



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



CYANEX-921 İLE POLİMERİK
KAPSÜLLERİN AKTİVE EDİLMESİ VE
SUCUL ORTAMDAKİ Cr(VI) GİDERİMİNDE
KULLANILMASI

Hasan GÜNAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak-2020
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

..... tarafından hazırlanan “.....”
adlı tez çalışması .../.../... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile
Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
..... Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Unvanı Adı SOYADI

.....

Danışman

Unvanı Adı SOYADI

.....

Üye

Unvanı Adı SOYADI

.....

Üye

Unvanı Adı SOYADI

.....

Üye

Unvanı Adı SOYADI

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../20.. gün ve sayılı
kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. S. Savaş DURDURAN
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Hasan GÜNAY

Tarih:07.02.2020

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

CYANEX-921 İLE POLİMERİK KAPSÜLLERİN AKTİVE EDİLMESİ VE SUCUL ORTAMDAKİ Cr(VI) GİDERİMİNDE KULLANILMASI

Hasan GÜNAY

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Ali TOR

2020, 39 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Ali TOR

Prof. Dr. Şükrü DURSUN

Dr. Öğr. Üyesi Fatma KUNT

Bu çalışmada, arayüzey polimerizasyon tekniği ile ekstraktant olan Cyanex 921 polisülfon esaslı polimerik kapsülün yüzeyine immobilize edilmiş, bu sayede Cyanex 921 ile polimerik kapsüller aktive edilmiştir. Elde edilen kapsüllerin kesikli adsorpsiyon tekniği ile sudaki kirleticilerden Cr(VI) gideriminde kullanılma potansiyeli araştırılmıştır. Önerilen arayüzey polimerizasyon tekniği, daha önceki çalışmalarda immobilizasyon tekniği olarak yaygın bir şekilde kullanılan faz inversiyon prosesine alternatif bir yaklaşım olarak sunulmuştur. Bu yaklaşım ile immobilize edilen ekstraksiyon ajanının polimerik destek maddesinden kaybının önlenmesi amaçlanmıştır. Bu alternatif yaklaşım ile Cyanex 921 immobilize edilmiş kapsül (Kapsül_{Cyanex 921}) TGA, SEM, EDX haritalama teknikleri yanında BET yüzey alanı ve toplam gözenek hacminin ölçülmesi ile karakterize edilmiştir. Karakterizasyon çalışmaları, önerilen yaklaşımın Cyanex 921'in polimerik destek maddesine immobilizasyonunda başarılı olduğunu göstermiştir.

Kapsül_{Cyanex 921} ile gerçekleştirilen kesikli adsorpsiyon denemelerinde, Cr(VI)'nın gideriminde en uygun sonuçlar %8'lik Cyanex 921 içeren dispers faz ile hazırlanan kapsülün kullanılması ve çözelti pH'nın 1.0 olması durumunda elde edilmiştir. Adsorpsiyon için dengeye gelme süresi 90 dakikadır. Adsorpsiyonda, pseudo-ikinci derece kinetik modeli yanında, film difüzyonu ve partikül içi difüzyon modelleri etkindir. İzoterm analizleri, adsorpsiyon verilerinin Langmuir izoterm modeli ile daha iyi izah edildiğini ve Langmuir adsorpsiyon kapasitesinin 0.139 mmol/g-kapsül olduğunu göstermiştir. Rejenerasyon çalışmaları adsorpsiyon kapasitesinde bir değişiklik olmadan hazırlanan kapsülün dört adsorpsiyon-desorpsiyon döngüsünde kullanılabilmesini göstermiştir. Cr(VI) ile fortifiye edilmiş gerçek su numunesi üzerinde yapılan denemeler ise olumsuz bir matriks etkisi olmadan kapsülün Cr(VI) gideriminde başarılı bir şekilde kullanılabilmesini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Arayüzey polimerizasyonu, Cyanex 921, Polimerik kapsül, Adsorpsiyon, Cr(VI).

ABSTRACT

MS THESIS

ACTIVATION OF POLYMERIC CAPSULES WITH CYANEX 921 AND THEIR USE FOR THE REMOVAL OF Cr(VI) FROM AQUATIC ENVIRONMENT

Hasan GÜNAY

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN ENVIRONMENT ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. Ali TOR

2020, 39 Pages

Jury

Prof. Dr. Ali TOR

Prof. Dr. Şükrü DURSUN

Dr. Öğr. Üyesi Fatma KUNT

In this study, Cyanex 921, an extractant, was immobilized onto polysulfone-based polymeric capsules by means of interfacial polymerization technique, which resulted in activated polymeric capsules with Cyanex 921. The obtained capsules were evaluated in the removal of Cr(VI) from aqueous solutions by batch adsorption technique. The interfacial polymerization technique used in this study was suggested as an alternative approach to phase inversion technique, which is widely used as an immobilization technique in previous studies. With this approach, it was aimed to prevent loss of extractant from polymeric support. The obtained Cyanex 921 immobilized capsules (Capsul_{Cyanex 921}) were characterized by using TGA, SEM, EDX-mapping techniques and determination of BET surface area and total pore volumes. The characterization studies showed that proposed interfacial polymerization technique was successful at immobilization of Cyanex 921 onto polymeric support.

The batch adsorption studies by using Capsul_{Cyanex 921} indicated that the removal of Cr(VI) was favored at solution pH 1.0 and using Capsul_{Cyanex 921} which were prepared by 8% Cyanex 921 in dispersed phase. The adsorption equilibrium time was 90 minutes. The pseudo second order kinetic model, film and intra-particle diffusion models played roles in the adsorption kinetic. It was also shown that Langmuir isotherm model better modelled the adsorption data with adsorption capacity of 0.139 mmol/g-capsule. Regeneration studies showed that the Capsul_{Cyanex 921} was reusable at least four cycles of adsorption-desorption with no change in the adsorption capacity. The experiments on the real water sample fortified with Cr(VI) indicated that the Capsul_{Cyanex 921} could be successfully used for real sample without matrix effects.

Keywords: Interfacial polymerization, Cyanex 921, Polymeric capsules, Adsorption, Cr(VI).

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimimin bütün aşamalarında bana her türlü imkânı sağlayıp, desteklerini esirgemeyen danışman Hocam Prof. Dr. Ali Tor'a ve deneysel çalışmalarım sırasındaki yardımlarından dolayı Dr.Ömer Kazak Hocama ayrı ayrı teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca her türlü zorlukta yanımda olan aileme teşekkürlerimi borç bilirim.

Hasan GÜNAY
KONYA-2020



İÇİNDEKİLER

| | |
|--|-----------|
| ÖZET | iv |
| ABSTRACT..... | v |
| ÖNSÖZ | vi |
| ŞEKİLLER VE ÇİZELGELER LİSTESİ | viii |
| SİMGELER VE KISALTMALAR..... | xi |
| 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 1.1. Çalışmanın Amacı..... | 2 |
| 1.2. Çalışmanın Önemi | 2 |
| 1.3. Krom | 3 |
| 1.4. Sulardan Kromun Giderilmesi İçin Kullanılan Teknikler | 5 |
| 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI | 8 |
| 3. MATERYAL VE YÖNTEM..... | 11 |
| 3.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler | 11 |
| 3.2. Polimerik Kapsüllerin Hazırlanması..... | 11 |
| 3.3. Cyanex 921'in Arayüzey Polimerizasyonu İle Kapsüllere İmmobilize Edilmesi | 12 |
| 3.4. Karakterizasyon Çalışmaları..... | 13 |
| 3.5. Cr(VI) giderimi için ön denemeler | 13 |
| 3.6. Cr(VI) giderimi için kesikli adsorpsiyon denemeleri | 13 |
| 4. BULGULAR VE TARTIŞMA | 15 |
| 4.1. Karakterizasyon çalışmaları..... | 15 |
| 4.2. Adsorpsiyon Denemeleri | 19 |
| 4.2.1. Cr(VI) ön denemeleri..... | 19 |
| 4.2.2. Cr(VI) giderim denemeleri | 20 |
| 4.2.2.1. Dispers faz Cyanex 921 miktarının etkisi..... | 20 |
| 4.2.2.2. Çözelti pH'ının etkisi..... | 21 |
| 4.2.2.3. Temas süresinin etkisi..... | 23 |
| 4.2.2.4. İzoterm analizi | 26 |
| 4.2.2.5. Kapsül _{Cyanex921} 'in yeniden kullanılabilirliği..... | 29 |
| 4.2.2.6. Kapsül _{Cyanex921} 'in gerçek numuneye uygulanması..... | 30 |
| 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER | 32 |
| KAYNAKLAR | 34 |
| ÖZGEÇMİŞ | 39 |

ŞEKİLLER VE ÇİZELGELER LİSTESİ

| | |
|--|----|
| Şekil 1.1. Deneysel çalışmaların şematik gösterimi | 3 |
| Şekil 1.2. Cr(VI)'nın hücreye giriş mekanizması (Aycan, 2002)..... | 4 |
| Şekil 3.1. Cyanex 921'in yapısal formülü | 11 |
| Şekil 3.2. Arayüzey polimerizasyonu ile Cyanex 921'in polimerik kapsül yüzeyine immobilizasyonunun şematik gösterimi | 12 |
| Şekil 4.1. Kapsül _{Blank} ve %8 Cyanex 921 içeren dispers faz ile hazırlanan Kapsül _{Cyanex 921} 'in termal davranışları | 15 |
| Şekil 4.2. Polisülfon kapsül (a,b) ve Kapsül _{Cyanex 921} 'in (c,d) yüzeylerinin SEM görüntüleri..... | 16 |
| Şekil 4.3. SEM-EDX haritalama yöntemi ile Kapsül _{Blank} yüzeyindeki elementel dağılımlar (C,O,S,N)..... | 17 |
| Şekil 4.4. EDX haritalama yöntemi ile Kapsül _{Cyanex 921} yüzeyinde elementel dağılımlar (C,O,S,N,P)..... | 18 |
| Şekil 4.5. Dispers faz Cyanex 921 miktarının Cr(VI) giderimine etkisi (Deneysel şartlar: Cr(VI) konsantrasyonu: 0.192 mmol/L, pH=1, süre: 120 dakika, kapsül miktarı: 2 g/L, karıştırma hızı: 150 rpm, sıcaklık 25 °C)..... | 20 |
| Şekil 4.6. Cr(VI) adsorpsiyonu sonrası Kapsül _{Cyanex 921} yüzeyinin SEM-EDX haritalama yöntemi ile elementel dağılımları (C,O,S,N,P,Cr)..... | 21 |
| Şekil 4.7. Çözelti pH'ının Cr(VI) giderimine etkisi (Deneysel şartlar: Cr(VI) konsantrasyonu: 0.192 mmol/L, %8'lik Cyanex 921 ile hazırlanan kapsül miktarı: 2 g/L, süre: 120 dakika, karıştırma hızı: 150 rpm, sıcaklık 25 °C). | 22 |
| Şekil 4.8. Temas süresinin Cr(VI) giderimine etkisi (Deneysel şartlar: pH: 1.0, Cr(VI) konsantrasyonu: 0.096, 0.192 ve 0.577 mmol/L, %8'lik Cyanex 921 ile hazırlanan kapsül miktarı: 2 g/L, karıştırma hızı: 150 rpm, sıcaklık 25 °C) | 24 |
| Şekil 4.9. Kapsül _{Cyanex921} kullanılarak gerçekleştirilen Cr(VI) adsorpsiyonu kinetik verilerinin yalancı ikinci dereceden kinetik modeline uygulanması (C _o : 0.096, 0.192 ve 0.577 mmol/L, pH: 1.0, Kapsül _{Cyanex921} miktarı: 2 g/L, sıcaklık: 25 °C, karıştırma hızı: 150 rpm)..... | 25 |
| Şekil 4.10. Kapsül _{Cyanex921} kullanılarak gerçekleştirilen Cr(VI) adsorpsiyonu kinetik verilerinin partikül içi difüzyon modeline uygulanması (C _o : 0.096, 0.192 ve 0.577 mmol/L, pH: 1.0, Kapsül _{Cyanex921} miktarı: 2g/L, sıcaklık: 25 °C, karıştırma hızı: 150 rpm)..... | 25 |
| Şekil 4.11. Kapsül _{Cyanex 921} kullanılarak gerçekleştirilen Cr(VI) adsorpsiyonu için Langmuir izoterm modeli (pH:1, temas süresi: 120 dakika, Kapsül _{Cyanex 921} miktarı: 2 g/L, sıcaklık: 25 °C, karıştırma hızı: 150 rpm) | 28 |

Şekil 4.12. Kapsül_{Cyanex 921} kullanılarak gerçekleştirilen Cr(VI) adsorpsiyonu için Freundlich izoterm modeli (pH:1, temas süresi: 120 dakika, Kapsül_{Cyanex 921} miktarı: 2 g/L, sıcaklık: 25 °C, karıştırma hızı: 150 rpm) 28

Şekil 4.13. Kapsül_{Cyanex 921} kullanılarak yapılan Cr(VI) adsorpsiyon-desorpsiyon döngüsü 30



| | |
|--|----|
| Çizelge 1.1. Sudaki kromun gideriminde kullanılan yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları | 7 |
| Çizelge 4.1. Dispers fazdaki farklı miktarlarda Cyanex 921'in kullanılmasıyla elde edilen kapsüllerin boyutları, yüzey alanları ve toplam gözenek hacimleri..... | 19 |
| Çizelge 4.2. Kapsül _{Cyanex921} kullanılarak gerçekleştirilen Cr(VI) adsorpsiyonu için yalancı ikinci dereceden kinetik modele ait sabitler (C_o : 0.096, 0.192 ve 0.577 mmol/L, pH: 1.0, Kapsül _{Cyanex921} miktarı: 2 g/L, sıcaklık: 25 °C, karıştırma hızı: 150 rpm)..... | 26 |
| Çizelge 4.3. KapsülCyanex 921 ile Cr(VI) adsorpsiyonu için langmuir ve freundlich izoterm modellerine ait izoterm sabitleri | 29 |



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

μg : Mikrogram

M: Molar

L: Litre

$^{\circ}\text{C}$: Santigrat derece

rpm: Dakikada devir sayısı

nm: Nanometre

Cr: Krom

USEPA: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı

TGA: Termo gravimetrik analiz

SEM: Taramalı elektron mikroskobu

BET: Brunauer- Emmet- Teller

NaOH: Sodyum hidroksit

HCl: Hidroklorik asit

HNO_3 : Nitrik asit

H_2SO_4 : Sülfürik asit

FT-IR: Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi

DTA-TG: Diferansiyel termal analiz ve termogravimetri

XRD: X ışını kırınımı

EDX: Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi

1. GİRİŞ

Endüstriyel faaliyetlerin son yıllarda gittikçe artan bir hızla gelişmesiyle birlikte, çevre kirliliği de hızla artmaktadır. Su kirliliği, çevre sağlığını olumsuz yönde etkileyen kirlilik türleri arasında önemli bir yer tutmaktadır. Bu sebepten dolayı, su kirliliğine sebep olan kirletici türlerin giderimi araştırmacıların ilgisini çekmeye devam etmekte ve bu konudaki çalışmalar sürdürülmektedir. Su kirliliğine sebep olan kirleticiler arasında dikkat çeken türlerden birisi de kromdur.

Çeşitli endüstriyel faaliyetler kapsamında kromun kullanılması ve bu faaliyetler sonucunda oluşan atıkların arıtılmadan deşarjı, toksik özelliğe sahip bu kirleticinin çevreye yayılmasına sebep olmaktadır. Krom, çevre ortamında farklı oksidasyon basamaklarında bulunabilmektedir. Bu oksidasyon basamakları arasında en yaygın olanları Cr(III) ve Cr(VI) olmakla birlikte, Cr(VI) daha toksik özellik göstermektedir. İçme suları için maksimum kabul edilebilir Cr(VI) konsantrasyonu 0.05 mg/L iken, atıksularda deşarj limiti 0.1 mg/L olarak belirlenmiştir (USEPA, 1990). Bu sebeplerden dolayı, su ortamından Cr(VI)'nın giderilmesi ile ilgili çalışmalar devam etmektedir.

