

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İYON DEĞİŞTİRİCİ REÇİNELERİN KİNETİĞİNİN
İNCELENMESİ**

85050

Yüksek Kimyager Sevgi KOCAOBA

**F.B.E. Kimya Anabilim Dalı Analitik Kimya Bilim Dalında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi: 14 Mayıs 1999

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Göksel AKÇIN (YTÜ)

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Esmâ TÜTEM (İÜ)

: Prof. Dr. Bediâ ERİM BERKER (İTÜ)

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

İSTANBUL, 1999

85050

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
İÇİNDEKİLER	I
SİMGE LİSTESİ.....	VII
ŞEKİL LİSTESİ.....	VIII
ÇİZELGE LİSTESİ.....	XII
ÖNSÖZ.....	XVI
ÖZET.....	XVII
ABSTRACT.....	XVIII
1. GİRİŞ	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	2
3. GENEL BÖLÜM.....	9
3.1. Çalışılan Ağır Metaller Hakkında Bilgi	9
3.1.1. Krom	9
3.1.1.1. Fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	9
3.1.1.2. Su kalite kriterleri.....	10
3.1.1.3. Bileşikleri.....	10
3.1.1.4. Kromun türlendirilmesi.....	10
3.1.1.5. Kromun kullanım alanları	12
3.1.1.6. Kromun sulu sistemlerde ve atıklarda bulunuşu.....	12
3.1.1.7. Kromun canlılar üzerine etkisi	13
3.1.1.8. Toksikitesi.....	14
3.1.1.9. Analiz metodunun seçilmesi.....	15
3.1.2. Kadmiyum	15
3.1.2.1. Fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	15
3.1.2.2. Tabiatta bulunuşu.....	16
3.1.2.3. Kullanım alanları	16
3.1.2.4. Toksikitesi.....	17
3.1.2.5. Analiz metodunun seçilmesi.....	17
3.2. İyon Değiştiriciler	18
3.2.1. İyon değiştiricinin tanımı	18
3.2.2. İyon değiştirmenin teorik temelleri	18

3.2.3. Katyon değiştiriciler	20
3.2.3.1. Kuvvetli asidik katyon değiştirici reçineler	20
3.2.3.2. Zayıf asidik katyon değiştirici reçineler	21
3.2.4 Anyon değiştiriciler	21
3.2.4.1. Kuvvetli bazik anyon değiştirici reçineler	23
3.2.4.2. Zayıf bazik anyon değiştirici reçineler	24
3.2.5. Diğer iyon değiştirici tipleri	26
3.2.6. Makroporöz reçineler	27
3.2.7. Reçinenin seğiciliğine etki eden faktörler	27
3.2.8. İyon değiştirme reaksiyonları	27
3.2.8.1. Yumuşatma	27
3.2.8.2. Rejenerasyon	28
3.2.9. İyon değiştiricilerin özellikleri	28
3.2.9.1. Kapasite	28
3.2.9.2. İyonik Güç	29
3.2.9.3. Yoğunluk	30
3.2.9.4. Su muhtevası(içeriği)	30
3.2.9.5. Fizikokimyasal kararlılık	30
3.2.9.5.1. Yükseltgenme	30
3.2.9.5.2. Sıcaklık	30
3.2.9.5.3. Zehirlenme	30
3.2.9.5.4. Osmotik yükler	30
3.2.9.5.5. Aşınma	31
3.2.9.6. İyon değiştiricilerde aranan özellikler	31
3.2.9.7. Rejenerasyon	31
3.2.9.7.1. Kuvvetli asidik katyon değiştirici reçinelerin rejenerasyonu	31
3.2.9.7.2. Kuvvetli bazik anyon değiştirici reçinelerin rejenerasyonu	32
3.2.9.8. İyon değiştiricilerin kullanım öncesi hazırlığı	32
3.2.9.8.1. Hacim ölçülmesi	32
3.2.9.8.2. Reçine yerleştirilmeleri	32
3.2.9.8.3. Reçinenin şartlandırılması	33
3.2.9.8.4. Teslimattaki iyonik form	33
3.2.9.9. İyon değiştirici reçinelerin korunması için alınacak önlemler	33
3.3. İyon Değiştirme Kinetiği	34
3.3.1. Kinetiğe etki eden faktörler	35
3.3.1.1. İyon değiştirici reçine taneciklerinin yüzey alanı	35
3.3.1.2. Dallanmışlığın derecesi	35
3.3.1.3. Sıcaklık	35
3.3.1.4. Konsantrasyon	35
3.3.1.5. Akış hızı veya karıştırma hızı	35
3.3.2. Kinetik modeller	35
3.3.2.1. Kesilme testlerinin fdc ve pdc ile bağlantısı	38
3.4. Seçilen İyon Değiştirici Reçinelerin Özellikleri	39
3.4.1. Amberlite IRC 76 zayıf katyonik reçinenin özellikleri	39
3.4.2. Amberlite IRC 718 zayıf katyonik reçinenin özellikleri	39

3.4.3. Amberlite IRC 86 zayıf katyonik reçinenin özellikleri.....	40
3.4.4. Amberlite IR 120 kuvvetli katyonik reçinenin özellikleri	40
3.4.5. Amberlite IRA 402 kuvvetli anyonik reçinenin özellikleri.....	41
3.4.6. Amberlite IRA 410 kuvvetli anyonik reçinenin özellikleri.....	41
4. DENEYSEL BÖLÜM.....	43
4.1. Kullanılan Alet, Kimyasal ve Deney Düzenekleri	43
4.1.1. Kullanılan aletler	43
4.1.2. Kullanılan kimyasal maddeler	43
4.1.3. Deney düzenekleri.....	44
4.1.3.1. Kolon çalışması	44
4.1.3.2. Kressman-Kitchener karıştırıcı sistemi	44
4.2. Reçinelerin Hazırlanması	46
4.2.1. Kolon çalışmasında kullanılan Amberlite IRC 86'nın hazırlanması.....	46
4.2.2. Kinetik ve batch çalışmalarda kullanılan reçinelerin hazırlanması	46
4.2.3. Tanecik büyüklüğüne göre ayrılacak reçinelerin hazırlanması	47
4.2.4. Reçinelerin nem tayini	47
4.2.5. Reçinelerin iyon değiştirme kapasitelerinin tayini	47
4.2.5.1. Katyon değiştirme kapasitesinin titrimetrik tayini	48
4.2.5.2. Anyon değiştirme kapasitesinin titrimetrik tayini	48
4.3. Kressman Kitchener Karıştırıcı Sisteminde Kinetik Çalışmalar	48
4.3.1. Reçinelerin hazırlanması ve çalışılması	48
4.4. Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi Çalışma Şartları	50
4.4.1. Krom ve kadmiyumun atomik absorbsiyon spektrofotometresi ile hazırlanan standart ölçü eğrileri	51
4.5. Çalışılan Reçinelerin Kapasite ve Nem Miktarlarının Hesabı.....	52
4.6. Çalışılan Ağır MetallerİN Seçilen Reçinelerle Uzaklaştırılmasında Optimum Koşulların Belirlenmesine Etki Eden Faktörler	53
4.6.1. Amberlite IRC 76(Zayıf Katyonik Reçine).....	53
4.6.1.1. Krom tutulması üzerine konsantrasyonun etkisi	53
4.6.1.2. Krom tutulması üzerine pH'ın etkisi	55
4.6.1.3. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi.....	56
4.6.1.4. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi.....	57
4.6.2. Amberlite IRC 718 (Zayıf Katyonik Reçine).....	59
4.6.2.1. Krom tutulması üzerine konsantrasyonun etkisi	59
4.6.2.2. Krom tutulması üzerine pH'ın etkisi	60
4.6.2.3. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi.....	61
4.6.2.4. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi.....	63
4.6.3. Amberlite IR 120(Kuvvetli Katyonik Reçine)	65
4.6.3.1. Krom tutulması üzerine konsantrasyonun etkisi	65
4.6.3.2. Krom tutulması üzerine pH'ın etkisi	66
4.6.3.3. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi.....	67
4.6.3.4. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi.....	69
4.6.4. Amberlite IRA 402(Kuvvetli Anyonik Reçine).....	71

4.6.4.1. Krom tutulması üzerine konsantrasyonun etkisi	71
4.6.4.2. Krom tutulması üzerine pH'ın etkisi	72
4.6.4.3. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi.....	73
4.6.4.4. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi.....	74
4.6.5. Amberlite IRA 410(Kuvvetli Anyonik Reçine).....	75
4.6.5.1.Krom tutulması üzerine konsantrasyonun etkisi	75
4.6.5.2. Krom tutulması üzerine pH'ın etkisi	76
4.6.5.3. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi.....	77
4.6.5.4. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi.....	78
4.7.Optimum Koşulların Belirlenmesine Etki Eden Faktörlerin Seçilen Reçinelerin Farklı İyonik Formları İçin Karşılaştırılması	79
4.7.1. Konsantrasyon	79
4.7.1.1.Krom konsantrasyonunun krom tutulmasında Na ⁺ formundaki reçineler üzerine etkisi.....	79
4.7.1.2. Krom konsantrasyonunun krom tutulmasında H ⁺ formundaki reçineler üzerine etkisi.....	80
4.7.1.3. Krom konsantrasyonunun krom tutulmasında Cl ⁻ formundaki reçineler üzerine etkisi.....	81
4.7.2. pH	82
4.7.2.1.pH'ın krom tutulmasında Na ⁺ formundaki reçineler üzerine etkisi	82
4.7.2.2. pH'ın krom tutulmasında H ⁺ formundaki reçineler üzerine etkisi	83
4.7.2.3. pH'ın krom tutulmasında Cl ⁻ formundaki reçineler üzerine etkisi	84
4.7.3. Karıştırma zamanı	85
4.7.3.1.Karıştırma zamanının krom tutulmasında Na ⁺ formundaki reçineler üzerine etkisi.....	85
4.7.3.2. Karıştırma zamanının krom tutulmasında H ⁺ formundaki reçineler üzerine etkisi.....	86
4.7.3.3. Karıştırma zamanının krom tutulmasında Cl ⁻ formundaki reçineler üzerine etkisi.....	87
4.7.4 Reçine miktarı.....	88
4.7.4.1. Reçine miktarının krom tutulmasında Na ⁺ formundaki reçineler üzerine etkisi	88
4.7.4.2. Reçine miktarının krom tutulmasında H ⁺ formundaki reçineler üzerine etkisi	89
4.7.4.3. Reçine miktarının krom tutulmasında Cl ⁻ formundaki reçineler üzerine etkisi	90
4.7.5. Kadmiyum	92
4.7.5.1. Amberlite IR 120(kuvvetli katyonik reçine)kadmiyum tutulması üzerine konsantrasyon etkisi.....	92
4.7.5.2. Kadmiyum tutulması üzerine pH'ın etkisi.....	93
4.7.5.3. Kadmiyum tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi.....	94
4.7.5.4. Kadmiyum tutulması üzerine reçine miktarının etkisi.....	96
4.7.6. Amberlite IR 120 reçine ile aynı koşullarda çalışılan Cd ²⁺ ve Cr ³⁺ nın uzaklaştırılmasının çalışılması	97
4.7.6.1. Konsantrasyon etkisi	97
4.7.6.2. pH etkisi	99
4.7.6.3. Karıştırma zamanının etkisi	101
4.7.6.4. Reçine miktarının etkisi	102

4.8. Çalışılan Ağır Metallerin Seçilen Reçinelerle Uzaklaştırılmasıyla İlgili Kinetik Çalışmalar ve Bunlara Etki Eden Faktörler	105
4.8.1. Krom- Amberlite IRC 76(zayıf katyonik reçine)	106
4.8.1.1. Konsantrasyon etkisi	106
4.8.1.2. Reçine miktarının etkisi	115
4.8.1.3. Tanecik büyüklüğünün etkisi	118
4.8.1.4. Karıştırma hızının etkisi	122
4.8.2. Amberlite IRC 718(zayıf katyonik reçine).....	127
4.8.2.1. Konsantrasyon etkisi	127
4.8.2.2.Reçine miktarının etkisi	134
4.8.2.3. Tanecik büyüklüğünün etkisi	136
4.8.2.4.Karıştırma hızının etkisi	140
4.8.3. Amberlite IR 120(kuvvetli katyonik reçine).....	146
4.8.3.1. Konsantrasyon etkisi	146
4.8.3.2.Reçine miktarının etkisi	152
4.8.3.3.Karıştırma hızının etkisi	155
4.8.4. Amberlite IRA 402(kuvvetli anyonik reçine).....	161
4.8.4.1. Konsantrasyon etkisi	161
4.8.4.2. Reçine miktarının etkisi	168
4.8.4.3. Karıştırma hızının etkisi	170
4.8.5. Amberlite IRA 410(kuvvetli anyonik reçine).....	176
4.8.5.1. Konsantrasyon etkisi	176
4.8.5.2.Reçinemiktarının etkisi	182
4.8.5.3. Karıştırma hızının etkisi	185
4.8.6. Kadmiyum	191
4.9. Tabakhane Atık Sularındaki Cr^{3+} 'nın İyon Değiştiricilerle Uzaklaştırılmasının Uygulanması	194
4.10. Rejenerasyon.....	195
4.10.1. Rejenerasyon reaksiyonları	195
4.11. MINTEQA2 Programı ile Türlendirme (Speciation)	197
4.12. Katyon ve Anyon Değiştirici Reçinelerle yapılan Çalışmaların Kinetik Modellere Göre İncelenmesi	199
4.12.1. Kesilme (Interruption)testleri.....	199
4.12.2. Denge deneyleri	200
4.12.3. Kinetik çalışmaların sonuçlarının kinetik modellere uygunluğunun araştırılması	200
5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	215
5.1. Kromun Seçilen Reçinelerle Uzaklaştırılmasında Optimum Koşulların Belirlenmesine Etki Eden Faktörler	215
5.1.1. Amberlite IRC 76 (Zayıf Katyonik Reçine).....	215
5.1.1.1.Krom tutulması üzerine konsantrasyonun etkisi	215
5.1.1.2.Krom tutulması üzerine pH'ın etkisi	215
5.1.1.3. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi.....	216
5.1.1.4. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi.....	216

5.1.2. Amberlite IRC 718 (Zayıf Katyonik Reçine).....	216
5.1.2.1. Krom tutulması üzerine konsantrasyonun etkisi	216
5.1.2.2. Krom tutulması üzerine pH'ın etkisi	217
5.1.2.3. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi.....	217
5.1.2.4. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi.....	217
5.1.3. Amberlite IR 120(Kuvvetli Katyonik Reçine)	218
5.1.3.1. Krom tutulması üzerine konsantrasyonun etkisi	218
5.1.3.2. Krom tutulması üzerine pH'ın etkisi	218
5.1.3.3. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi.....	218
5.1.3.4. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi.....	218
5.1.4. Amberlite IRA 402(Kuvvetli Anyonik Reçine).....	218
5.1.4.1. Krom tutulması üzerine konsantrasyonun etkisi	218
5.1.4.2. Krom tutulması üzerine pH'ın etkisi	219
5.1.4.3. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi.....	219
5.1.4.4. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi.....	219
5.1.5. Amberlite IRA 410(Kuvvetli Anyonik Reçine).....	219
5.1.5.1. Krom tutulması üzerine konsantrasyonun etkisi	219
5.1.5.2. Krom tutulması üzerine pH'ın etkisi	219
5.1.5.3. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi.....	219
5.1.5.4. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi.....	220
5.2. Kadmiyumun Amberlite IR 120 (Kuvvetli katyonik reçine) İle Uzaklaştırılmasında Optimum Koşulların Belirlenmesine Etki Eden Faktörler	220
5.2.1. Kadmiyum tutulması üzerine konsantrasyon etkisi	221
5.2.2. Kadmiyum tutulması üzerine pH etkisi.....	221
5.2.3. Kadmiyum tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi.....	221
5.2.4. Kadmiyum tutulması üzerine reçine miktarının etkisi.....	221
5.3. Aynı koşullarda çalışılan Cd ²⁺ ve Cr ³⁺ un Amberlite IR 120 reçine ile uzaklaştırılmasının karşılaştırılması	222
5.3.1. Konsantrasyon etkisi	222
5.3.2. pH etkisi	222
5.3.3. Karıştırma zamanının etkisi.....	222
5.3.4. Reçine miktarının etkisi	222
5.4. Çalışılan Ağır Metallerin Seçilen Reçinelerle Uzaklaştırılmasıyla İlgili Kinetik Çalışmalar ve Bunlara Etki Eden Faktörler	223
KAYNAKLAR.....	228
ÖZGEÇMİŞ	235

SİMGE LİSTESİ

pdc	Katı faz (tanecik) difüzyon kontrolü
fdc	Likit faz (film) difüzyon kontrolü
r^0	Tanecik büyüklüğü, yarıçapı
C	Çözelti konsantrasyonu
C_0	Başlangıç konsantrasyonu
C_t	t zamanındaki konsantrasyon
C_{eq}	Dengedeki konsantrasyon
U	Dengeye fraksiyonel yaklaşım
$t_{0.5}$	Kinetik prosesin yarı değiştirme zamanı
rpm	Karıştırma hızı
\bar{C}	Kapasite
α	Ayırma faktörü
Q_{top}	Toplam kapasite
$m_{reç}$	Reçine miktarı
V_L	Çözelti hacmi
D	Likit faz difüzyon katsayısı
\bar{D}	Solid faz difüzyon katsayısı
δ	Film kalınlığı
t	Zaman
φ	Elektriksel potansiyel
z	Zıt yüklü iyonların elektrokimyasal değeri
F	Faraday sabiti
R	Gaz sabiti
T	Sıcaklık

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1. Sulu çözeltilerde mevcut olan krom(III) komplekslerinin tür dağılımı.....	11
Şekil 3.2. Stiren ve divinilbenzen yapıları.....	20
Şekil 3.3. Stiren ve divinilbenzen kopolimerizasyonu sonucu oluşan yapı.....	20
Şekil 3.4. Karboksilik bir katyon değiştiricinin hazırlanması.....	21
Şekil 3.5. Polistirenik bir anyon değiştiricinin hazırlanması.....	22
Şekil 3.6. Kuvvetli bazik anyon değiştirici reçine.....	23
Şekil 3.7. Kuvvetli bazik anyon değiştirici reçinenin seçiciliği.....	24
Şekil 3.8. Poliakrilik iyon değiştiricilerin hazırlanması.....	25
Şekil 3.9. Polimere değişik gruplar katarak metallerin seçimli tutulması.....	26
Şekil 3.10. İyon Değiştirme Kinetiği.....	34
Şekil 3.11. Tanecik ve film difüzyon kontrolü ile kesilme testi.....	38
Şekil 4.1. Kressman-Kitchener karıştırıcısı.....	44
Şekil 4.2. Kressman-Kitchener karıştırıcı reaktör sistemi.....	45
Şekil 4.3. Çalıştığımız Kressman-Kitchener reaktör sistemi.....	45
Şekil 4.4. Yapılan deneylerin akım şeması.....	49
Şekil 4.5. AAS ile hazırlanan krom standart ölçü eğrisi.....	51
Şekil 4.6. AAS ile hazırlanan kadmiyum standart ölçü eğrisi.....	51
Şekil 4.7. Krom konsantrasyonuna bağlı olarak reçinede tutulan % Cr.....	54
Şekil 4.8. pH'a bağlı olarak reçinede tutulan % Cr.....	56
Şekil 4.9. Karıştırma zamanına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr.....	57
Şekil 4.10. Reçine miktarına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr.....	58
Şekil 4.11. Krom konsantrasyonuna bağlı olarak reçinede tutulan % Cr.....	54
Şekil 4.12. pH'a bağlı olarak reçinede tutulan % Cr.....	61
Şekil 4.13. Karıştırma zamanına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr.....	62
Şekil 4.14. Reçine miktarına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr.....	64
Şekil 4.15. Krom konsantrasyonuna bağlı olarak reçinede tutulan % Cr.....	66
Şekil 4.16. pH'a bağlı olarak reçinede tutulan % Cr.....	67
Şekil 4.17. Karıştırma zamanına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr.....	68
Şekil 4.18. Reçine miktarına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr.....	70
Şekil 4.19. Krom konsantrasyonuna bağlı olarak reçinede tutulan % Cr.....	71
Şekil 4.20. pH'a bağlı olarak reçinede tutulan % Cr.....	72
Şekil 4.21. Karıştırma zamanına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr.....	73
Şekil 4.22. Reçine miktarına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr.....	74
Şekil 4.23. Krom konsantrasyonuna bağlı olarak reçinede tutulan % Cr.....	75
Şekil 4.24. pH'a bağlı olarak reçinede tutulan % Cr.....	76
Şekil 4.25. Karıştırma zamanına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr.....	77
Şekil 4.26. Reçine miktarına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr.....	78
Şekil 4.27. Krom konsantrasyonuna bağlı olarak reçinede tutulan % Cr.....	80
Şekil 4.28. Krom konsantrasyonuna bağlı olarak reçinede tutulan % Cr.....	81
Şekil 4.29. Krom konsantrasyonuna bağlı olarak reçinede tutulan % Cr.....	82
Şekil 4.30. pH'a bağlı olarak reçinede tutulan % Cr.....	83
Şekil 4.31. pH'a bağlı olarak reçinede tutulan % Cr.....	84

Şekil 4.32. pH'a bağlı olarak reçinede tutulan % Cr	85
Şekil 4.33. Karıştırma zamanına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr	86
Şekil 4.34. Karıştırma zamanına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr	87
Şekil 4.35. Karıştırma zamanına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr	88
Şekil 4.36. Reçine miktarına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr	89
Şekil 4.37. Reçine miktarına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr	90
Şekil 4.38. Reçine miktarına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr	91
Şekil 4.39. Kadmiyum konsantrasyonuna bağlı olarak reçinede tutulan % Cr	93
Şekil 4.40. pH'a bağlı olarak reçinede tutulan % Cr	94
Şekil 4.41. Karıştırma zamanına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr	95
Şekil 4.42. Reçine miktarına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr	97
Şekil 4.43. Krom ve kadmiyum konsantrasyonuna bağlı olarak reçinede % tutulma ...	98
Şekil 4.44. Krom ve kadmiyum konsantrasyonuna bağlı olarak reçinede % tutulma ...	99
Şekil 4.45. pH'a bağlı olarak reçinede tutulan % Cd ve Cr	100
Şekil 4.46. pH'a bağlı olarak reçinede tutulan % Cd ve Cr	100
Şekil 4.47. Karıştırma zamanına bağlı olarak reçinede tutulan % Cd ve Cr	101
Şekil 4.48. Karıştırma zamanına bağlı olarak reçinede tutulan % Cd ve Cr	102
Şekil 4.49. Reçine miktarına bağlı olarak reçinede tutulan % Cd veCr	103
Şekil 4.50. Reçine miktarına bağlı olarak reçinede tutulan % Cd veCr	104
Şekil 4.51. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (5 ppm)	107
Şekil 4.52. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (10 ppm)	108
Şekil 4.53. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (30 ppm)	109
Şekil 4.54. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (50 ppm)	110
Şekil 4.55. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (75 ppm)	111
Şekil 4.56. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (100 ppm)	112
Şekil 4.57. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (130 ppm)	113
Şekil 4.58. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (160 ppm)	114
Şekil 4.59. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik).....	114
Şekil 4.59. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (5 mg)	116
Şekil 4.60. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (20 mg)	117
Şekil 4.61. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik).....	117
Şekil 4.62. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (0.35 mm)	119
Şekil 4.63. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (0.71 mm)	120
Şekil 4.64. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (1.8 mm)	121
Şekil 4.65. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik).....	122
Şekil 4.66. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (1000 rpm)	123
Şekil 4.67. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (1500 rpm)	124
Şekil 4.68. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (2000 rpm)	125
Şekil 4.69. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (3500 rpm)	126
Şekil 4.70. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik).....	126
Şekil 4.71. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (5 ppm)	128
Şekil 4.72. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (10 ppm)	129
Şekil 4.73. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (50 ppm)	130
Şekil 4.74. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (75 ppm)	131
Şekil 4.75. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (100 ppm)	132

Şekil 4.76. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (160 ppm).....	133
Şekil 4.77. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik).....	133
Şekil 4.78. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (5 mg).....	134
Şekil 4.79. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (20 mg).....	135
Şekil 4.80. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik).....	136
Şekil 4.81. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (0.35 mm).....	137
Şekil 4.82. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (0.71 mm).....	138
Şekil 4.83. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (1.8 mm).....	139
Şekil 4.84. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik).....	140
Şekil 4.85. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (1000 rpm).....	141
Şekil 4.86. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (1500 rpm).....	142
Şekil 4.87. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (2000 rpm).....	143
Şekil 4.88. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (3500 rpm).....	144
Şekil 4.89. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik).....	145
Şekil 4.90. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (5 ppm).....	147
Şekil 4.91. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (10 ppm).....	148
Şekil 4.92. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (50 ppm).....	149
Şekil 4.93. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (75 ppm).....	150
Şekil 4.94. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (100 ppm).....	151
Şekil 4.95. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (160 ppm).....	152
Şekil 4.96. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik).....	152
Şekil 4.97. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (5 mg).....	153
Şekil 4.98. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (20 mg).....	154
Şekil 4.99. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik).....	155
Şekil 4.100. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (1000 rpm).....	156
Şekil 4.101. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (1500 rpm).....	157
Şekil 4.102. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (2000 rpm).....	158
Şekil 4.103. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (3500 rpm).....	159
Şekil 4.104. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik).....	160
Şekil 4.105. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (5 ppm).....	162
Şekil 4.106. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (10 ppm).....	163
Şekil 4.107. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (50 ppm).....	164
Şekil 4.108. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (75 ppm).....	165
Şekil 4.109. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (100 ppm).....	166
Şekil 4.110. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (160 ppm).....	167
Şekil 4.111. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik).....	167
Şekil 4.112. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (5 mg).....	169
Şekil 4.113. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (20 mg).....	170
Şekil 4.114. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik).....	170
Şekil 4.115. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (1000 rpm).....	171
Şekil 4.116. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (1500 rpm).....	172
Şekil 4.117. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (2000 rpm).....	173
Şekil 4.118. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (3500 rpm).....	174
Şekil 4.119. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik).....	175
Şekil 4.120. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (5 ppm).....	177
Şekil 4.121. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (10 ppm).....	178
Şekil 4.122. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (50 ppm).....	179

Şekil 4.123. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (75 ppm)	180
Şekil 4.124. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (100 ppm)	181
Şekil 4.125. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (160 ppm)	182
Şekil 4.126. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik).....	182
Şekil 4.127. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (5 mg).....	183
Şekil 4.128. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (20 mg)	184
Şekil 4.129. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik).....	185
Şekil 4.130. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (1000 rpm).....	186
Şekil 4.131. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (1500 rpm).....	187
Şekil 4.132. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (2000 rpm).....	188
Şekil 4.133. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (3500 rpm).....	189
Şekil 4.134. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik).....	190
Şekil 4.135. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (10 ppm)	192
Şekil 4.136. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (50 ppm)	193
Şekil 4.137. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (50 ppm)	193
Şekil 4.138. pH'a bağlı olarak % tür dağılımı çubuk grafik (10 ppm).....	197
Şekil 4.139. pH'a bağlı olarak % tür dağılımı eğri grafiği (10 ppm)	198
Şekil 4.140. Konsantrasyona bağlı olarak % tür dağılımı çubuk grafik (pH 5).....	198
Şekil 4.141. Konsantrasyona bağlı olarak % tür dağılımı eğri grafiği (pH 5).....	198
Şekil 4.142. Konsantrasyon-t _{0,5} grafiği	203
Şekil 4.143. Karıştırma hızı-t _{0,5} grafiği.....	203
Şekil 4.144. Tanecik büyüklüğü-t _{0,5} grafiği.....	203
Şekil 4.145. Konsantrasyon-t _{0,5} grafiği	204
Şekil 4.146. Karıştırma hızı-t _{0,5} grafiği.....	204
Şekil 4.147. Tanecik büyüklüğü-t _{0,5} grafiği.....	204
Şekil 4.148. Konsantrasyon-t _{0,5} grafiği	205
Şekil 4.149. Karıştırma hızı-t _{0,5} grafiği.....	205
Şekil 4.150. Konsantrasyon-t _{0,5} grafiği	205
Şekil 4.151. Karıştırma hızı-t _{0,5} grafiği.....	206
Şekil 4.152. Konsantrasyon-t _{0,5} grafiği	206
Şekil 4.153. Karıştırma hızı-t _{0,5} grafiği.....	206
Şekil 4.154. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Amberlite IRC 76)	207
Şekil 4.155. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Amberlite IRC 718)	208
Şekil 4.156. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Amberlite IR 120).....	209
Şekil 4.157. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Amberlite IRA 402)	210
Şekil 4.158. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Amberlite IRA 410)	211
Şekil 4.159. ln X/1-X- ln Y/1-Y grafiği (Amberlite IRC 76)	212
Şekil 4.160. ln X/1-X- ln Y/1-Y grafiği (Amberlite IRC 718)	212
Şekil 4.161. ln X/1-X- ln Y/1-Y grafiği (Amberlite IR 120).....	213
Şekil 4.162. ln X/1-X- ln Y/1-Y grafiği (Amberlite IRA 402).....	213
Şekil 4.163. ln X/1-X- ln Y/1-Y grafiği (Amberlite IRA 410).....	214

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. Deneysel koşulların iyon değiştirme hızına bağımlılığı.....	36
Çizelge 3.2. Amberlite IRC 76 zayıf katyonik reçinenin özellikleri	39
Çizelge 3.3. Amberlite IRC 76 zayıf katyonik reçine için önerilen çalışma koşulları....	39
Çizelge 3.4. Amberlite IRC 718 zayıf katyonik reçinenin özellikleri	39
Çizelge 3.5. Amberlite IRC 718 zayıf katyonik reçine için önerilen çalışma koşulları..	39
Çizelge 3.6. Amberlite IRC 86 zayıf katyonik reçinenin özellikleri	40
Çizelge 3.7. Amberlite IRC 86 zayıf katyonik reçine için önerilen çalışma koşulları....	40
Çizelge 3.8. Amberlite IR 120 kuvvetli katyonik reçinenin özellikleri.....	40
Çizelge 3.9. Amberlite IR 120 kuvvetli katyonik reçine için önerilen çalışma koşulları	41
Çizelge 3.10. Amberlite IRA 402 kuvvetli anyonik reçinenin özellikleri	41
Çizelge 3.11. Amberlite IRA 402 kuvvetli anyonik reçine için önerilen çalışma Koşulları	41
Çizelge 3.12. Amberlite IRA 410 kuvvetli anyonik reçinenin özellikleri	41
Çizelge 3.13. Amberlite IRA 410 kuvvetli anyonik reçine için önerilen çalışma koşulları.....	42
Çizelge 4.1 Metallerin Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi çalışma şartları	50
Çizelge 4.2. Çalışılan reçinelerin kapasite ve nem miktarları.....	52
Çizelge 4.3. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (Na ⁺ form)	54
Çizelge 4.4. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (H ⁺ form).....	54
Çizelge 4.5. Krom tutulması üzerine pH'ın etkisi (Na ⁺ form)	55
Çizelge 4.6. Krom tutulması üzerine pH'ın etkisi(H ⁺ form).....	55
Çizelge 4.7. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi (Na ⁺ form)	56
Çizelge 4.8. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi(H ⁺ form)	57
Çizelge 4.9. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (Na ⁺ form)	58
Çizelge 4.10. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (H ⁺ form)	58
Çizelge 4.11. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (Na ⁺ form)	59
Çizelge 4.12 Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (H ⁺ form).....	59
Çizelge 4.13 Krom tutulması üzerine pH'ın etkisi (Na ⁺ form)	60
Çizelge 4.14. Krom tutulması üzerine pH'ın etkisi(H ⁺ form).....	61
Çizelge 4.15. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi (Na ⁺ form)	62
Çizelge 4.16 .Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi(H ⁺ form)	62
Çizelge 4.17. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (Na ⁺ form)	63
Çizelge 4.18.Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (H ⁺ form).....	63
Çizelge 4.19 Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (Na ⁺ form)	65
Çizelge 4.20. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (H ⁺ form).....	65
Çizelge 4.21. Krom tutulması üzerine pH'ın etkisi (Na ⁺ form)	66
Çizelge 4.22. Krom tutulması üzerine pH'ın etkisi(H ⁺ form).....	67
Çizelge 4.23. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi (Na ⁺ form)	68

Çizelge 4.24. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi(H^+ form).....	68
Çizelge 4.25. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (Na^+ form).....	69
Çizelge 4.26. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (H^+ form).....	69
Çizelge 4.27. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi.....	71
Çizelge 4.28. Krom tutulması üzerine çözelti pH'ın etkisi.....	72
Çizelge 4.29. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi.....	73
Çizelge 4.30. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi.....	74
Çizelge 4.31. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi.....	75
Çizelge 4.32. Krom tutulması üzerine çözelti pH'ın etkisi.....	76
Çizelge 4.33. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi.....	77
Çizelge 4.34. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi.....	78
Çizelge 4.35. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (Na^+ form).....	79
Çizelge 4.36. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (H^+ form).....	80
Çizelge 4.37. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (Cl^- form).....	81
Çizelge 4.38. Krom tutulması üzerine pH'ın etkisi (Na^+ form).....	82
Çizelge 4.39. Krom tutulması üzerine pH'ın etkisi(H^+ form).....	83
Çizelge 4.40. Krom tutulması üzerine pH'ın etkisi (Cl^- form).....	84
Çizelge 4.41. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi (Na^+ form).....	85
Çizelge 4.42. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi(H^+ form).....	86
Çizelge 4.43. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi (Cl^- form).....	87
Çizelge 4.44. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (Na^+ form).....	88
Çizelge 4.45. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (H^+ form).....	89
Çizelge 4.46. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (Cl^- form).....	90
Çizelge 4.47. Kadmiyum tutulması üzerine kadmiyum konsantrasyonunun etkisi (Na^+ form).....	92
Çizelge 4.48. Kadmiyum tutulması üzerine kadmiyum konsantrasyonunun etkisi (H^+ form).....	92
Çizelge 4.49. Kadmiyum tutulması üzerine pH'ın etkisi (Na^+ form).....	93
Çizelge 4.50. Kadmiyum tutulması üzerine pH'ın etkisi (Na^+ form).....	94
Çizelge 4.51. Kadmiyum tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi (Na^+ form).....	95
Çizelge 4.52. Kadmiyum tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi (H^+ form).....	95
Çizelge 4.53. Kadmiyum tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (Na^+ form).....	96
Çizelge 4.54. Kadmiyum tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (H^+ form).....	96
Çizelge 4.55. Kadmiyum ve krom tutulması üzerine konsantrasyonunun etkisi (Na^+ form).....	98
Çizelge 4.56. Kadmiyum ve krom tutulması üzerine kadmiyum konsantrasyonunun etkisi (H^+ form).....	98
Çizelge 4.57. Kadmiyum ve krom tutulması üzerine pH'ın etkisi(Na^+ form).....	99
Çizelge 4.58. Kadmiyum ve krom tutulması üzerine pH'ın etkisi(H^+ form).....	100
Çizelge 4.59. Kadmiyum ve krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi (Na^+ form).....	101
Çizelge 4.60. Kadmiyum ve krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi (Na^+ form).....	102
Çizelge 4.61. Kadmiyum ve krom tutulması üzerine pH'ın etkisi(Na^+ form).....	103
Çizelge 4.62. Kadmiyum ve krom tutulması üzerine pH'ın etkisi(H^+ form).....	103
Çizelge 4.63. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (5 ppm).....	106

Çizelge 4.64. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (10 ppm).....	107
Çizelge 4.65. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (30 ppm).....	108
Çizelge 4.66. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (50 ppm).....	109
Çizelge 4.67. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (75 ppm).....	110
Çizelge 4.68. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (100 ppm).....	111
Çizelge 4.69. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (130 ppm).....	112
Çizelge 4.70. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (160 ppm).....	113
Çizelge 4.71. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (5 mg).....	115
Çizelge 4.72. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (20 mg).....	116
Çizelge 4.73. Krom tutulması üzerine tanecik büyüklüğünün etkisi (0.35 mm).....	118
Çizelge 4.74. Krom tutulması üzerine tanecik büyüklüğünün etkisi (0.71 mm).....	119
Çizelge 4.75. Krom tutulması üzerine tanecik büyüklüğünün etkisi (1.8 mm).....	120
Çizelge 4.76. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (1000 rpm).....	122
Çizelge 4.77. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (1500 rpm).....	123
Çizelge 4.78. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (2000 rpm).....	124
Çizelge 4.79. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (3500 rpm).....	125
Çizelge 4.80. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (5 ppm).....	127
Çizelge 4.81. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (10 ppm).....	128
Çizelge 4.82. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (50 ppm).....	129
Çizelge 4.83. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (75 ppm).....	130
Çizelge 4.84. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (100 ppm).....	131
Çizelge 4.85. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (160 ppm).....	132
Çizelge 4.86. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (5 mg).....	134
Çizelge 4.87. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (20 mg).....	135
Çizelge 4.88. Krom tutulması üzerine tanecik büyüklüğünün etkisi (0.35 mm).....	137
Çizelge 4.89. Krom tutulması üzerine tanecik büyüklüğünün etkisi (0.71 mm).....	138
Çizelge 4.90. Krom tutulması üzerine tanecik büyüklüğünün etkisi (1.8 mm).....	139
Çizelge 4.91. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (1000 rpm).....	141
Çizelge 4.92. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (1500 rpm).....	142
Çizelge 4.93. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (2000 rpm).....	143
Çizelge 4.94. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (3500 rpm).....	144
Çizelge 4.95. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (5 ppm).....	146
Çizelge 4.96. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (10 ppm).....	147
Çizelge 4.97. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (50 ppm).....	148
Çizelge 4.98. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (75 ppm).....	149
Çizelge 4.99. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (100 ppm).....	150
Çizelge 4.100. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (160 ppm)....	151
Çizelge 4.101. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (5 mg).....	153
Çizelge 4.102. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (20 mg).....	154
Çizelge 4.103. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (1000 rpm).....	156
Çizelge 4.104. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (1500 rpm).....	157
Çizelge 4.105 Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (2000 rpm).....	158
Çizelge 4.106. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (3500 rpm).....	159
Çizelge 4.107 Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (5 ppm).....	161
Çizelge 4.108. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (10 ppm).....	162
Çizelge 4.109. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (50 ppm).....	163
Çizelge 4.110 Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (75 ppm).....	164

Çizelge 4.111 Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (100 ppm).....	165
Çizelge 4.112 Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (160 ppm).....	166
Çizelge 4.113. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (5 mg).....	168
Çizelge 4.114. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (20 mg).....	169
Çizelge 4.115. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (1000 rpm).....	171
Çizelge 4.116. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (1500 rpm).....	172
Çizelge 4.117. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (2000 rpm).....	173
Çizelge 4.118. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (3500 rpm).....	174
Çizelge 4.119 Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (5 ppm).....	176
Çizelge 4.120. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (10 ppm).....	177
Çizelge 4.121. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (50 ppm).....	178
Çizelge 4.122. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (75 ppm).....	179
Çizelge 4.123. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (100 ppm)....	180
Çizelge 4.124. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (160 ppm)....	181
Çizelge 4.125. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (5 mg).....	183
Çizelge 4.126. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (20 mg).....	184
Çizelge 4.127. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (1000 rpm).....	186
Çizelge 4.128. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (1500 rpm).....	187
Çizelge 4.129. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (2000 rpm).....	188
Çizelge 4.130. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (3500 rpm).....	189
Çizelge 4.131. Amberlite IR 120 ile kadmiyum tutulması(10 ppm)	191
Çizelge 4.132. Amberlite IR 120 (Na ⁺ form)reçine ile kadmiyum tutulması(50 ppm)..	192
Çizelge 4.133. Amberlite IR 120 (H ⁺ form)ile kadmiyum tutulması(50 ppm)	193
Çizelge 4.134. Başlangıç ve çıkıştaki krom(III) konsantrasyonları, akış hızları, tutulan krom(III) miktarları ve % leri	194
Çizelge 4.135. Krom(III)'ün geri kazanılması için uygulanan işlemler ve kimyasallar.	196
Çizelge 4.136. Katyonik ve anyonik reçinelerle yapılan kinetik çalışmaların toplu sonuçları	201
Çizelge 4.137. Amberlite IRC 76 için interruption (kesilme)deneyi sonuçları	207
Çizelge 4.138. Amberlite IRC 718 için interruption (kesilme)deneyi sonuçları	208
Çizelge 4.139. Amberlite IR 120 için interruption (kesilme)deneyi sonuçları.....	209
Çizelge 4.140. Amberlite IRA 402 için interruption (kesilme)deneyi sonuçları	210
Çizelge 4.141. Amberlite IRA 410 için interruption (kesilme)deneyi sonuçları	211
Çizelge 4.142. Amberlite IRC 76 (zayıf katyonik reçine) denge deneyi sonuçları	212
Çizelge 4.143. Amberlite IRC 718 (zayıf katyonik reçine) denge deneyi sonuçları.....	212
Çizelge 4.144. Amberlite IR 120 (kuvvetli katyonik reçine) denge deneyi sonuçları ...	213
Çizelge 4.145. Amberlite IRA 402 (kuvvetli anyonik reçine) denge deneyi sonuçları..	213
Çizelge 4.146. Amberlite IRA 410 (kuvvetli anyonik reçine) denge deneyi sonuçları..	214
Çizelge 4.147. Reçinelerin α - ayırma faktörleri.....	214
Çizelge 4.148. Amberlite IRC 76 ve Amberlite IRC 718 için istatistiksel değerlendirme	226
Çizelge 4.149. Çalışılan reçineler için ortalama ve % RSD değerleri	227

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesini sağlayan, çalışmaların her aşamasında yardım ve ilgilerini gördüğüm, bana her zaman destek olan çok değerli hocam Sayın Doç. Dr. Göksel AKÇİN'a sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Çalışmalarımızda kullandığımız reçinelerin temin edilmesindeki yardımları ve iyon değiştiriciler hakkında ufukumuzu genişlettiği için Sayın Atıf AKÇİN'a,

Çalışmalarım esnasında bilgi alışverişinde bulunduğum IRSA-CNR Su Araştırma Enstitüsünden Dr.Domenico PETRUZZELLI'ye de en derin saygılarımla teşekkür ederim.

ÖZET

Bu çalışmada, çevreye olan zararlı etkilerinden dolayı krom ve kadmiyum metallerinin uzaklaştırılması amacı ile iyon değiştiricilerin kullanılabilirliği incelenmiş, seçilen katyon ve anyon değiştirici reçinelerle bu metallerin optimum metal uzaklaştırma koşulları araştırılmış ve iyon değiştirme kinetikleri modellemeye uygun olarak incelenmiştir.

Seçilen reçineler Amberlite IRC 76 (zayıf katyonik), Amberlite IRC 718 (zayıf katyonik), Amberlite IR 120 (kuvvetli katyonik), Amberlite IRA 402 (kuvvetli anyonik), Amberlite IRA 410 (kuvvetli anyonik)'dur.

Yapılan çalışmalar üç ana bölümden oluşmaktadır. Tabakhane atık sularından kromun iyon değiştiricilerle kolon sistemi ile uzaklaştırılması, krom ve kadmiyumun uzaklaştırılması için optimum koşulların belirlenmesi amacı ile kesikli (batch) çalışmalar, türlendirme ve Kressman- Kitchener karıştırıcı sistemi ile yapılan kinetik çalışmalar, bulunan sonuçların kinetik modellere uygunluğunun araştırılmasıdır.

Her iki ağır metal içinde bu iyon değiştiricilerle optimum uzaklaştırma koşullarının belirlenmesi amacı ile metal tutulması üzerine konsantrasyonun, pH'ın, karıştırma zamanının ve reçine miktarının etkileri ayrı ayrı araştırılmıştır.

Karboksilik reçinelerle krom uzaklaştırılmasındaki rejenerasyon problemi alkali ortamda rejenerant olarak H_2O_2 kullanarak çözülmüş tür.

Seçilen iyon değiştiricilerin iyon değiştirme kinetiklerine konsantrasyon, reçine miktarı, tanecik büyüklüğü, karıştırma hızının etkileri de incelenmiştir. Kinetik çalışmalarda yüksek konsantrasyon, küçük tanecik büyüklüğü, yüksek karıştırma hızı gibi incelenen parametrelerde daha fazla metal alımı gözlenmiştir. Kinetik çalışmalarda reaksiyon kinetik hızı üzerine etkili olan mekanizmanın açıklanması için önemli bir parametre olan kesilme (interruption) testleri yapıldı, denge deneyleri ile de α (ayırma faktörü) her reçine için bulunmuştur.

MINTEQA2 modelleme programı ile çalışılan pH ve konsantrasyonlarda türlendirme (speciation) yapıldı. pH ve konsantrasyonla, oluşan türlerin % konsantrasyonları arasında grafikler çizildi. Kesikli ve kinetik çalışmalarda seçilen konsantrasyonlarda ve pH: 5 de $Cr(OH)^{2+}$ türünün baskın olduğu görülmüştür.

Anahtar Sözcükler: İyon Değiştirme, Reçine, Krom, Kadmiyum, Optimum Koşullar, Kinetik, Rejenerasyon, Türlendirme, Modelleme.

ABSTRACT

In this study, the reason of harmful to environment of chromium and cadmium, use of ion exchange resins for condition of optimum metal uptake for choosen cationic and anionic resins and ion exchange kinetics that were suitable to kinetic models were investigated.

The choosen resins were Amberlite IRC 76 (weak cationic), Amberlite IRC 718 (weak cationic), Amberlite IR 120 (strong cationic), Amberlite IRA 402 (strong anionic), Amberlite IRA 410 (strong anionic).

This study was consisted of 3 different main parts. Removal of chromium from tannery wastes by ion exchange column system, batch studies for determination of optimum conditions, speciation, kinetic studies with Kresman Kitchener stirrer reactor system and the results were compared with kinetic models.

For removal of these two heavy metals by ion exchange, the affect of concentration, pH, stirring time, resin amount to the metal uptake were investigated. In batch studies, the optimum conditions were defined both Na^+ and H^+ forms of the resins. The optimum conditions were concentration 10 ppm, pH 5, stirring time 20 minutes and resin amount 0.1 g. For cadmium, concentration 20 ppm, pH 5.5, stirring time 20 minutes and resin amount 0.1 g. The regeneration problem of removal of chromium with carboxylic resins was solved with using of H_2O_2 in alkaline media.

The affects of concentration, resin amount, particle size, stirring speed on ion exchange kinetics of choosen resins were investigated. In kinetic studies, metal uptake was high in high concentration, small particle size, high stirring speed. An important parameter interruption tests were done for explanation of reaction kinetic mechanism on resins, separation factors (α) of resins were determined with equilibrium experiments, speciation was done in the working pH and concentrations with MINTEQA2 programme. The graphics of pH and concentration versus % concentrations of species were drawn. $\text{Cr}(\text{OH})^{2+}$ species were found dominant at pH 5 in batch and kinetic studies.

Key Words: Ion-Exchange, Resin, Chromium(III), Cadmium(II), Optimum Conditions, Kinetic, Regeneration, Speciation, Modelling.

1. GİRİŞ

Son yıllarda çevresel ilgi, inorganik kirlilikler özellikle toksik metal içeren endüstriyel atık sular konusunda artmıştır. Ağır metallerin ve diğer kirleticilerin çevreye olan etkilerinden dolayı, koruma teknolojilerine olan ilgi artmıştır.

Endüstriyel atık sulardan toksik metallerin iyon değiştiricilerle uzaklaştırılması, kullanılan metallerin geri kazanılması, suların yeniden kullanılması ve maliyeti düşürdüğü için tercih sebebi olmaktadır.

Kroma endüstrinin hemen her dalında rastlanır. Doğal konsantrasyonunun üzerindeki krom bileşikleri endüstriyel faaliyetlerden gelmektedir. Özellikle kaplama fabrikalarında, tabakhanelerde, boyahanelerde ve demir, çelik üretim tesislerinden her yıl çevreye tonlarca krom bırakılmaktadır.

Tabakhaneler, çeşitli işlemlerden sonra özellikle Krom(III) tuzları olmak üzere kullanılan kimyasal maddelerin ~ % 50'sini atık sular veya çamurlarla çevreye vermesinden dolayı oldukça zararlıdır.

Krom(III) bileşiklerinin düşük çözünürlüğü, çevreye geçişinin azlığı nedeni ile canlılar üzerine toksisitesi, diğer ağır metallerle karşılaştırıldığında daha düşük olmasına karşılık, organik ligandlar veya çevredeki asidik koşullarda Krom(III)'ün geçişi artar, toprakta MnO_2 varlığı, Krom(III)'ün oksidasyonuna yardımcı olur ve daha toksik ve çevreye kolay geçebilen Krom(VI) formuna dönüşür.

Kadmiyumda elektrolitik kaplama alanında yaygın olarak kullanılır. Hg ve Pb kadar toksikolojik önemi olan bir metaldir.

Bu çalışmanın amacı, çevresel atık sularda oldukça yaygın olarak bulunan kromun iyon değiştiricilerle uzaklaştırılması, seçilen 5 ayrı iyon değiştirici ile bu metallerin optimum uzaklaştırma koşullarının araştırılması, iyon değiştirme kinetiklerinin incelenmesi ve bunlara etkili olan parametrelerin belirlenip kinetik modellere uygunluğunun araştırılmasıdır.

Kadmiyum içinde seçilen bir iyon değiştirici ile ağır metal alımlarının karşılaştırılması için benzer bir çalışma yapıldı.

Ayrıca tabakhane atık sularındaki kromun iyon değiştiricilerle uzaklaştırılmasında rejenerasyon problemi yaşanmaktadır. Rejenerasyon işlemi en çok kullanılan H_2SO_4 , HCl, NaOH gibi rejenerantlarla gerçekleştirilememektedir. Bu nedenle son literatürlerde görülen alkali ortamda H_2O_2 ile yapılan rejenerasyon prosedürü uygulanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, iyon değiştiricilerin kinetiği, tabakhane atık sularındaki kromun uzaklaştırılması ve geri kazanılmasında iyon değiştiricilerin kullanılması ile ilgili çalışmalar verildi.

İyon değiştirici kinetiği ile ilgili olan çalışmalarda genellikle anyon değiştirici reçinelerle çalışıldı. İyon değiştirme hızlarının difüzyon ile kontrolü uzun zamandan beri söylenmektedir, mevcut hız tayin adımlarıyla zıt yüklü iyonların difüzyonunun, ya reçine taneciği [tanecik difüzyon kontrolü (PDC)] veya dışarıdan bağlı durucu likit film [film difüzyon kontrolü (FDC)] kontrolü ile olduğu Liberti ve Passino, (1985)'nun çalışmalarında gösterildi. Çalışmalarının temelini oluşturan, reçinenin sabit yüklerinde kimyasal değiştirme reaksiyonunun (kimyasal kontrol), genellikle iyon değişimi süresince kimyasal değişiklikler meydana gelmediği sürece tüm değiştirme hızlarına etkisi olacağını Boyd vd., (1947) ve Helfferich, (1962) çalışmalarında açıkladılar.

Helfferich, (1966) kimyasal reaksiyona katılan 11 iyon değiştirme örneği sundu. Bu 11 durum için teorik analizler yaptı ve bunları 4 ayrı sınıfa ayırdı. Bu analizlerin güvenilirliğinin doğrulanmasını Blickenstaff vd., (1967), Adams vd., (1969), Gupta, (1970), Buneeva, (1974), Rodrigues, (1980) değişime katılmış örneklerde, reçinedeki zıt yüklü iyonların tükenmesi ile, Schmuckler vd., (1976), Höll ve Kirch, (1978a), sulu ortamda zıt iyonların tüketimi ile, Helfferich, (1965), Adams vd., (1969), Eliasek vd., (1977), Ushakova ve Znamenskii, (1979) değişime katılan her iki zıt iyonun tükenmesi ile, Dana ve Wheelock, (1973), Selim ve Seagrave, (1973), Efendiev vd., (1976) zayıfça ayrışmış bir formdan diğerine sabit grupların dönüşüm örnekleri ile çalışmalarının sonucunda Helfferich'in teorileri doğrulandı.

Kimyasal reaksiyona katılmayan iyon değiştirme prosesinin hız mekanizması üzerine, seçiciliğin direk etkisi ile ilgili bir gelişme Nativ vd., (1975), Weatherly ve Turner, (1976), Bahu vd., (1976), Liberti vd., (1978a; 1978b; 1978c; 1980), Pan ve David, (1979), Rice ve Foo, (1979), Sorochan ve Rubinstein, (1980), Bunzl ve Turner, (1980), Metayer vd., (1980) 'nin son çalışmalarında kaydedildi.

Seçiciliğin etkisinin hesaplanmasında sık sık hız tahmin kriterinden yararlanılır. Bu kriter teorik olarak Helfferich, (1966) tarafından geliştirildi.

Liberti ve Passino,(1985), bir sülfat giderme prosesinde Cl^- / SO_4^{2-} değiştirme kinetiğini incelediler. Bu prosesin başarısı, reçine rejenerasyonunda deniz suyu veya hafif tuzlu sulardan sülfatın uzaklaştırılması için yeterince yüksek seğicilikte bir anyon değiştirici reçinenin uygunluğu üzerine kuruldu. Cl^- / SO_4^{2-} değişimini termodinamik ve kinetik yönlerden seçilen dört ayrı reçine için incelediler. Bu çalışmanın sonucunda orta seçicilikteki reçinelerin (örneğin kuvvetli veya orta derecede bazik reçine) değiştirme hızının büyük ölçüde sıvı faz difüzyonundan etkilendiği fakat bazı koşullar altında çeşitli derecelerde katı faz difüzyonundan da etkilendiği anlaşılmaktadır.

Liberti vd., (1980), seçici sistemlerdeki iyon değiştirme kinetiklerini otoradyografik, potansiyometrik ve izotopik tekniklerle incelediler. Anyonik reçinelerle Cl^- / SO_4^{2-} değişimini incelerken düşük tuzluluk derecelerinde sadece iyon difüzyonu ile kontrol edilemediğini gördüler.

Ayrıca doğal iyon değiştiriciler genellikle çalışmalarda katalizör olarak kullanılsalarda bazılarında iyon değiştirme kinetikleri de incelendi. Drummond vd., (1985), Zeolit A'daki Na^+ / Ca^{2+} değişim kinetiğini incelediler, tam olarak yer değiştirme oranları elde edilerek , ortamda Mg^{2+} iyonlarının varlığının değişim üzerine etkisini gösterdiler. Ölçümlerde iyon seçici elektrotlar kullanıldı.

Kalinitchev, (1991), seçici iyon değiştiricilerde tanecikler arası iyon değiştirme kinetiğine yeni bir yaklaşım sundu. Çalışma değiştiricinin seğiciliği ve dış çözelti konsantrasyonu olarak iki faktörün etkisini içermektedir. Geliştirdikleri teorik model iki tane lineer olmayan denge eşitliğini içermektedir. Deneysel olarakta kinetik araştırmalar kompleks formunda ve zayıfça dissosiyeye olmuş iyon değiştiricilerle yapıldı.

Schmuckler ve Goldstein, (1977), çapraz bağlanmış polistiren ile kimyasal reaksiyonların arasındaki kütle transfer hızlarını araştırdılar ve matematiksel bir modelleme geliştirdiler.

Stamberg vd.,(1980), Uranyum(VI)'nın sulu çözeltilerden sorpsiyon kinetiğini kuvvetli asidik katyon değiştirici reçineler üzerinde araştırdılar. 10^{-3} - 10^{-1} M aralığında konsantrasyonun ve 298-332 ° K aralığında sıcaklığın etkisini incelediler. Elde edilen sonuçlarla lineer olmayan denge izotermelerini karşılaştırdılar ve kinetik modelin uygulanabilirliğinin sadece çözelti konsantrasyonuna değil, katyon değiştiricinin tipine de bağımlı olduğunu buldular.

Bazı araştırmacılar yeni iyon değiştirme prosesleri geliştirdiler. Horst, ve Höll, (1987), CARIX (Karbondioksitle reçinelerin rejenerasyonu) iyon değiştirme prosesinin bir modifikasyonunu kullanarak atık sulardan ağır metallerin uzaklaştırılması(Cu^{2+} ve Ni^{2+} iyonlarının uzaklaştırılması) incelediler. Alışılagelmiş iyon değiştirme işlemlerinde rejenerasyon asit ve bazlarla yapıldığı için bu sistemin dezavantajı aşırı rejenerant tüketimiydi. Bu yüzden kirletici bir kimyasal olmayan karbondioksit rejenerant olarak kullanıldı ve aynı zamanda nadir çözünen ağır metal tuzlarını çöktürdü.

Höll, ve Sontheimer, (1977), zayıf asidik iyon değiştiricilerin protonlanmasının iyon değiştirme kinetiğini araştırdılar ve bir matematiksel model geliştirdiler. Reçine fazındaki difüzyon katsayıları hesaplandığında sistem parametrelerine ve reçinenin özelliklerine bağlı olduğunu gözlemledikler.

Höll, ve Geiselhart, (1978b), farklı çözeltilerle (NaOH , NaHCO_3 veya Na_2CO_3) zayıf asidik iyon değiştiricilerin nötralizasyon kinetiklerini fotoğrafiksel teknikler ve batch denemeleri ile incelediler.

Höll (1995), ayrıca anyon değiştirici reçineler kullanarak geçiş elementlerinin seçici sorpsiyonu ile ilgili kolon çalışmaları yaptı.

Höll (1984), Cu^{2+} nın zayıf elektrolit reçinelerle iyon değiştirme kinetiğini reçine fazında elektron mikroskobu yardımıyla inceledi. Zayıf elektrolit iyon değiştirici reçine taneciklerinin değişik formlarındaki $\text{Ca}^{2+}/\text{Cu}^{2+}$, $\text{Ca}^{2+}/\text{H}^+$, $\text{Cu}^{2+}/\text{H}^+$ zamana bağlı olarak yer değiştirmesi ve reçine taneciğindeki değişimler gözlemlendi.

Höll vd., (1993), Yüzey kompleksleme teorisi ile iyon değiştirme dengesini teorik ve deneysel çalışmalarla tanımladılar. Farklı özellikte anyon ve katyon değiştirici reçinelerle çalışmışlardı.

Franzreb vd., (1993), üçlü ve dörtlü iyon değiştirme sistemlerinde likit faz kütle transferini bir Nernst filmine karşı diffüzyonla kontrol edilebilirliğini deneysel ve teorik olarak incelediler. $\text{H}^-/\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ ve $\text{OH}^-/\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-/\text{NO}_3^-$ sistemleri ile çalıştılar.

Franzreb vd., (1995), diğer bir çalışmada iyon değiştiricilerde likit faz kütle transferinin bir Nernst filmine karşı diffüzyonla kontrol edilebildiğini araştırdılar ve irreversible bir kimyasal reaksiyonun yürümesinde iyonların difüzyon katsayılarının artmasının gerekli olmadığını hesaplamalarla gösterdiler.

Sergeev vd., (1993), Fibröz reçinelerin anyon değiştirme kinetiklerini, Cl^- / SO_4^{2-} , Cl^- / NO_3^- ve Cl^- / OH^- sistemler için araştırdı. Kressman- Kitchener karıştırıcı reaktör sistemi ile çalışıldı. Yapısı, fonksiyonel grupları, bazikliği, çapraz bağlanma derecesi, iyon değiştirme kapasitesi, gözenekliliği farklı olan reçineler kullanıldı. Kinetik veriler veri kazanma tekniği denilen bir potansiyometrik teknikle ve güvenilir teorik modellerden otomatik korelasyon tekniğine dayanan geliştirilmiş bir metodla izlendi. Yapılan çalışmalar sonucunda, değiştirme kinetiğinin, likit faz konsantrasyonu, fonksiyonel grupların yapısı ve bazikliğinden etkilendiği ortaya çıktı.

Liberti vd., (1982), anyon değiştiricilerin kinetiklerini Cl^- / SO_4^{2-} sistemlerde araştırdılar ve reçinelerin fizikokimyasal özelliklerinin kinetiğe olan etkilerini incelediler. Seçiciliğin reçinelerin bazikliği ile arttığını, SO_4^{2-} tutulmasında ise bunun tam tersinin geçerli olduğunu gözlemladiler.

Liberti vd., (1983b), Cl^- / SO_4^{2-} sistemlerde anyon değiştiricilerin kinetiklerini, difüzyon mekanizmalarını potansiyometrik ve radyoanalitik teknikleri birleştirip, otoradyografi ve scanning elektron mikroskobu kullanarak araştırdılar. Düşük çözelti konsantrasyonlarında sülfata doğru yüksek seçicilik olduğunu gözlemladiler.

Petruzzelli ve Boghetich, (1983), otoradyografi ve scanning elektron mikroskobuyla çalışarak reaktif polimerler üzerine difüzyonel çalışmalarda kütle taşınımını aydınlattılar. Reçinede Cl^- / SO_4^{2-} iyon değişimi süresince olan iyon difüzyon mekanizmasını deniz sularından sülfat giderme işlemine uyguladılar. Bu sülfat giderme prosesini Bari'deki IRSA-CNR su araştırma merkezi geliştirdi.

Liberti vd., (1983a), yine Cl^- / SO_4^{2-} sistemlerde anyon değiştiricilerin kinetiklerini, direk Cl^- / SO_4^{2-} değişimi, $S^{*}O_4^{2-} / SO_4^{2-}$ izotopik değişimi ve ters SO_4^{2-} / Cl^- değişimi yönünden incelediler.

Helfferich vd.,(1985a) yüksek seçicilikteki reçinelerin anyon değiştirme kinetiklerini incelediler. 5 tane model tanımladılar ve hız üzerine, tanecik büyüklüğü, çözelti konsantrasyonu, ayırma faktörü, iyon değiştirme kapasitesi, çözeltinin karıştırılması vb. parametrelerin etkisini her bir model için ayrı ayrı incelediler.

Helfferich vd.,(1985b) aynı çalışmanın devamında bu 5 kinetik modeli 3 ayrı tip reçineye yüksek çözelti konsantrasyonunda direk, izotopik ve ters değişim için uyguladıktan sonra elde edilen verilerden sistemin film difüzyonu ile kontrol edildiğini açıkladılar.

Liberti vd., (1984a), klorür-sülfat sistemlerinde iyon değiştirme kinetiklerine yeni bir yaklaşım getirdiler. Yüksek çözeltili konsantrasyonunda çalıştılar ve reaksiyon süresince hem sıvı hemde katı fazdaki modifikasyonları takip ettiler. Bu amaçla Scanning Elektron Mikroskop, otoradyografi ve X-ray microprob analizleri yapıldı.

Liberti vd., (1984b), diğer bir çalışmada yine Helfferich vd.,(1985a)'nin sunduğu kinetik modeller için düşük çözeltili konsantrasyonlarında, üç ayrı reçine ile uygulama yaptılar.

Liberti vd., (1987), klorür-sülfat iyon değiştirme kinetiklerini yüksek çözeltili konsantrasyonu için incelediler. Sonuçta hız kontrolünün tanecikler arasındaki difüzyonla olduğunu kanıtladılar.

Petruzzelli vd., (1987a), bir bilgisayar programı geliştirdiler ve tanecik ve film difüzyonunun birleşimi ile hız kontrolü yapılabileceğini hesaplamalarla gösterdiler.

Petruzzelli vd., (1987b), katı fazda iyon değiştirme kinetiklerinin matematiksel bir modellemesi ile hız kontrolü incelendi.

Petruzzelli vd., (1988), otoradyografi ve elektron mikroskobu ile olan çalışmalarıyla katı fazdaki konsantrasyon profillerini incelediler ve beklendiği gibi hızın tanecikler arası difüzyonla kontrol edildiğini gördüler.

Petruzzelli vd., (1991), reaktif polimerlerin ve inorganik toprak içeriklerindeki iyon değiştirme kinetiklerini araştırdılar.

Petruzzelli vd., (1993), Fibröz reçineler için klorür-sülfat iyon değiştirme kinetiklerini küresel reçinelerle karşılaştırmalı olarak araştırdılar. Fibröz reçinelerin kinetik performanslarının daha iyi olduğunu açıkladılar.

Petruzzelli vd., (1995a), Fibröz reçineler için klorür-sülfat iyon değiştirme kinetiklerini film difüzyon kontrolü için Nernst-Planck film difüzyon kontrolü ve film difüzyon kontrollü iyon değiştirme kinetikleri olarak iki bağımsız modelle açıkladılar. Kinetik modellerin karşılaştırmasını yaptılar.

Belazi vd., (1995), İngilteredeki Cumbrian sahilindeki sedimentlerde krom, mangan, nikel, vanadyum ve uranyum gibi ağır metallerin tayinini düşük konsantrasyonlarda olduğu için türevlendirerek , krom , nikel, vanadyumu elektrotermal AAS, mangan tayinini flame AAS ve uranyumu da alfa tanecik spektrofotometresi ile yaptılar.

Pasullea, (1995) Sulara Krom(III)'ü önzenginleştirerek ve türevlendirerek Flame AAS ile tayin ettiler. Krom(III)'ün ön zenginleştirilmesi, reçinelerin 8 hidrosikinolin veya

iminodiasetat fonksiyonel grupları ile immobilizasyonu ile yapıldı. Muromac A-1 iminodiasetat reçine kullanıldı.

Ramos vd., (1995), kromun aktif karbon üzerine adsorbsiyonu ile sulu çözeltilerden uzaklaştırılabileceğini alternatif bir metod olarak araştırdılar. Sonuçlar Langmuir adsorbsiyon izotermi ile uyum sağladı. pH 'ın adsorbsiyon izotermine etkisini pH 2-6 aralığında incelediler ve pH 2 nin altında krom(III)'ün adsorblanmadığını ve pH 6 nında üzerinde $\text{Cr}(\text{OH})_3$ olarak çöktüğünü gözlemlediler. Maksimum adsorbsiyon pH 5'de gerçekleşti. Krom(III)'ün sulu çözeltilerdeki farklı komplekslerinden dolayı krom(III)'ün adsorbsiyonunda pH önemli bir rol oynar.

Moufidi vd., (1998), potansiyometrik olarak krom- karboksilik reçine sisteminde reçinenin disosiasyon sabiti ve kapasitesini tayin etti. Ayrıca sulu fazda krom türlendirilmesini araştırdı.

Saltabaş, (1997); Brady vd., (1994), krom, bakır, kurşun, kadmiyum, nikel, çinko gibi bazı ağır metallerin canlı ve cansız biyokütle ile biyosorbsiyonunu araştırdılar. Brady elektrokaplama banyolarından krom, bakır ve çinkonun cansız biyokütle ile % 99 oranında uzaklaştırılabilirken, tabakhane atık sularından ancak % 50-60 kadar kromun uzaklaştırılabildiğini söyledi.

Singaram, (1995), Water hyacinth ve Lemna ile tabakhane effluentlerindeki kromun uzaklaştırılmasını inceledi. Uzaklaştırmanın mümkün olduğunu fakat toprağa verilen atıkların problem olduğunu söyledi.

Hewavithana, (1994), tabakhanelerde krom tabaklama çözeltilerinden krom komplekslerinin ayrılması için hızlı ve etkili bir metod olarak ters faz HPLC metodunu önerdi.

Kromun tabakhane atık sularından ayrılması için diğer bir yöntemde çöktürmedir. Block, (1989), kromun $\text{Cr}(\text{OH})_3$ olarak çöktürülmesi çalışmasıyla ilgili bir patenti vardır.

Wionczyk ve Gelo, (1993), deride, tabaklama banyolarında ve tabakhane atık sularındaki kromu tayin etmek için iyodometrik ve 1-5 difenil karbazid ile spektrofotometrik yöntem önerdi.

Cabeza vd, (1993, 1994), tabakhane atık sularındaki kromun geri kazanılması için krom(III)'ü krom(VI)'ya yükseltgeyerek bir anyon değiştirici kolonda tutulmasını daha sonra yine krom(III)'e indirgenerek reçineden alınması metodunu uyguladılar.

O'Dwyer vd., (1992), tabakhane sularından kromun uzaklaştırılması için adsorban olarak Na formunda zeolitler, Amberlite IR 120 kuvvetli iyon değiştirici reçine ve aktif karbon kullandılar. Adsorbsiyon izotermlerinden zeolitlerin bazılarının ve iyon değiştirici reçinenin daha yüksek adsorbsiyon kapasitesine sahip olduğunu gördüler.

O'Dwyer vd., (1995), 3 değerlikli kromun tabakhane atık sularından uzaklaştırılması için 4 adımlı bir redoks-adsorbsiyon sistemi önerdiler. nce Cr(III) oksitleyicilerle Cr(VI) haline dönüştürüldü ve katyon değiştirici reçineden geçirildi. Burada Na ortamdan tamamen uzaklaştırıldı. Kromun 6 değerlikli anyonik formu reçineden değiştirilmeden geçirildi. $Cr_2O_7^{2-}$, tekrar 3 değerlikli forma indirgendi ve katyon değiştirici bir reçineden geçirerek tutuldu.

Petruzzelli vd., (1991), kullanılmış tabakhane banyolarından krom(III)'n ayrılması ve geri kazanılmasını karboksilik reçine kullanarak araştırdılar. Krom tabaklama banyosuna benzeri Cr(III), Al(III) ve Fe(III) içeren sentetik banyo hazırlandı ve karboksilik (Purolite C106) reçinenin tükenme-rejenerasyon performansı incelendi. Karboksilik reçinelerin rejenerasyonu en çok kullanılan HCl, H₂SO₄, NaOH gibi rejenerantlarla yapılamadığı için, rejenerasyonu problem olduğu için en fazla önem rejenerasyon adımına verildi.

Petruzzelli vd., (1992), Cr(III), Al(III) ve Fe(III) sistemleri için karboksilik reçinelerin tükenme-rejenerasyon davranışlarını araştırdılar. Değişik rejenerasyon prosedürleri verildi ve en iyi sonuç alkali ortamda H₂O₂ ile alındı.

Petruzzelli vd., (1994), Tabakhane atık sularından kromun uzaklaştırılması ile ilgili laboratuvar araştırmalarının yanısıra 10 m³/günlük bir otomatik pilot tesis kuruldu ve tekniksel yönden ve maliyet-kazanç açısından güvenilirliğini göstermek için bu pilot tesis bir rmorka yüklenerek İtalya'nın çeşitli Őehirlerindeki tabakhanelerde tanıtım yaptılar.

Petruzzelli vd., (1994), tabakhane atık sularından kromun uzaklaştırılması ile ilgili kullanılan proseslerin IEROCROM prosesi ile karşılaştırmasını evre korunması ve maliyet açısından incelediler ve IEROCHROM'un daha iyi olduğunu söylediler.

Petruzzelli vd., (1995b), IEROCROM diye isimlendirilen bir prosesi tabaklama işleminden sonra elde edilen atık sulardan Cr(III)'n uzaklaştırılması için geliştirdiler ve patent aldılar. Proses, bir makroporz reçine(Purolite C 106) ile krom ve diğer Al, Fe gibi metallerin uzaklaştırılması üzerine dayandı. 10 m³/günlük bir otomatik pilot tesis kuruldu.

3. GENEL BÖLÜM

3.1. Çalışılan Ağır Metaller Hakkında Bilgi

Bu çalışmada incelenen krom ve kadmiyum metalleri ile ilgili bilgiler verilmiştir.

3.1.1. Krom

3.1.1.1. Fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kromun diğer isimleri	: Krome (Chrome) ve Frenktir.
Atom numarası	: 24
Atom ağırlığı	: 51.996
Atom hacmi	: 7.23
Yoğunluğu g/cm^3	: 7.14
Kaynama noktası	: 2642 °C
Erime noktası	: 1900 °C
Oksidasyon basamakları	: 2+, 3+ ve 6+
Elektron dağılımı	: [Ar] 3d ⁵ 4s ¹
Kristal yapısı	: Hacim merkezli kübik
Elektrik iletkenliği	: 12
Sertlik*, Mohs	: 9
Tabii izotopları	: 50 (% 4.35), 52 (% 83.79), 53 (% 9.50), 54 (% 2.36)
Suni radyoaktif izotopları	: 46-49, 51, 55, 56
Standart elektrot potansiyeli:	0.74 V (Uyar, 1995).

