

**SULARDAKİ KROM(III) KİRLİLİĞİNİN
DİATOMİT İLE GİDERİLMESİ**

Duygu VENEDİK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ÇEVRE BİLİMLERİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HAZİRAN 2006
ANKARA**

Duygu VENEDİK tarafından hazırlanan SULARDAKİ KROM(III) KİRLİLİĞİNİN DIATOMİT İLE GİDERİLMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof.Dr. Metin GÜRÜ

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy çokluğu ile ÇEVRE BİLİMLERİ Anabilim Dalında Yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof.Dr. A. Rehber TÜRKER

Üye : Prof.Dr.Erdoğan HASDEMİR

Üye : Prof.Dr. Zeynel KILIÇ

Üye : Prof.Dr. Suna BALCI

Üye : Prof. Dr. Metin GÜRÜ

Tarih : ..21../..06../..2006..

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Duygu VENEDİK

**SULARDAKİ KROM (III) KİRLİLİĞİNİN
DİATOMİT İLE GİDERİLMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Duygu VENEDİK

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2006**

ÖZET

Sanayinin en büyük çevre sorunlarından biri de krom ve bileşiklerinin karıştığı sulardır. Bu çalışmada, atık sularda kirlilik nedeni olan kromun, adsorpsiyon yöntemi ile diatomit kullanılarak uzaklaştırılmasına çalışıldı. Yapılan çalışmada, $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ kullanılarak hazırlanan Cr^{+3} çözeltisi kullanıldı ve kesikli sistemde sorbent boyutu, sorbent miktarı, süre ve sıcaklık parametrelerinin optimum durumları belirlenmeye çalışıldı. İlk aşamada kullanılacak sorbentin özellikleri belirlendi ve diatomitin boyut ve miktarı incelendi. Bu amaçla 1,29, 1,55, 1,85 ve 2,18 mm boyutlarda ve 0,5, 1, 3, 6 ve 10 g'lık miktarlarda sorbent kullanıldı. Daha sonra temas süresinin adsorpsiyon üzerine etkisi belirlendi. Optimum temas süresinin belirlenmesi çalışmalarında 15, 30, 60, 180, 360 ve 480 dakikalık zaman dilemleri incelendi. Ardından 3 farklı sıcaklık (15, 30 ve 45°C) değeri esas alınarak sıcaklığın adsorpsiyon üzerine etkisi değerlendirildi. Deneyler sonucunda optimum olarak 30 °C sıcaklıkta 60 dakikada 1,29 mm tane boyutlu malzemelerin kullanıldığı şartlarda % 85 gibi büyük oranlarda krom, kirli sulardan uzaklaştırıldı.

Bilim Kodu : 903
Anahtar Kelimeler : Krom, Diatomit, Adsorpsiyon, Su Kirliliği
Sayfa Adedi : 68
Tez Yöneticisi : Prof.Dr. Metin GÜRÜ

**REMOVAL OF CHROMIUM (III) POLLUTION
IN WATER BY DIATOMITE**

(M.Sc. Thesis)

Duygu VENEDİK

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

June 2006

ABSTRACT

In our industry one of the biggest environmental problem is the water which is mixed chromium and its compounds. In this study the chromium which is the reason of pollution was tried to be eliminated by the absorption method using diatoma. In this study $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ solution was used and firstly discontinuous system optimization was made. In the first step specifications of the sorbent was determined for this reason proper quantity and unit examined parametrically. 4 different size and 5 different amount of sorbent was used. After then contact time to the effect of absorption was determined. The effects of the temperature to absorption was evaluated with using 3 different temperature value. As a result of the experiments Chromium was removed % 85 percentage from the waste water in conditions of using 1,29 mm grain material at 30 °C temprature for 60 minutes.

Science Code : 903
Key Words : Chromium, Diatomite, Adsorbtion, Water Pollution
Page Number : 68
Adviser : Prof.Dr. Metin GÜRÜ

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Prof. Dr. Metin GÜRÜ'ye, Arş. Gör. Serdar BENLİ'ye, Kimyager Nuri ARDIÇ'a, Uzman Adelet TUNCELİ ile Uzman Ferat ŞAHİN'e ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme ve en yakın dostum Gökay YILMAZ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca; 2001K120590 nolu proje kapsamında kurulan GİMBAM Laboratuvarları imkânlarından yararlandığımdan dolayı Devlet Planlama Teşkilatı yönetici ve uzmanlarına teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİ VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
2.1. Su Kirliliği	3
2.2. Ağır Metal Kirliliği	7
2.3. Krom ve Özellikleri	7
2.4. Atık Sularda Krom Giderme Teknikleri.....	11
2.5. Adsorpsiyon	12
2.5.1. Adsorpsiyon mekanizmaları	13
2.5.2. Adsorpsiyon izotermi	14
2.6 Atomik Adsorpsiyon Spektrometresi	19
2.6.1. AAS cihazının temel birimleri:.....	20
2.7. Diatomit.....	22
2.8. Literatür Araştırmaları	24
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	31
3.1. Cihaz Ve Malzemeler.....	31
3.2. Reaktifler.....	32

	Sayfa
3.3. Yöntem	33
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	35
4.1. Sorbent Miktarının Krom Giderimine Etkisi	35
4.2. Sorbent Boyutunun Krom Giderimine Etkisi.....	50
4.3. Temas Süresinin Krom Giderimine Etkisi	54
4.4. Sıcaklığın Krom Giderimine Etkisi.....	58
5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	62
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ.....	68

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri	5
Çizelge 2.2. İçme ve kullanma suları için toksik madde sınır değerleri	8
Çizelge 2.3. İzin verilen en yüksek deşarj sınırları	9
Çizelge 2.4. Sanayi kaynaklarına göre atık sulardaki krom(VI) derişimleri.....	10
Çizelge 2.5. Ağır metallerin TLV Değerleri	10
Çizelge 2.6. AAS’de kullanılan çeşitli alev türleri.....	21
Çizelge 2.7. Hazırlanmış diatomitin kimyasal özellikleri	23
Çizelge 3.1. Alacaatlı ocağından alınan diatomitin kimyasal özellikleri	31
Çizelge 3.2. Eleklerin özellikleri.....	32
Çizelge 3.3. Krom (III) nitrat bileşiğinin özellikleri.....	33
Çizelge 4.1. Sorbent boyutu ve miktarının tutunmaya etkisini tespit amacı ile yapılan deneylerin sonuçları ve hesaplamaları	36
Çizelge 4.2. Temas süresinin krom giderimine etkisini tesbit amacı ile yapılan deneylerin sonuçları ve hesaplamaları.....	54
Çizelge 4.3. Sıcaklığın, krom giderimine etkisini tespit amacı ile yapılan deneylerin sonuçları ve hesaplamaları	58

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Langmuir izotermi.....	16
Şekil 2.2. Freundlich izotermi	17
Şekil 2.3. Bet izotermi	18
Şekil 4.1. 1,29 mm boyutlu sorbent miktarındaki değişimin çözeltildeki krom(III) derişimine etkisi; sabit şartlar, 30 °C, 480 dakika, 45 rpm.....	38
Şekil 4.2. 1,29 mm boyutlu sorbent miktarındaki değişimin adsorplanan krom(III) derişimine etkisi; sabit şartlar, 30 °C, 480 dakika, 45 rpm.....	39
Şekil 4.3. 1,29 mm boyutlu sorbent miktarındaki değişimin tutunma verimine etkisi; sabit şartlar, 30 °C, 480 dakika, 45 rpm.....	40
Şekil 4.4. 1,55 mm boyutlu sorbent miktarındaki değişimin çözeltildeki krom(III) derişimine etkisi; sabit şartlar, 30 °C, 480 dakika, 45 rpm.....	41
Şekil 4.5. 1,55 mm boyutlu sorbent miktarındaki değişimin adsorplanan krom(III) derişimine etkisi; sabit şartlar, 30 °C, 480 dakika, 45 rpm.....	42
Şekil 4.6. 1,55 mm boyutlu sorbent miktarındaki değişimin tutunma verimi üzerine etkisi; sabit şartlar, 30 °C, 480 dakika, 45 rpm	43
Şekil 4.7. 1,85 mm boyutlu miktarındaki değişimin çözeltildeki krom(III) konsantrasyonuna etkisi; sabit şartlar, 30 °C, 480 dakika, 45 rpm.....	44
Şekil 4.8. 1,85 mm boyutlu sorbent miktarındaki değişimin adsorplanan krom(III) konsantrasyonuna etkisi; sabit şartlar, 30 °C, 480 dakika, 45 rpm	45
Şekil 4.9. 1,85 mm boyutlu sorbent miktarındaki değişimin tutunma verimi üzerine etkisi; sabit şartlar, 30 °C, 480 dakika, 45 rpm	46
Şekil 4.10. 2,18 mm boyutlu sorbent miktarındaki değişimin çözeltildeki krom(III) derişimine etkisi;sabit şartlar, 30 °C, 480 dakika, 45 rpm	47

Şekil	sayfa
Şekil 4.11. 2,18 mm boyutlu sorbent miktarındaki değişimin adsorplanan krom(III) derişimine etkisi; sabit şartlar, 30 °c, 480 dakika, 45 rpm	48
Şekil 4.12. 2,18 mm boyutlu sorbent miktarındaki değişimin tutunma verimi üzerine etkisi; sabit şartlar, 30 °c, 480 dakika, 45 rpm.....	49
Şekil 4.13. Farklı boyutlardaki sorbentlerin çözeltideki krom(III) derişimine etkisi; sabit şartlar, 30 °c, 480 dakika, 45 rpm.....	51
Şekil 4.14. Farklı boyutlardaki sorbentlerin adsorplanan krom(III) derişimine etkisi; sabit şartlar, 30 °c, 480 dakika, 45 rpm.....	52
Şekil 4.15. Farklı boyutlardaki sorbentlerin tutunma verimi üzerine etkisi	53
Şekil 4.16. Temas süresinin çözeltideki krom(III) derişimine etkisi; sabit şartlar, sorbent boyutu 1,29 mm, sorbent miktarı 6 g, 30 °c, 45 rpm	55
Şekil 4.17. Temas süresinin adsorplanan krom(III) derişimine etkisi; sabit şartlar, sorbent boyutu 1,29 mm, sorbent miktarı 6 g, 30 °c, 45 rpm	56
Şekil 4.18. Temas süresinin tutunma verimi üzerine etkisi sabit şartlar, sorbent boyutu 1,29 mm, sorbent miktarı 6 g, 30 °c, 45 rpm.....	57
Şekil 4.19. Sıcaklığın çözeltideki krom(III) konsantrasyonuna etkisi; sabit şartlar; sorbent boyutu 1,29 mm, sorbent miktarı 6 g, 60 dakika, 45 rpm.....	59
Şekil 4.20. Sıcaklığın adsorplanan krom(III) konsantrasyonuna etkisi; sabit şartlar, sorbent boyutu 1,29 mm, sorbent miktarı 6 g, 60 dakika, 45 rpm.....	60
Şekil 4.21. Sıcaklığın tutunma verimi üzerine etkisi; sabit şartlar; sorbent boyutu 1,29 mm, sorbent miktarı 6 g, 60 dakika, 45 rpm.....	61

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesi, buna bağlı olarak sanayi faaliyetlerin artması, hızlı nüfus artışı, sanayinin plansız gelişimi ve sağlıksız kentleşme gibi nedenlerle doğal kaynakların aşırı ve yanlış kullanımı sonucu oluşan çevre kirliliği doğanın özümleyebileceği miktarı aşmış ve alıcı ortamı kirlenme tehlikesiyle karşı karşıya bırakmıştır. İnsanoğlu bu yıkımın farkında olmadan veya doğadaki bu tahribatı önemsemeden kendi ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla teknolojik ve sanayi faaliyetlerine uzun zamanlardan beri devam etmektedir. Bu faaliyetler sonucunda en çok etkilenen çevre bileşeninin su olduğu saptanmıştır.

Doğanın bir bileşeni olan suların gelişen teknoloji ve sanayi faaliyetleri sonucu kirlenmesi çevre kirliliğinde en büyük sorunu teşkil etmektedir. Dünya yüzeyinin dörtte üçünün sularla kaplı olmasına rağmen, dünya su rezervinin yalnızca % 2,6 'sı tatlı su halinde bulunmaktadır. Bunun da çok büyük bir kısmı kutuplarda buzullar halinde bulunurken az bir bölümü atmosferde buhar halinde ve yerkabuğunda yüzey ve yeraltı suyu olarak yer alır [1].

Sular yeryüzünde sürekli hareket halindedir. Buna rağmen sular yalnızca kullanılır yani tüketilemez. Suların kullanılan kısımları genellikle aynı miktarlarda kirlenmiş olarak yeniden çevreye verilirler [1].

Doğadaki su ve su kaynaklarına değişik faaliyetler sonucu karışan atık maddeler su içerisindeki mikroorganizmalar tarafından ayrıştırılarak doğal bir temizleme gerçekleştirebilirler. Ancak yüksek derişimlerdeki azot, fosfor, ağır metaller, zehirli gazlar, patojenler, çözünmüş organik maddeler, radyoaktif kirleticiler ve zehirli organik bileşiklerin bulunduğu sular da çözünmüş oksijen miktarındaki azalmadan dolayı bu durum söz konusu değildir. [2]

Sanayi faaliyetleri sonucu sulara karışan bu kirleticilerden ağır metallerin yarattığı kirlilikler başta insan olmak üzere tüm canlıların hayatını önemli ölçüde tehdit etmektedir. Suda düşük konsantrasyonlarda bulunmaları halinde bile insan sağlığına zarar vererek hastalıkların yanı sıra ölümlere de yol açabilmektedirler. Eser miktarlarda bile toksik etki yapabilen bu maddelerin bazıları şunlardır: Gümüş, nikel, bakır, kadmiyum, civa, kurşun, mangan ve krom gibi elementlerdir [3].

Metal sanayi, kimya sanayi, petrol sanayi, madencilik işletmeleri, seri makine imalatı, elektrik makineleri ve teçhizatı, yedek parça sanayi, taşıt fabrikaları ve tamirhaneleri, tekstil sanayi ve tabakhaneler gibi birçok sanayinin sıvı atıklarında ağır metal kirliliğine rastlanmaktadır. Bu tür sanayilerde ağır metal kirliliğini gidermek için adsorpsiyon, kimyasal çöktürme, iyon değişimi, ters osmoz ve membran filtrasyonu arıtma işlemleri olarak kullanılmaktadır [4].

İlk olarak adsorpsiyon terimi iki yüzyıl önce ortaya çıkmış olmasına rağmen 1900' lü yılların ortalarına kadar yaygın olarak kullanıldığı gözlenmemiştir. Aktif karbon adsorpsiyonunun kullanımı ilk olarak şehir suyu arıtımıyla başlamıştır. Ancak zamanla maliyeti yüksek olan aktif karbon yerine farklı adsorbentlerin kullanım fikri doğmuş ve bunun için alternatif çözümler için çok sayıda çalışma yapılmıştır [5].

Bu çalışmada, su içindeki krom(III) iyonunun kesikli bir sistemde tabii adsorbent kullanılarak adsorpsiyonla giderme verimi araştırılacaktır. Adsorbent olarak yeryüzünde doğal halde bulunan kayaç türlerinden diatomit kullanılmıştır.

2. GENEL BİLGİ VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Su Kirliliği

Su kaynaklarında ki kirlenme, hem doğal hem de yapay yollardan meydana gelebilir. Yapay kirlenme tamamen insanların bir takım faaliyetleri sonucu oluşmaktadır. Bu faaliyetler sonucu oluşan atıklar genel olarak endüstriyel, tarımsal ve evsel olarak sınıflandırılabilir.

Endüstriyel gelişmeler sonrası, yeraltı ve yerüstü suları, göller, nehirler ve denizler, bu sulara boşaltılan atık sularla kirlenmektedir. Dünyanın birçok ülkesinde atık sular, gerekli arıtma sistemlerinin olmaması nedeniyle arıtılmadan alıcı ortama verilmekte ve bunun sonucunda doğal su kaynakları büyük ölçüde kirlenmektedir. Özellikle sanayi faaliyetleri sonucu oluşan atık suların, alıcı ortama boşaltılmasıyla suların doğal yolla arıtamayacağı bir kirlilik oluşmaktadır. Eğer bu durumun önüne geçilmezse, kirliliğin önlenemez sonuçlarıyla karşı karşıya kalınacaktır. Bu durumu özellikle körfezlerde ve su havzalarımızın bazılarında doğrudan olmasa da dolaylı olarak görmek mümkündür. Başta bölge canlıları üzerinde görülen sorunlar zamanla insan sağlığını tehdit edici boyutlara ulaşabilir [6].

Tarımsal kirlenmenin başında, sektördeki üretim miktarını artırmak amacıyla kullanılan kimyasal gübreler gelmektedir. Bunun dışında böceklerle savaşmada kullanılan kimyasal zehirler de kirlenmeye etkindir. Bu tür kimyasal maddeler başta yağmur suları ile yeraltı sularına karışırken, akıntılarla da akarsulara ulaşırlar. Kullanılan kimyasalların içeriklerindeki ağır metal veya radyoaktif maddeler düşük miktarlarda da olsa birikim etkileri nedeniyle büyük sorun yaratmaktadırlar [6].

Evsel kirlilik etmenlerinin başında kanalizasyon atıkları ve çöpler gelmektedir. Bunlar dışında deterjanlarda önemli kirlilik etmeni olarak görülmektedir. Özellikle kırsal kesimlerde kanalizasyonların içme sularına karışma oranı

suların taşıma, depolama ve kullanma şekillerine göre değişmekte ve artmaktadır. Bunun sonucu olarak bulaşıcı hastalıkların salgınları oluşmaktadır [6].

Ülkeler, su kirliliğini engellemek ve belirli sınırlar içerisinde tutmak için kanunlar çıkarmıştır. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Kıta içi su kaynaklarını kirlenme açısından dört grupta toplamıştır. I.sınıf sular bütün amaçlar için doğrudan kullanılabilmekte, II. ve III. sınıf sular arıtılarak kullanılabilmekte ve IV. Sınıf sular da sulama dahil hiçbir amaçla kullanılamamaktadır [7]. Su parametrelerinin bu kalite sınıflarına göre en yüksek değerleri Çizelge 2.1’de görülmektedir.

Çizelge 2.1. Kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri [7]

Su Kalite Parametreleri	Su Kalite Sınıfları			
A) Fiziksel ve İnorganik-Kimyasal Parametreler	I	II	III	IV
1) Sıcaklık (°C)	25	25	30	> 30
2) pH	6,5-8,5	6,5-8,5	6,0-9,0	6,0-9,0 dışında
3) Çözülmüş oksijen (mg O ₂ /L)	8	6	3	< 3
4) Oksijen doygunluğu (%)	90	70	40	< 40
5) Klorür iyonu (mg Cl ⁻ /L)	25	200	400	> 400
6) Sülfat iyonu (mg SO ₄ ⁼ /L)	200	200	400	> 400
7) Amonyum azotu (mg NH ₄ ⁺ -N/L)	0,2	1	2	> 2
8) Nitrit azotu (mg NO ₂ ⁻ -N/L)	0,002	0,01	0,05	> 0,05
9) Nitrat azotu (mg NO ₃ ⁻ -N/L)	5	10	20	> 20
10) Toplam fosfor (mg P/L)	0,02	0,16	0,65	> 0,65
11) Toplam çözülmüş madde (mg/L)	500	1500	5000	> 5000
12) Renk (Pt-Co birimi)	5	50	300	> 300
13) Sodyum (mg Na ⁺ /L)	125	125	250	> 250
B) Organik parametreler				
1) Kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) (mg/L)	25	50	70	> 70
2) Biyolojik oksijen ihtiyacı (BOİ) (mg/L)	4	8	20	> 20
3) Toplam organik karbon (mg/L)	5	8	12	> 12
4) Toplam Kjeldahl-azotu (mg/L)	0,5	1,5	5	> 5
5) Yağ ve gres (mg/L)	0,02	0,3	0,5	> 0,5
6) Metilen mavisi ile reaksiyon veren yüzey aktif maddeleri (MBAS) (mg/L)	0,05	0,2	1	> 1,5
7) Fenolik maddeler (uçucu) (mg/L)	0,002	0,01	0,1	> 0,1
8) Mineral yağlar ve türevleri (mg/L)	0,02	0,1	0,5	> 0,5
9) Toplam pestisid (mg/L)	0,001	0,01	0,1	> 0,1

Çizelge 2.1. (Devam) Kıta içi su kaynaklarının sınıflarına göre kalite kriterleri

C) İnorganik kirlenme parametreleri				
1) Civa ($\mu\text{g Hg/L}$)	0,1	0,5	2	> 2
2) Kadmiyum ($\mu\text{g Cd/L}$)	3	5	10	> 10
3) Kurşun ($\mu\text{g Pb/L}$)	10	20	50	> 50
4) Arsenik ($\mu\text{g As/L}$)	20	50	100	> 100
5) Bakır ($\mu\text{g Cu/L}$)	20	50	200	> 200
6) Krom (toplam) ($\mu\text{g Cr/L}$)	20	50	200	> 200
7) Krom ($\mu\text{g Cr}^{+6}/\text{L}$)	Ölçülmeyen ek kadar az	20	50	> 50
8) Kobalt ($\mu\text{g Co/L}$)	10	20	200	> 200
9) Nikel ($\mu\text{g Ni/L}$)	20	50	200	> 200
10) Çinko ($\mu\text{g Zn/L}$)	200	500	2000	> 2000
11) Siyanür (toplam) ($\mu\text{g CN/L}$)	10	50	100	> 100
12) Florür ($\mu\text{g F}^{-}/\text{L}$)	1000	1500	2000	> 2000
13) Serbest klor ($\mu\text{g Cl}_2/\text{L}$)	10	10	50	> 50
14) Sülfür ($\mu\text{g S}^{=}/\text{L}$)	2	2	10	> 10
15) Demir ($\mu\text{g Fe/L}$)	300	1000	5000	> 5000
16) Mangan ($\mu\text{g Mn/L}$)	100	500	3000	> 3000
17) Bor ($\mu\text{g B/L}$)	1000	1000	1000	> 1000
18) Selenyum ($\mu\text{g Se/L}$)	10	10	20	> 20
19) Baryum ($\mu\text{g Ba/L}$)	1000	2000	2000	> 2000
20) Alüminyum (mg Al/L)	0,3	0,3	1	> 1
21) Radyoaktivite (pCi/L)				
- Alfa-aktivitesi	1	10	10	> 10
- Beta-aktivitesi	10	100	100	> 100
D) Bakteriyolojik parametreler				
1) Fekal koliform($\text{EMS}/100 \text{ mL}$)	10	200	2000	> 2000
2) Toplam koliform ($\text{EMS}/100 \text{ mL}$)	100	20000	100000	> 100000

2.2. Ağır Metal Kirliliği

Sanayi atık suları içerdikleri ağır metal iyonları ile günümüzde en önemli çevre sorunlarından birini oluşturmaktadır. Ağır metal kirliliği içeren atık sular, genellikle BOI değeri düşük ve asidik sulardır. Atık suların alıcı ortama ulaşması sucul yaşamı etkilemekte ve su kaynaklarının içme suyu amaçlı kullanılması durumunda ise pahalı arıtma tekniklerinin uygulanmasını gerekli kılmaktadır. Atık sularda ağır metal bulunması evsel nitelikli atık suların arıtma verimini etkilemekte ve oluşacak çamurun özellikle tarımsal amaçlı kullanımını imkânsız hale getirmektedir. Bu nedenle ağır metal içeren sanayi atık sularının kanalizasyon sistemine deşarjı büyük önem arz etmektedir [4].

