

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

**POMZA DESTEKLİ DEMİR NANO KOMPOZİT İLE SULARDAN
AĞIR METAL GİDERİMİ**

Mehmet GÜZEL

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KİMYA ANABİLİM DALI

DIYARBAKIR

Temmuz 2019

T.C
DİCLE UNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
DIYARBAKIR

Mehmet GÜZEL tarafından yapılan “Pomza Destekli Demir Nano Kompozit ile Sulardan Ağır Metal Giderimi” konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Kimya Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir

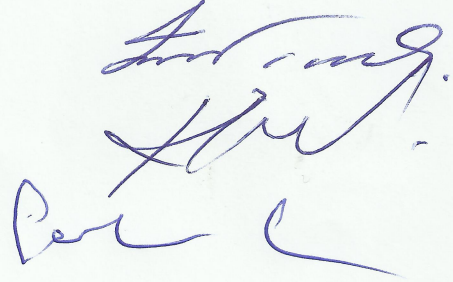
Jüri Üyesinin

Ünvanı Adı Soyadı

Başkan: Prof. Dr. Bilsen TURAL (Danışman)

Üye : Doç.Dr. Ersin KILINÇ

Üye : Dr. Öğrt. Üyesi M. Şakir ECE



Tez Savunma Sınavı Tarihi: 01/ 07 /2019

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../...../2019

Prof. Dr. Sevtap SÜMER EKER

ENSTİTÜ MÜDÜR

(MÜHÜR)

TEŐEKKÖR

Çalıőmalarım süresince beni yönlendiren, zamanımı, ilgisini ve tecrübesini benden esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Bilsen TURAL'a

Çalıőmalarım süresince yakın ilgi ve desteklerinden dolayı Prof.Dr.Servet TURAL' a

Tezin yazılmasında, her türlü yardımını gördüğüm Doktora Öğrencisi Erdal ERTAŐ'a,

Desteęi ve sevgisi ile her zaman yanımda olan sevgili eőim ve canım çocuklarım'a,

Yaőamım boyunca bana her konuda güvenen, bugünlere gelmemde büyük emek sahibi olan, sevgi ve ilgilerini esirgemeyen tüm aileme özellikle babam ve canım annem'e

Bu çalıőmamda ZGEF.18.007 nolu proje ile destekleyen Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğüne teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	V
ABSTRACT.....	VII
ÇİZELGE LİSTESİ.....	IX
ŞEKİL LİSTESİ.....	X
KISALTMA VE SİMGELER.....	XII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Su Kirliliği	1
1.1.1. Su Kirliliğinin Kaynakları.....	3
1.1.1.1 Kaynak Noktası Belli Olan Su Kirliliği.....	3
1.1.1.2 Kaynak Noktası Belli Olmayan Su Kirliliği.....	3
1.2. Ağır Metallerin Özellikleri.....	4
1.3. İçme Suyunda Ağır Metaller İçin Uluslararası Standart ve Referans Değerleri.....	6
1.4. Ağır Metaller.....	8
1.4.1. Kurşun (Pb)	8
1.4.2. Kadmiyum (Cd)	8
1.4.3. Krom (Cr).....	9
1.4.3.1. İnsanlarda Krom Toksikitesi	10
1.5. Adsorpsiyon.....	11
1.5.1. Adsorpsiyon Çeşitleri.....	11
1.5.1.1. Fiziksel Adsorpsiyon.....	11
1.3.1.2. Kimyasal Adsorpsiyon.....	11
1.5.1.3. Değişim Adsorpsiyonu veya İyon Değişimi.....	12
1.5.2. Adsorpsiyon İzotermleri.....	12
1.5.2.1. Langmuir İzotermi.....	12

1.5.2.2.	Freundlich İzotermi.....	13
1.5.3.	Adsorbent Tipleri	13
1.5.3.1.	Aktif Karbon.....	13
1.5.3.2.	Biosorbentler	14
1.5.3.3.	Karbon Nanotüpler	14
1.5.3.4.	Killer	14
1.5.3.5.	Metal Oksitler	14
1.5.3.6.	Zeolitler	14
1.5.3.7.	Pomza... ..	15
1.5.3.7.1	Pomza Taşının Uygulama Alanlarına Genel Bakış	15
1.6.	Sıfır Değerlikli Demir (Fe^0).....	16
1.6.1	Fe^0 'deki Son Gelişmeler	16
1.6.1.1.	Nano Ölçekli Demir ($n Fe^0$).....	16
1.6.1.2.	Fe^0 'nin Destek Üzerine İmmobilizasyonu	16
1.6.1.3.	Fe^0 'nin Diğer Metallerle Dopingi	17
2.	ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	19
3.	MATERYAL ve METOT	25
3.1.	Materyal.....	25
3.1.1.	Kimyasallar.....	25
3.1.2.	Cihazlar ve Gereçler.....	25
3.2.	Metot.....	26
3.2.1.	Pomza İşlemleri	27
3.2.2.	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$ Çözeltisi Hazırlanması.....	27
3.2.3.	$NaBH_4$ Çözeltisi Hazırlanması	27
3.2.4.	$K_2Cr_2O_7$ Çözeltisi Hazırlanması.....	27
3.2.5.	H_2SO_4 Çözeltisi Hazırlanması.....	27
3.2.6.	1,5 Difenil Karbazit Çözeltisi Hazırlanması	27
3.3.	DP-n Fe^0 ve BP-n Fe^0 Sentezi	28
3.4.	Analiz Yöntemleri.....	28
3.5.	Adsorpsiyon Çalışmaları.....	28
3.5.1.	UV-Vis Spektrofotometrede Krom (VI) İyonlarının Analiz Yöntemi	28

3.5.2.	Optimum pH'in Belirlenmesi Çalışması.....	29
3.5.3.	Başlangıç Krom (VI) Konsantrasyonunun Belirlenmesi Çalışması	30
3.5.4.	Temas Süresinin Belirlenmesi Çalışması	30
3.5.5.	Adsorban Miktarının Belirlenmesi Çalışması	31
3.6.	Numunelerin Karakterizasyonunda Kullanılan Teknikler.....	31
3.6.1.	Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)	31
3.6.2.	Enerji Ayırmalı X-ışını Spektroskopisi (EDX)	31
3.6.3.	X-ışını Floresans Spektroskopisi(XRF)	32
3.6.4.	Fourier Dönüştümlü Kızılötesi (FTIR) Spektroskopisi.....	32
3.6.5.	Ultraviyole ve Görünür Işık (UV-Vis) Absorpsiyon Spektroskopisi	32
4.	BULGULAR VE TARTIŞMA	35
4.1.	SEM ve EDX Sonuçları	35
4.2.	X-ışını Floresan Analizi (XRF).....	41
4.3.	Krom (VI) Giderim Deneyleri.....	42
4.3.1.	Temas Süresinin Etkisi	42
4.3.2.	Çözelti pH'ının Etkisi	44
4.3.3.	Adsorbent Miktarının Etkisi	47
4.3.4.	Başlangıç Krom (VI) Derişiminin Etkisi	49
4.4.	Adsorpsiyon İzoterm Çalışmaları	52
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	53
6.	KAYNAKLAR	55
	ÖZGEÇMİŞ.....	61

ÖZET

POMZA DESTEKLİ DEMİR NANO KOMPOZİT İLE SULARDAN AĞIR METAL GİDERİMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet GÜZEL

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI

2019

Günümüzde karşılaşılan ciddi sorunlardan biri de sanayi ve diğer atıklardan kaynaklanan çevre kirlenmesidir. Daha çok endüstriyel atıklardan olan ağır metaller toprak, hava ve su için önemli kirleticiler arasındadır. Kirlenen bu sahalar bünyesinde barındırdığı canlı organizmalar için büyük tehlikeler oluşturmaktadır. Bu nedenle zamanımızın en önemli konusu olan endüstrileşmenin ve hızlı nüfus artışının ortaya çıkardığı çevre kirlenmesine uygulanabilir, ekonomik ve kesin bir çözüm getirmektir. Kirlenmiş çevreyi temizlemek oldukça pahalı ve kompleks tesisler gerektiren uzun bir çalışma ile mümkündür. Bu sebeple su, toprak ve havanın kirlenmesini önleyici tedbirlerin alınmasına çalışmak daha da önem kazanmaktadır. Yukarıda işaret edilen sahalardan en önemlisi su kirliliğidir. Çünkü toprak ve havada kirlilik yaratan materyaller zamanla yağmur ve kar gibi etkenlerle suya geçmektedir. Ayrıca zararlı maddeler canlı organizmalar tarafından su ile birçok yoldan kolay ve yaygın olarak alınabilmektedir. Suda bulunan ağır metaller; bitkiler, hayvanlar ve su ürünleri tarafından depo edilirler. Böylece insanlar bütün yiyecek ve içecekleri ile birlikte belirli miktarlarda ağır metalleri de alırlar. Özellikle toksik organik atıkların metallerle birleşerek veya başka bileşiklere dönüşerek daha toksik hale geçmeleri önemli sorunlar yaratmaktadır. Bu nedenle tarım, hayvancılık ve içme suyu olarak kullanılacak suların ağır metal kirliliğini dünyaca kabul edilen limite indirmek gerekmektedir. Kirli suların temizlenmesinde, suyun orijinine, türüne, temizlendikten sonra kullanım amacına ve yöre kaynaklarına göre değişik yöntemler kullanılmaktadır.

Ağır metalleri atık suların ayırmak için kimyasal çöktürme, membran filtrasyonu, iyon değişimi ve adsorpsiyon gibi çeşitli yöntemler kullanılmıştır. Son zamanlarda, ağır metal kirliliklerini uzaklaştırmak için nano ölçekli sıfır değerli demir (nFe^0) kullanılmaktadır. nFe^0 , çok küçük parçacık boyutu, geniş yüzey alanı ve yüksek reaktivitesi nedeniyle umut verici ve etkili iyileştirme teknolojilerinden biri haline gelmiştir. nFe^0 , toksik maddeleri toksik olmayan formlarına da dönüştürme yeteneğine sahiptir. nFe^0 , Cr (VI) gibi toksik ve kanserojen metallerin, Cr (III) gibi daha stabil formlara indirgenmesi ve çöktürülmesini teşvik etmek için de kullanılabilir.

Bununla birlikte, geleneksel arıtma sistemlerinde kullanıldığında reaktivitesinin ve mekanik mukavemetinin azalmasının yanı sıra aglomere olması, nFe^0 'in uygulamasını sınırlamıştır. Ayrıca, nFe^0 uygulamasından kaynaklanan ve küçük boyutu ile ilgili diğer bir sorun da, sulu ortamdan zor ayrılmasıdır. Son yıllarda, nFe^0 'in

silika, zeolit, kaolinit, bentonit, aktif karbon, zeolitler veya polimer membranlar gibi destekleyici malzemelere immobilizasyonu, yüzeylerine sabitlenmesi veya gözeneklerine hapsedilmesi ile bu sorun telafi edilmiştir. Bu tür malzemelere immobilizasyon, nFe^0 'nın hareketsiz hale getirilmesinden ayrı olarak, fizikokimyasal özelliklerini de etkilemiştir.

Pomza, gözenekli bir volkanik kayadır. Su ve iyonların kristal yapıya girip çıkmasına izin veren açık kanalları içeren geniş bir yüzey alanına ve iskelet yapısına sahiptir. Ayrıca, kolayca işlenebilir ve düşük maliyetli bir ağır metal adsorbenti olarak kullanılabilir. Sudaki kirliliklerin giderilmesinde adsorbentin sulu ortamdan ayrılması ile ilgili en etkili yöntemlerden biri manyetik ayırmadır. Bu yöntem diğer klasik yöntemlerle karşılaştırıldığında, hız, zaman ve tekrar kullanılabilirlik açısından önemli avantajlara sahiptir.

Bu çalışmada, dağılılırılığını ve stabilitesini arttırmak için nFe^0 , Bitlis ve Diyarbakır pomzası (BP- nFe^0 , DP- nFe^0) üzerinde desteklenmiş ve Cr (VI) 'nın sulu çözülden uzaklaştırılmasında kullanılmıştır. Temel hedefler şunlardır: (1) Bitlis ve Diyarbakır pomzası yapısal analizi, (2) Bitlis ve Diyarbakır pomzasının Cr (VI) giderimi için adsorbent olarak kullanılarak adsorpsiyon parametrelerinin araştırılması (3) Bitlis ve Diyarbakır pomza ile desteklenmiş yeni ve stabil nFe^0 (BP- nFe^0 , DP- nFe^0) kompozitini sentezlemek ve karakterize etmek (4) farklı deneysel koşullar altında BP- nFe^0 , DP- nFe^0 'in, Cr (VI) 'nın Cr(III)'e indirgenmesinde kullanılması ve adsorpsiyon verimliliğini belirlemek ve değerlendirmek, (5) BP- nFe^0 , DP- nFe^0 'in sulu ortamdan ayrılması için manyetik ayırma yöntemi kullanmaktır.

Anahtar Kelimeler: Ağır Metaller, Krom (VI), Demir Nanoparçacık, Bitlis ve Diyarbakır Pomza destekli nano sıfır değerlikli demir

ABSTRACT

HEAVY METAL REMOVAL FROM WATER WITH PUMP SUPPORTED IRON NANO COMPOSITE

MSc THESIS

Mehmet GÜZEL

DİCLE UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL & APPLIED SCIENCES
CHEMISTRY DEPARTMENT

2019

One of the serious problems encountered today is environmental pollution from industry and other wastes. Heavy metals, mostly industrial wastes, are important pollutants for soil, air and water. These polluted sites constitute a great danger for living organisms. For this reason, the most important issue of our time is to bring a feasible, economic and definitive solution to environmental pollution caused by industrialization and rapid population growth. Cleaning the contaminated environment is quite expensive and is possible with a long operation requiring complex facilities. Therefore, it is even more important to try to take measures to prevent pollution of water, soil and air. The most important of the areas mentioned above is water pollution. Because soil and air pollutant materials pass into the water with rain and snow. In addition, harmful substances are easily and widely absorbed by living organisms with water in many ways. Heavy metals in water; they are stored by plants, animals and aquaculture. Thus, people take all their food and drink along with certain amounts of heavy metals. Especially toxic organic wastes become more toxic by combining with metals or converting to other compounds. Therefore, it is necessary to reduce the heavy metal pollution of the waters to be used as agriculture, livestock and drinking water to the world-accepted limit. Different methods are used according to the origin, type of water, purpose of use and local resources after cleaning.

Various methods such as chemical precipitation, membrane filtration, ion exchange and adsorption have been used to separate heavy metals from waste water. Recently, nano-scale zero-valent iron ($n\text{Fe}^0$) has been used to remove heavy metal impurities. $n\text{Fe}^0$ has become one of the promising and effective healing technologies due to its very small particle size, large surface area and high reactivity. $n\text{Fe}^0$ is also capable of converting toxic substances into their non-toxic forms. $n\text{Fe}^0$ can also be used to promote the reduction and precipitation of toxic and carcinogenic metals such as Cr (VI) to more stable forms such as Cr (III).

However, the reduction in reactivity and mechanical strength as well as agglomeration when used in conventional treatment systems limited the application of $n\text{Fe}^0$. In addition, another problem with the small size arising from the application of $n\text{Fe}^0$ is its difficult separation from the aqueous medium. In recent years, this problem has been compensated for by immobilization, fixation, or confinement of $n\text{Fe}^0$ to supporting materials such as silica, zeolite, kaolinite, bentonite, activated carbon,

zeolites or polymer membranes. Immobilization of such materials, apart from the immobilization of $n\text{Fe}^0$, also affected their physicochemical properties.

Pumice is a porous volcanic rock. It has a large surface area and skeletal structure, including open channels that allow water and ions to enter and exit the crystal structure. It can also be easily processed and used as a low cost heavy metal adsorbent. Magnetic separation is one of the most effective methods for the removal of adsorbent from the aqueous medium to remove water impurities. This method has significant advantages in terms of speed, time and reusability compared to other conventional methods.

In this study, $n\text{Fe}^0$, Bitlis and Diyarbakir were supported on pumice (BP- $n\text{Fe}^0$, DP- $n\text{Fe}^0$) and used to remove Cr (VI) from aqueous solution in order to increase its dispersibility and stability. The main objectives are: (1) structural analysis of Bitlis and Diyarbakir pumice, (2) investigation of adsorption parameters using Bitlis and Diyarbakir pumice as adsorbent for Cr (VI) removal (3) new and stable $n\text{Fe}^0$ (BP- $n\text{Fe}^0$) supplemented with Bitlis and Diyarbakir pumice. (4) to determine and evaluate the use of BP- $n\text{Fe}^0$, DP- $n\text{Fe}^0$ in the reduction of Cr (VI) to Cr (III) and to evaluate the adsorption efficiency under different experimental conditions, (5) BP- $n\text{Fe}^0$ is a magnetic separation method for the separation of DP- $n\text{Fe}^0$ from aqueous medium.

Keywords: Heavy Metals, Chromium (VI), Iron Nanoparticle, Bitlis and Diyarbakir Pumice supported nano-zero iron

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge No</u>		<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1.	Dünya Sağlık Örgütü (WHO), ABD Çevre Koruma Ajansı (USEPA), Avrupa Birliği (AB) ve İtalyan hükümeti (ITA) tarafından belirlenen ağır metaller için içme suyu kılavuzu / standart konsantrasyonlar	6
Çizelge 4.1.	EDX Karakterizasyonundan Elde Edilen NBP, BP-nFe ⁰ Elementel Bileşimi	35
Çizelge 4.2.	EDX spektrumundan elde edilen NDP ve DP-nFe ⁰ 'nin Elementel bileşimi	38
Çizelge 4.3.	NBP örneklerinde XRF Analiz Sonuçları	41
Çizelge 4.4.	NDP örneklerinde XRF Analiz Sonuçları	41
Çizelge 4.5.	NBP, BP-nFe ⁰ , NDP ve DP-nFe ⁰ 'nin Cr(VI) iyonları adsorpsiyonunda izoterm parametreleri	52
Çizelge 5.1.	NDP, NBP, DP-nFe ⁰ ve BP-nFe ⁰ için optimum koşullarda elde edilen adsorpsiyon kapasiteleri	53

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil No</u>		<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1.	Krom için Pourbaix diyagramı	9
Şekil 2.1.	Karşılaştırmalı Kolon Testi Düzenegi	20
Şekil 2.2.	Hg (II) ve Cr (VI)'nın P-nZVI ile İndirgenmesi İçin Önerilen Mekanizma	21
Şekil 3.1.	Krom (VI)'nın 1,5 Difenil Karbazit ile Analizi için Kalibrasyon Doğrusu	29
Şekil 4.1.	NBP'nin SEM Görüntüsü	36
Şekil 4.2.	BP-nFe ⁰ 'ın SEM Görüntüsü	36
Şekil 4.3.	NBP'nin EDX Spektrumu	37
Şekil 4.4.	BP-nFe ⁰ 'ın EDX Spektrumu	37
Şekil 4.5.	NDP'nin SEM Görüntüsü	39
Şekil 4.6.	DP-nFe ⁰ 'nın SEM Görüntüsü	39
Şekil 4.7.	NDP'nin EDX Spektrumu	40
Şekil 4.8.	DP-nFe ⁰ 'nın EDX Spektrumu	40
Şekil 4.9.	NBP ile Cr (VI) giderim de temas süresinin etkisi	42
Şekil 4.10.	BP-nFe ⁰ ile Cr (VI) giderim de temas süresinin etkisi	43
Şekil 4.11.	NDP ile Cr (VI) giderim de temas süresinin etkisi	43
Şekil 4.12.	DP-nFe ⁰ ile Cr (VI) giderimde temas süresinin etkisi	44
Şekil 4.13.	DP-nFe ⁰ ile Cr(VI) giderimde pH'ın Etkisi	45
Şekil 4.14.	NDP ile Cr(VI) Giderimde pH'ın Etkisi	45
Şekil 4.15.	BP-nFe ⁰ ile Cr(VI) Giderimde pH'ın Etkisi	46
Şekil 4.16.	NBP ile Cr(VI) Giderimde pH'ın Etkisi	46
Şekil 4.17.	Cr(VI) giderimde NBP miktarının etkisi	47
Şekil 4.18.	Cr(VI) giderimde BP-nFe ⁰ miktarının etkisi	48
Şekil 4.19.	Cr(VI) giderimde NDP miktarının etkisi	48
Şekil 4.20.	Cr(VI) giderimde DP-nFe ⁰ miktarının etkisi	49
Şekil 4.21.	NDP için başlangıç derişiminin Cr(VI) giderimine etkisi	50

Şekil 4.22.	DP-nFe ⁰ için başlangıç derişiminin Cr(VI) giderimine etkisi	50
Şekil 4.23.	NBP için başlangıç derişiminin Cr(VI) giderimine etkisi	51
Şekil 4.24.	BP-nFe ⁰ için başlangıç derişiminin Cr(VI) giderimine etkisi	51



KISALTMA VE SİMGELER

FT-IR	: Fourier Dönüşüm İnfrared Spektroskopisi
EDX	: Enerji Ayırmalı X-Işını Spektroskopisi
XRF	: X-Işını Floresans Analiz Spektroskopisi
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
UV-Vis	: Ultraviyole Spektrofotometre
g	: Gram
FAO	: Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü
BM	: Birleşmiş Milletler
EPA	: Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı
WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
SDWA	: Güvenli İçme Suyu Yasası
MCL	: Maksimum Kirletici Seviyesi
PVC	: Poli Vinil Clorür
GI	: Gastrointestinal Sistemler
nZVI	: Nanoölçekli Demir
ZVI	: Sıfır Değerlikli Demir
P-NZVI	: Pomza Nanoölçekli Sıfır Değerlikli Demir
CS-P-nZVI	: Pomza Üzerine Desteklenen ve Kitosan Tarafından Modifiye Edilmiş Nanoölçekli Sıfır Değerli Demir
NBP	:Doğal Bitlis Pomza
NDP	: Doğal Diyarbakır Pomza
DP-nFe ⁰	: Diyarbakır Pomza Destekli Nano Ölçekli Sıfır Değerlikli Demir
BP-nFe ⁰	: Bitlis Pomza Destekli Nano Ölçekli Sıfır Değerlikli Demir
PRB	: Geçirgen Reaktif Bariyerler

1. GİRİŞ

Dünya yüzeyinin % 70'inden fazlasını oluşturan su, şüphesiz ki gezegenimizde var olan en değerli doğal kaynaktır (Marowski 1992, Krantz 2011). Bunların yaklaşık % 97,5'i tuzlu sudur ve sadece yaklaşık % 2,5'i tatlı sudur (Sandi ve Darrin 2012). Suda yaşayan organizmalar ve sulama amaçları için içme, temizleme, üreme ortamı ve habitat gibi çeşitli işlevler için yaşamın tüm biçimleri için temel bir unsurdur (Ninhoskinson 2011). Su, canlı organizmaların çoğunun vücut ağırlığının % 50 ila 90'ını oluşturur. Aynı zamanda bir taşıma mekanizması olarak ve çoğu canlı organizmanın metabolik süreçleri için de önemlidir (Sandi ve Darrin 2012).