Sıvı-sıvı ekstraksiyon yöntemi, sulardaki kirleticilerin giderimi için kullanılan geleneksel teknikler arasında yer almaktadır (Venkateswaran ve Palanivelu, 2004). Ancak, bu yöntemin, faz ayırımının zor ve zaman alıcı olması, fazla miktarda organik çözücü kullanımı gibi bazı dezavantajlarından dolayı son yıllarda alternatif teknikler geliştirilmiştir (Ozcan ve ark., 2010). Bu alternatif teknikler arasında yer alan polimerik kapsül veya enkapsülasyon tekniği son yıllarda oldukça dikkat çekmektedir. Bu teknikte, kirleticiyi giderecek olan madde faz inversiyonu ile polimerik bir destek maddesine tutturulmaktadır. Bu sayede, sıvı-sıvı ekstraksiyon tekniğinde karşılaşılan dezavantajlar ortadan kaldırılmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalardan hareket ile polimerik kapsüllerin genelde sıvı bir ticari ekstraksiyon maddesi kullanılarak hazırlandığını ifade etmek mümkündür (Barassi ve ark., 2009; Ozcan ve ark., 2010). Buna karşılık, faz inversiyonu tekniği ile elde edilen polimerik kapsüllerin en önemli dezavantajı ise kirleticiyi giderecek olan maddenin (ekstraktant) polimerik yapıdan uzaklaşması, kullanılma döngü sayısının az olması ve endüstriyel ölçekte kullanım potansiyellerinin düşük olmasıdır.

Bu çalışmada, faz inversiyonu tekniğinin bu dezavantajını ortadan kaldırmak için ara yüzey polimerizasyon tekniğinin polimerik kapsüle uygulanması, bu sayede kirleticiyi giderecek maddenin daha kararlı bir şekilde polimerik yapıya bağlanması amaçlanmıştır. Böylece elde edilecek polimerik kapsülün daha uzun süre kararlı bir

şekilde kullanılabilme özelliğinin geliştirilmesi planlanmıştır. Polimerik yapı olarak, polisülfon kullanılmıştır. Polimerik yapıya arayüzey polimerizasyonu ile immobilize edilecek madde olarak, özellikle Cr(VI)'nın ekstraksiyonunda kullanılabilen ticari bir ekstraktant olan Cyanex 921 seçilmiştir. Başka bir ifade ile polimerik kapsüllerin yüzeyine ara-yüzey polimerizasyonu ile Cyanex 921 immobilize edilmiş ve kapsüller aktive edilmiştir. Elde edilen aktive edilmiş kapsüller karakterize edilmiş ve kesikli adsorpsiyon tekniğine göre Cr(VI) gideriminde kullanılma potansiyelleri araştırılmıştır.

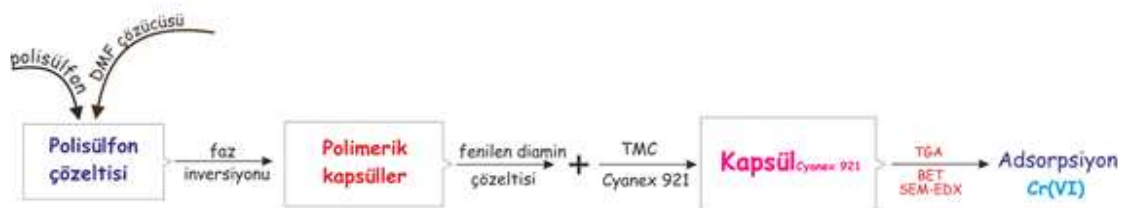
1.1. Çalışmanın Amacı

Tezin amacı, Cyanex-921'in arayüzey polimerizasyonu ile polisülfon kapsüllerin yüzeyine immobilize edilmesi ve bu şekilde aktive edilmiş polimerik kapsüller ile Cr(VI)'nın su ortamından giderilmesidir. Cyanex 921'in ara yüzey polimerizasyon tekniğine göre polisülfon yüzeyine immobilizasyonu TGA, SEM-EDX tekniklerinden ve N₂-adsorpsiyon ölçümleri sayesinde belirlenen BET yüzey alanı-toplam gözenek hacimlerinin belirlenmesinden yararlanılarak gerçekleştirilen karakterizasyon çalışmaları ile incelenmiştir. Giderim çalışmalarında, Cr(VI) için ön denemeler yapılmıştır. Daha sonra, Cr(VI) özelinde, Cyanex-921 miktarı, çözelti pH'ı, temas süresi ve kirletici konsantrasyonunun etkisi dikkate alınarak adsorpsiyona dayalı giderim çalışmaları yapılmıştır. Ayrıca, gerçek numune olarak, fortifiye edilmiş mineral su kullanılarak optimum deneysel şartlar altında aktive edilmiş kapsüllerin giderim verimi de araştırılmıştır.

1.2. Çalışmanın Önemi

Cr(VI)'nın su ortamından uzaklaştırılabilmesi için kullanılan teknikler arasında, adsorpsiyon, solvent ekstraksiyonu, iyon değiştirme, membran- esaslı teknolojiler sayılabilir. Solvent ekstraksiyonu, belirtilen bu teknikler arasında özellikle endüstriyel atıksuların arıtımında yaygın bir şekilde kullanılan geleneksel bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Fakat, bu yöntemin dezavantajları, bazı yeni uygulama yöntemlerinin gelişmesini gerektirmiştir. Bunlar arasında yer alan ve dikkat çekici bir şekilde uygulama imkânı bulan, hedef kirletici ile etkileşen-gideren maddenin solvent içinde çözülmesinden ziyade, polimerik bir destek üzerinde tutturulmasıyla elde edilen enkapsülasyon tekniğidir. Bu tekniğin kayda değer avantajları arasında organik çözücü

kullanımının yalnızca polimerik kapsül hazırlama aşamasıyla sınırlandırılması, kullanılan ekstraktanta bağlı olarak seçici olarak kullanılabilmesi ve rejenerasyonuna bağlı olarak birkaç döngüde kullanılabilmesidir. Bu döngü sayısının artırılması, hedef kirlenici ile etkileşecek ekstraktantın polimerik destek maddesi üzerinde daha kararlı bir şekilde immobilize edilmesine bağlıdır. Bu husus önemli olduğu için, Şekil 1.1’de gösterildiği gibi, tez kapsamında alternatif bir yaklaşım olarak, daha önce Cr(VI)’nın solvent ekstraksiyonunda etkili bir şekilde kullanılan Cyanex-921’in arayüzey polimerizasyonu ile polimerik destek maddesi üzerine immobilize edilmesi hedeflenmiştir. Karakterizasyon çalışmaları sonrasında, Cr(VI)’nın su ortamından giderilmesinde kullanımı incelenmiştir.



Şekil 1.1. Deneysel çalışmaların şematik gösterimi

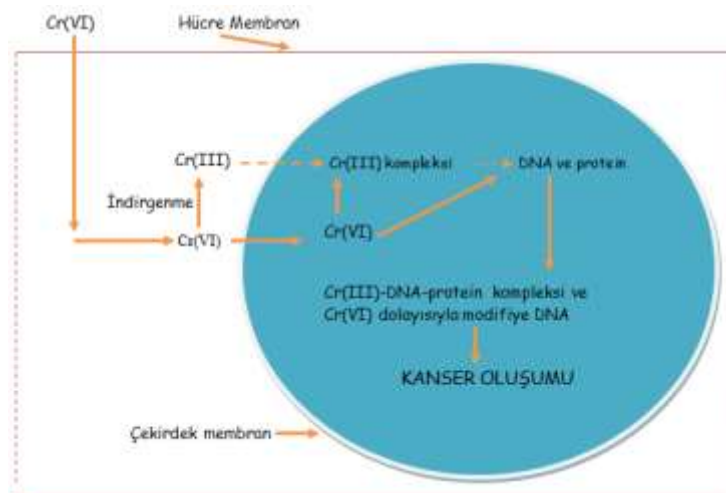
1.3. Krom

Gri renge sahip, parlak, sert yapıda olan, 7.19 g/cm^3 lük yoğunluğa ve 51.99 g/mol mol-kütlesine sahip olan krom, toksik özelliği oksidasyon seviyesine bağlı olarak değişebilen bir ağır metaldir (Owlad ve ark., 2009; Kim ve ark., 2015). Krom birçok farklı sanayide kullanıldığı için tüm dünyada giderilmesi önemli hale gelen bir kirlenicidir ve sadece içme suları ile atık sular için değil yer altı sularında da ciddi miktarlarda bulunup kirlilik oluşturabilmektedir (Arachchi ve Fernando, 2013).

Krom toplamda 9 farklı oksidasyon seviyesinde bulunabilmekle beraber, doğal çevrede Cr(III) ve Cr(VI) halinde daha çok bulunmaktadır. Çevrede doğal halde bulunan ve toksik olmayan Cr(III) canlılar için eser halde besi elementi vazifesi görmektedir (OEPH, 2016; Sharma ve ark., 2008). Literatürde biyoelement olarak da anılan Cr(III) oksijenle birleşerek kararlı kompleksler oluşturmaktadır (Gürü ve ark., 2008). Kromun farklı oksidasyon seviyeleri arasında yapısı en az oranda bozulan tür olan Cr(III) birçok çevresel koşulda çözünmemiş halde olmasından dolayı hareketli bir yapı göstermez (Landrot, 2010). Boya ve deri tabaklama işlemlerinde kullanılabilen

Cr(III), ayrıca şeker ile kolesterol değerlerini düşürmek amacıyla da sağlık alanında kullanılmaktadır (Kumral, 2007). Cr(III) faydalı alanlarda kullanılsa da sınır değeri geçtiği takdirde alerjik semptomlara neden olabilmektedir (Miretzky ve Cirelli, 2010). Cr(III) temelde Cr(OH)_2^+ ve Cr(OH)_4^- formlarında bulunmaktadır ve belirli şartlar altında Cr(VI)'ya oksitlenebilmektedir (Bedemo ve ark., 2016). Cr(VI) ise tamamiyle endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanmaktadır. Bu endüstriyel faaliyetler genel olarak, deri tabaklama, boya imalatı, krom kaplama, demir-çelik ve seramik-cam üretimini kapsamaktadır (Zhitkovich, 2011).

Cr(VI) genel olarak sahip olduğu yüksek çözünürlük sayesinde çevrede sürekli hareket halindedir ve çevre için toksik, kanserojen, mutajen özellikler göstermektedir (Andreadakis ve ark., 2015). Temelde kromat (CrO_4^{2-}) ve dikromat ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$) formunda bulunabilen Cr(VI) deriye çok rahat bir şekilde nüfuz ederek canlılara ciddi boyutlarda zararlar verebilmektedir (Malkoc ve ark., 2006). Cr(III) ise hücrelere giriş yapamaz fakat Cr(VI)'nın indirgenmesi sonucunda hücrelerde bulunabilmektedir (Singh, 2005). Bu indirgenme olayı Cr(VI)'nın bazı taşıyıcı sistemler sayesinde kırmızı kan hücreleri tarafından alınıp, Cr(III)'e dönüştürülmesi şeklinde gerçekleşmektedir (Bryjak ve ark., 2016). Cr(VI) hücreye girdiği andan itibaren DNA'nın yapısında bozulmalara yol açar ve bu durum, mutasyonların oluşumuna sebebiyet vermektedir (Singh, 2005). Cr(VI)'nın hücreye giriş mekanizması Şekil 1.2'de gösterilmiştir (Aycan, 2002).



Şekil 1.2. Cr(VI)'nin hücreye giriş mekanizması (Aycan, 2002)

Toksik Maddeler ve Hastalık Kayıt Ajansı (ATSDR), Cr(VI)'nın zararlı maddeler listesinde 16.sırada olduğunu belirtirken, Dünya Sağlık Örgütü (WHO) ise

Cr(VI)'nin kanserojen bir etkisinin olduğunu raporlarında ortaya koymuştur (Jain ve ark., 2010). Dünya Sağlık Örgütü haricinde, Ulusal Toksikoloji Programı (NTP), Uluslararası Kanser Araştırmaları Ajansı (IARC) ve Çevre Sağlığı Tehlike Değerlendirmesi Ofisi de (OEHHA) kromun insan için kanserojen olduğunu belirtmiştir (Rakhunde ve ark., 2012). Amerika Çevre Koruma Ajansı (USEPA) ise Cr(VI)'yı A grubu kanserojen bölümüne dahil etmiştir (Jain ve ark., 2009).

İnsanlar, Cr(VI)'yı bünyelerine yiyecekler, toz, hava, toprak ve içme suları ile almaktadırlar. Bunların arasında da en çok karşılaşılan maruziyet yolu ise içme sularıdır (Moffat ve ark., 2018). Krom, içme sularına direkt olarak endüstriyel atıkların ve atık suların bilinçsizce tatlı su kaynaklarına deşarj edilmesi-atılmasıyla ya da toprağa dökülen atıkların yeraltı sularına karışması sonucu içme suyu kaynaklarına (baraj, göl, akarsu) karışması sonucu ulaşmaktadır. WHO, kromun olumsuz sağlık etkilerini göz önünde bulundurarak, içme sularındaki Cr(VI) konsantrasyonu için maksimum değeri 0.05 mg/L olarak belirlemiştir (WHO, 2019).

1.4. Sulardan Kromun Giderilmesi İçin Kullanılan Teknikler

Kromun su ortamından giderilmesi için kullanılan yöntemler, adsorpsiyon, iyon değiştirme, çöktürme, sıvı-sıvı ekstraksiyon ve membran proseslerdir. Adsorpsiyon için oldukça fazla türde adsorbent madde kullanılmıştır. Son yıllarda özellikle Cr(VI) gideriminde kullanılan adsorbent maddeler arasında, inorganik-organik kil (Rathnayake ve ark., 2017), Cr(VI)-baskılanmış magnetik polimer (Liang ve ark., 2017), ananas kabuğu esaslı biyoçar (Shakya ve Agarwal, 2019), Fe₃O₄@seramtit (Niu ve ark., 2019) ve magnetik biyoçar (Liang ve ark., 2019) sayılabilir.

Sıvı-sıvı ekstraksiyon yöntemi, sudaki Cr(VI)'nın giderimi için kullanılan klasik bir yöntemdir. Örneğin, Venkateswaran ve Palanivelu (2004), diklorometan içinde ekstraktant olarak tetrabutyl amonyum bromürü çözmüşler ve sudaki Cr(VI)'nın giderimi için sıvı-sıvı ekstraksiyon tekniğini kullanmışlardır. Maksimum Cr(VI) giderimini pH 1 gibi oldukça asidik şartlarda elde etmişlerdir. Cr(VI) ihtiva eden çözücünün yeniden kullanımı için 0.1 M NaOH kullanılmıştır. İçinden Cr(VI) alınan çözücü tekrar oldukça verimli bir şekilde tekrar kullanılmıştır. Beş kere yapılan ekstraksiyon-0.1 M NaOH ile yıkama döngüsü sonunda, kullanılan tetrabutyl amonyum içeren çözücünün Cr(VI) giderim veriminde bir azalma olmadığı belirtilmiştir. Sıvı-sıvı

ekstraksiyonuna dayanan bu yöntemin özellikle krom kaplama atıksularının arıtımı için önerilebileceği ifade edilmiştir.

Bir başka örnek olarak, Agrawal ve ark., (2008), Cr(VI)'nın endüstriyel atıksulardan giderilmesi için Cyanex 923'ü kerosen içinde çözmüşler ve sıvı-sıvı ekstraksiyon yöntemini kullanmışlardır. Mineral asit türlerinin (HCl, HNO₃ ve H₂SO₄), Cyanex 923 miktarının, sıcaklığın, su/organik faz oranı gibi deneysel parametrelerin Cr(VI) ekstraksiyon verimine etkilerini incelemişlerdir. En yüksek ekstraksiyonun HCl asitli ortamda pH 0.54'te elde edildiği belirtilmiştir. Cr(VI) konsantrasyonu arttıkça ekstraksiyon veriminin azaldığını, buna karşılık Cyanex miktarının artmasıyla Cr(VI) ekstraksiyon yüzdesinin arttığını ifade etmişlerdir. Ayrıca, sıcaklık yükseldikçe giderim veriminin düştüğü rapor edilmiştir. Cr(VI) ile doymuş çözücünün 1 M NaOH ile yıkanarak tekrar kullanılabilirdiği ve farklı türdeki metallerin Cr(VI) giderimine önemli bir olumsuz etkisinin olmadığı belirtilmiştir.