Metaller alıcı ortamlarda çökelme, indirgenme, yükseltgenme veya kompleks oluşturma gibi kimyasal olaylarla değişikliğe uğrayabilirler. Metalin kimyasal özellikleri ve konsantrasyonu ağır metal iyonlarının biyokimyasal aktivitelerine bağlıdır. Farklı organik maddelerle etkileşen metal iyonları kompleks bileşikler meydana getirirler. Bu metal kompleksler de suda tortulaşarak çökerler [5].

2.3. Krom ve Özellikleri

Çevre kirliliği açısından sorun oluşturan ağır metallerden biri de kromdur. Kromun özellikleri şu şekilde sıralanabilir:[8] [9]

Yoğunluğu	: 7,140 g/mL
Erime noktası	: 2176 °K
Kaynama noktası	: 2900 °K
Molar hacmi	: 7,23 mL/ mol
Özgül ısı	: 0,45 J g ⁻¹ K ⁻¹
Isı iletkenliği	: 0,94 W/cm K
Buharlaşıma Entalpisi	: 339 kJ mol ⁻¹
Elektronik konfigürasyonu	: [Ar].3d ⁵ .4s ¹

Elektron ilgisi : 64,3 kJ/mol

Atomik yarıçap : 1.17 Å

Krom doğal sularda (+3) değerlikli halde bulunur. Ancak $pH < 4$ olduğu zaman kararlı haldedir. Daha yüksek pH değerlerinde hidroliz olur. (+6) değerlikli krom ancak sanayi atık suları ile suya karışabilir. Cr^{+6} çok yükseltgen bir maddedir ve Cr^{+6} 'nın toksik etkisi Cr^{+3} 'ün yaklaşık yüz katı fazladır [1]. Bazı toksik maddelerin içme ve kullanma suları için sınır değerleri Çizelge 2.2 de gösterilmektedir.

Çizelge 2.2. İçme ve kullanma suları için toksik madde sınır değerleri [10]

	Kaynak Suları	İçme ve Kullanma Suları
Bileşenler	En çok	En çok
Arsenik ($\mu g / L$)	50	50
Kadmiyum ($\mu g / L$)	5	5
Siyanür ($\mu g / L$)	50	50
Krom ($\mu g / L$)	50	50
Civa ($\mu g / L$)	1	1
Nikel ($\mu g / L$)	50	50
Kurşun ($\mu g / L$)	50	50
Antimon ($\mu g / L$)	10	10
Selenyum ($\mu g / L$)	10	10

Krom içerikli atık sular alıcı ortamlara verilmeden önce uygun arıtma teknikleri kullanılarak arıtılmalıdırlar. Alıcı ortam özellikleri göz önüne alınarak tehlikeli maddeler için izin verilen en yüksek deşarj sınırları Çizelge 2.3 te verildiği gibidir.

Çizelge 2.3. İzin verilen en yüksek deşarj sınırları [11]

	İzin verilen en yüksek deşarj sınırları
Tehlikeli Madde İsimleri	Deniz, Kıyı ve Haliç Sularına
Kalay ve Kalay Bileşikleri	1,2 mg/L
Nikel ve Nikel Bileşikleri	0,1 mg/L
Kurşun ve Kurşun Bileşikleri	0,1 mg/L
Bor	3 mg/L
Krom	0,1 mg/L
Demir	0,7 mg/L
Çinko	0,003 mg/L
Arsenik	0,1 mg/L
Vanadyum	-
Alüminyum	0,07 mg/L
Brom	1 mg/L
Bakır	0,01 mg/L
Baryum	5 mg/L
Berilyum	0,015 mg/L
Kobalt	1 mg/L

Kromun zehirliliği, başta pH olmak üzere, sıcaklık yükseltgenme basamağı ve organizma türü ve yapısına bağlı olarak değişmektedir [3].

Krom metali sanayinin birçok alanında kullanılmaktadır. Bu sektörlerde kullanılan kromun birçoğunu kromatlar oluşturmaktadır. Dolayısıyla bu sektörlerin atıklarında da kromatlar (CrO_4^{-2}) ve dikromatlar ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$) gözlenmektedir. Deri sanayi, tekstil ve boyama sanayi, metal sanayi, kimya sanayi, madencilik işletmeleri, petrol sanayi bu sanayilerdendir. Bazı kaynaklarındaki atık suların krom (VI) derişimleri Çizelge 2.4'te verildiği gibidir.

Çizelge 2.4. Sanayi kaynaklarına göre atık sulardaki krom(VI) derişimleri [12]

Kaynaklar	Krom (VI) Derişimi (mg/L)
Parlatma, Daldırma, Durulama	1-6
Soğutma Kuleleri	10-60
Anot Durulama	30-100
Deri Tabaklama	40-45
Elektrokaplama	145-150
Kaplama	10 000-270 000
Anot Banyosu	15 000-52 000
Parlatma-Daldırma Banyosu	20 000-75 000

İnsanların çoğunlukla maruz kaldığı fakat kötü etkilerini yaşamadığı kirleticilerin en düşük etkilenme sınırının tespiti üzerine birkaç çalışma mevcuttur. Bu çalışma içerisinde TLV denilen kavram ile Kirleticinin Eşik Sınır Değeri belirleniyor. Krom ile ilgili Türkiye’de mevcut bir sınır değeri yoktur. Ancak Amerika Birleşik Devletleri’nde (ABD) bu konular üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Belli başlı ağır metallerin Türkiye ve Amerika Birleşik Devletleri için TLV değerleri Çizelge 2.5’te verilmiştir.

Çizelge 2.5. Ağır metallerin TLV Değerleri [13]

TLV (mg/m ³)			
	Türkiye	ABD	
Kurşun	0,15	0,05 (elementel)	0,15 (tetrametil)
Civa	0,075	0,025 (anorganik)	0,01(alkil civa)
Arsenik	0,5	0,1	0,05 (Arsin)
Kadmiyum	0,1	0,01	
Krom	Yok	0,5 (Metal ve Cr ⁺³)	0,05 (Cr ⁺⁶)
Nikel	Yok	1(metal ve bileşikleri)	0,12 (nikel karbonil)

İnsanların kromla teması ile kromun deri emilimi sonucu vücuda girmesi mümkündür. Bu şekilde emilen krom, deride yaralar şeklinde gözlenen yanıklara neden olur [14].

Krom içerikli maddelerin yutulması sonucunda özellikle mide de yaralanma ve hastalıkların oluşumu söz konusudur. İltahabik olaylar ve ülser gibi oluşumlar bunun sonuçları arasında sayılabilir [14].

Kromun vücuda girmesinin bir başka yolu da, krom toz ve buhar solumaları şeklindedir. Solunum yoluyla alınan krom öncelikle solunum yollarında, daha sonra da göz ve burun bölgesinde tahrişlere neden olmaktadır [14].

2.4. Atık Sularda Krom Giderme Teknikleri

Atık sulardaki kromun giderilmesi için birçok yöntem mevcuttur. Uygulanacak yöntemin belirlenmesinde bazı faktörleri göz önüne almak gerekmektedir. Atık suyun karakteristiği, atık su içerisinde ki krom miktarı, giderilmek istenen miktarın büyüklüğü, işletme öncesi hazırlık ve işletme maliyeti, arıtım verimi sonucu atık miktarı bu faktörler arasında sıralanabilir.

Atık sularda ki kromun giderilmesinde kullanılan bazı teknikler şunlardır [15];

Kimyasal indirgenme tekniği: Artı altı değerlikli krom ve bileşikler indirgeyici özellikteki kimyasallar kullanılarak artı üç değerlikli kroma indirgenir. Ancak bu yöntemle altı değerlikli kromun tamamını artı üç değerlikli kroma indirgeyememektedir. İndirgenen miktar, kullanılan indirgeyici bileşiğe ve reaksiyonun özelliklerine göre değişmektedir.

İyon değiştirme tekniği: İyon değiştiriciler, genellikle yukarıdan aşağıya akışlı kolon tiplerinde kullanılır. Atık suların içerisinde yer alan krom bileşiklerini gidermek için anyon değiştirici reçineler kullanılmaktadır. Reçine kapasitesi dolduğunda, tutulan iyonların uzaklaştırılması için rejenerasyon işlemi

uygulanır. Anyon değiştirici reğinede en yaygın olarak kullanılan rejenerant sodyum hidroksittir.

Ters osmoz tekniği: Ters osmoz, çözeltideki çözünmüş tuzları yarı geçirgen bir zardan yüksek basınç kullanarak geçirilmesi ve bu işlem sırasında kirleticilerin aradaki zar tarafından tutulmasına dayanan bir prosestir. Ters osmoz üniteleri uygun hidrolik kapasitenin sağlanabilmesi için genellikle paralel olarak, daha verimli bir arıtım sağlamak amacıyla seri bağlı olarak ayarlanır. Ancak bu yöntemle de bütün bileşikler tam olarak uzaklaştırılmaz. Arıtma verimi, uzaklaştırılması planlanan kirleticinin ve kullanılan membranın özelliklerine göre değişmektedir.

Adsorpsiyon tekniği: Sularda krom giderim uygulamalarından biri de düşük maliyeti, kolay bulunabilirliği ve kolay kullanımı gibi sebeplerden ötürü birçok sanayiye ve zirai atık veya sanayiye ve zirai yan ürünler ile zeolit, diatomit gibi toprak ve kil çeşitleri de adsorpsiyon uygulamaları için kullanılır.

2.5. Adsorpsiyon

Çözeltilerin dolgu maddesinin yüzeyinde seçici olarak tutulmaları sonucu meydana gelen bir ayırma işlemidir. Katı taneciğin yüzeyinde bulunan atom, iyon yada moleküller birbirlerinden farklı özellikte, yüksek bir enerji seviyesine ve yüzey aktiviteye sahip olan bir yüzey tabakaya tutunurlar. Bu yönüyle adsorpsiyondan ayrılırlar [16].

Absorpsiyon ise, madde bir fazdan diğerine dağılarak transfer olmasıdır.

Birçok fiziksel, kimyasal ve biyolojik sistemlerde adsorpsiyon olayı tercih edilmekte ve özellikle sanayi uygulamalarında su ve atık suların arıtılmasında aktif karbon sıkça kullanılmaktadır.

Aşağıda sırasıyla adsorpsiyon mekanizmaları, izotermeleri ve uygulamaları ele alınmıştır.

2.5.1. Adsorpsiyon mekanizmaları

Adsorpsiyon mekanizması temelde fiziksel adsorpsiyon ve kimyasal adsorpsiyon olarak ikiye ayrılır [17]. Bu iki tip adsorpsiyon arasındaki farklar aşağıda sıralanmıştır;

1. Fiziksel adsorpsiyonda, adsorbent ve adsorplanan moleküller arasında zayıf kuvvetler olan Van der Waals kuvvetleri etkili olup bu iki molekül arasında herhangi bir elektron alışverişi veya elektron paylaşımı söz konusu değildir. Buna karşılık, kimyasal adsorpsiyonda, adsorplanan ve adsorbent molekülleri arasında karşılıklı elektron alışverişi veya paylaşımı ile fiziksel adsorpsiyondaki bağlara göre daha kuvvetli olan kimyasal bağlar oluşmaktadır.
2. Fiziksel adsorpsiyon tamamen tersinir olup, adsorplanan moleküllerin adsorbent yüzeyinden ayrılması yani desorpsiyonu söz konusudur. Kimyasal adsorpsiyon ise kimyasal şartlar değişmedikçe tersinmez bir reaksiyondur.
3. Fiziksel adsorpsiyon, adsorbent yüzeyinde belirli noktalara sabit olmayıp, adsorplanan moleküller yüzeyin tamamı üzerinde hareket edebilir. Bu şekilde katı haldeki adsorbentlerin yüzey alanlarının ölçülmesi mümkün olmaktadır. Fakat kimyasal adsorpsiyonda, adsorplanan moleküller katı yüzeyde reaksiyona girdikleri adsorbent noktalarda kalarak kimyasal bağ oluştururlar.
4. Fiziksel adsorpsiyonda, açığa çıkan adsorpsiyon ısı 10 kcal/mol ' ün altında iken bu değer kimyasal adsorpsiyonda 40 kcal/mol ' den büyüktür.

5. Fiziksel adsorpsiyon çok tabakalı olabilirken, kimyasal adsorpsiyon, tek tabaka ile sınırlıdır. İlk tabakayı takip eden tabakalardaki tutulmalar, ancak fiziksel adsorpsiyon yolu ile oluşabilir.

6. Fiziksel adsorpsiyonun meydana gelmesi için ilave bir aktivasyon enerjisi gerekmezken, kimyasal adsorpsiyonda gerekir.

7. Fiziksel adsorpsiyonun hızı artan sıcaklık ile hızlı bir şekilde düşerken, kimyasal adsorpsiyonda adsorpsiyon hızı sıcaklık yükseldikçe artmaktadır. Katı yüzeyindeki adsorpsiyon işlemi, difüzyon kinetiğine bağlı olarak gerçekleşmektedir.

2.5.2. Adsorpsiyon izotermi

Adsorpsiyon izotermi bir yüzeye adsorbe olan adsorplanan moleküller için denge şartlarını gösterir. Genel olarak, adsorbe olan madde miktarı, adsorplanan konsantrasyonunun karmaşık bir fonksiyonudur. Adsorpsiyon izotermi, bilinen miktardaki bir adsorbent ile farklı konsantrasyonlarda adsorplanan madde çözeltilerini dengeye ulaştırarak elde edilir. Ölçümler sabit sıcaklıkta yapılır. Deney sonunda çözeltideki adsorplanan madde konsantrasyonları adsorbent fazındaki adsorplanan madde konsantrasyonlarına karşı grafiğe işlenir.

Uygulamada en çok karşılaşılan izotermi Langmuir, Freundlich ve Brunaur-Emmet-Teller (BET) izotermi [17].

- *Langmuir izotermi (1918)*: Langmuir izotermi adsorbentin yüzeyinde alıcı noktaların olduğunu kabul eder. Burada her alıcı noktanın sadece bir molekül adsorplama yapacağı kabul edilmiştir. Böylece meydana gelen tabaka bir molekül kalınlığında olur. Bunun yanında, tüm adsorpsiyon alanları, adsorplanan moleküllere karşı eşit miktarda çekim uygular ve adsorbe olan bir molekül bitişik alandaki bir başka molekülle herhangi bir etkileşim içinde

olmaz. Langmuir izotermi, katı yüzeyler üzerinde aktif adsorpsiyon alanlarında meydana gelen tutulmanın fiziksel ya da kimyasal adsorpsiyon olup olmadığını diğer izotermlere göre daha iyi açıklamaktadır.

Langmuir izoterminde adsorpsiyon, adsorplanan maddelerin başlangıç konsantrasyonu ile birlikte lineer olarak artar. En çok doyma noktasında, yüzey tek tabaka ile kaplanmakta ve yüzeye adsorbe olmuş adsorplanan madde miktarı sabit kalmaktadır.

Bu kabullerden yola çıkarak Langmuir aşağıdaki eşitliği çıkarmıştır;

$$\frac{x}{m} = \frac{K q_m C}{(1+KC)} \quad (2.1)$$

Burada;

- K ve q_m = Langmuir izotermi sabiti
- C = Adsorpsiyon tamamlandıktan sonra çözeltide kalan madde konsantrasyonu (mg/L)
- x = Adsorbe olan madde miktarı (mg veya g)
- m = Adsorbentin kütlesi (mg veya g)

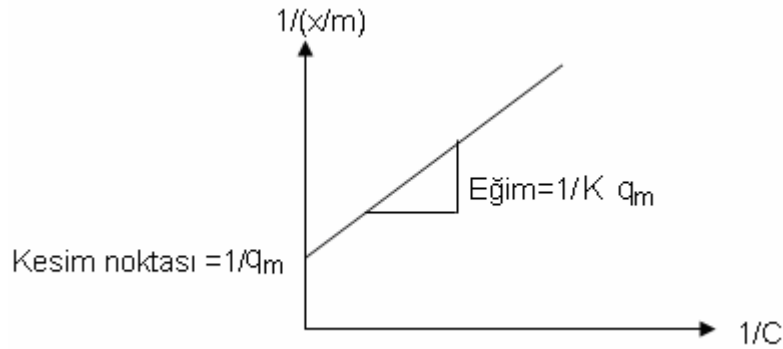
Eş. 2.1 şu şekilde düzenlenebilir;

$$\frac{1}{(x/m)} = \frac{(1 + KC)}{K q_m C} \quad (2.2)$$

veya

$$\frac{1}{(x/m)} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{(K q_m C)} \quad (2.3)$$

Sonuç olarak bir adsorpsiyon olayı Langmuir izotermine uyuyorsa $1/(x/m)$ değerine karşı $1/C$ değerleri grafiğe işlendiğinde Şekil 2.1' deki gibi bir doğru elde edilir. Buradan da K ve q_m sabit değerleri grafikteki doğru eğiminden ve doğrunun grafiği kestiği noktadan gidilerek hesaplanır.



Şekil 2.1. Langmuir izotermi

- *Freundlich izotermi*: Freundlich(1926), adsorpsiyon prosesini ifade eden bir ampirik denklem geliştirmiştir. Freundlich' e göre bir adsorbentin yüzeyi üzerinde bulunan adsorpsiyon alanları heterojendir yani farklı türdeki adsorpsiyon alanlarından teşkil edilmiştir.

Freundlich izotermi aşağıdaki şekilde ifade edilir.

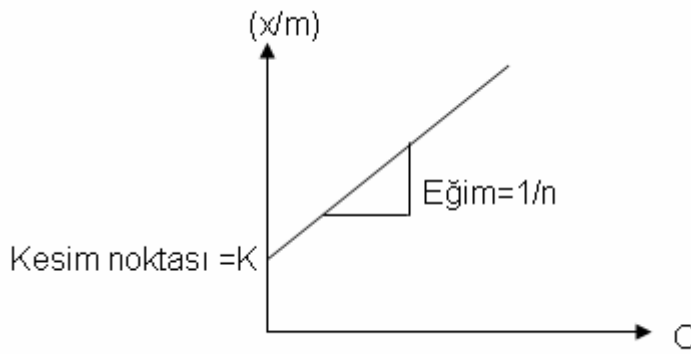
$$\frac{x}{M} = KC^{1/n} \quad (2.4)$$

- x = Adsorbe olan madde miktarı (mg veya g)
- m = Adsorbentin kütlesi (mg veya g)
- K = Freundlich izotermi sabiti
- C = Denge halindeki çözeltide adsorbent konsantrasyonu (mg/L veya mol/L)
- n = Freundlich izotermi sabiti

Freundlich denkleminin her iki tarafının logaritması alınırsa, denklem;

$$\log (x/m) = \log K + (1/n) \log C \quad (2.5)$$

şekline girer. Böylece, $\log (x/m)$ 'e karşı $\log C$ noktalandığında eğer izoterm Freundlich izotermine uyuyorsa bir Şekil 2.2'deki gibi bir doğru elde edilir. Burada n ve K sabitleri doğrunun eğimi ve eksen kesim noktalarından belirlenir. Eksenler logaritmik ölçektedir.