Son on yılda, nüfusun hızlı büyümesi ve sanayileşmedeki artış nedeniyle içilebilir su kaynaklarına talepte bir artış olmuştur (Singh 2017, Ramakrishnaiah ve Ark. 2009). Dünyanın birçok yerinde kentleşme, tarım uygulamaları, sanayileşme ve nüfus artışı ile ilgili antropojenik faaliyetler, su kalitesinin bozulmasına neden olmuştur (Baig ve ark. 2009, Mian ve ark. 2010, Wang ve ark. 2010, Singh 2017). Ayrıca, su kaynaklarının yetersiz olması nedeniyle, su kirliliğinin kontrol edilmesi ve suyun kaliteli hale getirilmesi çalışmaları artmıştır (M.Romeo Singh 2017, Buet al. 2010). Su kirliliği, devlet ve bilim insanları için bir araştırma odağı olmuştur. Bu nedenle, su kirliliğinin ciddi oranda artması ve su kaynaklarının küresel kıtlığı nedeniyle suyun kalitesini korumak son derece önem kazanmıştır (Singh ve ark. 2017).

Bu çalışmanın amacı sulu çözeltilerden Fe ile modifiye edilmiş pomza yardımıyla Cr^{+6} iyonunun uzaklaştırılmasıdır. Metot olarak adsorpsiyon uygulanmıştır. Çalışmada Doğal Diyarbakır Pomza(NDP) ve Doğal Bitlis Pomzası(NBP) ile Demir İle Modifiye Edilmiş Sıfır Değerlikli Diyarbakır Pomza(DP-nFe⁰) ve Demir İle Modifiye Edilmiş Sıfır Değerlikli Bitlis Pomza(BP-nFe⁰) adsorbent(adsorban) olarak kullanılmıştır.

1.1. Su Kirliliği

Bazı araştırmacılar su kirliliğinin tanımını çeşitlendirmişler, John (1970), kirlilik teriminin sadece insanlar arasında farklı anlamlara sahip olmadığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar, nehir suyunun doğrudan veya dolaylı olarak insanın aktivitesinin bir sonucu olarak, bileşimde veya koşulda ne zaman değiştirileceğini tanımlamıştır, bu

1. GİRİŞ

nedenle doğal durumda uygun olacağı diğer tüm kullanımlar için uygun değildir. Nilgun (1992) ise su kirliliğini suya doğal niteliklerini değiştiren bir şey eklemek olarak tanımlarken, nehir kıyısı sahibinin kendisine aktardığı derenin doğal suyunu alamamasını sağlar. Birinci ve üçüncü tanımların her ikisi de, insan etkilerinin bir sonucu olarak suyun özelliklerinin değişimini kabul eder. Bununla birlikte, ilk tanım, kirliliğin belirli kullanımlar için suyun uygunluğunu azalttığını kabul ederek son ikisine nazaran daha kapsamlıdır.

Sanitasyon ve atık su arıtımı eksikliği, su kirliliği açısından en büyük faktördür. Su kütleleri, kentsel alanlardan veya endüstrilerden arıtılmamış su için boşaltma alanı olarak kullanılır. Birleşmiş Milletler Dünya Zirvesi'ne (2002) göre, her yıl yaklaşık 450.000m³ atık suyun dünyadaki nehirlere, göllere ve derelere deşarj edildiği tahmin edilmektedir. Bu kirli suyu seyreltmek ve taşımak için 6 milyon m³ su daha gerekiyordu. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), mevcut eğilimler devam ederse, 21. yüzyılın ortalarında dünyanın kirli nehir akışının sadece kirli suyun taşınması ve sulandırılması için gerekli olacağı tahmininde bulundu (BM dünya zirvesi 2002) .

Dünya genelinde tatlı su kaynakları kirlilik nedeniyle baskı altındadır ve su kalitesi, özellikle kentsel alanlarda ve sanayi merkezlerine yakın bir alanda büyüyen bir endişe kaynağıdır (UNEP 2000; SADC 1996). Jenkins (1972) ve SADC (1996), suyun artan kentsel ve endüstriyel kullanımıyla, daha fazla miktarda organik ve inorganik atığın, su kaynaklarına atıldığını belirtmişlerdir.

Kirliliğin azaltılması, su kaynaklarının korunması ve kalitesini korumak, gelişmekte olan ülkelerde olması gerektiği gibi bir öncelik olarak görülmemektedir. Kötü su kalitesi insanların yaşam seviyesini sınırlandırmaktadır, dünyadaki ölümlerin yaklaşık % 35'i su kaynaklı hastalıklar ve su ortamında yaşayan vektörler tarafından bulaşan hastalıklardan kaynaklanmaktadır (UNEP 2002). Su kalitesi, tarım, sanayi ve turizm için de önemlidir. Bitkiler ve ekinler kirli su ile sulandığında, kirletici maddeler bitkileri kirletebilir ve onları yiyerek insanlara taşıyabilir, bu kirlenme balıklarda ve diğer hayvanlarda da olabilir. Kirli su, kirli su ile çalışan çiftçilere hastalıklar veya ölüm yayabilir (Çevre ve Kentleşme 2002).

Her ne kadar su kirliliğinin çeşitli tanımları olsa da, bilim insanları arasında insan faaliyetlerinin bir sonucu olarak suyun özelliklerinin değişmesi olduğu ve bunun da suyun belirli kullanımlar için uygunluğunu azalttığı konusunda fikir birliği olduğu görülüyor.

1.1.1. Su Kirliliğinin Kaynakları

Su kirliliği suya çok miktarda madde eklenmesi ve suyun olumsuz etkilenmesinden dolayı meydana gelir. Su kirliliği kaynakları; kaynak noktası belli ve belli olmayan kirlilik olarak sınıflandırılır.

1.1.1.1. Kaynak Noktası Belli Olan Su Kirliliği

Kirletici madde doğrudan su yoluna yayıldığında meydana gelir. Toksik kimyasalları doğrudan nehir suyuna dağıtan bir boru buna bir örnektir. Petrol sızıntısı kaynak noktası belli olan su kirliliğini gösteren bir örnek olabilir. Doğrudan kaynaklar arasında, fabrikalardan, rafinerilerden, atık arıtma tesisleri gibi doğrudan kentsel su kaynaklarına yayan atık çıkışlar bulunur. Bu kirletici maddelerin bu sularda bulunmadığı anlamına gelmemesi nedeni ile Amerika Birleşik Devletleri ve diğer ülkelerde, bunun için kanuni uygulamalar düzenlenmektedir.

1.1.1.2. Kaynak Noktası Belli Olmayan Su Kirliliği

Bir su yoluna kirletici madde akıntısı meydana geldiğinde ortaya çıkar, Bu tür su kirliliğinin bir örneği, bir tarladan gelen gübrelerin ve böcek ilaçlarının, yağmur aracılığı ile bir su akıntısına taşınmasıdır. Nokta kaynağı belli olmayan su kirliliği, çevresel değişimlerden dolayı kirletici maddelerin oluşmasına neden olur. Bu tür kaynakları kontrol etmek çok daha zordur. Bu kirlilik su kaynağına toprak / yeraltı suyu sistemlerinden ve atmosferden yağmur suyu ile giren kirletici maddeleri içerir. Topraklar ve zemin suları insanların tarım uygulamalarının (gübre, zirai ilaç, gibi) endüstriyel atıkların uygun olmayan bir şekilde bertaraf edilmesinden ortaya çıkmaktadır. Atmosferik kirleticiler ise insanların yanlış uygulamalarından oluşmaktadır (otomobillerden, fabrikalardan ve hatta fırınlardan çıkan gaz emisyonları gibi). Kirletici maddeler organik, inorganik, radyoaktif ve asit / baz olarak sınıflandırılabilir.

Kirleticilerin niteliği değişebilmesine rağmen, bunlar genellikle yetersiz sanitasyondan, insan ve hayvan atıklarında, deterjanlarda ve gübrelerde, pestisitlerde,

1. GİRİŞ

kimyasallarda, ağır metallerde, yaygın ve verimsiz sulamanın neden olduğu tuzluluk ve yukarı akış toprak erozyonu nedeniyle yüksek tortu yükleridir. Sudaki kirleticiler arasında ağır metaller kalıcılığı, biyo-büyütme ve toksisiteleri bakımından nispeten daha fazla önem kazanmıştır. Ağır metaller besin zincirine çeşitli yollardan kolayca girebilir ve canlı organizmaların yaşamları boyunca aşamalı birikimi ile ilerici toksik etkilere neden olabilir. Bu nedenle, ağır metalleri sudan çıkarmak ve çevresel ve biyolojik örneklerde tespit etmek için güvenilir yöntemlere ihtiyaç vardır.

1.2. Ağır Metallerin Özellikleri

Ağır metaller, 63.5 ila 200.6 g / mol arasında atom ağırlığına ve 5.0 g / cm³'ten daha büyük bir özgül ağırlığa sahip elementlerdir. Ağır metaller önemli çevresel kirleticilerdir ve toksisiteleri ekolojik, evrimsel, beslenme ve çevresel nedenlerden dolayı artan önemi olan bir problemdir. "Ağır metaller" terimi, göreceli olarak yüksek yoğunluğu olan ve düşük konsantrasyonda bile zehirli (biyolojik olarak çözünmeyen) veya zehirli olan herhangi bir metalik elemente atıfta bulunur. Bunun nedeni birçok inorganik metalin biyolojik olarak çözünmez olması ve düşük konsantrasyonlarda bile kanserojen bir etkiye sahip olabilmesidir.

Ağır metaller yer kabuğunun doğal bileşenleridir ve kolloidal, tanecikli ve çözülmüş fazlardaki yüzey sularında bulunur (Fu ve Wang 2010, Vinodh 2011, Kennish 1992). Kolloidal ve parçacıklı metal, hümik asitler, organo-killer ve organik madde ile kaplanmış oksitler için yüksek bir afinite sergileyen hidroksitler, oksitler, silikatlar, sülfidler veya kil, silika ve organik maddeye adsorbe edilmiş olarak bulunabilir. Çözünen konsantrasyonlar genellikle düşük olmasına rağmen, çözünür formlar genellikle iyonlardır veya birleşmiş organometalik şelatlar veya komplekslerdir. Eser metallerin sularda çözünürlüğü temel olarak su pH'ı, ligandların tipi ve konsantrasyonu, mineral bileşenlerin oksidasyon (yükseltgenme) durumu ve sistemin redoks (indirgenme) ortamı tarafından kontrol edilir (Connell ve ark. 1984).

Su ortamlarındaki yüksek çözünürlükleri nedeniyle, ağır metaller canlı organizmalar tarafından absorbe edilebilir; Bununla birlikte, organik kirleticilerden farklı olarak, biyolojik olarak parçalanamazlar ve canlı organizmalarda birikme eğilimindedirler. Besin zincirine girdikten sonra insan vücudunda büyük konsantrasyonlarda ağır metal birikebilir (Barakat 2011, Fu ve Wang 2012). Eser

element olarak, canlı organizmaların metabolizmasını korumak için bazı ağır metaller (örneğin selenyum, kobalt, bakır, demir, manganez, molibden, vanadyum, stronsiyum ve çinko) esastır. Bununla birlikte, daha yüksek konsantrasyonlarda, insanlar ve çevre için sağlık riski oluşturabilir ve zehirlenmeye yol açabilir (Vinodh 2011). Yüzey suyuna özel önem taşıyan esansiyel olmayan ağır metaller kadmiyum, krom, cıva, kurşun, arsenik ve antimon'dur (Kennish 1992). Ayrıca kurşun ve kadmiyum gibi iz metaller, kalsiyum ve çinko gibi benzer görünüme sahip temel besin maddeleri ile etkileşime girerler (Kurniuwan ve ark. 2006).

Yüzey sularındaki ağır metaller doğal veya antropojenik kaynaklardan kaynaklanabilir: şu anda, metallerin antropojenik girdileri doğal girdileri aşmaktadır. Kaynaklar ayrıca iki kategoriye ayrılabilir: kaynak noktası belli olan ve kaynak noktası belli olmayan şekildedir. Doğal girdiler genellikle hedef olmayan kaynaklar olarak sınıflandırılır: magmatik ve metamorfik kayaların ve toprakların kimyasal ve fiziksel yıpranması, genellikle ağır metaller salgılar; diğer katkılar arasında bitki ve hayvan tozlarının ayrışması, havadaki partiküllerin volkanik aktiviteden geri çekilmesi veya atmosferik birikimi, rüzgar erozyonu, orman yangını dumanı, bitki atıkları ve okyanus spreyi bulunur (Kennish 1992). Antropojenik girdiler hem kaynak noktası belli olan hem de kaynak noktası belli olmayanı içerir. Madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan yüzeysel akışlar ve karayolları ve atmosferik serpinti kaynaklı metaller içeren kentsel yağmur suyu akışları birinci kategori için örnek teşkil ederken, nokta kaynakları temel olarak endüstriyel atıklardan, atık çamurlardan ve metabolik atıklardan metal içeren evsel atık sulardan, su borularının korozyonundan ve tüketici ürünleri teşkil eder (Connell ve ark. 1984).

Ağır metal iyonlarının etkili bir şekilde uzaklaştırılması için büyük çaba harcanmıştır. Atık sulardan ağır metallerin uzaklaştırılması için en yaygın olarak kullanılan yöntemler, iyon değişimi, kimyasal çöktürme, ters ozmoz, buharlaştırma, membran filtrasyon ve adsorpsiyon bulunmaktadır. Ancak, pahalı atıksu arıtma yöntemlerinin yerine koymak için etkili ve ucuz adsorbanların (adsorpsiyon işleminde kullanılan) üretilmesine olan ilgi, bilim adamlarının dikkatini çekmektedir.

1. GİRİŞ

1.3. İçme Suyunda Ağır Metaller İçin Uluslararası Standart ve Referans Değerleri

Metal kaplama tesisleri, madencilik işlemleri, gübre endüstrileri, tabakhaneler, piller, kâğıt endüstrileri ve böcek ilaçları gibi endüstrilerin hızla gelişmesi nedeniyle, ağır metal atık suları doğrudan veya dolaylı olarak çevreye deşarj edilmekte ve böylece birçok suyun kalitesi etkilenmektedir içme suyu temini için kaynaklar. Gittikçe daha sıkı düzenlemelerle karşı karşıya kalan günümüzde ağır metaller çevresel öncelikli kirleticiler arasında yer almakta ve en ciddi çevresel sorunlardan biri haline gelmektedir (Fu ve Wang 2010). Sonuç olarak, birçok gelişmiş ülke kendi ülkelerinde uygulanacak standartları belirler. Avrupa'da, buna Avrupa İçme Suyu Direktifi dâhildir ve ABD'de Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (EPA) Güvenli İçme Suyu Yasası'nın gerektirdiği standartları oluşturur; Çin 2002 yılında kendi içme suyu standardını benimsemiştir. Bu standartlar için yasal veya idari bir çerçeveye sahip olmayan ülkeler için, Dünya Sağlık Örgütü, su için ulusal halk sağlığını destekleyen güvenlik yönetmeliklerin ve standartların belirlenmesi için otoriter bir temel oluşturan standartlara (“Kılavuz Değer”) ilişkin kılavuzlar yayınlamaktadır (WHO 2011). Çizelge 1.1, içme suyunda sağlık açısından önemli olan ana ağır metaller veya metaloidler için farklı uluslararası veya ulusal otoriteler tarafından belirlenen kılavuz / standart değerleri karşılaştırmaktadır.

Çizelge 1.1. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), ABD Çevre Koruma Ajansı (USEPA), Avrupa Birliği (AB) ve İtalyan hükümeti (ITA) tarafından belirlenen ağır metaller için içme suyu kılavuzu / standart konsantrasyonlar.

Kirletici Madde	Birim	WHO	USEPA	EU	ITA
Antimon	mg/L	20	6	5	5
Arsenik	mg/L	10	10	10	10
Baryum		700	2000	NA*	NA
Berilyum	mg/L	NA	4	NA	NA

Çizelge 1.1. Dünya Sağlık Örgütü (WHO), ABD Çevre Koruma Ajansı (USEPA), Avrupa Birliği (AB) ve İtalyan hükümeti (ITA) tarafından belirlenen ağır metaller için içme suyu kılavuzu / standart konsantrasyonlar (Devamı)

Kirletici Madde	Birim	WHO	USEPA	EU	ITA
Bor	mg/L	2400	NA	1000	1000
Kadmiyum	mg/L	3	5	5	5
Krom	mg/L	50	100	50	50
Bakır	mg/L	2000	1300	2000	1000
Kurşun	mg/L	10	15	10	10
Cıva	mg/L	6	2	1	1
Nikel	mg/L	70	20	20	20
Selenyum	mg/L	40	50	10	10
Talyum	mg/L	NA	2	NA	NA

1 Avrupa İçme Suyu Direktifi: 3 Kasım 1998 tarih ve 98/83 / EC sayılı Konsey Direktifi

2 D. Lgs. 31/2001: 2 Şubat 2011 tarihli ve Kanun Hükmünde Kararname

* NA: uygun değil

Güvenli İçme Suyu Yasası (SDWA), Amerikalı'ların içme suyunun kalitesini sağlayan ana federal yasadır: SDWA uyarınca, EPA, hem insan sağlığını koruyan seviyeyi yansıtan yasal sınırlar ("MCL", Maksimum Kirletici Seviyesi ") belirler ve mevcut en iyi teknolojiyi kullanarak su sistemlerinin ulaşabileceği seviye. Bu yasal sınırları belirlemenin yanı sıra, EPA kuralları su test programları ve su sistemlerinin uyması gereken yöntemler belirler. Ulusal Birincil İçme Suyu Düzenlemeleri (NPDWR'ler veya birincil standartlar) kamu su sistemlerine uygulanan yasal olarak uygulanabilir standartlardır (USEPA 2012).

Yaygın olarak madencilik endüstrisi, batarya endüstrisi atıklarında bulunan Cr (VI), Pb (II) ve Cd (II) gibi ağır metaller USEPA tarafından öncelikli ve toksik

1. GİRİŞ

kirleticiler olarak tanımlanmıştır ve belediye kanalizasyonuna boşaltılmadan önce arıtımı yapılmalıdır.

1.4. Ağır Metaller

1.4.1. Kurşun (Pb)

Kurşun (Pb), (iyon hali Pb^{2+}) atom numarası 82 ve molar kütlesi 207.2 olan bir metaldir. Pb vücudumuz için gerekli metal değildir ve vücudumuz uzun süreli kurşun meteline maruz kaldığında çok toksikliğe neden olur (Tan ChunHo 2015, Muhammad 2011, WHO 2013). Bazı yerlerde Pb iyonları içeren büyük miktarlarda atık sular tespit edilmiştir. Pb, doğrudan veya dolaylı olarak yüzey ve yer altı sularına karışır(EPA 1984).

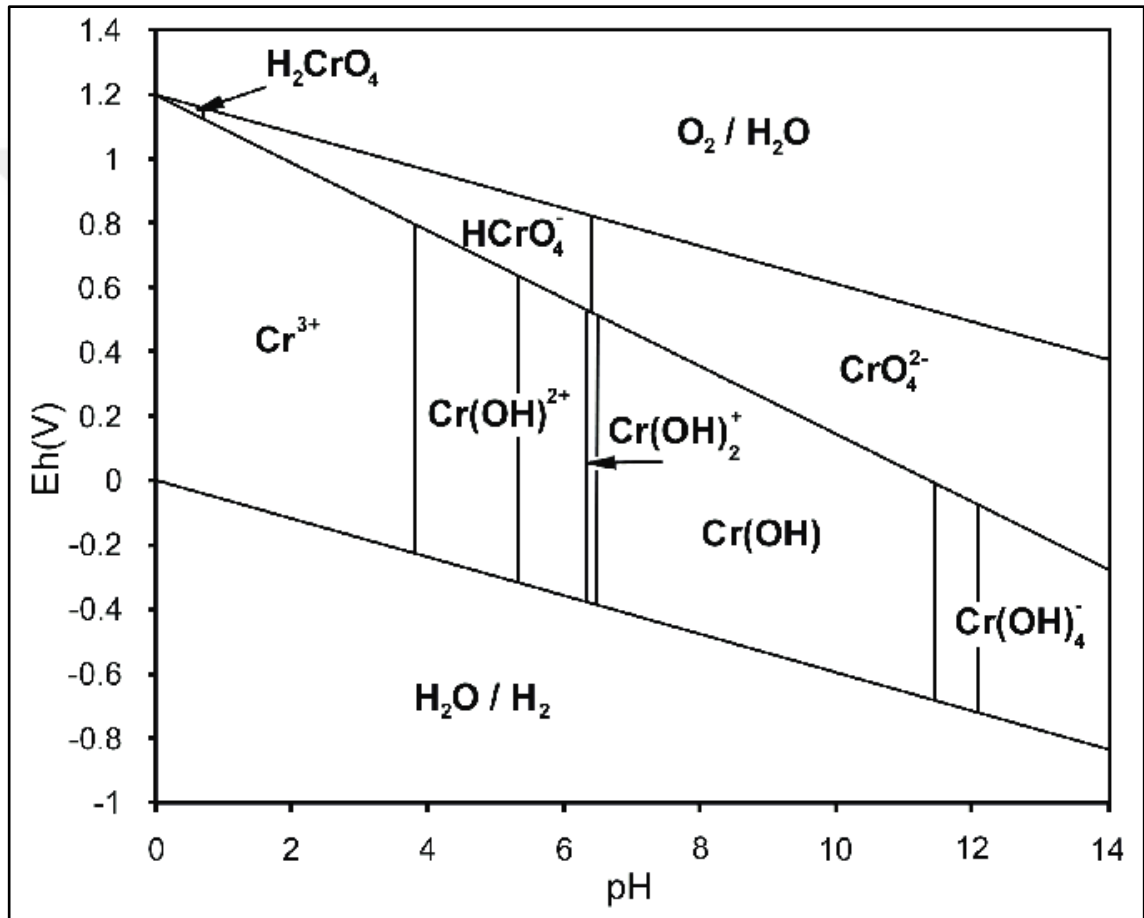
Ayrıca Pb, endüstriyel alanda ve asit batarya, plastik stabilizatörler, mühimmat, boya vb. günlük yaşamda yaygın olarak kullanılmaktadır. Eski günlerde Pb, su dağıtım sisteminde Pb boru olarak yaygın bir şekilde kullanılmaktadır ve bunun neden olduğu sağlık sorunlarının keşfinden sonra bu alanlarda Pb kullanımı yasaklanmıştır, ancak bugünlerde eski su dağıtım sisteminde Pb boru hala mevcuttur. Pb karsinojenik ve çok zehirli bir metaldir. Pb metalinin insan vücudunda böbrek hasarı, hafıza kaybı, halüsinasyonlar, akciğer kanseri, mide kanseri ve üreme sorunları gibi birçok sağlık sorununa neden olduğu kabul edilmiştir (Tan Chunho 2015, Muhammad 2011, WHO 2013).

1.4.2. Kadmiyum (Cd)

Kadmiyum (Cd) çinko, bakır ve kurşun ile birlikte cevherlerde düzenli olarak bulunur. Cd, bileşiklerinde yalnızca “+2” değer gösterir; özellikle de kükürt ile kovalent bağ oluşturma eğilimindedir. Cd, endüstriyel işlemlerde yaygın olarak kullanılır, örneğin: korozyon önleyici bir madde olarak, PVC ürünlerinde bir stabilizatör, bir renk pigmenti, nükleer santrallerde bir nötron emici veya nikel-kadmiyum pillerin imalatında. Fosfatlı gübreler ayrıca büyük bir kadmiyum yükü sergiler. Cd içeren bazı ürünler geri dönüştürülebilmesine rağmen, genel Cd kirliliğinin büyük bir kısmı, Cd kirliliği olan atıkların boşaltılması ve yakılmasından kaynaklanmaktadır. Küresel toplam Cd emisyonu 7000 ton / yıl'dır.