Kimyasal çöktürme yöntemi, ağır metalleri ve daha başka birçok kirleticiyi gidermek için kullanılmaktadır ve bu proses dört adımda gerçekleştirilmektedir. İlk olarak koagülant(lar) suya eklenmekte (pıhtılaştırma), sonrasında pH ayarlaması yapılmaktadır. Pıhtı haline gelen kirleticinin floklar haline gelmesi için flokülasyon işlemi uygulanmaktadır. Daha sonra asılı haldeki kirleticilere sedimentasyon uygulanır ve arıtımı yapılan çözeltinin ya da suyun içindeki kirleticiler tabana doğru çöklerler. Son olarak kirleticinin su / çözelti'den ayrıldığı katı-sıvı faz ayrımı gerçekleştirilmektedir (Ojovan ve ark., 2019). Cr(VI)'nin çöktürme yöntemi ile sudan ayrılması için öncelikle Cr(III)'e indirgeme, sonrasında çökeltme işlemi uygulanmaktadır (Long ve ark., 2017). Genel olarak, membran proseslerinde farklı türde membran ve işletme şartları ile Cr(VI) giderimi yapılabilmeyle beraber, enerji gereksinimi bir dezavantaj olarak değerlendirilmektedir. Sudaki kromun gideriminde kullanılan yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları Çizelge 1.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 1.1. Sudaki kromun gideriminde kullanılan yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları

| Yöntem | Avantajları-Dezavantajları | Kaynak |
|--------------------|--|--|
| Adsorpsiyon | <ul style="list-style-type: none"> Giderim büyük bir yüzey alanında gerçekleşir ve genel olarak ekonomik bir yöntemdir, <ul style="list-style-type: none"> İlave kimyasal ihtiyacı yoktur, Aktif karbon esaslı bazı adsorbentlerin fiyatları yüksek olabilir, Anyonik ve katyonik krom türleri için pH ayarlaması gerektirir. | <p>Laboy- Nieves ve ark. (2010)</p> <p>Naushad (2018)</p> <p>Laboy- Nieves ve ark. (2010)</p> <p>Sharma ve ark. (2008)</p> |
| İyon değişimi | <ul style="list-style-type: none"> Ppb ve daha büyük konsantrasyonlar için uygulanabilir, Kimyasal madde-çözeltili kullanımı daha düşük orandadır, <ul style="list-style-type: none"> İşletme giderleri yüksektir, pH ayarlaması gerektirir, Reçine kapasitesi dolduğunda rejenerasyon gerektirir. | <p>Laboy- Nieves ve ark. (2010)</p> <p>Laboy- Nieves ve ark. (2010)</p> <p>Laboy- Nieves ve ark. (2010)</p> <p>McNeill ve ark. (2012)</p> <p>Sharma ve ark. (2008)</p> |
| Kimyasal çöktürme | <ul style="list-style-type: none"> Yüksek konsantrasyondaki kirleticiler için oldukça etkilidir, Çöktürücü kimyasal gerektirir, Proses sonunda kirleticileri daha konsantre halde ihtiva eden fazla miktarda çamur oluşur. | <p>Laboy- Nieves ve ark. (2010)</p> |
| Membran prosesleri | <ul style="list-style-type: none"> Proses için küçük alana ihtiyaç duyulur, <ul style="list-style-type: none"> Giderim verimleri yüksektir, İlk yatırım ve işletme maliyeti yüksektir, Membranların kirlenme sorunları ile sıkça karşılaşmaktadır. | <p>Wang ve ark. (2016)</p> <p>Hlihor ve ark. (2009)</p> <p>Kaprara ve ark. (2013)</p> <p>Sharma ve ark. (2008)</p> |

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Sıvı-sıvı ekstraksiyon, sulardaki hem organik hem de inorganik kirleticilerin giderimi için kullanılan geleneksel bir tekniktir. Ancak, bu tekniğin, emülsiyon oluşumu, çok miktarda çözücü kullanımı ve düşük miktarlardaki kirleticiler için ekonomik olmaması gibi dezavantajları bulunmaktadır (Venkateswaran ve Palanivelu, 2004). Bu dezavantajlarından dolayı, sıvı-sıvı ekstraksiyon tekniğine alternatif olarak son yıllarda geliştirilen ve ekstraksiyon ajanının bir polimerik yapıdaki bir destek maddesine immobilize edilmesi ile oluşturulan teknikler kullanılmıştır. Bu teknikler, destekli sıvı membran (Swain ve ark., 2015), solvent emdirilmiş reçine (Burghoff ve ark., 2010), aktive edilmiş kompozit membran (Arslan ve ark., 2009) ve polimerik kapsül (Ozcan ve ark., 2010; Kazak ve ark., 2015) olarak sıralanabilir.

Polimerik kapsüller sulu çözeltilerden metallerin giderilmesi ve/veya metallerin geri kazanılması amacıyla kullanılmaktadır. Polimerik kapsüller, giderilmek istenen metal ile etkileşebilen ekstraktanın polimerik yapıdaki bir destek maddesine genel olarak faz-inversiyon tekniği ile tutturulmasıyla elde edilmektedir. Bu kapsüllerin en önemli üstünlükleri, su ortamından kolay bir şekilde ayrılması, daha az miktarda çözücüye ihtiyaç duyulmasıdır (Ozcan ve ark., 2010).

Ochoa ve ark. (2006) üzerlerinde Aliquat-336 tutturulmuş polisülfon/polivinilpirolidon esaslı polimerik kapsüller ile sulu çözeltiden Cr(VI)'nın sorpsiyonunu araştırmışlardır. 2:1 oranında polisülfon/polivinilpirolidon ve Aliquat-336 içeren kapsüllerin maksimum Cr(VI) sorpsiyon performansını gösterdikleri belirtilmiştir. 1 saatlik denge süresi sonunda Cr(VI)'nın, % 92'lik bir verimle sulu çözeltiden alındığı belirtilmiştir.

Bari ve ark. (2009) polisitren esaslı polimerik kapsüllerin üzerine Cyanex 272'yi faz inversiyonu ile kaplamışlar ve elde ettikleri kapsülleri sulu çözeltilerdeki Cu(II), Zn(II), Fe(III) ve Ni(II)'nin ekstraksiyonu için kullanmışlardır. Elde edilen kapsüllerin yüzey morfolojilerinin SEM ile incelenmesi sonucunda, Cyanex 272 kaplı kapsüllerin yüzeyinin daha düzgün bir yapıda olduğunu, Cyanex 272 içermeyen kapsüllerin ise daha kırılğan bir yapıda olmalarından dolayı yüzeylerinde bozuk ve kırık bölgelerin bulunduğu belirtilmiştir. Kapsül boyutlarının, prosedürde uygulanan karıştırma hızına ve polimer miktarına bağlı olarak değiştiği belirtilmiştir. Kesikli denemelerde, Cyanex 272 tutturulmuş kapsüller ile çözelti pH'sına bağlı olarak, Cu(II), Zn(II), Fe(III) ve Ni(II)'nin seçimli bir şekilde ekstrakte edildiği, sürekli denemelerde de Cu(II)'nin

Zn(II) ve Ni(II)'den başarılı bir şekilde ayrıldığı ifade edilmiştir. Metaller ile doymuş hale gelen kapsüllerin 0.1 M ve 0.5 M H₂SO₄ ile rejenerasyonu sonunda tekrar kullanılabilir özellikte oldukları belirtilmiştir.

Ozcan ve ark. (2010), sulu çözülden Cr(VI)'nın giderilmesi için Cyanex-923 içeren polisülfon esaslı kapsülleri kullanmışlardır. FT-IR, TGA ve SEM teknikleri ile yapılan karakterizasyon çalışmaları sonucunda, Cyanex-923'ün başarılı bir şekilde kapsül yüzeyine tutturulduğu belirtilmiştir. Kesikli denemeler sonucunda, en yüksek Cr(VI) gideriminin, Cyanex-923/polisülfon oranının 1/1 ve pH'nın 1 olması halinde elde edildiği belirtilmiştir. Denemelerde dengeye gelme süresinin 30 dakika olduğu ve kinetik analizlerde sorpsiyon verilerinin pseudo-ikinci-dereceden kinetik modeli ile daha iyi ifade edildiği gösterilmiştir. İzoterm analizleri sonucunda, sorpsiyon verilerinin Redlich-Peterson ve Langmuir izoterm modelleri ile daha uygun bir şekilde ifade edildiği ve Langmuir sorpsiyon kapasitesinin 0.430 mmol/g olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, hazırlanan Cyanex-923 içeren polimerik kapsülün Cr(III), Ni(II), Cu(II), Zn(II), Cd(II), Co(II) ve Pb(II) iyonlarının bulunduğu çözelti ortamında Cr(VI)'ya karşı seçici bir şekilde davrandığı belirtilmiştir.

Kazak ve ark. (2015), faz inversiyon tekniği ile hazırlanan, Cyanex 272 içeren polimerik kapsüllerin Co(II)'nin sulu çözülden adsorpsiyonu için kullanılma potansiyelini araştırmışlardır. Polimerik kapsüllerin üzerinde Cyanex 272'nin immobilizasyonu, FT-IR, TGA, SEM-EDX analizleri ile teyit edilmiştir. Cyanex 272'nin en yüksek enkapsülasyon oranının %7.2 olduğu belirtilmiştir. Kesikli adsorpsiyon denemeleri ile en yüksek giderimin %2 Cyanex 272 içeren immobilizasyon çözeltisinin kullanılması halinde ve pH 8.'de gerçekleştiği belirtilmiş ve giderim mekanizması iyon-değişimi ve şelat-oluşma prensipleri ile açıklanmıştır. Dengeye gelme süresinin 120 dakika ve Langmuir adsorpsiyon kapasitesinin 2.012 mg/g olduğu ifade edilmiştir. Üç adsorpsiyon-desorpsiyon döngüsünden sonra giderim kapasitesinde önemli bir değişikliğin olmadığı ve Co(II) yanında Ni(II), Cd(II), Pb(II) gibi diğer iyonlar için seçicilik sıralamasının Co(II) \approx Ni(II) > Cd(II) > Pb(II) şeklinde olduğu belirtilmiştir.

Bu çalışmalar dışında, katı haldeki bir adsorbentin polimerik yapıya immobilize edilmesi ve bu şekilde bir kompozit malzeme hazırlanarak giderim çalışmalarında kullanılması üzerine yapılan çalışmaların oldukça sınırlı sayıda olduğu görülmüştür. Örneğin, (Ma ve ark., 2011), zirkonyum fosfatı polisülfon kapsüle faz inversiyonu yöntemi ile immobilize etmişlerdir. Hazırlamış oldukları kapsülü, sudaki Pb²⁺'nin

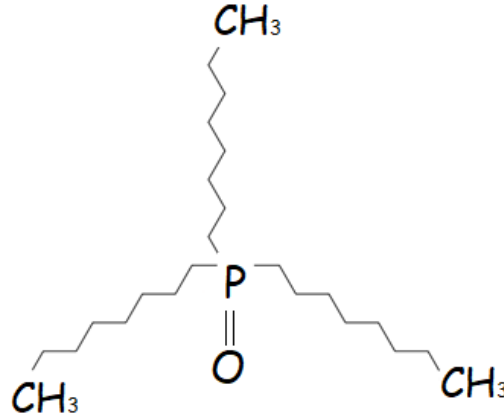
gideriminde adsorbent madde olarak kullanmışlardır. Kapsülün karakterizasyonunu DTA-TG, XRD, BET ve SEM teknikleri ile gerçekleştirmişlerdir. Kesikli adsorpsiyon tekniği ile Pb^{2+} giderim çalışmaları sonucunda, giderimin iyon değişimi mekanizmasına göre gerçekleştiğini ve giderimin ortamdaki Na^+ ve K^+ iyonlarından çok az miktarda etkilendiğini ifade etmişlerdir. Hazırlanan kapsülün adsorpsiyon kapasitesinde bir azalma olmadan 6 defa Pb^{2+} gideriminde kullanılabilirdiğini belirtmişlerdir. Bir diğer çalışmada, (Ma ve ark., 2013) faz inversiyonu tekniği sayesinde grafit nanotabakaları polisülfon kapsül yapısına immobilize ederek hazırladıkları kompozit adsorbenti sulardaki fenol gideriminde kullanmışlardır. Hazırlamış oldukları kompozit malzemeyi, yüzey alanını belirleyerek ($6.721 \text{ m}^2/\text{g}$), SEM görüntüleri ve TGA analizleri ile karakterize etmişlerdir. Sonuç olarak, kompozit malzemenin kolay bir metot ile hazırlanabildiğini, adsorpsiyondan sonra sudan ayırma işleminin kolay olduğunu tespit etmişler ve pH 9'a kadar olan geniş bir pH aralığında fenol gideriminde verimli bir şekilde kullanılabilirdiğini (100 mg/L fenol için $q=3.5 \text{ mg/g}$), 24 saat sürede adsorpsiyon dengesine ulaşıldığını ve adsorpsiyon verilerinin Freundlich izoterm modeline daha iyi uyduğunu göstermişlerdir. Sınırlı sayıdaki bu çalışmalardan hareket ile proje kapsamında, kırmızı çamur-polisülfon kompozit kapsül ilk defa hazırlanmış ve sudaki florürün gideriminde kullanılmıştır.

Kazak ve ark. (2016), alüminyum üretimi sonucu atık olarak ortaya çıkan kırmızı çamuru, polisülfon kapsül yapısına faz inversiyonu tekniğine göre katkılamışlar ve sulardaki florürün özellikle sürekli adsorpsiyon tekniği ile giderimi için kompozit bir adsorbent elde etmişlerdir. Elde edilen kompozit kapsüller, TGA, FT-IR, SEM ve BET teknikleri ile karakterize edilmiştir. İlk olarak kesikli denemeler yapılmış ve florür giderimi için en yüksek sonucun, kırmızı çamur:polisülfon oranı 1:1 olan kapsül ile ve pH 3.2-4.7 aralığında elde edildiği belirtilmiştir. Dengeye gelme süresinin 30 dakika olduğu görülmüş ve kinetik analizleri sonuçları pseudo-ikinci derece yalancı kinetik ve partikül içi difüzyon modelleri ile izah edilmiştir. İzoterm analizleri sonucunda, adsorpsiyon verileri ile en iyi uyumun Freundlich ve Redlich-Peterson modelleri ile elde edildiği belirtilmiştir. Adsorpsiyon-desorpsiyon döngüsünün giderim kapasitesinde bir değişiklik olmadan iki kere yapılabilirdiği ve nihai konsantrasyonu 10 mg/L olacak şekilde florür ilave edilen gerçek mineral sudaki miktarın hem kesikli hem de sürekli adsorpsiyon sistemleri ile WHO tarafından önerilen maksimum florür konsantrasyonunun (1.5 mg/L) altına düşürüldüğü sonucuna varılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler

Deneysel çalışmalarda kullanılan kimyasal maddeler analitik saflıktadır. Polisülfon Aldrich (Steinheim, Germany) firmasından temin edilmiştir. Etanol, N,N-dimetilformamid (DMF), sodyum dodesil sülfat, 1,3-fenilendiamin (PDA), *n*-hekzan, 1,3,5-trimezoilklorür (TMC), hidroklorik asit, sodyum klorür, sodyum hidroksit ve potasyum kromat Merck (Darmstadt, Germany) firmasından temin edilmiştir. Polimerik kapsüllerin aktivasyonunda kullanılan ve yapısal formülü Şekil 3.1.'de verilen Cyanex 921 ise CYCTEC firmasından (Canada) temin edilmiştir.



Şekil 3.1. Cyanex 921'in yapısal formülü

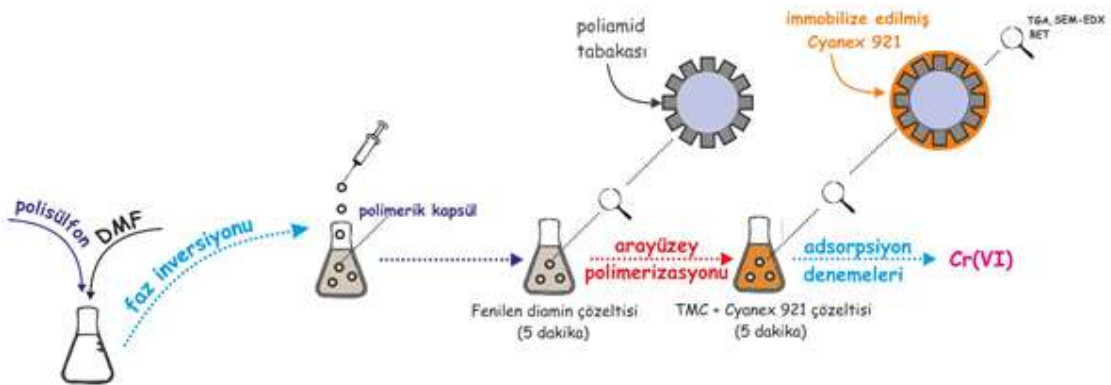
3.2. Polimerik Kapsüllerin Hazırlanması

Polimerik kapsüllerin hazırlanması için Kazak ve ark. (2016)'nın kullandığı metot uygulanmıştır. Bu metotta dispers faz ve sürekli faz kullanılmıştır. Dispers faz, 1.2 g polisülfonu 16 mL N,N-dimetilformamid (DMF) içinde çözerek elde edilmiştir. Sürekli faz ise, etanol:su (1:1, v:v) karışımında kütlece %0.5 sodyum dodesil sülfatı çözerek oluşturulmuştur. Hazırlanan dispers faz, sürekli faz içine şırınga ile (1 mm uç çapında) damlatılarak faz inversiyonu gerçekleştirilmiş ve polimerik kapsüller elde edilmiştir. Sürekli fazdan filtre kağıdı yardımıyla ayrılmış olan kapsüller saf su ile birkaç kez yıkandıktan sonra 3 saat süreyle saf su içinde bekletilmiştir. Daha sonra,

kapsüller 25 °C’de etüvde kurutulularak, “Kapsül_{Blank}” olarak sembolize edilen, Cyanex 921 ile aktivasyona hazır halde olan polisülfon esaslı kapsüller elde edilmiştir.

