

**FARKLI İYON DEĞİŞTİRİCİ REÇİNELER VE DOĞAL
ADSORBANLARLA HAZIRLANAN KATI-FAZ KOLONLARLA KROM
TÜRLERİ TAYİNİ**

Emel MORAL

**Yüksek Lisans Tezi
KİMYA ANABİLİM DALI
ISPARTA, 2006**

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI İYON DEĞİŞTİRİCİ REÇİNELER VE DOĞAL
ADSORBANLARLA HAZIRLANAN KATI-FAZ KOLONLARLA KROM
TÜRLERİ TAYİNİ**

EMEL MORAL

**Danışman
Yrd. Doç. Dr. Fethiye GÖDE**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA ANABİLİM DALI**

ISPARTA, 2006

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
SİMGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
1.1. Kuramsal Temeller	1
1.1.1. Krom	1
1.1.2. İyon Değişirme	4
1.1.2.1. Doygunluk Kapasitesi	5
1.1.2.2. Şelat Değişirici Reçineler	6
1.1.2.3. Zayıf Baz Anyon Değişirici Reçineler	7
1.1.3. Adsorpsiyon	8
1.1.3.1. Adsorpsiyon İzotermi	8
1.1.3.2. Langmuir İzoterm Denklemi	9
1.1.3.3. Freundlich İzoterm Denklemi	9
1.1.3.4. Pomza	10
1.1.3.5. Kömür	11
2. KAYNAK BİLGİSİ	13
3. MATERYAL VE METOT	21
3.1. Kullanılan Adsorbanlar ve Kimyasal Maddeler	21
3.2. Kullanılan Cihazlar	21
3.3. Kullanılan Çözeltilerin Hazırlanması	21
3.4. Reçineler ve Doğal Adsorbanlarla Krom Türlerinin Adsorpsiyon Çalışmaları	22
3.4.1. Krom İyonlarının Sorpsiyonuna Akış Hızının ve Başlangıç Konsantrasyonunun Etkisi	22
3.4.2. Krom İyonlarının Sorpsiyonuna pH'ın Etkisi	22

3.4.3. Krom İyonlarının Sorpsiyonuna Hacmin Etkisi.....	22
3.5. Cr(III) ve Cr(VI) İyonlarının Adsorbanlar ile Türleme	
Deneyleri.....	23
3.5.1. UV ile Cr(VI) Tayini.....	23
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	25
4.1. Krom İyonlarının Sorpsiyonuna Konsantrasyonun ve	
Akış Hızının Etkisi	25
4.2. Krom İyonlarının Sorpsiyonuna pH'nın Etkisi	32
4.3. Krom İyonlarının Sorpsiyonuna Hacmin Etkisi.....	34
4.4. Cr(III) ve Cr(VI) İyonlarının Farklı Adsorbanlarla Türleme	
Deneyleri.....	36
4.5. Doygunluk Kapasitesi Tayini ve Doygunluk Kapasitesi Eğrileri.....	38
5. SONUÇ.....	43
6. KAYNAKLAR.....	45
ÖZGEÇMİŞ.....	49

ÖZET**FARKLI İYON DEĞİŞTİRİCİ REÇİNELER VE DOĞAL ADSORBANLARLA HAZIRLANAN KATI-FAZ KOLONLARLA KROM TURLERİ TAYİNİ**

Bu çalışmada, sentetik iyon değiştirici şelat reçine Chelex-100, zayıf bazik anyon değiştirici reçine Lewatit MP 62, Isparta-Yarıkkaya yöresi kömürü, Isparta-Gelincik yöresi pomzası ve Kayseri-Talas yöresi pomzası adsorban olarak kullanılmıştır.

Bu adsorbanlar Cr(III) ve Cr(VI) iyonlarının sulu çözeltilerden adsorpsiyonu için kolonlara doldurulmuştur. Belirli konsantrasyonlarda hazırlanan Cr(III) ve Cr(VI) çözeltileri, hazırlanan bu kolonlardan ayrı ayrı ve karışım halinde geçirilmiştir.

Çözeltide Cr tayinleri AAS ile, Cr(VI) türü tayini ise 1,5 difenil karbazitle kompleksleştirilerek UV ile geręekleřtirilmiřtir. Krom türlerinin katı-faz kolonlarda adsorpsiyonu üzerine pH'nın, krom konsantrasyonunun, örnek hacminin, örnek çözeltinin akış hızının etkileri incelenmiştir.

İyon değiştirme- metal işlemlerinde denge adsorpsiyon izoterm eğrileri Freundlich ve Langmuir adsorpsiyon izotermeleri kullanılarak çizilmiş ve bu izotermelerden adsorpsiyon parametreleri (K_f , n , Q , b) hesaplanmıştır. Doygunluk kapasitesi eğrileri çizilerek, adsorbanların doyguluk kapasiteleri bulunmuştur.

ANAHTAR KELİMELER: İyon Değiştirme, Adsorpsiyon, Cr(III) ve Cr(VI) Türlemesi, Freundlich ve Langmuir İzotermeleri

ABSTRACT**DETERMINATION OF CHROMIUM SPECIES BY SOLID-PHASE COLUMNS PREPARED WITH DIFFERENT ION EXCHANGE RESINS AND NATURAL ADSORBENTS**

In this study, chelating resin Chelex-100, a weak base anion exchanger resin Lewatit MP 62 and Isparta-Yarıkkaya region's coal, Isparta-Gelincik region's and Kayseri-Talas region's pumices have been used as synthetic ion exchanger and adsorbents.

These adsorbents were filled columns for adsorption Cr(III) and Cr(VI) ions from aqueous solution. Prepared certain concentrations Cr(III) and Cr(VI) solutions were passed through columns as one by one and mixed.

Total chromium and Cr(VI) contents of all solutions were measured AAS and UV-visible instruments, respectively.

The adsorption of chromium species on solid-phase columns are investigated by examining the effect of chromium concentration, pH, sample volume and flow rate of sample solution.

The isotherm of equilibrium sorption of ion exchange-metal process are drawn by using Freundlich and Langmuir sorption isotherms, and the sorption parameters (K_f , n , Q and b) are calculated from the isotherms.

KEYWORDS: Ion Exchange, Sorption, Speciations of Cr(III) and Cr(VI), Freundlich and Langmuir Isotherms

TEŞEKKÜR

S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı çerçevesinde hazırladığım ‘Farklı İyon-Değiştirici Reçineler ve Doğal Adsorbanlarla Hazırlanan Katı-Faz Kolonlarla Krom Türleri Tayini’ konulu bu tez için bana her türlü desteği veren ve yardımlarını esirgemeyen, çalışmalarımın gerçekleştirilmesi için gerekli ortamı hazırlayan Danışman Hocam Yrd. Doç. Dr. Fethiye GÖDE’ye sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Kimya Bölüm Başkanı Prof. Dr. Mustafa CENGİZ’e ve Analitik Kimya Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Güleren ALSANCAK’a katkılarından dolayı teşekkürlerimi sunarım.

01006-YL-05 numaralı proje ile beni destekleyen S.D.Ü. Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkürlerimi sunarım.

Her zaman beni destekleyen aileme, kardeşim Zehra MORAL’a, çalışmalarım boyunca bana emeği geçen ve sabır gösteren herkese sonsuz sevgi ve minnetlerimi sunarım.

SİMGELER DİZİNİ

- q_e** Birim adsorban ağırlığı başına adsorplanan madde miktarı (mmol/g)
- C_e** Adsorpsiyondan sonra çözeltide kalan maddenin konsantrasyonu (mmol/L)
- Q** Adsorpsiyon kapasitesi (mmol/g)
- b** Yüzey bağlanma enerjisiyle ilgili sabit (L/mmol)
- n** Adsorpsiyon şiddeti ile ilgili sabit
- K_f** Adsorpsiyon kapasitesi (mmol/g)
- V** Sulu fazın hacmi (L)
- W** Kuru adsorban miktarı (g)
- R²** Korelasyon katsayısı

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. 1.10^{-3} M $H_2Cr_2O_4$ çözeltisinin logaritmik konsantrasyon diyagramı.....	2
Şekil 1.2. Çözeltideki karşıt iyonun doygunluk kapasitesi eğrisi.....	5
Şekil 1.3. Chelex-100 reçinesinin yapısı.....	6
Şekil 1.4. Tersiyer amin zayıf bazik iyon değıştirici reçine.....	7
Şekil 4.1. Cr(VI) iyonlarının Kayseri-Talas pomzasında adsorpsiyonu.....	27
Şekil 4.2. Cr(VI) iyonlarının Isparta-Gelincik pomzasında adsorpsiyonu.....	27
Şekil 4.3. Cr(VI) iyonlarının Isparta-Yarıkkaya linyit kömüründe adsorpsiyonu.....	28
Şekil 4.4. Cr(VI) iyonlarının Lewatit MP 62 reçinesinde adsorpsiyonu.....	28
Şekil 4.5. Cr(III) iyonlarının Kayseri-Talas pomzasında adsorpsiyonu.....	29
Şekil 4.6. Cr(III) iyonlarının Isparta-Gelincik pomzasında adsorpsiyonu.....	29
Şekil 4.7. Cr(III) iyonlarının Isparta-Yarıkkaya linyit kömüründe adsorpsiyonu.....	30
Şekil 4.8. Cr(III) iyonlarının Chelex-100 reçinesinde adsorpsiyonu.....	30
Şekil 4.9. Cr(VI) iyonlarının farklı adsorbanlarla pH'ya karşı sorpsiyon yüzdesinin değışimi.....	33
Şekil 4.10. Cr(III) iyonlarının farklı adsorbanlarla pH'ya karşı sorpsiyon yüzdesinin değışimi.....	34
Şekil 4.11. Cr(III) iyonlarının farklı adsorbanlarla hacme karşı sorpsiyon yüzdesinin değışimi.....	35
Şekil 4.12. Cr(VI) iyonlarının farklı adsorbanlarla hacme karşı sorpsiyon yüzdesinin değışimi.....	35
Şekil 4.13. Kayseri-Talas pomzasında Cr(VI) iyonlarının doygunluk kapasitesi eğrisi.....	38
Şekil 4.14. Lewatit MP 62 reçinesinde Cr(VI) iyonlarının doygunluk kapasitesi eğrisi.....	39

Şekil 4.15. Isparta-Yarıkkaya linyit kömüründe Cr(VI) iyonlarının doygunluk kapasitesi eğrisi.....	39
Şekil 4.16. Isparta-Gelincik pomzasında Cr(VI) iyonlarının doygunluk kapasitesi eğrisi.....	40
Şekil 4.17. Chelex-100 reçinesinde Cr(III) iyonlarının doygunluk kapasitesi eğrisi.....	40
Şekil 4.18. Isparta-Yarıkkaya linyit kömüründe Cr(III) iyonlarının doygunluk kapasitesi eğrisi.....	41
Şekil.4.19. Kayseri-Talas pomzasında Cr(III) iyonlarının doygunluk kapasitesi eğrisi eğrisi.....	41
Şekil 4.20. Isparta-Gelincik pomzasında Cr(III) iyonlarının doygunluk kapasitesi eğrisi.....	42

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 1.1. Chelex-100 reçinesinin özellikleri.....	7
Çizelge 1.2. Lewatit MP 62 anyon değiştirici reçinesinin özellikleri.....	8
Çizelge 1.3. Kayseri-Talas ve Isparta-Gelincik pomzalarının kimyasal bileşimleri.....	10
Çizelge 1.4. Isparta-Yarıkkaya kömürünün elementel analizi	12
Çizelge 1.5. Isparta-Yarıkkaya kömürünün kimyasal bileşimi.....	12
Çizelge 4.1. Adsorbanların Cr(III) iyonları sorpsiyonunda Freundlich ve Langmuir izoterm parametreleri.....	31
Çizelge 4.2. Adsorbanların Cr(VI) iyonları sopsiyonunda Freundlich ve Langmuir izoterm parametreleri.....	32
Çizelge 4.3. Cr(III) ve Cr(VI) iyonlarının türleme sonuçları.....	37
Çizelge 4.4. Adsorbanların Doygunluk Kapasiteleri.....	42

1. GİRİŞ

Çevre kirliliği dünyada olduğu gibi gün geçtikçe artan boyutlarıyla ülkemizde de önemini hissettirmektedir. Günümüzde kentler içinde veya yakın çevrelerinde kurulmuş olan özellikle kimya, besin, tekstil, kâğıt ve deri gibi çeşitli endüstrileri içeren fabrikaların atık suları ve ağır metal içermeyen şehir merkezlerinde konutların mutfak, banyo ve tuvaletlerinde ortaya çıkan ve çoğunlukla şehir kanalizasyon şebekesine bırakılan evsel kökenli atık sular göl, deniz, akarsu gibi suları kirleten en önemli kaynak haline gelmiştir.

Zehirleyici özelliklerine rağmen taşıdıkları teknolojik önem nedeniyle ağır metaller endüstride geniş ölçüde kullanılmaktadır. Toksik metaller sudaki düşük derişimleri halinde bulunmalarında dahi insan sağlığına zarar verebilir. Özellikle dericilik, tekstil ve metal kaplama gibi birçok endüstri dalında rastlanan krom, kirliliği oluşturan ağır metallerden birisidir. Çevre kirlenmesi, canlıların sağlığı ve teknolojik önemleri göz önüne alındığında, krom metalinin sulu ortamdan uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu işlem birçok yöntemle olabildiği gibi bu yöntemlerden en uygun olanları iyon değişirme ve adsorpsiyon yöntemleridir.

1.1. Kuramsal Temeller

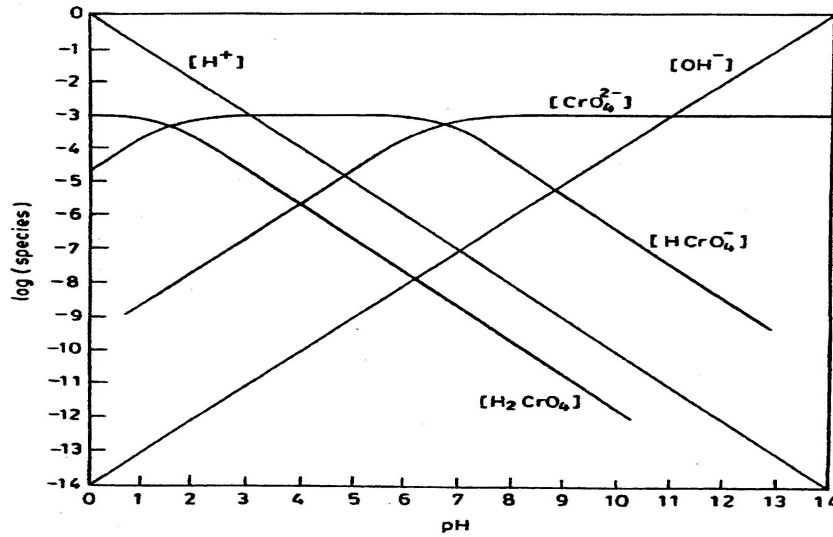
1.1.1. Krom

Krom metaline doğada sıkça rastlanmaktadır. Farklı yükseltgenme basamaklarında bulunur. Cr(III) ve Cr(VI) yükseltgenme basamakları en kararlı olanlarıdır. Cr(III) ve Cr(VI) içeren bileşiklerin dağılımı redoks potansiyeline, pH'ya, ortamda bulunan indirgen ve yükseltgen maddelere, redoks reaksiyonlarının kinetiğine, Cr(III) komplekslerinin ve suda çözünmeyen Cr(III) tuzlarının oluşumuna ve toplam krom konsantrasyonuna bağlıdır. Kromun en bilinen bileşiği kromittir ($FeO \cdot Cr_2O_3$). Kromun diğer oksitleri CrO_3 , CrO_5 , Cr_2O_3 'tür. Bu bileşikler hidroksit veya asitlerle, $Cr(OH)_3$, H_2CrO_4 , $H_2Cr_2O_2$ ve H_3CrO_8 bileşiği oluştururlar (Göde, 2002).

Doğada Cr(VI) genellikle CrO_4^{2-} yada HCrO_4^- formunda bulunurken, Cr(III) $\text{Cr}(\text{OH})_n^{(3-n)+}$ formunda bulunur. Toprakta Cr(III) tuzları daha baskındır. Cr(VI)'nın oksoanyon ve protonlanmış türleri Cr(III) türlerinden daha iyi çözünür. Bu özelliğinden dolayı Cr(VI) türleri çevrede daha hareketlidir (Motomizu vd., 2003).

Cr(VI) sulu çözeltilerde farklı türlerde bulunur, bu türlerin kararlılığı sistemin pH'sına bağlıdır. Şekil 1.1'de 1.10^{-3} M $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_4$ çözeltisinin logaritmik konsantrasyon diyagramı verilmiştir. HCrO_4^- sulu çözeltide pH 7'ye kadar en kararlı haldedir. H_2CrO_4 türü de düşük pH'larda kararlıdır ve pH artışıyla konsantrasyonu azalır. CrO_4^{2-} türü yüksek pH'larda kararlıdır (Hamadi vd., 2001).