1.4.3. Krom (Cr)

Krom, 0 ila VI arasındaki oksidasyon basamaklarını gösteren birçok kimyasal formda bulunabilir. Ancak bunlardan sadece ikisi, üç değerlikli ve altı değerlikli krom, çevrede oluşabilecek kadar stabildir. Cr (IV) ve Cr (V) sadece üç değerlikli ve altı değerli oksidasyon durumlarının sırasıyla oksitleyici ve indirgeyici ajanlarla reaksiyonlarında stabil olmayan ara maddeler oluşturur. Bir sulu çözelti içinde krom türlerinin dağılımı pH 0 ile 14, Şekil 1.1'de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Krom için Pourbaix diyagramı (Mohan ve Pittman 2006)

Üç değerli krom (krom III), hidrolize $Cr(H_2O)_4OH^{2+}$ formunda doğal sularda bulunur ve kompleksleşir ve hatta kolloidal maddede emilir. Vücuttaki temel bir mikro besin maddesidir ve şekeri, proteini ve yağı dönüştürmek için çeşitli enzimlerle birleşir. Krom (III) ayrıca boyalar, boya pigmentleri ve deri tabaklama için tuzlar da dahil olmak üzere birçok ticari üründe kullanılır.

1. GİRİŞ

CrO_4^{2-} , $HCrO_4^-$ veya $Cr_2O_7^{2-}$ olarak bulunan hegzavalent krom (krom VI) ortamın pH'sine bağlıdır. Kanserojen ve mutajenik olduğu bilinmektedir ve deri iltihabını uyarır. Krom kaplama gibi endüstriyel işlemlerde kullanılan çeşitli bileşiklerde oluşur. Cr (VI) ve Cr (III) çevreye sanayi ve soğutma suyu kulelerinden boşaltılan atık suların bir sonucu olarak girmektedir. Krom ayrıca içme suyu tedarik sistemlerine su boruları ve kaplarda kullanılan korozyon inhibitörleri veya temiz toprak dolgudan sızan yeraltı sularının kirlenmesi ile girebilir.

Farklı pH değerlerinde krom dengesi değişmektedir;



Asidik Solüsyonlarda Denge



Alkali Ph'larda Denge



Sulardaki Cr konsantrasyonundaki yerel artış (çoğunlukla nehirlerde), atık suyun metalurji endüstrisi, galvanizleme ve tabaklama endüstrilerinden, ölmeden, sıhhi atık depolama alanlarından, su soğutma kulelerinden ve diğer kimyasal endüstrilerden boşaltılmasından kaynaklanmaktadır. Atık sularda bulunan krom türlerinin sayısı ve türü, krom kullanan endüstriyel işlemlerin karakterine bağlıdır.

1.4.3.1. İnsanlarda Krom Toksisitesi

Kanserejenik ve mutajenik özellikleri nedeniyle Cr(VI) insan kanserojen maddesi olarak A grupta yer alır (Şencan 2006). Cr(VI)'ya maruz kalınma, mide

bulantısına, ishale, kanamalara (Browning 1969, Gupta 2001), sindirim sistemi ve akciğerlerde kansere neden olabilir (Kaufman 1970).

1.5. Adsorpsiyon

Maddedeki atom iyon veya moleküllerin maddenin yüzeyine tutunması olayına adsorpsiyon denir. Yüzeyde tutunan taneciklerin ayrılması olayına ise desorpsiyon denir. Eğer madde yüzeye tutunmuşsa adsorplanan, maddenin katı kısmına adsorplayan (adsorbent veya adsorban) denir. Adsorpsiyon tipleri ise şunlardır: sıvı-sıvı, sıvı-katı, sıvı-gaz, katı-gaz gibi iki ayrı fazdaki ara yüzeylerde meydana gelir (Boğa 2016, Eşiyok 2011).

Atık sulardan ağır metal giderimin de sıvı-katı adsorpsiyon tipi kullanılmaktadır. Adsorpsiyon işlemi birçok doğal biyolojik ve kimyasal sistemler için etkilidir. Atık sularda ağır metallerin giderilmesinde pomza, zeolit, kil ve aktif karbon gibi maddeler kullanılmaktadır (Boğa 2016, Nas 2006, Slejko 1985).

1.5.1. Adsorpsiyon Çeşitleri

Adsorbent molekülü ve adsorban arasındaki mevcut kuvvetin yapısına bağlı olarak, üç tip adsorpsiyon vardır (Weber 1985, Weber ve ark. 1991). Bunlar, Fiziksel, Kimyasal ve İyon Değişimidir.

1.5.1.1. Fiziksel Adsorpsiyon

Bu adsorpsiyon türü, zayıf Van Der Waals kuvvetlerinin etkisinden kaynaklanır. Bunlar, London dispersiyon kuvvetlerinden, adsorbent ve adsorban moleküllerinin dipol momentleri arasındaki etkileşimlerle ilişkili klasik elektrostatik kuvvetlerden oluşur. Bu tür adsorpsiyon spesifik değildir (Haymaker ve Thompson 1972).

1.5.1.2. Kimyasal Adsorpsiyon

Bu adsorpsiyon türünde, gaz molekülleri veya atomları katı yüzeye kimyasal bağlarla tutulur. Elde edilen kimyasal bağ genel olarak fiziksel London kuvvetlerinden daha güçlüdür ve kovalent bir bağın kuvvetine çok benzerdir. Oldukça spesifiktir ve sadece adsorban ile adsorbent arasında kimyasal bağlanma olasılığı varsa meydana gelir. Çözünen molekülleri ve spesifik yüzey kimyasal grupları arasında oluşan bağlar, gerçek kimyasal bağların tüm özelliklerine sahiptir (Bernardin 1985, Weber 1972).

1.5.1.3. Değişim Adsorpsiyonu veya İyon Değişimi

İyonik türlerin elektrostatik olarak bir adsorban yüzeyindeki zıt yüklü bölgelere eklenmesini ve bu türlerin daha sonra elektrostatik afiniteye sahip diğer iyonik adsorbentlerle yer değişimini içerir. Bu adsorpsiyon türünde karakteristik etkileşimler iyon-iyon ve iyon-dipoldür (Bernardin 1985, Weber 1972).

1.5.2. Adsorpsiyon İzotermi

Adsorpsiyon izotermilerinin deneysel verilerini tanımlamak için çeşitli matematiksel modeller kullanılabilir. Denge verileri Langmuir, Freundlich gibi eşitliklerle modellenmiştir (Hamdaoui ve ark. 2007).

1.5.2.1. Langmuir İzotermi

Langmuir izotermi, birden fazla sistemin denge adsorpsiyon davranışını ifade etmede ve katı yüzeylerinin toplam yüzey alanını belirlemede kullanılmaktadır. Langmuir modeli, üniform enerjileri varsayar. Yüzeğe adsorpsiyon ve yüzey düzleminde adsorbat transmigrasyonu yoktur. Langmuir denklemi şöyle yazılabilir (Hamdaoui ve ark. 2007).

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e}$$

q_m : Adsorbentin maksimum adsorplama kapasitesi (mg/g)

q_e : Adsorbentin birim kütlesi başına adsorplanan madde miktarı (mg/g)

C_e : Çözeltide adsorplanmadan kalan maddenin derişimi (mg/L)

K_L : Langmuir adsorpsiyon sabiti

Denklem lineer hale dönüştürülürse aşağıdaki denklem elde edilir;

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L} \frac{1}{C_e} + \frac{1}{q_m}$$

. Eğim $\frac{1}{C_e}$ 'e karşı $\frac{1}{q_e}$ grafiğe geçirilmesi halinde doğrunun kaymasından q_m , kaymasından ise K_L sonucuna varılır (Bansal ve ark. 2005).

1.5.2.2.Freundlich İzotermi

Bu denkleme göre adsorbentin yüzeyinde heterojen adsorpsiyon bölgeleri vardır. Bu heterojen bölgeler değişik türdeki adsorpsiyon bölgelerini meydana getirmiştir. Freundlich ifadesi üstel bir denklemdir ve bu nedenle adsorbent konsantrasyonu arttıkça, konsantrasyon ve adsorban yüzeyi de artmaktadır (Hamdaoui ve ark. 2007).

Bu denklem aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$q_e = K_F (C_e)^{1/n}$$

q_e : Denge anında birim adsorbent üzerine adsorblanan madde miktarı (mg/g)

C_e : Dengede sıvı fazdaki madde derişimi (mg/L)

K_F : Freundlich sabiti, adsorbent kapasitesinin bir ölçüsüdür.

n : Freundlich sabiti, adsorpsiyon şiddetini (yoğunluğunu) belirtir.

Bu denklemin lineer olarak ifade edilmesi aşağıdaki gibidir;

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e$$

$\ln q_e$ 'ye karşı $\ln C_e$ grafiğe geçirilirse doğrunun eğiminden n , kayma değerinden ise K_F sabiti bulunabilir (Bansal ve ark. 2005).

1.5.3.Adsorbent Tipleri

1.5.3.1.Aktif Karbon

Geniş yüzey alanına ve çok sayıda gözeneğe sahip olması nedeniyle, ağır metallerin uzaklaştırılmasında aktif karbonlar kullanılmıştır. Bu uzaklaştırma, metal iyonlarının yüzeyi oksijen içeren çeşitli fonksiyonel gruplara elektrostatik olarak çekilmesi veya kompleksleştirme reaksiyonu ile gerçekleştirilir ve hindistancevizi kabukları, kestane kabuğu ve tarımsal atıklar gibi kolayca temin edilebilen karbonlu öncülerden kolayca hazırlanır. Aktif karbon, düşük bir maliyetinin olması ve

1. GİRİŞ

adsorpsiyon kapasitesinin yüksek olması nedeniyle arıtma işlemlerinde çok tercih edilmiştir. Zayıf asidik iyon değişim karakterine sahip olması nedeniyle aktif karbon, kirletici maddelerin iz metaller olarak uzaklaştırılmasında ve atık sulardan kirletici maddelerin adsorbe edilmesinde etkilidir (Monser ve Adhoum 2002, İnce ve ark. 2017).

1.5.3.2. Biosorbentler

Zirai materyallerden elde edilen düşük maliyetli adsorbanların kullanıldığı yeni bir süreçten ötürü, biyosorpsiyon, özellikle sulu atıklardan ağır metalleri uzaklaştırmak için birçok araştırmacı tarafından çeşitli çalışmalarda tercih edilmektedir. Biyosorpsiyon, çevre dostu, ucuz, yüksek verim, yeniden kullanım ve metal geri kazanma olasılığından ötürü, diğer adsorpsiyon tekniklerine göre bazı avantajlara sahiptir. Yaygın olarak, gıda atıklarının veya tarımsal artıkların arıtılmasında tercih edilir (Monser ve Adhoum 2002, İnce ve ark. 2017).

1.5.3.3. Karbon Nanotüpler

Birkaç Karbon atomunun, birbirine bağlanarak, top şeklinde oluşturdukları kafes yapılarıdır. Teknolojinin gelişmesiyle, karbon nanotüplerin üretimi ve kullanımındaki ilgi artmıştır. Ağır metallerin sıvı çözeltilerden uzaklaştırılması için yüzey emilimi özellikleri nedeni ile karbon nanotüpler geliştirilmiştir (Gupta ve ark. 2011, İnce ve ark. 2017).

1.5.3.4. Killer

Yüksek kation değişim kapasitesi, geniş yüzey alanı, kimyasal ve mekanik stabilite ve tabakalı yapı gibi bazı karakteristik özelliklerden ötürü, killer ağır metaller için yüksek sorpsiyon kapasitesine sahiptir. Bu avantajlarından dolayı çok sayıda araştırmacı, çeşitli kirletici maddeleri, özellikle sulu ortamdaki ağır metal iyonlarını adsorbe etmek için killeri kullanılmışlardır (Rozic ve ark. 2000). Montmorillonite, doğal killer arasında kolay manipülasyonu, bolluğu, çevre dostu ve çevreye zararsızlık nedeniyle ağır metaller için potansiyel bir iyonik eşanjör olarak tanımlanmıştır (Chen ve ark. 2003, İnce ve ark. 2017).

1.5.3.5. Metal Oksitler

γ -Fe₂O₃, γ -Al₂O₃ ve TiO₂, MnO₂ ve gibi nanosize metal oksitler, çevresel olarak iyi huyludur ve sulu ortamdan ağır metal adsorpsiyonu için spesifik afinite ve yüksek

yüzey alanı nedeniyle amfoteriksorpsiyon davranışlarını gösterir (Sarkar ve ark. 2011, Hua ve ark. 2012).

1.5.3.6. Zeolitler

Zeolitler, yapısal ve değerli özellikleri nedeniyle iyon değiştirici malzemeler olarak hareket ederler. Bu nedenle, zeolitler, metal iyonları ile kolayca iyon değişimi, nispeten yüksek özgül yüzey alanları, düşük iyonların yanı sıra yüksek iyon değişim kapasitesi nedeniyle sulu ortamdan metal iyonlarının uzaklaştırılması için yaygın olarak kullanılmaktadır. Zeolitlerin çoğu en bol olanlarıdır ve ağır metaller gibi belirli kirleticiler için yüksek seçiciliğe sahiptirler (Zhao ve ark. 2011, Bosco ve ark. 2005).

1.5.3.7. Pomza

Pomza; gözenekli, şekilsiz bir yapıdadır. Ayrıca pomza kristal yapıların içine girip çıkar, su ve iyonlar için açık kanallar içerir, geniş bir yüzey alanı ve iskelet yapısına sahiptir. Pomzanın su üzerinde yüzmesi ve -OH grupları içerdiği için yüzey aktivite için önemlidir. Pomza Akdeniz bölgesinde (İtalya, Türkiye (Diyarbakır, Bitlis, Nevşehir..vb.), Yunanistan ve İspanya), Kayalık Dağlarda ve ABD'nin Pasifik Kıyısında bol miktarda bulunur. Pomza genel olarak SiO₂'den oluşmaktadır. Pomza taşı ayrıca % 13,5-17,2 Al₂O₃, % 2,4–10 K₂O ve eser miktarda TiO₂, CaO, MgO ve Na₂O aralığındaki diğer önemli bileşikleri de içerir. Yüksek oranda silika içeren, pomza yüzeyinde negatif yüklenmeden ötürü ağır metalleri kolayca adsorbe edebilmiştir. Pomza, dünyada yüzyıllarca farklı amaçlar için kullanılmıştır. Pomza Ağır metalleri, organik maddeleri ve boyaları adsorbe ettiği için düşük maliyetli bir adsorbent kapasitesine sahiptir.

Pomza; asidik ve bazik özellikleri ile iki tipte sınıflandırılır. Asidik pomza bazaltik pomzadan daha yüksek SiO₂ içerir. Ayrıca, asidik pomza yoğunluğu bazaltik pomzadan daha düşüktür. Bu karakteristik özelliklerinden dolayı asidik pomza daha uygun bir hammaddedir ve ağır metallerin adsorbsiyonunda adsorban olarak kullanılır. Adsorpsiyon işlemi ağır metalleri, organik maddeleri, boyaları vb. uzaklaştırmak için en tercih edilen yöntemlerden biridir (Çifçi ve Meriç 2015).

1.5.3.7.1. Pomza Taşının Uygulama Alanlarına Genel Bakış

Pomza, birçok alanda kullanılan önemli bir destek malzemesidir. Pomza taşı, temelde yapı, inşaat malzemesi, su, atık su ve hava arıtımının yanı sıra atık arıtma ve

1. GİRİŞ

hidrojenasyon işlemlerinin desteklenmesi için emici, filtre yardım malzemesi olarak kullanımı son yıllarda önemli ölçüde artmıştır. Pomza taşı son yıllarda yapılan araştırmalarda ağır metallerin (Ar, Cu, Co, Ce, Zn, Se, Cd, Cr, Ni, Sr, Cs, U ve Th iyonları gibi) giderilmesinde adsorban olarak başarılı bir şekilde kullanılmıştır (Çifçi ve Meriç 2015).

1.6. Sıfır Değerlikli Demir (Fe^0)

Demir, yer kabuğunun dördüncü en bol elementidir. Son on yılda, Fe^0 , toksik olmayan, bol, ucuz, üretim kolaylığı nedeniyle kirletici maddelerin giderilmesi kullanımı artmıştır. Fe^0 reaktif bir metaldir ve standart redoks potansiyeli vardır ($E^0 = -0.44$ V). Fe^0 , çözülmüş oksijen varlığında bir dizi organik bileşiği indirgeyebilir ve oksitleyebilir. Fe^0 , nitroaromatik bileşikler, arsenik, ağır metaller ve klorlanmış organik bileşiklerle kirlenmiş yeraltı suyu ve atık suyun iyileştirilmesi arıtımı için kullanılabilir (Su ve ark.2012, Choi ve ark. 2012).

1.6.1. Fe^0 'deki Son Gelişmeler

1.6.1.1. Nano Ölçekli Demir (nFe^0)

Son 10 yılda nFe^0 'in birçok türden kirletici maddelerin uzaklaştırılması adaptasyonuna, yüksek yüzey alana ve daha yüksek reaktiviteye sahip olmasından dolayı büyük bir ilgi görmüştür. nFe^0 'in oksitlenme eğilimi güçlüdür (Greenlee ve ark. 2012).

1.6.1.2. nFe^0 'inin Destek Üzerine İmmobilizasyonu

nFe^0 'inin kirlenmiş yeraltı sularının veya deniz suyunun iyileştirilmesinde kullanılması, kolay toplanma ve nFe^0 'inin işlenmiş çözeltisinden ayrılması aşamasında zor olması nedeniyle sınırlıdır. Bu sorunları ortadan kaldıran nFe^0 katı gözenekli materyaller üzerinde desteklenmiş maddeler, karbon, pomza, reçine, bentonit, kaolinit ve zeolit farklı kirletici maddeleri uzaklaştırmaya çalışmıştır. nFe^0 partiküllerinin, kontaminantların uzaklaştırılması için destekleyici materyaller üzerinde hareketsiz kılınması, nFe^0 'nin mükemmel redüksiyon kabiliyetini korumak için kolay bir çalışma sağlamakla kalmaz (Ling ve ark. 2012). Literatür raporlarına göre, en çok desteklenen nFe^0 , ağır metalin giderilmesi için kullanılmaktadır (Zhang ve ark. 2010).

Son zamanlarda, gelişmiş kitosan tanecikleri, galvanizli atık sulardan ağır metalleri çıkarmak için PRB'lerde bir destek malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır (Liu ve ark. 2013). $n\text{Fe}^0$ partiküllerinin destekleyici materyaller üzerine hareketsizleştirilmesi de atık sulardan boyaların uzaklaştırılması için araştırılmıştır (Shu ve ark.2010).

1.6.1.3. Fe^0 'nin Diğer Metallerle Dopingi

Metaller Fe^0 , bimetalik partiküllerin demir esaslı ana metal ile reaktifliğini arttırmak ve demir yüzeyinde paladyum (Pd), bakır (Cu), nikel (Ni) veya platin (Pt) gibi ince bir geçiş metali çökeltisi biriktirmek için özellikle kirletici maddelerin uzaklaştırılmasında etkili olmuştur. Fe^0 yüzeyindeki doping transformasyonlarının, hidrojen katalizörleri veya reaktif elektro-amortisörler olarak görev yaparak traksiyon oranlarını arttırdığına bilinmektedir. Bimetalik partiküller, daha hızlı reaksiyon kinetikleri ve partikül yüzeyinde korrosion ürünlerinin daha yavaş çökmesi gibi , Fe^0 'ya göre çeşitli potansiyel avantajlara sahiptir (Xu ve ark. 2012). Bimetalik partiküller arasında, Pd / Fe bimetalik sistem, tetrabromobisfenol A, 2,4-diklorofenol, monoklorobenzen, pentaklorofenol ve poliklorinlibifeniller için oldukça yüksek bir çıkarılma etkinliği sergiler. Pd / Fe bimetalik partiküller ile traklorolofenisol A'nın klorlama oranı, Fe^0 tarafından olduğundan daha fazladır ve ana ürün bisfenol A'dır (Huang ve ark. 2013). Ayrıca, Fe^0 'nin yüzeyine biriktirilen metal Pd, Fe^0 yüzeyinde aku-mulatlanmış toksik ara maddelerin üretimini etkin bir şekilde azaltabilmiştir (Choi ve ark. 2009).



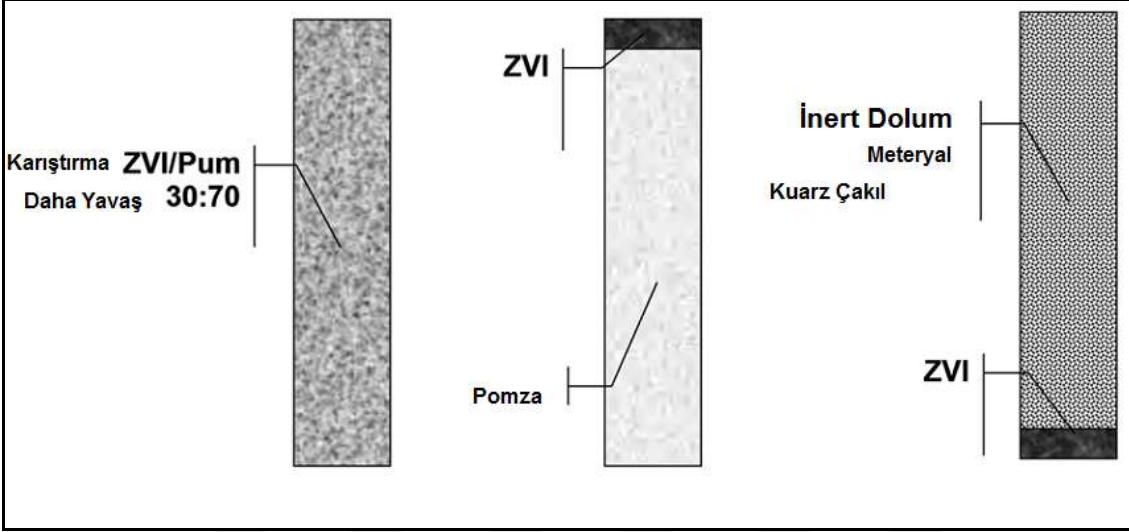
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Çiftçi ve Meriç tarafından demir emdirilmiş pomza kompozitiyle manganın adsorpsiyonu çalışılmıştır. Mangan (Mn) genellikle yer altı ve yüzey sularındaki yüksek konsantrasyonlar da bulunan bir elementtir. Endüstriyel deşarjlar aynı zamanda çevrede önemli bir Mn kirliliği kaynağıdır. Adsorpsiyon, düşük maliyetli adsorbanların bu amaç için denendiği Mn seviyelerini azaltmak için yaygın olarak çalışılan bir tekniktir. Pomzanın organik ve ağır metallerin uzaklaştırılmasında etkili adsorban olduğu bilinmektedir. Yüzeyini değiştirerek için bilimsel çalışmalar yapılmıştır, ancak henüz Mn'yi çıkarmak için demir emdirilmiş pomzanın uygulanması çalışılmamıştır. Bu çalışmada, Mn konsantrasyonunun ve adsorban dozunun, Mn'nin adsorpsiyon etkinliği üzerindeki etkisi araştırılmıştır. İzoterm modelleri için detaylı bir kinetik değerlendirme yapılmıştır. Yeni kompozitin kararlılığını değerlendirmek için demirin salım çalışmaları izlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, Demir (Fe) emdirilmiş pomza kompozitinin, Mn'yi çıkarmak için pomza adsorbanından daha etkili olduğunu göstermiştir. Langmuir ve Temkin izotermi diğer modellere göre daha yüksek korelasyon katsayıları elde edilmiştir. Serbest bırakılan Fe konsantrasyonunun, endüstriyel deşarj limitlerinin yanı sıra içme suyu için Dünya Sağlık Örgütü (WHO) kılavuz değerinin çok altında olduğu bulundu. Bu ön sonuçlar, Fe-pomza kompozitinin ümit verici ve ekonomik bir adsorban olduğunu ve kullanılacak kompozitin dozu azaltılarak stabilitesini ve ekonomik yönünü arttırmak için daha ileri araştırmaların devam ettiğini göstermektedir (Çiftçi ve Meriç 2016).

