolayı A grubu insan kanserojen maddesidir [3]. Cr(VI)'ya maruz kalınması, sindirim sistemi ve akciğerlerde kansere [4], mide bulantısına, ishale, kanamalara neden olabilir [5]. Bu yüzden krom(VI)'nın atıksu deşarjından öncelikle arıtılması gerekli ağır metallere dendir.

Nikel ilk olarak 1751'de, Baron Axel Fredrik Cronstedt adlı bir İsveçli minerolojist tarafından, gersdorfit (NiAsS) cevheri araştırılırken bulunmuştur. Nikel yer yüzünde az miktardadır; gök taşlarında saf halde bulunur. Çıkarıldığı maden ocaklarında başka madenlerle karışık haldedir. [6].

Nikel gümüş-beyaz bir metaldir. Oldukça sert olup, periyodik cetvelde geçiş metallere arasında yer alır. Genelde pentlandit içinde demir ve kükürt ile, milerit içinde kükürt ile birlikte bulunur.

Nikelin havaya karşı gösterdiği oksitlenme direnci sayesinde; bozuk para üretiminde, kimyasal araç ve gereçlerin üretiminde kullanılır. Alman Gümüşü gibi birçok

alaşımın üretiminde kullanılır. Toprakta eser element olarak kullanılan nikel, demir ve alüminyum silikatların latisinde yer almaktadır [6].

Membran prosesleri genellikle ayırma işlemlerinde kullanılmaktadır. Membran prosesi, iki kitlesel fazın membran olarak adlandırılan üçüncü bir faz tarafından fiziksel olarak ayrılması işlemi olarak tanımlanabilir. Membran, iki kitlesel faz arasındaki bir ara fazdır.

Sıvı membranların 1968'de N.N Li tarafından bulunmasından beri sıvı membran prosesleri, solvent ekstraksiyon prosesi ve diğer geleneksel ayırma ve arıtma proseslerine kıyasla metallerin ayrılması ve zenginleştirilmesinde ileri bir ayırma tekniği olarak önem kazanmıştır [7]. Özellikle destekli sıvı membran prosesi ile kromun seçici olarak ayrılmasında tersiyer ve kuaterner amonyum tuzlarının iyon taşıyıcısı olarak kullanımı yaygın olarak kabul görmektedir [8].

Bu çalışmada, destekli sıvı membran prosesleri asidik çözeltilerden eşit molar yada eşit molar olmayan, krom ve nikel iyonları içeren bir besleme çözeltisinden, kromun seçici olarak ayrılması deneysel olarak incelenmiştir. Sıvı membran içeriği ekstraktant (Alamine 300), modifiyer (TBP) ve çözücüden meydana gelmektedir. NaOH çözeltisi ise sıyırma çözeltisi olarak kullanıldı. Kromun permeasyonunu etkileyen önemli parametreler ve onların ayırma prosesi üzerine etkileri incelendi.

## BÖLÜM 2. KROM-NİKEL GENEL BİLGİLER

### 2.1. Kromun Genel Özellikleri

Yer kabuğunun doğal bileşenlerinden biri olan krom; metalürji, kimya ve refrakter sanayinin temel elementlerinden biridir. Krom metalinin ekonomik olarak üretilebildiği tek mineral ise kromittir. Kromit, mineralojik olarak spinel grubuna ait bir mineral olup, kübik sistemde kristallenir. Teorik formülü  $\text{FeCr}_2\text{O}_3$  olmakla birlikte, doğada bulunan kromit mineralinin formülü  $(\text{Mg,Fe})(\text{Cr,Al,Fe})_2\text{O}_3$  olarak verilmektedir [9].

Krom cevherinin kimyasal bileşimi cevherin sanayideki kullanım alanlarını belirlemektedir. Kimyasal analizlerde  $\text{SiO}_2$   $\text{Cr}_2\text{O}_3$   $\text{Al}_2\text{O}_3$  % miktarları ve Cr/Fe oranı çok belirleyici olmaktadır. Kromit mineralinin doğada bilinen en yüksek  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  içeriği % 68'dir [9,10].

#### 2.1.1. Krom elementinin temel ve fiziksel özellikleri

Tablo 2.1. Krom Elementinin Temel ve Fiziksel Özellikleri

Temel Özellikler	
İsim, Sembol ve Atom Numarası	Krom, Cr, 24
Kimyasal Grup	Geçiş Metalleri
Grup, Periyot, Blok	6,4,d
Atom Ağırlığı	51.9961(6) g/mol
Elektron Konfigürasyonu	[Ar] $3d^5 4s^1$
Fiziksel Özellikler	
Faz	Katı

Tablo 2.1. (Devam) Krom Elementinin Temel ve Fiziksel Özellikleri

Yoğunluk	7.15 g-cm <sup>-3</sup>
Sıvının Yoğunluğu	6.3 g-cm <sup>-3</sup>
Erime Noktası	2180 °K (1907 °C )
Kaynama Noktası	2944 °K (2671 °C, 4840 °F )
Ergime Isısı	21.0 kJ-mol <sup>-1</sup>
Buharlaştırma Isısı	339.5 kJ-mol <sup>-1</sup>
Molar Isı Kapasitesi (25°C)	23.35 J-mol <sup>-1</sup> -K <sup>-1</sup>

### 2.1.2. Krom atomunun temel ve spesifik özellikleri

Tablo 2.2. Krom Atomunun Temel ve Spesifik Özellikleri

<b>Temel Özellikler</b>	
Kristal Yapısı	Cisim Merkezli Kübik
Oksidasyon Basamakları	6, 4, 3, 2 (kuvvetli asit oksit)
Elektronegatiflik	1.66 (Pauling ölçeği)
İyonlaşma Enerjisi	1.IE:652.9 kJ-mol <sup>-1</sup>
	2.IE:1590.6 kJ-mol <sup>-1</sup>
	3.IE:2987.0 kJ-mol <sup>-1</sup>
Atom Yarıçapı	140 pm
Kovalent Yarıçapı	127 pm
<b>Spesifik Özellikler</b>	
Elektriksel Direnç (20 °C)	125 n <sup>^</sup> -m
Isıl İletkenlik Katsayısı (300 K)	93.9 W-m <sup>-1</sup> -K <sup>-1</sup>
Isıl Genleşme Katsayısı (25°C)	4.9 uK <sup>-1</sup>
Mohs Sertliği	8.5
Vickers Sertliği	1060 MPa
Ses Hızı (ince çubuk içinde) (20 °C)	5940 m/s

## **2.2. Krom Maden Yatakları**

Krom yataklarının içinde bulunduğu ultrabazik-bazik kayaç toplulukları köken, jeolojik konum, mineroloji, doku, v.b. özellikleri yönüyle başlıca üç tipe ayrılırlar:

### **2.2.1. Bushveld tipi maden yatakları**

(Güney Afrika), Stilwater (ABD) gibi duyarlı kıtasal bölgelerde (kraton) bulunan stratiform sokulumlara bağlı krom yatakları: Büyük boyutlu, kilometrelerce devamlılık gösteren tabakalı yataklanmalardır. Yapısal olarak büyük bir karmaşıklık sergilemezler. Küçük tane boyulu, düzgün kristal şekilli, Cr/Fe oranı düşük ve yüksek demirli cevher içerirler.

### **2.2.2. Alpin tipi maden yatakları**

Daha çok Alp dağ oluşum kuşakları boyunca görülmeleri nedeniyle Alpin tip diye anılan ultrabazik-bazik kayaç topluluklarına (ofiyolit istifli) bağlı krom yatakları (podiform tip) : bunlar mercek veya düzensiz şekilli, genelde küçük boyutlu, karmaşık yapısal ilişkiler sergileyen yataklardır. İri tane boyulu düzensiz kristal şekilli, Cr/Fe oranı yüksek ve yüksek kromlu cevher içerirler [9,10].

### **2.2.3. Ultrabazik-bazik kayaç tipi maden yatakları**

Üçüncü tip olarak gruplandırılan; eşmerkezli bir iç düzene sahip konsantrik ultrabazik-bazik kayaç topluluklarına bağlı krom yatakları. Bunların bugün için ekonomik önemi yoktur. Genellikle Alaska'da görülen bu tip yataklardan üretim yapılmamaktadır. Bununla birlikte ABD'de, bu kromitlerin zenginleştirilmesi testleri ve bunların ekonomikliği konusunda çalışmalar yapıldığı bilinmektedir. Bu tip yataklar genellikle yüksek demirli krom cevheri içerir [10].

### 2.3. Türkiye'de Mevcut Durum

Dünyadaki sayılı krom üreticisi ülkeler arasında yer alan Türkiye ham cevher, ferrokrom ve krom kimyasalları dışsatımından önemli döviz geliri sağlamaktadır. Son yıllarda metalurji, kimya ve refrakter sanayiinin krom cevheri talebi 450 000 tona ulaşmıştır. Ham cevherin iç piyasadaki artan tüketiminin yanı sıra önemli miktarda parça ve konsantre cevher dışsatımı da yapılmaktadır [1].

Türkiye'de krom cevheri, ferrokrom ve krom kimyasalları üretimi çoğunlukla ihracata yönelik olarak yapılmaktadır. Bu nedenle krom madenciliği dış pazarlarda oluşan fiyat dalgalanmalarından büyük ölçüde etkilenmektedir. İşletilen krom madenlerimiz gün geçtikçe çoğalmakta ve böylece yeni krom yatakları araştırmalarına hız verilmektedir. Krom cevheri, fizikî durumu dolayısıyla diğer sahelere nazaran bazı karakteristik değişiklikler gösterir. [11].

Buna karşılık Alpin tipi krom yatakları olarak adlandırılan ülkemiz krom yataklarının düzensizlikleri nedeniyle, bilinen rezervler yıllık üretime göre yetersiz kalmaktadırlar. Gerek yerli sanayinin hammadde güvenliğini sağlamak ve gerekse artan dış talebi karşılamak için, bir yandan bilinen yatakların rezervlerinin geliştirilmesi, bir yandan da yeni cevher potansiyelleri bulmak amacıyla yeni sahaların aranması büyük önem taşımaktadır [10].

### 2.4. Kromun Kullanım Alanları

Krom cevheri başlıca üç alanda; metalurji, kimya, refrakter ve döküm sanayiinde kullanılır. Kullanım alanları cevherin krom içeriğine göre farklılık göstermektedir.[1-10].

#### 2.4.1. Metalurji sanayi

Metalurji sanayiinde krom cevherinin en önemli kullanım alanı paslanmaz çelik yapımında kullanılan ferrokrom üretimidir. Ferrokrom ise paslanmaz çelik metal ve silah sanayiinin çok önemli bir maddesidir. Krom; çeliğe sertlik ile kırılma ve



darbelere karşı direnç verir, aşınma ve oksitlenmeye karşı koruma sağlar. Bu kapsamda kromun çeşitli alaşımları mermi, denizaltı, gemi, uçak, top ve silahlarla ilgili destek sistemlerinde kullanılır. Paslanmaz çeliğin dayanıklılığının yanısıra, kullanıldığı yerlere estetik bir görünüm kazandırması; bu malzemenin son yıllarda otobüslerin ve tren vagonlarının, şehir içlerinde otobüs duraklarının, cadde ve sokak aydınlatma sistemlerinde, binalarda merdiven korkuluklarının yapımında ve deniz içi petrol arama platformlarının yapımında giderek artan oranlarda kullanılmasını sağlamıştır. Kromun süper alaşımları ısıya dayanıklı, yüksek verimli türbin motorlarının yapımında kullanılmaktadır [9].

#### **2.4.2. Kimya sanayi**

Çoğu krom kimyasalları, kimyasal kalitedeki krom cevherinden doğrudan elde edilen sodyum bikromattan üretilir. Sodyum bikromat, kromik anhidrit ve krom oksit en yaygın kullanılan krom kimyasallarıdır. Ticari olarak üretilen diğer tali bileşikler, kurşun kromat, bazik krom sülfat, sodyum kromat, potasyum bikromat, potasyum çinko kromat ve amonyum bikromattır [9,10].

Krom kimyasalları paslanmayı önleyici özellikleri nedeniyle uçak ve gemi sanayiinde yaygın olarak; kimya endüstrisinde de sodyum bikromat, kromik asit ve boya hammaddesi yapımında kullanılmaktadır [1,10].

Krom kimyasalları; metal kaplama, deri dabalama, boya maddeleri (pigment), seramikler, parlatici gereçler, katalizör, boyalar, konserve kutulama, su işleme ve arıtma, temizleme, sondaj çamuru ve diğer birçok alanda tüketilir [1,9].

#### **2.4.3. Refrakter sanayi**

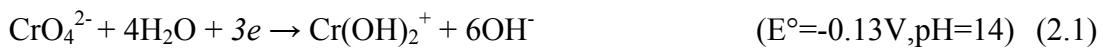
Refrakter özellikteki krom cevheri, çelik üretiminde yüksek fırınlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yüksek fırın yöntemiyle çelik üretiminin azalması, kromun refrakter amaçlı kullanımını da olumsuz yönde etkilemiştir. Krom cevherinin metalurji, kimya, refrakter ve döküm sanayiinde kullanımları ve bu alanlara göre

tüketim oranları ayrıntılı olarak sadece Japonya, Fransa ve ABD için bilinmektedir [1,10].

ABD'de yıldan yıla büyük değişiklik göstermekle birlikte, son yılların ortalamasına göre toplam krom cevherinin % 79'u metalurji sanayii, % 13'ü kimya sanayii ve % 8'i refrakter sanayiinde kullanılmıştır [9,10] .

## 2.5. Krom Kimyası

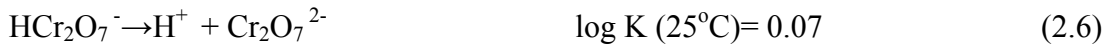
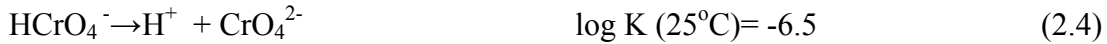
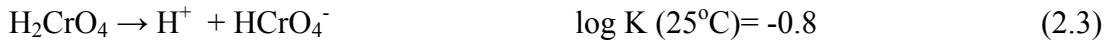
Krom 0 dan +6 ya kadar değişen yükseltgenme basmaklarında bulunabilmekle birlikte, doğada daha kararlı olmasından dolayı daha çok +3 ve +6 formunda bulunur.  $\text{Cr}^{3+}$ ;  $[\text{Cr}^{3+} \cdot \text{Cr}(\text{OH})^{2+}, \text{Cr}(\text{OH})^{2+}]$  katyonları halinde asidik çözeltilerde bulunur. Oysa alkali çözeltilerde hidroksitleri halinde çöker.  $\text{Cr}^{6+}$ ;  $[\text{CrO}_4^{2-}, \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}, \text{HCrO}_4^-]$  anyonları şeklinde çözünür ve yükseltgeme gücü pH'nın fonksiyonu olarak değişkenlik gösterir. Cr(VI)/Cr(III) için standart indirgenme potansiyeli redox etkileşimi pH'nın negative olduğu durumda Cr(VI)'nın stabilizasyonu alkali çözeltinin hidrojen konsantrasyonuyla ilgilidir ve indirgenme potansiyeli  $E^0 = -0,13$  V'dur. Asidik ortamda Cr(VI)/Cr(III)'nın standart indirgenme potansiyeli indirgenme etkileşiminde Cr(III) üretilmesinden dolayı oldukça pozitifdir ve indirgenme potansiyeli  $E^0 = +0,12$  V'dur.,



pH, Cr(VI) ve Cr(III)'ün stabilitesini etkileyen önemli bir unsur olmasından dolayı, krom bileşiklerinin sulu çözeltilerinde çok önemli bir faktördür. Cr(VI) türleri kuvvetli oksidant olduklarından topraktaki elektron verebilen organik materyaller,  $\text{Fe}^{2+}$ , sülfid ve mikroplar gibi birçok tür ile indirgenme eğilimindedirler. Ayrıca Cr(III) çözülmüş oksijen ve mangandioksit ( $\text{MnO}_2$ ) tarafından düşük pH'da yavaşça yükseltgenir. Bu özelliklere dayanarak kirletilmiş toprakların kurtarılması amacıyla Cr(VI)'nın indirgenmesi için birçok çaba sarf edilmektedir [12, 13].

### 2.5.1. Sulu ortamdaki Cr(VI) kimyası

Krom sulu çözeltilerde ortamın pH'a ve metal konsantrasyonuna bağlı olarak çeşitli şekillerde bulunabilir. Bunlar aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir [14].

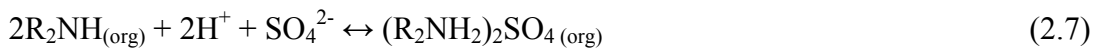


Eşitlik (2.3) ortamın pH'ından pH 2-5 aralığında bağımsızdır ve yalnızca toplam krom konsantrasyonuna bağımlıdır. pH=2 iken bikromat iyonu baskınken pH=8 olduğunda kromat iyonu yüksek oranda baskın ve kararlıdır [14].

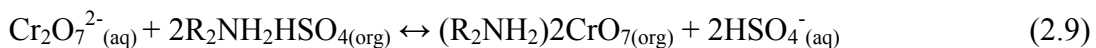
### 2.6. Cr(VI) Ekstraksiyonu ve Sıyırma Kimyası

#### 2.6.1. Sekonder ve tersiyer amin mekanizmaları

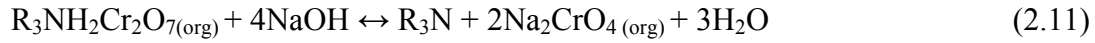
Sekonder ve tersiyer amin içeren Cr(VI) reaksiyonları için çeşitli mekanizmalar önerilmiştir [15,16]. Bu mekanizmalar, sülfatın rolü ve reaksiyondaki kromat iyonu formuna göre birbirlerinden farklıdırlar. Bir amin tuzunun oluşturulması veya polar iyon çifti olarak  $\text{SO}_4^{2-}$  kullanılarak dikromatın ekstraksiyonuna ait bir mekanizma önerilmiştir [17,18]. Böylece  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ortamında Cr(VI) nin sekonder amin (ekstraktant molekül)'e dikromatın ekstrakte olmasına ait reaksiyonun ilk basamağı;



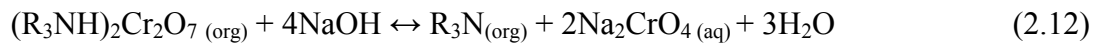
Burada R hidrokarbon zinciridir. Oluşan tuzun dikromat anyonu ile değişim reaksiyonu vereceği önerilebilir:



Cr(VI)'nın aminlerle geri kazanımında alkali veya halojenürlü sulu çözeltiler ile organik fazın temas ettirilmesi büyük sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Alkali çözeltiler için bir sıyırma reaksiyon mekanizması önerilmiştir [16].



Benzer bir sıyırma reaksiyon mekanizması [17];



Son olarak elde edilen reaksiyon [19] :



Sulu çözeltilerdeki Cr(VI) formları, sıyırma çözeltilisindeki metal düzeyine bağlıdır. Sıyırma çözeltisi olarak alkali çözeltilerin kullanımı asidik besleme çözeltilerindeki dikromatın kromata dönüşmesini gerektirmektedir.

### 2.6.2 Kuaterner amin mekanizmaları

Kuaterner aminler için önerilen mekanizma sekonder ve tersiyer aminler için önerilenler ile aralarında önemli farklılıklar olmasına rağmen benzerdir. Yapılarından dolayı kuaterner aminler anyonik türler tarafından yüklenmeden önce protonlanmaya ihtiyaç duymazlar ve bundan dolayı Aliquat 336'nın nötral ve bazik koşullarda (pH<12) yüklenmesi mümkün olur. Kromat ve bikromat anyonlarının kuaterner aminlerle reaksiyonlarına ilişkin mekanizma aşağıdadır [20];



## 2.7. Diğer Geri Kazanım Metotları

### 2.7.1. Aktif çamur metodu

Bu yöntem Cr(VI)'nın kazanımı ve tekrar kullanımında büyük bir öneme sahiptir. Bu teknik sadece atık problemini indirmekle kalmaz, aynı zamanda kaplama maliyetlerini de düşürür. Son zamanlarda, oluşan atıkların ilk oluşan çamurlardan geri kazanılması için bir öneri yapılmıştır [21]. Bu metot atıkların yok edilmesi ve metallerin geri kazanılma amaçlarının çoğunu kapsamamasına rağmen, Cr(VI) kaplama işleminin sürdürülebilmesi için diğer yaklaşımın benimsenmiş olması; çökelme basamağında Cr(VI)'nın Cr(III) 'e indirgenmesinin ve sonra tekrar kullanılması için Cr(VI)'ya dönüşme oranı yetersiz olmasından dolayı gereklidir.

### 2.7.2. İyon değiştirme metodu

İyon değişim metodu önemi kabul edilmiş bir geri kazanım metodudur. Cr(VI)'nın seçici olarak geri kazanılmasında hem zayıf hem de kuvvetli bazların iyon değiştirici reçinelerle (Amberlite IRA-94 or IRA-402) birlikte kullanıldıkları belirtilmiştir [22]. Bununla beraber geleneksel iyon değiştiricilerin yüksek reçine değişim maliyeti, yarı yığılanmış işlem gücü ve ayrılan maddenin yıkama ve ayırma basamaklarında reçine tarafından tekrar absorplanması gibi birçok dezavantajı vardır. Cr(VI)'nın geri kazanım akımında toplanması, arzulanan sıklıkla daha azdır. Çünkü proses yüklenen reçinenin kapasitesiyle sınırlandırılmıştır. Sonuç olarak; elektrokaplama banyosunda öncelikli dönüşümün başlaması için evaporasyon gibi ek bir basamak, ürün kazanım akımındaki Cr(VI) konsantrasyonunu artırmak için gerekli olabilmektedir [23].

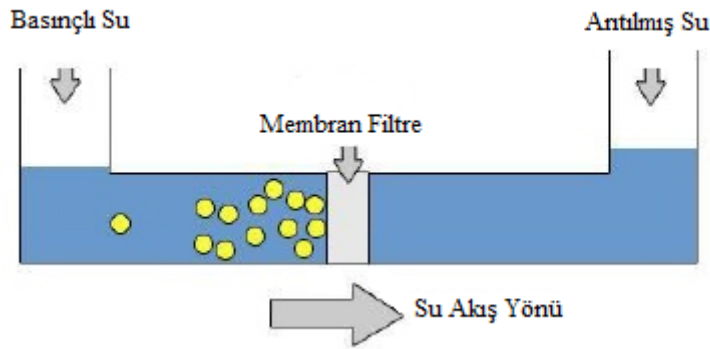
### 2.7.3. Evaporasyon

Vakum ve atmosferik buharlaşmanın her ikisi de kaplama sanayinde atık suların Cr(VI)'ı konsantre etmek için kullanılmaktadır. Atmosferik buharlaştırma ile 480 g/L kadar yüksek konsantrasyonlara ulaşım başarılmıştır. Düşük maliyet ve yatırımların hızlı bir şekilde geri dönmesi bu tekniğin avantajlarından bazılarıdır. Bununla

beraber enerji ve işletim maliyetlerinin yüksek olması, ortam nemine bağlı olarak geri kazanım oranındaki değişimler dezavantajları arasında sayılabilir [24].

#### 2.7.4. Ters osmoz metodu

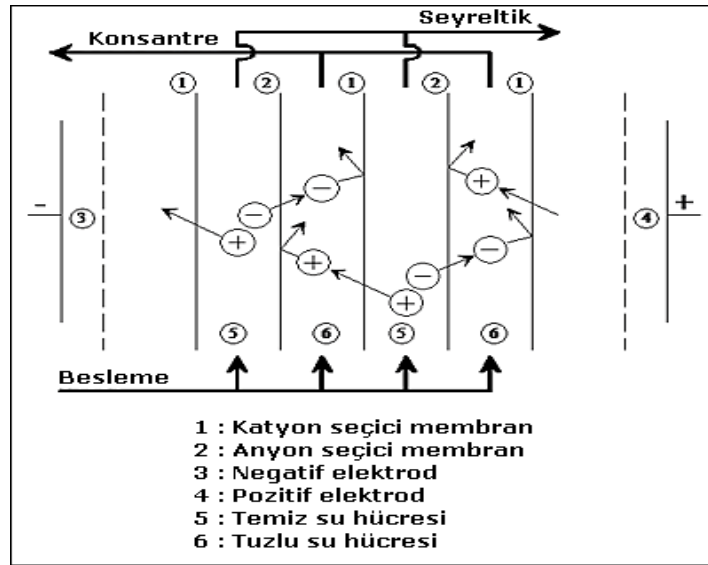
Ters osmoz prosesinde, bir besleme akıntısından su seçici olarak, basınç altında yarı geçirgen bir zardan geçmeye zorlanır. Atık olarak çamur üretilmemesi ve iyon değişim metodundan daha düşük maliyetle yüksek geri kazanım elde edilmesi bu metodun avantajlarıdır. Buna rağmen metal ayırımındaki düşük seçicilik ve zar ömrünün yeterince istenen seviyede olmaması dezavantajları arasında yer almaktadır [25]. Ters osmoz metoduna ait şematize görüntü ise şekil 2.2’de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Ters Osmoz Metodu

#### 2.7.5. Elektrodializ metodu

Krom atık çözeltileri; sırasıyla bir seri anyon ve katyon seçici membrandan geçerken katettiği yol boyunca üzerine bir elektrik alan uygulanır. Böylece anyon ve katyonlar elektrik alanında, yarı geçirgen membran yardımıyla ayırma hücrelerinde toplanır. Yüksek seçiciliğine rağmen bu metot büyük ölçeklerde kullanımının sınırlı olması ve diğer metotlardan daha pahalı olmasından dolayı daha az tercih edilmektedir. Ancak laboratuvar deneylerinde yüksek seçicilik ve kazanım ile birlikte yoğun Cr(VI) akışı elde edilebilmektedir [26]. Elektrodializ metodu için görsel ifade şekil 2.3.’de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Elektrodiyaliz Metodu

### 2.7.6. Solvent ekstraksiyon metodu

Solvent ekstraksiyon metodu atık sulardan metallerin geri kazanılmasında kullanıldığı kadar hidrometalurjik proseslerde metallerin geriye kazanılmasında da önemlidir. Bu proses iki basamaklı bir denge prosesidir. Burada bileşenlerden birisi mevcut sulu fazdan organik faza geçer. Sonrasında fazlar ayrılır ve yüklenmiş organik faz bir sulu sıyırma çözeltilisi ile temas ettirilirken metal organik fazdan sıyırma çözeltilisine geçer. Organik faz, bünyesinde kompleks oluşturma veya metalin çözünebilirlik fonksiyonlarını ve besleme çözeltilisinden metalin kurtarılmasını sağlayan ekstraktant molekülünü barındırır. Ekstraksiyon veya yükleme reaksiyonu çok basittir ve aşağıdaki eşitlikte sergilenmektedir.



Burada M; metal, E; ekstraktant molekülünü temsil etmektedir.

Ekstraktant molekülünün seçimi, ekstraksiyonun seçiciliğinde istenilen etkinin sağlanmasında anahtar konumundadır. Ekstraktant molekülünün birçok özelliğe sahip olması gerekmektedir [27].

Bu özellikler aşağıda verilmiştir:

- Ucuz olmalı

- Sudaki çözünürlüğü düşük olmalı
- Çevrimde uzun süre kimyasal stabilitesini korumalı
- Sulu fazlar ile emülsiyon oluşturmamalı
- Metal yüklenme kapasitesi yüksek olmalı
- Kolay karıştırılmalı ve metali bünyesine kolayca almalı
- Uçuculuğu, tutuşabilirliği ve zehir etkisi düşük olmalı
- Metali kolayca salıvermeli

## 2.8. Cr(VI)'nın Biyolojik Önemi ve Zararlı Etkileri

Saf metalik krom ve kromitler birçok farklı yükseltgenme basamağında (0, +2, +3, +6) bulunabilmelerine rağmen, bunların birçoğu memeliler ve bitkiler için zararsızdırlar. Cr(II) doğada kararlı değildir ve Cr(III) veya Cr(VI)'ya O<sub>2</sub> gibi bir yükseltgenlerle kolayca yükseltgenme eğilimindedir. Çalışmalar, Cr(III) memeli canlıların normal glikoz, kolesterol ve doymuş yağ asidi metabolizmalarını devam ettirmeleri için temel bir eser element olduğunu göstermektedir. Cr(VI) yüksek oksidasyon potansiyelinden ve biyolojik membranların içerisine girme kabiliyetine sahip olmasından dolayı oldukça zehirli ve kanserojenik bir krom türüdür [28, 29].

Cr(VI) ya aşırı maruz kalma ve soluma gibi durumlar; kroma bağlı ülser, deride deformasyon, akciğer kanseri gibi solunum yolları kanserlerine sebep olabilir. Cr(VI)'nın yutulmasının ise karaciğer, böbrek, dolaşım ve sinir sistemi dokularında ve kan organellerinde zararlı etkiler oluşturduğu ve mide kanserine sebep olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca Cr(VI)'nın DNA üzerinde mutajenik etkilerinin olduğu ve askorbik asit (C vitamini) metabolizmasında askorbat-Cr(III)-DNA çapraz bağlarına ve Cr(III)-DNA ikili bağlarına zarar verdiği gözlenmiştir [28, 30]

## 2.9. Nikelin Genel Özellikleri

Nikelin başlı başına bir element olduğu 1775'de Torbern Bergman ve arkadaşları tarafından kanıtlanmış ancak 1804'e kadar herhangi bir üretimi yapılmamıştır. İlk saf metal üretimi Jeremias Richter (1804) tarafından yapılmıştır [31]. İlk bulunuşundan sonra uzun bir süre boyunca nikel içeren alaşımlar üretilmiştir. 1830'larda "Alman



GümüŖü” olarak bilinen bakır-nikel-çinko alaŖımları İngiltere ve Almanya’da büyük miktarlarda üretilmiŖtir. 1870’de elik alaŖımlandırma elementi olarak önem kazanan nikel daha sonra elektrolitik olarak kaplama teknolojisinin geliŖtirilmesiyle geniŖ bir kullanım alanı bulmuŖtur. Toprakta eser element olarak bulunan nikel, demir ve alüminyum silikatların latisinde yer almaktadır. Çoğunlukla sülfat ve oksitler halinde bulunan ve yeryüzünde bulunma sıklığı 24. sırada olan nikelin ortalama konsantrasyonu % 0.008’dir. Toplam rezerv  $130 \times 10^6$  ton olarak tahmin edilmektedir [31].

Nikel yer kabuğundaki belli baŖlı elementlerden olup, yüz yıla yakın bir süredir endüstride kullanılmaktadır. Doğada çoğunlukla demirle birlikte olmak üzere sülfürler, arsenürler ve silikatlar (lateritik kökenli) Ŗeklinde bulunur. En önemli nikel mineralleri olarak, nikelin (NiAs), kloantit (NiAs<sub>2</sub>), pentlandit [(Fe,Ni)S], millerit (NiS), annabergit [(Ni)<sub>3</sub>(AsO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·8H<sub>2</sub>O] belirtilebilir [32].

### 2.9.1. Nikel elementinin temel ve fiziksel özellikleri

Tablo 2.3. Nikel Elementinin Temel ve Fiziksel Özellikleri

<b>Temel Özellikler</b>	
İsim, Sembol ve Atom Numarası	Nikel Ni, 28
Kimyasal Grup	Geçiş Metalleri
Grup, Periyot, Blok	10,4,d
Atom Ağırlığı	58.6934 g/mol
Elektron Konfigürasyonu	[Ar] 3d <sup>8</sup> 4s <sup>2</sup>
<b>Fiziksel Özellikler</b>	
Faz	Katı
Yoğunluk	8.908 g/cm <sup>3</sup>
Sıvının Yoğunluğu	7.81 g/cm <sup>3</sup>
Erime Noktası	1728 °K (1455 °C )
Kaynama Noktası	3186 °K (2913 °C, 5275 °F )
Ergime Isısı	17.48 kJ/mol
BuharlaŖma Isısı	377.5 kJ/mol
Molar Isı Kapasitesi (25°C)	26.07 J/mol-K

## 2.9.2. Nikel atomunun temel ve spesifik özellikleri

Tablo 2.4. Nikel Atomunun Temel ve Spesifik Özellikleri

<b>Temel Özellikler</b>	
Kristal Yapısı	Yüzey Merkezli Kübik
Oksidasyon Basamakları	6, 4, 3, 2 (kuvvetli asit oksit)
Elektronegatiflik	1.91 (Pauling ölçeği)
İyonlaşma Enerjisi	1.IE:737.1 kJ-mol <sup>-1</sup>
	2.IE:1753.0 kJ-mol <sup>-1</sup>
	3.IE:3395.0 kJ-mol <sup>-1</sup>
Atom Yarıçapı	135 pm
Kovalent Yarıçapı	121 pm
<b>Spesifik Özellikler</b>	
Elektriksel Direnç (20 °C)	69.3 n <sup>-m</sup>
Isıl İletkenlik Katsayısı (300 K)	90.9 W/m-K
Isıl Genleşme Katsayısı (25°C)	13.4 µm/(m ·K)
Mohs Sertliği	4.0
Vickers Sertliği	638 MPa
Ses Hızı (ince çubuk içinde) (20 °C)	4900 m/s

## 2.10. Nikel Maden Yatakları

Nikel yatakları kökenlerine göre iki tipe ayrılabilir: Magmatik kökenli nikel yatakları ve Laterritik kökenli nikel yataklardır. Lateritik maden yataklarının temel mineralleri; limonit (Fe,Ni)O(OH) ve garnierit (Ni,Mg)<sub>3</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH) iken magmatik sülfid yataklarının ana minerali ise pentlandit (Ni,Fe)<sub>9</sub>S<sub>8</sub> dir.

Magmatik kökenli nikel yatakları 3 tiptir. Bunlar;

### **2.10.1. Likid mağmasal nikel yatakları**

Bu yataklar genelde peridotit ve noritler içinde bulunur. Nikel büyük kütlelerde dissemine olarak, çok ince damarlarda ve çatlak dolgusu olarak bulunur. Bu tipe örnek olarak Kanada'daki Sudbury yatağı verilebilir.

### **2.10.2. Lateritik ve tortul nikel yatakları**

Peridotit ve gabroların lateritleşmeleri sonucunda oluşan demirli lateritlerde nikel ve kobalt zenginleşmeleri söz konusudur. Bu tipe örnek olarak Yeni Kalendonya'daki yataklar ve Manisa-Çaldağ yatağı verilebilir.

### **2.10.3. Hidrotermal nikel yatakları**

Bu yataklar başlıbaşına nikel yatakları olmayıp, daha çok kobalt için önemli sayılabilirler [32].

## **2.11. Nikel Üretimi ve Safsızlaştırma**

Nikel üretim prosesleri son yıllarda ilgi çekici olarak gelişmeye devam etmektedir. Bu prosesler içerisinde ilginç olanlarından birisi otoklavlardaki nikel üretim prosesidir. Bu proseste nikel cevherleri otoklavda sülfitleştiriliyor, çözünür sülfatlara oksitleri dönüştürülerek nötürleştirilip; demirle semente edilerek sonunda manyetik seperasyon ve kimyasal rafinasyon ile semente edilen üründen saf nikel üretiliyor [33].

Nikel metalurjik yöntemlerle üretilmektedir. Birçok sülfid cevheri, daha ileri rafinasyonda kullanılacak olan mat üretimi için pirometalurjik yöntemlerle zenginleştirilirler. Hidrometalurjide yapılan ilerlemeler sayesinde, nikel üretiminde bu teknolojilerden de faydalanılmaya başlanmıştır. Klasik sülfid cevherlerinin üretiminde, flotasyon ile elde edilen konsantr pirometalurjik işlemler ile safsızlaştırılmaktadır.

## 2.12. Türkiye’de Mevcut Durum

Türkiye’de lateritik ve sülfid tipi nikel mineralizasyonları bulunmaktadır. Bilinen başlıca yataklar Manisa-Turgutlu-Çaldağ, Eskişehir-Mihallıçcık-Yunusemre’de lateritik; Bitlis- Pancarlı, Bursa-Orhaneli-Yapköydere ve Sivas-Divriği-Güneş’te sülfidli evherleşmeler vardır. Bunlardan yalnız Manisa-Çaldağ lateritik nikel yatağı ekonomik nikel içeriği ve rezervitibarı ile nikel fiyatlarının yükselmesi halinde ekonomik olması muhtemel bir yataktır. Manisa-Çaldağ Sahasında M.T.A. tarafından ayrıntılı Jeolojik etüdler ile 82’ si kırıntılı, 5’i karotlu olmak üzere 97 lokasyonda toplam 8253 m sondaj yapılmış, 10 lokasyonda toplam 275 m arama kuyusu ve 80’ den fazla yarma açılmıştır. Bursa-Yapköydere Sahasında, 1974-1982 tarihleri arasında M.T.A. tarafından çeşitli zamanlarda etüdler gerçekleştirilmiştir. Bunlar jeolojik ve jeofizik etüdler (IP ve Elektromanyetik/Turam), 20’ye yakın yarma ve 2 lokasyonda toplam 121 m’lik sondaj çalışmalarıdır. Bunların rezervin çok küçük bir yatak olmasına karşın ucuz işletme yöntemleri ile işlenebileceği belirtilmektedir. Bitlis-Pancarlı Sahasında M.T.A. tarafından ayrıntılı jeolojik etüdler yapılmış, 15 500 ton %1.4 Ni tenörlü mümkün rezerv belirlenmiş ancak bunun tek başına ekonomik olmayacağı belirtilmiştir. Eskişehir-Mihallıçcık-Yunusemre’de lateritik tip Sivas-Divriği-Güneş’te ve Bolu-Mudurnu-Akçaalan’da sülfidik tip nikel cevherleşmeleri bulunmaktadır Türkiye’de bilinen nikel yataklarından sadece Manisa-Turgutlu-Çaldağ lateritik nikel yatağı nikel fiyatlarına bağlı olarak ekonomik bir öneme haiz görünmektedir [32].

Türkiye’de nikel madenciliği yapılmamaktadır. Nikel ihtiyacı nikel ürünleri ithalatı yoluyla karşılanmaktadır.

## 2.13. Dünyada Nikel Üretimi ve Tüketimi

%1 veya daha fazla nikel tenörüne sahip nikel yataklarının en az 130 milyon ton nikel içerdiği bilinmektedir. Bunun %60 kadarı lateritik yataklarda, %40 kadarı da sülfidli yataklardadır. Ayrıca okyanus tabanlarında, özellikle de pasifik okyanusunda, geniş alanlar kaplayan manganez kabuk ve nodüllerinde yaygın nikel kaynaklarının varlığı bilinmektedir [34].

Dünya nikel rezervlerinin toplamı (metal İçeriği) 62 milyon ton, baz rezervleri toplamı 140 milyon tondur. Rusya, Avustralya, Kanada, Yeni Kaledonya, Endonezya Dünya nikel rezervlerinin %70'ine sahiptirler. Bu ülkeler, 2000–2003 yıllarında Dünya toplam nikel üretiminin %70'e yakını karşılamışlardır [34].

Kanada'nın Sudbury bölgesi bugün Dünya nikel üretiminin %30'unu yapmaktadır. Sudbury cevher yatağının, ilk jeolojik zamanlarda Dünya'ya vurmuş olan büyük bir meteorun sonucu olduğu tahmin edilmektedir. Günümüzde toplam nikel rezervinin %40'ı ise Rusya'nın Norilsk bölgesinde yer almaktadır. Bu bölgedeki yataklar, Rus madencilik firması MMC Norilsk Nickel tarafından işletilerek Dünya pazarına sunulmaktadır. Diğer büyük nikel yatakları ise Fransa (New Caledonia), Avustralya, Küba ve Endonezya'dadır. Tropikal bölgelerdeki yatakların çoğu, ultramafik kayaçların yoğun yağışlarla yıkanmasıyla ortaya çıkan ikinci bir konsantre olan lateritik yataklardır. Son zamanlarda yapılan çalışmalar sonucu, Türkiye'nin batısında bulunan nikel yatağının Avrupa'daki tesisler için uygun özellikte olduğu tespit edilmiştir.

Jeofiziksel kanıtlar göz önünde tutulduğunda, nikelin çoğunluğunun, Dünya'nın çekirdeğinde yoğunlaştığı tahmin edilmektedir.

Elde edilen kaplamalar, otomobillerde makine yapımında, ev eşyalarında, bitmiş çelik parçaları süslemek için kullanılır. Parçaları deniz atmosferinde yada asit yada bazik ortamda korozyona karşı koruma yeterli kalınlıkta bir nikel kaplama gerektirir.

Kimyasal nikel kaplama kimi kez, parçayı çeşitli nikel tuzlarının çözeltisine daldırarak elde edilebilen ince dekoratif kaplamalarda kullanılır. Bir diğer kimyasal nikel kaplama yöntemi, demirli yada bakırlı parçalara ve alüminyum alaşımlarına bunları bir nikel tuzu çözeltisine sıcak daldırma ile uygulanır [35].

#### **2.14. Nikelin Metal Değeri**

5 Nisan 2007 itibariyle nikel \$52,300 US/mt (\$52.30 US/kg) fiyatıyla işlem görmektedir. ABD'de kullanılan bozuk parada 1.25 g nikel bulunmaktadır ki bu fiyat

6.5 cent'e denk gelmektedir. İçindeki 3.75 g bakırın değeri de yaklaşık 3 cent olduğundan, toplam fiyat 9 cent'tir.

Mevcut kullanımla, nikel kaynaklarının 90 yıl içinde tükeneceği tahmin edilmektedir.

### **2.15. Nikelin Kullanım Alanları**

Sahip olduğu üstün nitelikler nedeniyle endüstride en çok kullanılan metallerden biridir. Gerek metal ve alaşımları, gerekse paslanmaz çelik olarak geniş kullanım alanları olan bir metaldir. Ticari olarak saf olan (%99,5) dövülmüş ve dökülmüş haldeki nikelin endüstri bakımından geniş ve önemli kullanım alanları vardır. Bunun nedeni nikelin sahip olduğu iyi mekanik ve fiziksel özelliklerin yanı sıra korozyona karşı gösterdiği yüksek dirençtir. Birçok ticari şekilde bulunan nikel kolaylıkla soğuk ve sıcak işlenebilir, kaynak edilebilir ve tornadan geçirilebilir, yüksek sıcaklıklarda mukavemetini ve sıfırın altındaki sıcaklıklarda ise sünekliğini ve tokluğunu olduğu kadar mukavemetini de mükemmel derecede korur. İşlenmiş nikel, mekanik özelliklerinin çoğu bakımından yumuşak çeliğe benzer fakat çeliğin aksine korozyona karşı yüksek bir mukavemet gösterir. Nikelin korozyona karşı dayanıklı bir metal olarak en fazla göze çarpan özelliklerinden biri de alüminyumun aksine alkalilerin etkisine karşın tam bir mukavemete sahip olmasıdır. Nikel yüksek sıcaklıklarda kırılğan hale gelmez. Soğukta ferromanyetik olan nikel 370 °C'de bu özelliğini kaybeder. Tel ve levha haline getirilebilir. Toz halindeki nikel önemli bir indirgeme katalizörüdür [32].