[E°(aq) Cr/ Cr³⁺]

Aktiviteleri : Fotoliz önem taşımaz. Cr²⁺, Cr³⁺ e hızla okside olmasına karşılık Cr⁶⁺, Cr³⁺ ya yavaş indirgenir. Cr³⁺, Cr(OH)₃ veya Cr₂O₃ formuna hidroliz olurlar. Uçuculuğu önemsizdir. Organik maddeler üzerinde sorpsiyon biyolojik birikime sebebiyet verirler.

Mavimsi beyaz renkli parlak bir metaldir. Havayla yüksek nemde bile okside olmaz. Seyreltik HCl ve H₂SO₄ ile reaksiyon verir, HNO₃ ile reaksiyon vermez. Kostik alkaliler ve alkali karbonatlardan etkilenir (Ün, 1968; Budavari vd., 1989).

* Sertlik, maddelerin bir diğerini çizme, aşındırma ölçüsüdür. Mohs ölçeğine göre tebeşir (0) dan elmas (10)'a doğru sıralanır.

3.1.1.2. Su kalite kriterleri:

İnsan sağlığı için, Cr^{3+} 'e izin verilen konsantrasyon: 170 $\mu g/L$, Cr^{6+} ya izin verilen konsantrasyon: 50 $\mu g/L$ dir (Chapman, 1996).

Krom doğal sularda çok nadiren bulunur. Yüzey sulardaki konsantrasyonu genellikle 0.010 mg/Lden daha azdır. Deniz suyunda, diğer elementler arasında yer alır ve genellikle 0.001 mg/L konsantrasyonun oldukça altında bulunur.

Krom doğada en yaygın olarak Krom(III) şeklinde bulunur.

Krom havada, toprakta, bazı yiyeceklerde ve biyolojik sistemlerin çoğunda bulunur. İnsanlar için çok gerekli olan bir eser element olarak bilinir.

Kromun en bilinen ve krom eldesinde kullanılan minerali Kromittir ($FeO \cdot Cr_2O_3$). Anadolunun bir çok yerlerinde (Denizli, Bursa, Fethiye, Guleman, Sivas) bulunur. Bundan başka kırmızı kurşun toprağı Krokoit ($PbCrO_4$) adlı bir minerali de vardır (Ün, 1968).

3.1.1.3. Bileşikleri

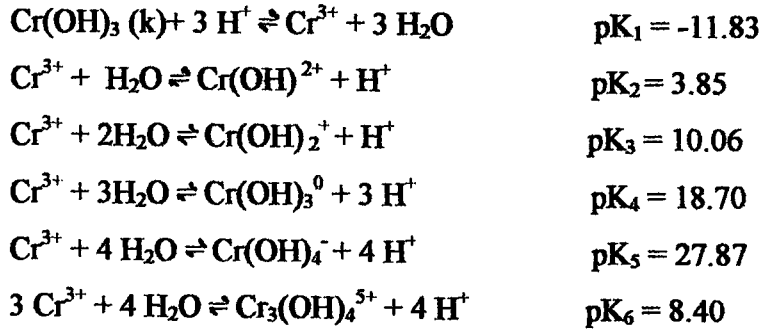
Krom bileşikleri genellikle 2^+ , 3^+ ve 6^+ oksidasyon sayılı olmakla birlikte 1^+ , 4^+ ve 5^+ oksidasyon sayılı bileşikleri de vardır.

Kromik veya kromit durumunda Krom(III) şeklindedir. Kromat veya bikromat hallerinde krom(VI) değerliklidir. Bütün kromlu bileşikler kuvvetle kromik durumuna oksitlenmeye meyillidirler. Krom(VI), krom(III) durumuna, bir organik madde veya indirgen bir ajan vasıtası ile ısıtılmak suretiyle indirgenebilir.

Krom(III) tuzları arasında klorür, nitrat, sülfat tuzları suda kolayca çözünebilmekte buna karşılık hidroksit ve karbonat bileşikleri zor çözünmektedir. Krom(VI) tuzları arasında yalnızca sodyum, potasyum, amonyum kromatlar çözüdür tuzlardır. Bunlara karşılık gelen bikromatlarda oldukça çözüdür tuzlardır.

3.1.1.4. Kromun türlendirilmesi

Bir krom çözeltilisinin içinde değişik krom türleri bulunabilir. Farklı yapıdaki krom türleri, kromun reçine tarafından tutulma miktarını etkiler. Farklı pH'larda, farklı türler ortamda bulunabilir (Ramos, 1995). Sulu çözeltilerde aktif karbon üzerine 3 değerlikli kromun adsorbsiyonu çalışmasında, sulu çözeltilerde Cr^{3+} türleri aşığdaki gibidir;

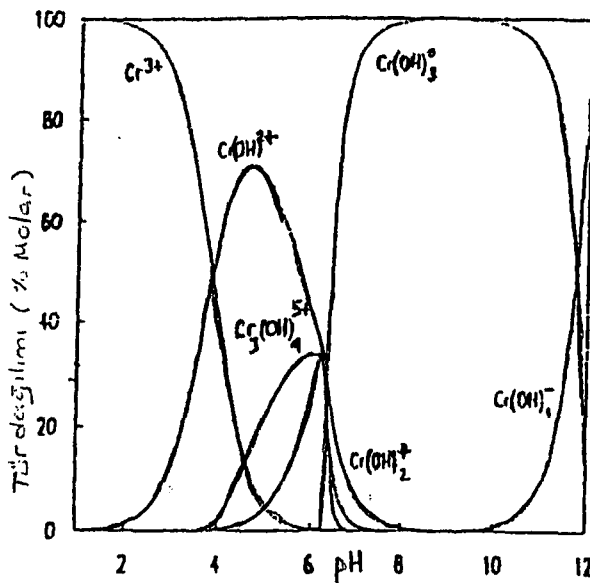


Şekil 3.1'den de görüldüğü gibi, öncelikli olarak baskın olan türler, Cr^{3+} için pH 2 'nin altında ve Cr(OH)_3 için pH 6.5- 10 arasındadır.

pH 2 nin altında Cr^{3+} aktif karbon üzerine adsorblanamadığından, Cr^{3+} türleri adsorblanamadı. pH 4 de Cr^{3+} ve Cr(OH)^{2+} türleri sırası ile ~ % 40-60 arasında bulundu.

pH 5 de Cr(OH)^{2+} ~ % 70 bulunurken, diğer $\text{Cr}_3(\text{OH})_4^{5+}$ gibi türlerin ~ % 20 olduğu gözlemlendi. pH 6 da Cr(OH)^{2+} , Cr(OH)_2^+ , $\text{Cr}_3(\text{OH})_4^{5+}$ komplekslerinin sulu çözeltilerde sırası ile ~ % 40, 35, 25 olarak bulunduğu anlaşıldı.

Türler dağılımından görüldüğü gibi, Cr(OH)^{2+} kompleksi pH 2- 4 arasında aktif karbon üzerine seçici olarak adsorblanır fakat pH 4- 6 arasında Cr^{3+} , $\text{Cr}_3(\text{OH})_4^{5+}$ kompleksi de adsorblanmasına rağmen en çok Cr(OH)^{2+} kompleksi olarak adsorblanır. Bunun sonucunda çözelti içindeki toplam Cr^{3+} 'ün ~ % 60 nın Cr(OH)^{2+} , $\text{Cr}_3(\text{OH})_4^{5+}$ kompleksleri olarak bulunduğu pH 5 de maksimum adsorbsiyon gözlemlendi.



Şekil 3.1. Sulu çözeltilerde mevcut olan krom(III) komplekslerinin tür dağılımı

3.1.1.5.Kromun kullanım alanları

Kroma endüstrinin hemen her dalında rastlanır. Doğal konsantrasyonunun üzerindeki krom bileşikleri endüstriyel faaliyetlerden gelmektedir. Krom saf halde kullanılmayan bir metaldir. Çeliklerin bileşimine girer (paslanmaz çeliklerde nikel ile birlikte), dış etkilere karşı olduğu kadar sertlik özelliği olduğu için aşınmaya da dayanıklıdır. Bu yüzden krom koruyucu kaplamada da kullanılmaktadır (Kromaj işlemi).

Krom(VI) tuzları yaygın olarak metal temizleme ve kaplama işlemlerinde, alüminyumun anodik oksidasyonunda, dibağlama maddesi olarak deri endüstrisinde, boyaların, boyar maddelerin, patlayıcıların, seramiklerin, kağıt ve diğer bir çok bileşenlerin üretiminde kullanılmaktadır. Diğer taraftan krom(III) tuzları, yaygınlığı daha az bir şekilde mordanlama maddesi olarak tekstil boyamasında, seramik ve cam endüstrisinde ve fotoğrafçılıkta kullanılmaktadır. Ayrıca, ısı değiştiricilerin korozyon inhibitörü olarak soğutma sularında pompaları korumada, metalürjide de, ferrokrom, silikokrom, ferrosilikokrom, özel çelik ve metalik krom alaşımının üretiminde kullanılır. Çok sık olarak krom atıklarının başlıca kaynağı, metal kaplama işlemlerinde kullanılan kromik asit banyosu ve durulama suyudur. Çok geniş kullanım alanı bulan bu ağır metalin çevreye geçişi de aynı oranda fazladır.

Atmosferden denizlere kromun aktif girişi yılda 20000 tondur. Dünyada nehir deşarjları ile yılda 236000 ton krom denizlere ulaşmaktadır. Yalnızca Güney Kaliforniya'ya kanalizasyon suları ile verilen krom miktarı yılda 576 tondur. Tahminlere göre Akdeniz'e karadan yılda 2760 ton krom girmektedir. Batı Akdeniz deniz suyundaki toplam krom konsantrasyonu 0.39-41 mg/L düzeyindedir. 1979- 1980 yıllarında Haliç sularında ortalama 0.22 mg/L toplam krom bulunmaktaydı (Baykut vd., 1987).

Kromun kaynaklandığı endüstriler ise; tersane, oto ve diğer yıkamalar, kömür madenciliği , inorganik kimyasal madde üretimi, bobin kaplama, elektrik, elektronik, dökümhaneler, porselen emayeleme, tutkal ve odun kimyasal maddeleri, ilaç üretimi, cevher zenginleştirme, organik kimyasal maddeler ve plastik, petrol rafinerileri, lastik işlemleri, sabun ve deterjan, kereste ürünleri, elektrik güç istasyonlarıdır.

3.1.1.6.Kromun sulu sistemlerde ve atıklarda bulunuşu

Krom sulu sistemler içerisinde hem krom(III) değerli hemde krom(VI) değerli iyon halinde bulunur. Başlıca endüstriyel atıklar içerisinde mevcut olan altı değerlikli krom özellikle kromat (CrO_4^{2-}) ve bikromat ($Cr_2O_7^{2-}$) halinde bulunmaktadır. Krom bileşikleri soğutma

suyuna korozyonu önlemek amacı ile ilave edilmektedir. Ayrıca mürekkeplerin, boyar maddelerin ve boya pigmentlerinin imalatında, krom dibağlanması, alüminyumun elektrolitik oksitlenmesi ve diğer metallerin temizlenmesi, kaplanması ve elektrolitik kaplanması işlemlerinde kullanılmaktadır.

Çok sık olarak krom atıklarının başlıca kaynağı, metal kaplama işlemlerinde kullanılan kromik asit banyosu ve durulama suyudur.

3.1.1.7.Kromun canlılar üzerine etkisi

Kromun zehirliliği, temasta olduğu maddelere, kromun oksidasyon durumuna ve ortamın pH'sına göre değişiklik göstermektedir.

Evsel Suların sağlanması;

1962 yılında tespit edilen Avrupa içme suyu standartları krom(VI) için 0.05 mg/L lik bir sınır tespit etmiştir. Hayvanlar üzerinde yapılan denemelere dayanarak, insanın zararlı bir psikolojik etkiye maruz kalmadan krom(VI) ihtiva eden içme suyunu içebildiğini göstermiştir.(Kee Mc ve Wolf , 1972)

Balık ve Sudaki Diğer Canlı Hayat;

Krom tuzlarının su canlıları üzerine olan zehirliliği, maddelerin türü, sıcaklık, ortamın pH'ı, kromun değerliliği, özellikle sertliğe bağlı olarak büyük değişiklikler göstermektedir. Balıklar krom tuzlarına karşı nispeten dayanıklıdır. Ancak daha düşük yapıdaki su canlıları son derece hassastır. Krom(VI) nın balıklar üzerine krom(III) den daha fazla toksik etkisi olduğunu gösterir bir sonuca ulaştıran herhangi bir delil yoktur.

Genellikle kromik iyonu, aerobik şartlarda, kromat iyonundan daha zehirli olmasına rağmen, kromat iyonu anaerobik şartlarda kromik iyonundan çok daha zehirlidir. Çünkü krom(III) tuzları ortamın pH sını biraz düşürerek yeterli derecede asidik ortam sağlar.

1 mg/L konsantrasyondaki krom, 2 günlük temas süresince azalmadığı, 5 gün sonra % 10-20 azaldığı ve 7-9 gün sonra % 20-30 azaldığı tespit edilmiştir. 4 gün içerisinde fotosentezin % 50 aktivitesinin giderilmesine neden olacak gerekli krom konsantrasyonunun 5 mg/L olduğu tahmin edilmiştir (Kee Mc ve Wolf, 1972).

Verilen bilgilere dayanarak aşağıdaki krom konsantrasyonlarında krom(III) veya krom(VI)'nın balıklar ve diğer sudaki canlılar üzerine bir tehlikesi olmayacağı görülmektedir.

Balık yaşamı 1 mg/L

Diğer su canlıları 0.05 mg/L

3.1.1.8. Toksikitesi

Endüstride kroma maruz kalma, elektroliz tekniği ile de (kromaj) kaplamadan olur. Burada ince taneli kromik asit tozlarına maruz kalınır. Endüstride başlıca absorpsiyon soluma yolu ile olmaktadır. Suda çözünenleri deri ile absorbe olabilir (Vural, 1984).

Krom çoğunlukla biyolojik materyallerde, proteinlerde, nükleik asitlerde ve çok çeşitli düşük molekül tartılı ligandlarda 3^+ şeklinde bulunur. 6^+ değerlikli şekli oksidasyon potansiyeli ve biyolojik membranlardan kolaylıkla geçebilmesi nedeni ile 3^+ değerlikli halinden çok daha zehirlidir. Ağız içi ve cilt üzerine doğrudan temas eden krom bileşikleri alerjik dermatit yaralara yol açabilir. Toz ve dumanlarının solunması ile şiddetli solunum yolu iltihapları, burun iltihabı ve yırtılmasına neden olmaktadır. Akciğer iltihabı sonucu akciğer kanserinin meydana gelebildiği bildirilmiştir. Kromik asit nefes darlığı krizlerine yol açar. Krom bileşiklerini yapan fabrikalarda, boya üretilen yerlerde çalışan işçiler arasında geç ve yavaş zehirlenme olayları görülmüştür. Bu kişilerde, ellerde ve yüzlerde yaralar olur. Nefes borularında ve gözde iltihaplanmalar olur. Uzun süre etkisine maruz kalan kişilerde bronşit, akciğer ve böbrek hastalıklarına sebep olur. Krom ve krom bileşiklerinin mide yolu ile alınmasında hemen ağız ve boğazda iltihaplanmalar olur. El ve ayaklarda soğuma, titreme görülür. Bel ağrısı, baş dönmesi ve soluma güçlüğü kendini gösterir. Böyle hastaların midesi ne kadar çabuk yıkanırsa kurtarma o kadar umutludur.

Tedavi; Sindirim yollarında meydana gelen pullanma gibi yaraların lokal ve cerrahi tedavisi yapılır. Sistemik akut zehirlenmelerde tedavi bulgulara yöneliktir. İdrar yapamama gibi durumlarda dializ önerilmektedir (Baykut vd., 1987; Dökmeci, 1988).

Bugün endüstriyel metaller olarak bilinen 44 metal ve alaşım arasında yer alan krom çevreye ve insana geçerek zarar vermektedir. Bu zararlı etkilerinden dolayı çeşitli atık giderme teknolojileri geliştirilmiştir. Bir endüstriyel sıvı atıktan krom 6^+ , öncelikle krom 3^+ 'e indirgenir, minimum çözünürlük sağlayan bir pH'da ortalama $\text{Ca}(\text{OH})_2$ veya NaOH ilave edilmek sureti ile hidroksitler halinde çöktürülür. Bu işlem, indirgenme ve çöktürme prosesi olarakta isimlendirilir. Bunun dışında konsantre kromat ve kromik asit atıklarının buharlaştırılarak geri kazanılması yöntemi, elektrokimyasal ve aktif karbon tarafından absorpsiyon teknikleri gibi diğer prosesler de uygulanmaktadır (Patterson vd., 1975; Şengül vd., 1986). Ağır metallerin, kirletici ortamlarından uzaklaştırılma çalışmaları da son 25-30 yıla dayanmaktadır.

3.1.1.9. Analiz metodunun seçilmesi

Kaynak yada arıtılmış sulardaki +6 değerlikli krom tayininde kolorimetrik metod kullanılır. Su ve atık sularda düşük seviyelerdeki ($< 50 \mu\text{g/L}$) toplam kromun tayin edilmesinde elektrotermal atomik absorpsiyon spektrofotometrik metod kullanılır. Alevli AAS ve ICP metodları toplam kromu ppm seviyesine kadar ölçmek için kullanılır (Clesceri vd., 1989).

Ayrıca volumetrik (Dölen, 1988), kromotografik (Gündüz, 1990), Ters-Faz Yüksek Basınç Sıvı Kromatografisi (HPLC) (Lopez vd., 1991), voltametik, 1.5 difenilkarbazid ile kolorimetrik ve diğer kromotografik metodlar (Mc Carthy vd., 1989), Cr^{3+} ve Cr^{6-} nın difenilkarbazid ile spektrofotometrik (Allen, 1958, Ito vd., 1985) tayin yöntemleri de mevcuttur.

3.1.2. Kadmiyum

3.1.2.1. Fiziksel ve kimyasal özellikleri

Atom numarası	: 48
Atom ağırlığı	: 112.41
Yoğunluğu, g/cm^3	: 8.64
Erime noktası	: 320.9°C
Kaynama noktası	: 765°C
Oksidasyon basamağı	: 2+
Elektron dağılımı	: $[\text{Kr}] 4d^{10} 5s^2$
Kristal yapısı	: Hekzagonal
Elektrik iletkenliği	: 23
Tabii izotopları	: 106 (% 1.22), 108 (% 0.88), 110 (% 12.39), 111 (% 12.75), 112 (% 24.07), 113 (% 12.26), 114 (% 28.86), 116 (% 7.58)
Suni radyoaktif izotopları	: 103-121
Standart elektrot potansiyeli	: 0.4025 V (Uyar, 1995).
$[\text{E}^\circ(\text{aq}) \text{Cd}/ \text{Cd}^{2-}]$	

Gümüş beyazı açık mavi renkli parlak bir metaldir. Bıçakla kolayca kesilebilir. Kuru havada kararlıdır, nemli havada yavaşça okside olur ve su buharı ile kadmiyum oksit ve hidrojen vermek üzere reaksiyona girer. Mineral asitlerle hızlı organik asitlerle yavaş

Kadmiyum elde etmek için başlı başına işlenen bir mineral mevcut değildir, çinko cevherlerinde bulunur. Çinko blend-Sfalerit (ZnS), katı çözelti halinde kadmiyum sülfür içerir. Bazı çinko blend konsantratları % 1 kadar kadmiyum içerselerde kadmiyum miktarı genel olarak, çok az bir oran ile % 0.3-0.5 arasında değişir. Dünyanın bazı bölgelerinde daha zengin kadmiyum rezervlerinin bulduklarıda bildirilmektedir, örneğin, % 15 kadmiyum içeren kalamın'ın Sardunya adasında mevcut olduğu bildirilmiştir, fakat bu oluşumların hiç biri ticari önem taşımamaktadır. Kadmiyum, çinko sülfatın saflaştırılmasında, çamur halindeki çinko cevherinin kızdırılması sırasında buhar halinde elde edilir.

En çok bilinen kadmiyum minerali, bir sülfür olan Grinokit, CdS olup, genel olarak, bir sarı tabaka veya sfalerit ile kaplanmış olarak bulunur (Ün, 1968).

3.1.2.3. Kullanım alanları

En yaygın kullanımı elektrokaplama alanındadır. Nikel kaplamada deokside olarak kullanılmaktadır. Kadmiyum, nikel, alüminyum alaşımlarının ergitilmesinde, oksijen gidericidir. Bakırın yüksek iletkenliğini koruyacak şekilde, bakırı güçlendirmek ve alaşımı sertleştirmek için bakıra eklenir (%1-0.02 Cd). Kadmiyumun civa ile oluşturduğu alaşımlar durunca kristalleşir ve dişçi alaşımı olarak kullanılırlar. Hafif lehim ve alüminyum lehimlerinde, kolay eriyebilen alaşım yapımında, oyma proseslerinde, kadmiyum buhar lambalarında, boya, mürekkep ve plastiklerde, fotoelektrik hücrelerde, ultraviyole güneş ışınları fotometresinde ve Ni-Cd pillerinde yaygın olarak kullanılır. Kadmiyum, pigment olarakta büyük ölçüde kullanılır, Kadmiyum sarısı olarak bilinen Cd S, bunların en önemli olanıdır (Baykut vd., 1987; Budavari vd., 1989).

3.1.2.4. Toksisitesi

Kadmiyum, civa ve kurşun kadar toksikolojik önemi olan bir metaldir. Kadmiyum ve tuzlarının ağızdan alınması sonucu tükürük salgısı artışı, tıkanma, kusma, karın ağrısı, anemi, böbrek bozuklukları, ishal ve kabızlık gibi belirtiler ortaya çıkar. Toz ve buharlarının solunması öksürük, boğaz kuruluğu, nefes darlığı, baş dönmesi, kusma, göğüs ağrısı, alt solunum yolu enfeksiyonu, bazen akciğerde sıvı toplanması, akciğer kanaması ve hiç idrar yapamama şeklinde belirtilerin ortaya çıkmasına sebep olur. Kadmiyum etkisi ile, böbrek üstü bezi etkileri, kansızlık, yumurtalıklarda doku harabiyeti ve indirgenmiş hemoglobin düzeyleri gözlenmiştir.

Tedavi; Bulgulara dayalı tedavi uygulanır. Bir ay süre ile yüksek dozda D vitamini verilmesi göğüs ve karın ağrılarını giderir. Antidot verilmemelidir. (Baykut vd.,1987; Dökmeci, 1988).

3.1.2.5. Analiz metodunun seçilmesi

Elektrotermal atomik absorpsiyon spektrofotometrik metod tercih edilir. Alevli atomik absorpsiyon ve ICP metodları yüksek tayin sınırlarında kabul edilebilir doğruluk sağlar. AAS veya ICP aletleri olmadığı yada yüksek derecede kesinlik istenmediği durumlarda Ditizon metodu uygundur (Clesceri vd., 1989).

Ayrıca gravimetrik (Princi ve Geever, 1950), EDTA ile volumetrik (Othmer, 1963), spektrofotometrik (Wang ve Sun, 1995), polarografik (Dubey ve Kand Puri, 1994) tayin yöntemleri de mevcuttur.

3.2. İyon Değiştiriciler

3.2.1. İyon değiştiricinin tanımı

Temasa geldikleri elektrolit çözeltilerin aynı işaretli anyon ve katyonlarını, stokiyometrik ve reversibl (tersinir) olarak değiştirebilecek, hareketli anyon ve katyonlar içeren çözünmeyen solid ve karışmayan likit maddelerdir.

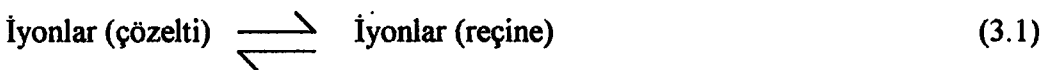
Bir kimyasal analiz sırasında bir iyonun miktarının tayini veya onun diğer kısımlarından ayrılmasını çoğunlukla diğer başka iyonların bulunması güçleştirir. Bu gibi durumlarda çözeltilerdeki anyon ve katyonların çok çabuk ayrılmasını sağlayan ve çözeltilerdeki yabancı bir iyonu değiştirme metodundan yararlanır.

3.2.2. İyon değiştirmenin teorik temelleri

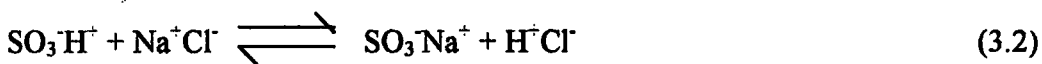
İyon değiştiriciler daima yüksek polimer anyon veya katyon içeren tuzlar halinde bulunurlar. Bu yüksek polimerlerin ağ şeklinde olan yapısından dolayı bu yapı içerisinde yalnız monomer olan zıt iyonlar değil aynı zamanda su ve diğer iyonlarda içinde yer almaktadır. İyon değiştiriciler şu şekilde etki ederler. Yüksek polimer iyonlar içerisinde, ekivalent miktarda zıt yüklü iyonlar bulunan geçirgen hücreler olduğu kabul edilir.

İyon değiştirme basit olarak şöyle açıklanır; içerisine yabancı iyon girmiş olan iyon değiştiricinin bir hücresinden, hücrede elektrostatik olarak bağlı bulunan esas monomer iyon çıkar. Yani bir hücre esas olarak K^+ iyonu ihtiva ediyorsa Na^+ iyonu ile yer değiştirebilir. K^+ ve Na^+ iyonunun hücre içerisinde tutulma kuvveti aynı ise değişme ihtimali % 50 dir.

Diğer bir deyişle, bir iyon değiştirici reçine, bir iyonik çözelti ile temas ettirildiğinde, iyon reçine taneciğinin içine girer, reçineyi saran çözeltideki iyonlarla, reçine fazındaki aynı iyonlar arasında bir denge kurulduğunda;

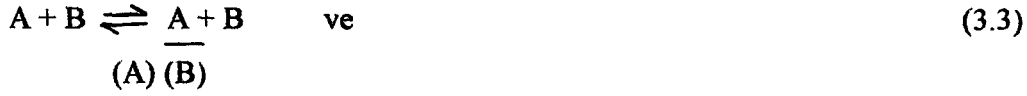


Bu dengeye Donnan dengesi denir. Reçinede başlangıçta bulunan zıt yüklü iyonlar çözeltiden gelen iyonlardan farklıdır. Eğer $NaCl$, H^+ formunda sülfonik bir reçine ile temas ettirilirse;



Bu değişme bir dengeye ulaşana kadar devam eder, reçine fazının dışındaki çözeltili vasıtası ile, Na^+ ve H^+ 'nin belli bir fraksiyonunu içerecektir. Bu denge bir K sabiti ile karakterize edilir.

Çözeltide başlangıçtaki iyonla B, reçinedeki başlangıçta bulunan zıt iyonla A dersek;



$$K_A^B = \frac{\text{---}}{\text{---}} \quad (3.4)$$

(A) (B)

(A) : Denge reçine üzerine A'nın konsantrasyonu

(B) : Denge reçine üzerindeki B'nin konsantrasyonu

(A) : Çözeltideki A'nın konsantrasyonu

(B) : Çözeltideki B'nin konsantrasyonu

Genellikle, denge kurulduğunda, çözeltideki A ve B'nin oranları, reçinedeki A ve B'nin oranları ile aynı değildir. Eğer B iyonunun reçinedeki oranı, çözeltidekinden daha yüksek bulunursa, B için A'dan daha yüksek afiniteye (reçinenin bir iyonu adsorblama gücü) sahiptir denir. Değişik iyon çiftleri için bir reçinenin afinitesini karşılaştırsak, yüksekten düşüğe doğru afinite sırasını tespit edebiliriz (Zaganiaris, 1974).

İyon değiştiricilerin afinite sıraları 3.2.3. ve 3.2.4. bölümlerinde verilmiştir.

İyon değiştiriciler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

İYON DEĞİŞTİRİCİLER

İskelet Yapılarına Göre

Polistirenik iskelet yapısı

Poliakrilik iskelet yapısı

Kimyasal Fonksiyonlarına Göre

Katyon Değiştiriciler

Anyon Değiştiriciler

Kuvvetli asidik

Kuvvetli bazik

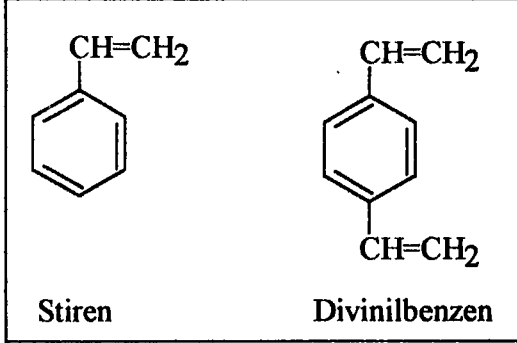
Zayıf asidik

Zayıf bazik

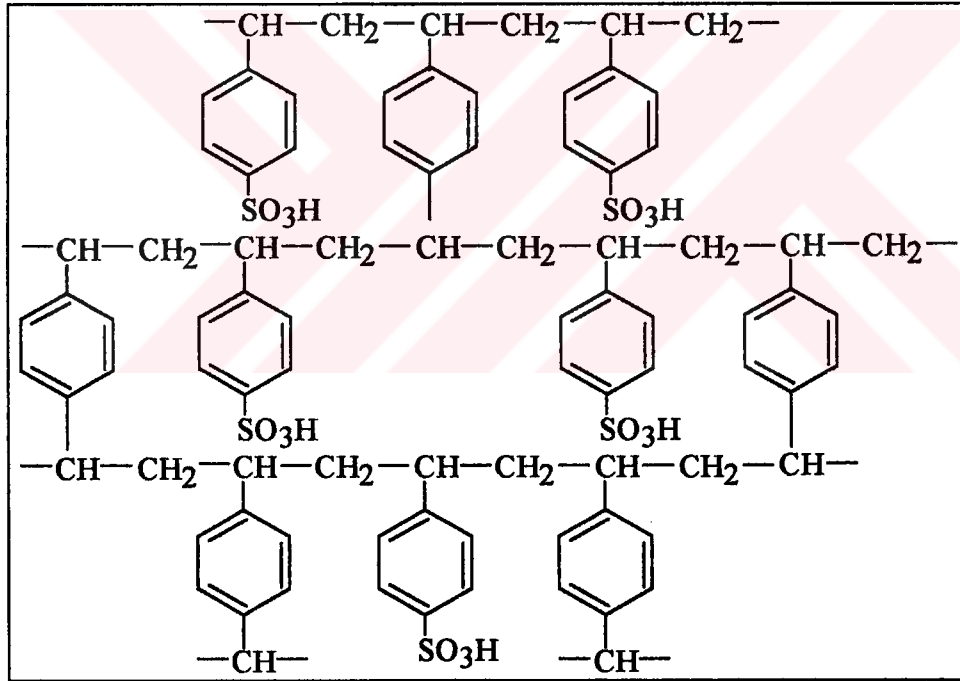
3.2.3. Katyon değiştiriciler

3.2.3.1. Kuvvetli asidik katyon değiştiriciler

Stiren ve divinil benzenin kopolimerizasyonu sonucu oluşur.



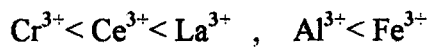
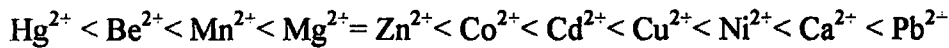
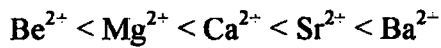
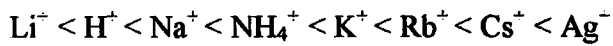
Şekil 3.2. Stiren ve Divinilbenzen yapıları



Şekil 3.3. Stiren ve divinil benzen kopolimerizasyonu sonucu oluşan yapı

Kuvvetli asidik katyon değiştiriciler için seçicilik sırası Őyledir:

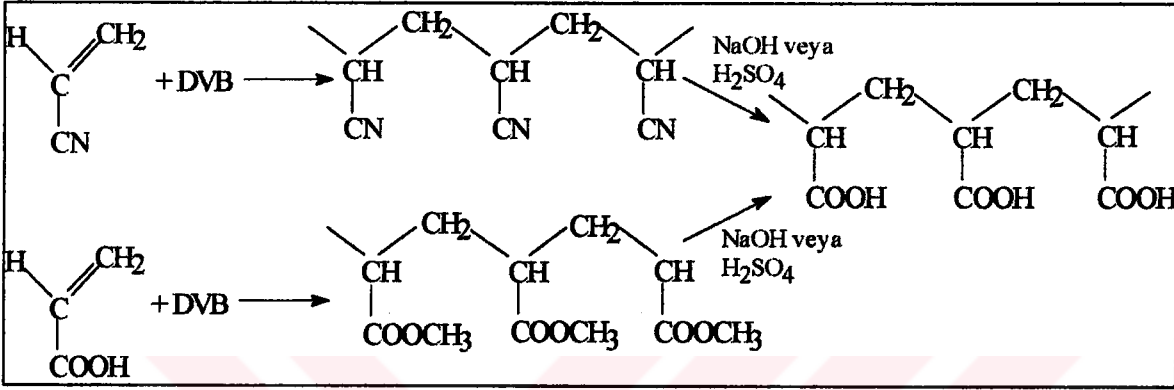
İyonik yük ile afinite artar. Aynı iyonik yktekiler içinse, atom numarası ile artar.



3.2.3.2. Zayıf asidik katyon değiştiriciler

Bunlar genellikle hidroliz edilen poliakrilik bir iskelet yapısından elde edilirler. Ayrıca başlangıç maddesi olarak poliakrilat veya poliakrilonitril de kullanılabilir.

Akrilonitril veya metil akrilatın divinilbenzenle reaksiyonu sonucu karboksilik bir katyon değiştirici hazırlanmıştır. Bu zayıf asidik katyon değiştiricidir.



şekil 3.4. Karboksilik bir katyon değiştiricinin hazırlanması

Burada kural farklıdır çünkü COO⁻ grubu, çeşitli iyonlarla farklı kuvvette kompleksler oluşturabilirler.

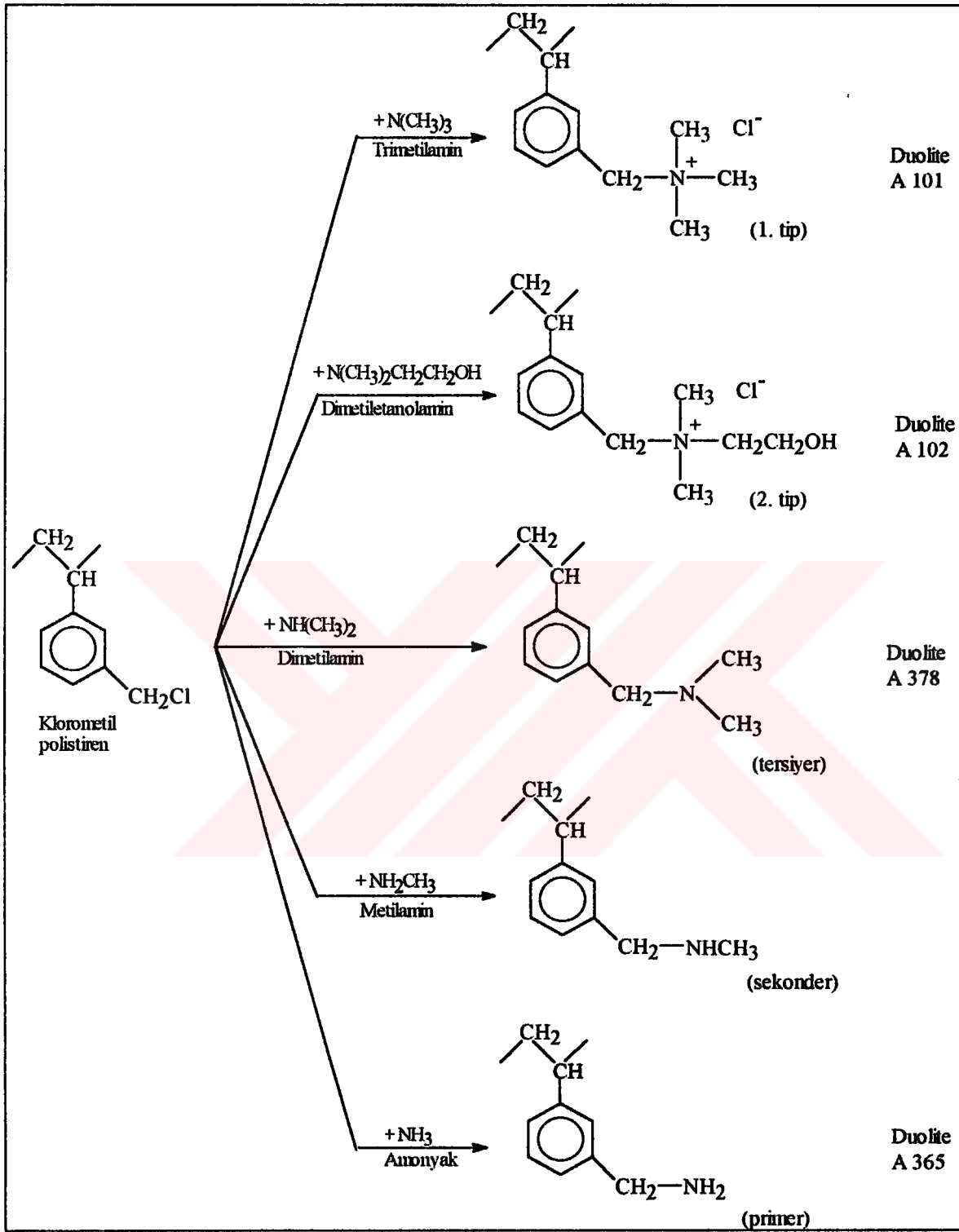
Genellikle seçicilik sırası ; Na⁺ < Mg²⁺ < Ca²⁺ < H⁺

pH 7'de: Mg²⁺ < Ca²⁺ < Ni²⁺ < Co²⁺ < Cu²⁺

Alkali ve toprak alkali metaller için yüksek derecede afiniteye sahiptirler.

3.2.4. Anyon değiştiriciler

Katyon değiştirici reçineler, kuvvetli asidik katyon değiştirici (sülfon asidi grubu) ve zayıf asidik katyon değiştirici reçineler (karboksilik grup) olarak iki ana gruba ayrıldıkları halde, anyon değiştirici reçineler için daha çeşitli tipler mevcuttur. Çünkü baziklik derecesi, mevcut olan ve kullanılan büyük çapta amin çeşitlerine bağlıdır. Aşağıda şekil 3.5 'de gösterilen iyon değiştirici anyonik reçineler baziklik özelliği gittikçe azalan bir sıraya göre dizilmişlerdir. Kuaterner amonyum grupları içeren bütün reçinelerin hepsi kuvvetli bazik anyon değiştirici reçinelerdir.



Şekil 3.5. Polistirenik anyon değiştiricilerin hazırlanması

3.2.4.1. Kuvvetli bazik anyon değiştiriciler

1.tip kuvvetli bazik anyon değiştiricilerde fonksiyonel grup; benziltrimetilamonyum gruplarıdır. 2.tip kuvvetli bazik anyon değiştiricilerde fonksiyonel grup; benzildimetiletanolamonyum gruplarıdır. 1.tip reçineler bütün anyonların uzaklaştırılmasında kullanılırlar. Zayıf asitler dahil (silis), 2.tip reçineler ise, bütün anyonları tutacak kadar bazikliğe sahiptirler ve NaOH' le rejenere edildiği zaman daha kolay tuttıkları anyonları bırakırlar. Ayrıca daha fazla bir işletme kapasitesine ve rejenerasyon randımanına sahiptirler. Fakat buna karşılık kimyaca daha az stabildirler. 1.tip kuvvetli bazik anyon değiştirici bir reçinenin genel olarak kimyasal formülü Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

Kuvvetli bazik anyon değiştirici reçinelerin anyonlara karşı hassasiyetleri farklıdır. Söz konusu reçinelerin anyonları seçicilik zellikleri Şekil 3.7'de verilmiştir.

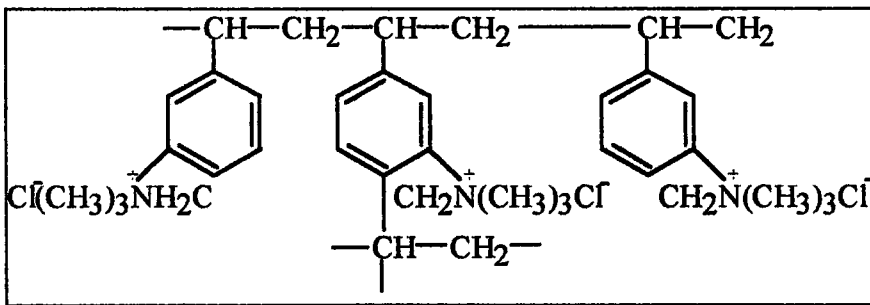
Birinci tip için seçicilik sırası;

$F^- < OH^- < COO^- < H_2PO_4^- < HCO_3^- < Cl^- < NO_2^- < HSO_3^- < CN^- < Br^- < NO_3^- < HSO_4^- < I^- < SO_4^{2-}$

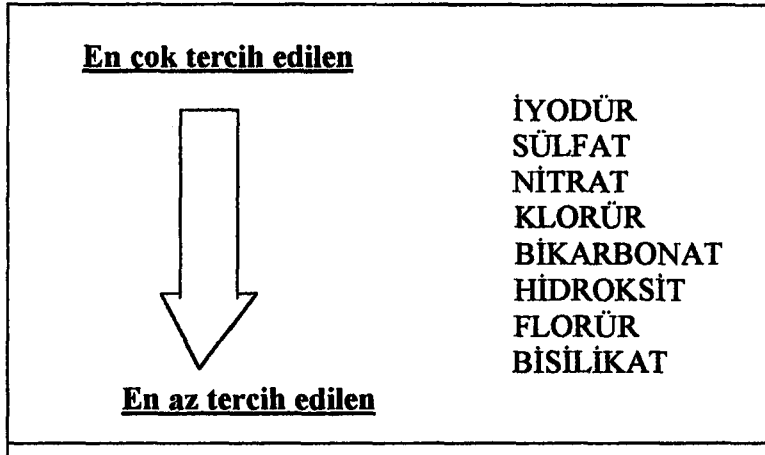
Asetat < formiyat < tartarat < sitrat

İkinci tip iin seçicilik sırası;

$F^- < COO^- < IO_3^- < H_2PO_4^- < HCO_3^- < OH^- < BrO_3^- < Cl^- < CN^- = NO_2^- < Br^- = CF_3COO^- < CCl_3COO^- < SCN^- < HSO_4^- < I^- < ClO_4^-$



Şekil 3.6. Kuvvetli bazik anyon değiştirici reçine



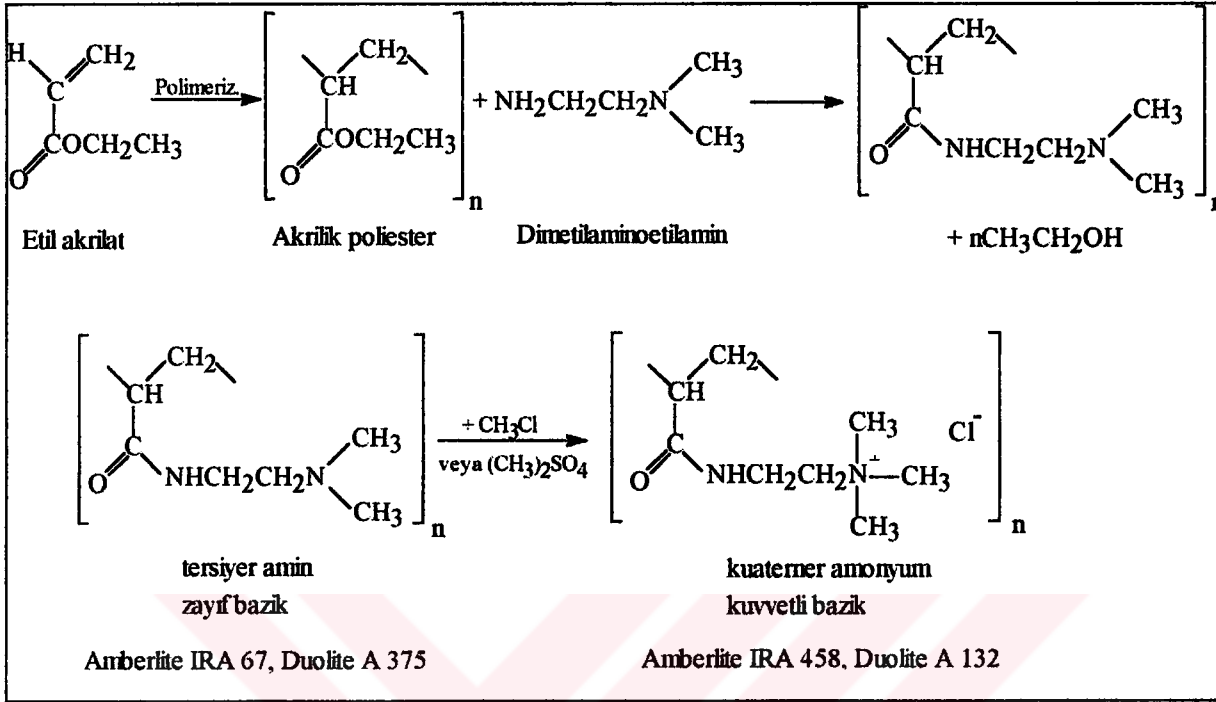
Şekil 3.7. Kuvvetli bazik anyon değiştirici reçinenin seğiciliği

3.2.4.2. Zayıf bazik anyon değiştiriciler

Fonksiyonel grupları bir amin olan bazik anyon değiştiricilere zayıf bazik anyon değiştiriciler denir. Baziklik dereceleri çok değişkendir. Tersiyer amin içeren reçineler orta baziktir. Primer amin içeren reçinelerde çok az kullanılırlar, daha düşük baziklik derecesine sahiptirler. En çok kullanılan zayıf bazik reçineler tersiyer amin fonksiyonel grupları olanlardır. İşlem görecektek olan çözeltilerde bulunan kuvvetli asitleri tutarlar, fakat nötr tuzlar ve zayıf asitler üzerine hiç bir etkileri yoktur. Önemli bir nokta imalatçılar bu reçineler için genellikle teknik dökümanlarında kimyasal yapıları ile ilgili bilgi vermezler. Onun için bu reçineleri sadece birbirlerine yakın genel özellikleri dolayısı ile eşdeğer olarak almaktan sakınmak gerekir.

Seçicilik sırası aşağıdaki gibidir;

$F^- < Cl^- < Br^- < I^- < \text{asetat} < MoO_4^{2-} < PO_4^{2-} < AsO_4^{3-} < NO_3^- < \text{tartarat} < \text{sitrata} < CrO_4^{2-} < SO_4^{2-} < OH^-$



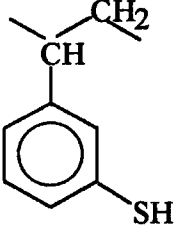
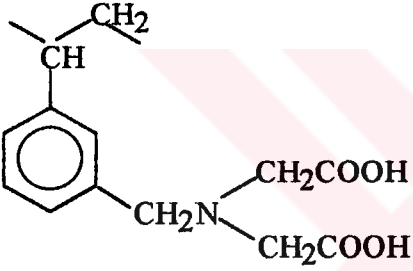
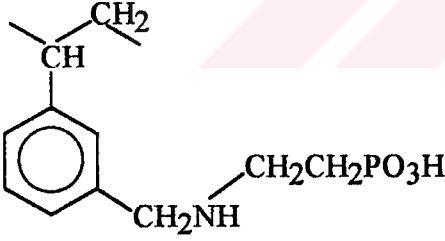
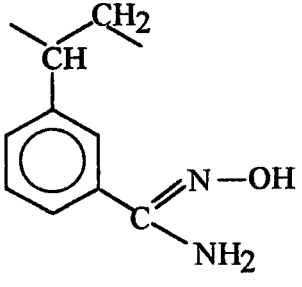
Şekil 3.8. Poliakrilik iyon değiştiricilerin hazırlanması

Polistirenik reçinelerle benzerlik gösterirler, küresel tanecikler bir akrilik ester ve kopolimerize divinilbenzenden itibaren bir katalizörle süspansiyon halindeki bir ortamda başlar. Bu şekilde meydana getirilen akrilik poliester genellikle primer, sekonder veya tersiyer bir aminle muamele edilip aktif hale getirilir. Primer aminler polimerin esterinin aminolizini meydana getirir ve onu amid haline sokar. İskelete bağlanmış olan poliamin anyon değiştirici bir aktif grubunu meydana getirir.

Bu metodla daima zayıf bir anyon değiştirici elde edilir. Bunu ayrıca metilklorür veya dimetil sülfatla muamele ederek kuvvetli bazik bir anyon değiştirici meydana getirilir. Genel olarak eğer polistiren yapıda sülfonik asit yerine karboksil grubu geçerse zayıf asidik, kuaterner amonyum grubu geçerse kuvvetli bazik, tersiyer amin grupları geçerse zayıf bazik iyon değiştiriciler elde edilir.

3.2.5. Diğer iyon değiştirici tipleri

Bunlar yukarıda bahsettiğimiz metodlarla ana polimere değişik fonksiyonel gruplar katılarak yapılırlar, esas gaye metallerin seçimli tutulmasıdır.

Aktif grup	Kimyasal adı	Örnek
	Tiomerkaptan	Imac TMR
	İminodiasetik	Lewatit TP 207
	Aminofosforik	Duolite ES 467
	Amidoksim	Duolite ES 346

Şekil 3.9. Polimere değişik gruplar katılarak metallerin seçimli tutulması

İminodiasetik, aminofosforik etamidoksim, fonksiyonel gruplu iyon değiştiriciler B, Ni, Cd vs. gibi metal ve ametalleri tutarlar. Bunlara çelat ve kompleks teşkil edici reçineler denir.

3.2.6. Makroporöz reçineler

Heteroporöz veya makroretiküle isimleri ile geçer. Polimerizasyon esnasında gözenek meydana getiren monomer bir madde ortama katılır. Bu madde ile çok iyi karışır fakat polimerize olmaz. Buna gözenek yapıcı ajan denir. Örneğin, Heptan, doymuş yağ asitleri, alkol ve polialkoller (C₄- C₁₀'a kadar) bu gözenek yapıcı ajan reçine taneciğinin içinde birçok suni kanallar meydana getirir. Bu kanalları içeren reçinelere makroporöz reçineler denir. Diğer gözenekleri normal olanlara jel tipi denir. Reçine ömürleri yaklaşık % 20 kadar daha fazladır. Kapasiteleri düşüktür. Isı, basınç, yüksek hıza ve sert çarpmalara dayanıklıdır.

Çünkü reçine taneciğinin içine bir atom girerse atomun kendi atom çapına göre reçineyi şişirir. Buradaki divinilbenzen köprüleri bunları tutar. Reçine taneciği açılıp kapanarak reçineyi korur.

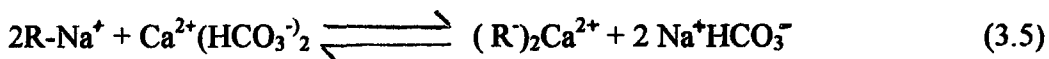
3.2.7. Reçinenin seçiciliğine etki eden faktörler

Reçinenin seçiciliği verilen metal için konsantrasyona, diğer türlerin varlığına, ve pH'a bağlıdır. Verilen bir metal için reçinenin afinitesi pH ayarlanarak artırılabilir veya azaltılabilir. İyon değiştiricilerin afinitesine en çok etki eden faktörlerden biride sıcaklıktır. Seçiciliğe etki eden diğer bir faktörde reçine taneciklerinin şişme kuvvetinin reçine içerisindeki basınç derecesidir. En küçük çapa sahip iyonlar reçine ile daha sıkıca sarılır. Ayrıca toplam çözelti hacminde ve iyon değiştirici içinde iyonların birbiri ile etkileşimlerinde diğer bir faktördür. Bir değiştirme reaksiyonunda yüksek derecedeki seçiciliğin en büyük dezavantajı rejenerasyon süresince reçinenin adsobladığı iyonları serbest bırakma ilgisizliğidir, bu da sonuç olarak daha yüksek bir rejenerant konsantrasyonu gerektirir.

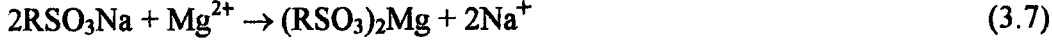
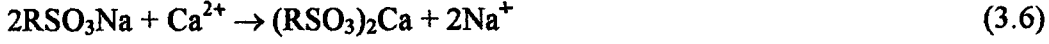
3.2.8. İyon değiştirme reaksiyonları

3.2.8.1. Yumuşatma (Kalıcı sertliği giderme Ca²⁺ ve Mg²⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻ tuzları)

Genel reaksiyon



İşletme esnasında meydana gelen reaksiyon

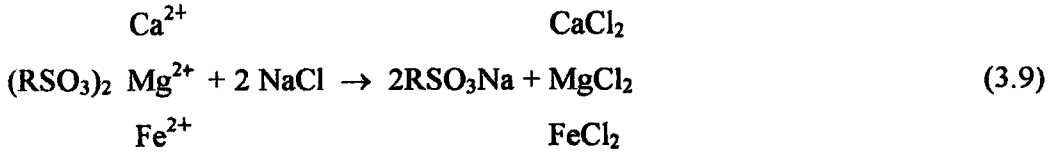


Fe tutulması olayı ham sudaki $\text{Fe}^{2+} > 0.2 \text{ mg/L}$ den fazla ise reçine zehirlenir.

3.2.8.2. Rejenerasyon

Reçinenin tüketildikten sonra cinsine göre NaCl, NaOH, HCl, H₂SO₄, HNO₃ vb. kimyasallarla rejenere edilip eski işler halini tekrar kazanmasıdır.

Yumuşatma işlemlerinde tuz kullanılır.



Kullanılan reçine tipi kuvvetli asidik katyon değiştirici reçine ise hem asitle hemde NaCl ile rejenere edilebilir.

3.2.9. İyon Değiştiricilerin Özellikleri

İyon değiştiriciler muhtelif özellikleri ile tanınırlar. Bu özellikler bilhassa kimyasal yapıları ile belirlenmiştir ve aralarında birbirlerine çok bağlıdırlar.

3.2.9.1. Kapasite

Bir iyon değiştiricinin kapasitesi en önemli özelliklerinden biridir ve ne kadar iyon adsorblayabildiğinin bir ölçüsüdür. Bir reçine önce değiştirme kapasitesi ile karakterize edilir. Toplam değiştirme kapasitesi, reçine içinde mevcut olan ve ölçülebilen azami hareketli iyon miktarıdır. Diğer bir deyişle, adsorblama işleminde tutulabilen zıt iyonların toplam miktarıdır. Bütün iyonların işlev gördüğü kabul edilir. Ekvivalent-gram(eşdeğer)/L olarak ifade edilir. Bu tarif iyonik şekli belirlenmiş bir litre nemli iyon değiştiriciye özgüdür.

İşletme kapasitesi (dinamik kapasite) ise, seçilen koşullar altında adsorblanabilen iyonların sayısını verir. Bir iyon değiştirici reçinenin işletme kapasitesi daima toplam kapasitenin altındadır. Belli şartlar altında belirli bir reaksiyonda ve denge halinde bir iyon değiştirici reçinenin performansını ölçer.

İyon değiştirme kapasitesi aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

- İyon değiştirici malzemenin özelliklerine,
- zeltinin, iyon değiştirici yataktan geçiş hızına,
- zeltinin, içindeki madensel tuzların miktarına,
- Kullanılan rejenerasyon maddesinin miktarına,
- Rejenerasyon metoduna,
- İstenen arıtım derecesine bağlıdır.

Bu nedenle, hangi şartlar altında olduğu belirtilmeyen bir kapasite değerinin pek faydası yoktur. Bununla birlikte çeşitli reçineler arasında bir ayırım yapmak için, bunların maksimum iyon değiştirme kapasiteleri verilmektedir. Maksimum reçine kapasitesi, ihtiyacından oldukça fazla rejenerasyon maddesi ile iyice rejenere edildikten sonra içerisinden iyonlar tamamen tükeninceye kadar, tuzlu su geçirmek sureti ile tayin olunur.

Bu işlem sırasında, reçinenin tuttuğu toplam iyon miktarı ağırlığına maksimum kapasite denir. En yüksek kapasite bu şekilde elde edilir.

3.2.9.2. İyonik g

İyon değiştirici reçinelerin davranışları aktif gruplarının kimyasal özellikleri tarafından yönlendirilir. Bir iyon değiştirici reçinenin asit veya baz kuvveti gayet basit olarak bir asit-baz titrasyon eğrisi tarafından tayin edilir. Bu eğriler reçinelerin pK sı için bir fikir edinmeye yarar.

SO₃H grupları taşıyan kuvvetli asidik katyon değiştiricilerin aktiviteleeri H₂SO₄'e benzer.

-COOH grupları taşıyan zayıf asidik katyon değiştiricilerin titrasyon eğrileri asetik asit fonksiyonları ile benzerlik gösterir.

Bu eğrilere göre, bir katyon değiştirici pKsından yukarı pH larda bütün kapasitesini kullanabilir. Bu olay hemen hemen bir çok defa pratikte -SO₃H tipi (pK= 1) için geçerlidir. Fakat bir karboksi grubu taşıyan -COOH bir zayıf katyonik için geçerli değildir (pK= 4-6 arasındadır).

Bu olayın tersi kuvvetli bazik anyon değiştiriciler (pK= 13) ve zayıf bazik anyon değiştiriciler içinde geçerlidir.

3.2.9.3. Yoğunluk

İyon değiştiricilerin gerçek yoğunluğu en hafif anyonik reçineler için 1.07 civarında, en ağır katyon değiştiriciler için 1.36 civarındadır.

3.2.9.4. Su muhtevası (içeriği)

Bir iyon değiştirici reçinenin su muhtevası onun en önemli karakterlerinden birisi olup bazı iyonlara karşı afinitesini tayin etmeye ve uzun bir çalışma sureci sonunda yapısal değişimini takip etmeye yarar. Reçinenin cinsine gore su muhtevası yaklaşık % 45-60 arasında değişir.

3.2.9.5. Fizikokimyasal Kararlılık

3.2.9.5.1. Yukseltgenme Bütün organik maddeler gibi iyon değiştirici reçineler yukseltgen maddelere karşı hassastırlar ve tersinir olarak klor, hidrojen peroksit, nitrik asit v.s. zarar verebilirler. Bir katyon değiştirici reçineye bir yukseltgenin etkisi şebeke yapısının değişmesi ve küçülmesi ile meydana çıkar, bu da en çok çapraz bağ içeren reçinenin neden daha fazla dayanıklı olduğunu açıklar.

Anyonik reçinelere yukseltgenlerin etkisi kapasitenin düşmesi ile belli olur (Aktif grupların kaybı).

3.2.9.5.2. Sıcaklık Sıcaklığa karşı dayanıklılık fonksiyonel grupların kararlılığı ile sınırlandırılmıştır. Çok kararlı olan katyon değiştiricilerle 120- 150 C ye kadar çalışılabilir. Anyon değiştiricilerle eğer uzun sure çalışılacaksa 60 C nin üzerinde sıcaklıkta çalışılmamalıdır.

3.2.9.5.3. Zehirlenme İyon değiştirici reçinelerin zehirlenme sebepleri ilerine çalışma esnasında ken yabancı maddeler veya yüksek moleküler yapıya sahip polielektrolitlerin reçinede tutulmalarıdır. Bu olaya bilhassa anyon değiştirici reçinelerde rastlanır, sorpsiyon olayı denilen yüksek moleküler yapıya sahip organik asitlerin tersinir bir reaksiyon vermelerinden dolayı meydana gelir.

3.2.9.5.4. Osmotik ykler İyon değiştiriciler birbiri arkası sıra değişik konsantrasyonlu sıvı cisimlerle temasa gelirse devamlı olarak büzülüp genleşmekten dolayı iyon değiştirici tanecikler kırılabilir. İyon değiştirici reçinenin dayanıklılığı taneciklerin boyutlarının, gözenekliliğinin ve ağ yapısının bir fonksiyonudur.

3.2.9.5.5. Aşınma

İyon değiştirici reçinenin mekanik dayanıklılığını karakterize eder. Yüksek hızlı debilerde ve reçinenin dolaştığı sistemlerde çok büyük önemi vardır. Aşınmaya karşı dayanıklılık reçinenin ağ yapısına bağlıdır.

3.2.9.6. İyon değiştiricilerde aranan zellikler

- Yeterli miktarda değişebilen iyonları ihtiva etmesi,
- İyon değiştiricinin suda veya hangi sıvı kullanılacaksa o sıvı içerisinde çözünmemesi ,
- Malzeme dokusunun süngerimsi olması ve hidrate olmuş H, Na, K, Ca, Mg, OH, Cl, NO₃, SO₄ gibi iyonların kolayca girip çıkmasına imkan vermesi,
- Aktif grupların (değişecek iyonların bulunduğu kısımların) iyonik olması,
- Fiziksel ve kimyasal bakımdan dayanıklı olması (asitlere, sıcaklığa karşı dayanıklı olması ve ufalanmaması).
- Tanecik büyüklüğünün 0.3 ile 1.9 mm kadar olması
- Fiyatının uygun olması gerekir.

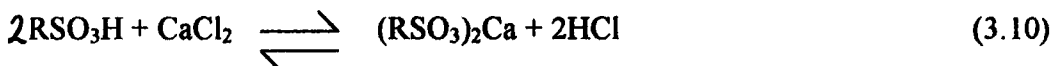
3.2.9.7. Rejenerasyon

Bu işlemin gagesi kolondan iyon değiştirici tarafından tutulan iyonları çıkarmak ve bunların yerine muamele edilecek olan çözeltide olması istenen iyonları geçirmektedir. Reçine yatağının değişirme kapasitesi tükendiği yani istenmeyen iyonlar ortaya çıkmaya başladığı zaman işlem durdurulur ve değiştirici yatağı tekrar seçici iyonlarla yüklemek gerekir buna rejenerasyon denir. Bu dönüşüm bir çok kez tekrarlanabilir. 2.4.4. bölümünde denklemleri verilen yumuşatmada Na⁻, demineralizasyonda H⁺ ve OH⁻ rejenerant çözeltisi bu reçinenin teknik prosedüründe belirtilen konsantrasyon ve sıcaklıkta bu işe elverişli olan bir kap içerisinde hazırlanır ve reçine yatağından gerekli temas zamanını sağlamak için düşük bir hızda geçirilir.

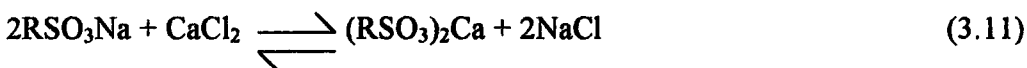
3.2.9.7.1. Kuvvetli asidik katyon değiştirici reçinelerin rejenerasyonu

İşletmede reçine RSO₃⁺ ile gösterilecektir (Walter, J., ve diğerleri, 1972).

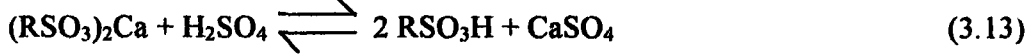
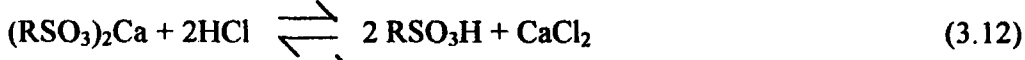
a) Hidrojen formu



b) Sodyum formu

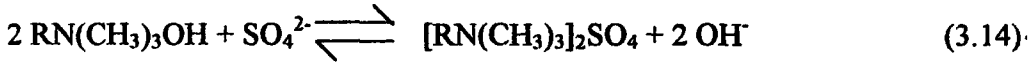


Rejenerasyon: HCl, H₂SO₄ veya NaCl ile yapılır.

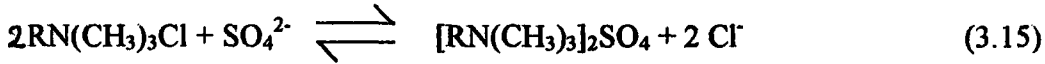


3.2.9.7.2.Kuvvetli bazik anyon değiştirici reçinelerin rejenerasyonu

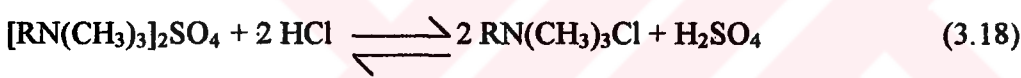
a) Hidroksit formu



b) Klorür formu



Rejenerasyon: NaOH, NaCl veya HCl ile yapılır.



3.2.9.8.İyon değiştiricilerin kullanım öncesi hazırlığı

3.2.9.8.1.Hacim ölçülmesi

Hacim ölçüsü, iyon değiştiriciler için geçerlidir. Yoğunlukla hacmin ilgisi yoktur. İyon değiştirici reçineler için uluslararası kabul edilen hacmin tanımı şöyledir; hangi iyonik formda olursa olsun, belli bir miktar tartılıp ölçü kabı içerisine konarak ters yıkama ve dekantasyona bırakılıp (işlem bir iki kez tekrarlanır) hacim tartılır. Bu tartılan miktarın hacmidir ve ± % 9 hata payı kabul edilebilir. En sağlıklı ölçüm işletme kolonunda yapılır.

3.2.9.8.2.Reçine yerleştirilmeleri

Reçine kullanımından önce yapılması gereken işlemler:

-Kuru kolona boşaltılmaz. Yarısına kadar su doldurulup, reçinenin üçte biri aktarılır ve bu işlem en az üç kez yapılmalıdır. Reçine kuruysa 24 saat suda bekletilip kolona aktarılır. Su içinde bekletme kolonda yapılırsa kolonun çatlama olasılığı vardır.

-Reçineyi ters akımla yatağın % 50'si genişleyecek şekilde yıkama yapılır. Bu işlem hava kabarcıklarını engeller, mevcut tozları temizler.

-Ters yıkama durdurulur ve dekantasyona bırakılır.

-Reçine yatağının 3 cm üzerine kadar su doldurulur, fazlası akıtılır.Sonra reçine hacmi ölçülür.

3.2.9.8.3.Reçinenin şartlandırılması

Amaç; tat, koku ve ekstrakte olabilen organik maddeleri uzaklaştırmaktır. Şartlandırma metodları standart kalite kimyasal maddelerde uygulanabilir, ayrıca reçine rejenerasyonunda kullanılabilir.

İçme suyunda ve gıda maddelerinde kullanmak için sıcak su ile veya su buharı ile uzun süre yıkanmış reçineler kullanılır. Hassas durumlarda reçine için bu işlem tekrarlanır. Uygulamadan sonra seyreltik asit ve baz geçirilir ve böylece reçine bütün kalıntılarından uzaklaşmış olur.

Katyonik reçinelerde sıcak su ile 30° C de yıkanabilir. Anyonik reçinelere bu işlem uygulanmaz.

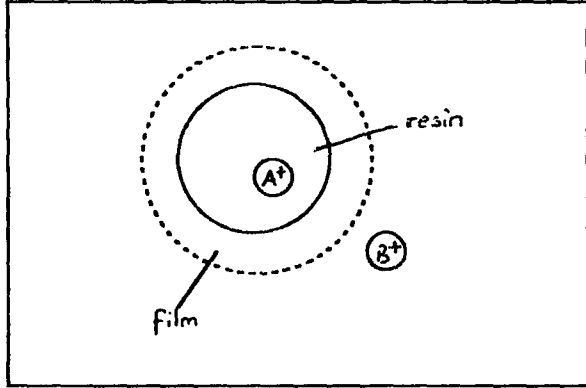
3.2.9.8.4.Teslimattaki İyonik Form

Kuvvetli asidik katyon değiştiriciler Na⁺ formunda teslim edilirler. Zayıf ve orta asidik katyon değiştiriciler H⁺ formunda, kuvvetli bazik anyon değiştiriciler Cl⁻ formunda, orta ve zayıf bazik anyon değiştiriciler ise serbest baz formunda teslim edilirler.

3.2.9.9.İyon değiştirici reçinelerin korunması için alınacak önlemler

- a) İyon değiştirici reçinelerin ambalajda iyi korunmasına,
- b) Reçine taneciklerinin esnekliğini korumaları için nem oranının daima belli olmasına,
- c) İyon değiştirici reçinelerin devamlı ve önemli oranda sıcaklık değişikliğine uğrayan yerlerde muhafaza edilmemesine,
- d) Uzun süre beklemeye alınan reçine sistemlerinin korunması için, reçinenin dehidratasyonu, donması, biyolojik kirlenmesi ve su ile hidroliz olmamasına dikkat edilmelidir (Korte F., 1980).

3.3. İyon Değişirme Kinetiği



Şekil 3.10. İyon değişirme kinetiği

İki çeşit hız adımı vardır. Zıt yüklü iyonlarla, iyon değiştiricinin kendisi arasındaki difüzyon (tanecik difüzyonu) ve reçine taneciğinin etrafındaki film ile zıt yükler arasındaki difüzyondur (film difüzyonu).

İyon değiştirmede bir A^+ iyonu bulunduğu iyon değiştiriciden dış çözeltiliye geç eder. Reçine taneciğinin etrafında sabit bir film çözeltisi vardır. Dış çözeltiliden bir B^+ iyonu bu çözeltiden geçerek reçine taneciğinin yüzeyine doğru gider. Taneciğin yüzeyindeki bu durumdan dolayı reçine ve çözeltinin su molekülleri arasında bir çekim kuvveti vardır. Reçine taneciklerinin etrafındaki belirli kalınlıktaki filmde dolayı bu çekim çözeltiliye doğru yayılır. Filmin kalınlığına bağlı olarak etkileşim artar veya azalır. B^+ iyonunun bu filme doğru difüzyon hızı, sabit iyonik grupların konsantrasyonu ve difüzyon katsayısı ile doğru, film kalınlığı ile ters orantılıdır. Sonraki adımda, B^+ iyonu reçine taneciğinin içine A^+ değişim bölgesine doğru girer. Burada hem iyon değiştirici hemde çözelti arasında iyonların transferi vardır. B^+ 'nın reçine taneciğine doğru difüzyon hızı, sabit iyonik grupların konsantrasyonu ve difüzyon katsayısı ile doğru, taneciğin yarıçapı ile ters orantılıdır. Bu seyreltik çözeltiler ve film kalınlığının fazla olduğu durumlarda geçerlidir. Reçinenin sabit iyonik gruplarının yüksek konsantrasyonlarında ve düşük çaprazlanma derecelerinde (reçine taneciğinde büyük difüzyon katsayısı) film difüzyonu tanecik difüzyonundan daha yavaş olur. Konsantre çözeltilerde, reçine taneciğinin hareketi rejenerasyon süresince olduğu gibi, sınırlıdır (Zaganiaris, 1974).

3.3.1. Kinetiğe etki eden faktörler

3.3.1.1. İyon değiştirici reçine taneciklerinin yüzey alanı

Jel tipi reçineler için bunun anlamı tanecik büyüklüğüdür. Küçük reçine tanecikleri, büyük taneciklerden daha hızlı kinetik gösterirler. Film difüzyonunda değiştirme hızı tanecik büyüklüğüyle ters, tanecik difüzyonunda ise doğru orantılıdır.

3.3.1.2. Dallanmışlığın derecesi

Genellikle dallanmanın düşük dallanma derecesi kinetiği kolaylaştırır. Bundan dolayı düşük dallanmanın seçiciliği de azalttığını görürüz. Değiştirme oranı üzerine çapraz bağlanmanın etkisi, tanecik difüzyonu için film difüzyonundan daha fazla olabilir.

3.3.1.3. Sıcaklık

Bu faktörün etkisi, olumsuz denge ve hızlı kinetiktir.