Şekil 2.2. Freundlich izotermi

- *Brunaur-Emmet-Teller izotermi*: 1938 yılında geliştirilen bu adsorpsiyon izotermine göre moleküller adsorbent yüzeyine birden fazla tabaka halinde adsorbe olur. BET denklemi Langmuir denkleminde olduğu gibi adsorbent yüzeyinin üniform olduğunu kabul eder. Bir adsorpsiyon alanındaki adsorpsiyon, komşu alandaki adsorpsiyona etki etmez. Buna ilaveten adsorpsiyon enerjisinin birinci tabakayı tuttuğu kabul edilmiştir. Ancak birinci tabakaya ilaveten yeni tabakaların oluşması da mümkündür. BET denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$\frac{x}{m} = \frac{A C x_m}{(C_s - C) [1 + (A - 1)C / C_s]} \quad (2.6)$$

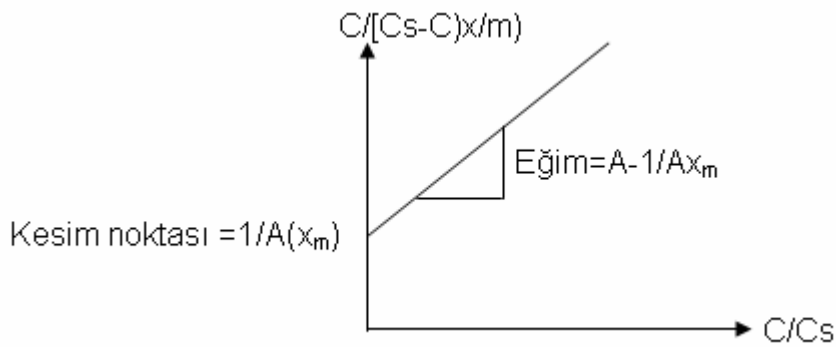
- x = Adsorbe olan madde miktarı (mg veya g)
- m = Adsorbent ağırlığı (mg veya g)
- A = Çözelti ve adsorbent yüzeyi arasındaki enerji etkileşimini ifade eden sabit

- C = Denge halindeki çözeltide adsorbent konsantrasyonu (mg/l veya mol/L)
- x_m = Birinci tabakayı tamamen teşkil için adsorbe olan çözelti miktarı (mg/g veya mol/g)
- C_s = Çözeltideki adsorbentin doygunluk konsantrasyonu (mg/l veya mol/L)

Eş. 2.5 yeniden düzenlenirse;

$$\frac{C}{[(C_s - C)x/m]} = \left[\frac{1}{A(x_m)} \right] - \left[\frac{A - 1}{Ax_m} \right] \quad (2.7)$$

elde edilir. Buradan hareketle C/C_s değerlerine karşılık $C/[(C_s - C)x/m]$ değerleri noktalandığında aşağıda Şekil 2.3'te görüldüğü gibi eğimi $A - 1/Ax_m$ olan ve kesim noktası $1/A(x_m)$ olan bir doğru elde edilir.



Şekil 2.3.BET izotermi

Langmuir, Freundlich ve BET izotermilerinin tamamı atıksu uygulamalarında adsorpsiyon verilerini analiz etmede kullanılmaktadır. Genelde, Langmuir ve BET denklemleri karışık çözelti veya seyreltik çözeltilerde Freundlich denklemindeki kadar iyi uygulanamazlar [5].

Böylece Freundlich denkleminin Çevre Mühendisliğindeki uygulamaları daha geniş yer bulmaktadır. Uygulamada ise hangi izotermin uygun olduğuna karar verirken doğrusal ilişkiyi veren denklem seçilmektedir.

2.6. Atomik Absorpsiyon Spektrometresi

Bir elementin atomlar halinde buhar fazında kendine özgü belirli dalga boylarında ışın absorplamasına atomik absorpsiyon denir. Atomlarda en dış tabaka elektronları UV veya görünür ışınlarla uyarılmış hale getirilir fakat iç tabaka elektronlarında bir değişim olmaz. UV ve görünür bölgedeki elektromanyetik ışınların, buhar halindeki atomlar tarafından absorplanması esasına dayanan AAS ile bugün 70 'in üzerinde elementi ppb-ppm konsantrasyon aralığında tayin edilebilmektedir [18].

Kuantum teorisine göre $h\nu$ enerjili bir foton atom tarafından absorplanırsa atomun temel seviyesindeki elektronlar uyarılır ve enerjisi daha büyük olan kararsız enerji seviyesine geçerler. Elektronik seviyeler arasındaki enerji farkı Planck eşitliği ile verilir.

$$E_1 - E_0 = h\nu = hc/\lambda \quad (2.8)$$

Burada ;

- E_1 = Uyarılmış seviye
 - E_0 = Temel seviye
 - h = Planck sabiti
 - c = Işık hızı
 - ν = Absorplanan ışığın frekansı
 - λ = Absorplanan ışığın dalga boyu
- dur [18].

Temel prensip: AAS tekniğinde analizi yapılan element, uygun bir alevle veya elektrotermal yoldan atom buharına dönüştürülür ve oyuk katot lambası

(OKL) gibi çizgisel bir ışın kaynağından çıkan belirli dalga boylarındaki ışın, atom buharı tarafından absorplanır. Absorpsiyon sonrası bir monokromatörden geçirilen ışık, şiddeti zayıflamış olarak dedektöre ulaşır. Ölçülen absorpsiyondan da madde konsantrasyonuna geçilir.

2.6.1. AAS cihazının temel birimleri:

1. Işın Kaynağı: Tayin edilen elementin keskin rezonans çizgisini yayınlayan kararlı bir ışık kaynağıdır [18].

Kullanılan ışık kaynakları

- Oyuk katot lambaları (OKL): Bu lambalar düşük basınçta neon veya argon gibi asal bir gazla doldurulmuş silindir biçiminde lambalardır. Buradaki katot oyuk bir silindir şeklinde ve analiz elementinden yapılmıştır. Anot ise tungsten veya nikelden yapılmıştır. Anot ile katot arasında 100-400 voltluk bir gerilim uygulandığında lambadaki asal gaz atomları iyonlaşır. Bu iyonlar, katoda çarparak yüzeydeki metal atomlarını koparır ve uyarır. Uyarılan atomlar katot elementine özgü dalgaboyundaki ışımayı yayarlar [16].

- Elektrotsuz boşalım lambaları: AAS'de uçucu elementler (As, Sb, Se, Te, Pb, Cd) için kullanılır. Bu lambaların ışık şiddetleri, OKL'na oranla birkaç kat daha fazladır [16].

- Buhar boşalım lambaları: Özellikle alkali metaller (Na, K, Cs), uçucu elementler (Cd, Hg) için kullanılır. Şiddetli çizgi emisyonu yaparlar.

- Laser kaynakları: Güçlü, kararlı, tek doğrultuda radyasyon vermeleri spektral çizgilerinin yüksek olması bu lambaları önemli kılmaktadır.

2. Atomlaştırma sistemi: Örnek çözeltisinin sabit hızla emilip püskürtüldüğü alev sistemidir.

Tayin edilecek elementin serbest atomlar haline dönüştürüldüğü düzeneklere atomlaştırıcı denilmektedir. Genel olarak AAS’de alevli ve alevsiz atomlaştırıcılar kullanılmaktadır. Alevli atomlaştırıcılarda alevin oluşturulduğu ön-karıştırmassız ve ön-karıştırmalı olmak üzere iki tür yakıcı kullanılır. AAS’de kullanılan çeşitli alev türleri Çizelge 2.6’da gösterilmiştir [18];

Çizelge 2.6. AAS’de kullanılan çeşitli alev türleri

Yanıcı gaz	Yakıcı gaz	Sıcaklık
Doğalgaz	Hava	1800 °C
Propan	Hava	1900 °C
Hidrojen	Hava	2000 °C
Asetilen	Hava	2300 °C
Hidrojen	Oksijen	2700 °C
Asetilen	diazotoksit(N_2O)	2800 °C
Asetilen	Oksijen	3100 °C

AAS’de atomlaştırıcı olarak alev dışında sistemlerde geliştirilmiştir. Bunların en önemlisi elektrotermal atomlaştırıcı olarakta adlandırılan grafit fırınlarıdır.

3. Monokromatör (Dalga Boyu Seçicisi): Spektroskopik yöntemlerin çoğunda kullanılan aletlerin üstünlüğü, doğrudan monokromatörün ayırma gücüne bağlı olduğu halde ,AAS’de bu kadar önemli değildir. AAS’nde her element için o elemente özgü ışık yayan oyuk katot lambaları kullanılır ve sonuç olarak lambanın yaydığı ışın incelenen elementin rezonans hattını diğer hatlardan ayırır [18].

4. Dedektör (Alıcı): AAS’nde ışık sinyalini elektrik sinyaline çeviren fotoçoğaltıcı tüpler kullanılır. İki görevi vardır:

- Işın enerjisini elektrik sinyaline çevirmek ,

- Elektrik sinyalini 10^6 kat büyütmek.

5. Okuma sistemi: Fotoçoğaltıcı çıkış sinyalleri, alevdeki geçirgenlikle orantılıdır. Geçirgenlik ise absorbansa

$$A = \log (1/T) \quad (2.9)$$

eşitliği ile bağlı olduğundan absorbans çevrimleri elektronik bir devre yardımıyla yapılır. Elde edilen absorbans sinyalleri, kaydedici, yazıcı veya bilgisayarda gözlenir [16].

2.7. Diatomit

Diatomit alglar sınıfından su canlıları diatomelerin silisli kabuklarının birikimi ile oluşmuş fosil karakterli bir birikim kayasıdır [19].

Diatomit tebeşir görünümünde, genellikle amorf silisten ibaret açık renkli, sertliği mohr sertlik skalasında 4- 6,5 olarak gösterilen, su ile karıştırıldığında yapışkan çamur meydana getirmeyen, parmaklar arasında kolayca ezilebilen bir maddedir.

Diatomitin genel özellikleri: Saf diatomit, opalin ve sulu silikadan teşekkül etmiş olup az miktarda inorganiklerde (alüminyum, demir, toprak mineralleri) içerir. Doğada bulunduğu şekli ile diatomit aşırı miktarda su içerir ki, bu oran %10 ile %60 arasında değişir.

Kuru diatomitin özgül ağırlığı $0,34- 0,67 \text{ g/cm}^3$ gelmektedir. Organik madde içeren yataklarda çok farklıdır. Bunların rengi çok açık renkli ten rengine gri hatta kahverengine kadar değişir. Toz haline getirilmiş diatomit ürünlerinin özgül ağırlığı $1,9- 2,35 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Amaca dönük olarak hazırlanmış olan diatomite ait kimyasal bilgiler Çizelge 2.6 'da verilmiştir.

Çizelge 2.7. Hazırlanmış diatomitin kimyasal özellikleri [19]

Bulunan Maddeler	Tabii Diatomit	Kalsine Diatomit	Beyaz Kalsine Diatomit
Silisyum Oksit	86,8	91,0	87,9
Alüminyum Oksit	4,1	4,6	5,9
Demir Oksit	1,6	1,9	1,1
Kalsiyum Oksit	1,7	1,4	1,1
Magnezyum Oksit	4,0	4,0	3,0
Kızdırma Kaybı (e)	4,6	3,0	1,0
Tayin Edilmeyen	8,0	4,0	3,6

Türkiye’de diatomit yatakları ve rezervi: Dünyanın birçok bölgesinde bulunan diatomit, ülkemizin farklı bölgelerinde de bulunmaktadır. Çeşitli amaçlara yönelik olarak kullanılabilecek nitelikte oldukça kaliteli kaynaklarımız olduğu ve toplam miktarın tahmini olarak 100 milyon tonu aştığı söylenebilir. Tespit edilebilen yataklarımızın bulunduğu iller şunlardır. Afyon, Ankara, Aydın, Balıkesir, Bingöl, Çanakkale, Çankırı, Denizli, Eskişehir, Kayseri, Konya, Kütahya, Niğde, Sivas ve Van’dır [20].

Ankara : Gürcü Köyü çevresi, Başberek Köyü çevresi
Çanakkale : Keçialan Köyü çevresi
Çankırı : Akhasan Köyü, Karaağaç Köyü, Baslak Köyü çevresi
Denizli : Karakıran Köyü, Tırkaza Köyü çevresi
Kütahya :Alayunt Köyü çevresi
Uşak : Kayagil Köyü çevresi
Kayseri : Hırka Köyü çevresi

Diatomitin kullanıldığı yerler: Diatomitin kullanma sahası özellikle gözenekliliği, ses, ısı ve elektriği iyi geçirmemesi, kimyasal maddelere karşı

dayanaklılığı, yoğunluğunun az olması sebebi ile birçok sahada kullanılmaktadır. Diatomitin sanayide kullanıldığı yerler aşağıda sıralanmıştır [20]:

- Süzme
- Doldurucu veya ilave madde,
- Ses ve ısı değişmesine karşı yalıtıcı,
- Adsorbent
- Katalizör taşıyıcısı
- Sentetik silikat imali,
- İnşaat malzemesi (Betona %3 karıştırıldığında basınç direncinin %20, çekme direncinin %10 oranında arttığı gözlenmiştir.)
- Kimyasal gübreler için sertleşmeyi önleyici unsur olarak.

Diatomit ürünlerinin en büyük kullanımı süzme işlemlerindedir. Bunu dolgu ve yalıtım uygulamaları izlemektedir. Özellikle gelişmiş ülkelerde diatomit ürünleri, sanayideki yerini almış durumdadır [20].

2.8. Literatür Araştırmaları

Krom giderimi konusunda birçok araştırma yapılmış ve özellikle uygun yöntemlerin seçimi amaçlanmıştır. Bu çalışmaların bazıları aşağıda sıralandığı gibidir:

İndirgenme

Rao and Viraraghavan, Saskat Chewan'daki Regina atıksu arıtma tesisindeki arıtım prosesinin değişik aşamalarındaki nikel, kadmiyum, krom, bakır ve çinko konsantrasyonları belirlenmiştir. Atıksuyun 24 saatlik kompozit numuneleri atomik absorpsiyon spektroskopisi ile analiz edilmiş ve arıtma tesisinin her bir aşamasındaki metal uzaklaştırma verimi araştırılmıştır. Yaptıkları çalışmada krom, bakır ve nikel için ilk çökeltme tanklarının en

yüksek uzaklaştırma verimine sahip olduğunu, havalandırılmalı havuzlarında çinko ve kadmiyum'u uzaklaştırmada çok daha etkili olduğunu göstermiştir. Arıtma tesisi % 97'lik Cd, % 87'lik Cu, % 85'lik Zn, % 84'lük Cr ve % 73'lük Ni uzaklaştırma verimlerine ulaştığı belirlenmiştir [21].

Chung ve ark., hidrojen esaslı biofilm membran reaktör kullanılarak çözünabilir kromu biyolojik indirgenme yöntemi ile sulardan uzaklaştırılmasına çalışılmıştır. Bu çalışmada en kritik işlem parametreleri olarak nitrat ve hidrojen konsantrasyonu ile çalışma pH'sı gösterilmektedir. Optimum pH'sı yaklaşık 7,0 olarak tespit edilmiştir [22].

Biosorpsiyon

Srivastava ve Thakur, deri tabakhaneleri atık sularından *Aspergillus sp.* kullanarak kromun uzaklaştırılmasına çalışmışlardır. Farklı sıcaklık ve pH'da 21 bioreaktörde yapılan çalışmalar sonucunda 3 günlük süre sonunda %70 oranında krom giderimi sağlanmıştır. Bu verimin elde edilebilmesi için uygun sıcaklık 30 °C ve pH 6'dır [23].

Aksu ve ark., iki kademeli kesikli bir reaktörde Cr (VI)'nın *Cladophora Crispata* üzerine adsorpsiyonunu incelemişlerdir. Adsorpsiyon olayını Freundlich izotermi ile açıklayan araştırmacılar her bir kademede elde ettikleri deneysel konsantrasyon değerlerini hesapladıkları değerlerle karşılaştırmışlar ve atıksulardan krom arıtımı için uygulama örnekleri önermişlerdir [24].

İleri ve Üçpırtı, metal iyonlarının ölü biyokütle tarafından sulu çözeltilerden alınmasını (biyosorpsiyon) incelemişlerdir. Bu çalışmayı, atıksulardan ağır metallerin biyosorpsiyon yöntemi ile giderilmesi konusunda alternatif olmak üzere sunmuşlardır. Yapılan çalışmada, gözenekli köpük yataklarda hareketsiz hale getirilmiş *Rhizopus Arrhizus* ile ağır metal iyonlarının uzaklaştırılması çalışılmıştır. *R. Arrhizus*'un biyosorpsiyon özellikleri sentetik

atık suda 10 mg metal / H gibi düşük konsantrasyonlardan uzaklaştırılması için çalışmışlar [25].

Adsorpsiyon

Park ve ark., biomateryal veya biomateryal tabanlı aktif karbon ile Cr^{+6} 'nın uzaklaştırma mekanizmaları üzerine çalışmışlardır. Cr(VI) 'nın asidik ortamda organik maddelerle temasında kolaylıkla Cr(III) 'e indirgendiğini ileri sürüyorlar [26].

Baran ve ark., çeşitli sorbentlerin Cr(VI) adsorpsiyonu üzerine yapılan çalışmaları bir araya getirerek karşılaştırmasını yapmışlardır. En iyi tutunmanın yaklaşık şu sürelerde meydana geldiğini belirtmişler; sitin için 50 dakika, purolite II için 40 dakika, sitosan, prolite I ve Amberlite XAD-7 için ise 30 dakika. Krom adsorpsiyonu için en uygun pH değerini de sitin ve sitosan için 3,0 olduğunu tespit etmişler. Sonuç olarak sulu çözeltilerden kromun uzaklaştırılması için en ekonomik sorbentin chitosan olduğunu ileri sürmüşler [27].

Mohan ve ark., +3 değerlikli kromun atık sulardan uzaklaştırılması için düşük maliyetli tarımsal atıklardan ve dokuma kumaşlardan türetilen aktif karbon kullanmışlar. Her iki adsorbent içinde en iyi adsorpsiyon kapasitesini 25°C'de ve 12,2- 39,56 mg/g olarak belirlemiştir [28].

Covarrubias ve ark., Kaolin ve doğal mordeniteden elde edilmiş zeolitin Cr(III) ile değiştirilmesi esasına dayanan giderim metodu kullanmışlardır. Sonuç olarak bu bileşimle elde edilen sorbentin atık sulardaki Cr(III) 'ün uzaklaştırılmasında kullanılabileceğini söylemiştir [29].

Shawabkeh, Kimyasal aktivasyonlu petrol kömüründen hazırlanan alüminasilikatlı aktif karbon kullanılarak sulu çözeltilerden krom iyonlarının adsorpsiyonu çalışmışlar. Aktivasyon prosesinde ağırlıkça %95 sülfirik asit ve

ağırlıkça % 5'lik nitrik asit kullanmışlar. Aktif karbon ve zeolitin her ikisinin mekanik gücü ve sorbsiyon özelliklerinin bir araya gelmesi ile yeni bir meteryal oluşturulmuş. Bu materyalin 1 gramı için krom uzaklaştırmadaki verim ise 92 mg olarak tespit edilmiş [30].

Randall ve ark., ağaç kabuklarını, özellikle de kıızılağaç kabuklarını adsorbent olarak kullanarak ağır metalleri tutmaya çalışmışlardır. Araştırmacılar, ağır metallerin tanenli bileşiklerdeki fenolik gruplardan gelen H^+ iyonları ile yer değiştirerek kabuk substratları ile bağlandıklarını ileri sürmüşlerdir. Randall ve arkadaşları kıızılağaç kabuğunun atık sudaki metal iyonlarının ağırlıkça %10 ila 20'sini bağlayabildiğini ve 0,1 N kuvvetli asitle metal iyonlarının sıyrılarak adsorbentlerin tekrar kullanılmak üzere rejenere edilebildiğini ortaya koymuşlardır [31].

Sharma ve Forster, sulu çözeltilerden kromun sorpsiyonu için aktif karbonun etkinliğini kesikli sistemde araştırmışlardır. Sonuçların hem Langmuir, hem de Freundlich eşitlikleri ile iyi uyum gösterdiğini ileri süren araştırmacılar En çok etkinliğin 2,5- 3 pH aralığında sağlandığını belirlemişlerdir. Adsorpsiyon kinetiğini de inceleyen araştırmacılar, sorpsiyon hızı üzerinde etkili olan tek faktörün gözenek içi difüzyonu olmadığını iddia etmişlerdir [32].

Edwards ve ark., metallerin uzaklaştırılması yönteminde adsorbent olarak amorf demir oksit kullanmışlardır. Metallerin süzülerek uzaklaştırılması işleminde, kumun demir hidroksit ile kaplanarak bir de kaplanmadan uzaklaştırmalar yapıp sonuçlar karşılaştırılmıştır. Kaplanan kumda metal uzaklaştırmalarında, hem kompleks olmayan maddelerin hem de çözünen metallerin amonyum komplekslerinin uzaklaştırmalarında çok iyi sonuçlar alınmış ve uzaklaştırılan metallerin geri kazanılmasının ve ortamın adsorpsiyon kapasitesinin yükseltilmesinin çözelti pH'sının 3 olmasıyla sağlanabileceğini vurgulamışlardır [33].

Flytianos ve ark., sulu çözelti ve tabaklama atığındaki krom (VI)'yı kesikli sistemde kül üzerine adsorbe etmişlerdir. pH 2'de optimum verime erişen araştırmacılar, sonuçların Freundlich eşitliğine uyduğunu ileri sürmüşlerdir [34].

Samantaroy ve ark., sentetik çözelti ve sanayi atıklardan Cr(VI)'nın düşük maliyetle adsorpsiyonu için meyve sakızı kullanmışlardır. Araştırmalarını kesikli sistemde gerçekleştiren ekip, adsorpsiyon üzerine süre, konsantrasyon, pH, sıcaklık ve adsorbent miktarının etkilerini incelemişlerdir. Düşük pH ve konsantrasyon şartlarında etkinliğin arttığını gözleyen araştırmacılar, siyanür iyonu varlığında etkinlikte düşme olduğunu iddia etmişlerdir. %100'lük arıtma verimine eriştiklerini ileri süren araştırmacılar Freundlich adsorpsiyon izotermine uygunluk gözlemişlerdir [35].