Kimya endüstrisinde: Nikel alaşımları olarak metal korozyonuna maruz yerlerde, kostik solüsyonların taşınması ve muhafazasında, petrol endüstrisinde;

Fabrikasyon ürünlerde: Çatal, bıçak takımları, çekiç, pense gibi aletlerle diğer birçok ev ve hastane aletlerinin yapımında;

Uçak ve gemi endüstrisinde: Nikel süper alaşımları yüksek ısıda basınç ve korozyona dayanıklı olduğundan uçakların gaz türbinlerinde, jet motorlarının yapımında, ayrıca uçakların elektrolizle kaplanan bölgelerinde ve gemi yapımında tuz korozyonuna karşı engelleyici olarak;

Motorlu araçlar ve parçalarında; Elektrikli makinalar ve parçalarında; Yapı malzemelerine, sıvı ve katı yağlarda hidrojenasyonu sağlamak üzere; batarya ve yakıt hücrelerinde ve seramik malzemelerde emaye ile demir arasında bağlayıcı olarak kullanılır [32].

## **2.16. Nikel Kimyası**

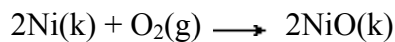
Nikel doğada genelde kobalt ile birlikte bulunur. Alaşımlar (özellikle süper alaşımlar) ve paslanmaz çelik üretiminde önemlidir. Ayrıca nikel doğal bir özelliği sayesinde manyetik bir alan içinde bir miktar boyut değiştirme kabiliyetine sahiptir. Nikelde bu değişim negatif yönde olmaktadır.

Nikelin oksitlenmiş hali genelde +2 değerlidir ancak 0, +1, +3, +4 değerlikleri de gözlemlenmiştir. Bununla birlikte +6 değerlikli nikelin varlığı da mümkün olabilir.

### **2.16.1. Kimyasal reaksiyonları**

#### **2.16.1.1. Hava ile reaksiyonu**

Nikel metali normal şartlar altında hava ile reaksiyon vermez. Yüksek sıcaklıklarda nikel ile oksijen arasındaki reaksiyon sonucunda nikel(II) oksiti oluşturur.

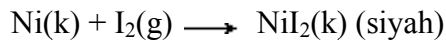
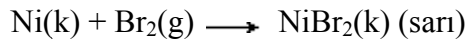
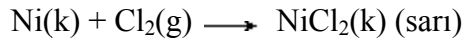


#### **2.16.1.2. Su ile reaksiyonu**

Nikel metali normal koşullar altında su ile reaksiyon vermez [31].

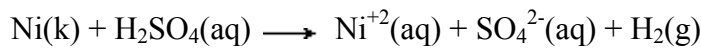
#### **2.16.1.3. Halojenler ile reaksiyonu**

Nikel metali flor gazı ile çok yavaş reaksiyon verir. Bu nedenle de flor gazını korumak için hazırlanan kapların yapımında kullanılır.



#### 2.16.1.4. Asit ile reaksiyonu

Seyreltik sülfürik asit ile yavaş bir şekilde reaksiyona girerek hidrojen gazı ve sulu Ni(II) çözeltisini oluşturur. Ni(II) iyonu aslında  $[\text{Ni}(\text{OH}_2)_6]^{2+}$  kompleksi halindedir.



#### 2.16.1.5. Baz ile reaksiyonu

Nikel metali sulu sodyum hidroksit çözeltisi ile reaksiyon vermez [31].

### 2.17. Nikel İçin Güvenlik Önlemleri

Nikel metaline ve çözünebilir bileşiklerine maruz kalma miktarı, 40 saat/hafta'lık süre içinde  $0,05 \text{ mg/cm}^3$ 'ü geçmemelidir. Nikel sülfid buharının ve tozunun, diğer nikel bileşikleri gibi kanserojen olduğu düşünülmektedir.  $[\text{Ni}(\text{CO})_4]$  gazı çok zehirli bir gazdır. Bunun temel sebebi hem metalin oluşturduğu zehirlilik hem de karbonun oluşturduğu CO gazının zehirlilik etkisidir.

Hassas bireyler dermatit olarak bilinen ve derilerinin nikel ile temas etmesi sonucu ortaya çıkan bir alerji gösterebilirler. Özellikle kulaklara takılan mücevherlerde kullanılan nikel bu tür alerjilerin en önemli sebeplerinden biridir. Nikel alerjisi sonucu kulakta kaşıntı, derinin kızarması gibi belirtiler görülebilir. Bu problem yüzünden, bugün birçok küpe nikelsiz olarak üretilmektedir. İnsan derisine temas edecek olan ürünlerdeki nikel miktarı Avrupa Birliği tarafından düzenlemeye tabi tutulmuştur. 2002'de araştırmacıların çalışmaları sonucu, bozuk para olan 1 ve 2 Avro'nun yaydığı nikel miktarının, bu düzenlemedeki değerleri aştığı görülmüştür. Bunun temel sebebinin galvanik reaksiyonlar olduğu düşünülmektedir [32].



## **BÖLÜM 3. SIVI MEMBRAN PROSESLERİ**

### **3.1. Membran Prosesleri**

Membranlar; iki farklı ortamın arasında bulunan ve çözünmüş maddelerin seçici bir şekilde taşınımını sağlayan, genellikle ince yapıda olan malzemelerdir. Membran üzerinden kütle akışını sağlayan itici güçler; basınç, konsantrasyon, sıcaklık ve elektriksel potansiyel farkıdır.

İki farklı fazı birbirinden ayıran yarı geçirgen engeller olarak tanımlayabileceğimiz membranlar katı ve sıvı şeklinde olabilir. Membranlar sıvı- sıvı, gaz ve sıvı- katı gibi karışımların ayrılmasında ve hatta kimyasal reaksiyonların katalizlenmesinde kullanılabilirler [31].

Tablo 3.1 'de en önemli membran prosesleri, bunların ana kullanım alanları ve tercihen geçen komponent için itici kuvvetin nasıl gerçekleştirildiğini göstermektedir.

Tablo 3.1. Ayırma Potansiyeli Bakımından Membran Prosesleri

<b>Membran Prosesi</b>	<b>Ayırma Potansiyeli</b>	<b>İtici Kuvvet</b>	<b>Tercihen Geçen Komponent</b>
Ters Osmoz	Sulu düşük $M_w$ çözelti , sulu organik çözelti	Basınç Farkı $\leq 100$ bar	Çözücü
Ultrafiltrasyon	Makromoleküler çözeltiler, emülsiyonlar	Basınç Farkı $\leq 10$ bar	Çözücü
Mikrofiltrasyon	Süspansiyonlar Emülsiyonlar	Basınç Farkı $\leq 5$ bar	Sürekli Faz
Gaz Permeasyonu	Gaz karışımları Gaz-buhar karışımları	Basınç Farkı $\leq 80$ bar	Tercihen geçen komponent
Pervaporasyon	Organik karışımlar Su-organik karışımları	Kısmi basınç farkı	Tercihen geçen komponent
Sıvı Membranlar	Sulu veya sulu organik çöz., düşük $M_w$ sulu çöz., sulu çözeltilerde metal iyonları	Konsantrasyon Farkı	Çözünen Madde veya iyonlar
Osmoz	Sulu çözeltiler	Konsantrasyon Farkı	Çözünen Madde veya iyonlar
Diyaliz	Sulu çözeltiler	Konsantrasyon Farkı	Çözünen iyonlar
Elektrodiyaliz	Sulu çözeltiler	Elektrik alanı	Çözünen iyonlar

Tablo 3.2 'de membran proseslerinde kullanılan membran tipleri ve ayırmadaki rolü görülmektedir [31].

Tablo 3.2. Membran Tipine Göre Membran Proseslerinin Rolü

<b>Membran Prosesi</b>	<b>Membran tipi</b>	<b>Rolü</b>
Mikrofiltrasyon	Gözenekli membran	Süspansiyonların ayrılması
Ultrafiltrasyon	Mikrogözenekli membran	Makromoleküler çözeltilerin deriştirilmesi, fraksiyonlarına ayrılması ve saflaştırılması
Nanofilrasyon	Mikrogözenekli membran	Orta $M_w$ sahip çözeltilerin deriştirilmesi, fraksiyonlarına ayrılması ve saflaştırılması
Membran destilasyonu	Mikrogözenekli membran	Çözeltilerin deriştirilmesi ve tuz giderilmesi
Diyaliz	Mikrogözenekli ve gözenekli membran	Mikromoleküler çözelti ve süspansiyonun düşük mol ağırlıklı maddelerden ayrılması
Elektrodiyaliz	Gözeneksiz iyon değiştirici membran	Çözeltilerden iyonların veya organiklerin ayrışması
Ters osmoz	Gözeneksiz membran	Düşük mol ağırlığına sahip kolloidal maddelerin deriştirilmesi
Gaz permeasyonu	Gözenekli veya Gözeneksiz membran	Gazların ayrılması
Buhar permeasyonu	Gözeneksiz membranlar	Buharların ayrılması
Pervaporasyon	Gözeneksiz membranlar	Sıvı karışımların ayrılması
Pertraksiyon	Gözeneksiz membranlar	Sıvı karışımların ayrılması
Sıvı membran prosesi	Gözeneksiz membranlar	Sıvı karışımlardan iyonların ayrılması, gaz karışımlarının ayrılması, sıvı karışımların ayrılması
Membran elektrolizi	Mikrogözenekli ve Gözeneksiz membran	Klor-alkali prosesi

### 3.2. Sıvı Membran Prosesleri

Sıvı membranlar üzerine ilk araştırmalar 1902 yılında Nernst ve Riesevelt tarafından yapılmıştır. 1968'de N.N.Li sıvı membran prosesini hidrokarbonların ayrılmasında kullanmıştır [7].

Sıvı membranlar son yıllarda özel kimyasal reaksiyonlarla yeni, seçici ve kararlı ayırma sistemleri geliştirmek amacıyla, önemle üzerinde çalışılan konular arasında bulunmaktadır. Sıvı membran proseslerinin esası şöyle açıklanabilir; iki homojen ve birbiri içinde tamamen karışabilen sıvıların (sıyırma: (S) ve besleme: (B) çözeltileri), üçüncü bir sıvı ile ayrılmasıdır. Bu ayırıcı sıvı, diğer iki sıvı içinde çözünmeyen ve karışmayan bir sıvı olup, membran fazı (M) oluşturur [36, 37].

Birkaç farklı durum dışında sıyırma ve besleme fazlar sulu çözeltilerdir. Uygun termodinamik koşullarda besleme fazla organik faz arasında bir ara yüzey (B/M) oluşur. Bu ara yüzeyden bazı bileşenler besleme fazından membran faz içerisine transfer olur. Aynı zamanda membranın diğer tarafında ikinci bir organik faz ve sıyırma faz ara yüzeyi (M/S) oluşur. Bu ara yüzeyde ise ilk taşınımın tersi olmaktadır. Yani B/M ara yüzeyinde besleme fazından organik faza geçen bileşenin, M/S ara yüzeyinde organik fazdan sıyırma faza geçerek burada birikmesi sağlanmaktadır [9].

Sıvı membran prosesinde, sistemin bütün bileşenlerinin optimal duruma getirilmesi (sıyırma ve besleme fazı türleri ve konsantrasyonleri, sıcaklık, karıştırma hızları, taşıyıcı türü ve konsantrasyonu, pH gibi) madde taşınımında yüksek seçicilik seviyesine ulaşılmasını sağlar [36]. Membran olarak kullanılan organik sıvı, sulu fazda çözünmeyen, bozunmayan ve zararsız bir madde olmalıdır. Bu amaçla özel taşıyıcılar (ekstraktant) sentezlenmesi uygun olacaktır.

Sıvı membran sistemleri özellikle; hidrokarbonların ayrılmasında, alkali ve toprak alkali metallerin ayrılmasında, eser elementler ve radyoaktif maddelerin tutulmasında, değerli metallerin geriye kazanılmasında, toksik maddelerin giderilmesinde, biyoteknolojide ve tıbbi uygulamalarda kullanılabilir [36].

Membran, yarı geçirgen bir engel olarak düşünülebilir. İki sulu faz arasına yerleştirildiğinde bir bileşen, membran içerisinde yüksek konsantrasyonlu bir ortamdaki düşük konsantrasyonlu diğer ortama difüzyon prosesiyle taşınabilir. Bununla beraber bir bileşenin, sistemdeki ikinci bir bileşenin mevcut konsantrasyon gradiyentinin bir sonucu olarak kendi konsantrasyon gradiyentine karşı bir membran içerisinde geçebileceği bilinmektedir (çifte taşınım) [9].

Karışımındaki bileşenler birbirlerinden gayet farklı olmadıkça, polimer membran sistemlerinde genellikle seçicilik (selektivite) düşük olmaktadır. Bu sebeple yüksek performansa sahip membranların geliştirilmesi gerekmektedir. Bu yüzden membran malzemesi olarak sıvıların kullanılması ve bir bileşenin membran boyunca transferini kolaylaştırmak veya reaksiyon kabiliyetini arttırmak için membran sıvısına ilave maddelerin katılmasıyla selektivite önemli oranda artırılabilir [37].

Sıvı membran prosesinin solvent ekstraksiyonuna göre üstünlükleri ve potansiyel avantajları şöyle sıralanabilir [38]:

- Yüksek ayırma faktörleri
- Katı membranlara göre daha yüksek kütle alanları
- Çok yüksek selektivite
- Düşük konsantrasyondan yüksek konsantrasyona ayırma ve zenginleştirme
- Pahalı ekstraktantların kullanılması
- Yüksek besleme/çözücü hacim oranları
- Askıda katı madde içeren çözeltilerin işlenebilmesi
- Ölçeklendirme kolaylığı
- Düşük sermaye ve işletme maliyeti

### 3.3. Sıvı Membran Tipleri

Yapılış şekillerine göre sıvı membranlar üç kısma ayrılabilirler;

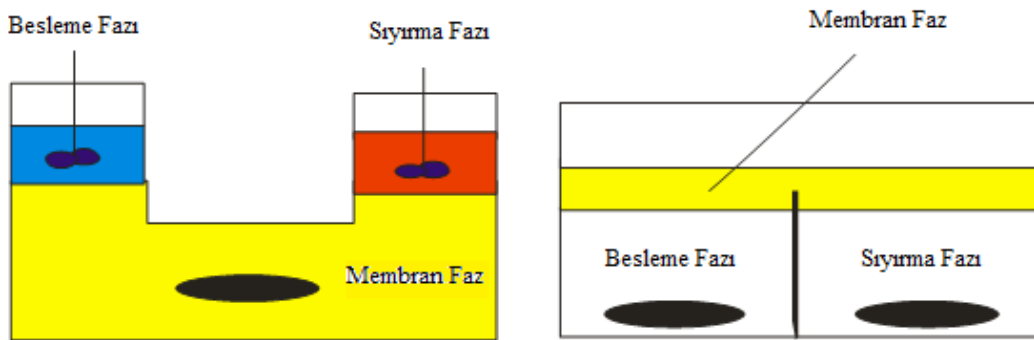
- Bulk tipi sıvı membranlar
- Emülsiyon tipi sıvı membranlar

– Destekli sıvı membranlar

### 3.3.1. Bulk tipi sıvı membranlar

Sıyırma ve besleme çözeltilisinin hem altında ve hem de üstünde tabakalar halinde olan bulk tipi sıvı membranlar difüzyon direncini azaltmak için karıştırılırlar. Bulk tipi sıvı membranlar değişik şekilde olabilir. İlk bulk tipi sıvı membran, "Schulman köprüsü " olarak adlandırılan membran şeklidir. Bir diğer bulk tipi membran U-tüpü hücresidir. Diğer bir bulk tipi membranda "eş merkezli halka" olarak adlandırılır. Her üç tipte de, karıştırma hızı önemlidir [38, 39].

Bulk sıvı membran tipleri Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Bulk Tipi Sıvı Membranlar

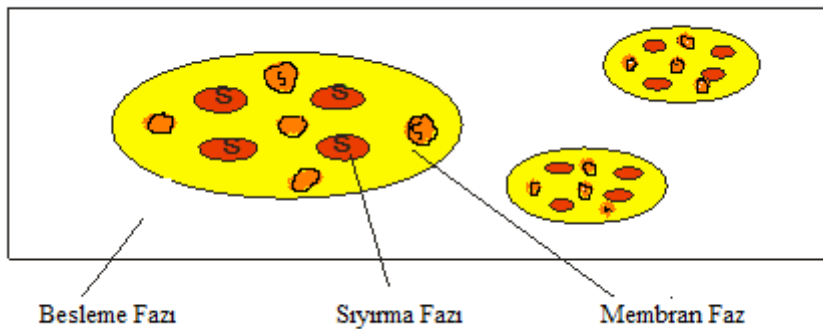
### 3.2.2. Emülsiyon tipi sıvı membranlar

1968 yılında ilk olarak Li tarafından Emülsiyon tipi sıvı membran (ELM) kullanılmıştır. Birbiri içerisinde karışmayan iki sıvı arasındaki yüzey geriliminin indirgenmesi olayına dayanmaktadır. ELM de karışmayan iki fazın, yüksek hızlı karıştırıcılar veya homojenizatörle elde edilen emülsiyon sürekli faz içerisine dağıtılır. Genellikle içteki faz ile sürekli faz birbiri ile karışır. Emülsiyonun stabil kalması için membran fazı her iki faz ile karışmamalıdır. Bunun için sürekli faz organik ise, emülsiyon O/W. Buna karşılık sürekli faz su ise, emülsiyon W/O şeklindedir [31].

Emülsiyon tipi sıvı membranlar, karışmayan iki emülsiyon fazının teşkili ile hazırlanır ve daha sonra bu emülsiyon, üçüncü faz (sürekli faz veya besleme fazı) içerisinde dağıtılır. Genellikle içteki faz (sıyırma fazı) ile sürekli faz (besleme fazı) birbiri ile karışır. Emülsiyonun stabil kalabilmesi için membran fazı her iki faz ile karışmamalıdır. Bu sebepten sürekli faz organik ise, emülsiyon O/W tipidir. Buna mukabil sürekli faz sulu ise, emülsiyon W/O tipidir [9].

Karışmayan iki sıvı arasında yüzey geriliminin azalması bu sıvıya bir yüzey aktif maddenin ilave edilmesiyle gerçekleşir. Yüzey aktif madde eklenmesi bu arzulanan indirgenmeyi sağlar [39].

Emülsiyon, besleme fazı içerisinde dağıtıldığında çok sayıda küçük emülsiyon globülleri oluşur. Bunların büyüklüğü, emülsiyondaki reaktif maddelerin cinsine, konsantrasyonuna, emülsiyon viskozitesi ve karıştırma şiddeti ile moduna bağlıdır. Globül büyüklüğü 0,1-2 mm çap arasında kontrol edilir. Bu suretle besleme fazdan iç faza veya iç fazdan besleme faza hızlı bir kütle transferi sağlanmış olur ve büyük bir membran alanı sağlamak için çok fazla sayıda emülsiyon globülü kolaylıkla teşkil edilebilir [9]. Emülsiyon tipi bir sıvı membran Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Emülsiyon Tipi Sıvı Membranlar

Karışımların ayrılması sıvı membran içerisinde daha düşük konsantrasyondaki sıvıya bir komponentin selektif difüzyonunun olmasıyla gerçekleşir. Tek bir kimyasal komponent daha sonra giderilme veya geriye kazanmak için iç faz içerisinde tutuklanarak konsantre hale getirilebilir [39].

Emülsiyon tipi sıvı membranlar için membran fazın bileşimi genel olarak denklem (3.1) ile ifade edilebilir.

$$\text{Membran faz} = \text{Çözücü} + \text{Yüzey aktif madde} + (X) + (Y) \quad (3.1)$$

X= taşıyıcı veya ekstraktant

Y= katkı maddeleri olup, genelde membran viskozitesini ayarlamak, selektiviteyi arttırmak v.s. gayesiyle ilave edilirler.

Selektivite ve kütle akısı bir membran işleminde en önemli iki parametredir. Selektif bir ayırma için bir bileşenin membran içerisinden diğerlerinden daha hızlı hareket etmesi gerekir. Bileşenin kütle akısı bu suretle onun geçirgenliğine bağlıdır. Geçirgenlik (permeabilite)  $P_i$ , denklem (3.2) ile verilir [9].

$$P = D C_i \quad (3.2)$$

Burada  $D_i$  ve  $C_i$  sırasıyla  $i$  bileşenin difüzyon katsayısı ve membran içerisindeki çözünürlüğüdür. Selektif ayırma işleminin seçiminde  $C_i$ ' lerin farklı olması önemli rol oynar.  $i$  bileşenin  $j$  bileşenine göre selektivitesi  $\alpha_{ij}$  denklem (3.3) ile verilir [38]:

$$\alpha_{ij} = P_i / P_j \quad (3.3)$$

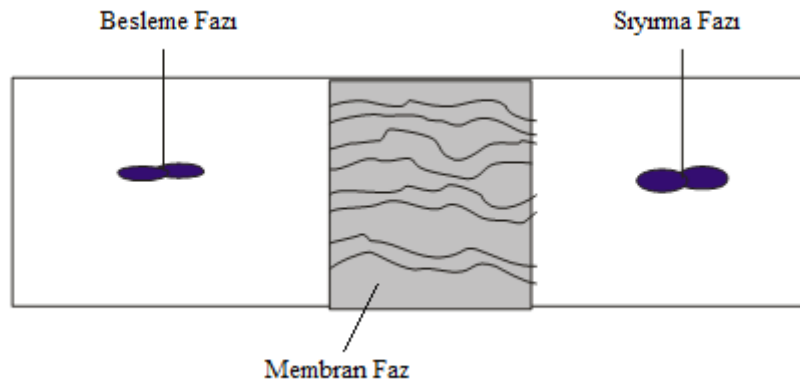
Metal ayırmasını gerçekleştiren emülsiyon tipi bir sıvı membran prosesi üç adımdan ibarettir. İlk adımda, ekstraktant ve yüzey aktif madde ve çözücünden ibaret organik çözelti (membran faz) içerisine, sulu sıyırma çözeltisinin ilavesi ile karıştırıcı veya homojenizatör yardımı ile W/O emülsiyonu elde edilir. İkinci adımda hazırlanan emülsiyon bir karıştırma - durultma tankına veya gene sürekli akımda çalışan bir ekstraksiyon kolonuna verilir. Metal iyonunun W/O emülsiyonundaki sulu çözeltiye (iç faz veya sıyırma çözeltisi) ekstrakte olmasından veya zenginleşmesinden sonra, besleme fazı (rafinat faz veya dış faz) durultma bölgesinde ayrılır ve emülsiyon fazı bir elektriksel koalesöre (emülsiyon parçalama kabı) emülsiyonu parçalamak üzere beslenir. Burada içteki sulu faz ile organik faz (membran fazı) ayrılır. Organik membran fazı geriye döndürülür [38].



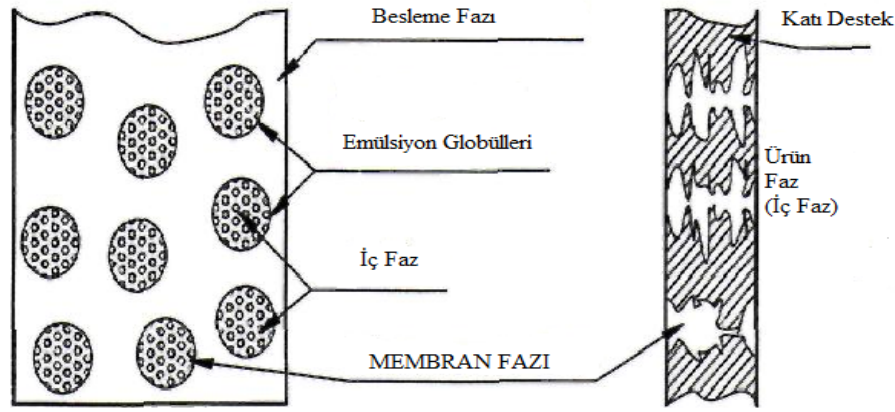
### 3.3.3. Destekli sıvı membranlar

Bu tip sıvı membranlar yalnızca sıvı fazdan oluşmamıştır. Bu sıvı faza ilaveten polimer bir desteğe sahip olma durumuna göre sıvı membranlar iki kısma ayrılabilir: desteksiz sıvı membranlar ve destekli sıvı membranlar (DSM). Desteksiz sıvı membranlarda en genel tip emülsiyon tipi sıvı membranlar (ESM) ve kitlesel sıvı membranlardır. Destekli sıvı membranlarda ise ticari olarak mevcut olan genel konfigürasyonlar düz levha ve oyuk fiberlerdir (OF). Buna ilaveten birçok membran modülü de üretilmektedir [31, 38].

Destekli sıvı membran şematik olarak Şekil 3.3 ve Şekil 3.4 (b)'de gösterilmiştir. Şekil 3.4 (b)'de görüldüğü gibi; bu tip membranlar da, membran sıvısı çeşitli gözenekli katılarla desteklenmektedir. Burada sıvı tabakalar veya yüzey kuvvetler ile stabilize edilebilirler. Membran faz; cam, kil veya kağıt gibi bir ince tabaka içerisinde adsorplanabilir. Milimetrenin 1/10'u veya çok daha küçük kalınlığa sahip membranlar elde edilebilir [37].



Şekil 3.3 Destekli Sıvı Membran



(a) Emülsiyon tipi sıvı membran

(b) Destekli sıvı membran

Şekil 3.4 Emülsiyon ve Destekli Sıvı Membran Tipleri

Destekli sıvı membran sistemlerinde sıvı film, gözenekli bir membranın gözenekleri içerisine emdirilmiştir. Gözenekli membran; sıvı film için bir destek veya çerçeve olarak görev yapar. Bu tip sıvı membranlar tutuklu destekli membranlar (Immobilised Liquid Membrane, ILM) veya destekli sıvı membranlar (Supported Liquid Membrane, SLM) olarak adlandırılırlar. Sözü edilen membranlar hidrofobik, mikro gözenekli bir membranın uygun organik çözücü ile doyurulması sonucu kolaylıkla hazırlanabilir. Sıvı membran faz aynı zamanda taşıyıcı (kompleksleştirici) türleri de içermelidir. Yöntemde mikro gözenekli desteğin kalınlığı, taşıyıcı-madde kompleksinin geçişinin kolaylığını büyük ölçüde etkiler [9].

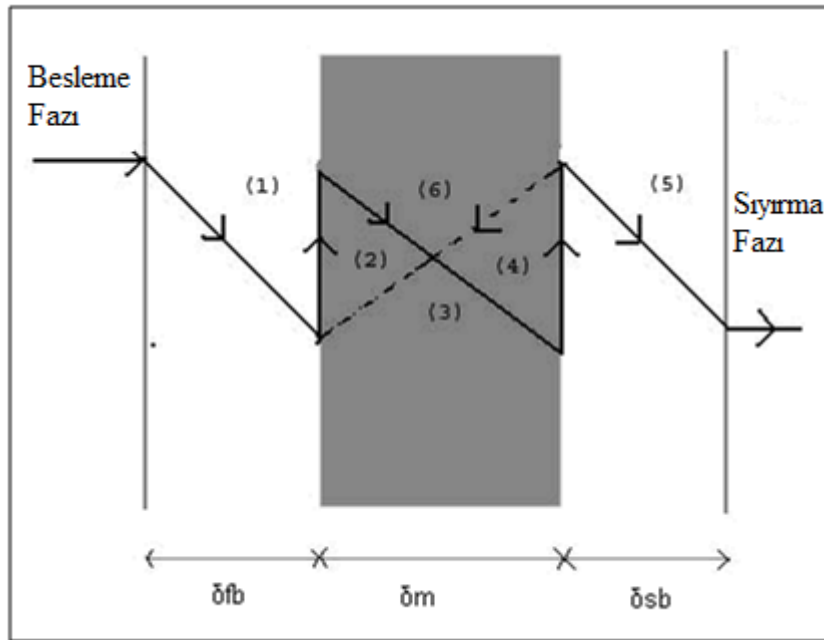
Sıvı membran destekleri seçilirken birkaç unsur göz önünde tutulmalıdır. Destek maddesinin yüzey kimyası, gözenek boyutu, gözeneğin geçirgenliği ve kalınlığı oldukça önemlidir. Bu yüzden destek maddesi, uygulanan periyot boyunca şişmeyen ve bozunmayan bir madde olmalıdır. Membran hazırlanırken, destek maddesinin boşlukları çözücü (solvent) ve taşıyıcı içeren sıvı membran ile tamamen doldurulur. Kullanılan çözücünün (solventin) yüzey geriliminin, destek materyalinin kritik yüzey geriliminin altında olması daha iyi bir ıslanmayı sağlar [24]. Destek malzemesi olarak genellikle polietilen, propilen, polisülfon ve mikro gözenekli teflon kullanılır [40].

Çeşitli konfigürasyonlarda membran destekleri bulunmaktadır: levha ve çerçeve, spiral sarımlı, borsal ve hollow fiberler. Hollow fiber destekli sıvı membranlar çok yüksek kapasitelerdeki membran modüllerinin çalıştırılabilmesine çok cazip bir çözüm sunarlar. Bu tip modüllerle  $1000 \text{ m}^2/\text{m}^3$  kadar yüksek yığılma yoğunluklarına erişebilir [9].

Düz levha destekli sıvı membranlarda taşınım mekanizması genel olarak aşağıdaki basamaklar dizisinden ibarettir:

- Metal iyonu ve herhangi bir çözünen madde sulu fazdaki difüzyon tabakası boyunca kitlesel (bulk) fazdan membran ara yüzeyine difüzenir.
- Taşıyıcı, besleme ara yüzeyindeki çözünen madde ile reaksiyona girer.
- Çözünen madde ile kompleks yapan taşıyıcı, membran boyunca difüzenir.
- Çözünen madde ve taşıyıcı sıyırma ara yüzeyinde serbest hale geçer.
- Serbest hale geçen çözünen madde (metal iyonu gibi) sıyırma ara yüzeyinden sulu fazdaki difüzyon tabakası boyunca kitlesel faza difüzenir.
- Taşıyıcı, ara yüzeyden membran boyunca geriye difüzenir [9].

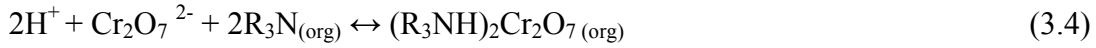
### 3.4. Sıvı Membranlarda Taşınım Mekanizması



Şekil 3.5. Destekli Sıvı Membran İçerisindeki Taşınım Prosesinin Şematik Gösterimi

Bir tersiyer amin olan Alamine 300 ekstraktantı ile kromun solvent ekstraksiyon kimyası çok iyi bilindiğinden sıvı membranlarla permeabilite çalışmaları için kromun taşınım prosesi seçilmiştir. Bu proses sıvı membranlarda solvent ekstraksiyonundakinin aynısıdır. Amin/sülfat komplekslerinin nasıl reaksiyon vermediğinin açıklanması için sülfat gerektirmeyen ekstraksiyon mekanizması aşağıdaki eşitlikte verilmiştir [18].

Ekstraksiyon reaksiyonu besleme-membran arayüzeyinde medana gelmektedir ve denklem (3.4) ile verilmiştir :



$$K_{\text{ex}} = \frac{[(\text{R}_3\text{NH})_2\text{Cr}_2\text{O}_7]_{\text{org}}}{[\text{H}^+]_{\text{aq}}^2 [\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}]_{\text{aq}} [\text{R}_3\text{N}]_{\text{org}}^2} \quad (3.5)$$

$$K_{\text{d}} = \frac{[(\text{R}_3\text{NH})_2\text{Cr}_2\text{O}_7]_{\text{org}}}{[\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}]_{\text{aq}}} \quad (3.6)$$

Denklem (3.4)-(3.6)'daki (org) ve (aq) indisleri sırası ile organik ve sulu fazları göstermektedir.  $\text{R}_3\text{N}$  ekstraktant olan bir tersiyer amini (Alamine 300) ifade etmektedir.  $K_{\text{ex}}$  ekstraksiyon denge sabiti ve  $K_{\text{d}}$  ise dağılım katsayısını ifade etmektedir. Bununla birlikte ekstraksiyon ile (denklem (3.4)'ün tersi) membranın diğer tarafındaki sıyırma prosesi ile birlikte aynı anda meydana gelmektedir. Bu sebepten denklem (3.5) ile ifade edilen ekstraksiyon dengesi geleneksel solvent ekstraksiyonunda olduğu gibi artık geçerli değildir [41].

Şekil 3.3 sıvı membran prosesindeki kromun ( $\text{Cr}^{6+}$ ) taşınım proseslerini şematik olarak göstermektedir ve taşınım katsayıları aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

1. Sulu faza ait besleme-membran sınır tabakasındaki  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 'in difüzyonu:

$$k_{fb} = D_a / \delta_{fb} \quad (3.7)$$

2. Ekstraksiyon: denklem (3.4) ile verilen ileri kimyasal reaksiyon için

$$K_e = K_{ex} \left( \frac{[R_3N]^2}{[H^+]^2} - 1 \right) \quad (3.8)$$

veya;

$$k_e = D_a K_d / \delta_{fb} \quad (3.9)$$

3.  $Cr_2O_7^{2-}$  -Alamine 300 kompleksinin sıvı membran fazındaki difüzyonuyla ilgili kütle transfer katsayısı

$$k_m = D_m / \delta_m \quad (3.10)$$

Destekli sıvı membran halinde denklem (3.10) aşağıdaki gibi yazılır:

$$k_m = \frac{D_m \varepsilon}{\delta_m \tau} \quad (3.11)$$

4. Sıyırma: denklem (3.4)'teki kimyasal reaksiyonun tersi  
 5. Sulu faza ait sıyırma/membran sınır tabakasındaki difüzyon prosesi  
 6. Rejenere olan Alamine 300'ün membran fazda geri difüzyonu kromun kütle akısı denklem (3.12) ile verilmektedir.

$$J = - \frac{V_f}{A \varepsilon} \frac{dC_f}{dt} \quad (3.12)$$

Denklem (3.12)'in integrasyonundan tüm kütle transfer katsayısı ( $k_{tüm}$ ) olan permeasyon katsayısının (P) deneysel olarak ölçümünü sağlar [41].

$$\ln \frac{C_f}{C_0} = - \frac{k_{tüm} A \varepsilon t}{V} \quad (3.13)$$

Farklı sıvı membran proseslerinin performanslarının karşılaştırılabilmesi için yeni bir parametre olan membran-kullanılabilirlik verim katsayısı (MUE), birim zamanda birim membran faz hacminde taşınan miktar olarak tanımlanır [41]:

$$MUE = \frac{V_s}{V_0} \frac{dC_s}{dt} \quad (3.14)$$

Bir bileşenin belirli bir karışımda sıvı membranların seçiciliğini incelemek için ayırma faktörü ( $\alpha$ ) tanımlanmıştır. İki metal iyonuna ait ayırma faktörü denklem (3.15) ile verilmektedir [41]:

$$\alpha = \frac{(C_{Cr}/C_{Ni})_{sıyırma}}{(C_{Cr}/C_{Ni})_{besleme}} \quad (3.15)$$

Burada  $C_{Cr}$  ve  $C_{Ni}$  başlangıçtaki besleme çözeltisindeki veya sıyırma çözeltisindeki Cr ve Ni konsantrasyonlarını göstermektedir.

### 3.5. Destekli Sıvı Membranların Avantajlar

Destekli sıvı membranlarda emülsiyon hazırlanması ve parçalanması olayları olmadığından, destekli sıvı membranlar emülsiyon tipi sıvı membranlara göre üstünlük sağlar.

- Yüksek ayırma faktörleri
  - Katı membranlara kıyasla daha yüksek kütle akıları
  - Sistemin seçiciliği ve esnekliği
  - Tek adımda gerçekleşme
  - Konsantrasyon gradiyentine karşı ayırma ve zenginleştirme
  - Pahalı ekstraktantların kullanılabilmesi
  - Yüksek besleme/sıyırma hacim oranları
  - Askıda katı maddeler içeren çözeltilerin de işlenebilmesi
  - Düşük sermaye ve işletme masrafları [31].
- sayılabilir.

### 3.6. Sıvı Membranların Dezavantajları

Birim hacimdeki membran yüzey alanının daha az olmasıyla birlikte, gözenekler içerisindeki taşıyıcı ile çözücünün belirli zaman içerisinde boşalarak membranın etkinliğini kaybetmesi bir dezavantaj oluşturur [40-42].

- Çözücü (solvent) kaybı meydana gelebilmesi
- Basınç farkıyla desteğin boşluk yapısının bozulması
- Basınçtan dolayı taşıyıcının boşluklu yapıdan geçebilmesi
- Taşıyıcının kaybı [40, 42]

Son yıllarda tüm dezavantajların giderilebilmesi ve tekniğin geliştirilebilmesi amacı ile yapılan çalışmalar hızla artmaktadır.

### 3.7. Sıvı Membran Sistemlerinde Kullanılan Organik Çözücünün Seçimi

Organik çözücünün (membran sıvısı) seçimi sistemin çalışması ve verimi açısından oldukça önemlidir. Organik sıvı hem taşıyıcı, hem de taşıyıcı kompleksi için yeterli

çözücülükte olmalıdır. Ayrıca çalışma sıcaklığında buharlaşması da istenmeyen bir özelliktir [31, 37]. Diğer önemli faktör organik sıvının viskozitesidir [31-36]. Taşıyıcı konsantrasyonunun artması durumunda ters bir etki oluşur, artan taşıyıcı konsantrasyonu viskoziteyi arttıracığından, difüzyon sabitini düşürür. Bir başka sorun ise, sıvı filmin zamanla kararlılığını (stabilitesini) kaybetmesidir [43].

Organik fazın kararlılığı, membran fazın jel hale getirilmesiyle artırılabilir. Böylece sıvı film daha az genişleme özelliğine sahip olur. Bir sıvı ile karıştırıldığında difüzyon sabiti, bir jel yapısında daha az olmasına rağmen tabakanın kararlılığını artırır. Ayrıca seçilen membran solventinin dielektrik sabiti, yoğunluğu, polarlığı, yapısal farklılıklar veya karbon zincirinin uzunluğu taşınım verimliliğini ve taşınım kararlılığını etkileyen önemli unsurlardandır. Membran meteryalinin sulu faza geçerek hem membranın verimini azaltması hem de arıtımı yapılan sulu faza zarar vermesi mümkündür. Bu yüzden membran solventinin suda çözünürlüğü çok düşük olmalıdır. Aynı zamanda kullanılan taşıyıcı için iyi bir çözücü olmalı, ancak taşıyıcı ile kimyasal bir tepkimeye girmemelidir [44-45].

### **3.8. Sıvı Membran Proseslerinde Kullanılan Taşıyıcının Seçimi**

Sıvı membranlarda taşınımı sağlamak için membran faz içerisine uygun bir kompleksleştirici madde eklenmelidir. Taşıyıcının seçimi uygun yapılırsa, bir madde için çok yüksek seçicilikler elde edilebilir. İstenilen bir ayırma için uygun bir taşıyıcının seçilmesi ayırma proseslerine özgü bir çok faktöre bağlıdır. Bu faktörler, yapılmış olan bazı modelleme çalışmalarının yardımıyla tahmin edilebilir [43].

Ayrıca sistemdeki fizikokimyasal şartlar ve taşıyıcının yapısıyla (bağlı fonksiyonel grupların tipi, bağlanma durumu, zincir yapısı ve kompleks oluştururken yaptığı bağ türleri gibi) ilgili bazı özellikler belirleyici olabilir. Seçiciliği arttırmak için yeni taşıyıcıların geliştirilmesi de mümkündür [36, 44].

### **3.9. Sıvı Membran Uygulamaları**

Sıvı emülsiyon membranları, yeni bir ayırma tekniği olup, başlıca hidrokarbonların taşınmasında, metallerin geri kazanılmasında ve atık sulardaki fenolün taşınmasında kullanılır [45, 46].

#### **3.9.1. Endüstriyel uygulamalar**

Sıvı membranlar endüstriyel ayırmalarda önemli bazı avantajlara sahiptir. Basitlik, denge durumuna bağlı olmaması ve düşük işletme maliyeti bunlara örnek olarak verilebilir. Genellikle atık sulardan metallerin geriye kazanılmasında emülsiyon şişmesi görülebilir. Örnek olarak aromatikler yerine suda çok daha az çözünen parafinlerin çözücü olarak kullanılması emülsiyon şişmesini ortadan kaldırır [46].

Emülsiyonun parçalanması ayırma işleminde önemli bir adımdır. Sulu faz ayırmalarında organik membran elektrostatik yöntemle kolaylıkla parçalanabilir [47-48]. Hidrokarbonların ayrılmasında ise sudan ibaret membran solvent çözündürme metodu kullanılır [49].

#### **3.9.2. Metal ekstraksiyonu**

Metallerin sıvı membran prosesi ile ekstraksiyonu için çok fazla sayıda araştırma bulunmaktadır. Çeşitli atık sulardan çeşitli metal iyonlarının giderilmesi ve çeşitli maden liç çözeltilerinden metallerin geriye kazanılması konusunda elde edilen sonuçlar oldukça ümit vermektedir. Bugüne kadar çeşitli metal serileri (alkali, toprak alkali, geçiş ve ağır metaller), bu yeni prosesle incelenmiştir [31].

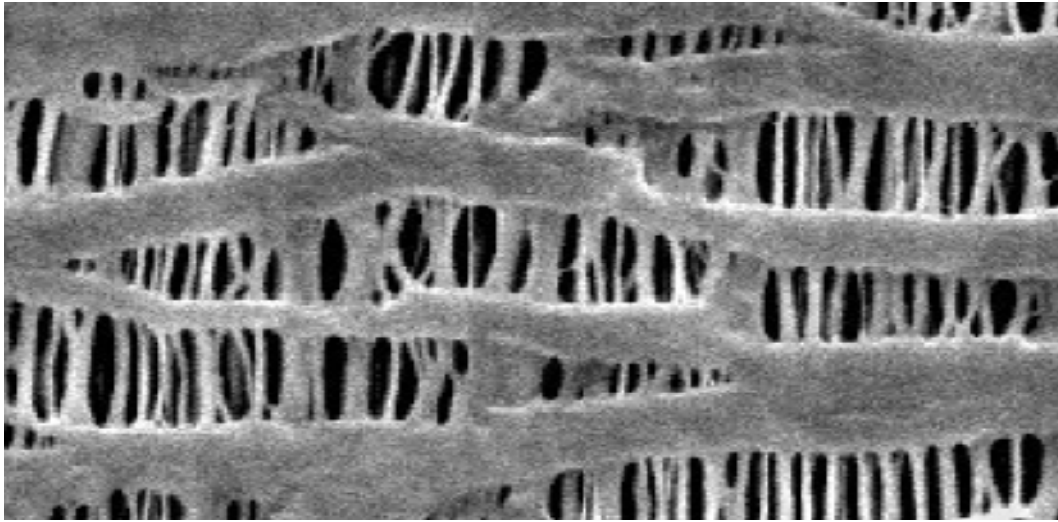


### 3.10. Sıvı Membran Destek Tipleri ve Özellikleri

#### 3.10.1. Celgard membran filmlerinin özellikleri

Tablo 3.3. Celgard 2500 (PP)'nin özellikleri

Özellikler (Celgard 2500 PP)	Birim	Değer
Gözeneklilik	%	55
Gözenek çapı	$\mu\text{x}\mu$	0,209 $\mu\text{x}$ 0,054 $\mu$
Kalınlık	$\mu\text{m}$	25
Daralma (çekme)	%	3
Çekme gerilmesi (MD)	$\text{kg}/\text{cm}^2$	1200
Çekme gerilmesi (TD)	$\text{kg}/\text{cm}^2$	115



Şekil 3.6. Celgard 2500 (PP)'nin SEM Fotoğrafi (X20000) [50]

## **BÖLÜM 4. MATERYAL VE METOT**

### **4.1. Kimyasal Maddeler**

Kullanılan tüm kimyasallar analitik saflık derecesindedir. Kloroform, sikloheksanol, kerosen, sülfürik asit, NaOH analitik saflıkta olup, Merck firmasından satın alınmıştır. Ekstraktant olarak Alamine 300 kullanılmış, Cr(VI) için gerekli stok çözelti Reidel-de-Haen firmasından temin edilen; Potasyum Dikromat ( $K_2Cr_2O_7$ )' dan, Ni(II) için gerekli stok çözelti ise Fluka firmasından temin edilen; Nikel(II) Sülfat Hekzahidrat ( $NiO_4S.6H_2O$ )'dan hazırlanmıştır.