Suda çözünebilir Cr(VI) pH 1-6 aralığında $\text{HCrO}_4^-/\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ türünde ve $\text{pH} \geq 6$ 'da CrO_4^{2-} türündedir (Yang vd., 2003). Krom türleri ortamın redoks potansiyeline ve pH'sına bağlıdır. pH 7'den büyük değerlerde Cr(III) türleri, pH 6'dan küçük değerlerde Cr(VI) türleri baskındır (Mondal vd., 2002).



Şekil 1.1. 1.10^{-3} M $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_4$ çözeltisinin logaritmik konsantrasyon diyagramı (Hamadi vd., 2001'den)

Krom metaline endüstrinin her dalında rastlanmaktadır. Tekstil boyalarında, seramik ve cam sanayinde, fotoğrafçılıkta, metal kaplamada krom ve krom tuzları kullanılmaktadır. Cr(VI) elektro kaplamada, deri tabaklamada, soğutma sularında pompaları korumak için korozyon inhibitörü olarak kullanılmaktadır (Mondal vd.,

2002). Petrol arıtmada da kullanılan ve endüstriyel atık sularıyla çevreye bırakılan bu metalin zehirliliği yüksektir (Benhammou vd., 2005). Cr(III) glikoz, yağ ve protein metabolizmasının devamlılığı için gereklidir (Korolczuk, 2000). Cr(VI) ise oksidasyon potansiyeli ve hücre zarlarından kolaylıkla geçmesinden dolayı insan vücudu için son derece tahrip edici ve zehirleyicidir (Liang vd., 2003). Cr(III) bitki ve hayvan metabolizmasında önemli rol oynarken, Cr(VI) bakteriler, bitkiler ve hayvanlar için zehirleyicidir (Acar ve Malkoc, 2004). Cr(VI) deri tarafından kolaylıkla absorbe edilen güçlü bir oksidanttır (Bishnoi vd., 2004). Ayrıca karaciğere zarar vermekte, ödem oluşturmakta ve ülserle sonuçlanan deri irritasyonuna sebep olmaktadır (Kobya, 2004).

Cr(III) insan vücudunda glikoz, protein ve yağ metabolizması için günlük 50-200 mg alınması gereklidir (Donais vd., 1999). Atık sularda Cr(III) için izin verilen maksimum seviye 5 mg/L, Cr(VI) için 0.05 mg/L'dir (Acar ve Malkoc, 2004; Hirata vd., 2000).

Yağmur suyunda ortalama toplam krom miktarı 0.2-1 µg/L iken deniz suyunda bu miktar 0.04-0.5 µg/L'dir (Motomizu vd., 2003). Havadan, sudan ve yiyeceklerden alınan günlük Cr miktarı sırasıyla 0.01-0.03 µg, 2 µg/L ve 60 µg'dır. Cr(VI) için günlük alınması gereken miktar 0.005 mg/kg ve Cr(III) için 1 mg/kg'dır (Donais vd., 1999).

Sulu çözeltilerden Cr(VI)'yı uzaklaştırmak için birçok doğal ve sentetik adsorban kullanılmıştır. Bunlardan bazıları kil (Benhammou vd., 2005), formaldehit ve sülfirik asitle modifiye edilmiş talaştozu (Garg vd., 2004), kayın ağacı talaş tozu (Acar ve Malkoc 2004), fındık kabuğundan elde edilen aktif karbon (Kobya, 2004), akçaağaç talaş tozu (Yu vd., 2003), damıtık çamur (Selvaraj vd., 2003), yün, zeytin, mangal linyit kömürü, çam yaprakları, kaktüs yaprakları (Dakiky vd., 2002), kömür (Lakatos vd., 2002), hidrotalsit iyon değiştirici reçine (Terry, 2004), XAD sorbenti ile modifiye edilmiş maleik asit reçinesi (Yalçın ve Apak, 2004), 2-naftol-3,6-disülfonik asitle modifiye edilmiş stiren-divinil benzen (Mondal vd., 2002), TiO₂ (Liang vd., 2003) ve polietilen imin şelat reçinedir (Chanda ve Rempel, 1997).

Sulu çözeltilerden Cr(III) ve Cr(VI) iyonlarını uzaklaştırmak için indirgeme, kimyasal çöktürme, membran filtrasyonu, tersine osmos, adsorpsiyon ve iyon değiştirme gibi birçok yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden iyon değiştirme ve adsorpsiyon kromun uzaklaştırılmasında çok yönlü, kolay ve güvenilir olan yöntemlerdir.

Krom miktarını belirlemek için ICP-AES (Liang vd., 2003), ICP-MS (Hirata vd., 2000; Donais vd., 1999), FAAS ve UV-VIS spektrofotometrik yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır (Balasubramanian ve Pugalenti, 1999).

1.1.2. İyon Değiştirme

Bulunduğu çözeltideki diğer iyonlarla tersinir olarak değişebilen iyonlar içeren çözünmez maddelere, iyon değiştiriciler denir. Bir iyon değiştirici reçinenin çalışma prensibi, hareketli faz olan ve zıt iyonlar taşıyan faz ile sabit yüklü gruplar ihtiva eden çözünmeyen maddeler arasındaki elektrik yüklerinin dengelenmesi şeklindedir. İyon değiştirme, iyon değiştirici katı faz ile sıvı faz arasındaki iyon değişimi esasına dayanır. İyon değiştirme dengesi



şeklinde ifade edilebilir. M^- iyon değiştiricinin sabit anyonik kısmını, A^+ ise sulu çözeltide, B^+ katyonları ile yer değiştiren katyonları göstermektedir (Tenerio ve Espinosa, 2001). En çok kullanılan iyon değiştiriciler, üç boyutlu hidrokarbon zincirlerinden oluşan matriksler içeren organik iyon değiştirici reçinelerdir. İyon değiştirici reçineler anyonları değiştirebiliyorsa anyon değiştirici olarak isimlendirilir. İyon değiştirme kapasitesine etki eden faktörlerin başında, katyon türlerinin cinsi, tane boyutu dağılımı, değerlik, sıcaklık ve çözeltideki katyon türlerinin konsantrasyonu gelmektedir. İyon değiştirme reaksiyonu tersinirdir. Sağa doğru yürüyen reaksiyonun derecesi, reçinelerin tercihinine ya da seçimliliğine bağlıdır. İdeal bir iyon değiştirici, düzenli yapı, hızlı değiştirme, kimyasal kararlılık, fiziksel kararlılık, ısıl kararlılık ve uygun tanecik büyüklüğü gibi özellikler taşır.

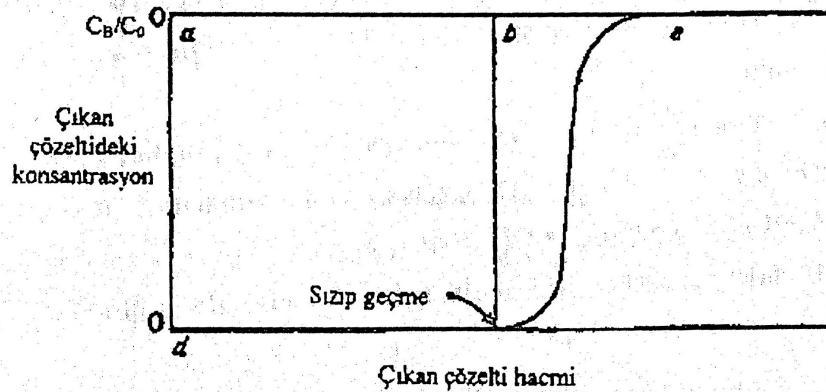
İyon değiştirme yöntemi başta su saflaştırma olmak üzere birçok alanda kullanılır. Endüstrinin gelişmesiyle birlikte, doğal ve sentetik inorganik reçinelerin önemi artmıştır. İlk yapılan reçineler stiren-divinil benzen polimeri temeline dayanan, kuarterner amonyum gruplu kuvvetli baz anyon değiştirici reçinelerdir (Göde, 2002).

1.1.2.1. Doygunluk Kapasitesi

Kolon işlemi sık kullanılan bir laboratuvar tekniğidir. Adsorbanlar iyon değiştirici kolona paketlenir ve bütün işlemler bu yatakta meydana gelir. Doygunluk kapasitesi verileri, örnek çözeltilinin hacmine karşı adsorban konsantrasyonlarının grafiğe geçirilmesiyle elde edilir. Kolondan çıkan çözelti konsantrasyonuyla hareketli faz konsantrasyonunun eşit olduğu noktada dinamik denge kurulur. Kolona gönderilen başlangıç konsantrasyonu C_0 ve kolondan ayrılan krom konsantrasyonu C biliniyorsa C/C_0 'a karşı çözelti hacminin grafiğe geçirilmesinden breakthrough eğrisi elde edilir. Adsorbanın gramı başına adsorbe edilen krom miktarı yani doygunluk kapasitesi aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$q = C_0 V / W (A_U / A_U + A_D) \quad (2)$$

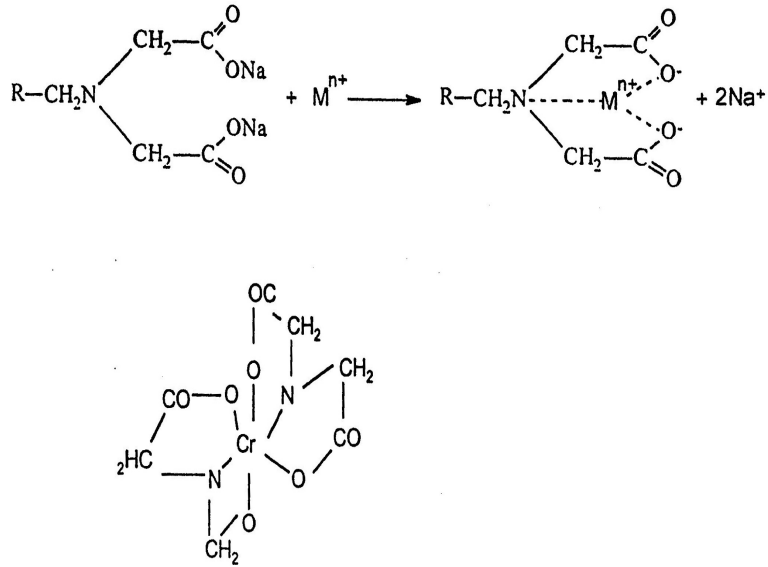
Bu denklemde C_0 krom çözeltisinin başlangıç konsantrasyonu, V çözelti hacmi, W ise kuru adsorbanın ağırlığıdır. A_U (abcd) alanı breakthrough eğrisindeki kromun tutunan, A_D (cef) alanı ise kromun tutunmayan yüzdesini gösterir.



Şekil 1.2. Çözeltideki karşıt iyonun doygunluk kapasitesi eğrisi (Göde, 2002'den)

1.1.2.2. Şelat Değiştirici Reçineler

Şelat-değiştiriciler, değişik fonksiyonel gruplarla kompleks oluşturan metal iyonlarını içerirler. Fonksiyonel gruplar, değiştirici küresinde elektron verici olarak görev yaparlar. Koordinasyon yapan kopolimerler, yapısında bir donör atomu taşıyan fonksiyonel gruplar ile kovalent bağlar yaparak polimere bağlanırlar. Şelat reçineler hidrojen formundan daha çok sodyum formunda olduklarında ağır metallere karşı daha yüksek seçicilik gösterirler. Şelat reçineler, ağır metal iyonlarını yüksek seçimli olarak adsorpladıkları için içme suyu ve endüstriyel atıklar ağır metallerin uzaklaştırılması işleminde kullanılmaktadır. Bir şelat değiştirici reçine olan Chelex-100 reçinesi, Bio Rad laboratuvarları tarafından üretilmiştir. Dowex A1 reçinesinin saflaştırılmış halidir. Chelex-100 reçinesi, metal iyonlarının bağlanmasıyla şelat halkası meydana getiren iminodiasetat fonksiyonel grupları içeren stiren-divinilbenzen kopolimerlerinden oluşan sentetik bir reçinedir. Kırık olmayan parçacık ebatına sahip olup, Na veya H formlarına dönüştürülebilir. Analitik ayırmalar için 50–100 mesh olanı uygundur. İki karboksilik asit grubu bulunduğu için zayıf asidik kation değiştirici reçinedir. Metal iyonlarına karşı seçiciliği yüksektir. Chelex-100 reçinesinin yapısı ve Cr(III) ile bağlanması Şekil 1.3'de gösterilmiş, özellikleri ise Çizelge 1.1'de verilmiştir.



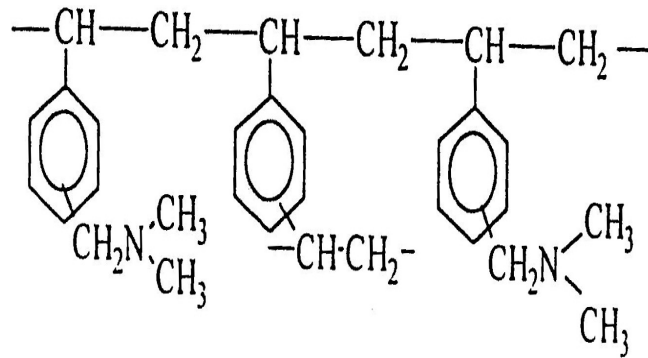
Şekil 1.3. Chelex-100 reçinesinin yapısı (Göde, 2002'den)

Çizelge 1.1. Chelex-100 reçinesinin özellikleri (Göde, 2002'den)

Reçine	Chelex-100
Tipi	Zayıf Asit (Şelat) Katyon Değiştirici Reçine
İyonik Formu	Na ⁺
Fonksiyonel Grup	İminodiasetik Asit
Matriks	Polistiren-divinilbenzen
Yapı	Makro poröz
pH Aralığı	0-14
Tanecik Büyüklüğü	0.3-1.0 mm
Kapasite	0.4 mmol/mL

1.1.2.3. Zayıf Baz Anyon Değiştirici Reçineler

Zayıf baz anyon değiştirici reçineler, aminlerin stiren-divinil kopolimerine bağlanmasıyla elde edilir (Şekil 1.3.). İyonlaşma derecesi kuvvetli bir şekilde pH'dan etkilenmektedir.

**Şekil 1.4.** Tersiyer amin zayıf bazik iyon değiştirici reçine (Göde, 2002'den)

Bir zayıf baz anyon değiştirici reçine olan Lewatit MP 62 hidrometalurjide ve metal kaplama banyolarında kullanılır. Özellikle metal kaplama endüstrisinde değerli metallerin ve kromun geri kazanılması ve uzaklaştırılmasında etkin olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 1.2. Lewatit MP 62 anyon değiştirici reçinenin özellikleri (Göde, 2002'den)

Reçine	Lewatit MP 62
Tipi	Zayıf Bazik Anyon Değiştirici Reçine
İyonik Formu	OH ⁻
Fonksiyonel Grup	Tersiyer Amin
Matriks	Çapraz Bağlı Polistiren
Yapı	Makro poröz
pH Aralığı	0-8
Tanecik Büyüklüğü	0.31-1.25
Kapasite	1.7 eq/l

1.1.3. Adsorpsiyon

Adsorpsiyon maddenin sınır yüzeyinde, moleküller arasındaki kuvvetlerin denkleşmemiş olmasından ileri gelir. Fiziksel, kimyasal ve iyonik olmak üzere üç tür adsorpsiyon vardır.

a) Fiziksel adsorpsiyon: Fiziksel adsorpsiyonda adsorplanmış moleküller adsorban yüzeyine van der Waals bağlarıyla bağlıdırlar. Adsorpsiyon dengesi iki yönlüdür ve dengeye çabuk ulaşılır. Adsorplanmış tabaka birden fazla molekül kalınlığındadır.

b) Kimyasal adsorpsiyon: Kimyasal adsorpsiyonda ise adsorplanmış moleküller, adsorban yüzeyine kovalent bağlarla bağlıdırlar. Adsorpsiyon belirli bir aktivasyon enerjisi gerektirmediği için yavaş bir süreçtir. Adsorplanmış tabaka tek bir molekül kalınlığındadır.

c) İyonik adsorpsiyon: İyonik adsorpsiyonda ise çözeltideki iyonik karakterli adsorplanmış moleküller yüzeydeki yüklü bölgelere elektrostatik kuvvetler ile çekilirler.

1.1.3.1. Adsorpsiyon İzotermi

Adsorban tarafından tutulan madde miktarı, tutulan madde konsantrasyonunun ve

sıcaklığının birer fonksiyonudur. Genelde tutulan maddenin büyüklüğü sabit bir sıcaklıkta konsantrasyonun bir fonksiyonu olarak belirlenir ve adsorpsiyon izotermi olarak adlandırılır. Deneysel izoterm verilerini tanımlamak için sık kullanılan denklemler Freundlich ve Langmuir tarafından geliştirilmiştir.