3.3. Cyanex 921’in Arayüzey Polimerizasyonu İle Kapsüllere İmmobilize Edilmesi

Arayüzey polimerizasyonu ile Cyanex 921’in kapsül yüzeyinde immobilizasyonu için Arslan ve ark. (2009)’nın belirttiği ve şematik olarak Şekil 3.2’de gösterilen metot kullanılmıştır. Bu metotta, polisülfon esaslı kapsüller 1,3-fenilendiamin (PDA) sulu çözeltisi içinde 5 dakika süre ile bekletilmiştir. Bu şekilde PDA içeren kapsüller daha sonra 5 dakika süre ile 1,3,5- trimezoiklorür (TMC) ve belirli konsantrasyonda Cyanex 921 içeren *n*-hekzan fazına daldırılarak ara yüzey polimerizasyonu gerçekleştirilmiştir. Amin ve asit klorür arasındaki reaksiyon ile, polisülfon destek maddesi üzerinde Cyanex 921 içeren poliamid tabakası oluşturulmuştur. Bu aşamadan sonra elde edilen kapsüller etüvde (60 °C’de) 30 dakika süreyle bekletilmiş ve aktive edilmiş polimerik kapsüller kullanıma hazır hale getirilmiştir. Elde edilen kapsüller “Kapsül_{Cyanex-921}” ile sembolize edilmiştir. Her bir aşamada kapsül yüzeyindeki çözelti fazlalıkları saf su ile yıkanarak uzaklaştırılmıştır. PDA çözeltisi, 50 mL saf suda, 3 g PDA ve 0.01 g sodyum dodesil sülfat’ın çözülmesiyle hazırlanmıştır. TMC çözeltisi ise 0.04 g TMC ve belirli miktarda Cyanex 921’in 50 mL *n*-hekzan içinde çözülmesiyle hazırlanmıştır.



Şekil 3.2. Arayüzey polimerizasyonu ile Cyanex 921’in polimerik kapsül yüzeyine immobilizasyonunun şematik gösterimi

3.4. Karakterizasyon Çalışmaları

Termal gravimetrik analizler (TGA) 40-900 °C aralığında 10 °C/dakika sıcaklık artışında 20 mL/dakika akış hızındaki argon atmosferinde Setaram marka cihaz ile gerçekleştirilmiştir. Kapsüllerin yüzey görüntüleri ve yüzeylerindeki element miktarları sırasıyla SEM (JEOL 5600-LU) ve EDX dedektörleri ile incelenmiştir. BET yüzey alanları (Quantachrome Quatrasorbevo) marka cihaz ile 77 K'de N₂ adsorpsiyonu ile tayin edilmiştir. Hazırlanan kapsüllerin çapları 15 adet kapsül ele alınarak dijital kumpas (Mitutoyo) ile belirlenmiştir.

3.5. Cr(VI) giderimi için ön denemeler

Hazırlanan kapsüllerin Cr(VI)'ya karşı adsorpsiyon davranışının belirlenebilmesi için ön denemeler yapılmıştır. Cr(VI) giderimi için yapılan ön denemelerde, Cr(VI) çözeltisinin konsantrasyonu 2×10^{-4} M (≈ 10 mg/L), adsorbent konsantrasyonu %3'lük Cyanex 921 içeren dispers faz ile hazırlanan adsorbentten 2 g/L, karıştırma hızı olarak 150 rpm ve temas süresi olarak 2 saat alınarak kesikli sistemde Cr(VI) giderim ön denemeleri yapılmıştır.

3.6. Cr(VI) giderimi için kesikli adsorpsiyon denemeleri

Kesikli adsorpsiyon denemelerinde istenilen konsantrasyondaki Cr(VI) çözeltileri, 1000 mg/L'lik stok çözeltinin seyreltilmesi ile hazırlanmıştır. Çözeltilerin pH'sı, 0.1 M NaOH ve 0.1 M HCl ile ayarlanmıştır. Adsorpsiyon denemelerinde, tüm çözeltilerin iyonik şiddeti NaCl ile 0.01 M'a sabitlenmiştir. Denemelerden önce 0.25 g kuru haldeki kapsüller, 150 rpm'de 1 saat boyunca saf su ile muamele edilmiştir. Daha sonra kapsüller bilinen konsantrasyondaki 25 mL Cr(VI) çözeltisine eklenmiş ve 25 °C'de 150 rpm sabit hızda belirli bir süre karıştırılmıştır. Adsorpsiyon denemeleri sonunda, kapsüller filtrasyon ile çözeltiden ayrılmış ve çözeltide kalan Cr(VI) miktarı UV spektrofotometre (Hach Lange) ile 363 nm'de tayin edilmiştir (Karademir, 2016).

Kapsül tarafından adsorplanan Cr(VI) miktarı aşağıda belirtilen eşitlik (3.1) ile hesaplanmıştır.

$$q = (C_o - C_e) \times V/m \quad (3.1)$$

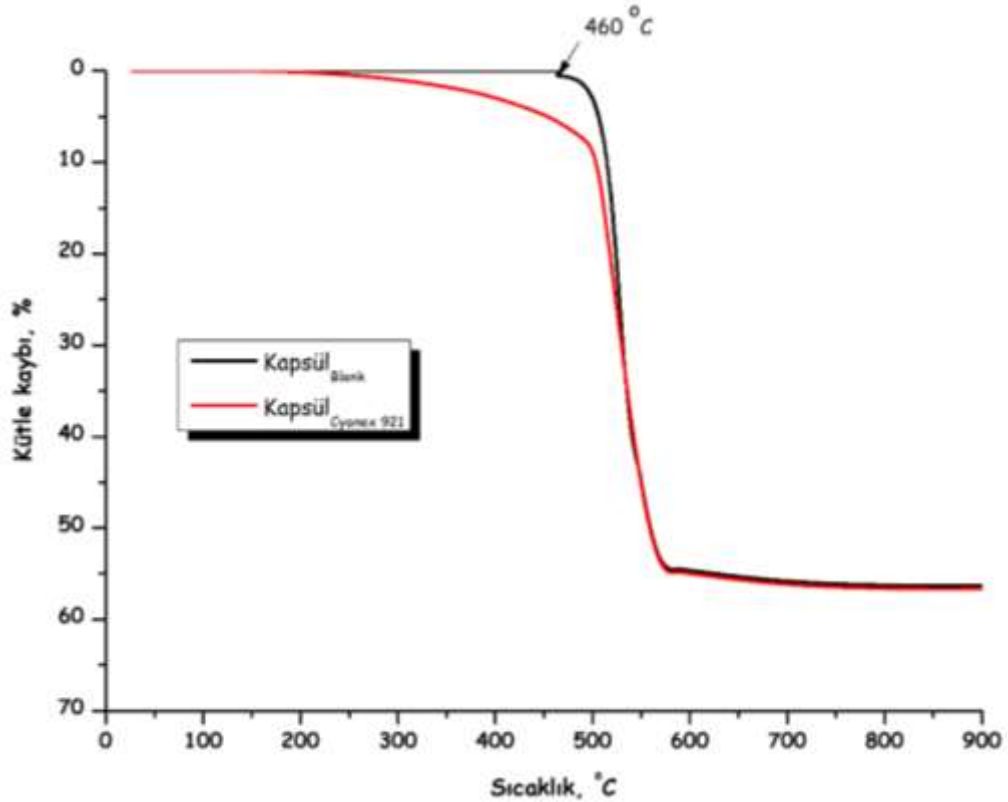
Burada, q : adsorplanan Cr(VI) miktarını (mmol Cr(VI)/g-kapsül), C_0 : başlangıçta çözeltinin Cr(VI) konsantrasyonunu (mg/L), C_e : deney sonunda (dengeye ulaştıktan sonra) çözeltide kalan Cr(VI) konsantrasyonunu (mg/L), V : çözelti hacmini (L), m : kuru haldeki kapsül miktarını ifade etmektedir. Cr(VI) giderimine, çözeltinin başlangıç pH'sının (pH=1.0-7.0), dispers fazdaki % Cyanex miktarının (0.5-10), temas süresinin (5-180 dakika), başlangıç Cr(VI) konsantrasyonunun (0.1-1.15 mmol/L) etkisi incelenmiştir. Bunun dışında, elde edilen kapsülün rejenerasyonu-yeniden kullanılabilirliği yanında, kalsiyum, magnezyum, sodyum, potasyum, bikarbonat, klorür ve sülfat gibi iyonları içeren gerçek su numunesinden Cr(VI) gideriminde kullanılabilirliği de incelenmiştir.



4. BULGULAR VE TARIŞMA

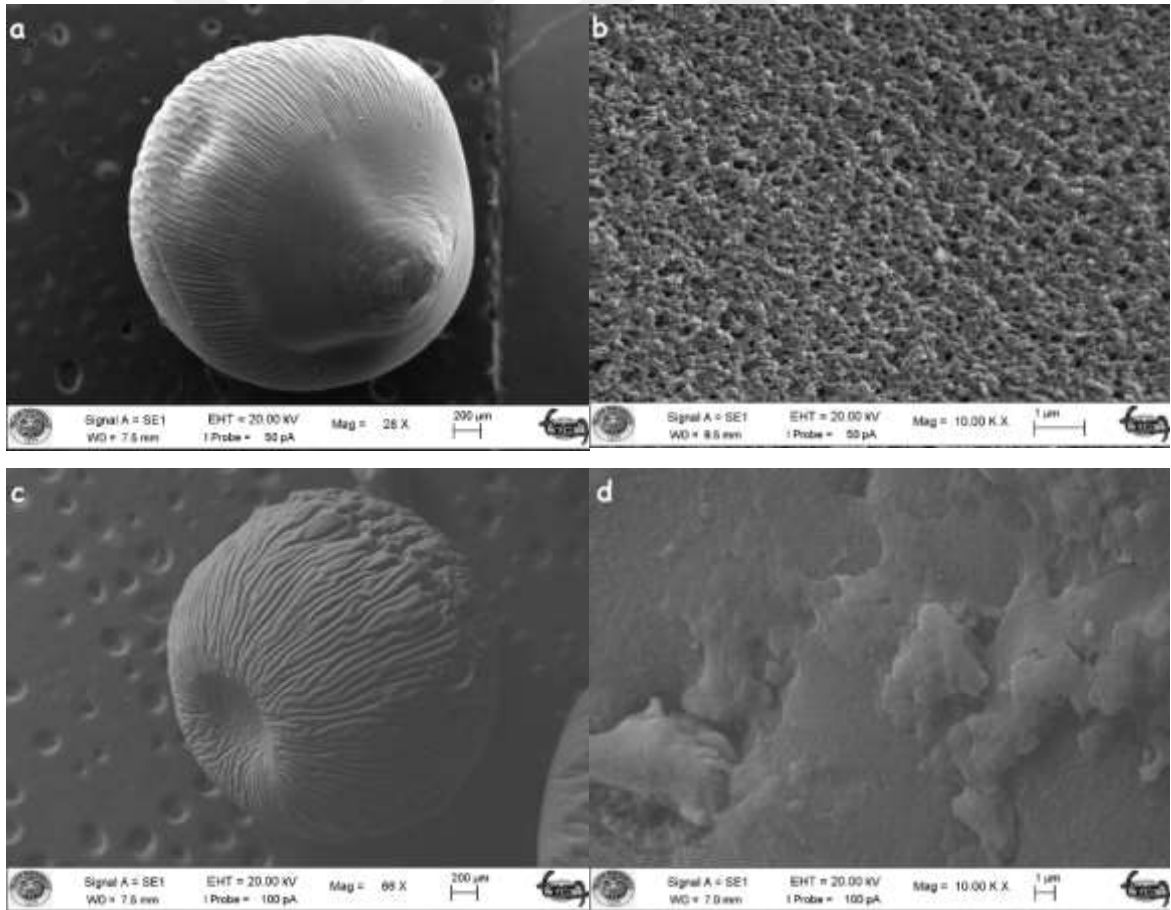
4.1. Karakterizasyon çalışmaları

Kapsül_{Blank} ve %8'lik Cyanex 921 içeren dispers faz ile hazırlanan Kapsül_{Cyanex 921}'in 40-900 °C aralığındaki termal davranışları Şekil 4.1.'de gösterilmiştir. Şekil 4.1 incelendiğinde, Kapsül_{Blank} için, 460-600 °C aralığında gözlenen kütle kaybı polisülfon yapısındaki uçucu türlerin kaybindan ileri gelmektedir (Ball ve Boettner, 1972; Kazak ve ark., 2015). Blank kapsülden farklı olarak, Kapsül_{Cyanex 921} için iki farklı kütle kaybı bölgesi görülmektedir. Birincisi, 460 °C'den önce meydana gelen %5.5'lik kütle kaybı, diğeri ise blank kapsülde olduğu gibi 460 °C'den sonra meydana gelen kütle kaybıdır. Birinci bölgede meydana gelen kütle kaybı kapsül üzerine immobilize edilmiş Cyanex 921'in yapıdan uzaklaşmasına atfedilebilir. Bu oran, blank kapsül üzerine immobilize edilmiş Cyanex 921 miktarının 55 mg/g olduğunu göstermektedir. Genel olarak, TGA sonuçları, Kapsül_{Cyanex 921}'in istenilen bir termal kararlılığa sahip olduğunu göstermektedir.