### **4.2. Destekli Sıvı Membranların Hazırlanması ve Ölçülmesi**

Destekli sıvı membranlarla yapılan deneysel ölçümler iki bölmeli test hücresinde yapılmıştır. Besleme çözeltisi 250 mL sıyırma çözeltisi 250 mL olup, her iki bölme birbirinden membran kesit alanı  $12.56 \text{ cm}^2$  olan bir membran desteği ile ayrılmıştır. Besleme ve sıyırma çözeltileri, kitlesel çözeltilerde ve membran ara yüzeylerindeki konsantrasyon polarizasyonunu önlemek amacıyla bir mekanik karıştırıcı yardımıyla  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  de karıştırılmıştır.

Her bir saatte besleme ve sıyırma çözeltilerinden yaklaşık 2 mL kadar örnek eşzamanlı olarak alınarak, istenen Cr ve Ni analizleri gerekli seyreltmeler yapılarak Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresiyle (Shimadzu AA-6701GF model) ölçülmüştür.

### **4.3. Düz Levha Destekli Sıvı Membranların Hazırlanması ve Ölçülmesi**

Kesikli düz levha destekli sıvı membranlarla yapılan deneysel ölçümler iki bölmeli test hücresinde yapılmıştır. Besleme çözeltisi 250 mL, sıyırma çözeltisi 250 mL olup, her iki

bölme birbirinden membran kesit alanı (A) 12,56 cm<sup>2</sup> olan bir membran desteği ile ayrılmıştır. Besleme ve sıyırma çözeltileri, kitlesel çözeltilerde ve membran ara yüzelerindeki konsantrasyon polarizasyonunu önlemek amacıyla teflon karıştırma uçlarıyla istenen karıştırma hızlarında 20 °C'de mekanik olarak karıştırılmıştır. Her bir saatte besleme ve sıyırma çözeltilerinden yaklaşık 1 mL kadar örnek eş zamanlı olarak alınarak, istenen, Cr-Ni ve analizleri AAS ile belirlenmiştir. Permeasyon katsayısı (P), denklem (4.1)'den hesaplanmıştır.

$$\ln \frac{C}{C_0} = -P \cdot t \cdot A \cdot \varepsilon / V_f \quad (4.1)$$

Bu denklemde A:membran kesit alanı (cm<sup>2</sup>); e: membranın gözenekliliği (-); V<sub>f</sub> : besleme çözeltisi hacmi, C ve C<sub>0</sub>: sırasıyla besleme çözeltisinin herhangi bir t anındaki ve başlangıçtaki metal konsantrasyonları ve t geçen süredir.

Başlangıç kütle akısı (J<sub>0</sub>), konsantrasyon-zaman (C-t) eğrilerinden denklem (4.2)'den hesaplanmıştır.

$$J_0 = - \left( \frac{dC}{dt} \right)_0 \left( \frac{V_f}{A_\varepsilon} \right) \quad (4.2)$$

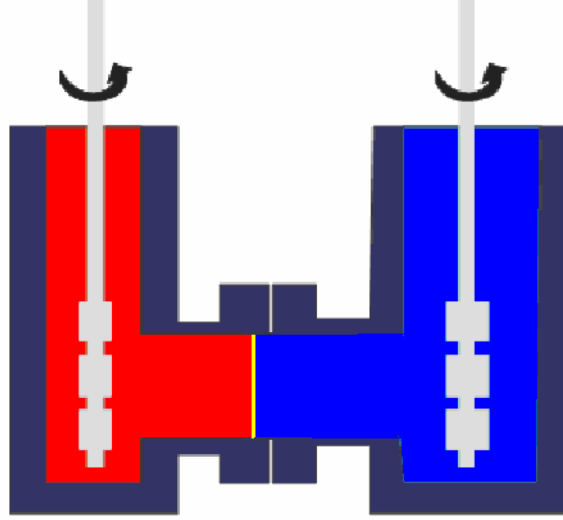
Bu denklemde (dC/dt)<sub>0</sub>, t=0'daki eğrinin eğimidir, V<sub>f</sub>: besleme çözeltisinin hacmi ve A<sub>ε</sub> : membran permeasyonuna ait yüzey alanıdır.

#### 4.4. Membran Desteği

Membran karışımı; yalnızca ekstraktanttan ibaret olup, Alamine 300 % 99'un üzerindeki saflıktadır. Polimer destek olarak; Celgard 2500 (PP) polimer filmi kullanılmıştır. Polimer filmi, hazırlanan membran karışımında yaklaşık 24 saat süreyle muhafaza edilmiştir. Bu süre sonunda membran karışımının absorplandığı polimer destek, test ünitesine yerleştirilmeden önce, birkaç saniye süreyle üzerindeki sıvının akmasına müsaade edilerek bir kâğıt mendille hafifçe ıslaklığı giderilir.

#### 4.5. Test Hücresi

Teflon kütükten imal edilen test hücresi şematik olarak Şekil 4.1'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Destekli Sıvı Membrana Ait Test Hücresinin Şematik Olarak Gösterilmesi

#### 4.6.Sistemin Çalışması

Membran karışımı içerisinde emdirilen (empreyne edilen) polimer destek, besleme ve sıyırma bölmeleri arasında itinalı bir şekilde yerleştirildi. Uygun konsantrasyonlarda hazırlanan besleme ve sıyırma çözeltileri, ilgili bölmelere konularak mekanik karıştırıcılar istenen devir sayısına ayarlanarak çalıştırıldı. Her saat sonunda iki bölmeden 2 mL kadar örnekler alındı. İşleme, 8 saat devam edildi. Çalışma sonunda karıştırıcı durdurularak, çözeltiler boşaltıldı ve alet suyla iyice çalkalanarak, daha sonra nitrik asit banyosunda bir gece bekletildi. Test hücresi, bir sonraki işlemde kullanılmak üzere tekrar musluk suyu ve ardından saf suyla iyice yıkandı. Alınan numuneler AAS' de analiz edilerek Cr(VI) ve Ni(II) miktarları ppm cinsinden tespit edildi.

## BÖLÜM 5. SONUÇLAR

Kromun ve nikelin seyreltik sulu çözeltilerden destekli sıvı membranlarla ekstraksiyonuna etki eden Tribütülfosfat (TBP) konsantrasyonu, besleme çözeltisi pH'ı, sıyırma çözeltisi (NaOH) konsantrasyonu, sıcaklık, çözücü cinsi, ekstraktant (Alamine 300) konsantrasyonu, besleme çözeltisi Cr(VI) konsantrasyonu gibi parametreler deneysel olarak incelenerek aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Çözücü kloroform, kerosen ve sikloheksan olarak değiştirilmiş olup, en yüksek Cr(VI) ekstraksiyon verimi çözücü olarak kloroform kullanıldığında elde edilmiş olup. 8 saatlik deneysel çalışma sonucu; %76,46'lık Cr(VI) ekstraksiyon verimi ve %2,02'lik Ni(II) ekstraksiyon verimi elde edilmiştir.
2. Besleme çözeltisi pH'ı 0,5-1,0-1,5-3,0-5,0 arasında değiştirilmiş olup, en yüksek Cr(VI) ekstraksiyon verimi pH 0,5 değerinde elde edilmiş olup, 8 saatlik deneysel çalışma sonucu; %91,86'lık Cr(VI) ekstraksiyon verimi ve %1,17'lik Ni(II) ekstraksiyon verimi elde edilmiştir.
3. Ekstraktant (Alamine 300) konsantrasyonu, çözücü olarak kloroform kullanılarak %5 w/w, %10 w/w, %15 w/w ve %20 w/w arasında değiştirilmiş olup, en yüksek Cr(VI) ekstraksiyon verimi %10 w/w Alamine 300 ile elde edilmiş olup, 8 saatlik deneysel çalışma sonucu; %73,3'lük Cr(VI) ekstraksiyon verimi ve %2,02'lik Ni(II) ekstraksiyon verimi elde edilmiştir.
4. TBP Konsantrasyonu %0, %2, %5, %10, %20, %30, %40 şeklinde değiştirilmiş olup, en yüksek Cr(VI) ekstraksiyon verimi %20 TBP ile elde edilmiştir. 8 saatlik deneysel çalışma sonucu; %84,39'lük Cr(VI) ekstraksiyon verimi ve %1,30'lük Ni(II) ekstraksiyon verimi elde edilmiştir.
5. Sıyırma çözeltisi (NaOH) konsantrasyonu %0 w/w, %1 w/w, %2 w/w, %5 w/w, %10 w/w arasında değiştirilmiş olup, en yüksek Cr(VI) ekstraksiyon verimi %2 w/w NaOH ile elde edilmiş olup, 8 saatlik deneysel çalışma sonucu; %78,46'lık Cr(VI) ekstraksiyon verimi ve %2,86'lık Ni(II) ekstraksiyon verimi elde edilmiştir.
6. Sıcaklık 20 °C, 25°C, 30°C, 40°C, 50°C arasında değiştirilmiş olup, en yüksek Cr(VI) ekstraksiyon verimine sıcaklık değeri 50°C'de iken ulaşılmıştır. 8 saatlik deneysel

çalışma sonucu; %67,17'lik Cr(VI) ekstraksiyon verimi ve %2,42'lik Ni(II) ekstraksiyon verimi elde edilmiştir.

7. Mevcut deneysel parametrelerin incelenmesi sonucu optimum şartlar aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

- Çözücü: Kloroform
- Ekstraktant türü: Alamine 300
- Ekstraktant (Alamine 300) konsantrasyonu: %10 w/w
- Polimer destek türü: Celgard 2500 (PP)
- Besleme çözeltisi pH'sı: 0,5
- Sıyırma çözeltisi (NaOH) konsantrasyonu: %2 w/v
- Besleme çözeltisi sıcaklığı: 50 °C
- Sıyırma çözeltisi sıcaklığı: 50 °C
- Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak
- Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak

8. Ni(II) konsantrasyonu ise 500 mg/L olacak şekilde sabit tutularak, besleme çözeltisi Cr(VI) konsantrasyonu 100mg/L, 200mg/L, 400mg/L, 600mg/L, 1000mg/L ve 1500mg/L arasında değiştirilerek yapılan deneysel çalışma sonuçlarına göre en yüksek permeasyon katsayısı 200 mg/L Cr<sup>6+</sup> için  $35,751 \times 10^{-6}$  m/s olarak hesaplanırken, başlangıç kütle akısı da  $21,9133 \times 10^{-6}$  kg/m<sup>2</sup>.s olarak bulunmuştur.

## **BÖLÜM 6. TARTIŞMALAR**

### **6.1. Giriş**

Sıvı membran sistemleri sıyırma çözültisi olduğu kadar, membranın da uygun bir şekilde seçilmesi sonucu, bir veya daha fazla komponentin giderilmesi, ekstraksiyonu veya konsantre hale getirilmesi mümkündür.

Kromun; krom ve nikel içeren seyreltik sulu çözültilerden destekli sıvı membranlarla ekstraksionuna ve ayrılmasına etki eden çözücü cinsi, besleme çözültisi pH'ı, sıyırma çözültisi (NaOH) konsantrasyonu, modifiyer (TBP) konsantrasyonu, sıcaklık, ekstraktant (Alamine 300) konsantrasyonu gibi parametreler incelenerek optimum şartlar elde edilmiştir. Optimum şartlarda ise besleme çözültisi konsantrasyonu, ekstraksiyon hızı ve Cr-Ni ayrılmasına etkileri incelenmiştir ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

### **6.2. Çözücü Cinsinin Etkisi**

Kloroform, sikloheksan, kerosen gibi çözücülerin ekstraksiyon hızına veya verimine etkisi, besleme fazında Cr (VI) için Tablo 6.2 ile Şekil 6.1'de, sıyırma fazı için ise Tablo 6.3 ve Şekil 6.3'de gösterilmektedir. Ayrıca Ni (II) için besleme fazı Tablo 6.2 ve Şekil 6.2'de, sıyırma fazı için ise Tablo 6.3 ve Şekil 6.4'de gösterilmektedir. Cr(VI) için başlangıç kütle akısı (J) ve permeasyon katsayısı (P)'nin çözücü cinsine bağlı olarak değişimi sırasıyla Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da gösterilmiştir. Gerek besleme fazı ve gerekse sıyırma fazında çözücü olarak kloroformun en iyi verimi sağladığı görülmektedir. Kloroformu sırası ile sikloheksan ve kerosen takip etmektedir. 8 saat sonunda Cr(VI)'nin %76,46'sı, Ni(II)'nin ise %2,02 ekstrakte edilmiştir. Kullanılan çözücülerin 20 °C'deki dielektrik sabitleri Tablo 6.1.'de gösterilmektedir.

Tablo 6.1. Çözücülerin 20 °C'deki Dielektrik Sabitleri

Çözücü cinsi	Dielektrik sabiti	Ekstraksiyon verimi (%)
Kloroform	4,8	76,46
Sikloheksan	2,4	36,62
Kerosen	2,2	3,95

Tablo 6.1.'de görüldüğü gibi, çözücünün dielektrik sabitinin artması ekstraksiyon veriminin artmasına her zaman yol açmamaktadır [51]. Ekstraksiyon verimine çözücünün ekstraktant üzerindeki solvasyon etkisinin önemli olabileceği belirtilmiştir [52].

### 6.3. Besleme Çözeltisi pH'ının Etkisi

Besleme çözeltisi pH'sı 0,5 ile 5,0 aralığında değiştirilerek incelenmiş olup sonuçlar, Cr (VI) için besleme fazı Tablo 6.4 ve Şekil 6.7'de, sıyırma fazı için ise Tablo 6.5 ve Şekil 6.9'da gösterilmektedir. Ni (II) için besleme fazı Tablo 6.4 ve Şekil 6.8'de, sıyırma fazı için ise Tablo 6.5 ve Şekil 6.10'da gösterilmektedir. Cr (VI)'ya ait başlangıç kütle akısı (J) ve permeasyon katsayısı (P)'nin besleme çözeltisi pH'ı ile değişmesi sırası ile Şekil 6.11 ve Şekil 6.12'de gösterilmiştir. Cr(VI) için ekstraksiyon veriminin en yüksek olduğu pH noktası; pH 0,5 iken elde edilmiştir ve ekstraksiyon verimi % 91,86 olarak tespit edilmiştir. pH>0,5 olduğunda yani bazik bölgeye doğru bir geçiş söz konusu olduğunda, ortamda bulunan Cr(VI)'nın  $Cr_2O_7^{2-}$  'dan  $Cr_2O_4^{2-}$  'a dönüşmesi nedeniyle ekstraksiyon veriminin düştüğü gözlemlenmiştir. Düşük pH'larda yani daha asidik bölgeye ulaşıldıkça ortamdaki  $Cr_2O_7^{2-}$  'nin iyonik olarak bulunmak yerine  $H_2Cr_2O_7$  olarak bulunmayı tercih ettiğinden dolayı ekstraksiyon veriminin düştüğü düşünülmektedir. Bunun yanında pH 0,5 de iken Ni (II) için ise ekstraksiyon verimi % 1,17'lerde gözlemlenmiştir.

### 6.4. Ekstraktant (Alamine 300) Konsantrasyonunun Etkisi

Ekstraktant (Almine 300) konsantrasyonunun Cr(VI) için ekstraksiyon hızı veya ekstraksiyon verimine etkisi besleme fazı için Tablo 6.6 ile Şekil 6.13'de, sıyırma çözeltisi için ise Tablo 6.7 ile Şekil 6.15'de, Ni (II) için ise besleme fazı için Tablo



6.6 ile Şekil 6.14'de, sıyırma çözeltisi için ise Tablo 6.7 ile Şekil 6.16'da gösterilmektedir. Cr(VI) için başlangıç kütle akısı (J) ve permeasyon katsayısı (P)'nin ekstraktant (Alamine 300) konsantrasyonuna bağlı olarak değişimi sırasıyla Şekil 6.17 ve Şekil 6.18'de gösterilmiştir. Ekstraktant (Alamine 300) konsantrasyonu % 5 ile % 20 arasında değiştirilmiş olup, en yüksek Cr (VI) ekstraksiyon verimine % 10 (w/w) Alamine 300 ilavesi ile ulaşılmıştır. 8 saatlik deneysel çalışma sonunda Cr(VI)'nin %73,33'ü, Ni(II)'nin ise %2,02'si ekstrakte edilmiştir. Ekstraksiyon verimi, %10'dan daha yüksek Alamine 300 konsantrasyonlarında azalmaya başlamıştır. Bunun sebebi, membran viskozitesinin artması sonucu krom kompleksinin difüzyon hızının azalması ve bununla beraber kütle akısı ve permeasyon katsayısının da azalmasıdır.

### **6.5. Modifiyer (TBP) Konsantrasyonunun Etkisi**

Tribütil fosfat (TBP) konsantrasyonunun Cr(VI) için ekstraksiyon hızı veya ekstraksiyon verimine etkisi besleme fazı için Tablo 6.8 ile Şekil 6.19'da, sıyırma çözeltisi için ise Tablo 6.9 ile Şekil 6.21'de gösterilmektedir. Ni (II) için ise besleme fazı için Tablo 6.8 ile Şekil 6.20'de, sıyırma çözeltisi için ise Tablo 6.9 ile Şekil 6.22'de gösterilmektedir. Cr(VI) başlangıç kütle akısı (J) ve permeasyon katsayısı (P)'nin modifiyer (TBP) konsantrasyonuna bağlı olarak değişimi sırasıyla Şekil 6.23 ve Şekil 6.24'de gösterilmiştir. TBP konsantrasyonu % 0 (w/w) ile % 40 (w/w) arasında değiştirilmiş olup, Cr(VI) için en yüksek ekstraksiyon verimine Tablo 6.2 ve Şekil 6.3'de de gösterildiği gibi % 20 TBP (w/w) ile ulaşılmıştır. Kromun ekstraksiyonunu arttırmak veya geliştirmek amacıyla ekstraktanta ilaveten çözücüye ilaveten modifiyer olarak adlandırılan kimyasallar ilave edilir [53]. Genelde, modifiyer olarak tercih edilen maddeler, yaklaşık 10-13 karbon aralığındaki alkoller ile organik karışımın ekstraksiyon, faz ayrılması ve/veya diğer önemli karakteristiklerini iyileştirmek için alkilendirilmiş (8-12 karbon atomu) fenollerdir [54]. Tribütil fosfatın (TBP), bir modifiyer olarak kromun ekstraksiyon hızı üzerinde pozitif bir etki yaptığı bulunmuştur. % 20 TBP (w/w) ile 8 saatlik deneysel çalışma sonucu Cr(VI) için %84,39 ve Ni(II) için ise %1,30'luk ekstraksiyon verimine ulaşılmıştır.

### 6.6. Sıyırma Çözeltisi (NaOH) Konsantrasyonunun Etkisi

Sıyırma çözeltisinin (NaOH) konsantrasyonu % 0 (w/w) ile % 10 (w/w) arasında değiştirilmiştir ve Cr(VI)'nın ekstraksiyon hızı veya ekstraksiyon verimine etkisi besleme fazı için Tablo 6.10 ile Şekil 6.25'de, sıyırma çözeltisi için ise Tablo 6.11 ile Şekil 6.27'de, Ni (II) için ise besleme fazı Tablo 6.10 ile Şekil 6.26'da, sıyırma çözeltisi için ise Tablo 6.11 ile Şekil 6.28'de gösterilmektedir. Cr(VI) için başlangıç kütle akısı (J) ve permeasyon katsayısı (P)'nin sıyırma çözeltisi (NaOH) konsantrasyonuna bağlı olarak değişimi sırasıyla Şekil 6.29 ve Şekil 6.30'da gösterilmiştir. Tablo 6.6.'da da görüldüğü gibi en yüksek Cr (VI) ekstraksiyon verimine % 2 (w/v) NaOH ile ulaşılmıştır. 8 saatlik deneysel çalışmanın sonucunda, % 2 (w/v) NaOH ile %78,46'lık Cr (VI) ekstraksiyon verimine, %2,86'lık Ni(II) ekstraksiyon verimine ulaşılmıştır.

### 6.7. Sıcaklık Değişiminin Etkisi

Sıcaklık değişiminin; Cr (VI) için ekstraksiyon hızı veya ekstraksiyon verimine etkisi besleme fazı için Tablo 6.12 ile Şekil 6.31'de, sıyırma çözeltisi için ise Tablo 6.13 ile Şekil 6.33'de gösterilmektedir. Ni (II) için ise besleme fazı için Tablo 6.12 ile Şekil 6.32'de, sıyırma çözeltisi için ise Tablo 6.13 ile Şekil 6.34'de gösterilmektedir. Cr (VI) için başlangıç kütle akısı (J) ve permeasyon katsayısı (P)'nin sıcaklık değişimine bağlı olarak değişimi sırasıyla Şekil 6.35 ve Şekil 6.36'da gösterilmiştir. Besleme ve sıyırma fazı için sıcaklık değerleri 20 °C ile 50 °C arasında değiştirilmiş olup, en yüksek ekstraksiyon verimine 50 °C ile ulaşılmıştır. 50 °C ile yapılan 8 saatlik deneysel çalışma sonucu Cr(VI) için %67,17'lik ekstraksiyon verimine ulaşılırken, Ni(II) için verim ise %2,42'de kalmaktadır. Sıcaklık artışının Cr(VI) ekstraksiyon verimine olumlu yönde bir etkide bulunduğu gözlemlenmiştir, buna karşılık sıcaklık değişimi ile Ni(II) ekstraksiyonunda pek bir değişiklik saptanmamıştır.

### 6.8. Optimum Şartlarda, Besleme Çözeltisi Cr(VI) Konsantrasyonunun Etkisi

Optimum şartlarda besleme çözeltisindeki Ni(II) konsantrasyonu 500 mg/L'de sabit kalacak şekilde, Cr(VI) konsantrasyonu 100 mg/L ile 1500 mg/L arasında değiştirilerek ekstraksiyon hızına etkisi incelenmiştir. Bulunan sonuçlar Cr(VI)'ya ait besleme çözeltisi için Tablo 6.14 ile Şekil 6.37de, sıyırma çözeltisi için ise Tablo 6.15 ve Şekil 6.39'da gösterilmektedir. Ni(II) için besleme fazı Tablo 6.14 ile Şekil 6.38'de ve sıyırma çözeltisi için ise Tablo 6.15 ile Şekil 6.40'da verilmiştir. Cr(VI) için permeasyon katsayısı (P) ve başlangıç kütle akısı (J)'nin besleme çözeltisi Cr(VI) konsantrasyonuna bağlı olarak değişimi sırasıyla Şekil 6.23 ve Şekil 6.24'de gösterilmiştir. Kromun başlangıç kütle akısı (J<sub>0</sub>) ve permeasyon katsayısı (P) optimum şartlarda Şekil 6.41 ve Şekil 6.42'de gösterilmiştir. Kromun 100 mg/L ve 200 mg/L'lik çözeltilerinde elde edilen ekstraksiyon verimi ~%100 olarak tespit edilmiştir. Beklendiği gibi düşük besleme konsantrasyonlarında nikel daha kısa sürede ekstrakte olmaktadır. Konsantrasyon arttıkça ekstraksiyon veriminin düşmesi su-membran ara yüzeyinde meydana gelen membran-metal kompleks geçişinin yoğun olmasından kaynaklanmaktadır. Membran su arayüzeyinde oluşan kompleks miktarı ne kadar yoğunsa (bu durum Cr(VI) konsantrasyonuna bağlıdır) membran içerisinde taşınım o ölçüde azalmaktadır. 100 mg/L+500mg/L Cr/Ni için başlangıç kütle akısı ve permeasyon katsayısı sırasıyla  $2,48072 \times 10^{-6}$  kg/m<sup>2</sup>.s ve  $24,248 \times 10^{-6}$  m/s bulunmuştur bunun yanında 200 mg/L+500mg/L Cr/Ni için başlangıç kütle akısı ve permeasyon katsayısı ise sırasıyla  $21,9133 \times 10^{-6}$  kg/m<sup>2</sup>.s ve  $35,751 \times 10^{-6}$  m/s olarak hesaplanmıştır.

### 6.9. Optimum Şartların Elde Edilmesi

Yukarıdaki deneysel parametrelerin incelenmesi sonucu optimum şartlar elde edilmiştir:

1. Çözücü: Kloroform
2. Besleme çözeltisi pH'ı: 0,5
3. Ekstraktant (Alamine 300) konsantrasyonu: %10 w/w
4. Modifiyer (TBP) konsantrasyonu: % 20 TBP w/w
5. Sıyırma çözeltisi (NaOH) konsantrasyonu: % 2 NaOH w/v
6. Sıcaklık: 50 °C

### 6.10. Eşit Molar Besleme Çözeltisi Konsantrasyonunun Etkisi

Optimum şartlarda besleme çözeltisindeki krom ve nikel konsantrasyonu 100 mg/L ile 1000 mg/L arasında değiştirilerek ekstraksiyon hızı veya ekstraksiyon verimine etkisi incelenmiştir. Bu doğrultuda Cr(VI)'nın ekstraksiyon hızı veya ekstraksiyon verimine etkisi besleme fazı için Tablo 6.16 ile Şekil 6.43'de, sıyırma çözeltisi için ise Tablo 6.17 ile Şekil 6.45'de, Ni (II) için ise besleme fazı Tablo 6.16 ile Şekil 6.44'da, sıyırma çözeltisi için ise Tablo 6.17 ile Şekil 6.46'da gösterilmektedir. Cr(VI) için başlangıç kütle akısı (J) ve permeasyon katsayısı (P)'nin besleme çözeltisindeki krom konsantrasyonuna bağlı olarak değişimi sırasıyla Şekil 6.47 ve Şekil 6.48'de gösterilmiştir. Kromun 100 mg/L ve 200 mg/L'lik çözeltilerinde elde edilen ekstraksiyon verimleri sırası ile %74,02 ve %96,17 olarak bulunmuştur. Buna karşın kromun 1000 mg/L'lik çözeltisinden elde edilen ekstraksiyon verimi ise % 47,47 şeklindedir. Konsantrasyon arttıkça ekstraksiyon veriminin düşmesi su-membran ara yüzeyinde meydana gelen membran-metal kompleks geçişinin yoğun olmasından kaynaklanmaktadır. Membran-su ara yüzeyinde oluşan kompleks ne kadar yoğunsa, bu durum da krom konsantrasyonuna bağlı olup, membran içerisindeki tıstım o ölçüde yavaşlamaktadır. 100 mg/L + 100 mg/L Cr/Ni için permeasyon katsayısı  $2,830 \times 10^{-5}$  m/s ve 200 mg/L+200 mg/L Cr/Ni için ise  $3,223 \times 10^{-5}$  m/s olarak hesaplandı. Buna ilaveten en yüksek Cr konsantrasyonu içeren 1000 mg/L+1000 mg/L Cr/Ni karışımına ait hesaplanan permeasyon katsayısı ise  $0,645 \times 10^{-5}$  m/s olarak hesaplanmıştır. Bu durum besleme konsantrasyonu arttıkça permeasyon katsayısının azaldığını işaret etmektedir. Tablo 6.16 ve Şekil 6.47'de görüldüğü gibi 100 mg/L + 100 mg/L Cr/Ni için kütle akısı  $0,815 \times 10^{-6}$  kg/m<sup>2</sup>.s olarak hesaplanırken, 1000 mg/L +1000 mg/L Cr/Ni için  $6,856 \times 10^{-6}$  kg/m<sup>2</sup>.s şeklinde bulunmuştur. Düşük krom konsantrasyonlarında kütle akısı, besleme çözeltisindeki başlangıç krom konsantrasyonunun önemli bir fonksiyonudur. Bu sebepten dolayı kromun kütle transferi daha düşük konsantrasyon aralığındaki kromun difüzyonu tarafından kontrol edilmektedir. Bu suretle, metal konsantrasyonunun artması ile kütle akışında da bir artış olmalıdır. 1000 mg/L + 1000 mg/L Cr/Ni için bu artış söz konusudur.

### 6.11. Eşit Molar Olmayan Besleme Çözeltisi Konsantrasyonunun Etkisi

Optimum şartlarda besleme çözeltisindeki krom konsantrasyonu 100 mg/L ile 800 mg/L arasında değiştirilerek ve bunun yanında nikel konsantrasyonu 1000 mg/L de sabit tutularak ekstraksiyon hızına etkisi incelenmiştir. Bu şekilde Cr(VI)'nın ekstraksiyon hızı veya ekstraksiyon verimine etkisi besleme fazı için Tablo 6.18 ile Şekil 6.49'da, sıyırma çözeltisi için ise Tablo 6.19 ile Şekil 6.51'de, Ni (II) için ise besleme fazı Tablo 6.18 ile Şekil 6.50'de, sıyırma çözeltisi için ise Tablo 6.19 ile Şekil 6.52'de gösterilmektedir. Cr(VI) için başlangıç kütle akısı (J) ve permeasyon katsayısı (P)'nin besleme çözeltisindeki krom konsantrasyonuna bağlı olarak değişimi sırasıyla Şekil 6.53 ve Şekil 6.54'de gösterilmiştir. 100 mg/L + 1000 mg/L Cr/Ni için permeasyon katsayısı  $5,688 \times 10^{-5}$  m/s olarak hesaplanmış ve maksimum verime ulaşmıştır. 100 mg/L + 1000 mg/L Cr/Ni için kütle akısı ise  $2,762 \times 10^{-6}$  kg/m<sup>2</sup>.s olarak hesaplanmıştır.

### 6.12. Uzun Salımlı Eşit Molar Besleme Çözeltisi Konsantrasyonunun Etkisi

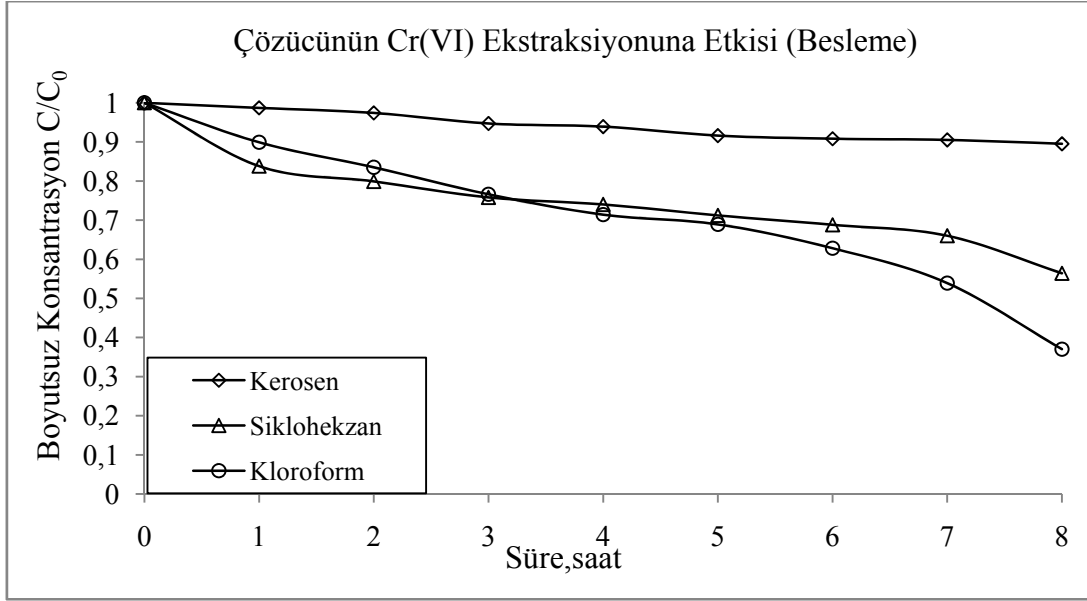
Optimum şartlarda besleme çözeltisindeki krom konsantrasyonu 2000 mg/L, nikel konsantrasyonu ise 2000 mg/L olacak şekilde ayarlanarak, yaklaşık 48 saat de yüksek konsantrasyonda ekstraksiyon hızı veya ekstraksiyon verimine etkisi incelenmiştir. Bu şekilde Cr(VI)'nın ekstraksiyon hızı veya ekstraksiyon verimine etkisi besleme fazı için Tablo 6.20 ile Şekil 6.55'de, sıyırma çözeltisi için ise Tablo 6.21 ile Şekil 6.57'de, Ni (II) için ise besleme fazı Tablo 6.20 ile Şekil 6.56'da, sıyırma çözeltisi için ise Tablo 6.21 ile Şekil 6.58'de gösterilmektedir. Cr(VI) için başlangıç kütle akısı (J) ve permeasyon katsayısı (P)'nin besleme çözeltisindeki krom konsantrasyonuna bağlı olarak değişimi sırasıyla; 2000 mg/L + 2000 mg/L Cr/Ni için  $0,558 \times 10^{-5}$  m/s,  $8,159 \times 10^{-6}$  kg/m<sup>2</sup>.s olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6.2. Çözücü cinsinin Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: %75 w/w ; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

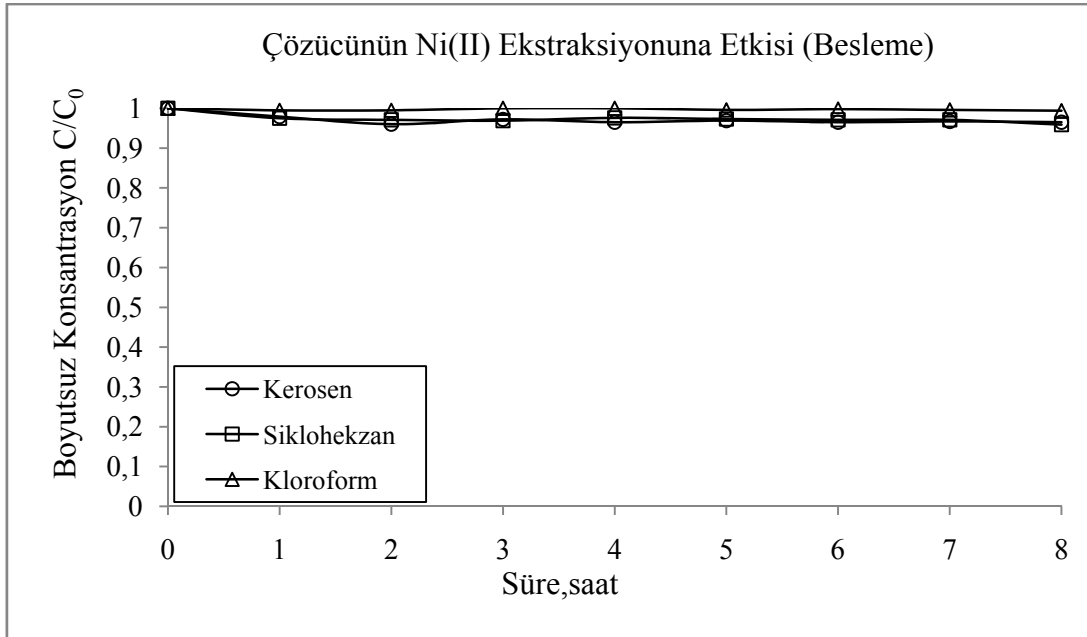
Çözücü cinsinin Cr (IV) ve Ni (II) ekstraksiyonuna etkisi (Besleme Fazı)												
Süre (saat)	Kerosen				Sikloheksan				Kloroform			
	Cr		Ni		Cr		Ni		Cr		Ni	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	380,0	1,000	508,0	1,000	385,0	1,000	510,0	1,000	395,0	1,000	495,0	1,000
1	375,0	0,987	497,5	0,979	322,5	0,838	497,5	0,975	355,0	0,899	492,5	0,995
2	370,0	0,974	487,5	0,960	307,5	0,799	495,0	0,971	330,0	0,835	492,5	0,995
3	360,0	0,947	494,0	0,972	292,0	0,758	494,0	0,969	302,5	0,766	495,0	1,000
4	357,0	0,939	490,0	0,965	285,0	0,740	498,0	0,976	282,0	0,714	495,0	1,000
5	348,0	0,916	492,0	0,969	274,0	0,712	496,0	0,973	272,0	0,689	493,0	0,996
6	345,0	0,908	490,0	0,965	265,0	0,688	495,0	0,971	248,0	0,628	494,0	0,998
7	344,0	0,905	491,0	0,967	254,0	0,660	495,0	0,971	213,0	0,539	493,0	0,996
8	340,0	0,895	490,0	0,965	217,0	0,564	489,0	0,959	146,0	0,370	492,0	0,994
P (m/s)	1,634x10 <sup>-6</sup>				6,945x10 <sup>-6</sup>				9,633x10 <sup>-6</sup>			
J <sub>0</sub> (kg/m <sup>2</sup> .s)	5,618x10 <sup>-7</sup>				2,081x10 <sup>-6</sup>				3,726 x10 <sup>-6</sup>			

Tablo 6.3. Çözücü cinsinin Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma): (Çözücü: %75 w/w ; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

Çözücünün Cr (IV) ve Ni (II) ekstraksiyonuna etkisi (Sıyırma Fazı)												
Süre (saat)	Kerosen				Siklohekzan				Kloroform			
	Cr		Ni		Cr		Ni		Cr		Ni	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	1,3	0,003	0,8	0,001	1,0	0,003	0,0	0,000	1,8	0,004	0,3	0,001
1	2,0	0,005	1,3	0,002	20,5	0,053	0,5	0,001	15,8	0,040	0,8	0,002
2	3,8	0,010	1,3	0,002	35,0	0,091	2,0	0,004	40,3	0,102	0,8	0,002
3	5,0	0,013	1,8	0,003	45,3	0,118	0,5	0,001	68,0	0,172	1,3	0,003
4	11,0	0,029	5,5	0,011	45,0	0,117	2,0	0,004	120,0	0,304	5,0	0,010
5	12,5	0,033	6,0	0,012	58,5	0,152	2,0	0,004	141,5	0,358	6,5	0,013
6	11,0	0,029	5,5	0,011	71,5	0,186	2,5	0,005	167,5	0,424	6,0	0,012
7	11,5	0,030	6,5	0,013	92,5	0,240	2,5	0,005	206,5	0,523	6,0	0,012
8	15,0	0,039	10,0	0,020	141,0	0,366	6,0	0,012	302,0	0,765	10,0	0,020

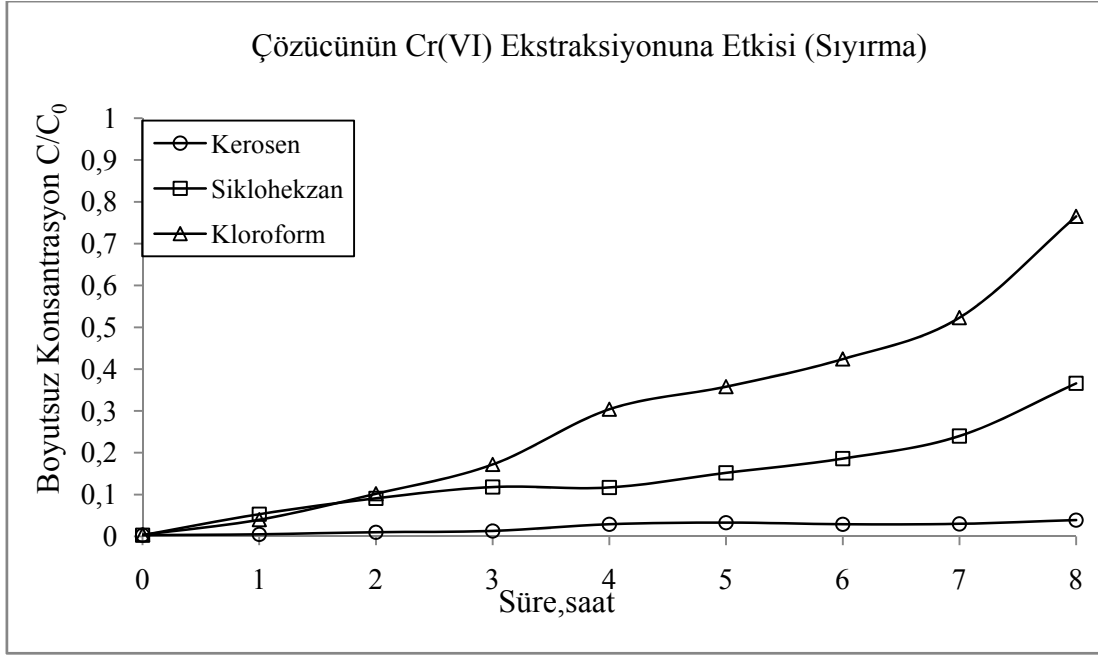


Şekil 6.1. Çözücü cinsinin Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: %75 w/w ; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

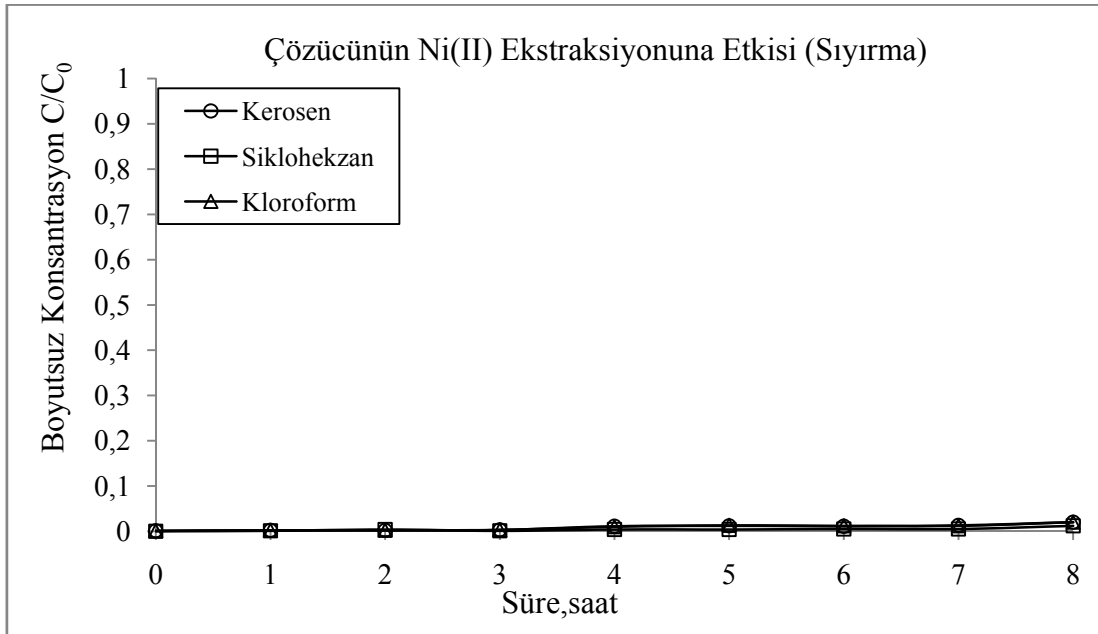


Şekil 6.2. Çözücü cinsinin Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: %75 w/w ; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