Tobin ve Roux, tabaklama atığındaki kromun uzaklaştırılması için sanayide üretim sonucu oluşan bir atığı kullanmışlardır. Daha yüksek pH' larda çökme etkisiyle artan değerler gözlenmesine rağmen pH 4'de 1,15 mmol/g' lık sorpsiyona erişen araştırmacılar rejenerasyon işlemini de gerçekleştirmişlerdir [36].

Min ve Hering (1999), alginik asit biyopolimerini kalsiyum ve demir ile ön işleme tabi tutarak jel bilyeler oluşturmuşlar ve bunları oksianyonik kirleticileri gidermede kullanmışlardır. Bu jelleri selenyum gidermede etkin bulan araştırmacılar, krom (VI) uzaklaştırmada aynı etkinliği gözleyemediklerini ileri sürmüşlerdir [37].

Low ve ark., sentetik çözelti ile elektrokaplama ve ahşap koruma sanayi atık sularındaki Cr (VI)'yı uzaklaştırmada pirinç kapsüllerini kullanmışlardır. Kolondaki sorpsiyon işleminin akış hızına bağlı olduğunu gözleyen araştırmacılar rejenerasyonun mümkün olduğunu, kolonun en az 5 defa kullanılabileceğini ileri sürmüşlerdir [38].

Bailey ve ark., çözeltilerdeki ağır metallerin giderilmesinde kullanılan düşük maliyetli sorbentler için bir özetleme yapmışlardır. Kabuk, zeolit, kil ve benzeri solventlerin değişik metalleri uzaklaştırmadaki etkinliklerini tartışan araştırmacılar bu kapsamda krom (VI)'yı da dikkate aldirmişlardır. Tanenli malzemede en yüksek etkinliğe Türk kahvesi ile, killerde bentonitle erişildiğini rapor eden araştırmacılar literatürdeki değişik çalışmaları dikkate alarak adsorpsiyon etkilerini özetlemişlerdir [39].

Rengaraj ve ark., Cr(III), Co(II) ve Ni(II)'in sulu çözeltilerden IRN77 katyon-değişim reçinesi üzerine adsorpsiyonunu çalışmışlardır. Adsorbent miktarı, çözeltinin pH'ı ve temas süresi gibi çeşitli deneysel parametrelerle, krom, kobalt ve nikelin yüzde giderilmesi incelenmiştir. Optimum şartlarda, % 95'ten fazla giderimin sağlandığı görülmüştür. Krom, kobalt ve nikel için adsorpsiyon kapasitesi Freundlich adsorpsiyon izoterminden hesaplanmıştır. Krom, kobalt ve nikelin bu katyon-değişim reçinesi üzerine adsorpsiyonunun ardından Lagergren kinetik modeli ile devam edilmiştir. Çoklu metallerin IRN77 reçinesi üzerine sıralı adsorpsiyonları da incelenmiştir. Çalışma, sulardan ve nükleer güç santrallerinin soğutma sularından krom, kobalt ve nikelin uzaklaştırılmasında bu katyon-değişim reçinesinin verimli bir adsorbent madde olarak kullanılabileceğini göstermiştir [40].

Sanchez ve Ayuso, Cr, Cd ve Zn'in kalsit üzerine kesikli ve kolon sorpsiyonu çalışmasını yapmışlardır. Bu çalışma, sanayiyel sularda genellikle bulunan bu elementler için giderim kapasitesinin belirlenmesi ve bir sürekli akış sisteminde temizleme filtresi olarak davranışını araştırmak için yürütülmüştür. Langmuir modelinin sorpsiyon prosesini en iyi şekilde anlattığı bulunmuştur. Sonuçlar, kalsitin sanayiyel atık suların geçerli kanunların belirlediği limit konsantrasyonların altındaki değerlere temizlenmesi için uygun olduğunu ve sorpsiyon kapasitelerinin metal tutulma sırasına göre $Cr > Zn > Cd$ şeklinde olduğunu göstermiştir. Bu metallerin kalsit üzerinde sorpsiyon mekanizmalarını belirlemek için, X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) analizleri, kalsit-Cr, kalsit-Zn, kalsit-Cd ve saf kalsit ile yapılmıştır. Sonuçlar,

Ca ile değişim yolu ile gerçekleşen Cd adsorpsiyonunun ilk basamağından sonra Cd'un kalsit yüzeyinde çökeldiğini, kalsit üzerinde Zn tutulmasının $Zn_5(OH)_6(CO_3)_2$ olarak çökeltme yoluyla gerçekleştiğini, Cr'un kalsit üzerinde oksit hidrokarbonat bir kabuk şeklinde çökeldiğini göstermiştir [41].

Monser ve Adhoum, Cu(II), Cr(VI), Zn(II) ve CN^- toksik iyonlarının, TBA (tetrabütül amonyum) ve SDDC (sodyum dietil ditiyokarbamat) ile yüzey modifikasyonu sağlanmış aktif karbon üzerine adsorpsiyonunu araştırmışlardır. Modifikasyon tekniği, karbonun giderme kapasitesini artırmakta ve böylece elektrokaplama ünitesi atık suyundan bakır, krom, çinko ve siyanür giderilmesindeki zararlı etkileri azaltır. İki adet ayrılmış sabit yataklı modifiye edilmiş aktif karbon kolonu kullanılmıştır. TBA-karbon kolonu siyanür giderimi için ve SDDC-karbon kolonu Cu, Zn ve Cr giderimi içindir. Elektrokaplama ünitesinin atık suyunda 37 mg/l Cu, 27 mg/l Zn, 9,5 mg/l Cr ve 40 mg/l CN^- bulunmaktadır. Bu su modifiye edilmiş kolonlardan geçirilmiştir. TBA-karbon kolonu kullanıldığında, siyanürün tamamının giderilmesi 29,2 mg/g karbon tutma kapasitesi ile sağlanmışır. TBA-karbon adsorbentinin normal karbonunkine göre yaklaşık 5 kat fazla, etkili bir tutma kapasitesi olduğu bulunmuştur. SDDC-karbon kolonu, Cu (4 kat), Zn (4 kat) ve Cr (2 kat) için normal karbonunkinden daha etkili bir tutma kapasitesine sahiptir [42].

Bu alışma ile sulara bulunan kromun Diatomit ile adsorblanarak uzaklaştırılması ve bu işlemi için optimum şartların belirlenmesidir.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Cihaz Ve Malzemeler

Çalışma süresince kullanılan malzeme ve cihazların özellikleri alınacak sonuçlar için önem taşımaktadır. Bu çalışmada kullanılan cihaz ve malzemeler aşağıda tanımlandığı gibidir;

Diatomit: Sorbent olarak kullanılan diatomit, Alacaatlı ocağından alınmış olup, Karayolları Genel Müdürlüğü Laboratuvarlarında XRD analizi yapılmış ve analiz sonuçları Çizelge 3.1 de verilmektedir. Diatomitin yüzey alanı ise Nova Quantachrome 2200-E marka sorptometre cihazı yardımı ile 105 °C sıcaklıkta sabit tartıma getirilmiş numunelerde analiz edilerek saptandı. Buna göre, 2,18 mm boyutlu sorbentin yüzey alanı 18,645 m²/g, 1,85 mm boyutlu sorbentin yüzey alanı 19,387 m²/g, 1,55 mm boyutlu sobentin yüzey alanı 19,994 m²/g ve 1,29 mm boyutlu sorbentin yüzey alanı 20,416 m²/g olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 3.1 Alacaatlı ocağından alınan diatomitin kimyasal özellikleri

Kimyasal özellik	Değeri
pH	8,80
Silisyum Dioksit ,SiO ₂ , %	2,60
R ₂ O ₃ (Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃)	0,15
Demir Oksit, Fe ₂ O ₃	0,00
Kükürt Trioksit, SO ₃	0,04
Alüminyum Oksit, Al ₂ O ₃	0,15
Kalsiyum Oksit, CaO	50,95
Magnezyum Oksit, MgO	5,00

Atomik Absorpsiyon Spektrometresi: Analizler PU 9285 Philips marka Atomik Absorpsiyon cihazı ile yapıldı. Analizlerde kullanılan spektrometrede Cr oyuk

katot lambası kullanıldı. Cr için çalışma şartları; dalga boyu 357,9 nm, dalga akımı 12,0 mA, bant aralığı 0,5 nm, yakıt akış hızı 1,8 L/min ve atomlaştırıcı hava/asetilen alevidir.

Öncelikle numunelerden 25 mL'lik kaplara alındı. 50 ppm'lik stok çözeltisinden 1ppm, 3ppm ve 5 ppm'lik standartlar hazırlandı. Hazırlanan bu standartlar ölçüm öncesi cihaza gönderilerek cihaz tarafından otomatik olarak kalibrasyon eğrileri çizildi. Daha sonra numuneler sırasıyla cihaza verilerek sonuçlar okundu.

Elek ve elek sarsma: Boyutlandırmada kullanılan elek ve elek sarsma aletleri GİMBAM laboratuvarlarından temin edildi. Eleklere ait özellikler Çizelge 3.2.'de verildiği gibidir.

Çizelge 3.2. Eleklerin özellikleri

Elek No	Metrik	İnç	Ortalama Tanecik Boyutu	S/N
8	2,36 mm	0,0937	>2.36 mm (Kullanılmadı)	01496656
10	2 mm	0,0787	2,18 mm	01496660
12	1,7 mm	0,0661	1,85 mm	01507082
14	1,4 mm	0,0551	1,55 mm	01419860
16	1,18 mm	0,0469	1,29 mm	01426702

Sallamalı su banyosu: Çalışma süresince Selektro marka sallamalı su banyosu kullanıldı. Kullanılan banyo, sıcaklık, süre ve sallama hızını ayarlamaya olanak veren düzeneğe sahiptir. Su banyosunda sıcaklık 0,1 °C ve sürede 1 dakika ile kontrollü olarak ayarlanabilmektedir. Ayrıca tüm deneylerde sabit olarak 45 rpm'lik karıştırma hızı alınmıştır.

3.2. Reaktifler

Krom çözeltisi: Çözelti için krom (III) nitrat ($\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) %99 saflıkta Hannover marka bileşiği kullanıldı ve 50 ppm lik derişimde stok çözelti

hazırlandı. Hazırlanan stok çözelti her deney öncesi başlangıç konsantrasyonu olan 5 ppm'e seyreltilerek deneyler gerçekleştirildi. Çözeltinin ölçülen pH'sı 6'dır. Kullanılan krom nitratın özellikleri kutusu üzerindeki etiketten alınmış ve Çizelge 3.3.'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Krom (III) nitrat bileşiğinin özellikleri

İçerik	% 99
Amonyak (NH ₃)	0,001
Demir (Fe)	0,02
Klor (Cl)	0,003
Sülfat (SO ₄)	0,03

3.3. Yöntem

Çalışmada kullanılacak diatomit, eleklerden geçirilerek tekdüze bir tanecik boyutu sağlanmaya çalışıldı. Bu işlem sonucu 16, 14, 12 ve 10 numaralı eleklerden kalan sorbentler alınarak deneysel çalışmada kullanılmak üzere sınıflandırıldı. Çizelge 3.3'te eleklerde kalan diatomitin ortalama boyutları görülebilmektedir. Buradan da görüleceği gibi çalışmalarda 2,18 mm, 1,85 mm, 1,55 mm ve 1,29 mm boyutlu sorbentler kullanıldı. Deneylerimizde bu büyüklükteki sorbentlerin su içerisindeki krom miktarını tutma oranları saptanmaya çalışıldı.

Çalışmamızda Cr(NO₃)₃.9H₂O yardımıyla kullanılarak hazırlanan krom çözeltisi kullanıldı. İlk adım olarak hazırlanan stok çözeltisinden alındı ve deneylerde kullanılmak üzere 5 ppm'e seyreltilti. 6 adet 100 mL'lik plastik pet şişelerine 50'şer mL çözelti konuldu. Daha sonra her kaba 2,18 mm boyutunda ve farklı miktarlarda diatomit ilave edildi. 1. kaba 0,5 g, 2. kaba 1 g, 3. kaba 3 g, 4. kaba 6 g, 5. kaba 10 g ilave edilerek sallamalı su banyosuna yerleştirildi. 6. kaba ise diatomit ilave edilmeyerek plastik pet şişeler tarafından mevcut bir tutunmanın olup olmadığının tespiti amaçlandı.

6. kapta diğer kaplarla beraber sallamalı su banyosuna yerleştirilerek sıcaklık 30 °C'a, sallama hızı 45 devir/dakika'ya, işlem süresi de 480 dakikaya (8 saate) ayarlandı. 480 dakikanın sonunda banyodan çıkartılan numuneler süzülerek atomik absorpsiyon spektrometresinde analiz edildi. Her analiz öncesi stok çözeltiden 1 ppm, 3 ppm ve 5 ppm'lik standart çözeltiler hazırlanarak cihaza okutuldu. Arkasından numuneler cihaza gönderildi ve elde edilen sonuçlar kaydedildi.

Bir sonraki adımda 1,85 mm'lik diatomit kullanıldı. 5 ayrı kaba alınan 50 ml'lik çözeltilerin içerisine sırasıyla 0,5 g, 1 g, 3 g, 6 g ve 10 g'lık diatomit ilave edilerek sallamalı su banyosuna yerleştirildi. 30 °C'a, 45 devir/dakika hızında, 480 dakikalık işlem sonucunda numuneler banyodan çıkartılarak süzüldü. Atomik absorpsiyon spektrometresinde analiz edilerek konsantrasyonları tespit edildi. Aynı işlem 1,55 mm ve 1,29 mm boyutundaki sorbentler için de gerçekleştirildi.

Optimum sorbent miktarının tespitinden sonra, sürenin optimizasyonu için 5 ayrı plastik kaba 5 ppm'lik, 50 mL krom çözeltisi alındı. Her bir kaba bir önceki deneyle belirlenen optimum boyut ve miktardaki sorbentten katılarak, sırasıyla 15 dakika, 30 dakika, 60 dakika, 180 dakika ve 300 dakika'lık sürelerde, 45 devir/dakika hızında ve 30 °C'a işleme bırakıldı. Her bir deney sonunda numuneler süzülerek atomik adsorpsiyon spektrometresinde analiz edildi. Bu analizler değerlendirilerek optimum temas süresi belirlendi.

Diğer deneylerle belirlenen optimizasyon şartları esas alınarak, sıcaklığın tutunmaya etkisi araştırıldı. Bu amaçla 15 °C ve 45 °C'de numuneler sallamalı su banyosunda işleme tabi tutuldu. Bu işlem sonrasında numuneler süzülerek atomik adsorpsiyon spektrometresinde analiz edildi. Bu analiz sonuçları değerlendirilerek optimum sıcaklık belirlendi.

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada atık sulardaki krom kirliliğini gidermek üzere kullanılabilecek sorbentin boyut ve miktarı, temas süresi ve sıcaklık optimizasyon deneyleri gerçekleştirilerek en yüksek krom tutunmasını sağlayan optimum şartlar belirlenmeye çalışıldı.

4.1. Sorbent Miktarının Krom Giderimine Etkisi

Atık sulardan kromun uzaklaştırılması amacıyla yapılan bu deneyler optimum adsorbent miktarının tespiti amacıyla gerçekleştirildi. Deneylerde elde edilen veriler ve buna bağlı hesaplamalarla elde edilen değerler Çizelge 4.1.'de verildiği gibidir.

Başlangıç konsantrasyonu 5 ppm iken, 1 numaralı, diatomitin kullanılmadığı (boş) deney sonucunda atomik absorpsiyon spektrometresi'nde okunan krom konsantrasyonu 3,729 ppmdir. Dolayısıyla deney kabı olan plastik pet şişeler tarafından adsorplanan miktar 1,271 ppm'dir. Bundan da anlaşılacağı gibi diğer deneylerde 1,271 ppm'lik krom adsorbent tarafından değil, plastik pet şişeler tarafından tutulmaktadır. Bu nedenle bundan sonraki deneylerimiz için başlangıç konsantrasyonu 5 ppm yerine $5 - 1,271 = 3,729$ ppm olarak alınacaktır.

Çizelge 4.1. Sorbent boyutu ve miktarının tutunmaya etkisini tespit amacı ile yapılan deneylerin sonuçları ve hesaplamaları

Deney No	Sorbent Boyutu (mm)	Sorbent Miktarı (g)	Temas Süresi (dakika)	Sıcaklık (°C)	Derişim (ppm)	Adsorplanan Cr(III) Derişimi (ppm)	Tutunma Verimi (%)
1	0,00 ¹	0,0	480	30	3,729 ²	1,271	25
2	1,29	0,5	480	30	1,641	2,088	56
3	1,29	1,0	480	30	0,665	3,064	82
4	1,29	3,0	480	30	0,133	3,596	96
5	1,29	6,0	480	30	0,000	3,729	100
6	1,29	10,0	480	30	0,000	3,729	100
7	1,55	0,5	480	30	1,299	2,430	65
8	1,55	1,0	480	30	0,621	3,108	83
9	1,55	3,0	480	30	0,221	3,508	94
10	1,55	6,0	480	30	0,073	3,656	98
11	1,55	10,0	480	30	0,000	3,729	100
12	1,85	0,5	480	30	1,218	2,511	67
13	1,85	1,0	480	30	0,826	2,903	78
14	1,85	3,0	480	30	0,305	3,424	92
15	1,85	6,0	480	30	0,217	3,512	94
16	1,85	10,0	480	30	0,142	3,587	96
17	2,18	0,5	480	30	1,479	2,250	60
18	2,18	1,0	480	30	0,916	2,813	75
19	2,18	3,0	480	30	0,458	3,271	88
20	2,18	6,0	480	30	0,325	3,404	91
21	2,18	10,0	480	30	0,216	3,513	97

¹ Deneylerde kullanılan kaplar plastik olup, mevcut kaplara olası bir tutunmanın varlığını görmek ve tespit etmek amacıyla içerisine sorbent katılmamış bir numune hazırlanarak aynı şartlarda deneyler tekrar edilmiştir.

² Boş numunenin adsorpsiyon miktarıdır. Bundan sonraki deneylerimiz için başlangıç konsantrasyonu 5 ppm 5- 1,271 = 3,729 ppm olarak alınacaktır.

Çizelge 4.1’de;

Konsantrasyon (ppm)	:Atomik Adsorpsiyon da Spektrometresinde okunan değeri
Adsorplanan Miktar (ppm):	Numune içerisinde sorbent tarafından adsorplanan miktarı
% tutunma	:Deney sonrası krom giderim verimi olarak tanımlanmıştır.

Adsorplanan miktarın (C_A) hesaplanmasında Eş. 4.1’den yararlanılmıştır.

$$C_A = C_0 - C_1 \quad (4.1)$$

% Tutunma miktarının hesaplanmasında Eş. 4.2’den yararlanılmıştır.

$$\%Tutunma = C_1 * 100 / C_0 \quad (4.2)$$

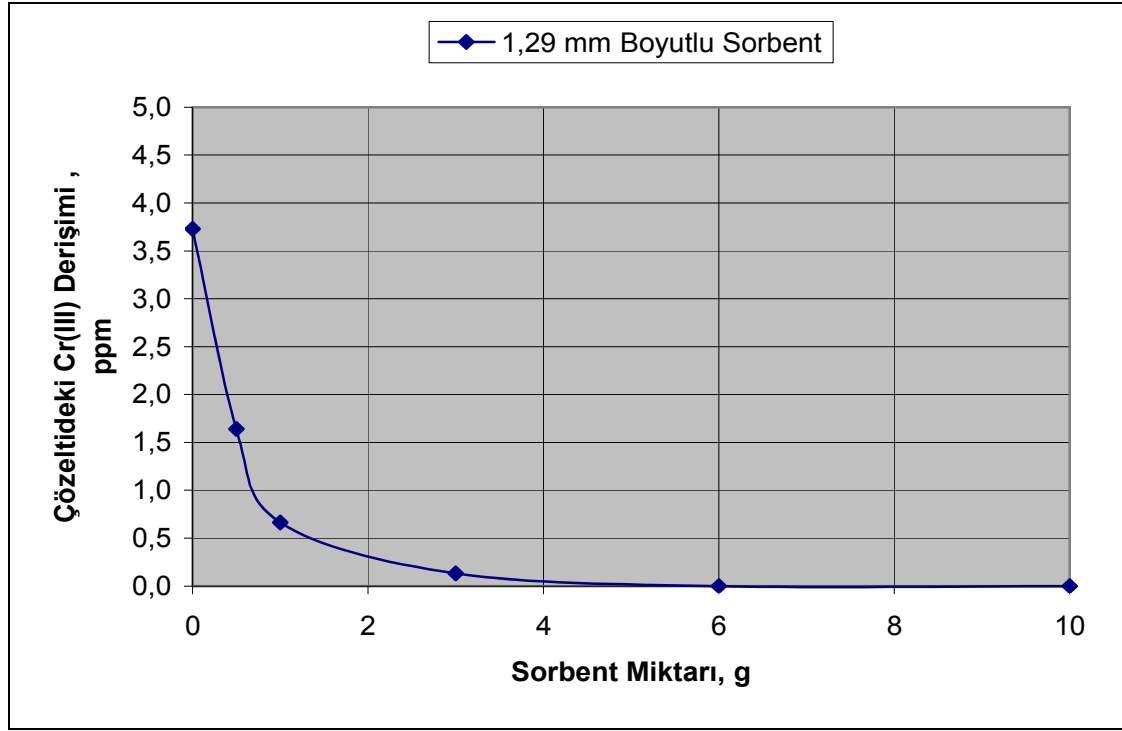
Burada;

C_0	:Başlangıçtaki krom(III) konsantrasyonunu (ppm)
C_1	:Atomik Adsorpsiyon Spektrometresinde okunan çözeltideki krom(III) konsantrasyonunu (ppm)
C_A	:Adsorblanan krom(III) derişimi (ppm)

1 numaralı deney, kullanılmış olan plastik kap üzerine bir tutunma söz konusu ise bunu tespit etmek amacı ile gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.1.’den de anlaşılacağı gibi plastik kaplar % 25 oranında kromu tutmaktadırlar.