3.3.1.4. Konsantrasyon

Film difüzyonu, çözelti içindeki iyonların konsantrasyonu düşük olduğu zaman daha fazladır. Oysa tanecik difüzyonunda, yüksek çözelti konsantrasyonu daha etkilidir.

3.3.1.5. Akış hızı veya karıştırma hızı

Film difüzyonu akış veya karıştırma hızına bağlıdır. Değiştirme hızı akış veya karıştırma hızının artması ile artar. Tanecik difüzyonunda ise, akış veya karıştırma hızından fazla etkilenmez.

3.3.2. Kinetik Modeller

Helfferich (1962) tarafından geliştirilen 5 ayrı model vardır. Bu modeller, sıvı faz ve katı faz kütle transferi ve bütün iyon değişimi boyunca değişime katılan grupların kimyasal reaksiyonu ile ilgilidir.

1. Model; Lineer akış hızları ile sıvı faz kütle transferinin kontrolü.
2. Model; Nernst-Plank eşitlikleri ile katı faz difüzyonunun kontrolü.
3. Model; SN_2 hız eşitliği ile kimyasal reaksiyon kontrolü.
4. Model; Reçinenin iç bölgesine doğru büzülme mekanizması ile kimyasal reaksiyon kontrolü.
5. Model; Hızlı, irreversibl reaksiyon ile katı faz difüzyon kontrolü.

1. ve 2. Model iyon değiştirme kinetiklerinin standart modelleridir. 3. Model, kimyasal reaksiyon kontrolünün en iyi olduğu durumdur. 4. ve 5. Model ise değişime uğramış ve hala değişimi tamamlanmamış iyon değiştiricilerin tanecik yüzeyinden iç bölgesine doğru göçü, keskin ve hareketli sınırları ile kabuğa benzer bir mekanizmayı çağrıştırır.

Bu modellerin ortak açıklaması;

Sabit ayırma faktörü, değişime uğrayan iyonların sabit difüzyon katsayıları, sabit hacimli iyon değiştirici, çözelti alımı veya bırakılmasının olmaması, iyon değiştiriciden aynı yüklü iyonların tamamen Donnan etkisi ile uzaklaştırılmasıdır.

1. Modelde, sıvı fazda yavaş ve tek hız kontrol adımı, kütle transferidir. Tanecikte konsantrasyon değişiklikleri yoktur, sıvı fazda kütle transferinin yarı durucu hali, lineer akış hızı ve verilen çözelti konsantrasyonunda sabit ayırma faktörü vardır.

2. Modelde, yavaş ve tek hız kontrol adımı değiştirici tanecikler içindeki difüzyondur. Bu modele göre, sıvı fazda konsantrasyon değişiklikleri ve katı fazda çözelti alımı veya bırakılması yoktur. Bu modelde Nernst-Plank eşitliği ile difüzyon tanımlanmıştır.

3. Modelde, yavaş ve tek hız kontrol adımı, hız kanununa bağlı olarak, sabit iyonik gruptaki değiştirme reaksiyonudur. Ne tanecikte ne de çözültide konsantrasyon değişiklikleri yoktur. Bunun nedeni, kütle transferinin kurulması ve dengeye erişilmesi için verilen uzun zamanda kimyasal reaksiyonun yavaş olmasıdır.

4. Modelde, 3. Modeldeki gibi, aynı hız kanunu düşünüldüğünde, kimyasal reaksiyon yavaş, kütle transferi hızlıdır. Bu modelde de, çözelti konsantrasyonu ve reaksiyon hız katsayısı üzerine belirlenen dönüşüm için gereken zamana bağımlılıkla aynıdır.

5. Modelde, değiştirici gruplar, çözeltinin zıt yüklü iyonları ile hızlı bir reaksiyona uğrar. Yavaş hız kontrol adımında zıt yüklü iyonların kabuğa doğru difüzyonudur fakat reaksiyon, difüzyon bölgesinin değişimi ve çözültiden giren çok fazla sayıdaki iyonların hızlarından kuvvetlice etkilenir.

Çizelge 3.1. Deneysel koşulların iyon değiştirme hızlarına bağımlılığı

Parametreler	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5
Tanecik büyüklüğü (r^o)	$\alpha 1/ r^o$	$\alpha 1/ r^{o2}$	bağımsız	$\alpha 1/ r^o$	$\alpha 1/ r^{o2}$
Çözelti konsantrasyonu (C)	bağımsız	bağımsız	αC	αC	αC^b
Karıştırma hızı (rpm)	hassas	bağımsız	bağımsız	bağımsız	bağımsız
Reçine kapasitesi (C)	1/C	bağımsız	bağımsız	bağımsız	bağımsız
Kesilme(Interruption) Testi	hassas değil	hassas	hassas değil	hassas değil	hassas değil

α : Ayırma faktörü

Model 1 ve 2 iyon değiştirme kinetiklerinin standart modelleridir.

Model 1. Likit faz kütle transfer kontrolü (fdc)

Bu modelde likit fazda (film tabakası ile çözelti arasında) kütle transferi söz konusudur. Maksimum konsantrasyon değişikliği (gradienti) vardır. Reçine taneciğinde ise iyon

alışverişi yani konsantrasyon değişikliği yoktur. Verilen çözelti konsantrasyonunda sabit ayırma faktörü vardır.

Modelleme işlemlerinde, teorik hesaplamalar ve/veya deneysel çalışmaların sonuçları verilen tablo değerlerine göre karşılaştırılarak hangi modele uyduğu saptanmaktadır.

Fraksiyonel denge yaklaşımı(U), likit faz difüzyon katsayısına (D), toplam çözelti konsantrasyonuna (C), zamana (t), tanecik yarıçapına (r^0), film kalınlığına (δ) ve kapasiteye (\bar{C}) bağlıdır. Dönüşüm için gereken zaman, tanecik yarıçapı ve iyon değiştirme kapasitesi ile ters orantılıdır.

Kinetik deneysel çalışmalarda ise iyon değiştirme hızları; Çizelge 3.1'deki tanecik büyüklüğüne, hesaplanan ayırma faktörünün tanecik yarıçapının tersi ile çarpımına bağlı, çözelti konsantrasyonundan bağımsız, karıştırma hızına hassas, reçine değiştirme kapasitesi ile ters orantılı ve kesilme testlerine hassas değildir. Deneysel sonuçları buna göre değerlendirilerek hangi modele uygunluğu saptanmaktadır.

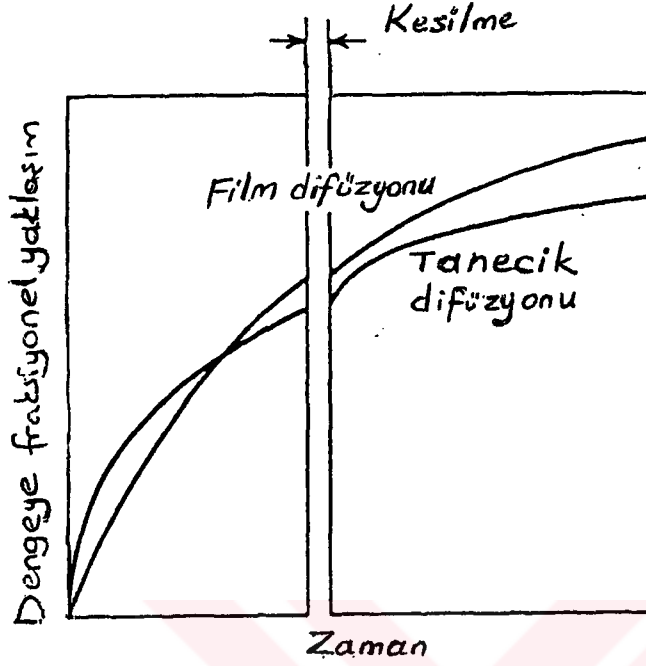
Model 2. Nernst-Planck eşitlikleri ile solid faz difüzyon kontrolü (pdc)

Bu modelde likit fazda konsantrasyon değişiklikleri yoktur. Burada ayırma faktörü (seçicilik) hızı doğrudan etkilemez.

Fraksiyonel denge yaklaşımı, solid faz difüzyon katsayısına (\bar{D}), toplam çözelti konsantrasyonuna (C), zıt yüklü iyonların elektrokimyasal değeriği (z), ve fizikokimyasal sabitlere (F,R), sıcaklığa (T) ve elektriksel potansiyele (φ) bağlıdır.

Kinetik deneysel çalışmalarda ise iyon değiştirme hızları; Çizelge 3.1'deki tanecik büyüklüğüne, hesaplanan ayırma faktörünün tanecik yarıçapının karesinin tersi ile çarpımına bağlı, çözelti konsantrasyonundan, karıştırma hızından, reçine değiştirme kapasitesinden bağımsız, ve kesilme testlerine karşı hassastır. Deneysel sonuçları buna göre değerlendirilerek hangi modele uygunluğu saptanmaktadır (Helfferich vd., 1985a).

3.3.2.1. Kesilme testlerinin fdc ve pdc ile bağlantısı



Şekil 3.11. Tanecik ve film difüzyon kontrolü ile kesilme testi

Kesilme testleri kinetik çalışmalarda reaksiyon kinetik hızı üzerine etkili olan mekanizmanın açıklanması için önemli bir parametredir.

4.12.1. bölümünde anlatıldığı gibi Kressman- Kitchener karıştırıcı sisteminde belirli hızda yapılan kinetik çalışmalarda reçine geçici olarak çözeltiden uzaklaştırılır ve sonra yeniden temas ettirilir. Kesilme zamanı süresince, tanecikler arasındaki konsantrasyon (iyon geçişi)gradientleri yavaşlatılır ve yavaş bir kimyasal reaksiyonla ilerler. Bu nedenle, eğer hız pdc ile kontrol ediliyorsa, daldırılmanın olduğu zamanki iyon değiştirme hızı kesilmenin olduğu zamankinden daha yüksek olur, fdc ile tanecikte konsantrasyon değişikliği olmaz ve hız film içindeki konsantrasyon farklılığına bağlıdır. Kesilme bu farklılığı etkilemez, bu nedenle hız üzerine etkili değildir.

Kesilme testleri likit faz ve tanecikler arasındaki mekanizmayı ayırmak için en önemli ve güvenilir kriterdir (Helfferich, 1962).

3.4. Seçilen İyon Değiştirici Reçinelerin Özellikleri

3.4.1. Amberlite IRC 76 zayıf katyonik reçinenin özellikleri

Çizelge 3.2. Amberlite IRC 76 zayıf katyonik reçinenin özellikleri

Matriks	Çapraz bağlanmış akrilik kopolimer
Fonksiyonel grup	Karboksilik asit
Görünüş	Opak küresel tanecikler
Nem içeriği	% 54-58 (H ⁺ form)
Yoğunluğu	1.14 (H ⁺ form)
Tanecik büyüklüğü	0.3- 1.2 mm
Şişme H ⁺ formundan Ca ⁺⁺ formuna	~ % 15 (tamamen dönüşüm)
H ⁺ formundan Na ⁺ formuna	~ % 50 (tamamen dönüşüm)
Toplam değiştirme kapasitesi	4 eq / L (H ⁺ form)

Çizelge 3.3. Amberlite IRC 76 zayıf katyonik reçine için önerilen çalışma koşulları

Minimum yatak genişliği	600 mm	
pH çalışma aralığı	5-14	
Maksimum çalışma sıcaklığı	120 ° C	
Akış hızı	5-70 BV/ saat	
Rejenerant	HCl	H ₂ SO ₄
Konsantrasyon	% 2-5	% 0.5-0.8
Akış hızı	2-8 BV/saat	15-25 BV/saat

3.4.2. Amberlite IRC 718 zayıf katyonik reçinenin özellikleri

Çizelge 3.4. Amberlite IRC 718 zayıf katyonik reçinenin özellikleri

Matriks	Makroporöz stiren divinilbenzen	
Fonksiyonel grup	Karboksilik asit	
Görünüş	Opak tanecikler	
Nem içeriği	% 64-70 (Na ⁺ form)	
Tanecik büyüklüğü	0.4- 1.4 mm	
Şişme H ⁺ formundan Na ⁺ formuna	~ % 40 (tamamen dönüşüm)	
Toplam değiştirme kapasitesi	≥ 1.0 eq / L (Na ⁺ form)	

Çizelge 3.5. Amberlite IRC 718 zayıf katyonik reçine için önerilen çalışma koşulları

pH çalışma aralığı	1.5 -14 (uygulamaya bağlı olarak)
Maksimum çalışma sıcaklığı	90 ° C
Akış hızı	8-32 BV/ saat
Rejenerant	HCl veya H ₂ SO ₄
Akış hızı	2-4 BV/saat
Konsantrasyon	% 5-15

3.4.3. Amberlite IRC 86 zayıf katyonik reçinenin özellikleri

Çizelge 3.6. Amberlite IRC 86 zayıf katyonik reçinenin özellikleri

Matriks	Çapraz bağlanmış akrilik kopolimer
Fonksiyonel grup	Karboksilik asit
Görünüş	Opak küresel tanecikler
Nem içeriği	% 42-50 (H ⁺ form)
Yoğunluğu	1.19 (H ⁺ form)
Tanecik büyüklüğü	0.38- 0.46 mm
Şişme H ⁺ formundan Ca ⁺⁺ formuna	~ % 25 (tamamen dönüşüm)
H ⁺ formundan Na ⁺ formuna	~ % 65 (tamamen dönüşüm)
Toplam değişirme kapasitesi	3.50 eq / L (H ⁺ form)

Çizelge 3.7. Amberlite IRC 86 zayıf katyonik reçine için önerilen çalışma koşulları

Maksimum yatak genişliği	700 mm
pH çalışma aralığı	4-14
Maksimum çalışma sıcaklığı	120 ° C
Akış hızı	5-70 BV/ saat
Rejenerant	HCl H ₂ SO ₄
Akış hızı	2-8 BV/saat 15-40 BV/saat
Konsantrasyon	% 2-5 0.5- 0.7

3.4.4. Amberlite IR 120 kuvvetli katyonik reçinenin özellikleri

Çizelge 3.8. Amberlite IR 120 kuvvetli katyonik reçinenin özellikleri

Matriks	Stiren divinilbenzen kopolimer
Fonksiyonel grup	- SO ₃ ⁻
Görünüş	Amber tanecikler
Nem içeriği	Na ⁺ form H ⁺ form
	% 44-49 % 51-56
Toplam değişirme kapasitesi	≥ 2.00 eq/L ≥ 1.80 eq/L
Yoğunluğu	1.27 (H ⁺ form)
Tanecik büyüklüğü	0.6- 0.8 mm
Şişme Na ⁺ formundan H ⁺ formuna	~ % 10

Çizelge 3.9. Amberlite IR 120 kuvvetli katyonik reçine için önerilen çalışma koşulları

Minimum yatak genişliği	700 mm		
pH çalışma aralığı	0-14		
Maksimum çalışma sıcaklığı	120 ° C		
Akış hızı	5-40 BV/ saat		
Rejenerant	HCl	H ₂ SO ₄	NaCl
Akış hızı	2-8 BV/saat	2-20 BV/saat	2-8 BV/saat
Konsantrasyon	% 5-8	% 0.7- 6	% 10

3.4.5. Amberlite IRA 402 kuvvetli anyonik reçinenin özellikleri

Çizelge 3.10 Amberlite IR 402 kuvvetli anyonik reçinenin özellikleri

Matriks	Stiren divinilbenzen kopolimer
Fonksiyonel grup	- N ⁺ (CH ₃) ₃
Görünüş	Açık sarı şeffaf tanecikler
Nem içeriği	% 50-56 (Cl form)
Toplam değiştirme kapasitesi	≥ 1.30 eq/L (Cl form)
Yoğunluğu	1.063-1.093 (Cl form)
Tanecik büyüklüğü	0.62- 0.77 mm
Şişme (Cl formundan OH- formuna)	% 30

Çizelge 3.11. Amberlite IRA 402 kuvvetli anyonik reçine için önerilen çalışma koşulları

Minimum yatak genişliği	600 mm
pH çalışma aralığı	0-14
Maksimum çalışma sıcaklığı	60 ° C
Akış hızı	5-40 BV/ saat
Rejenerant	NaOH
Akış hızı	2-8 BV/saat
Konsantrasyon	% 2-4

3.4.6. Amberlite IRA 410 kuvvetli anyonik reçinenin özellikleri

Çizelge 3.12. Amberlite IR 410 kuvvetli anyonik reçinenin özellikleri

Matriks	Stiren divinilbenzen kopolimer
Fonksiyonel grup	- N ⁺ (CH ₃) ₂ C ₂ H ₄ OH
Görünüş	Açık sarı şeffaf tanecikler
Nem içeriği	% 45-51 (Cl form)
Toplam değiştirme kapasitesi	≥ 1.30 eq/L (Cl form)
Yoğunluğu	1.085-1.115 (Cl form)
Tanecik büyüklüğü	0.62- 0.77 mm
Şişme (Cl formundan OH- formuna)	% 20

Çizelge 3.13. Amberlite IRA 410 kuvvetli anyonik reçine için önerilen çalışma koşulları

Minimum yatak genişliği	700 mm
pH çalışma aralığı	0-14
Maksimum çalışma sıcaklığı	35 ° C
Akış hızı	5-40 BV/ saat
Rejenerant	NaOH
Akış hızı	2-8 BV/saat
Konsantrasyon	% 2-4



4. DENEYSEL BÖLÜM

4.1. KULLANILAN ALET, KİMYASAL VE DENEY DÜZENEKLERİ

4.1.1. Kullanılan Aletler

Krom ve kadmiyum tayinleri Varian Spectr AA 20 model alevli atomik absorpsiyon spektrofotometresi (AAS) ile yapıldı. pH ölçümleri için Metrohm Herisau E 510 model kombine elektrodlu pH metre kullanıldı. Elek analizleri Octagon 200 model otomatik karıştırılmalı elek ile, reçinelerin optimum koşullarının belirlenmesindeki kesikli (batch) denemelerde karıştırma işlemleri Nüve SL 350 model otomatik karıştırıcı ile yapıldı. Reçinelerin hazırlanması aşamasında Dedeoğlu marka vakum etüvü (0-760 mm Hg) ve nem tayinlerinde Heraew marka etüv (0-300 °C) kullanıldı. Kolon çalışmalarında Watson Marlow marka 302S/ RL model peristaltik pompa [5-55 ve 22-220 rpm (devir/dakika)] ayarlı kullanıldı. Kinetik çalışmalarda Janke& Kunkel RW20 Ika-Werk Mekanik Karıştırıcı (0-2000 rpm) , Bosch GGS 7C karıştırıcı motor (3000-7000 rpm) ve Grant W14 termostatlı su banyosu (0-150 °C) kullanıldı.

4.1.2. Kullanılan Kimyasal Maddeler

Krom ve Kadmiyum stok çözeltileri bazik krom(III) sülfat [$Cr_4(SO_4)_5(OH)_2$] ve kadmiyum nitrat [$Cd(NO_3)_2 \cdot 4 H_2O$] tuzlarının çözülmesi ile hazırlandı. pH ayarlamaları için HNO_3 ve NH_3 kullanıldı. Reçinelerin hazırlanmasında 1 M NaOH, 1 M HCl, 1M NaCl, CH_3OH kullanıldı. Reçinelerin rejenerasyonunda 1 M NaOH, 1 M HCl, 1 M H_2SO_4 , 1 M Na_2SO_4 , 0,15 M H_2O_2 (0,15, 0,35 ve 0,5 M NaOH de hazırlanmış) çözeltileri kullanıldı. Katyon ve anyon değiştirme kapasitelerinin titrimetrik olarak tayininde 0,1 N NaOH (% 5 NaCl içerisinde hazırlanmış), 0,1 N HCl, fenolftalein indikatörü, % 4'lük HCl, CH_2OH , 1 N $NaNO_3$, % 5' lik K_2CrO_4 , 0,05 N $AgNO_3$, denge deneylerinde pH: 2 tamponu hazırlamak için KCl ve 0.1 M HCl çözeltileri hazırlanarak kullanıldı. Kullanılan bütün kimyasallar analitik saflıkta Merck ürünleridir. Deneylerde bütün çözeltiler destile su ile hazırlandı.

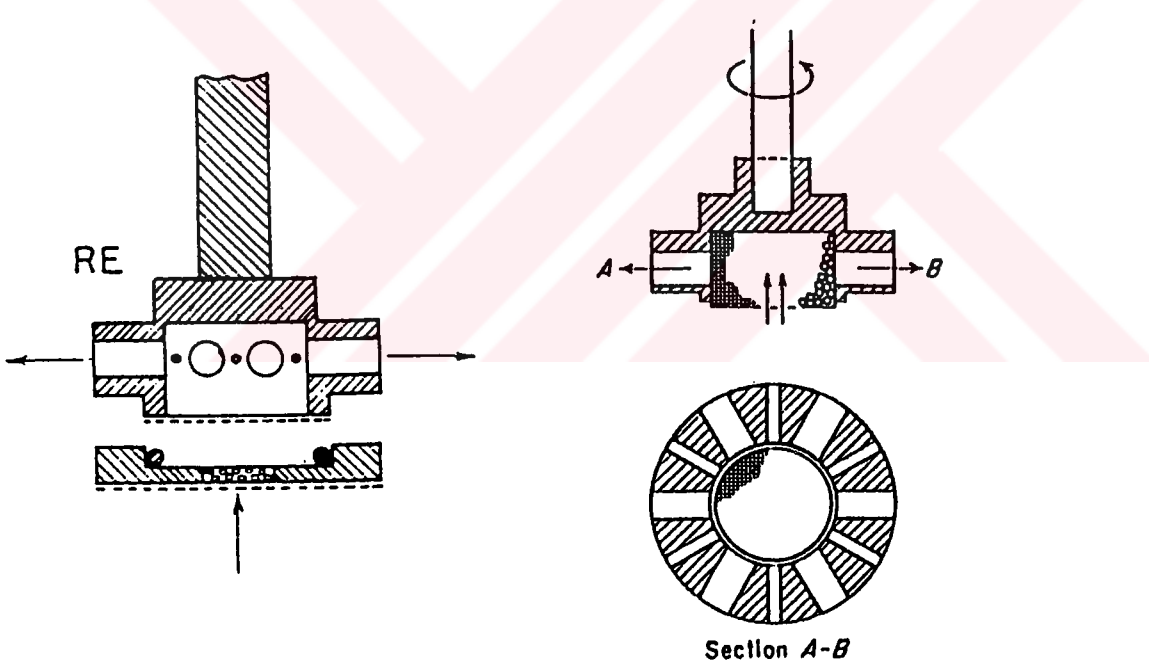
4.1.3. Deney Düzenekleri

4.1.3.1. Kolon çalışması

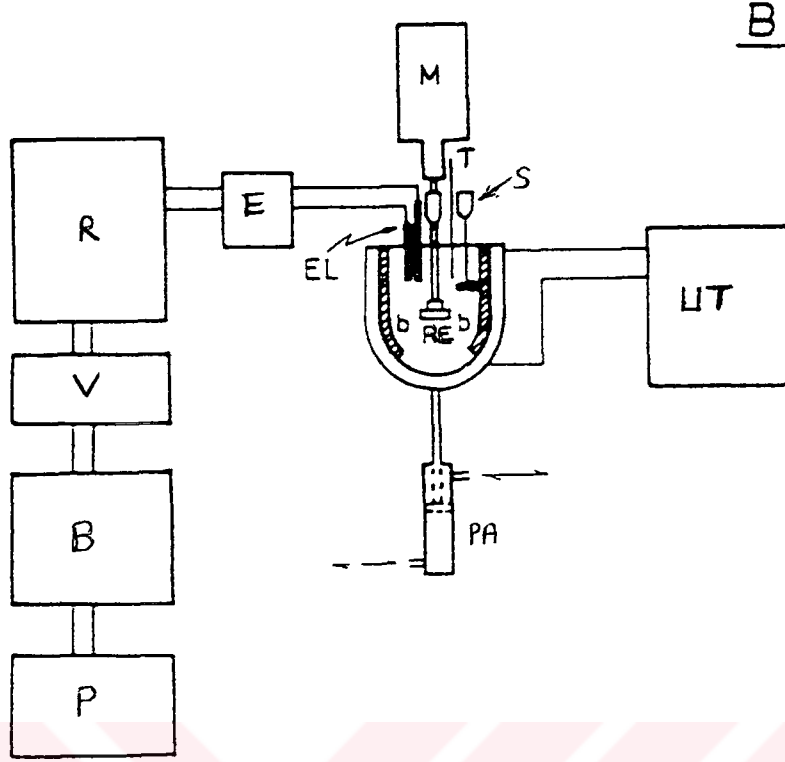
Kolon çapı; 5 cm, yüksekliği; 140 cm, et kalınlığı; 5 mm, şilifli musluk iç çapı 0,5 cm olan büyük bir kolonda tabakhane atık sularından Cr^{3+} nın iyon değıştiricilerle uzaklaştırılması çalışması yapıldı.

4.1.3.2. Kressman- Kitchener karıştırıcı sistem

Bu sistem başlıca 4 kısımdan oluşmaktadır. Mekanik karıştırıcı, buna adapte edilen reçinenin konduğu bir haznesi bulunan karıştırıcı parçası, 2 L' lik reaksiyon kabı ve termostatlı (0-150 °C) su banyosudur.

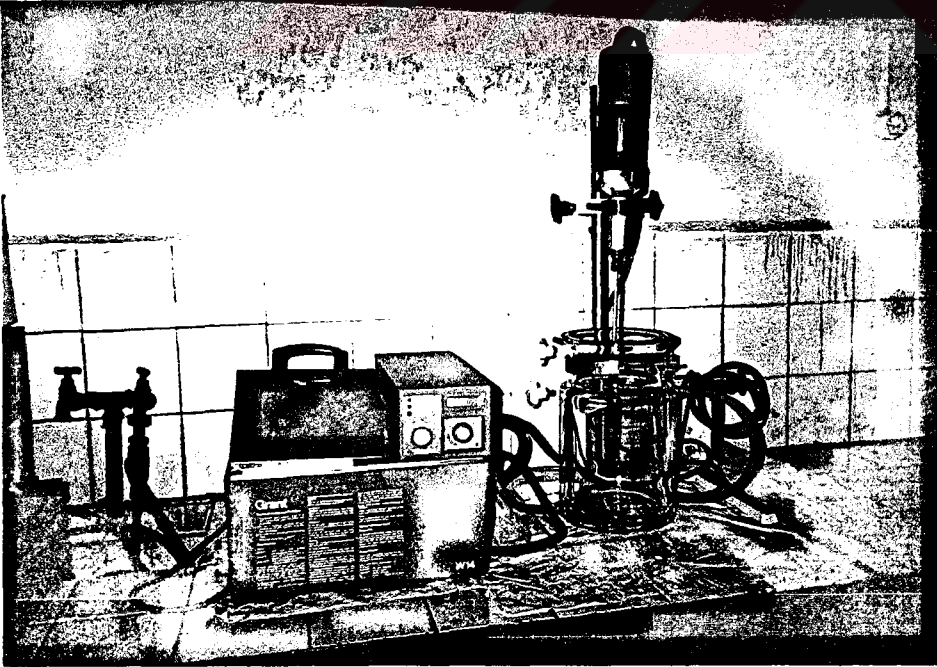


Şekil 4.1. Kressman- Kitchener karıştırıcısı



Şekil 4.2. Kressman-Kitchener karıştırıcı reaktör sistemi

M: Mekanik karıştırıcı, T: Termometre, EL: Elektrotlar, RE: Reaktör, S: Karıştırıcı, PA: Hava basınçlı asansör, R: Kaydedici, V: Veri toplama sistemi, B: Bilgisayar, P: Programlama, E: Potansiyometre, UT: Termostatlı su banyosu



Şekil 4.3. Çalıştığımız Kressman-Kitchener reaktör sistem

4.2. REÇİNELERİN HAZIRLANMASI

4.2.1. Kolon çalışmasında kullanılan Amberlite IRC 86'nın hazırlanması.

Rohm and Haas firmasından alınan ve kolon çalışmasında kullanılan Amberlite IRC 86 (zayıf katyonik reçine)'nin hazırlanmasında büyük kolonun yarısı destile su ile dolduruldu ve reçinenin 1/3 'ü kolona yerleştirildi. Biraz beklenip reçine yatağı oturduktan sonra ters akımla yıkama yapıp su kenarlarından taşırıldı. Reçinenin kolondan dışarı çıkmamasına dikkat edildi. Sonra alttaki musluk açılıp kolon içindeki suyun fazlası 60- 70 cm su kalana kadar boşaltıldı. Daha sonra reçinenin 1/3 hacmi daha kolona yerleştirildi ve aynı işlem tekrarlandı. Kalan 1/3 kısım içinde aynı işlemler yapılarak kolon tamamen dolduruldu. Son işlemten sonra reçinenin üzerinde bir miktar su kalacak şekilde suyu boşaltıldı. 15-20 dakika kadar son bir yıkama daha yapıldı, suyun fazlası alttan boşaltıldı.

Reçinenin istenilen forma geçirilmesinde ise % 10 luk HCl çözeltisi kullanıldı. 5 BV/saat akış hızı ile düz yıkama yapıldı. Tekrar hızlı bir şekilde ters yıkama yapıldı. 3 kez bu düz ve ters yıkama işlemi tekrarlandı ve 5-6 L kadar destile su geçirildi, çıkış suyunun pH'ı kontrol edildi nötralleştikten sonra reçine hazır duruma getirildi (Rohm & Haas, 1988).

4.2.2. Kinetik çalışmalarda kullanılan reçinelerin hazırlanması

Kinetik çalışmalarda kullanılan Amberlite IRC 76 (zayıf katyonik), Amberlite IRC 718 (zayıf katyonik), Amberlite IR 120 (kuvvetli katyonik), Amberlite IRA 402 (Kuvvetli anyonik-Tip 1) ve Amberlite IRA 410 (Kuvvetli anyonik-Tip 2) reçineler şu şekilde hazırlandı:

Teslim edildiği formda olan reçinelerden ~ 30'ar g tartılıp ayrı ayrı kolonlara yerleştirildi. Reçinelerin üretimi sırasında kalabilecek kimyasal kalıntıları reçineden uzaklaştırmak için üç kez reçineden sırası ile 1 M NaOH ve 1 M HCl (100'er ml) geçirildi ve en sonunda katyonikler için istenen Na^+ ve anyonikler için istenen Cl^- formuna geçirmek için 1 M NaCl (100 ml) kolondan geçirildi. [Nem tayinleri ve H^+ formundaki çalışmalar için katyonik reçineler en son olarak 1 M HCl (100 ml) geçirerek H^+ formunda da hazırlandı]. Kolondan çözelti tamamen uzaklaştırıldı ve 50 ml kadar CH_3OH , reçinedeki suyu almak için, çok hızlı bir şekilde vakum uygulayarak geçirildi. Şartlandırılmış (istenilen iyonik forma geçirilmiş) reçineler kolonlardan beherlere alındı ve vakum etüvünde vakum altında

(40 °C, 10 mm Hg) 24 saat kurutuldu ve buradan alınan reçine örnekleri vakum desikatöründe saklandı (Helfferich vd., 1985).

4.2.3. Tanecik büyüklüğüne göre ayrılacak reçinelerin hazırlanması

Amberlite IRC 76 ve Amberlite IRC 718 ayrılabilir kadar farklı tanecik büyüklüklerine sahip oldukları için 3 ayrı tanecik büyüklüğünde hazırlandı. 4.2.2. no'lu bölümde de anlatıldığı gibi reçineler ayrı ayrı kolonlara yerleştirildi. Aynı şekilde reçineleri kalıntılardan arındırmak için üç kez reçineden sırası ile 1 M NaOH ve 1 M HCl (100'er ml) geçirildi ve en sonunda Na⁺ formuna reçineleri geçirmek için 1 M NaCl (100 ml) kolondan geçirildi.

Bu reçineler sırası ile 1,8, 0,71 ve 0,35 mm gözenek çapındaki eleklerle tanecik büyüklüklerine üzerlerine 200 ml kadar 1 M NaCl çözeltisi ilave edilerek ıslak ve hızlı bir şekilde elenerek ayrıldı. Bunlar tekrar kolonlara yerleştirildi ve yine çok hızlı bir şekilde vakum uygulayarak 50 ml kadar CH₃OH geçirildi. Şartlandırılmış reçineler kolonlardan beherlere alındı ve vakum etüvünde vakum altında (40 °C, 10 mm Hg) 24 saat kurutuldu ve buradan alınan reçine örnekleri vakum desikatöründe saklandı (Helfferich 1985b).

4.2.4. Reçinelerin nem tayini

İstenilen iyonik forma geçirilmiş fakat vakum etüvünde kurutulmamış reçinelerden 1'er g petri kutularında dikkatli bir şekilde tartıldı.

105 °C de 2 saat etüvde kurutuldu. Desikatörde soğutulduktan sonra tartıldı. Bu işleme sabit bir ağırlığa erişene kadar devam edildi. Reçinelerin nem % leri hesaplandı ve Çizelge 4.2. de verildi.

4.2.5. Reçinelerin iyon değiştirme kapasitelerinin tayini

Kapasite tayini yapılacak katyonik ve anyonik reçinelerden 3' er g reçine tartılarak ayrı ayrı kolonlara yerleştirildi. Reçineler 4.2.2. bölümünde anlatıldığı gibi şartlandırılarak Na⁺ ve Cl⁻ formuna geçirildi. 2 BV/saat akış hızı ile 10 ppm Cr³⁺ çözeltisi geçirildi ve belli aralıklarla örnek alarak Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresinde çözeltideki krom miktarı ölçülerek, reçinelerin ayrı ayrı iyon değiştirme kapasiteleri bulundu ve sonuçlar

Çizelge 4.2. de verildi. Ayrıca katyon ve anyon değiştirme kapasiteleri titrimetrik olarakta tayin edildi.

4.2.5.1. Katyon değiştirme kapasitesinin titrimetrik tayini

Bu yöntem sadece kuvvetli katyon değiştirici reçine olan Amberlite IR 120 için uygulandı. H^+ formuna geçirilmiş reçineden 1 g tartıldı ve kuru bir 250 ml'lik şilifli erlen içerisine yerleştirildi. Üzerine tam 200 ml 0,1 N NaOH (% 5'lik NaCl içerisinde hazırlanmış) çözeltisi ilave edildi. Erlenin ağzı kapatılarak bütün gece reçine ile NaOH 'in teması sağlandı. Erenden alınan 50 ml örnek 0,1 N HCl ile geri titre edildi. Titrasyon işlemi üç kez tekrarlanarak katyon değiştirme kapasitesi hesaplandı. Sonuç Çizelge 4.2. de verildi (Rohm & Haas 1988).

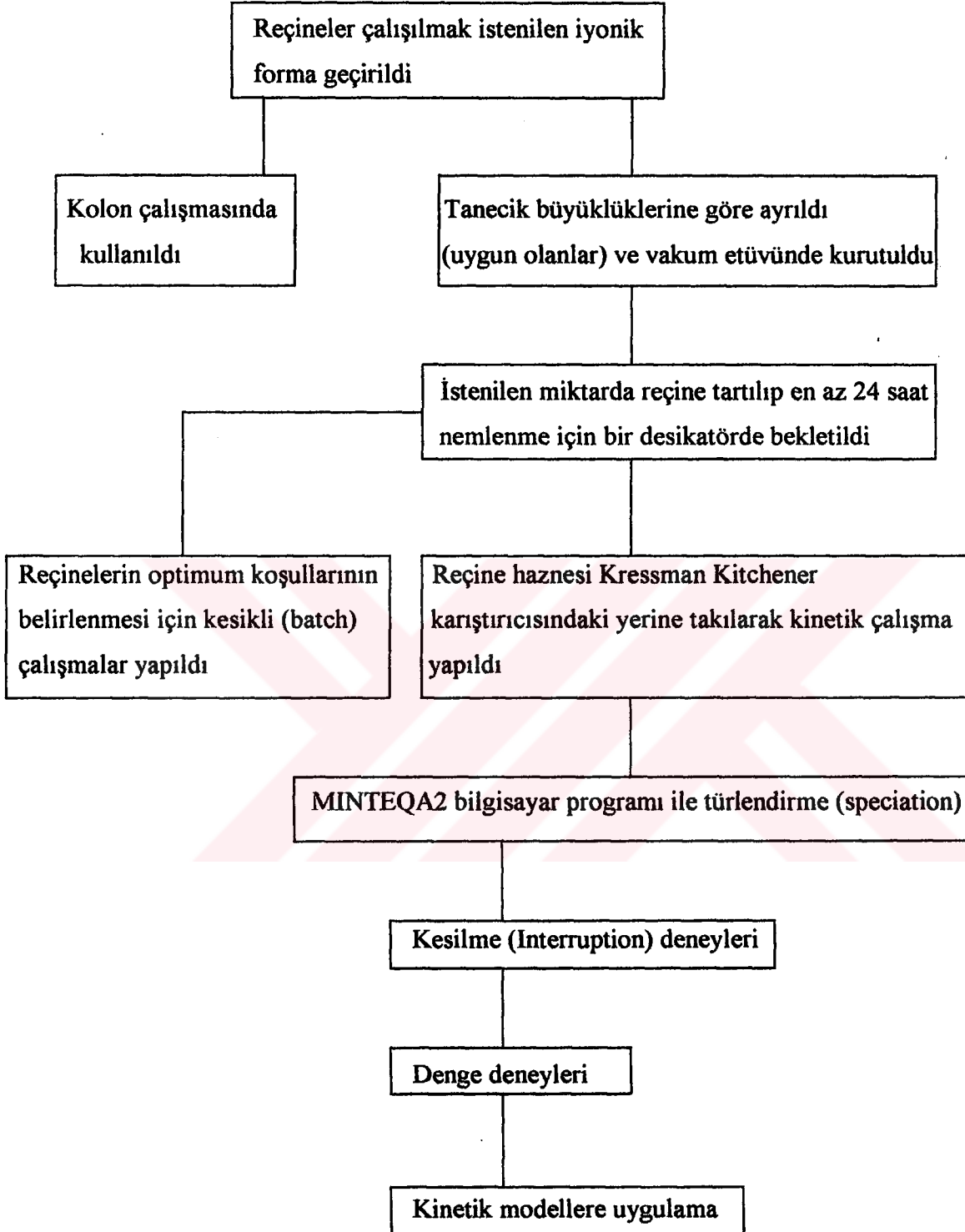
4.2.5.2. Anyon değiştirme kapasitesinin titrimetrik tayini

5 'er g Cl^- formuna geçirilmiş reçinelerden tartılarak ayrı ayrı kolonlara yerleştirildi. Kolondan 1 L % 4 lük HCl 30 dakikada geçirildi (2 BV/saat). 200 ml kadar da Etil alkol geğirildikten sonra 1 L 1 N $NaNO_3$ kolondan aynı akış hızında geçirilerek çıkış çözeltileri 1 L lik bir balon jode toplandı. Balon joje iyice çalkalanarak buradan 100 ml örnek bir erlene alındı ve 1 ml % 5' lik K_2CrO_4 eklendikten sonra 0,05 M $AgNO_3$ ile titre edildi. Titrasyon işlemi 3 kez tekrarlandıktan sonra anyon değiştirme kapasiteleri hesaplandı ve sonuçlar Çizelge 4.2. de verildi (Rohm & Haas 1988).

4.3. Kressman- Kitchener Karıştırıcı Sisteminde Kinetik Çalışmalar

4.3.1. Reçinelerin Hazırlanması ve çalışmaları

İstenilen iyonik forma geçirilmiş reçineden 10 mg (4.2.2. bölümünde anlatıldığı gibi hazırlanmış) reçine, Kresman-Kitchener karıştırıcısının alt kısmındaki reçine haznesine hızlı bir şekilde tartılarak en az bir gece, ön nemlenme, şişme ve iyon değişimini sağlayacak gruplarının açığa çıkması için alt bölümü su ile dolu bir desikatöre konuldu. Desikatörün delikli porselen rafı üzerine, desikatördeki su ile temas etmeyecek bir şekilde yerleştirildi ve kapağı kapatıldı. Daha sonra, önceden bahsedilen Kressman- Kitchener karıştırıcısındaki yerine takılarak, içerisinde 1 L Cr^{3+} veya Cd^{2+} çözeltisi bulunan termostatlı su banyosuna bağlı olan 2 L'lik reaktöre karıştırarak daldırıldı. Belli zamanlarda örnek alınarak çözeltide azalan Cr^{3+} veya Cd^{2+} miktarları Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi ile ölçüldü (Helfferich 1985b). Bütün denemeler $24 \pm ^\circ C$ de çalışıldı.



Şekil 4.4. Yapılan deneylerin akım şeması

4.4. Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi Çalışma Şartları

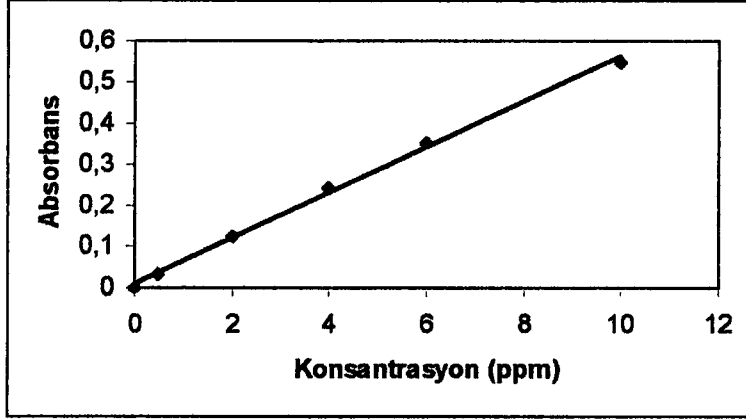
Krom ve Kadmiyum metalleri alevli atomik absorpsiyon spektrofotometresinin atomik absorpsiyon modunda tayin edilmiştir. Standart ve örnek çözeltilerin hepsi için absorpsiyon okumaları üçer kez yapılmış ve % de bağlı standart sapmalar 1,5 'un üzerine çıkmamıştır. Krom ölçümlerinde indirgen alev, havaya göre asetilen oranının artırılması ile elde edilmiştir. AAS ile tayinleri yapılan metaller için dalga boyu, slit aralığı, yakıt ve destek türü, lamba akımı, optimum çalışma aralığı ve alev özelliği Çizelge 4.1. de verilmiştir.

Çalışılan metallerin Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi ile standart ölçü grafikleri Şekil 4.5 ve 4.6 da verildi.

Çizelge 4.1. Metallerin Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi Çalışma Şartları

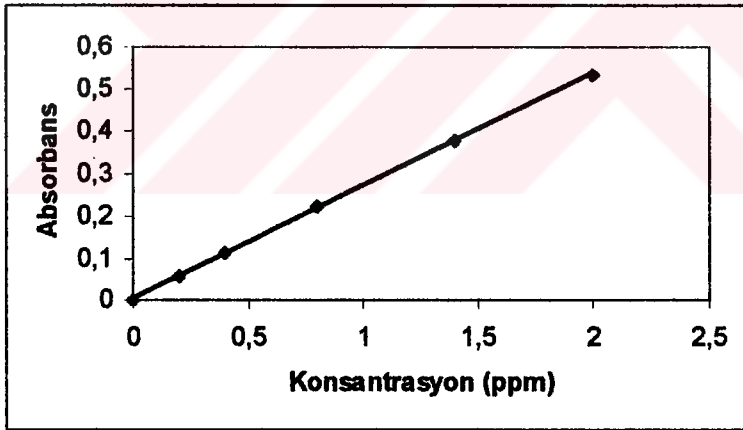
Metal	Dalga boyu (nm)	Slit aralığı (nm)	Yakıt-destek	Çalışma aralığı (µg/ml)	Lamba akımı (mA)	Alev özelliği
Cr	357.9	0.2	Asetilen-hava	0.1-10	7	İndirgen
Cd	228.8	0.5	Asetilen-hava	0.1-1.5	4	Yükseltgen

4.4.1. Krom ve kadmiyum'un atomik absorpsiyon spektrofotometresi ile hazırlanan standart ölçü eğrileri



Şekil 4.5. AAS ile hazırlanan krom standart ölçü eğrisi

a: 0.0114 b: 0.0548 r:0.9985



Şekil 4.6. AAS ile hazırlanan kadmiyum standart ölçü eğrisi

a: 0.0044 b: 0.2668 r: 0.9996

Nem Miktarı (%)	66.48	54.35
-----------------	-------	-------

Amberlite IRC 718 (zayıf katyonik)	Na ⁺ formu	H ⁺ formu
Kapasite (eq/L) (Kolon)	0.63	0.38
Nem Miktarı (%)	57.20	79.87

Amberlite IR 120 (kuvvetli katyonik)	Na ⁺ formu	H ⁺ formu
Kapasite (eq/L) (Kolon)	1.12	0.97
Kapasite (eq/L) (Titrimetrik)	1.47	1.36
Nem Miktarı (%)	47.45	55.20

Amberlite IRA 402(kuvvetli anyonik-Tip 1)	Cl ⁻ formu
Kapasite (eq/L) (Kolon)	0.72
Kapasite (eq/L) (Titrimetrik)	1.23
Nem Miktarı (%)	54.30

Amberlite IRA 410(kuvvetli anyonik-Tip 2)	Cl ⁻ formu
Kapasite (eq/L) (Kolon)	0.67
Kapasite (eq/L) (Titrimetrik)	1.18
Nem Miktarı (%)	48.50

4.6. Çalışılan Ağır Metallerin Seçilen Reçinelerle Uzaklaştırılmasında Optimum Koşulların Belirlenmesine Etki Eden Faktörler

Tabakhane atık sularında yaygın olarak bulunan 3 değerlikli krom ağır metalinin seçilen reçinelerle uzaklaştırılmasında optimum koşulların belirlenmesi amacı ile, metal bağlanması üzerine konsantrasyonun, pH'ın, reçine miktarının, karıştırma süresinin etkileri her reçine için ayrı ayrı incelendi. Cd'un uzaklaştırılması içinde seçilen Amberlite IR 120 (kuvvetli katyonik) reçinenin de Cd için optimum koşulları belirlenip aynı reçinenin her iki metal alımındaki konsantrasyon, pH, karıştırma süresi ve reçine miktarının etkileri karşılaştırıldı. Optimum koşulların belirlenmesinde ve diğer kinetik çalışmalarda denemeler önce 4'er kez tekrarlanmış ve önemli farklılıklar olmadığı gözlemlenince 2'ser kez tekrarlanarak sonuçlar verilmiştir.

4.6.1. Amberlite IRC 76 (Zayıf Katyonik Reçine)

4.6.1.1. Krom tutulması üzerine konsantrasyonun etkisi

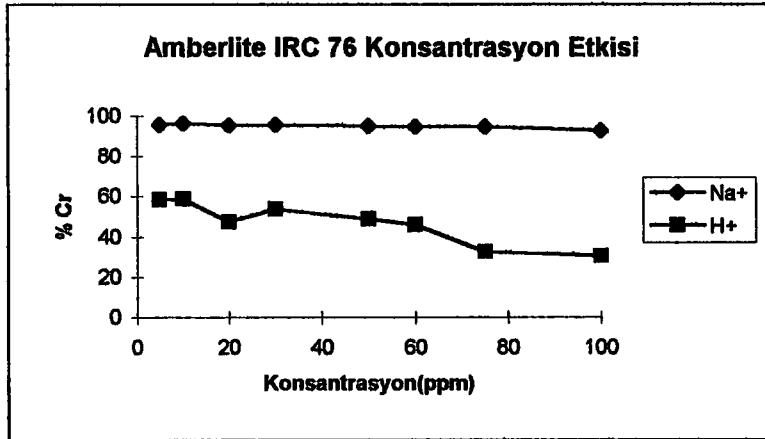
Na⁺ ve H⁺ formunda 4.2.2. bölümünde anlatıldığı gibi hazırlanmış zayıf katyonik Amberlite IRC 76 reçineden 0.1'er g'lık örnekler alındı. Değişik konsantrasyonlarda (5, 10, 20, 30, 50, 60, 75, 100 ppm), 50 ml'lik krom çözeltileri hazırlanarak (pH:5) 20 dakika süre ile karıştırıldı ve bu sürenin sonunda çözeltiler süzülerek çözeltide kalan krom miktarları AAS ile tayin edildi. Na⁺ ve H⁺ formundaki reçineler için başlangıç krom(III) konsantrasyonu, AAS'de okunan çözeltide kalan krom(III) konsantrasyonu(mg/L), reçinede alıkonulan krom(III) miktarı(µg/0.1g) ve tutulma % si Çizelge 4.3. ve 4.4. de, başlangıçtaki krom konsantrasyonu ile reçinede krom tutulma yüzdesi arasındaki her iki iyonik form için olan grafik ise Şekil 4.7. de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (Na⁺ formu)

Başlangıç Cr ³⁺ konsantrasyonu (mg/L)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L) (AAS'de okunan)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı(µg/0.1g) (Hesaplanan)	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı (Hesaplanan)
5	0.211	239.4	95.78
10	0.372	481.4	96.28
20	0.920	954.0	95.40
30	1.342	1432.9	95.52
50	2.465	2376.8	95.07
60	3.183	2840.8	94.69
75	3.922	3553.9	94.77
100	7.065	4646.7	92.93

Çizelge 4.4. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (H⁺ formu)

Başlangıç Cr ³⁺ konsantrasyonu (mg/L)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (µg/0.1g)	Reçinede alıkonulan % Cr ³⁺ miktarı
5	2.090	145.5	58.20
10	4.142	292.9	58.58
20	10.56	472.0	47.20
30	13.92	804.0	53.60
50	25.76	1212.0	48.48
60	32.48	1376.0	45.86
75	50.66	1217.0	32.45
100	69.86	1507.0	30.14



Şekil 4.7. Krom konsantrasyonuna bağlı olarak reçinede tutulan % Cr

4.6.1.2. Krom tutulması üzerine pH in etkisi

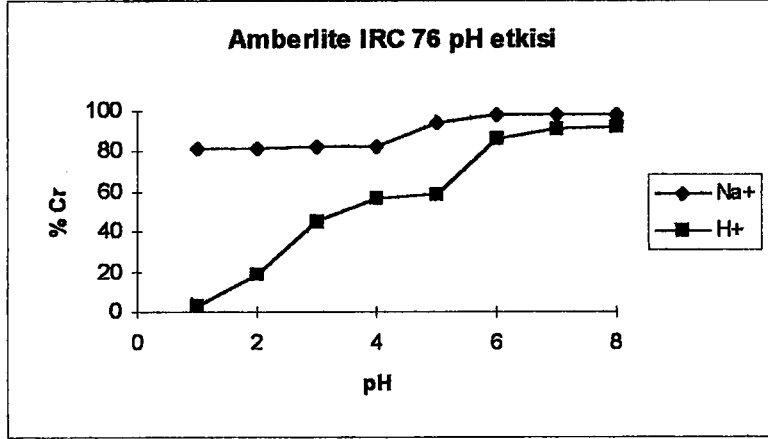
Na⁺ ve H⁺ formundaki Amberlite IRC 76 reçineden 0.1'er g'lık örnekler alındı. 50 ml, 10 ppm'lik krom çözeltileri hazırlanarak başlangıç pH'ları 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 arasında HNO₃ ve NH₃ ile ayarlanarak hazırlandı. 20 dakika süre ile reçine ile karıştırılan çözeltiler süzüldü ve çözeltide kalan krom miktarları AAS ile tayin edildi. Sonuçlar Çizelge 4.5. ve 4.6. da, krom tutulma yüzdesi ile pH arasında çizilen grafik ise Şekil 4.8. de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Krom tutulması üzerine çözelti pH'mının etkisi (Na⁺ formu)

Başlangıç pH	Son pH	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (µg/0.1g)	Reçinede alıkonulan % Cr ³⁺ miktarı
1	1.27	1.868	406.6	81.32
2	2.34	1.869	406.5	81.31
3	3.28	1.794	410.3	82.06
4	4.58	1.763	411.8	82.37
5	5.97	0.582	470.9	94.18
6	7.06	0.182	490.9	98.18
7	8.46	0.243	487.8	97.57
8	9.55	0.204	489.8	97.96

Çizelge 4.6. Krom tutulması üzerine çözelti pH'mının etkisi (H⁺ formu)

Başlangıç pH	Son pH	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (µg/0.1g)	Reçinede alıkonulan % Cr ³⁺ miktarı
1	1.00	9.69	19.5	3.09
2	1.85	4.96	93.4	18.69
3	3.05	5.47	226.2	45.24
4	3.40	4.28	285.5	57.11
5	4.33	4.16	291.7	58.35
6	4.69	1.34	432.9	86.59
7	5.87	0.84	457.5	91.51
8	6.45	0.81	459.3	91.86



Şekil 4.8. pH'a bağlı olarak reçinede tutulan % Cr

4.6.1.3. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi

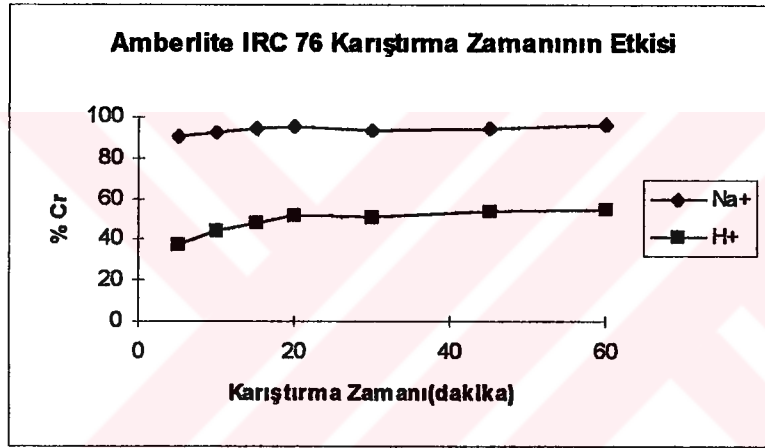
Na⁺ ve H⁺ formundaki Amberlite IRC 76 reçineden 0.1'er g'lık örnekler alındı. 50 ml, 10 ppm'lik krom çözeltileri hazırlandı (pH: 5) ve 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60 dakika karıştırma zamanlarında reçine ile karıştırılarak süzüldü. Çözeltide kalan krom miktarları AAS ile tayin edildi ve sonuçlar Çizelge 4.7. ve 4.8. de, krom tutulma yüzdesi ile karıştırma zamanı arasındaki grafik Şekil 4.9. da verildi.

Çizelge 4.7. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi (Na⁺ formu)

Karıştırma Süresi (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (µg/0.1g)	Reçinede alıkonulan % Cr ³⁺ miktarı
5	0.942	452.9	90.58
10	0.815	459.2	91.85
15	0.580	471.0	94.20
20	0.440	478.0	95.60
30	0.673	466.3	93.27
45	0.548	472.6	94.52
60	0.366	481.7	96.34

Çizelge 4.8. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi (H^+ formu)

Karıştırma Süresi (dakika)	Çözeltide kalan Cr^{3+} miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr^{3+} miktarı ($\mu g/0.1g$)	Reçinede alıkonulan % Cr^{3+} miktarı
5	6.272	186.4	37.28
10	5.611	219.4	43.89
15	5.232	238.4	47.68
20	4.808	259.6	51.92
30	4.941	252.9	50.59
45	4.661	266.9	53.39
60	4.576	271.2	54.54



Şekil 4.9. Karıştırma zamanına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr

4.6.1.4. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi

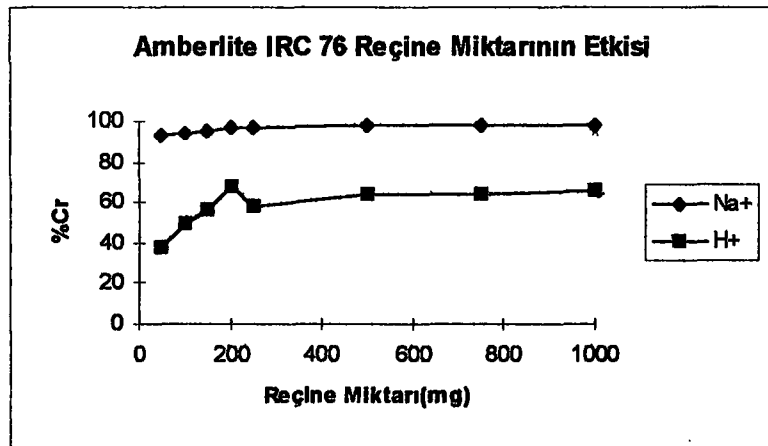
Na^+ ve H^+ formundaki Amberlite IRC 76 reçineden 50, 100, 150, 200, 250, 500, 750, 1000 mg arası tartım alındı. 50 ml 10 ppm'lik krom çözeltileri hazırlandı (pH: 5) ve 20 dakika süresince değişik reçine miktarları ile karıştırılarak süzüldü. Çözeltide kalan krom miktarları AAS ile tayin edildi ve sonuçlar Çizelge 4.9. ve 4.10. da, krom tutulma yüzdesi ile reçine miktarı arasındaki grafik ise Şekil 4.10. da verildi.

Çizelge 4.9. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (Na⁺ formu)

Reçine miktarı (mg)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (µg/0.1g)	Reçinede alıkonulan % Cr ³⁺ miktarı
50	0.697	465.1	93.03
100	0.536	473.2	94.64
150	0.445	477.7	95.55
200	0.335	483.2	96.65
250	0.321	483.9	96.79
500	0.222	488.9	97.78
750	0.169	491.5	98.31
1000	0.190	490.5	98.10

Çizelge 4.10. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (H⁺ formu)

Reçine miktarı (mg)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/0.1g)	Reçinede alıkonulan % Cr ³⁺ miktarı
50	6.193	190.3	38.07
100	5.083	245.8	49.17
150	4.403	279.8	55.97
200	3.196	340.2	68.04
250	4.152	292.4	58.48
500	3.588	320.6	64.12
750	3.588	320.6	64.12
1000	3.446	327.7	65.54



Şekil 4.10. Reçine miktarına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr

4.6.2. Amberlite IRC 718 (Zayıf Katyonik Reçine)

4.6.2.1. Krom tutulması üzerine konsantrasyonun etkisi

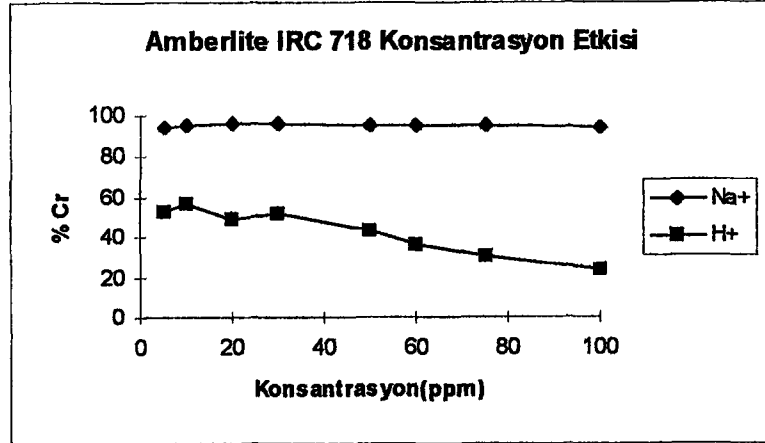
Na⁺ ve H⁺ formunda bölüm 4.2.2.' de anlatıldığı gibi hazırlanmış zayıf katyonik Amberlite IRC 718 reçineden 0.1'er g'lık örnekler alındı. Değişik konsantrasyonlarda (5-100 ppm), 50 ml'lik krom çözeltileri hazırlanarak (pH:5) 20 dakika süre ile karıştırıldı ve bu sürenin sonunda çözeltiler süzülerek çözeltide kalan krom miktarları AAS ile tayin edildi. Na⁺ ve H⁺ formundaki reçineler için alınan sonuçlar Çizelge 4.11. ve 4.12 de, başlangıçtaki krom konsantrasyonu ile reçinede krom tutulma yüzdesi arasındaki her iki iyonik form için olan grafik ise Şekil 4.11 de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (Na⁺ formu)

Başlangıç Cr ³⁺ konsantrasyonu (mg/L)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (µg/0.1g)	Reçinede alıkonulan % Cr ³⁺ miktarı
5	0.281	235.95	94.38
10	0.472	476.40	95.28
20	0.790	960.50	96.05
30	1.269	1436.55	95.77
50	2.292	2385.40	95.41
60	3.007	2849.65	94.88
75	3.842	3557.90	94.87
100	5.808	4709.60	94.19

Çizelge 4.12. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (H⁺ formu)

Başlangıç Cr ³⁺ konsantrasyonu (mg/L)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (µg/0.1g)	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
5	2.344	132.80	53.12
10	4.268	286.60	57.32
20	10.220	489.00	48.90
30	14.350	782.50	52.16
50	28.250	1087.50	43.50
60	38.140	1093.00	36.43
75	52.270	1136.50	30.30
100	76.660	1167.00	23.34



Şekil 4.11. Krom konsantrasyonuna bağlı olarak reçinede tutulan % Cr

4.6.2.2. Krom tutulması üzerine pH'ın etkisi

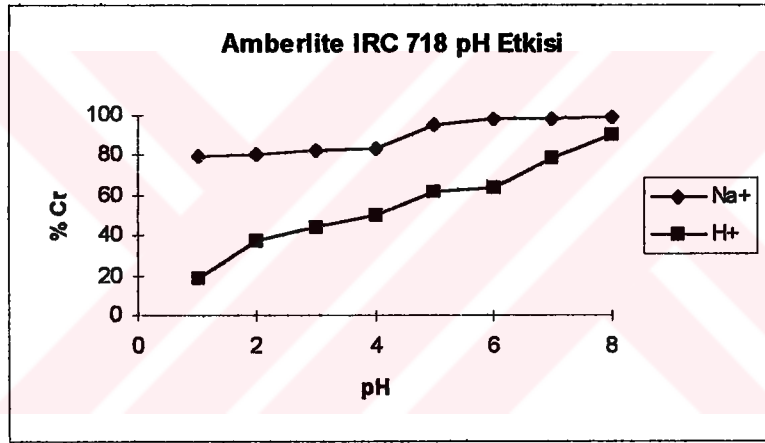
Na^+ ve H^+ formundaki Amberlite IRC 718 reçineden 0.1'er g'lık örnekler alındı. 50 ml, 10 ppm'lik krom çözeltileri hazırlanarak başlangıç pH'ları 1 ile 8 arasında ayarlandı. 20 dakika süre ile reçine ile karıştırılan çözeltiler süzüldü ve çözeltide kalan krom miktarları AAS ile tayin edildi. Sonuçlar Çizelge 4.13. ve 4.14. de, krom tutulma yüzdesi ile pH arasında çizilen grafik ise Şekil 4.12. de verilmiştir.

Çizelge 4.13. Krom tutulması üzerine çözelti pH'ının etkisi (Na^+ formu)

Başlangıç pH	Son pH	Çözeltide kalan Cr^{3+} miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr^{3+} miktarı ($\mu\text{g}/0.1\text{g}$)	Reçinede alıkonulan % Cr^{3+} miktarı
1	1.17	2.071	396.45	79.29
2	2.08	1.942	402.90	80.58
3	3.25	1.775	411.25	82.25
4	4.44	1.693	415.35	83.07
5	5.67	0.525	473.75	94.75
6	6.48	0.227	488.65	97.73
7	8.02	0.205	489.75	97.95
8	9.25	0.104	494.80	98.96

Çizelge 4.14. Krom tutulması üzerine çözelti pH'ının etkisi (H⁺ formu)

Başlangıç pH	Son pH	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (µg/0.1g)	Reçinede alıkonulan % Cr ³⁺ miktarı
1	1.05	8.131	93.45	18.69
2	1.82	6.272	186.40	37.28
3	3.10	5.636	218.20	43.64
4	4.00	4.965	251.75	50.35
5	4.27	3.784	310.80	62.16
6	4.60	3.588	320.60	64.12
7	5.57	2.205	389.75	77.95
8	6.60	1.017	449.15	89.83



Şekil 4.12. pH'a bağlı olarak reçinede tutulan % Cr

4.6.2.3. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi

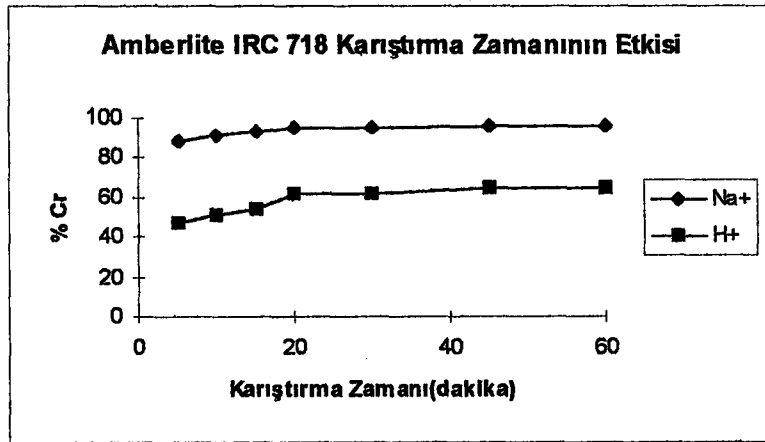
Na⁺ ve H⁺ formundaki Amberlite IRC 718 reçineden 0.1'er g'lık örnekler alındı. 50 ml, 10 ppm'lik krom çözeltileri hazırlandı (pH: 5) ve değişik karıştırma zamanlarında reçine ile karıştırılarak süzüldü. Çözeltide kalan krom miktarları AAS ile tayin edildi ve sonuçlar Çizelge 4.15.ve 4.16. da, krom tutulma yüzdesi ile karıştırma zamanı arasındaki grafik Şekil 4.13. de verildi.

Çizelge 4.15. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi (Na^+ formu)

Karıştırma Süresi (dakika)	Çözeltide kalan Cr^{3+} miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr^{3+} miktarı ($\mu\text{g}/0.1\text{g}$)	Reçinede alıkonulan % Cr^{3+} miktarı
5	1.207	439.65	87.93
10	0.892	455.40	91.08
15	0.644	467.80	93.56
20	0.496	475.20	95.04
30	0.473	476.35	95.27
45	0.380	481.00	96.20
60	0.366	481.70	96.34

Çizelge 4.16. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi (H^+ formu)

Karıştırma Süresi (dakika)	Çözeltide kalan Cr^{3+} miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr^{3+} miktarı ($\mu\text{g}/0.1\text{g}$)	Reçinede alıkonulan % Cr^{3+} miktarı
5	5.324	155.88	46.76
10	4.941	168.64	50.59
15	4.574	180.87	54.26
20	3.807	206.44	61.93
30	3.864	204.54	61.36
45	3.577	214.10	64.23
60	3.577	214.10	64.23



Şekil 4.13. Karıştırma zamanına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr

4.6.2.4. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi

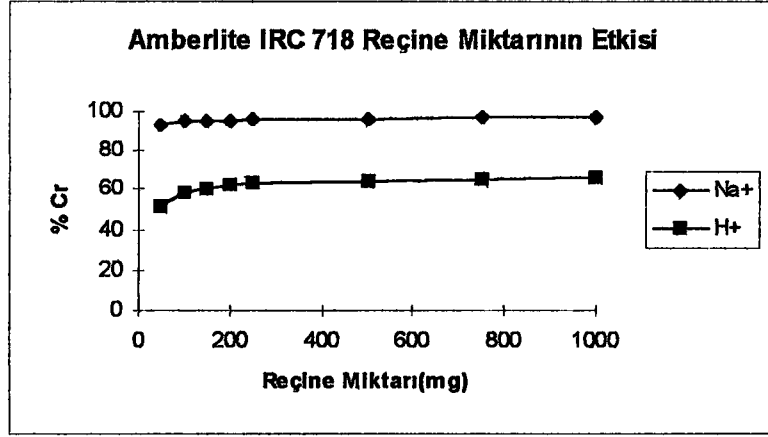
Na⁺ ve H⁺ formundaki Amberlite IRC 718 reçineden 50-1000 mg arası tartım alındı. 50 ml 10 ppm'lik krom çözeltileri hazırlandı (pH: 5) ve 20 dakika süresince değişik reçine miktarları ile karıştırılarak süzülde. Çözeltide kalan krom miktarları AAS ile tayin edildi ve sonuçlar Çizelge 4.17. ve 4.18 de, krom tutulma yüzdesi ile reçine miktarı arasındaki grafik ise Şekil 4.14 de verildi.

Çizelge 4.17. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (Na⁺ formu)

Reçine miktarı (mg)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (µg/0.1g)	Reçinede alıkonulan % Cr ³⁺ miktarı
50	0.674	466.30	93.26
100	0.505	474.75	94.95
150	0.486	475.70	95.14
200	0.464	476.80	95.36
250	0.403	479.85	95.97
500	0.371	481.45	96.29
750	0.320	484.00	96.80
1000	0.268	486.60	97.32

Çizelge 4.18. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (H⁺ formu)

Reçine miktarı (mg)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/0.1g)	Reçinede alıkonulan % Cr ³⁺ miktarı
50	4.827	258.65	51.73
100	4.195	290.25	58.05
150	3.965	301.75	60.35
200	3.447	312.65	62.53
250	3.635	318.25	63.65
500	3.527	323.65	64.73
750	3.492	325.4	65.08
1000	3.376	331.2	66.24



Şekil 4.14. Reçine miktarına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr

4.6.3. Amberlite IR 120 (Kuvvetli Katyonik Reçine)

4.6.3.1. Krom tutulması üzerine konsantrasyonun etkisi

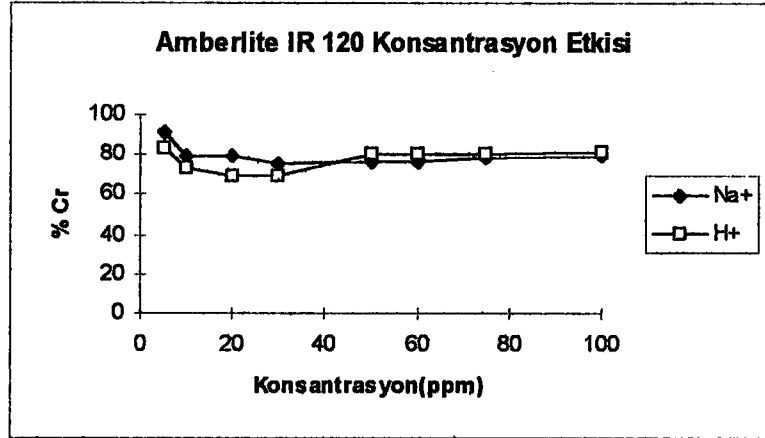
Na⁺ ve H⁺ formunda bölüm 4.2.2.' de anlatıldığı gibi hazırlanmış kuvvetli katyonik Amberlite IR 120 reçineden 0.1'er g'lık örnekler alındı. Değişik konsantrasyonlarda (5-100 ppm), 50 ml'lik krom çözeltileri hazırlanarak (pH:5) 20 dakika süre ile karıştırıldı ve bu sürenin sonunda çözeltiler süzülerek çözeltide kalan krom miktarları AAS ile tayin edildi. Na⁺ ve H⁺ formundaki reçineler için alınan sonuçlar Çizelge 4.19 ve 4.20 de, başlangıçtaki krom konsantrasyonu ile reçinede krom tutulma yüzdesi arasındaki her iki iyonik form için olan grafik ise Şekil 4.15. de verilmiştir.