Moraci ve arkadaşları, sıfır değerli demir (Fe^0) / pomza geçirimli reaktif bariyerlerde ağır metallerin uzaklaştırılması ve hidrolik performansını çalışmışlardır. Uzun vadeli düşünüldüğünde, yer altı suyunun ıslahı için geçirimli reaktif bariyerlerde Fe^0 kullanımı önemli bir konudur. Aslında, yayınlanan birkaç makalede, hidrolik iletkenlik ve giderim verimi, bariyerin işlevselliğini tehlikeye düşürecek şekilde çalışma sırasında aşamalı olarak azaltılmıştır. Bu sorunu çözmek için, yakın zamanda Fe^0 ve doğal pomza karışımlarının kullanılması önerilmiştir. Yapılan çalışmada, çeşitli konsantrasyonlar da nikel ve bakır çözeltileri kullanarak kolon testlerinin sonuçları rapor edilmiştir. Sonuçlar, demir pomza granül karışımlarının hem kirletici madde giderimi hem de uzun vadeli hidrolik iletkenliği sağlama açısından iyi performans gösterdiğini açıkça göstermektedir. Fe^0 / kum karışımları ile bakırın uzaklaştırılmasına

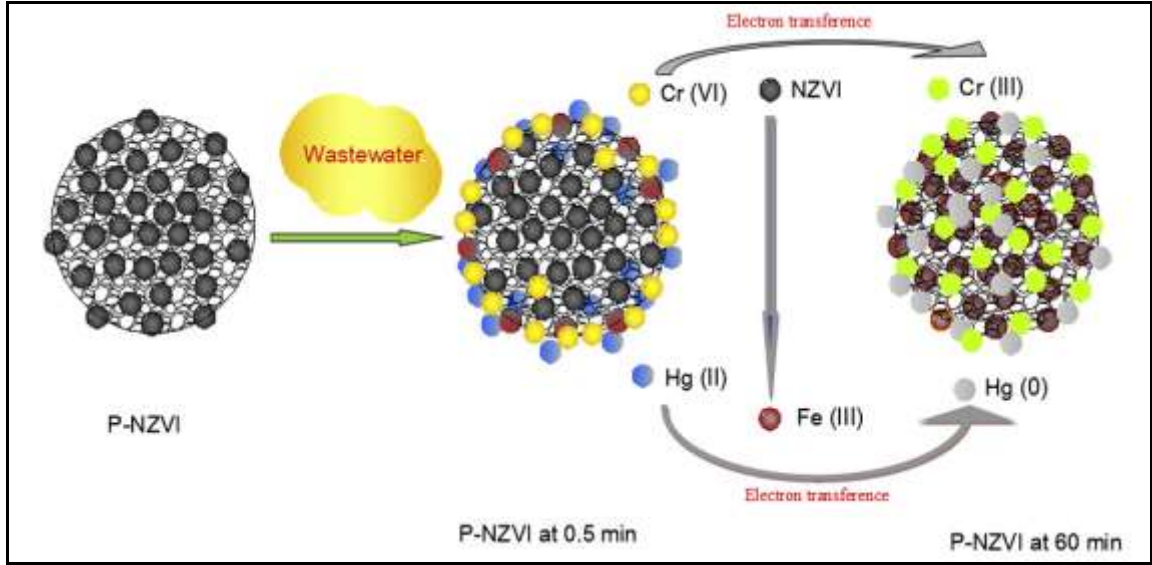
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

ilişkin önceki raporlarla karşılaştırıldığında, Fe^0 / pomza daha yüksek giderim verimi göstermiştir (Moraci ve ark. 2010).



Şekil 2.1. Karşılaştırmalı Kolon Testi Düzenegi

Liu ve arkadaşları tarafından yeni ve etkili pomza destekli nano ölçekli sıfır değerli demir ($P-nFe^0$) bileşiği kullanarak atık sudan cıva (II) ve kromun (VI) uzaklaştırılması çalışması yapılmıştır. Pomzada başarıyla desteklenen nano ölçekli sıfır değerli demir (nFe^0), ağır metalleri atık sudan daha iyi bir giderim kapasitesi ve verimi ile uzaklaştırmak için kullanılmıştır. Ortalama çapı 30.6 nm olan nFe^0 partiküller, $P-nFe^0$ 'nin yüzeyine düzgün şekilde dağıtılmıştır. $P-nFe^0$ termal kararlılığı ve mekanik gücü de açıkça geliştirilmiştir. Hg (II) ve Cr (VI) 'nın $P-nFe^0$ ile adsorpsiyon kapasitesi sırasıyla 332.4 mg 306.6 mg'dır. pH arttıkça olarak Hg (II) giderim oranları artmış ancak Cr (VI) 'nın giderim oranları ise yavaş yavaş azalmıştır. $P-nFe^0$ yenilenmiş bir malzemedir. X-ışını fotoelektron spektroskopisi analizi (XPS) sonuçları, Hg (II) ve Cr (VI) 'nın ilk 0.5 dakika içinde hızlı bir fiziksel adsorpsiyon yoluyla uzaklaştırıldığını göstermiştir (Liu ve ark. 2014).



Şekil 2.2. Hg (II) Ve Cr (VI) 'nın P- nFe⁰ ile İndirgenmesi için Önerilen Mekanizma

Liu ve arkadaşları tarafından atık sudan ağır metallerin uzaklaştırılması için P-nFe⁰'nin morfolojisinin manipüle edilmesi çalışması yapılmıştır. Atık sulardan ağır metallerin uzaklaştırılması (özellikle endüstriyel atık sulardan) dünya için en önemli konulardan biridir. Pomza-nano ölçekli sıfır değerli demir (P- nFe⁰) farklı deney koşullarında başarıyla hazırlanmıştır. Nano ölçekli sıfır değerli demir (nFe⁰'in P-nFe⁰'deki şekli, büyüklüğü ve dağılımı taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılarak değerlendirildi. Optimum durumda, ortalama çapı 20.2 nm olan nFe⁰, pomza yüzeyine düzgün ve tutarlı bir şekilde dağıtılmıştır. Freundlich izoterm analizine göre P- nFe⁰'nin yüzeyi heterojen özellik göstermektedir. Hg (II) ve Cr (VI) 'nın P- nFe⁰ ile uzaklaştırılması, yalancı birinci dereceden kinetik model ile iyi tarif edilebilir. Denge, Hg (II) ve Cr (VI) adsorpsiyon kapasitesi sırasıyla 107.1 ve 106.9 mg / g dır (Liu ve ark. 2015).

Liu ve arkadaşları P- nFe⁰ demir kullanılarak sulu çözeltilerden arsenik (III)'ün uzaklaştırılmasını araştırmışlardır. En zehirli atık su kirleticilerinden biri olan arsenik (III) 'ün giderilmesi, pomza üzerine desteklenen ve kitosan (CS-P- nFe⁰) tarafından modifiye edilmiş nFe⁰ kullanılarak incelenmiştir. Tarama elektron mikroskopi (SEM) analizi, nFe⁰'nin oksitlenmeden CS-P- nFe⁰ üzerinde dağınık bir biçimde yayılmış olduğunu ortaya koymuştur. As (III), çok kısa bir sürede CS-P- nFe⁰ üzerinde geniş bir pH aralığında (2.01-12.54) ve yüksek konsantrasyonlarda (20–100 mg/L) adsorpsiyon olayı ile uzaklaştırılmıştır. As (III) 'ün CS-P- nFe⁰ ile giderimi, yalancı birinci

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

dereceden reaksiyon kinetiği ve yalancı ikinci dereceden reaksiyon kinetiği ile aynı özelliği göstermiştir. Freundlich izotermi, CS-P- nFe⁰'nın yüzey özelliklerinde heterojen yapıda olduğunu gösteren iyi bir adsorpsiyon sistemi modelidir. Termodinamik parametreler As (III) 'ün CS-P- nFe⁰ tarafından adsorpsiyonunun kendiliğinden ve ekzotermik bir işlem olduğunu göstermiştir. X ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) ve atomik floresan spektrofotometre (AFS) analiz sonuçlarına göre As (III) sadece fiziksel olarak CS-P- nFe⁰'nın yüzeyinde 60 dakika içinde adsorbe olmaktadır. Sonuçlar incelendiğinde CS-P- nFe⁰'nın As (III)'ün giderimi için etkili bir materyal olabileceğini göstermiştir (Liu ve ark. 2016).

Calabro ve arkadaşları nikel iyonları ile kirlenmiş yer altı suyunun iyileştirilmesi için nFe⁰/pomza granül karışım geçirgen reaktif bariyerin kullanılmasını araştırmışlardır. Bu çalışmada, nikelin kontamine yeraltı suyundan uzaklaştırılması için Geçirgen Reaktif Bariyerlerde (PRB) nFe⁰/pomza granüler karışımlarının kullanılmasıyla optimum ağırlık oranını tanımlamayı amaçlayan laboratuvar kolon testlerinin sonuçları sunulmaktadır. Testler, çeşitli ağırlık oranlarında (10/90, 30/70 ve 50/50) üç nFe⁰ / Pumice granüler karışım kullanılarak 5 ve 50 mg/L konsantrasyonlarda nikel nitrat çözeltileri ile kolonları beslemek için gerçekleştirildi (Calabro ve ark. 2012).

Bilarda ve arkadaşları tarafından Kolon sistemlerinde Fe⁰ ve pomza tanecikli bir karışım ile Cu(II), Ni(II) ve Zn (II)'nin aynı anda uzaklaştırılması çalışılmıştır. Fe⁰ ve diğer malzemeler (örneğin kum, pomza) arasındaki granüler karışımların, geçirgen reaktif engel veya bireysel potabilizasyon sistemleri gibi arıtma sistemlerinde tek başına Fe⁰ kullanımıyla ilgili sorunların (örneğin tıkanma) üstesinden gelmesi önerilmiştir. Yapılan çalışmada, Fe⁰ ve pomza (granül oranı 30:70) ile saf Fe⁰ arasındaki ve Cu (II), Ni (II), Zn (II) ve bunların birleşik olarak giderilmesi için saf Fe⁰'nın performansının karşılaştırılmasını amaçlayan, kolon testleriyle gerçekleştirilen araştırma faaliyetinin sonuçlarını sunmaktadır. Bu çalışmada özellikle amaçlanan, kirleticiler arasında karşılıklı etkileşim ve / veya rekabet olaylarının ortaya çıkışını doğrulamaktır. Aslında, Fe⁰ tarafından metallerin uzaklaştırılması geçmişte kapsamlı bir şekilde belgelenmesine rağmen, çalışmaların büyük çoğunluğu ya çok basit sistemlerde ya da çok karmaşık olarak incelenmiştir. Her iki durumda ve farklı nedenlerden dolayı, suda bulunan kimyasal türler arasında karşılıklı etkileşimlerin (pozitif veya negatif) meydana geldiğini tespit etmek imkânsızdır. Bu nedenlerden dolayı, bu çalışma hem tek kirleticici

hem de çoğul kirletici çözeltiler kullanılarak benzer koşullarda gerçekleştirilen kolon deneylerini karşılaştırmaktadır. Üç kirletici madde için kullanılan konsantrasyon değerleri, Cu (II) için 500 veya 50 mg / L ve Ni (II) ve Zn (II) için 50 mg / L dir. Tek kontaminant sistemlerde, her iki reaktif ortamda da gözlenen giderim dizisi $Cu > Zn > Ni$ 'dir. Çok sayıda kirletici çözeltilerde, Cu (II) uzaklaştırması diğer metallerin varlığından etkilenmezken, Ni (II) ve Zn (II)'nin uzaklaştırılma verimi kirletici olmayan testlere göre daha düşüktür (Bilarda ve ark. 2015).





3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu çalışmada, Diyarbakır İli Çınar İlçesi Ovabağ Mahallesi ve Bitlis ilinden alınan doğal pomza adsorban madde hazırlanmasında kullanılmıştır. Deneylede NaOH, HCl, H₂SO₄, FeCl₃.6H₂O, NaBH₄, K₂Cr₂O₇, etanol, 1,5-difenilkarbazit, ve aseton kimyasalları kullanılmıştır. Cr(VI) stok çözeltisi K₂Cr₂O₇'dan hazırlanmıştır.

3.1.1. Kimyasallar

Deneylede kullanılan kimyasal maddeler Fluka, Sigma-Aldrich ve Merck marka olup ayrıca saflaştırma işlemine gerek duyulmamıştır.

1-H₂SO₄: (% 5 Merck) Maddeleri seyreltme işleminde kullanılmıştır.

2-K₂Cr₂O₇: Maddeleri seyreltme ve pH ayarlamada kullanılmıştır.

3-Demir (III) klorür heksahidrat (FeCl₃.6H₂O): (Merck) Manyetik nano Fe₃O₄ sentezlemekte kullanılmıştır.

4-1,5 Difenil Karbazit: (sigma-aldrich) seyreltme ve çözelti hazırlamada kullanılmıştır.

5-Sodyum hidroksit (NaOH): Pomza sentezlemek ve pH ayarlama işlemlerinde kullanılmıştır.

6-Hidroklorik asit (HCl): Merck (% 37 extra pure) Pomza sentezlemek ile pH ayarlama işlemlerinde kullanılmıştır.

7-NaBH₄: Madde sentezlemede kullanılmıştır.

8-Etanol: Madde sentezlemede kullanılmıştır.

9-Aseton: Çözelti hazırlamada kullanılmıştır.

3.1.2. Cihazlar ve Gereçler

Enerji Ayırmalı X-ışını Spektroskopisi (EDX): (JEOL 2100 F) Yapı aydınlatma çalışmalarında kullanılmıştır.

SEM: (QUANTA 400F) Yapı aydınlatma çalışmalarında kullanılmıştır.

3. MATERYAL VE METOD

X-Işını Floresans Analiz Spektroskopisi(XRF):(Rigaku ZSX Primus II) Elemental ve kimyasal kompozisyonu belirlemede kullanılan önemli cihazlardan biridir.

FT-IR: (Perkin Elmer Mattson 1000) Yapı aydınlatma çalışmalarında kullanılmıştır.

Elektronik teraziler: Hassas tartımlarda kullanılmıştır.

UV-Visible Absorpsiyon Spektroskopisi: Sentezlenen maddelerin absorblanmalarının tayin etmede kullanılmıştır.

Çalkalamalı İnkübatör: Deneysel çalışmalarda kullanılmıştır.

Isıtmalı manyetik karıştırıcı: Deneysel çalışmalarda kullanılmıştır

pH Metre: pH ayarlama çalışmalarında kullanılmıştır

Santrifüj: Çözeltileri karıştırmak için kullanılmıştır.

Elek:Maddeleri küçük boyuta getirdikten sonra eleme işlemi yapmak için kullanılmıştır.

Etüv: Maddeleri ve laboratuvar malzemelerini kurutmak için kullanılmıştır.

3.2. Metot

Tez kapsamında yapılan çalışmalar;

-Öğütülme ve yıkama işlemi

-Asitlendirme İşlemi

-FeCl₃.6H₂O çözeltisi hazırlama

-NaBH₄ çözelti hazırlama

-K₂Cr₂O₇ çözeltisi hazırlama

-H₂SO₄ çözeltisi hazırlama

-1,5 difenil karbazit çözeltisi hazırlama

-Demir ile modifiye edilmiş sıfır değerlikli diyarbakır pomza(DP-nFe⁰) ve demir ile modifiye edilmiş sıfır değerlikli bitlis pomza,(BP-nFe⁰) sentezi

- Adsorpsiyon çalışmaları,

olmak üzere 9 ana başlıkta sunulmuştur.

3.2.1. Pomza İşlemleri

a) Öğütme ve yıkama işlemi; Havana doğal Diyarbakır pomzası (NDP) ve doğal Bitlis pomzası (NBP) ayrı ayrı belirli bir miktarlarda bırakıldı, tokmakla toz haline getirildi saf su ile yıkama işlemi yapıldıktan sonra etüvde 24 saat kurutulmaya bırakıldı. Daha sonra 53 mesh elekten geçirilerek tanecik boyutu küçültüldü saklama kaplarına koyarak desikatörde bekletilmiştir.

b) Asitlendirme işlemi; NDP ve NBP'sını asitlendirmek için ayrı iki erlene (250 mL) üstüne 60 mL 1 Molar HCl eklendi ve bunları karıştırıcıda 1 gün(24 Saat) karıştırılması beklenmiştir. Ardından etüvde kurutuldu. Elde edilen pomzalar saklama kaplarına konularak desikatörde bekletilmiştir.

3.2.2. FeCl₃.6H₂O Çözeltisi Hazırlanması

Balon jøjeye etanol ve su (8:1) oranında ardından FeCl₃.6H₂O=1,35 gr ilave edilerek 100 ml'de çözülür ve çözelti hazırlanır.

3.2.3. NaBH₄ Çözeltisi Hazırlanması

NaBH₄ 'den 0,95 gr alınıp 100 ml'lik balon jøjeye aktarılır saf suda çözülerek çözeltisi hazırlanır.

3.2.4. K₂Cr₂O₇ Çözeltisi Hazırlanması

K₂Cr₂O₇ 0,707 g alınıp 500 ml balon jøjeye aktarıldı ve üzerine saf su eklenerek 500 ppm'lik çözelti hazırlandı. Bu 500 ppm'lik çözeltiden gerekli seyreltmeler yapılarak 100 ppm, 20 ppm ve 5 ppm çözeltiler hazırlandı.

3.2.5. H₂SO₄ Çözeltisi Hazırlanması

%5 lik H₂SO₄ 25 ml alınıp 500 ml balon jøjeye aktarıldı ve üzerine saf suya tamamlanarak çözeltisi hazırlandı.

3.2.6. 1,5 difenil karbazit Çözeltisinin Hazırlanması

1,5 Difenil Karbazit 2,5 g alınıp 500 ml balon jøjeye aktarıldı ve üzerine aseton eklenerek çözüldü ve çözeltisi hazırlandı.

3. MATERYAL VE METOD

3.3. DP-nFe⁰ ve BP-nFe⁰ Sentezi

0,336 gr NDP ve NBP (Saf sudan geçirilmiş ve asitlendirilmiş) alıp 3 boyunlu balona bırakılır. Etanol ve su (8:1 oranında) 100 ml'de çözülür. Bu çözeltimizin üzerine FeCl₃.6H₂O=1,35 gr ilave edilir ve üç boyunlu balonun içine bırakılarak Üç balonlu balonun bir tarafından argon gazı diğer ucu ise havalandırma giderine bağlanır daha sonra mekanik karıştırıcıda 1 saat karıştırılır. Ardından 0,95 gr NaBH₄ alınıp 100 ml saf suda çözülür. Karıştırıcıda karıştırılan maddeye 1 saat sonra NaBH₄ çözelti 3 boyunlu balonun ağzına bırakılır. Bu karışıma dakikada 60 damla düşecek şekilde ayarlama yapılır. 60 dakika sonra biten çözeltiden sonra 3 boyunlu balonumuzu 10 dakikada bir 2 dakikalığına sonikatörde karıştırılır. Bu işlem bir saat boyunca tekrarlanır. Sentezlenen madde santrifüjlenir. Daha sonra santrifüjlenen meteryal oda sıcaklığında magnet yardımı ile ayrılır. Daha sonra kurutmaya bırakılır ve kahverengi şişede sentezlenen maddeler ayrı ayrı bırakılıp etiketlenme yapılır. Saf pomzalar ve sentezlenen pomzalardan 0,5 gr alınıp erlene bırakılır üstüne pH=1,09 olan 500 ppm K₂Cr₂O₇ 10 ml alınıp 50 ml erlenlere ilave edilir ve 1 saat boyunca karıştırıcıda karışmaya bırakılır ardından maddeler santrifüjlenir katı ve sıvı faz ayrımı plastik tüplerde yapılır. Her bir maddeden 1 ml alınıp 1 ml 1,5 difenil karbazit ve 2,5 ml sülfürik asit eklenir ve gerekli seyreltmeler yapıldıktan sonra UV-Vis cihazda gerekli okumalar yapılmıştır.

3.4. Analiz yöntemleri

Agilent Carry 60 UV-Vis spektrofotometrede adsorplanmadan kalan krom (VI) numunelerin derişimi doğrudan 1 mL'lik kuvars küvetlerde 545 nm'de okunmasıyla gerçekleştirilmiştir.

3.5. Adsorpsiyon Çalışmaları

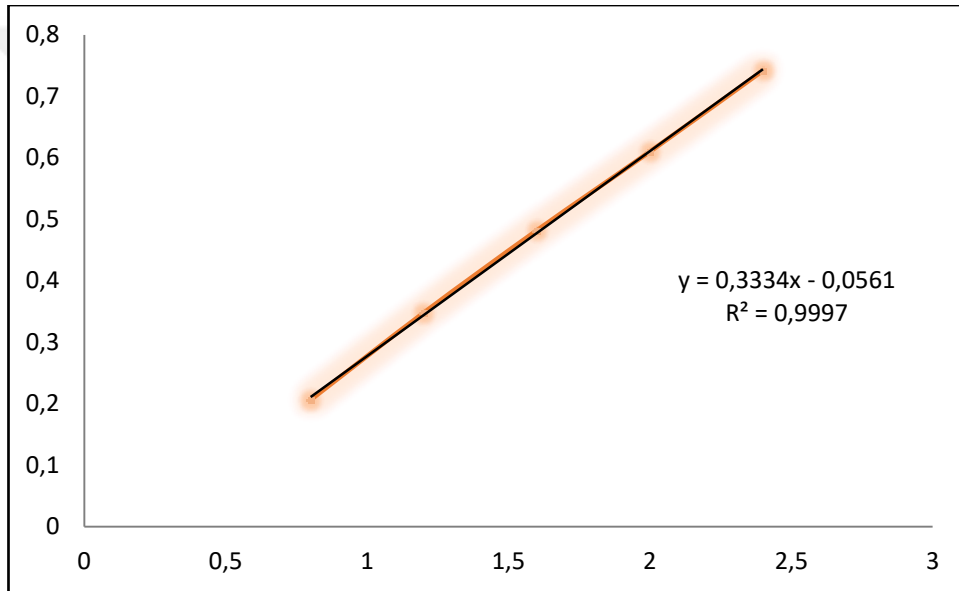
DP-nFe⁰, BP-nFe⁰, NDP ve NBP ile yapılan adsorpsiyon çalışmalarında adsorpsiyona etki eden çeşitli faktörler araştırılmıştır. Bu faktörler pH, adsorbent miktarı, başlangıç derişimi ve temas süresidir.