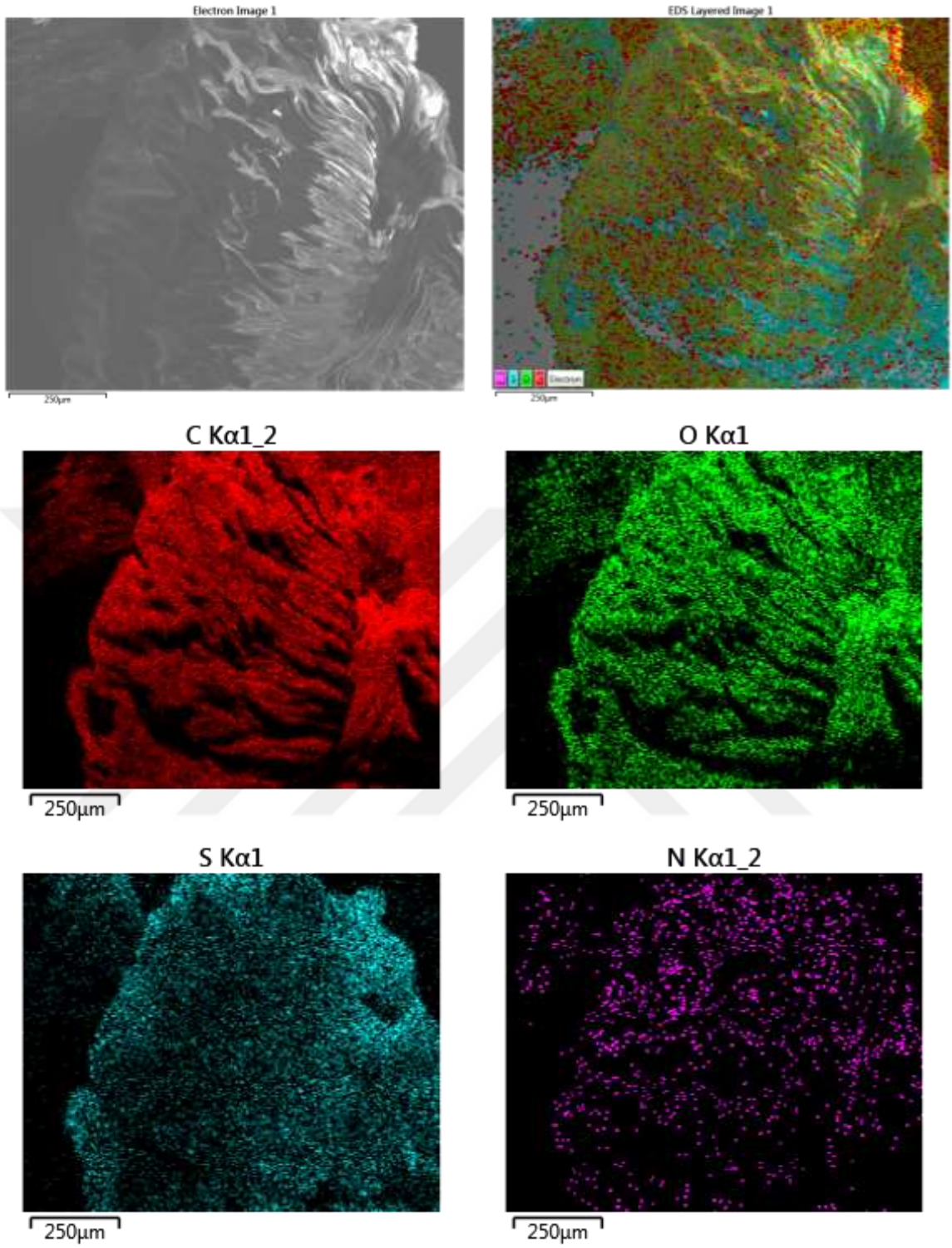


Şekil 4.1. Kapsül_{Blank} ve %8 Cyanex 921 içeren dispers faz ile hazırlanan Kapsül_{Cyanex 921}'in termal davranışları

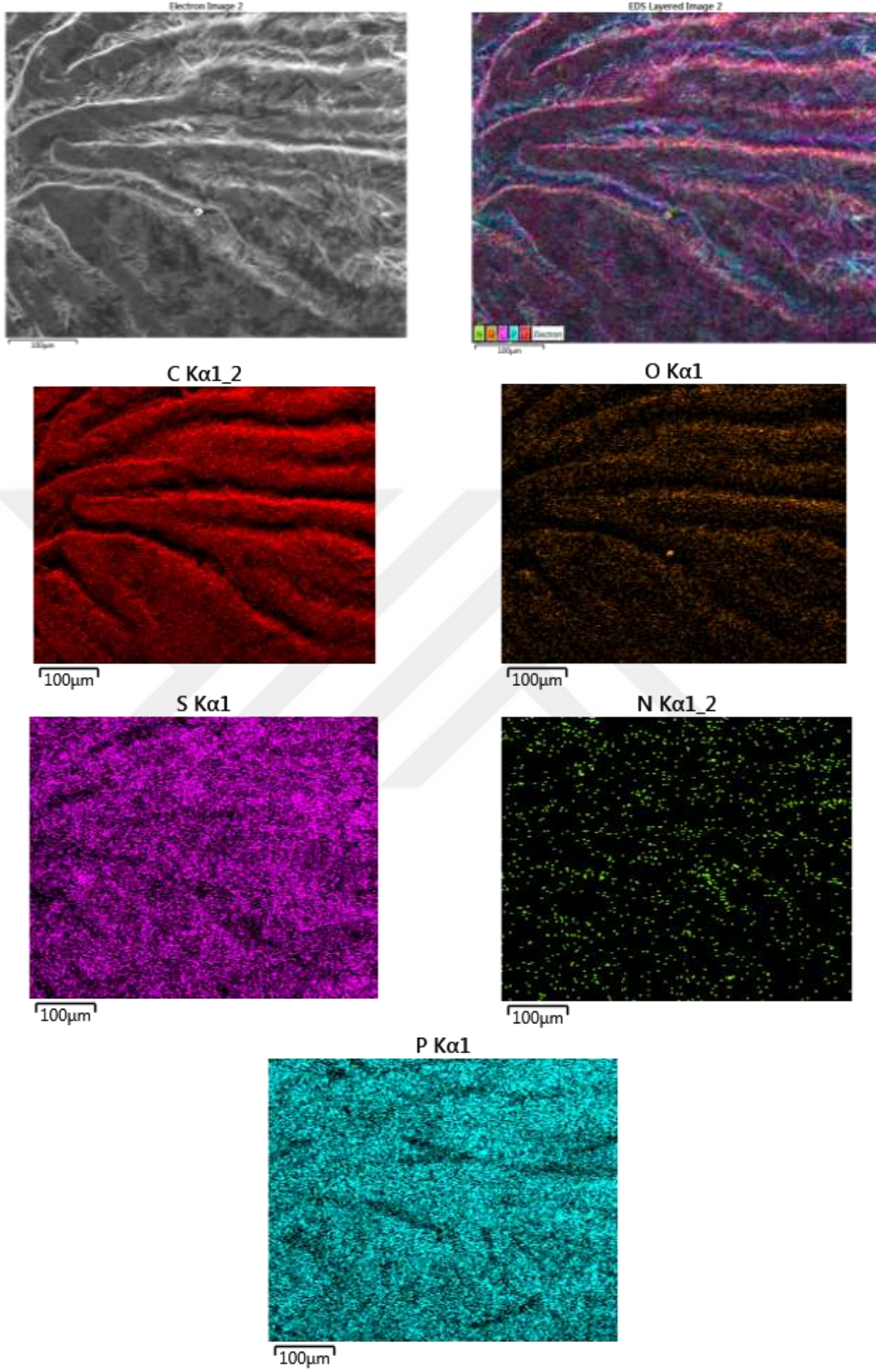
Şekil 4.2’de verilen SEM görüntülerinden polisülfon kapsülün ve Kapsül_{Cyanex 921} yüzeylerinin birbirinden farklı olduğu görülmektedir. Bu farklılık, arayüzey polimerizasyonunun etkisi ile polyamid ve Cyanex 921’in bağlanmasına atfedilebilir. Ayrıca, kapsüllerin yüzeylerindeki elementlerin dağılımları EDX haritalama yöntemiyle incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil 4.3 ve 4.4.’te gösterilmiştir. Cyanex 921 kullanılmadan arayüzey polimerizasyonu ile hazırlanan blank kapsül yüzeyinde polisülfon orijinli C, O, S elementlerinin ve bunlara ilave olarak poliamid tabakasından kaynaklanan N elementinin bulunduğu tespit edilmiştir. Bu durum polisülfon esaslı kapsülün yüzeyinde arayüzey polimerizasyonu ile poliamid tabakasının oluştuğunu kanıtlamaktadır (Şekil 4.3). Cyanex 921 kullanılarak hazırlanan Kapsül_{Cyanex 921} yüzeyinde ise tüm bu elementlere ilave olarak P elementinin de bulunduğu görülmüştür. Bu durum, Cyanex 921’in arayüzey polimerizasyonu ile kapsül yüzeyine başarılı bir şekilde immobilize edildiğinin göstergesidir (Şekil 4.4).



Şekil 4.2. Polisülfon kapsül (a,b) ve Kapsül_{Cyanex 921}’in (c,d) yüzeylerinin SEM görüntüleri



Şekil 4.3. SEM-EDX haritalama yöntemi ile Kapsül_{Blank} yüzeyindeki elementel dağılımlar (C,O,S,N)



Şekil 4.4. EDX haritalama yöntemi ile Kapsül_{Cyanex 921} yüzeyinde elementel dağılımlar (C,O,S,N,P)

Dispers fazdaki farklı miktarlarda Cyanex 921'in kullanılmasıyla elde edilen kapsüllerin boyutları, yüzey alanları ve toplam gözenek hacimleri Çizelge 4.1'de verilmiştir. Bu sonuçlardan hareket ile Kapsül_{Blank} ve dispers fazda farklı Cyanex miktarları ile hazırlanan Kapsül_{Cyanex 921}'lerin boyutları arasında önemli bir farklılık olmadığı ifade edilebilir. Kapsül_{Blank}'ın yüzey alanı dikkate alındığında, dispers fazdaki Cyanex 921 miktarı arttıkça yüzey alanında çok küçük de olsa bir miktar azalmanın olduğu belirtilebilir. Boşluk hacimleri dikkate alındığında da benzer bir eğilim olduğu görülmektedir. Bu sonuç, dispers fazdaki Cyanex 921 miktarının artmasıyla birlikte immobilize olan Cyanex 921 miktarın arttığı ve buna bağlı olarak kapsül yüzeyindeki gözeneklerin kapanmasına bağlanabilir.

Çizelge 4.1. Dispers fazdaki farklı miktarlarda Cyanex 921'in kullanılmasıyla elde edilen kapsüllerin boyutları, yüzey alanları ve toplam gözenek hacimleri

| Dispers fazdaki Cyanex 921 miktarı, % | Kapsül çapı, mm | BET yüzey alanı, m ² /g | Toplam gözenek hacmi, cm ³ /g |
|---------------------------------------|-----------------|------------------------------------|--|
| 0 (Blank kapsül) | 2.47±0.09 | 2.847 | 0.0173 |
| 0.5 | 2.54±0.09 | 2.791 | 0.0159 |
| 1.5 | 2.48±0.08 | 2.785 | 0.0132 |
| 8 | 2.43±0.06 | 2.714 | 0.0109 |

4.2. Adsorpsiyon Denemeleri

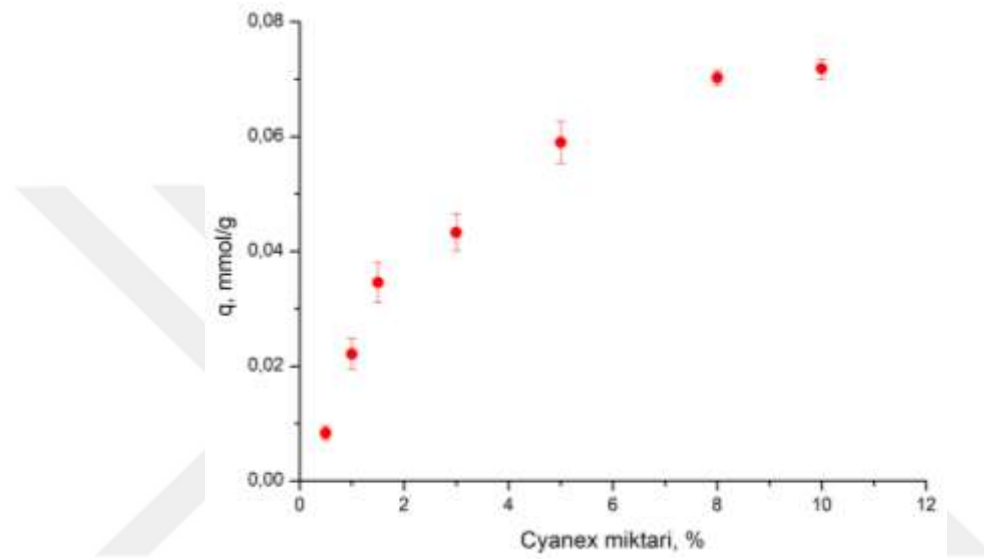
4.2.1. Cr(VI) ön denemeleri

Cr(VI) giderimi için yapılan ön denemelerde, Cr(VI) çözeltisinin konsantrasyonu 0.192 mmol/L (10 mg/L), adsorbent konsantrasyonu %3'lük Cyanex 921 içeren dispers faz ile hazırlanan adsorbentten 2 g/L, karıştırma hızı olarak 150 rpm, temas süresi olarak 2 saat alınarak kesikli sistemde elde edilen giderim ise %45(±3) olarak tespit edilmiştir. Kapsül_{Cyanex 921} ile elde edilen bu giderim verimleri, Cr(VI)'nın Cyanex 921 immobilize edilmiş kapsül ile su ortamından giderilebileceği sonucuna ulaştırmıştır. Buna ilave olarak, Kapsül_{Blank} ile yapılan denemelerde ise Cr(VI) için giderimin <%5 olduğu tespit edilmiştir. Bu orandan hareket ile Kapsül_{Blank} ile elde edilen bu giderimin yalnızca fiziksel tutunmadan kaynaklandığı düşünülmektedir.

4.2.2. Cr(VI) giderim denemeleri

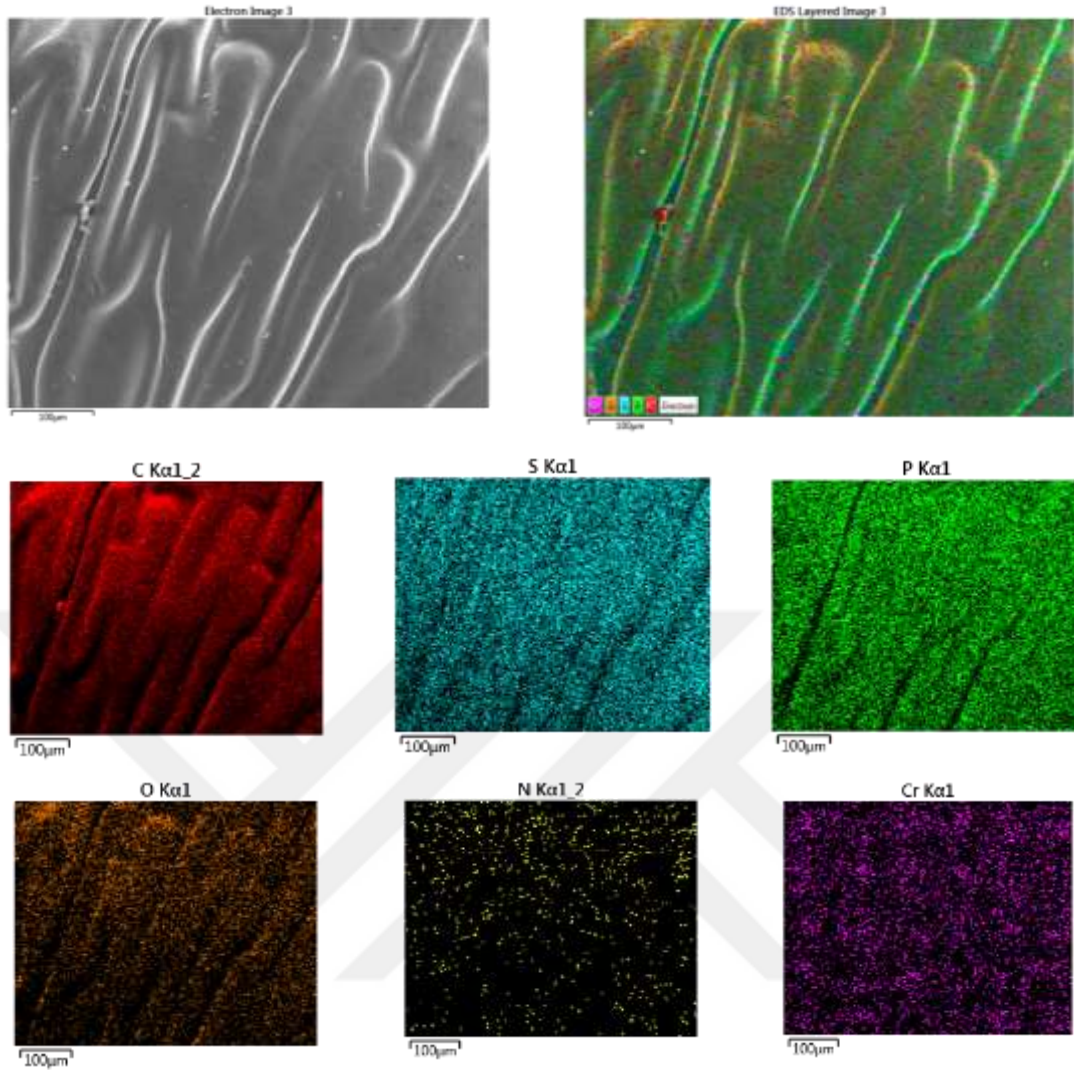
4.2.2.1. Dispers faz Cyanex 921 miktarının etkisi

Dispers faz çözeltisinin Cyanex 921 miktarı %0.5, %1.5, %3, %5, %8 ve %10 olacak şekilde ayarlanarak Kapsül_{Cyanex 921}'ler hazırlanmış ve Cr(VI) giderim verimine olan etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5. Dispers faz Cyanex 921 miktarının Cr(VI) giderimine etkisi (DeneySEL şartlar: Cr(VI) konsantrasyonu: 0.192 mmol/L, pH=1, süre: 120 dakika, kapsül miktarı: 2 g/L, karıştırma hızı: 150 rpm, sıcaklık 25 °C)