Çizelge 4.19. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (Na⁺ formu)

Başlangıç Cr ³⁺ konsantrasyonu (mg/L)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (µg/0.1g)	Reçinede alıkonulan % Cr ³⁺ miktarı
5	0.438	228.10	91.24
10	2.072	396.40	79.28
20	4.120	794.00	79.40
30	7.304	1134.80	75.65
50	11.985	1900.75	76.03
60	12.247	2287.65	76.25
75	16,560	2922.00	77.92
100	20.550	3972.50	79.45

Çizelge 4.20. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (H⁺ formu)

Başlangıç Cr ³⁺ konsantrasyonu (mg/L)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (µg/0.1g)	Reçinede alıkonulan % Cr ³⁺ miktarı
5	0.828	208.60	83.44
10	2.628	368.60	73.72
20	6.100	695.00	69.50
30	9.303	1034.85	68.99
50	10.02	1999.00	79.96
60	11.84	2408.00	80.26
75	14.78	3011.00	80.29
100	18.55	4072.50	81.45



Şekil 4.15. Krom konsantrasyonuna bağlı olarak reçinede tutulan % Cr

4.6.3.2. Krom tutulması üzerine pH'ın etkisi

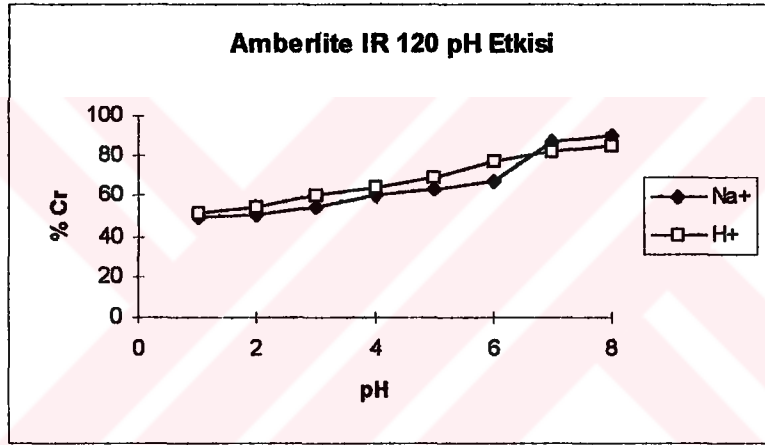
Na⁺ ve H⁺ formundaki Amberlite IR 120 reçineden 0.1'er g'lık örnekler alındı. 50 ml, 10 ppm'lik krom çözeltileri hazırlanarak başlangıç pH'ları 1 ile 8 arasında ayarlandı. 20 dakika süre ile reçine ile karıştırılan çözeltiler süzüldü ve çözeltide kalan krom miktarları AAS ile tayin edildi. Sonuçlar Çizelge 4.21. ve 4.22. de, krom tutulma yüzdesi ile pH arasında çizilen grafik ise Şekil 4.16. da verilmiştir.

Çizelge 4.21. Krom tutulması üzerine çözelti pH'ının etkisi (Na⁺ formu)

Başlangıç pH	Son pH	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (µg/0.1g)	Reçinede alıkonulan % Cr ³⁺ miktarı
1	1.00	5.029	248.55	49.71
2	2.30	4.973	251.35	50.27
3	3.21	4.538	273.10	54.62
4	4.47	3.983	300.85	60.17
5	5.92	3.675	316.25	63.25
6	7.05	3.280	336.00	67.20
7	8.11	1.259	437.05	87.41
8	9.43	0.987	450.65	90.13

Çizelge 4.22. Krom tutulması üzerine çözelti pH'ının etkisi(H⁺ formu)

Başlangıç pH	Son pH	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (µg/0.1g)	Reçinede alıkonulan % Cr ³⁺ miktarı
1	1.07	4.855	252.25	51.45
2	2.04	4.530	273.50	54.70
3	2.86	3.937	303.15	60.63
4	3.97	3.542	322.90	64.58
5	4.68	3.059	347.05	69.41
6	5.23	2.316	384.20	76.84
7	6.38	1.739	413.05	82.61
8	6.85	1.480	426.00	85.20



Şekil 4.16. pH'a bağlı olarak reçinede tutulan % Cr

4.6.3.3. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi

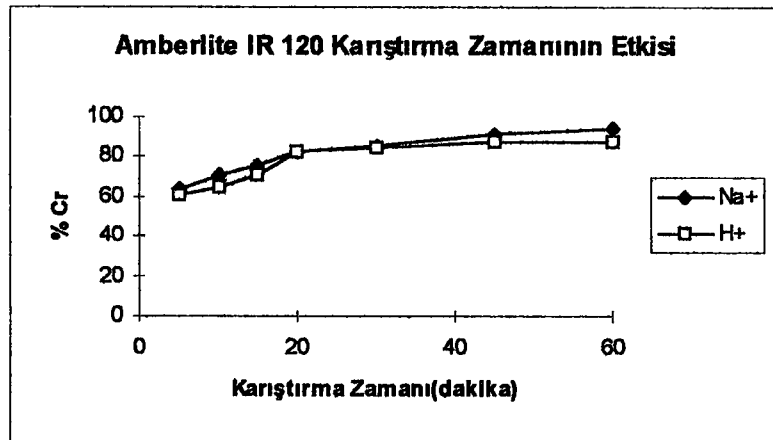
Na⁺ ve H⁺ formundaki Amberlite IR 120 reçineden 0.1'er g'lık örnekler alındı. 50 ml, 10 ppm'lik krom çözeltileri hazırlandı (pH: 5) ve değişik karıştırma zamanlarında reçine ile karıştırılarak süzöldü. Çözeltide kalan krom miktarları AAS ile tayin edildi ve sonuçlar Çizelge 4.23. ve 4.24. de, krom tutulma yüzdesi ile karıştırma zamanı arasındaki grafik Şekil 4.17. de verildi.

Çizelge 4.23. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi (Na⁺ formu)

Karıştırma Süresi (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (µg/0.1g)	Reçinede alıkonulan % Cr ³⁺ miktarı
5	3.585	320.75	64.15
10	2.957	352.15	70.43
15	2.494	375.30	75.06
20	1.746	412.70	82.54
30	1.435	428.25	85.65
45	0.923	453.85	90.77
60	0.573	471.35	94.27

Çizelge 4.24. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi (H⁺ formu)

Karıştırma Süresi (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (µg/0.1g)	Reçinede alıkonulan % Cr ³⁺ miktarı
5	3.876	306.20	61.24
10	3.522	323.90	64.78
15	2.940	353.00	70.60
20	1.745	412.75	82.55
30	1.570	421.50	84.30
45	1.255	437.25	87.45
60	1.239	438.05	87.61



Şekil 4.17. Karıştırma zamanına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr

4.6.3.4. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi

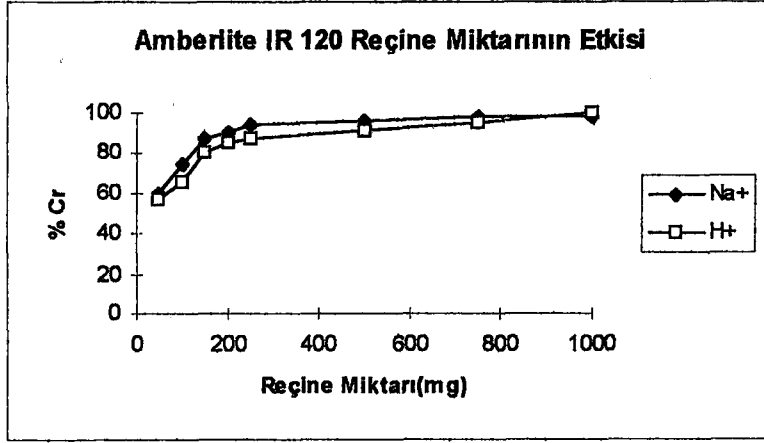
Na⁺ ve H⁺ formundaki Amberlite IR 120 reçineden 50-1000 mg arası tartım alındı. 50 ml 10 ppm'lik krom çözeltileri hazırlandı (pH: 5) ve 20 dakika süresince değişik reçine miktarları ile karıştırılarak süzüldü. Çözeltide kalan krom miktarları AAS ile tayin edildi ve sonuçlar Çizelge 4.25. ve 4.26. da, krom tutulma yüzdesi ile reçine miktarı arasındaki grafik ise Şekil 4.18 de verildi.

Çizelge 4.25. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (Na⁺ formu)

Reçine miktarı (mg)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (µg/0.1g)	Reçinede alıkonulan % Cr ³⁺ miktarı
50	4.026	298.70	59.74
100	2.540	373.00	74.60
150	1.276	436.20	87.24
200	0.959	452.05	90.41
250	0.565	471.75	94.35
500	0.388	480.60	96.12
750	0.225	488.75	97.75
1000	0.196	490.20	98.04

Çizelge 4.26. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (H⁺ formu)

Reçine miktarı (mg)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/0.1g)	Reçinede alıkonulan % Cr ³⁺ miktarı
50	4.269	286.55	57.31
100	3.422	328.90	65.78
150	1.966	401.70	80.34
200	1.480	426.00	85.20
250	1.287	435.65	87.13
500	0.855	457.25	91.45
750	0.535	473.25	94.65
1000	0.043	497.85	99.57



Şekil 4.18. Reçine miktarına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr

4.6.4. Amberlite IRA 402 (Kuvvetli Anyonik Reçine)

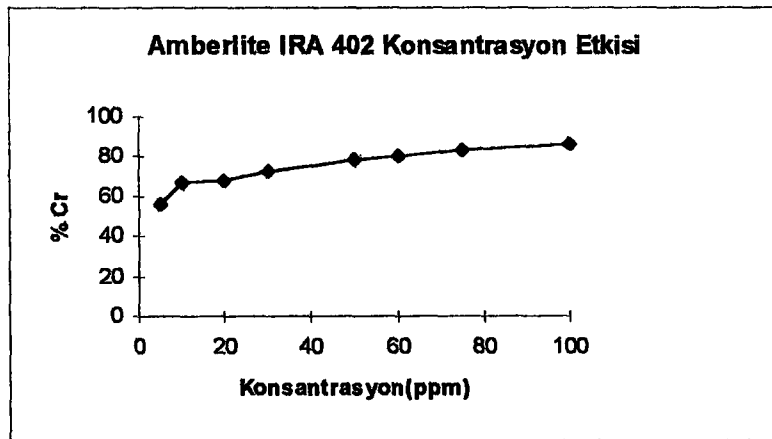
4.6.4.1. Krom tutulması üzerine konsantrasyonun etkisi

Cl⁻ formunda bölüm 4.2.2.' de anlatıldığı gibi hazırlanmış kuvvetli anyonik Amberlite IRA 402 reçineden 0.1'er g'lık örnekler alındı. Değişik konsantrasyonlarda (5-100 ppm), 50 ml'lik krom çözeltileri hazırlanarak (pH:5) 20 dakika süre ile karıştırıldı ve bu sürenin sonunda çözeltiler süzülerek çözeltide kalan krom miktarları AAS ile tayin edildi.

Cl⁻ formundaki reçine için alınan sonuçlar Çizelge 4.27. de, başlangıçtaki krom konsantrasyonu ile reçinede krom tutulma yüzdesi arasındaki grafik ise Şekil 4.19. da verilmiştir.

Çizelge 4.27. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi

Başlangıç Cr ³⁺ konsantrasyonu (mg/L)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (µg/0.1g)	Reçinede alıkonulan % Cr ³⁺ miktarı
5	2.220	139.00	55.60
10	3.338	333.10	66.62
20	6.390	680.50	68.05
30	8.270	1086.50	72.43
50	10.970	1951.50	78.06
60	11.480	2426.00	80.86
75	12.840	3108.00	82.88
100	14.050	4297.50	85.95



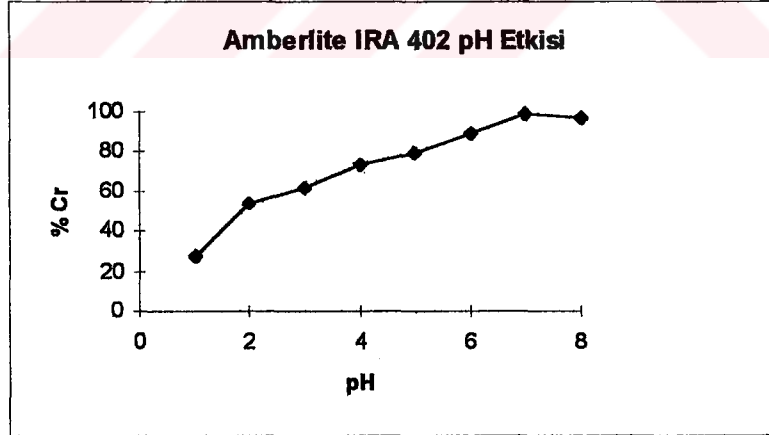
Şekil 4.19. Krom konsantrasyonuna bağlı olarak reçinede tutulan % Cr

4.6.4.2. Krom tutulması üzerine pH'ın etkisi

Cl⁻ formundaki Amberlite IRA 402 reçineden 0.1'er g'lık örnekler alındı. 50 ml, 10 ppm'lik krom çözeltileri hazırlanarak başlangıç pH'ları 1 ile 8 arasında ayarlandı. 20 dakika süre ile reçine ile karıştırılan çözeltiler süzülür ve çözeltilerde kalan krom miktarları AAS ile tayin edildi. Sonuçlar Çizelge 4.28. de, krom tutulma yüzdesi ile pH arasında çizilen grafik ise Şekil 4.20. de verilmiştir.

Çizelge 4.28. Krom tutulması üzerine çözelti pH'ının etkisi

Başlangıç pH	Son pH	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (µg/0.1g)	Reçinede alıkonulan % Cr ³⁺ miktarı
1	1.07	7.28	136.00	27.20
2	2.00	4.56	272.00	54.40
3	3.11	3.84	308.00	61.60
4	4.05	2.67	366.50	73.30
5	5.32	2.05	397.50	79.50
6	6.30	1.12	444.00	88.80
7	7.45	0,24	487.85	98.57
8	8.58	0.25	487.50	97.50



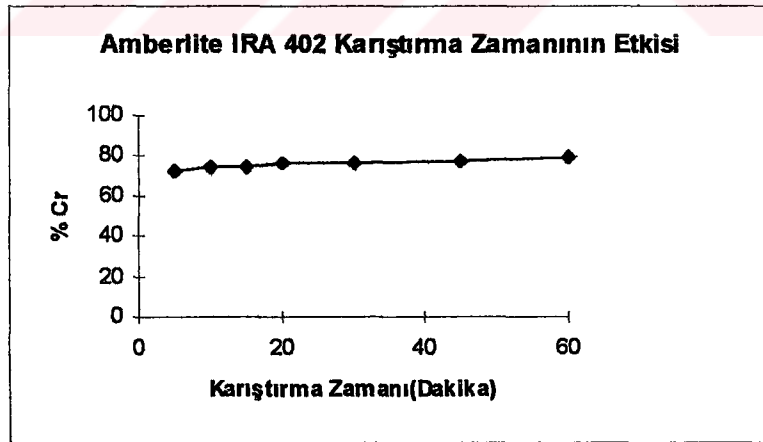
Şekil 4.20. pH'a bağlı olarak reçinede tutulan % Cr

4.6.4.3. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi

Cl⁻ formundaki Amberlite IRA 402 reçineden 0.1'er g'lık örnekler alındı. 50 ml, 10 ppm'lik krom çözeltileri hazırlandı (pH: 5) ve değişik karıştırma zamanlarında reçine ile karıştırılarak süzldü. Çözeltide kalan krom miktarları AAS ile tayin edildi ve sonuçlar Çizelge 4.29. da, krom tutulması yüzdesi ile karıştırma zamanı arasındaki grafik Şekil 4.21. de verildi.

Çizelge 4.29. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi

Karıştırma Süresi (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (µg/0.1g)	Reçinede alıkonulan % Cr ³⁺ miktarı
5	2.756	362.20	72.44
10	2.591	370.45	74.09
15	2.549	372.55	74.51
20	2.380	381.00	76.20
30	2.366	381.70	76.34
45	2.243	387.85	77.57
60	2.095	395.25	79.05



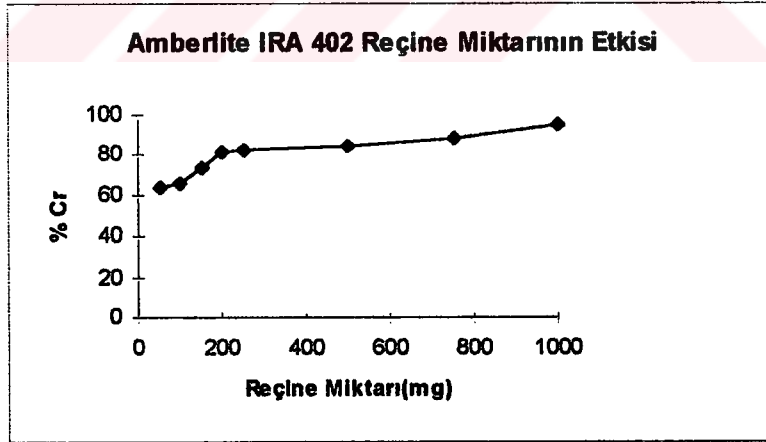
Şekil 4.21. Karıştırma zamanına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr

4.6.4.4. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi

Cl⁻ formundaki Amberlite IRA 402 reçineden 50-1000 mg arası tartım alındı. 50 ml 10 ppm'lik krom çözeltileri hazırlandı (pH: 5) ve 20 dakika süresince değişik reçine miktarları ile karıştırılarak süzldü. Çözeltide kalan krom miktarları AAS ile tayin edildi ve sonuçlar Çizelge 4.30 da, krom tutulma yüzdesi ile reçine miktarı arasındaki grafik ise Şekil 4.22.de verildi.

Çizelge 4.30. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi

Reçine miktarı (mg)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (µg/0.1g)	Reçinede alıkonulan % Cr ³⁺ miktarı
50	3.655	317.25	63.45
100	3.460	327.00	65.40
150	2.642	367.90	73.58
200	1.815	409.25	81.85
250	1.793	410.35	82.07
500	1.572	421.40	84.28
750	1.188	440.60	88.12
1000	0.477	476.15	95.23



Şekil 4.22. Reçine miktarına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr

4.6.5. Amberlite IRA 410 (Kuvvetli Anyonik Reçine)

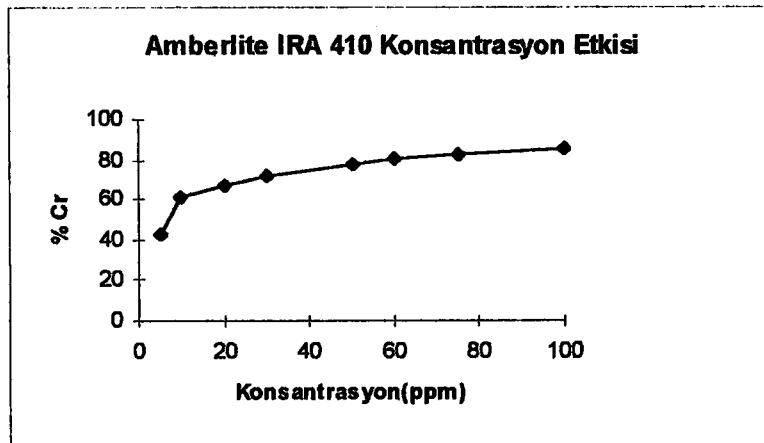
4.6.5.1. Krom tutulması üzerine konsantrasyonun etkisi

Cl⁻ formunda bölüm 4.2.2.' de anlatıldığı gibi hazırlanmış kuvvetli anyonik Amberlite IRA 410 reçineden 0.1'er g'lık örnekler alındı. Değişik konsantrasyonlarda (5-100 ppm), 50 ml'lik krom çözeltileri hazırlanarak (pH:5) 20 dakika süre ile karıştırıldı ve bu sürenin sonunda çözeltiler süzülerek çözeltide kalan krom miktarları AAS ile tayin edildi.

Cl⁻ formundaki reçine için alınan sonuçlar Çizelge 4.31. de, başlangıçtaki krom konsantrasyonu ile reçinede krom tutulma yüzdesi arasındaki grafik ise Şekil 4.23 de verilmiştir.

Çizelge 4.31. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi

Başlangıç Cr ³⁺ konsantrasyonu (mg/L)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (µg/0.1g)	Reçinede alıkonulan % Cr ³⁺ miktarı
5	2.850	107.50	43.00
10	3.918	304.10	60.82
20	6.600	670.00	67.00
30	8.540	1073.00	71.53
50	11.270	1936.50	77.46
60	11.690	2415.50	80.51
75	13.210	3089.50	82.38
100	14.875	4256.25	85.12



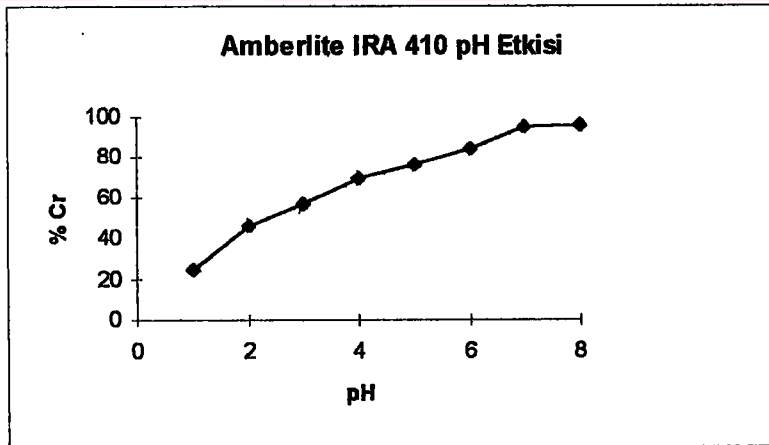
Şekil 4.23. Krom konsantrasyonuna bağlı olarak reçinede tutulan % Cr

4.6.5.2. Krom tutulması üzerine pH ın etkisi

Cl⁻ formundaki Amberlite IRA 402 reçineden 0.1'er g'lık örnekler alındı. 50 ml, 10 ppm'lik krom çözeltileri hazırlanarak başlangıç pH'ları 1 ile 8 arasında ayarlandı. 20 dakika süre ile reçine ile karıştırılan çözeltiler süzldü ve çözeltide kalan krom miktarları AAS ile tayin edildi. Sonuçlar Çizelge 4.32. de, krom tutulma yüzdesi ile pH arasında çizilen grafik ise Şekil 4.24. de verilmiştir.

Çizelge 4.32. Krom tutulması üzerine çözelti pH'ının etkisi

Başlangıç pH	Son pH	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (µg/0.1g)	Reçinede alıkonulan % Cr ³⁺ miktarı
1	1.00	7.58	121.00	24.20
2	2.03	5.35	232.50	46.50
3	3.25	4.27	286.50	57.30
4	4.10	3.04	348.00	69.60
5	5.27	2.33	383.50	76.70
6	6.36	1.55	422.50	84.50
7	7.58	0.52	474.00	94.80
8	8.44	0.35	482.50	96.50



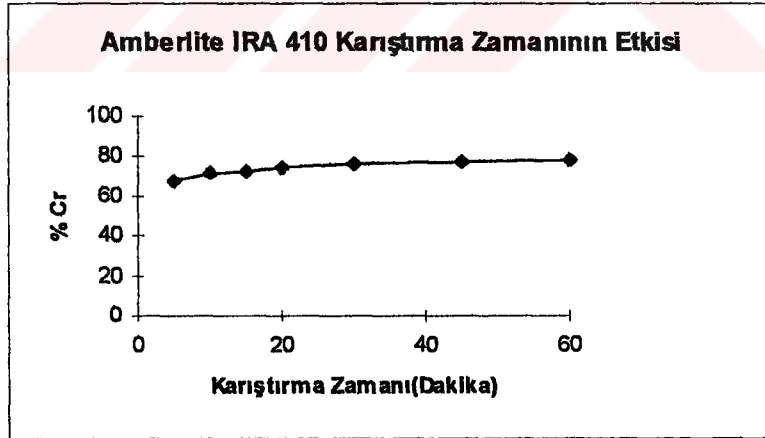
Şekil 4.24. pH'a bağlı olarak reçinede tutulan % Cr

4.6.5.3. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi

Cl⁻ formundaki Amberlite IRA 410 reçineden 0.1'er g'lık örnekler alındı. 50 ml, 10 ppm'lik krom çözeltileri hazırlandı (pH: 5) ve değişik karıştırma zamanlarında reçine ile karıştırılarak süzöldü. Çözeltide kalan krom miktarları AAS ile tayin edildi ve sonuçlar Çizelge 4.33. de, krom tutulma yüzdesi ile karıştırma zamanı arasındaki grafik Şekil 4.25. de verildi.

Çizelge 4.33. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi

Karıştırma Süresi (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (µg/0.1g)	Reçinede alıkonulan % Cr ³⁺ miktarı
5	3.255	337.25	67.45
10	2.877	356.15	71.23
15	2.748	362.60	72.52
20	2.566	371.70	74.34
30	2.385	380.75	76.15
45	2.277	386.15	77.23
60	2.150	392.50	78.50



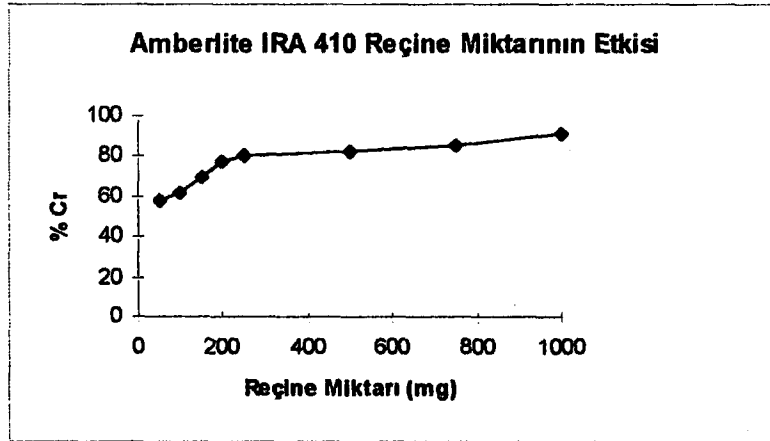
Şekil 4.25. Karıştırma zamanına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr

4.6.5.4. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi

Cl⁻ formundaki Amberlite IRA 410 reçineden 50-1000 mg arası tartım alındı. 50 ml 10 ppm'lik krom çözeltileri hazırlandı (pH: 5) ve 20 dakika süresince değişik reçine miktarları ile karıştırılarak süzüldü. Çözeltide kalan krom miktarları AAS ile tayin edildi ve sonuçlar Çizelge 4.34. de, krom tutulma yüzdesi ile reçine miktarı arasındaki grafik ise Şekil 4.26. da verildi.

Çizelge 4.34. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi

Reçine miktarı (mg)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (µg/0.1g)	Reçinede alıkonulan % Cr ³⁺ miktarı
50	4.248	287.60	57.52
100	3.787	310.65	62.13
150	3.002	349.90	69.98
200	2.245	387.75	77.55
250	1.968	401.60	80.32
500	1.783	410.85	82.17
750	1.446	427.70	85.54
1000	0.892	455.40	91.08



Şekil 4.26. Reçine miktarına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr

4.7. Optimum Koşulların Belirlenmesine Etki Eden Faktörlerin Seçilen Reçinelerin Farklı İyonik Formları İçin Karşılaştırılması

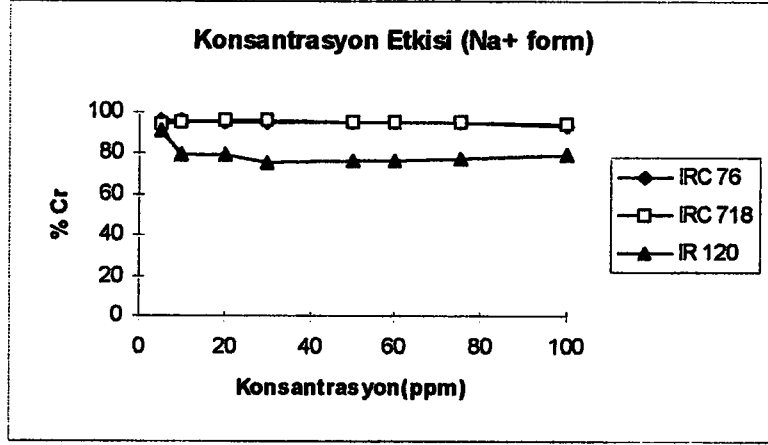
4.7.1. Konsantrasyon

4.7.1.1. Krom konsantrasyonunun krom tutulmasında Na^+ formundaki reçineler üzerine etkisi

Amberlite IRC 76 (zayıf katyonik reçine), Amberlite IRC 718 (zayıf katyonik reçine) ve Amberlite IR 120 (kuvvetli katyonik reçine) reçinelerin Na^+ formu ile yapılan çalışmalar karşılaştırma yapmak için Cr^{3+} başlangıç konsantrasyonları ile, her reçine için ayrı ayrı reçinede tutulan Cr^{3+} miktarları ortak bir çizelgede, Çizelge 4.35. de toplanmış ve başlangıçtaki krom konsantrasyonu ile reçinede krom tutulma yüzdesi arasındaki grafik ise Şekil 4.27. de verilmiştir.

Çizelge 4.35. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (Na^+ formu)

Başlangıç Cr^{3+} konsantrasyonu (mg/L)	Reçinede tutulan % Cr^{3+} miktarı Amberlite IRC 76	Reçinede tutulan % Cr^{3+} miktarı Amberlite IRC 718	Reçinede tutulan % Cr^{3+} miktarı Amberlite IR 120
5	95.78	94.38	91.24
10	96.28	95.28	79.28
20	95.40	96.05	79.40
30	95.52	95.77	75.65
50	95.07	95.41	76.03
60	94.69	94.88	76.25
75	94.77	94.87	77.92
100	92.93	94.19	79.45



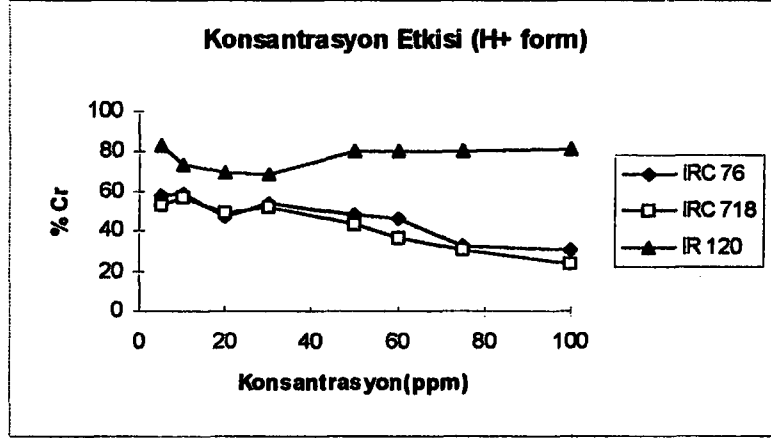
Şekil 4.27. Krom konsantrasyonuna bağlı olarak reçinede tutulan % Cr

4.7.1.2. Krom konsantrasyonunun krom tutulmasında H^+ formundaki reçineler üzerine etkisi

Amberlite IRC 76 (zayıf katyonik reçine), Amberlite IRC 718 (zayıf katyonik reçine) ve Amberlite IR 120 (kuvvetli katyonik reçine) reçinelerin H^+ formu ile yapılan çalışmalar karşılaştırma yapmak için ortak bir çizelgede, Çizelge 4.36 da toplanmış ve başlangıçtaki krom konsantrasyonu ile reçinede krom tutulma yüzdesi arasındaki grafik ise Şekil 4.28. de verilmiştir.

Çizelge 4.36. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (H^+ formu)

Başlangıç Cr^{3+} konsantrasyonu (mg/L)	Reçinede tutulan % Cr^{3+} miktarı Amberlite IRC 76	Reçinede tutulan % Cr^{3+} miktarı Amberlite IRC 718	Reçinede tutulan % Cr^{3+} miktarı Amberlite IR 120
5	58.20	53.12	83.44
10	58.58	57.32	73.72
20	47.20	48.90	69.50
30	53.60	52.16	68.99
50	48.48	43.50	79.96
60	45.86	36.43	80.26
75	32.45	30.30	80.29
100	30.14	23.34	81.45



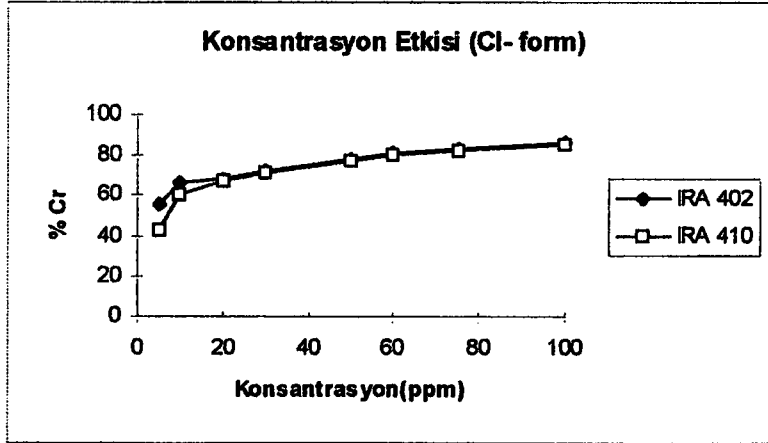
Şekil 4.28. Krom konsantrasyonuna bağlı olarak reçinede tutulan % Cr

4.7.1.3. Krom konsantrasyonunun krom tutulmasında Cl⁻ formundaki reçineler üzerine etkisi

Amberlite IRA 402 (kuvvetli anyonik reçine) ve Amberlite IRA 410 (kuvvetli anyonik reçine) reçinelerin Cl⁻ formu ile yapılan çalışmalar karşılaştırma yapmak için ortak bir çizelgede, Çizelge 4.37. de toplanmış ve başlangıçtaki krom konsantrasyonu ile reçinede krom tutulma yüzdesi arasındaki grafik ise Şekil 4.29. da verilmiştir.

Çizelge 4.37. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (Cl⁻ formu)

Başlangıç Cr ³⁺ konsantrasyonu (mg/L)	Reçinede tutulan % Cr ³⁺ miktarı Amberlite IRA 402	Reçinede tutulan % Cr ³⁺ miktarı Amberlite IRA 410
5	55.60	43.00
10	66.62	60.82
20	68.05	67.00
30	72.43	71.53
50	78.06	77.46
60	80.86	80.51
75	82.88	82.38
100	85.95	85.12



Şekil 4.29. Krom konsantrasyonuna bağlı olarak reçinede tutulan % Cr

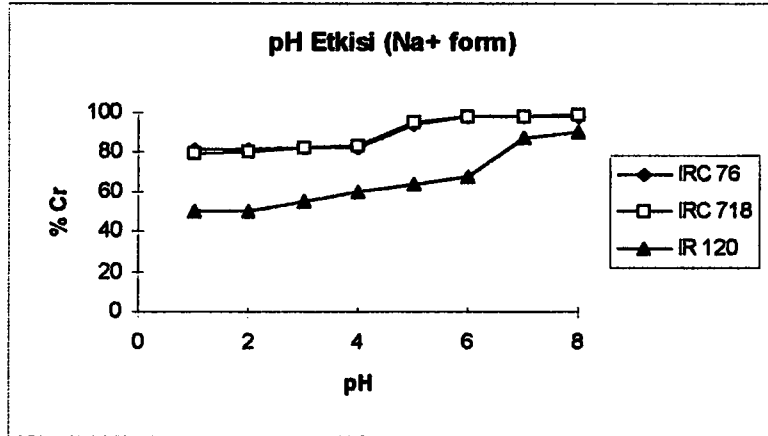
4.7.2. pH

4.7.2.1. pH'in krom tutulmasında Na^+ formundaki reçineler üzerine etkisi

Amberlite IRC 76 (zayıf katyonik reçine), Amberlite IRC 718 (zayıf katyonik reçine) ve Amberlite IR 120 (kuvvetli katyonik reçine) reçinelerin Na^+ formu ile yapılan çalışmalar karşılaştırma yapmak için başlangıç pH ları ile, her reçine için ayrı ayrı reçinede tutulan Cr^{3+} miktarları ortak bir çizelgede, Çizelge 4.38. de toplanmış ve başlangıçtaki krom konsantrasyonu ile reçinede krom tutulma yüzdesi arasındaki grafik ise Şekil 4.30. da verilmiştir.

Çizelge 4.38. Krom tutulması üzerine pH etkisi (Na^+ formu)

Başlangıç pH	Reçinede tutulan %	Reçinede tutulan %	Reçinede tutulan %
	Cr^{3+} miktarı Amberlite IRC 76	Cr^{3+} miktarı Amberlite IRC 718	Cr^{3+} miktarı Amberlite IR 120
1	81.32	79.29	49.71
2	81.31	80.58	50.27
3	82.06	82.25	54.62
4	82.37	83.07	60.17
5	94.18	94.75	63.25
6	98.18	97.73	67.20
7	97.57	97.95	87.41
8	97.96	98.96	90.13



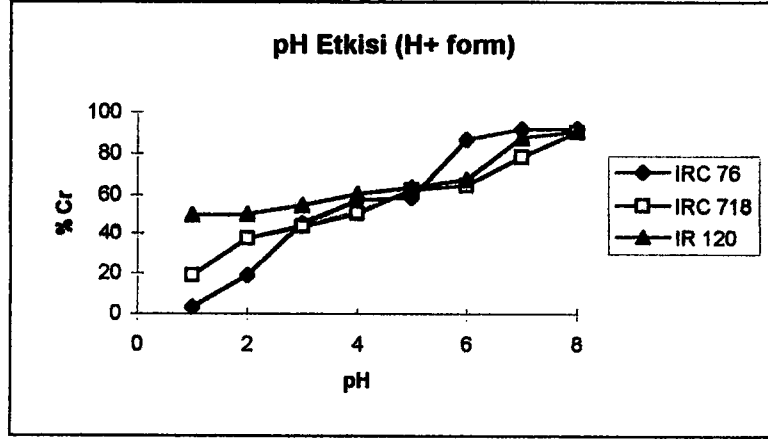
Şekil 4.30. pH'a bağlı olarak reçinede tutulan % Cr

4.7.2.2. pH'ın Krom Tutulmasında H⁺ Formundaki Reçineler Üzerine Etkisi

Amberlite IRC 76 (zayıf katyonik reçine), Amberlite IRC 718 (zayıf katyonik reçine) ve Amberlite IR 120 (kuvvetli katyonik reçine) reçinelerin H⁺ formu ile yapılan çalışmalar karşılaştırma yapmak için ortak bir çizelgede, Çizelge 4.39 da toplanmış ve başlangıçtaki pH ile reçinede krom tutulma yüzdesi arasındaki grafik ise Şekil 4.31. de verilmiştir.

Çizelge 4.39. Krom tutulması üzerine pH'ın etkisi (H⁺ formu)

Başlangıç pH	Reçinede tutulan %	Reçinede tutulan %	Reçinede tutulan %
	Cr ³⁺ miktarı Amberlite IRC 76	Cr ³⁺ miktarı Amberlite IRC 718	Cr ³⁺ miktarı Amberlite IR 120
1	3.09	18.69	49.71
2	18.69	37.28	50.27
3	45.24	43.64	54.62
4	57.11	50.35	60.17
5	58.35	62.16	63.25
6	86.59	64.12	67.20
7	91.51	77.95	87.41
8	91.86	89.83	90.13



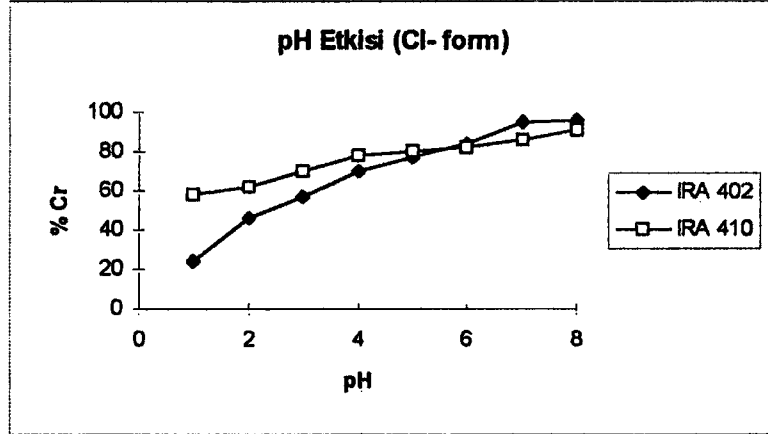
Şekil 4.31. pH'a bağlı olarak reçinede tutulan % Cr

4.7.2.3. pH'ın krom tutulmasında Cl⁻ formundaki reçineler üzerine etkisi

Amberlite IRA 402 (kuvvetli anyonik reçine) ve Amberlite IRA 410 (kuvvetli anyonik reçine) reçinelerin Cl⁻ formu ile yapılan çalışmalar karşılaştırma yapmak için ortak bir çizelgede, Çizelge 4.40. da toplanmış ve başlangıçtaki pH ile reçinede krom tutulma yüzdesi arasındaki grafik ise Şekil 4.32. de verilmiştir.

Çizelge 4.40. Krom tutulması üzerine pH etkisi (Cl⁻ formu)

Başlangıç pH	Reçinede tutulan % Cr ³⁺	
	Amberlite IRA 402 miktarı	Amberlite IRA 410 miktarı
1	24.20	57.52
2	46.50	62.13
3	57.30	69.98
4	69.60	77.55
5	76.70	80.32
6	84.50	82.17
7	94.80	85.54
8	96.50	91.08



Şekil 4.32. pH'a bağlı olarak reçinede tutulan % Cr

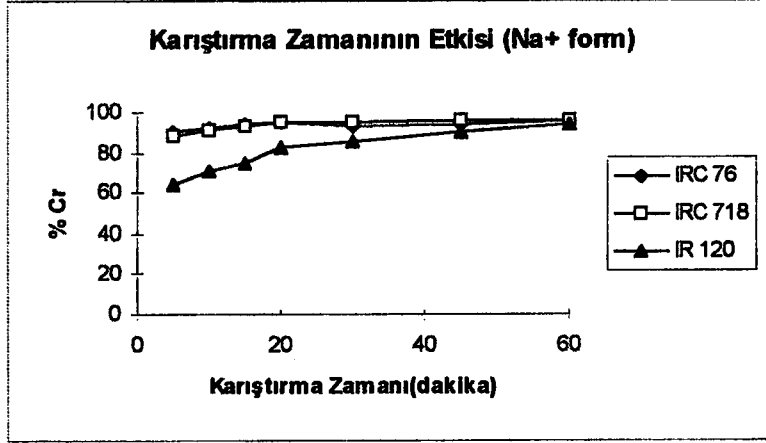
4.7.3. Karıştırma Zamanı

4.7.3.1. Karıştırma zamanının krom tutulmasında Na⁺ formundaki reçineler üzerine etkisi

Amberlite IRC 76 (zayıf katyonik reçine), Amberlite IRC 718 (zayıf katyonik reçine) ve Amberlite IR 120 (kuvvetli katyonik reçine) reçinelerin Na⁺ formu ile yapılan çalışmalar karşılaştırma yapmak için karıştırma zamanları ile, her reçine için ayrı ayrı reçinede tutulan Cr³⁺ miktarları ortak bir çizelgede, Çizelge 4.41. de toplanmış ve başlangıçtaki karıştırma zamanı ile reçinede krom tutulma yüzdesi arasındaki grafik ise Şekil 4.33. de verilmiştir.

Çizelge 4.41. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi (Na⁺ formu)

Karıştırma Süresi (dakika)	Reçinede tutulan % Cr ³⁺ miktarı Amberlite IRC 76	Reçinede tutulan % Cr ³⁺ miktarı Amberlite IRC 718	Reçinede tutulan % Cr ³⁺ miktarı Amberlite IR 120
5	90.58	87.93	64.15
10	91.85	91.08	70.43
15	94.20	93.56	75.06
20	95.60	95.04	82.54
30	93.27	95.27	85.65
45	94.52	96.20	90.77
60	96.34	96.34	94.27



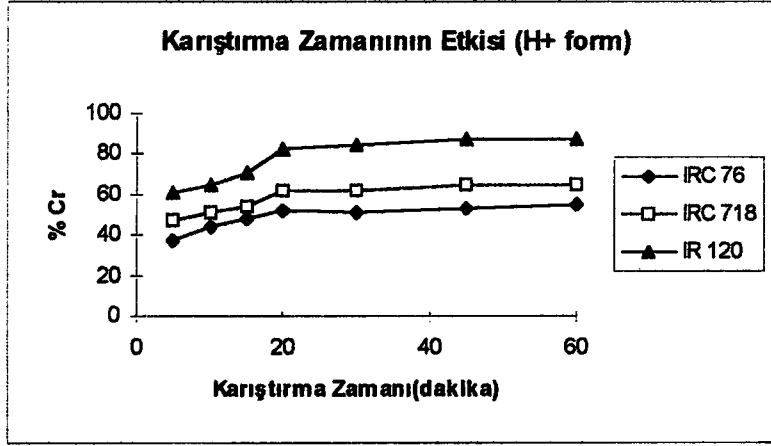
Şekil 4.33. Karıştırma zamanına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr

4.7.3.2. Karıştırma zamanının krom tutulmasında H^+ formundaki reçineler üzerine etkisi

Amberlite IRC 76 (zayıf katyonik reçine), Amberlite IRC 718 (zayıf katyonik reçine) ve Amberlite IR 120 (kuvvetli katyonik reçine) reçinelerin H^+ formu ile yapılan çalışmalar karşılaştırma yapmak için ortak bir çizelgede, Çizelge 4.42. de toplanmış ve başlangıçtaki karıştırma zamanı ile reçinede krom tutulma yüzdesi arasındaki grafik ise Şekil 4.34. de verilmiştir.

Çizelge 4.42. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi (H^+ formu)

Karıştırma Süresi (dakika)	Reçinede tutulan %	Reçinede tutulan %	Reçinede tutulan %
	Cr^{3+} miktarı Amberlite IRC 76	Cr^{3+} miktarı Amberlite IRC 718	Cr^{3+} miktarı Amberlite IR 120
5	37.28	46.76	61.24
10	43.89	50.59	64.78
15	47.68	54.26	70.60
20	51.92	61.93	82.55
30	50.59	61.36	84.30
45	53.39	64.23	87.45
60	54.54	64.23	87.61



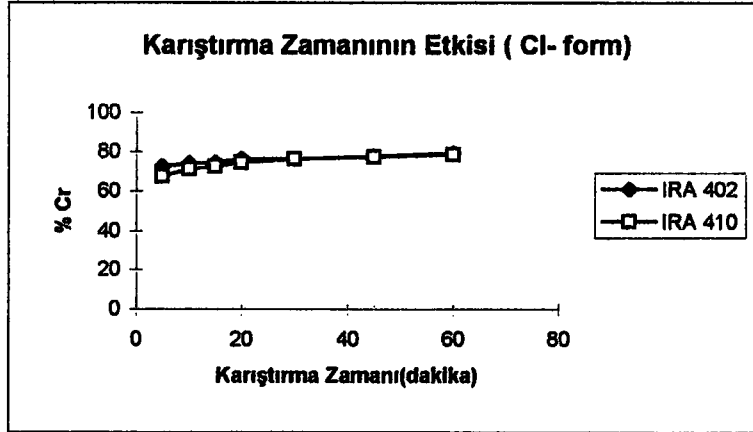
Şekil 4.34. Karıştırma zamanına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr

4.7.3.3. Karıştırma zamanının krom tutulmasında Cl⁻ formundaki reçineler üzerine etkisi

Amberlite IRA 402 (kuvvetli anyonik reçine) ve Amberlite IRA 410 (kuvvetli anyonik reçine) reçinelerin Cl⁻ formu ile yapılan çalışmalar karşılaştırma yapmak için ortak bir çizelgede, Çizelge 4.43 de toplanmış ve başlangıçtaki karıştırma zamanı ile reçinede krom tutulma yüzdesi arasındaki grafik ise Şekil 4.35. de verilmiştir.

Çizelge 4.43. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi (Cl⁻ formu)

Karıştırma Süresi (dakika)	Reçinede tutulan % Cr ³⁺ miktarı	Reçinede tutulan % Cr ³⁺ miktarı
	Amberlite IRA 402	Amberlite IRA 410
5	72.44	67.45
10	74.09	71.23
15	74.51	72.52
20	76.20	74.34
30	76.34	76.15
45	77.57	77.23
60	79.05	78.50



Şekil 4.35. Karıştırma zamanına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr

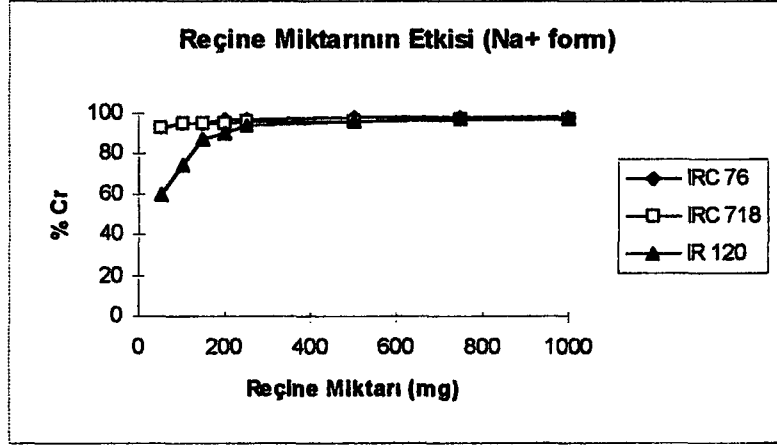
4.7.4. Reçine Miktarı

4.7.4.1. Reçine miktarının krom tutulmasında Na^+ formundaki reçineler üzerine etkisi

Amberlite IRC 76 (zayıf katyonik reçine), Amberlite IRC 718 (zayıf katyonik reçine) ve Amberlite IR 120 (kuvvetli katyonik reçine) reçinelerin Na^+ formu ile yapılan çalışmalar reçine miktarı ile , her reçine için ayrı ayrı reçinede tutulan Cr^{3+} miktarları karşılaştırma yapmak için ortak bir çizelgede, Çizelge 4.44. de toplanmış ve başlangıçtaki reçine miktarı ile reçinede krom tutulma yüzdesi arasındaki grafik ise Şekil 4.36. da verilmiştir.

Çizelge 4.44. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (Na^+ formu)

Reçine miktarı (mg)	Reçinede tutulan % Cr^{3+} miktarı Amberlite IRC 76	Reçinede tutulan % Cr^{3+} miktarı Amberlite IRC 718	Reçinede tutulan % Cr^{3+} miktarı Amberlite IR 120
50	93.03	93.26	59.74
100	94.64	94.95	74.60
150	95.55	95.14	87.24
200	96.65	95.36	90.41
250	96.79	95.97	94.35
500	97.78	96.29	96.12
750	98.31	96.80	97.75
1000	98.10	97.32	98.04



Şekil 4.36. Reçine miktarına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr

4.7.4.2. Reçine miktarının krom tutulmasında H^+ formundaki reçineler üzerine etkisi

Amberlite IRC 76 (zayıf katyonik reçine), Amberlite IRC 718 (zayıf katyonik reçine) ve Amberlite IR 120 (kuvvetli katyonik reçine) reçinelerin H^+ formu ile yapılan çalışmalar karşılaştırma yapmak için ortak bir çizelgede, Çizelge 4.45 de toplanmış ve başlangıçtaki reçine miktarı ile reçinede krom tutulma yüzdesi arasındaki grafik ise Şekil 4.37. de verilmiştir.

Çizelge 4.45. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (H^+ formu)

Reçine miktarı (mg)	Reçinede tutulan % Cr^{3+} miktarı Amberlite IRC 76	Reçinede tutulan % Cr^{3+} miktarı Amberlite IRC 718	Reçinede tutulan % Cr^{3+} miktarı Amberlite IR 120
50	38.07	51.73	57.31
100	49.17	58.05	65.78
150	55.97	60.35	80.34
200	68.04	62.53	85.20
250	58.48	63.65	87.13
500	64.12	64.73	91.45
750	64.12	65.08	94.65
1000	65.54	66.24	99.57

Şekil 4.37. Reçine miktarına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr

4.7.4.3. Reçine miktarının krom tutulmasında Cl formundaki reçineler üzerine etkisi
Amberlite IRA 402 (kuvvetli anyonik reçine) ve Amberlite IRA 410 (kuvvetli anyonik reçine) reçinelerin Cl formu ile yapılan çalışmalar karşılaştırma yapmak için ortak bir çizelgede, Çizelge 4.46. da toplanmış ve başlangıçtaki reçine miktarı ile reçinede krom tutulma yüzdesi arasındaki grafik ise Şekil 4.38. de verilmiştir.

Çizelge 4.46. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi

Reçine miktarı (mg)	Reçinede tutulan % Cr ³⁺ miktarı Amberlite IRA 402	Reçinede tutulan % Cr ³⁺ miktarı Amberlite IRA 410
50	63.45	57.52
100	65.40	62.13
150	73.58	69.98
200	81.85	77.55
250	82.07	80.32
500	84.28	82.17
750	88.12	85.54
1000	95.23	91.08

Şekil 4.38. Reçine miktarına bağlı olarak reçinede tutulan % Cr



4.7.5. Kadmiyum

4.7.5.1. Amberlite IR 120 (kuvvetli katyonik reçine) kadmiyum tutulması üzerine konsantrasyonun etkisi

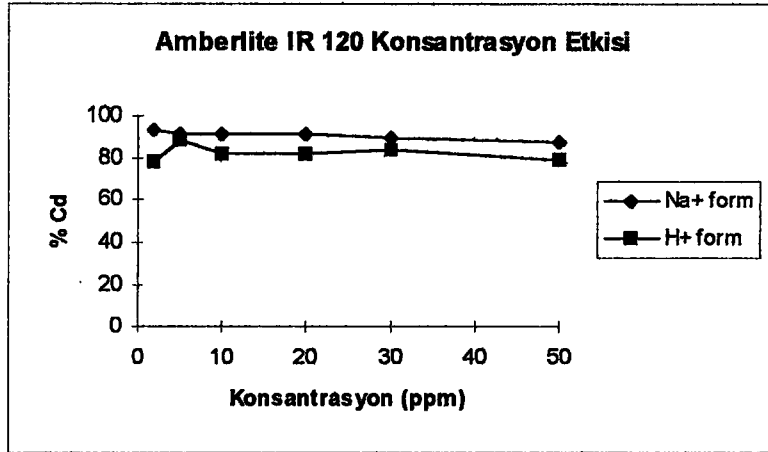
Na⁺ ve H⁺ formunda bölüm 4.2.2. de anlatıldığı gibi hazırlanmış kuvvetli katyonik Amberlite IR 120 reçineden 0.1'er g'lık örnekler alındı. 2, 5, 10, 20, 30, 50 ppm konsantrasyonlarda, 50 ml'lik kadmiyum çözeltileri hazırlanarak (pH: 5,5) 20 dakika süre ile karıştırıldı ve bu sürenin sonunda çözeltiler süzülerek çözeltide kalan kadmiyum miktarları AAS ile tayin edildi. Na⁺ ve H⁺ formundaki reçineler için alınan sonuçlar Çizelge 4.47 de ve 4.48 de, başlangıçtaki kadmiyum konsantrasyonu ile reçinede kadmiyum tutulma yüzdesi arasındaki her iki iyonik form için olan grafik ise Şekil 4.39 da verilmiştir.

Çizelge 4.47. Kadmiyum tutulması üzerine kadmiyum konsantrasyonunun etkisi (Na⁺ formu)

Başlangıç Cd ²⁺ konsantrasyonu (mg/L)	Çözeltide kalan Cd ²⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cd ²⁺ miktarı (µg/0.1g)	Reçinede alıkonulan % Cd ²⁺ miktarı
2	0.132	93.40	93.40
5	0.435	228.25	91.30
10	0.820	459.00	91.80
20	1.640	918.00	91.80
30	3.180	1341.00	89.40
50	6.350	2182.50	87.30

Çizelge 4.48. Kadmiyum tutulması üzerine kadmiyum konsantrasyonunun etkisi (H⁺ formu)

Başlangıç Cd ²⁺ konsantrasyonu (mg/L)	Çözeltide kalan Cd ²⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cd ²⁺ miktarı (µg/0.1g)	Reçinede alıkonulan % Cd ²⁺ miktarı
2	0.443	77.85	77.85
5	0.575	221.25	88.50
10	1.750	412.50	82.50
20	3.560	822.00	82.20
30	4.760	1262.00	84.13
50	10.550	1972.50	78.90



Şekil 4.39. Kadmiyum konsantrasyonuna bağlı olarak reçinede tutulan % Cd

4.7.5.2. Kadmiyum tutulması üzerine pH etkisi

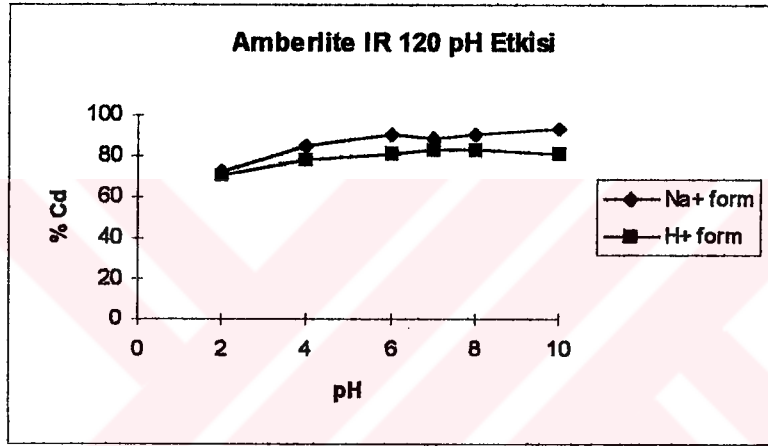
Na^+ ve H^+ formundaki Amberlite IR 120 reçineden 0.1'er g'lık örnekler alındı. 50 ml, 20 ppm'lik kadmiyum çözeltileri hazırlanarak başlangıç pH'ları 2, 4, 6, 7, 8, 10 arasında ayarlandı. 20 dakika süre ile reçine ile karıştırılan çözeltiler süzüldü ve çözeltilerde kalan kadmiyum miktarları AAS ile tayin edildi. Sonuçlar Çizelge 4.49 ve 4.50 de, kadmiyum tutulma yüzdesi ile pH arasında çizilen grafik ise Şekil 4.40 da verilmiştir.

Çizelge 4.49. Kadmiyum tutulması üzerine pH'ın etkisi (Na^+ formu)

Başlangıç pH	Çözeltilerde kalan Cd^{2+} miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cd^{2+} miktarı ($\mu\text{g}/0.1\text{g}$)	Reçinede alıkonulan % Cd^{2+} miktarı
2	4.60	770.00	77.00
4	2.96	852.00	85.20
6	1.84	908.00	90.80
7	2.20	890.00	89.00
8	1.86	907.00	90.70
10	1.38	931.00	93.10

Çizelge 4.50. Kadmiyum tutulması üzerine pH'ın etkisi (H⁺ formu)

Başlangıç pH	Çözeltide kalan Cd ²⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cd ²⁺ miktarı (µg/0.1g)	Reçinede alıkonulan % Cd ²⁺ miktarı
2	5.82	709.00	70.90
4	4.30	785.00	78.50
6	3.78	811.00	81.10
7	3.52	824.00	82.40
8	3.52	824.00	82.40
10	3.82	809.00	80.90



Şekil 4.40 pH'a bağlı olarak reçinede tutulan % Cd

4.7.5.3. Kadmiyum tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi

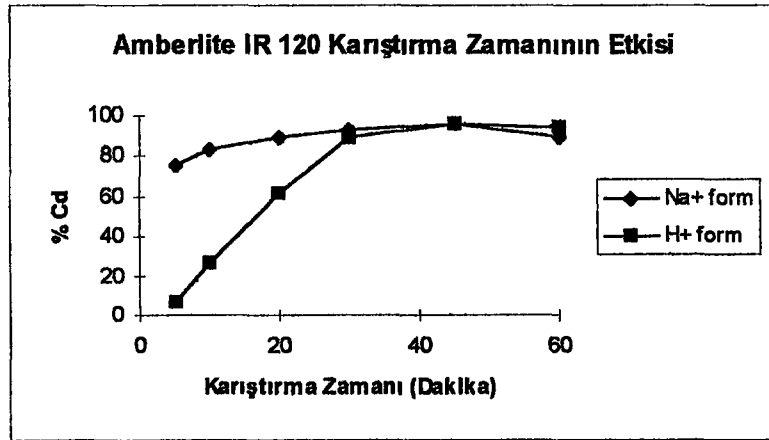
Na⁺ ve H⁺ formundaki Amberlite IR 120 reçineden 0.1'er g'lık örnekler alındı. 50 ml, 20 ppm'lik kadmiyum çözeltileri hazırlandı (pH: 5.5) ve 5, 10, 20, 30, 45, 60 dakika karıştırma zamanlarında reçine ile karıştırılarak süzüldü. Çözeltide kalan kadmiyum miktarları AAS ile tayin edildi ve sonuçlar Çizelge 4.51. ve 4.52. de, kadmiyum tutulma yüzdesi ile karıştırma zamanı arasındaki grafik Şekil 4.41. de verildi.

Çizelge 4.51. Kadmiyum tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi (Na⁺ formu)

Karıştırma Süresi (dakika)	Çözeltide kalan Cd ²⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cd ²⁺ miktarı (µg/0.1g)	Reçinede alıkonulan % Cd ²⁺ miktarı
5	4.86	757.00	75.70
10	3.38	831.00	83.10
20	2.22	889.00	88.90
30	1.38	931.00	93.10
45	0.86	957.00	95.70
60	2.20	890.00	89.00

Çizelge 4.52. Kadmiyum tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi (H⁺ formu)

Karıştırma Süresi (dakika)	Çözeltide kalan Cd ²⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cd ²⁺ miktarı (µg/0.1g)	Reçinede alıkonulan % Cd ²⁺ miktarı
5	18.68	66.00	6.60
10	14.74	263.00	26.30
20	7.72	614.00	61.40
30	2.14	893.00	89.30
45	0.74	963.00	96.30
60	1.14	943.00	94.30



Şekil 4.41. Karıştırma zamanına bağlı olarak reçinede tutulan % Cd

4.7.5.4. Kadmiyum tutulması üzerine reçine miktarının etkisi

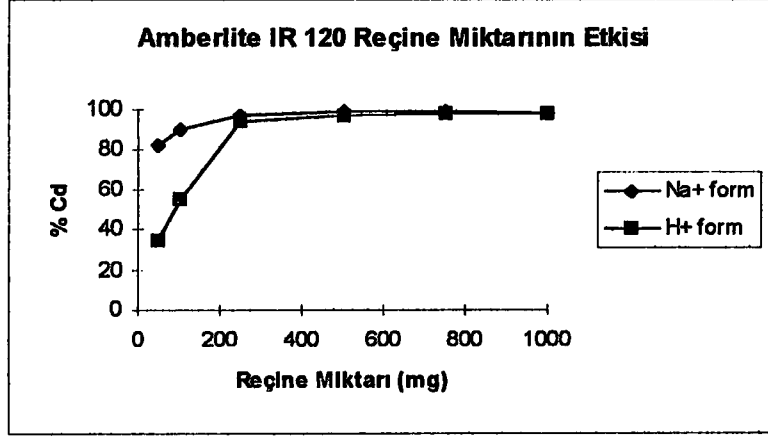
Na⁺ ve H⁺ formundaki Amberlite IR 120 reçineden 50-1000 mg arası tartım alındı. 50 ml 20 ppm'lik kadmiyum çözeltileri hazırlandı (pH: 5.5) ve 20 dakika süresince 50, 100, 250, 500, 750, 1000 mg reçine miktarları ile karıştırılarak süzöldü. Çözeltide kalan kadmiyum miktarları AAS ile tayin edildi ve sonuçlar Çizelge 4.53. ve 4.54 de, kadmiyum tutulma yüzdesi ile reçine miktarı arasındaki grafik ise Şekil 4.42 de verildi.

Çizelge 4.53. Kadmiyum tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (Na⁺ formu)

Reçine miktarı (mg)	Çözeltide kalan Cd ²⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cd ²⁺ miktarı (µg/0.1g)	Reçinede alıkonulan % Cd ²⁺ miktarı
50	3.60	820.00	82.00
100	1.96	902.00	90.20
250	0.52	974.00	97.40
500	0.22	989.00	98.90
750	0.18	991.00	99.10
1000	0.30	985.00	98.50

Çizelge 4.54. Kadmiyum tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (H⁺ formu)

Reçine miktarı (mg)	Çözeltide kalan Cd ²⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cd ²⁺ miktarı (µg/0.1g)	Reçinede alıkonulan % Cd ²⁺ miktarı
50	13.18	341.00	34.10
100	9.00	550.00	55.00
250	1.18	941.00	94.10
500	0.62	969.00	96.90
750	0.48	976.00	97.60
1000	0.48	976.00	97.60



Şekil 4.42. Reçine miktarına bağlı olarak reçinede tutulan % Cd

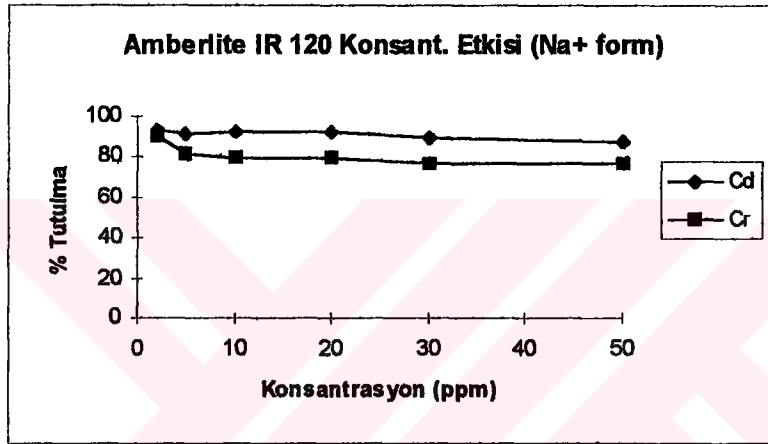
4.7.6. Amberlite IR 120 reçine ile aynı koşullarda çalışılan Cd^{2+} ve Cr^{3+} un uzaklaştırılmasının karşılaştırılması

4.7.6.1. Konsantrasyon etkisi

Na^+ ve H^+ formunda bölüm 4.2.2. de anlatıldığı gibi hazırlanmış kuvvetli katyonik Amberlite IR 120 reçineden 0.1'er g'lık örnekler alındı. Değişik konsantrasyonlarda (2-50 ppm), 50 ml'lik kadmiyum ve krom çözeltileri hazırlanarak (pH: 5,5) 20 dakika süre ile karıştırıldı ve bu sürenin sonunda çözeltiler süzülerek çözeltide kalan kadmiyum ve krom miktarları AAS ile tayin edildi. Na^+ ve H^+ formundaki reçineler için alınan sonuçlar Çizelge 4.55. ve 4.56. da, başlangıçtaki kadmiyum ve krom konsantrasyonu ile reçinede kadmiyum ve krom tutulma yüzdeleri arasındaki her iki iyonik form için olan grafikler ise Şekil 4.43. ve 4.44. de verilmiştir.

Çizelge 4.55. Kadmiyum ve krom tutulması üzerine konsantrasyonunun etkisi(Na^+ form)

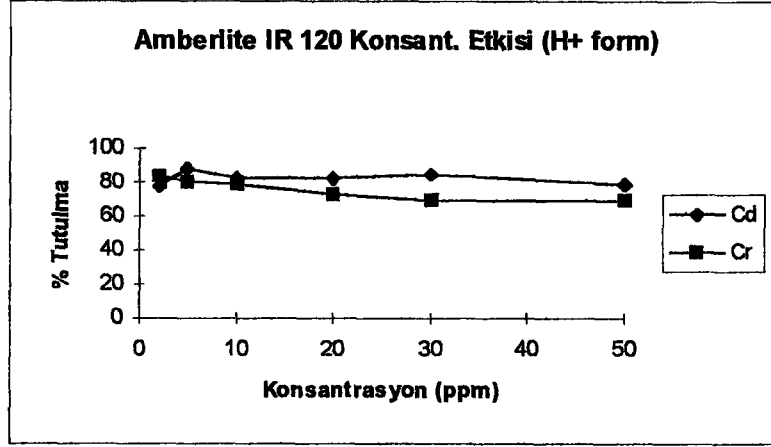
Başlangıç Cd^{2+} ve Cr^{3+} konsantrasyonu (mg/L)	Reçinede alıkonulan % Cd^{2+} miktarı	Reçinede alıkonulan % Cr^{3+} miktarı
2	93.40	90.27
5	91.30	80.95
10	91.80	79.38
20	91.80	79.12
30	89.40	76.77
50	87.30	76.18



Şekil 4.43. Krom ve kadmiyum konsantrasyonuna bağlı olarak reçinede % tutulma

Çizelge 4.56. Kadmiyum ve krom tutulması üzerine konsantrasyonunun etkisi (H^+ formu)

Başlangıç Cd^{2+} ve Cr^{3+} konsantrasyonu (mg/L)	Reçinede alıkonulan % Cd^{2+} miktarı	Reçinede alıkonulan % Cr^{3+} miktarı
2	77.85	84.07
5	88.50	80.26
10	82.50	78.86
20	82.20	72.54
30	84.13	69.50
50	78.90	68.99



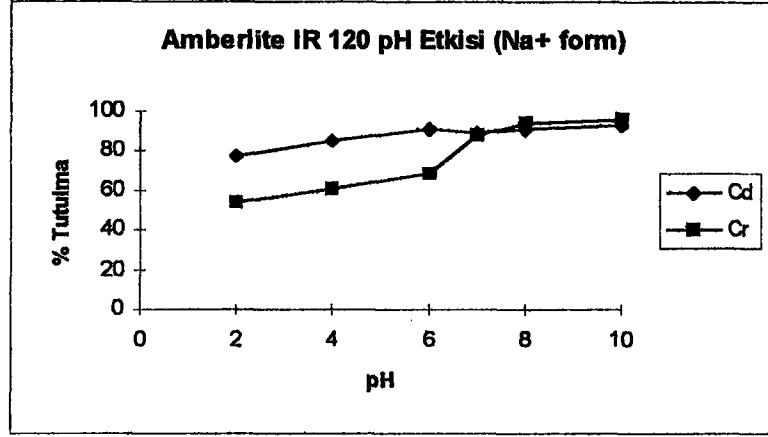
Şekil 4.44. Krom ve kadmiyum konsantrasyonuna bağlı olarak reçinede % tutulma

4.7.6.2. pH etkisi

Na⁺ ve H⁺ formundaki Amberlite IR 120 reçineden 0.1'er g'lık örnekler alındı. 50 ml, 20 ppm'lik kadmiyum ve krom çözeltileri hazırlanarak başlangıç pH'ları 2 ile 10 arasında ayarlandı. 20 dakika süre ile reçine ile karıştırılan çözeltiler süzüldü ve çözeltide kalan kadmiyum ve krom miktarları AAS ile tayin edildi. Sonuçlar Çizelge 4.57. ve 4.58 de, kadmiyum ve krom tutulma yüzdeleri ile pH arasında çizilen grafik ise Şekil 4.45 ve 4.46. da verilmiştir.