1.1.3.2. Langmuir İzoterm Denklemi

Langmuir izoterm denklemi aynı enerjiye sahip, adsorban yüzey üzerinde bulunabilen sabit sayıda alanın adsorpsiyonla tersinir olduğu varsayımına dayanır. Dengeye ulaşıldığında yüzey üzerine gelen moleküllerin sorpsiyon hızı aynıdır (Göde, 2002). Langmuir adsorpsiyon izotermi aşağıdaki denklemle ifade edilir (Koby, 2004; Dakiky vd., 2002; Hamadi vd., 2001).

$$C_e/q_e = 1/Qb + C_e/Q \quad (3)$$

Denklemde;

q_e : Birim adsorban ağırlığı başına adsorplanan madde miktarı (mmol/g)

C_e : Adsorpsiyondan sonra çözültide kalan maddenin konsantrasyonu (mmol/L)

Q : Adsorpsiyon kapasitesi (mmol/g)

b : Yüzey bağlanma enerjisiyle ilgili sabit (L/mmol)

1.1.3.3. Freundlich İzoterm Denklemi

Yüzeylerin homojen olmaması ve adsorplanmış moleküller arasında etkileşmelerin meydana gelmesinden dolayı bazı sistemler Langmuir izoterm denkleminde sapmalar gösterebilir. Başka bir adsorpsiyon izotermi ise sınırlı bir konsantrasyon aralığında adsorplanmış madde miktarı ile konsantrasyon arasındaki ilişkiyi ifade eden Freundlich izoterm denklemdir. Freundlich izotermi aşağıdaki denklemle ifade edilir (Dakiky vd., 2002).

$$q_e = K_f C_e^{1/n} \quad \log q_e = \log K_f + 1/n \log C_e \quad (4)$$

Denklemde;

q_e : Birim adsorban ağırlığı başına adsorplanan madde miktarı (mmol/g)

C_e : Adsorpsiyondan sonra çözültide kalan maddenin konsantrasyonu (mmol/L)

n : Yüzey bağlanma enerjisiyle ilgili sabit

K_f : Adsorpsiyon kapasitesi (mmol/g)

1.1.3.4. Pomza

Pomza hafif, porözlü volkanik bir kayadır. Porözlü yapısı geniş yüzey alanıyla kolay işlenir bir maddedir. Pomza sudaki fosfat iyonlarının uzaklaştırılmasında etkilidir (Akbal, 2005).

Çizelge 1.3. Kayseri-Talas ve Isparta-Gelincik pomzalarının kimyasal bileşimleri (Sezgin, 2005'den)

Bileşik %	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	Diğer
Kayseri-Talas	74.00	15.60	6.10	2.40	1.90
Isparta-Gelincik	60.50	17.15	4.30	4.54	13.51

Yüksek oranda ve birbiriyle bağlantılı olmayan gözenekler içeren, % 50'ye yakın nem bulunduran ve dolayısıyla nemi alındığında özgül ağırlığı 0,5 g/cm³'e kadar düşebilen, toz haline getirildiğinde oldukça sert malzeme özelliği kazanan, ısı ve sese karşı yalıtkan, basınca dayanıklı doğal bir malzemedir. Asidik veya bazik türleri vardır. Asidik pomza, yeryüzünde en yaygın olarak bulunan türüdür. İçerdiği SiO₂ kayaca aşındırıcılık özelliği verir. Yapısındaki Al₂O₃ bileşiminden dolayı ateşe ve ısıya dayanıklıdır. Pomza çok kırılındır. Pomza başlıca inşaat, tekstil, tarım, kimya sektörlerinde ve diğer endüstriyel ve teknolojik alanlarda kullanılmaktadır (Erkoyun, 2005).

Pomza sanayi sektöründe;

- Madeni eşyalar ve yumuşak metalleri cilalamakta,
- Boya için astar macunu düzeltmede,
- Kimyasal taşıyıcı ve filtrasyon malzemesi olarak,

- Toz ve el sabunu imalinde ve de cam temizleme işleminde,
- Televizyon tüpü düzeltmek için, cam cilalamak için, kesik cam tamamLama malzemesi olarak,
- Devre plaketlerini temizlemekte,
- Tekstilde kot kumaşının ağartılmasında temizleyici olarak,
- Toprağın özelliklerini ıslah etmekte, suni gübrenin topraklaşmasını önlemede,
- Karayollarında, buzlanmaları kontrol altına almada kullanılır.

Su-atık su arıtma ve hava temizleme sektöründe;

- Fosfat adsorpsiyonunda,
- Suyun filtre edilmesinde,
- Organik ve inorganik parçacıkların atık suda bağlama ajanı olarak,
- Temiz su eldesi için fotokataliz sürecinde,
- Atık su işleme sisteminde,
- Sudan demir ve manganez tortusunun arındırılmasında,
- Canlı balıkların nakli esnasında mikroorganizmaların arıtımında,
- Zararlı metal içeren endüstriyel atık suların arıtımında,
- Ev içi havayı temizleyen cihazlarda,
- Tehlikeli baca gazlarının ayrıştırılmasında,
- Organik-inorganik madde ve yosun içeren havuz ve göletlerin arıtılmasında,
- Farklı adsorbanlarla beraber Fe^{+2} iyonu içeren solüsyonlardan demirin giderilmesinde kullanılmaktadır (Sezgin vd., 2005).

1.1.3.5. Kömür

Kömür, değişik oranlarda, organik ve inorganik bileşenler içeren tortul bir kayadır. Doğada, yapı, doku, bileşenler ve köken açısından birbiriyle tam anlamda özdeş iki kömür oluştuğuna rastlamak hemen hemen olanaksızdır. Linyit kömürü oluşturan ana element karbondur. Bu nedenle oluşumu karbon çevrimine bağlıdır. Kömür, uygun ortamlarda, bataklıklarda bozunma ve çürümeden kurtulan bitki kalıntılarının, zamanla biokimyasal ve fiziksel etkilerle değişimi sonucu oluşur.

Kömür, karboksil ve hidroksil gruplarının varlığından dolayı yüksek oranda oksijen içerir. Bu gruplar doğal iyon değiştirici adsorbanın aktif merkezleridir. Metallerle iyon değişim dengesi aşağıdaki gösterilmektedir.



R sorpsiyonun meydana geldiği fenolik gruptur. Çizelge 1.5'te Isparta-Yarıkkaya linyit kömürünün elementel analizi, Çizelge 1.6'da Isparta-Yarıkkaya linyit kömürünün kimyasal özellikleri verilmiştir.

Çizelge 1.4. Isparta-Yarıkkaya linyit kömürünün elementel analizi (Göde ve Pehlivan, 2004'dan)

Isparta-Yarıkkaya	C	H	N	S
%	51.70	5.00	1.00	3.00

Çizelge 1.5. Isparta-Yarıkkaya linyit kömürünün kimyasal bileşimi (Göde ve Pehlivan, 2004'dan)

Isparta-Yarıkkaya	Nem Oranı	Kül	Toplan Kükürt	Uçucu Madde	Sabit Karbon
%	27.80	12.60	1.90	49.70	43.70

2. KAYNAK BİLGİSİ

Kubrakova vd. (1994), mikro dalga ortamında sorpsiyon önderiştirmeden sonra elektrotermal AAS ile nehir sularında Cr(III) ve Cr(VI) tayinini gerçekleştirmişlerdir. Krom türleri konformasyonel esneklikte aminokarboksil gruplar bulunduran polimerik Detata sorbentine sorpsiyonla ayrılmıştır. Önderiştirme işlemleri hem dinamik hem de statik koşullar altında yapılmıştır. Kantitatif sorpsiyon Cr(III) için pH 7'de, Cr(VI) için pH 3'te gözlenmiştir. Her iki krom türü için dedeksiyon limiti 30 ng/L ölçülmüştür.

Yebra-Biurrun vd. (1995), on-line kolon önderiştirme işlemiyle sularda bulunan Cr, Cd, Co, Cu, Fe, Mn, P ve Zn metallerinin tayinini gerçekleştirmişlerdir. Önderiştirme işleminde poliaminfosforik asit şelat reçinesi ile doldurulmuş kolon kullanılmıştır. Ölçümler FAAS ile yapılmıştır. Ayrıca Al^{+3} , B^{+3} , Ca^{+2} , Mg^{+2} , $Si(IV)$, Cl^- , SO_4^{-2} ve NO_3^- iyonlarının metal sorpsiyonuna etkileri de araştırılmıştır.

Fabiani vd. (1996), ultrafiltrasyon ve mikrofiltrasyon membranları kullanarak deri atık sularından Cr(III) tuzlarının geri kazanılması için çalışmalar yapmışlardır.

Sule ve Ingle (1996), otomatik ikili kolon iyon değıştirici sistemi kullanarak sulu ortamlarda krom türlemesini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında örnek çözeltileri sırasıyla Chelex-100 ve anyon değıştirici reçine içeren kolonlardan geçirmişlerdir. Chelex-100 şelatlaştırmacı reçinede pozitif yüklü Cr(III) türleri, anyon değıştirici reçinede ise negatif yüklü Cr(VI) türleri alıkonmuştur. Alıkonan krom türleri 357.9 nm dalgaboyunda on-line alevli atomik absorpsiyon spektrometresiyle belirlenmiştir. Dedeksiyon limiti 2 ng/mL ölçülmüştür. Ayrıca Cr(III) türünün Chelex-100 kolonu tarafından sorpsiyonu üzerine pH'ın etkisi araştırılmış ve maksimum sorpsiyonun 4 ve 4.5 pH değerleri arasında olduğu görülmüştür.

Chanda ve Rempel (1997), şelat reçine olarak polietilen imin, kompleks iskeletinde iyon olarak Cr(III) ve çapraz bağ ajanı olarak glutaraldehit kullanarak jel tipi granüler sorbent hazırlamışlardır. Cr(III)'ün Cu(II), Ni(II) ve Fe(II) iyonlarıyla

yaptığı ikili karışımlarda, baz PEI reçinesinin Cr(III)'e karşı seçiciliğinin arttığı gözlenmiştir. Sorbent üzerine pH'nın, Cl⁻ ve SO₄⁻² iyonlarının etkisi de araştırılmıştır. Sorpsiyon kapasitesini karşılaştırmak amacıyla ölçümler aynı şartlar altında Chelex-100 reçinesi ile de yapılmıştır.

Raji ve Anirudhan (1998), poliakrilamit aşılı talaşın Cr(VI) adsorpsiyonunda, kesikli kap adsorpsiyon yöntemini kullanarak adsorbent miktarı, başlangıç sorbant konsantrasyonu ve pH gibi parametrelerin sorpsiyon üzerine etkilerini araştırmışlardır. Ayrıca farklı iyonlarla da çalışılmış, Cr(VI) sorpsiyonu üzerinde etkilerinin olmadığı gözlenmiştir. Adsorpsiyon sonuçları Freundlich adsorpsiyon izotermine uygunluk göstermiştir.

Balasubramanian ve Pugalenti (1999), çeşitli deri atık sularından aldıkları numunelerde toplam krom tayinini gerçekleştirmişlerdir. Deneplerinde numuneler HNO₃/H₂SO₄ karışımıyla doyurulmuş, daha sonra ortama eklenen KMnO₄ çözeltisiyle Cr(III) tamamen Cr(VI)'ya dönüştürülmüştür. Cr(VI) türleri ICP-AES, FAAS ve UV-VIS spektrofotometresi ile belirlenmiştir. Yöntemler kıyaslandığı zaman en iyi sonucun UV-VIS spektrofotometresi ile alındığı görülmüştür. Bu üç yöntemle elde edilen sonuçlar bazı istatistiksel hesaplamalarla değerlendirilmiştir.

Donais vd.(1999), otomatik sıvı sistemi ile ICP-MS sistemini birleştirerek sıvı numunelerde krom türlemesini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında pH değerleri 4 ile 12 arasında şelatlaştırıcı reçine, 4'den küçük pH değerlerinde ise anyon değiştirici reçine görevi gören Chelex-100 reçinesini kullanmışlardır.

Adria-Crezo vd. (2000), katı faz ekstraksiyon ve atomik absorpsiyon spektrometresi kullanarak, suda krom türlemesini ve önderiştirmesini çalışmışlardır. Cr ile etilendiamintetraasetik asit arasında anyonik bir kompleks (CrY⁻) oluşturduktan sonra Cr(III) ve Cr(VI) iyonları trimetilaminpropil klorürden oluşan (SAX) güçlü anyonik bir fazda alıkonmuştur. 0.5 M NaCl kullanılarak yıkanmıştır. Yıkama çözeltisinin ilk milimetresinde Cr(III) ayrılmış, üçüncü ve dördüncü mililitresinde ise Cr(VI) ayrılmıştır. AAS ile dedeksiyon limiti Cr(III) için 0.4 g/L, Cr(VI) için 1.1 g/L

bulunmuştur. Ayrıca Cr(III) ve Cr(VI)'nın ayrılması sırasında Mg(II), Mn(II), Sn(II), Fe(III), Ba(II), Al(III), Ca(II), klor, iyot, brom, flor, fosfat, sülfat, bikarbonat ve nitrat iyonlarının girişimleri de incelenmiştir.

Hirata vd. (2000), on-line kolon önderiştirme ile ICP-MS tekniklerini birleştirerek deniz suyunda toplam krom ve Cr(III) tayinini gerçekleştirmişlerdir. pH değeri 3 olan deniz suyundaki Cr(III)'ü konsantre etmek için iminodiasetat reçine ile doldurdukları kolonu kullanılmıştır. Toplam krom, Cr(VI) pH 1.8'de 2 mM hidroksilamin çözeltisiyle Cr(III)'e indirgendikten sonra belirlenmiştir. Cr(III) için dedeksiyon limiti 0.002 ng/mL ölçülmüştür. Ayrıca Cr(III) türü için farklı pH değerleri denenmiş ve maksimum tutulmanın pH 2.7-5.0 aralığında olduğu görülmüştür.

Koroleczuk (2000), Cr(III) ve hümik asit varlığında Cr(VI)'nın tayinini gerçekleştirmiştir. Cr(VI) üzerinde pH'ın, Fe⁺³, Zn⁺², Cu⁺² ve Pb⁺² iyonlarının etkisi araştırılmıştır. Yöntemi doğrulamak için toprak numuneleri seçilmiştir. Topraktan ekstrakte edilen Cr(VI) önce UV-VIS spektrometresiyle sonra bu yeni yöntemle analiz edilmiştir. Sonuçlar karşılaştırıldığında yaklaşık değerler bulunmuştur.

Narin vd. (2000), kolon önderiştirme işlemiyle sularda bulunan Cu, Mn, Co, Cd, Pb, Ni ve Cr metallerinin tayinini gerçekleştirmişlerdir. Önderiştirme işleminde pirokatekol violet kompleksleri oluşturulmuş, aktif karbonla doldurulmuş kolon kullanılmıştır. Ölçümler FAAS ile yapılmıştır. Ayrıca Na⁺, K⁺, Ca⁺², Mg⁺², Cl⁻ ve SO₄⁻² iyonlarının metal sorpsiyonuna etkileri de araştırılmıştır. Bu metot Kayseri ve Niğde'den alınan içme suyu numunelerine uygulanmıştır. Cd ve Cr derişimleri sırasıyla 0.1 ve 1 µg/L'nin altında bulunmuştur.

Hamadi vd. (2001), lastik ve talaşozunu piroliz etmişler, elde ettikleri adsorban maddelerle atık sulardan Cr(VI)'yı uzaklaştırmışlardır. Adsorpsiyon üzerinde konsantrasyonun, sıcaklığın, parçacık büyüklüğünün ve pH'ın etkileri incelenmiş, maksimum sorpsiyon pH 2'de gözlenmiştir.

Boyat (2002), iki farklı kömür külü kullanarak sulu çözeltilerden Cr(VI) ve Cd(II) iyonlarının uzaklaştırılmasını karşılaştırmıştır. Adsorpsiyon üzerinde temas süresinin, pH'nın, başlangıç metal konsantrasyonunun etkileri incelenmiştir.

Dakiky vd. (2002), yün, zeytin, talaş tozu, çam yaprakları, kaktüs yaprakları ve mangal linyit kömürü kullanarak endüstriyel atık sulardan Cr(VI)'yı uzaklaştırmışlardır. SeçimLi metal adsorpsiyonu üzerinde pH, temas süresi, metal konsantrasyonu gibi parametreler incelenmiştir. Adsorpsiyon sonuçları Langmuir adsorpsiyon izotermine uygunluk göstermiştir.

Lakatos vd. (2002), düşük ranklı kömür ve bitümlü kömür kullanarak sulu çözeltilerden Cr(VI)'yı uzaklaştırmışlardır.