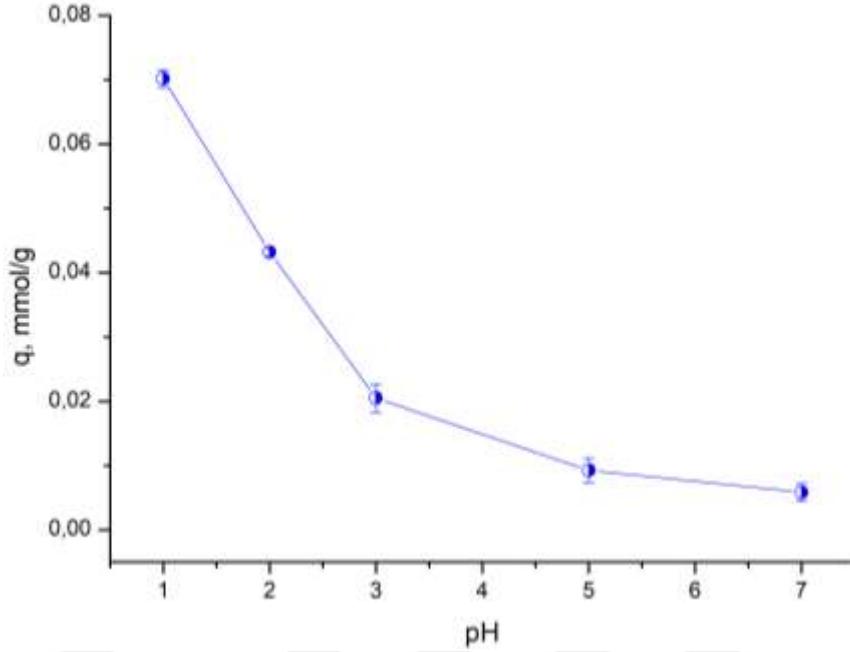
Şekil 4.5'te görüldüğü gibi, dispers fazdaki Cyanex 921 miktarının %8'e kadar artmasıyla giderimin arttığı, %8'den daha büyük konsantrasyonda (%10) ise giderim veriminin kararlı hale ulaştığı-giderimde ilave bir artışın olmadığı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuç, Cyanex 921 ile Cr(VI) arasında oluşan kompleks stokiometrisinin 1/1 oranında olmasına bağlanabilir (Ahmed ve ark., 2016). Diğer bir ifade ile, Cyanex 921 miktarının artması, oluşacak Cr(VI) kompleks miktarının da artmasına, dolayısıyla giderimin artmasına katkıda bulunmuştur. Hazırlanan Kapsül_{Cyanex 921} ile Cr(VI)'nın giderildiği adsorpsiyon sonrası EDX haritalama yöntemi ile elde edilen Şekil 4.6'da da görülmektedir. Elde edilen sonuca göre, daha sonraki giderim çalışmalarında %8 Cyanex 921 içeren dispers faz ile hazırlanan Kapsül_{Cyanex 921} kullanılmıştır.



Şekil 4.6. Cr(VI) adsorpsiyonu sonrası Kapsül_{Cyanex 921} yüzeyinin SEM-EDX haritalama yöntemi ile elementel dağılımları (C,O,S,N,P,Cr)

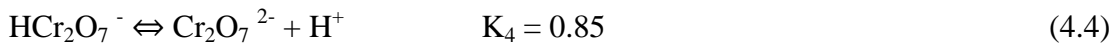
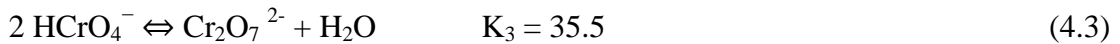
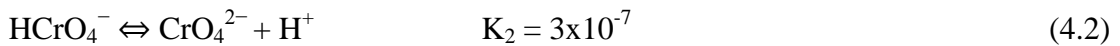
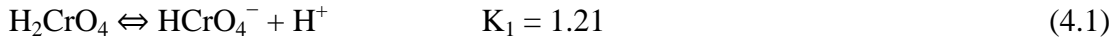
4.2.2.2. Çözelti pH'ının etkisi

Çözeltisi pH'sının Cr(VI) giderimi üzerine etkisini incelemek amacıyla pH değeri, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0 ve 7.0'ye ayarlanarak adsorpsiyon denemeleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Çözelti pH'nın Cr(VI) giderimine etkisi (Deneysel şartlar: Cr(VI) konsantrasyonu: 0.192 mmol/L, %8'lik Cyanex 921 ile hazırlanan kapsül miktarı: 2 g/L, süre: 120 dakika, karıştırma hızı: 150 rpm, sıcaklık 25 °C).

Sulu çözeltilerde kromat iyonu, HCrO_4^- , CrO_4^{2-} , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, HCr_2O_7^- gibi farklı iyonik formlarda bulunabilir. Çözeltide hangi formun baskın halde olacağı çözeltinin pH'sına ve ortamdaki Cr(VI) konsantrasyonuna bağlıdır. Farklı Cr(VI) formları için dengeler aşağıda gösterilmiştir:



Bu dengeler ve denge sabitleri dikkate alındığında, pH 6'da Cr(VI) konsantrasyonu 1×10^{-3} mol/L veya daha az ise Cr(VI)'nin %75'i HCrO_4^- , %25'i ise CrO_4^{2-} formundadır (Saha ve ark., 2004). Asidik çözeltilerde Cr(VI) konsantrasyonu 0.02 mol/L'den daha az ise ortamdaki baskın Cr(VI) formu, HCrO_4^- dir. 0.02 M'dan daha fazla konsantrasyonlarda ise baskın Cr(VI) formu, $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ dir. Ayrıca, asidik şartlarda, Cr(VI) konsantrasyonu $(1.26-1.74) \times 10^{-2}$ mol/L aralığında ise $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$, HCrO_4^- formuna dönüşmektedir (Bhowal ve Datta, 2001). Bu açıklamalara göre, pH etkisinin

incelendiği denemelerde çözeltilerdeki Cr(VI)'nın HCrO_4^- formunda olduğu belirtilebilir.

Şekil 4. 6.'dan da anlaşılacağı üzere, en yüksek giderimin, çözeltisi pH'sının 1.0 olduğu durumda olduğu görülmüştür. pH'nın artmasıyla birlikte giderim verimi de azalmıştır. Ahmed ve ark., (2016)'na göre, Cyanex 921 ile sulu çözeltilerden Cr(VI)'nin ekstraksiyonu aşağıdaki denkleme göre gerçekleşmektedir.



Bu denkleme göre, Cr(VI) ve Cyanex 921 arasındaki kompleks oluşumu çözeltisi pH'sına oldukça bağlıdır. Çözeltinin pH değerinin azalması, çözelti ile Kapsül_{Cyanex 921} yüzeyindeki kompleks oluşumunu ($\text{H}_2\text{CrO}_4 \cdot \text{Cyanex 921}$) artıracaktır. Buna bağlı olarak, çözeltilerden Cr(VI) giderim verimi de artacaktır. Bu bilgiye ve elde edilen sonuca göre, daha sonraki aşamalarda Kapsül_{Cyanex 921} ile Cr(VI) giderim çalışmalarında çözeltinin pH değeri HCl ile 1.0'a ayarlanmıştır.

4.2.2.3. Temas süresinin etkisi

Kapsül_{Cyanex 921} kullanılarak çözelti ortamından Cr(VI)'nin giderimi üzerine temas süresinin etkisi, Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Üç farklı başlangıç konsantrasyonu (0.096, 0.192 ve 0.577 mmol/L) için Cr (VI)'nin giderilmesinde 90 dakikalık temas süresi sonunda adsorpsiyon dengesine ulaşıldığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlardan hareket ile dengeye gelme süresinin başlangıç Cr(VI) konsantrasyonundan bağımsız olduğu da ifade edilebilir.

Üç farklı Cr(VI) konsantrasyonu (0.096, 0.192 ve 0.577 mmol/L) için Kapsül_{Cyanex 921} ile farklı temas sürelerine bağlı olarak elde edilen veriler eşitlik (4.6) ve (4.7) ile gösterilen sırasıyla pseudo-ikinci-dereceden (Ho ve McKay, 1998) ve partikül içi difüzyon (Weber ve Morris, 1963) modellerine göre incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Pseudo-ikinci-dereceden kinetik modeline ait lineer denklemden hesaplanan parametreler ise Çizelge 4.2'de sunulmuştur.

$$t/q_t = 1/(k_2 \times q_e^2) + t/q_e \quad (4.6)$$

Bu denklemde,

q_e : Denge anında adsorplanan Cr(VI) miktarını (mmol/g),
 q_t : t zamanında adsorplanan Cr(VI) miktarını (mmol/g),
 t : zamanı (dakika),
 k_2 : adsorpsiyon hız sabitini [g/(mmol.dakika)] ifade etmektedir.

$$q_t = k_{\text{intra}} \times t^{1/2} + C \quad (4.7)$$

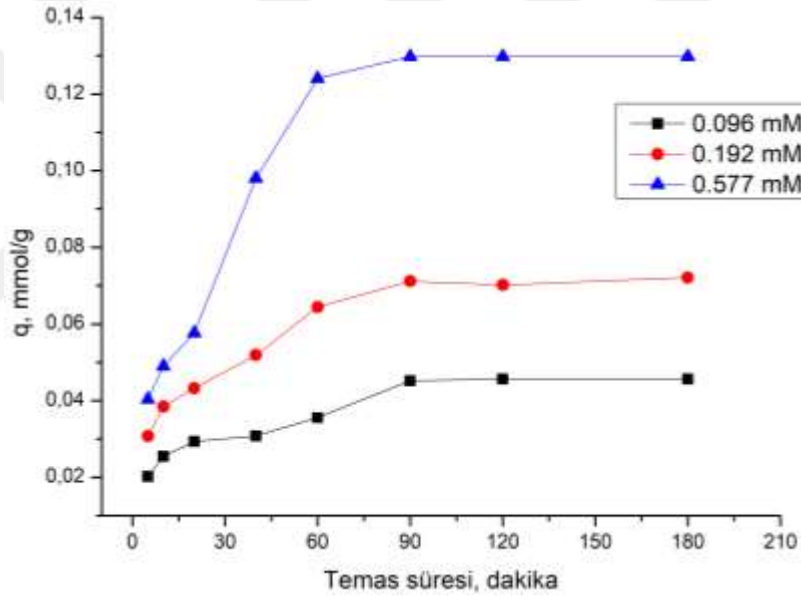
Bu denklemden,

q_t : t zamanında adsorplanan Cr(VI) miktarını (mmol/g),

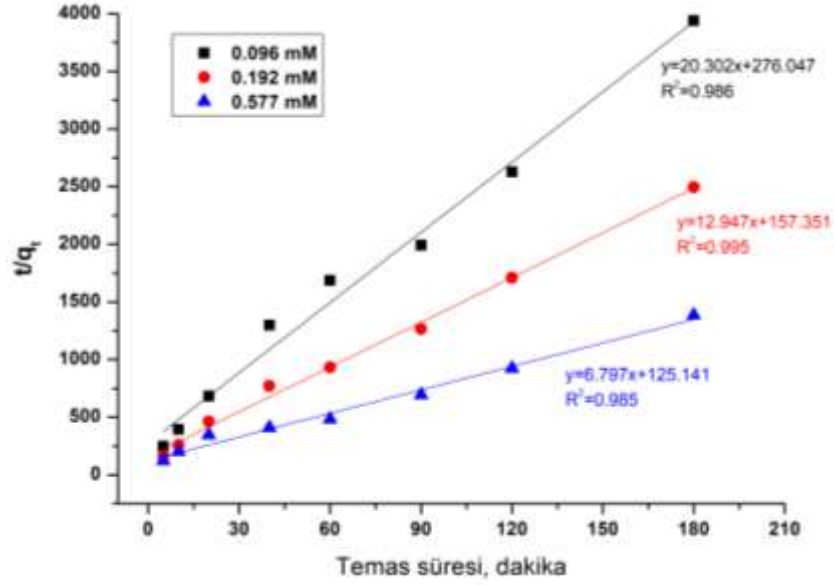
t : zamanı (dakika),

k_{intra} : parçacık içi difüzyon hız sabitini [mmol/(g.dakika^{1/2})].

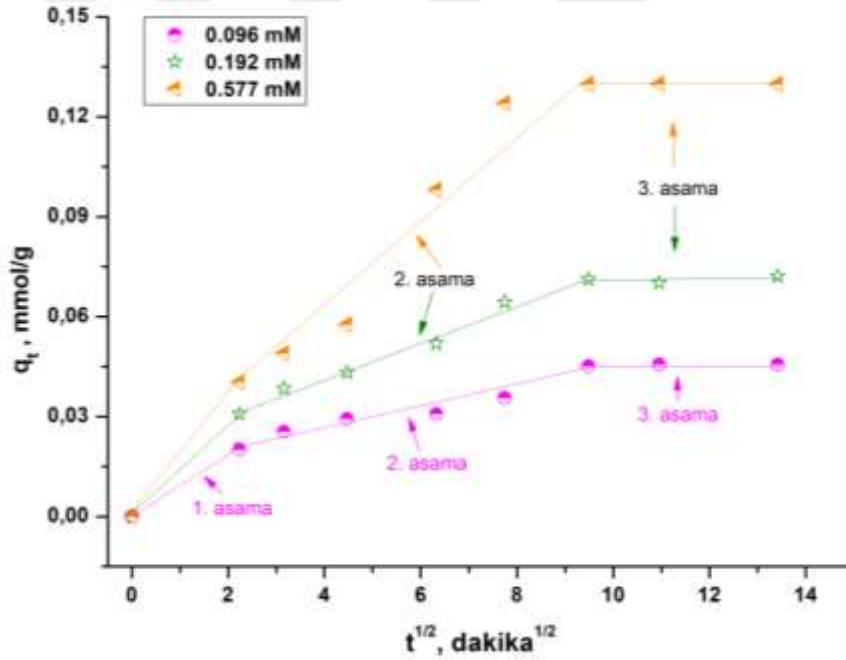
C : sınır tabakası kalınlığı ifade etmektedir.



Şekil 4.8. Temas süresinin Cr(VI) giderimine etkisi (Deneysel şartlar: pH: 1.0, Cr(VI) konsantrasyonu: 0.096, 0.192 ve 0.577 mmol/L, %8'lik Cyanex 921 ile hazırlanan kapsül miktarı: 2 g/L, karıştırma hızı: 150 rpm, sıcaklık 25 °C)



Şekil 4.9. Kapsül_{cyanex921} kullanılarak gerçekleştirilen Cr(VI) adsorpsiyonu kinetik verilerinin yalnızca ikinci dereceden kinetik modeline uygulanması (C_0 : 0.096, 0.192 ve 0.577 mmol/L, pH: 1.0, Kapsül_{cyanex921} miktarı: 2 g/L, sıcaklık: 25 °C, karıştırma hızı: 150 rpm)



Şekil 4.10. Kapsül_{cyanex921} kullanılarak gerçekleştirilen Cr(VI) adsorpsiyonu kinetik verilerinin partikül içi difüzyon modeline uygulanması (C_0 : 0.096, 0.192 ve 0.577 mmol/L, pH: 1.0, Kapsül_{cyanex921} miktarı: 2g/L, sıcaklık: 25 °C, karıştırma hızı: 150 rpm)

Pseudo ikinci dereceden kinetik modeline göre hesaplanan q değerlerinin (q_{hesap}) deneysel q değerleri ($q_{deneysel}$) ile karşılaştırılması ve R^2 sonuçlarının değerlendirilmesi neticesinde, sulu çözeltiden Cr(VI)'nın Kapsül_{Cyanex 921} ile adsorpsiyonuna dayanan verilerin yalnızca-ikinci dereceden kinetik ile modellenebileceği görülmüştür.

Çizelge 4.2. Kapsül_{Cyanex 921} kullanılarak gerçekleştirilen Cr(VI) adsorpsiyonu için yalancı ikinci dereceden kinetik modele ait sabitler (C_0 : 0.096, 0.192 ve 0.577 mmol/L, pH: 1.0, Kapsül_{Cyanex 921} miktarı: 2 g/L, sıcaklık: 25 °C, karıştırma hızı: 150 rpm)

| Model sabitleri | Başlangıç Cr(VI) konsantrasyonu | | |
|---------------------------------|---------------------------------|--------------|--------------|
| | 0.096 mmol/L | 0.192 mmol/L | 0.577 mmol/L |
| $q_{\text{deneyssel}}$, mmol/g | 0.045 | 0.072 | 0.129 |
| q_{hesap} , mmol/g | 0.049 | 0.077 | 0.147 |
| k_2 , g/(mmol.dakika) | 1.493 | 1.065 | 0.369 |
| R^2 | 0.986 | 0.995 | 0.985 |

Farklı temas sürelerindeki adsorpsiyon sonucu elde edilen kinetik verilerinin partikül içi difüzyon modeli ile test edilmesi sonucunda (Şekil 4.10), yukarıda bahsedilen farklı başlangıç konsantrasyonları için üç aşamalı bir durumun söz konusu olduğu görülmüştür. Birinci aşamada film difüzyonu, ikinci aşamada partikül içi difüzyon ve üçüncü aşamanın başlangıç noktasından itibaren de denge anının başladığı sonucuna varılmıştır. Bu sonuçlardan hareket ile, Kapsül_{Cyanex 921} ile Cr(VI) adsorpsiyonunda hem film difüzyonunun hem de partikül içi difüzyonun gerçekleştiği, buna bağlı olarak adsorpsiyon hızını bu iki difüzyon türünün belirlediği ifade edilebilir (Sargin ve ark., 2016).