Çizelge 4.57. Kadmiyum ve krom tutulması üzerine pH'ın etkisi(Na⁺ form)

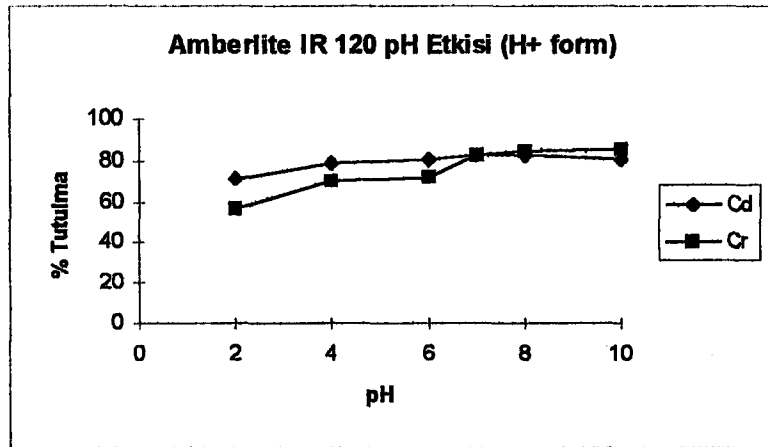
Başlangıç pH	Reçinede alıkonulan % Cd ²⁺ miktarı	Reçinede alıkonulan % Cr ³⁺ miktarı
2	77.00	53.62
4	85.20	61.04
6	90.80	68.24
7	89.00	87.88
8	90.70	94.13
10	93.10	95.86



Şekil 4.45. pH'a bağlı olarak reçinede tutulan % Cd ve Cr

Çizelge 4.58. Kadmiyum ve krom tutulması üzerine pH'ın etkisi (H⁺ formu)

Başlangıç pH	Reçinede alıkonulan %	
	Cd ²⁺ miktarı	Cr ³⁺ miktarı
2	70.90	56.79
4	78.50	69.72
6	81.10	72.41
7	82.40	82.63
8	82.40	84.25
10	80.90	85.19



Şekil 4.46. pH'a bağlı olarak reçinede tutulan % Cd ve Cr

TÜRKÇE ABSTRAKTI :

Arseniğin zehirliliği, örnekte bulunduğu kimyasal şekle bağlıdır. Arsenik içeren bileşenlerin zehirliliği As(III), As(V), MMAA ve DMAA sırası ile azalır. Arsenobetain ve arsenokolin gibi organoarsenik bileşiklerinin ise zehirli olmadığı saptanmıştır. Bu nedenle, zehirliliği değerlendirilirken arseniğin sadece örnekteki toplam miktarı değil, bulunduğu kimyasal şeklinin de belirlenmesi, yani türlendirilmesi gerekir. Sunulan bu çalışmada, son yıllarda analitik kimyanın başı çeken konuları arasında yer alan hibrit yöntemlerin; zehirlilik aralığı hem dar hemde bulunduğu kimyasal şekle bağlı olan arseniğin türlendirilmesinde kullanılması amaçlanmıştır. Sürekli veya kesikli olarak tasarlanabilen hibrit yöntemlerde, peşpeşe kullanılan iki teknikten birincisinde, analizi yapılacak farklı yükseltgenme basamağındaki metal veya ametalin ya da farklı substitüentlere sahip organometalik türlerin ayrılması; ikincisinde ise ayrılan bu türlerin nicel analizi sağlanır. Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi / Grafit Fırınlı Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi (HPLC/GFAAS) ve Yüksek Performanslı Sıvı Kromatografisi / Hidrür Oluşumu Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi (HPLC/ HGAAS) olmak üzere iki ayrı kesikli hibrit yöntemin kullanıldığı bu çalışmada, hem jeotermal su örneğinde arsenik türlendirilmesinde deney koşullarının optimizasyonu, hem de her iki hibrit yönteminin karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir.

NaAsO₂, DMAA, p-APA ve Na₂HAsO₄ türlerinin anyon değiştirici kolonda birbirinden ayrılmasını sağlayan çözücü programlaması; ilk üç dakika 1 mL dak⁻¹ akış hızında su ve daha sonra 0.5 mL dak⁻¹ akış hızında sodyumbikarbonat çözeltisi olarak belirlenmiştir. Bu deney koşullarının uygulanması ile, grafit fırında analizleri olumsuz biçimde etkileyen klorür, sülfat ve fosfat iyonlarının neden olduğu zemin engellemelerinin de önüne geçildiği gözlenmiştir. Hidrür oluşturma sisteminde p-APA türünün gözlenmesi mümkün olmadığından, yalnızca NaAsO₂, DMAA ve Na₂HAsO₄'den oluşan üç arsenik türünün aynı çözücü programlaması ile ayrılması sağlanmıştır.

Her iki yöntem ile yapılan analizlerde elde edilen sonuçlar birbiriyle uyumludur. Kızılcahamam'dan alınan jeotermal su örneğinde en fazla bulunan türün Na₂HAsO₄ olduğu saptanmıştır. Toplam arsenik miktarı ise 1134.6 ± 4.4 µg/L olarak bulunmuştur.

İNGİLİZCE ABSTRAKI:

The toxicity of arsenic, like several metals, depends on its specific chemical form. For arsenic containing compounds, the inorganic arsenite As(III), is the most toxic form, followed by As(V), MMAA and DMAA. Other organoarsenic compounds such as arsenobetain and arsenocholine have been found to be nontoxic. Therefore, from a toxicity assessment perspective, it is not sufficient to quantitate the total amount; its chemical form must also be determined. The presented study is concerned with speciation of arsenic by employing a novel technique called hybrid method. In hybrid methods two complementary techniques are used; the first one provides the separation and the second quantitation. This study is dedicated to the optimization of experimental conditions of High Performance Liquid Chromatography / Graphit Furnace Atomic Absorption Spectroscopy (HPLC/GFAAS) and High Performance Liquid Chromatography / Hydride Generation Atomic Absorption Spectroscopy (HPLC/HGAAS) hybrid methods for the speciation of arsenic in geothermal water samples.

The separation of NaAsO_2 , DMAA, p-APA and Na_2HAsO_4 in anion-exchange column is realised by using water at a flow rate of 1 mL/min for the first three minutes and sodiumbicarbonate at a flow rate 0.5 mL/min as eluents. It was also observed that an anion-exchange separation is very effective in the elimination of chloride, sulphate and phosphate interferences by shifting the retention times of the analyte and the interfering anions. In the hydride generation method, NaAsO_2 , DMAA and Na_2HAsO_4 forms are determined as the p-APA form does not respond to this technique.

The results obtained by two different hybrid methods showed that the predominant form of arsenic in geothermal water samples is Na_2HAsO_4 . The total amount of arsenic in the samples is found to be $1134.6 \pm 4.4 \mu\text{g/L}$.

SUMMARY

Selenium is on the one hand an essential nutrient and on the other it may act as a seriously hazardous element. Its peculiarity is that the range between deficiency and toxicity is fairly narrow and the toxicity is very much dependent on its chemical form. Therefore specific, sensitive and accurate methods for the speciation and determination of selenium in samples such as blood, serum and urine are required. The submitted study is concerned with the speciation and determination of selenium in blood serum by making use of a recently developed technique called hybrid method. In hybrid methods, whether batch or continuous, two complementary techniques are necessary; one provides an efficient and reliable separation and the other provides adequate detection and quantitation. This research is carried out by employing HPLC/GFAAS hybrid method in which High Performance Liquid Chromatography is used for speciation of selenium with different oxidation states and Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrometry for quantitation of these species.

The low thermal stability of selenium does not permit high enough pyrolysis temperatures to remove the bulk of concomitants during thermal pretreatment of the sample without making use of a matrix modifier. Although a large number of chemical modifiers are effective in the stabilization of inorganic selenium very few are known for organic species. The experiments realized showed that 40 µg nickel/1 ng selenium is the most powerful modifier for increasing the extent of removal of matrix components without loss of both inorganic and organic selenium. The separation of selenium species with (II-), (IV), and (VI) oxidation states was performed by anion-exchange column using ammonium citrate at pH = 3.00 and pH = 7.00 as eluents. The optimum flow rate was found as 0.5 ml/min. It was also observed that an anion-exchange separation for samples with high salt content such as blood serum can be very effective in elimination of chloride interferences by shifting the retention times of the analyte and the interfering chloride ion.

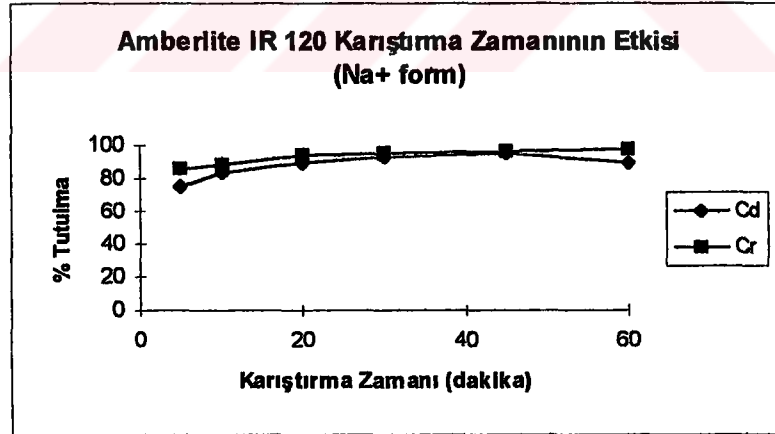
The speciation studies revealed that Se(II-) is the only oxidation state found in blood serum and the selenium concentration in serum samples taken from 10 adults are found in the range of 98.4±3.1 to 119.6±5.1 µg/L.

4.7.6.3. Karıştırma zamanı etkisi

Na⁺ ve H⁺ formundaki Amberlite IR 120 reçineden 0.1'er g'lık örnekler alındı. 50 ml, 20 ppm'lik kadmiyum ve krom çözeltileri hazırlandı (pH: 5.5) ve değişik karıştırma zamanlarında reçine ile karıştırılarak süzüldü. Çözeltide kalan kadmiyum ve krom miktarları AAS ile tayin edildi ve sonuçlar Çizelge 4.59 ve 4.60 da, kadmiyum ve krom tutulma yüzdeleri ile karıştırma zamanı arasındaki grafik Şekil 4.47 ve 4.48 de verildi.

Çizelge 4.59. Kadmiyum ve krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi(Na⁺ form)

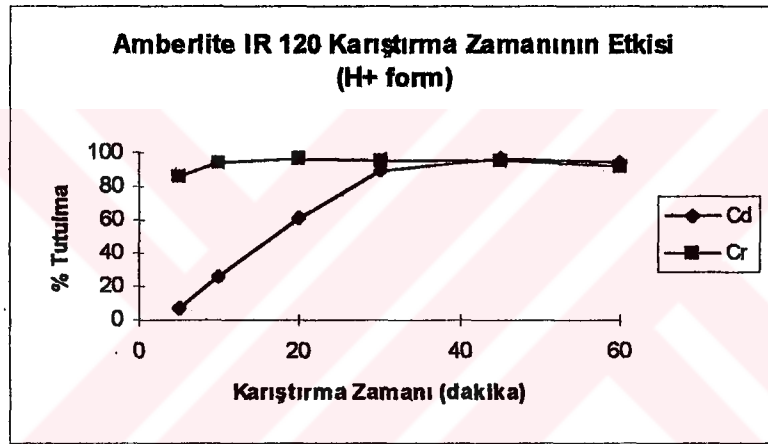
Karıştırma zamanı (dakika)	Reçinede alıkonulan % Cd ²⁺ miktarı	Reçinede alıkonulan % Cr ³⁺ miktarı
5	75.70	86.28
10	83.10	88.63
20	88.90	93.66
30	93.10	95.73
45	95.70	96.09
60	89.00	97.07



Şekil 4.47. Karıştırma zamanına bağlı olarak reçinede tutulan % Cd ve Cr

Çizelge 4.60. Kadmiyum ve krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi (H^+ formu)

Karıştırma zamanı (dakika)	Reçinede alıkonulan % Cd^{2+} miktarı	Reçinede alıkonulan % Cr^{3+} miktarı
5	6.60	86.33
10	26.30	93.72
20	61.40	95.95
30	89.30	95.01
45	96.30	94.82
60	94.30	91.37



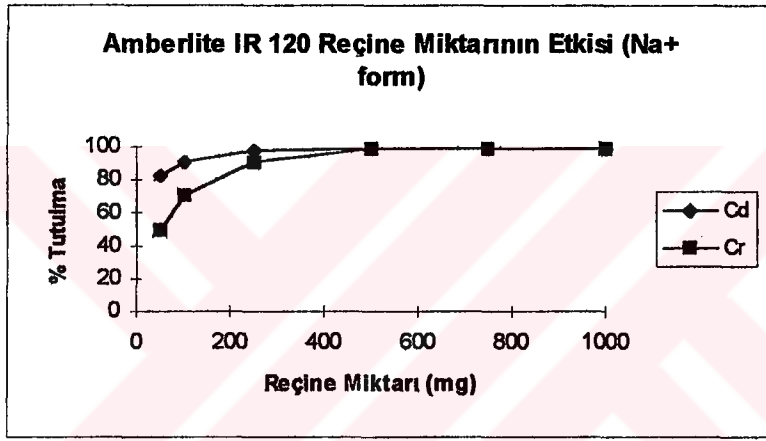
Şekil 4.48. Karıştırma zamanına bağlı olarak reçinede tutulan % Cd ve Cr

4.7.6.4. Reçine miktarı etkisi

Na^+ ve H^+ formundaki Amberlite IR 120 reçineden 50-1000 mg arası tartım alındı. 50 ml 20 ppm'lik kadmiyum ve krom çözeltileri hazırlandı (pH:5.5) ve 20 dakika süresince değişik reçine miktarları ile karıştırılarak süzüldü. Çözeltide kalan kadmiyum ve krom miktarları AAS ile tayin edildi ve sonuçlar Çizelge 4.61 ve 4.62 de, kadmiyum ve krom tutulma yüzdeleri ile reçine miktarı arasındaki grafikler ise Şekil 4.49 ve 4.50 de verildi.

Çizelge 4.61. Kadmiyum tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (Na^+ formu)

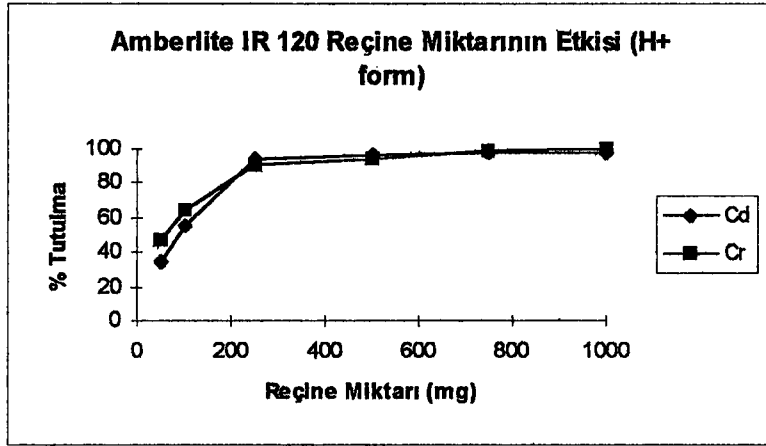
Reçine miktarı (mg)	Reçinede alıkonulan % Cd^{2+} miktarı	Reçinede alıkonulan % Cr^{3+} miktarı
50	82.00	48.85
100	90.20	70.63
250	97.40	90.75
500	98.90	98.35
750	99.10	98.80
1000	98.50	98.75



Şekil 4.49. Reçine miktarına bağlı olarak reçinede tutulan % Cd ve Cr

Çizelge 4.62. Kadmiyum tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (H^+ formu)

Reçine miktarı (mg)	Reçinede alıkonulan % Cd^{2+} miktarı	Reçinede alıkonulan % Cr^{3+} miktarı
50	34.10	47.29
100	55.00	64.65
250	94.10	91.37
500	96.90	94.68
750	97.60	99.34
1000	97.60	99.58



Şekil 4.50. Reçine miktarına bağlı olarak reçinede tutulan % Cd ve Cr

718 (zayıf katyonik), Amberlite IR 120 (kuvvetli katyonik), Amberlite IRA 402 (kuvvetli anyonik) ve Amberlite IRA 410 (kuvvetli anyonik) reçineler kullanıldı ve bunlar bölüm 4.2.2. de anlatıldığı gibi hazırlandı.

İstenilen iyonik forma geçirilmiş reçineden 10 mg reçine hızlı bir şekilde tartılarak en az bir gece, ön nemlenme ve şişerek iyon değişimini sağlayacak gruplarının açığa çıkması için içerisi yarıya kadar su dolu bir desikatörün içerisinde bekletildi. Daha sonra, önceden bahsedilen Kressman-Kitchener karıştırıcısına konularak içerisinde kinetik çalışma yapılacak, 1 L Cr^{3+} veya Cd^{2+} çözeltisi bulunan termostatlı su banyosuna bağlı olan 2 L'lik reaktöre karıştırarak daldırıldı. Belli zamanlarda örnek alınarak çözeltide azalan Cr^{3+} veya Cd^{2+} miktarları Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi ile ölçüldü.

Kinetik çalışmalarda konsantrasyon, reçine miktarı, tanecik büyüklüğü, karıştırma hızı gibi parametrelerin reaksiyon kinetiğine olan etkileri her reçine için ayrı ayrı incelendi.



4.8.1. Krom-Amberlite IRC 76 (zayıf katyonik reçine)

4.8.1.1. Konsantrasyon etkisi

Amberlite IRC 76 reçineden 10 mg bölüm 4.2.2 de anlatıldığı gibi hazırlanıp Kressman Kitchener karıştırıcısına konuldu ve içerisinde krom konsantrasyonu bilinen (5, 10, 30, 50, 75, 100, 130, 160 ppm) 1 L krom çözeltisi bulunan reaksiyon kabına 3000 rpm'de karıştırarak daldırıldı. 3 saat süresince belirli zamanlarda; 2, 6, 10, 14, 18, 22, 26, 30, 40, 50, 60, 90, 120, 150 ve 180. dakikalarda örnek alındı ve AAS deki ölçümlerde çözeltide azalan Cr miktarı bulundu. AAS'de okunan çözeltide kalan krom(III) konsantrasyonu(mg/L), reçinede alıkonulan krom(III) miktarı(mg/L) ve reçinede tutulma % leri arasındaki sonuçlar Çizelge 4.63, 4.64, 4.65, 4.66, 4.67, 4.68, 4.69, 4.70 de, başlangıçtaki krom konsantrasyonu ile reçinede krom tutulması arasındaki grafikler ise Şekil 4.51, 4.52, 4.53, 4.54, 4.55, 4.56, 4.57, 4.58 de, toplu grafik ise Şekil 4.59 da verilmiştir.

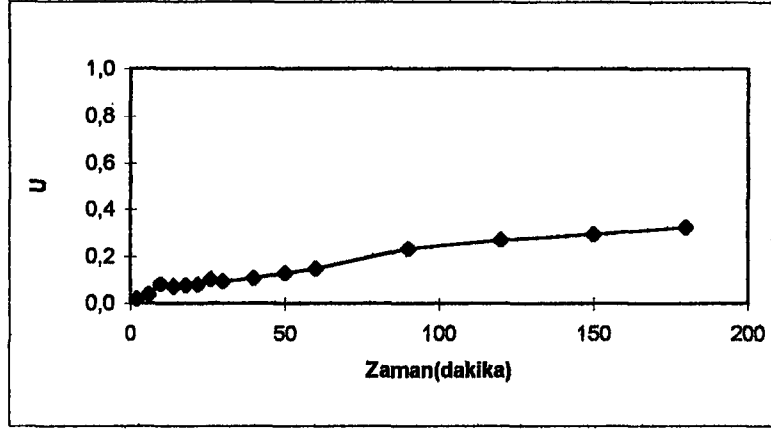
Çizelge 4.63. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (5 ppm)

Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U (U=Co-Ct/Co)	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	5.00	0.00	0.00	0.00
2	4.90	0.10	0.02	2.00
6	4.81	0.19	0.04	3.80
10	4.59	0.41	0.08	8.20
14	4.64	0.36	0.07	7.20
18	4.62	0.38	0.08	7.60
22	4.60	0.40	0.08	8.00
26	4.50	0.50	0.10	10.00
30	4.53	0.47	0.09	9.40
40	4.47	0.53	0.11	10.60
50	4.36	0.64	0.13	12.80
60	4.27	0.73	0.15	14.60
90	3.84	1.16	0.23	23.20
120	3.65	1.35	0.27	27.00
150	3.53	1.47	0.29	29.40
180	3.38	1.62	0.32	32.40

U: Dengeye fraksiyonel yaklaşım (fractional approach to equilibrium)

Co: Başlangıçtaki krom konsantrasyonu (mg/L)

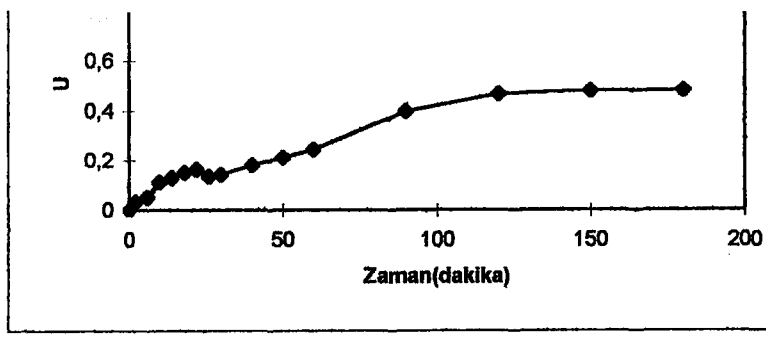
Ct: t zamanındaki krom konsantrasyonu (mg/L)



Şekil 4.51. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (5 ppm)

Çizelge 4.64. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (10 ppm)

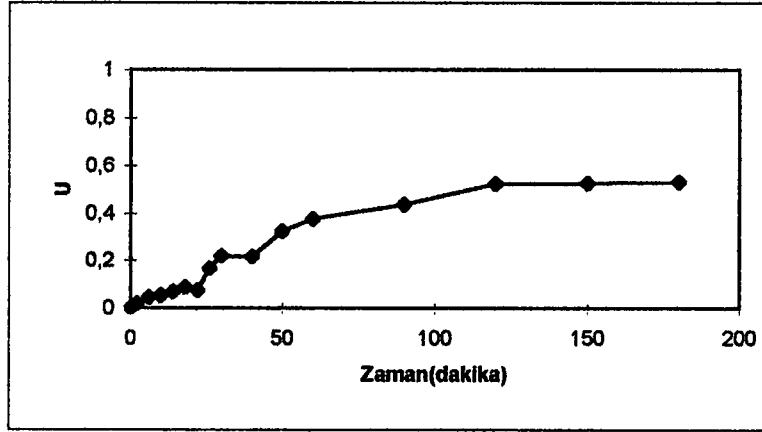
Zaman (dakika)	Çözeltilerde kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	10.00	0.00	0.00	0.00
2	9.66	0.34	0.03	3.40
6	9.49	0.51	0.05	5.10
10	8.88	1.20	0.12	12.00
14	8.71	1.29	0.13	12.90
18	8.50	1.50	0.15	15.00
22	8.38	1.62	0.16	16.20
26	8.66	1.34	0.13	13.40
30	8.59	1.41	0.14	14.10
40	8.19	1.81	0.18	18.10
50	7.89	2.11	0.21	21.10
60	7.56	2.44	0.24	24.40
90	6.01	3.99	0.40	39.90
120	5.32	4.68	0.47	46.80
150	5.21	4.79	0.48	47.90
180	5.18	4.82	0.48	48.20



Şekil 4.52. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (10 ppm)

Çizelge 4.65. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (30 ppm)

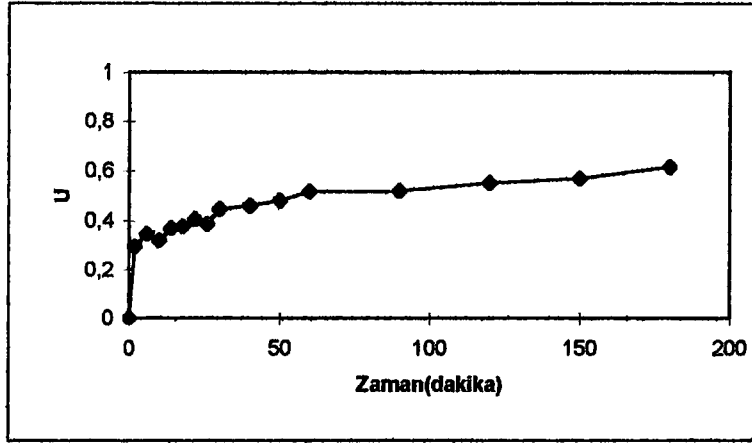
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr^{3+} miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr^{3+} miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr^{3+} miktarı
0	30.00	0.00	0.00	0.00
2	29.45	0.55	0.02	1.83
6	28.65	1.35	0.04	4.50
10	28.44	1.56	0.05	5.20
14	27.98	2.20	0.07	6.73
18	27.44	2.56	0.08	8.53
22	27.85	2.15	0.07	7.16
26	25.10	2.49	0.16	16.33
30	23.45	6.55	0.22	21.83
40	23.50	6.50	0.22	21.66
50	20.26	9.74	0.32	32.46
60	18.67	11.33	0.38	37.76
90	16.88	13.11	0.44	43.70
120	14.35	15.65	0.52	52.16
150	14.28	15.72	0.52	52.40
180	14.07	15.93	0.53	53.10



Şekil 4.53. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (30 ppm)

Çizelge 4.66. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (50 ppm)

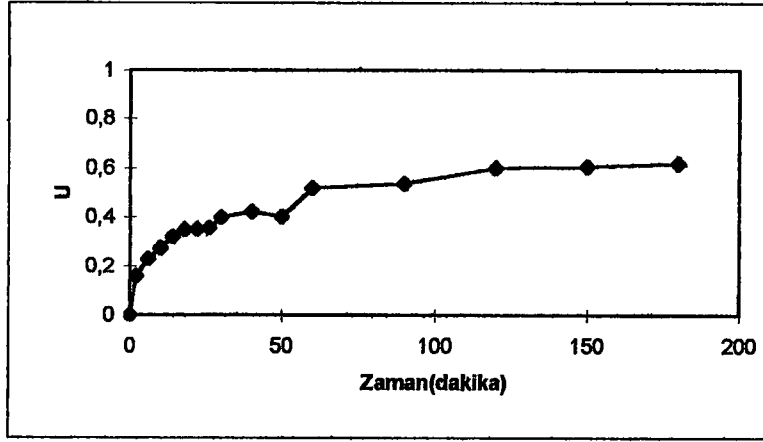
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	50,00	0,00	0,00	0,00
2	35,30	14,70	0,29	29,40
6	32,66	17,34	0,35	34,68
10	33,94	16,06	0,32	32,12
14	31,55	18,45	0,37	36,90
18	31,15	18,85	0,38	37,70
22	29,78	20,22	0,40	40,44
26	30,58	19,42	0,39	38,84
30	27,60	22,40	0,45	44,80
40	26,98	23,02	0,46	46,04
50	25,92	24,08	0,48	48,16
60	24,18	25,82	0,52	51,64
90	24,01	25,99	0,52	51,98
120	22,46	27,54	0,55	55,08
150	21,56	28,44	0,57	56,88
180	19,28	30,72	0,61	61,44



Şekil 4.54. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (50 ppm)

Çizelge 4.67. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (75 ppm)

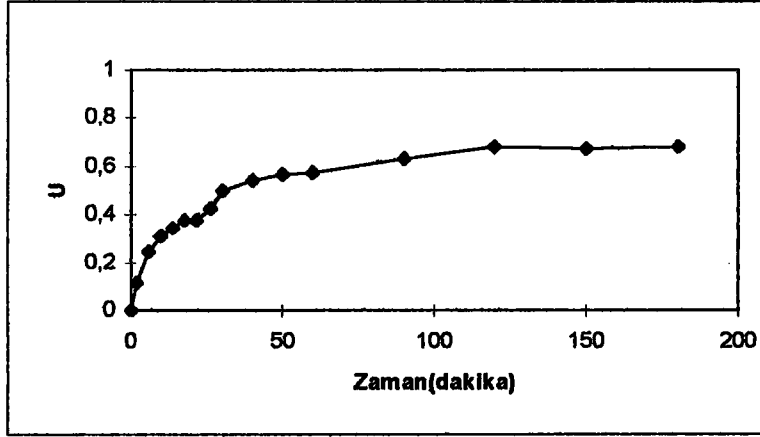
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr^{3+} miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr^{3+} miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr^{3+} miktarı
0	75.00	0.00	0.00	0.00
2	63.23	11.77	0.16	15.69
6	57.97	17.03	0.23	22.70
10	54.56	20.44	0.27	27.25
14	51.23	23.77	0.32	31.69
18	48.94	26.06	0.35	34.74
22	48.81	26.19	0.35	34.92
26	48.43	26.57	0.35	35.42
30	45.22	29.78	0.40	39.70
40	43.34	31.66	0.42	42.21
50	44.89	30.11	0.40	40.14
60	36.14	38.86	0.52	51.81
90	34.70	40.30	0.54	53.73
120	30.08	44.92	0.60	59.89
150	29.65	45.35	0.60	60.46
180	28.59	46.41	0.62	61.88



Şekil 4.55. Zamana bağı olarak reçinede tutulan Cr (75 ppm)

Çizelge 4.68. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (100 ppm)

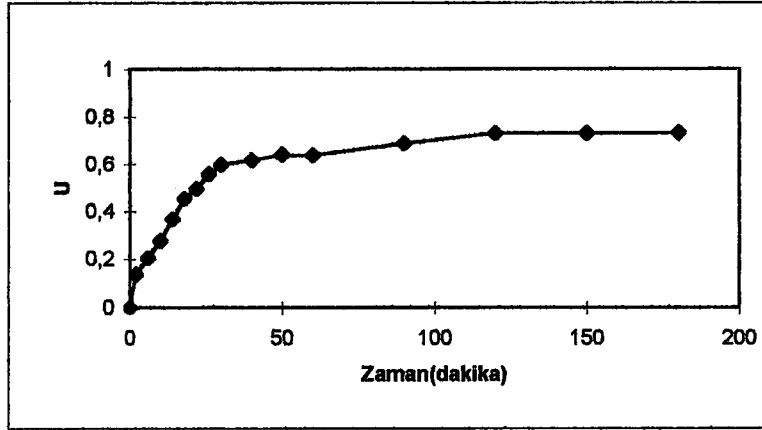
Zaman (dakika)	Çözültide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alınan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alınan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	100.00	0.00	0.00	0.00
2	88.45	11.55	0.12	11.55
6	75.23	24.77	0.25	24.77
10	68.67	31.33	0.31	31.33
14	65.45	34.55	0.35	34.55
18	62.00	38.00	0.38	38.00
22	62.08	37.92	0.38	37.92
26	57.24	42.76	0.43	42.76
30	49.82	50.18	0.50	50.18
40	46.26	53.74	0.54	53.74
50	43.50	56.50	0.56	56.50
60	42.73	57.27	0.57	57.27
90	36.75	63.25	0.63	63.25
120	32.34	67.66	0.68	67.66
150	32.42	67.58	0.68	67.58
180	31.78	68.22	0.68	68.22



Şekil 4.56. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (100 ppm)

Çizelge 4.69. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (130 ppm)

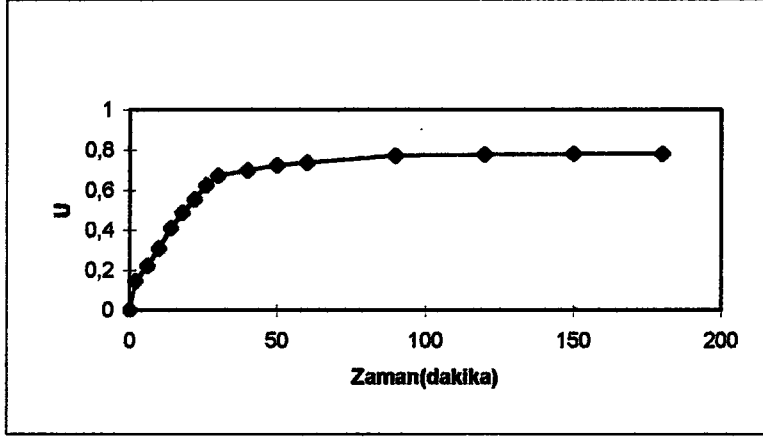
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	130.00	0.00	0.00	0.00
2	112.34	17.66	0.14	13.58
6	103.45	26.55	0.20	20.42
10	94.35	35.65	0.27	27.42
14	82.53	47.47	0.37	36.51
18	70.92	59.08	0.45	45.44
22	65.45	64.55	0.50	49.65
26	57.27	72.73	0.56	55.94
30	52.18	77.82	0.60	59.86
40	49.85	80.15	0.62	61.65
50	46.88	83.12	0.64	63.93
60	47.19	82.81	0.64	63.70
90	40.84	89.16	0.69	68.58
120	35.45	94.55	0.73	72.73
150	35.27	94.73	0.73	72.86
180	34.98	95.02	0.73	73.09



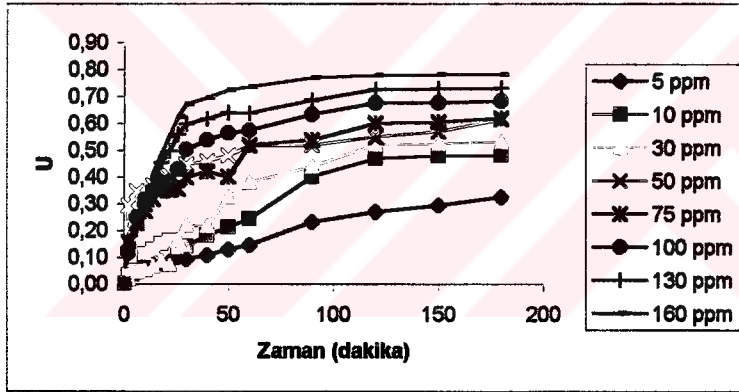
Şekil 4.57. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (130 ppm)

Çizelge 4.70. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (160 ppm)

Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	136.45	23.55	0.15	14.71
6	124.13	35.87	0.22	22.41
10	110.50	49.50	0.31	30.93
14	94.23	65.77	0.41	41.10
18	82.15	77.85	0.49	48.65
22	71.43	88.57	0.55	55.35
26	60.22	99.78	0.62	62.36
30	52.45	107.55	0.67	67.21
40	48.64	111.36	0.70	69.60
50	44.28	115.72	0.72	72.32
60	42.14	117.86	0.74	73.66
90	36.94	123.06	0.77	76.91
120	35.48	124.52	0.78	77.82
150	35.23	124.77	0.78	77.98
180	35.15	124.85	0.78	78.03



Şekil 4.58. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr(160 ppm)



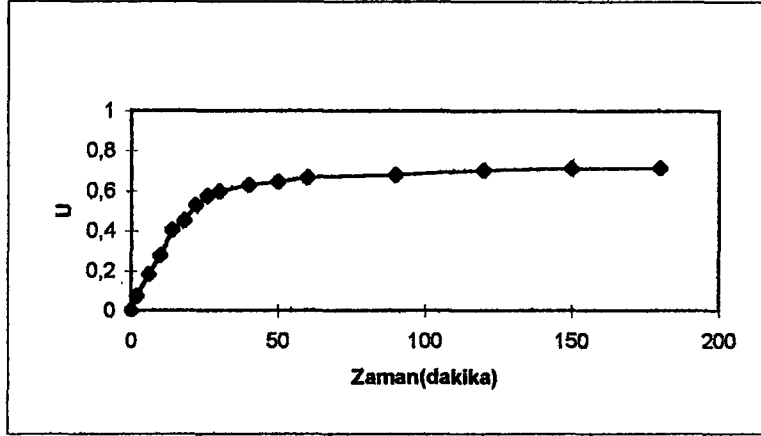
Şekil 4.59. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik)

4.8.1.2. Reçine Miktarının Etkisi

Amberlite IRC 76 reçineden belli miktarlarda (5-20 mg) yukarıda bahsedildiği gibi hazırlanıp Kressman Kitchener karıştırıcısına konuldu ve içerisinde konsantrasyonu 160 ppm, 1 L krom çözeltisi bulunan reaksiyon kabına 3000 rpm'de karıştırarak daldırıldı. 3 saat süresince belirli zamanlarda örnek alındı ve AAS deki ölçümlerde çözültide azalan Cr miktarı bulundu. Sonuçlar Çizelge 4.71 ve 4.72 de, zaman ile reçinede krom tutulması arasındaki grafikler Şekil 4.59 ve 4.60 de, toplu grafik ise Şekil 4.61 de verilmiştir.

Çizelge 4.71. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (5 mg)

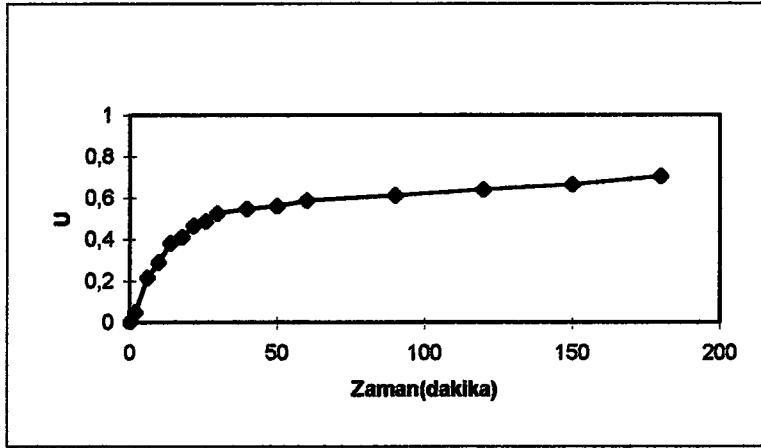
Zaman (dakika)	Çözültide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	148.52	11.48	0.07	7.17
6	130.89	29.11	0.18	18.19
10	115.60	44.40	0.28	27.75
14	95.34	64.66	0.40	40.41
18	87.66	72.34	0.45	45.21
22	75.62	84.38	0.53	52.73
26	68.20	91.80	0.57	57.37
30	64.69	95.31	0.60	59.56
40	59.42	100.58	0.63	62.86
50	56.84	103.16	0.64	64.47
60	53.63	106.37	0.66	66.48
90	51.26	108.74	0.68	67.96
120	47.95	112.05	0.70	70.03
150	46.20	113.80	0.71	71.12
180	45.79	114.21	0.71	71.38



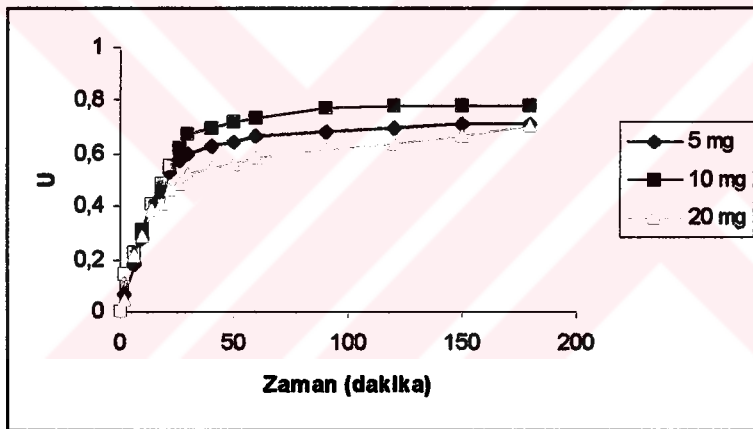
Şekil 4.59. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (5 mg)

Çizelge 4.72. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (20 mg)

Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alınan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alınan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	152.34	7.66	0.48	4.78
6	125.67	34.33	0.21	21.45
10	113.78	46.22	0.29	28.88
14	98.76	61.24	0.38	38.25
18	94.20	65.80	0.41	41.12
22	85.48	74.52	0.47	46.57
26	82.13	77.87	0.49	48.66
30	75.93	84.07	0.52	52.54
40	72.69	87.31	0.55	54.56
50	70.59	89.41	0.56	55.88
60	66.17	93.83	0.59	58.64
90	62.35	97.65	0.61	61.03
120	57.82	102.18	0.64	63.86
150	53.65	106.35	0.66	66.46
180	47.28	112.72	0.70	70.45



Şekil 4.60. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (20 mg)



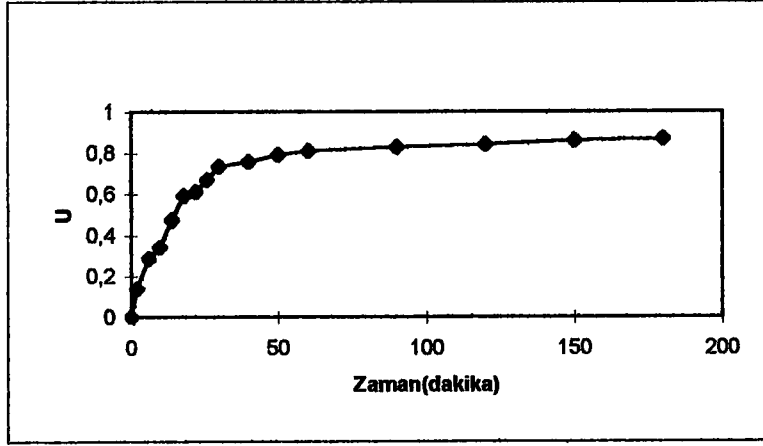
Şekil 4.61. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik)

4.8.1.3. Tanecik büyüklüğünün etkisi

Amberlite IRC 76 reçineden 10 mg, bölüm 4.2.2. de bahsedildiği gibi tanecik büyüklüklerine; 0.35, 0.71 ve 1.8 mm göre ayrılmış reçineler hazırlanıp Kressman Kitchener karıştırıcısına konuldu ve içerisinde konsantrasyonu 160 ppm, 1 L krom çözeltisi bulunan reaksiyon kabına 3000 rpm'de karıştırarak daldırıldı. 3 saat süresince belirli zamanlarda örnek alındı ve AAS deki ölçümlerde çözeltide azalan Cr miktarı bulundu. Sonuçlar Çizelge 4.73, 4.74 ve 4.75 de, zaman ile reçinede krom tutulması arasındaki grafikler ise Şekil 4.62, 4.63 ve 4.64 de, toplu grafik ise Şekil 4.65 de verilmiştir.

Çizelge 4.73. Krom tutulması üzerine tanecik büyüklüğünün etkisi (0.35 mm)

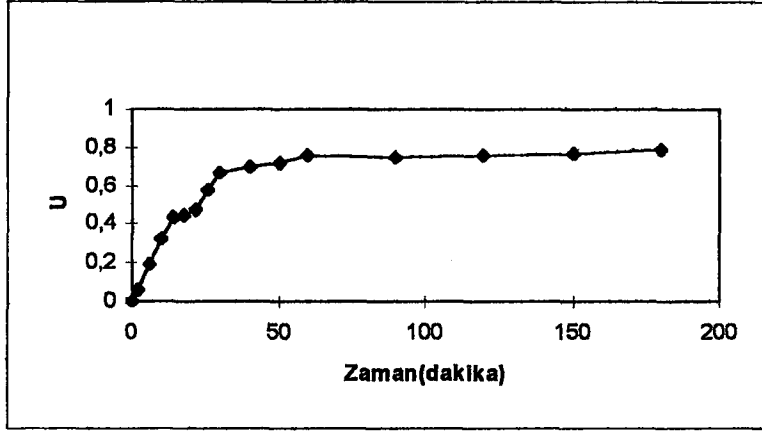
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alınan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alınan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	137.90	22.10	0.14	13.81
6	114.67	45.33	0.28	28.33
10	105.69	54.31	0.34	33.94
14	84.62	75.38	0.47	47.11
18	65.25	94.75	0.59	59.21
22	62.42	97.58	0.61	60.98
26	53.20	106.80	0.67	66.75
30	42.50	117.50	0.73	73.43
40	38.75	121.25	0.76	75.78
50	33.64	126.36	0.79	78.97
60	30.30	129.70	0.81	81.06
90	27.54	132.46	0.83	82.78
120	25.35	134.65	0.84	84.15
150	22.41	137.59	0.86	85.99
180	21.14	138.86	0.87	86.78



Şekil 4.62. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (0.35 mm)

Çizelge 4.74. Krom tutulması üzerine tanecik büyüklüğünün etkisi (0.71 mm)

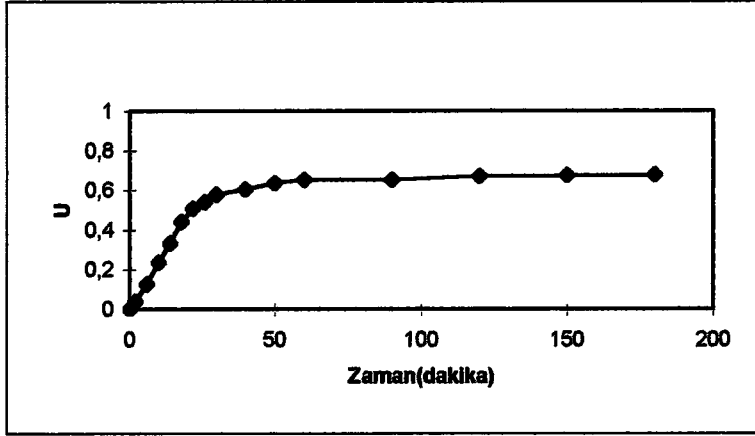
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	150.57	9.43	0.06	5.89
6	129.87	30.13	0.19	18.83
10	108.65	51.35	0.32	32.09
14	90.41	69.59	0.44	43.49
18	88.43	71.57	0.45	44.73
22	84.54	75.46	0.47	47.16
26	67.95	92.05	0.58	57.53
30	53.69	106.31	0.66	66.44
40	48.60	111.40	0.70	69.62
50	45.31	114.69	0.72	71.68
60	38.56	121.44	0.76	75.90
90	40.03	119.97	0.75	74.98
120	38.82	121.18	0.76	75.73
150	36.74	123.26	0.77	77.03
180	34.51	125.49	0.78	78.43



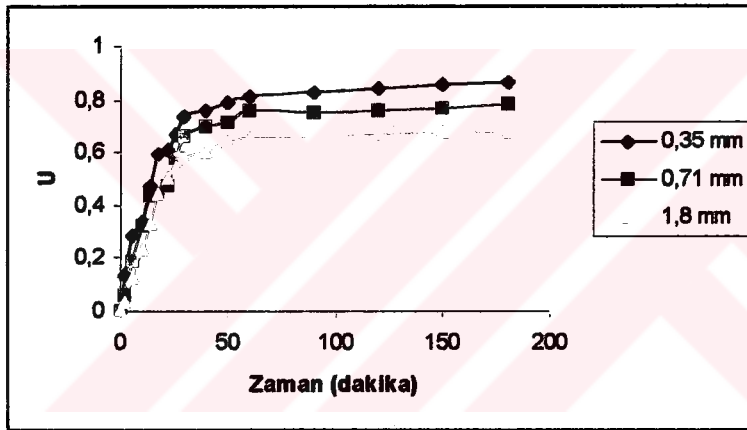
Şekil 4.63. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (0.71 mm)

Çizelge 4.75. Krom tutulması üzerine tanecik büyüklüğünün etkisi (1.8 mm)

Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr^{3+} miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr^{3+} miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr^{3+} miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	153.78	6.22	0.04	3.89
6	139.87	20.13	0.13	12.58
10	122.42	37.58	0.23	23.49
14	106.81	53.19	0.33	33.24
18	89.60	70.40	0.44	44.00
22	78.95	81.05	0.51	50.66
26	73.45	86.55	0.54	54.09
30	67.64	92.36	0.58	57.73
40	63.40	96.60	0.60	60.38
50	58.26	101.74	0.64	63.59
60	55.55	104.45	0.65	65.28
90	55.46	104.54	0.65	65.34
120	52.39	107.61	0.67	67.26
150	52.07	107.93	0.67	67.46
180	51.35	108.65	0.68	67.91



Şekil 4.64. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (1.8 mm)



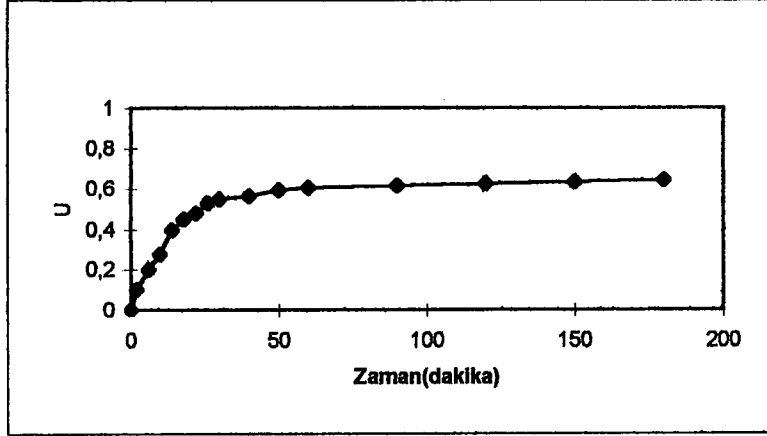
Şekil 4.65. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik)

4.8.1.4. Karıştırma Hızının Etkisi

Amberlite IRC 76 reçineden 10 mg bölüm 4.4.2. de bahsedildiği gibi hazırlanıp Kressman Kitchener karıştırıcısına konuldu ve içerisinde konsantrasyonu 160 ppm olan, 1 L krom çözeltisi bulunan reaksiyon kabına değişik hızlarda (1000-3500 rpm) karıştırarak daldırıldı. 3 saat süresince belirli zamanlarda örnek alındı ve AAS deki ölçümlerde çözeltide azalan Cr miktarı bulundu. Sonuçlar Çizelge 4.76, 4.77, 4.78 ve 4.79 da ve zaman ile reçinede krom tutulması arasındaki grafikler Şekil 4.66, 4.67, 4.68 ve 4.69 da, toplu grafik ise Şekil 4.70 de verilmiştir.

Çizelge 4.76. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (1000 rpm)

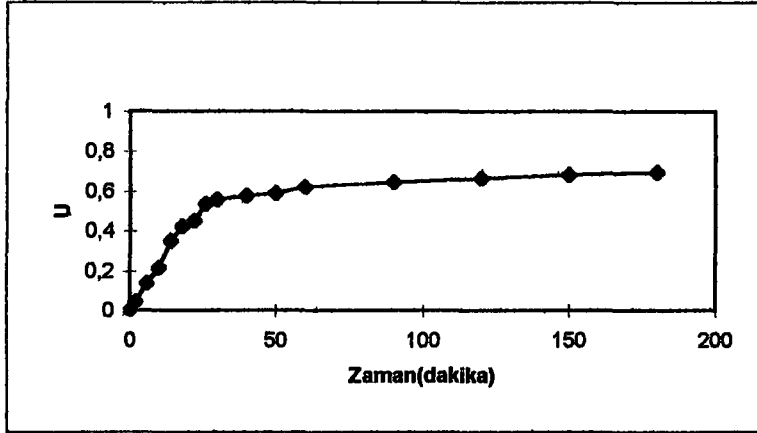
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alınan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alınılan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	143.78	16.22	0.10	10.14
6	128.38	31.62	0.20	19.76
10	116.00	44.00	0.27	27.50
14	96.45	63.55	0.40	39.72
18	87.96	72.04	0.45	45.03
22	83.62	76.38	0.48	47.74
26	75.67	84.33	0.53	52.71
30	72.34	87.66	0.55	54.79
40	69.75	90.25	0.56	56.41
50	65.43	94.57	0.59	59.11
60	63.20	96.80	0.60	60.50
90	61.72	98.28	0.61	61.43
120	60.51	99.49	0.62	62.18
150	58.65	101.35	0.63	63.34
180	57.23	102.77	0.64	64.23



Şekil 4.66. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (1000 rpm)

Çizelge 4.77. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (1500 rpm)

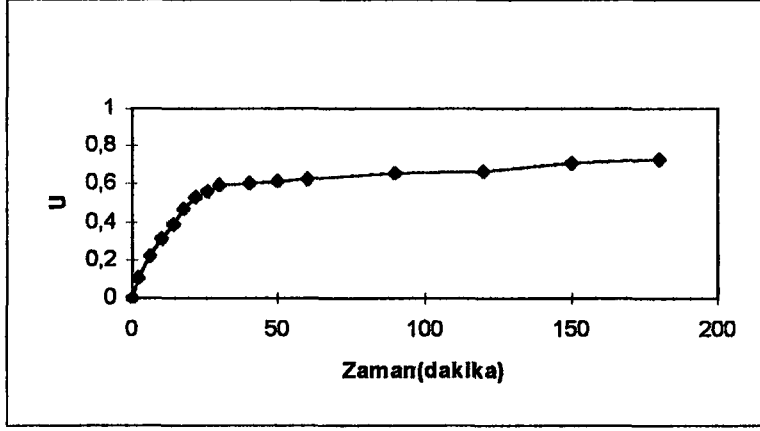
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	152.90	7.10	0.04	4.44
6	137.69	22.31	0.14	13.94
10	125.63	34.37	0.21	21.48
14	103.84	56.16	0.35	35.10
18	92.34	67.66	0.42	42.29
22	87.65	72.35	0.45	45.22
26	74.32	85.68	0.54	53.55
30	70.82	89.18	0.56	55.74
40	67.69	92.31	0.58	57.69
50	65.41	94.59	0.59	59.12
60	60.52	99.48	0.62	62.18
90	56.65	103.35	0.65	64.59
120	53.70	106.30	0.66	66.44
150	50.41	109.59	0.68	68.49
180	48.52	111.48	0.70	69.68



Şekil 4.67. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (1500 rpm)

Çizelge 4.78. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (2000 rpm)

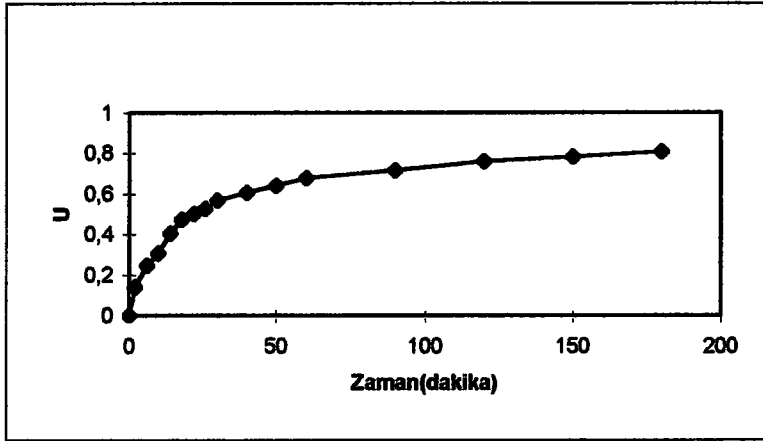
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	143.65	16.35	0.10	10.22
6	125.70	34.30	0.21	21.44
10	110.54	49.46	0.31	30.91
14	98.65	61.35	0.38	38.34
18	84.82	75.18	0.47	46.99
22	75.80	84.20	0.53	52.63
26	69.25	90.75	0.57	56.72
30	65.37	94.63	0.59	59.14
40	63.44	96.56	0.60	60.35
50	61.25	98.75	0.61	61.72
60	59.94	100.06	0.62	62.54
90	55.23	104.77	0.65	65.48
120	53.41	106.59	0.66	66.62
150	46.37	113.63	0.71	71.02
180	42.84	117.16	0.73	73.23



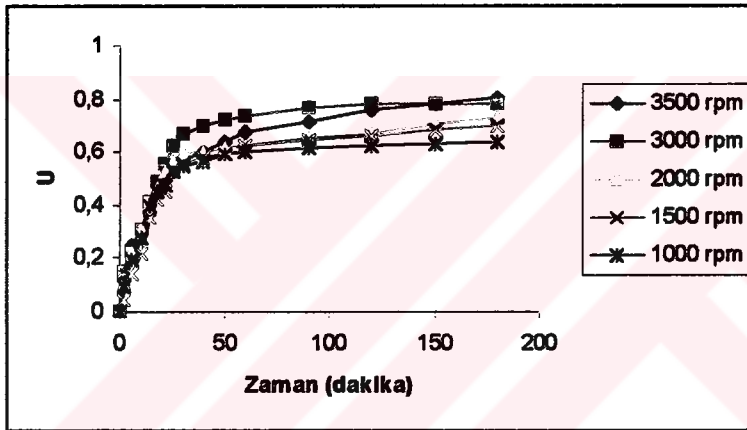
Şekil 4.68. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (2000 rpm)

Çizelge 4.79. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (3500 rpm)

Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	137.68	22.32	0.14	13.95
6	120.49	39.51	0.25	24.69
10	110.81	49.19	0.30	30.74
14	95.63	64.37	0.40	40.23
18	84.35	75.65	0.47	47.28
22	79.73	80.27	0.50	50.17
26	75.62	84.38	0.53	52.74
30	68.92	91.08	0.57	56.93
40	63.16	96.84	0.61	60.53
50	57.57	102.43	0.64	64.02
60	51.70	108.30	0.68	67.69
90	45.61	114.39	0.71	71.49
120	38.20	121.80	0.76	76.13
150	34.68	125.32	0.78	78.33
180	30.86	129.14	0.81	80.71



Şekil 4.69. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (3500 rpm)



Şekil 4.70. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik)

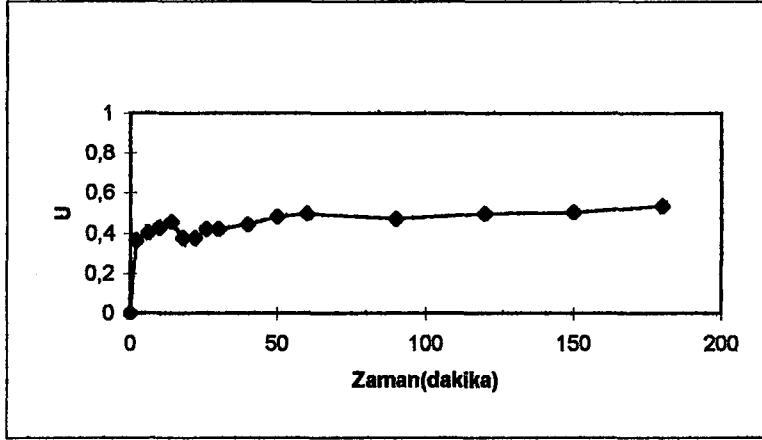
4.8.2. Amberlite IRC 718 (zayıf katyonik reçine)

4.8.2.1. Konsantrasyon etkisi

Amberlite IRC 718 reçineden 10 mg bölüm 4.2.2. de bahsedildiği gibi hazırlanıp Kressman Kitchener karıştırıcısına konuldu ve içerisinde krom konsantrasyonu bilinen (5-160 ppm) 1 L krom çözeltisi bulunan reaksiyon kabına 3000 rpm'de karıştırarak daldırıldı. 3 saat süresince belirli zamanlarda örnek alındı ve AAS deki ölçümlerde çözeltide azalan Cr miktarı bulundu. Sonuçlar Çizelge 4.80, 4.81, 4.82, 4.83, 4.84 ve 4.85 de, zaman ile reçinede krom tutulması arasındaki grafikler Şekil 4.71, 4.72, 4.73, 4.74, 4.75 ve 4.76 da, toplu grafik Şekil 4.77 de verilmiştir.

Çizelge 4.80. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (5 ppm)

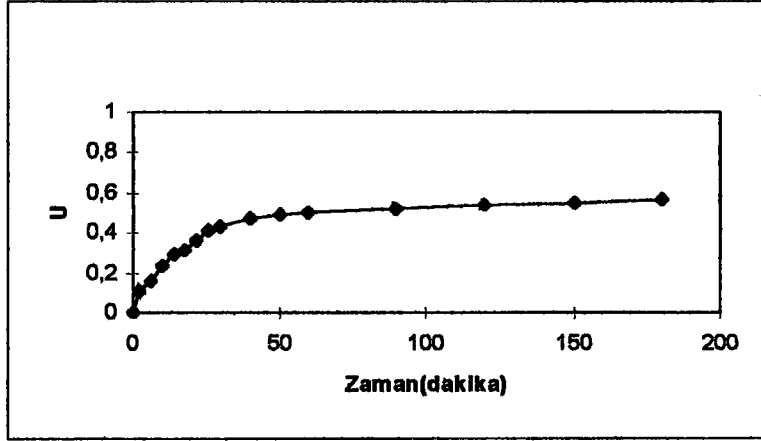
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alınan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alınılan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	5.00	0.00	0.00	0.00
2	3.19	1.81	0.36	36.26
6	2.99	2.01	0.40	40.18
10	2.86	2.14	0.43	42.84
14	2.72	2.28	0.46	45.52
18	3.12	1.88	0.38	37.66
22	3.12	1.88	0.38	37.66
26	2.89	2.11	0.42	42.16
30	2.89	2.11	0.42	42.24
40	2.78	2.22	0.44	44.42
50	2.60	2.40	0.48	48.02
60	2.51	2.49	0.50	49.74
90	2.64	2.37	0.47	47.30
120	2.52	2.48	0.50	49.60
150	2.49	2.51	0.50	50.16
180	2.33	2.67	0.53	53.40



Şekil 4.71. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (5 ppm)

Çizelge 4.81. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (10 ppm)

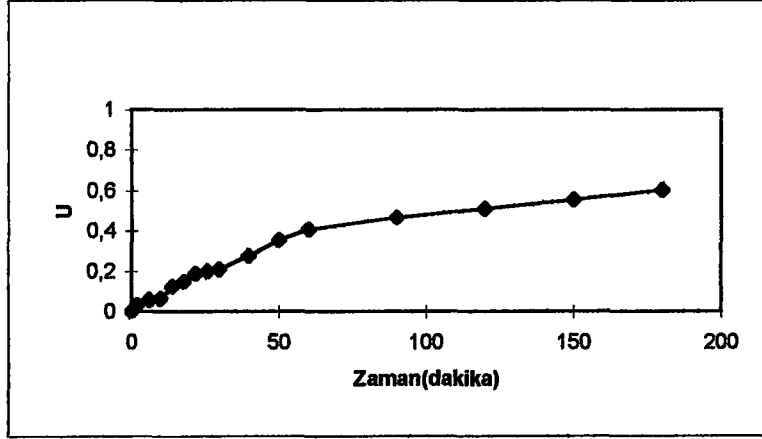
Zaman (dakika)	Çözültide kalan Cr^{3+} miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr^{3+} miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr^{3+} miktarı
0	10,00	0,00	0,00	0,00
2	8,93	1,07	0,11	10,66
6	8,46	1,54	0,15	15,44
10	7,65	2,35	0,23	23,50
14	7,02	2,98	0,30	29,77
18	6,82	3,18	0,32	31,79
22	6,35	3,65	0,37	36,51
26	5,84	4,16	0,42	41,63
30	5,65	4,36	0,44	43,55
40	5,26	4,74	0,47	47,43
50	5,10	4,90	0,49	48,98
60	5,00	5,00	0,50	50,02
90	4,82	5,18	0,52	51,77
120	4,65	5,36	0,54	53,55
150	4,48	5,52	0,55	55,22
180	4,36	5,64	0,56	56,38



Şekil 4.72. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (10 ppm)

Çizelge 4.82. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (50 ppm)

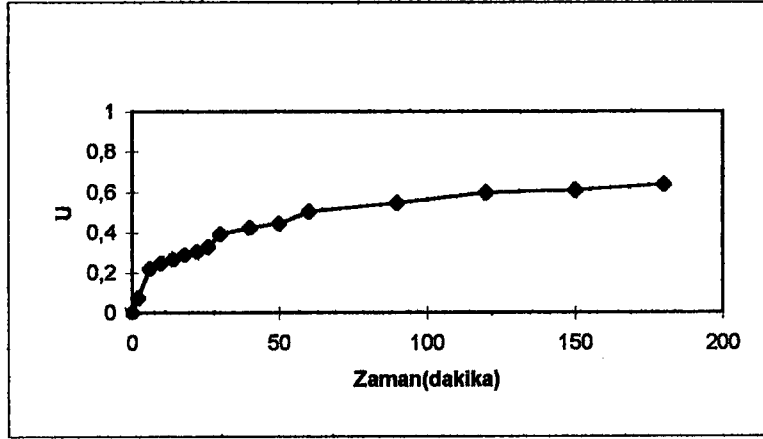
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alınan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alınan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	50.00	0.00	0.00	0.00
2	48.39	1.61	0.03	3.22
6	47.09	2.91	0.06	5.82
10	46.92	3.08	0.06	6.16
14	43.79	6.21	0.12	12.42
18	42.59	7.41	0.15	14.82
22	40.75	9.25	0.19	18.50
26	40.11	9.89	0.20	19.78
30	39.62	10.38	0.21	20.76
40	36.25	13.75	0.27	27.50
50	32.37	17.63	0.35	35.26
60	29.63	20.37	0.41	40.74
90	26.65	23.35	0.47	46.70
120	24.42	25.58	0.51	51.16
150	22.30	27.70	0.55	55.40
180	19.95	30.05	0.60	60.10



Şekil 4.73. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (50 ppm)

Çizelge 4.83. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (75 ppm)

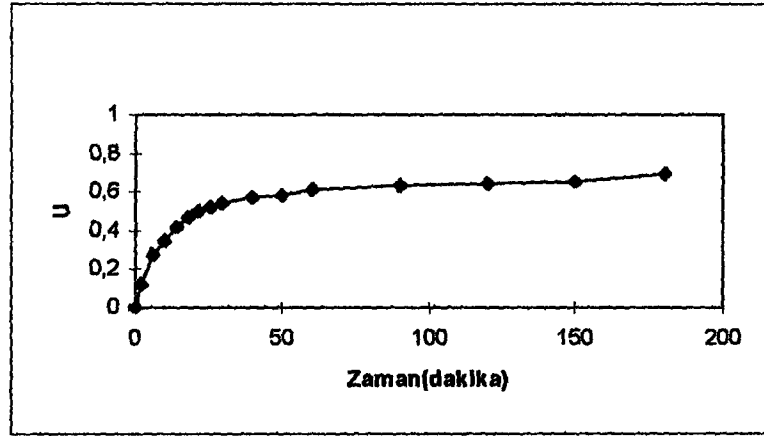
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	75.00	0.00	0.00	0.00
2	69.45	5.55	0.07	7.40
6	58.77	16.23	0.22	21.64
10	56.63	18.37	0.24	24.49
14	55.10	19.90	0.27	26.53
18	53.45	21.55	0.29	28.73
22	52.18	22.82	0.30	30.43
26	50.37	24.63	0.33	32.84
30	45.65	29.35	0.39	39.13
40	43.28	31.72	0.42	42.29
50	41.61	33.39	0.44	44.52
60	37.23	37.77	0.50	50.36
90	34.04	40.96	0.55	54.61
120	30.27	44.73	0.60	59.64
150	29.45	45.55	0.61	60.73
180	27.12	47.88	0.64	63.84



Şekil 4.74. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (75 ppm)

Çizelge 4.84. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (100 ppm)

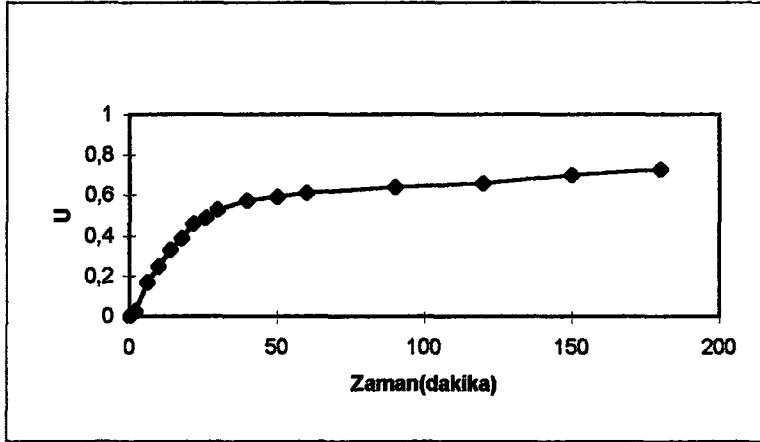
Zaman (dakika)	Çözültide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	100.00	0.00	0.00	0.00
2	88.08	11.92	0.12	11.92
6	72.95	27.05	0.27	27.05
10	65.40	34.60	0.35	34.60
14	57.87	42.13	0.42	42.13
18	53.28	46.72	0.47	46.72
22	49.91	50.09	0.50	50.09
26	47.73	52.27	0.52	52.27
30	45.68	54.32	0.54	54.32
40	43.27	56.73	0.57	56.73
50	41.38	58.62	0.59	58.62
60	39.12	60.88	0.61	60.88
90	36.69	63.31	0.63	63.31
120	35.78	64.22	0.64	64.22
150	34.27	65.73	0.66	65.73
180	30.61	69.39	0.69	69.39



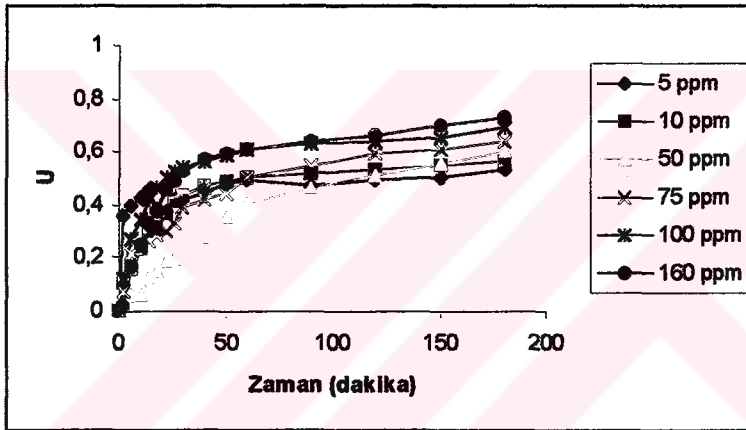
Şekil 4.75. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan % Cr (100 ppm)

Çizelge 4.85. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (160 ppm)

Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr^{3+} miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr^{3+} miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr^{3+} miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	156.03	3.97	0.02	2.48
6	133.27	26.73	0.17	16.71
10	120.35	39.65	0.25	24.78
14	107.49	52.51	0.33	32.82
18	98.45	61.55	0.38	38.47
22	86.56	73.44	0.50	45.90
26	82.18	77.82	0.49	48.64
30	75.41	84.59	0.53	52.87
40	68.53	91.47	0.57	57.17
50	65.12	94.88	0.59	59.30
60	62.48	97.52	0.61	60.95
90	57.70	102.30	0.64	63.94
120	54.55	105.45	0.66	65.91
150	48.33	111.67	0.70	69.79
180	43.52	116.48	0.73	72.80



Şekil 4.76. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (160 ppm)



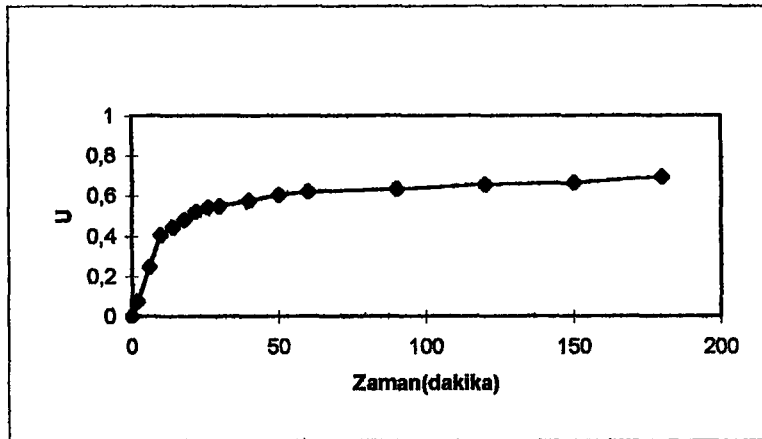
Şekil 4.77. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik)

4.8.2.2. Reçine miktarının etkisi

Amberlite IRC 718 reçineden belli miktarlarda (5-20 mg) bölüm 4.2.2. de bahsedildiği gibi hazırlanıp Kressman Kitchener karıştırıcısına konuldu ve içerisinde konsantrasyonu 160 ppm, 1 L krom çözeltisi bulunan reaksiyon kabına 3000 rpm'de karıştırarak daldırıldı. 3 saat süresince belirli zamanlarda örnek alındı ve AAS deki ölçümlerde çözeltide azalan Cr miktarı bulundu. Sonuçlar Çizelge 4.86 ve 4.87 de, zaman ile reçinede krom tutulması arasındaki grafikler Şekil 4.78 ve 4.79 da, toplu grafik Şekil 4.80 de verilmiştir.