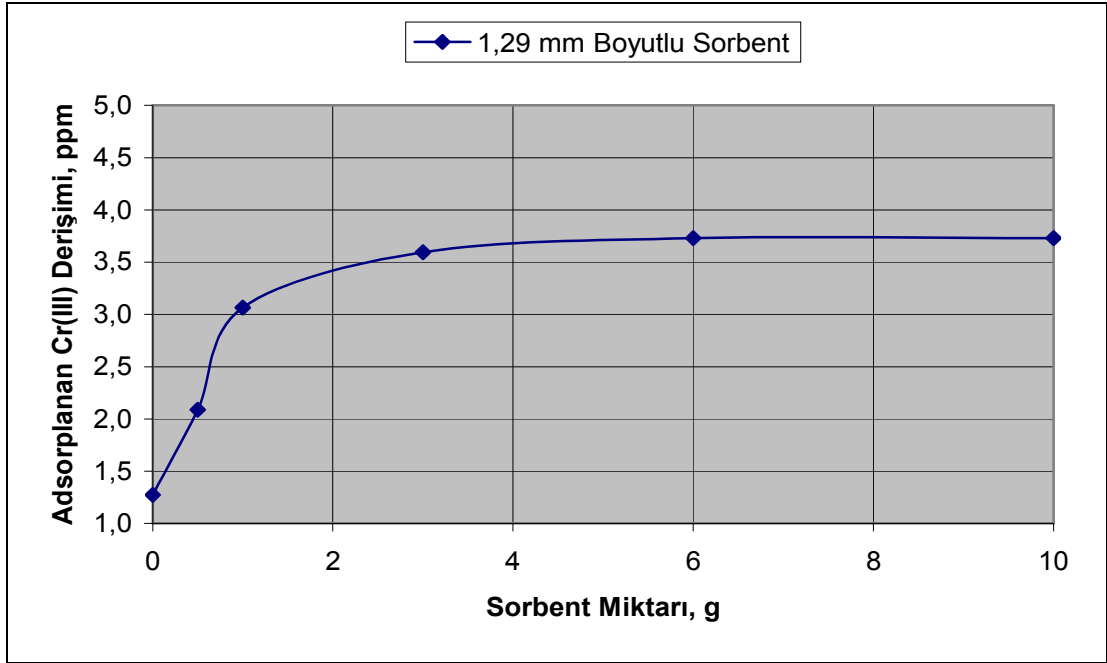
2-6 numaralı deneyler 1,29 mm boyutta ve farklı miktarlarda sorbent ile 480 dakika, 30 °C’de gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle elde edilen veriler ve yapılan hesaplamaların sonuçları grafiğe işlenmiştir. Şekil 4.1’de 1,29 mm boyutlu sorbentin farklı miktarının çözeltideki krom(III) konsantrasyonuna

etkisi, Şekil 4.2.'de 1,29 mm boyutlu sorbentin farklı miktarlarının, adsorplanan krom(III) derişimine etkisi ve Şekil 4.3.'de ise 1,29 mm boyutlu sorbentin farklı miktarlarının tutunma verimi(η) üzerine etkisi gösterilmiştir.



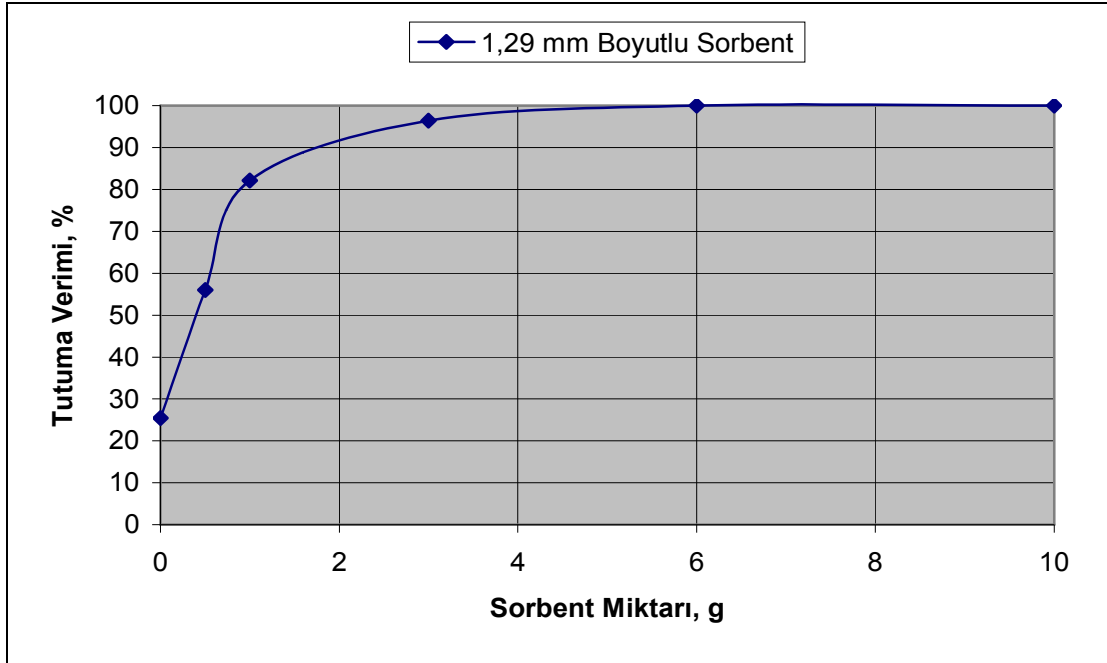
Şekil 4.1. 1,29 mm boyutlu Sorbent Miktarındaki Değişimin Çözeltildeki Krom(III) Derişimine Etkisi; Sabit Şartlar, 30 °C, 480 dakika, 45 rpm

Atomik absorpsiyon spektrometresinde okunan krom konsantrasyonu, diatomitin adsorpladığı krom miktarlarının da belirlenmesini sağlamaktadır. Başlangıç konsantrasyonundan yola çıkarak adsorplanan krom(III) derişimini Çizelge 4.1'de hesaplamıştık. Şekil 4.2'de ise grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.2. 1,29 mm boyutlu Sorbent Miktarındaki Değişimin Adsorplanan Krom(III) Derişimine Etkisi; Sabit Şartlar, 30 °C, 480 dakika, 45 rpm

İlk konsantrasyonları bilinen numunelerin mevcut tutunma verimi (η) hesaplanarak Şekil 4.3'te verilmiştir.



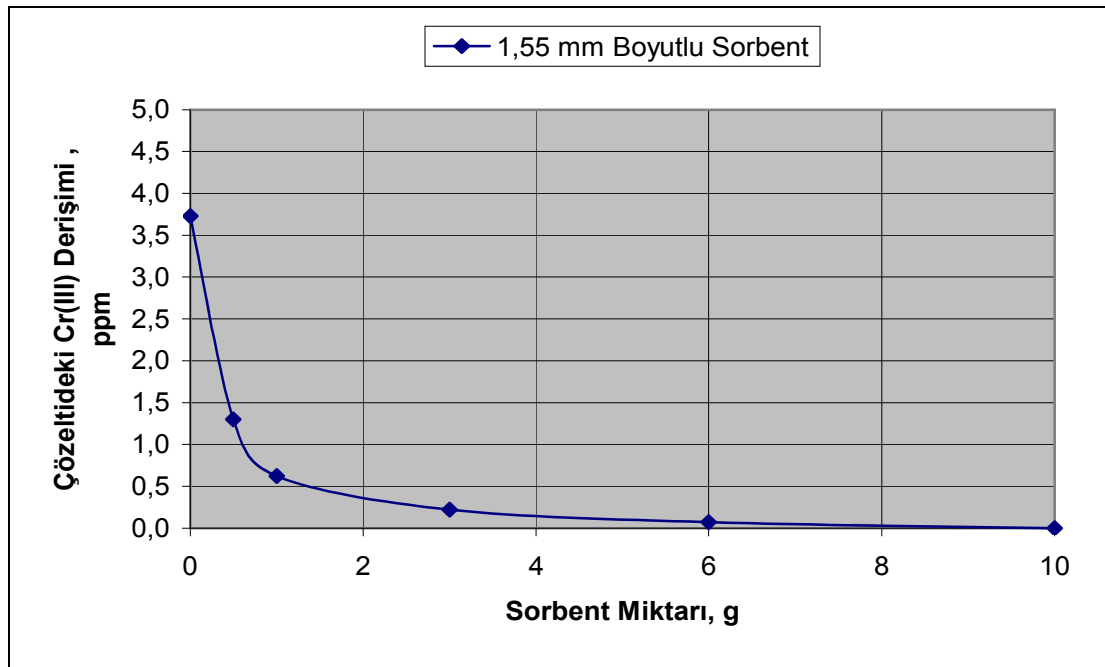
Şekil 4.3. 1,29 mm boyutlu Sorbent Miktarındaki Değişimin Tutunma Verimine Etkisi; Sabit Şartlar, 30 °C, 480 dakika, 45 rpm

Şekil 4.1'den de görüldüğü gibi kullanılan diatomitin yaklaşık 1 grama kadar olan miktarlarında çözeltideki krom konsantrasyonunda düşüş çok hızlı olup, daha yüksek miktarlarda ki sorbentlerde düşüş hızı oldukça yavaşlamaktadır. Bu yavaşlamanın çözeltideki krom(III) konsantrasyonunun, sorbent miktarına göre seyrelmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Grafikteki eğriden de anlaşılacağı gibi 5 gramdan daha yüksek sorbent miktarlarında ise tutunma % 100'e ulaşmaktadır.

1,29 mm boyutlu diatomit tarafından adsorplanan krom(III) derişimi, 6 gram ve üzeri sorbent miktarlarında % 100 olarak görülmektedir (Şekil 4.2). 1 grama kadar, tutulan krom miktarındaki artış çok hızlı olmakla beraber 1 ile 6 gram arasındaki sorbent miktarlarında azalarak artan bir eğilim göstermektedir. Çözeltideki krom(III) konsantrasyonun birim adsorbent başına giderek azalması nedeniyle bu tür bir eğilim çizdiği düşünülmektedir.

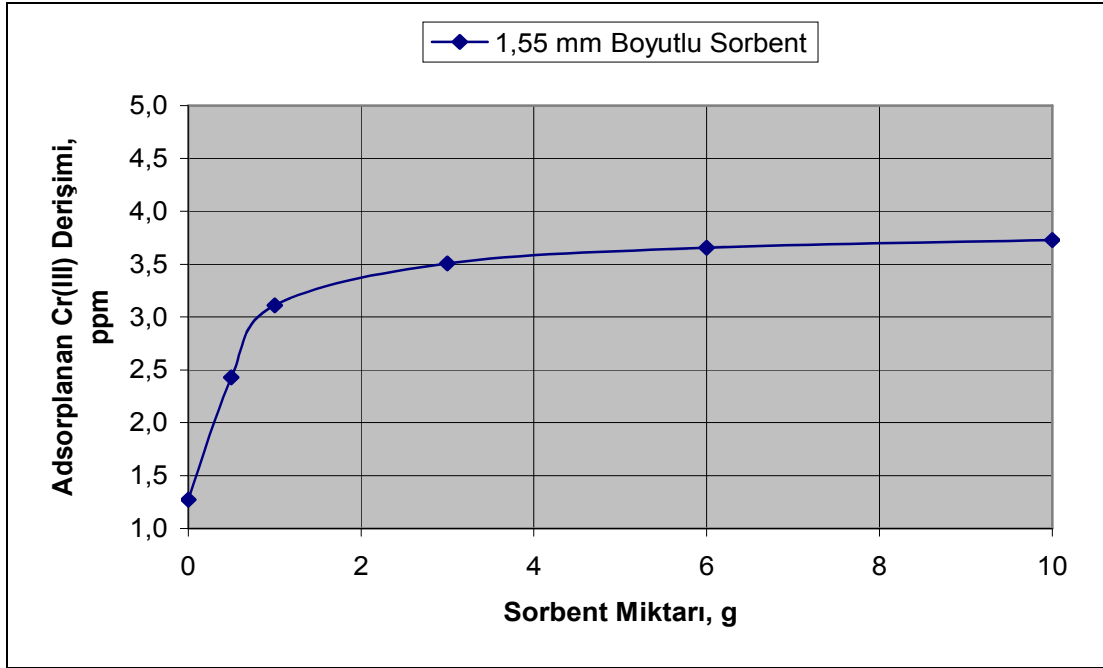
1,29 mm boyutlu sorbent miktarındaki değişimin tutunma verimi üzerindeki etkisi Şekil 4.3'te verilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı gibi tutunmanın daha fazla olduğu 1 gram diatomit, bu verim grafiğinden de takip edilebilmektedir.

7-11 numaralı deneyler 1,55 mm boyutta ve farklı miktarlarda sorbent ile 480 dakika, 30 °C'de gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle elde edilen veriler ve yapılan hesaplamaların sonuçları grafiğe işlenmiştir. Şekil 4.4.'te 1,55 mm boyutlu sorbentin farklı miktarlarının çözeltideki krom(III) konsantrasyonuna etkisi, Şekil 4.5'te 1,55 mm boyutlu sorbentin farklı miktarlarının, adsorplanan krom derişimine etkisi ve Şekil 4.6.'da 1,55 mm boyutlu sorbentin farklı miktarlarının tutunma verimi(η) üzerine etkisi gösterilmiştir.



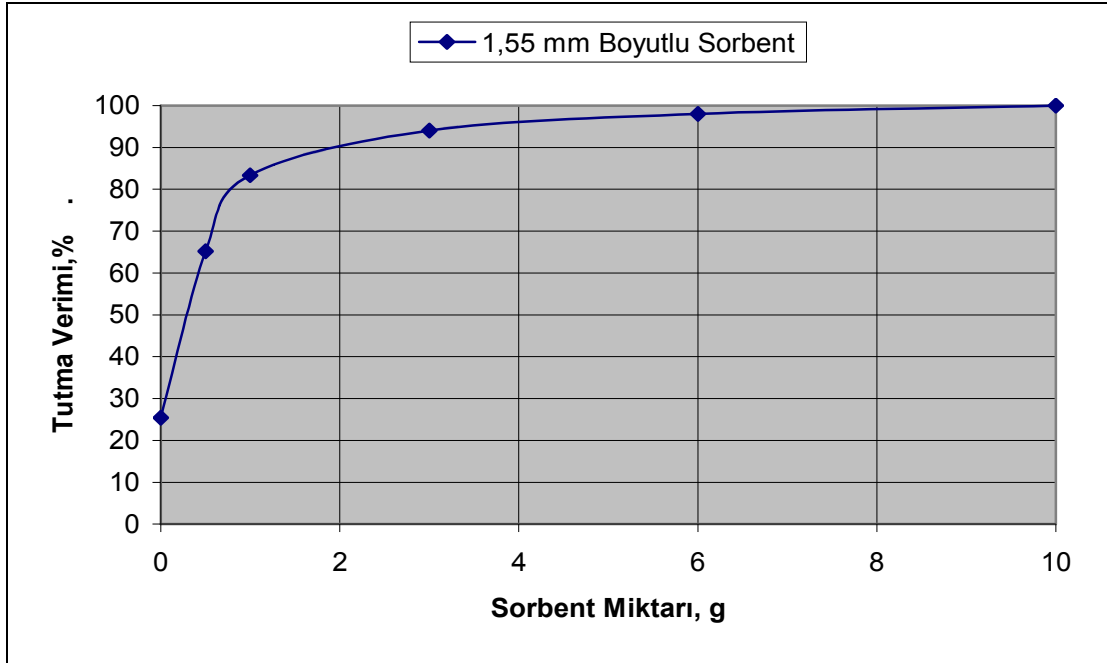
Şekil 4.4. 1,55 mm boyutlu Sorbent Miktarındaki Değişimin Çözeltideki Krom(III) Derişimine Etkisi; Sabit Şartlar, 30 °C, 480 dakika, 45 rpm

Deney sonucu elde edilen verilerin çözeltideki krom(III) konsantrasyonu üzerine etkisi Şekil 4.4'te verildiği gibidir. Buna bağlı olarak 1,55 mm boyutlu sorbent miktarındaki değişimin adsorplanan krom(III) derişimine etkisi Çizelge 4.1'de hesaplanmış ve Şekil 4.5'deki gibi grafiklenmiştir.



Şekil 4.5.1,55 mm boyutlu Sorbent Miktarındaki Değişimin Adsorplanan Krom(III) Derişimine Etkisi; Sabit Şartlar, 30 °C, 480 dakika, 45 rpm

Şekil 4.6'da, Şekil 4.5'ten yararlanılarak tutulan krom miktarının yüzde verimi hesaplanmış ve grafiğe işlenmiştir.



Şekil 4.6. 1,55 mm boyutlu Sorbent Miktarındaki Değişimin Tutunma Verimi Üzerine Etkisi; Sabit Şartlar, 30 °C, 480 dakika, 45 rpm

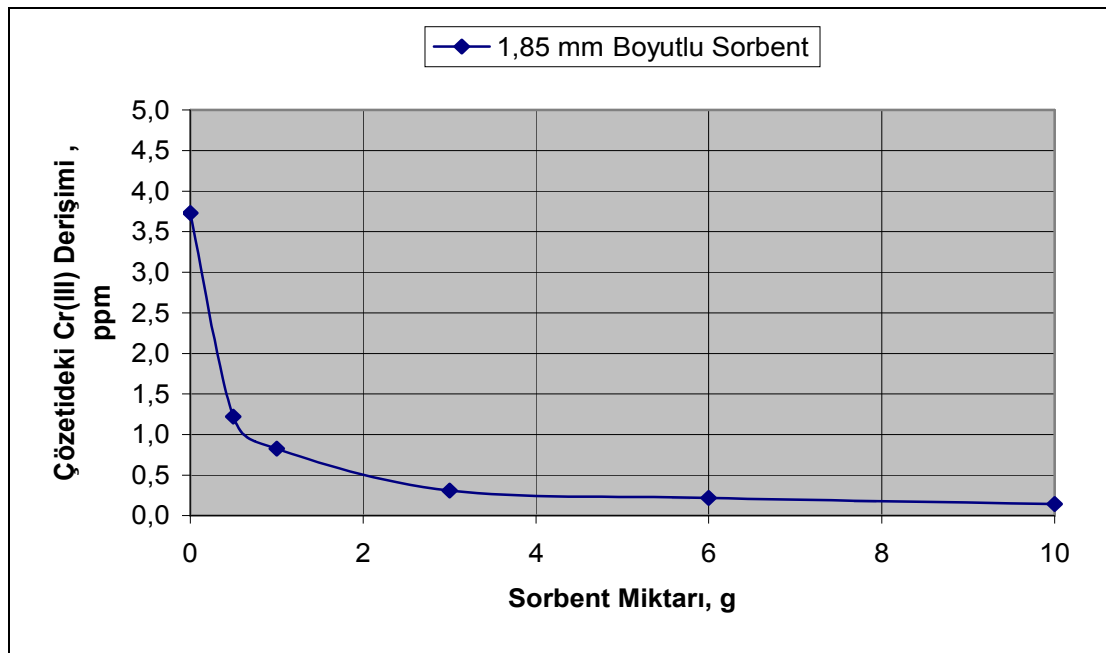
Şekil 4.4'te de 1,55 mm boyutlu sorbentin farklı miktarlarının çözeltideki krom(III) Konsantrasyonu üzerindeki etkisi hesaplanarak grafiğe işlenmiştir. Bu grafikten de görüleceği gibi krom çözelti konsantrasyonu, 1 gram sorbent miktarında oldukça hızlı bir düşüş göstermiştir. 1 ile 10 gram arasında değişen miktarlarda ki düşüş 0 ile 1 gram arasındaki kadar fazla olmamaktadır. Birim krom konsantrasyonu başına düşen adsorbent miktarı artmış olmasına rağmen çözeltideki krom(III) konsantrasyonunda gözlenen az miktardaki düşüş, birim sorbent başına düşen krom(III) konsantrasyonundaki azalma ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir.

Şekil 4.5'te adsorplanan krom(III) konsantrasyonu farklı sorbent miktarları ile değişimini gösterilmektedir. Bu grafikte de gözlenebileceği gibi 10 gr sorbent kullanılması durumunda çözeltideki tüm krom iyonlarının tutulduğu gözlenmiştir.

1,55 mm boyutlu sorbentin farklı miktarlarda kullanılması ile krom gideriminde ki verim Şekil 4.6'da görüldüğü gibi bir eğilim çizmektedir. Bu grafiğe göre 3

gram sorbent ile çözeltideki krom miktarının % 94-95 gibi büyük bir bölümü tutulmaktadır. 10 gram diatomit ile çözelti içerisindeki tüm krom iyonları tutularak % 100 verim sağlanmıştır.