4.2.2.4. İzoterm analizi

Adsorpsiyon sonucu, denge konsantrasyonlarına karşı Kapsül_{Cyanex 921}'in birim kütlesi başına düşen adsorplanan Cr(VI) miktarının değişimi Langmuir ve Freundlich izoterm modelleri yardımıyla analiz edilmiştir.

Homojen yüzey üzerinde gerçekleşen adsorpsiyonu temsil eden Langmuir izoterm modeli, adsorbent yüzeyinin giderilecek kirletici ile tek bir tabaka halinde kaplandığını ifade etmektedir. Langmuir izoterm modeli eşitlik (4.8)'de gösterilmiştir (Langmuir, 1916).

$$C_e/q_e = 1/(Q_o \cdot b) + C_e/Q_o \quad (4.8)$$

Burada;

C_e : Denge anında çözültide kalan Cr(VI) konsantrasyonunu (mmol/L),

q_e : Denge anında birim adsorbent kütlesi başına adsorplanan madde miktarını (mmol/g),

Q_o : Langmuir adsorpsiyon kapasitesini (mmol/g),

b : Langmuir adsorpsiyon sabitini (L/mmol) ifade etmektedir.

Adsorbent yüzeyinin homojen olmaması durumunda kullanılan Freundlich izoterm modeli, genellikle, adsorpsiyonun çok katmanlı bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir. Freundlich izoterm modeli eşitlik (4.9)'da verilmiştir (Freundlich, 1906).

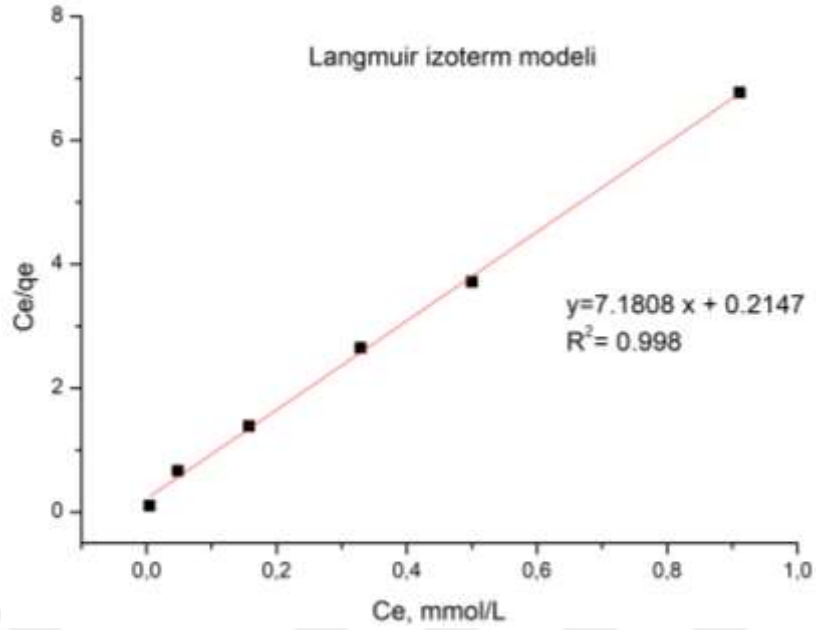
$$\log q_e = \log k + 1/n \log C_e \quad (4.9)$$

Bu denklemde:

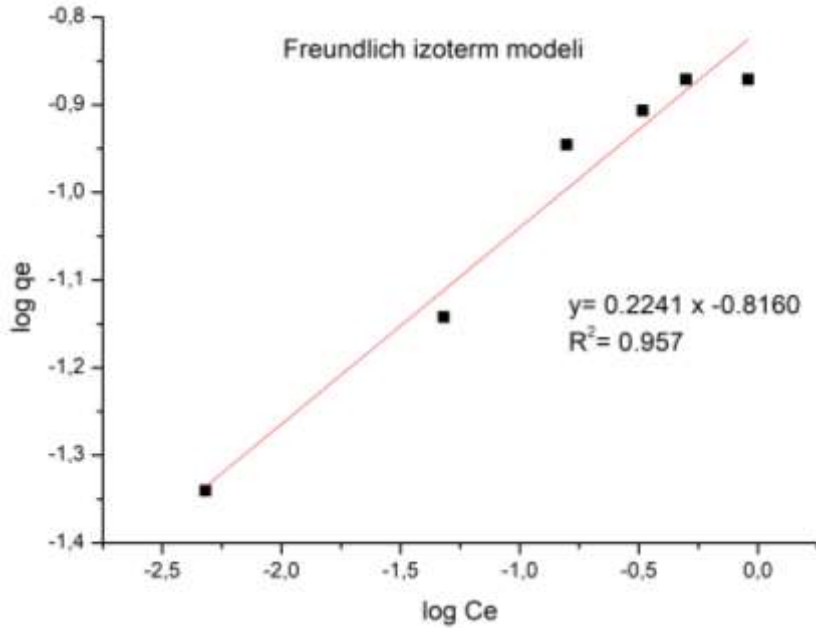
k : Freundlich adsorpsiyon kapasitesini [(mmol/g).(mmol/L)^{-1/n}],

n : Freundlich adsorpsiyon sabitini (L/mmol) göstermektedir. C_e ve q_e yukarıda tanımlandığı gibidir.

Elde edilen adsorpsiyon verilerinin Langmuir ve Freundlich izoterm modellerine uygulanması sonucu elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil 4.11 ve 4.12'de gösterilmiştir. Şekil 4.11'de görüldüğü gibi, C_e 'ye karşı C_e/q_e 'nin grafiğe aktarılması sonucunda elde edilen doğrunun y eksenini kestiği nokta $1/(Q_o \cdot b)$ 'yi, doğrunun eğimi ise $1/Q_o$ 'yi vermektedir. Buradan yapılan işlemler ile Q_o ve b değerleri hesaplanmıştır (Arslan, 2004). Benzer şekilde, Freundlich izoterm modeli k ve n değerleri ise $\log C_e$ 'ye karşı $\log q_e$ 'nin sırasıyla x ve y eksenlerine yerleştirilmesi sonucu elde edilen grafiğin (Şekil 4.11) sırasıyla y eksenini kestiği noktadan ve eğiminden hesaplanmıştır (Gübbük, 2006). Hem Langmuir hem de Freundlich izoterm modelleri için hesaplanan model parametreleri Çizelge 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.11. Kapsül_{Cyanex 921} kullanılarak gerçekleştirilen Cr(VI) adsorpsiyonu için Langmuir izoterm modeli (pH:1, temas süresi: 120 dakika, Kapsül_{Cyanex 921} miktarı: 2 g/L, sıcaklık: 25 °C, karıştırma hızı: 150 rpm)



Şekil 4.12. Kapsül_{Cyanex 921} kullanılarak gerçekleştirilen Cr(VI) adsorpsiyonu için Freundlich izoterm modeli (pH:1, temas süresi: 120 dakika, Kapsül_{Cyanex 921} miktarı: 2 g/L, sıcaklık: 25 °C, karıştırma hızı: 150 rpm)

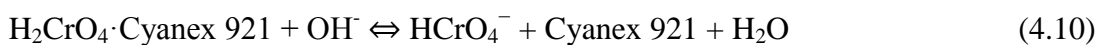
Çizelge 4.3. KapsülCyanex 921 ile Cr(VI) adsorpsiyonu için langmuir ve freundlich izoterm modellerine ait izoterm sabitleri

| Langmuir izoterm modeli | | | Freundlich izoterm modeli | | |
|-------------------------|--------------|-------|---|-------|-------|
| Q_o , mmol/g | b , L/mmol | R^2 | k , (mmol/g).(mmol/L) ^{-1/n} | n | R^2 |
| 0.139 | 33.446 | 0.998 | 0.153 | 4.462 | 0.957 |

R^2 değerleri dikkate alındığında, Langmuir izoterm modelinin adsorpsiyon verilerini daha iyi temsil ettiği sonucuna ulaşılmıştır. Kapsül_{Cyanex 921}'in Cr(VI) adsorpsiyon kapasitesinin daha önce Ozcan ve ark. (2010)'nın solvent evaporasyonu yöntemiyle Cyanex 923 immobilize edilen polisülfon esaslı polimerik kapsülden (0.430 mmol/g) daha düşük bir adsorpsiyon kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. Ozcan ve ark. (2010) hazırladıkları kapsülün 3 adsorpsiyon-desorpsiyon döngüsünden sonra adsorpsiyon kapasitesinde bir değişiklik olmadığını vurgulamışlardır. Bölüm 4.2.2.5'te izah edildiği gibi, bu tez kapsamında hazırlanan Kapsül_{Cyanex921}'in de 4 adsorpsiyon-desorpsiyon döngüsünden sonra da adsorpsiyon kapasitesinde bir azalma olmadığı, dolayısıyla kararlı bir kullanılma potansiyeline sahip olduğu vurgulanabilir.

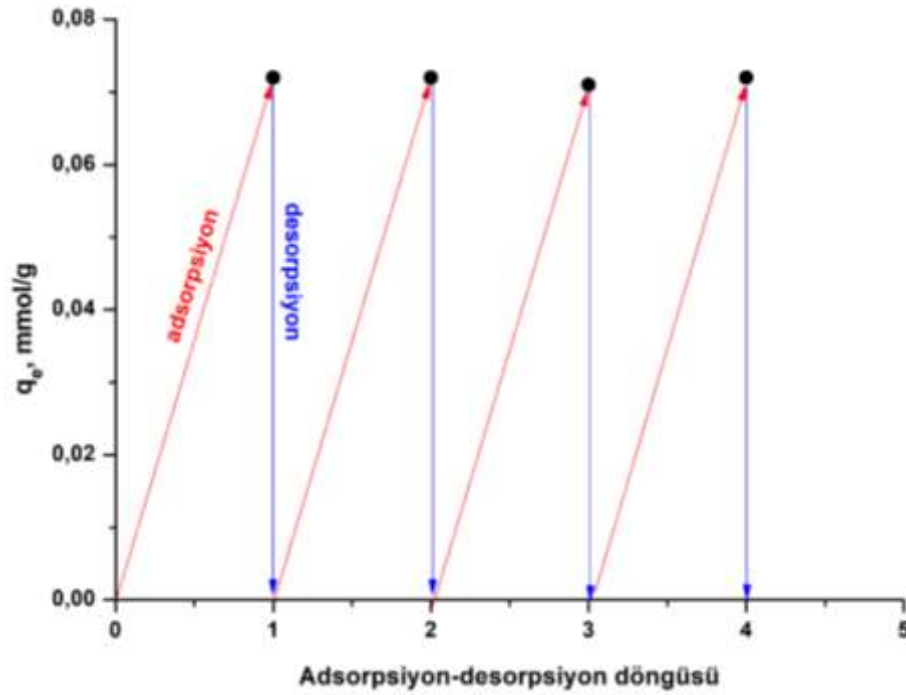
4.2.2.5. Kapsül_{Cyanex921}'in yeniden kullanılabilirliği

Ahmed ve ark. (2016)'nın yapmış oldukları çalışmada, Cyanex 921 ile Cr(VI)'nın sıvı-sıvı ekstraksiyonu çalışmasında, Cr(VI) ile yüklenmiş Cyanex 921'in NaOH ile aşağıdaki denkleme göre rejenerasyona tabi tutulabileceği belirtilmiştir.



Bu bilgiye dayanarak, 0.096 mmol/L Cr(VI) çözeltisi ile muamele edilen ve Cr(VI) ile yüklenen Kapsül_{Cyanex921}'in desorpsiyonu için 10 mL 0.01 M NaOH kullanılmıştır. Desorpsiyon sonrası, kapsül, saf su ile yıkama çözeltisi nötr hale gelinceye kadar yıkanmış ve adsorpsiyon döngüsünde yeniden kullanılmıştır. Dört defa yapılan adsorpsiyon-desorpsiyon döngüsü sonunda elde edilen verilere göre (Şekil 4.13), kapsülün adsorpsiyon kapasitesinde önemli bir değişiklik olmadan en az dört döngüde kullanılabilir kararlılığa sahip olduğu görülmüştür. Bu sonuç, Cyanex

921'in arayüzey polimerizasyonu ile kapsül yüzeyine kararlı bir davranış gösterecek şekilde bağlandığına işaret etmektedir.



Şekil 4.13. Kapsül_{Cyanex 921} kullanılarak yapılan Cr(VI) adsorpsiyon-desorpsiyon döngüsü

4.2.2.6. Kapsül_{Cyanex921}'in gerçek numuneye uygulanması

Gerçek su numunesi uygulaması ile farklı anyonların ve katyonların Kapsül_{Cyanex921}'in Cr(VI) giderim verimi üzerine olabilecek etkisi incelenmiştir. Gerçek su numunesi olarak ticari olarak satılan maden suyu kullanılmıştır. Maden suyu firmasına göre suyun kompozisyonu: pH: 5.83, florür: 0.9 mg/L, bikarbonat: 2470 mg/L, klorür:153.4 mg/L, sülfat:21.9 mg/L, kalsiyum: 49.6 mg/L, magnezyum: 16.6 mg/L, sodyum: 776 mg/L, potasyum: 10.9 mg/L ve toplam demir: 19.2 mg/L'dir. Stok Cr(VI) çözeltisi kullanılarak, gerçek su numunesinin Cr(VI) konsantrasyonu 10 mg/L (0.096 mmol/L) olacak şekilde fortifikasyon yapılmıştır. Kesikli adsorpsiyon denemeleri daha önce belirlenen en uygun şartlar altında gerçekleştirilmiştir (numune hacmi: 25 mL, çözelti pH: 1.0, temas süresi: 90 dakika, %8 Cyanex 921 içeren dispers faz ile hazırlanan kapsül miktarı: 2g/L, karıştırma hızı: 150 rpm, sıcaklık: 25 °C). Kesikli adsorpsiyon denemesi sonucunda, fortifiye edilmiş gerçek su numunesinden Cr(VI) giderim verimi %73(±2) olarak belirlenmiştir. Elde edilen bu giderim verimi, izoterm analizlerinde elde edilen giderim verimi (%75) ile uyumludur. Bu sonuç,

Kapsül_{Cyanex921}'in farklı türdeki iyonların varlığında gerçek su numunelerinden Cr(VI)'nın gideriminde matriks etkisi olmadan başarılı bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, arayüzey polimerizasyonu ile Cyanex 921 polisülfon esaslı polimerik kapsüller üzerine immobilize edilmiştir. Arayüzey polimerizasyon yaklaşımının esas amacı, özellikle daha önceki çalışmalarda ağırlıklı olarak kullanılan faz inversiyonu tekniğinde karşılaşılan ekstraksiyon ajanının giderim çalışmalarındaki kaybının önlenmesidir. Elde edilen sonuçlar, arayüzey polimerizasyon yaklaşımının, Cyanex 921'in polisülfon esaslı kapsülün üzerine immobilize edilmesinde başarılı olduğunu göstermiştir. Hazırlanan kapsüllerin karakterizasyonu aşamasında kullanılan EDX haritalama yöntemi ile arayüzey polimerizasyonu ile polisülfon üzerinde poliamid tabakasının oluştuğu, yine EDX haritalama ile hem Cyanex 921'in yüzeye immobilize edildiği hem de Cr(VI)'nın kapsüller ile giderilebileceği gösterilmiştir. Ayrıca, karakterizasyon çalışmalarında TGA tekniği ile BET yüzey alanı ve gözenek boşluk hacimleri de kullanılmıştır.

Adsorpsiyon denemelerinde hedef kirletici olarak Cr(VI) ele alınmıştır. Ön denemelerde, hazırlanan kapsülün Cr(VI)'nın sucul ortamdan giderilmesinde kullanılabilirliği görülmüştür.