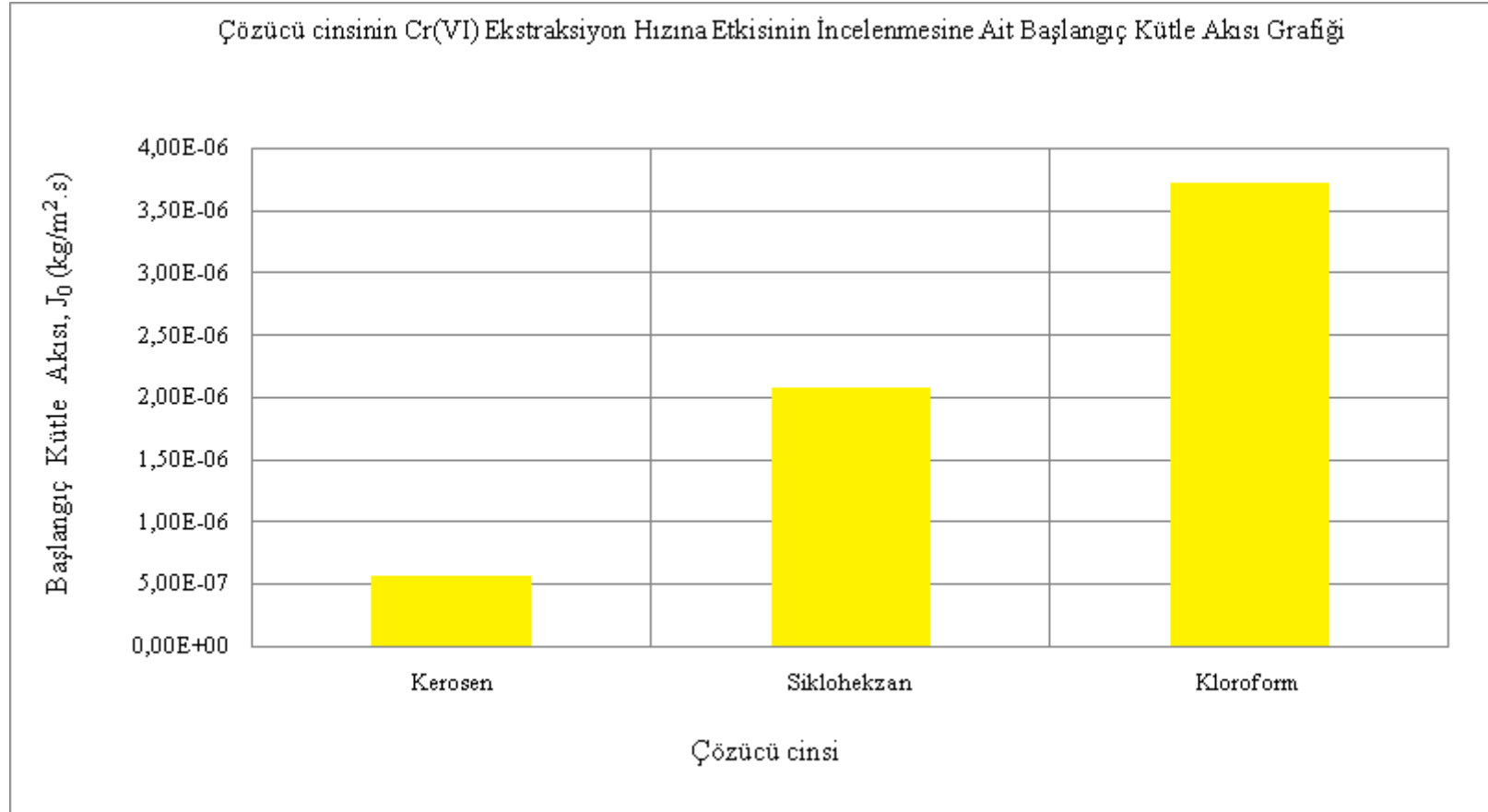




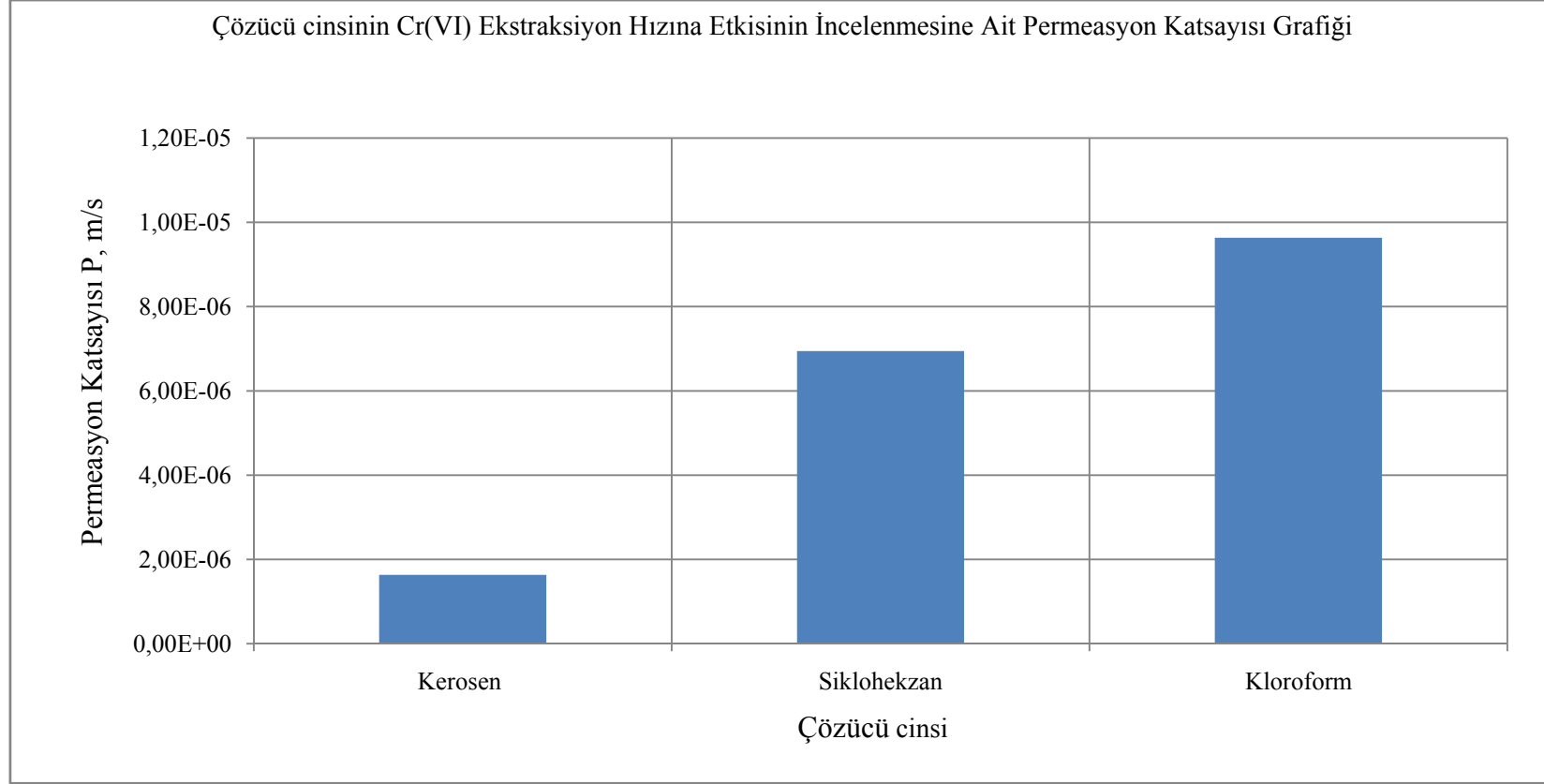
Şekil 6.3. Çözücü cinsinin Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma): (Çözücü: %75 w/w ; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



Şekil 6.4. Çözücü cinsinin Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma): (Çözücü: %75 w/w ; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



Şekil 6.5. Çözücü cinsinin Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi başlangıç kütle akısı ( $J_0$ ): Çözücü: %75 w/w Kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



Şekil 6.6. Çözücü cinsinin Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi permeasyon katsayısı (P): (Çözücü: %75 w/w ; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

Tablo 6.4. Besleme çözeltisi pH'nın Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: % 75 w/w kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

Besleme çözeltisi pH'nın Cr (IV) ve Ni (II) ekstraksiyonuna etkisi (Besleme)												
Süre (saat)	pH:0,5				pH:1,0				pH:1,5			
	Cr		Ni		Cr		Ni		Cr		Ni	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	430,0	1,000	515,0	1,000	389,7	1,000	511,5	1,000	395,0	1,000	490,0	1,000
1	245,0	0,570	497,5	0,966	310,5	0,797	509,0	0,995	297,5	0,753	470,0	0,959
2	182,5	0,424	492,5	0,956	244,5	0,627	505,5	0,988	267,5	0,677	465,0	0,949
3	184,0	0,428	492,5	0,956	196,0	0,503	505,1	0,987	226,0	0,572	464,0	0,947
4	134,0	0,312	487,5	0,947	178,0	0,457	500,4	0,978	199,0	0,504	473,0	0,965
5	111,0	0,258	471,0	0,915	152,2	0,391	501,1	0,980	161,0	0,408	469,0	0,957
6	85,0	0,198	477,0	0,926	133,6	0,343	499,6	0,977	142,0	0,359	472,0	0,963
7	65,0	0,151	473,0	0,918	130,5	0,335	498,5	0,975	101,0	0,256	471,0	0,961
8	51,0	0,119	470,0	0,913	115,0	0,295	496,6	0,971	84,0	0,213	471,0	0,961
P (m/s)	27,710x10 <sup>-6</sup>				17,19x10 <sup>-6</sup>				18,740x10 <sup>-6</sup>			
J <sub>o</sub> (kg/m <sup>2</sup> .s)	10,989x10 <sup>-6</sup>				6,409x10 <sup>-6</sup>				6.840x10 <sup>-6</sup>			

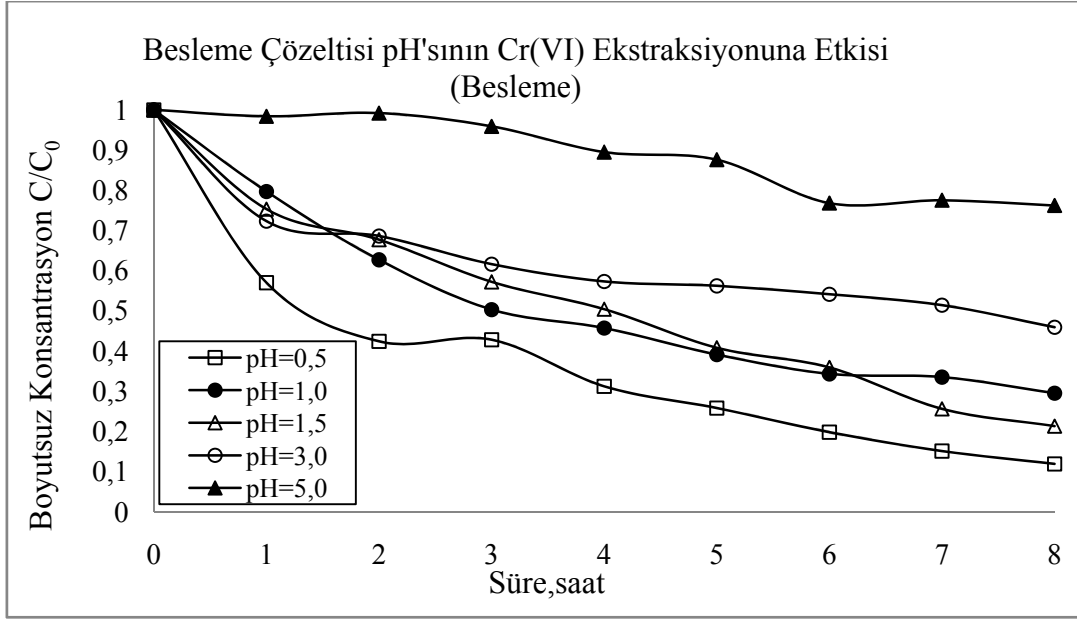
Tablo 6.4. (Devam) Besleme çözeltisi pH'ının Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: % 75 w/w kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

pH'ın Cr (IV) ve Ni (II) ekstraksiyonuna etkisi (Besleme)								
Süre (saat)	pH:3,0				pH:5,0			
	Cr		Ni		Cr		Ni	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	370,0	1,000	375,0	1,000	315,0	1,000	475,0	1,000
1	267,5	0,723	255,0	0,680	310,0	0,984	465,0	0,979
2	254,0	0,686	232,0	0,619	312,5	0,992	465,0	0,979
3	228,0	0,616	218,0	0,581	302,0	0,959	466,0	0,981
4	212,0	0,573	170,0	0,453	282,0	0,895	474,0	0,998
5	208,0	0,562	142,0	0,379	276,0	0,876	473,0	0,996
6	200,0	0,541	153,0	0,408	242,0	0,768	473,0	0,996
7	190,0	0,514	114,0	0,304	244,0	0,775	474,0	0,998
8	170,0	0,459	102,0	0,272	240,0	0,762	471,0	0,992
P (m/s)	10,950x10 <sup>-6</sup>				33,54x10 <sup>-6</sup>			
J <sub>o</sub> (kg/m <sup>2</sup> .s)	2,686x10 <sup>-6</sup>				1,300x10 <sup>-6</sup>			

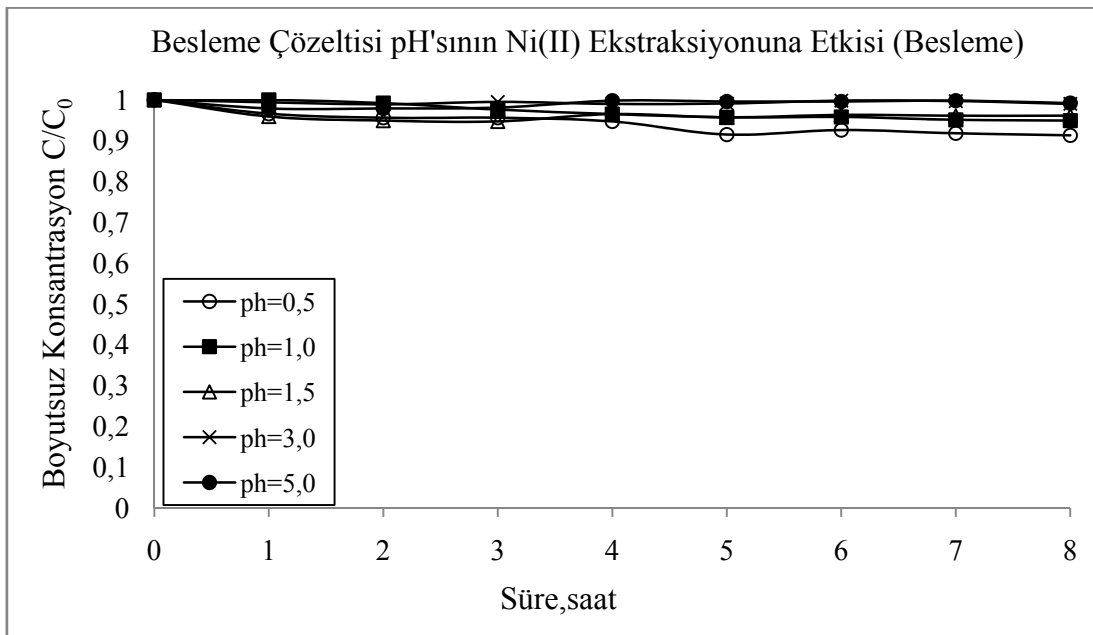
Tablo 6.5. Besleme çözeltisi pH'nın Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma): (Çözücü: % 75 w/w kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

Besleme çözeltisi pH'nın Cr (IV) ve Ni (II) ekstraksiyonuna etkisi (Sıyırma)												
Süre (saat)	pH:0,5				pH:1,0				pH:1,5			
	Cr		Ni		Cr		Ni		Cr		Ni	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	25,8	0,060	1,5	0,003	10,2	0,026	1,5	0,003	4,8	0,012	1,8	0,004
1	27,0	0,063	1,3	0,002	25,5	0,065	1,5	0,003	45,8	0,116	2,5	0,005
2	37,8	0,088	1,8	0,003	69,7	0,179	1,9	0,004	76,8	0,194	2,3	0,005
3	49,8	0,116	1,8	0,003	81,1	0,208	1,8	0,004	93,0	0,235	2,3	0,005
4	175,0	0,407	2,5	0,005	104,0	0,267	4,6	0,009	119,5	0,303	4,0	0,008
5	375,0	0,872	4,5	0,009	122,5	0,314	4,5	0,009	136,5	0,346	5,5	0,011
6	387,5	0,901	4,0	0,008	135,5	0,348	3,5	0,007	161,0	0,408	5,0	0,010
7	387,5	0,901	4,0	0,008	168,0	0,431	4,5	0,009	175,5	0,444	5,0	0,010
8	395,0	0,919	6,0	0,012	186,5	0,479	5,0	0,010	201,0	0,509	8,0	0,016

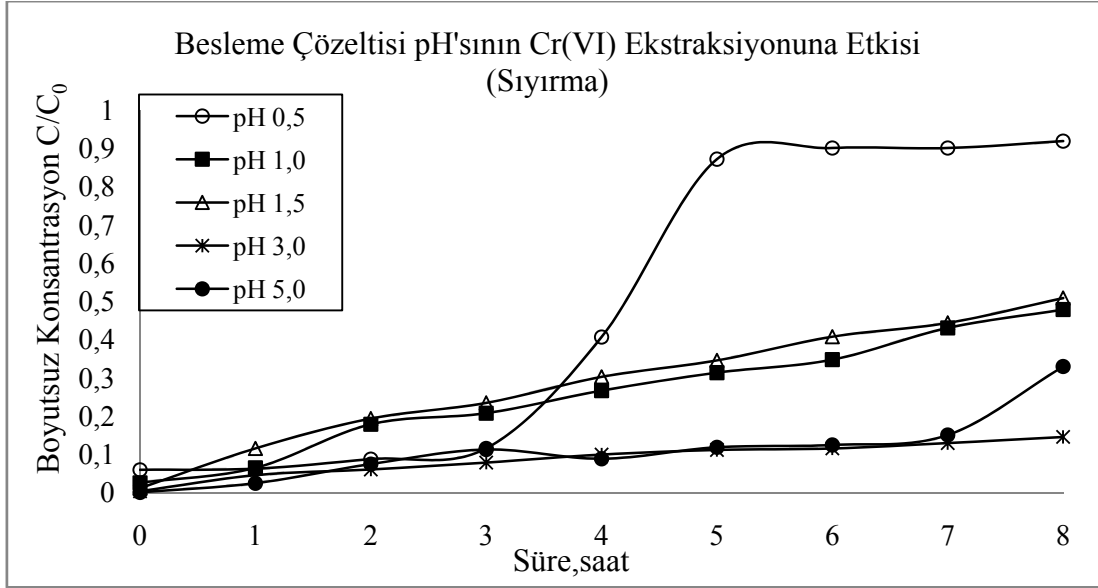
Besleme çözeltisi pH'nın Cr (IV) ve Ni (II) ekstraksiyonuna etkisi (Sıyırma)								
Süre (saat)	pH:3,0				pH:5,0			
	Cr		Ni		Cr		Ni	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	1,5	0,004	1,5	0,004	0,2	0,001	1,3	0,003
1	17,0	0,046	1,8	0,005	8,0	0,025	2,3	0,005
2	22,8	0,061	1,5	0,004	23,5	0,075	2,5	0,005
3	29,3	0,079	2,0	0,005	35,5	0,113	3,3	0,007
4	37,0	0,100	3,5	0,009	28,0	0,089	4,5	0,009
5	41,5	0,112	11,0	0,029	37,5	0,119	4,0	0,008
6	43,0	0,116	14,5	0,039	39,5	0,125	6,0	0,013
7	48,0	0,130	18,0	0,048	47,5	0,151	6,0	0,013
8	54,0	0,146	31,0	0,083	104,0	0,330	9,0	0,019



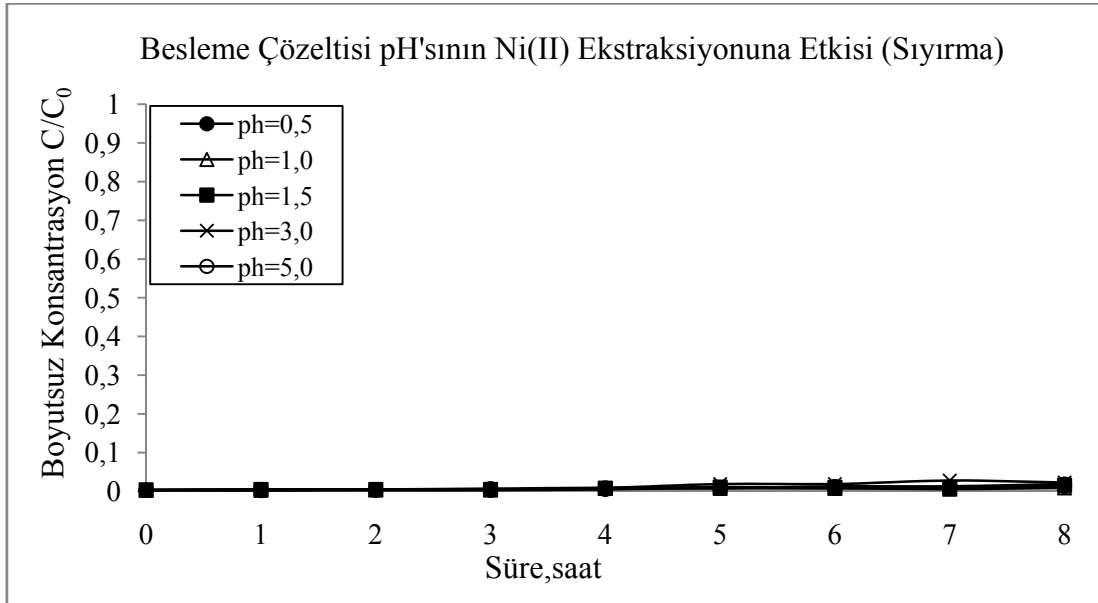
Şekil 6.7. Besleme çözeltisi pH'ının Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: % 75 w/w kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



Şekil 6.8. Besleme çözeltisi pH'ının Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: % 75 w/w kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

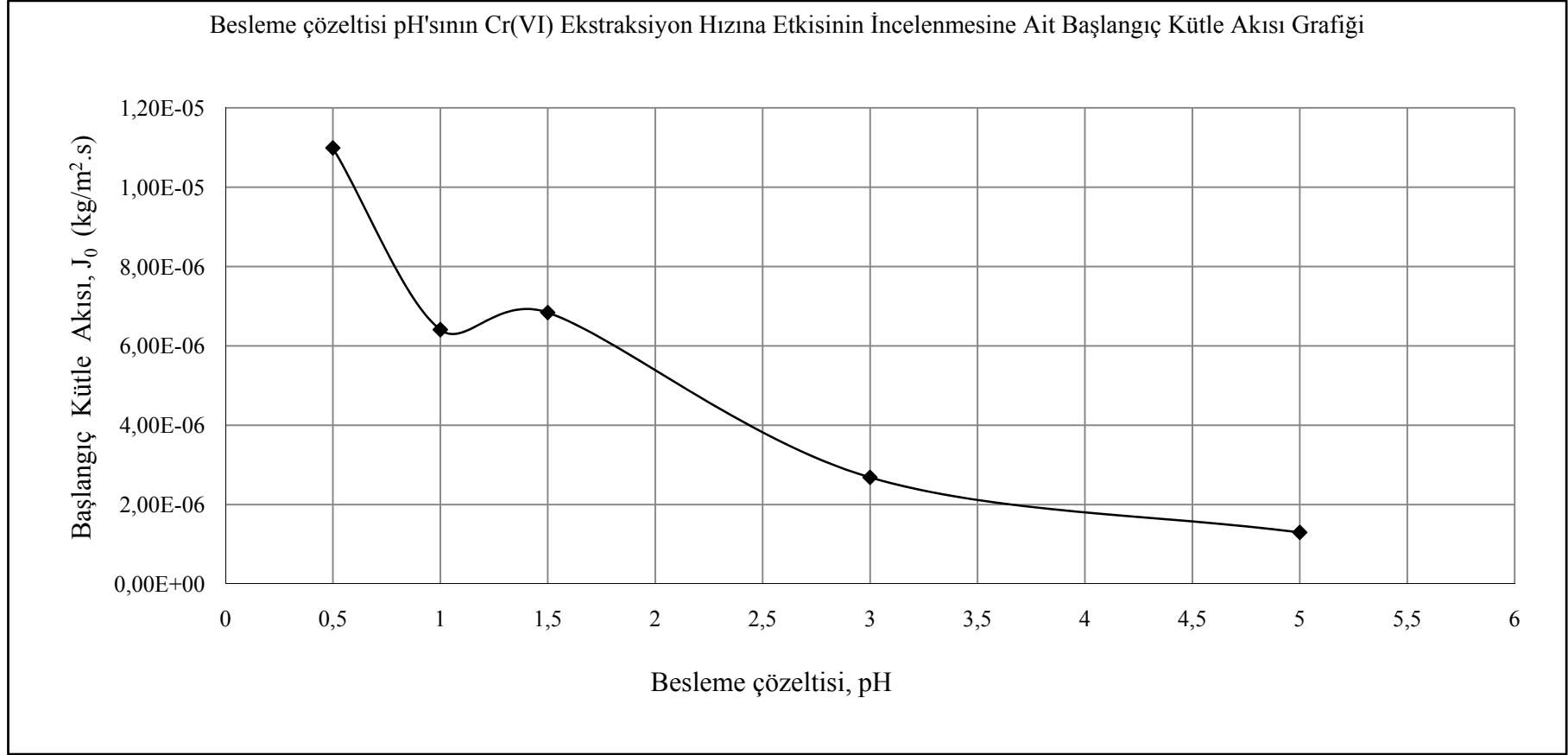


Şekil 6.9. Besleme çözeltisi pH'ının Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma): (Çözücü: % 75 w/w kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

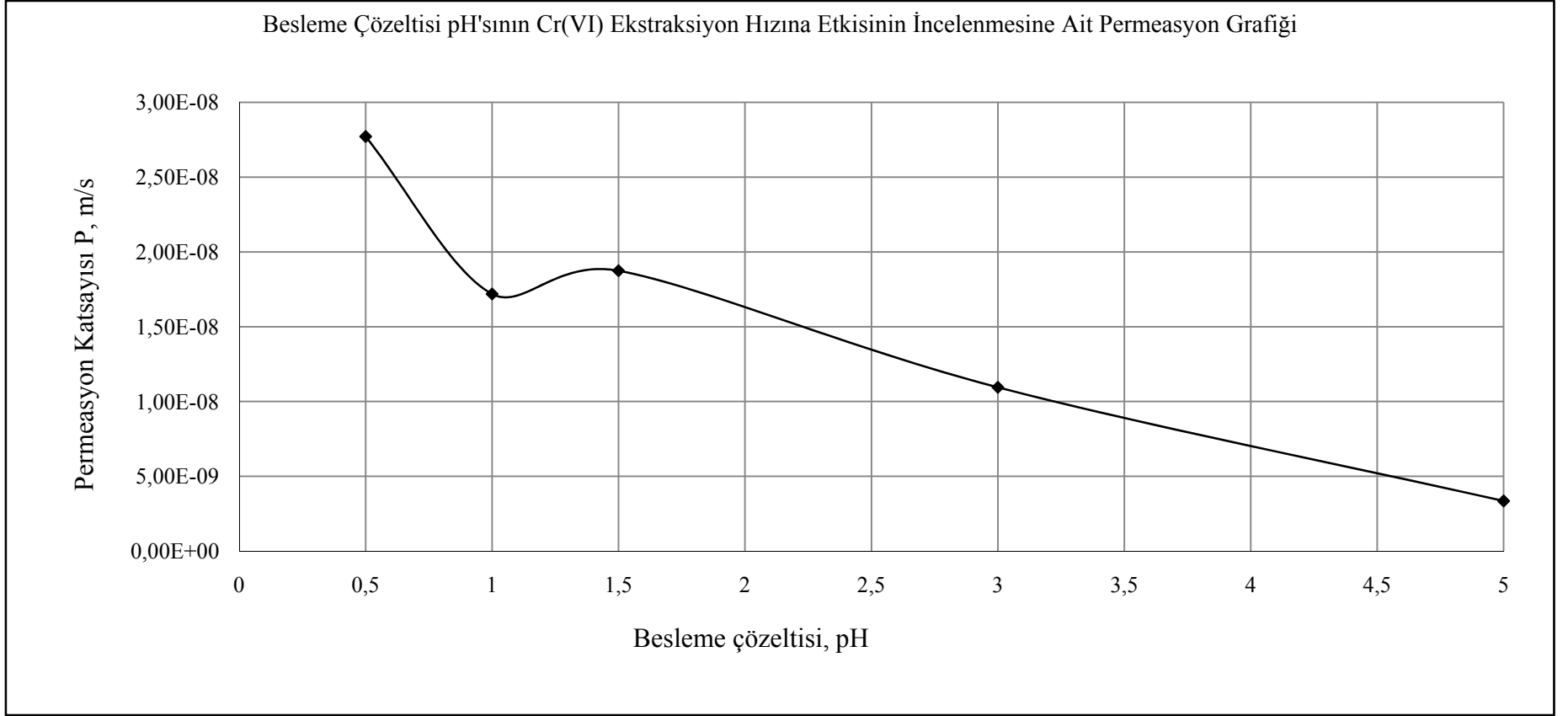


Şekil 6.10. Besleme çözeltisi pH'ının Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma): (Çözücü: % 75 w/w kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))





Şekil 6.11. Besleme çözeltisi pH'ının Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi başlangıç kütle akısı ( $J_0$ ): (Çözücü: % 75 w/w kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



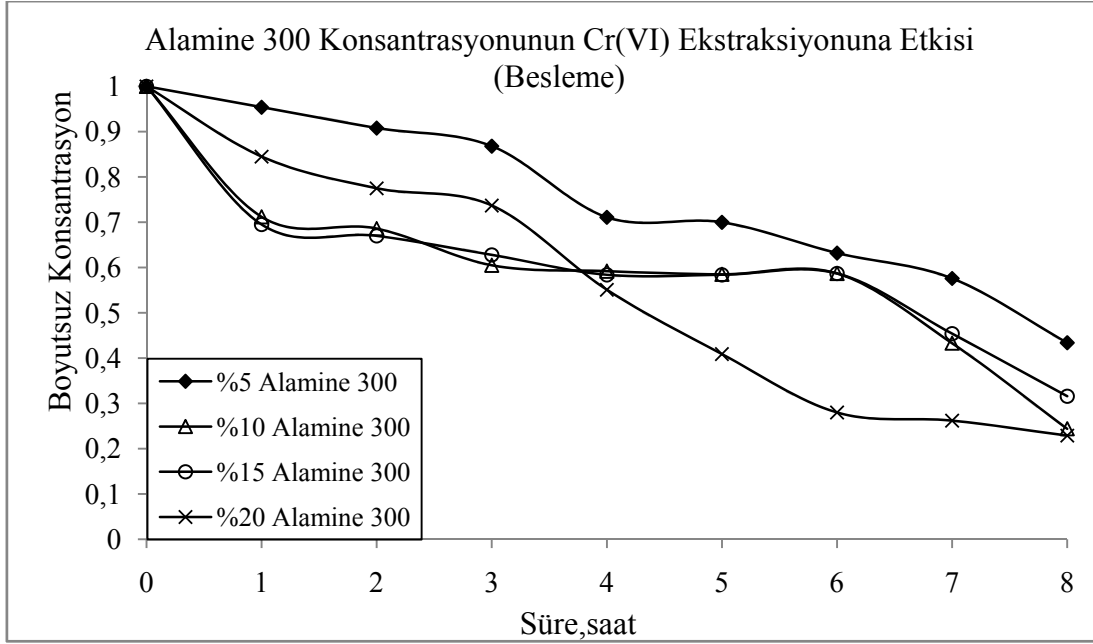
Şekil 6.12. Besleme çözeltisi pH'ının Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi permeasyon katsayısı (P): (Çözücü: % 75 w/w kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

Tablo 6.6. Ekstraktant (Alamine 300) konsantrasyonunun Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: Kloroform; Ekstraktant: Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

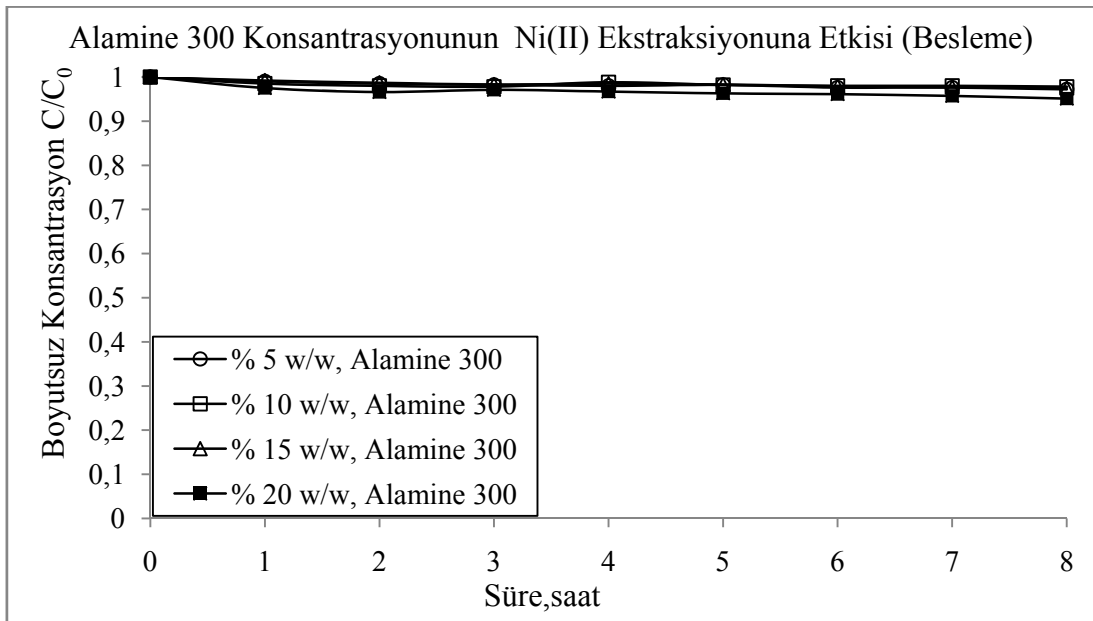
Alamine 300 konsantrasyonunun Cr (IV) ve Ni (II) ekstraksiyonuna etkisi (Besleme Fazı)																
Süre (saat)	% 5 Alamine 300				% 10 Alamine 300				%15 Alamine 300				% 20 Alamine 300			
	Cr		Ni		Cr		Ni		Cr		Ni		Cr		Ni	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	394,5	1,000	505,0	1,000	404,5	1,000	501,9	1,000	392,0	1,000	496,5	1,000	393,5	1,000	510,0	1,000
1	362,5	0,954	500,0	0,990	355,7	0,879	500,5	0,997	272,5	0,695	492,5	0,992	332,5	0,845	497,5	0,975
2	345,0	0,908	497,5	0,985	279,9	0,692	498,0	0,992	262,5	0,670	490,0	0,987	305,0	0,775	492,5	0,966
3	330,0	0,868	496,0	0,982	255,0	0,630	497,5	0,991	246,0	0,628	488,0	0,983	290,0	0,737	495,0	0,971
4	270,0	0,711	495,0	0,980	225,6	0,558	495,5	0,987	229,0	0,584	489,0	0,985	217,0	0,551	493,0	0,967
5	266,0	0,700	496,0	0,982	216,0	0,534	495,7	0,988	229,0	0,584	488,0	0,983	161,0	0,409	491,0	0,963
6	240,0	0,632	493,0	0,976	202,5	0,501	493,1	0,982	230,0	0,587	486,0	0,979	110,0	0,280	490,0	0,961
7	219,0	0,576	493,0	0,976	159,9	0,395	490,5	0,977	178,0	0,454	485,0	0,977	103,0	0,262	488,0	0,957
8	165,0	0,434	491,0	0,972	103,5	0,256	492,1	0,980	124,0	0,316	484,0	0,975	90,0	0,229	485,0	0,951
P( m/s)	8,429x10 <sup>-6</sup>				1,442x10 <sup>-5</sup>				12,490x10 <sup>-6</sup>				18,030x10 <sup>-6</sup>			
J <sub>0</sub> (kg/m <sup>2</sup> .s)	3,751x10 <sup>-6</sup>				5,523x10 <sup>-6</sup>				3,610x10 <sup>-6</sup>				7,348x10 <sup>-6</sup>			

Tablo 6.7. Ekstraktant (Alamine 300) konsantrasyonunun Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma): (Çözücü: Kloroform; Ekstraktant: Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

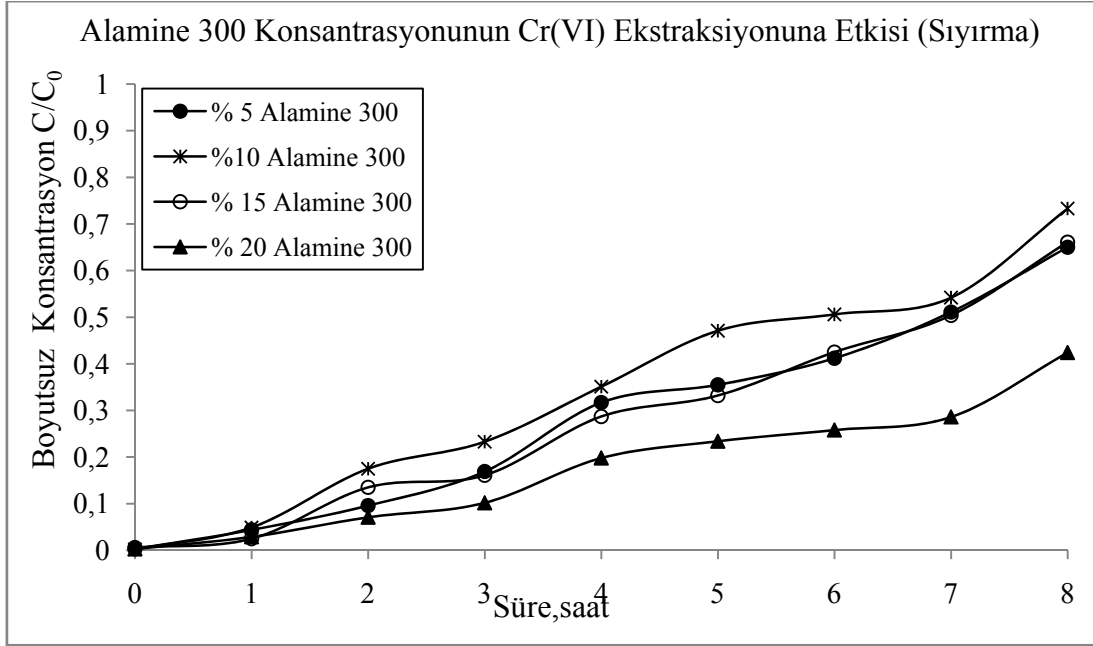
Alamine 300 konsantrasyonunun Cr (IV) ve Ni (II) ekstraksiyonuna etkisi (Sıyırma Fazı)																
Süre (saat)	% 5 Alamine 300 w/w				% 10 Alamine 300				% 15 Alamine 300				% 20 Alamine 300			
	Cr		Ni		Cr		Ni		Cr		Ni		Cr		Ni	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	1,3	0,003	0,3	0,000	4,4	0,011	1,1	0,002	2,3	0,006	0,3	0,001	1,3	0,003	0,5	0,001
1	17,3	0,044	0,5	0,001	24,6	0,061	1,5	0,003	9,8	0,025	1,0	0,002	11,5	0,029	0,8	0,001
2	37,8	0,096	1,3	0,003	33,5	0,083	1,4	0,003	53,0	0,135	1,8	0,004	27,8	0,071	1,0	0,002
3	66,5	0,169	1,3	0,003	87,8	0,217	2,5	0,005	63,0	0,161	2,0	0,004	40,0	0,102	1,3	0,002
4	125,0	0,317	4,5	0,009	112,5	0,278	2,6	0,005	112,5	0,287	4,0	0,008	78,0	0,198	3,5	0,007
5	140,0	0,355	5,5	0,011	175,8	0,435	4,0	0,008	130,0	0,332	3,5	0,007	92,0	0,234	4,5	0,009
6	162,5	0,412	4,0	0,008	218,5	0,540	4,4	0,009	166,5	0,425	5,0	0,010	101,5	0,258	4,5	0,009
7	201,5	0,511	5,0	0,010	273,0	0,675	5,1	0,010	197,5	0,504	5,5	0,011	112,5	0,286	5,0	0,010
8	256,6	0,650	6,0	0,012	302,5	0,748	5,0	0,010	259,0	0,661	7,0	0,014	167,0	0,424	10,0	0,020



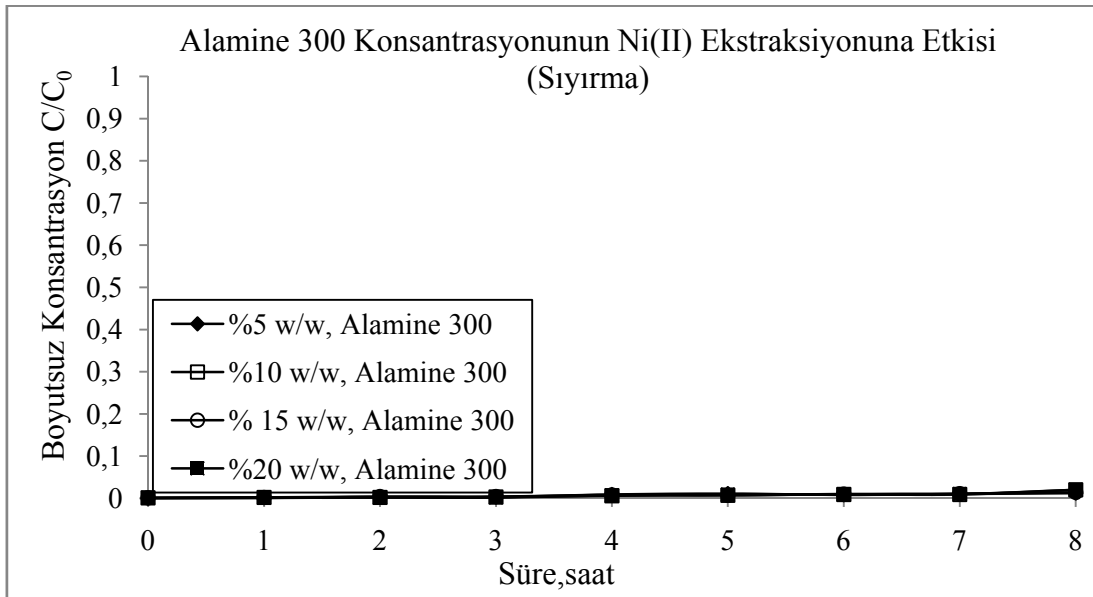
Şekil 6.13. Ekstraktant (Alamine 300) konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: Kloroform; Ekstraktant: Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