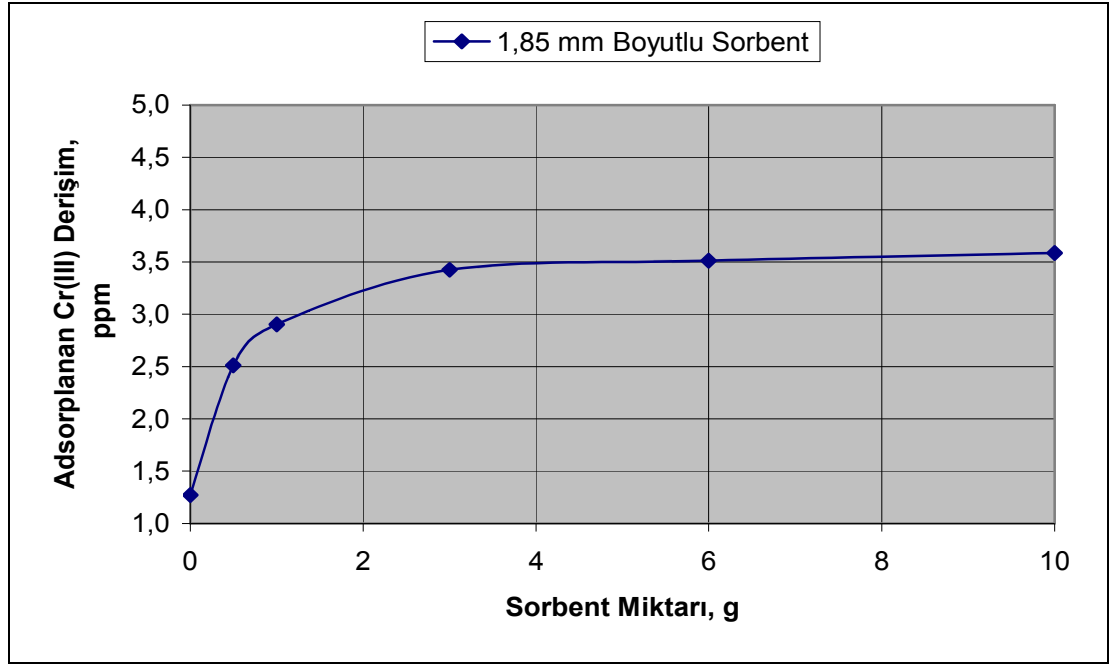
12 ile 16 numaralar arasındaki tüm deneyler 1,85 mm boyutta ve farklı miktarlarda sorbent ile gerçekleştirilmiş ve sorbent olarak kullanılan diatomitin sularda krom giderim verimi incelenmiştir. Bu deneylerdeki sabit şartlar; 480 dakika, 30 °C'dir. Yapılan 5 adet deneyin sonucu ve yapılan hesaplamalarla elde edilen değerler grafiğe işlenmiştir. Şekil 4.7.'de 1,85 mm boyutlu sorbentin farklı miktarının çözeltideki krom(III) konsantrasyonuna etkisi, Şekil 4.8'de 1,85 mm boyutlu sorbentin farklı miktarlarının adsorplanan krom(III) konsantrasyonuna etkisi ve Şekil 4.9.'da 1,85 mm boyutlu sorbentin farklı miktarlarının tutunma verimi (η) üzerine etkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.7. 1,85 mm boyutlu Miktarındaki Değişimin Çözeltideki Krom(III) Konsantrasyonuna Etkisi; Sabit Şartlar, 30 °C, 480 dakika, 45 rpm

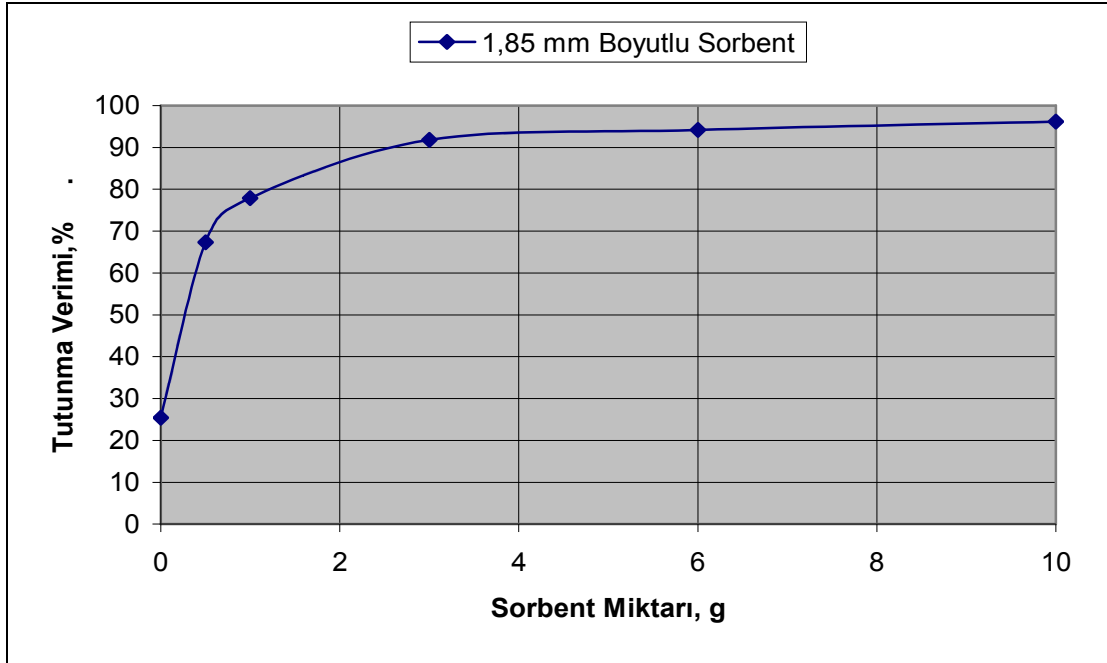
Analiz sonucunda tespit edilen krom(III) konsantrasyonu temel alınarak, adsorplanan krom(III) konsantrasyonu hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler

Çizelge 4.1’de verilmiştir. Çizelge 4.1’deki değerler esas alınarak Şekil 4.8 grafiği çizilmiştir.



Şekil 4.8.1,85 mm boyutlu Sorbent Miktarındaki Değişimin Adsorplanan Krom(III) Konsantrasyonuna Etkisi; Sabit Şartlar, 30 °C, 480 dakika, 45 rpm

Farklı sorbent miktarlarının tutunma veriminin hesaplanması için adsorplanan krom(III) konsantrasyonları dikkate alınmış ve yapılan hesaplamalar sonucunda Şekil 4.9’daki grafik çizilmiştir. Grafikteki veriler Çizelge 4.1’den alınmıştır.



Şekil 4.9.1,85 mm boyutlu Sorbent Miktarındaki Değişimin Tutunma Verimi Üzerine Etkisi; Sabit Şartlar, 30 °C, 480 dakika, 45 rpm

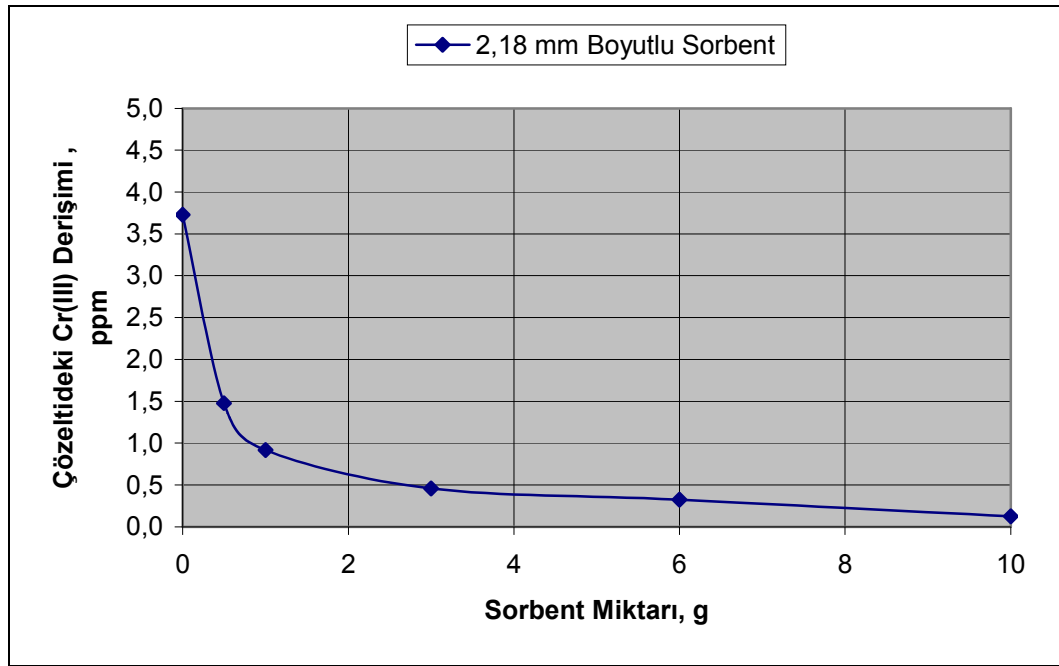
Şekil 4.7’de görüldüğü üzere 3 gram sorbent ile çözeltideki krom miktarının büyük bir bölümü tutulmuş ve konsantrasyon eğrisi 3 gramdan sonrası için hemen hemen sabit bir değere eğilim göstermiştir.

1 ile 3 gram arasındaki, adsorplanan krom(III) konsantrasyonunda büyük değişimlere sebep oldukları gözlenmiştir. Bu değişim 3 gramın üzerindeki sorbent miktarlar için izlenememektedir. 1,29 mm ve 1,55 mm boyutlu sorbentlerin 10 gramında gözlenen %100 tutunma bu bölümde 1,85 mm boyutlu sorbentte gözlenememektedir.

Tutunma verimi 3 grama kadar olan değerler için hızla artmakta ancak üzerindeki miktarlarda sabite yakın bir eğilim göstermektedir. En iyi verim 3 gramlık değerde % 92 ile yakalanmıştır.

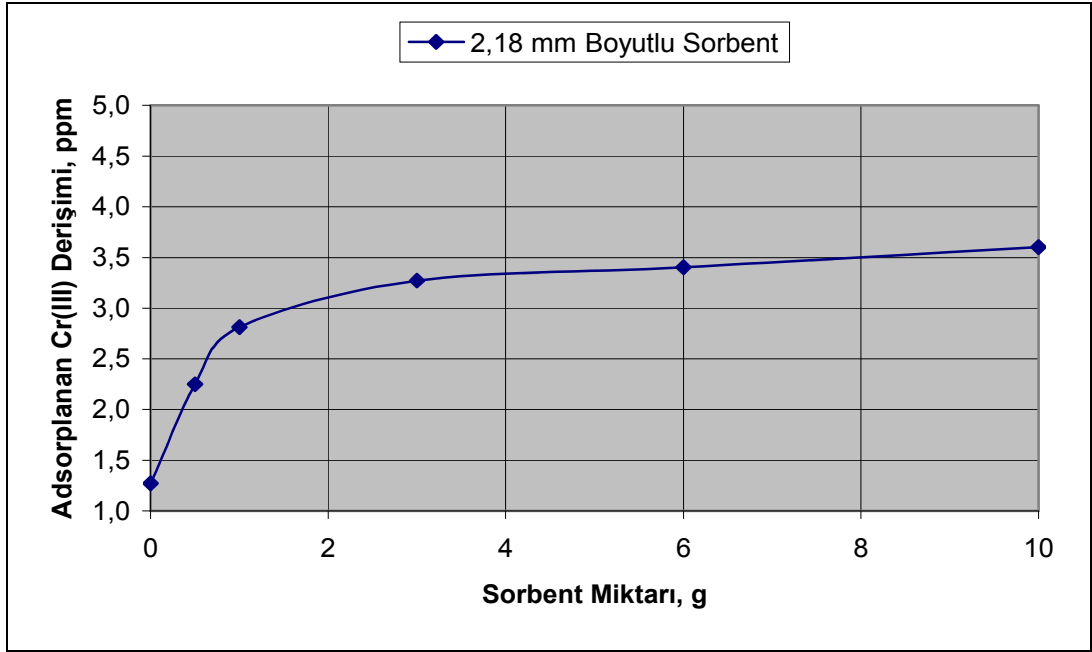
17-21 numaralı deneylerde 2,18 mm boyutlu sorbentin farklı miktarlarında krom giderim verimi incelenmiştir. Sabit şartlar diğer deneylerde olduğu gibi 480 dakika, 30 °C ve 45 rpm alınmıştır. Deneylerde elde edilen veriler ve

yapılan hesaplamaların sonuçları grafiğe işlenmiştir. Şekil 4.10.'da 2,18 mm boyutlu sorbentin farklı çözeltideki krom(III) konsantrasyonuna etkisi, Şekil 4.11'de 2,18 mm boyutlu sorbentin farklı miktarlarının adsorplanan krom(III) derişimine etkisi ve Şekil 4.12.'de 2,18 mm boyutlu sorbentin farklı miktarlarının tutunma verimi (η) üzerine etkisi gösterilmiştir.



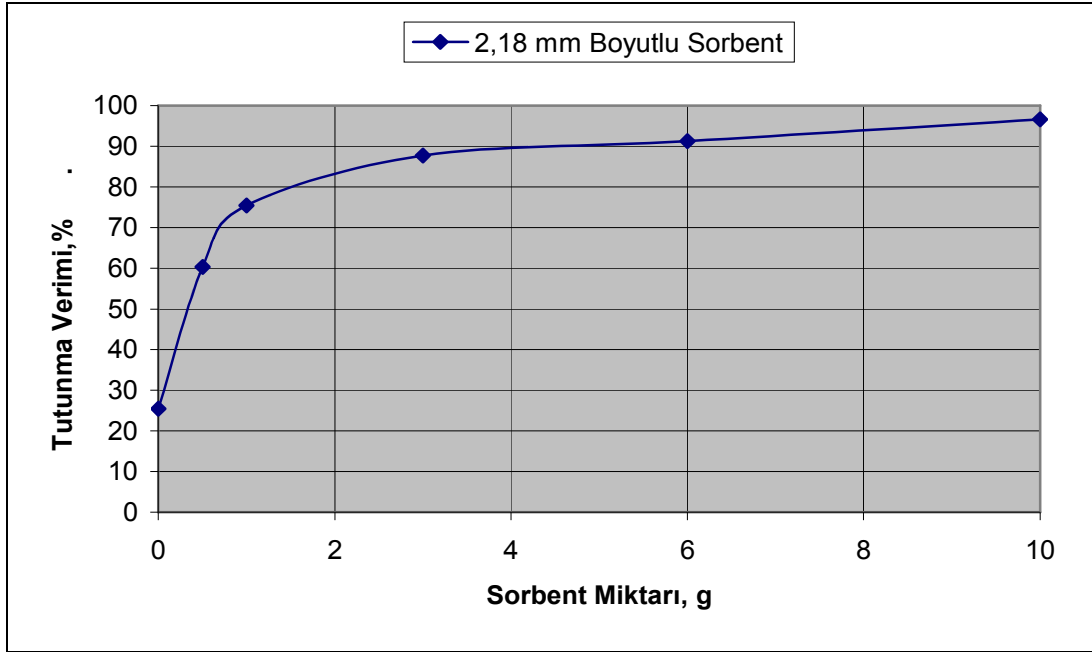
Şekil 4.10. 2,18 mm boyutlu Sorbent Miktarındaki Değişimin Çözeltideki Krom(III) Derişimine Etkisi; Sabit Şartlar, 30 °C, 480 dakika, 45 rpm

Analiz sonucu elde edilen değerler şekil 4.10'daki gibi grafiğe işlenmiştir. Krom(III) konsantrasyonunun tutulan krom(III) miktarı ile arasındaki ilişkisinden yola çıkılarak kromun, farklı sorbent miktarlarındaki adsorplanan krom(III) derişimi grafiklenerek Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11. 2,18 mm boyutlu Sorbent Miktarındaki Değişimin Adsorplanan Krom(III) Derişimine Etkisi; Sabit Şartlar, 30 °C, 480 dakika, 45 rpm

Çizelge 4.1’de görüleceği gibi adsorplanan krom(III)’ün verimi hesaplanmış ve yüzdesel değerler halinde verilmiştir. Bu değerlerin grafiğe işlenmesi sonucu Şekil 4.12 elde edilmiştir.



Şekil 4.12. 2,18 mm boyutlu Sorbent Miktarındaki Değişimin Tutunma Verimi Üzerine Etkisi; Sabit Şartlar, 30 °C, 480 dakika, 45 rpm

Şekil 4.10'da görüldüğü üzere farklı miktarlarda sorbent için çözeltideki krom(III) konsantrasyonunda farklılıklar göstermektedir. Bu farklılık özellikle %91 verimin yakalandığı 6 gram için oldukça iyi bir değerdir.

Şekil 4.11'de farklı sorbent miktarlarında adsorplanan krom(III) derişimine etkisi izlenebilmektedir. Özellikle 0 ile 3 gram arasında değişen miktarlarda, tutulan kromun daha fazla olduğu gözlenebilmektedir. 10 grama kadar bu artış devam etmekte ancak 0 ile 3 gram arasındaki tutulan miktar kadar fazla tutunma gözlenememektedir.

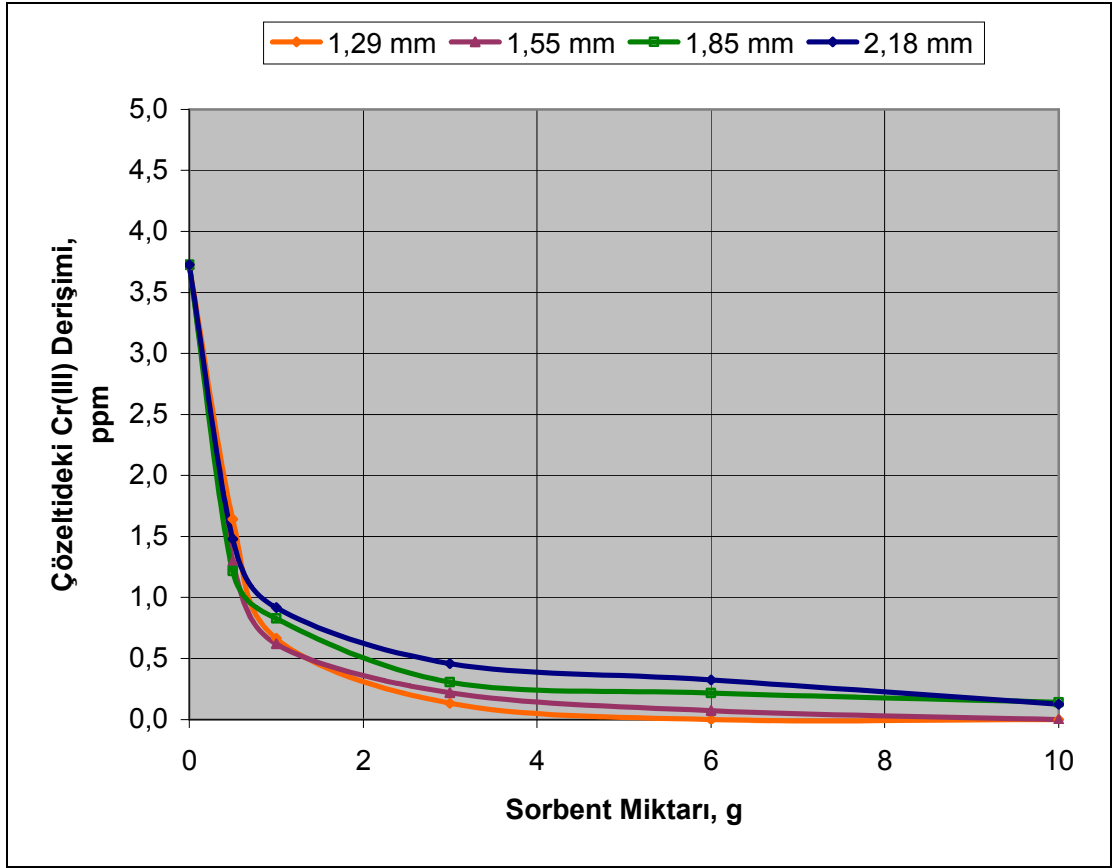
2,18 mm boyutlu sorbentin değişen miktarları için verim grafiği çizilmiştir (Şekil 4.12). Verimin, %90'ın üzerinde olduğu durum sadece 6 gramlık ve 10 gramlık sorbentlerin kullanıldığı durumlardır.

Çizelge 4.1 başta olmak üzere hazırlanan grafiklerden de anlaşılacağı gibi en uygun sorbent miktarı, hangi boyutta kullanılırsa kullanılsın %90'ın üzerinde verimin sağlandığı 6 g olarak belirlenmiştir.

4.2. Sorbent Boyutunun Krom Giderimine Etkisi

Yapılan deneyler ile optimum adsorbent boyutunun tespiti amaçlanmıştır. Deneylerde elde edilen veriler ve buna bağlı hesaplamalarla elde edilen değerler Çizelge 4.1.'de verildiği gibidir.