Mondal vd. (2002), 2-naftol-3,6-disülfonik asitin polimerik stiren-divinil benzene azo grubuyla bağlandığı yeni bir reçine sentezlemişler ve krom türlemesinde kullanmışlardır. Sentezlenen reçine elementer analiz, termogravimetrik analiz ve IR yöntemleriyle karakterize edilmiştir. Hidrojen iyonu, reçinenin metal iyon kapasitesi, pH, hız sabiti ve eğim gibi parametreler belirlenmiştir. Her iki krom türü de farklı pH değerlerinde farklı iyon değişim kapasitesi göstermiştir. Reçine tarafından Cr(III) pH 6.5'da tutulurken Cr(VI) pH 1.5'ta tutulmuştur. Metal miktarları FAAS ile ölçülmüştür.

Zhu vd. (2002), elektrotermal buharlaştırma (ETV), indüksiyonla birleştirilmiş plazma (ICP) teknikleri ile atomik emisyon spektroskopisi tekniğini birleştirerek Cr(III) ve Cr(VI) türlemesini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında Cr(III) ve 8-hidrokinolin (8-Ox) ile oda sıcaklığında şelat oluşturulmuş, oluşan Cr(III)-8-Ox şelatı 1000°C'de grafit fırında buharlaştırılmıştır. Cr(III) türü ICP-AES ile belirlenmiştir. Grafit tüpte alıkonan Cr(VI) türü ise PTFE ile modifiye edilerek 2560°C'de buharlaştırılmış ve ETV-ICP-AES ile belirlenmiştir.

Korngold vd. (2003), güçlü baz anyon değiştirici reçineler kullanarak çeşme suyundan Cr(VI)'yı uzaklaştırmışlardır. Çalışmalarında iki basamaktan oluşan yeni

bir iyileştirme yöntemi kullanmışlardır. İlk basamakta sodyum bisülfite içeren güçlü bir asit çözeltisi kolona gönderilmiş, kromat bisülfite indirgenmiştir. Krom anyon değiştirici reçineden Cr(III) olarak ayrılmıştır. İkinci basamakta ise pH 11 olana kadar iyileştirme çözeltisine NaOH ilave edilmiştir. Cr(III) Cr(OH)₃ olarak çökmüş, çökelek süzülerek ortamdan ayrılmıştır. Adsorpsiyon üzerinde anyon değiştirici reçine tipi, besleme suyunda bulunan Cl⁻ ve SO₄⁻² iyonu konsantrasyonu, akış hızı ve besleme suyunun pH'sı gibi parametrelerin etkileri incelenmiştir.

Liang vd. (2003), titanyum dioksitle doldurulmuş mikro-kolon, indüksiyonla birleştirilmiş plazma ve atomik emisyon spektroskopisi tekniklerini (ICP-AES) kullanarak Cr(III) ve Cr(VI) türlemesini gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında Cr(III) içeren sulu çözelti örneğinin pH'sı HCl ve NH₃ ile 6'ya ayarlanmıştır. Çözelti 1.0 mL/dakika akış hızıyla kolondan geçirilmiş, kolonda tutulan Cr(III) HCl çözeltisiyle yıkanmıştır. Cr(III) miktarı ICP-AES ile ölçülmüştür. Toplam krom miktarı ise Cr(VI) askorbik asitle Cr(III)'e indirgendikten sonra belirlenmiştir. Cr(III) için adsorpsiyon kapasitesi 7.6 mg/g, dedeksiyon limiti ise 0.32 µg/L ölçülmüştür.

Motomizu vd. (2003), iyon değiştirme mekanizmasına dayanan on-line FI-ICP-AES tekniğini kullanarak Cr(III) ve Cr(VI) türlemesini gerçekleştirmişlerdir. İki tür iyon değiştirici reçineyle doldurulan diskler bir filtre içine sabitlenmiştir. pH değeri 4.5 olan 5 mL örnek çözelti sisteme gönderilmiştir. Cr(VI) anyon değiştirici reçine diskinde, Cr(III) ise kation değiştirici reçinede toplanmıştır. Toplanan türler 2 M HNO₃ ile yıkanmış ve ICP-AES ile belirlenmiştir. Dedeksiyon limiti Cr(VI) için 0.04 µg/L ve Cr(III) için 0.02 µg/L ölçülmüştür.

Stasinakis vd. (2003), atık sularındaki Cr(III) ve Cr(VI) iyonlarının aktif çamur üzerinde sorpsiyon oranlarını karşılaştırmışlardır. Cr(III) 90% oranında, Cr(VI) ise 15% oranında adsorbe edilmiştir. Deneyler çalkalama yöntemiyle yapılmış ve adsorpsiyon sonuçları Freundlich adsorpsiyon izotermine uygunluk göstermiştir.

Yang vd. (2003), kapiler indirgenme ve kapiler elektroforetik (CE)- kemiluminesans (CL) tekniklerini kullanarak Cr(III) ve Cr(VI) türlerini tayin etmişlerdir. Cr(III) ve

Cr(VI) içeren örnekler hazırlanmış, HCl, H₂O₂ çözeltileriyle birlikte kapiler içine enjekte edilmiştir. Anot ve arasına gerilim voltajı uygulanmıştır. Cr(III) iyonları katoda göç ederken Cr(VI) iyonları ise elektroozmotik akışın tersine anota göç etmiş ve H₂O₂ ile reaksiyona girerek Cr(VI) iyonları Cr(III)'e indirgenmiştir. Oluşan Cr(III) iyonları da yön değiştirerek katoda yönlendirilmiştir. Böylece göç zamanlarındaki farklılıklarından yararlanılarak krom türleri ayrılmıştır.

Acar ve Malkoc (2004), kayın ağacından elde ettikleri talaş tozunu kullanarak, çalkalama yöntemiyle sulu çözeltilerden Cr(VI)'yı uzaklaştırmışlardır. Metal konsantrasyonu UV ile ölçülmüştür. Optimum temas süresi 80 dakika iken maksimum tutulma pH 1'de gözlenmiştir. Cr(VI)'nın başlangıç konsantrasyonunun artmasıyla adsorpsiyon yüzdesi azalmıştır. Adsorpsiyon sonuçları Freundlich ve Langmuir adsorpsiyon izotermine uygunluk göstermiştir.

Barros vd. (2004), Na₈₁(AlO₂)₈₁(SiO₂)₁₁₁ zeolit adsorbantı kullanarak sabit yatak kolonundan ve kesikli kap reaktörlerinden Cr(III) iyonlarını uzaklaştırmışlardır.. Her iki sistemde de deneyler 30°C'de gerçekleştirilmiştir. Kesikli sistemde krom iyonu denge konsantrasyonu 3.61 meq/g bulunmuştur. Kolon deneyleri ise pH 3.5'te 9 mL/dakika akış hızıyla yapılmış ve krom konsantrasyonu 3.27 meq/g bulunmuştur. Adsorpsiyon sonuçları Freundlich adsorpsiyon izotermine uygunluk göstermiştir.

Farajzadeh ve Monji (2004), buğday kepeği üzerinde bazı ağır metal katyonlarının adsorpsiyonunu çalışmışlardır. Bütün katyonlar için adsorpsiyon dengesine 10 dakikada ulaşılmış, adsorpsiyon kapasitesi Cr(III) için 93 mg/g, Hg(II) için 70 mg/g, Pb(II) için 62 mg/g, Cd(II) için 21 mg/g, Cu(II) için 15 mg/g, Ni(II) için 12 mg/g bulunmuştur. Matriks etkisi gözlenmemiştir.

Inglezakis vd. (2004), sodyumla zenginleştirilmiş klinoptilolit kili ile Cr⁺³, Cu⁺², Pb⁺², Fe⁺³ iyonları arasındaki değişimi incelemişlerdir. Denge ve kinetik çalışmaları yapılmıştır.

Inglezakis ve Grigoropoulou (2004), sodyumla zenginleştirilmiş klinoptilolit kili kullanarak sulu çözeltilerden Cr^{+3} , Cu^{+2} , Pb^{+2} , Fe^{+3} iyonlarını uzaklaştırmışlardır. Adsorpsiyon dengesi üzerinde akış hızının, parçacık büyüklüğünün ve çözelti konsantrasyonunun etkisi incelenmiştir.

Kislenko ve Oliyky (2004), hümik asitlerin alüminyum, krom ve ferik tuzları varlığında çözünürlüğünü, metal iyon konsantrasyonu, hümik asit konsantrasyonu ve pH'a bağlı olarak araştırmışlardır. Metal tuzları kullanılmadan önce hidroliz edilmiştir. Çözeltideki krom iyonu konsantrasyonu, krom perklorik asitle yükseltgenip 1,5-difenil karbazitle kompleks oluşturduktan sonra bulunmuştur.

Melo vd. (2004), *Ocimum basilicum* tohumları kullanarak Cr(VI)'yı uzaklaştırmışlardır. Tohumları asitlerle, alkalilerle muamele ettikleri ya da suda kaynattıkları zaman metalin bağlanma kapasitesinde değişiklik gözlenmiştir. pH artışıyla birlikte biyosorpsiyon kapasitesinin azaldığı, maksimum adsorpsiyon 1-1.5 pH aralığında olduğu görülmüştür. Adsorpsiyon üzerinde Cd^{+2} , Cu^{+2} , Ca^{+2} ve Na^{+} iyonlarının etkileri gözlenmemiştir. Maksimum adsorpsiyon kapasitesi Langmuir izotermi kullanılarak hesaplanmıştır.

Selvaraj vd. (2004), damıtık çamur kullanarak sulu çözeltilerden ve endüstri atıklarından Cr(VI)'yı uzaklaştırmışlardır. Metal adsorpsiyonu üzerinde pH, temas süresi, başlangıç konsantrasyonu ve adsorban miktarı gibi parametreler incelenmiştir. Adsorpsiyon sonuçları Langmuir ve Freundlich izotermine uygunluk göstermiştir.

Terry (2004), hidrotalsit iyon değiştirici reçine ile krom iyonu değişiminin karakterizasyonu üzerine çalışmalar yapmışlardır. Deneyler yoğunluğu yüksek polietilen şişelerde, kesikli kap yöntemiyle yapılmıştır. İyon değişimi üzerinde pH'ın, hidrotalsit konsantrasyonunun, Cr konsantrasyonunun ve temas süresinin etkili olduğu, sıcaklığın ise etkili olmadığı görülmüştür. Adsorpsiyon sonuçları Freundlich adsorpsiyon izotermine uygunluk göstermiştir. Sonuçlar EPA sınır değerleriyle karşılaştırılmış ve sudan kromun uzaklaştırılması işleminde hidrotalsitin uygun bir iyon değiştirici reçine olduğu görülmüştür.

Yalçın ve Apak (2004), XAD sorbenti ile fonksiyone edilmiş maleik asit reçinesi (XAD-(CO)CH=CH-CH) kullanarak krom türlemesini gerçekleştirmişlerdir. Farklı pH değerlerinde çalışılmış Cr(III) için maksimum sorpsiyon pH 4.0-5.5 değerleri arasında olduğu görülmüştür. Cr(III) için reçinenin doygunluk kapasitesi 7.52 mg/g ölçülmüştür. Cr(VI) 1 M Na₂SO₃ çözeltisiyle Cr(III)'e indirgendikten sonra toplam krom belirlenmiştir. Ayrıca Ni(II), Co(II), Cu(II), Cd(II), Zn(II), Pb(II), Fe(III) iyonları içeren eşit miktarlarda çözeltiler hazırlanıp reçine tarafından maksimum sorpsiyonun gerçekleştiği pH değerleri bulunmuştur.

3. MATERYAL ve METOT

3.1. Kullanılan Adsorbanlar ve Kimyasal Maddeler

Bu çalışmada adsorban madde olarak, Merck firmasından Chelex-100, Bayer firmasından Lewatit MP 62, Isparta-Yarıkkaya yöresinden (I.Y) çıkarılan linyit kömürü, Isparta-Gelincik (I.G) yöresinden ve Kayseri-Talas yöresinden (K.T) çıkarılan pomza kullanılmıştır. Ayrıca Merck firmasından $K_2Cr_2O_7$, 1,5 difenil karbazit, H_3PO_4 , H_2SO_4 , aseton, Carlo Erba firmasından NaOH ve $Cr(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$, Riedel de Haen firmasından HCl kimyasalları kullanılmıştır. Deneilerin tümünde damıtık su kullanılmıştır.

3.2. Kullanılan Cihazlar

- AAS (Perkin Elmer AA800 Model)
- pH metre (Crison Basic 20)
- UV/VIS (Perkin Elmer Lambda 20)
- Peristaltik pompa (Masterflex L/S)
- Hassas Terazî (Shimadzu A*200)
- Kolonlar

3.3. Kullanılan Çözeltilerin Hazırlanması

Deneilerde $K_2Cr_2O_7$ ve $Cr(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ kimyasallarından $1 \cdot 10^{-3}$ 'er M'lık stok çözeltiler hazırlanmış, bu stok çözeltilerden belirli oranlarda seyreltilerek konsantrasyonları $1 \cdot 10^{-4}$ M, $2 \cdot 10^{-4}$ M, $4 \cdot 10^{-4}$ M, $6 \cdot 10^{-4}$ M ve $8 \cdot 10^{-4}$ M olan çözeltiler hazırlanmıştır. pH ayarları pH metreyle yapılmış ve pH ayarlamalarında 0.1 M NaOH, 0.1 M HCl çözeltileri kullanılmıştır.

3.4. Reçineler ve Doğal Adsorbanlarla Krom Türlerinin Adsorpsiyon Çalışmaları

3.4.1. Krom İyonlarının Sorpsiyonuna Akış Hızının ve Başlangıç Konsantrasyonunun Etkisi

0,1'er gram tartılan reçineler, kolonlara dolduruldu. 1.10^{-3} M hazırlanan stok $K_2Cr_2O_7$ ve $Cr(NO_3)_3.9H_2O$ çözeltilerinden seyreltilerek 1.10^{-4} M, 2.10^{-4} M, 4.10^{-4} M, 6.10^{-4} M ve 8.10^{-4} M'lık çözeltiler hazırlandı. Peristaltik pompanın akış hızı sırasıyla 5 mL/dakika, 10 mL/dakika, 15 mL/dakika'ya ayarlandı. Stok çözelti de dahil olmak üzere altı farklı konsantrasyondaki 25 mL'lik çözeltiler, üç farklı akış hızında kolonlardan geçirildi. Deneyler aynı koşullarda tekrarlandı. Kolonda tutulmadan kalan krom miktarları AAS'de ölçüldü. Ortalama değerler alınarak grafikler çizildi. Bir gram adsorbanın tuttuğu krom miktarına karşı dengede tutulmadan kalan krom konsantrasyonu grafikleri Şekil 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 ve 4.8'de verilmiştir.

3.4.2. Krom İyonlarının Sorpsiyonuna pH'ın Etkisi

0,1'er gram tartılan reçineler, kolonlara dolduruldu. 1.10^{-3} M hazırlanan stok $K_2Cr_2O_7$ ve $Cr(NO_3)_3.9H_2O$ çözeltileri, 0.1 M HCl ve 0.1 M NaOH çözeltileriyle pH'sı 2.0, 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0 ve 8.0'e ayarlandı. pH'sı ayarlanan 25 mL'lik çözeltiler, 10 mL/dakika akış hızıyla peristaltik pompayla kolonlardan geçirildi. Krom miktarları AAS ile ölçüldü. Yüzde sorpsiyona karşı pH değişim grafikleri Cr(III) için Şekil 4.9'da ve Cr(VI) için Şekil 4.10'da verilmiştir.

3.4.3. Krom İyonlarının Sorpsiyonuna Hacmin Etkisi

0,1'er gram tartılan reçineler kolonlara dolduruldu. 1.10^{-3} M $K_2Cr_2O_7$ ve $Cr(NO_3)_3.9H_2O$ stok çözeltileri hazırlandı. Peristaltik pompanın akış hızı 10 mL/dakika'ya ayarlandı. 25 mL, 50 mL, 100 mL, 200 mL, 300 mL, 400 mL ve 500 mL'lik çözeltiler kolonlardan geçirildi. Deneyler aynı koşullarda tekrarlandı. Krom

miktarları AAS ile ölçüldü. Ortalama değerler alınarak çizilen yüzde sorpsiyona karşı hacim değişim grafikleri Cr(VI) için Şekil 4.11’de ve Cr(III) için Şekil 4.12’de verilmiştir.

3.5. Cr(III) ve Cr(VI) İyonlarının Adsorbanlar ile Türleme Deneyleri

Cr(NO₃)₃.9H₂O’dan hazırlanan Cr(III) iyonları, şelat reçine Chelex-100 Isparta-Yarıkkaya linyit kömürü, Isparta-Gelincik pomzası ve Kayseri-Talas pomzası ile ve K₂Cr₂O₇’den hazırlanan Cr(VI) iyonları, zayıf anyon değiştirici reçine Lewatit MP 62, Isparta-Yarıkkaya linyit kömürü, Isparta-Gelincik pomzası ve Kayseri-Talas pomzası ile muamele edilerek adsorpsiyon kapasiteleri hesaplandı. Eşit konsantrasyonlarda Cr(NO₃)₃.9H₂O ve K₂Cr₂O₇’den hazırlanan çözeltiler aşağıdaki oranlarda karıştırılarak adsorbanlarla 10 mL/dakika akış hızında kolondan geçirildi.