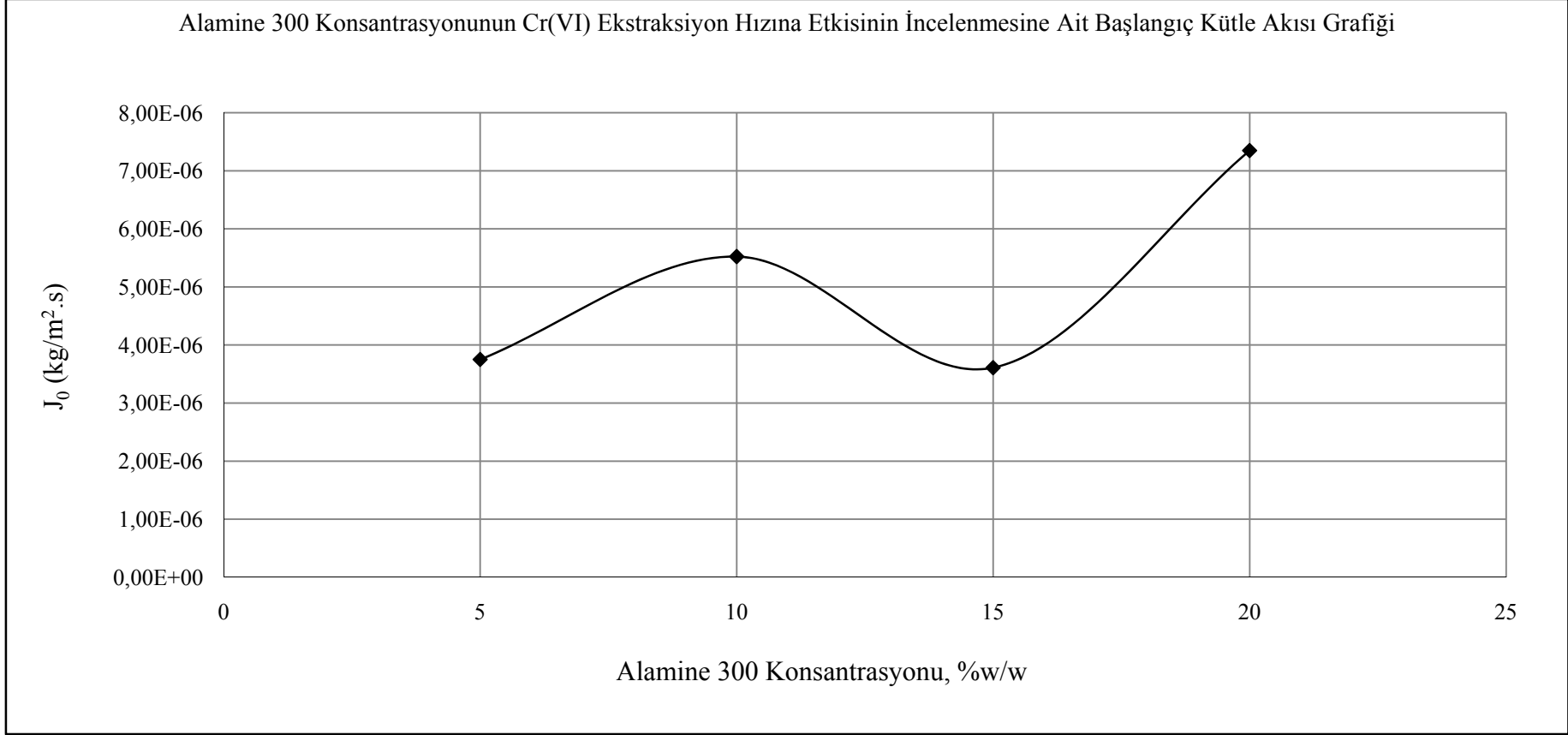
Şekil 6.14. Ekstraktant (Alamine 300) konsantrasyonunun Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: Kloroform; Ekstraktant: Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



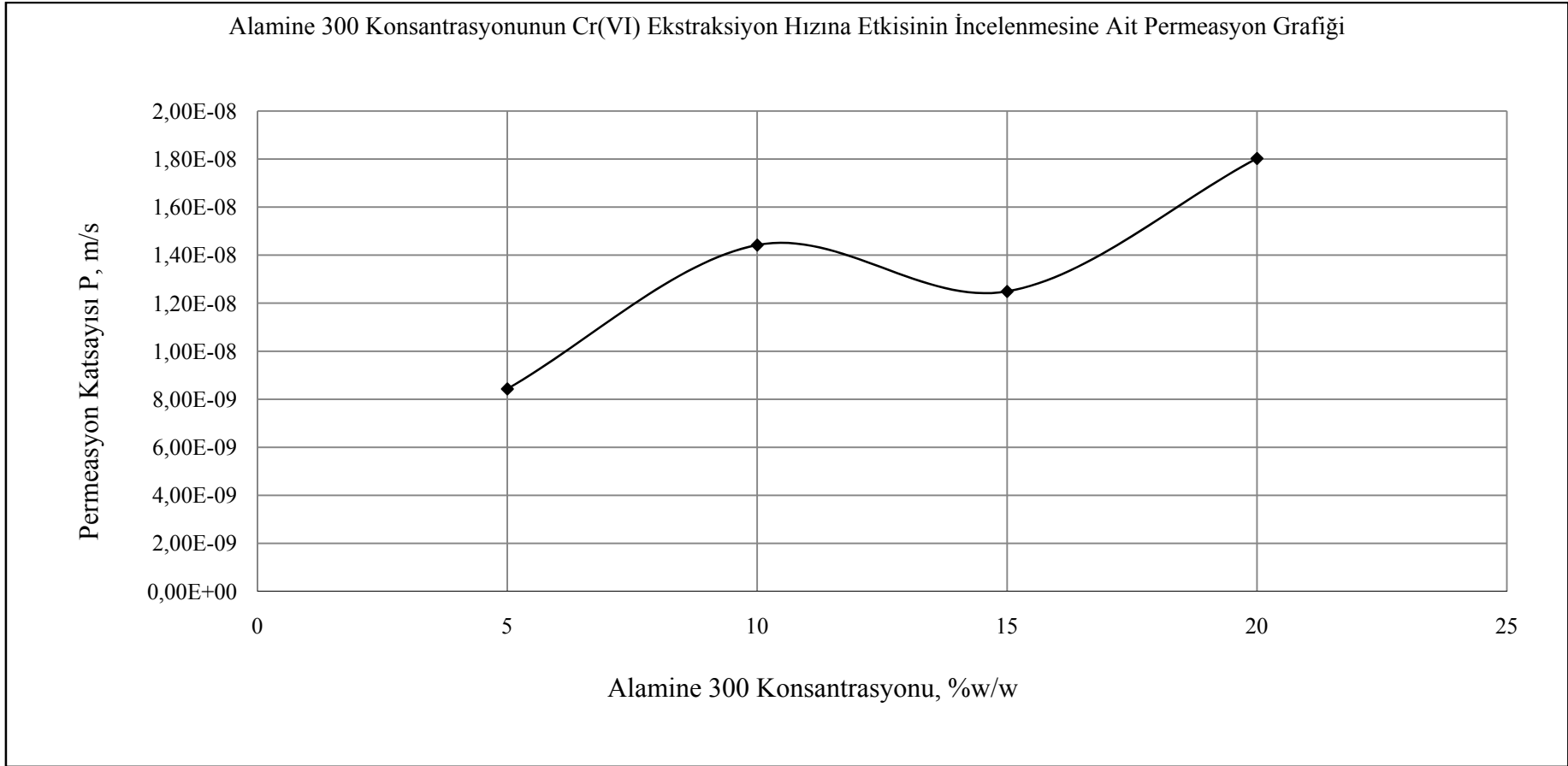
Şekil 6.15. Ekstraktant (Alamine 300) konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma): (Çözücü: Kloroform; Ekstraktant: Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



Şekil 6.16. Ekstraktant (Alamine 300) konsantrasyonunun Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma): (Çözücü: Kloroform; Ekstraktant: Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



Şekil 6.17. Ekstraktant (Alamine 300) konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi başlangıç kütle akısı (J<sub>0</sub>) Çözücü: Kloroform; Ekstraktant: Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen)



Şekil 6.18. Ekstraktant (Alamine 300) konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi permeasyon katsayısı (P): (Çözücü: Kloroform; Ekstraktant: Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



Tablo 6.8. Tribütil fosfat (TBP) konsantrasyonunun Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: Kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

TBP'ın Cr (IV) ve Ni (II) ekstraksiyonuna etkisi (Besleme)																
Süre (saat)	% 0 TBP				% 2 TBP				% 5 TBP				% 10 TBP			
	Cr		Ni		Cr		Ni		Cr		Ni		Cr		Ni	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	415,0	1,000	535,6	1,000	498,4	1,000	525,0	1,000	435,0	1,000	505,0	1,000	410,0	1,000	510,0	1,000
1	396,6	0,952	495,4	0,925	455,0	0,913	517,5	0,986	410,0	0,943	497,5	0,985	325,0	0,793	505,0	0,990
2	394,7	0,950	481,3	0,899	432,5	0,868	507,5	0,967	357,5	0,822	495,0	0,980	265,0	0,646	502,0	0,985
3	389,7	0,938	474,4	0,886	372,5	0,747	497,5	0,948	347,5	0,799	490,0	0,970	250,0	0,610	505,0	0,990
4	370,4	0,892	449,8	0,840	342,0	0,686	492,0	0,937	318,0	0,731	482,0	0,954	200,0	0,488	507,0	0,995
5	343,6	0,827	447,3	0,835	296,0	0,594	490,0	0,933	274,0	0,630	480,0	0,950	160,0	0,390	503,0	0,986
6	315,6	0,760	442,4	0,826	270,0	0,542	487,0	0,928	256,0	0,589	481,0	0,952	134,0	0,327	502,0	0,984
7	314,1	0,756	436,8	0,815	243,0	0,488	484,0	0,922	227,0	0,522	475,0	0,941	113,0	0,276	502,0	0,984
8	309,2	0,744	432,6	0,808	239,0	0,480	479,0	0,912	200,0	0,460	473,0	0,937	84,0	0,205	501,0	0,982
P (m/s)	3,803x10 <sup>-6</sup>				9,821x10 <sup>-6</sup>				9,179x10 <sup>-6</sup>				19,000x10 <sup>-6</sup>			
J <sub>o</sub> (kg/m <sup>2</sup> .s)	1,700x10 <sup>-6</sup>				5,200x10 <sup>-6</sup>				4,162x10 <sup>-6</sup>				7,436x10 <sup>-6</sup>			

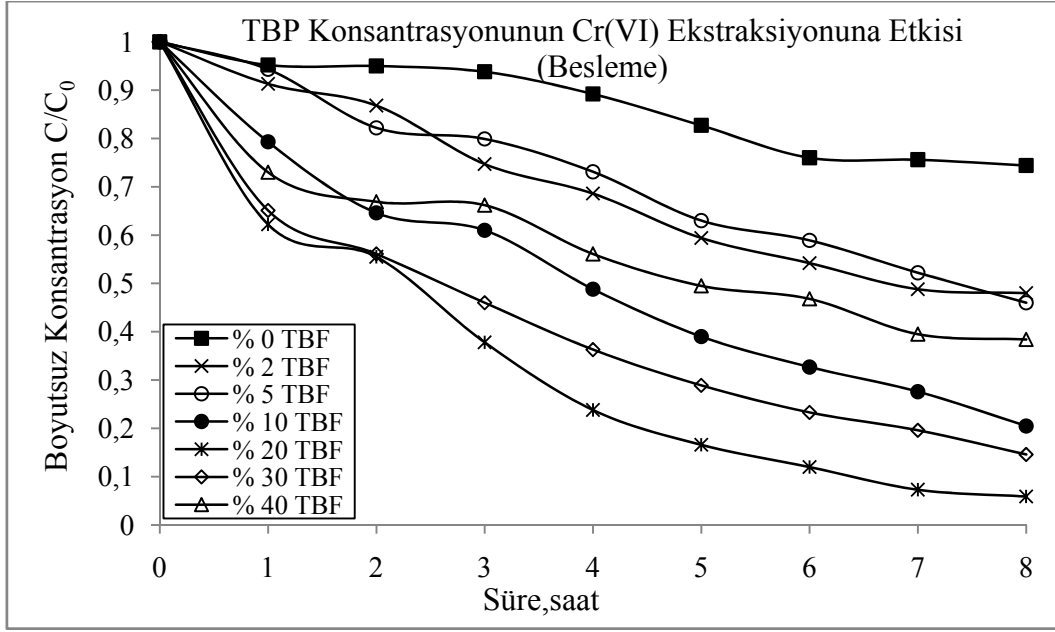
Tablo 6.8. (Devam) Tribütil fosfat (TBP) konsantrasyonunun Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: Kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

TBP'in Cr (IV) ve Ni (II) ekstraksiyonuna etkisi (Besleme)												
Süre (saat)	% 20 TBP				% 30 TBP				% 40 TBP			
	Cr		Ni		Cr		Ni		Cr		Ni	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	410,0	1,000	525,0	1,000	418,8	1,000	506,3	1,000	370,0	1,000	470,0	1,000
1	255,0	0,622	520,0	0,990	272,5	0,651	502,5	0,993	270,0	0,730	472,5	1,005
2	227,5	0,555	515,0	0,981	235,0	0,561	502,5	0,993	247,5	0,669	470,0	1,000
3	155,0	0,378	510,0	0,971	192,5	0,460	500,0	0,988	245,0	0,662	462,5	0,984
4	97,5	0,238	502,5	0,957	152,0	0,363	497,0	0,982	207,5	0,561	470,0	1,000
5	68,0	0,166	483,0	0,920	121,0	0,289	491,0	0,970	183,0	0,495	461,0	0,981
6	49,0	0,120	481,0	0,916	97,5	0,233	495,0	0,978	173,0	0,468	460,0	0,979
7	30,0	0,073	479,0	0,912	81,9	0,196	482,5	0,953	146,0	0,395	462,0	0,983
8	24,0	0,059	465,0	0,886	61,3	0,146	483,8	0,956	142,0	0,384	460,0	0,979
P (m/s)	35,960x10 <sup>-6</sup>				24,500x10 <sup>-6</sup>				13,260x10 <sup>-6</sup>			
J <sub>0</sub> (kg/m <sup>2</sup> .s)	13,852x10 <sup>-6</sup>				9,537x10 <sup>-6</sup>				5,271x10 <sup>-6</sup>			

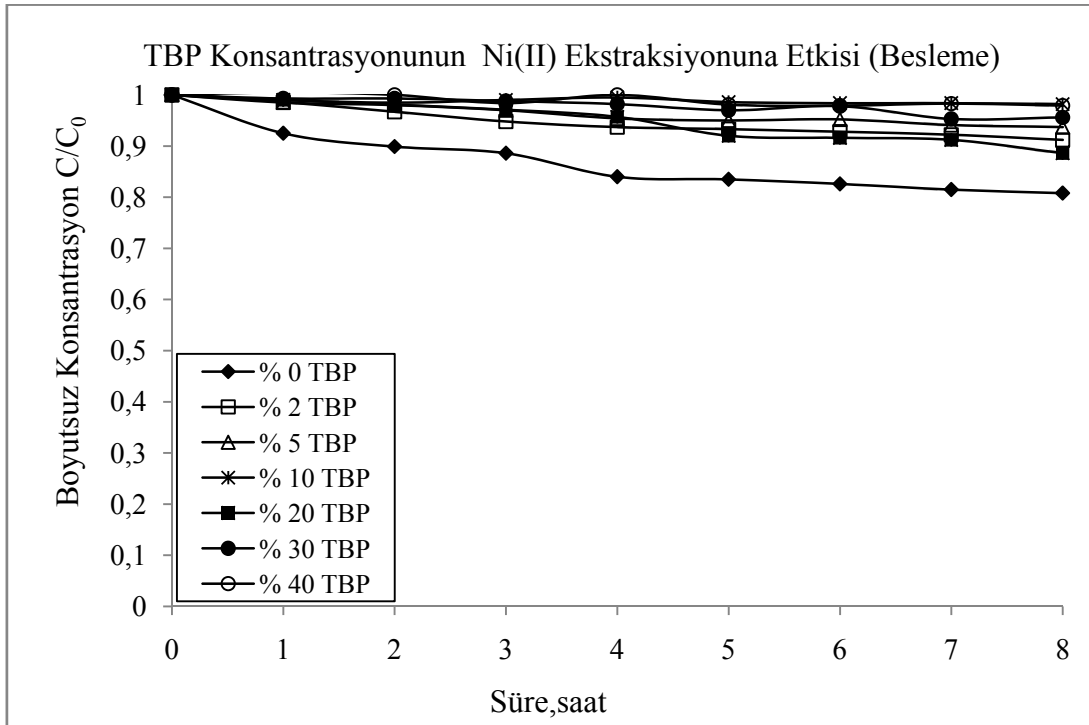
Tablo 6.9. Tri bütil fosfat (TBP) konsantrasyonunun Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma): (Çözücü: Kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

TBP'm Cr (IV) ve Ni (II) ekstraksiyonuna etkisi (Sıyırma)																
Süre (saat)	% 0 TBP				% 2 TBP				% 5 TBP				% 10 TBP			
	Cr		Ni		Cr		Ni		Cr		Ni		Cr		Ni	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	1,9	0,005	0,0	0,000	12,3	0,025	0,0	0,000	13,3	0,030	0,2	0,000	11,5	0,028	1,9	0,004
1	2,4	0,006	0,0	0,000	12,5	0,025	0,0	0,000	44,3	0,102	1,5	0,003	77,0	0,188	1,4	0,003
2	8,1	0,020	0,0	0,000	31,5	0,063	0,3	0,000	61,0	0,140	1,7	0,003	117,0	0,285	1,8	0,004
3	19,5	0,047	0,0	0,000	23,5	0,047	0,3	0,000	87,3	0,201	1,7	0,003	151,3	0,369	1,7	0,003
4	31,0	0,075	0,3	0,001	62,0	0,124	1,5	0,003	120,0	0,276	1,9	0,004	187,0	0,456	3,9	0,008
5	43,6	0,105	0,5	0,001	84,5	0,170	1,5	0,003	144,0	0,331	3,0	0,006	213,5	0,521	3,3	0,006
6	55,3	0,133	0,0	0,000	102,0	0,205	1,6	0,003	162,5	0,374	2,3	0,005	231,5	0,565	3,3	0,006
7	67,5	0,162	0,0	0,000	102,0	0,205	2,8	0,005	166,5	0,383	4,9	0,010	265,0	0,646	6,4	0,013
8	84,2	0,203	0,0	0,000	113,0	0,227	3,6	0,007	234,0	0,538	5,0	0,010	282,0	0,688	6,9	0,014

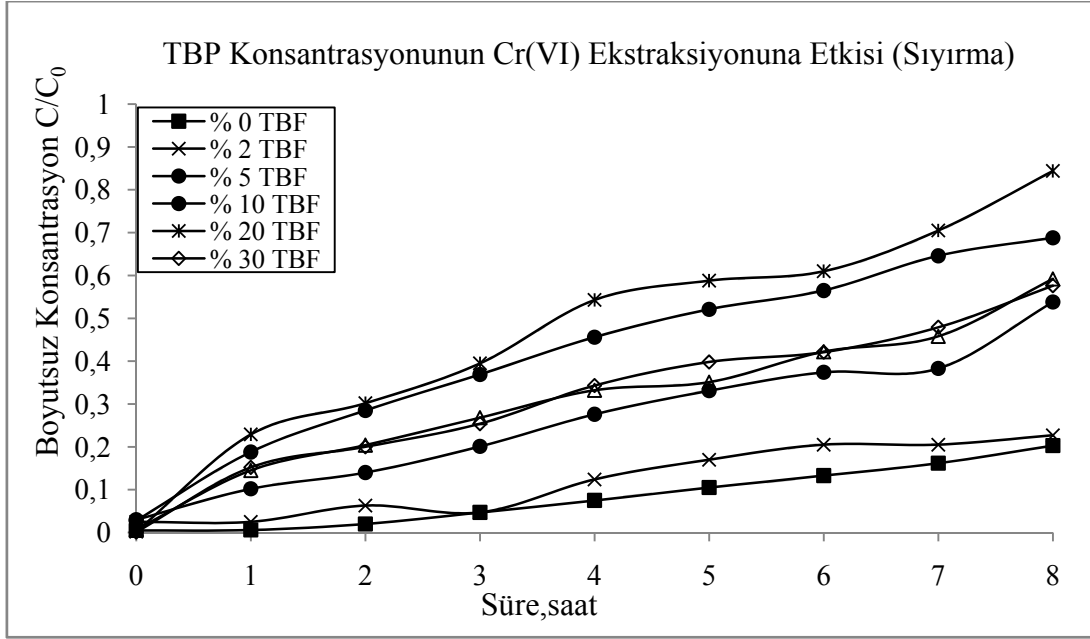
TBP'm Cr (IV) ve Ni (II) ekstraksiyonuna etkisi (Sıyırma)												
Süre (saat)	% 20 TBP				% 30 TBP				% 40 TBP			
	Cr		Ni		Cr		Ni		Cr		Ni	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	0,8	0,002	1,3	0,003	0,4	0,001	0,3	0,000	2,8	0,007	1,8	0,004
1	94,0	0,229	1,4	0,003	63,5	0,152	0,5	0,001	53,5	0,145	1,5	0,003
2	123,8	0,302	1,3	0,002	83,8	0,200	0,3	0,000	75,5	0,204	1,8	0,004
3	162,0	0,395	1,4	0,003	106,5	0,254	0,5	0,001	99,3	0,268	1,8	0,004
4	222,5	0,543	2,8	0,005	143,5	0,343	1,0	0,002	123,0	0,332	4,0	0,009
5	241,0	0,588	3,3	0,006	166,5	0,398	0,5	0,001	130,0	0,351	3,5	0,007
6	250,0	0,610	3,2	0,006	176,5	0,421	0,5	0,001	156,0	0,422	3,0	0,006
7	289,0	0,705	5,0	0,010	200,5	0,479	2,0	0,004	169,5	0,458	3,5	0,007
8	346,0	0,844	6,8	0,013	241,3	0,576	2,5	0,005	219,0	0,592	8,0	0,017



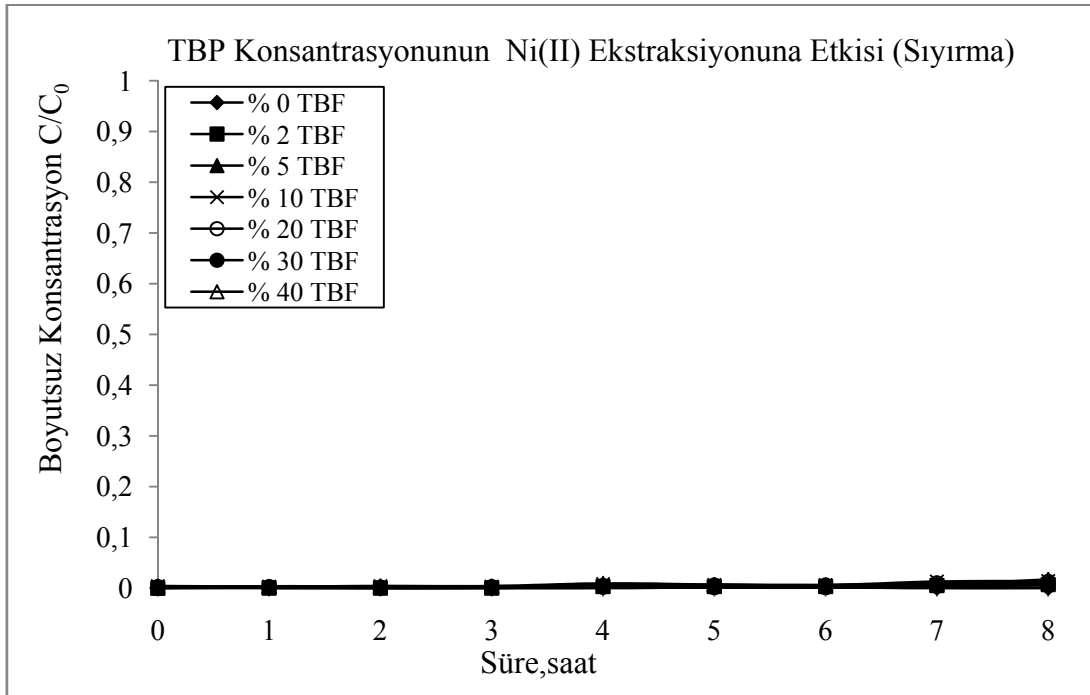
Şekil 6.19. Tribütül fosfat (TBP) konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: Kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



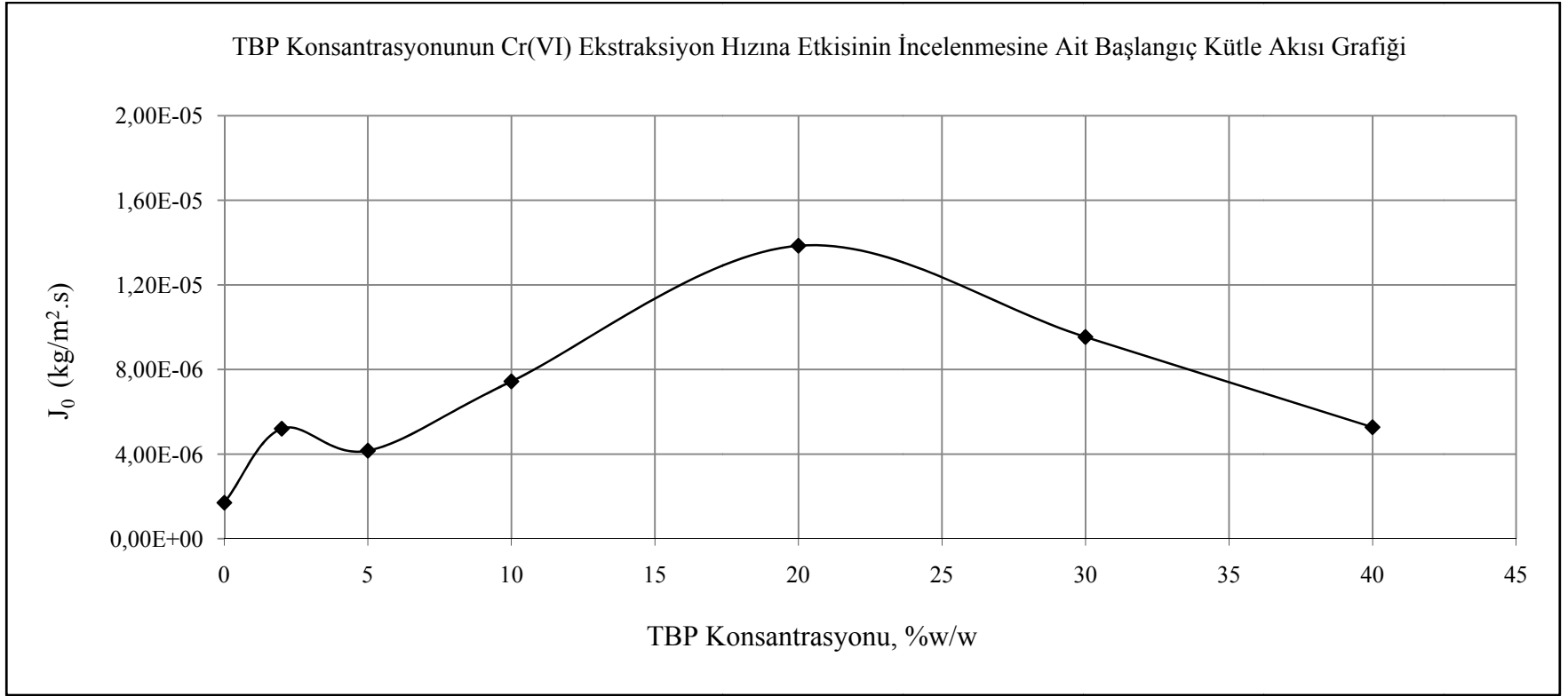
Şekil 6.20. Tribütül fosfat (TBP) konsantrasyonunun Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: Kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



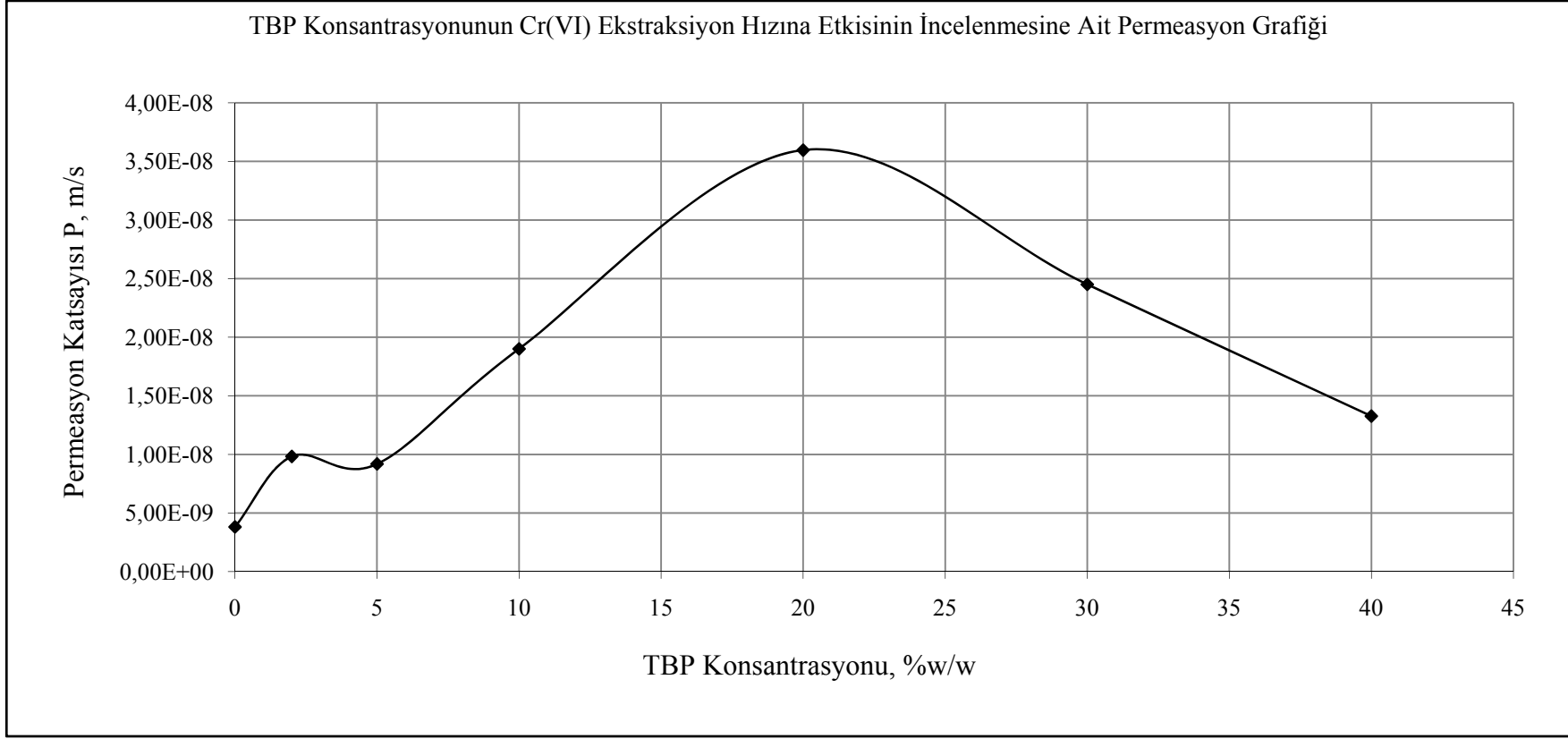
Şekil 6.21. Tribütül fosfat (TBP) konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma): (Çözücü: Kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



Şekil 6.22. Tribütül fosfat (TBP) konsantrasyonunun Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma): (Çözücü: Kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



Şekil 6.23. Tribütül fosfat (TBP) konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi başlangıç kütle akısı ( $J_0$ ): (Çözücü: Kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



Şekil 6.24. Tribütül fosfat (TBP) konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi permeasyon katsayısı (P): (Çözücü: Kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

Tablo 6.10. Sıyırma çözeltisi (NaOH) konsantrasyonunun Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: %75 w/w Kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

NaOH Konsantrasyonunun Cr (IV) ve Ni (II) ekstraksiyonuna etkisi (Besleme)												
Süre (saat)	% 0 NaOH				% 1 NaOH				% 2 NaOH			
	Cr		Ni		Cr		Ni		Cr		Ni	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	390,0	1,000	510,0	1,000	411,5	1,000	501,3	1,000	390,0	1,000	490,0	1,000
1	357,5	0,917	502,5	0,985	356,5	0,866	502,5	1,002	360,0	0,923	497,5	1,015
2	285,0	0,731	500,0	0,980	340,0	0,826	500,0	0,997	310,0	0,795	485,0	0,990
3	258,0	0,662	490,0	0,961	312,5	0,759	497,0	0,991	267,5	0,686	487,5	0,995
4	232,0	0,595	493,0	0,967	296,6	0,721	497,1	0,992	182,0	0,467	489,0	0,998
5	211,0	0,541	493,0	0,967	270,5	0,657	496,3	0,990	101,0	0,259	488,0	0,996
6	180,0	0,462	492,0	0,965	265,5	0,645	494,5	0,986	92,0	0,236	488,0	0,996
7	151,0	0,387	491,0	0,963	255,0	0,620	490,4	0,978	81,0	0,208	486,0	0,992
8	148,0	0,379	491,0	0,963	244,5	0,594	492,5	0,982	78,0	0,200	485,0	0,990
P (m/s)	12,880x10 <sup>-6</sup>				7,35x10 <sup>-6</sup>				21,680x10 <sup>-6</sup>			
J <sub>o</sub> (kg/m <sup>2</sup> .s)	5,072x10 <sup>-6</sup>				2,577x10 <sup>-6</sup>				9,239x10 <sup>-6</sup>			



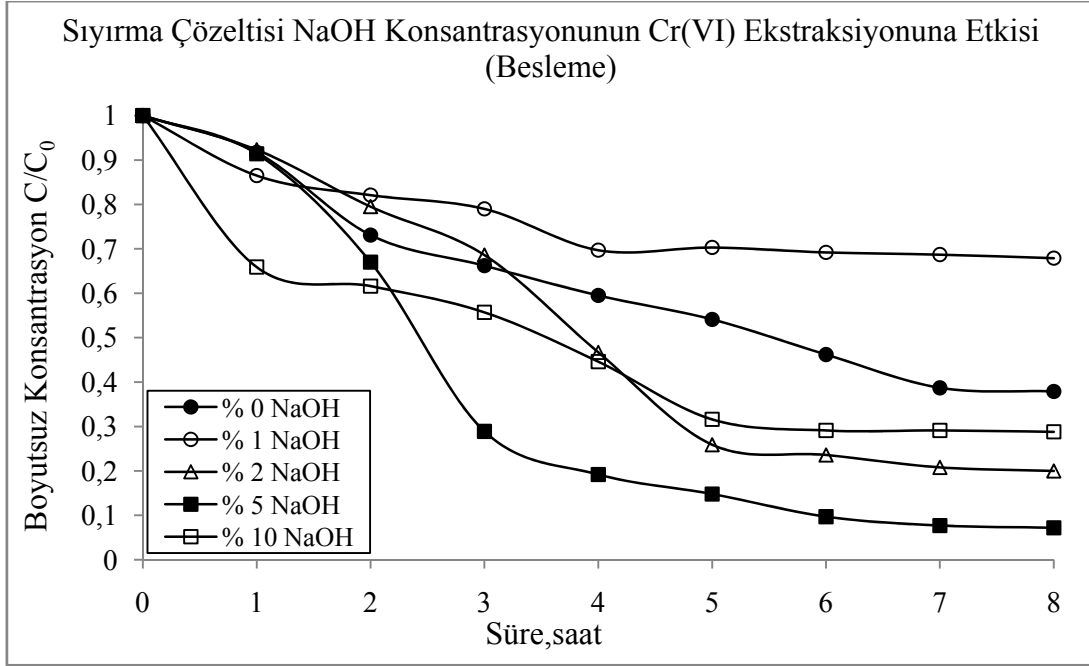
Tablo 6.10. (Devam) Sıyırma çözeltisi (NaOH) konsantrasyonunun Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: %75 w/w Kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

NaOH Konsantrasyonunun Cr (IV) ve Ni (II) ekstraksiyonuna etkisi (Besleme)								
Süre (saat)	% 5 NaOH				% 10 NaOH			
	Cr		Ni		Cr		Ni	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	391,0	1,000	499,0	1,000	370,0	1,000	512,5	1,000
1	357,5	0,914	497,5	0,997	244,0	0,659	495,0	0,966
2	262,0	0,670	498,0	0,998	228,0	0,616	493,0	0,962
3	113,0	0,289	496,0	0,994	206,0	0,557	491,0	0,958
4	75,0	0,192	495,0	0,992	165,0	0,446	490,0	0,956
5	58,0	0,148	495,0	0,992	117,0	0,316	491,0	0,958
6	38,0	0,097	493,0	0,988	107,5	0,291	490,0	0,956
7	30,0	0,077	491,0	0,984	107,5	0,291	488,0	0,952
8	28,0	0,072	485,0	0,972	106,5	0,288	483,0	0,942
P (m/s)	36,350x10 <sup>-6</sup>				18,370x10 <sup>-6</sup>			
J <sub>o</sub> (kg/m <sup>2</sup> .s)	15,406x10 <sup>-6</sup>				5,881x10 <sup>-6</sup>			

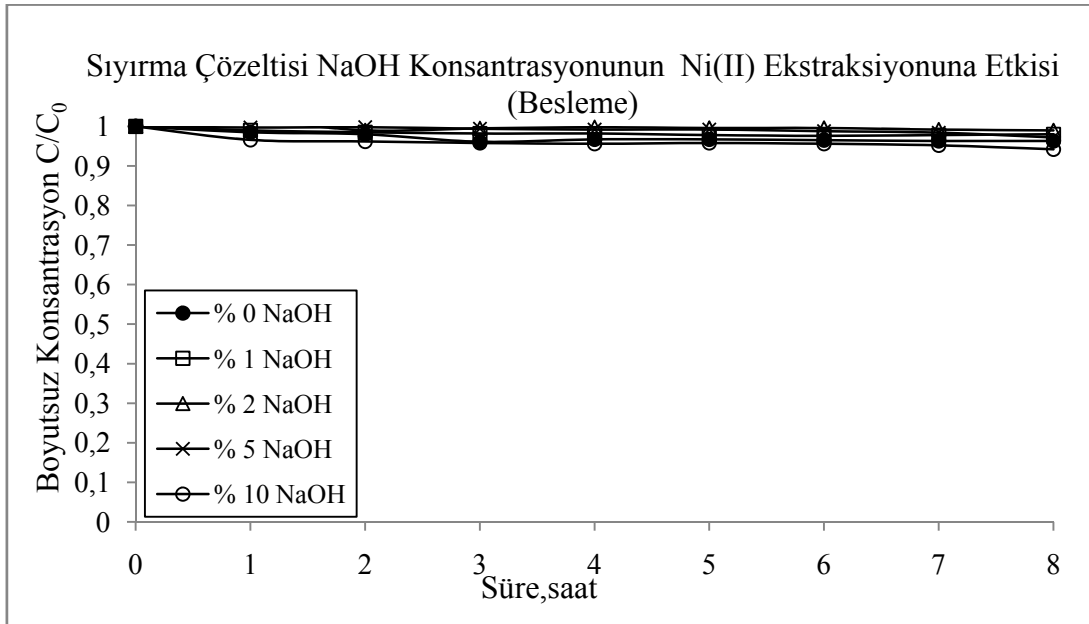
Tablo 6.11. Sıyırma çözeltisi (NaOH) konsantrasyonunun Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma): (Çözücü: %75 w/w Kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

NaOH Konsantrasyonunun Cr (IV) ve Ni (II) ekstraksiyonuna etkisi (Sıyırma)												
Süre (saat)	% 0 NaOH				% 1 NaOH				% 2 NaOH			
	Cr		Ni		Cr		Ni		Cr		Ni	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	2,3	0,006	1,8	0,003	3,5	0,009	1,5	0,003	1,5	0,004	1,8	0,004
1	15,3	0,039	2,3	0,004	34,6	0,097	2,2	0,004	24,8	0,063	2,3	0,005
2	50,0	0,128	2,0	0,004	53,3	0,157	3,5	0,007	44,5	0,114	2,5	0,005
3	75,0	0,192	2,8	0,006	65,5	0,210	3,4	0,007	117,0	0,300	2,5	0,005
4	86,5	0,222	4,5	0,009	81,0	0,273	4,0	0,008	163,0	0,418	6,5	0,013
5	109,0	0,279	4,5	0,009	99,5	0,368	3,6	0,007	175,0	0,449	6,0	0,012
6	130,5	0,335	5,5	0,011	102,5	0,386	4,1	0,008	185,5	0,476	6,5	0,013
7	186,0	0,477	5,5	0,011	120,3	0,472	4,5	0,009	240,0	0,615	5,5	0,011
8	223,0	0,572	10,0	0,020	131,2	0,537	4,4	0,009	306,0	0,785	14,0	0,029

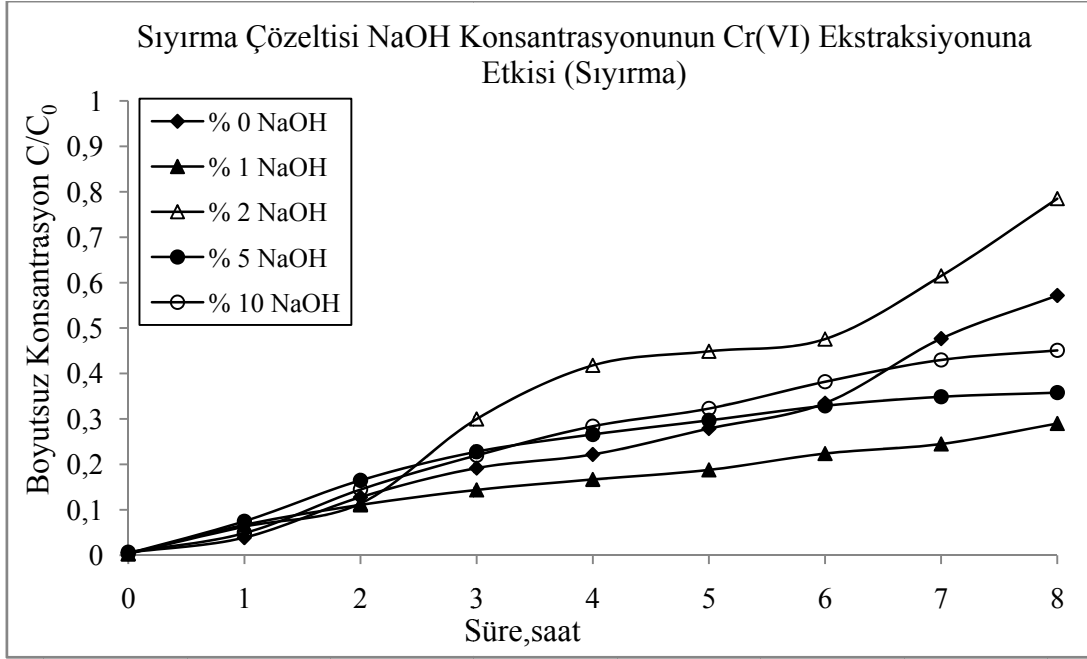
NaOH Konsantrasyonunun Cr (IV) ve Ni (II) ekstraksiyonuna etkisi (Sıyırma)								
Süre (saat)	% 5 NaOH				% 10 NaOH			
	Cr		Ni		Cr		Ni	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	1,5	0,004	0,5	0,001	2,5	0,007	0,5	0,001
1	29,3	0,075	0,8	0,002	18,0	0,049	0,5	0,001
2	64,5	0,165	1,8	0,004	53,5	0,145	1,3	0,002
3	89,0	0,228	2,3	0,005	81,5	0,220	1,8	0,003
4	104,0	0,266	5,0	0,010	105,0	0,284	5,5	0,011
5	116,0	0,297	6,0	0,012	119,5	0,323	5,0	0,010
6	128,5	0,329	5,5	0,011	141,5	0,382	6,0	0,012
7	136,5	0,349	6,5	0,013	159,0	0,430	4,5	0,009
8	140,0	0,358	11,0	0,022	167,0	0,451	5,5	0,011