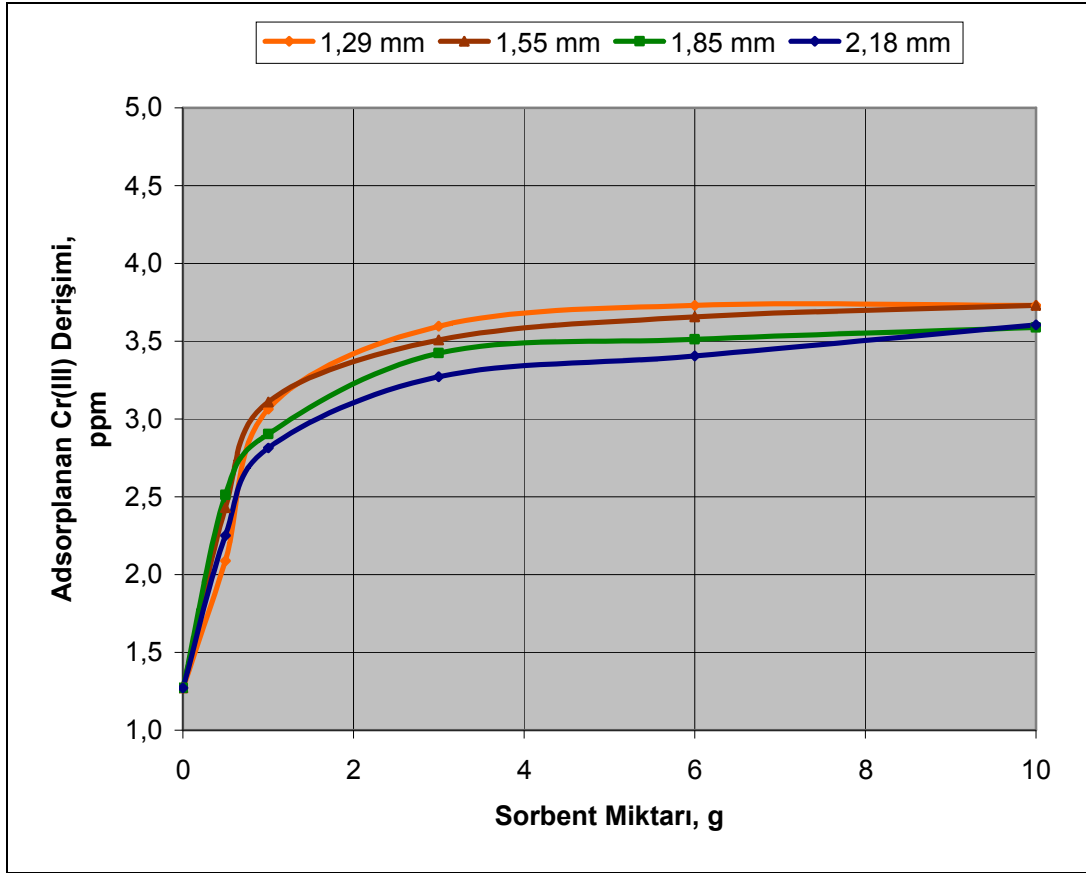
Deneyler farklı boyutlardaki sorbentler ile 480 dakika, 30 °C ve 45 rpm sallama hızında gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerle elde edilen veriler ve yapılan hesaplamaların sonuçları grafiklere işlenmiştir. Şekil 4.13.'de farklı boyuttaki sorbentlerin çözeltideki krom(III) konsantrasyonuna etkisi, Şekil 4.14'te farklı boyutlardaki sorbentlerin adsorplanan krom(III) derişimine etkisi ve Şekil 4.15'te farklı boyutlardaki sorbentlerin tutunma verimine(η) etkisi gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Farklı Boyutlardaki Sorbentlerin Çözeltideki Krom(III) Derişimine Etkisi; Sabit Şartlar, 30 °C, 480 dakika, 45 rpm

Çözeltideki krom(III) konsantrasyonu ile sorbent miktarı arasındaki ilişki Şekil 4.13'te görüldüğü gibidir. Farklı boyutlardaki sorbentlerin çözeltideki krom(III) konsantrasyonu üzerindeki etkileri hemen hemen aynı eğilimi göstermektedir. Ancak 1,29 mm boyutlu sorbent miktarı diğerlerinden farklı olarak 6 ve 10 gramlık çalışmalarda 0 ppm değerini yakalamış ve %100 'lük bir giderim sağlamışlardır.

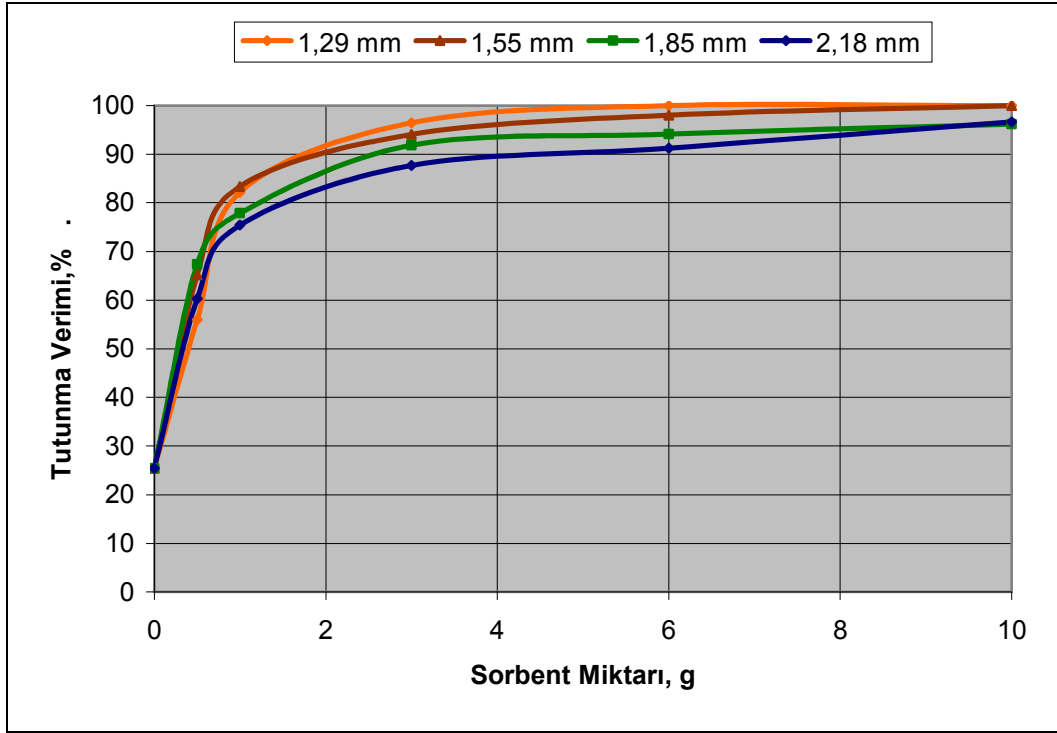
Farklı boyutlardaki sorbentlerin adsorplanan krom(III) derişimine etkisinin incelenebilmesi için Şekil 4.14'teki grafik oluşturulmuştur.



Şekil 4.14. Farklı Boyutlardaki Sorbentlerin Adsorplanan Krom(III) Derişimine Etkisi; Sabit Şartlar, 30 °C, 480 dakika, 45 rpm

Adsorplanan krom(III) derişimi ile çözeltideki krom(III) konsantrasyonu arasındaki ilişki Şekil 4.14'te izlendiği gibidir. 1,29 mm boyutlu sorbentin ortalama olarak diğerlerine göre daha yüksek oranlarda kromu tuttuğu gözlenmiştir.

Farklı boyutlardaki sorbentlerin krom tutma verimleri çizelge 4.1'de verilmiştir. Çizelge 4.1'den alınan değerler ile Şekil 4.14'teki grafik oluşturulmuştur.



Şekil 4.15. Farklı Boyutlardaki Sorbentlerin Tutunma Verimi Üzerine Etkisi

Krom tutma verimi üzerine yapılan çalışmalar doğrultusunda Şekil 4.15' te görülen grafik çizilmiştir. Grafiğe göre 1,29 mm boyutlu sorbentin tutma veriminin diğerlerinden daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Krom giderim amacıyla yapılmış olan bu çalışmada optimum adsorbent boyutu olarak 1,29 mm tane boyutuna sahip sorbentin en iyi tutunmayı sağladığı saptandı. Tane boyutunun küçülmesi ile yüzey alanının arttığı bilinmektedir. Ancak daha önce sorbentin farklı boyutlarının toplam yüzey alanları ölçülmüş ve aralarında fazla fark olmadığı gözlenmişti. Aralarında fazla fark olmamasına rağmen küçük taneli sorbentin daha fazla adsorbe ettiği tesbit edilmiştir. Tanecik boyutu küçük olan sorbentin diğer boyuttaki sorbentlere oranla daha az miktarlarda kullanılarak %100 verimin yakalandığı söylenebilmektedir.

4.3. Temas Süresinin Krom Giderimine Etkisi

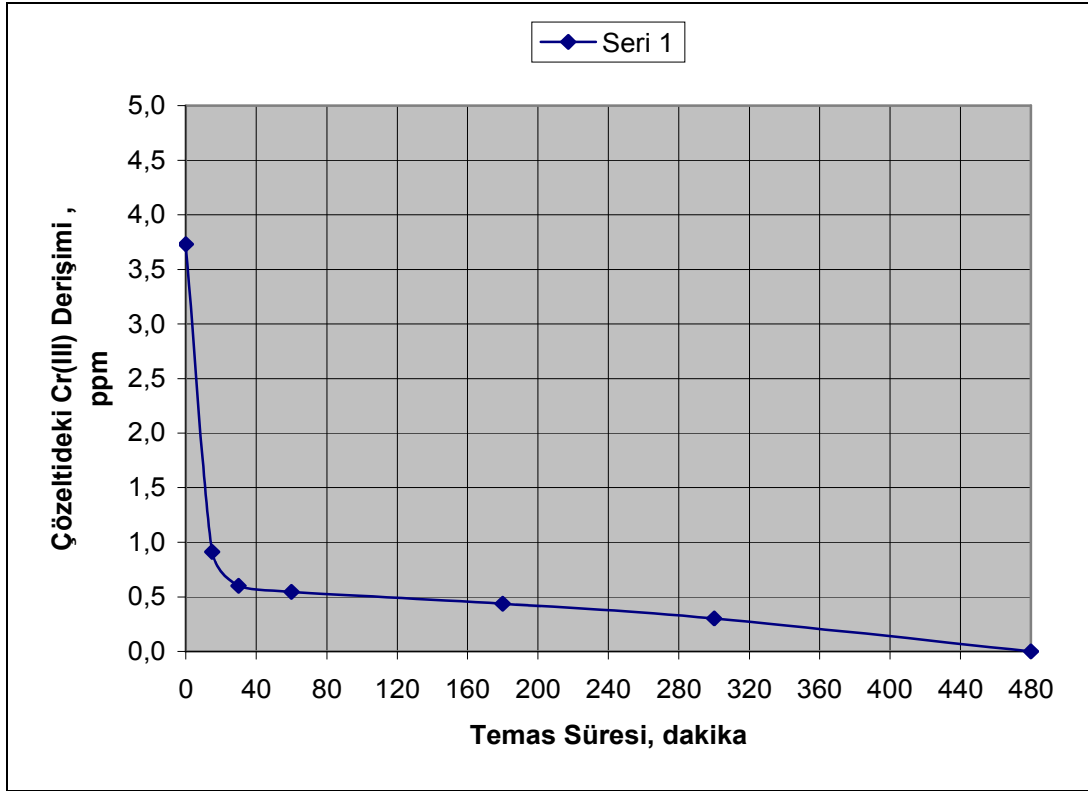
Optimum temas süresinin tesbiti amacıyla 5 adet deney gerçekleştirildi. Bu deneyler ile elde edilen veriler ve bunların hesaplanması ile elde edilen değerler Çizelge 4.2 de verildiği gibidir.

Çizelge 4.2. Temas süresinin krom giderimine etkisini tesbit amacı ile yapılan deneylerin sonuçları ve hesaplamaları

Deney No	Sorbent Boyutu (mm)	Sorbent Miktarı (g)	Temas Süresi (dakika)	Sıcaklık (°C)	Derişim (ppm)	Adsorplanan Cr(III) Derişimi (ppm)	Tutunma Verimi (%)
22	1,29	6	15	30	0,914	2,82	75
23	1,29	6	30	30	0,604	3,13	84
24	1,29	6	60	30	0,547	3,18	85
25	1,29	6	180	30	0,439	3,29	88
26	1,29	6	300	30	0,304	3,42	92
5 ¹	1,29	6	480	30	0,000	3,73	100

Çizelge 4.2’de verilen değerler grafiklere işlenmiştir. Temas Süresinin krom çözeltideki krom(III) derişimine etkisi Şekil 4.16’da verildiği gibidir. Temas süresinin adsorplanan krom(III) derişimine etkisi ile tutunma verimi (η) üzerine etkileri sırasıyla Şekil 4.17 ve Şekil 4.18’de gösterilmektedir.

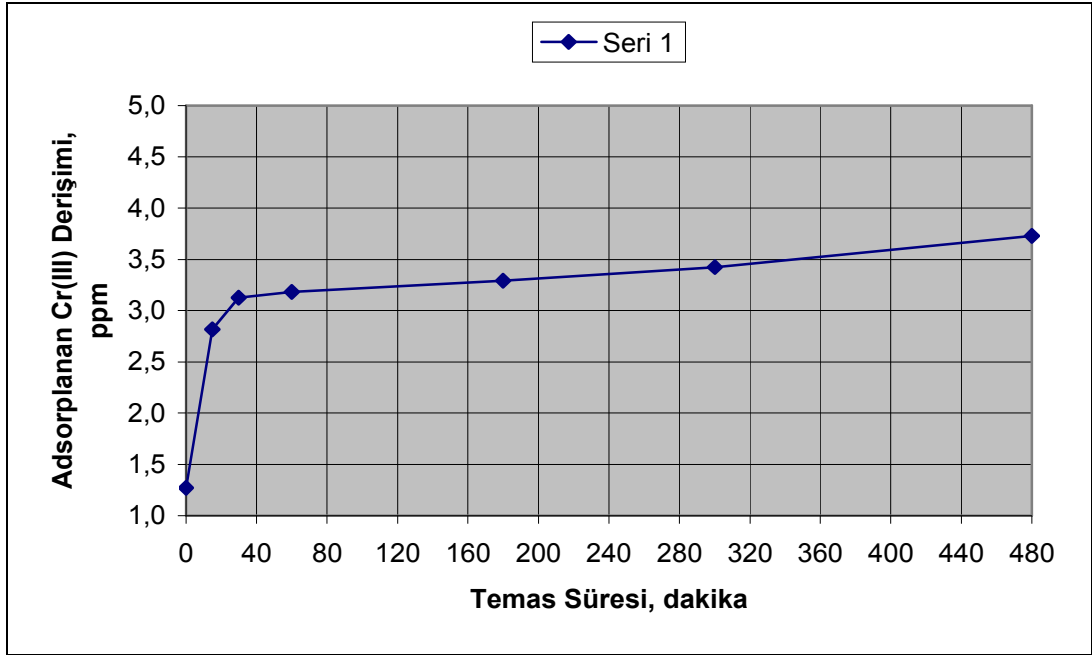
¹ Çizelge 4.1.’den alınmış değerdir.



Şekil 4.16. Temas Süresinin Çözültideki Krom(III) Derişimine Etkisi; Sabit Şartlar, Sorbent boyutu 1,29 mm, sorbent miktarı 6 g, 30 °C, 45 rpm

Çizelge 4.2 'deki veriler kullanılarak hazırlanan Şekil 4.16'da görüldüğü üzere 30 dakikada çözeltideki krom(III) konsantrasyonu büyük bir düşüş göstermektedir. 60 dakikadan sonra 480 dakikaya kadar konsantrasyondaki düşüş devam etmekte ancak bu oran ilk 60 dakikaya kadar olan miktara oranla çok daha az olmaktadır.

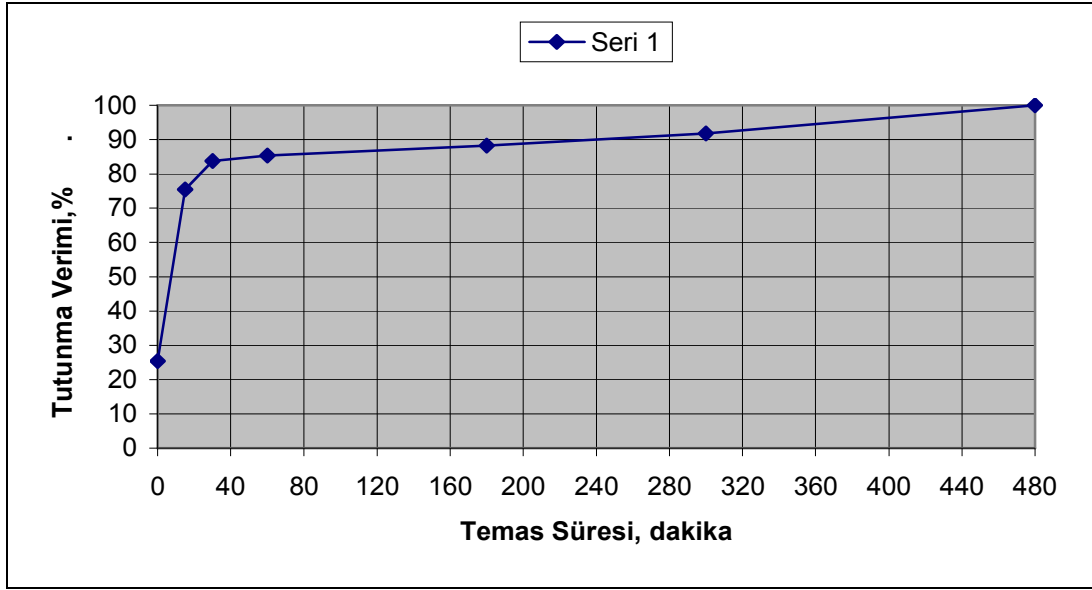
Şekil 4.17'de temas süresinin adsorplanan krom(III) derişimine etkisi ilişkilendirilmiştir.



Şekil 4.17. Temas Süresinin Adsorplanan Krom(III) Derişimine Etkisi; Sabit Şartlar, Sorbent boyutu 1,29 mm, sorbent miktarı 6 g, 30 °C, 45 rpm

Adsorplanan krom(III) derişimi, temas süresinin artması ile artmaktadır. İlk 60 dakika da hızla gerçekleşen tutunma daha sonra ki sürelerde azalarak artan bir eğilim göstermektedir. Bu azalma miktarı ilk 60 dakikaya oranla oldukça düşüktür.

Şekil 4.18’de temas süresinin tutunma verimine etkisi incelenmiştir.



Şekil 4.18. Temas Süresinin Tutunma Verimi Üzerine Etkisi Sabit Şartlar, Sorbent boyutu 1,29 mm, sorbent miktarı 6 g, 30 °C, 45 rpm

Tutunma verimi artan temas süresi ile artış göstermektedir. Bu artış diğer grafiklerde olduğu gibi ilk 60 dakikaya oranla çok daha azdır. Yüksek temas sürelerinde %100 verim gözlenmiştir.

Bu çalışma ile temas süresinin, diatomitin sulardaki kromu tutunma verimi üzerine etkisi incelenmiş ve Çizelge 4.2'den de anlaşılacağı gibi en uygun verimin %85 tutunmanın olduğu 60 dakika ile sağlandığı gözlemlendi. Daha yüksek verimlerde tutunmanın olduğu görülmekte ancak sanayideki uygulamalarda, maliyeti yükselten bir diğer bileşenin de zaman olduğu göz önüne alınırsa uygulama açısından en kısa zaman ve verim açısından en uygun değerler 60 dakikalık uygulamada sağlandı.

Baran ve arkadaşlarının bir çalışmalarında, çeşitli sorbentlerin, 6 değerlikli Cr'u adsorplama verimlerini incelemişler ve chitin ile 50 dakika, prolite I ile 40 dakika, chitosan ile de 30 dakikalık optimum süreleri yakalamışlardır [27]. Benzer özellikte taşıyan bir başka sorbent olan sepiolit ile yapılan çalışmalarda da süreli sistem deneyleri ile artan temas sürelerinde veriminde

arttığı ileri sürülmekte ve bu tür çalışmalarla sonuçlarımız desteklenmektedir [43].

4.4. Sıcaklığın Krom Giderimine Etkisi

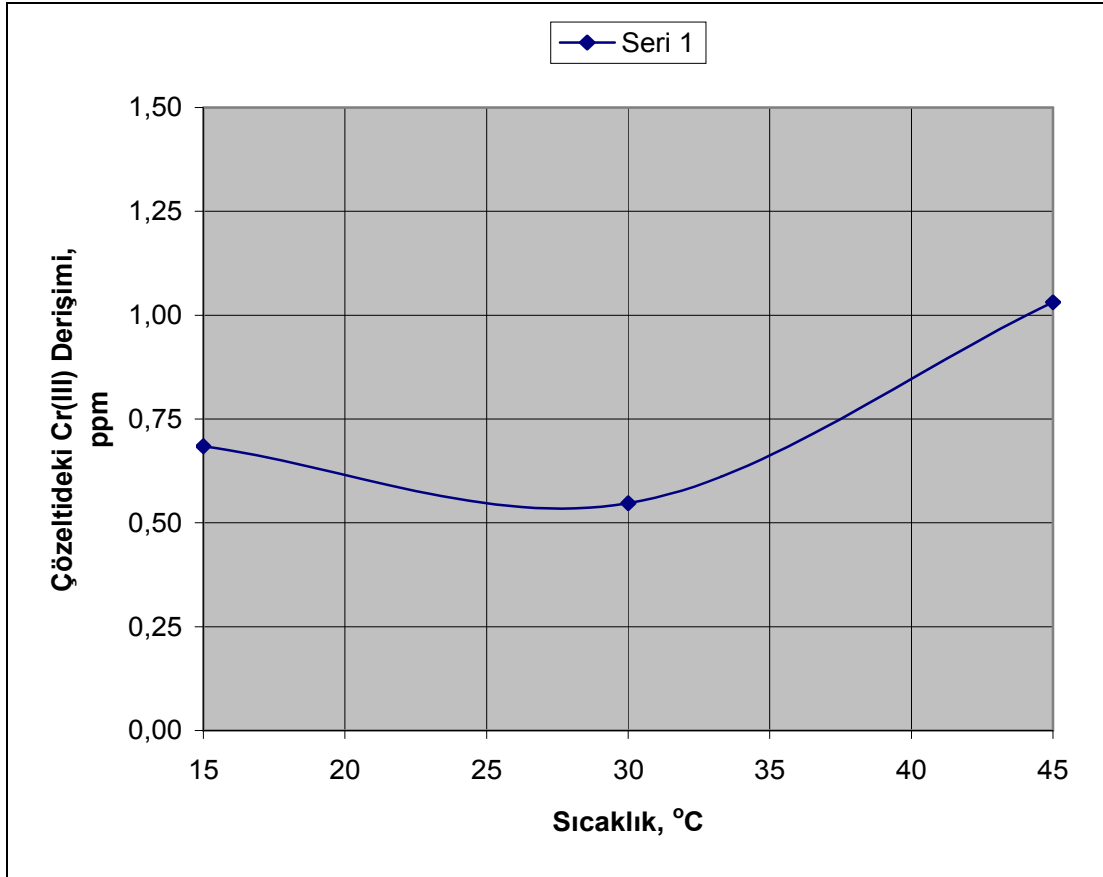
Optimum sıcaklığın tespiti amacıyla 2 adet deney gerçekleştirildi. Bu deneyler sonrasında elde edilen veriler ve bu verilere dayanarak yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler Çizelge 4.3'te verildiği gibidir.