Çizelge 4.86. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (5 mg)

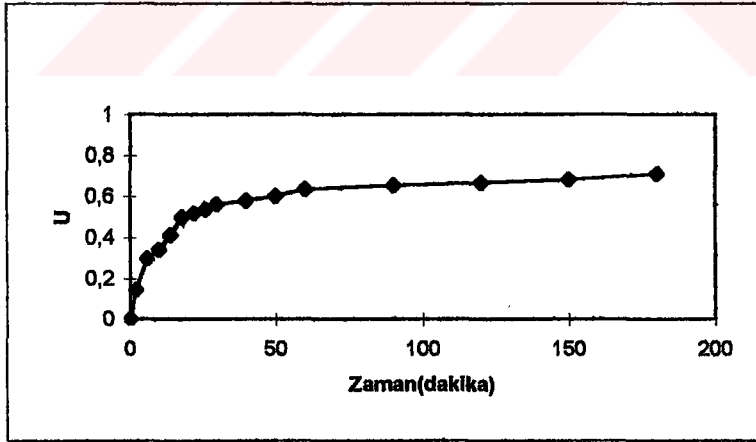
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alınan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alınan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	147.69	12.31	0.07	7.69
6	120.42	39.58	0.25	24.74
10	95.26	64.74	0.40	40.46
14	88.94	71.06	0.44	44.41
18	83.18	76.82	0.48	48.01
22	76.27	83.73	0.52	52.33
26	73.65	86.35	0.54	53.97
30	72.23	87.77	0.55	54.86
40	67.75	92.25	0.58	57.66
50	63.30	96.70	0.60	60.44
60	60.95	99.05	0.62	61.91
90	58.71	101.29	0.63	63.31
120	55.27	104.73	0.65	65.46
150	53.49	106.51	0.67	66.57
180	49.25	110.75	0.69	69.22



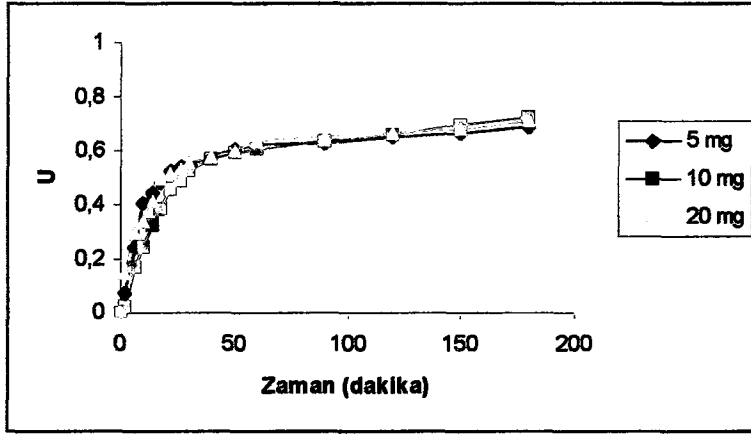
Şekil 4.78. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (5 mg)

Çizelge 4.87. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (20 mg)

Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alınan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alınılan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	136.82	23.18	0.14	14.49
6	112.67	47.33	0.30	29.58
10	105.39	54.61	0.34	34.13
14	94.20	65.80	0.41	41.13
18	80.31	79.69	0.50	49.81
22	77.59	82.41	0.52	51.51
26	74.68	85.32	0.53	53.33
30	70.65	89.35	0.56	55.84
40	67.39	92.61	0.58	57.88
50	64.19	95.81	0.60	59.88
60	58.25	101.75	0.64	63.59
90	55.49	104.51	0.65	65.32
120	53.72	106.28	0.66	66.43
150	50.98	109.02	0.68	68.14
180	46.52	113.48	0.71	70.93



Şekil 4.79. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (20 mg)



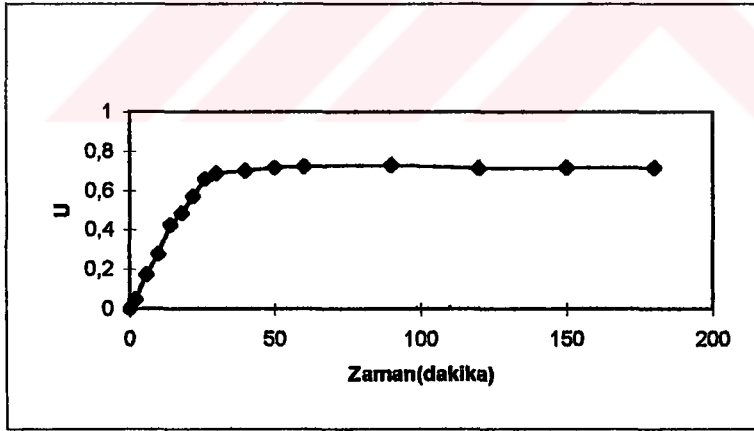
Şekil 4.80. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik)

4.8.2.3. Tanecik büyüklüğünün etkisi

Amberlite IRC 718 reçineden 10 mg, bölüm 4.2.2.de bahsedildiği gibi tanecik büyüklüklerine (0.35-1.8 mm) göre ayrılmış reçineler hazırlanıp Kressman Kitchener karıştırıcısına konuldu ve içerisinde konsantrasyonu 160 ppm, 1 L krom çözeltisi bulunan reaksiyon kabına 3000 rpm'de karıştırarak daldırıldı. 3 saat süresince belirli zamanlarda örnek alındı ve AAS deki ölçümlerde çözeltide azalan Cr miktarı bulundu. Sonuçlar Çizelge 4.88, 4.89 ve 4.90 da, zaman ile reçinede krom tutulma arasındaki grafikler Şekil 4.81, 4.82 ve 4.83 de, toplu grafik Şekil 4.84 de verilmiştir.

Çizelge 4.88. Krom tutulması üzerine tanecik büyüklüğünün etkisi (0.35 mm)

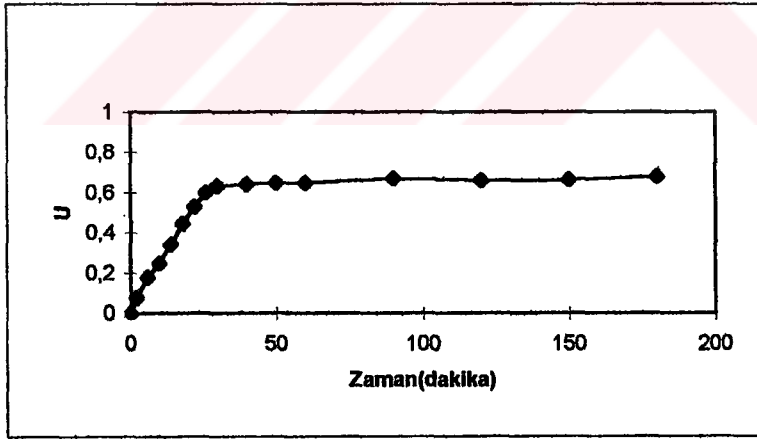
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alınan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alınan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	152.56	7.44	0.05	4.65
6	132.67	27.33	0.17	17.08
10	115.86	44.14	0.28	27.59
14	92.35	67.65	0.42	42.28
18	82.43	77.57	0.48	48.48
22	68.65	91.35	0.57	57.09
26	54.43	105.57	0.66	65.98
30	49.76	110.24	0.69	68.90
40	47.89	112.11	0.70	70.07
50	45.13	114.87	0.72	71.79
60	44.48	115.52	0.72	72.20
90	43.34	116.66	0.73	72.91
120	46.01	113.99	0.71	71.24
150	45.27	114.73	0.72	71.71
180	45.18	114.82	0.72	71.76



Şekil 4.81 Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (0.35 mm)

Çizelge 4.89. Krom tutulması üzerine tanecik büyüklüğünün etkisi (0.71 mm)

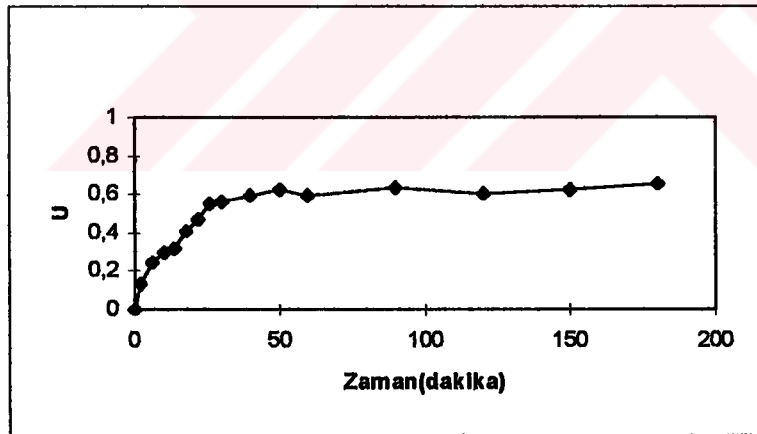
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alınan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alınılan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	147.94	12.06	0.08	7.54
6	131.80	28.20	0.18	17.63
10	120.54	39.46	0.25	24.66
14	105.32	54.68	0.34	34.18
18	88.64	71.36	0.45	44.60
22	75.32	84.68	0.53	52.93
26	63.91	96.09	0.60	60.06
30	58.94	101.06	0.63	63.16
40	57.45	102.55	0.64	64.09
50	56.75	103.25	0.65	64.53
60	56.37	103.63	0.65	64.77
90	52.91	107.09	0.67	66.93
120	54.26	105.74	0.66	66.09
150	53.88	106.12	0.66	66.33
180	51.38	108.62	0.68	67.89



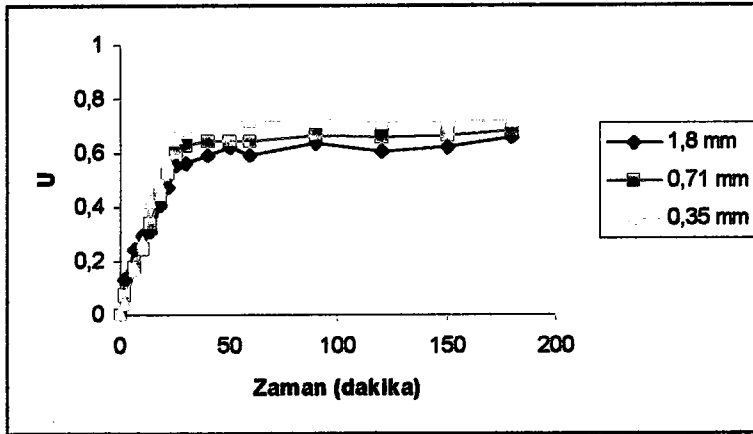
Şekil 4.82. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (0.71 mm)

Çizelge 4.90. Krom tutulması üzerine tanecik büyüklüğünün etkisi (1.8 mm)

Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alınan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alınan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	138.70	21.30	0.13	13.31
6	120.86	39.14	0.24	24.46
10	112.52	47.48	0.30	29.68
14	109.64	50.36	0.31	31.48
18	95.35	64.65	0.40	40.41
22	84.68	75.32	0.47	47.08
26	71.35	88.65	0.55	55.41
30	69.63	90.37	0.56	56.48
40	64.70	95.30	0.60	59.56
50	59.98	100.02	0.63	62.51
60	65.42	94.58	0.59	59.11
90	58.46	101.54	0.63	63.46
120	63.39	96.61	0.60	60.38
150	60.14	99.86	0.62	62.41
180	55.07	104.93	0.66	65.58



Şekil 4.83. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (1.8 mm)



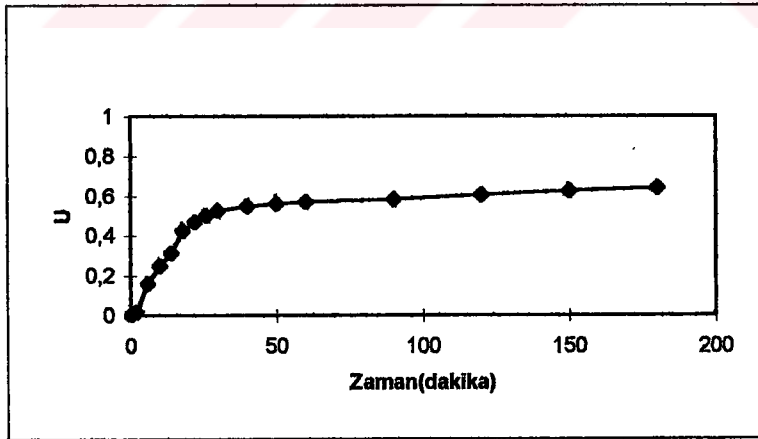
Şekil 4.84. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik)

4.8.2.4. Karıştırma hızının etkisi

Amberlite IRC 718 reçineden 10 mg bölüm 4.2.2 de bahsedildiği gibi hazırlanıp Kressman Kitchener karıştırıcısına konuldu ve içerisinde konsantrasyonu 160 ppm olan, 1 L krom çözeltisi bulunan reaksiyon kabına değişik hızlarda (1000-3500 rpm) karıştırarak daldırıldı. 3 saat süresince belirli zamanlarda örnek alındı ve AAS deki ölçümlerde çözeltide azalan Cr miktarı bulundu. Sonuçlar Çizelge 4.91, 4.92, 4.93 ve 4.94 de, zaman ile reçinede krom tutulma arasındaki grafikler Şekil 4.85, 4.86, 4.87 ve 4.88 de, toplu grafik Şekil 4.89 da verilmiştir.

Çizelge 4.91. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (1000 rpm)

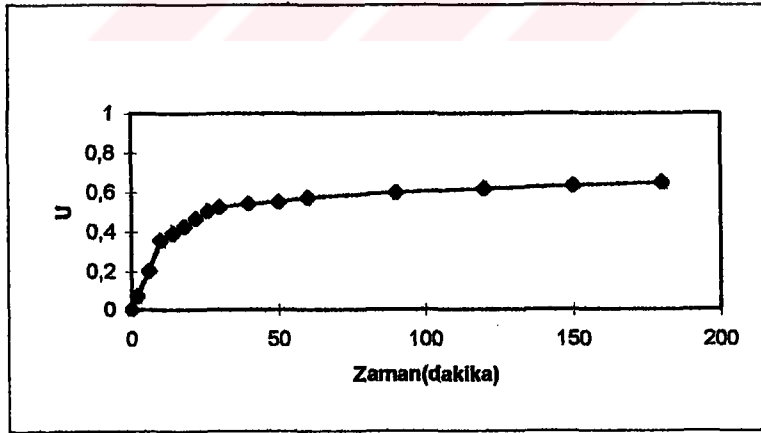
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alınan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alınmış (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	157.50	2.50	0.02	1.56
6	134.56	25.44	0.16	15.90
10	120.49	39.51	0.25	24.69
14	109.83	50.17	0.31	31.36
18	92.31	67.69	0.42	42.31
22	85.35	74.65	0.47	46.66
26	80.17	79.83	0.50	49.89
30	76.05	83.95	0.52	52.47
40	72.22	87.78	0.55	54.86
50	70.45	89.55	0.56	55.97
60	68.98	91.02	0.57	56.89
90	66.75	93.25	0.58	58.28
120	63.23	96.77	0.60	60.48
150	60.25	99.75	0.62	62.34
180	57.37	102.63	0.64	64.14



Şekil 4.85. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (1000 rpm)

Çizelge 4.92. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (1500 rpm)

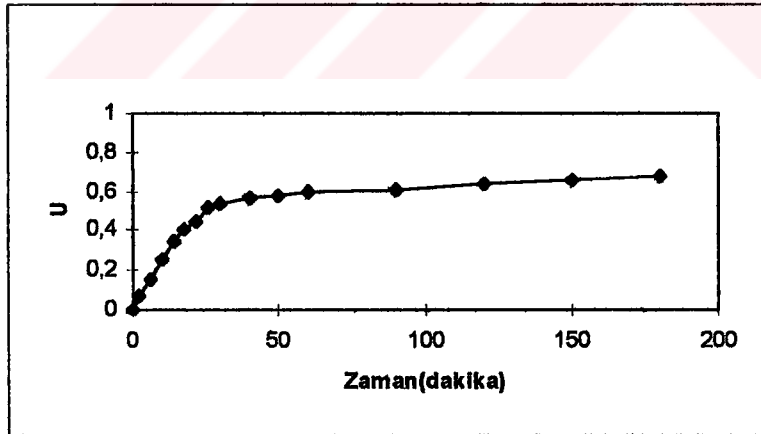
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	148.37	11.63	0.07	7.27
6	127.54	32.46	0.20	20.29
10	103.46	56.54	0.35	35.34
14	97.90	62.10	0.39	38.81
18	92.13	67.87	0.42	42.42
22	85.45	74.55	0.47	46.59
26	79.34	80.66	0.50	50.41
30	76.65	83.35	0.52	52.09
40	73.40	86.60	0.54	54.13
50	71.69	88.31	0.55	55.19
60	68.34	91.66	0.57	57.29
90	64.27	95.73	0.60	59.83
120	61.29	98.71	0.62	61.69
150	58.75	101.25	0.63	63.28
180	56.21	103.79	0.65	64.87



Şekil 4.86. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (1500 rpm)

Çizelge 4.93. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (2000 rpm)

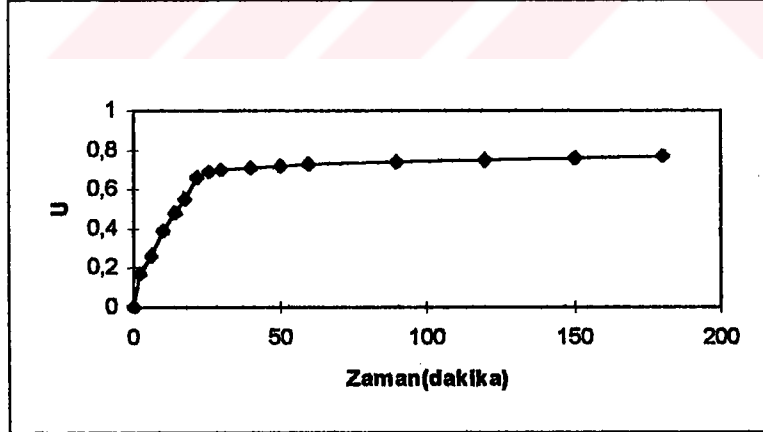
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alınan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alınmış (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	148.56	11.44	0.07	7.15
6	135.39	24.61	0.15	15.38
10	120.36	39.64	0.25	24.78
14	104.69	55.31	0.35	34.57
18	95.75	64.25	0.40	40.16
22	88.41	71.59	0.45	44.74
26	77.53	82.47	0.52	51.54
30	74.05	85.95	0.54	53.72
40	69.48	90.52	0.57	56.58
50	67.23	92.77	0.58	57.98
60	64.50	95.50	0.60	59.69
90	62.24	97.76	0.61	61.10
120	57.49	102.51	0.64	64.07
150	54.28	105.72	0.66	66.08
180	51.65	108.35	0.68	67.72



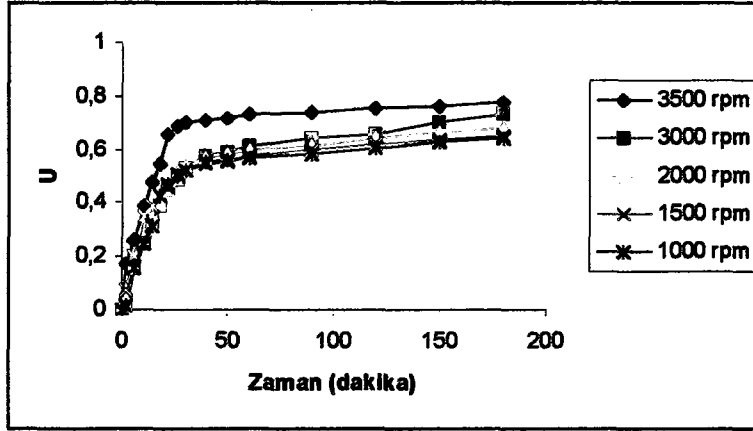
Şekil 4.87. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (2000 rpm)

Çizelge 4.94. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (3500 rpm)

Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alınan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alınan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	132.54	27.46	0.17	17.16
6	118.24	41.76	0.26	26.10
10	97.65	62.35	0.39	38.97
14	83.27	76.73	0.48	47.96
18	72.68	87.32	0.55	54.58
22	54.96	105.04	0.66	65.65
26	49.71	110.29	0.69	68.93
30	47.67	112.33	0.70	70.21
40	46.95	113.05	0.71	70.66
50	44.81	115.19	0.72	71.99
60	43.27	116.73	0.73	72.96
90	41.60	118.40	0.74	74.00
120	39.23	120.77	0.75	75.48
150	38.67	121.33	0.76	75.83
180	36.22	123.78	0.77	77.36



Şekil 4.88. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (3500 rpm)



Şekil 4.89. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik)

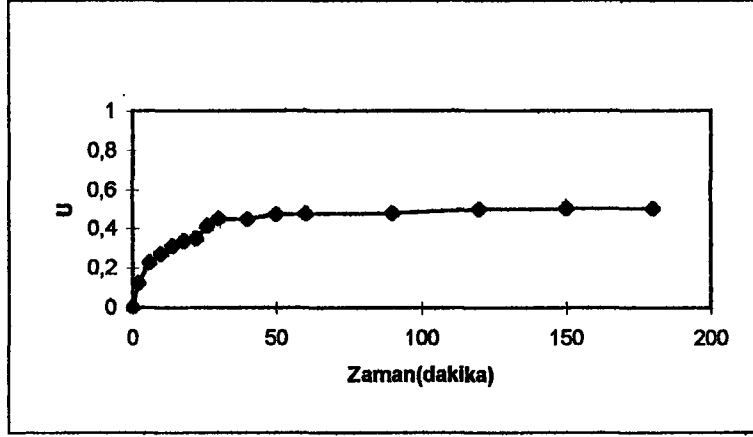
4.8.3. Amberlite IR 120 (kuvvetli katyonik reçine)

4.8.3.1. Konsantrasyon etkisi

Amberlite IR 120 reçineden 10 mg bölüm 4.2.2. de bahsedildiği gibi hazırlanıp Kressman Kitchener karıştırıcısına konuldu ve içerisinde krom konsantrasyonu bilinen (5-160 ppm) 1 L krom çözeltisi bulunan reaksiyon kabına 3000 rpm'de karıştırarak daldırıldı. 3 saat süresince belirli zamanlarda örnek alındı ve AAS deki ölçümlerde çözeltide azalan Cr miktarı bulundu. Sonuçlar Çizelge 4.95, 4.96, 4.97, 4.98, 4.99 ve 4.100 de, zaman ile reçinede krom tutulması arasındaki grafikler Şekil 4.90, 4.91, 4.92, 4.93, 4.94 ve 4.95 de, toplu grafik Şekil 4.96 da verilmiştir.

Çizelge 4.95. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (5 ppm)

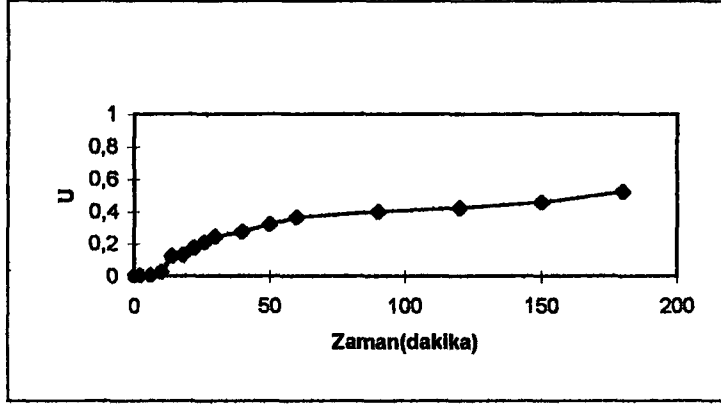
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alınan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alınılan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	5.00	0.00	0.00	0.00
2	4.38	0.62	0.12	12.42
6	3.86	1.14	0.23	22.72
10	3.66	1.34	0.27	26.82
14	3.46	1.54	0.31	30.76
18	3.33	1.67	0.33	33.46
22	3.27	1.73	0.35	34.62
26	2.94	2.06	0.41	41.26
30	2.75	2.25	0.45	45.06
40	2.75	2.25	0.45	44.92
50	2.63	2.37	0.47	47.32
60	2.61	2.39	0.48	47.80
90	2.60	2.40	0.48	47.96
120	2.51	2.50	0.50	49.90
150	2.49	2.52	0.50	50.30
180	2.48	2.52	0.50	50.42



Şekil 4.90. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (5 ppm)

Çizelge 4.96. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (10 ppm)

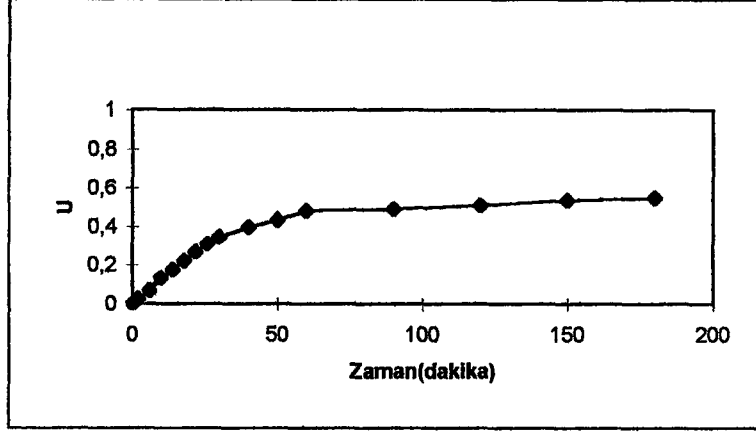
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	10.00	0.00	0.00	0.00
2	9.95	0.05	0.04	0.48
6	9.98	0.02	0.02	0.22
10	9.75	0.25	0.03	2.54
14	8.77	1.24	0.12	12.35
18	8.67	1.33	0.13	13.33
22	8.27	1.73	0.17	17.33
26	7.90	2.11	0.21	21.05
30	7.55	2.45	0.25	24.53
40	7.26	2.74	0.27	27.40
50	6.77	3.24	0.32	32.35
60	6.35	3.65	0.37	36.52
90	6.01	3.99	0.40	39.90
120	5.76	4.24	0.42	42.37
150	5.44	4.56	0.46	45.60
180	4.78	5.22	0.52	52.20



Şekil 4.91. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (10 ppm)

Çizelge 4.97. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (50 ppm)

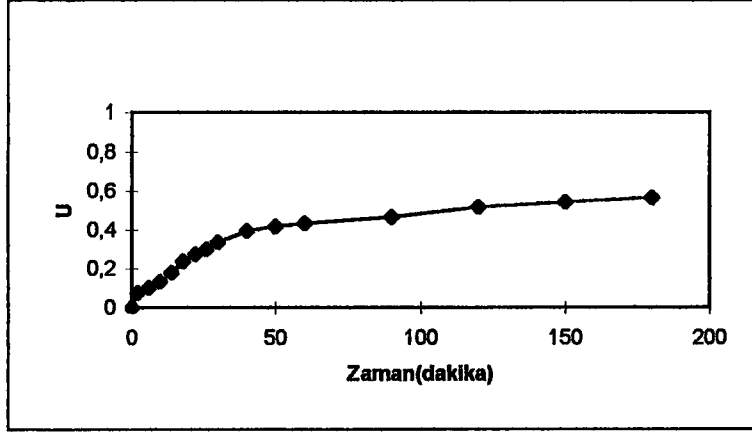
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	50.00	0.00	0.00	0.00
2	48.76	1.24	0.02	2.48
6	46.54	3.46	0.07	6.92
10	43.40	6.60	0.13	13.20
14	41.18	8.82	0.18	17.64
18	38.89	11.11	0.22	22.22
22	36.65	13.35	0.27	26.70
26	34.63	15.37	0.31	30.74
30	32.77	17.23	0.34	34.46
40	30.25	19.75	0.39	39.50
50	28.41	21.59	0.43	43.18
60	26.05	23.95	0.48	47.90
90	25.47	24.53	0.49	49.06
120	24.56	25.44	0.51	50.88
150	23.24	26.76	0.54	53.52
180	22.56	22.06	0.55	54.88



Şekil 4.92. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (50 ppm)

Çizelge 4.98. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (75 ppm)

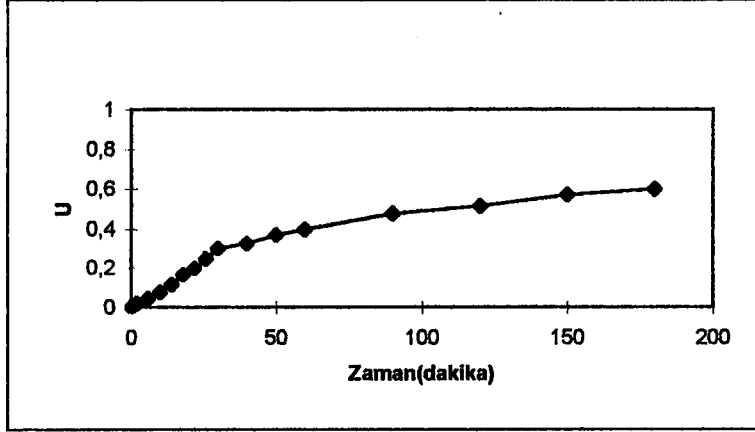
Zaman (dakika)	Çözültide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	75.00	0.00	0.00	0.00
2	69.35	5.65	0.08	7.53
6	67.43	7.57	0.10	10.09
10	64.96	10.04	0.13	13.39
14	61.49	13.51	0.18	18.01
18	57.27	17.73	0.24	23.64
22	54.48	20.52	0.27	27.36
26	52.62	22.38	0.30	29.84
30	49.82	25.18	0.34	33.57
40	45.44	29.56	0.39	39.41
50	43.84	31.16	0.42	41.55
60	42.72	32.28	0.43	43.04
90	40.20	34.80	0.46	46.40
120	36.18	38.82	0.52	51.76
150	34.37	40.63	0.54	54.17
180	32.65	42.35	0.56	56.47



Şekil 4.93. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (75 ppm)

Çizelge 4.99. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (100 ppm)

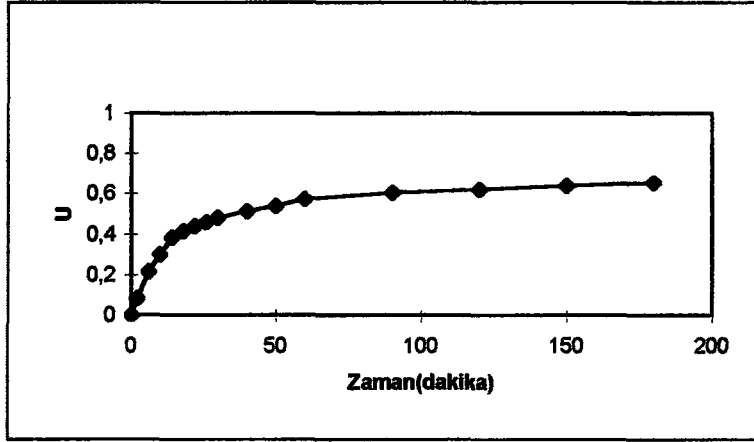
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	100.00	0.00	0.00	0.00
2	98.07	1.93	0.02	1.93
6	95.64	4.36	0.04	4.36
10	92.37	7.63	0.08	7.63
14	88.75	11.25	0.11	11.25
18	83.68	16.32	0.16	16.32
22	80.53	19.47	0.19	19.47
26	75.53	24.47	0.24	24.47
30	70.41	29.59	0.30	29.59
40	67.72	32.28	0.32	32.28
50	63.23	36.77	0.37	36.77
60	60.45	39.55	0.40	39.55
90	52.56	47.44	0.47	47.44
120	48.78	51.22	0.51	51.22
150	43.04	56.96	0.57	56.96
180	40.18	59.82	0.60	59.82



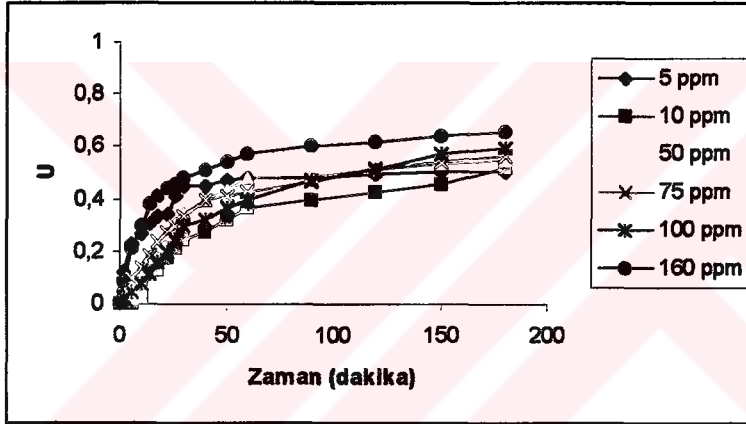
Şekil 4.94. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (100 ppm)

Çizelge 4.100. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (160 ppm)

Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	146.95	13.05	0.08	8.16
6	125.78	34.22	0.21	21.39
10	112.04	47.96	0.30	29.98
14	98.79	61.21	0.38	38.26
18	93.54	66.46	0.42	41.54
22	89.61	70.39	0.44	43.99
26	86.77	73.23	0.46	45.77
30	82.81	77.19	0.48	48.24
40	77.90	82.10	0.51	51.31
50	73.70	86.30	0.54	53.94
60	68.28	91.72	0.57	57.33
90	63.37	96.63	0.60	60.39
120	60.71	99.29	0.62	62.06
150	57.69	102.31	0.64	63.94
180	55.37	104.63	0.65	65.39



Şekil 4.95. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (160 ppm)



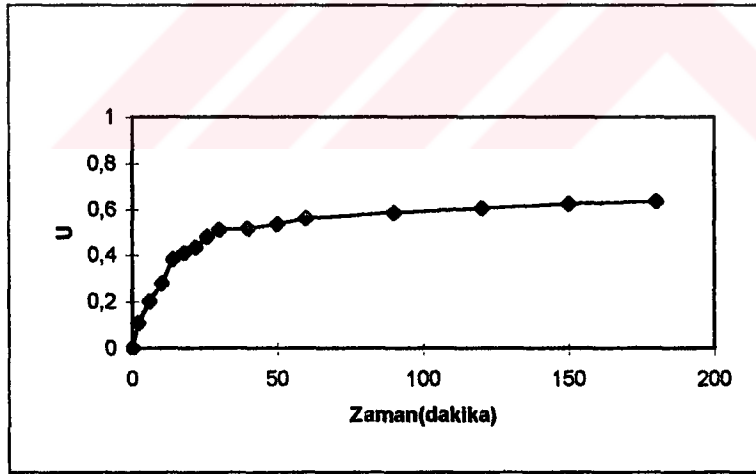
Şekil 4.96. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik)

4.8.3.2. Reçine miktarının etkisi

Amberlite IR 120 reçineden belli miktarlarda (5-20 mg) bölüm 4.2.2. de bahsedildiği gibi hazırlanıp Kressman Kitchener karıştırıcısına konuldu ve içerisinde konsantrasyonu 160 ppm, 1 L krom çözeltisi bulunan reaksiyon kabına 3000 rpm'de karıştırarak daldırıldı. 3 saat süresince belirli zamanlarda örnek alındı ve AAS deki ölçümlerde çözeltide azalan Cr miktarı bulundu. Sonuçlar Çizelge 4.101 ve 4.102 de, zaman ile reçinede krom tutulması arasındaki grafikler Şekil 4.97 ve 4.98 de, toplu grafik Şekil 4.99 da verilmiştir.

Çizelge 4.101. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (5 mg)

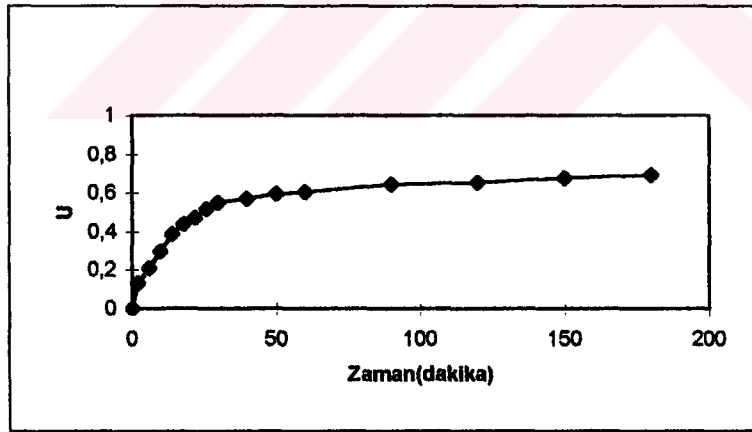
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alınan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alınılan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	142.67	17.33	0.11	10.83
6	127.89	32.11	0.20	20.07
10	115.78	44.22	0.28	27.64
14	99.04	60.96	0.38	38.10
18	94.56	65.44	0.41	40.90
22	90.34	69.66	0.44	43.54
26	83.25	76.75	0.48	47.97
30	78.31	81.69	0.51	51.06
40	77.27	82.73	0.52	51.71
50	74.45	85.55	0.53	53.47
60	70.41	89.59	0.56	55.99
90	66.36	93.64	0.59	58.53
120	63.48	96.52	0.60	60.33
150	60.21	99.79	0.62	62.37
180	58.25	10.75	0.64	63.59



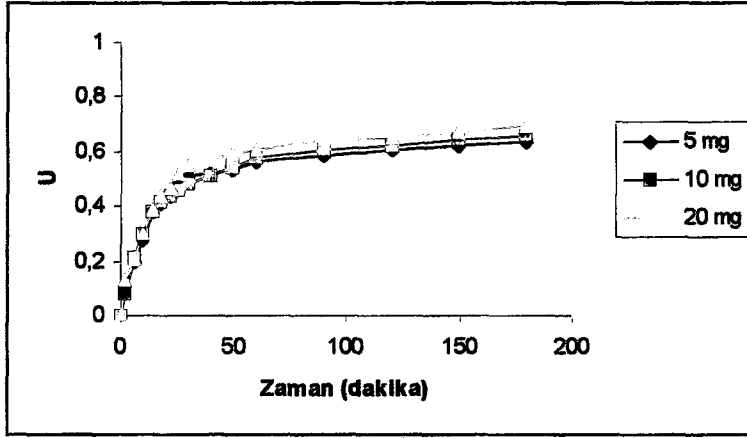
Şekil 4.97. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (5 mg)

Çizelge 4.102. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (20 mg)

Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alınan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alınılan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	139.47	20.53	0.13	12.83
6	126.75	33.25	0.21	20.78
10	112.58	47.42	0.30	29.64
14	98.03	61.97	0.39	38.73
18	89.95	70.05	0.44	43.78
22	84.68	75.32	0.47	47.08
26	77.48	82.52	0.52	51.58
30	72.35	87.65	0.55	54.78
40	68.94	91.06	0.57	56.91
50	65.01	94.99	0.59	59.37
60	63.52	96.48	0.60	60.30
90	57.38	102.62	0.64	64.14
120	55.50	104.50	0.65	65.31
150	52.01	107.99	0.67	67.49
180	49.11	110.89	0.69	69.31



Şekil 4.98. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (20 mg)



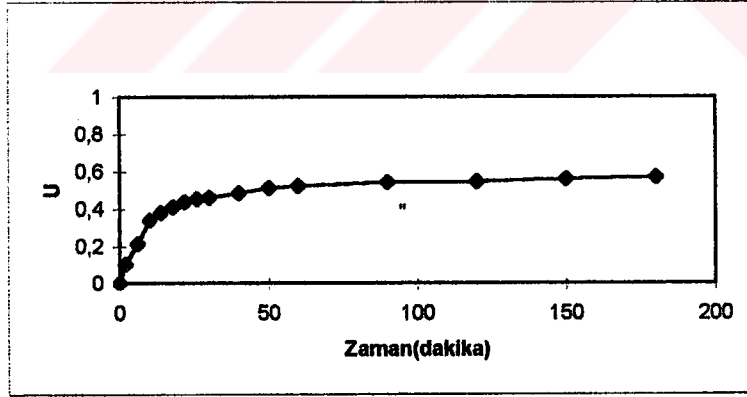
Şekil 4.99. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik)

4.8.3.3. Karıştırma hızının etkisi

Amberlite IR 120 reçineden 10 mg bölüm 4.4.2. de bahsedildiği gibi hazırlanıp Kressman Kitchener karıştırıcısına konuldu ve içerisinde konsantrasyonu 160 ppm olan, 1 L krom çözeltisi bulunan reaksiyon kabına değişik hızlarda (1000-3500 rpm) karıştırarak daldırıldı. 3 saat süresince belirli zamanlarda örnek alındı ve AAS deki ölçümlerde çözeltilde azalan Cr miktarı bulundu. Sonuçlar Çizelge 4.103, 4.104, 4.105 ve 4.106 da, zaman ile reçinede krom tutulması arasındaki grafikler Şekil 4.100, 4.101, 4.102 ve 4.103 de, toplu grafik Şekil 4.104 de verilmiştir.

Çizelge 4.103. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (1000 rpm)

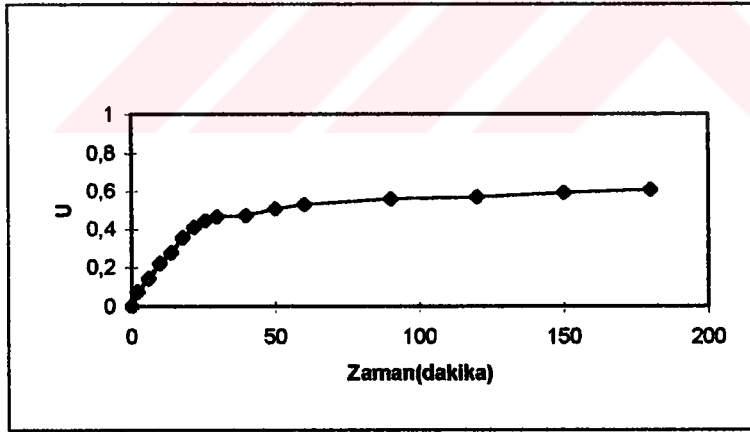
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	143.58	16.42	0.10	10.26
6	125.96	34.04	0.21	21.28
10	105.76	54.24	0.34	33.90
14	99.02	60.98	0.38	38.11
18	94.25	65.75	0.41	41.09
22	89.95	70.05	0.44	43.78
26	87.28	72.72	0.45	45.45
30	86.10	73.90	0.46	46.19
40	82.52	77.48	0.48	48.43
50	78.25	81.75	0.51	51.09
60	76.33	83.67	0.52	52.29
90	73.38	86.62	0.54	54.14
120	72.80	87.20	0.54	54.50
150	70.41	89.59	0.56	55.99
180	68.75	91.25	0.57	57.03



Şekil 4.100. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan krom (1000 rpm)

Çizelge 4.104. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (1500 rpm)

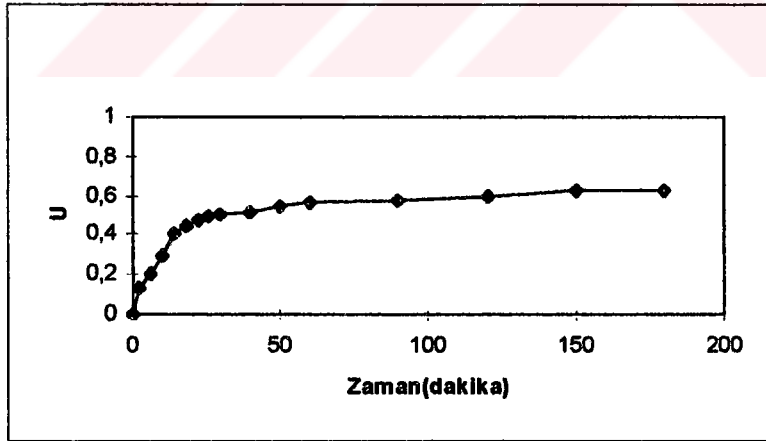
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alınan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alınmış (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	148.03	11.97	0.07	7.48
6	137.40	22.60	0.14	14.13
10	124.85	35.15	0.22	21.97
14	115.78	44.22	0.28	27.64
18	103.29	56.71	0.35	35.44
22	94.58	65.42	0.41	40.89
26	88.94	71.06	0.44	44.41
30	85.48	74.52	0.47	46.58
40	84.64	75.36	0.47	47.10
50	78.77	81.23	0.51	50.77
60	75.37	84.63	0.53	52.89
90	70.84	89.16	0.56	55.73
120	68.97	91.03	0.57	56.89
150	65.35	94.65	0.59	59.16
180	62.94	97.06	0.61	60.66



Şekil 4.101. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (1500 rpm)

Çizelge 4.105. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (2000 rpm)

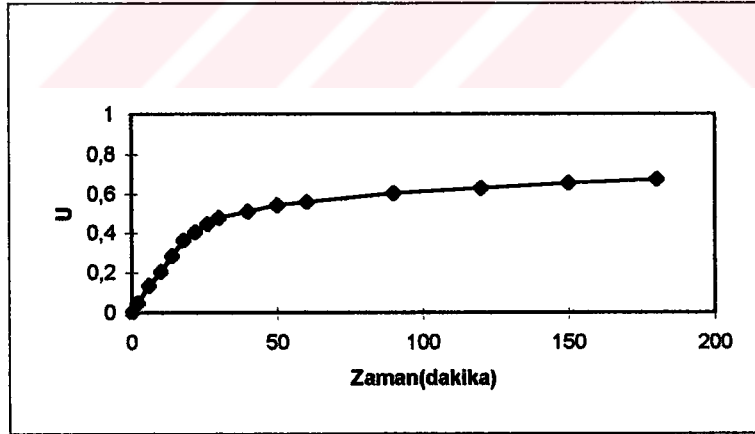
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alınan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alınan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	138.94	21.06	0.13	13.16
6	127.08	32.92	0.21	20.58
10	113.69	46.31	0.29	28.94
14	95.12	64.88	0.41	40.55
18	89.02	70.98	0.44	44.36
22	84.56	75.44	0.47	47.15
26	81.17	78.83	0.49	49.27
30	79.45	80.55	0.50	50.34
40	77.37	82.63	0.52	51.64
50	73.45	86.55	0.54	54.09
60	70.28	89.72	0.56	56.08
90	67.10	92.90	0.58	58.06
120	63.91	96.09	0.60	60.06
150	60.27	99.73	0.62	62.33
180	59.49	100.51	0.63	62.82



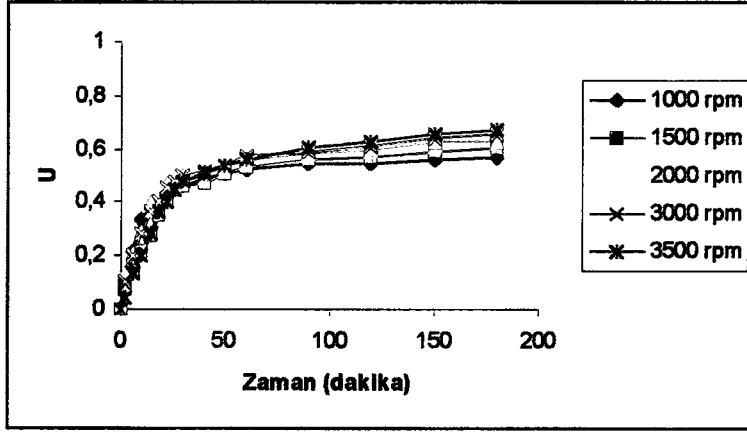
Şekil 4.102. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (2000 rpm)

Çizelge 4.106. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (3500 rpm)

Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alınan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alınan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	152.33	7.67	0.05	4.79
6	138.56	21.44	0.13	13.40
10	127.63	32.37	0.20	20.23
14	114.69	45.31	0.28	28.32
18	102.06	57.94	0.36	36.21
22	95.47	64.53	0.40	40.33
26	88.81	71.19	0.44	44.49
30	83.61	76.39	0.48	47.74
40	78.67	81.33	0.51	50.83
50	73.49	86.51	0.54	54.07
60	70.65	89.35	0.56	55.84
90	63.72	96.28	0.60	60.18
120	59.63	100.37	0.63	62.73
150	55.45	104.55	0.65	65.34
180	52.62	107.38	0.67	67.11



Şekil 4.103. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (3500 rpm)



Şekil 4.104. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik)

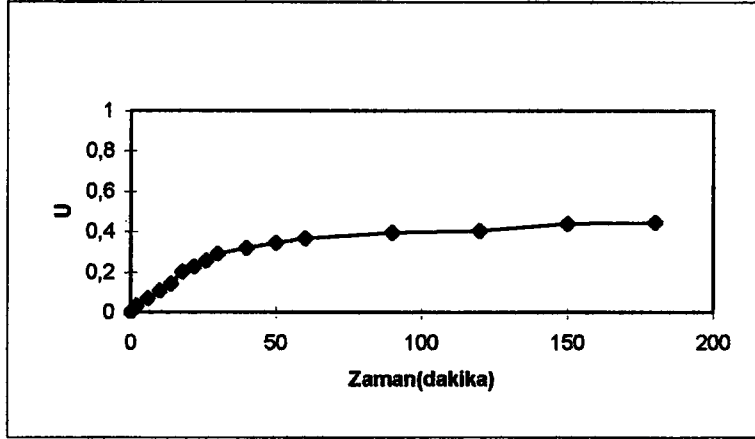
4.8.4. Amberlite IRA 402(kuvvetli anyonik reçine)

4.8.4.1. Konsantrasyon etkisi

Amberlite IRA 402 reçineden 10 mg bölüm 4.4.2. de bahsedildiği gibi hazırlanıp Kressman Kitchener karıştırıcısına konuldu ve içerisinde krom konsantrasyonu bilinen (5-160 ppm) 1 L krom çözeltisi bulunan reaksiyon kabına 3000 rpm'de karıştırarak daldırıldı. 3 saat süresince belirli zamanlarda örnek alındı ve AAS deki ölçümlerde çözeltide azalan Cr miktarı bulundu. Sonuçlar Çizelge 4.107, 4.108, 4.109, 4.110, 4.111 ve 4.112 de, zaman ile reçinede krom tutulması arasındaki grafikler Şekil 4.105, 4.106, 4.107, 4.108, 4.109, 4.110 da, toplu grafik Şekil 4.111 de verilmiştir.

Çizelge 4.107. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (5 ppm)

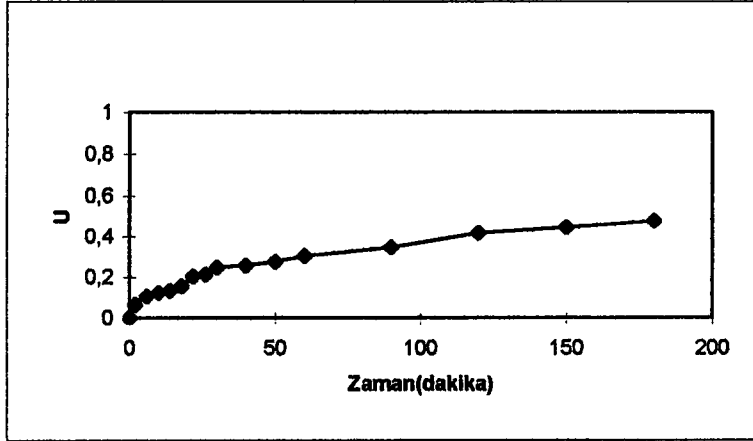
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alınan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alınılan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	5.00	0.00	0.00	0.00
2	4.84	0.17	0.03	3.30
6	4.65	0.35	0.07	7.04
10	4.46	0.54	0.11	10.88
14	4.29	0.72	0.14	14.30
18	4.00	1.00	0.20	20.04
22	3.87	1.13	0.23	22.56
26	3.72	1.28	0.26	25.62
30	3.55	1.46	0.29	29.10
40	3.41	1.59	0.32	31.84
50	3.28	1.72	0.34	34.34
60	3.18	1.82	0.36	36.48
90	3.02	1.98	0.40	39.56
120	2.99	2.01	0.40	40.26
150	2.81	2.19	0.44	43.76
180	2.77	2.23	0.45	44.52



Şekil 4.105. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (5 ppm)

Çizelge 4.108. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (10 ppm)

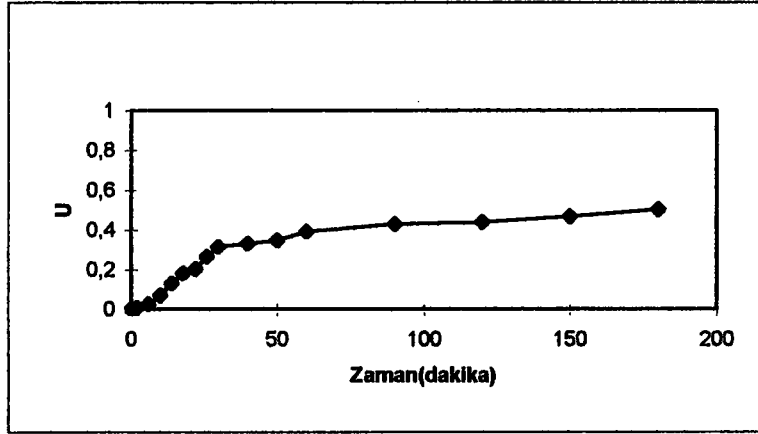
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	10.00	0.00	0.00	0.00
2	9.35	0.65	0.07	6.55
6	8.96	1.04	0.10	10.36
10	8.77	1.23	0.12	12.31
14	8.69	1.31	0.13	13.14
18	8.44	1.56	0.16	15.58
22	7.96	2.04	0.20	20.43
26	7.87	2.13	0.21	21.33
30	7.54	2.46	0.25	24.64
40	7.43	2.57	0.26	25.72
50	7.24	2.76	0.28	27.58
60	6.98	3.02	0.30	30.18
90	6.54	3.46	0.35	34.58
120	5.84	4.16	0.42	41.64
150	5.55	4.45	0.44	44.50
180	5.25	4.76	0.48	47.55



Şekil 4.106. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (10 ppm)

Çizelge 4.109. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (50 ppm)

Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	50.00	0.00	0.00	0.00
2	49.65	0.35	0.01	0.70
6	48.75	1.25	0.02	2.50
10	46.57	3.43	0.07	6.86
14	43.54	6.46	0.13	12.92
18	41.03	8.97	0.18	17.94
22	39.84	10.16	0.20	20.32
26	36.78	13.22	0.26	26.44
30	34.27	15.73	0.31	31.46
40	33.41	16.59	0.33	33.18
50	32.63	17.37	0.35	34.74
60	30.52	19.48	0.39	38.96
90	28.48	21.52	0.43	43.04
120	28.05	21.95	0.44	43.90
150	26.72	23.28	0.47	46.56
180	24.85	25.15	0.50	50.30



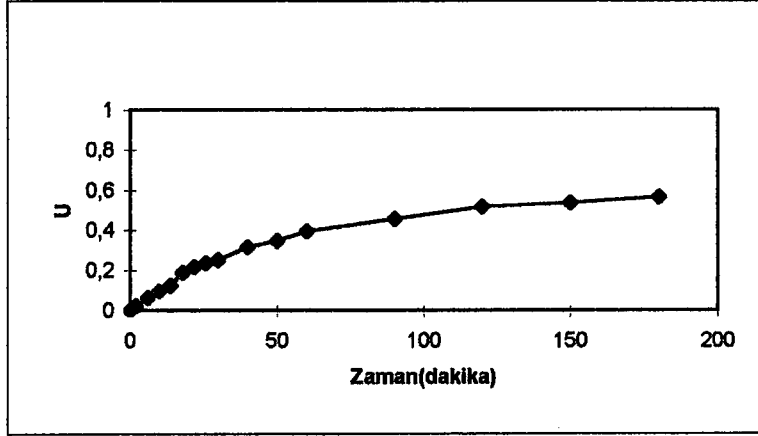
Şekil 4.107. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (50 ppm)

Çizelge 4.110. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (75 ppm)

Zaman (dakika)	Çözültide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	75.00	0.00	0.00	0.00
2	73.48	1.52	0.02	2.03
6	70.01	4.99	0.07	6.65
10	67.56	7.44	0.10	9.92
14	63.45	11.55	0.15	15.40
18	58.68	16.32	0.22	21.76
22	52.77	22.23	0.30	29.64
26	48.92	26.08	0.35	34.77
30	45.52	29.48	0.39	39.31
40	43.65	31.35	0.42	41.80
50	41.27	33.73	0.45	44.97
60	39.48	35.52	0.47	47.36
90	38.05	36.95	0.49	49.27
120	36.15	38.85	0.52	51.80
150	35.42	39.58	0.53	52.77
180	34.98	40.02	0.53	53.36

0	100.00	0.00	0.00	0.00
2	97.62	2.38	0.02	2.38
6	93.49	6.51	0.06	6.51
10	90.42	9.58	0.10	9.58
14	87.63	12.37	0.12	12.37
18	81.27	18.73	0.19	18.73
22	78.38	21.62	0.22	21.62
26	76.39	23.61	0.24	23.61
30	74.80	25.20	0.25	25.20
40	68.43	31.57	0.32	31.57
50	65.17	34.83	0.35	34.83
60	60.38	39.62	0.40	39.62
90	54.61	45.39	0.45	45.39
120	48.50	51.50	0.51	51.50
150	46.48	53.52	0.54	53.52
180	43.73	56.27	0.56	56.27

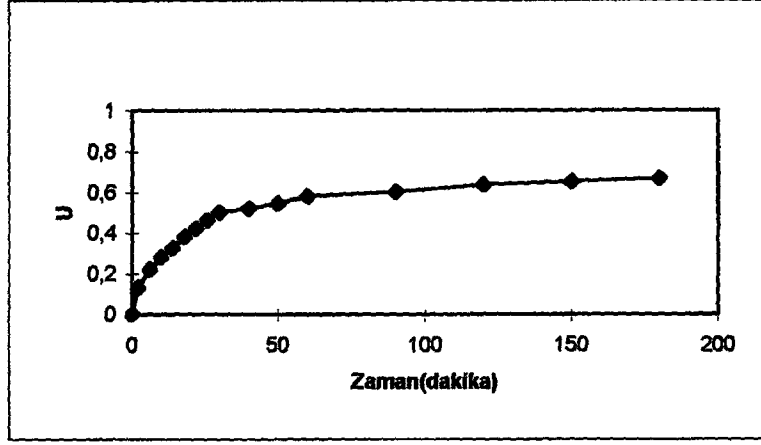




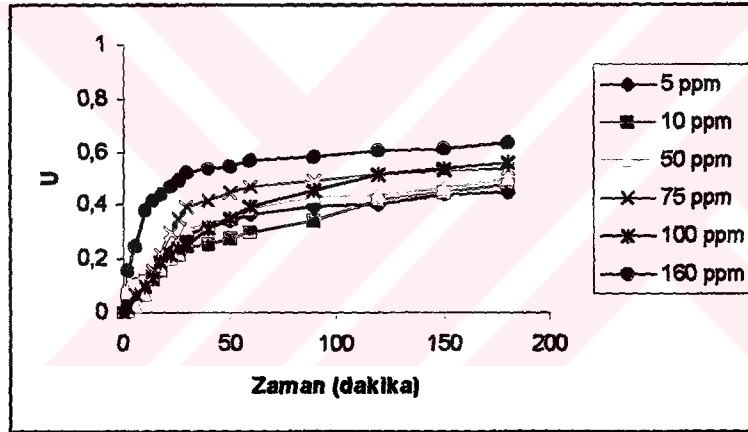
Şekil 4.109. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (100 ppm)

Çizelge 4.112. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (160 ppm)

Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	138.94	21.06	0.13	13.16
6	124.62	35.38	0.22	22.11
10	115.09	44.91	0.28	28.07
14	107.63	52.37	0.33	32.73
18	98.74	61.26	0.38	38.29
22	92.17	67.83	0.42	42.39
26	85.56	74.44	0.47	46.53
30	79.83	80.17	0.50	50.11
40	76.65	83.35	0.52	52.09
50	72.73	87.27	0.55	54.54
60	67.37	92.63	0.58	57.89
90	63.48	96.52	0.60	60.33
120	58.23	101.77	0.64	63.61
150	55.72	104.28	0.65	65.18
180	53.26	106.74	0.67	66.71



Şekil 4.110. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (160 ppm)



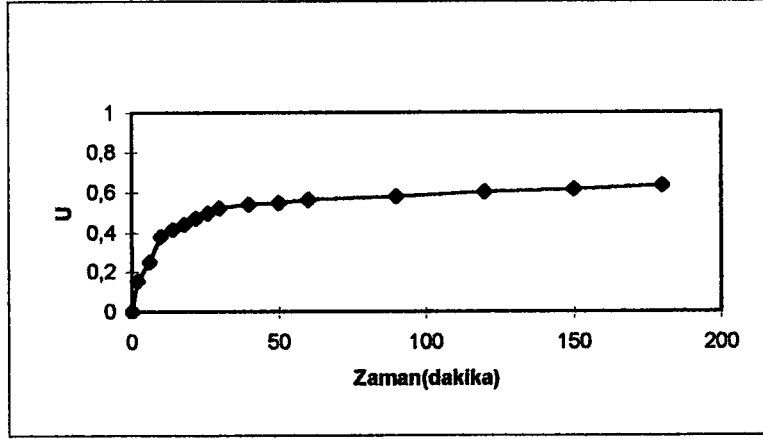
Şekil 4.111. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik)

4.8.4.2. Reçine miktarının etkisi

Amberlite IRA 402 reçineden belli miktarlarda (5-20 mg) bölüm 4.4.2. de bahsedildiği gibi hazırlanıp Kressman Kitchener karıştırıcısına konuldu ve içerisinde konsantrasyonu 160 ppm, 1 L krom çözeltisi bulunan reaksiyon kabına 3000 rpm'de karıştırarak daldırıldı. 3 saat süresince belirli zamanlarda örnek alındı ve AAS deki ölçümlerde çözeltide azalan Cr miktarı bulundu. Sonuçlar Çizelge 4.113 ve 4.114 de, zaman ile reçinede krom tutulması arasındaki grafikler Şekil 4.112 ve 4.113 de, toplu grafik Şekil 4.114 de verilmiştir.

Çizelge 4.113. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (5 mg)

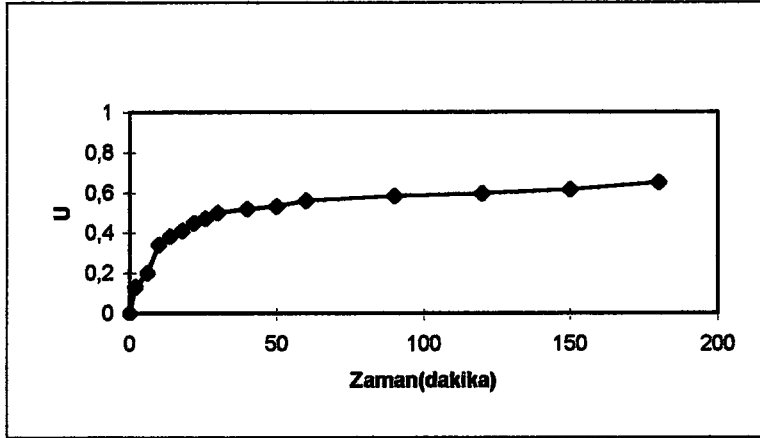
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	135.45	24.55	0.15	15.34
6	120.67	39.33	0.25	24.58
10	99.10	60.90	0.38	38.06
14	93.45	66.55	0.42	41.59
18	89.72	70.28	0.44	43.93
22	84.47	75.53	0.47	47.21
26	80.68	79.32	0.50	49.58
30	76.66	83.34	0.52	52.09
40	73.45	86.55	0.54	54.09
50	72.25	87.75	0.55	54.84
60	69.65	90.35	0.56	56.47
90	67.42	92.58	0.58	57.86
120	63.57	96.43	0.60	60.27
150	61.60	98.40	0.61	61.50
180	58.73	101.27	0.63	63.29



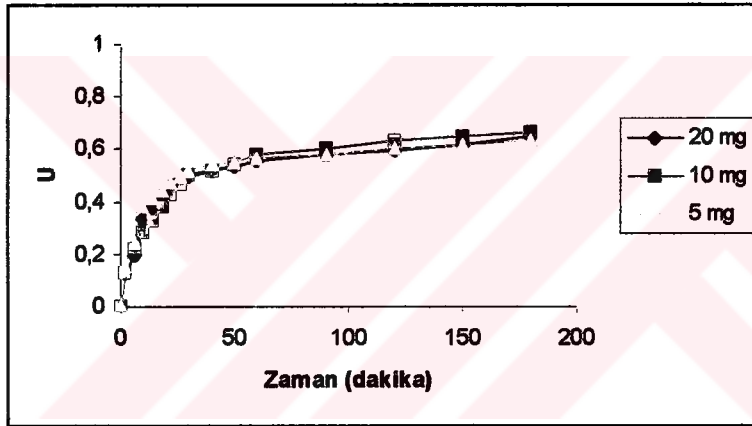
Şekil 4.112. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (5 mg)

Çizelge 4.114. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (20 mg)

Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	138.93	21.07	0.13	13.17
6	127.67	32.33	0.20	20.21
10	105.65	54.35	0.34	33.97
14	98.73	61.27	0.38	38.29
18	94.51	65.49	0.41	40.93
22	87.94	72.06	0.45	45.04
26	84.72	75.28	0.47	47.05
30	80.14	79.86	0.50	49.91
40	76.86	83.14	0.52	51.96
50	74.65	85.35	0.53	53.34
60	70.48	89.52	0.56	55.95
90	66.90	93.10	0.58	58.19
120	64.73	95.27	0.60	59.54
150	61.59	98.41	0.62	61.51
180	56.25	103.75	0.65	64.84



Şekil 4.113. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (20 mg)



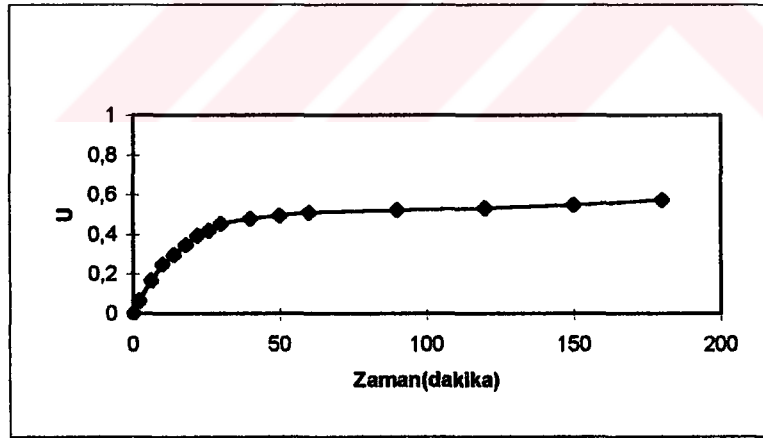
Şekil 4.114. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik)

4.8.4.3. Karıştırma hızının etkisi

Amberlite IRA 402 reçineden 10 mg bölüm 4.4.2. de bahsedildiği gibi hazırlanıp Kressman Kitchener karıştırıcısına konuldu ve içerisinde konsantrasyonu 160 ppm olan, 1 L krom çözeltisi bulunan reaksiyon kabına değişik hızlarda (1000-3500 rpm) karıştırarak daldırıldı. 3 saat süresince belirli zamanlarda örnek alındı ve AAS deki ölçümlerde çözeltide azalan Cr miktarı bulundu. Sonuçlar Çizelge 4.115, 4.116, 4.117 ve 4.118 de, zaman ile reçinede krom tutulması arasındaki grafikler Şekil 4.115, 4.116, 4.117 ve 4.118 de, toplu grafik Şekil 4.119 da verilmiştir.

Çizelge 4.115. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (1000 rpm)

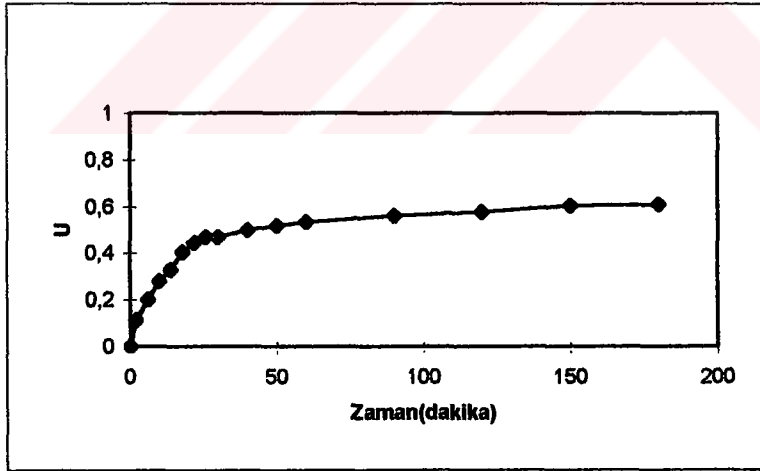
Zaman (dakika)	Çözültide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alınan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alınan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	149.87	10.13	0.06	6.33
6	133.66	26.34	0.16	16.46
10	120.42	39.58	0.25	24.74
14	112.84	47.16	0.29	29.48
18	104.67	55.33	0.35	34.58
22	97.45	62.55	0.39	39.09
26	93.26	66.74	0.42	41.71
30	87.48	72.52	0.45	45.33
40	83.33	76.67	0.48	47.92
50	81.05	78.95	0.49	49.34
60	78.64	81.36	0.51	50.85
90	76.27	83.73	0.52	52.33
120	74.85	85.15	0.53	53.22
150	72.40	87.60	0.55	54.75
180	68.25	91.75	0.57	57.34



Şekil 4.115. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (1000 rpm)

Çizelge 4.116. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (1500 rpm)

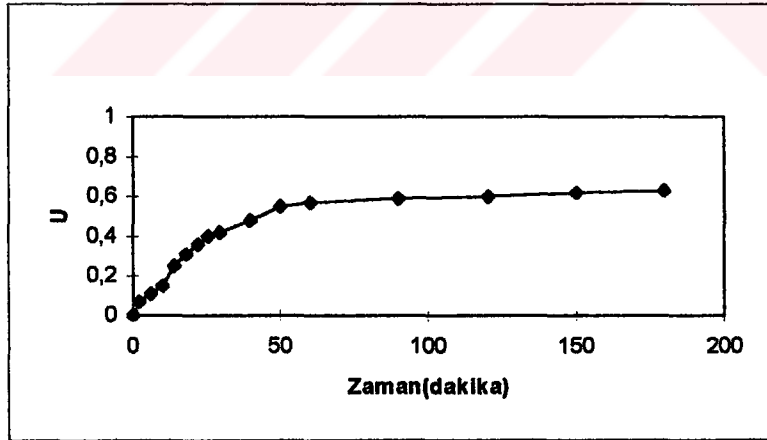
Zaman (dakika)	Çözültide kalan Cr^{3+} miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr^{3+} miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr^{3+} miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	142.05	17.95	0.11	11.22
6	128.37	31.63	0.20	19.77
10	115.65	44.35	0.28	27.72
14	107.83	52.17	0.33	32.61
18	95.49	64.51	0.40	40.32
22	88.98	71.02	0.44	44.39
26	85.06	74.94	0.47	46.84
30	84.94	75.06	0.47	46.91
40	80.16	79.84	0.50	49.90
50	77.16	82.84	0.52	51.78
60	74.51	85.49	0.53	53.43
90	70.28	89.72	0.56	56.08
120	67.48	92.52	0.58	57.83
150	63.22	96.78	0.60	60.49
180	62.45	97.55	0.61	60.97



Şekil 4.116. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (1500 rpm)

Çizelge 4.117. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (2000 rpm)

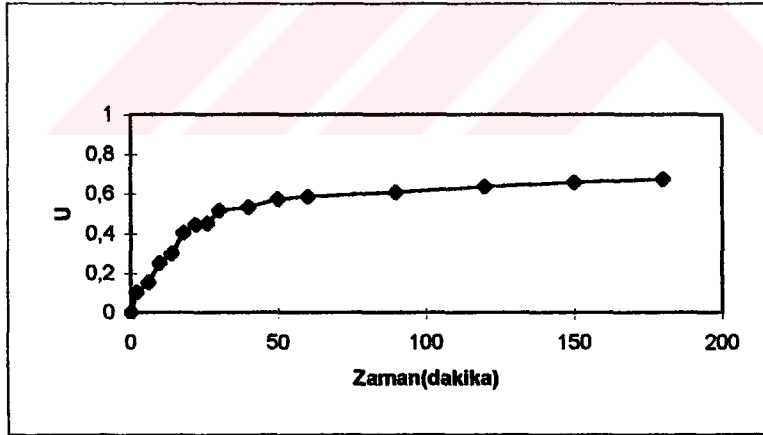
Zaman (dakika)	Çözültide kalan Cr^{3+} miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr^{3+} miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr^{3+} miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	148.65	11.35	0.07	7.09
6	142.54	17.46	0.11	10.91
10	136.78	23.22	0.15	14.51
14	120.43	39.57	0.25	24.73
18	109.84	50.16	0.31	31.35
22	102.37	57.63	0.36	36.02
26	96.78	63.22	0.40	39.51
30	93.46	66.54	0.42	41.59
40	83.47	76.53	0.48	47.83
50	72.07	87.93	0.55	54.96
60	69.19	90.81	0.57	56.76
90	65.90	94.10	0.59	58.81
120	63.21	96.79	0.60	60.49
150	60.34	99.66	0.62	62.29
180	58.58	101.42	0.63	63.39



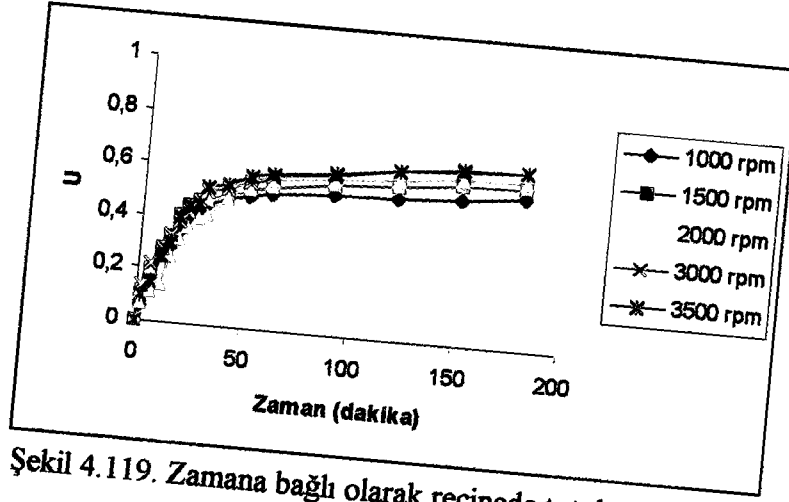
Şekil 4.117. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (2000 rpm)

Çizelge 4.118. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (3500 rpm)

Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alınan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alınılan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	144.04	15.96	0.10	9.98
6	135.63	24.37	0.15	15.23
10	120.09	39.91	0.25	24.94
14	112.37	47.63	0.30	29.77
18	95.67	64.33	0.40	40.21
22	89.01	70.99	0.44	44.37
26	87.98	72.02	0.45	45.01
30	77.57	82.43	0.52	51.52
40	74.83	85.17	0.53	53.23
50	68.59	91.41	0.57	57.13
60	66.48	93.52	0.58	58.45
90	62.86	97.14	0.61	60.71
120	58.21	101.79	0.64	63.62
150	54.70	105.30	0.66	65.81
180	52.37	107.63	0.67	67.27



Şekil 4.118. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (3500 rpm)



Şekil 4.119. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik)

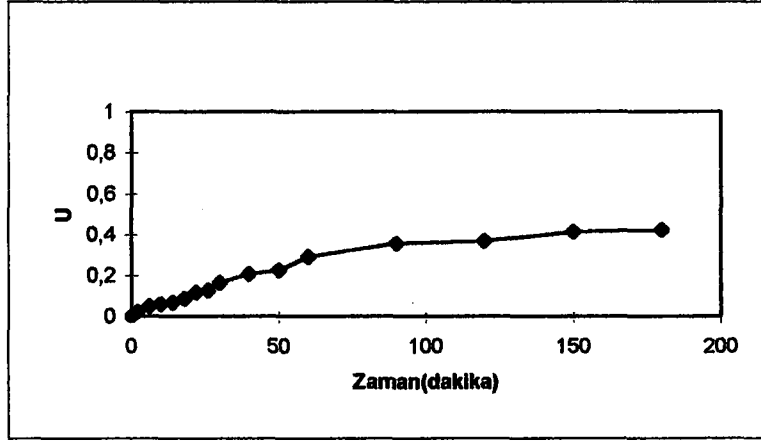
4.8.5. Amberlite IRA 410 (kuvvetli anyonik reçine)

4.8.5.1. Konsantrasyon etkisi

Amberlite IRA 410 reçineden 10 mg bölüm 4.4.2. de bahsedildiği gibi hazırlanıp Kressman Kitchener karıştırıcısına konuldu ve içerisinde krom konsantrasyonu bilinen (5-160 ppm) 1 L krom çözeltisi bulunan reaksiyon kabına 3000 rpm'de karıştırarak daldırıldı. 3 saat süresince belirli zamanlarda örnek alındı ve AAS deki ölçümlerde çözeltide azalan Cr miktarı bulundu. Sonuçlar Çizelge 4.119, 4.120, 4.121, 4.122, 4.123 ve 4.124 de, zaman ile reçinede krom tutulması arasındaki grafikler Şekil 4.120, 4.121, 4.122, 4.23, 4.124 ve 4.125 de, toplu grafik Şekil 4.126 da verilmiştir.