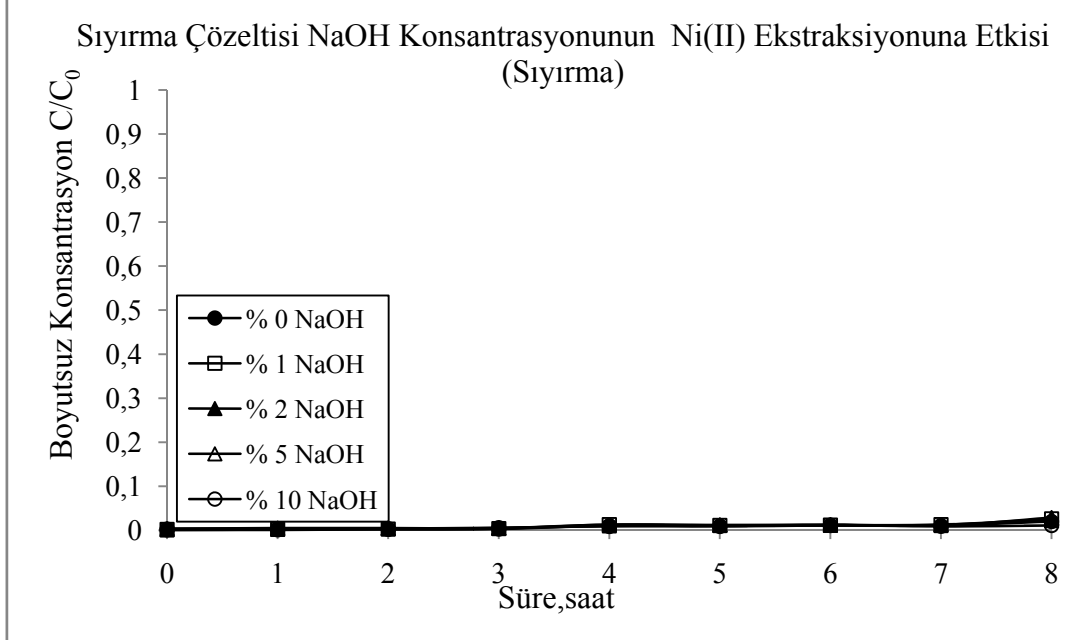
Şekil 6.25. Sıyırma çözeltisi (NaOH) konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: %75 w/w Kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



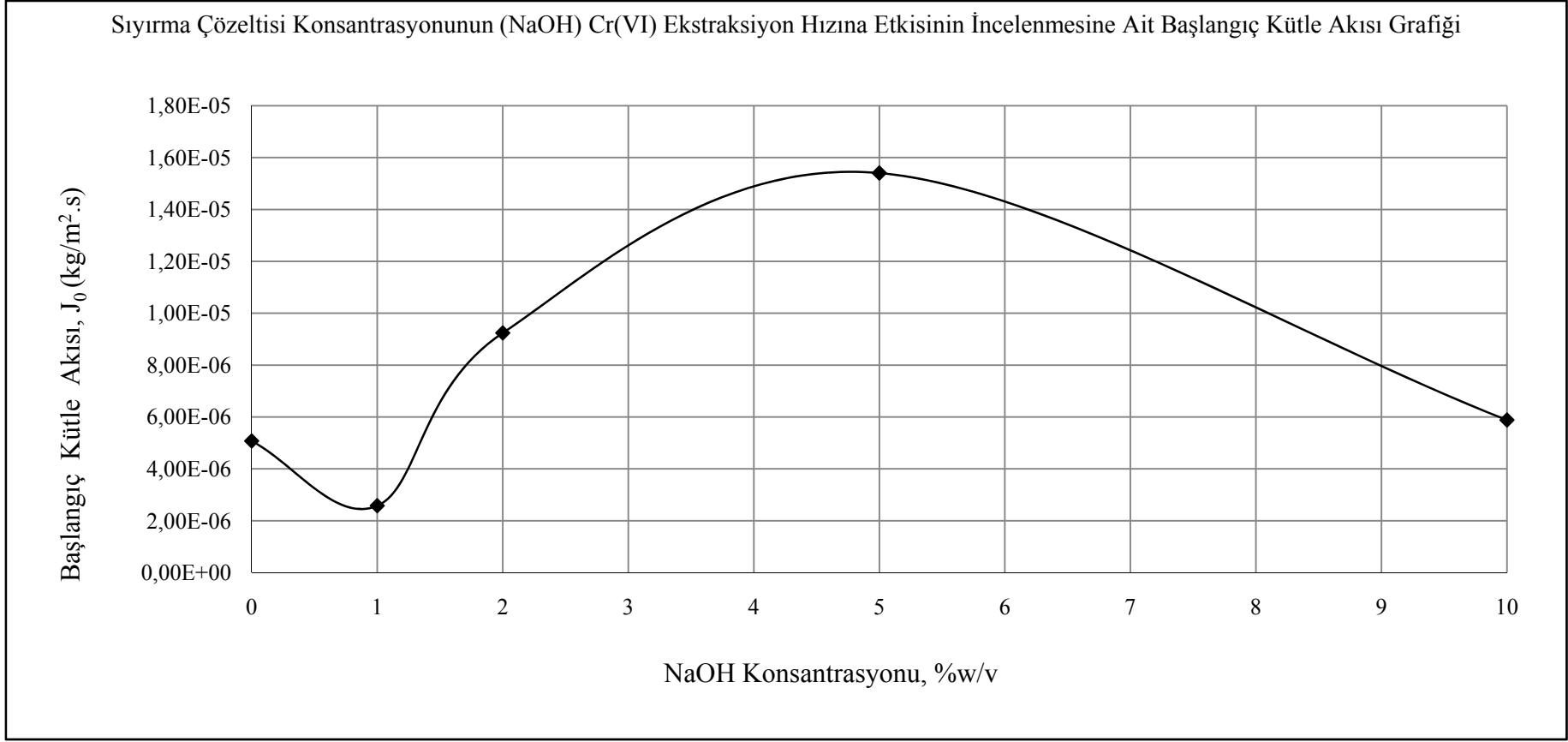
Şekil 6.26. Sıyırma çözeltisi (NaOH) konsantrasyonunun Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: %75 w/w Kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



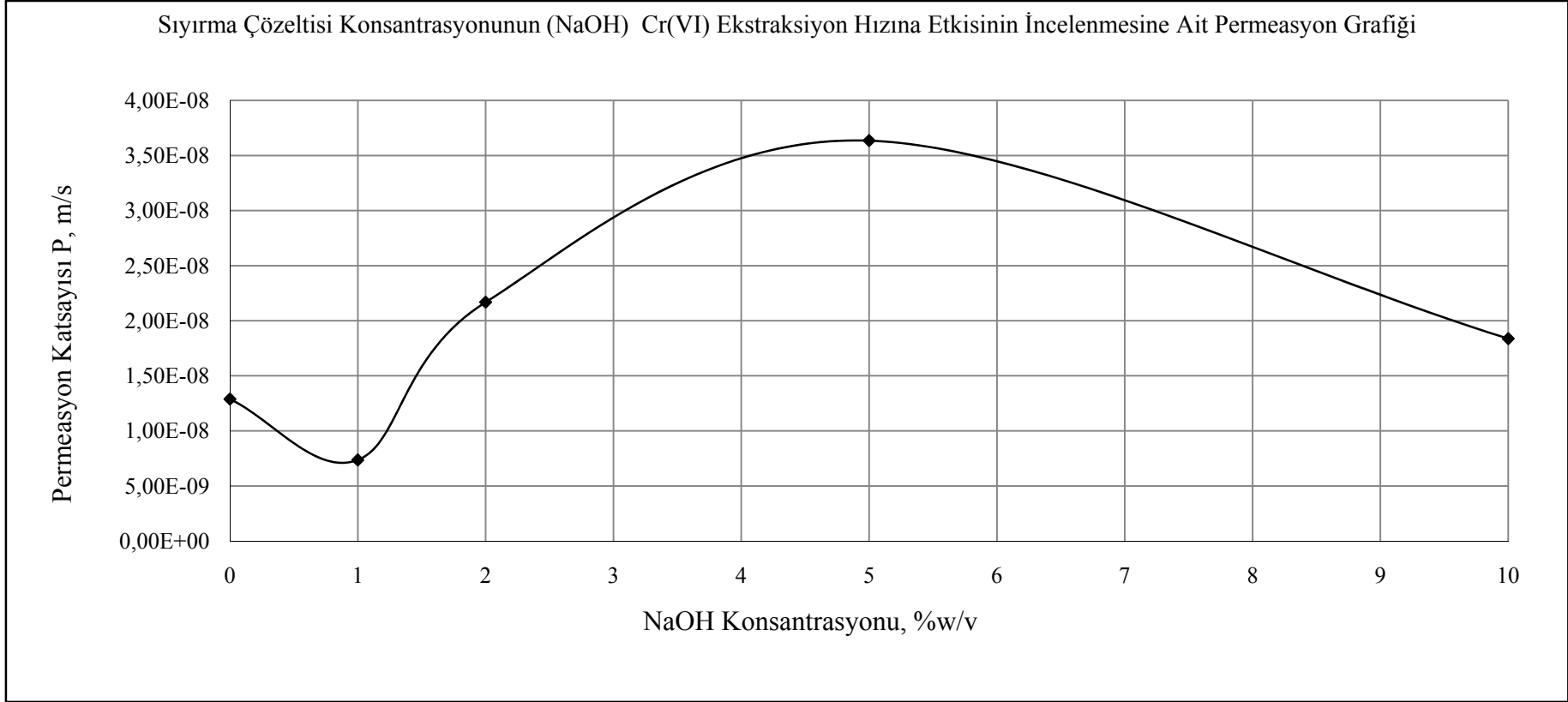
Şekil 6.27. Sıyırma çözeltisi (NaOH) konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma): (Çözücü: %75 w/w Kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Membran desteği: Celdgard 2500 (polipropilen))



Şekil 6.28. Sıyırma çözeltisi (NaOH) konsantrasyonunun Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma): (Çözücü: %75 w/w Kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Membran desteği: Celdgard 2500 (polipropilen))



Şekil 6.29. Sıyırma çözeltisi (NaOH) konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi başlangıç kütle akısı ( $J_0$ ): (Çözücü: %75 w/w Kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



Şekil 6.30. Sıyırma çözeltisi (NaOH) konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna permeasyon katsayısı (P): (Çözücü: %75 w/w Kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

Tablo 6.12. Sıcaklık değişiminin Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: % 90 w/w kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; %5 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:2,0; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

Sıcaklık değişiminin Cr (IV) ve Ni (II) ekstraksiyonuna etkisi (Besleme)												
Süre (saat)	20 °C				25 °C				30 °C			
	Cr		Ni		Cr		Ni		Cr		Ni	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	395,0	1,000	495,0	1,000	399,0	1,000	499,0	1,000	397,0	1,000	497,0	1,000
1	386,0	0,977	491,0	0,992	382,0	0,957	494,0	0,990	289,0	0,728	497,0	1,000
2	373,0	0,944	488,0	0,986	343,0	0,860	493,0	0,988	251,0	0,632	496,0	0,998
3	329,0	0,833	489,0	0,988	309,0	0,774	489,0	0,980	237,0	0,597	497,0	1,000
4	295,0	0,747	490,0	0,990	280,0	0,702	489,0	0,980	223,0	0,562	495,0	0,996
5	268,0	0,678	488,0	0,986	261,0	0,654	488,0	0,978	199,0	0,501	495,0	0,996
6	233,0	0,590	486,0	0,982	230,0	0,576	489,0	0,980	189,0	0,476	494,0	0,994
7	231,5	0,586	485,0	0,980	221,0	0,554	490,0	0,982	187,0	0,471	493,0	0,992
8	229,5	0,581	483,0	0,976	217,5	0,545	488,0	0,978	184,5	0,465	490,0	0,986
P(m/s)	7,415x10 <sup>-6</sup>				8,354x10 <sup>-6</sup>				12,020x10 <sup>-6</sup>			
J <sub>0</sub> (kg/m <sup>2</sup> .s)	3,785x10 <sup>-6</sup>				4,499x10 <sup>-6</sup>				7,290x10 <sup>-6</sup>			

Tablo 6.12. (Devam) Sıcaklık değişiminin Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: % 90 w/w kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; %5 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:2,0; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

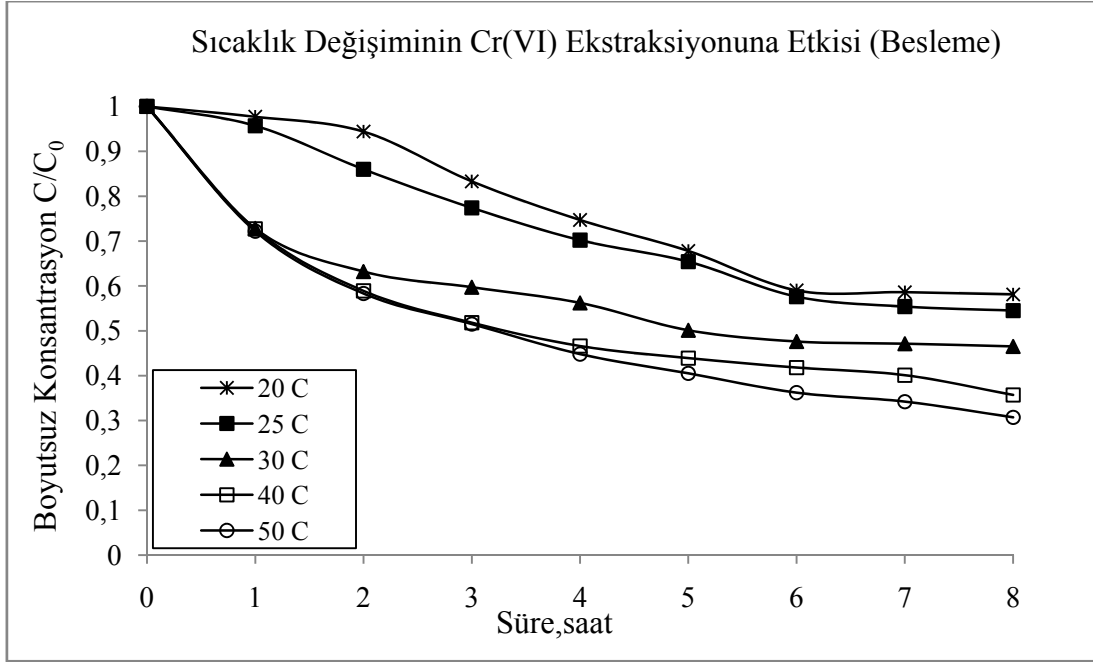
Sıcaklık değişiminin Cr (IV) ve Ni (II) ekstraksiyonuna etkisi (Besleme)								
Süre (saat)	40 °C				50 °C			
	Cr		Ni		Cr		Ni	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	392,0	1,000	497,0	1,000	396,0	1,000	496,0	1,000
1	285,0	0,727	495,0	0,996	286,0	0,722	495,0	0,998
2	231,0	0,589	491,0	0,988	231,0	0,583	495,0	0,998
3	203,0	0,518	491,0	0,988	204,0	0,515	493,0	0,994
4	182,5	0,466	490,0	0,986	177,5	0,448	492,0	0,992
5	172,0	0,439	489,0	0,984	160,5	0,405	492,0	0,992
6	164,0	0,418	486,0	0,978	143,5	0,362	490,0	0,988
7	157,0	0,401	487,0	0,980	135,5	0,342	489,0	0,986
8	140,0	0,357	485,0	0,976	121,5	0,307	488,0	0,984
P(m/s)	14,976x10 <sup>-6</sup>				16,844x10 <sup>-6</sup>			
J <sub>0</sub> (kg/m <sup>2</sup> .s)	8,726x10 <sup>-6</sup>				9,246x10 <sup>-6</sup>			



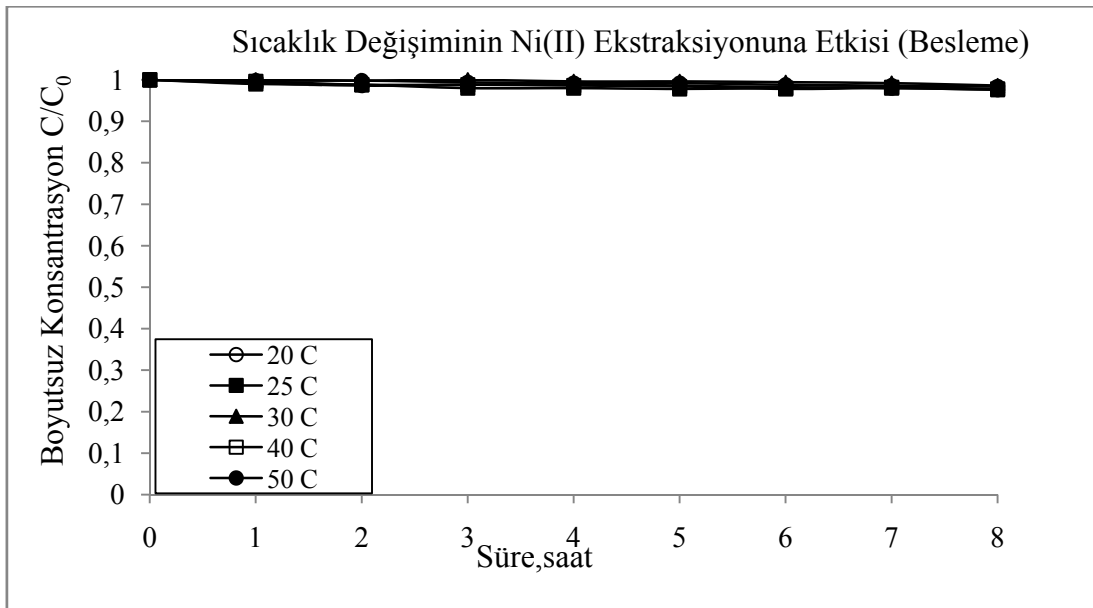
Tablo 6.13. Sıcaklık değişiminin Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma): (Çözücü: % 90 w/w kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; %5 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:2,0; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

Sıcaklık değişiminin Cr (IV) ve Ni (II) ekstraksiyonuna etkisi (Sıyırma)												
Süre (saat)	20 °C				25 °C				30 °C			
	Cr		Ni		Cr		Ni		Cr		Ni	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000
1	20,8	0,053	1,5	0,003	35,5	0,089	1,8	0,004	81,8	0,206	1,0	0,002
2	56,0	0,142	2,0	0,004	67,0	0,168	2,3	0,005	106,3	0,268	1,5	0,003
3	74,8	0,189	3,0	0,006	89,3	0,224	2,5	0,005	117,5	0,296	1,5	0,003
4	85,5	0,216	3,5	0,007	109,0	0,273	2,5	0,005	132,5	0,334	4,0	0,008
5	89,0	0,225	3,0	0,006	123,0	0,308	3,0	0,006	154,5	0,389	4,5	0,009
6	98,5	0,249	3,3	0,007	144,0	0,361	3,2	0,006	169,0	0,426	4,5	0,009
7	99,0	0,251	3,3	0,007	165,0	0,414	3,3	0,007	180,0	0,453	5,0	0,010
8	110,5	0,280	6,5	0,013	169,5	0,425	5,5	0,011	184,0	0,463	6,5	0,013

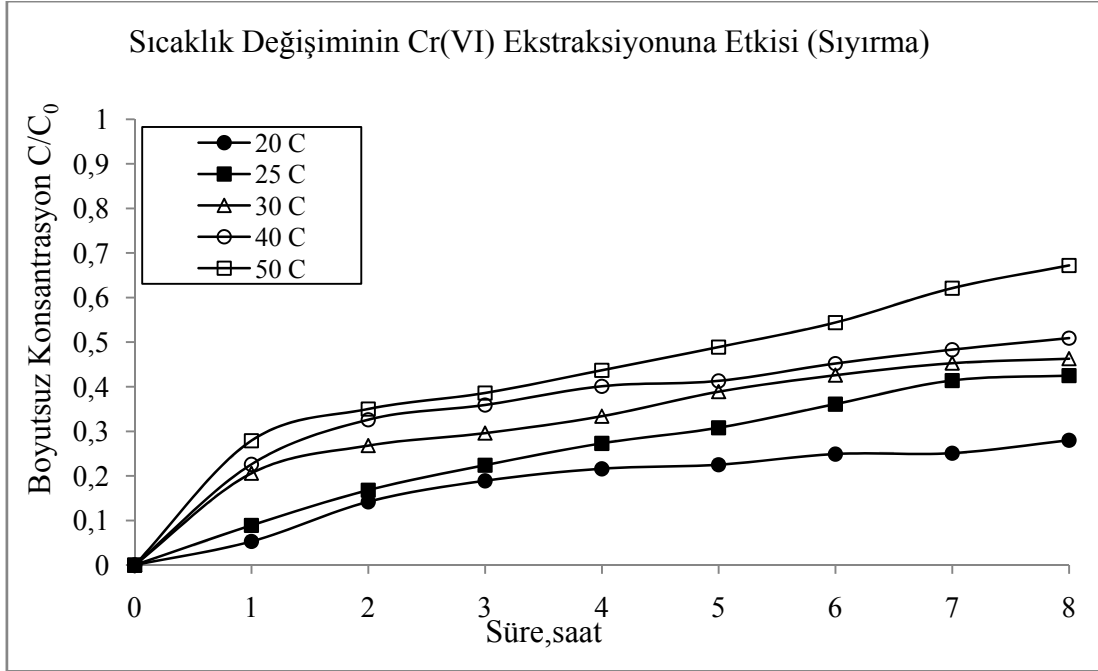
Sıcaklık değişiminin Cr (IV) ve Ni (II) ekstraksiyonuna etkisi (Sıyırma)								
Süre (saat)	40 °C				50 °C			
	Cr		Ni		Cr		Ni	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000
1	88,8	0,226	2,5	0,005	110,5	0,279	1,5	0,003
2	127,8	0,326	3,8	0,008	138,5	0,350	2,0	0,004
3	140,8	0,359	4,0	0,008	153,0	0,386	2,0	0,004
4	157,0	0,401	9,0	0,018	173,0	0,437	4,5	0,009
5	162,0	0,413	8,0	0,016	193,5	0,489	5,5	0,011
6	177,0	0,452	9,5	0,019	215,5	0,544	6,5	0,013
7	189,5	0,483	9,9	0,020	246,0	0,621	7,0	0,014
8	199,5	0,509	11,0	0,022	266,0	0,672	12,0	0,024



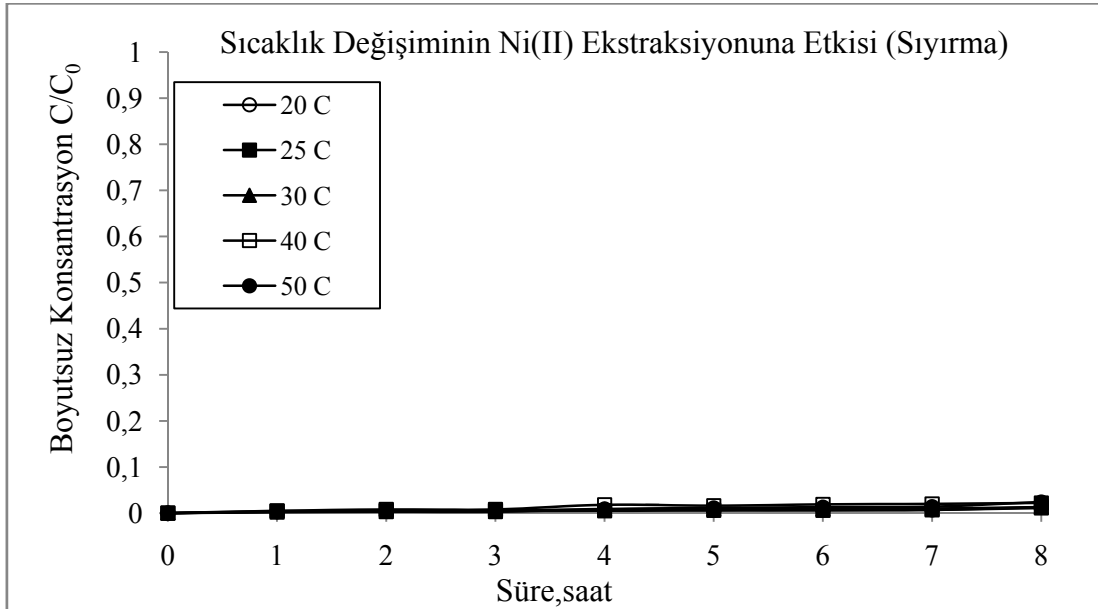
Şekil 6.31. Sıcaklık değişiminin Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: % 90 w/w kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; %5 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:2,0; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



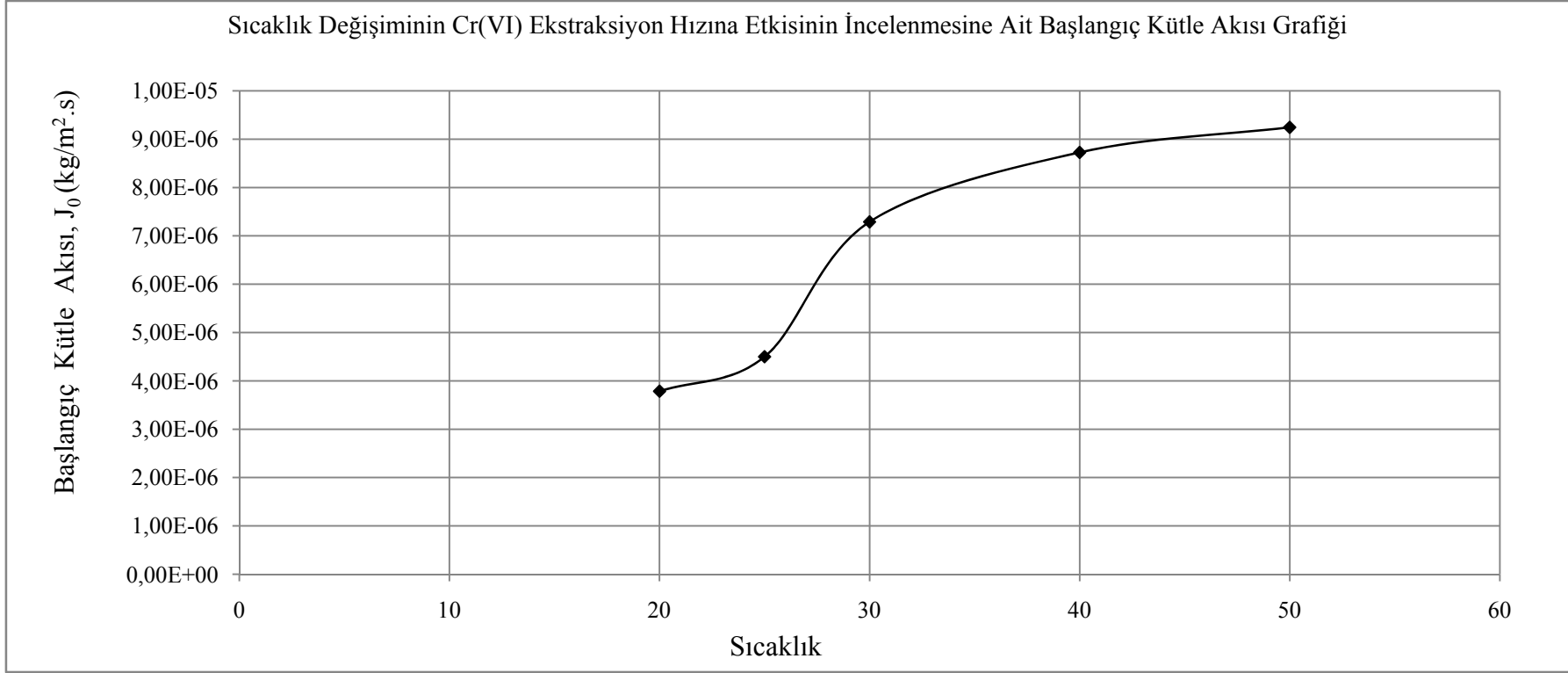
Şekil 6.32. Sıcaklık değişiminin Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: % 90 w/w kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; %5 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:2,0; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



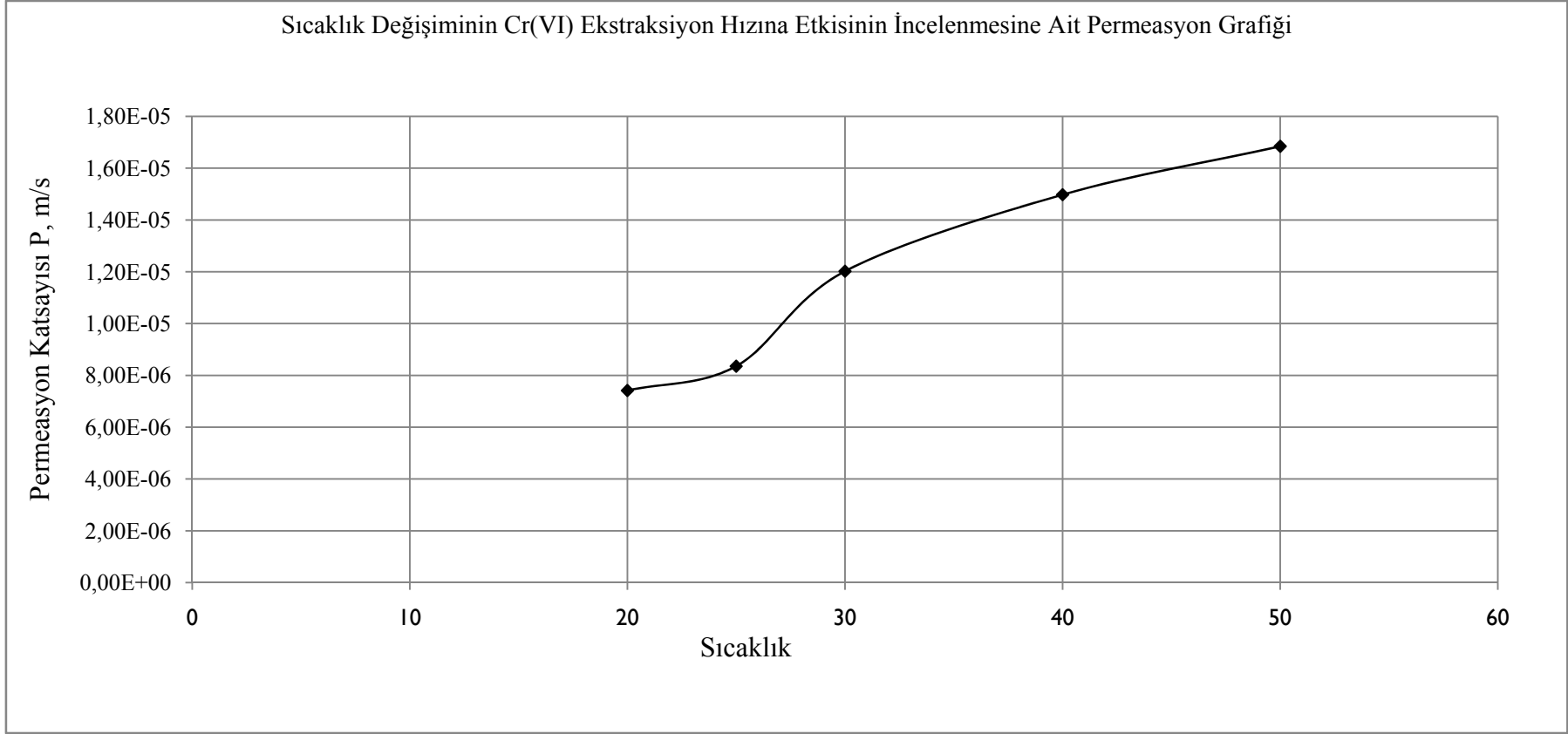
Şekil 6.33. Sıcaklık değişiminin Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma): (Çözücü: % 90 w/w kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; %5 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:2,0; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



Şekil 6.34. Sıcaklık değişiminin Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma): (Çözücü: % 90 w/w kloroform; Ekstraktant: % 5 w/w Alamine 300; %5 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:2,0; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



Şekil 6.35. Sıcaklık değişiminin Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi başlangıç kütle akısı: (Çözücü: Kloroform %10 w/w; Ekstraktant: Alamine 300 %5 w/w; %5 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:2,0; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



Şekil 6.36. Sıcaklık değişiminin Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi permeasyon katsayısı: (Çözücü: Kloroform %10 w/w; Ekstraktant: Alamine 300 %5 w/w; %5 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:2,0; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

Tablo 6.14. Optimum şartlarda ; besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: %70 w/w Kloroform Ekstraktant: % 10 Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

Besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr (IV) ve Ni (II) ekstraksiyonuna etkisi (Besleme)																
Süre (saat)	100ppm Cr+500ppm Ni				200ppm Cr+500ppm Ni				400ppm Cr+500ppm Ni				600ppm Cr+500ppm Ni			
	Cr		Ni		Cr		Ni		Cr		Ni		Cr		Ni	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	91,0	1,000	485,4	1,000	193,4	1,000	495,0	1,000	394,1	1,000	509,5	1,000	589,6	1,000	501,3	1,000
1	85,5	0,940	488,7	1,007	182,5	0,944	498,5	1,007	345,0	0,875	503,7	0,989	587,7	0,997	498,0	0,993
2	77,5	0,852	489,0	1,007	171,5	0,887	494,0	0,998	335,5	0,851	505,0	0,991	571,1	0,969	490,5	0,978
3	53,4	0,587	487,2	1,004	152,9	0,791	486,5	0,983	312,0	0,792	497,5	0,976	464,3	0,788	495,0	0,987
4	40,5	0,445	487,6	1,005	88,5	0,458	480,6	0,971	248,3	0,630	487,3	0,956	349,4	0,593	493,0	0,983
5	30,1	0,331	487,2	1,004	69,1	0,413	484,5	0,979	201,0	0,510	485,5	0,953	317,2	0,538	491,7	0,981
6	14,5	0,159	481,0	0,991	52,8	0,324	481,8	0,973	178,0	0,452	480,5	0,943	318,3	0,540	485,1	0,968
7	15,0	0,165	482,6	0,994	13,5	0,070	480,6	0,971	183,3	0,465	482,5	0,947	317,8	0,539	486,5	0,970
8	14,3	0,157	480,4	0,990	1,5	0,008	485,5	0,981	177,2	0,450	483,8	0,950	283,9	0,481	485,5	0,968
P m/s	24,248x10 <sup>-6</sup>				35,751x10 <sup>-6</sup>				11,276x10 <sup>-6</sup>				9,781x10 <sup>-6</sup>			
J <sub>0</sub> kg/m <sup>2</sup> .s	2,4807x10 <sup>-6</sup>				21,9133x10 <sup>-6</sup>				4,5207x10 <sup>-6</sup>				6,5307x10 <sup>-6</sup>			

Tablo 6.14. (Devam) Optimum şartlarda ; besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: %70 w/w Kloroform Ekstraktant: % 10 Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

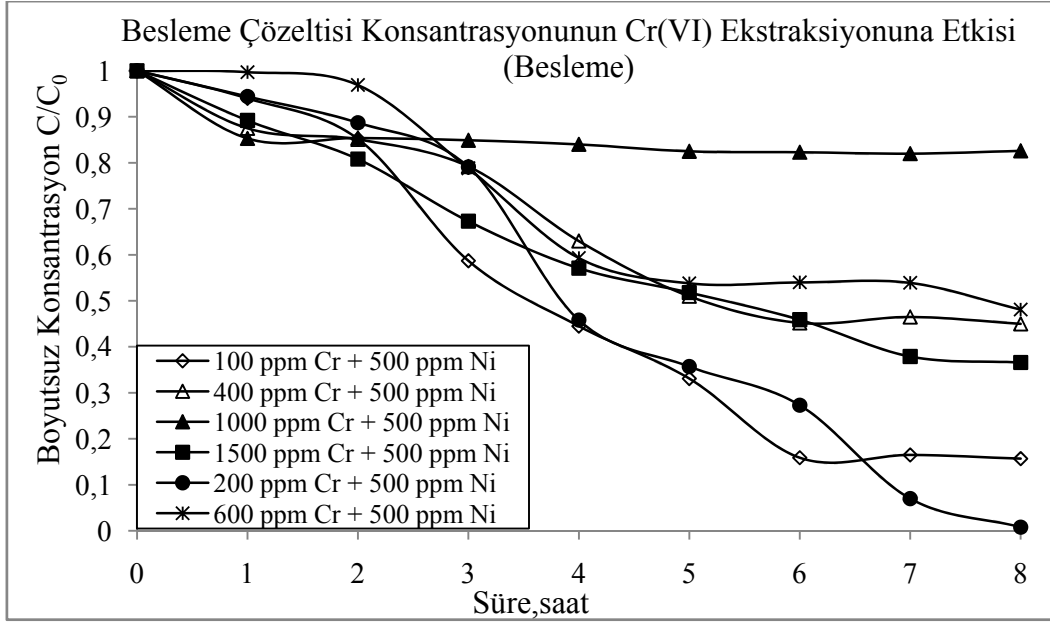
Besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr (IV) ve Ni (II) ekstraksiyonuna etkisi (Besleme)								
Süre (saat)	1000ppm Cr+500ppm Ni				1500ppm Cr+500ppm Ni			
	Cr		Ni		Cr		Ni	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	909,0	1,000	495,1	1,000	1101,0	1,000	505,5	1,000
1	775,0	0,853	498,5	1,007	982,0	0,892	501,0	0,991
2	776,0	0,854	489,5	0,989	890,0	0,808	495,5	0,980
3	772,0	0,849	489,2	0,988	741,0	0,673	498,2	0,986
4	763,5	0,840	485,0	0,980	629,0	0,571	495,0	0,979
5	750,0	0,825	484,2	0,978	570,5	0,518	489,5	0,968
6	748,0	0,823	480,0	0,970	505,5	0,459	485,6	0,961
7	745,0	0,820	481,6	0,973	417,0	0,379	489,0	0,967
8	750,5	0,826	480,5	0,971	403,0	0,366	485,5	0,960
P (m/s)	3,308x10 <sup>-6</sup>				13,189x10 <sup>-6</sup>			
J <sub>o</sub> (kg/m <sup>2</sup> .s)	1,3695x10 <sup>-6</sup>				14,8810x10 <sup>-6</sup>			

Tablo 6.15. Optimum şartlarda ; besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma): (Çözücü: %70 w/w Kloroform Ekstraktant: % 10 Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

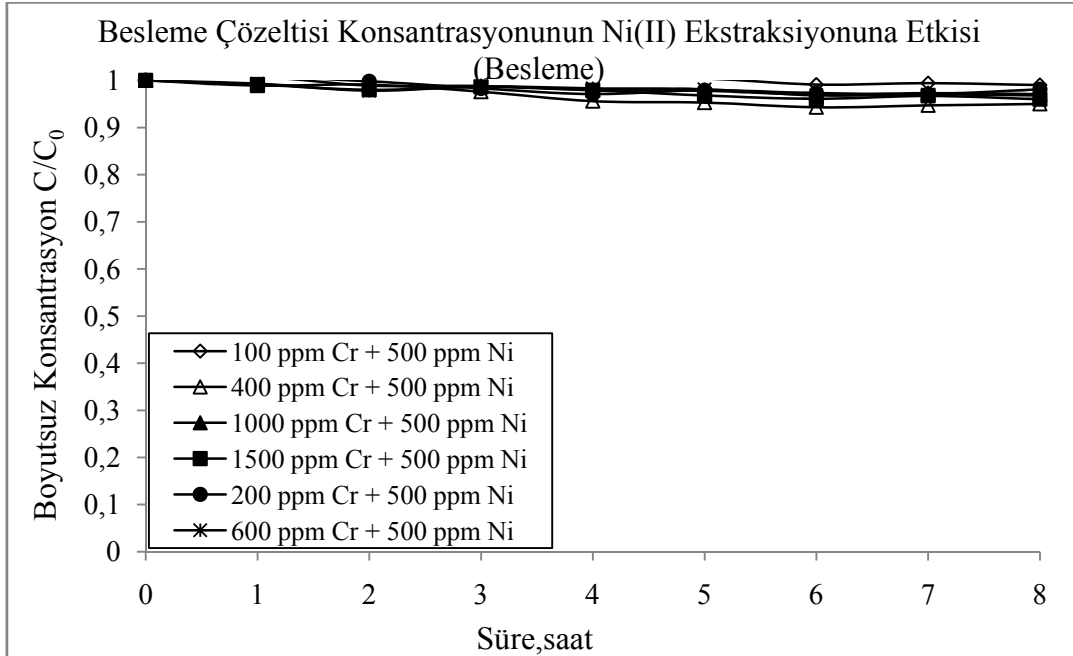
Besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr (IV) ve Ni (II) ekstraksiyonuna etkisi (Sıyırma)																
Süre (saat)	100ppm Cr+500ppm Ni				200ppm Cr+500ppm Ni				400ppm Cr+500ppm Ni				600ppm Cr+500ppm Ni			
	Cr		Ni		Cr		Ni		Cr		Ni		Cr		Ni	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	0,0	0,000	1,6	0,003	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000
1	14,4	0,159	1,4	0,003	21,9	0,113	0,5	0,001	79,3	0,201	1,8	0,004	9,4	0,016	1,5	0,003
2	32,0	0,351	1,8	0,004	33,7	0,174	1,8	0,004	99,8	0,253	1,5	0,003	41,7	0,071	1,3	0,003
3	42,5	0,467	1,9	0,004	46,8	0,242	1,6	0,003	119,5	0,303	2,6	0,005	39,5	0,067	2,5	0,005
4	45,6	0,501	2,7	0,005	46,0	0,238	2,5	0,005	142,5	0,362	3,9	0,008	95,7	0,162	2,5	0,005
5	47,5	0,521	5,5	0,011	97,5	0,504	4,0	0,008	179,5	0,455	5,9	0,012	132,9	0,225	4,9	0,010
6	49,5	0,543	6,0	0,012	149,5	0,773	4,1	0,008	174,0	0,442	6,5	0,013	129,5	0,220	4,1	0,008
7	50,0	0,549	6,9	0,014	201,5	1,042	3,9	0,008	186,5	0,473	7,9	0,016	226,5	0,384	4,9	0,010
8	89,0	0,978	11,1	0,022	201,0	1,039	5,9	0,012	332,0	0,842	11,9	0,023	317,0	0,538	4,7	0,009

Besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr (IV) ve Ni (II) ekstraksiyonuna etkisi (Sıyırma Fazı)								
Süre (saat)	1000ppm Cr+500ppm Ni				1500ppm Cr+500ppm Ni			
	Cr		Ni		Cr		Ni	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	0,0	0,000	1,6	0,003	0,0	0,000	2,0	0,004
1	26,5	0,029	1,4	0,003	165,8	0,151	2,4	0,005
2	46,8	0,051	1,8	0,004	205,5	0,187	1,8	0,004
3	52,8	0,058	1,5	0,003	277,3	0,252	2,9	0,006
4	71,0	0,078	2,7	0,005	329,5	0,299	3,7	0,007
5	69,5	0,076	5,5	0,011	358,0	0,325	5,4	0,011
6	74,0	0,081	6,0	0,012	378,5	0,344	6,9	0,014
7	74,5	0,082	4,9	0,010	443,0	0,402	7,1	0,014
8	152,0	0,167	11,1	0,022	866,0	0,787	13,9	0,027