Cr(VI) giderim çalışmalarında en uygun sonuçların %8'lik Cyanex 921 içeren dispers faz ile hazırlanan kapsül ile, pH 1.0'da ve 90 dakikalık temas süresi sonunda elde edildiği görülmüştür. Kinetik analizleri, adsorpsiyon verilerinin pseudo-ikinci dereceden kinetik modeli ile ifade edilebileceğini, adsorpsiyonun dengeye ulaşmasında ise hem film difüzyon modelinin hem de partikül içi difüzyon modelinin etkili olduğunu göstermiştir. İzoterm analizleri sonucunda ise Langmuir izoterm modelinin adsorpsiyon verilerini daha iyi temsil ettiğini göstermiştir. Langmuir adsorpsiyon kapasitesi 0.139 mmol/g-kapsül olarak bulunmuştur. Tekrar kullanılabilirlik denemeleri ise hazırlanan kapsülün rejenere edilebildiğini ve dört adsorpsiyon-desorpsiyon döngüsünde giderim kapasitesinde bir değişiklik olmadan kullanılabilirliğini göstermiştir. Cr(VI) ile fortifiye edilen gerçek su numunesi denemeleri ise kapsülün Cr(VI) giderim verimi üzerinde bir matriks etkisi olmadığını göstermiştir.

Sonuç olarak, arayüzey polimerizasyon tekniğinin, Cr(VI) ekstraksiyon ajanı olan Cyanex 921'in polimerik kapsül üzerine immobilize edilmesinde kullanılabilirliği, bu yöntemin daha önceki çalışmalarda kullanılan faz inversiyonu tekniğine alternatif bir yaklaşım olarak sunulabileceği ve elde edilen kapsülün düşük konsantrasyonda Cr(VI) içeren suların Cr(VI)'nın giderilmesinde başarılı bir şekilde kullanılabilirliği kanaatine varılmıştır.

Cyanex 921 dışında farklı ekstraksiyon ajanlarının arayüzey polimerizasyonu tekniği ile polimerik destek maddelerine immobilizasyonu, karakterizasyonu ve giderim çalışmalarında kullanılma potansiyellerinin araştırılması önerilebilir. Bunun dışında, kullanılan kapsülün arıtmıdan sonra su ortamından ayrılması işleminin daha kolay olması için kapsül hazırlama aşamasında magnetik nano-parçacıkların katkılanması da önerilebilir.



KAYNAKLAR

- Agrawal, A., Pal, C., and Sahu, K. K., 2008, Extractive removal of chromium (VI) from industrial waste solution, *Journal of hazardous materials*, 159(2-3), 458-464.
- Ahmed, I. M., Aly, M. I. and El Afifi, E. M., 2016, Studies on the Extraction of Cr (VI) from Chloride Solution by TBP and Cyanex 921, *Arab journal of nuclear science and applications*, 49(3), 107-119.
- Andreadakis D., Kornaros M., Gavalakis E. and Andreadakis A., 2015, Health and environmental effects of hexavalent chromium and evolution of relevant legislation, *CEST2015*, Rhodes, Greece.
- Arachchi, R.C.W. and Fernando, G.W.A.R., 2013, Reduction of chromium levels in wastewater in industrial sludge using low cost stabilization technology, *2nd Sri Lankan Roundtable on sustainable consumption and production(SLRSCP)*, Sri Lanka.
- Arslan, G., 2004, Bazı polimerik sorbentlerin toksik metaller ile sorpsiyon, iyon değiştirme ve şelatlaşma özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya
- Arslan, G., Tor, A., Muslu, H., Ozmen, M., Akin, I., Cengeloglu, Y. And Ersoz, M., 2009, Facilitated transport of Cr (VI) through a novel activated composite membrane containing Cyanex 923 as a carrier, *Journal of membrane science*, 337(1-2), 224-231.
- Aycan, H.A., 2002, Doğal malzemelerle deri fabrikalarından atılan krom(III) kirliliğinin giderilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Manisa.
- Ball, G. L. and Boettner, E. A., 1972, Volatile combustion products of polycarbonate and polysulfone, *Journal of applied polymer science*, 16(4), 855-863.
- Barassi, G., Valdés, A., Araneda, C., Basualto, C., Sapag, J., Tapia, C. and Valenzuela, F., 2009, Cr (VI) sorption behavior from aqueous solutions onto polymeric microcapsules containing a long-chain quaternary ammonium salt: kinetics and thermodynamics analysis, *Journal of hazardous materials*, 172(1), 262-268.
- Bari, M. F., Hossain, M. S., Mujtaba, I. M., Jamaluddin, S. B. And Hussin, K., 2009, Simultaneous extraction and separation of Cu (II), Zn (II), Fe (III) and Ni (II) by polystyrene microcapsules coated with Cyanex 272, *Hydrometallurgy*, 95(3-4), 308-315.
- Bedemo, A., Chandravanshi, B. S. and Zewge, F., 2016, Removal of trivalent chromium from aqueous solution using aluminum oxide hydroxide, *SpringerPlus*, 5(1), 1288.
- Bhowal, A, and Datta, S., 2001, Studies on transport mechanism of Cr (VI) extraction from an acidic solution using liquid surfactant membranes, *Journal of membrane science*, 188(1), 1-8.

- Burghoff, B., Marques, J. S., Van Lankvelt, B. M. And De Haan, A. B., 2010, Solvent impregnated resins for MTBE removal from aqueous environments, *Reactive and functional polymers*, 70(1), 41-47.
- Bryjak, M., (Eds.), 2016, Innovative materials and methods for water treatment: solutions for arsenic and chromium removal, Vol. 2, Kabay, N., Rivas, B. L. and Bundschuh, J., *CRC Press*, Leiden.
- Freundlich, H., 1907, Über die adsorption in lösungen, *Zeitschrift für physikalische Chemie*, 57(1), 385-470.
- Gübbük, İ.H., 2006, Tek moleküllü tabakaların fonksiyonelleştirilmesi ve uygulamaları, Doktora Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Gürü, M., Venedik, D. and Murathan, A., 2008, Removal of trivalent chromium from water using low-cost natural diatomite, *Journal of hazardous materials*, 160(2-3), 318-323.
- Hlihor, R. M., Apostol, L. C., Vasile, L. P., Smaranda, C., Robu, B. M., Caliman, F. A. and Gavrilescu, M., 2009, Overview on chromium occurrence in the environment and its remediation, *Buletinul Institutului Politehnic din Iasi, Chimie si Inginerie Chimică*, 60, 67-83.
- Ho, Y. S. and McKay, G., 1998, Sorption of dye from aqueous solution by peat, *Chemical engineering journal*, 70(2), 115-124.
- Jain, M., Garg, V. K. And Kadirvelu, K., 2009, Chromium (VI) removal from aqueous system using Helianthus annuus (sunflower) stem waste, *Journal of hazardous materials*, 162(1), 365-372.
- Jain, M., Garg, V. K. And Kadirvelu, K., 2010, Adsorption of hexavalent chromium from aqueous medium onto carbonaceous adsorbents prepared from waste biomass, *Journal of environmental management*, 91(4), 949-957.
- Kaprara, E., Simeonidis, K., Zouboulis, A. I. and Mitrakas, M., 2013, Evaluation of current treatment technologies for Cr (VI) removal from water sources at sub-ppb levels, *In Proceedings of the 13th International Conference on Environmental Science and Technology*, Athens, Greece (pp. 5-7).
- Karademir, A., 2016, Cyanex-923 İmmobilize Edilmiş poliester fiber ile sulu çözeltilerdeki Cr⁶⁺'nın giderilmesi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Kazak, O., Tor, A., Akin, I. and Arslan, G., 2015, Preparation of new polysulfone capsules containing Cyanex 272 and their properties for Co (II) removal from aqueous solution, *Journal of environmental chemical engineering*, 3(3), 1654-1661.

- Kazak, O., Tor, A., Akin, I. and Arslan, G., 2016, Preparation and characterization of novel polysulfone-red mud composite capsules for the removal of fluoride from aqueous solutions, *RSC Advances*, 6(89), 86673-86681.
- Kim, H. S., Kim, Y. J. and Seo, Y. R., 2015, An overview of carcinogenic heavy metal: molecular toxicity mechanism and prevention, *Journal of cancer prevention*, 20(4), 232.
- Kumral, E., 2007, Speciation of chromium in waters via sol-gel preconcentration prior to atomic spectrometric determination, Master's thesis, *İzmir Institute of Technology*, İzmir.
- Laboy-Nieves, E. N., Goosen, M. F., and Emmanuel, E. (Eds.), 2010, Environmental and human health: Risk management in developing countries, *CRC Press*, Leiden.
- Landrot, G., 2010, Kinetics and mechanisms of chromium (III) oxidation and precipitation on manganese oxides, in real-time and at the molecular level, *Proquest*, Michigan
- Langmuir, I., 1916, The constitution and fundamental properties of solids and liquids, Part I. Solids, *Journal of the American chemical society*, 38(11), 2221-2295.
- Liang, Q., Geng, J., Luo, H., Fang, W. and Yin, Y., 2017, Fast and selective removal of Cr (VI) from aqueous solutions by a novel magnetic Cr (VI) ion-imprinted polymer, *Journal of molecular liquids*, 248, 767-774.
- Liang, S., Shi, S., Zhang, H., Qiu, J., Yu, W., Li, M. and Hu, J., 2019, One-pot solvothermal synthesis of magnetic biochar from waste biomass: Formation mechanism and efficient adsorption of Cr (VI) in an aqueous solution, *Science of the total environment*, 695, 133886.
- Long, M., Zhou, C., Xia, S. and Guadisa, A., 2017, Concomitant Cr (VI) reduction and Cr (III) precipitation with nitrate in a methane/oxygen-based membrane biofilm reactor, *Chemical engineering journal*, 315, 58-66.
- Ma, X., Li, Y., Li, X., Yang, L. and Wang, X., 2011, Preparation of novel polysulfone capsules containing zirconium phosphate and their properties for Pb²⁺ removal from aqueous solution, *Journal of hazardous materials*, 188(1-3), 296-303.
- Ma, Y. X., Li, Y. F., Yang, L. Q. and Zhao, G. H., 2013, Preparation and characterization of polysulfone/graphite nanosheets composites capsules for the adsorption of phenol in aqueous solution, *Polymer composites*, 34(2), 204-213.
- McNeill, L., McLean, J., Edwards, M. and Parks, J., 2012, State of the science of hexavalent chromium in drinking water, *Water Research Foundation*, 6666, 1-35.
- Malkoc, E., Nuhoglu, Y. and Dundar, M., 2006, Adsorption of chromium (VI) on pomace-an olive oil industry waste: batch and column studies, *Journal of hazardous materials*, 138(1), 142-151.

- Miretzky, P. and Cirelli, A. F., 2010, Cr (VI) and Cr (III) removal from aqueous solution by raw and modified lignocellulosic materials: a review, *Journal of hazardous materials*, 180(1-3), 1-19.
- Moffat, I., Martinova, N., Seidel, C. and Thompson, C. M., 2018, Hexavalent chromium in drinking water, *Journal-American water works association*, 110(5), E22-E35.
- Naushad, M., 2018, Life Cycle Assessment of Wastewater Treatment, Life Cycle Assessment and Green Chemistry Series, Vera M. Kolb, *CRC Press*, Florida.
- Niu, J., Ding, P., Jia, X., Hu, G. and Li, Z., 2019, Study of the properties and mechanism of deep reduction and efficient adsorption of Cr (VI) by low-cost Fe₃O₄-modified ceramsite, *Science of the total environment*, 688, 994-1004.
- Ochoa, N. A., Illanes, C., Marchese, J., Basualto, C. and Valenzuela, F., 2006, Preparation and characterization of polymeric microspheres for Cr (VI) extraction, *Separation and purification technology*, 52(1), 39-45.
- Office of Environmental Public Health (OEPH), 2016, Chromium-Hexavalent, *Technical Bulletin - Health Effects Information*, Washington, D.C., United States of America.
- Ojovan, M. I., Lee, W. E. and Kalmykov, S. N., 2019, An introduction to nuclear waste immobilisation, *Elsevier*, Oxford.
- Owlad, M., Aroua, M. K., Daud, W. A. W. and Baroutian, S. (2009). Removal of hexavalent chromium-contaminated water and wastewater: a review. *Water, air, and soil pollution*, 200(1-4), 59-77.
- Ozcan, S., Tor, A. and Aydin, M. E., 2010, Removal of Cr (VI) from aqueous solution by polysulfone microcapsules containing Cyanex 923 as extraction reagent, *Desalination*, 259(1-3), 179-186.
- Rakhunde, R., Deshpande, L. and Juneja, H. D., 2012, Chemical speciation of chromium in water: a review, *Critical reviews in environmental science and technology*, 42(7), 776-810.
- Rathnayake, S. I., Martens, W. N., Xi, Y., Frost, R. L. and Ayoko, G. A. ,2017, Remediation of Cr (VI) by inorganic-organic clay, *Journal of colloid and interface science*, 490, 163-173.
- Saha, B. G. R. J., Gill, R. J., Bailey, D. G., Kabay, N. and Arda, M., 2004, Sorption of Cr (VI) from aqueous solution by Amberlite XAD-7 resin impregnated with Aliquat 336, *Reactive and functional polymers*, 60, 223-244.
- Sargin, İ., Arslan, G. and Kaya, M., 2016, Microfungal spores (*Ustilago maydis* and *U. digitariae*) immobilised chitosan microcapsules for heavy metal removal, *Carbohydrate polymers*, 138, 201-209.

- Singh, V. P., 2005, Metal toxicity and tolerance in plants and animals, *Sarup and sons*, New Delhi- Darya Ganj.
- Shakya, A. and Agarwal, T., 2019, Removal of Cr (VI) from water using pineapple peel derived biochars: Adsorption potential and re-usability assessment, *Journal of molecular liquids*, 293, 111497.
- Sharma, S. K., Petrushevski, B. and Amy, G., 2008, Chromium removal from water: a review, *Journal of water supply: research and technology- AQUA*, 57(8), 541-553.
- Swain, B., Mishra, C., Jeong, J., Lee, J. C., Hong, H. S. and Pandey, B. D., 2015, Separation of Co (II) and Li (I) with Cyanex 272 using hollow fiber supported liquid membrane: A comparison with flat sheet supported liquid membrane and dispersive solvent extraction process, *Chemical engineering journal*, 271, 61-70.
- United States Environmental Protection Agency (USEPA), Environmental Pollution Control alternatives: drinking water treatment for small communities, EPA/625/5-90/025, EPA/625/4-89/023, Cincinnati, USA, 1990.
- Venkateswaran, P. and Palanivelu, K., 2004 Solvent extraction of hexavalent chromium with tetrabutyl ammonium bromide from aqueous solution, *Separation and purification technology*, 40(3), 279-284.
- Wang, X.J., Li, Y. Lu, X.J, Xu, W.Y. Zhao, W. and Wang, L.G., 2016 , Fabrication and characterization of novel polyvinylidene fluoride ultrafiltration membranes for separation of cr(vi) from wastewater, *Adsorption Science and Technology*, 34(9–10) 526–537.
- Weber, W. J. and Morris, J. C., 1963, Kinetics of adsorption on carbon from solution, *Journal of the sanitary engineering division*, 89(2), 31-60.
- World Health Organization (WHO), 2019, Chromium in drinking water, Draft background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality, <https://www.who.int/water-sanitation-health/water-quality/guidelines/chemicals/draft-chromium-190924.pdf>, (erişim tarihi:26.09.2019)
- Zhitkovich, A., 2011, Chromium in drinking water: sources, metabolism, and cancer risks, *Chemical research in toxicology*, 24(10), 1617-1629.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Hasan Günay
Uyruğu : T.C
Doğum Yeri ve Tarihi : Konya-1993
Telefon : 0536 876 18 99
Faks : -
e-mail : hasangunay.cevre@gmail.com

EĞİTİM

| Derece | Adı, İlçe, İl | Bitirme Yılı |
|---------------|---|--------------|
| Lise | : Atatürk Anadolu Lisesi, Selçuklu, Konya | 2012 |
| Üniversite | : Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya | 2016 |
| Yüksek Lisans | : Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği, Meram, Konya | - |
| Doktora | : - | |

İŞ DENEYİMLERİ

| Yıl | Kurum | Görevi |
|-----------|--|------------------|
| 2017-2018 | Meram Çevre Teknolojileri Mühendislik İnşaat ve Ölçüm Hizmetleri Ticaret Limited Şirketi | Raportör |
| 2018-2019 | İmaj Çevre Yatırım Danışmanlık Mühendislik Ticaret Limited Şirketi | Çevre Danışmanı |
| 2019- | Meram Çevre Teknolojileri Mühendislik İnşaat ve Ölçüm Hizmetleri Ticaret Limited Şirketi | Analiz Sorumlusu |

YABANCI DİLLER

İngilizce