3.5.1. UV-Vis Spektrofotometrede Krom (VI) İyonlarının Analiz Yöntemi

Krom (VI) tayini için, spektrofotometrik 1,5-difenil karbazit yöntemi uygulanmıştır. Yöntemin prensibi, numune içindeki Cr ile 1,5-difenil karbazitin renkli bir kompleks oluşturarak, 545 nm dalga boyunda spektrofotometre ile absorbands

değerinin okunmasına dayanmaktadır. Uygulanan analiz prosedürü aşağıda anlatılmıştır. Analiz şu adımlarla gerçekleştirilir (Rice ve ark. 2017, Ziagova ve ark. 2007, Riccardo ve ark. 1979):

- 1,5 difenil karbazit'in asetonunda çözeltisi hazırlanır.
- Analiz edilecek numuneye H₂SO₄ çözeltisi eklenir.
- Krom (VI) iyonlarını içeren numune ve 1,5 difenil karbazit belirli oranlarda karıştırılır.
- Karışımın tarama grafiği çizdirilir. Yaklaşık 545 nm de pik verdiği görülür.
- Belirli konsantrasyonlarda numuneler hazırlanarak kalibrasyon doğrusu çizilir
- Konsantrasyonları bilinmeyen numunelerin absorbanları okunarak, kalibrasyon doğrusunun doğru denklemine göre hesaplanır (Özdemir 2015).



Şekil 3.1. Krom (VI)'nın 1,5 difenil karbazit ile analizi için kalibrasyon doğrusu

3.5.2. pH Belirlenme Çalışması

Bu çalışmada Cr(VI) iyonlarının gideriminde farklı pH değerlerinin etkilerini belirlemek için üzere yapıldı. Başlangıçtaki derişimi 50 mg/L olan Cr(VI) çözeltisinin pH'sını ayarlamak için seyreltik (0.01 ve 0.1 M) NaOH veya HCl çözeltileri kullanıldı. Oda sıcaklığında, derişimi 50 mg/L olan çözeltilerden 46'şar mL alınarak pH'ları 1, 2, 3, 4, 5 ve 6 değerlerinde pH ayarlamaları yapıldı. Deneyde kullanılmak üzere 0,05'er g demir ile modifiye edilmiş DP-nFe⁰, BP-nFe⁰ ve NDP, NBP tartılarak hazırlanan 46 mg/L çözeltilerden 10 mL üzerine ilave edildi. Bu deney çalışması için hazırlanan

3. MATERYAL VE METOD

çözeltiler 60 dk süreyle 25°C'deki 250 rpm hızındaki çalkalayıcıya koyuldu ve alınan çözeltilerin berrak kısımları santrifüj ve mıknatıs yardımıyla ayrıldı. UV-Vis Spektrofotometre cihazı ile krom (VI) ve 1.5 difenil karbazit kompleksin analizleri gerçekleştirildi. Analiz sonucundaki veriler adsorpsiyon verimleri hesaplandı. Analiz sonucunda pH 2 olarak belirlendi.

3.5.3. Başlangıç Krom (VI) Konsantrasyonunun Belirlenmesi Çalışması

500 mg/L'lik Cr (VI) çözeltisinden sırasıyla 20, 40, 60, 80 ve 100 mg/L başlangıç derişimlerinde 100'er mL'lik çözeltiler hazırlandı. Adsorbent miktarının incelendiği deneylerde elde edilen sonuçlar kullanılarak adsorbent miktarı belirlendi. Deney sonuçlarına göre 0,05 g demir ile modifiye edilmiş Diyarbakır sentez, demir ile modifiye edilmiş Bitlis sentez, Diyarbakır asitli ve Bitlis asitliden olmak üzere her bir adsorbent için 5'er tartım yapıldı.

Hazırlanan 20, 40, 60, 80 ve 100 mg/L çözeltilerden 10'ar mL alınarak tartılan adsorbentler üzerine eklendi. Elde edilen çözeltiler, 60 dakika süreyle 250 rpm hızında çalkalayıcı karıştırıldı. Asitli pomzalar için santrifüjleme ve sentez pomzalar için ise mıknatıs yardımıyla kalan krom (VI) çözeltileri alınıp gerekli seyreltmeler yapıldı. Seyreltme işleminden sonra 1,5 difenil karbazit krom (VI) kompleksin UV-Vis Spektrofotometre cihazı ile analizleri yapıldı. Analiz verilerden adsorpsiyon için verimler hesaplandı ve her adsorbent için Langmuir ve Freundlich izotermelerinden hangisinin daha uygun olduğu belirlendi.

3.5.4. Temas Süresinin Belirlenmesi Çalışması

25, 50 mg/L ve 75 mg/L olmak üzere 3 farklı başlangıç konsantrasyonunda sentetik krom (VI) çözeltileri hazırlandı. Çözeltilerden 10 mL alınarak 0,05'er g demir ile modifiye edilmiş DP-nFe⁰, BP-nFe⁰, NDP ve NBP maddelerinden 50 mL'lik erlenlere aktarılmıştır. DP-nFe⁰, BP-nFe⁰, NDP ve NBP) içeren numunelerin pH değeri 2'ye ayarlandı. Deneyler, 250 rpm sabit karıştırma hızındaki çalkalayıcıda ve oda sıcaklığında gerçekleştirildi. Sırasıyla 1, 5, 15, 30, 45, 60, 75, ve 90 dk için hazırlanan numunelerde Cr(VI)'nın adsorblanmadan kalan çözeltileri santrifüjleme ve mıknatıs yardımıyla elde edildi. Gerekli seyreltmeler yapılarak krom (VI) ve 1,5 difenil karbazit kompleksin UV-Vis spektrofotometre ile analizi yapıldı.

3.5.5. Adsorban Miktarının Belirlenmesi Çalışması

Demir ile modifiye edilmiş Adsorban miktarının krom (VI) giderimindeki etkisini araştırmak DP-nFe⁰, BP-nFe⁰, NDP ve NBP maddelerinden sırasıyla 20, 40, 60, 80 ve 100 mg alındı. pH 2 olan 50 mg/L derişime sahip Cr (VI) çözeltisinden 10 mL eklenerek oda sıcaklığındaki çalkalayıcıda 60 dakika süreyle adsorpsiyon deneyleri yapılmıştır. Sonrasında santrifüjleme ve mıknatıs ile ayırma işlemlerinden sonra gerekli seyreltmeler yapılarak UV-Vis cihazında kalan krom (VI) iyonların 1.5 difenil karbazit ile kompleksin 545 nm'deki okumaları yapıldı.

3.6. Numunelerin Karakterizasyonunda Kullanılan Teknikler

Bu bölümde numunelerin elementel analizi, boyut ve yüzey morfolojisi, yapısal analiz ve manyetik karakterizasyonunda kullanılan SEM, EDX, XRF, FTIR ve UV-Vis teknikleri üzerinde durulmuş, bu tekniklerin çalışma prensiplerinden kısaca bahsedilmiştir.

3.6.1. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM)

Bu mikroskop türü katı yüzeylerin fiziksel özellikleri hakkında ve çok küçük boyuttaki maddelerin büyük görüntülerini oluşturmak için kullanılmıştır. Bu mikroskop çeşidi büyük çözünürlükte görüntüler elde etmek için kullanılmıştır.

Bu çalışmada SEM analizleri için Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Merkezi Laboratuvarında bulunan QUANTA 400F Field Emission SEM Yüksek çözünürlüklü taramalı elektron mikroskobu kullanılmıştır.

3.6.2. Enerji Ayırmalı X-ışını Spektroskopisi (EDX)

EDX, SEM mikroskobu ile birlikte kullanılır ve SEM'de şekli araştırılan maddenin kimyasal bileşimi hakkında bilgi veren bir mikroskop çeşididir. Bu mikroskop çeşidi diğer spektroskopik tekniklere kıyasla daha avantajlıdır.

Bu mikroskop türü X-ışınlarının, enerjinin ölçülmesi prensibine dayanır. Bu mikroskop türünde maddeden yayılan X-ışınlarının özelliklerine göre maddenin kimyasal yapıları tayin edilir.

3. MATERYAL VE METOD

Bu çalışmadaki EDX analizleri Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Merkezi Laboratuvarında bulunan JEOL 2100 F EDX mikroskobu ile yapılmıştır.

3.6.3. X-Işını Floresans Analiz Spektroskopisi (XRF)

Bu tür spektroskopi elementle kompozisyonu belirlemek için önemli yöntemlerden biridir.

X-Işınları Floresans Spektrometresi ile;

- Ana element oksitlerinin yüzde (%) ağırlık cinsinden (MnO, MgO ...)
- Bazı eser elementleri,
- Bazı geçiş elementlerini,
- Nadir toprak elementlerinin ppm düzeyinde analizi yapmada yardımcı olur.

Atom numarası 9 ile 92 arasında olan elementlerin analizini yapmak için kullanılmıştır.

Bu çalışmada XRF analizleri Orta Doğu Teknik Üniversitesi (ODTÜ) Merkezi Laboratuvarında bulunan Rigaku ZSX Primus II cihazı ile yapılmıştır.

3.6.4. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) Spektroskopisi

Bu spektroskopi türü (FTIR), infrared radyasyonu, elektromanyetik spektrumda görünür bölge ile mikrodalga arasındaki bölgeyi kapsamaktadır. Yapısal incelemeler yapılarak molekül hakkında yapısal bilgiler elde edilir.

Bu çalışmada FTIR analizleri, Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi bünyesinde bulunan Perkin Elmer Mattson 1000 spektrofotometre cihazı ile yapılmıştır.

3.6.5. Ultraviyole ve Görünür Işık (UV-Vis) Absorpsiyon Spektroskopisi

Bu spektroskopi yöntemi, bilinmeyen bir gaz, sıvı veya katı için kimyasal yapı veya kimyasal elementlerin belirlenmesi için kullanılmaktadır.

Bu çalışmada UV/VIS analizleri, Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi bünyesinde bulunan Agilent Carry 60 UV-Vis spektrofotometre cihazı ile yapıldı.





4. BULGULAR VE TARTIŞMA

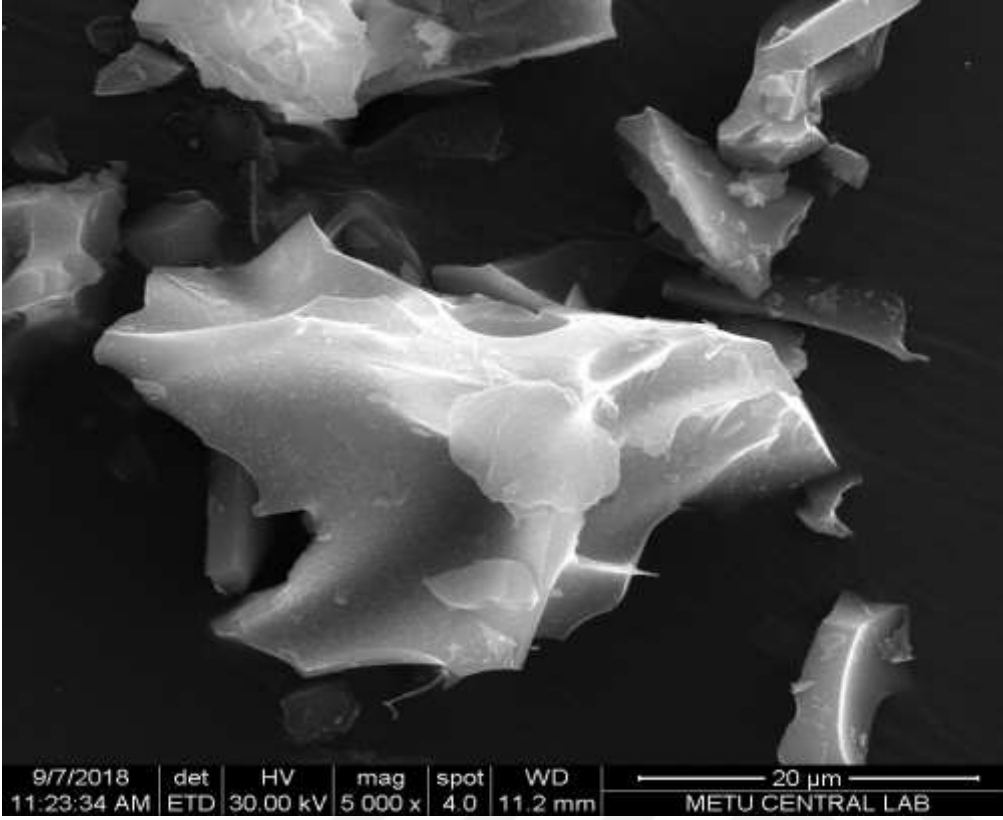
4.1. SEM ve EDX Sonuçları

SEM ile analiz edilen doğal Bitlis pomza (NBP) ve Bitlis pomza destekli nano ölçekli sıfır değerlikli demirin (BP-nFe⁰) dış yüzeyinin katı yapısı ve morfolojisi Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de gösterilmektedir. NBP ve BP-nFe⁰’nın SEM görüntüleri incelendiğinde yüzeyinde silika kristalleri ve mikro gözenekler görülmektedir. BP-nFe⁰, NBP’den çok daha gözenekli bir yüzeye sahiptir. EDX (enerji dağılımlı X-ışını spektrofotometresi) analizinden elde edilen NBP ve BP-nFe⁰’nın kimyasal kompozisyonunun sonuçları Tablo 4.1’de gösterilmektedir. BP-nFe⁰’nın yüzeyindeki kimyasal kompozisyonu NBP’den farklılık göstermektedir ve özellikle demir içeriği önemli ölçüde artış göstermiştir. NBP ve BP-nFe⁰’nın EDX spektrumu Şekil 4.3 ve Şekil 4’te gösterilmektedir. EDX sonuçları, her iki malzemenin ana bileşenleri olarak Si ve Fe olduğunu ve diğer elementlerin ise nispeten daha küçük miktarlarda bulunduğunu ortaya koymaktadır. Sentezden sonra yapıdaki Fe varlığı % 1,99’dan % 3,83’e yükseldiği görülmüştür (Heibati ve ark. 2015).

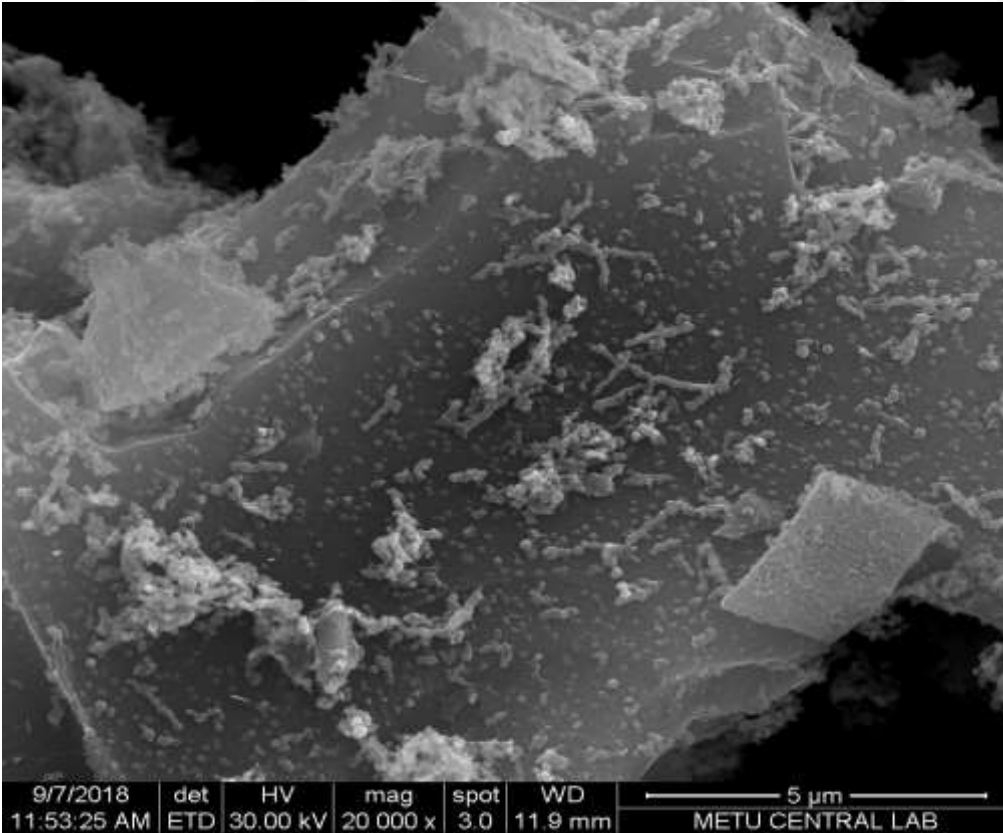
Çizelge 4.1. EDX Karakterizasyonundan Elde Edilen NBP ve BP-nFe⁰’nın Elementel Bileşimi