<u>1.10⁻³ M Cr(III)</u>	<u>1.10⁻³ M Cr(VI)</u>
1. 0 mL	25 mL
2. 5 mL	20 mL
3. 10 mL	15 mL
4. 15 mL	10 mL
5. 20 mL	5 mL
6. 25 mL	0 mL

Kolon çıkışından alınan numunelerde toplam krom tayini AAS ile yapıldı. 1,5 difenil karbazitle Cr(VI) türleri kompleksleştirerek UV-visible spektrometre ile Cr(VI) tayinleri yapıldı. Toplam krom ile Cr(VI) miktarları arasındaki farktan, Cr(III) miktarları bulundu. Çizelge 4.3’te Cr(III) ve Cr(VI) iyonları için elde edilen adsorpsiyon sonuçları verilmiştir.

3.5.1. UV ile Cr(VI) Tayini

1,5 difenil Karbazit Çözeltisinin Hazırlanması: 0.25 g 1,5 difenil karbazit alınıp, 50 mL asetonda çözülerek renkli şişede saklandı.

Kalibrasyon Grafiğine Göre: $K_2Cr_2O_7$ 'den 500 ppm'lik stok çözeltisi hazırlandı. Stok çözeltiden 8,12,16 ve 20'şer mL alındı. Üzerlerine sırasıyla 2 mL 1:1'lik H_2SO_4 ve 5 damla H_3PO_4 ilave edildi. 5 dakika reaksiyon tamamlanması için beklendikten sonra 540 nm dalga boyunda UV spektrometresinde okundu.

Numune Hazırlama: Analiz edilecek numune alındı, asidik oluncaya kadar 1:1'lik H_2SO_4 'ten damla damla ilave edildi. 1 mL eklendikten sonra 0.3 mL H_3PO_4 eklenip soğutuldu. 100 mL'lik balon jojeye alınarak hacim tamamlandı ve karıştırıldı. Üzerine 2 mL difenil karbazit ilave edildi. 5 dakika beklendikten sonra 540 nm'de absorbansları okundu. Böylece kalibrasyon metoduna göre hazırlanan numunelerde Cr(VI) miktarı tayin edildi.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Bu çalışmada $K_2Cr_2O_7$ ve $Cr(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ 'dan farklı konsantrasyonlarda hazırlanan çözeltiler, sentetik Chelex-100 şelat reçinesi, Lewatit MP 62 zayıf bazik anyon değiştirici reçinesi, Kayseri-Talas, Isparta-Gelincik pomzaları ve Isparta-Yarıkkaya linyit kömürü ile muamele edilerek, Cr(III) ve Cr(VI) iyonlarının sulu çözeltilerden adsorpsiyonu çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

4.1. Krom İyonlarının Sorpsiyonuna Konsantrasyonun ve Akış Hızının Etkisi

Şekil 4.1 Cr(VI) iyonlarının Kayseri-Talas pomzasındaki adsorpsiyon izotermlerini, Şekil 4.2 Cr(VI) iyonlarının Isparta-Gelincik pomzasındaki adsorpsiyon izotermlerini, Şekil 4.3 Cr(VI) iyonlarının Isparta-Yarıkkaya linyit kömüründeki adsorpsiyon izotermlerini, Şekil 4.4 Cr(VI) iyonlarının Lewatit MP 62 reçinesindeki adsorpsiyon izotermlerini, Şekil 4.5 Cr(III) iyonlarının Kayseri-Talas pomzasındaki adsorpsiyon izotermlerini, Şekil 4.6 Cr(III) iyonlarının Isparta-Gelincik pomzasındaki adsorpsiyon izotermlerini, Şekil 4.7 Cr(III) iyonlarının Isparta-Yarıkkaya linyit kömüründeki adsorpsiyon izotermlerini, Şekil 4.8 Cr(III) iyonlarının Chelex-100 reçinesindeki adsorpsiyon izotermlerini göstermektedir. Adsorban fazında tutulan metal konsantrasyonları aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

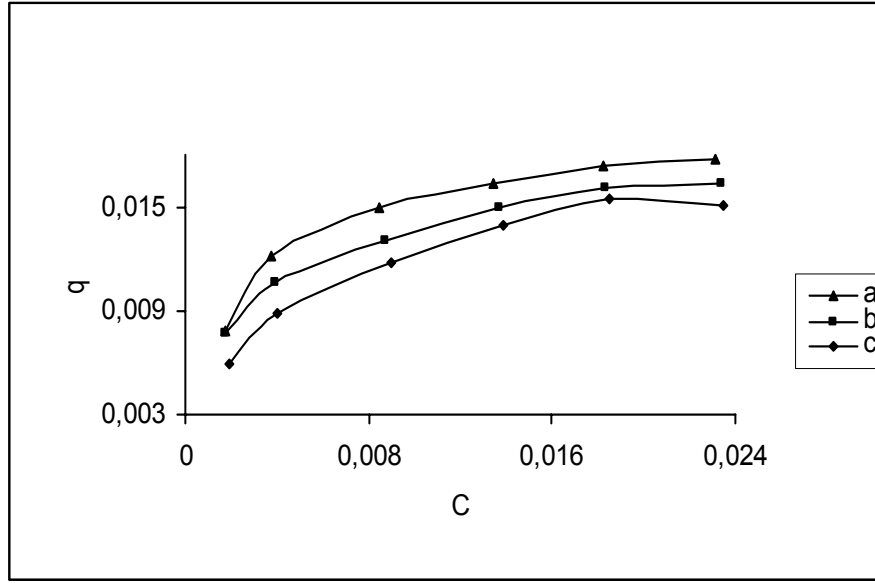
$$q = (C_0 - C)V / W \quad (7)$$

Bu denklemde C_0 (mmol/L) ve C (mmol/L) sırasıyla sulu fazdaki başlangıç ve denge konsantrasyonlarını göstermektedir. V (L) sulu fazın hacmi, W (g) ise kuru adsorbanın kütlesidir (Göde 2002).

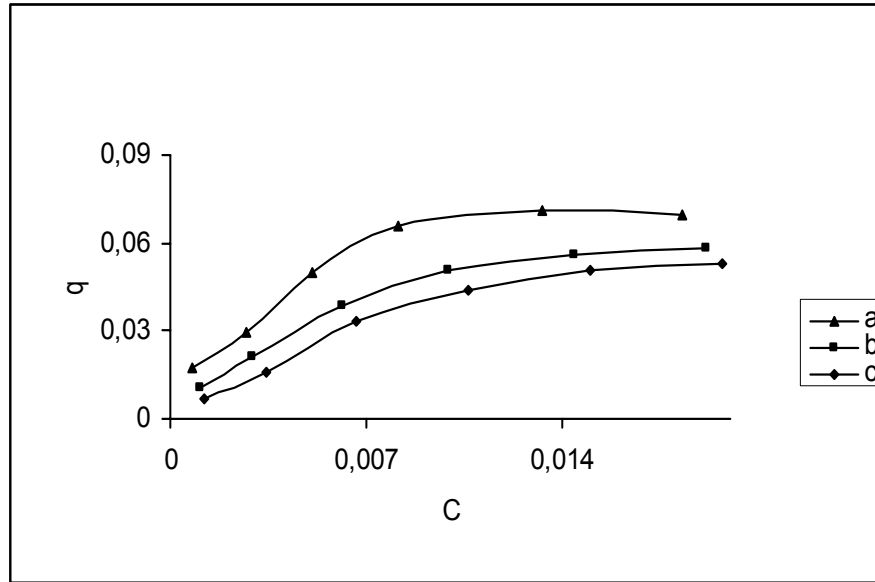
Adsorpsiyon izotermleri bir gram adsorban tarafından adsorplanan krom miktarlarına karşı çözeltide kalan krom miktarları grafiklendirilerek elde edilmiştir. Langmuir izotermleri için eşitlik (3) kullanılarak Q ve b parametreleri hesaplanmıştır. Freundlich izotermleri için eşitlik (4) kullanılarak K_f ve n parametreleri hesaplanmıştır. Cr(III) iyonlarının farklı adsorbanlarla göstermiş olduğu adsorpsiyon izotermlerinin hesaplanan parametreleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Çizelgeden görüldüğü gibi Chelex-100 şelat reçinesinin, Isparta-Yarıkkaya linyit kömürünün,

Isparta-Gelincik ve Kayseri-Talas pomzasının adsorpsiyon izotermi Langmuir adsorpsiyon izotermine uygunluk göstermektedir. Çizelge 4.2’de ise Cr(VI) iyonlarının farklı adsorbanlarla göstermiş olduğu adsorpsiyon izoterminden hesaplanan parametreler verilmiştir. Çizelgede görüldüğü gibi Isparta-Gelincik ve Kayseri-Talas pomzaları Langmuir adsorpsiyon izotermine, zayıf bazik anyon değiştirici reçine Lewatit MP 62 ve Isparta-Yarıkkaya linyit kömürü Freundlich adsorpsiyon izotermine daha uygunluk göstermektedir.

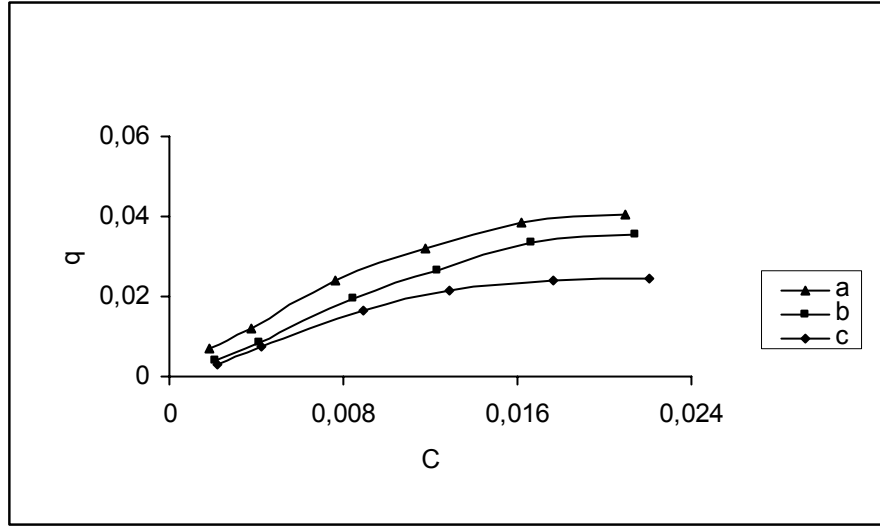
Şekil 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 ve 4.8 farklı konsantrasyonlardaki Cr(III) ve Cr(VI) iyonlarının, 5 mL/dakika (a), 10 mL/dakika (b) ve 15 mL/dakika (c) akış hızında, adsorpsiyon grafiklerini göstermektedir. Konsantrasyonun artmasıyla adsorpsiyonda önce hızlı bir artış görülmekte, konsantrasyonun daha fazla artmasıyla belli bir değerden sonra sabit kalmaktadır. Düşük metal konsantrasyonlu çözeltilerde krom türlerinin adsorban tarafından adsorpsiyonunun hem fiziksel hem de kimyasal olarak gerçekleştiği fakat fiziksel adsorpsiyonun daha etkili olduğu, derişik çözeltilerde ise kimyasal adsorpsiyon ile adsorplandığı, adsorpsiyon sonuçlarının Langmuir adsorpsiyon izotermine uymaktadır (Göde, 2002). Deney sonuçları Cr(III) ve Cr(VI) metallerinin adsorbanlar üzerinde iyon değişim yöntemi ile kimyasal olarak adsorplandığını, adsorpsiyonun çoğunluğunun Langmuir izotermine uyduğunu göstermektedir. Akış hızı arttıkça adsorpsiyon kinetiğinin azalmasına bağlı olarak metallerin sorpsiyonunda düşme gözlenmektedir. Cr(III)’ün yüksek akış hızında adsorban tarafından sorpsiyondaki düşme Liang vd. (2003)’nin çalışmalarında görülmektedir.



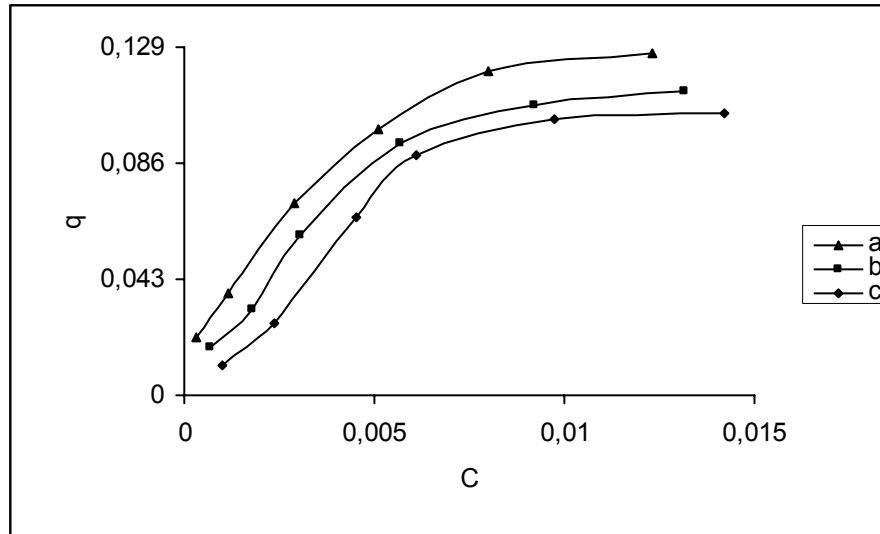
Şekil 4.1. Cr(VI) iyonlarının Kayseri-Talas pomzasında adsorpsiyonu
a: 5 mL/dakika akış hızı; b: 10 mL/dakika akış hızı; c: 15 mL/dakika akış hızı



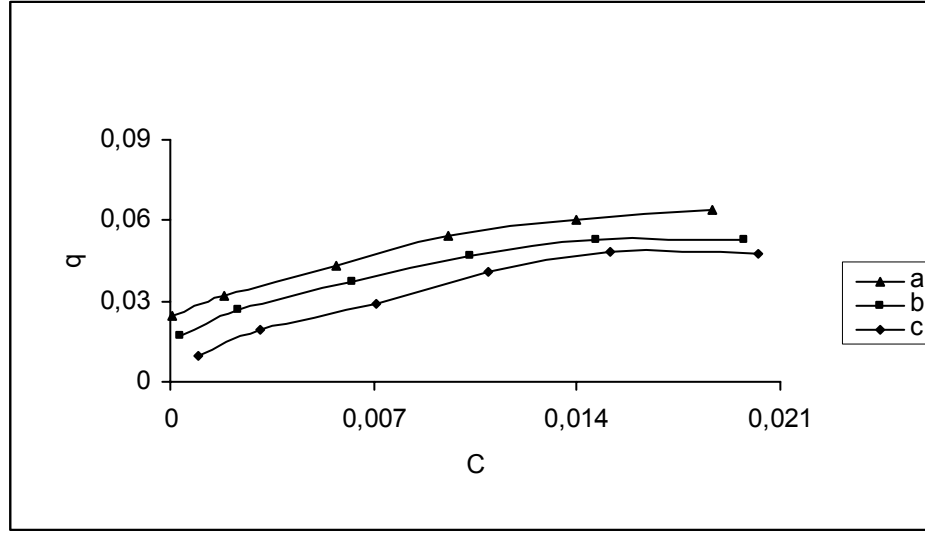
Şekil 4.2. Cr(VI) iyonlarının Isparta-Gelincik pomzasında adsorpsiyonu



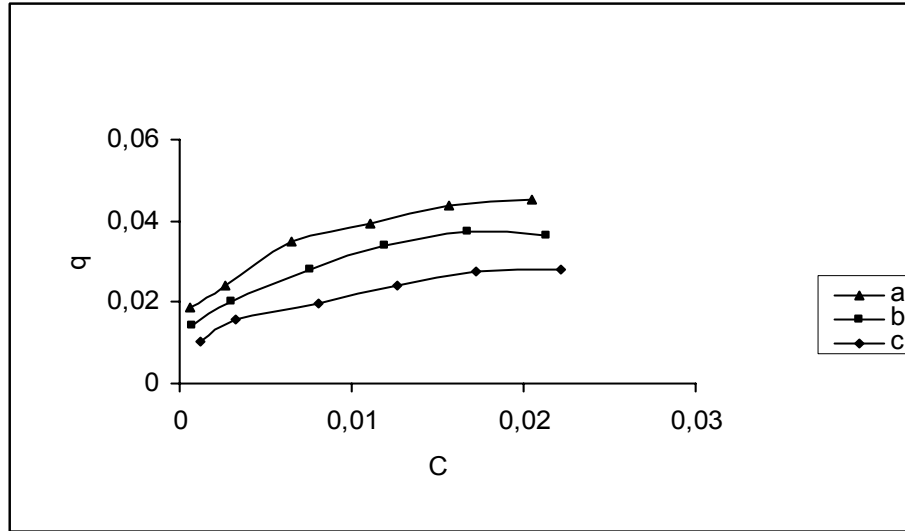
Şekil 4.3. Cr(VI) iyonlarının Isparta-Yarıkkaya linyit kömüründe adsorpsiyonu