Çizelge 4.3. Sıcaklığın, krom giderimine etkisini tespit amacı ile yapılan deneylerin sonuçları ve hesaplamaları

Deney No	Sorbent Boyutu (mm)	Sorbent Miktarı (g)	Temas Süresi (dakika)	Sıcaklık (°C)	Derişim (ppm)	Adsorplanan Cr(III) Derişimi (ppm)	Tutunma Verimi (%)
27	1,29	6	60	15	0,685	3,044	82
24 ¹	1,29	6	60	30	0,547	3,182	85
28	1,29	6	60	45	1,031	2,698	72

Çizelge 4.3'te verilen değerler grafiklere işlenmiştir. Şekil 4.19'da sıcaklığın çözeltideki krom(III) konsantrasyonuna etkisi, Şekil 4.20'de sıcaklığın adsorplanan krom(III) derişimine etkisi ve Şekil 4.21'de sıcaklığın tutunma verimine (η) etkisi grafiklenmiştir.

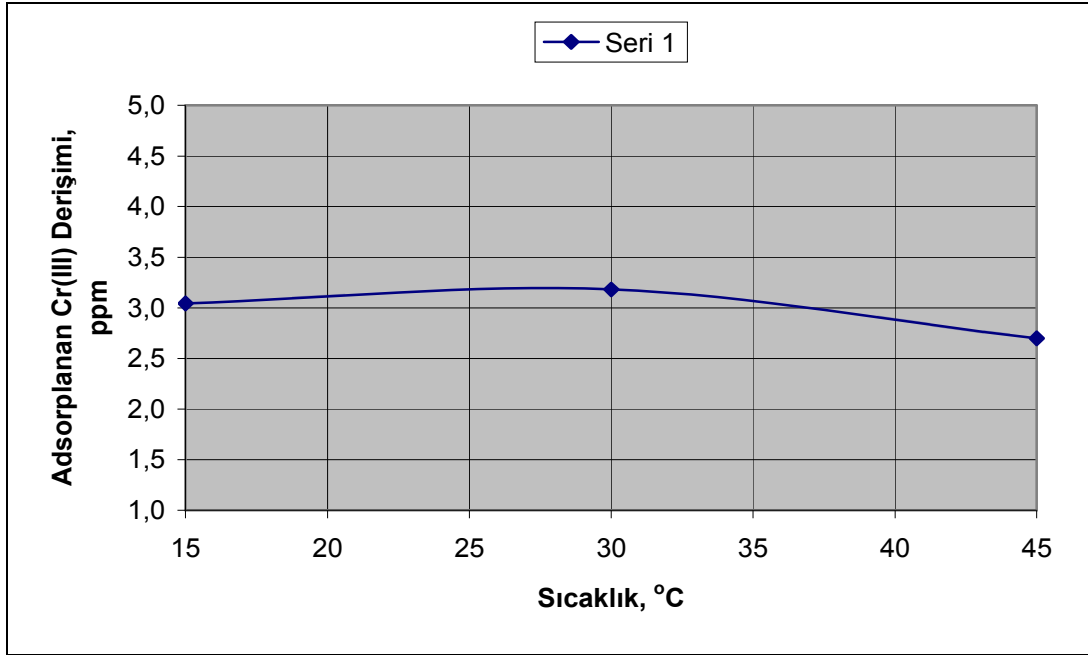
¹ Çizelge 4.2'den alınmış değerdir.



Şekil 4.19. Sıcaklığın Çözültideki Krom(III) Konsantrasyonuna Etkisi; Sabit Şartlar; Sorbent boyutu 1,29 mm, sorbent miktarı 6 g, 60 dakika, 45 rpm

Çizelge 4.3 ve Şekil 4.19'da görüldüğü üzere sıcaklık 15 °C 'ye sabitlenerek yapılan çalışmada çözültideki krom(III) konsantrasyonu 0,685 ppm olarak tespit edilmiştir. Sıcaklığın 30 °C'ye yükseltilmesi ile çözültideki krom(III) konsantrasyonu bir miktar düşerek 0,547 ppm değerini yakaladığı gözlenmiştir. Sıcaklık 45°C'ye sabitlenerek yapılan çalışmada ise çözültideki krom(III) konsantrasyonunda artış gözlenmiştir.

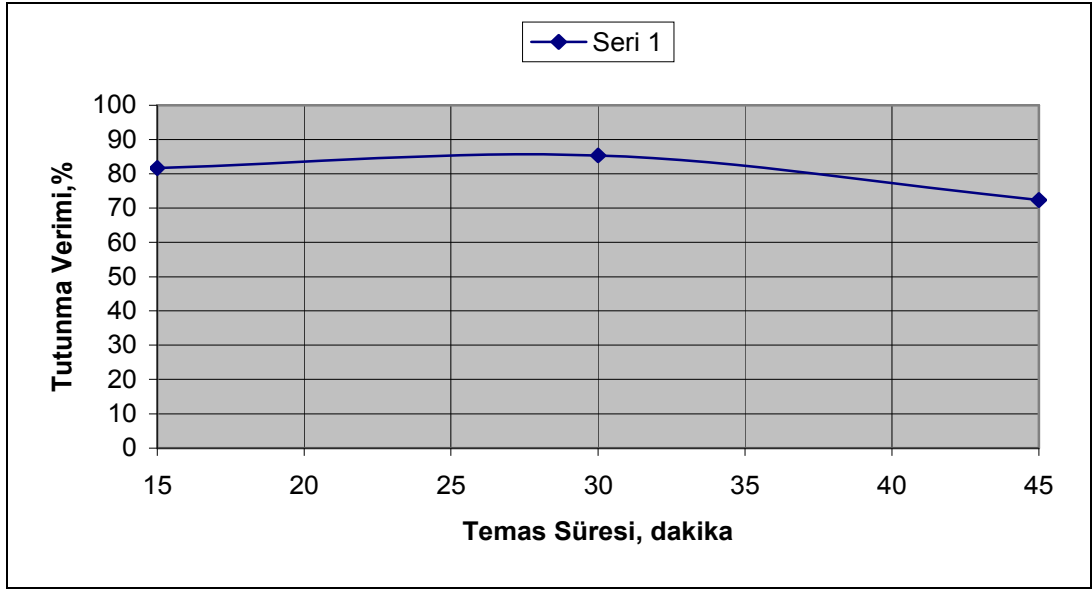
Şekil 4.20'de sıcaklığın tutulan krom miktarına etkisi incelenmiştir.



Şekil 4.20. Sıcaklığın Adsorplanan Krom(III) Konsantrasyonuna Etkisi; Sabit Şartlar, Sorbent boyutu 1,29 mm, sorbent miktarı 6 g, 60 dakika, 45 rpm

Grafikten de anlaşılacağı gibi adsorplanan krom(III) konsantrasyonunda değişim sıcaklıkla belli bir eğilimi yakalayamamıştır. Özellikle yüksek sıcaklıkta adsorplanan krom(III) konsantrasyonun sıcaklık arttıkça artması beklenirken yapılan çalışma ile farklı bir durum gözlenmiştir.

Şekil 4.21’de sıcaklığın tutunma verimine (η) etkisi incelenmiştir.



Şekil 4.21. Sıcaklığın Tutunma Verimi Üzerine Etkisi; Sabit Şartlar; Sorbent boyutu 1,29 mm, sorbent miktarı 6 g, 60 dakika, 45 rpm

Optimum sıcaklığın saptanabilmesi amacıyla yapılan deneylerde elde edilen veriler incelendi. Sıcaklığın tutunmaya etkisi diğer parametreler gibi bir yönde net bir eğilim gösterememektedir. Adsorbentin yüksek sıcaklıklar altında sorpsiyon veriminin kaybolarak desorpsiyon mekanizmasının devreye girmesinin, böyle bir düzensizliğe sebep olabileceği düşünülmektedir.

Mohan ve arkadaşları tarafından +3 değerlikli kromun, tarımsal atıklarla türetilen aktif karbon ile adsorpsiyon çalışmaları yapılmıştır. Burada optimum sıcaklık için ile sürülen değer 25 °C'dir [28]. Alıcılar ve Özer'in yaptıkları çalışmada da sıcaklık üzerine kesin bir eğilim gözlenemediği öne sürülmüştür [43].

5. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapılan bu çalışmalar ile sulardaki kromun diatomit adsorpsiyon yöntemi ile giderim veriminin tespiti yapılmıştır.

Bu çalışma ile tespit edilen optimum şartlar şu şekildedir:

- Adsorbent boyutu, 1,29 mm
- Adsorbent miktarı, 6 g
- Adsorpsiyon verimi, 26,5 mg krom(III) / 1 g diatomit
- Temas Süresi, 60 dakika
- Sıcaklık, 30°C

Yapılan bu çalışma ile elde edilen sonuçların daha önceden çalışılmış olan katyonlarla benzerlik gösterdiği söylenebilir.

Farklı boyutlardaki diatomit ile yapılan çalışmalarda adsorbent boyutunun artması tutulan krom(III) konsantrasyonunda azalmaya sebep olmuş ve bu durum grafiklerle de gösterilmeye çalışılmıştır. Ayrıca sorptometre analizi sonuçlarına göre toplam yüzey alanları arasındaki farklılık az miktarda olması nedeniyle sorbent boyutu ile ilgili çalışmalarda elde edilen yakın değerler birbirlerini doğrulamaktadır.

Sorbent miktarının verim üzerindeki etkisinde ise azalarak artan bir eğilim gözlenmiştir. Bu eğilim yerini bir süre sonra sabit bir değerde ilerlemeye bırakmıştır. Bu değer çözelti içerisindeki krom miktarının tamamen adsorplandığı değerlerdir. Bizim yaptığımız çalışma sonucunda elde edilen değerler ile literatürde yapılan çalışmalar karşılaştırılırsa benzer sonuçların alındığı gözlenebilmektedir. Mohan ve arkadaşları adsorbent olarak düşük maliyetli tarımsal atık kullanarak yaptıkları çalışmalarda 12,2- 39,56 mg/g arasında verimi yakaladıklarını ileri sürmüşlerdi [28].

Temas süresi ile adsorpsiyon verimi arasında doğru ilişki bulunduğu gözlenmiştir. Özellikle temas süresinin uzaması ile %100 verim elde edilmiştir. Srivastava ve Thakur'un 2006 yılında *Aspergillus* bakterisi ile yaptıkları çalışmada optimum temas süresini 3 gün olarak belirtmişlerdir [23]. Bu sürenin uzunluğu göz önüne alınacak olursa uygulamada diatomitin kullanım kolaylığı ortaya çıkmış olur.

Sıcaklığın verime etkisi karmaşık olup net bir eğilim belirlenememiştir. Bunun sebepleri olarak belli bir sıcaklığın üzerinde yapılacak çalışmalarda tutunmanın yerine bırakmanın başlayabileceği düşüncesi ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmada kesikli bir sistemin kullanılmış olması, hem sürekli bir sistemin hazırlanmasında ön çalışma olarak hem de arıtım uygulamalarında kullanılabilirliğini göstermek açısından verimli olmuştur. Kullanılan doğal sorbentlerden diatomanın hiçbir özel işleme tabi tutulmadan kullanılabilir olması ile ülkemizde yaygın ve ucuz bulunması bu sistemin en büyük avantajıdır. Burada kullanılacak olan sorbenti uygun bir asit ile rejenere edilebileceği düşünülmektedir.

Rejenerasyon sonucu oluşacak asitli krom çözeltilerinin spinal oksit olarak ($\text{ROR}'_2\text{O}_3$) paslanmaz çelik sanayisinde, krom asitli banyolarda ve demir çelik sanayisinde kaplamada kullanılabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Gürü M., Yalçın H., "Suyun Özellikleri", Su Teknolojisi, **Palme Yayıncılık**, Ankara,1-10, 427-432 (2002)
2. Kargı, F., "Çevre Mühendisliğinde Biyoprosesler", **Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları**, İzmir, 16-19 (1998)
3. Munsuz, N., Ünver, İ., "Su Kalitesi", **Ankara Üniversitesi Yayınları**, Ankara, 84-86, 119-125 (1995)
4. Muslu, Y., "Atıksuların Arıtılması", **İTÜ Yayınları**, İstanbul,70-85 (1996)
5. Benli, S., "Sulardaki Kurşun(II), Bakır(II) ve Çinko(II) İyonlarının Dolgulu Kolonlarda Adsorpsiyonla Giderilmesi", Yüksek Lisans Tezi, **G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 1-3 (2003)
6. Tünay, O., "Endüstriyel Kirlenme Kontrolü", **İTÜ Yayınları**,İstanbul,1-9 (1996)
7. Çevre Ve Orman Bakanlığı, "Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği", 31 Aralık 2004 tarih ve 25687sayılı **Resmî Gazete**, Ankara (2004)
8. Mahan, H.B., "Üniversite Kimyası 2.Cilt", Şenvar, C., Edgüer, E., **Hacettepe Üniversitesi Yayınları**, Ankara, 249-263 (1989)
9. Seinko, M.J., Plane, R.A., "Temel Kimya", Gündüz, N., Gündüz, T., Tüzün, C., Pulat, E., Üneri, S., Zeren, A., Özgüner, S., **Savaş Yayınları**, Ankara 366-370 (1984)
10. TS 266, "İçme Ve Kullanma Suyu Standartları", **Türk Standartları Enstitüsü** (1997)
11. Çevre Ve Orman Bakanlığı, "Tehlikeli Maddelerin Su ve Çevresinde Neden Olduğu Kirliliğin Kontrolü Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik", 31 Aralık 2005 tarih ve 26040 sayılı **Resmî Gazete**, Ankara (2005)
- 12.Özer, D., "Sulardaki Krom Kirliliğinin Dolgulu Kolonlarda Adsorpsiyon Yoluyla Giderilmesi", Yüksek Lisans, **G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü, 4 (2000)
- 13.Environmental Protection Agency, Environmental and Criteria Assessment Office, "Health Assessment Document For Chromium", **US Environmental Protection Agency**, EPA report no:600/8-83-014F (1984)

- 14.Şahin, L., "Bazı Kil Minerallerinde Ağır Metal Adsorpsiyonu", Yüksek Lisans Tezi, **Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, 66-71 (1998)
- 15.Genel, Y., "Bazı Kil Mineralleri Üzerine Krom, Kurşun, Çinko ve Kobalt İyonlarının Adsorpsiyonu", Doktora Tezi, **Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Van 19-21 (1999)
- 16.Şener, B., Orbey, T., Temizer, A., "Modern Analiz Yöntemleri", **Seldem Yayıncılık**, Ankara, 109-134 (1986)
- 17.Perry, R. H., Green, D. W., Maloney, J. O., "Adsorption and Ion Exchange", Perry's Chemical Engineers' Handbook, 6th Ed., **McGraw-Hill**, 16.1 - 16.47 (1985)
- 18.Yıldız, A., Genç, Ö., "Enstrümantal Analiz", **Hacettepe Üniversitesi Yayınları**, Ankara, 181-205 (1993)
- 19."Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Genel Sanayi Mineralleri IV. Çalışma Grubu Raporu", **DPT Yayını**, Ankara (2001)
- 20."Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Genel Sanayi Mineralleri IV. Çalışma Grubu Raporu", **DPT Yayını**, Ankara, 85-108 (1996)
- 21.Rao, G.A.K., Viraraghavan, T., "Removal of Heavy Metals at a Canadian Wastewater Treatment Plant", **J. Environ. Sci. Health**, A27: 13-23 (1992)
- 22.Chung, J., Nerenberg, R., Rittmann, B.E., "Bio-Reduction Of Soluble Chromate Using Hydrogen-Based Membrane Biofilm Reactor", **Water Research** 40:1634-1642 (2006)
- 23.Srivastava, S., Thakur, I.S., "Isolation And Process Parameter Optimization Of *Aspergillus Sp.* For Removal Of Chromium From Tannery Effluent", **Bioresource Technology**, 97:1167-1173 (2006)
- 24.Aksu, Z., Gezer, D., Ekiz, H., Kutsal, T., Çağlar, A., " Investigation of biosorption Chromium (VI) on *Cladophora Crispata* in Two Staged Batch Ractor", **Env. Tech.**, 17(2):215-220, 1996
- 25.İleri, R.,Üçpırtı, H., "Biosorption of Heavy Metal Ions by Immobilised Dead Fungal Biomass", **Georavd'97 Interntional Symposium on Geology and Env.**, İstanbul, 1-5 (1997)

26. Park, D., Yun, Y.S., Park, J.M., "Mechanisms Of The Removal Hexavalent Chromium By Biometarials Or Biometarial-Based Activated Carbons", ***Journal of Hazardous Materials***, Volum:10.1016 (2006)
27. Baran, A., Bıçak, E., Baysal, Ş.H., "Comparative Studies On The Adsorption Of Cr(VI) ions On To Various Sorbent", ***Bioresource Technology***, Baskıda (2006)
28. Mohan, D., Singh, K.P., Singh, V.K., "Trivalent Chromium Removal From Wastewater Using Activated Carbon Derived From Argicultural Waste Material And Activated Carbon Fabric Cloth", ***Journal of Hazardous Materials***, Baskıda (2006)
29. Covarrubias, C., Garcia, R., Arriagada, R., Yanez, J., Garland, M.T., "Cr(III) Exchange On Zeolites Obtained From Kaolin And Natural Mordenite", ***Microporous And Mesoporous Metarials***, 88: 220-231 (2006)
30. Shawabkeh, R.A., "Adsorption Of Chromium Ions From Aqueous Solution By Using Carbo-Alüminosilicate Metarial From Oil Shale", ***Journal Of Colloid And Interfece Science***, Baskıda (2006)
31. Randall, J.M., Bermann, R.L., Gavet, V., Waiss, A.C., "Use Of Bark To Remove Heavy Metals Ions From Waste Solutions", *Forest Productions Journal* 24(8):80-84(1974)
32. Sharma, D.C., Forster, C.F., "Removal of Hexavalent Chromium from Aqueous Solution By Granular Activated Carbon", ***Water-SA***, 22(2):153-160 (1996)
33. Edwards, M., Benjamin, M.M., Ryan, J., "Organic matter acidity and its role in sorption to toxide surfaces." ***Colloids and Surface A: Physicochemical and Engineering Aspects***, 107, 297-307 (1996)
34. Flaytianos, K., Voudrias, E., Tsechpenakis, A., "Removal Of Cr(VI) from Aqueous And Wastwater Samples By Fly Ash", ***J.Env.Tech.***, 32(9-10):2419-2427 (1997)
35. Samantoray, S., Mohanty, A.K., Misra, M., "Removal of Hexavalent Chromium by Kendu Fruit Gum Dust", ***J.Applied Polymer Sci.***, 66(8):1485-1494(1997)
36. Tobin, J.M., Roux, J.C., "Mucor Biosorbent for Chromium Removal From Tanning Effulent", ***Water Res.***, 32(5):1407-1416(1998)
37. Min, J.H., Herring, J.G., "Removal of Selenite And Chromate using Iron(III)-Doped Alginate Gels", ***Water Evn. Res.***, 71(2):169-175 (1999)

- 38.Low, K.S., Lee, C.K., "Column Study on The Sorption of Cr(IV) Using Quaternized Rice Hulls", **Biones Tech.**, 68(2):205-208,(1999)
- 39.Bailey, S., Olin, T.J., Bricka, R.M., Adrian, D.D., "A Review of Potentially Low-Cost Sorbent For Heavy Metals", **Wat. Res.**, 33(11):2469-2479 (1999)
- 40.Rengeraj S., Yeon K-H., Kang S-Y., Lee J-U., Kim K-W, Moon S-H, "Studies On Adsorptive Removal Of Co(II), Cr(III) And Ni(II) By IRN77 Cation-Exchange Resin", **Journal of Hazardous Materials** ,92(2):85-198 (2002)
- 41.Sanchez, G., Ayuso, K., "Removal of Cr, Cd and Zn by sorption Batch Ractor", **Env. Tech.**, 17(2):215-220 (1996)
- 42.Monser, K., Andhoum,. L., "Clomun Sorption and Desorption of Hexavalent Chromium from Aqueous Solution and Electroplating Effluent Using *Azolla Filiculoides*", **Resour. Env. Biotech**, 2 (1):51-64 (1997)
- 43.Alicılar, A., Özer, D., "Sulardaki Krom Kirliliğinin Dolgulu Kolonlarda Adsorpsiyon Yoluyla Giderilmesi Üzerine Sıcaklık ve Akış Hızının Etkisi", **G.U. Journal Of Science**, 14(2):399-402 (2001)

ÖZGEÇMİŞ**Kişisel Bilgiler**

Soyadı, adı : VENEDİK, Duygu
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yer : 23.11.1982 Ankara
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (312) 327 60 99
Faks :
e-mai : vduygu@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Niğde Üniversitesi Aksaray Mühendislik Fakültesi /Çevre Müh.Bölümü	2003
Lise	Halide Edip Lisesi	1999

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2005-2006	NEN Müh. Dan.Ve Tic.Ltd.Şti.	Kalite Sistem Sorumlusu

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar**Hobiler**