Elementler	Al%	Si%	K%	Fe%
NBP	5,77	27,93	2,70	1,99
BP-nFe ⁰	4,89	26,34	2,90	3,83

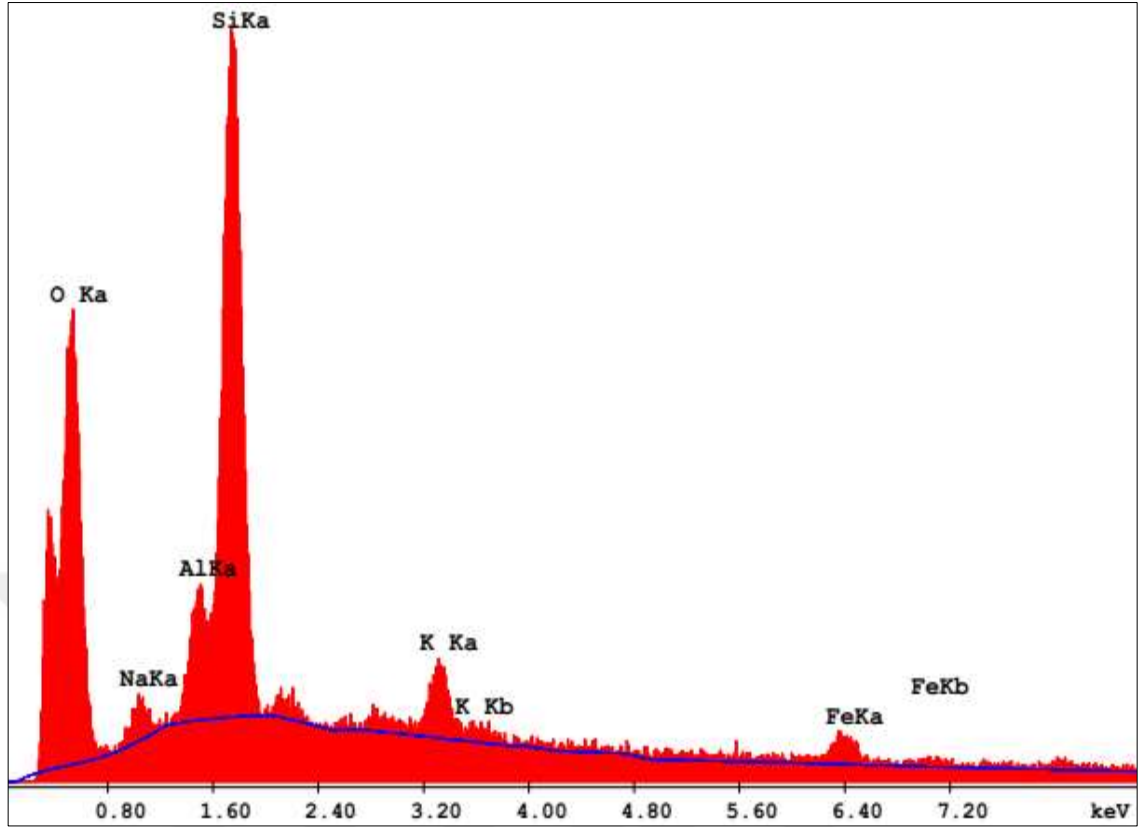
4. BULGULAR VE TARTIŞMA



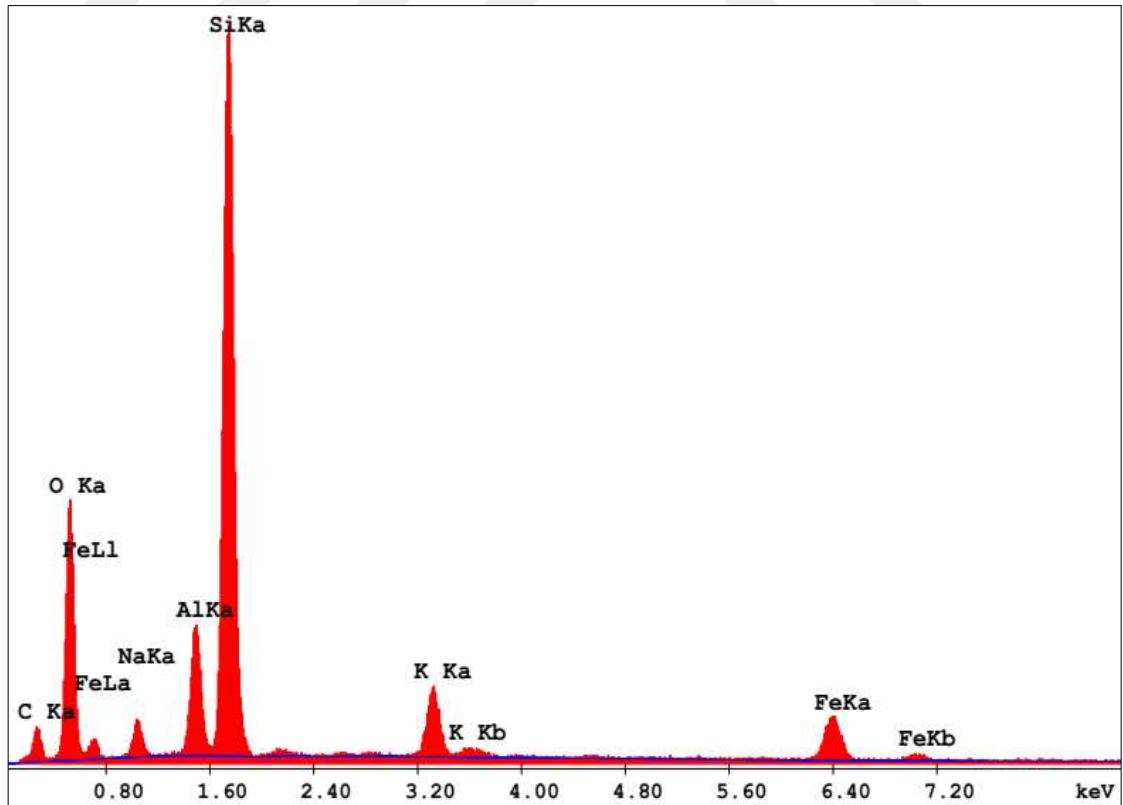
Şekil 4.1. NBP'nin SEM Görüntüsü



Şekil 4.2. BP-nFe⁰'ın SEM Görüntüsü



Şekil 4.3. NBP'nin EDX Spektrumu

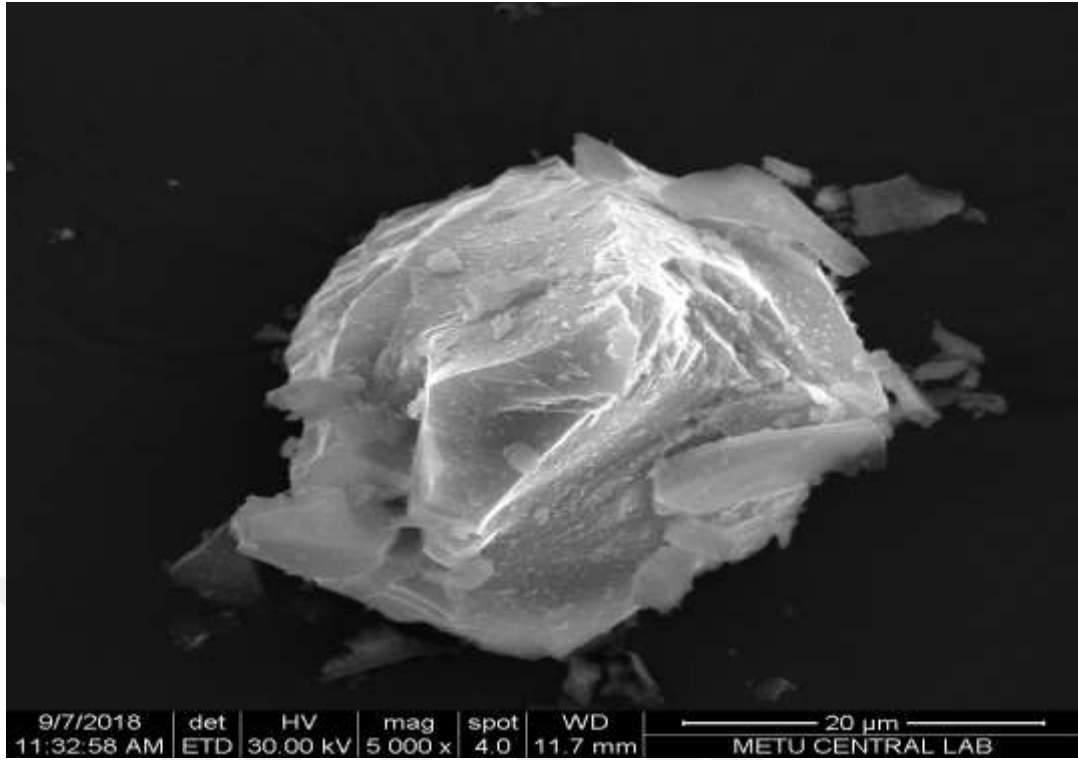
Şekil 4.4. BP-nFe⁰'in EDX Spektrumu

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

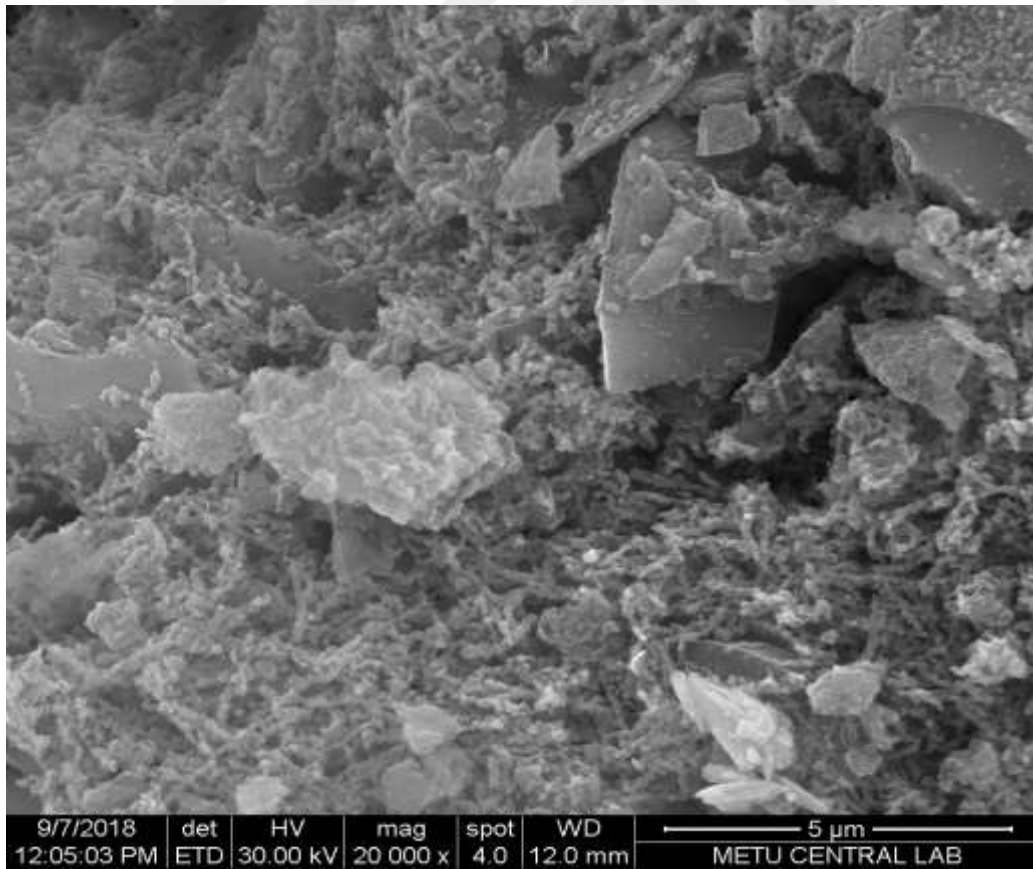
SEM ile analiz edilen doğal Diyarbakır pomza (NDP) ve Diyarbakır pomza destekli nano ölçekli sıfır değerlikli demirin (DP-nFe⁰) dış yüzeyinin yapısı ve morfolojisi Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da gösterilmektedir. Asitle yıkanmış NDP ve DP-nFe⁰'nin SEM görüntüleri incelendiğinde yapıların yüzeyinde silika kristalleri ve mikro gözenekler oluşmuştur. DP-nFe⁰, NDP'den çok daha pürüzlü ve gözenekli bir yapı yüzeyine sahiptir. EDX (enerji dağılımlı X-ışını spektrometresi) analizinden elde edilen NDP ve DP-nFe⁰'nin kimyasal kompozisyonunun sonuçları Çizelge 4.2'de gösterilmektedir. Demir içeriği bakımından DP-nFe⁰'nin yüzey kimyasal kompozisyonu NDP'den farklılık göstermektedir. NDP ve DP-nFe⁰'nin EDX spektrumu Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de gösterilmektedir. EDX sonuçları incelendikten sonra Fe içeriği %2,08'den % 60'a yükselmiştir (Çifçi ve Meriç 2017).

Çizelge 4.2. EDX spektrumundan elde edilen NDP ve DP-nFe⁰'nin elementel bileşimi

Elementler	Al%	Si%	K%	Fe%
NDP	8,16	37,76	5,82	2,08
DP-nFe ⁰	4,40	15,50	2,48	60

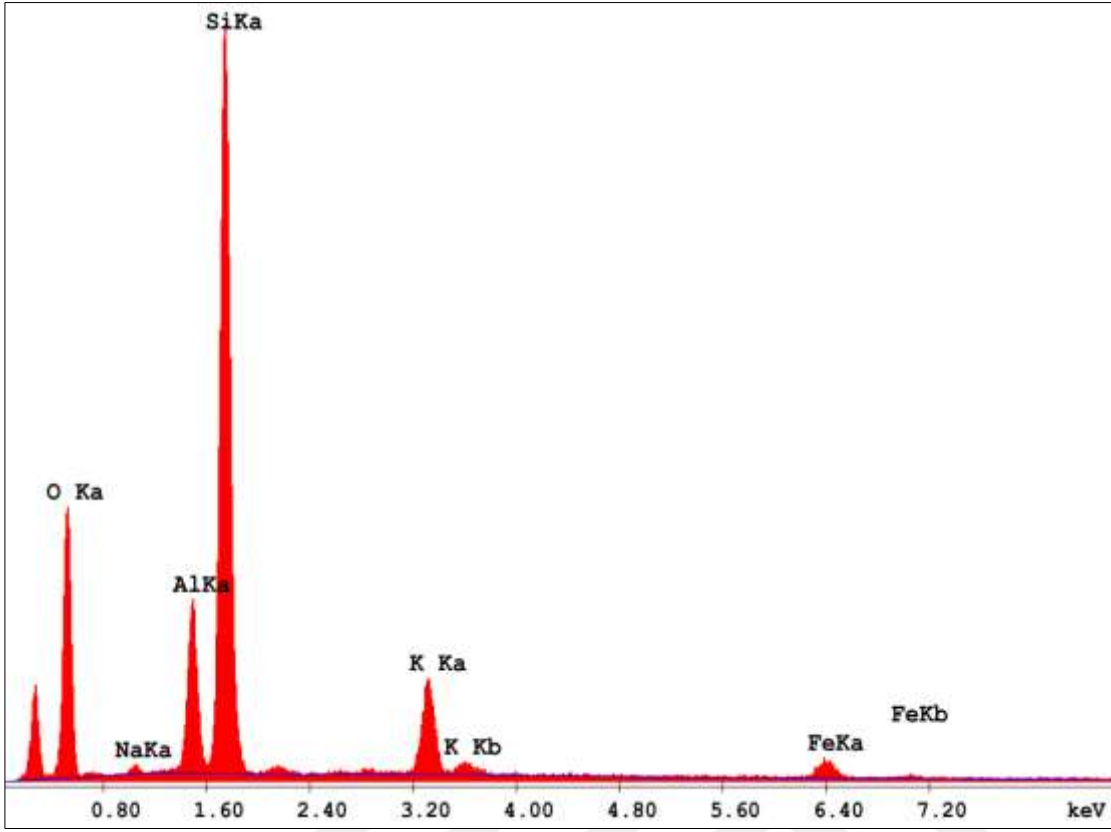


Şekil 4.5. NDP'nin SEM Görüntüsü

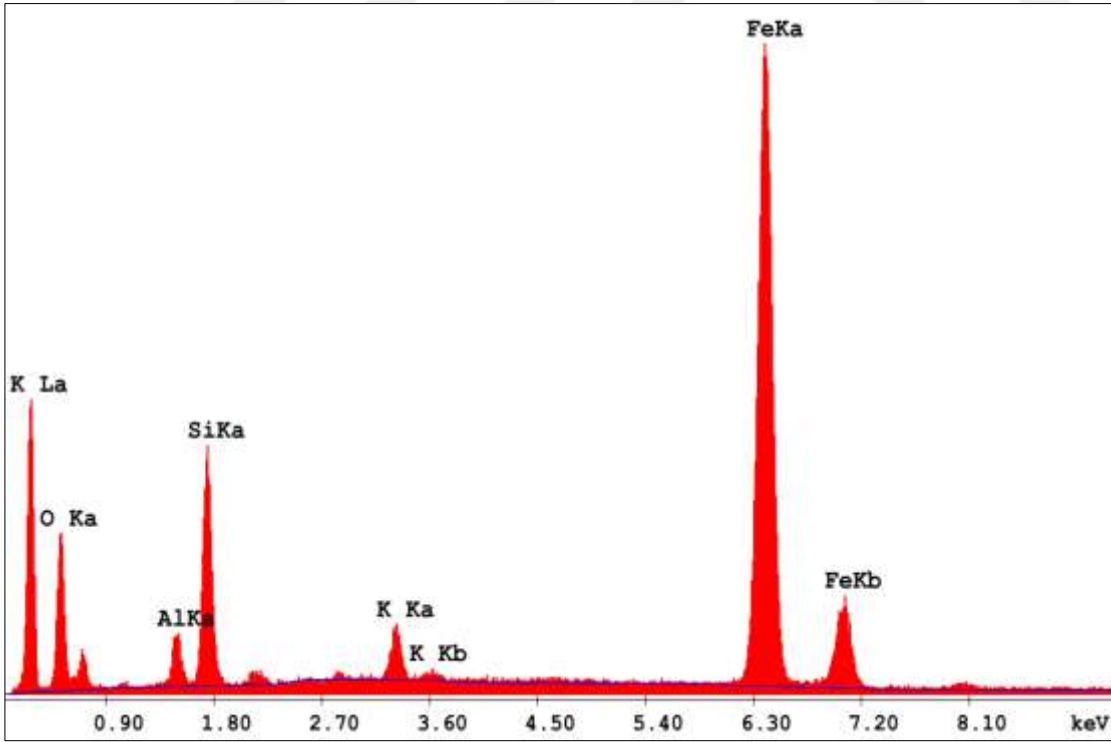


Şekil 4.6. DP-nFe⁰'nin SEM Görüntüsü

4. BULGULAR VE TARTIŞMA



Şekil 4.7. NDP'nin EDX Spektrumu



Şekil 4.8. DP-nFe⁰'nin EDX Spektrumu

4.2. X-Işını Floresan Analizi (XRF)

NBP numunesinin kimyasal bileşimi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarı AR-GE Eğitim ve Ölçme Merkezinde X-ışını floresansı, XRF (PhilipsX-Işını Difraktometresi Xunique) kullanılarak belirlenmiştir. Bu analizin sonuçları, Çizelge 4.3'te verilmiştir. Görüldüğü üzere, XRF analizi, ponzada temel olarak SiO₂ ve Al₂O₃'ten oluştuğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.3. NBP örneklerinde XRF Analiz Sonuçları.

Bileşen	%
SiO ₂	69,9
Al ₂ O ₃	12,6
Fe ₂ O ₃ 0	5,29
CaO0	0543
MnO	0,159
TiO ₂ 0	0,314
P ₂ O ₅ 0	0,0355
Na ₂ O 0	4,21
K ₂ O 0	6,48
ZnO	0,0382
SO ₃	0,0346
Cl	0,157

NDP numunesinin kimyasal bileşimi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Merkez Laboratuvarı AR-GE Eğitim ve Ölçme Merkezinde X-ışını floresansı, XRF (PhilipsX-Işını Difraktometresi Xunique) kullanılarak belirlenmiştir. Bu analizin sonuçları, Çizelge 4.4'te verilmiştir. Görüldüğü üzere, XRF analizi, ponzada temel olarak SiO₂ ve Al₂O₃'ten oluştuğunu ortaya koymaktadır.

Çizelge 4.4. NDP örneklerinde XRF Analiz Sonuçları.

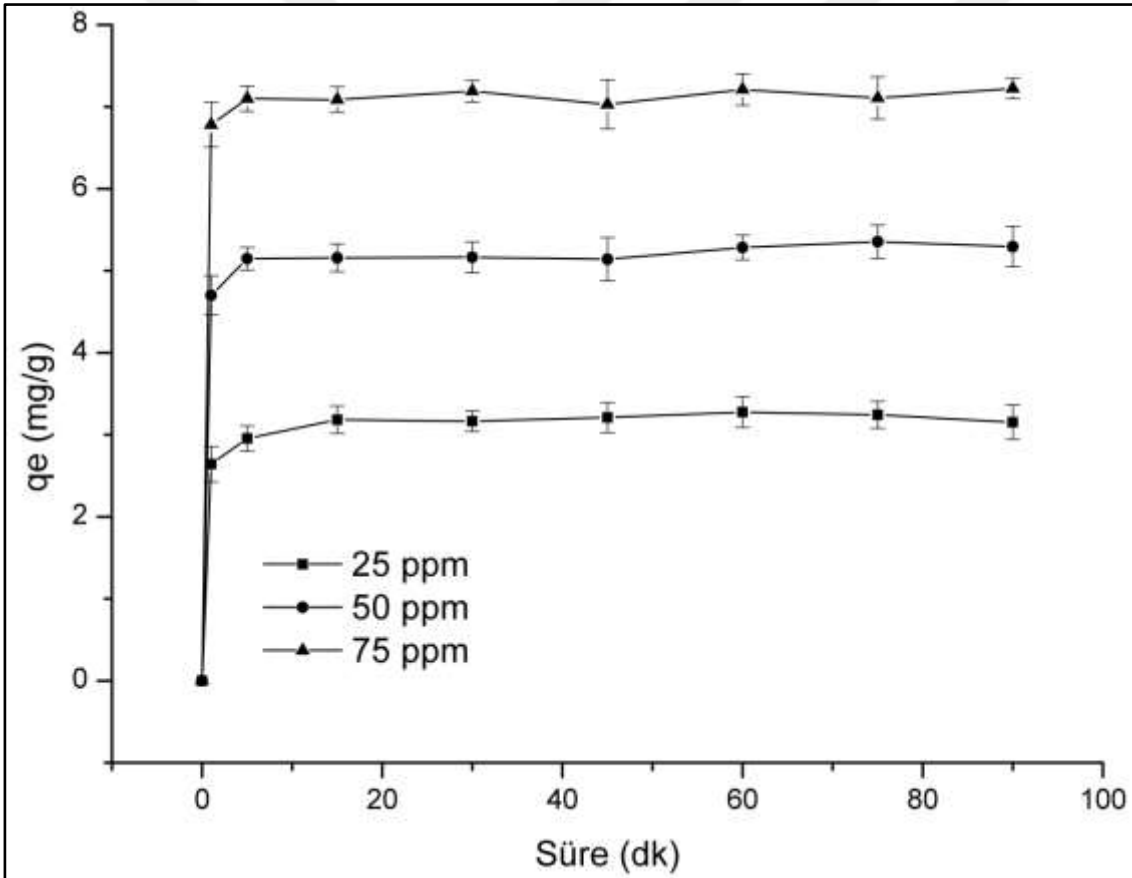
Bileşen	%
SiO ₂	63,7
Al ₂ O ₃	16,5
Fe ₂ O ₃ 0	4,03
CaO0	0,782
MnO	0,0781
TiO ₂ 0	0,243
P ₂ O ₅ 0	0,0502
Na ₂ O 0	0,933
K ₂ O 0	6,23
ZnO	0,0220
SO ₃	0,0730
Cl	0,188

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

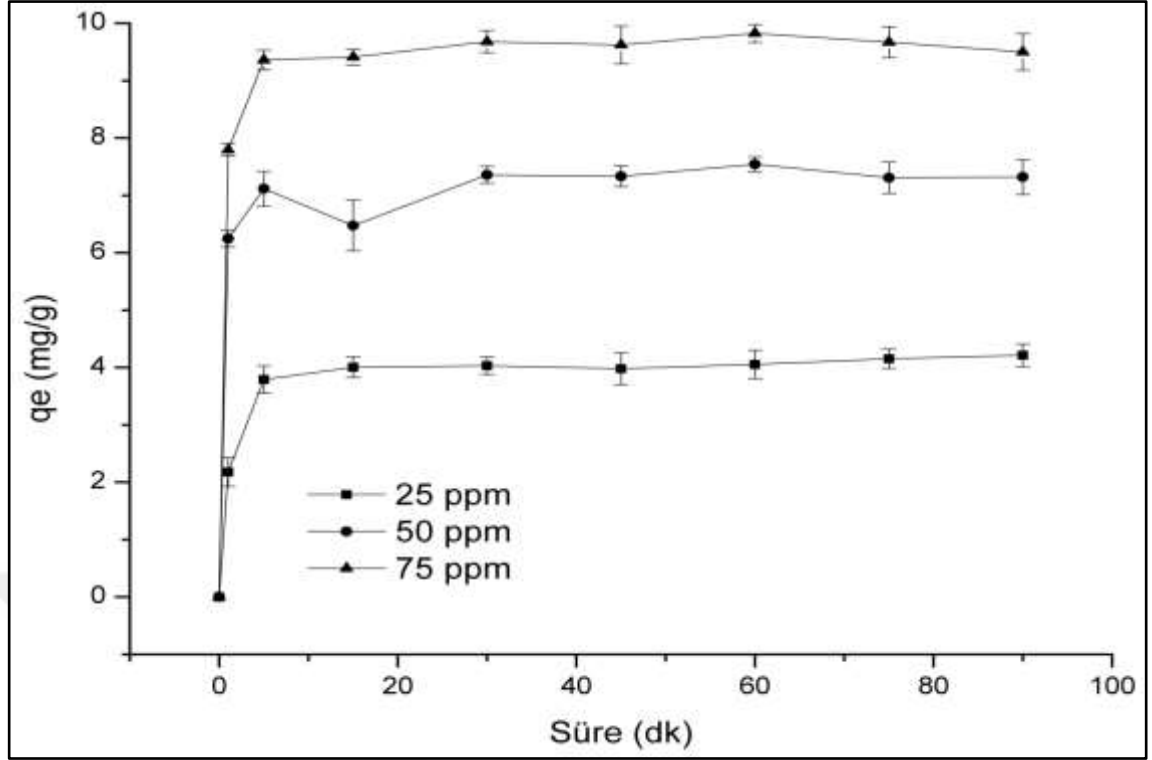
4.3. Krom (VI) Giderim Deneyleri

4.3.1. Temas Süresinin Etkisi

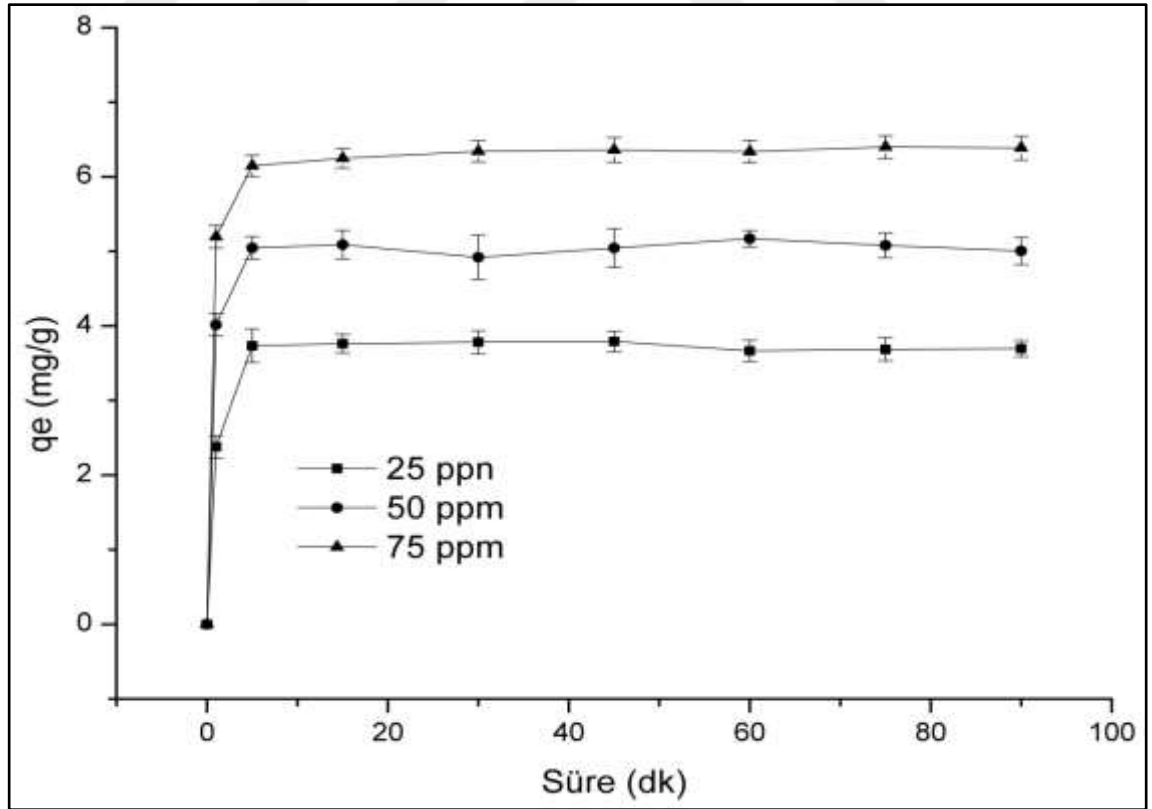
Temas süresinin Cr (VI) adsorpsiyonu üzerindeki etkileri beş Cr (VI) konsantrasyon (20-100 mg / l) ile araştırılmıştır. Cr (VI) 'nın giderim yüzdesinin başlangıçta hızlı olduğu ve ardından Cr (VI) 'nın giderim oranının nispeten sabit olduğu görülmüştür (Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12). Bu muhtemelen başlangıçta adsorbanda ve dolayısıyla çok sayıda Cr (VI) iyonunda aktif bağlama bölgesinin mevcudiyeti nedeniyle. Cr(VI) iyonlarının pomza örnekleri ile adsorpsiyon dengesi 1 saat içinde elde edildi, ardından Cr (VI) alımında önemli bir artış olmadı. Denge süresi 60 dakikada araştırıldı. Pomza için denge süresinin toz pomza kullanılarak yapılan çalışmalara benzer olduğu görülmüştür (Uluçınar ve Onar 2015; Yavuz ve ark. 2008).