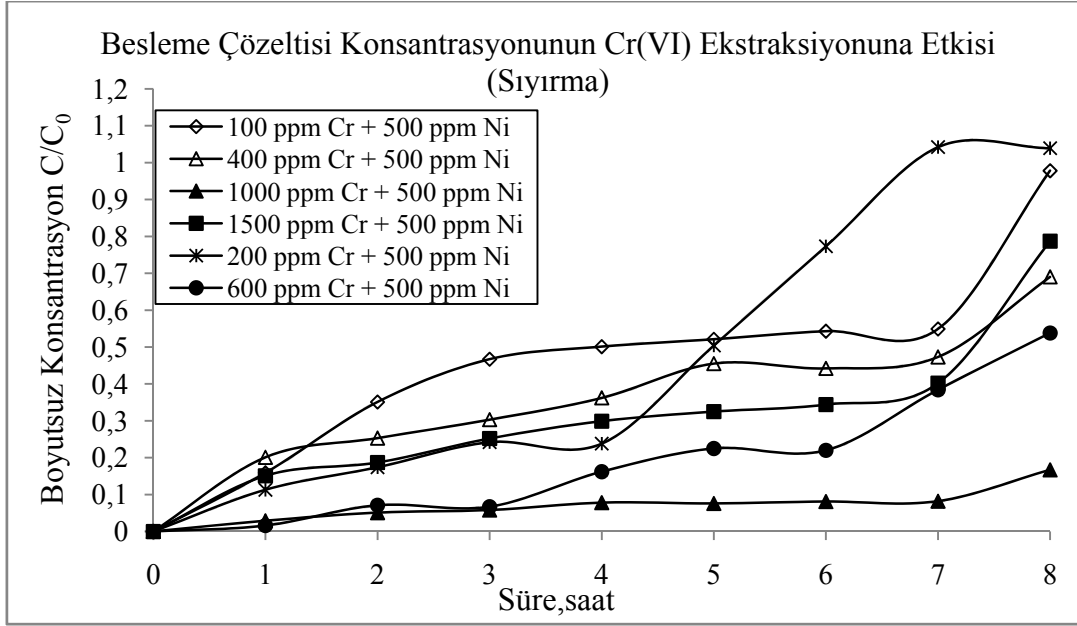




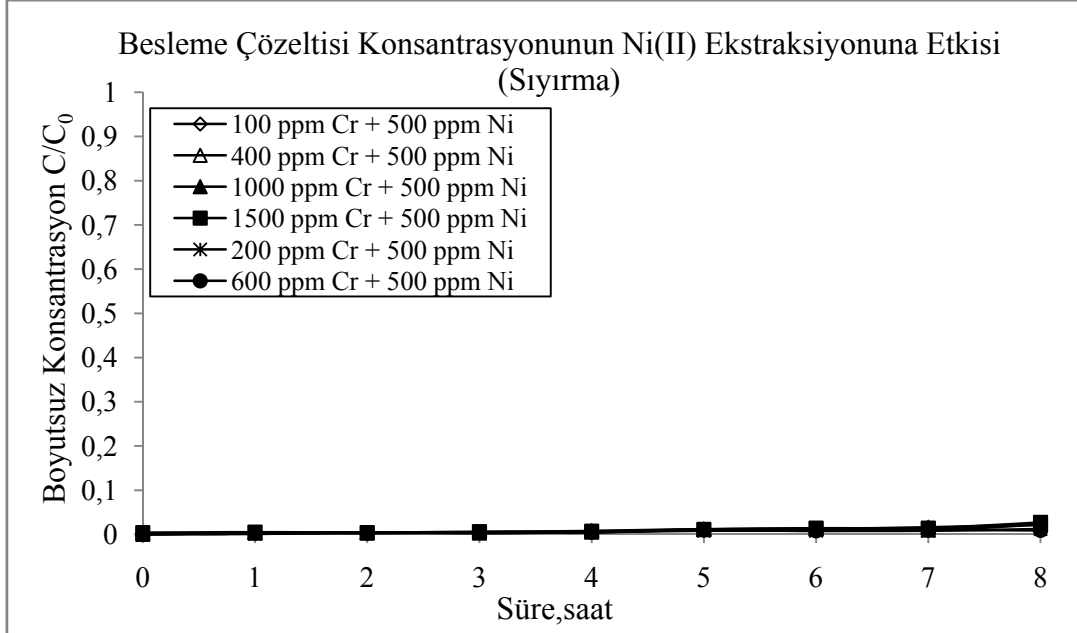
Şekil 6.37. Besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: kloroform % 70 w/w; Ekstraktant: Alamine 300 % 10 w/w ; TBP %20 w/w; Besleme çözeltisi pH:0,5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



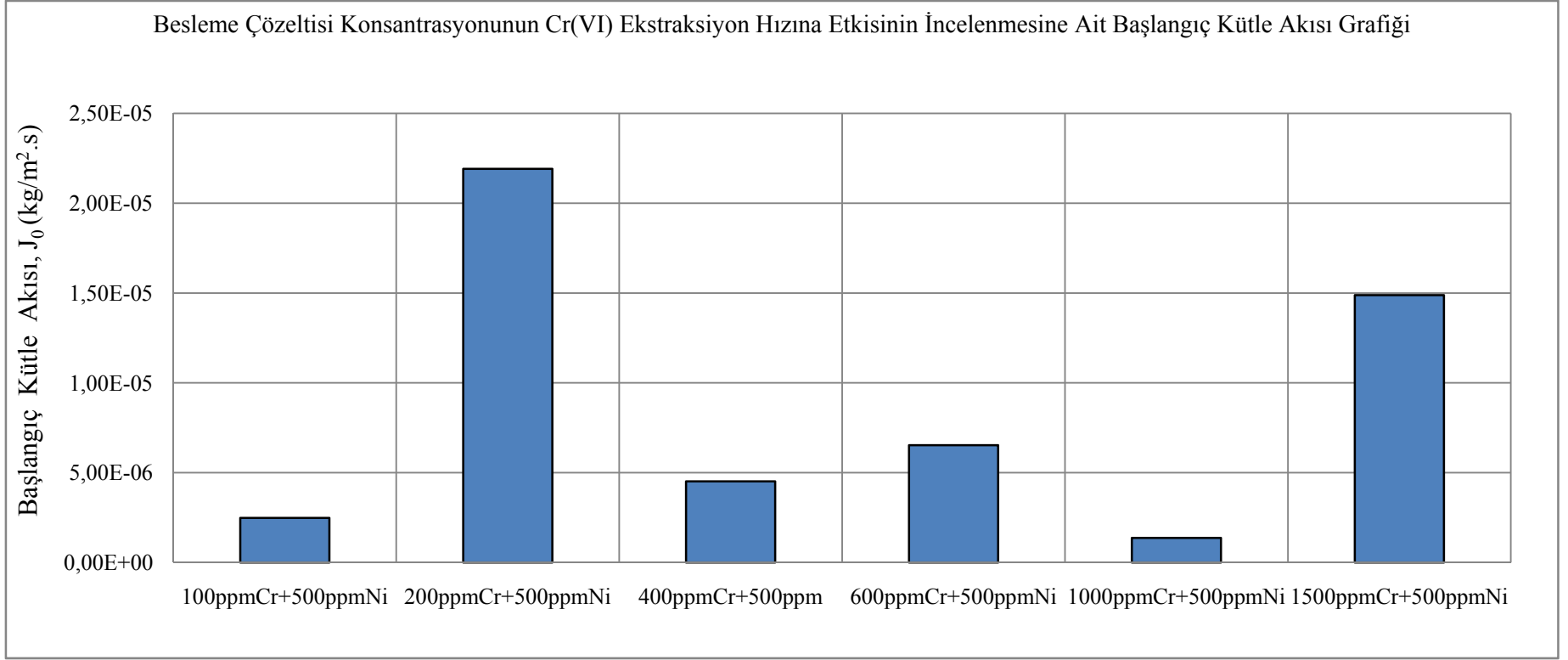
Şekil 6.38. Besleme çözeltisi konsantrasyonunun Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: kloroform % 70 w/w; Ekstraktant: Alamine 300 % 10 w/w ; TBP %20 w/w; Besleme çözeltisi pH:0,5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



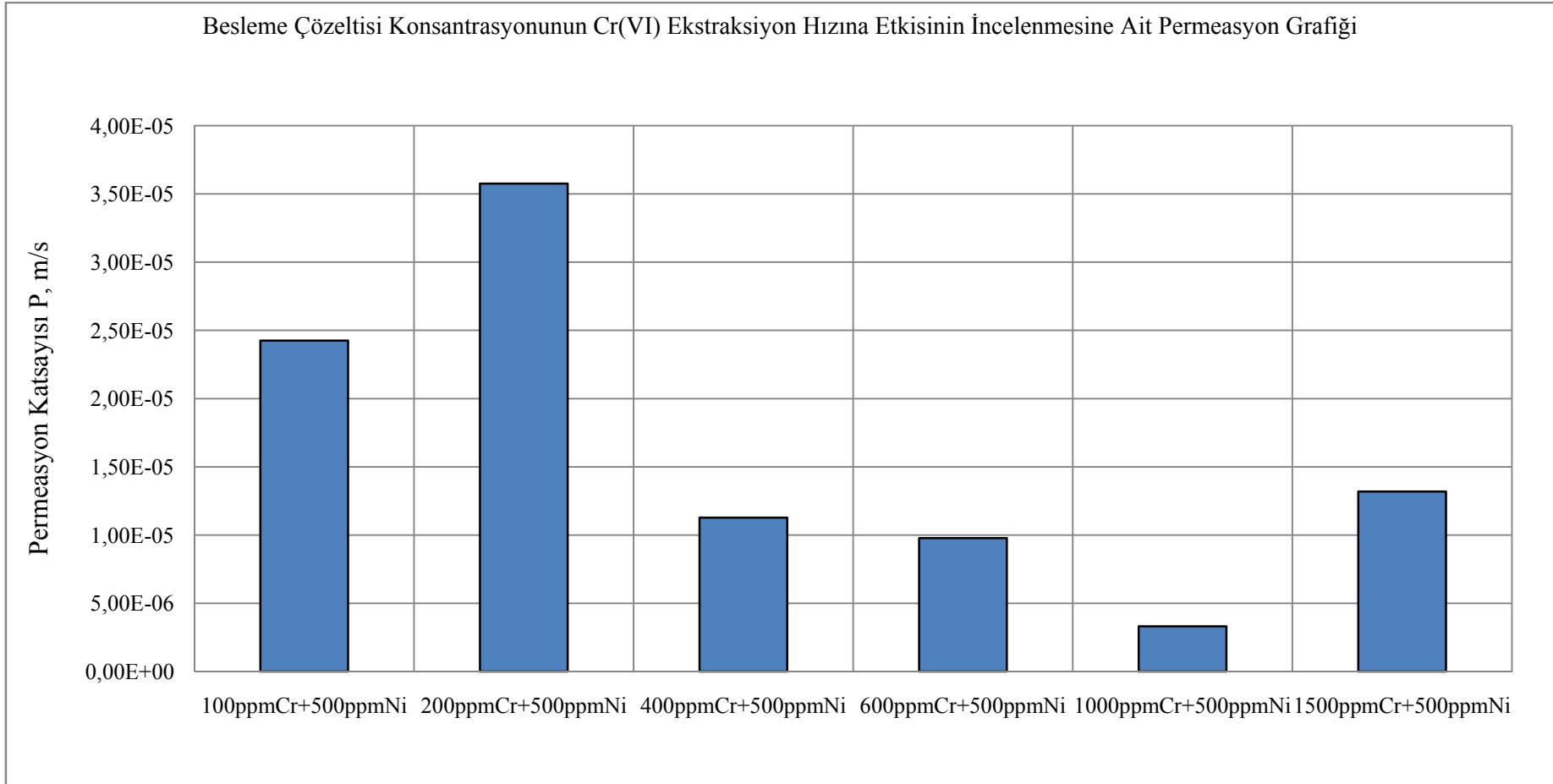
Şekil 6.39. Besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma): (Çözücü: kloroform % 70 w/w; Ekstraktant: Alamine 300 % 10 w/w ; TBP %20 w/w; Besleme çözeltisi pH:0,5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



Şekil 6.40. Besleme çözeltisi konsantrasyonunun Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma): (Çözücü: kloroform % 70 w/w; Ekstraktant: Alamine 300 % 10 w/w ; TBP %20 w/w; Besleme çözeltisi pH:0,5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



Şekil 6.41.Besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi başlangıç kütle akısı: (Çözücü: Kloroform %70 w/w; Ekstraktant: Alamine 300 %10 w/w; TBP%20 w/w; Besleme çözeltisi pH:0,5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



Şekil 6.42. Besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi permeasyon katsayısı: (Çözücü: Kloroform %70 w/w; Ekstraktant: Alamine 300 %10 w/w; TBP %20 w/w; Besleme çözeltisi pH:0,5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

Tablo 6.16. Eşit molar besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: % 70 w/w kloroform; Ekstraktant: % 10 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH'sı: 0,5; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

Eşit molar besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr (IV) ve Ni (II) ekstraksiyonuna etkisi (Besleme Fazı)												
Süre (saat)	100ppm Cr+100ppm Ni				200ppm Cr+200ppm Ni				500ppm Cr+500ppm Ni			
	Cr		Ni		Cr		Ni		Cr		Ni	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	107,0	1,000	97,0	1,000	206,5	1,000	201,0	1,000	509,0	1,000	501,5	1,000
1	96,5	0,902	96,5	0,995	194,5	0,942	200,8	0,999	485,0	0,953	499,5	0,996
2	77,5	0,724	95,9	0,989	175,0	0,847	198,9	0,990	401,0	0,788	496,0	0,989
3	70,1	0,655	94,3	0,972	135,0	0,654	198,5	0,988	365,0	0,717	498,2	0,993
4	45,2	0,422	97,5	1,005	78,5	0,380	199,0	0,990	322,2	0,633	495,8	0,989
5	43,2	0,403	98,0	1,010	74,5	0,361	198,0	0,985	314,0	0,617	490,5	0,978
6	22,0	0,205	99,5	1,026	57,5	0,278	195,5	0,973	316,5	0,622	490,6	0,978
7	16,0	0,150	97,5	1,005	17,5	0,085	195,0	0,970	261,7	0,514	489,0	0,975
8	5,0	0,046	96,0	0,990	5,0	0,024	195,8	0,974	207,5	0,408	485,5	0,968
P,(m/s)	2,830x10 <sup>-5</sup>				3,223x10 <sup>-5</sup>				1,008x10 <sup>-5</sup>			
J <sub>0</sub> ,(kg/m <sup>2</sup> .s)	0,815x10 <sup>-6</sup>				1,981x10 <sup>-6</sup>				3,117x10 <sup>-6</sup>			

Tablo 6.16. (Devam) Eşit molar besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: % 70 w/w kloroform; Ekstraktant: % 10 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH'sı: 0,5; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

Eşit molar besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr (IV) ve Ni (II) ekstraksiyonuna etkisi (Besleme)								
Süre (saat)	700ppm Cr+700ppm Ni				1000ppm Cr+1000ppm Ni			
	Cr		Ni		Cr		Ni	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	612,0	1,000	685,8	1,000	1009,0	1,000	995,8	1,000
1	586,0	0,958	684,5	0,998	871,0	0,863	994,5	0,999
2	525,0	0,858	683,3	0,996	872,0	0,864	990,3	0,994
3	439,0	0,717	685,5	1,000	773,3	0,766	985,1	0,989
4	328,5	0,537	686,8	1,001	711,0	0,705	986,0	0,990
5	320,0	0,523	684,6	0,998	697,8	0,692	984,5	0,989
6	316,5	0,517	680,0	0,992	683,0	0,677	980,0	0,984
7	317,8	0,519	678,7	0,990	680,0	0,674	978,7	0,983
8	262,5	0,429	677,9	0,988	650,5	0,645	970,0	0,974
P,(m/s)	1,104x10 <sup>-5</sup>				0,645x10 <sup>-5</sup>			
J <sub>o</sub> ,(kg/m <sup>2</sup> .s)	5,502x10 <sup>-6</sup>				6,856x10 <sup>-6</sup>			

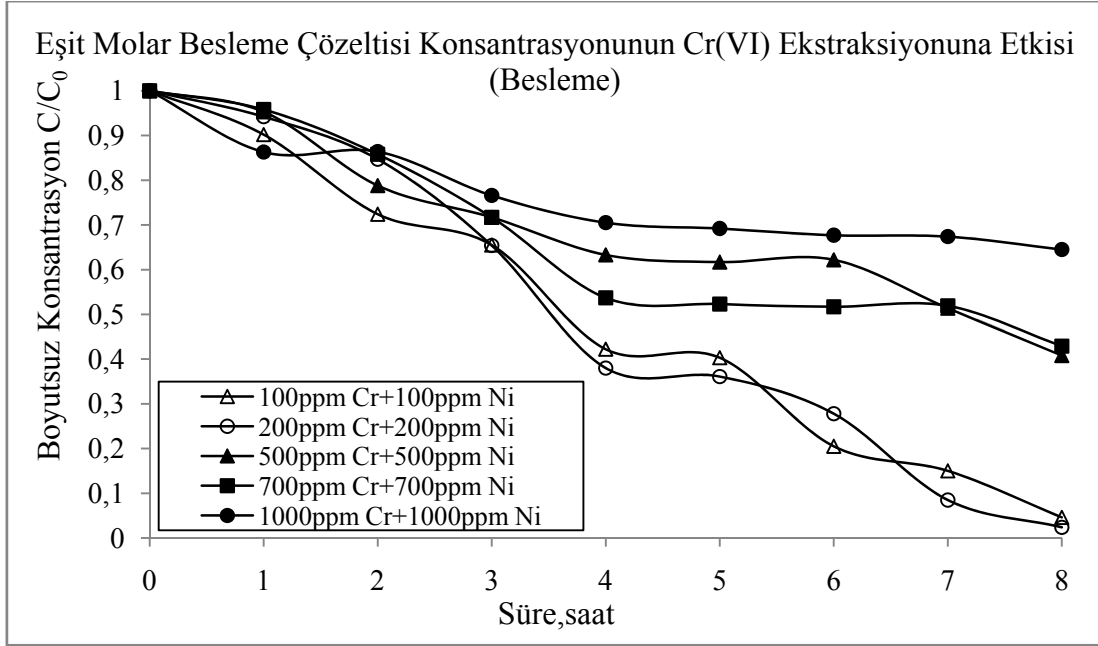
Tablo 6.17. Eşit molar besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma): (Çözücü: % 70 w/w kloroform; Ekstraktant: % 10 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH'sı: 0,5; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

Eşit molar besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr (IV) ve Ni (II) ekstraksiyonuna etkisi (Sıyırma Fazı)												
Süre (saat)	100ppm Cr+100ppm Ni				200ppm Cr+200ppm Ni				500ppm Cr+500ppm Ni			
	Cr		Ni		Cr		Ni		Cr		Ni	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	0,0	0,000	0,0	0,000	2,3	0,011	0,0	0,000	1,3	0,002	1,6	0,003
1	5,5	0,051	0,5	0,005	21,0	0,102	1,3	0,006	5,9	0,012	1,5	0,003
2	33,2	0,310	3,3	0,034	36,0	0,174	1,3	0,006	37,5	0,074	1,7	0,003
3	34,9	0,326	3,8	0,039	34,4	0,166	2,3	0,011	41,3	0,081	2,5	0,005
4	39,5	0,369	4,0	0,041	45,2	0,219	5,5	0,027	94,3	0,185	3,7	0,007
5	46,5	0,435	2,5	0,026	93,3	0,452	6,5	0,032	139,9	0,275	6,5	0,013
6	49,7	0,464	5,5	0,057	139,3	0,674	5,0	0,025	138,2	0,272	6,9	0,014
7	47,8	0,446	6,0	0,062	205,0	0,993	7,0	0,035	242,5	0,476	6,9	0,014
8	79,2	0,740	9,0	0,093	198,6	0,962	11,0	0,055	322,0	0,633	11,5	0,023

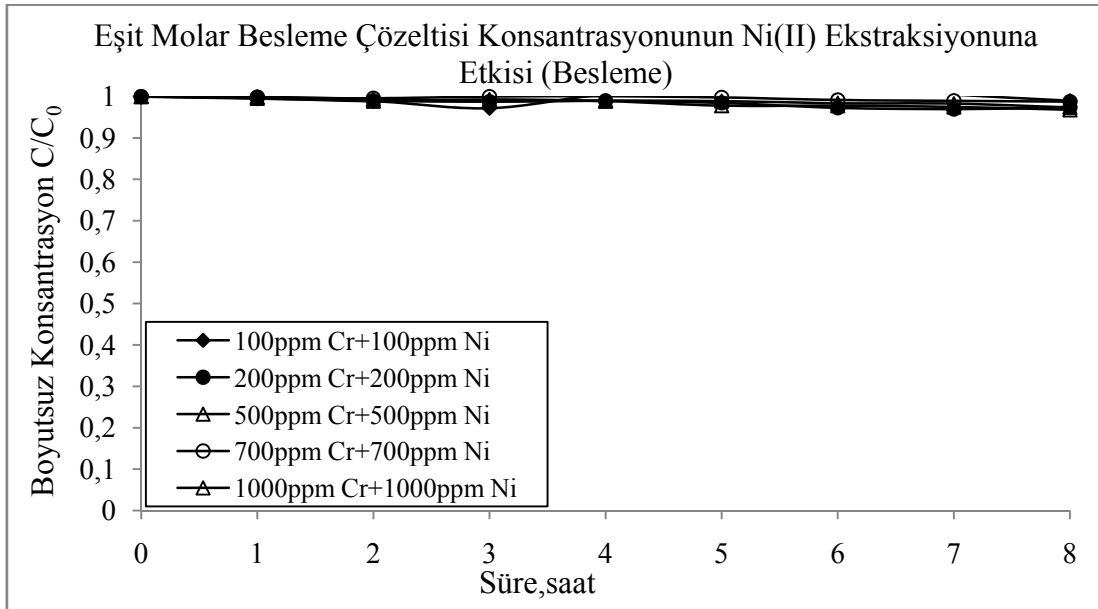
Tablo 6.17. (Devam) Eşit molar besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma): (Çözücü: % 70 w/w kloroform; Ekstraktant: % 10 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH'sı: 0,5; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

Eşit molar besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr (IV) ve Ni (II) ekstraksiyonuna etkisi (Sıyırma Fazı)								
Süre (saat)	700ppm Cr+700ppm Ni				1000ppm Cr+1000ppm Ni			
	Cr		Ni		Cr		Ni	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	0,0	0,000	1,2	0,002	0,0	0,000	0	0,000
1	6,3	0,010	2,6	0,004	51,5	0,051	3,6	0,004
2	38,5	0,063	2,8	0,004	64,3	0,064	6,8	0,007
3	44,8	0,073	3,9	0,006	67,0	0,066	10,9	0,011
4	109,0	0,178	3,7	0,005	187,5	0,186	13,7	0,014
5	137,3	0,224	5,7	0,008	244,0	0,242	15,7	0,016
6	143,4	0,234	6,9	0,010	229,0	0,227	14,9	0,015
7	339,0	0,554	7,5	0,011	333,3	0,330	17,5	0,018
8	418,0	0,683	12,9	0,019	479,0	0,475	16,9	0,017

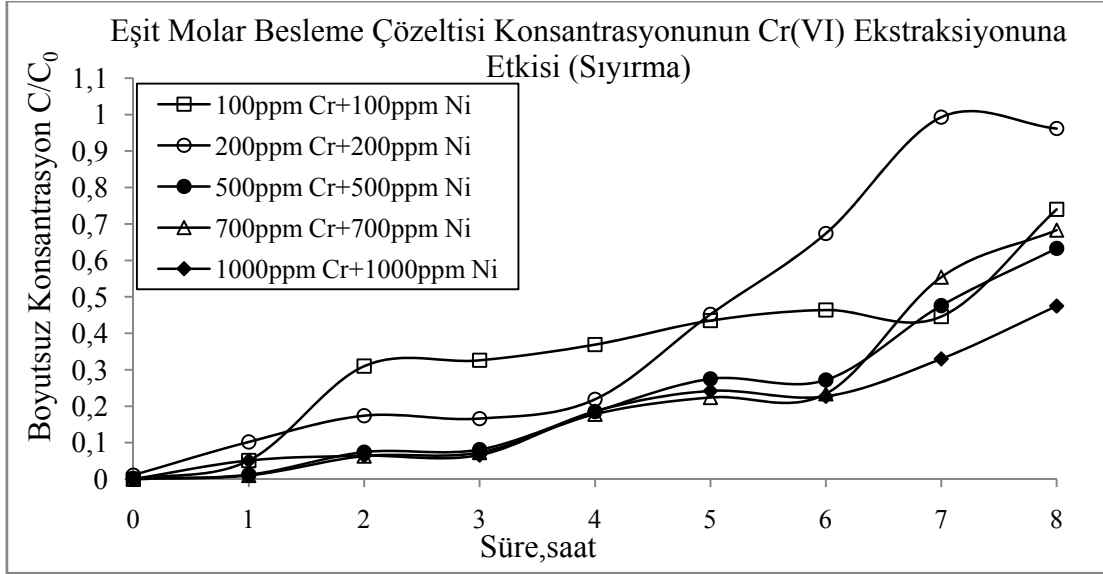




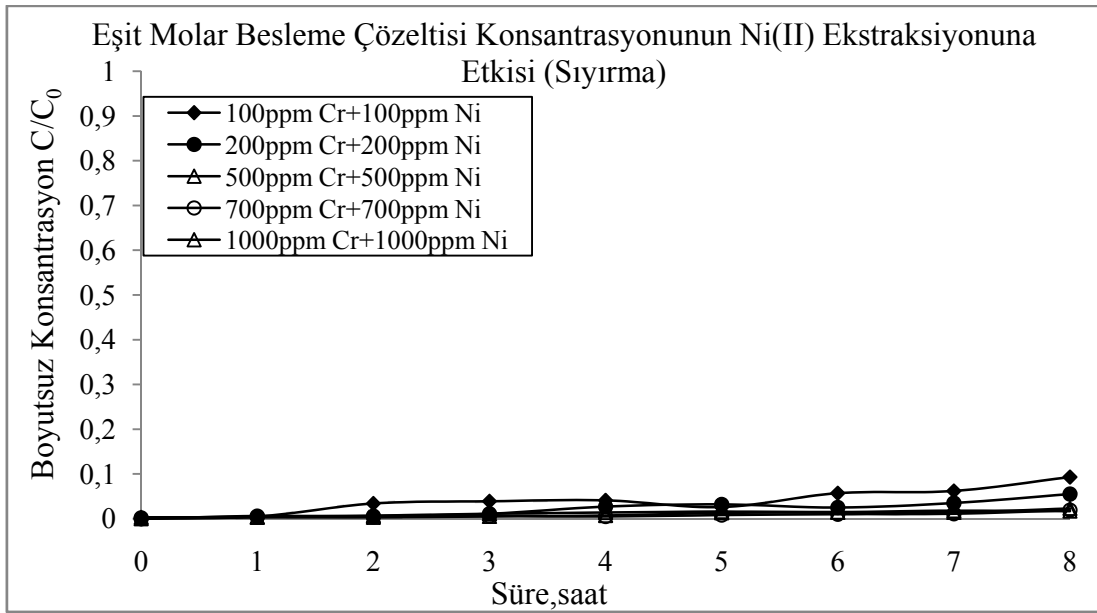
Şekil 6.43. Eşit molar besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: kloroform % 70 w/w; Ekstraktant: Alamine 300 % 10 w/w ; TBP %20 w/w; Besleme çözeltisi pH:0,5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



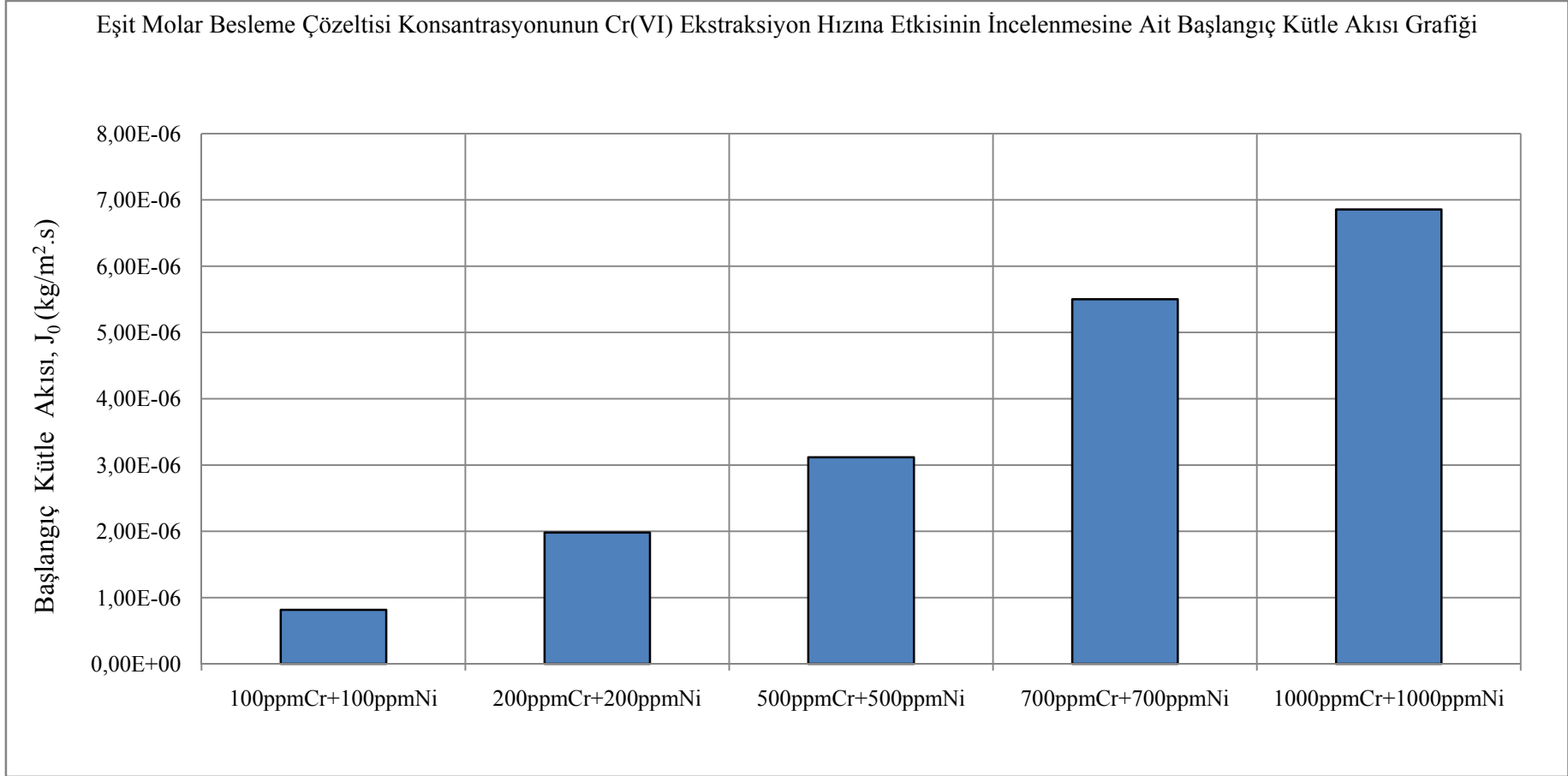
Şekil 6.44. Eşit molar besleme çözeltisi konsantrasyonunun Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: kloroform % 70 w/w; Ekstraktant: Alamine 300 % 10 w/w ; TBP %20 w/w; Besleme çözeltisi pH:0,5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



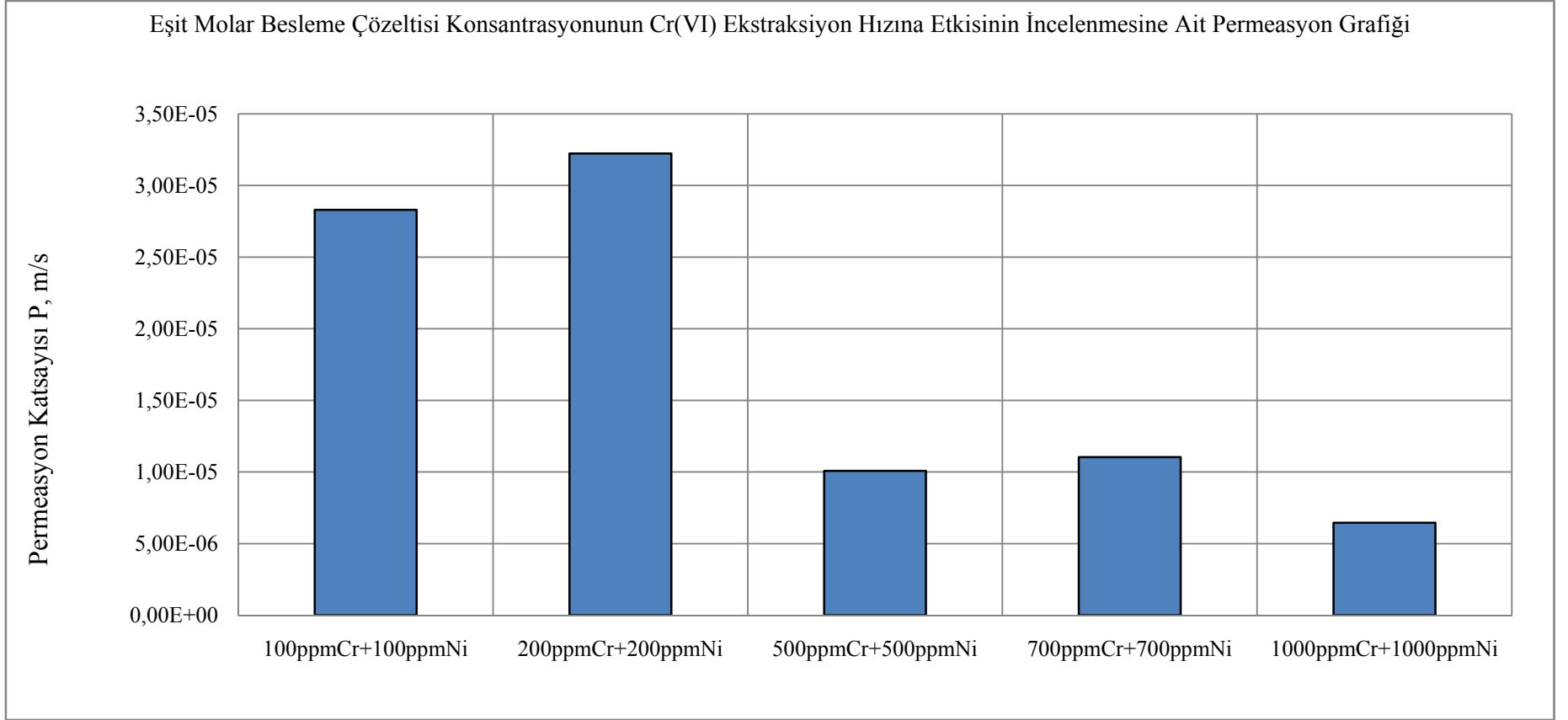
Şekil 6.45. Eşit molar besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma): (Çözücü: kloroform % 70 w/w; Ekstraktant: Alamine 300 % 10 w/w ; TBP %20 w/w; Besleme çözeltisi pH:0,5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



Şekil 6.46. Eşit molar besleme çözeltisi konsantrasyonunun Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma): (Çözücü: kloroform % 70 w/w; Ekstraktant: Alamine 300 % 10 w/w ; TBP %20 w/w; Besleme çözeltisi pH:0,5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



Şekil 6.47. Eşit molar besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi başlangıç kütle akısı: (Çözücü: Kloroform %70 w/w; Ekstraktant: Alamine 300 %10 w/w; TBP %20 w/w; Besleme çözeltisi pH:0,5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



Şekil 6.48. Eşit molar besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi permeasyon katsayısı: (Çözücü: Kloroform %70 w/w; Ekstraktant: Alamine 300 %10 w/w; TBP %20 w/w; Besleme çözeltisi pH:0,5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

Tablo 6.18. Eşit molar olmayan besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: % 70 w/w kloroform; Ekstraktant: % 10 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH'sı: 0,5; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

Eşit molar olmayan besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr (IV) ve Ni (II) ekstraksiyonuna etkisi (Besleme Fazı)												
Süre (saat)	100ppm Cr+1000ppm Ni				200ppm Cr+1000ppm Ni				400ppm Cr+1000ppm Ni			
	Cr		Ni		Cr		Ni		Cr		Ni	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	93,0	1,000	997,8	1,000	196,0	1,000	989,9	1,000	369,8	1,000	985,9	1,000
1	80,0	0,860	990,0	0,992	186,0	0,949	985,0	0,995	312,8	0,846	986,0	1,000
2	65,0	0,699	988,1	0,990	170,0	0,867	980,0	0,990	296,8	0,803	983,0	0,997
3	51,0	0,548	998,8	1,001	167,0	0,852	982,0	0,992	234,5	0,634	986,0	1,000
4	36,5	0,392	989,0	0,991	114,5	0,584	984,8	0,995	156,2	0,422	985,8	1,000
5	31,5	0,339	987,5	0,990	109,5	0,559	982,8	0,993	150,4	0,407	981,8	0,996
6	14,5	0,156	991,5	0,994	84,0	0,429	980,0	0,990	106,2	0,287	984,0	0,998
7	1,0	0,011	990,5	0,993	65,5	0,334	981,0	0,991	100,0	0,270	984,0	0,998
8	0,0	0,000	991,0	0,993	27,0	0,138	990,0	1,000	101,5	0,274	983,0	0,997
P <sub>s</sub> (m/s)	5,688x10 <sup>-5</sup>				1,699x10 <sup>-5</sup>				1,820x10 <sup>-5</sup>			
J <sub>o</sub> ,(kg/m <sup>2</sup> .s)	2,762x10 <sup>-6</sup>				3,402x10 <sup>-6</sup>				7,111x10 <sup>-6</sup>			

Tablo 6.18. (Devam) Eşit molar olmayan besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: % 70 w/w kloroform; Ekstraktant: % 10 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH'sı: 0,5; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

Eşit molar olmayan besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr (IV) ve Ni (II) ekstraksiyonuna etkisi (Besleme Fazı)								
Süre (saat)	600ppm Cr+1000ppm Ni				800ppm Cr+1000ppm Ni			
	Cr		Ni		Cr		Ni	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	608,0	1,000	989,9	1,000	759,8	1,000	984,9	1,000
1	476,8	0,784	991,0	1,001	578,9	0,762	990,0	1,005
2	356,0	0,586	993,0	1,003	512,0	0,674	991,0	1,006
3	312,5	0,514	987,0	0,997	427,9	0,563	986,0	1,001
4	292,8	0,482	989,8	1,000	328,4	0,432	985,2	1,000
5	222,3	0,366	983,8	0,994	306,3	0,403	980,8	0,996
6	206,0	0,339	980,0	0,990	292,5	0,385	981,3	0,996
7	200,5	0,330	982,0	0,992	277,8	0,366	980,0	0,995
8	198,9	0,327	980,9	0,991	255,0	0,336	980,1	0,995
P,(m/s)	1,698x10 <sup>-5</sup>				1,820x10 <sup>-5</sup>			
J <sub>o</sub> ,(kg/m <sup>2</sup> .s)	9,626x10 <sup>-6</sup>				7,111x10 <sup>-6</sup>			

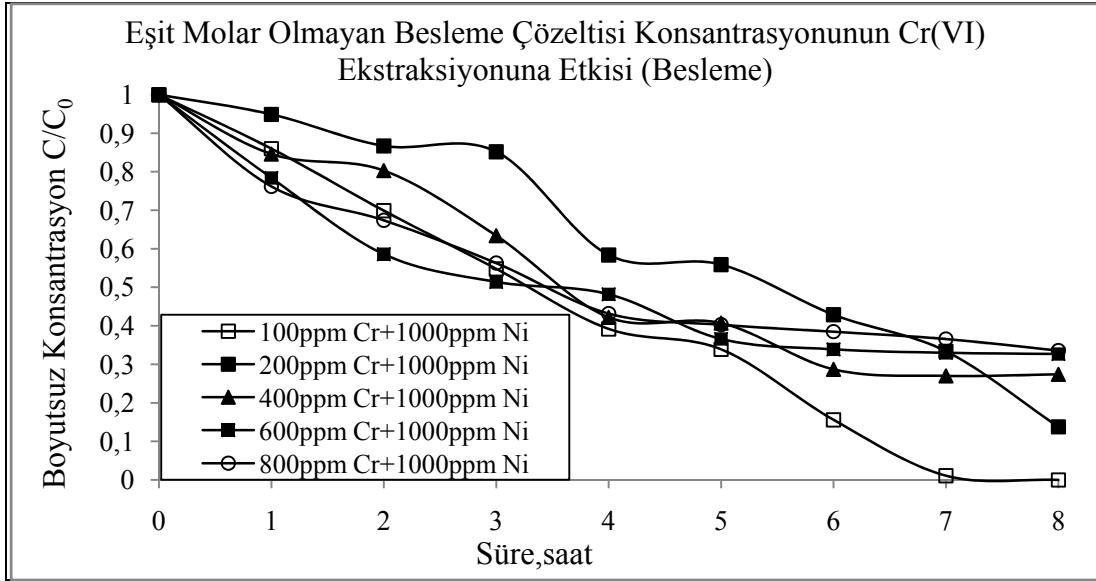
Tablo 6.19. Eşit molar olmayan besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma): (Çözücü: % 70 w/w kloroform; Ekstraktant: % 10 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH'sı: 0,5; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

Eşit molar olmayan besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr (IV) ve Ni (II) ekstraksiyonuna etkisi (Sıyırma Fazı)												
Süre (saat)	100ppm Cr+1000ppm Ni				200ppm Cr+1000ppm Ni				400ppm Cr+1000ppm Ni			
	Cr		Ni		Cr		Ni		Cr		Ni	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	0	0,000
1	15,5	0,167	3,3	0,003	7,3	0,037	8,5	0,009	8,5	0,023	4,5	0,005
2	34,3	0,368	11,3	0,011	18,8	0,096	19,5	0,020	36,0	0,097	6,9	0,007
3	36,5	0,392	8,0	0,008	36,5	0,186	17,5	0,018	80,8	0,218	10,9	0,011
4	38,0	0,409	20,0	0,020	89,0	0,454	12,0	0,012	189,0	0,511	13,1	0,013
5	47,0	0,505	16,5	0,017	96,0	0,490	16,5	0,017	199,0	0,538	11,3	0,011
6	45,5	0,489	17,5	0,018	122,0	0,622	18,5	0,019	243,5	0,658	12,8	0,013
7	47,5	0,511	9,5	0,010	171,5	0,875	20,5	0,021	249,5	0,675	15,1	0,015
8	85,0	0,914	21,0	0,021	189,0	0,964	19,0	0,019	354,9	0,960	13,2	0,013