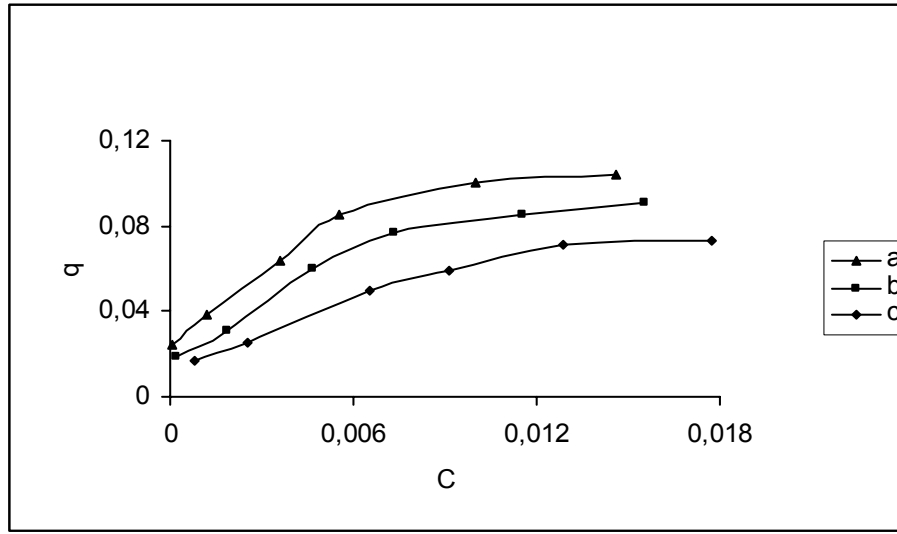
Şekil 4.4. Cr(VI) iyonlarının Lewatit MP 62 reçinesinde adsorpsiyonu



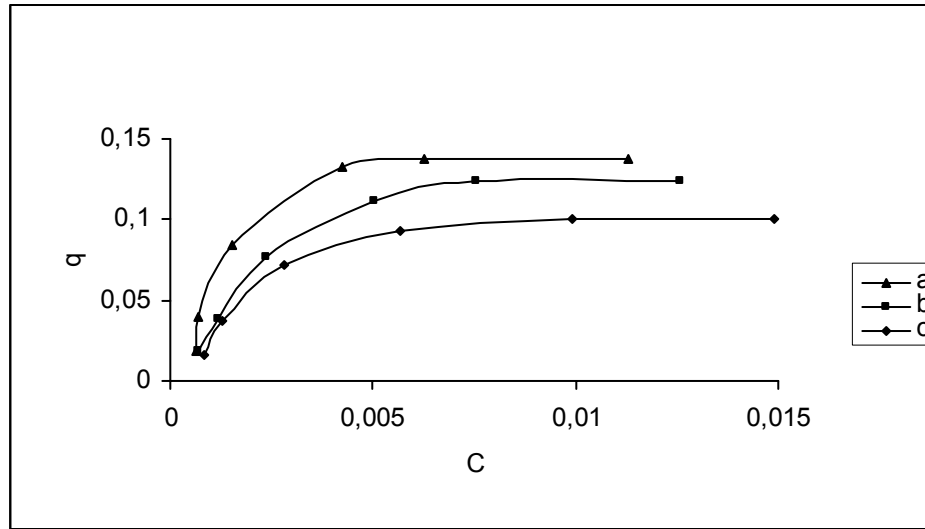
Şekil 4.5. Cr(III) iyonlarının Kayseri-Talas pomzasında adsorpsiyonu



Şekil 4.6. Cr(III) iyonlarının Isparta-Gelincik pomzasında adsorpsiyonu



Şekil 4.7. Cr(III) iyonlarının Isparta-Yarıkkaya linyit kömüründe adsorpsiyonu



Şekil 4.8. Cr(III) iyonlarının Chelex-100 reçinesinde adsorpsiyonu

q: 1 gram reçinenin tuttuğu metal miktarı (mmol/g)

C: Dengede çözelti fazında kalan metal miktarı (mmol/L)

a: 5 mL/dakika akış hızı

b: 10 mL/dakika akış hızı

c: 15 mL/dakika akış hızı

Çizelge 4.1. Adsorbanların Cr(III) iyonları sorpsiyonunda Freundlich ve Langmuir izoterm parametreleri

Cr(III)	Akış Hızı (mL/dakika)	Freundlich İzotermi			Langmuir İzotermi		
		K_f	n	R^2	Q	b	R^2
Chelex-100	5	3.378	1.541	0.824	0.194	262.729	0.885
	10	2.820	1.536	0.904	0.175	237.746	0.944
	15	1.549	1.714	0.835	0.731	286.457	0.943
Kömür (Isparta- Yarıkkaya)	5	0.324	3.679	0.908	0.114	643.529	0.972
	10	0.383	2.830	0.907	0.110	284.931	0.820
	15	0.556	1.991	0.936	0.111	139.436	0.910
Pomza (Isparta- Gelincik)	5	0.131	3.715	0.980	0.045	458.733	0.991
	10	0.075	4.739	0.911	0.038	382.173	0.970
	15	0.073	3.927	0.967	0.031	363.456	0.981
Pomza (Kayseri-Talas)	5	0.113	5.984	0.883	0.068	583.686	0.978
	10	0.137	4.080	0.934	0.580	466.287	0.981
	15	0.240	2.461	0.944	0.060	118.203	0.944

Çizelge 4.2. Adsorbanların Cr(VI) iyonları sorpsiyonunda Freundlich ve Langmuir izoterm parametreleri

Cr(VI)	Akış Hızı (mL/dakika)	Freundlich İzotermi			Langmuir İzotermi		
		K_f	n	R^2	Q	b	R^2
Lewatit MP 62	5	1.394	1.927	0.985	0.159	101.300	0.981
	10	1.099	0.671	0.946	0.127	10.213	0.845
	15	2.117	1.487	0.929	0.191	331.774	0.725
Kömür (Isparta- Yarıkkaya)	5	0.840	1.330	0.985	0.082	7.418	0.950
	10	1.638	0.001	0.989	0.293	7.086	0.954
	15	1.187	1.049	0.972	0.213	51.177	0.949
Pomza (Isparta-Gelincik)	5	0.584	2.003	0.889	0.086	107.704	0.924
	10	0.518	1.895	0.975	0.078	164.615	0.977
	15	0.530	1.755	0.941	0.079	233.911	0.896
Pomza (Kayseri-Talas)	5	0.061	3.235	0.948	0.021	222.826	0.991
	10	0.049	3.516	0.961	0.018	324.866	0.980
	15	0.054	2.948	0.886	0.017	322.092	0.940

K_f , Q: mmol/g

R^2 : Korelasyon katsayısı

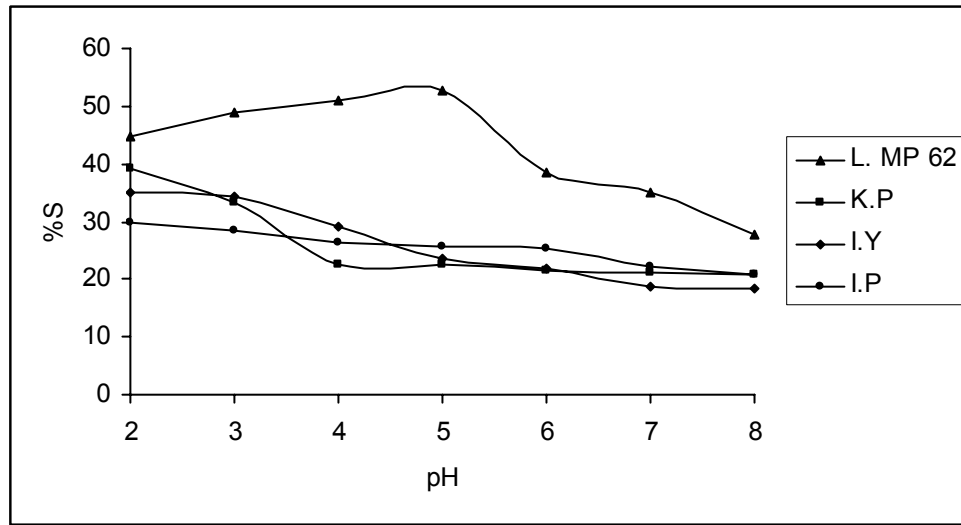
Freundlich izotermindeki K_f adsorpsiyon kapasitesini gösterirken, n yüzey bağlanma enerjisiyle ilgili sabit bir değerdir. Langmuir izotermindeki Q adsorpsiyon kapasitesi, b adsorpsiyon enerjisiyle ilgili bir sabittir.

4.2. Cr(III) ve Cr(VI) İyonlarının Sorpsiyona pH'nın Etkisi

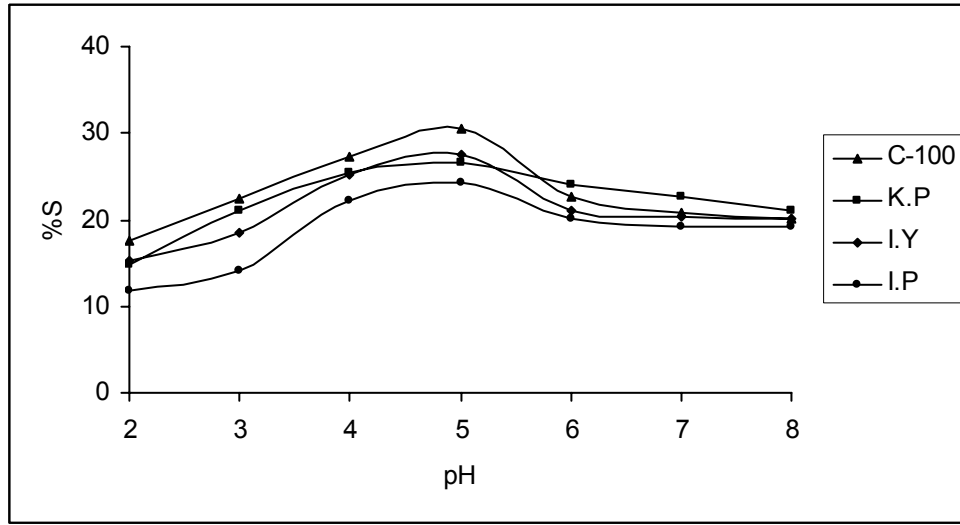
Cr(III) ve Cr(VI) iyonlarının sulu çözeltilerdeki sorpsiyon izotermi farklı pH'larda ölçülmüştür. Adsorbanların krom türlerinin sorpsiyonu ortamın pH'sından çok etkilenmektedir. Şekil 4.9 Cr(VI) iyonlarının ve Şekil 4.10 Cr(III) iyonlarının farklı pH'larda göstermiş oldukları sorpsiyon miktarlarının grafiklerini göstermektedir.

Dakiky vd. (2002)'nin yaptıkları çalışmalarda krom tutulmasının çözeltideki krom iyonlarının türlerine göre değiştiği görülmüştür. Cr(VI) iyonlarının HCrO_4^- türünde bulunduğu pH 2'de, maksimum adsorpsiyon gözlenirken, Garg vd. (2004)'nin yaptıkları çalışmalarda adsorban yüzeyi protonlandığından dolayı Cr(VI) için maksimum sorpsiyon pH 3'te olmuştur. Lewatit MP 62 ile yapılan Cr(VI) deneylerinde pH 5'te maksimum sorpsiyon gözlenmiştir. Bayat (2002)'nin Seyitömer linyit kömürüyle yaptığı çalışmalarda da Cr(VI) için maksimum sorpsiyon pH 3'te gözlenmiştir.

Cr(III) iyonlarının pH değişimiyle sorpsiyonlarının değişimi Chelex-100 şelat reçinesi, Isparta-Yarıkkaya linyit kömürü, Isparta-Gelincik ve Kayseri-Talas pomzaları ile yapılan pH deneylerinde Cr(III) iyonları için maksimum sorpsiyon pH 5'te gözlenmiştir.



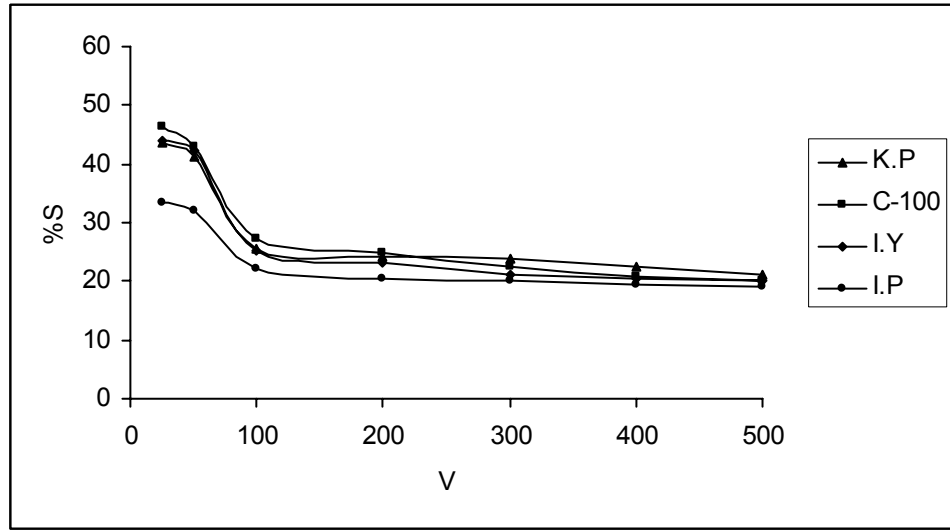
Şekil 4.9. Cr(VI) iyonlarının farklı adsorbanlarla pH'ya karşı sorpsiyon yüzdesinin değişimi



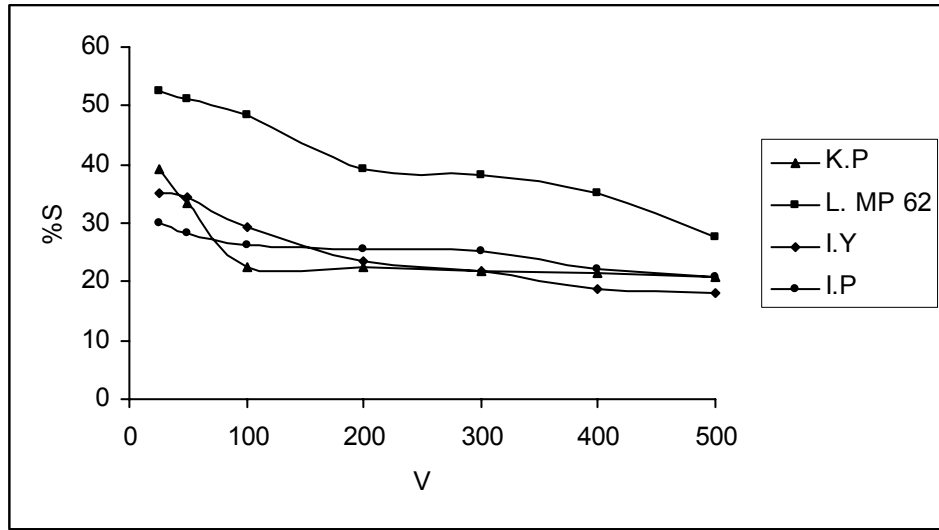
Şekil 4.10. Cr(III) iyonlarının farklı adsorbanlarla pH'ya karşı sorpsiyon yüzdesinin değişimi

4.3. Krom İyonlarının Sorpsiyonuna Örnek Hacminin Etkisi

Şekil 4.11 Cr(III) iyonlarının farklı adsorbanlarla hacme karşı sorpsiyon yüzdesinin değişimi ve Şekil 4.12 Cr(VI) iyonlarının farklı hacimlerde göstermiş olduğu yüzde sorpsiyon grafiklerini göstermektedir. $1 \cdot 10^{-3}$ M Cr(III) ve Cr(VI) çözeltileri, 0,1'er gram adsorbanlardan hazırlanan kolonlara 25 mL'den 500 mL'ye kadar değişen örnek hacimlerinde verilmiştir. Düşük hacimlerde krom iyonlarının adsorpsiyonu fazla iken, hacim arttıkça adsorpsiyonda düşme gözlenmiştir. 100 mL'den sonra hacmin artırılması sorpsiyonu etkilememiştir. Sorpsiyondaki azalma kolon kapasitesinin 100 mL hacimden sonra dolması ile açıklanabilir. Benzer durum Liang vd. (2003)'nin çalışmalarında örnek çözelti hacminin artışından krom iyonlarının sorpsiyonunun etkilenmediği şeklinde görülmüştür.