Şekil 4.9. NBP ile Cr (VI) giderim de temas süresinin etkisi (C_0 : 50 mg/L; Doz: 0,05 g/10 mL; Sıcaklık :25 °C; karıştırma hızı: 250 rpm, pH: 2)

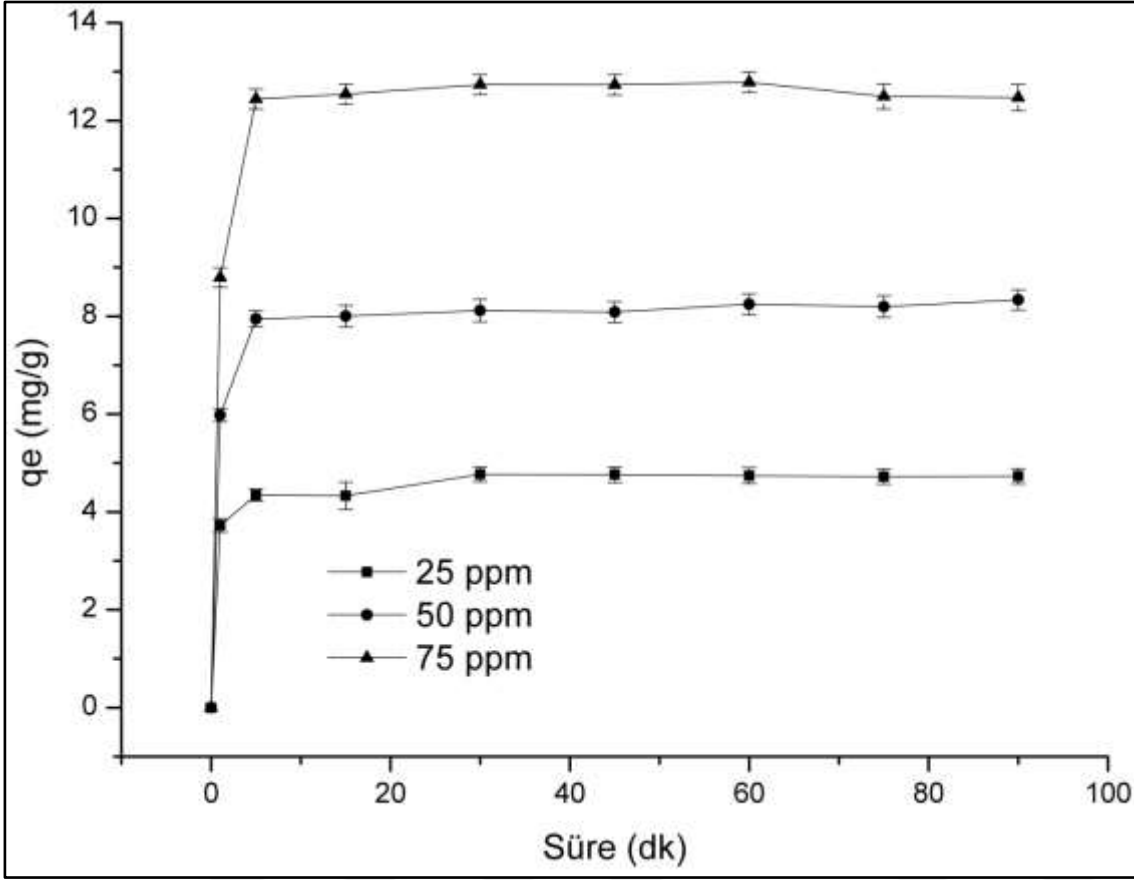


Şekil 4.10. BP-nFe⁰ ile Cr (VI) giderim de temas süresinin etkisi (C_0 : 50 mg/L; Doz: 0,05 g/10 mL; Sıcaklık :25 °C; karıştırma hızı: 250 rpm., pH: 2)



Şekil 4.11. NDP ile Cr (VI) giderim de temas süresinin etkisi (C_0 : 50 mg/L; Doz: 0,05 g/10 mL; Sıcaklık :25 °C; karıştırma hızı: 250 rpm., pH: 2)

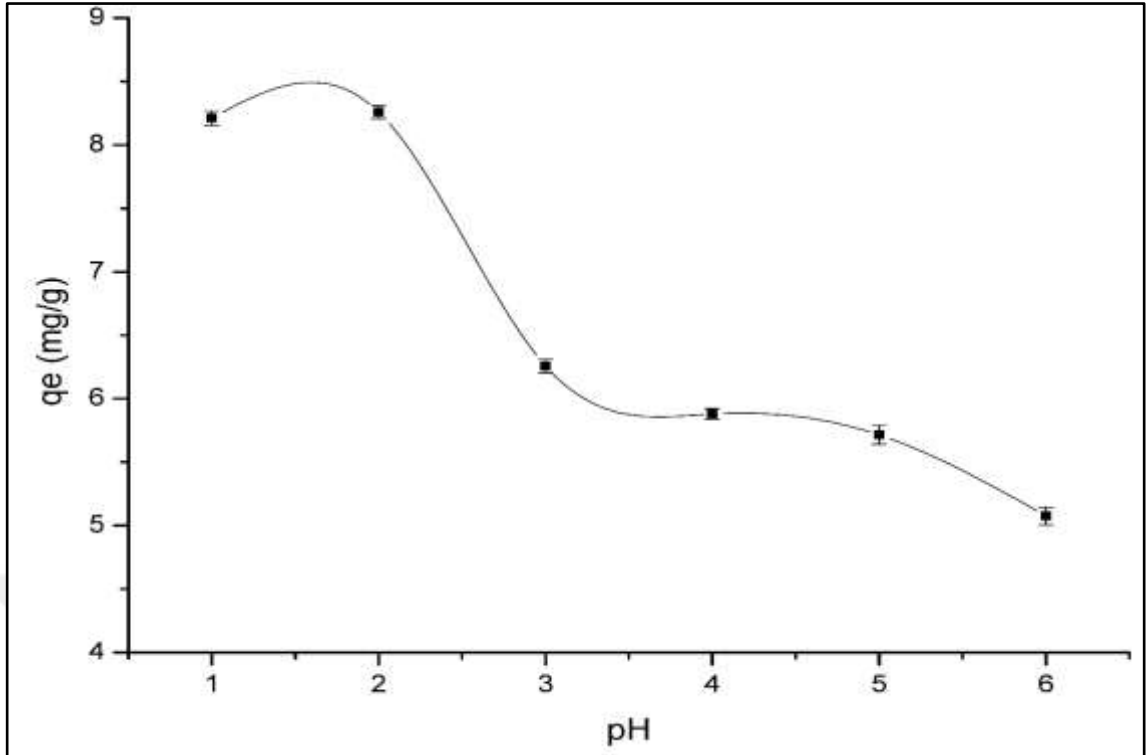
4. BULGULAR VE TARTIŞMA



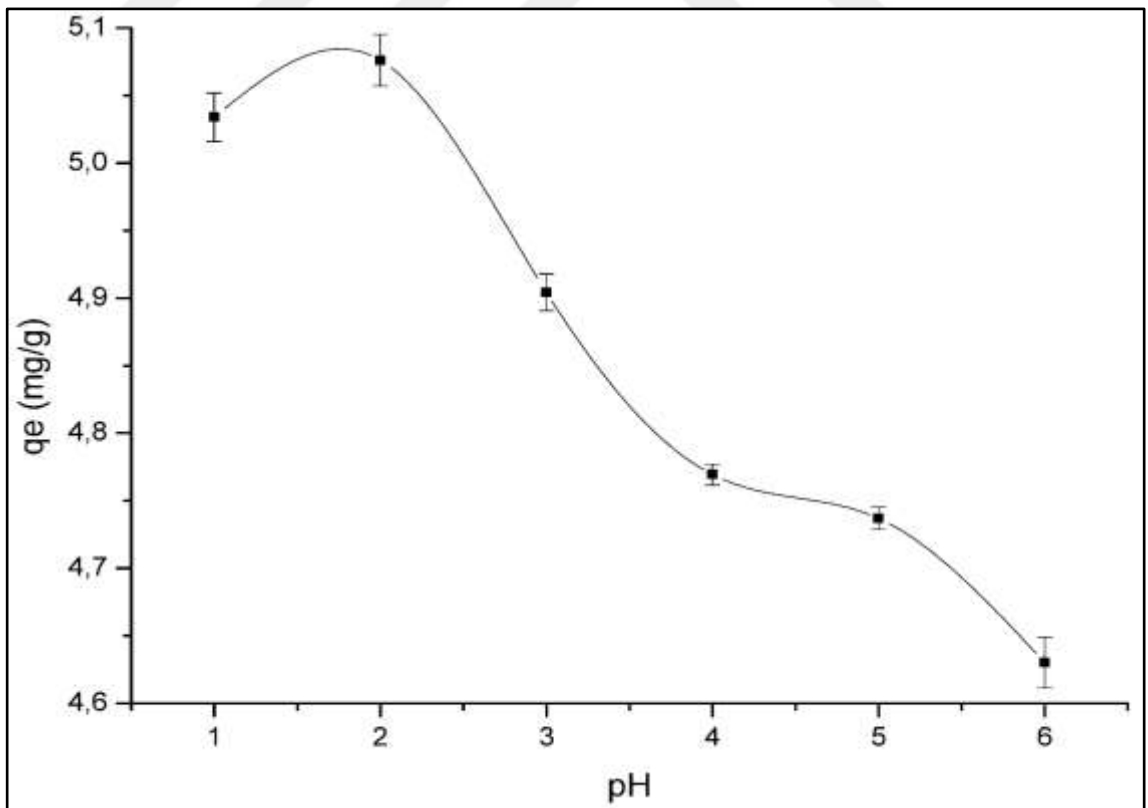
Şekil 4.12. DP-nFe⁰ ile Cr (VI) giderimde temas süresinin etkisi (C₀: 50 mg/L; Doz: 0,05 g/10 mL; Sıcaklık :25 °C; karıştırma hızı: 250 rpm., pH: 2)

4.3.2. Çözelti pH'nın Etkisi

Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da pH'taki artışla birlikte, bir saat içinde Cr (VI) 'nın giderim oranının düştüğü görülmektedir. Özellikle pH 6'ye ulaştığında, giderim oranı düşmektedir. Sonuçlar, pH'ı ne kadar düşük olursa, uzaklaştırma etkisinin o kadar belirgin olduğunu göstermiştir. 1 ila 6 pH aralığında, Cr (VI) esas olarak formlarında, HCrO⁻⁴ (2 ila 6 arasında pH) ve CrO₂⁻⁴ (pH 6'nın üzerinde) bulunmaktadır (Wang ve ark. 2018).

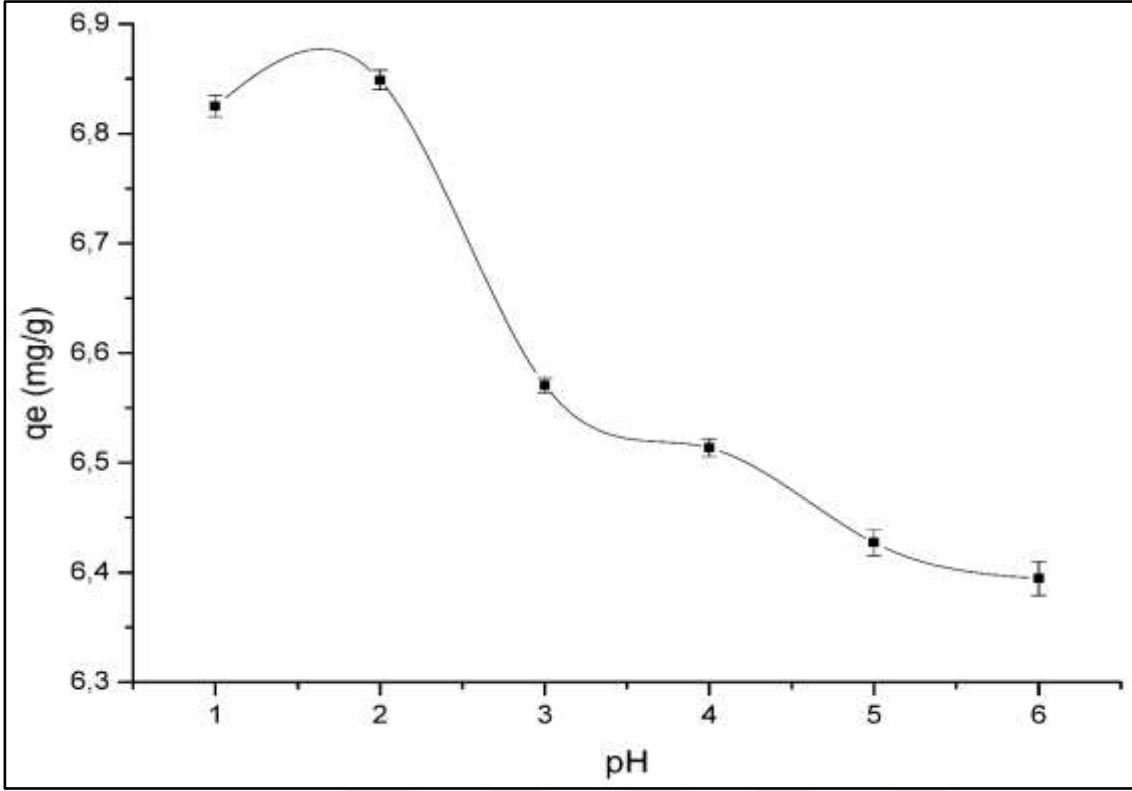


Şekil 4.13. DP-nFe0 ile Cr(VI) gideriminde pH'ın Etkisi (C_0 : 50 mg/L; Doz: 0,05 g/10 mL; Sıcaklık :25 °C; karıştırma hızı: 250 rpm; Süre:60 dk)

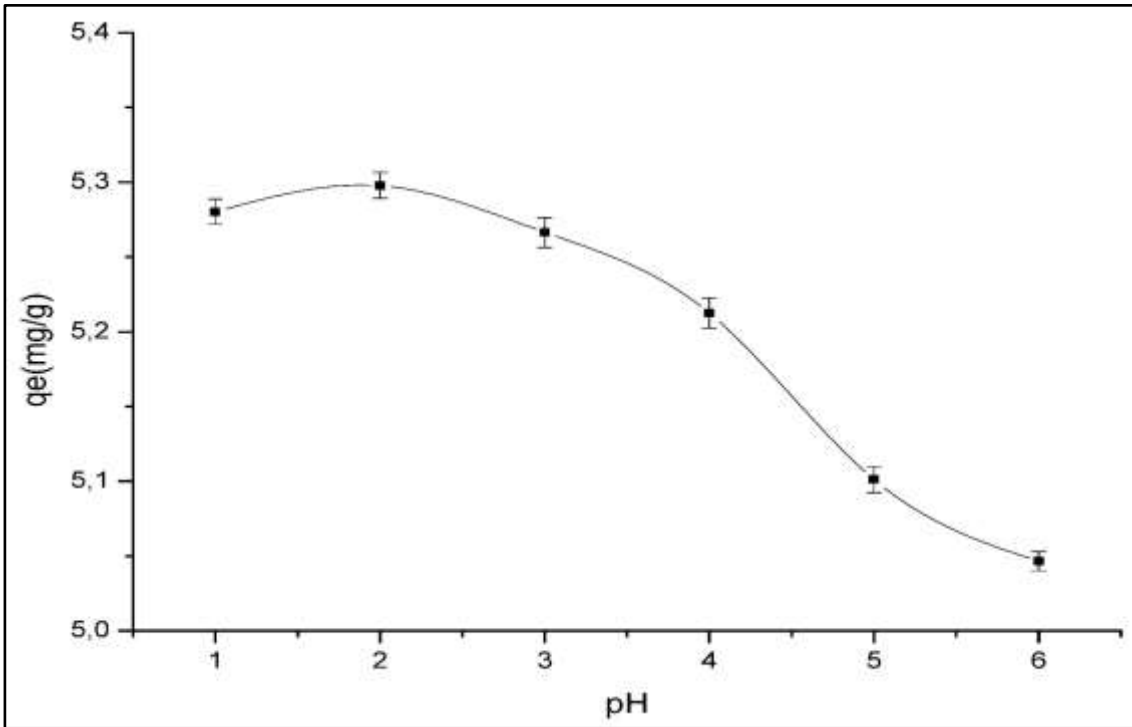


Şekil 4.14. NDP ile Cr(VI) Gideriminde pH'ın Etkisi (C_0 : 50 mg/L; Doz: 0,05 g/10 mL; Sıcaklık :25 °C; karıştırma hızı: 250 rpm; Süre:60 dk)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA



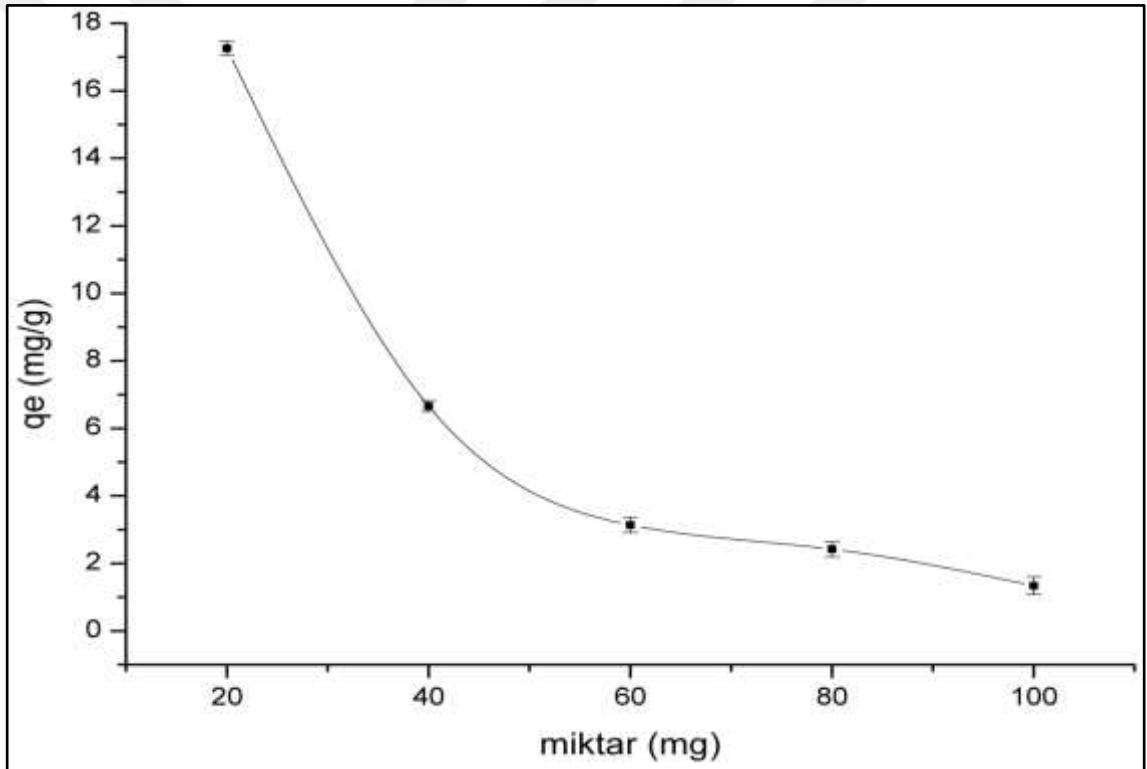
Şekil 4.15. BP-nFe⁰ ile Cr(VI) Giderimde pH'ın Etkisi (C₀: 50 mg/L; Doz: 0,05 g/10 mL; Sıcaklık :25 °C; karıştırma hızı: 250 rpm; Süre:60 dk)



Şekil 4.16. NBP ile Cr(VI) Giderimde pH'ın Etkisi (C₀: 50 mg/L; Doz: 0,05 g/10 mL; Sıcaklık :25 °C; karıştırma hızı: 250 rpm; Süre:60 dk)

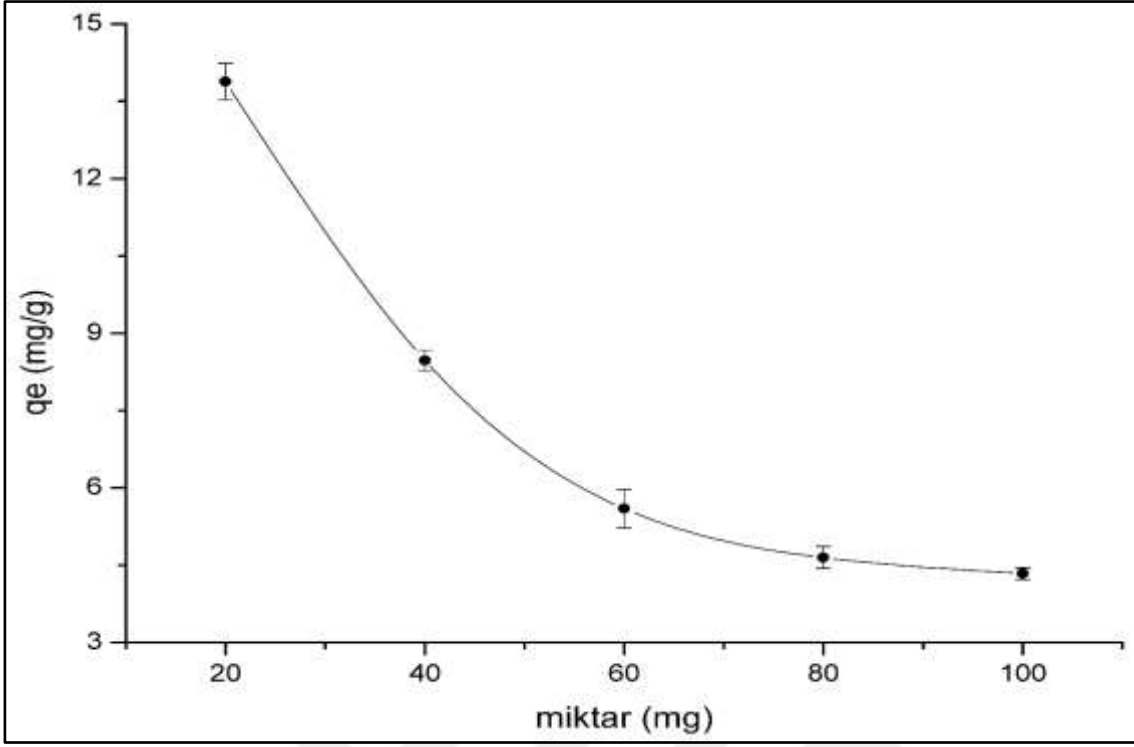
4.3.3. Adsorbent Miktarının Etkisi

Pomzalardaki farklı miktarlar (20, 40, 60, 80 ve 100 g / L), krom (VI) adsorpsiyonu üzerindeki etkiyi açıklamak için çalışılmıştır. Deney oda sıcaklığında, pH 2, 60 dakika temas süresinde yapıldı ve başlangıçtaki krom konsantrasyonu 50 mg / L olarak sabitlendi (Şekil 4.17, Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20). Sonuçlara göre adsorban miktarı arttıkça krom gideriminin azaldığını ortaya koymuştur. Adsorban dozu arttıkça, adsorpsiyon reaksiyonu sırasında sorpsiyon bölgeleri doymamış kalır ve adsorban partiküllerinin aglomerasyonu mevcut dış yüzey alanını azaltan ve her ikisi de birim kütle başına adsorbe edilen miktarın azalmasına katkıda bulunan yayılma yolu uzunluğunda bir artış meydana gelebilir (Indah ve ark. 2018).