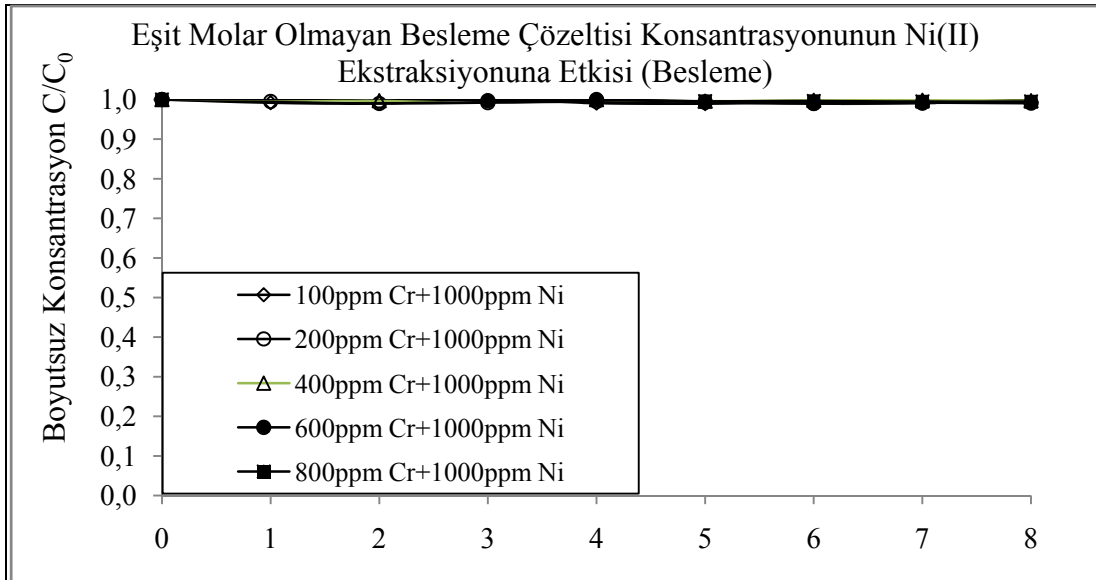
Tablo 6.19. (Devam) Eşit molar olmayan besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma): (Çözücü: % 70 w/w kloroform; Ekstraktant: % 10 w/w Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH'sı: 0,5; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

Eşit molar olmayan besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr (IV) ve Ni (II) ekstraksiyonuna etkisi (Sıyırma Fazı)								
Süre (saat)	600ppm Cr+1000ppm Ni				800ppm Cr+1000ppm Ni			
	Cr		Ni		Cr		Ni	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000	0,0	0,000
1	11,4	0,019	6,9	0,007	89,8	0,118	3,7	0,004
2	49,7	0,082	10,1	0,010	144,5	0,190	9,78	0,010
3	108,6	0,179	13,2	0,013	169,5	0,223	11,3	0,011
4	244,5	0,402	11,8	0,012	232,5	0,306	15,0	0,015
5	242,5	0,399	15,98	0,016	245,0	0,322	18,5	0,019
6	346,0	0,569	19,0	0,019	389,0	0,512	15,7	0,016
7	399,8	0,658	21,2	0,021	454,5	0,598	19,9	0,020
8	458,9	0,755	16,69	0,017	563,8	0,742	21,0	0,021

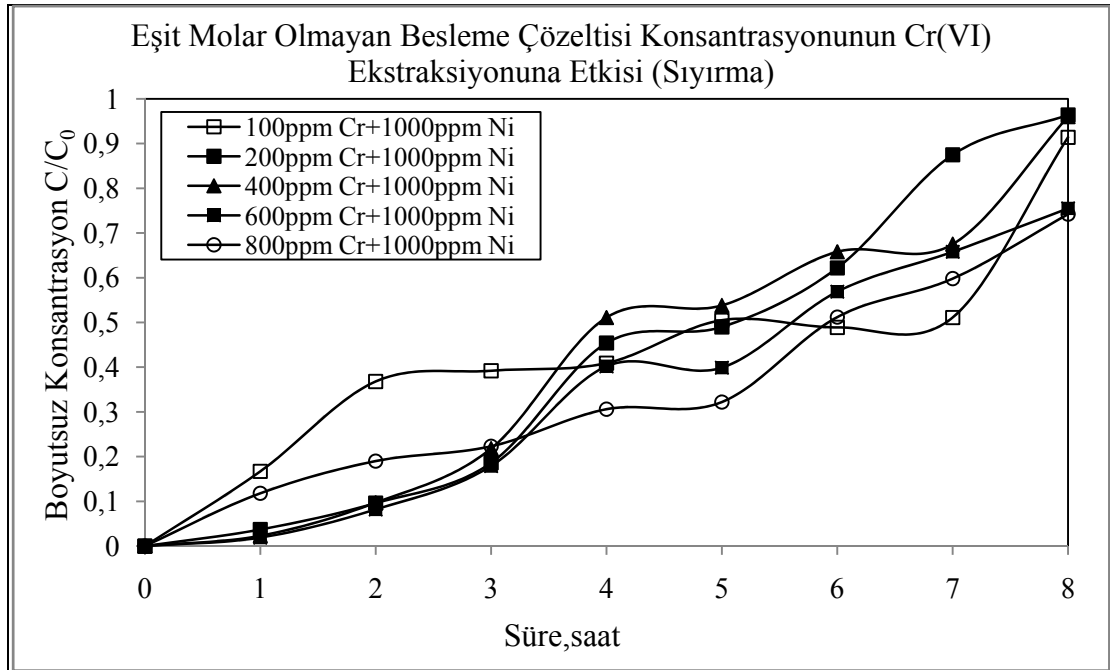




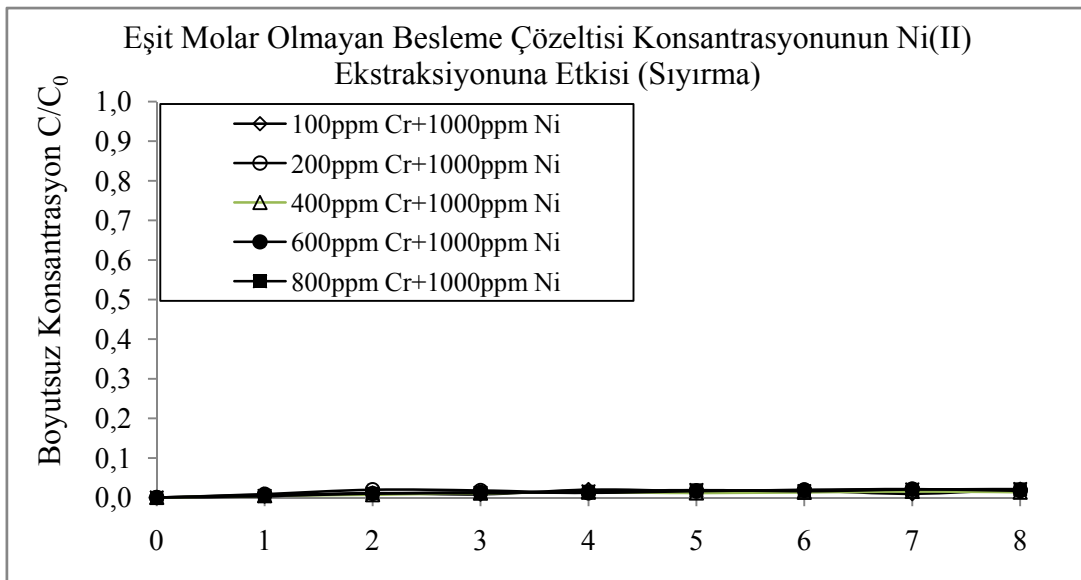
Şekil 6.49. Eşit molar olmayan besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: kloroform % 70 w/w; Ekstraktant: Alamine 300 % 10 w/w ; TBP %20 w/w; Besleme çözeltisi pH:0,5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



Şekil 6.50. Eşit molar olmayan besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: kloroform % 70 w/w; Ekstraktant: Alamine 300 % 10 w/w ; TBP %20 w/w; Besleme çözeltisi pH:0,5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

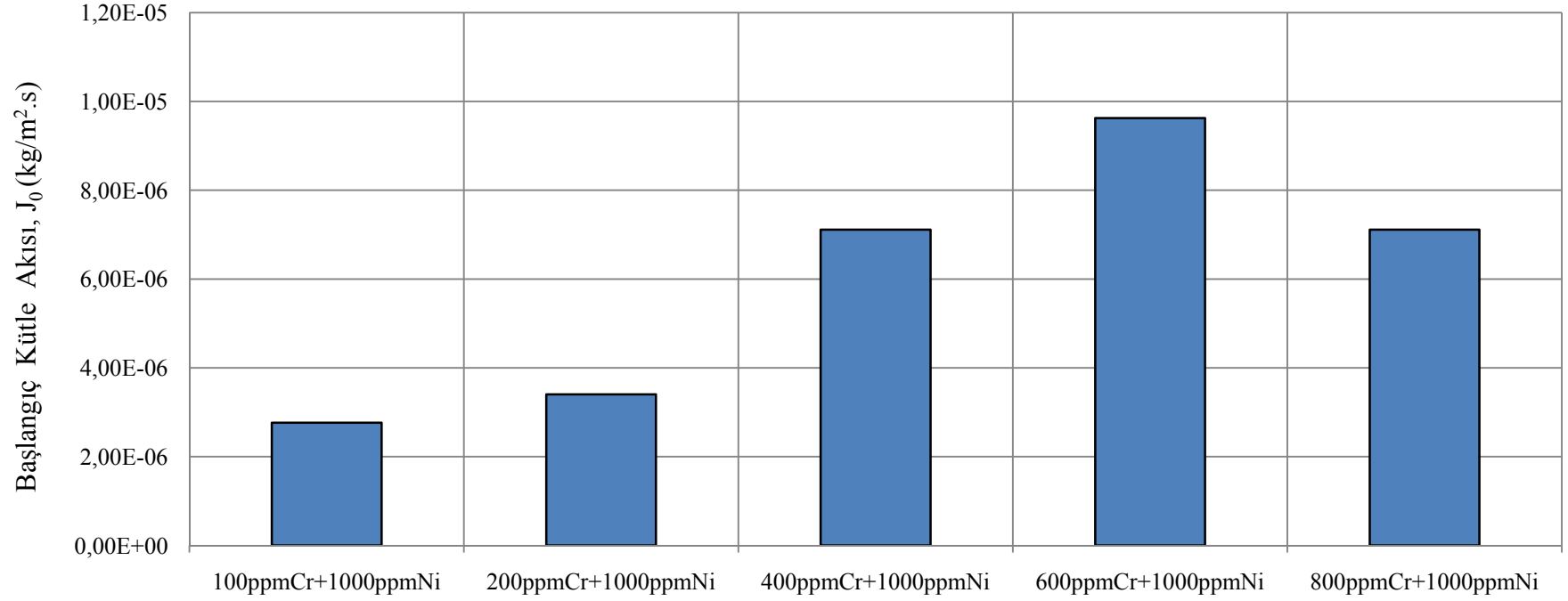


Şekil 6.51. Eşit molar olmayan besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma): (Çözücü: kloroform % 70 w/w; Ekstraktant: Alamine 300 % 10 w/w ; TBP %20 w/w; Besleme çözeltisi pH:0,5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

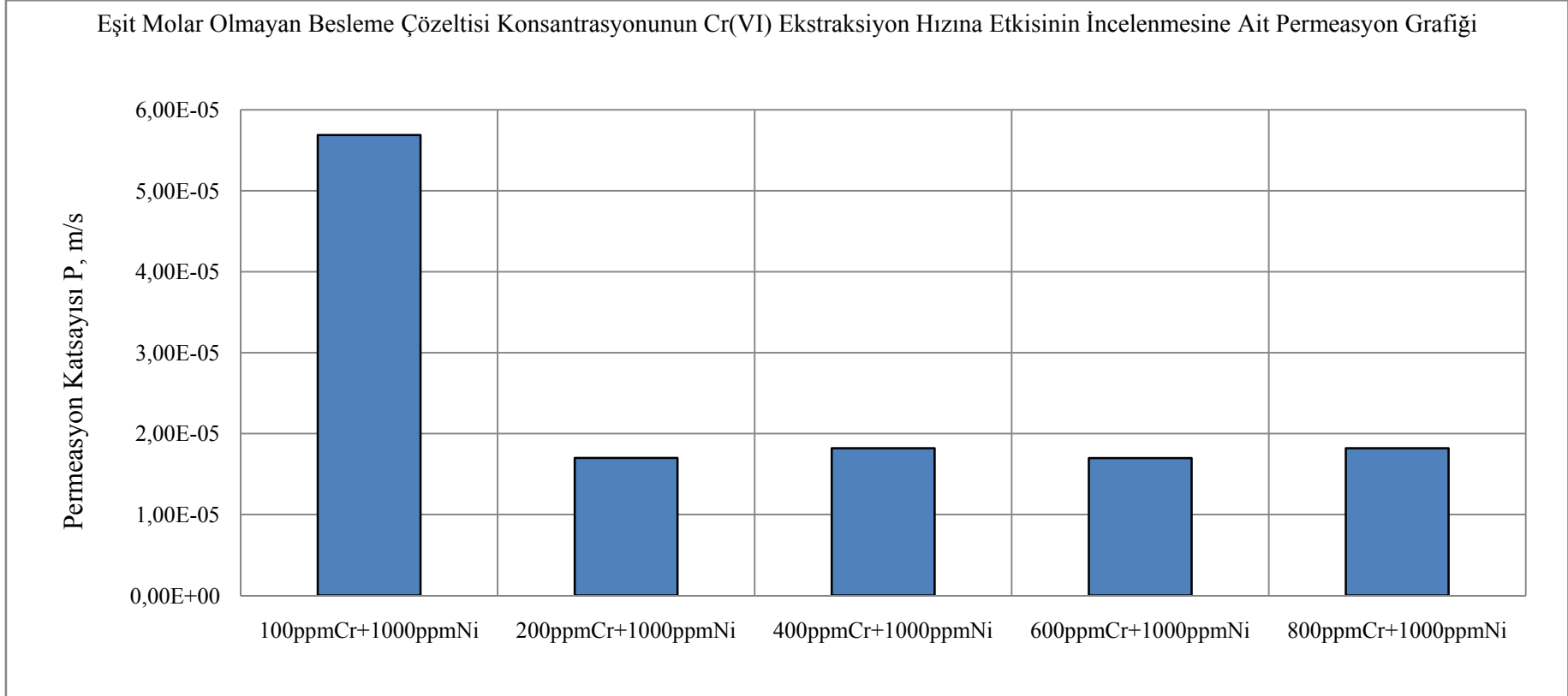


Şekil 6.52. Eşit molar olmayan besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma): (Çözücü: kloroform % 70 w/w; Ekstraktant: Alamine 300 % 10 w/w ; TBP %20 w/w; Besleme çözeltisi pH:0,5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

Eşit Molar Olmayan Besleme Çözeltisi Konsantrasyonunun Cr(VI) Ekstraksiyon Hızına Etkisinin İncelenmesine Ait Başlangıç Kütle Akısı Grafiği



Şekil 6.53. Eşit molar olmayan besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi başlangıç kütle akısı: (Çözücü: Kloroform %70 w/w; Ekstraktant: Alamine 300 %10 w/w; TBP %20 w/w; Besleme çözeltisi pH:0,5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



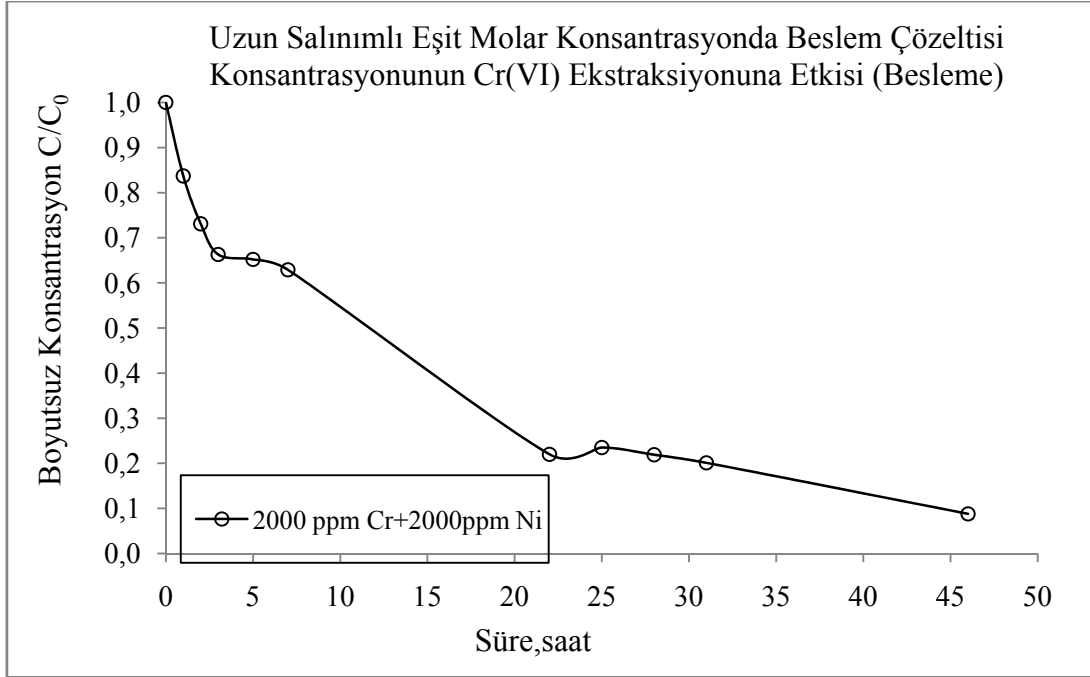
Şekil 6.54. Eşit molar olmayan besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi permeasyon katsayısı: (Çözücü: Kloroform %70 w/w; Ekstraktant: Alamine 300 %10 w/w; TBP %20 w/w; Besleme çözeltisi pH:0,5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

Tablo 6.20. Optimum şartlarda uzun salınımlı eşit molar konsantrasyonda Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonu (besleme): (Çözücü: %70 w/w Kloroform Ekstraktant: % 10 Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

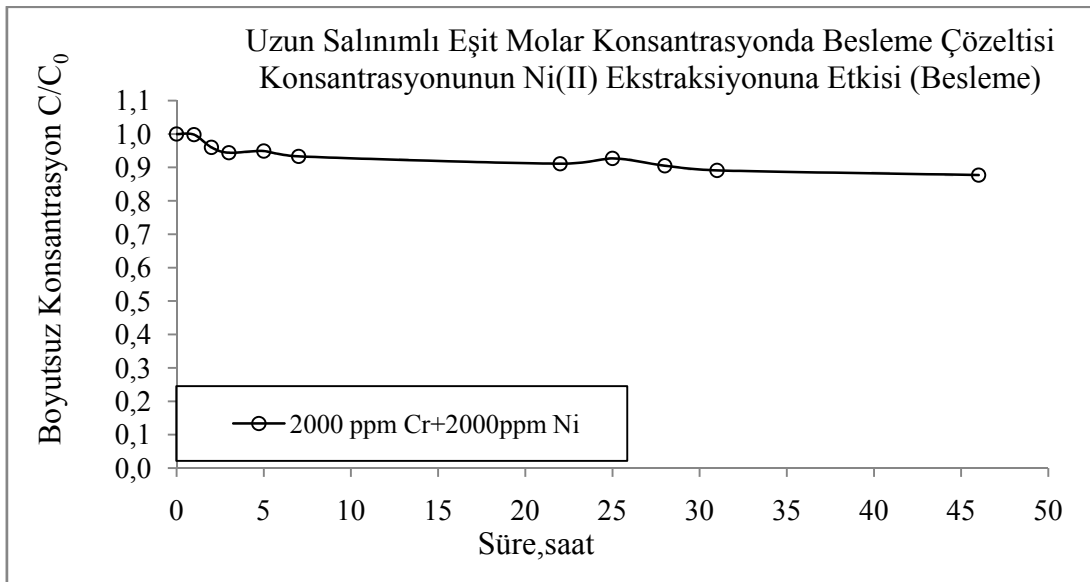
Uzun salınımlı eşit molar konsantrasyonlu Cr(VI)-Ni(II) Ekstraksiyonu (Besleme Fazı)				
Süre (saat)	2000 mg/L Cr + 2000 mg/L Ni		2000 mg/L Cr + 2000 mg/L Ni	
	Cr(VI)		Ni(II)	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	1972,5	1,000	2105,0	1,000
1	1650,0	0,837	2100,0	0,998
2	1442,5	0,731	2020,0	0,960
3	1307,5	0,663	1987,5	0,944
5	1286,0	0,652	1998,0	0,949
7	1240,0	0,629	1964,0	0,933
22	434,0	0,220	1918,0	0,911
25	463,0	0,235	1951,0	0,927
28	431,0	0,219	1906,0	0,905
31	397,0	0,201	1876,0	0,891
46	173,5	0,088	1845,5	0,877
P m/s	0,558x10 <sup>-5</sup>			
J <sub>0</sub> kg/m <sup>2</sup> .s	8,159x10 <sup>-6</sup>			

Tablo 6.21. Optimum şartlarda uzun salımlı eşit molar konsantrasyonda Cr(VI) ve Ni(II) ekstraksiyonu (sıyırma): (Çözücü: %70 w/w Kloroform Ekstraktant: % 10 Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))

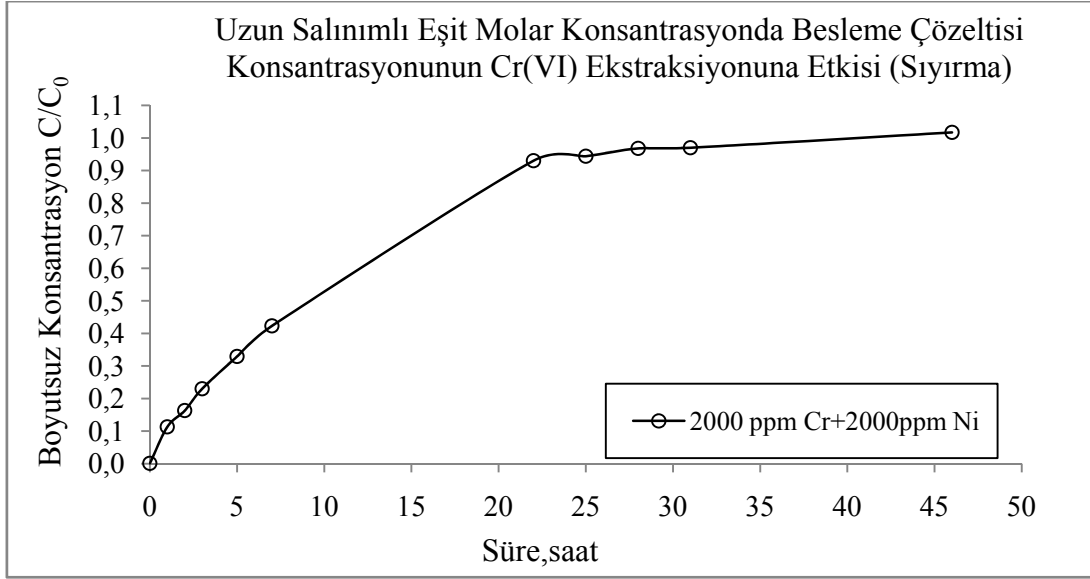
Uzun salımlı eşit molar konsantrasyonlu Cr(VI)-Ni(II) Ekstraksiyonu (Sıyırma Fazı)				
Süre (saat)	2000 mg/L Cr + 2000 mg/L Ni		2000 mg/L Cr + 2000 mg/L Ni	
	Cr(VI)		Ni(II)	
	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>	C,mg/L	C/C <sub>0</sub>
0	1,5	0,001	8,75	0,004
1	222,8	0,113	10,8	0,005
2	322,3	0,163	13,8	0,007
3	454,5	0,230	11,5	0,005
5	648,5	0,329	11,0	0,005
7	835,0	0,423	62,5	0,030
22	1834,0	0,930	63,0	0,030
25	1862,0	0,944	61,5	0,029
28	1909,3	0,968	111,0	0,053
31	1913,0	0,970	118,0	0,056
46	2006,0	1,017	123,9	0,059



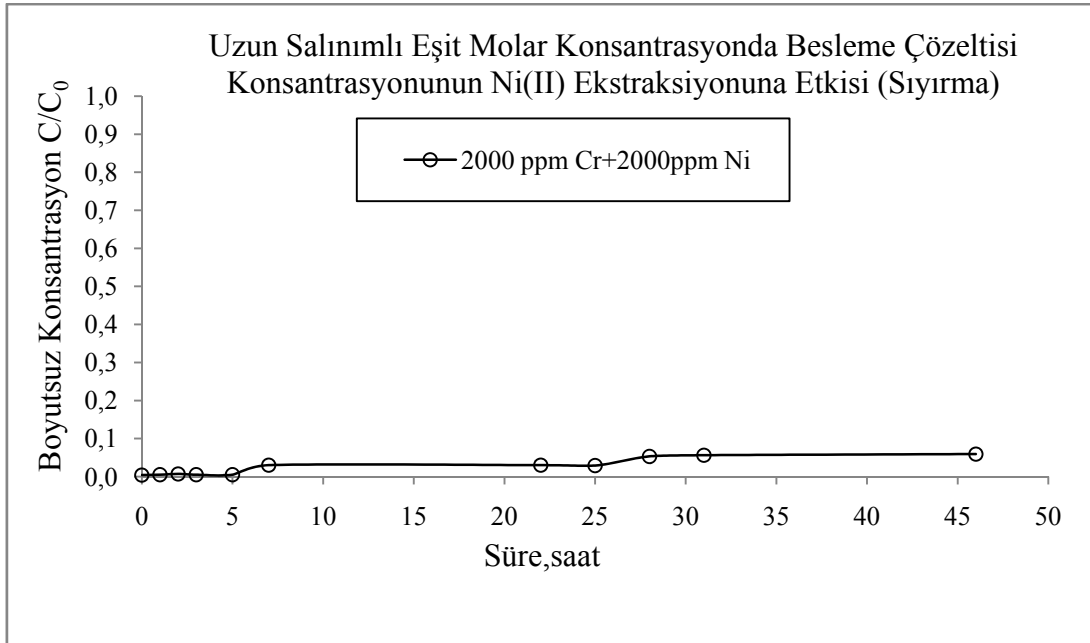
Şekil 6.55. Optimum şartlarda uzun salımlı eşit molar konsantrasyonda besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: %70 w/w Kloroform Ekstraktant: % 10 Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



Şekil 6.56. Optimum şartlarda uzun salımlı eşit molar konsantrasyonda besleme çözeltisi konsantrasyonunun Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (besleme): (Çözücü: %70 w/w Kloroform Ekstraktant: % 10 Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



Şekil 6.57. Optimum şartlarda uzun salınlımlı eşit molar konsantrasyonda besleme çözeltisi konsantrasyonunun Cr(VI) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma): (Çözücü: %70 w/w Kloroform Ekstraktant: % 10 Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



Şekil 6.58. Optimum şartlarda uzun salınlımlı eşit molar konsantrasyonda besleme çözeltisi konsantrasyonunun Ni(II) ekstraksiyonuna etkisi (sıyırma): (Çözücü: %70 w/w Kloroform Ekstraktant: % 10 Alamine 300; %20 w/w TBP; Besleme çözeltisi pH:0.5; Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak.; Sıyırma çözeltisi konsantrasyonu: % 2 w/w NaOH; Membran desteği: Celgard 2500 (polipropilen))



## KAYNAKLAR

- [1] BERK, V., Yüzey İşlemler Teknolojileri, 67-95, Haziran, 19, 2004
- [2] SMITH, G., LEC K., Chromium in Metallic Contaminants and Human Health. Academic Press, New York, 1972
- [3] SUDHA, B.R. VE EMILIA, T.A., Biosorption ofCr(VI) from aqueous solution by Rhizopus nigricans, Bioresource Technology 79, 73-81, 2001
- [4] KAUFMAN, D.B., Acute potassium dichromate poisoning in man. Am. J. Diseases Children 119, 374-379, 1970
- [5] GUPTA, V.K., SHRIVASTAVA, A.K. VE JAIN, N., Biosorption of Chromium (VI) from aqueous solutions by green algae Spirogyra species, Water Research 35, No.17 4079-4085, 2001
- [6] DEMİR, M., DEMİRCİ, Ş., USANMAZ, A., Anorganik Kimya ve Uygulaması, Devlet Kitapları, s. 383-388, İstanbul, 1980
- [7] LI, N. N., US Patent No. 3416194, Nov. 12, 1968
- [8] CEZARY A. KOZŁOWSKI., WLADYSLAW, WALKOWIAK., Applicability of liquid membranes in chromium(VI) transport with amines as ion carriers., Journal of Membrane Science 266 2005 143-150, 2005.
- [9] EYÜPOĞLU, V., Seyreltik Sulu Çözeltilerden Destekli Sıvı Membran Prosesi ile Kromun Ekstraksiyonu, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Mayıs 2007.
- [10] KILAVUZ, O., " Krom", Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Metal Madenler Alt Komisyonu Krom Çalışma Grubu Raporu, T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı Yayın No: DPT 2626-ÖİK:637, Mart, 2004.
- [11] <http://www.mta.gov.tr> (Mayıs, 2011)
- [12] SUER, P., GITYE, K., ALLARD, B., Speciation and Transport of Heavy Metals and Macroelements during Electoremediation, *Environ. Sci. Technol.*, 37,177-181, 2003.

- [13] ALLAN, M. L., KUKACKA, L. E. Blast Furnace Slag-Modified Grouts for in situ Stabilization of Chromium-Contaminated Soil. *Waste Management*, 15, 193-202, 1995
- [14] SENGUPTA, A.K., CLIFFORD, D., Important process variables in chromate ion exchange. *Environ. Sci. Technol.* 20:149-155, 1986
- [15] HOCHHAUSER, A.M., CUSSLER, E.L., Concentrating chromium with liquid surfactant membranes. *AIChE Symp. Series* 752:136, 1975
- [16] CUER, J.P., STUCKENS, W. AND TEXIER, N., The techniques of solvent extraction applied to the treatment of industrial effluents. *Proceedings, Int. Solvent Extraction Conf., Lyons, Vol. 2. Soc. Chem. Ind., London*, pp. 1185-1200, 1974
- [17] FRANKENFELD, J.W., CAHN, R.P. AND LI, N.N., Extraction of copper by liquid membranes. *Sep. Sci. Technol.*, 16:385-402, 1981
- [18] SMITH, K.L., BABCOCK, W.C, BAKER, R.W., CONRAD, M.G., *Coupled Transport*, 1981
- [19] TERAMOTO, M., TOHNO, N., OHNISHI, N., AND MATSUYAMA, H., Development of a spiral-type flowing liquid membrane module with high stability and its application to the recovery of chromium and zinc. *Sep. Sci. Technol.* 24:981-999, 1989
- [20] SALAZAR, E., ORTIZ, M.I., URTIAGA, A.M., Equilibrium and kinetics of Cr(VI) extraction with Aliquat 336. *Ind. Eng. Chem. Res.* 31:1516-1522, 1992
- [21] Ontario Ministry of the Environment Preliminary Evaluation of Copper, Nickel and Chromium Recovery from Wastes Generated by the Metal Finishing Industry in Ontario. *Industrial Waste Diversion Program Final Reports #7*, June 1991
- [22] ELLIS, M.J., KUNIN, R., New technology for the recovery of chromates from cooling tower blowdown. *Proceedings, 37th Int. Water Conf., Pittsburgh*, 1977
- [23] Eco-Tech Limited, *Chromic Acid Recovery System*, Eco-Tec Limited Product Bulletin, Pickering, Ontario.
- [24] SITTING, M., *Electroplating and Related Metal Finishing: Pollutant and Toxic Materials Control*, Noyes Data Corporation, U.S., 1978
- [25] CHIAN, E.S.K., FANG, H.H.P., RO treatment of power plant cooling tower blow down for reuse. *Water - 1975, AIChE Symp. Ser.* 71:82-86, 1976

- [26] EISENMANN, J.L., Membrane processes for metal recovery from electroplating rinse water. Proceedings, 2nd Conf. on Advanced Pollution Control for the Metal Finishing Industry. EPA-600/8-79-014, Cincinnati, Ohio, 1979
- [27] RITCEY, G.M. AND ASHBROOK, A.W., Solvent extraction. Principles and Applications to Process Metallurgy. Part II, Elsevier, Amsterdam, 1979
- [28] Udy, M. J. *Chromium Vol. I Chemistry of chromium and its compounds*. Reinhold Publishing Corporation: New York; Chapman & Hall, Ltd.: London, 1956
- [29] LIN, T. W.; HUANG, S. D. Direct and Simultaneous Determination of Copper, Chromium, Aluminum, and Manganese in Urine with a Multielement Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometer. *Anal. Chem.*, 73, 4319-4325, 2001
- [30] O'BRIEN, T.; MANDEL, H. G.; PRITCHARD, D. E.; PATIERNO, S. R. Critical Role of Chromium (Cr)-DNA Interactions in the Formation of Cr-Induced Polymerase Arresting Lesions. *Biochemistry*, 41, 12529-12537, 2002
- [31] SÜRÜCÜ, A., Sulu Çözeltilerden Destekli Sıvı Membranlarla Kobalt ve Nikelin Ayrılması, SAÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008
- [32] <http://www.ekutup.dpt.gov.tr> (Nisan, 2011)
- [33] HERI, S., BAYRAKTAR, İ., Dünya Madenciliğinde Son Gelişmeler, Madencilik, Cilt.XIII, Say.7, s. 18-20
- [34] YILDIZ, Y., Sulu Çözeltilerden Kobalt ve Nikelin Sıvı Membranlarla Ayrılması, SAÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008
- [35] GRAYSON, M., Kirk-Otmer Encyclopedia of Chemical Technology., Vol-6, 3rd Ed., Wiley, 481, New York, 1981
- [36] GEFVERT, D.L., Dioxime Kinetic Enhancer for Solvent Extraction of Gallium From Basic Aqueous Solutions There of, US Patent No. 4, 855, 114 August 8, 1989
- [37] PUVVADA, G.V.K., Liquid-liquid Extraction of Gallium From Bayer Process Liquor Using Kelex 100 in the Presence of Surfactants, Hydrometallurgy, 52, 9-19, 1999
- [38] WRIGHT, J.H. ROFFMAN, H.K., Coal Ash- A Potential Mineral Source, Proceedings of the Institute of Environmental Sciences 22<sup>nd</sup> Annual Meeting, Philadelphia, April 26-28, pp 163-173, 1976

- [39] WILDER, J., LORETH, M.J., KATRAK, F.E. AGAWAL, J.C., Gallium, in Encyclopedia of Chemical Processing and Design (Ed. McKetta), Vol. 24, 1986, 79-92, pp.
- [40] CALBRANDSON, R.A., Minor Elements in Phosphorates of the Phosphoria Formation, *Geochem. Cosmechem. Açta*, 30, 1966
- [41] YANG, X J., FANE, A.G., SOLDENHOFF, K., Comparison of Liquid Membrane Proses for Metal Separations: Permeability, and Selectivity, *Ind. End. Chem Res.* 2003, 392-403
- [42] Sekizinci Beş yıllık Kalkınma Planı: Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Metal Madenler Alt Komisyonu Diğer Metal Madenler Çalışma Grubu Raporu Antimuan-Tungsten-Nikel-Vanadyum-Mobilden-Kalay-Manganez. Ankara: DPT, 2001. V, 79s. Tab. (DPT. 2629-ÖİK. 640) ISBN: 975-19-2859-1
- [43] KIRGIOS, L., SCHÜGERL, K.,DEGENER, W., Process for Separating and Concentrating Gallium From an Aqueous Solutions Containing Gallium, Together with Aluminum, Zinc and Copper, US Patent No. 5, 326-441, July 5 1994
- [44] SHONO, A., AKIBA, I., IMAISHI, N., FUJINAWA, K., HOZAWA, M.S., Application of Liquid Surfactant Membrane to a Hydrometallurgical Process of Gallium and Indium Extraction From Black Ore, *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, 15, 526-532, 1989
- [45] STRATHMANN, H., ECONOMIC Assesment of membrane process, separation and purification technology edited by LI, N.N., CALO, J.M., Marcel Dekker Inc., New York, 1992
- [46] ATO, S., *Sci. Papers Inst. Chem. Research (Tokyo)*, 24, 162, 1934
- [47] WILSON, A.M., NAKATSUKATA, O. K., *Anal. Chem.*, 35. 302-305. 1963
- [48] BLASIUS,E. NEGWER, M., *Z. Analitic Chemistry.*, 143, 257, 1954
- [49] KRAUS, K.A., NELSON, F., SMITH G. W., *J. Phys. Chem.*, 58, 11, 1954
- [50] Celgard INC, *Microporous Membrane Catalogue*, Celgard 2500 (PP).
- [51] KUMBASAR, R.A., TUTKUN, O., Separation and concentration of gallium from acidic leach solutions containing various metal ions by emulsion liquid membranes using TOPO as mobile carrier, *Hydrometallurgy*, 75, 111-121, 2004
- [52] HUDSON, M.J., An introduction to some aspects of solvent extraction chemistry in hydrometallurgy, *Hydmetallurgy* 9, 149-168, 1982

- [53] COTE, G., D., BAUER, Liquid-liquid extraction of germanium with oxine derivatives, *Hydrometallurgy*, 5, 149-160, 1980
- [54] DE HAAS, K.S., BRINK, P.A., CROWTHER, P., Solvent extraction of iron, cobalt and nickel from thiocyanete melts, *J Inorg. Nucl. Chem.* 33(12), 4301-4309, 1971

## EKLER

### EK A PERMEASYON KATSAYISI (P) VE BAŞLANGIÇ KÜTLE AKISINA (J<sub>0</sub>) AİT ÖRNEK HESAPLAMALAR

A-Permeasyon Katsayısının Hesaplanması:

Tablo A'da verilen, optimum şartlarda; besleme çözeltisi konsantrasyonu 1500 mg/L Cr + 500 mg/L Ni için permeasyon katsayısının hesaplanması, (P veya k<sub>tüm</sub>):

$$\ln \frac{C}{C_0} = -\frac{A \cdot \varepsilon \cdot P}{V} \cdot t \quad \text{veya} \quad \ln \frac{C}{C_0} = -\frac{A \cdot \varepsilon \cdot k_{\text{tüm}}}{V} \cdot t \quad \text{denklemlerinden hesaplanır.}$$

C, C<sub>0</sub>: Sırasıyla besleme çözeltisinin herhangi bir andaki ve başlangıçtaki metal konsantrasyonları (mg/L)

A: Membran kesit alanı (12,56 cm<sup>2</sup>)

ε: Membran gözenekliliği

V: Besleme çözeltisinin hacmi (cm<sup>3</sup>)

P veya k<sub>tüm</sub>: Permeasyon katsayısı (m/s)

t: Süre (saniye)

C/C<sub>0</sub> ile t arasındaki verilerden “En küçük kareler metodu” ile P tayin edilir.

Denklem (3.13)'de  $-\ln(C/C_0) = y_i$  ve  $t = x_i$  alınarak, lineer regresyon yöntemi ile  $y_i = a_i \cdot x_i$

denkleminde “En küçük kareler metodu” ile  $\frac{A \cdot \varepsilon \cdot P \cdot t}{V} = a_i$  katsayısı ve  $a_i$  değerinden

de P değeri bulunmuştur.

Çözücü: %70 w/w Kloroform

Ekstraktant (Alamine 300): %10 w/w

Modifiyer (TBP): %20 w/w

Besleme çözeltisi pH:0,5

Besleme çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak

Sıyırma çözeltisi karıştırma hızı: 1200 dev/dak

Sıyırma çözeltisi (NaOH) konsantasyonu: %2 v/w

Membran desteği: Celgard 2500 (PP)

Tablo A. Besleme çözeltisi konsantrasyonu 1500 mg/L Cr + 500 mg/L Ni

Süre,saat	Besleme çözeltisi konsantrasyonu, 1500ppm Cr / 500 ppm Ni				
$x_i=t$	C,mg/L	$C/C_0$	$y_i=-\ln(C/C_0)$	$y_i \cdot x_i$	$x_i^2$
0	1101,0	1,000	0	0	0
1	982,0	0,892	0,11428915	0,1142892	1
2	890,0	0,808	0,21319322	0,4263864	4
3	741,0	0,673	0,39600995	1,1880299	9
4	629,0	0,571	0,56036607	2,2414643	16
5	570,5	0,518	0,65778004	3,2889002	25
6	505,5	0,459	0,77870507	4,6722304	36
7	417,0	0,379	0,97021907	6,7915335	49
8	403,0	0,366	1,00512195	8,0409756	64

$$\sum_{i=1}^n y_i = 4,695685 \quad \sum_{i=1}^n y_i \cdot x_i = 26,76381 \quad \sum_{i=1}^n x_i^2 = 255$$

Tablodan  $\sum_{i=1}^n y_i \cdot x_i = 26,76381$   $\sum_{i=1}^n x_i^2 = 255$  bulunur.

Buradan  $a_i$  değeri bulunur.

$$\ln \frac{C}{C_0} = -\frac{A \cdot \varepsilon \cdot P}{V} \cdot t \quad \rightarrow \quad -\ln \frac{C}{C_0} = \frac{A \cdot \varepsilon \cdot P}{V} \cdot t$$

“En küçük kareler metodundan”  $y_i = a_i \cdot x_i$  şeklindeki orjinden geçen bir doğru denklemini için:

$$a_1 = \frac{\sum y_i \cdot x_i}{\sum x_i^2} = \frac{26,76381}{255} = 0,104956117 \text{ saat}^{-1} \text{ bulunur.}$$

$$a_i = \frac{A \cdot \varepsilon \cdot P}{V} \cdot t = 0,104956117 \text{ saat}^{-1}$$

$\varepsilon=0,55$   $A=12,56 \text{ cm}^2$   $V=250 \text{ ml}$  değerleri yerlerine yazılırsa;

$$P = \frac{0,104956117 \cdot 250}{12,56 \cdot 0,55 \cdot 3600 \cdot 100} = 10,55098326 \times 10^{-6} \text{ m/s olarak bulunur.}$$

B-Başlangıç Kütle Akısının Hesaplanması:

Başlangıç kütle akısının hesaplanması ( $J_0$ ) denklem (3.12)'den hesaplanabilir.

$$J_0 = - \left( \frac{dC}{dt} \right)_0 \left( \frac{V_f}{A \cdot \varepsilon} \right)$$

$$C = a + bt + ct^2 + dt^3$$

3.dereceden bir polinom kullanılırsa,  $b = dC/dt = -148,02921$  bulunur ve denklemde yerine yazılırsa;

$$J_0 = -(-148,02921 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{saat}^{-1})_0 \left( \frac{250 \text{ cm}^3}{12,56 \text{ cm}^2 \cdot 0,55} \right) = 5357,16597 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{saat}^{-1} \cdot \text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-2}$$

olarak bulunur.

Birimler düzenlenirse:

$$J_0 = -(-148,02921)_0 \left( \frac{250}{12,56 \cdot 0,55} \right) \cdot \frac{\text{mg} \cdot \text{cm}}{\text{L} \cdot \text{saat}} \cdot \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} \cdot \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} \cdot \frac{1 \text{ L}}{1000 \text{ cm}^3} \cdot \frac{1 \text{ saat}}{3600 \text{ s}} \cdot \left( \frac{100 \text{ cm}}{1 \text{ m}} \right)^2$$

$$J_0 = 14,881 \times 10^{-6} \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s elde edilir.}$$



## ÖZGEÇMİŞ

Vuslat SARIKAYA, 16.05.1985'de İstanbul'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini İstanbul Bağcılar'da tamamladı. 2003 yılında Mehmet Niyazi Altuğ (YDA) Lisesi, Fen Bölümünden mezun oldu. 2004 yılında başladığı Sakarya Üniversitesi Kimya bölümünü 2008 yılında bitirdi. 2008 yılında Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalında yüksek lisansa başladı.