Çizelge 4.119. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (5 ppm)

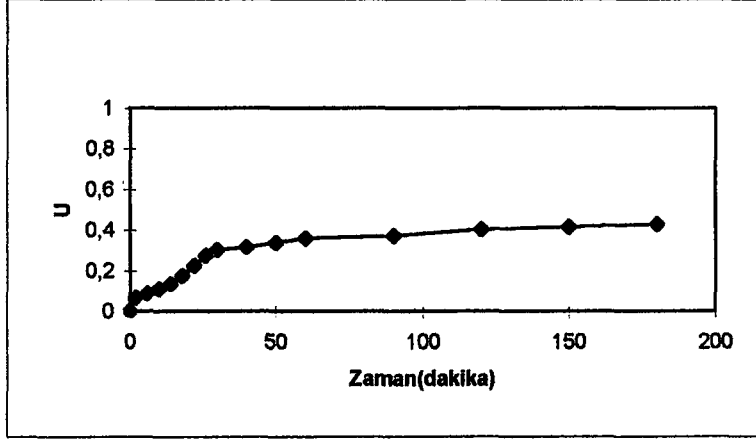
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	5.00	0.00	0.00	0.00
2	4.90	0.10	0.02	2.04
6	4.75	0.25	0.05	5.00
10	4.69	0.31	0.06	6.22
14	4.66	0.34	0.07	6.84
18	4.56	0.44	0.09	8.74
22	4.41	0.59	0.12	11.80
26	4.37	0.64	0.13	12.70
30	4.18	0.82	0.16	16.36
40	3.96	1.04	0.21	20.76
50	3.87	1.13	0.23	22.66
60	3.55	1.46	0.29	29.10
90	3.22	1.78	0.36	35.64
120	3.16	1.84	0.37	36.80
150	2.93	2.07	0.41	41.46
180	2.89	2.11	0.42	42.20



Şekil 4.120. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (5 ppm)

Çizelge 4.120. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (10 ppm)

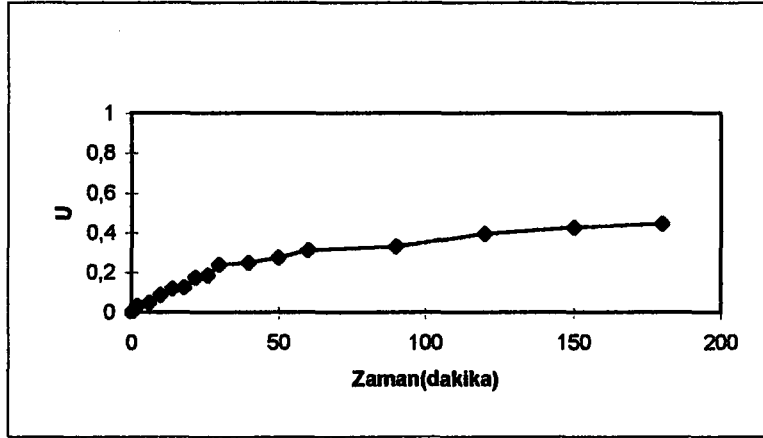
Zaman (dakika)	Çözültide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	10.00	0.00	0.00	0.00
2	9.36	0.64	0.06	6.44
6	9.12	0.88	0.09	8.77
10	8.90	1.11	0.11	11.05
14	8.64	1.36	0.14	13.57
18	8.24	1.76	0.18	17.62
22	7.76	2.24	0.22	22.44
26	7.25	2.75	0.28	27.53
30	6.96	3.04	0.31	30.39
40	6.84	3.16	0.32	31.57
50	6.63	3.37	0.34	33.73
60	6.41	3.59	0.36	35.90
90	6.27	3.74	0.37	37.35
120	5.94	4.06	0.41	40.58
150	5.84	4.17	0.42	41.65
180	5.72	4.28	0.43	42.80



Şekil 4.121. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (10 ppm)

Çizelge 4.121. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (50 ppm)

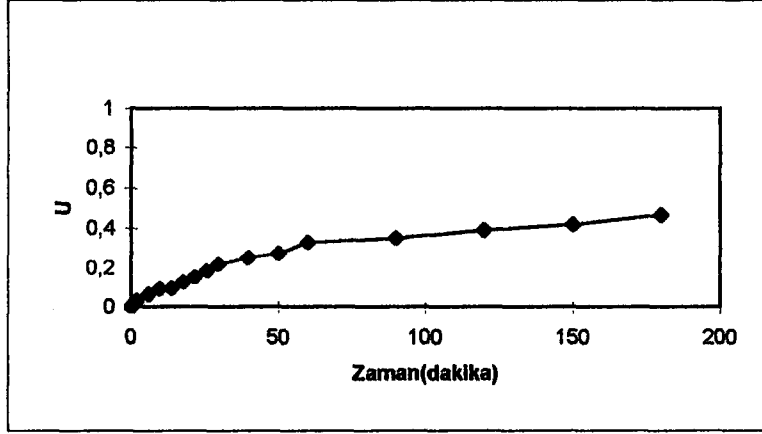
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	50.00	0.00	0.00	0.00
2	48.42	1.58	0.03	3.16
6	47.64	2.36	0.05	4.72
10	45.65	4.35	0.09	8.70
14	44.08	5.92	0.12	11.84
18	43.75	6.25	0.13	12.50
22	41.24	8.76	0.18	17.52
26	40.72	9.28	0.19	18.56
30	38.03	11.97	0.24	23.94
40	37.64	12.36	0.25	24.72
50	36.29	13.71	0.27	27.42
60	34.37	15.63	0.31	31.26
90	33.45	16.55	0.33	33.10
120	30.24	19.76	0.40	39.52
150	28.73	21.27	0.43	42.54
180	27.65	22.35	0.45	44.70



Şekil 4.122. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (50 ppm)

Çizelge 4.122. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (75 ppm)

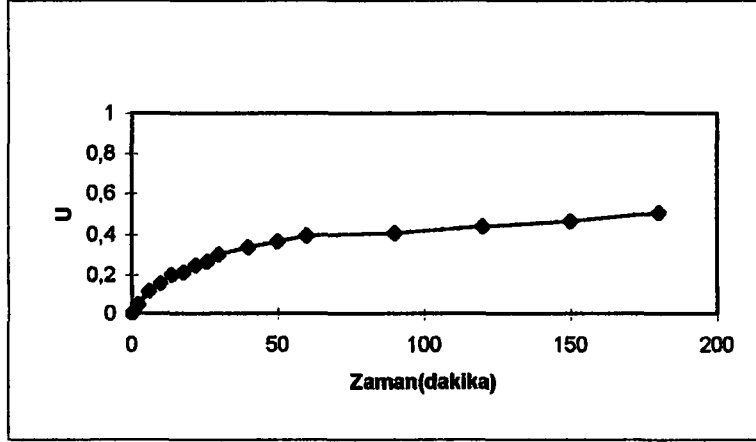
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	75.00	0.00	0.00	0.00
2	72.66	2.34	0.03	3.12
6	70.27	4.73	0.06	6.31
10	68.03	6.97	0.09	9.29
14	67.93	7.07	0.09	9.43
18	65.63	9.37	0.12	12.49
22	63.66	11.34	0.15	15.12
26	61.22	13.78	0.18	18.37
30	58.63	16.37	0.22	21.83
40	56.30	18.70	0.25	24.93
50	54.61	20.39	0.27	27.19
60	50.41	24.59	0.33	32.79
90	48.76	26.24	0.35	34.99
120	45.65	29.35	0.39	39.13
150	43.42	31.58	0.42	42.11
180	40.08	34.92	0.47	46.56



Şekil 4.123. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (75 ppm)

Çizelge 4.123. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (100 ppm)

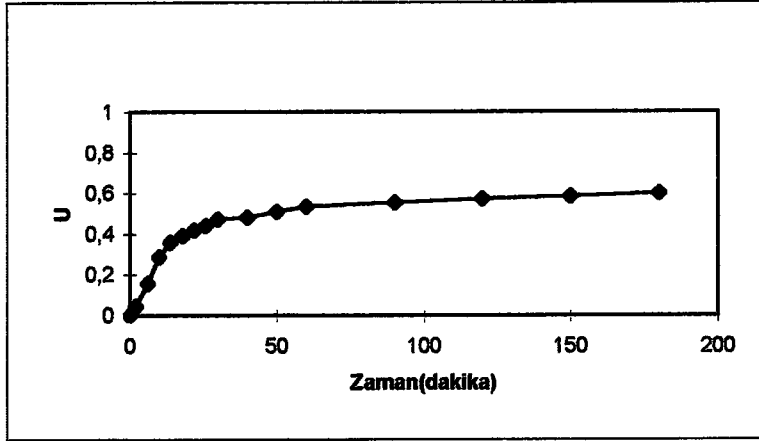
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	100.00	0.00	0.00	0.00
2	95.55	4.45	0.04	4.45
6	88.67	11.33	0.11	11.33
10	84.56	15.44	0.15	15.44
14	80.21	19.79	0.20	19.79
18	78.66	21.34	0.21	21.34
22	75.23	24.77	0.25	24.77
26	73.44	26.56	0.27	26.56
30	69.81	30.19	0.30	30.19
40	66.38	33.62	0.34	33.62
50	63.45	36.55	0.37	36.55
60	60.72	39.28	0.39	39.28
90	59.63	40.37	0.40	40.37
120	56.27	43.73	0.43	43.73
150	53.65	46.35	0.46	46.35
180	49.79	50.21	0.50	50.21



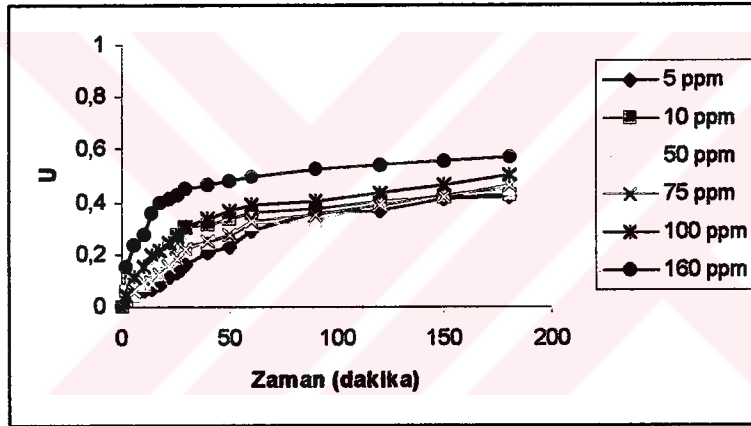
Şekil 4.124. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (100 ppm)

Çizelge 4.124. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (160 ppm)

Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	152.83	7.17	0.04	4.48
6	135.06	24.94	0.16	15.59
10	114.37	45.63	0.29	28.52
14	102.49	57.51	0.36	35.94
18	97.63	62.37	0.39	38.98
22	92.85	67.15	0.42	41.97
26	89.68	70.32	0.44	43.95
30	84.64	75.36	0.47	47.10
40	82.81	77.19	0.48	48.24
50	78.63	81.37	0.51	50.86
60	74.65	85.35	0.53	53.34
90	71.33	88.67	0.55	55.42
120	68.27	91.73	0.57	57.33
150	66.42	93.58	0.58	58.49
180	63.85	96.15	0.60	60.09



Şekil 4.125. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (160 ppm)



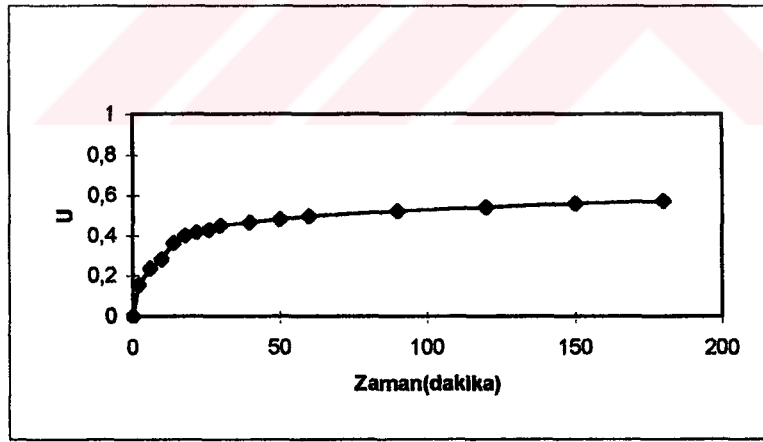
Şekil 4.126. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik)

4.8.5.2. Reçine miktarının etkisi

Amberlite IRA 410 reçineden belli miktarlarda (5-20 mg) bölüm 4.2.2. de bahsedildiği gibi hazırlanıp Kressman Kitchener karıştırıcısına konuldu ve içerisinde konsantrasyonu 160 ppm, 1 L krom çözeltisi bulunan reaksiyon kabına 3000 rpm'de karıştırarak daldırıldı. 3 saat süresince belirli zamanlarda örnek alındı ve AAS deki ölçümlerde çözeltide azalan Cr miktarı bulundu. Sonuçlar Çizelge 4.125 ve 4.126 da, zaman ile reçinede krom tutulması arasındaki grafikler Şekil 4.127 ve 4.128 de, toplu grafik Şekil 4.129 da verilmiştir.

Çizelge 4.125. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (5 mg)

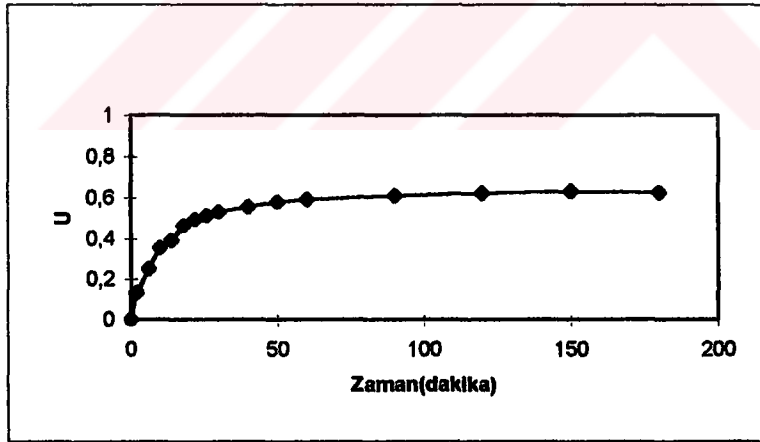
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alınan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alınılan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	135.46	24.54	0.15	15.34
6	122.03	37.97	0.24	23.73
10	115.45	44.55	0.28	27.84
14	102.37	57.63	0.36	36.02
18	96.02	63.98	0.40	39.99
22	93.47	66.53	0.42	41.58
26	91.63	68.37	0.43	42.73
30	88.18	71.82	0.45	44.89
40	85.62	74.38	0.46	46.49
50	83.21	76.79	0.48	47.99
60	80.43	79.57	0.50	49.73
90	76.27	83.73	0.52	52.33
120	73.48	86.52	0.54	54.08
150	70.65	89.35	0.56	55.84
180	68.23	91.77	0.57	57.36



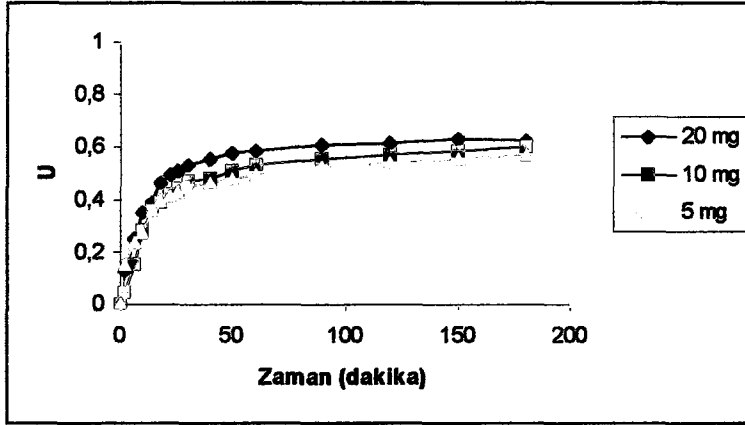
Şekil 4.127. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (5 mg)

Çizelge 4.126. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi (20 mg)

Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alınan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alınan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	138.77	21.23	0.13	13.27
6	120.05	39.95	0.25	24.97
10	103.44	56.56	0.35	35.35
14	97.86	62.14	0.39	38.84
18	85.65	74.35	0.46	46.47
22	81.05	78.95	0.49	49.34
26	77.93	82.07	0.51	51.29
30	75.04	84.96	0.53	53.10
40	70.93	89.07	0.56	55.67
50	67.37	92.63	0.58	57.89
60	65.47	94.53	0.59	59.08
90	62.45	97.55	0.61	60.97
120	60.55	99.45	0.62	62.16
150	58.66	101.34	0.63	63.34
180	59.75	100.25	0.63	62.66



Şekil 4.128. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (20 mg)



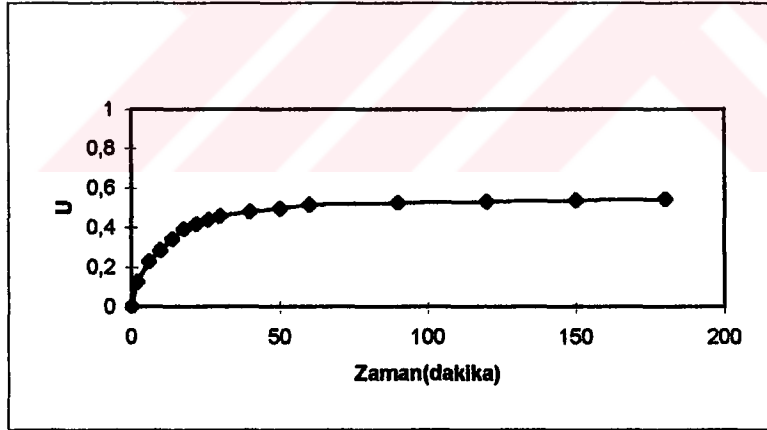
Şekil 4.129. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik)

4.8.5.3. Karıştırma hızının etkisi

Amberlite IRA 410 reçineden 10 mg bölüm 4.4.2. de bahsedildiği gibi hazırlanıp Kressman Kitchener karıştırıcısına konuldu ve içerisinde konsantrasyonu 160 ppm olan, 1 L krom çözeltisi bulunan reaksiyon kabına değişik hızlarda (1000-3500 rpm) karıştırarak daldırıldı. 3 saat süresince belirli zamanlarda örnek alındı ve AAS deki ölçümlerde çözeltide azalan Cr miktarı bulundu. Sonuçlar Çizelge 4.127, 4.128, 4.129 ve 4.130 da, zaman ile reçinede krom tutulması arasındaki grafikler Şekil 4.130, 4.131, 4.132 ve 4.133 de, toplu grafik Şekil 4.134 de verilmiştir.

Çizelge 4.127. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (1000 rpm)

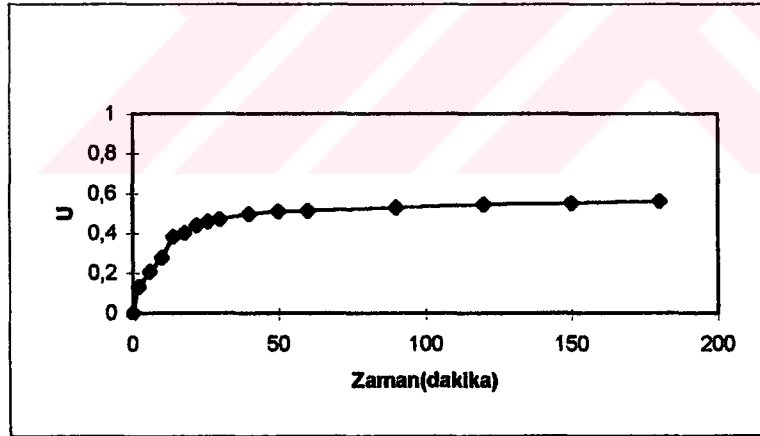
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alınan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alınan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	140.09	19.91	0.12	12.44
6	123.48	36.52	0.23	22.83
10	114.56	45.44	0.28	28.40
14	105.48	54.52	0.34	34.08
18	97.65	62.35	0.39	38.97
22	93.45	66.55	0.42	41.59
26	89.71	70.29	0.44	43.93
30	86.57	73.43	0.46	45.89
40	83.20	76.80	0.48	48.00
50	80.83	79.17	0.49	49.48
60	77.65	82.35	0.51	51.47
90	76.21	83.79	0.52	52.37
120	75.09	84.91	0.53	53.07
150	74.27	85.73	0.54	53.58
180	73.41	86.59	0.54	54.12



Şekil 4.130. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (1000 rpm)

Çizelge 4.128. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (1500 rpm)

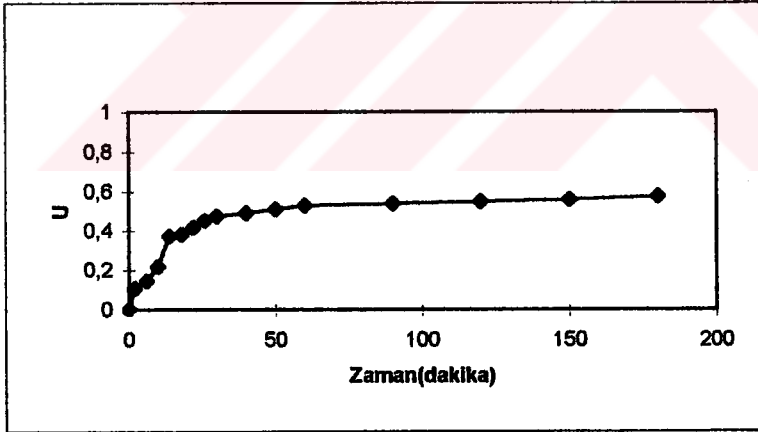
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr^{3+} miktarı (mg/L)	Reçinede alıkonulan Cr^{3+} miktarı (mg/L)	U	Reçinede alıkonulan (tutulan) % Cr^{3+} miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	139.05	20.95	0.13	13.09
6	126.76	33.24	0.21	20.78
10	115.49	44.51	0.28	27.82
14	99.02	60.98	0.38	38.11
18	95.67	64.33	0.40	40.21
22	89.90	70.10	0.44	43.81
26	86.80	73.20	0.46	45.75
30	84.37	75.63	0.47	47.27
40	80.47	79.53	0.50	49.71
50	78.50	81.50	0.51	50.94
60	77.72	82.28	0.51	51.43
90	75.20	84.80	0.53	53.00
120	73.09	86.91	0.54	54.32
150	71.63	88.37	0.55	55.23
180	70.16	89.84	0.56	56.15



Şekil 4.131. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (1500 rpm)

Çizelge 4.129. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (2000 rpm)

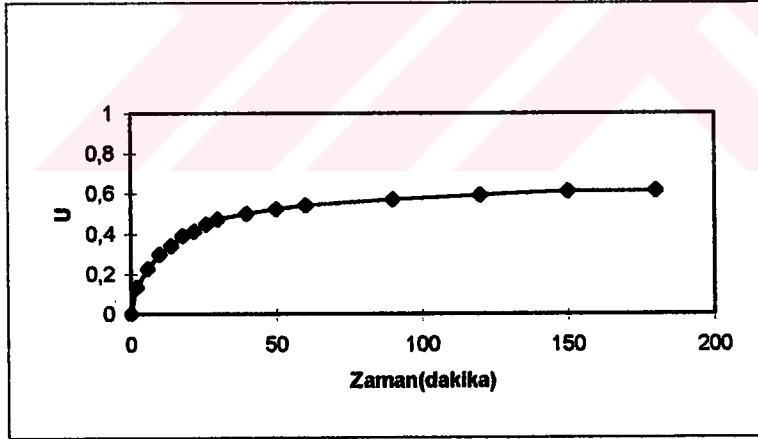
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr^{3+} miktarı (mg/L)	Reçinede alınan Cr^{3+} miktarı (mg/L)	U	Reçinede alınan (tutulan) % Cr^{3+} miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	143.23	16.77	0.10	10.48
6	137.06	22.94	0.14	14.34
10	125.47	34.53	0.22	21.58
14	100.54	59.46	0.37	37.16
18	98.70	61.30	0.38	38.31
22	93.02	66.98	0.42	41.86
26	87.81	72.19	0.45	45.12
30	84.32	75.68	0.47	47.30
40	81.78	78.22	0.49	48.89
50	78.64	81.36	0.51	50.85
60	75.17	84.83	0.53	53.02
90	73.74	86.26	0.54	53.91
120	72.45	87.55	0.55	54.72
150	70.61	89.39	0.56	55.87
180	68.13	91.87	0.57	57.42



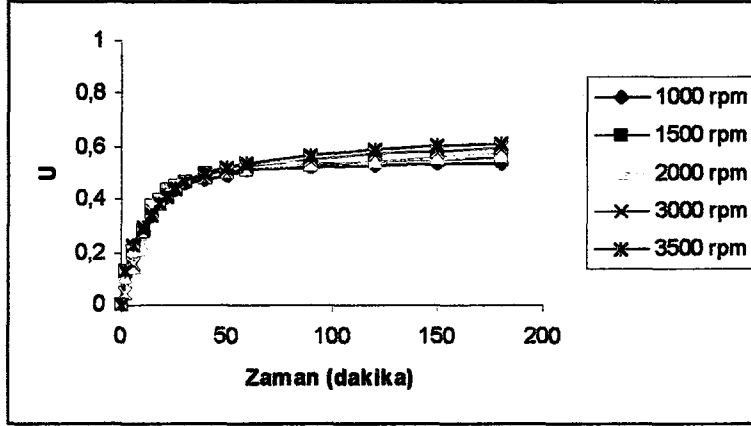
Şekil 4.132. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (2000 rpm)

Çizelge 4.130. Krom tutulması üzerine karıştırma hızının etkisi (3500 rpm)

Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	Reçinede alınan Cr ³⁺ miktarı (mg/L)	U	Reçinede alınan (tutulan) % Cr ³⁺ miktarı
0	160.00	0.00	0.00	0.00
2	138.85	21.15	0.13	13.22
6	124.05	35.95	0.22	22.47
10	112.37	47.63	0.30	29.77
14	105.65	54.35	0.34	33.97
18	97.75	62.25	0.39	38.91
22	94.03	65.97	0.41	41.23
26	88.43	71.57	0.45	44.73
30	84.72	75.28	0.47	47.05
40	80.25	79.75	0.50	49.84
50	76.42	83.58	0.52	52.24
60	73.41	86.59	0.54	54.12
90	68.92	91.08	0.57	56.93
120	65.27	94.73	0.59	59.21
150	62.43	97.57	0.61	60.98
180	61.82	98.18	0.61	61.36



Şekil 4.133. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (3500 rpm)



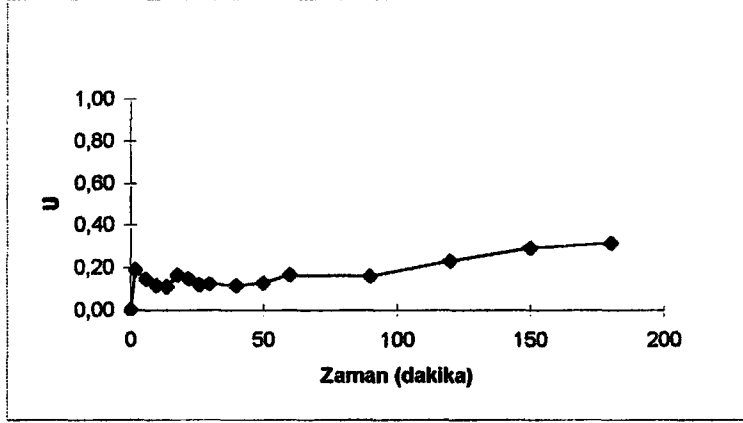
Şekil 4.134. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Toplu grafik)

4.8.6. Kadmiyum

Kadmiyum ile çok fazla kinetik çalışma yapılmamıştır. Sadece krom ile karşılaştırmak için Amberlite IRC 718 (kuvvetli katyonik) ve Amberlite IR 120 (kuvvetli katyonik) reçinelerle kinetik çalışmalar yapılmıştır. Kadmiyumun yavaş kinetiğinden dolayı çalışmalara devam edilmemiştir. Amberlite IRC 718 reçine ile 10 mg reçine, 10 ppm Cd konsantrasyonu, 3000 rpm ve 3 saat çalışma yapılmıştır ve sonuçları Çizelge 4.131 de zaman ile Cd tutulması arasındaki grafik Şekil 4.136 da verilmiştir. Amberlite IR 120 Na⁺ formundaki reçine ile 10 mg reçine, 50 ppm Cd konsantrasyonu, 3000 rpm ve 3 saat yapılan çalışmanın sonuçları Çizelge 4.132 de, zamanla Cd tutulması arasındaki grafik Şekil 4.137 de verilmiştir. Ayrıca Amberlite IR 120 H⁺ formundaki reçine ile 10 mg reçine, 50 ppm Cd konsantrasyonu, 3000 rpm ve 2 saat yapılan çalışmanın sonuçları Çizelge 4.133 de, zamanla Cd tutulması arasındaki grafik Şekil 4.138 de verilmiştir.

Çizelge 4.131. Amberlite IRC 718 reçine ile kadmiyum tutulması (10 ppm)

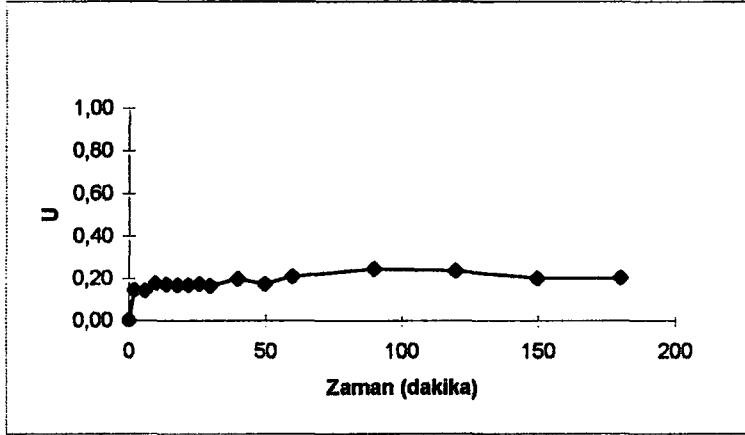
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cd ²⁺ (mg/L)	U
0	10.00	0.00
2	8.13	0.19
6	8.55	0.15
10	8.85	0.12
14	8.92	0.11
18	8.35	0.17
22	8.54	0.15
26	8.83	0.12
30	8.75	0.13
40	8.86	0.11
50	8.74	0.13
60	8.35	0.17
90	8.42	0.16
120	7.70	0.23
150	7.08	0.29
180	6.84	0.32



Şekil 4.135. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cd (10 ppm)

Çizelge 4.132. Amberlite IR 120 (Na⁺ form) reçine ile kadmiyum tutulması (50 ppm)

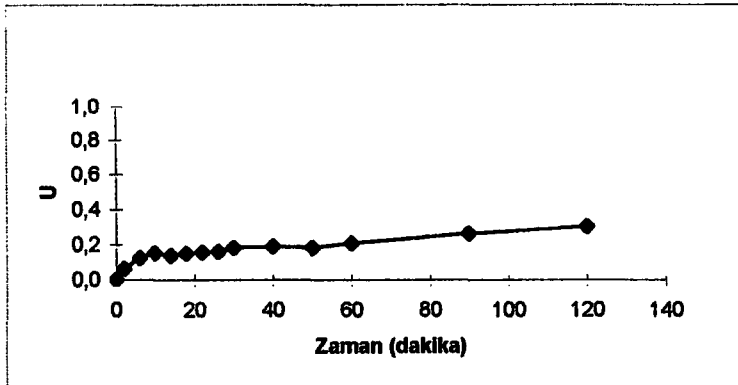
Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cd ²⁺ (mg/L)	U
0	50,00	0,00
2	42,85	0,14
6	42,95	0,14
10	41,25	0,18
14	41,55	0,17
18	41,65	0,17
22	41,65	0,17
26	41,30	0,17
30	41,85	0,16
40	40,15	0,20
50	41,30	0,17
60	39,50	0,21
90	37,75	0,25
120	38,20	0,24
150	40,05	0,20
180	39,85	0,20



Şekil 4.136. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cd (50 ppm)

Çizelge 4.133. Amberlite IR 120 (H⁺ form) reçine ile kadmiyum tutulması (50 ppm)

Zaman (dakika)	Çözeltide kalan Cd ²⁺ (mg/L)	U
0	50.00	0.00
2	46.92	0.06
6	43.76	0.12
10	42.48	0.15
14	43.04	0.14
18	42.60	0.15
22	42.24	0.16
26	42.00	0.16
30	40.96	0.18
40	40.52	0.19
50	40.92	0.18
60	39.60	0.21
90	37.04	0.26
120	35.04	0.30



Şekil 4.137. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cd (50 ppm)

4.9. TABAKHANE ATIK SULARINDAKİ Cr^{3+} 'NİN İYON DEĞİŞTİRİCİLERLE UZAKLAŞTIRILMASININ UYGULANMASI.

Krom bir tabaklama maddesi olarak oldukça yaygın bir şekilde deri endüstrisinde kullanılmaktadır. Bunun doğal bir sonucu olarakta tabakhane atık sularında oldukça fazla bulunmaktadır. Bu çalışmamızdaki amaç tabakhane atık sularındaki kromun iyon değiştiricilerle tutulması ve geri kazanılmasıdır. Böylece her yıl milyonlarca ton toprağa bırakılan krom ağır metalinin çevreye olan zararlı etkilerini azaltmak, hem de kimyasal madde geri kazanımıyla maddi yarar sağlanmak mümkün olmaktadır.

Tabakhane sularından kromun geri kazanılmasında zayıf katyonik reçinelerin daha uygun olduğunu hem bizim yaptığımız çalışmalardan hem de literatürlerden gözlemlendi. Burada en büyük sorun rejenerasyon problemidir. O da farklı rejenerantlar kullanarak ortadan kaldırıldı.

Kromun iyon değiştiricilerle tutulması işleminde Amberlite IRC 86 (zayıf katyonik reçine) kullanıldı. Bölüm 4.2.1. de anlatıldığı gibi reçinemiz 1.5 metrelik kolona yerleştirilip hazırlandı.

~60- 120 mg/ L çözelti konsantrasyonlarında ve 10- 20 BV/ saat akış hızlarında çalışıldı ve sonuçlar Çizelge 4.134. de verildi. Bu parametreler seçilirken tabakhane atık sularındaki krom miktarı ve reçinenin önerilen çalışma koşullarına dikkat edildi.

Çizelge 4.134. Başlangıç ve çıkıştaki Krom (III) konsantrasyonları, akış hızları, tutulan krom (III) miktarları ve % leri.

Akış hızı	Başlangıç konsantrasyonu (mg/L)	Çıkıştaki toplam Cr (III) konsantrasyonu (mg/10-20L)	Reçinede tutulan krom miktarı Cr (III) (mg/L)	Reçinede tutulan % Cr (III)
10 BV/h	102.85	73.05	975.44	95.56
10 BV/h	68.60	227.465	520.86	79.27
10 BV/h	72.70	429.44	396.78	63.07
10 BV/h	99.14	541.60	598.74	65.85
10 BV/h	94.60	849.85	363.60	43.84
20 BV/2h	87.68	1551.97	528.60	36.77
20 BV/2h	86.03	1700.40	432.34	29.39
20 BV/h	106.82	1172.10	627.98	31.43
20 BV/h	111.93	1365.02	371.67	21.29
20 BV/h	107.60	1466.78	184.75	14.79

4.10. REJENERASYON

Rejenerasyon işlemi yaygın olarak kullanılan HCl, H₂SO₄, NaOH, Na₂SO₄ rejenerantlarla gerçekleştirilememiştir. Bu yüzden 5 değişik rejenerasyon işlemi uygulanmış ve diğer rejenerasyon işlemleri ile karşılaştırılmıştır.

Bunlar;

(a) 1 M NaOH ile ; (b) 1 M H₂SO₄ ile; (c) 1 M NaOH 'i takiben 1 M H₂SO₄ veya tam tersi (d) 1 M NaOH 'i takiben 1 M H₂SO₄ / Na₂SO₄ çözeltisi (e) Alkali H₂O₂ / NaOH çözeltilerini takiben 1 M H₂SO₄.

15 g (ıslak tartılmış) reçine örnekleri ana kolondan alınıp ayrı kolonlarda rejenerasyon işlemleri uygulandı. Rejenerasyon işlemi 10 BV/saat akış hızında gerçekleştirildi.

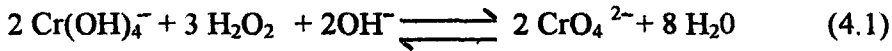
(c) işleminde önce NaOH arkasından 1 M H₂SO₄, daha sonra önce 1 M H₂SO₄ arkasından NaOH geçirilerek rejenerasyon işlemi yapıldı.

(d) işleminde 1 M NaOH 'i takiben 1 M H₂SO₄ / Na₂SO₄ (50 % eşit hacimde) çözeltileri geçirildi.

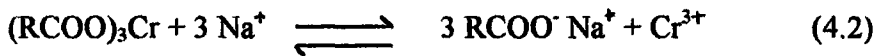
(e) işleminde ise önce 0.15, 0.35 ve 0.5 M (ayrı ayrı) NaOH içerisinde taze hazırlanmış 0,15 M H₂O₂ , arkasındanda 1 M H₂SO₄ geçirilerek rejenerasyon işlemi gerçekleştirildi.

Rejenerasyon reaksiyonları

Krom (III)'ün oksidasyon rejenerasyonu hidrojen peroksit-sodyum hidroksit çözeltileri ile yapıldı.



Oksidasyon reaksiyonu ile birlikte iyon değiştirme reaksiyonu da gerçekleşti.



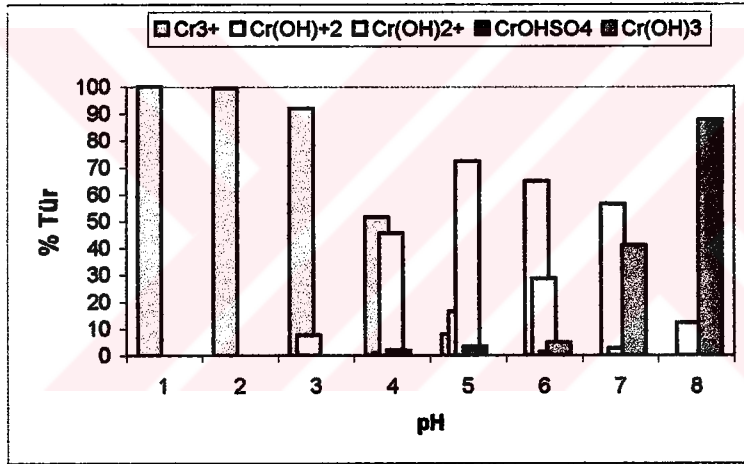
Sonuçlar Çizelge 4.135. de verilmiştir.

Çizelge 4.135. Krom(III)'ün geri kazanılması için uygulanan işlemler ve kimyasallar

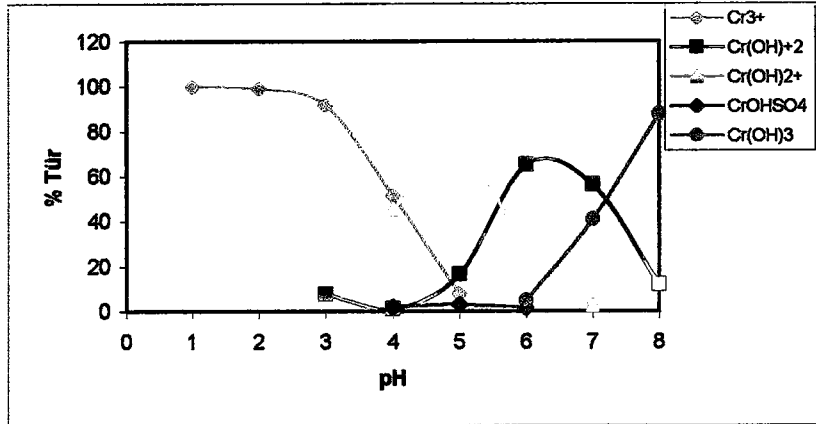
Rejenerasyon işlemleri	Kimyasallar	BV/saat	Rejenere edilerek geri kazanılan % Cr(III)
(a)	NaOH 1 M	10	20.9
(b)	H ₂ SO ₄ 1 M	10	32.8
(c)	NaOH 1 M / H ₂ SO ₄ 1 M	10/5	43.6
(c')	H ₂ SO ₄ 1 M / NaOH 1 M	10/5	42.3
(d)	NaOH 1M / H ₂ SO ₄ 1 M (50%) Na ₂ SO ₄ 1M (50%)	10	39.2
(e)	H ₂ O ₂ 0,15 M / NaOH 0,15 M	10	52.1
(e')	H ₂ O ₂ 0,15 M / NaOH 0,35 M	10	89.5
(e'')	H ₂ O ₂ 0,15 M / NaOH 0,50 M	10	78.7

4.11. MINTEQA2 Programı İle Türlendirme (Speciation)

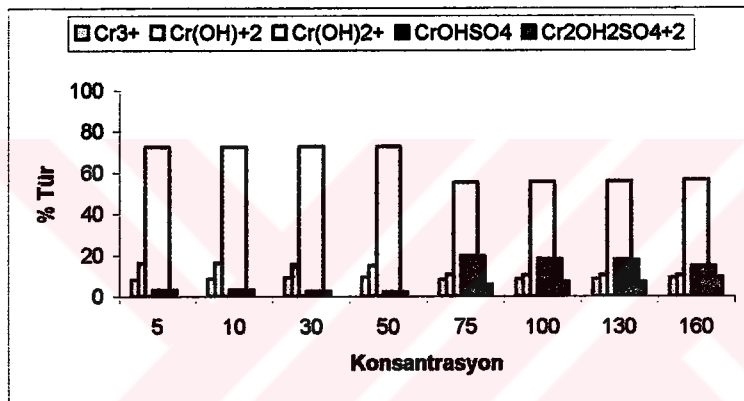
Çalışılan konsantrasyon ve pH değerlerindeki tür dağılımlarını hesaplamak için MINTEQA2 Version 3.11 türlendirme ve PRODEFA2 Version 3.11 MS-DOS işletim programları kullanıldı. MINTEQA2 programı ile sulu çözeltilerde tür belirleme, çözünürlük, doyma indisi, adsorpsiyon, oksidasyon redüksiyon hesapları, gaz fazı dengeleri ve katı faz çözünürlük, çökme hesapları yapılabilmektedir. MINTEQA2 modelleme programı kullanılarak çalışılan pH ve konsantrasyon değerlerine bağlı olarak oluşan türlerin % konsantrasyonları belirlendi. Programda konsantrasyon değerleri mg/L olarak verildi. Oluşan türlerin % konsantrasyonları ile pH ve konsantrasyon arasında grafikleri çizildi ve Şekil 4.138- 4.141 arasında verildi.



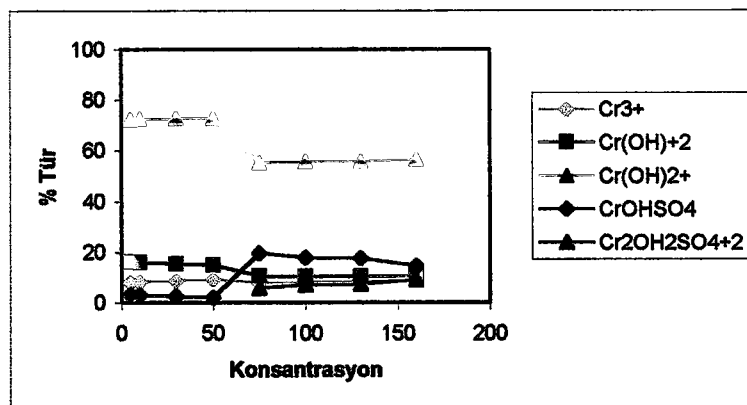
Şekil 4.138. pH a bağlı olarak % tür dağılımı çubuk grafik (10 ppm)



Şekil 4.139. pH a bağlı olarak % tür dağılımı eğri grafiği (10 ppm)



Şekil 4.140. Konsantrasyona bağlı olarak % tür dağılımı çubuk grafik (pH 5)



Şekil 4.141. Konsantrasyona bağlı olarak % tür dağılımı eğri grafiği (pH 5)

4.12. Katyon ve Anyon Değiştirici Reçinelerle Yapılan alışmaların Kinetik Modellere Göre İncelenmesi

Kressman- Kitchener karıştırıcı sistemi ile yapılan kinetik çalışmalarda konsantrasyon, reçine miktarı, tanecik büyüklüğü, karıştırma hızı gibi parametrelerin reaksiyon kinetiğine olan etkileri her reçine için ayrı ayrı incelendi. Bütün bu çalışmalarda $t_{0.5}$ zamanı (kinetik prosesin yarı değiştirme zamanı) belirlenerek zaman ile % Cr alım hızı takip edildi. Katyonik ve anyonik reçinelerle yapılan kinetik çalışmaların toplu sonuçları izelge 4.136 da verildi. Elde edilen sonuçlarla kinetik modeller arasındaki korelasyon için çizilen grafikler Şekil 4.142- 4.153 arasında verildi.

Reaksiyon kinetiğinin hızı üzerine etkili kontrol mekanizması hakkında daha fazla bilgi edinmek için kesilme (interruption) deneyleri yapıldı. Ayrıca kinetik modeller için önemli bir parametre olan α (Ayırma faktörü) nın belirlenmesi için denge deneyleri yapıldı.

4.12.1. Kesilme (Interruption) deneyleri

4.2.2 bölümünde anlatıldığı gibi hazırlanan Amberlite IRC 76 (zayıf katyonik), Amberlite IRC 718 (zayıf katyonik), Amberlite IR 120 (kuvvetli katyonik), Amberlite IRA 402 (kuvvetli anyonik) ve Amberlite IRA 410 (kuvvetli anyonik) reçinelerden 4.3.1. de açıklandığı gibi 10'ar mg hızlı bir Şekilde tartılarak en az bir gece, n nemlenme ve Şişerek iyon değişimini sağlayacak gruplarının açığa çıkması için içerisi yarıya kadar su dolu bir desikatörün içerisinde bekletildi. Daha sonra, 4.1.3.2 bölümünde bahsedilen Kressman-Kitchener karıştırıcısına konularak içerisinde kinetik çalışma yapılacak 1 L 100 ppm Cr^{3+} zeltisi bulunan termostatlı su banyosuna bağlı olan 2 L'lik reaktöre 3000 rpm karıştırma hızında karıştırarak daldırıldı. Belirli zamanlarda örnek alındı, 15 dakika sonra karıştırıcı ile çözelti teması, karıştırıcıyı durdurmadan reaksiyon kabının dışına alarak kesildi, karıştırıcı üzerinde kalabilecek çözeltiyi uzaklaştırmak için 3 dakika kadar karıştırıcı çalıştırılmaya devam edildi ve sonra durduruldu. 15 dakika sonra karıştırıcı tekrar reaksiyon kabına karıştırarak daldırıldı. Belirli zamanlarda örnek alma işlemine devam edildi, 2 saat sonunda işlem tamamlandı ve çözeltide azalan Cr^{3+} miktarları Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi ile ölçüldü. Bu işlemler her reçine için ayrı ayrı tekrarlandı. Sonuçlar izelge 4.137- 4.141 ve grafikler Şekil 4.154- 4.158 arasında verildi.

4.12.2. Denge deneyleri

Denge tayinleri kesikli sistemde yapıldı. 4.2.2. bölümünde anlatıldığı gibi hazırlanmış reçinelerden belli miktarlarda tartım alındı. Amberlite IRC 76 reçineden sırası ile 0.5, 0.75, 1, 2, 3, 5 g, Amberlite IRC 718 reçineden 0.5, 1, 2, 3 g, Amberlite IR 120 reçineden 0.5, 1, 2, 3 g, Amberlite IRA 402 reçineden 0.5, 1, 2, 3 g ve Amberlite IRA 410 reçineden 0.5, 1, 2, 3 g kapaklı şilifli erlenlere tartımlar alındı. Üzerlerine 200 ml 0.2 mmol/L Cr^{3+} çözeltisi (pH: 2 tampon çözeltisi ile) ilave edildi ve arasıra karıştırarak oda sıcaklığında dengeye erişene kadar 1 hafta bekletildi. Daha sonra süzülerek çözeltide azalan Cr^{3+} miktarları Atomik Absorpsiyon Spektrofotometresi ile ölçüldü. X ve Y değerleri aşağıdaki formüllere göre hesaplandı (Franzreb, 1993), X-Y ve $\ln X/1-X$ - $\ln Y/1-Y$ grafikleri çizilip en küçük kareler metodu uygulanarak α (Ayırma faktörü) hesaplandı. Sonuçlar Çizelge 4.142-4.147 ve Şekil 4.159-4.163 arasında verildi.

$$Q_{Cr} = Q_{top} \cdot m_{reç} - C_{0Cr} \cdot V_L / m_{reç} \quad (4.1)$$

$$Y_{Cr} = Q_{Cr} / Q_{top} \quad (4.2)$$

$$X_{Cr} = C_{Cr,eq} / C_0 \quad (4.3)$$

$$\ln Y/1-Y = \alpha \ln X/1-X + b \quad (4.4)$$

4.12.3. Kinetik çalışmalarının sonuçlarının kinetik modellere uygunluğunun araştırılması

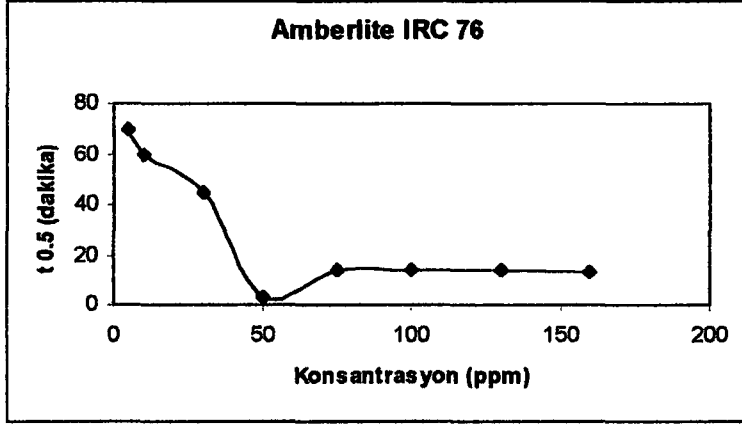
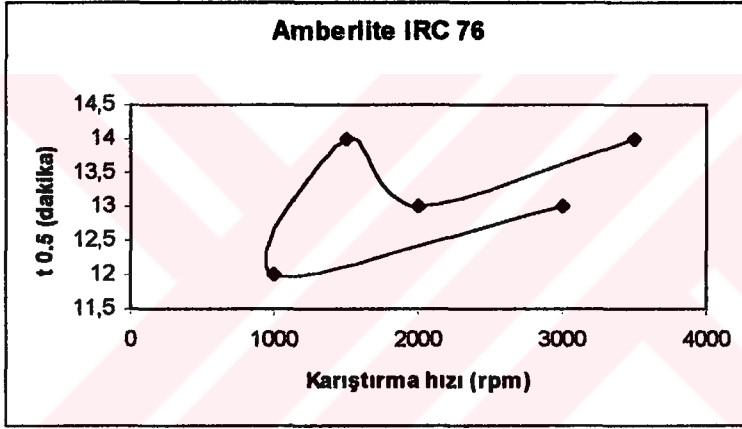
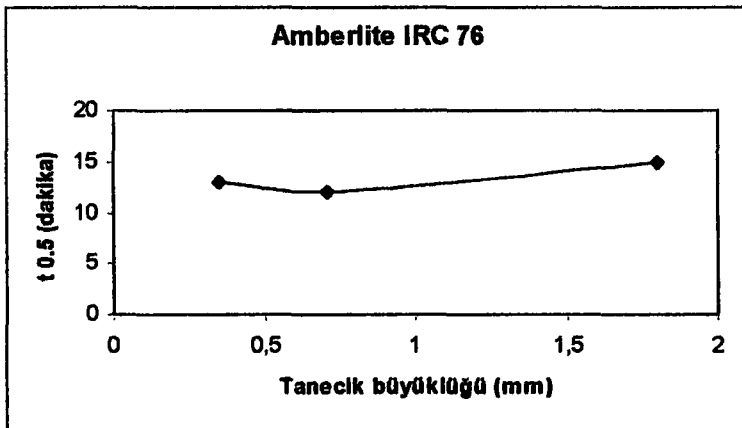
Deneysel çalışmalar üzerine iyon değiştirme hızlarının bağımlılığının verildiği Çizelge 34.' de görüldüğü gibi her 5 modelin tanecik büyüklüğü-yarıçapı (r^0) ve karesi (r^{02}), çözelti konsantrasyonu (C), ayırma faktörü (α), karıştırma hızı (rpm), reçine değiştirme kapasitesi (\bar{C}), kesilme (interruption) testleri parametrelerine göre bağımlı, bağımsız, hassas ve hassas değil durumlarına göre incelendi.

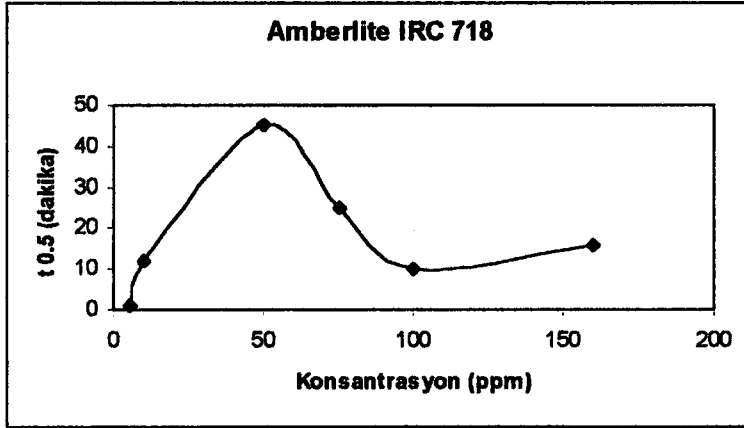
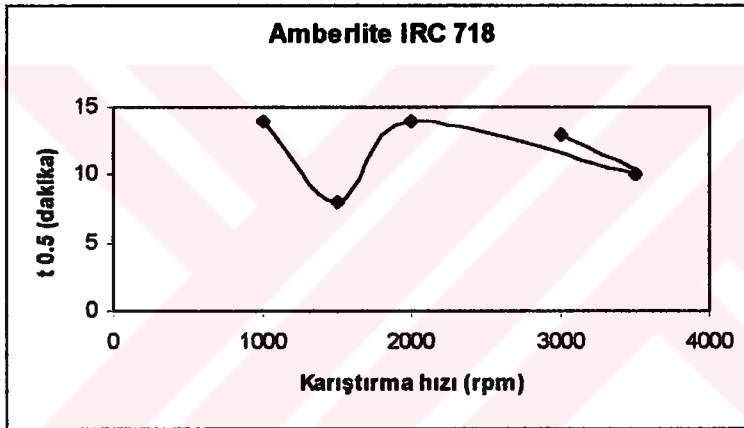
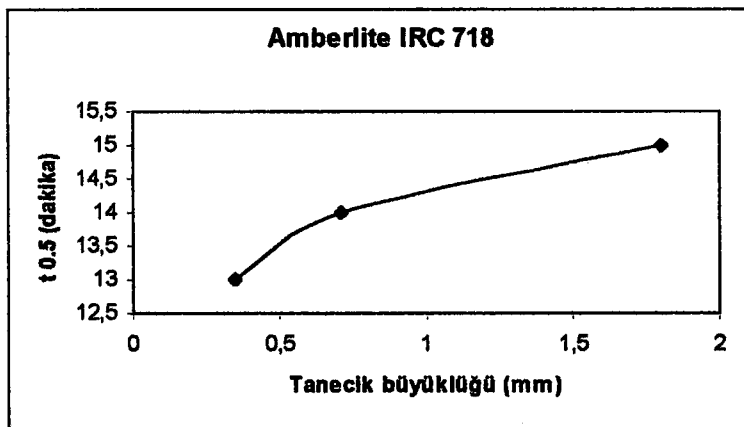
İncelenen parametrelerin Model 1 ve 2'ye uygunluğu gözlenmektedir. Çalışılan reçinelerin ayrı ayrı Model 1 ve 2'ye göre incelenmeleri sonuçlar ve tartışma bölümünde verildi.

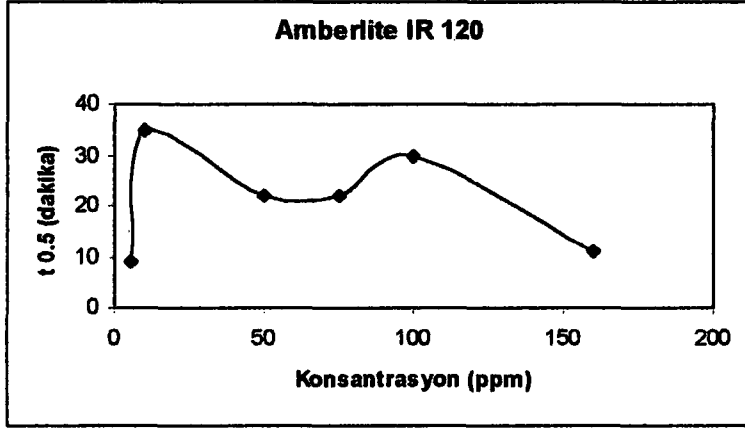
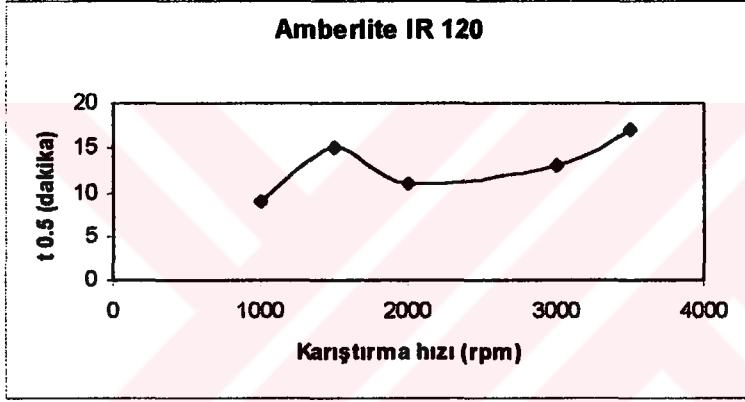
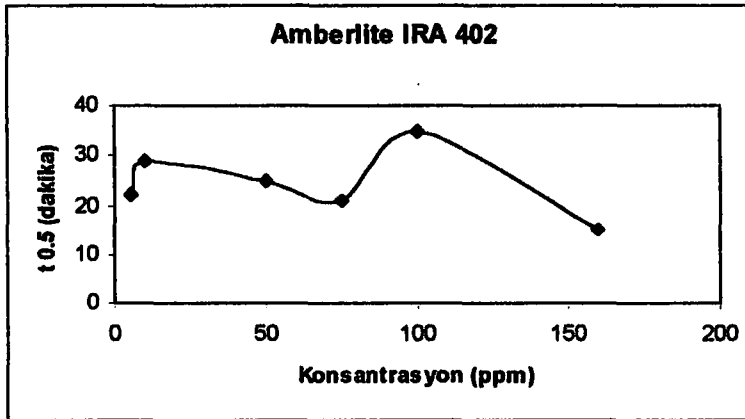
Çizelge 4.136. Katyonik ve anyonik reçinelerle yapılan kinetik çalışmaların toplu sonuçları

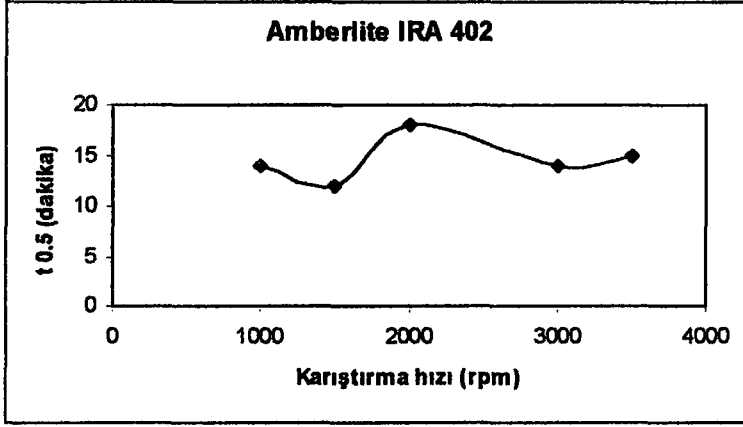
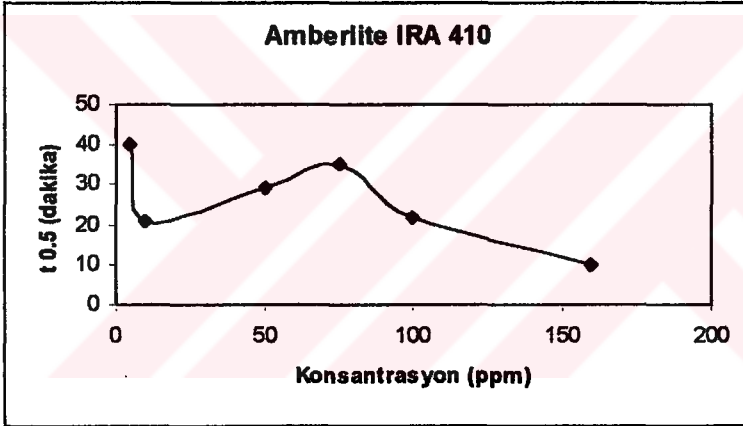
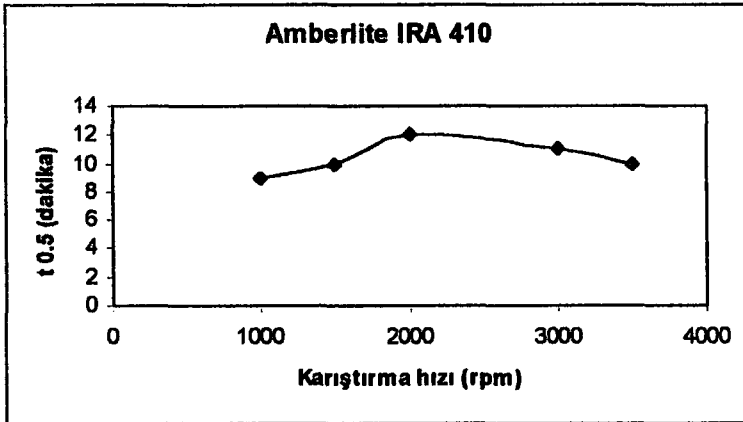
KATYONİK VE ANYONİK REÇİNELERLE Cr (III) UZAKLAŞTIRMA KINETİĞİNİN İNCELENMESİ						
Reçine adı	m (Reç.mik)	C (Konsant.)	Karıştırma hızı	Tanecik Büyüklüğü	t ₀₅	Q _{toplam} (Kapasite)
	mg	ppm	rpm	mm	dakika	eq/L
A.IRC 76	10	5	3000		70	4
A.IRC 76	10	10	3000		60	4
A.IRC 76	10	30	3000		45	4
A.IRC 76	10	50	3000		3	4
A.IRC 76	10	75	3000		14	4
A.IRC 76	10	100	3000		14	4
A.IRC 76	10	130	3000		14	4
A.IRC 76	10	160	3000		13	4
A.IRC 76	5	160	3000		13	4
A.IRC 76	10	160	3000		12	4
A.IRC 76	20	160	3000		15	4
A.IRC 76	10	160	1000		12	4
A.IRC 76	10	160	1500		14	4
A.IRC 76	10	160	2000		13	4
A.IRC 76	10	160	3000		13	4
A.IRC 76	10	160	3500		14	4
A.IRC 76	10	160	3000	0.35	13	4
A.IRC 76	10	160	3000	0.71	12	4
A.IRC 76	10	160	3000	1.8	15	4
A.IRC 718	10	5	3000		1	1
A.IRC 718	10	10	3000		12	1
A.IRC 718	10	50	3000		45	1
A.IRC 718	10	75	3000		25	1
A.IRC 718	10	100	3000		10	1
A.IRC 718	10	160	3000		16	1
A.IRC 718	5	160	3000		8	1
A.IRC 718	10	160	3000		16	1
A.IRC 718	20	160	3000		11	1
A.IRC 718	10	160	1000		14	1
A.IRC 718	10	160	1500		8	1
A.IRC 718	10	160	2000		14	1
A.IRC 718	10	160	3000		16	1
A.IRC 718	10	160	3500		10	1
A.IRC 718	10	160	3000	0.35	13	1
A.IRC 718	10	160	3000	0.71	14	1
A.IRC 718	10	160	3000	1.8	15	1
A.IR 120	10	5	3000		9	2

A:IR 120	10	10	3000		35	2
A:IR 120	10	50	3000		22	2
A:IR 120	10	75	3000		22	2
A:IR 120	10	100	3000		30	2
A:IR 120	10	160	3000		13	2
A:IR 120	5	160	3000		11	2
A:IR 120	10	160	3000		13	2
A:IR 120	20	160	3000		11	2
A:IR 120	10	160	1000		9	2
A:IR 120	10	160	1500		15	2
A:IR 120	10	160	2000		11	2
A:IR 120	10	160	3000		13	2
A:IR 120	10	160	3500		17	2
A:IRA 402	10	5	3000		22	1.30
A:IRA 402	10	10	3000		29	1.30
A:IRA 402	10	50	3000		25	1.30
A:IRA 402	10	75	3000		21	1.30
A:IRA 402	10	100	3000		35	1.30
A:IRA 402	10	160	3000		14	1.30
A:IRA 402	5	160	3000		8	1.30
A:IRA 402	10	160	3000		14	1.30
A:IRA 402	20	160	3000		10	1.30
A:IRA 402	10	160	1000		14	1.30
A:IRA 402	10	160	1500		12	1.30
A:IRA 402	10	160	2000		18	1.30
A:IRA 402	10	160	3000		14	1.30
A:IRA 402	10	160	3500		15	1.30
A:IRA 410	10	5	3000		40	1.30
A:IRA 410	10	10	3000		21	1.30
A:IRA 410	10	50	3000		29	1.30
A:IRA 410	10	75	3000		35	1.30
A:IRA 410	10	100	3000		22	1.30
A:IRA 410	10	160	3000		11	1.30
A:IRA 410	5	160	3000		10	1.30
A:IRA 410	10	160	3000		11	1.30
A:IRA 410	20	160	3000		9	1.30
A:IRA 410	10	160	1000		9	1.30
A:IRA 410	10	160	1500		10	1.30
A:IRA 410	10	160	2000		12	1.30
A:IRA 410	10	160	3000		11	1.30
A:IRA 410	10	160	3500		10	1.30

Şekil 4.142. Konsantrasyon- t_{0.5} grafiğiŞekil 4.143. Karıştırma hızı- t_{0.5} grafiğiŞekil 4.144. Tanecek büyüklüğü- t_{0.5} grafiği