Şekil 4.11. Cr(III) iyonlarının farklı adsorbanlarla hacme karşı sorpsiyon yüzdesinin değişimi



Şekil 4.12. Cr(VI) iyonlarının farklı adsorbanlarla hacme karşı sorpsiyon yüzdesinin değişimi

%S: Adsorbanda tutulan krom miktarı yüzdesi (% sorpsiyon)

V: Çözelti hacmi (mL)

4.4. Cr(III) ve Cr(VI) İyonlarının Farklı Adsorbanlarla Türleme Deneyleri

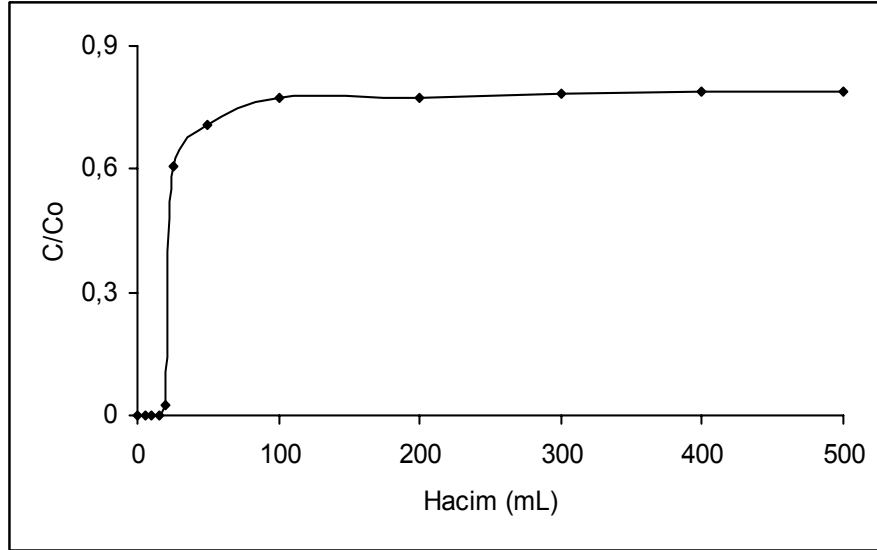
1.10^{-3} 'er M hazırlanan Cr(III) ve Cr(VI) çözeltileri belirli hacim oranlarında karıştırılarak, şelat reçine Chelex-100, zayıf anyon değiştirici reçine Lewatit MP 62, Isparta-Yarıkkaya linyit kömürü, Isparta-Gelincik ve Kayseri-Talas pomzalarıyla doldurulan kolonlardan 10 mL/dakika akış hızında geçirilmiştir. Çözelti fazında tutulmadan kalan Cr(III) ve Cr(VI) miktarları toplam krom olarak önce AAS'de sonra ortamdaki Cr(VI) iyonları 1,5 difenil karbazitle kompleksleştirilerek UV-Visible ile ölçölmüştür. Tutulan krom miktarları ise kütle denkliğinden faydalanılarak, başlangıçta adsorban-krom çözeltisi ortamına verilen miktardan, çözelti fazında tutulmadan kalan miktar çıkarılarak hesaplanmıştır. Cr(III) ve Cr(VI) iyonları için yapılan türleme sonuçları Çizelge 4.3'te verilmiştir. Çizelgede göröldüğü gibi sorpsiyon işlemlerinde zayıf baz anyonik reçine Lewatit MP 62 kullanıldığında, Cr(III) iyonları hiç tutulmadan çözelti fazına geçerken, Cr(VI) iyonları reçine tarafından tutulmuştur. Şelat reçine Chelex-100 kullanıldığı zaman Cr(III) iyonları tutulmuş, Cr(VI) iyonları ise tutulmadan çözelti fazına geçmiştir. Sulu ortamdan Cr(III) iyonları uzaklaştırılmak isteniyorsa Chelex-100, Cr(VI) iyonları uzaklaştırılmak isteniyorsa Lewatit MP 62 kullanılabilir. Diğer adsorbanların çözelti fazındaki krom miktarları, yalnız Cr(III) ve Cr(VI) içeren çözeltiler kolonlardan geçirildiği zaman elde edilen sorpsiyon miktarlarıyla kıyaslanmıştır. Her iki krom türünün bulunduğu çözeltilerdeki sorpsiyon miktarı bu çözeltilerin tek başlarına kolonlardan geçirildikleri zaman elde edilen sorpsiyon miktarlarından daha az bulunmuştur. Cr(VI) iyonlarının varlığı Cr(III) iyonlarının sorpsiyonundaki azalmaya, Cr(III) iyonlarının varlığı ise Cr(VI) iyonlarının sorpsiyonundaki azalmaya sebep olmuştur. Bu da iyonların sorpsiyonları sırasında krom türlerinin birbirlerine sterik engel oluşturmasından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.3. Cr(III) ve Cr(VI) iyonlarının türleme sonuçları

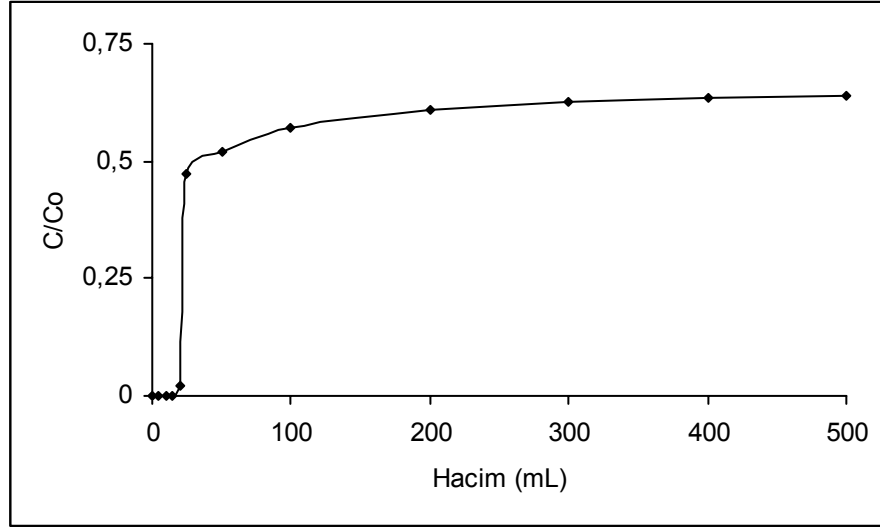
Adsorban	İlk verilen Cr(III) (mL)	İlk verilen Cr(VI) (mL)	Toplam Cr (mg)	Çözelti Fazı Cr(III) (mg)	Çözelti fazı Cr(VI) (mg)	Adsorban fazı Cr(III) (mg)	Adsorban fazı Cr(VI) (mg)
Pomza (Kayseri-Talas)	0	25	2.510	-	2.291	-	0.309
	5	20	2.340	0.167	1.875	0.930	0.205
	10	15	2.070	0.503	1.459	0.017	0.101
	15	10	1.820	0.679	1.023	0.101	0.017
	20	5	1.560	0.835	0.430	0.205	0.090
	25	0	1.300	0.991	-	0.309	-
Kömür (Isparta-Yarıkkaya)	0	25	2.600	-	2.340	-	0.259
	5	20	2.340	0.173	1.914	0.087	0.165
	10	15	2.070	0.504	1.491	0.016	0.069
	15	10	1.820	0.696	1.023	0.084	0.017
	20	5	1.560	0.858	0.507	0.182	0.013
	25	0	1.300	1.020	-	0.280	-
Pomza (Isparta-Gelincik)	0	25	2.600	-	2.380	-	0.218
	5	20	2.340	0.179	1.946	0.081	0.133
	10	15	2.070	0.414	1.513	0.106	0.047
	15	10	1.820	0.547	1.029	0.233	0.011
	20	5	1.560	0.882	0.505	0.158	0.015
	25	0	1.300	1.050	-	0,250	-
Lewatit MP 62	0	25	2.600	0	0.066	-	2.534
	5	20	2.340	0.260	0.066	-	2.014
	10	15	2.070	0.520	0.101	-	1.459
	15	10	1.820	0.780	0.066	-	0.974
	20	5	1.560	1.040	0.082	-	0.439
	25	0	1.300	1.300	0	-	0
Chelex-100	0	25	2.600	0	2.510	0	-
	5	20	2.340	0.041	2.080	0.245	-
	10	15	2.070	0.060	1.560	0.461	-
	15	10	1.820	0.020	1.040	0.685	-
	20	5	1.560	0.202	0.520	0.838	-
	25	0	1.300	0.458	0	0.842	-

4.5. Doygunluk Kapasitesi Tayini ve Doygunluk Kapasitesi Eğrileri

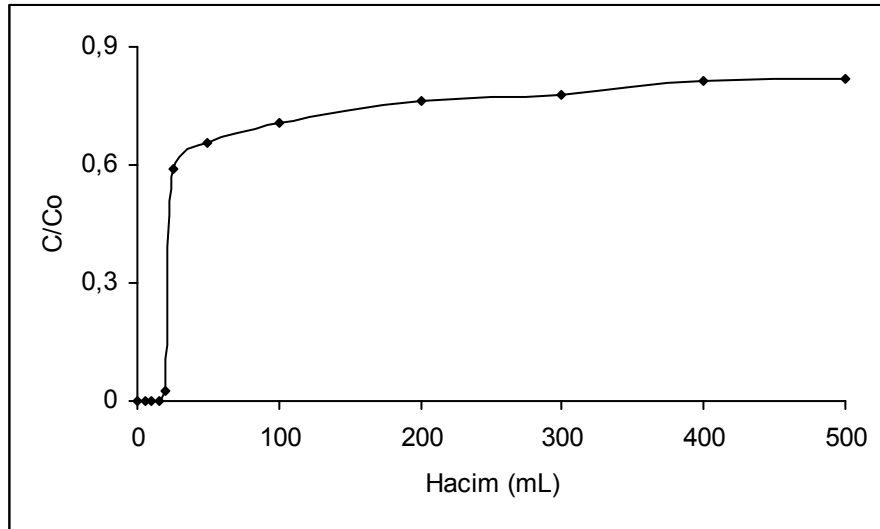
Şekil 4.13, 4.14, 4.15 ve 4.16 Cr(VI) iyonlarının doyunluk kapasitesi eğrilerini, 4.17, 4.18, 4.19 ve 4.20 Cr(III) iyonlarının doyunluk kapasitesi eğrilerini göstermektedir. 1.10^{-3} M Cr(III) ve Cr(VI) çözeltileri, 0,1'er gram adsorbanlardan hazırlanan kolonlara 25 mL'den 500 mL'ye kadar değişen örnek hacimlerinde verilmiştir. Kolon çıkışından alınan 25, 50, 100, 200, 300, 400 500 mL'lik çözeltilerdeki krom miktarları AAS ile belirlenmiştir. Deneyler aynı koşullar altında tekrarlanmıştır. Örnek hacmine karşı çözelti fazında tutulmadan kalan metal miktarları grafiğe geçirilerek doyunluk kapasiteleri bulunmuştur.



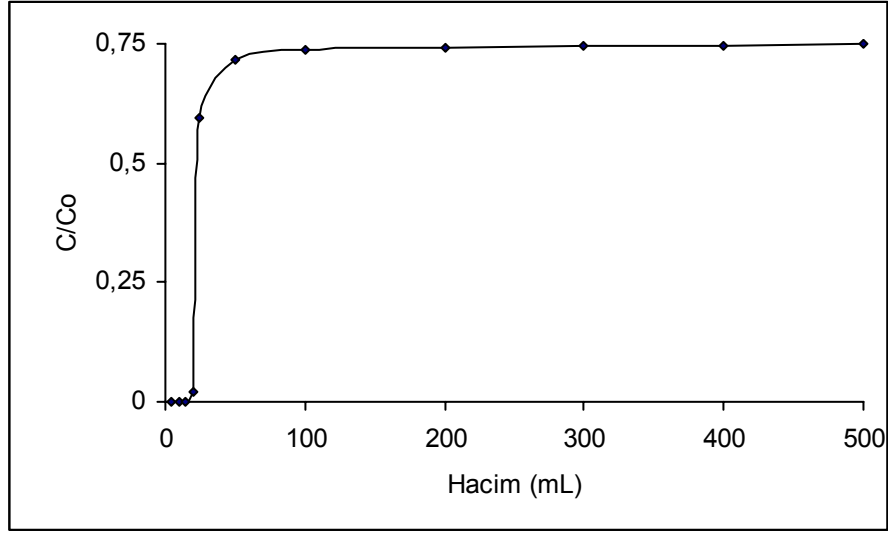
Şekil 4.13. Kayseri-Talas pomzasında Cr(VI) iyonlarının doyunluk kapasitesi eğrisi



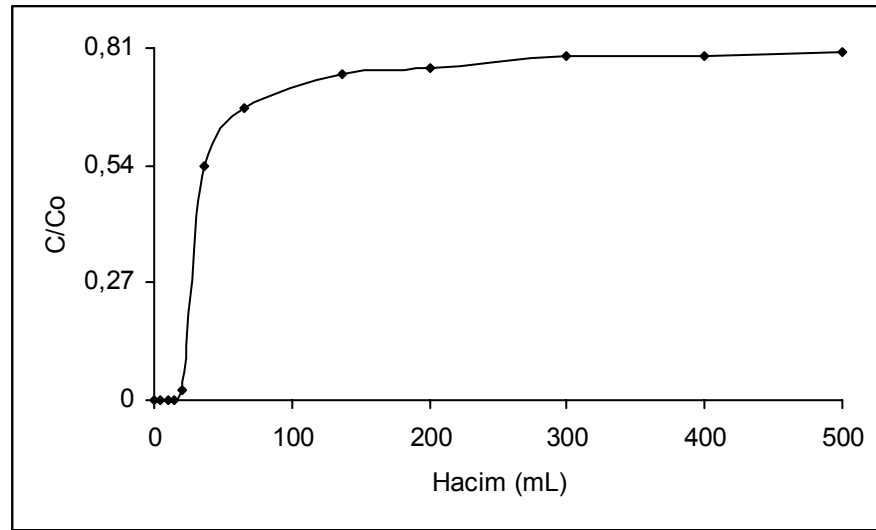
Şekil 4.14. Lewatit MP 62 reçinesinde Cr(VI) iyonlarının doymuluk kapasitesi eğrisi



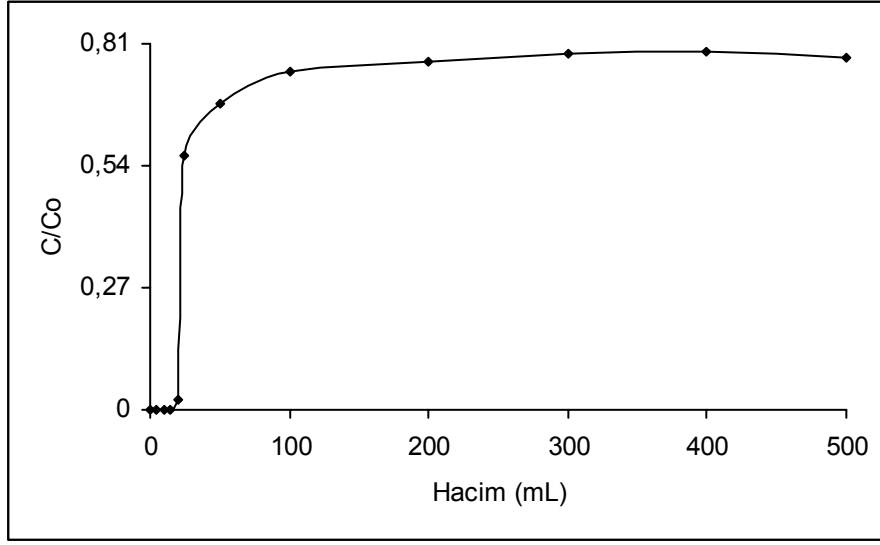
Şekil 4.15. Isparta-Yarıkkaya linyit kömüründe Cr(VI) iyonlarının doymuluk kapasitesi eğrisi



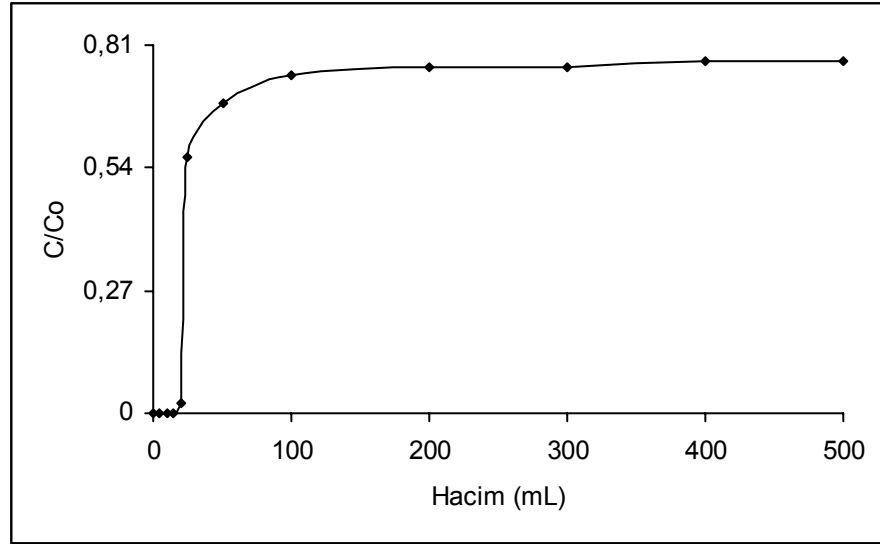
Şekil 4.16. Isparta-Gelincik pomzasında Cr(VI) iyonlarının doyunluk kapasitesi eğrisi



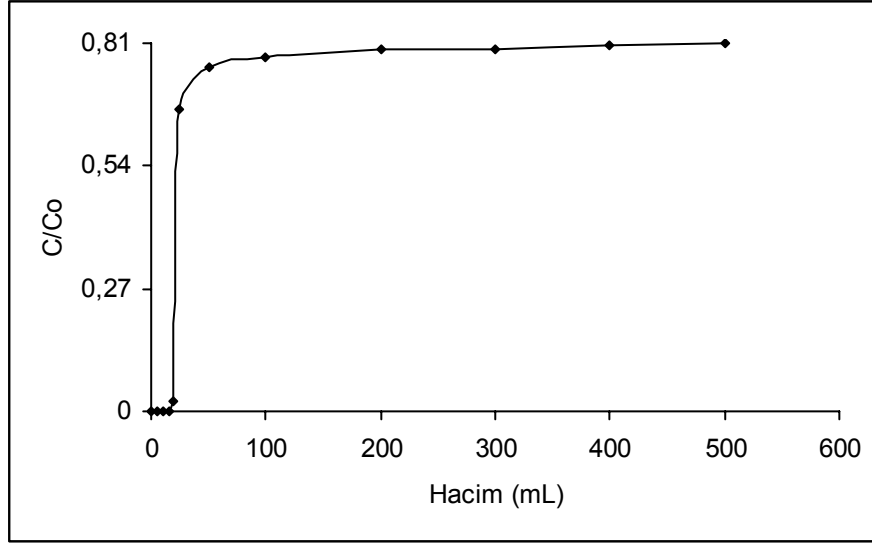
Şekil 4.17. Chelex-100 reçinesinde Cr(III) iyonlarının doyunluk kapasitesi eğrisi



Şekil 4.18. Isparta-Yarıkkaya linyit kömüründe Cr(III) iyonlarının doyunluk kapasitesi eğrisi



Şekil.4.19. Kayseri-Talas pomzasında Cr(III) iyonlarının doyunluk kapasitesi eğrisi



Şekil 4.20. Isparta-Gelincik pomzasında Cr(III) iyonlarının doyunluk kapasitesi eğrisi

Çizelge 4.4. Adsorbanların Doyunluk Kapasiteleri

Adsorban	Isparta-Yarıkkaya Kömürü Cr(III)	Isparta-Gelincik Pomzası Cr(III)	Kayseri-Talas Pomzası Cr(III)	Chelex-100 Cr(III)	Isparta-Yarıkkaya Kömürü Cr(VI)	Isparta-Gelincik Pomzası Cr(VI)	Kayseri-Talas Pomzası Cr(VI)	Lewatit MP 62 Cr(VI)
Doyunluk Kapasitesi (mmol/g)	0.266	0.048	0.314	0.515	0.188	0.088	0.037	0.214

SONUÇ

Farklı krom iyonları konsantrasyonu ile yapılan deneylerde konsantrasyonun artmasıyla adsorpsiyonda önce bir artış görülmüş, konsantrasyonun daha fazla artmasıyla belli bir değerden sonra adsorpsiyon sabit kalmıştır. Reçineler ve adsorbanlar için hesaplanan adsorpsiyon izotermelerinin, Langmuir adsorpsiyon izotermelerine daha uygun olduğu görülmüştür.

Akış hızının artmasıyla krom iyonlarının sorpsiyonunda azalma görülmüş, en uygun akış hızı 5 mL/dakika bulunmuştur.

pH deneylerinin sonucunda, Lewatit MP 62 reçinesinin, Isparta-Yarıkkaya linyit kömürünün, Isparta-Gelincik pomzasının ve Kayseri-Talas pomzasının Cr(VI) iyonlarını sorpsiyonu, maksimum pH 5'te görülmüştür. Chelex-100 reçinesinin Cr(III) iyonlarını sorpsiyonu maksimum pH 5'te, Isparta-Yarıkkaya linyit kömürünün, Isparta- Gelincik pomzasının ve Kayseri-Talas pomzasının sorpsiyonu maksimum pH 2'de görülmüştür.

Cr(III) ve Cr(VI) türleri birlikte, Chelex-100 ve Lewatit MP 62 reçineleriyle dolu kolonlara verildiğinde, Chelex-100 ile Cr(III) türleri tutulmuş, Lewatit MP 62 ile Cr(VI) türleri tutulmuştur. Kayseri-Talas pomzası Cr(III) iyonlarına karşı seçimlilik gösterirken, Isparta-Gelincik pomzası Cr(VI) iyonlarına karşı daha fazla seçimlilik göstermektedir. Her iki krom türünün bulunduğu çözeltilerde sorpsiyon miktarı, bu çözeltilerin tek başlarına kolonlardan geçirildikleri zaman elde edilen sorpsiyon miktarından daha az bulunmuştur. Bu durum krom türlerinin birbirine sterik engel oluşturmasından kaynaklanmaktadır.

Hacim artışıyla krom iyonlarının sorpsiyonunda düşme gözlenmiş en uygun hacim 25 mL bulunmuştur.

Doygunluk kapasitelerine bakıldığında Kayseri-Talas yöresi pomzasının Cr(III) iyonlarını daha iyi adsorpladığı, Isparta-Gelincik yöresi pomzasının ise Cr(VI) iyonlarını daha iyi adsorpladığı görülmektedir.

Isparta-Gelincik, Kayseri-Talas pomzaları, Isparta-Yarıkkaya linyit kömürü adsorbanları kullanılarak atık sulardan krom türleri, uzaklaştırılabilir. Bu adsorbanlar ucuz ve kolay bulunabildiği için, krom türlerinden kaynaklanan çevre kirliliğini önlemede kullanılabilir. Ayrıca kömür ve pomza adsorbanları tarafından adsorplanan krom türlerinin, yeni bir çevre kirliliğine yol açmaması için kromun tutturulduğu adsorbanlar yüksek sıcaklıktaki fırınlarda yakılıp, ısı enerjisine dönüştürülebilir.

6. KAYNAKLAR

- Acar, F.N., Malkoc, E., 2004. The removal of chromium(VI) from aqueous solutions by *Fagus orientalis* L. *Bioresource Technology*. 94, 13-15.
- Akbal, F., 2005. Adsorption of basic dyes from aqueous solution onto pumice powder. *Journal of Colloid and Interface Science*. 286, 455-458.
- Balasubramanian, S., Pugalenti, V., 1999. Determination of total chromium in tannery waste water by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry, flame atomic absorption spectrometry and UV-visible spectrophotometric methods. *Talanta*. 50, 457-467.
- Barros, M.A.S.D., Silva, E.A., Arroyo, P.A., 2004. Removal of Cr(III) in the fixed column and batch reactors using as adsorbent zeolite NaX. *Chemical Engineering Science*. 59, 5959-5966.
- Benhammou, A., Yaaccoubi, A., Nibou, L., Tanouti, B., 2005. Study of removal of mercury(II) and chromium(VI) from aqueous solutions by Moroccan stevensite. *Journal of Hazardous Materials*. 117, 243-249.
- Bishnoi, N.R., Bajaj, M., Sharma, N., Gupta, A., 2004. Adsorption of Cr(VI) on activated rice husk carbon and activated alumina. *Bioresource Technology*. 91, 305-307.
- Boyat, B., 2002. Comparative study of adsorption properties of Turkish fly ashes. *Journal of Hazardous Materials*. 95, 275-290.
- Chanda, M., Rempel, G.L., 1997. Chromium(III) removal by poly (ethyleneimine) granular sorbents made by a new process of templated gel filling. *Reactive and Functional Polymers*. 35, 197-207.
- Dakiky, M., Khamis, M.A., Mer'eb, M.M., 2002. Selective adsorption of chromium(VI) in industrial wastewater using low-cost abundantly available adsorbents. *Advances in Environmental Research*. 6, 533-540.
- Donais, M.K., Henry, R., Rettberg, T., 1999. Chromium speciation using an automated liquid handling system with inductively coupled plasma-mass spectrometric detection. *Talanta*. 49, 1045-1050.
- D. M. Adria-Cerezo., M. Llobat-Estelles., A.R. Mauri-Aucejo., 2000. Preconcentration and speciation of chromium in waters using solid-phase extraction and atomic absorption spectrometry. *Talanta*. 51, 531-536.
- Erkoyun, H., 2005. Pomzanın Türkiye'deki yeri ve önemi. Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi 2005. (Gündüz, L., Deniz, V.) 1-7, Isparta.

- Fabiani, C., Ruscio, F., Spadoni, M., Pizzichini, M., 1996. Chromium(III) salts recovery process from tannery wastewaters. *Desalination*. 108, 183-191.
- Garg, V.K., Gupta, R., Kumar, R., Gupta, R.K., 2004. Adsorption of chromium from aqueous solution on treated sawdust. *Bioresource Technology*. 92, 79-81.
- Göde, F., 2002. Reçinelerle ağır metal adsorpsiyonu ve atık sulara uygulanması, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi 1195, Konya.
- Göde, F., Pehlivan, E., 2004. Adsorption of Cr(III) ions by Turkish brown coals. *Fuel Processing Technology*. 86, 875-884.
- Hamadi, N.K., Chen, X.D., Farid, M.M., Lu, M.G.Q., 2001. Adsorption kinetic for the removal of chromium (VI) from used tyres and sawdust. *Chemical Engineering Journal*. 84, 95-105.
- Hirata, S., Honda, K., Shikino, O., Maekawa, N., Aihara, M., 2000. Determination of chromium(III) and total chromium in seawater by on-line column preconcentration inductively coupled plasma mass spectrometry. *Spectrochimica Acta Part*. 1089-1099.
- Inglezakis, V.J., Gigoropoulou, H., 2004. Effects of operating conditions on the removal of heavy metals by zeolite in fixed bed reactors. *Journal of Hazardous Materials*. B112, 37-43.
- Inglezakis, V.J., Loizidou, M.M., Grigoropoulou, H.P., 2004. Ion Exchange studies on natural and modified zeolites and the concept of exchange site accessibility. *Journal of Colloid and Interface Science*. 275, 570-576.
- Kislenko, V.N., Oliynyk, L.P., 2004. Treatment of humic acids with ferric, aluminum and chromium ions in water. *Journal of Colloid and Interface Science*. 269, 388-393.
- Kobya, M., 2004. Removal of Cr(VI) from aqueous solutions by adsorption onto hazelnut shell activated carbon, kinetic and equilibrium studies. *Bioresource Technology*. 91, 317-321.
- Korngold, E., Belayev, N., Aronov, L., 2003. Removal of chromates from drinking water by anion exchangers. *Separation and Purification Technology*. 33, 179-187.
- Korolczuk, M., 2000. Voltammetric determination of traces of Cr(VI) in the presence of Cr(III) and humic acid. *Analytica Chimica Acta*. 414, 165-171.
- Kotas, J., Stasicka, Z., 2000. Chromium occurrence in the environment and methods of its speciation. *Environmental Pollution*. 107, 263-283.

- Kubrakova, I., Kudinova, T., Formanovsky, A., Kuz'min, N., 1994. Determination of chromium(III) and chromium(VI) in river water by electrothermal atomic absorption spectrometry after sorption preconcentration in a microwave field. *Analyst*. 119, 2477-2480.
- Lakatos, J., Brown, S.D., Snape, C.E., 2002. Coals as sorbents for the removal and reduction of hexavalent chromium from aqueous waste streams. *Fuel*. 81, 691-698.
- Liang, P., Shi, T., Lu, H., Jiang, Z., Hu, B., 2003. Speciation of Cr(III) and Cr(VI) by nanometer titanium dioxide micro-column and inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. *Spectrochimica Acta*. 58, 1709-1714.
- M.C. Fournier-Salaün., Vauclair, C., 2002. Recovery of chromium ions from aqueous effluents by liquid membrane in continuous mode. *Desalination*. 144, 227-229.
- M.C. Yebra-Biurrun., A. Bermojo-Barrera., M.C. Barciela-Alonso., 1995. Determination of trace metals in natural waters by flame atomic absorption spectrometry following on-line ion-exchange preconcentration. *Analytica Chimica Acta*. 303, 341-345.
- Maria, A.S.D., Barros, E.A., Silva, P.A., Arroyo, C.R.G., Tavares, R.M., Schneider, M., Suszek, E.F., Sousa-Aguiar., 2004. Removal of Cr(III) in the fixed bed column and batch reactors using as adsorbent zeolite NaX. *Chemical Engineering Science*. 59, 5959-5966.
- Melo, J.S., D'Souza, S.F. 2004. Removal of chromium by mucilaginous seeds of *ocimum basilicum*. *Bioresource Technology*. 92, 151-155.
- Mondal, B.C., Das, D., Das, A.K., 2002. Synthesis and characterization of a new resin functionalized with 2-naphthol-3,6-disulfonic acid and its application of chromium in natural water. *Talanta*, 56, 145-152.
- Motomizu, S., Jitmanee, K., Oshima, M., 2003. On-line collection/concentration of trace metals for spectroscopic detection via use of small-sized thin solid phase (STSP) column resin reactors. Application to speciation of Cr(III) and Cr(VI). *Analytica Chimica Acta*. 499, 149-155.
- Narin, I., Soylak, M., Elçi, L., Doğan, M., 2000. Determination of trace metal ions by AAS in natural water samples after preconcentration of pyrocatechol violet complexes on activated carbon column. *Talanta*. 52, 1041-1046.
- Raji, C., Anirudhan, T. S., 1998. Batch Cr(VI) removal by polyacrylamide-grafted sawdust kinetics and Thermodynamics. *Water Research*. 32, 3772-3780.
- Stasinakis, A.S., Mamais, D., Thomaidis, N.S., Karivali, M., Lekkas, T.D., 2003.

- Chromium species behaviour in the activated sludge process. *Chemosphere*. 52, 1059-1067.
- Selvaraj, K., Manonmani, S., Pattabhi, S., 2004. Removal of hexavalent chromium using distillery sludge. *Bioresource Technology*. 89, 207-211.
- Sezgin, M., Davraz, M., Gündüz, L., 2005. Pomza endüstrisine sektörel bir bakış. *Türkiye Pomza Sempozyumu ve Sergisi, 2005*. (Gündüz, L., Deniz, V.) 9-22, Isparta.
- Sule, P.A., Ingle, Jr. J.D., 1996. Determination of the speciation of chromium with an automated two-column ion-exchange system. *Analytica Chimica Acta*. 326, 85-93.
- Tenorio, J.A.S., Espinosa, D.C.R., 2001. Treatment of chromium plating process effluents with ion Exchange resins. *Waste Management*. 21, 637-642.
- Terry, P.A., 2004. Characterization of Cr ion Exchange with hydrotalcite. *Chemosphere*. 57, 541-546.
- Yabe, M.J.S., Oliveira, E., 2003. Heavy metals removal in industrial effluents by sequential adsorbent treatment. *Advances in Environmental Research*. 7, 263-272.
- Yalçın, S., Apak, R., 2004. Chromium(III,VI) speciation analysis with preconcentration on a maleic acid-functionalized XAD sorbent. *Analytica Chimica Acta*. 505, 25-35.
- Yang, W.- P., Zhang, Z.-J., Deng, W., 2003. Simultaneous, sensitive and selective on-line chemiluminescence determination of Cr(III) and Cr(VI) by capillary electrophoresis. *Analytica Chimica Acta*. 485, 169-177.
- Yu, L.J., Shukla, S.S., Dorris, K.L., Shukla, A., Margrave, J.L., 2003. Adsorption of chromium from aqueous solutions by maple sawdust. *Journal of Hazardous Material*. 100, 53-63.
- Zhu, X., Hu, B., Jiang, Z., Wu, Y., Xiong, S., 2002. Speciation of chromium(III) and chromium(VI) by in situ separation and sequential determination with electrothermal vaporization inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. *Analytica Chimica Acta*. 471, 121-126.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Emel MORAL

Doğum Yeri: Antalya

Doğum Yılı: 06.05.1978

Medeni Hali: Bekar

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise: 1993-1996 Burdur Anadolu Lisesi

Lisans: 1996-2000 Anadolu Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü

Yabancı Dil: İngilizce

İş Deneyimi

2000-2002: Ağrı Naci Gökçe Lisesi Koordinatör Öğretmenliği

2002-2005: Gelendost Hacılar İ.Ö.O Sınıf Öğretmenliği

2005-.....: Gelendost Afşar İ.Ö.O Sınıf Öğretmenliği