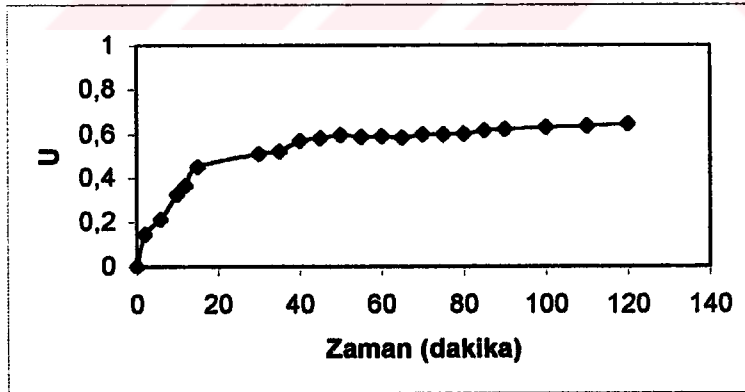
Şekil 4.145. Konsantrasyon- t_{0.5} grafiğiŞekil 4.146. Karıştırma hızı- t_{0.5} grafiğiŞekil 4.147. Tanecik büyüklüğü- t_{0.5} grafiği

Şekil 4.148. Konsantrasyon- t_{0.5} grafiğiŞekil 4.149. Karıştırma hızı- t_{0.5} grafiğiŞekil 4.150. Konsantrasyon- t_{0.5} grafiği

Şekil 4.151. Karıştırma hızı- t_{0.5} grafiğiŞekil 4.152. Konsantrasyon- t_{0.5} grafiğiŞekil 4.153. Karıştırma hızı- t_{0.5} grafiği

Çizelge 4.137. Amberlite IRC 76 için interruption (kesilme) deneyi sonuçları

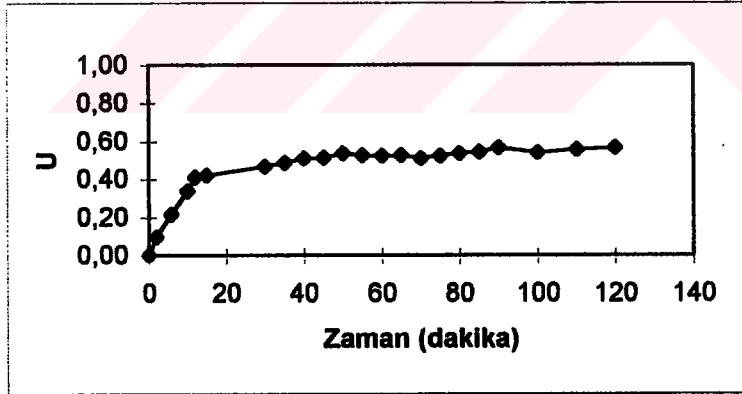
Zaman (Dakika)	Konsantrasyon (ppm)	U
0	100.00	0.00
2	85.65	0.14
6	78.77	0.21
10	67.44	0.33
12	63.51	0.36
15	54.80	0.45
30	49.82	0.51
35	47.86	0.52
40	43.01	0.57
45	41.89	0.58
50	40.38	0.60
55	41.27	0.59
60	41.04	0.59
65	41.66	0.58
70	40.15	0.60
75	40.05	0.60
80	39.75	0.60
85	38.46	0.62
90	37.75	0.62
100	37.08	0.63
110	36.41	0.64
120	35.66	0.64



Şekil 4.154. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Amberlite IRC 76)

Çizelge 4.138. Amberlite IRC 718 için interruption (kesilme) deneyi sonuçları

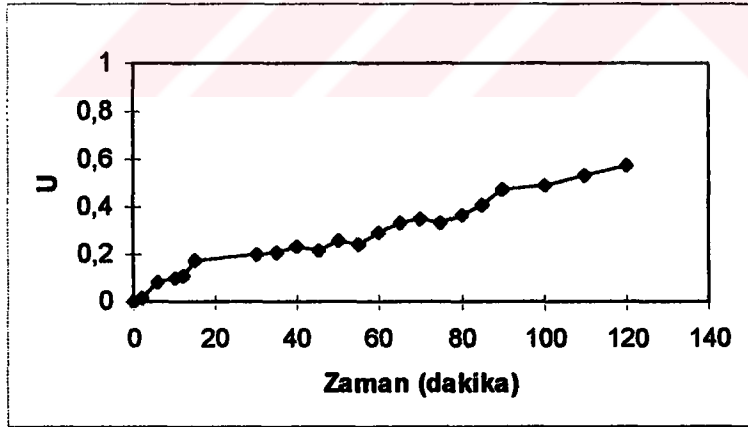
Zaman (Dakika)	Konsantrasyon (ppm)	U
0	100.00	0.00
2	90.45	0.10
6	78.64	0.21
10	66.08	0.34
12	58.98	0.41
15	57.87	0.42
30	53.45	0.47
35	51.27	0.49
40	49.12	0.51
45	48.65	0.51
50	46.50	0.54
55	47.45	0.53
60	47.80	0.52
65	47.31	0.53
70	48.89	0.51
75	47.79	0.52
80	46.52	0.53
85	45.67	0.54
90	43.46	0.57
100	46.02	0.54
110	44.45	0.56
120	43.48	0.57



Şekil 4.155. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Amberlite IRC 718)

Çizelge 4.139. Amberlite IR 120 için interruption (kesilme) deneyi sonuçları

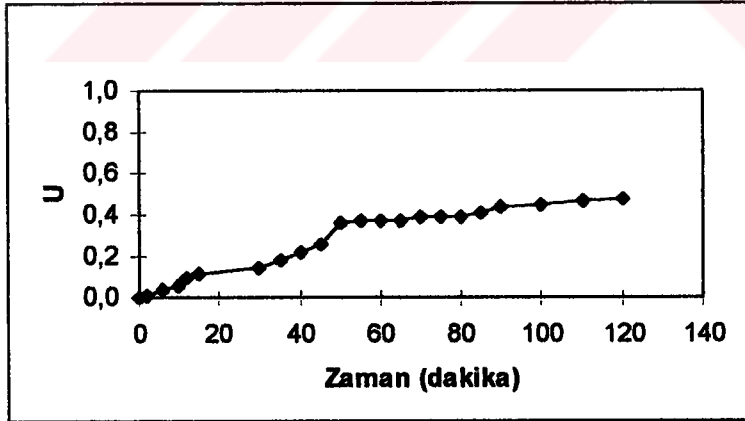
Zaman (Dakika)	Konsantrasyon (ppm)	U
0	100.00	0.00
2	98.07	0.02
6	91.45	0.09
10	90.40	0.10
12	88.75	0.11
15	82.35	0.18
30	80.19	0.20
35	78.76	0.21
40	76.54	0.23
45	78.65	0.21
50	74.06	0.26
55	75.67	0.24
60	71.06	0.29
65	66.91	0.33
70	65.17	0.35
75	66.63	0.33
80	63.46	0.37
85	59.03	0.41
90	52.11	0.48
100	50.77	0.49
110	46.78	0.53
120	42.11	0.58



Şekil 4.156. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Amberlite IR 120)

Çizelge 4.140. Amberlite IRA 402 için interruption (kesilme) deneyi sonuçları

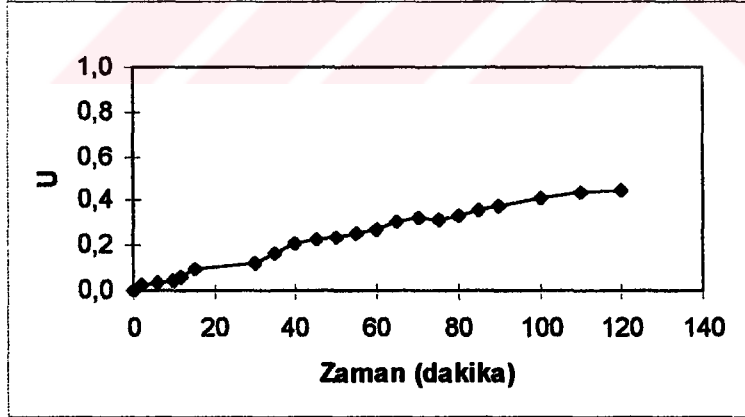
Zaman (Dakika)	Konsantrasyon (ppm)	U
0	100.00	0.00
2	98.77	0.01
6	96.65	0.03
10	94.43	0.06
12	90.09	0.10
15	88.71	0.11
30	85.43	0.15
35	81.46	0.19
40	78.38	0.21
45	74.11	0.26
50	70.85	0.36
55	63.72	0.37
60	62.50	0.38
65	62.40	0.38
70	60.85	0.39
75	60.52	0.39
80	60.57	0.39
85	58.74	0.41
90	56.29	0.44
100	55.19	0.45
110	52.97	0.47
120	52.26	0.48



Şekil 4.157. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Amberlite IRA 402)

Çizelge 4.141. Amberlite IRA 410 için interruption (kesilme) deneyi sonuçları

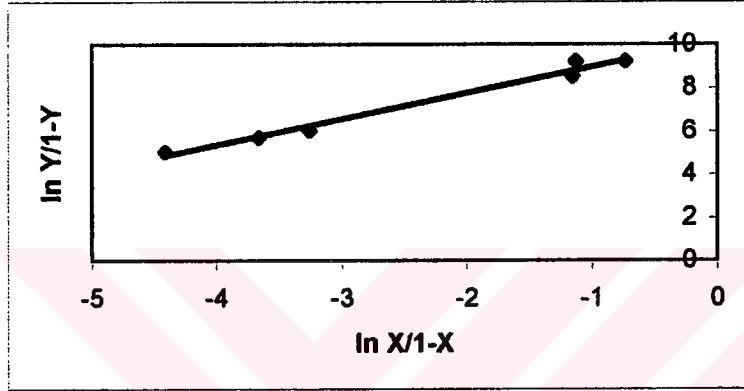
Zaman (Dakika)	Konsantrasyon (ppm)	U
0	100.00	0.00
2	97.45	0.03
6	96.36	0.04
10	95.27	0.05
12	93.48	0.07
15	90.06	0.10
30	87.77	0.12
35	83.46	0.17
40	79.03	0.21
45	77.48	0.23
50	75.23	0.24
55	74.33	0.26
60	72.61	0.27
65	68.93	0.31
70	67.45	0.33
75	68.03	0.32
80	66.92	0.33
85	64.12	0.36
90	62.06	0.38
100	58.47	0.42
110	56.24	0.44
120	56.00	0.44



Şekil 4.158. Zamana bağlı olarak reçinede tutulan Cr (Amberlite IRA 410)

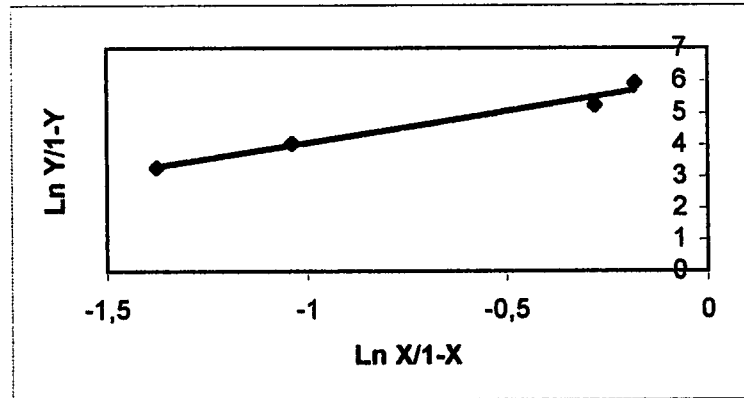
Çizelge 4.142. Amberlite IRC 76 (Zayıf katyonik reçine) denge deneyi sonuçları

X	Y	$\ln X/1-X$	$\ln Y/1-Y$
0.325	0.9999	-0.730	9.210
0.245	0.9999	-1.124	9.210
0.240	0.9998	-1.152	8.516
0.037	0.9976	-3.259	6.029
0.025	0.9967	-3.663	5.710
0.012	0.9935	-4.410	5.029

Şekil 4.159. $\ln X/1-X$ - $\ln Y/1-Y$ grafiği (Amberlite IRC 76)

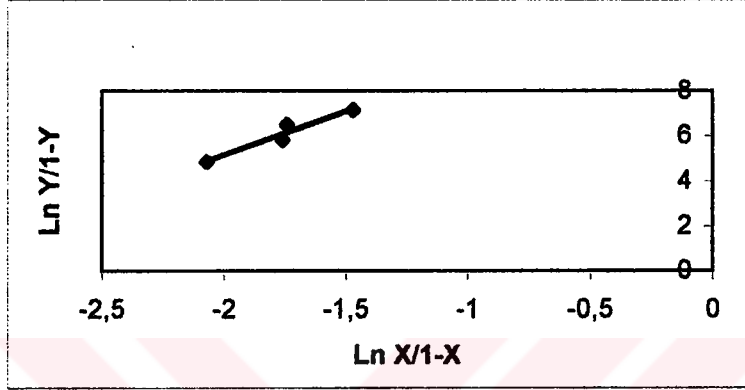
Çizelge 4.143. Amberlite IRC 718 (Zayıf katyonik reçine) denge deneyi sonuçları

X	Y	$\ln X/1-X$	$\ln Y/1-Y$
0.455	0.9973	-0.180	5.911
0.430	0.9947	-0.280	5.234
0.261	0.9828	-1.038	4.045
0.202	0.9636	-1.375	3.276

Şekil 4.160. $\ln X/1-X$ - $\ln Y/1-Y$ grafiği (Amberlite IRC 718)

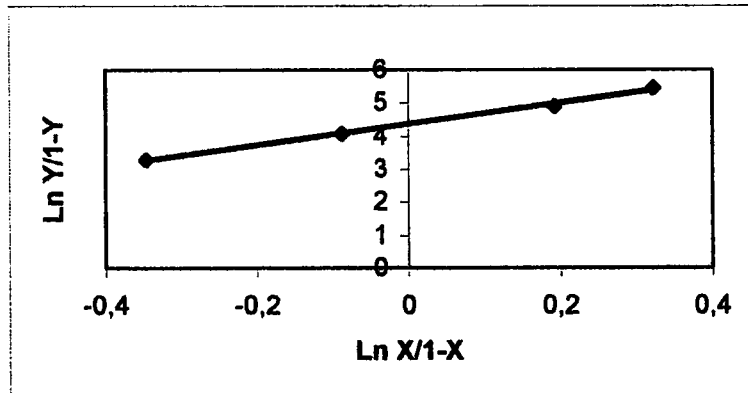
Çizelge 4.144. Amberlite IR 120 (Kuvvetli katyonik reçine) denge deneyi sonuçları

X	Y	$\ln X/1-X$	$\ln Y/1-Y$
0.198	0.9992	-1.470	7.130
0.149	0.9985	-1.742	6.500
0.146	0.9970	-1.762	5.806
0.112	0.9920	-2.070	4.820

Şekil 4.161. $\ln X/1-X - \ln Y/1-Y$ grafiği (Amberlite IR 120)

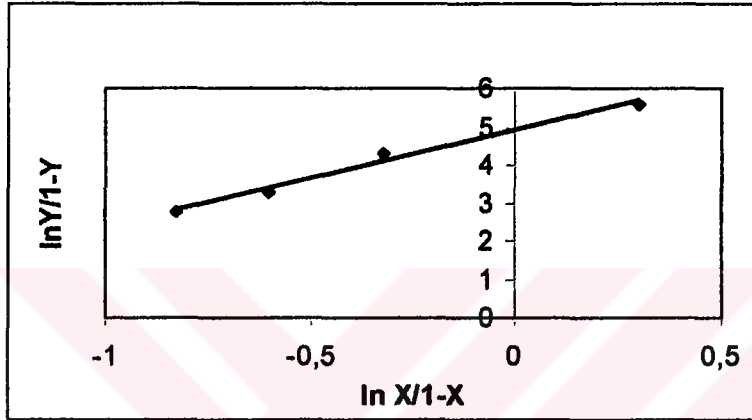
Çizelge 4.145. Amberlite IRA 402 (Kuvvetli anyonik reçine) denge deneyi sonuçları

X	Y	$\ln X/1-X$	$\ln Y/1-Y$
0.580	0.9957	0.322	5.444
0.548	0.9926	0.192	4.898
0.478	0.9831	-0.088	4.063
0.414	0.9640	-0.347	3.287

Şekil 4.162. $\ln X/1-X - \ln Y/1-Y$ grafiği (Amberlite IRA 402)

Çizelge 4.146. Amberlite IRA 410 (Kuvvetli anyonik reçine)

X	Y	$\ln X/1-X$	$\ln Y/1-Y$
0.575	0.9963	0.302	5.5950
0.420	0.9870	-0.322	4.3290
0.354	0.9646	-0.599	3.3050
0.305	0.9402	-0.823	2.7550

Şekil 4.163. $\ln X/1-X - \ln Y/1-Y$ grafiği (Amberlite IRA 410)Çizelge 4.147. Reçinelerin α -ayırma faktörleri

Reçine adı	α (ayırma faktörü)
Amberlite IRC 76 (zayıf katyonik reçine)	1.1995
Amberlite IRC 718 (zayıf katyonik reçine)	1.9998
Amberlite IR 120 (kuvvetli katyonik reçine)	3.895
Amberlite IRA 402 (kuvvetli anyonik reçine)	3.1662
Amberlite IRA 410 (kuvvetli anyonik reçine)	2.5460

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Giriş kısmında da belirtildiği gibi bu çalışmanın temel amacı, çevresel atık sulara yaygın olarak bulunan kromun iyon değiştiricilerle uzaklaştırılması, seçilen iki zayıf, bir kuvvetli katyonik, iki anyonik reçine ile kromun optimum uzaklaştırma koşullarının araştırılması, iyon değiştirme kinetiği üzerine etki eden parametreler yönünden incelenerek mevcut kinetik modellere uygunluğunun araştırılması, çalışılan pH ve konsantrasyonlarda türleştirme yapılmasıdır.

Ayrıca kuvvetli katyonik reçine (Amberlite IR 120) ile kadmiyum metali için çalışma yapılarak, aynı koşullarda krom ve kadmiyum metal alımları karşılaştırıldı. Bunun için, seçilen reçinenin optimum koşulları belirlendi ve aynı şekilde kinetik çalışmalar yapıldı.

5.1.Kromun Seçilen Reçinelerle Uzaklaştırılmasında Optimum Koşulların Belirlenmesine Etki Eden Faktörler

5.1.1. Amberlite IRC 76 (Zayıf Katyonik Reçine)

5.1.1.1. Krom tutulması üzerine konsantrasyonun etkisi

4.6.1.1. bölümünde belirlenen şartlarda çalışıldı. Na^+ ve H^+ formunda çalışılmış reçineler için krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi Çizelge 4.3 ve 4.4 de ve Şekil 4.7 de verildi. Na^+ formu için 5 ile 100 ppm arasında konsantrasyon artışının tutulma miktarında büyük değişime neden olmadığı görüldü. Optimum konsantrasyon olarak seçilen 10 ppm' den yüksek konsantrasyonlarda artış olmamaktadır. H^+ formunda ise ~ 50 ppm'e kadar tutulma aynı daha sonra hafif bir düşüş görüldü. Çalışılan düşük konsantrasyonlarda, % Cr alımında bir kararlılık görülmektedir. Optimum çalışma konsantrasyonu her iki form içinde 10 ppm olarak alındı.

H^+ formundaki reçinelerle kromun az tutulmasının, krom tutulması sırasında reçine tarafından çözeltilmeye verilen hidrojen iyonlarının pH'ı düşürmesinden kaynaklandığı sonucuna varıldı. Bu durumdan zayıf katyonik reçinelerin etkilendiği görülmektedir. Reçine tarafından çözeltilmeye H^+ iyonu verilmesi ve işlem sırasında pH değişiminin önüne geçmek için reçineler NaCl ile Na^+ formuna dönüştürüldü. Tutulma oranı sadece pH'a bağlı olmayıp daha çok çözeltideki krom (III) iyonunun türlerine de bağlıdır.

5.1.1.2. Krom tutulması üzerine pH'ın etkisi

4.6.1.2. bölümünde belirlenen şartlarda çalışıldı. Na^+ ve H^+ formunda çalışılmış reçineler için krom tutulması üzerine pH'ın etkisi Çizelge 4.5 ve 4.6 da ve Şekil 4.8 de verildi. Na^+ formundaki reçine için tutulma oranı ~ pH 4'e kadar sabit kalmakta, sonra bir artış

gözlenmektedir. H^+ formunda % Cr alımında, pH 1-5 arasında bir artış, pH 5-6 arasında hızlı bir artış görülmekte ve pH 6 dan sonraki (tahmini pH 6.4-8) artış ise, çalışma sırasında çözeltide görülen bulanıklıkta anlaşıldığı gibi, Cr^{3+} 'nın çökme pH'ına ulaşılmasındandır. 3.1.1.4. bölümünde de görüldüğü gibi pH 5 ve 6 daki kromun değişik formlarındaki katyonik yüklerin toplamı, diğer pH 'lara göre daha fazladır ve bu pH'larda daha fazla alım vardır. Bu çalışma literatürle uyum içerisindedir (Ramos, 1995). Optimum çalışma pH'ı her iki form içinde 5 olarak seçildi.

5.1.1.3. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi

Na^+ ve H^+ formunda çalışılmış reçineler için krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi Çizelge 4.7 ve 4.8 de ve Şekil 4.9 da verildi. Na^+ ve H^+ formlarında ilk 20 dakikaya kadar bir artış, daha sonra ise kararlılık görülmektedir. Na^+ formunda % Cr alımı daha fazladır. Çalışılan reçine miktarında 20 dakika karıştırma süresinin dengeye erişilmesi için yeterli olduğuna karar verildi. 20 dakika her iki form içinde optimum karıştırma zamanı olarak seçildi ve bundan sonraki çalışmalarda kullanıldı.

5.1.1.4. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi

Na^+ ve H^+ formunda çalışılmış reçineler için krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi Çizelge 4.9 ve 4.10 de ve Şekil 4.10.da verildi. Na^+ formunda artan reçine miktarı ile tutulan krom alımında büyük bir artış olmamıştır. H^+ formunda ise % Cr alımı 250 mg'a kadar hızlı bir artış, daha sonra yavaş bir artış göstermiştir. Na^+ formunda % Cr alımı H^+ formundan daha fazladır ve burada 100 mg reçine optimum reçine miktarı olarak seçildi. Çalışmaların karşılaştırılması ve uyum içerisinde olması için H^+ formunda da 100 mg reçine ile çalışıldı.

5.1.2. Amberlite IRC 718

5.1.2.1. Krom tutulması üzerine konsantrasyonun etkisi

Na^+ ve H^+ formunda çalışılmış reçineler için krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi Çizelge 4.11 ve 4.12 de ve Şekil 4.11 de verildi. Her iki form içinde, diğer karboksilik reçine olan Amberlite IRC 76 ile benzerlik göstermektedir. Burada görüldüğü gibi H^+ formunda % Cr alımı konsantrasyon artışı ile azalmaktadır. Konsantrasyon artışları ile % Cr alımlarında büyük farklılık görülmediği için düşük konsantrasyonda çalışmanın uygun olacağı saptandı. 10 ppm optimum konsantrasyon olarak seçildi.

Amberlite IRC 76'da olduğu gibi H^+ formundaki reçinelerle kromun az tutulmasının, krom tutulması sırasında reçine tarafından çözeltilmeye verilen hidrojen iyonlarının pH'ı düşürmesinden kaynaklandığı sonucuna varıldı. Bu durumdan zayıf katyonik reçinelerin etkilendiği görülmektedir. Tutulma oranı sadece pH'a bağlı olmayıp daha çok çözeltideki krom (III) iyonunun türlerine de bağlıdır.

5.1.2.2. Krom tutulması üzerine pH'ın etkisi

Na^+ ve H^+ formunda çalışılmış reçineler için krom tutulması üzerine pH'ın etkisi Çizelge 4.13 ve 4.14 de ve Şekil 4.12 de verildi. Amberlite IRC 76'da olduğu gibi, Na^+ formundaki reçine için tutulma oranı \sim pH 4'e kadar sabit kalmakta, sonra bir artış gözlenmektedir. H^+ formunda % Cr alımında, pH 1-5 arasında hızlı bir artış, pH 5-6 arasında küçük bir artış ve pH 6 dan sonraki hızlı artış görülmektedir. pH:6'dan sonra görülen bu artışın nedeni, Cr^{3+} 'nin çökme pH'ına ulaşılmasındandır. 3.1.1.4. bölümünde de görüldüğü gibi pH 5 ve 6 daki kromun değişik formlarındaki katyonik yüklerin toplamı, diğer pH 'lara göre daha fazladır ve bu pH'larda daha fazla alım vardır. Bu çalışma literatürle uyum içerisindedir (Ramos, 1995). Optimum çalışma pH'ı her iki form içinde 5 olarak seçildi.

5.1.2.3. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi

Na^+ ve H^+ formunda çalışılmış reçineler için krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi Çizelge 4.15 ve 4.16 da ve Şekil 4.13 de verildi. Na^+ ve H^+ formunda ilk 20 dakikaya kadar bir artış, daha sonra ise kararlılık görülmektedir. Na^+ formunda % Cr alımı daha fazladır. Çalışılan reçine miktarında 20 dakika karıştırma süresinin dengeye erişilmesi için yeterli olduğuna karar verildi. 20 dakika optimum karıştırma zamanı olarak seçildi ve bundan sonraki çalışmalarda kullanıldı.

5.1.2.4. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi

Na^+ ve H^+ formunda çalışılmış reçineler için krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi Çizelge 4.17 ve 4.18 de ve Şekil 4.14 de verildi.

Na^+ formunda artan reçine miktarı ile tutulan krom alımında büyük bir artış olmamıştır. H^+ formunda ise % Cr alımı 250 mg'a kadar hızlı bir artış, daha sonra yavaş bir artış göstermiştir. Na^+ formunda % Cr alımı H^+ formundan daha fazladır ve burada 100 mg reçine fazla reçine kullanımını önlemek için optimum reçine miktarı olarak seçildi. Çalışmaların karşılaştırılması ve uyum içerisinde olması için H^+ formunda da 100 mg reçine ile çalışıldı.

5.1.3. Amberlite IR 120

5.1.3.1. Krom tutulması üzerine konsantrasyonun etkisi

Na^+ ve H^+ formunda çalışılmış reçineler için krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi Çizelge 4.19 ve 4.20 de ve Şekil 4.15 de verildi. % Cr alımı, Na^+ ve H^+ formunda benzerlik ve çok yakın alım göstermektedir. Na^+ formu için optimum konsantrasyon olarak 10 ppm seçildi. H^+ formu için 50 ppm daha uygun gözükse de çalışmaların ve her iki formun karşılaştırılması, uyum içerisinde olması için 10 ppm konsantrasyonda çalışıldı.

5.1.3.2. Krom tutulması üzerine pH'ın etkisi

Na^+ ve H^+ formunda çalışılmış reçineler için krom tutulması üzerine pH'ın etkisi Çizelge 4.21 ve 4.22 de ve Şekil 4.16 da verildi. % Cr alımında H^+ ve Na^+ formunda benzerlik ve çok yakın alım göstermektedir. % Cr alımı pH 6'da her iki formda da biraz daha yüksek olmasına rağmen çökme pH'ına yakın olması (pH 6.4) istenmediğinden, pH 5 optimum pH olarak seçildi.

5.1.3.3. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi

Na^+ ve H^+ formunda çalışılmış reçineler için krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi Çizelge 4.23 ve 4.24 de ve Şekil 4.17 de verildi. % Cr alımı her iki formda da benzerlik ve zamanla artış göstermektedir. % Cr alımı 20-30 dakika arasında birbirine çok yakın olduğu için, 20 dakika optimum karıştırma zamanı olarak seçildi.

5.1.3.4. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi

Na^+ ve H^+ formunda çalışılmış reçineler için krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi Çizelge 4.25 ve 4.26 da ve Şekil 4.18 de verildi. % Cr alımı Na^+ ve H^+ formunda reçine miktarının artışı ile artmaktadır. 250 mg reçine miktarı daha yüksek ve kararlı bir alım göstermesine rağmen çalışmaların tümü düşünüldüğünde mukayese yapabilmek için optimum reçine miktarı olarak 100 mg reçine seçildi.

5.1.4. Amberlite IRA 402

5.1.4.1. Krom tutulması üzerine konsantrasyonun etkisi

Cl^- formunda çalışılmış reçine için krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi Çizelge 4.27 de ve Şekil 4.19 de verildi. % Cr alımı, konsantrasyon artışı ile artma göstermektedir. Optimum konsantrasyon olarak 10 ppm seçilmiştir.

5.1.4.2. Krom tutulması üzerine pH'ın etkisi

Cl⁻ formunda çalışılmış reçine için krom tutulması üzerine pH'ın etkisi Çizelge 4.28 de ve Şekil 4.20 de verildi. % Cr alımı, pH artışı ile artmaktadır. Amberlite IRA 410 ile karşılaştırıldığında artan pH ile daha fazla bir artış görülmektedir. Daha önce açıklandığı gibi, çalışma pH'ının, çökme pH'ına yakın olması (pH 6.4) istenmediğinden pH 5, optimum pH olarak seçilmiştir.

5.1.4.3. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi

4.6.4.3. bölümünde belirlenen şartlarda çalışıldı. Cl⁻ formunda çalışılmış reçine için krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi Çizelge 4.29 de ve Şekil 4.21 de verildi. % Cr alımı karıştırma zamanı ile büyük artış göstermemektedir. 20 dakika, optimum karıştırma zamanı olarak seçildi.

5.1.4.4. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi

Cl⁻ formunda çalışılmış reçine için krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi Çizelge 4.30 da ve Şekil 4.22 de verildi. % Cr alımı Cl⁻ formunda reçine miktarının artışı ile artmaktadır. 250 mg reçine miktarı daha yüksek ve kararlı bir alım göstermesine rağmen çalışmaların tümü düşünüldüğünde mukayese yapabilmek için optimum reçine miktarı olarak 100 mg reçine seçildi.

5.1.5. Amberlite IRA 410

5.1.5.1. Krom tutulması üzerine konsantrasyonun etkisi

Cl⁻ formunda çalışılmış reçine için krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi Çizelge 4.31 de ve Şekil 4.23 de verildi. % Cr alımı, konsantrasyon artışı ile artma göstermektedir. Optimum konsantrasyon olarak 10 ppm seçilmiştir.

5.1.5.2. Krom tutulması üzerine pH'ın etkisi

Cl⁻ formunda çalışılmış reçine için krom tutulması üzerine pH'ın etkisi Çizelge 4.32 de ve Şekil 4.24 de verildi. % Cr alımı, pH artışı ile artmaktadır. Amberlite IRA 402'ye göre daha kararlı bir artış vardır. Daha önce açıklandığı gibi, çalışma pH'ının, çökme pH'ına yakın olması (pH 6.4) istenmediğinden pH 5, optimum pH olarak seçilmiştir.

5.1.5.3. Krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi

Cl⁻ formunda çalışılmış reçine için krom tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi Çizelge 4.33 da ve Şekil 4.25 de verildi.

% Cr alımı karıştırma zamanı ile büyük artış göstermemektedir. 20 dakika optimum karıştırma zamanı olarak seçildi.

5.1.5.4. Krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi

Cl⁻ formunda çalışılmış reçine için krom tutulması üzerine reçine miktarının etkisi Çizelge 4.34 de ve Şekil 4.26 da verildi. % Cr alımı Cl⁻ formunda reçine miktarının artışı ile artmaktadır. 250 mg reçine miktarı daha yüksek ve kararlı bir alım göstermesine rağmen çalışmaların tümü düşünüldüğünde mukayese yapabilmek için optimum reçine miktarı olarak 100 mg reçine seçildi.

Seçilen optimum koşulların Na⁺, H⁺ ve Cl⁻ formundaki reçinelere göre karşılaştırılmasında; Konsantrasyon (10 ppm):

Her iki zayıf katyonik reçinede Na⁺ formunda, kuvvetli katyonik reçine ise H⁺ formunda daha fazla alım gösterdi.

Cl⁻ formundaki anyonik reçinelere her ikisinde aynı alımı gözlemlendi.

pH (pH 5):

Her iki zayıf katyonik reçinede Na⁺ formunda, kuvvetli katyonik reçine ise H⁺ formunda daha fazla alım gösterdi.

Cl⁻ formundaki anyonik reçinelerde ise Amberlite IRA 410, Amberlite IRA 402'ye göre daha fazla alım gözlemlendi.

Karıştırma hızı (20 dakika)

Her iki zayıf katyonik reçinede Na⁺ formunda, kuvvetli katyonik reçine ise H⁺ formunda daha fazla alım gösterdi.

Cl⁻ formundaki anyonik reçinelerde ise Amberlite IRA 402, Amberlite IRA 410'a göre daha fazla alım gözlemlendi.

Reçine miktarı (100 mg)

Her iki zayıf katyonik reçinede Na⁺ formunda, kuvvetli katyonik reçine ise H⁺ formunda daha fazla alım gösterdi.

Cl⁻ formundaki anyonik reçinelerde ise Amberlite IRA 402, Amberlite IRA 410'a göre daha fazla alım gözlemlendi.

5.2. Kadmiyumun Amberlite IR 120 (Kuvvetli katyonik reçine) ile Uzaklaştırılmasında Optimum Koşulların Belirlenmesine Etki Eden Faktörler

Amberlite IR 120 kuvvetli katyonik reçine, fiziksel, kimyasal ve termal stabilite göstermesinden, iyi iyon değiştirme kinetiği ve yüksek değiştirme kapasitesine sahip

olması nedeni ile jel tipi kuvvetli asidik katyon değiştirici reçine seçildi. Na⁺ ve H⁺ formu ile krom ve kadmiyumun alımlarını karşılaştırmak amacı ile bu çalışma yapıldı.

5.2.1. Kadmiyum tutulması üzerine konsantrasyonun etkisi

Na⁺ ve H⁺ formunda çalışılmış reçineler için kadmiyum tutulması üzerine kadmiyum konsantrasyonunun etkisi izelge 4.47. de ve 4.48. de, başlangıçtaki kadmiyum konsantrasyonu ile reçinede kadmiyum tutulma yüzdesi arasındaki her iki iyonik form için olan grafik ise Şekil 4.39 da verilmiştir. Na⁺ ve H⁺ formundaki reğinlerde birbirine yakın alım gözlenmekle birlikte Na⁺ formunun, % Cd alımında biraz daha etkili olduğu görüldü. 20 ppm konsantrasyonda daha kararlı bir alım gözüktüğünden diğer parametrelerle çalışırken optimum konsantrasyon olarak 20 ppm konsantrasyon seçildi.

5.2.2. Kadmiyum tutulması üzerine pH etkisi

Na⁺ ve H⁺ formunda çalışılmış reçineler için kadmiyum tutulması üzerine pH etkisi izelge 4.49. de ve 4.50. de, başlangıçtaki kadmiyum konsantrasyonu ile reçinede kadmiyum tutulma yüzdesi arasındaki her iki iyonik form için olan grafik ise Şekil 4.40 da verilmiştir. % Cd alımında Na⁺ formunun daha etkili olduğu gözlenmektedir.

5.2.3. Kadmiyum tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi

Na⁺ ve H⁺ formunda çalışılmış reçineler için kadmiyum tutulması üzerine karıştırma zamanının etkisi izelge 4.51. de ve 4.52. de, başlangıçtaki kadmiyum konsantrasyonu ile reçinede kadmiyum tutulma yüzdesi arasındaki her iki iyonik form için olan grafik ise Şekil 4.41 de verilmiştir. H⁺ formu Na⁺ formuna göre 30 dakikaya kadar karıştırma zamanlarında düşük % Cd alımı gösterirken, 30 dakikadan sonra her iki form içinde % Cd alımı aynı değerdedir.

5.2.4. Kadmiyum tutulması üzerine reçine miktarının etkisi

Na⁺ ve H⁺ formunda çalışılmış reçineler için kadmiyum tutulması üzerine reçine miktarının etkisi izelge 4.53. de ve 4.54. de, başlangıçtaki kadmiyum konsantrasyonu ile reçinede kadmiyum tutulma yüzdesi arasındaki her iki iyonik form için olan grafik ise Şekil 4.42 de verilmiştir. H⁺ formu Na⁺ formuna göre 250 mg'a kadar düşük % Cd alımı gösterirken, bu reçine miktarından sonra her iki form içinde % Cd alımı aynı değerdedir.

5.3. Aynı koşullarda çalışılan Cd^{2+} ve Cr^{3+} un Amberlite IR 120 reçine ile uzaklaştırılmasının karşılaştırılması

5.3.1. Konsantrasyon etkisi

4.7.6.1. bölümünde Na^+ ve H^+ formundaki reçineler için alınan sonuçlar izelge 4.55. ve 4.56. da, başlangıçtaki kadmiyum ve krom konsantrasyonu ile reçinede kadmiyum ve krom tutulma yüzdeleri arasındaki her iki iyonik form için olan grafikler ise Şekil 4.43 ve 4.44 de verilmiştir. Na^+ ve H^+ formunda konsantrasyon etkisi, konsantrasyon ile % tutulma grafiğinde Cd^{2+} ve Cr^{3+} için bir benzerlik görülmektedir. Her iki iyonik formda da Cd^{2+} biraz daha yüksek oranda tutulma göstermiştir.

5.3.2. pH etkisi

4.7.6.2. bölümünde Na^+ ve H^+ formundaki reçineler için alınan sonuçlar izelge 4.57 ve 4.58 de, başlangıçtaki pH ile reçinede kadmiyum ve krom tutulma yüzdeleri arasındaki her iki iyonik form için olan grafikler ise Şekil 4.45 ve 4.46. da verilmiştir. Na^+ formunda pH 6 ya kadar Cr^{3+} da, Cd^{2+} 'a göre daha yavaş bir alım gözlenmektedir. H^+ formunda ise bu fark daha azdır.

5.3.3. Karıştırma zamanının etkisi

4.7.6.3. bölümünde Na^+ ve H^+ formundaki reçineler için alınan sonuçlar izelge 4.59. ve 4.60. da, başlangıçtaki pH ile reçinede kadmiyum ve krom tutulma yüzdeleri arasındaki her iki iyonik form için olan grafikler ise Şekil 4.47. ve 4.48. de verilmiştir. Na^+ formunda % Cd^{2+} ve Cr^{3+} tutulmasında büyük benzerlik göstermektedir. H^+ formunda ise Cd^{2+} , Cr^{3+} 'e göre daha düşük alım gösterirken karıştırma süresi arttırıldığında aynı alımı göstermektedir.

5.3.4. Reçine miktarının etkisi

4.7.6.4. bölümünde Na^+ ve H^+ formundaki reçineler için alınan sonuçlar izelge 4.61. ve 4.62. de, başlangıçtaki pH ile reçinede kadmiyum ve krom tutulma yüzdeleri arasındaki her iki iyonik form için olan grafikler ise Şekil 4.49. ve 4.50. de verilmiştir. Na^+ formundaki reçinede Cr^{3+} düşük reçine miktarlarında Cd^{2+} 'a göre daha yavaş bir alım gösterirken, yüksek reçine miktarlarında aynı alımı göstermektedir. H^+ formunda ise Cd^{2+} , Cr^{3+} 'e göre daha düşük alım göstermektedir.

Na^+ ve H^+ formundaki Amberlite IR 120 reçine ile aynı koşullarda çalışılan krom ve kadmiyumun uzaklaştırılmasında seçilen optimum koşulların karşılaştırılmasında;

Konsantrasyon (20 ppm);

Amberlite IR 120 kuvvetli katyonik reçinenin hem Na^+ hemde H^+ formu için kadmiyum kroma göre daha iyi alım göstermiştir.

pH (pH 5.5);

Hem Na^+ hemde H^+ formu için kadmiyum kroma göre daha iyi alım göstermiştir.

Karıştırma zamanı (20 dakika);

Na^+ formu için krom kadmiyuma göre daha iyi alım göstermiştir.

Reçine miktarı (100 mg);

Hem Na^+ hemde H^+ formu her iki metal içinde uygundur.

5.4. Çalışılan Ağır Metallerin Seçilen Reçinelerle Uzaklaştırılmasıyla İlgili Kinetik Çalışmalar ve Bunlara Etki Eden Faktörler

Kinetik çalışmalarda IRC 76 (zayıf katyonik reçine), Amberlite IRC 718 (zayıf katyonik reçine), Amberlite IR 120 (kuvvetli katyonik reçine), Amberlite IRA 402 (kuvvetli anyonik reçine) ve Amberlite IRA 410 (kuvvetli anyonik reçine) reçineler için konsantrasyon, reçine miktarı, tanecik büyüklüğü, karıştırma hızı gibi parametrelerin reaksiyon kinetiğine olan etkileri ayrı ayrı incelendi. Bütün bu çalışmalarda $t_{0.5}$ zamanı [kinetik prosesin yarı değiştirme zamanı (U:0.5)] seçilerek zaman ile % Cr alım hızı takip edildi. Elde edilen sonuçların mevcut kinetik modellere uygunluğu araştırıldı. Kinetik çalışmalarda reaksiyon kinetiğinin hızı üzerine etkili olan mekanizmanın açıklanması için önemli bir parametre olan kesilme (interruption) testleri seçilen 5 reçine için , 10 mg reçine miktarı, 100 ppm çözelti konsantrasyonu, 3000 rpm karıştırma hızı koşulları için uygulandı, denge deneyleri ile α (ayırma faktörü) her reçine için bulundu.

4.11. bölümünde MINTEQA2 programı ile çalışılan pH ve konsantrasyonlarda türlendirme (speciation) yapıldı. MINTEQA2 programı ile yapılan türlendirme işleminde, Şekil 4.138 ve Şekil 4.139'da çalışılan pH'lara, Şekil 4.140 ve Şekil 4.141'de ise çalışılan konsantrasyonlara bağlı olarak % tür dağılım grafikleri verilmiştir. Bu grafiklerden de görüldüğü gibi çalışılan pH'larda Cr^{3+} , $\text{Cr}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Cr}(\text{OH})_2^+$, $\text{Cr}(\text{OH})\text{SO}_4$ türleri oluşmaktadır (10 ppm konsantrasyon). Kinetik ve kesikli çalışmalarda optimum pH olarak seçilen pH:5'de $\text{Cr}(\text{OH})^{2+}$: % 72.3, $\text{Cr}(\text{OH})_2^+$: % 16.4, Cr^{3+} : % 7.9 ve $\text{Cr}(\text{OH})\text{SO}_4$: % 3.2 oranında bulunmaktadır. Düşük pH'larda Cr^{3+} türünün baskın olduğu görülmektedir.

Tabakhane atık sularından krom uzaklaştırılmasında, kinetik ve kesikli çalışmalarda pH 5 de maksimum adsorbsiyon gözlenmektedir.

Kinetik ve kesikli çalışmalar için seçilen konsantrasyonlardaki % tür dağılımında oluşan türler Cr^{3+} , $Cr(OH)^{2+}$, $Cr(OH)_2^+$, $Cr(OH)SO_4$, $[Cr_2(OH)_2SO_4]^{+2}$ dir. 5 ile 50 ppm arasındaki konsantrasyonlarda en baskın tür $Cr(OH)^{2+}$ dir (pH 5). Kesikli çalışmalarda seçilen optimum konsantrasyon olan 10 ppm'de en fazla oranda bulunan tür % 72.4 ile $Cr(OH)^{2+}$ dir. Kesikli sistemde fazla reçine kullanımını önlemek için 10 ppm uygun konsantrasyon olarak seçildi.

MINTEQA2 programı ile türlendirme işleminde çözültide kalan türler arasında düşük miktarlarda $Cr(OH)_4^-$ ve CrO_2^- anyonik türlerine raslanmıştır. Ayrıca ortamda OH^- , HSO_4^- ve SO_4^{2-} da bulunmaktadır. Ortamdaki iyonların konsantrasyonlarının artması ile alım artmaktadır. Klorür formundaki anyonik reçinelerde 1.tip kuvvetli anyonik reçine (Amberlite IRA 402) için seçicilik sırasına bakıldığında HSO_4^- ve SO_4^{2-} iyonlarını daha çok tercih etmekte, 2. tip kuvvetli anyonik reçine (Amberlite IRA 410) ise ortamdaki HSO_4^- iyonlarını tercih etmektedir.

4.12. bölümünde katyon ve anyon değiştirici reçinelerle yapılan kinetik çalışmalar kinetik model 1 (fdc) ve model 2 (pdc)'ye göre incelendi.

Amberlite IRC 76 ve Amberlite IRC 718;

Amberlite IRC 76 için verilen Şekil 4.143. de $t_{0.5}$ ile karıştırma hızı arasında çizilen grafikte doğrusal bir bağımlılık söz konusu olmadığından, karıştırma hızının kinetik üzerine etkisi yoktur. Karıştırma hızının iyon değiştirme kinetik hızından bağımsızlığı söz konusudur. Şekil 4.144'te $t_{0.5}$ ile tanecik büyüklüğü arasında çizilen grafikte hafifçe lineerlik görülmektedir, bu görüşlerin doğrultusunda, burada pdc'nin mümkün olduğunu söyleyebiliriz, yani model 2'ye uygunluk gösterir (Petruzzelli, 1995a). Bununla birlikte Şekil 4.154'de verilen grafikte, kesilme testlerinde karıştırıcı reaksiyon kabına daldırılarak tekrar iyon alışverişi başlatıldıktan sonra hızlı olmayan bir kinetik söz konusu olduğu için fdc olduğu yani model 1'e uygunluğu söylenebilir (Hellferich, 1962). Bu durum Şekil 4.142'deki $t_{0.5}$ ile konsantrasyon arasındaki grafikte görülen doğrusal bağımlılıktan anlaşılmaktadır. Fdc durumunda $t_{0.5}$ ile konsantrasyon arasında çizilen grafikte doğrusal bir bağımlılık olmalıdır (Liberti vd., 1984a). Karıştırma hızı ve likit faz konsantrasyonu ile değiştirme hızlarının azalması fdc lehinde bir durumdur. Bu bulunanların sonucunda bu tip reçinelerde fdc'nin büyük oranda tamamlandığı, bunun yanı sıra pdc'nin de başladığı

söylenbilir. Dolayısıyla bu sonuçların yorumunda her iki mekanizmanında (fdc+ pdc) reçine üzerindeki kinetiği kontrol edebildiği görüldü (Hellferich vd., 1985b).

Amberlite IRC 718 için verilen Şekil 4.146 da $t_{0.5}$ ile karıştırma hızı ve Şekil 4.147'de $t_{0.5}$ ile tanecik büyüklüğü arasında çizilen grafikte görülen durumda Amberlite IRC 76 ile aynıdır, bu da pdc'nin mümkün olacağını, yani model 2'ye uygunluğunu gösterir. Şekil 4.155'de verilen grafikte, kesilme testlerinde de Amberlite IRC 76 ile aynı durum görülmektedir, fdc burada da kinetik üzerine etkili olan modeldir. Bu reçine içinde her iki mekanizmanında (fdc+ pdc) reçine üzerindeki kinetiği kontrol edebildiği görülür.

Amberlite IR 120 ve Amberlite IRA 402;

Amberlite IR 120 ve Amberlite IRA 402 için çizilen Şekil 4.149 ve Şekil 4.151'de verilen $t_{0.5}$ ile karıştırma hızı arasında çizilen grafiklerde bir lineerlik söz konusudur, karıştırma hızının kinetik üzerine etkisi vardır. Yani karıştırma hızı iyon değiştirme kinetik hızından bağımsız değildir ve fdc olduğu yani model 1'e uygunluğu söylenebilir. Şekil 4.156 ve Şekil 4.157 grafiklerinde verilen kesilme testi sonuçlarına göre kesilme testlerinde karıştırıcı reaksiyon kabına daldırılarak tekrar iyon alışverişi başlatıldıktan sonra hızlı bir kinetik söz konusu olduğu için pdc olduğu yani model 2'ye uygunluğu söylenebilir. Bu iki reçine içinde her iki mekanizmanında (fdc+ pdc) reçine üzerindeki kinetiği kontrol edebildiği görülür.

Amberlite IRA 410

Sadece bu durumda değiştirme zamanına karşı karıştırma hızı grafiklerinde sabit bir eğilim olduğundan dolayı Şekil 4.153 de verilen $t_{0.5}$ ile karıştırma hızı arasında çizilen grafikte pdc'ye uygunluk görüldüğünden ve Şekil 4.158'de verilen kesilme testi grafiğinden de pdc'yi onayladığından model 2'ye uygunluk göstermektedir.

Bazı sonuçların istatistiksel değerlendirilmesi;

Bu çalışmada kullanılan zayıf katyonik Amberlite IRC 76 ve Amberlite IRC 718 reçinelerinin % alımlarını karşılaştırmak için F ve t testleri Çizelge 4.35 için uygulanmış ve sonuçlar Çizelge 4.148.de verilmiştir.

Çizelge 4.35. Krom tutulması üzerine krom konsantrasyonunun etkisi (Na^+ formu)

Başlangıç Cr^{3+} konsantrasyonu (mg/L)	Reçinede tutulan % Cr^{3+} miktarı Amberlite IRC 76	Reçinede tutulan % Cr^{3+} miktarı Amberlite IRC 718	Reçinede tutulan % Cr^{3+} miktarı Amberlite IR 120
5	95.78	94.38	91.24
10	96.28	95.28	79.28
20	95.40	96.05	79.40
30	95.52	95.77	75.65
50	95.07	95.41	76.03
60	94.69	94.88	76.25
75	94.77	94.87	77.92
100	92.93	94.19	79.45

Çizelge 4.148. Amberlite IRC 76 ve Amberlite IRC 718 için istatistiksel değerlendirme

X (ortalama)	95.055	95.104
S (Standart sapma)	1	0.647
t tablo	1.76	
t hesaplanan	0.116	
F tablo	3.79	
F hesaplanan	0.406	

F ve t hesaplanan değerleri, tablo değerlerinden küçük bulunmuştur. Bu iki reçine arasında sonucu etkileyecek önemli bir duyarlılık farkı görülmemektedir (Eckschlager, 1972).

4.6. Çalışılan ağır metallerin seçilen reçinelerle uzaklaştırılmasında optimum koşulların belirlenmesine etki eden faktörler bölümünde 0,1 g reçine miktarı, 10 ppm çözelti konsantrasyonu, pH 5, 20 dakika karıştırma süresi optimum koşullarında elde edilen deneysel sonuçların tekrarlanabilirliğinin istatistik değerlendirilmesi her reçine için ayrı yapıldı (Christian, 1994). Sonuçlar Çizelge 4.149 da verildi.

Çizelge 4.149. Çalışılan reçineler için ortalama ve % RSD değerleri

Reçine	Ortalama (%)	% RSD (n: 4)
Amberlite IRC 76 (Na ⁺ formu)	95.175	0.715
Amberlite IRC 76 (H ⁺ formu)	54.505	6.221
Amberlite IRC 718 (Na ⁺ formu)	95.005	0.250
Amberlite IRC 718 (H ⁺ formu)	59.865	3.056
Amberlite IR 120 (Na ⁺ formu)	74.917	8.121
Amberlite IR 120 (H ⁺ formu)	72.865	7.155
Amberlite IRA 402 (Cl ⁻ formu)	71.930	6.554
Amberlite IRA 410 (Cl ⁻ formu)	68.497	8.618

Bir literatürde (Tan, 1996) krom uzaklaştırılması ile ilgili yapılan bir çalışmada değişik oksidasyon basamaklarına sahip olan kromun iyon değiştiricilerle uzaklaştırılmasındaki zorluklardan, diğer bir literatürde (Petruzzelli vd., 1992) reçinelerin rejenerasyonundaki problemlerden bahsedilmekte ve çalışmalar arasındaki standart sapmanın % 20 civarında olduğu belirtilmektedir.

KAYNAKLAR

- Adams, G., Jones, P.M., ve Millar J.R., (1969), J. Chem. Soc., 2543.
- Allen, T.L., (1958), "Microdetermination of Chromium with 1,5- Diphenylcarbohydrazide", Anal. Chem., 30 (3), 447-450.
- Bahu, R.E., Craske, M.J., ve Streat, M., (1976), Proc. Int. Conf. Theor. Pract. Ion Exchange, Society of Chemical Industry, Cambridge, 19, 1.
- Baykut, F., (1981), Anorganik Kimya Uygulaması- Kalitatif Analiz, 5. Baskı, Fatih Yayınevi Matbaası, İstanbul, 328-330.
- Baykut, F., Aydın, A. ve Baykut, S., (1987), Çevre Sorunları ve Korunma, Güray Matbaacılık, İstanbul, 131-143.
- Belazi A., Davidson, C.M., Keating, G., ve Littlejohn. D., (1995), "Determination and Speciation of Heavy Metals in Sediments from the Cumbrian Coast, NW England, UK", J. of Anal. Atomic Spect., 10: 233-240.
- Block, H.D., Makowka, B., Rosentreter, H., Wardas, A., Wehling, B., Loenhoff, N., (1989), "Precipitation of Chromium from Tannery Wastewater", Eur. Pat. Appl. EP 341.490.
- Blickenstaff, R.A., Wagner, J.D., ve Dranoff, J.S., (1967), J. Phys. Chem., 71, 1665-1670.
- Boyd, G.E., Adamson, A.W., ve Myers, S.Jr., (1947), J. Am. Chem. Soc., 69, 2836.
- Brady, D., Stoll, A., ve Duncan, J.R., (1994), "Biosorption Of Heavy Metal Cations by non-viable yeast Biomass", Env. Technol., 15(5): 429-438.
- Budavari, S., O'Neil, M.J., Smith, A. ve Heckelman, P.E., (1989), The Merck Index; An Encyclopedia of Chemical, Drugs, and Biological, 11. Baskı, Merck & Co., Inc., Rahway, N.J., USA.
- Buneeva, N.M., ve Shamritskaya, I.P., (1974), Teor. Prakt. Sorbtsionnykh Protsessov, 9 (15).
- Bunzl, K., ve Schultz, W., (1980), Fourth Symp. Ion Exchange, 27-30 May 1980, ThO-05, Siofok, Hungary.
- Celma, P., Cabeza, L.F., Toni, C., Jaime, M.A., (1994), "Recovery of Chromium from Tanning Baths", Afinidad, 51, 449, 41-42.
- Chapman, D., (1996), Water Quality Assesments, A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring, 2. Baskı, University Press, Cambridge, U.K., 80-82.

- Christian G. D., (1994), *Analytical Chemistry, Fifth Edition*, John Wiley & Sons, Inc., USA, 25.
- Clesceri, L.S., Greenberg, A.E., ve Trussell, R.R., (1989), *Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater*, Port City Press, Baltimore, USA, 315-382.
- Dana, P.R., ve Wheelock T.D., (1973), *Ind. Eng. Chem. Fundam.*, 13, 20.
- Dökmeci, İ., (1988) *Toksikoloji, Akut zehirlenmelerde Tanı ve Tedavi*, Fatih Gençlik Vakfı Matbaa İşletmesi, İstanbul, 336-354.
- Dölen, E., (1988), *Analitik Kimya -Volumetrik Yöntemler*, Marmara Üniversitesi Yayınları, 455, Meteksan Lim. Şrt., Ankara, 302-310.
- Dubey, R., ve Kand Puri, B.K., (1994), "Differential- Pulse Polarographic Determination of Cadmium in Various Environmental Samples After Adsorption of Its quinolin-8-olate Complex on to Micro Crystalline Naptaleine.", *Analyst*, 119(1), 141-144.
- Drummond, D., Jonge, A.D., ve Lees, L.V.C., (1985), "Ion Exchange Kinetics in Zeolite A", *Fundamentals and Applications of Ion Exchange*, Liberti, L., Millar, J.R., 345-369.
- Eckenfelder, W., (1989), "Industrial Water Pollution Control", Mc Graw-Hill International Editions, Singapore.
- Eckschlager, K., "Errors, Measurement and Results in Chemical Analysis", (1972), Van Nostrand Reinhold Company Ltd. London, 107-116.
- Efendiev, A.A., Shahtahtinskaja, A.T., ve Meares, P., (1976), *Proc. Int. Conf. Theor. Prct. Ion Exchange*, Society of Chemical Industry, Cambridge, 18, 1.
- Eliasek J., Matejka, Z., Tejchman, P., (1977), *Sb. Vys. Sk. Chem.- Technol. Praze, Technol. Paliv.*, 35, 43.
- Franzreb, M., Sontheimer, H., ve Höll, W., (1993), "Liquid-Phase Mass Transfer in Multicomponent Ion- Exchange", *Reactive Polymers*, 21, 117-133.
- Franzreb, M., Höll, W., ve Eberle, H., (1995), "Liquid-Phase Mass Transfer in Multicomponent Ion Exchange. 2. Systems with Irreversible Chemical Reactions in the Film", *Ind. Eng. Chem. Res.*, 34, 2670-2675.
- Gupta, A.R., (1970), *Indian J. Chem.*, 8 (11), 1926.
- Gündüz, T., (1990), *İnstrümantel Analiz*, 2. Baskı, Bilge Yayıncılık , Ankara, 114.
- Helfferich, F., (1962), *Ion-Exchange*, McGraw-Hill, New York, USA, 250-319.
- Helfferich, F., *J. Phys. Chem.*, (1965), 69, 1178.

Helfferich, F., (1966), *Ion Exchange*, Marinski, J. A., Marcel Dekker, New York, USA, (1), Bölüm 2.

Helfferich, F., Liberti, L., Petruzzelli, D., and Passino, R.,(1985a), " Anion Exchange Kinetics in Resins of High Selectivity. Part I. Analysis of Theoretical Models", *Israel Journal of Chemistry*, 26, 3-7.

Helfferich, F., Liberti, L., Petruzzelli, D., and Passino, R.,(1985b), " Anion Exchange Kinetics in Resins of High Selectivity. Part II. The Case of Chloride/ Sulphate Exchange", *Israel Journal of Chemistry*, 26, 8-16.

Hewavithana, A.K., (1993), " A Fast and Efficient HPLC Method for the Separation of Chromium Complexes in Chrome Tanning Solutions", *J. Soc. Lether Tech. Chem.*, 77(5): 143-146.

Höll, W., ve Sontheimer, H., (1977), "Ion Exchange Kinetics of the Protonation of Weak Acid Ion Exchange Resins", *Chem. Eng. Sci.* ,32, 755-762.

Höll, W., ve Kirch R., (1978a), "Regeneration of Weak Base Ion Exchange Resins", *Desalination*, 26, 153-162.

Höll, W., ve Geiselhart, G., (1978b), "Kinetics of the Neutralisation of Weak Acid Ion Exchange Resins with Different Solutions", *Desalination*, 25, 217-226.

Höll, W., (1984), "Optical Verification of Ion Exchange Mechanisms in Weak Elektrolyte Resins", *Reactive Polymers*, 2 , 93-101.

Höll, W., ve Horst, J., (1987), "Elimination of Heavy Metals from Wastewater using a modification of the Carix Ion Exchange Process", *International CIEC Symposium*, 1-4 Sept. 1987, Balatonfüred, Hungary

Höll, W., Franzreb, M., Horst, J., ve Eberle, S.H., (1993)"Description of Ion -Exchange Equilibria by Means of the Surface Complexation Theory", *Marinsky, J.A., Marcus, Y.*, 11, 151-209.

Höll, W., (1995), "Selective Sorption of Transition Metals Using Anion Exchange Resins", *ICIE'95, International Conference on Ion Exchange*, 4-6 Dec. 1995, Tokyo, Japan.

Ito, S., Kikuchi, A., ve Yoneda, N., (1985), "Continuous Treatment on Magnetic Separation of Heavy Metal Ions in Water", *Separation of Heavy Metals and Trace Contaminants Symposium Series* ,243 (81), 133-138.

Kalinitchev, A.,(1991), " Kinetik Model for Selective Ion Exchangers", *ICIE' 91*, 4-9Dec. *International Conference on Ion Exchange*, 1991, Tokyo, Japan.

Liberti, L., Boari, G., ve Passino, R., (1978 a), " Chloride- Sulphate Exchange on Anion-Exchange Resins. Kinetic Investigations. Chemical Control in Selective Exchanges", *Desalination*, 26: 181-194.

Liberti, L., Schmuckler, G., (1978 b), " Kinetic Investigation of the Chloride- Sulphate Exchange on Anion-Exchange Resins", *Desalination*, 27: 253-260.

Liberti, L., Boari, G., ve Passino, R., (1978 c), *Desalination*, 25: 123.

Liberti, L., Madi, I., Passino, R., ve Walis, L., (1980), " Ion-Exchange Kinetics in Selective Systems", *J. Chromatogr.*, 201: 43-50.

Liberti, L., Passino, R., ve Petruzzelli, D., (1982), " Chloride/ Sulphate Exchange on Anion Resins. Kinetic Investigation, VIII. Influence of Some Physico- Chemical Properties of the Resins", *Desalination*, 41: 199-207.

Liberti, L., Petruzzelli, D., Boghetich, G., ve Passino, R., (1983), "Chloride-Sulphate Exchange on Anion Resins. Kinetic Investigation. X.", *Journal of Radioanalytical Chemistry*, 77: (1) 115-121.

Liberti, L., Passino, R., ve Petruzzelli, D., (1983), " Chloride-Sulphate Exchange on Anion Resins. Kinetic Investigation. IX. Direct, Isotopic and Reverse Exchange", *Desalination*, 48: 55-66.

Liberti, L., Petruzzelli, D., Boghetich, G., ve Passino, R., (1984a), " A New Approach to Ion Exchange Kinetics", *Ion Exchange Technology*, Society of Chemical Industry, London, UK.

Liberti, L., Petruzzelli, D., Boghetich, G., ve Passino, R., (1984b), " Diffusion Versus Chemically Controlled Kinetics in a Selective System. The Chloride- Sulphate Exchange", *Reactive Polymers*, 2: 111- 116.

Liberti, L., ve Passino, R., (1985), *Ion-Exchange Kinetics in Selective Systems, Ion Exchange and Solvent Extraction*, Marinsky, J.A., ve Marcus, Y., (9), 175-210. Marcel Deccer, Inc., New York, USA.

Liberti, L., Petruzzelli, D., Helfferich, F.G., ve Passino, R., (1987), " The Chloride-Sulphate Ion Exchange Kinetics at High Solution Concentration", *Reactive Polymers*, 5: 37-47.

Liberti, L., Petruzzelli, D., Helfferich, F.G., ve Hwang, Y.L., (1987), "Chloride-Sulphate Exchange Kinetics: Solution for Combined film and Particle Diffusion Control", 5: 219-226.

Lopez, A., Rotunno, T., Palmisano, F., Passino, R., Tiravanti, G., ve Zambonin, P.G., (1991), "Simultaneous Determination of Chromium(III), Aluminum(III) and Iron(II) in Tannery Sludge Acid Extracts by Reversed-Phase High-Performance Liquid Chromotography", *Environ. Sci. Technol.* (25), 1262-1266.

Mac Carthy, P., Klusman R.W., ve Rice J.A., (1989), "Water Analysis", *Anal. Chem.*, (61), 269-304.

Mc Kee, J.E., ve Wolf, H.W., (1972), "Water Quality Criteria", California State Water Resources Control Board, Publication No: 3-A, California, USA.

Metayer, M., Langevin, D., Mousnitskas, I., Labbe, M., ve Selegny, E., (1980), *J. Chim. Phys.*, 77, 815.

Moeller, T., Bailar, J.C.Jr., Kleinberg, J., Guss, C.O., Castellion, M.E. ve Metz, C., (1984), *Chemistry with Inorganic Qualitative Analysis*, 2.Baskı, Academic Press. Inc., London, U.K, 953-957.

Moufdi, K.K., Mijangos, F., Diaz, J. ve Elizalde, M.P., (1998), "Determination of Ion Exchange Constants for Chromium-Resin Systems", Ion-Ex 98 Conference 5-9 July 1998, Wrexham, UK.

Nativ, M., Goldstein, S., ve Schmuckler, G., (1975), *J. Inorg. Nucl. Chem.*, 37, 1951.

O'Dwyer T.F., ve Hodnett, B.K., (1992), "Adsorbents for the removal of Chromium from Tannery Effluents", *Key Eng. Mater.*, 72-74, 529-534.

O'Dwyer T.F., Thomas, F., ve Hodnett, B.K., (1995), "Recovery of Chromium from Tannery Effluents using a Redox-Adsorption Approach", *J. of Chemical Tech. And Biotech.* 62: 30-37.

Othmer, K., (1963), *Encyclopedia of Chemical Technology*, John Wiley & Sons. Inc., Cilt 3, Londra, UK, 884-909.

Pan, S., ve David, M.M., (1979), *Recent Developments in Separation Science*, Li, N. N., 5, CRC Press, West Palm Beach, Fla., 199.

Pasullean, B., Davidson, C.M., Littlejohn, D., (1995), "On-line Preconcentration of Chromium(III) and Speciation of Chromium in Waters by Flame Atomic Absorption Spectrometry", *J. of Anal. Atomic Spect.*, 10: 241-246.

Petruzzelli, D., ve Boghetich, G., (1983), "Investigations on Reactive polymers using Autoradiography and Scanning Electron Microscopy", *Environ. Protection Engineering*, 9: (1), 5-12.

Petruzzelli, D., Helfferich, F.G., Liberti, L., Millar, J.R., ve Passino, R., (1987), "Kinetics of Ion Exchange with Intraparticle Rate Control: Models Accounting for Interactions in the Solid Phase", *Reactive Polymers*, 7: 1-13.

Petruzzelli, D., Liberti, L., Boghetich, G., Helfferich, F.G., ve Passino, R., (1988), "Ion Exchange Kinetics on Anion Resins. Concentration Profiles and Transient Phenomena in the Solid Phase", *Reactive Polymers*, 7: 151-157.

Petruzzelli, D., Helfferich, F.G., ve Liberti, L., (1991), " Ion-Exchange Kinetics on Reactive Polymers and Inorganic Soil Constituents", Rate of Soil Chemical Processes, Soil Science Society of America, Washington, USA.

Petruzzelli, D., Santori, M., Passino, R., ve Tiravanti, G.,(1991), "Cr(III) Recovery and Separation from Spent Tannery Baths by Carboxylic Ion Exchange Resins", International Conference on Ion-Exchange, ICIE'91, 2-4 Oct. 1991, Tokyo, Japan

Petruzzelli, D., Alberga, L., Passino, R., Santori, M., ve Tiravanti, G.,(1992), "Exhaustion-Regeneration Behaviour of Carboxylic Resins. The Cr(III), Al(III), Fe(III) system", Reactive Polymers, 18: 95-105

Petruzzelli, D., Tiravanti, G., Liberti, L., Sergeev, G., ve Soldatov, V.S., (1993), "Chloride-Sulphate Exchange Kinetics on Fibrous Resins. A Comparative Study with Spherular Exchangers", Ion-Ex 93 Conference, 4-7 April 1993, Wrexham, UK.

Petruzzelli, D., Tiravanti, G., Santori, M., ve Passino, R., (1994), "Chromium Removal and Recovery from Tannery Wastes: Laboratory Investigation and Field Experience on a 10m³/d Demonstration Plant", Water Sci.Tech. 30(3): 225-233.

Petruzzelli, D., Passino, R., Santori, M., ve Tiravanti, G., (1994), "Industrial Waste Management: The Case of the Tannery Industry", In Chemical Water and Wastewater Treatment III, Klute, R., Hahn, H. H., Eds.; Springer- Verlag: Berlin, Germany.

Petruzzelli, D., Kalinitchev, A., Soldatov, V.S., ve Tiravanti, G., (1995a),"Chloride-Sulphate Ion Exchange Kinetics on Fibrous Resins. Two Independent Models for Film Diffusion Control", American Chemical Society, 34(8): 2618-2624.

Petruzzelli, D., Passino, R., ve Tiravanti, G., (1995b), "Ion Exchange Process for Chromium Removal and Recovery from Tannery Wastes", Ind. Eng. Chem. Res., 34(8): 2612-2617.

Princi, F., ve Geever, E.F., (1951), A Textbook of Quantitative Inorganic Analysis, 2. Baskı., Longmans, Green Co., Inc., N.York, 430. Ref. Othmer, K., (1993), "Encyclopedia of Chemical Technology", 2. Cilt 884-909.

Ramos, R.L., Rubio, L.F., Coronado R.M.G., ve Barron, J.M., (1995),"Adsorption of Trivalent Chromium from Aqueous Solutions onto Activated Carbon", J. Chem. Tech. Biotechnol. 62: 64-67.

Rice, R., ve Foo, S.C., (1979), Ind. Eng. Chem. Fundam., 18 (63), 68.

Rodrigues, A.E., (1980), Fourth Symp. Ion Exchange, 27-30 May 1980, TO-08, Siofok, Hungary.

Rohm and Haas Company, (1988),"Laboratory Guide", Philadelphia, USA, 22-25.

Saltabaş, Ö., (1997), "Ağır Metallerin Cansız Biyokütle ile uzaklaştırılmasına Etki Eden Faktörler", Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Analitik Anabilim Dalında Doktora Tezi, İstanbul.

Schmuckler, G., ve Goldstein, S., (1977), "Interphase Mass Transfer Rates of Chemical Reactions with Crosslinked Polystyrene", Ion Exchange and Solvent Extraction, Marinsky, J.A., Marcus, Y., 7, 1-28.

Selim, M.S., ve Seagrave, R.C., (1973), Ind. Eng. Chem. Fundam., 12, 14.

Sergeev, G., Valente, L., ve Petruzzelli, D., (1993), "Anion Exchange Kinetic Investigation on Fibrous Resins. The Chloride/ Sulphate; Chloride/ Nitrate; Chloride/ Hydroxide Systems", CNR- Istituto di Ricerca Sulle Acque Rapporti, Bari-Italy.

Singaram, P., (1995), "Removal of Chromium from Tannery Effluent by using Waterweeds", Indian J. Environ. Health, 36(3): 197-199.

Soročan, A.M., ve Rubinstein, R.N., (1980), Fourth Symp. Ion Exchange, 27-30 May 1980, ThP-09, Siofok, Hungary.

Stamberg, K., Cabicar, J., ve Havlicek, L., (1980), "Ion- Exchange Kinetics in Systems with Non-Linear Equilibrium Isotherms", Journal of Chromatography, 201, 113-127.

Schmuckler, G., Nativ, M., ve Goldstein, S., (1976), Proc. Int. Conf. Theory. Prac. Ion Exchange, Society of Chemical Industry, Cambridge, 17, 1.

Tan, H.K.S., "Kinetics of Chromic Acid Removal by Anion Exchange", Ion Exchange Developments and Applications, Proceedings of IEX'96, J.A. Greig, England, UK.

Ushakova, G.I., ve Znamenskii Y.P., (1979), Zh. Fiz. Khim. 53 (4), 1003.

Uyar, T., (1995), Genel Kimya Prensipler ve Modern Uygulamalar, Altıncı Baskı, Palme Yayıncılık, Ankara, 842-864.

Ün, R., (1968), Metal Kimyası Dersleri: Metaller, Alaşımları ve Bileşikleri, İstanbul Üniversitesi Yayınları, Sayı 1335, Şirketi Mürettibiye Basımevi, İstanbul.

Wang, L., ve Sun, P., (1995), "Synthesis of p-acetylbenzene-diazoaminoazobenzene and Study on its Color Reaction with Cadmium", Yejin Fexi, 15 (2). 1-4. Ref. C.A. (1995), 123, 328538u.

Weatherley, L.R., ve Turner, J.C.R., (1976), Trans. Inst. Chem. Eng., 54, 89.

Wionczyk, B., Gelo, H., (1993), "Methods for Chrome Determination in Lether, Tanning Baths and Tanning Wastewaters", Przegl. Skorzany, 48(2): 48-51.

Zaganiaris, E.J., (1974), "Review of Ion Exchange Resins", European Laboratories, Rohm and Haas, Valbonne.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	21.7.1965	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1979-1982	Fatih Kız Lisesi
Lisans	1983-1987	Yıldız Teknik Üniversitesi. Fen-Ed. Fakültesi Kimya Bölümü
Yüksek Lisans	1989-1991	Yıldız Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enst. Analitik Kimya Anabilim Dalı
Doktora	1992-1998	Yıldız Teknik Üniversitesi. Fen Bilimleri Enst. Analitik Kimya Anabilim Dalı
Çalıştığı kurum(lar)	1989- Devam ediyor	Yıldız Teknik Üniversitesi. Fen-Ed. Fakültesi Kimya Bölümü Araştırma Görevlisi