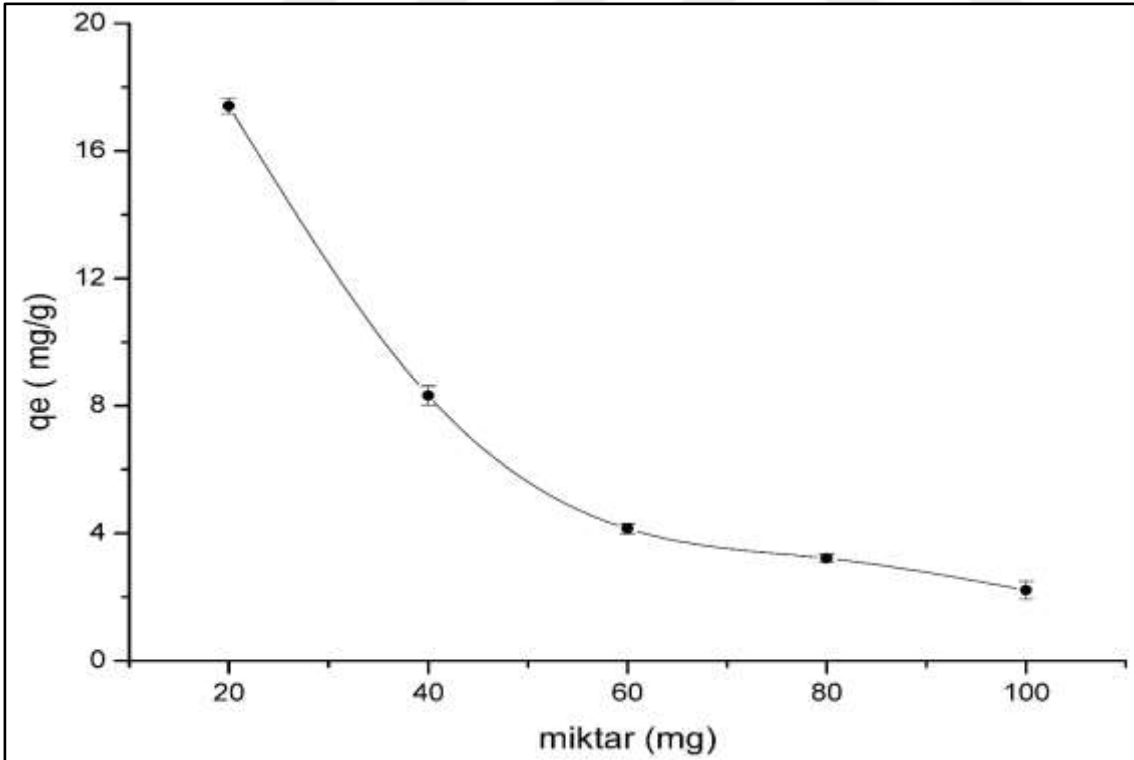


Şekil 4.17. Cr(VI) giderimde NBP miktarının etkisi (C_0 : 50 mg/L; süre 60 dk; Sıcaklık: 25 °C; karıştırma hızı: 250 rpm; Süre:60 dk, pH :2)

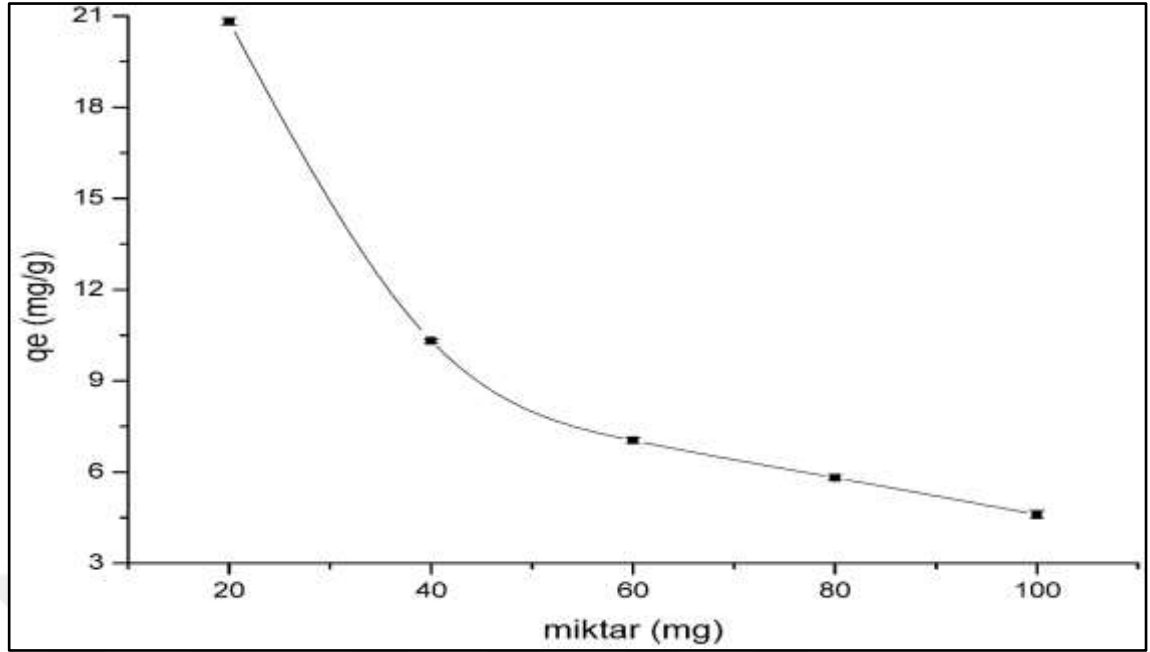
4. BULGULAR VE TARTIŞMA



Şekil 4.18. Cr(VI) giderimde BP-nFe⁰ miktarının etkisi (C₀: 50 mg/L; Süre 60 dk; Sıcaklık :25 °C; karıştırma hızı: 250 rpm; Süre:60 dk, pH:2)



Şekil 4.19. Cr(VI) giderimde NDP miktarının etkisi (C₀: 50 mg/L; süre 60 dk; Sıcaklık :25 °C; karıştırma hızı: 250 rpm; Süre:60 dk, pH:2)



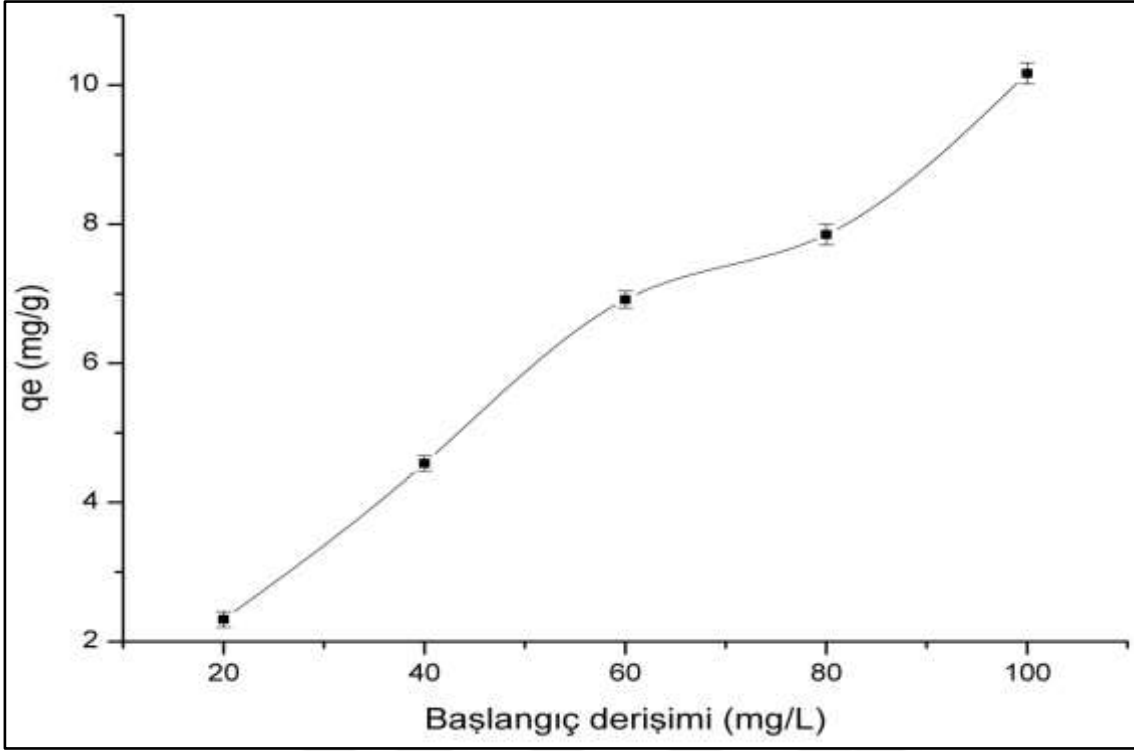
Şekil 4.20. Cr(VI) gideriminde DP-nFe⁰ miktarının etkisi (C₀: 50 mg/L; Süre:60 dk; Sıcaklık :25 °C; karıştırma hızı: 250 rpm; Süre:60 dk, pH:2)

4.3.4. Başlangıç Krom (VI) Derişiminin Etkisi

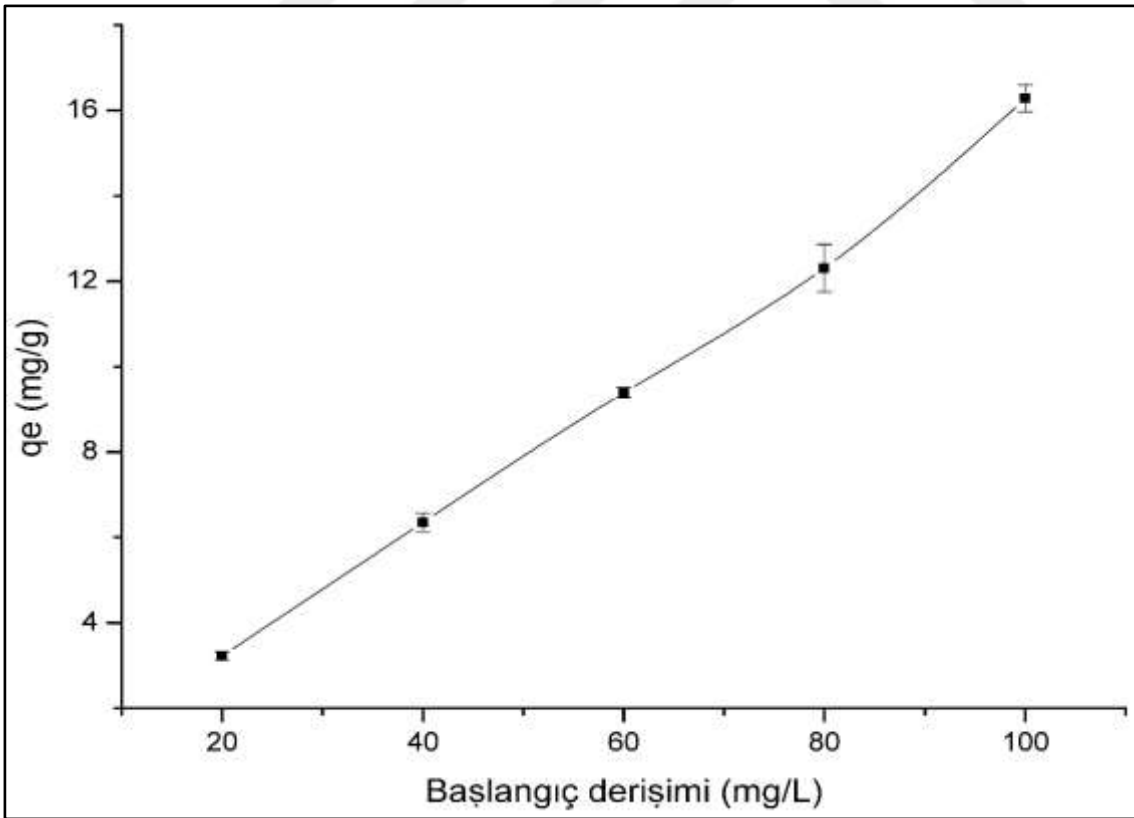
Şekil 4.21, 4.22, 4.23 ve 4.24 incelendiğinde, NDP, DP-nFe⁰, NBP ve BP-nFe⁰ için başlangıç Cr(VI) iyon konsantrasyonu arttıkça, birim adsorban dozu başına adsorbe edilen Cr(VI) miktarı artış göstermesine rağmen, Cr(VI) iyonların giderim verimi azalmıştır. Bu durumun nedeni Cr(VI) iyonların başlangıç derişimi arttıkça, metal iyonların adsorban yüzeyinde bağlanacağı merkezlerin sayısının azalması ve adsorbanların yüksek derişimlerde doygunluğa ulaşmasıdır. Yapılan çalışmalar incelendiğinde sabit adsorban dozunda, adsorplananın bağlanacağı aktif adsorpsiyon bölgelerinin sabit kalacağından, yüksek adsorplanan derişimlerinde tutulan adsorplanan miktarının artacağına, yani yüksek adsorplanan başlangıç derişimlerinde yüklemenin daha hızlı olacağına bağlamışlardır.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde sabit adsorbent dozunda, adsorplananın bağlanacağı etkin adsorpsiyon bölgelerinin sabit kalacağından, yüksek adsorplanan konsantrasyonlarda tutulan adsorplanan miktarının artış göstereceğine, başka bir deyişle yüksek adsorplanan başlangıç derişimlerinde yüklemenin daha hızlı olacağına bağlamışlardır (Samdani ve ark. 2008).

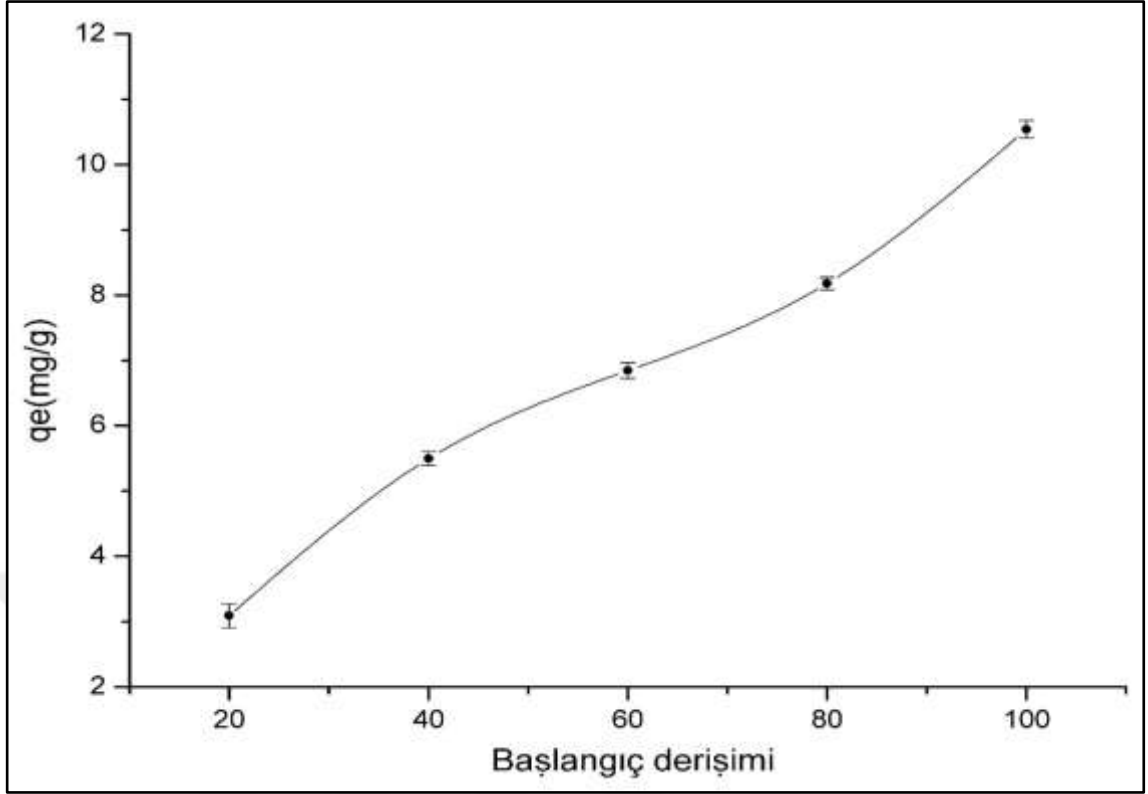
4. BULGULAR VE TARTIŞMA



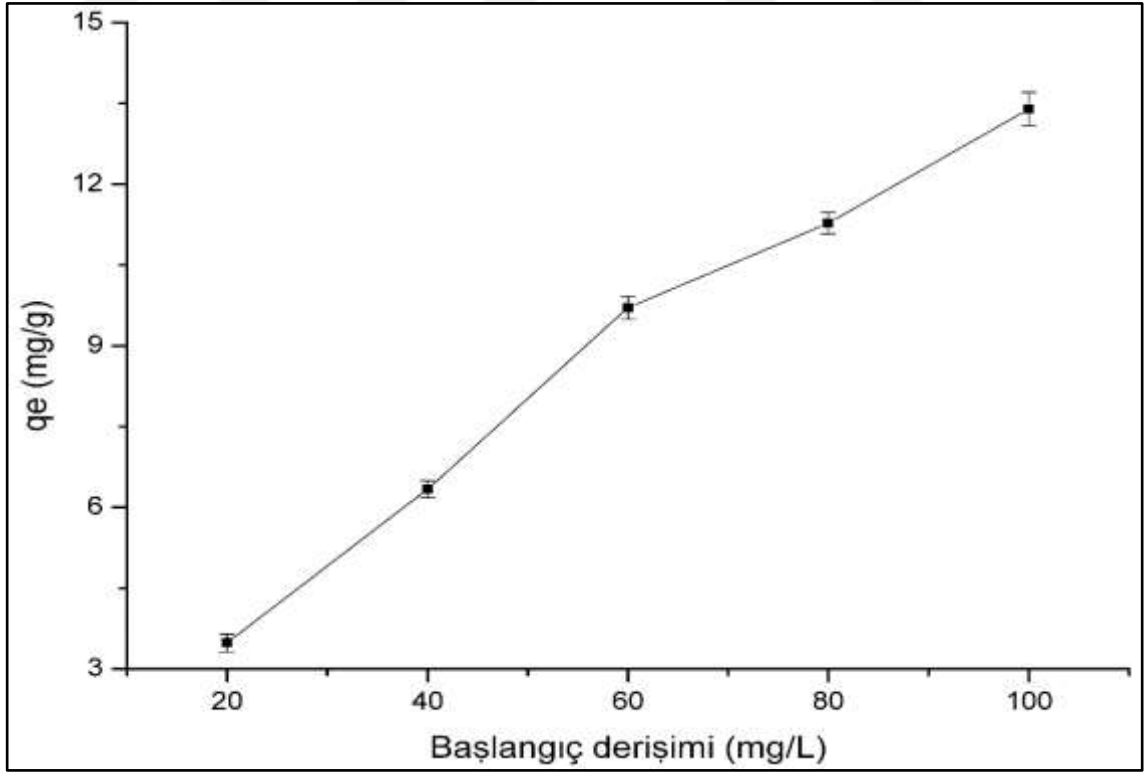
Şekil 4.21. NDP için başlangıç derişiminin Cr(VI) giderimine etkisi (Doz: 0,05 g/10 mL), Süre: 60 dk; Sıcaklık :25 °C; karıştırma hızı: 250 rpm; Süre:60 dk, pH:2)



Şekil 4.22. DP-nFe⁰ için başlangıç derişiminin Cr(VI) giderimine etkisi (Doz: 0,05 g/10 mL), Süre: 60 dk; Sıcaklık :25 °C; karıştırma hızı: 250 rpm; Süre:60dk, pH:2)



Şekil 4.23. NBP için başlangıç derişiminin Cr(VI) giderimine etkisi (Doz: 0,05 g/10 mL), Süre: 60 dk; Sıcaklık :25 °C; karıştırma hızı: 250 rpm; Süre:60 dk, pH:2)



Şekil 4.24. BP-nFe⁰ için başlangıç derişiminin Cr(VI) giderimine etkisi (Doz: 0,05 g/10 mL , Süre: 60 dk; Sıcaklık :25 °C; karıştırma hızı: 250 rpm; Süre:60 dk, pH:2)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.4. Adsorpsiyon İzoterm Çalışmaları

NBP, BP-nFe⁰, NDP ve DP-nFe⁰ üzerinde Cr(VI) iyon adsorpsiyonunun Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon modellerine uyumu araştırılmış ve Çizelge 4.5'te ise her bir modelin karakteristik parametreleri bulunmuştur.

Çizelge 4.5. NBP, BP-nFe⁰, NDP ve DP-nFe⁰'nin Cr(VI) iyonları adsorpsiyonunda izoterm parametreleri

	Langmuir			Freundlich		
	q _m (mgg ¹)	K _L (L/mg)	R ²	K _F (L/g)	n	R ²
NBP	10.82	0.090	0.981	2.68	8.08	0.939
BP-nFe⁰	14.30	0.070	0.959	1.51	1.84	0.962
NDP	17.39	0.008	0.991	0.44	1.23	0.968
DP-nFe⁰	161.29	0.050	0.994	0.81	1.01	0.976

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, doğal Diyarbakır pomza (NDP), Diyarbakır Pomza destekli nano ölçekli sıfır değerlikli demirin (DP-nFe⁰), doğal Bitlis pomza (NBP) ve Bitlis Pomza destekli nano ölçekli sıfır değerlikli demirin (BP-nFe⁰) hazırlanmış ve Cr(VI)'nın gideriminin de adsorban olarak kullanımını incelenmiştir. NDP, NBP, DP-nFe⁰ ve BP-nFe⁰'nin adsorban olarak kullanımında etkinliğini belirlemek ve Cr(VI) iyonları adsorpsiyon mekanizmalarını aydınlatmak için Langmuir ve Freundlich izotermi çizilmiş ve parametreler değerlendirilmiştir. NDP, NBP, DP-nFe⁰ ve BP-nFe⁰ üzerinde Cr(VI)'nın adsorpsiyon izotermi Langmuir modeline daha uyduğu görülmüştür. Langmuir izoterm modeli genellikle belirli sayıda benzer gruplar içeren yüzeyler üzerinde tek tabaka adsorpsiyonu için geçerlidir. Cr(VI) gideriminin de maksimum adsorpsiyon kapasitesi NDP, NBP, DP-nFe⁰ ve BP-nFe⁰ için sırasıyla 17.39, 10.82, 161.29 ve 14.30 mg/g olarak bulunmuştur. Adsorpsiyon izotermlerinin yanında reaksiyon parametrelerinin optimizasyonu da yapılmıştır. Optimizasyon amacıyla başlangıç Cr(VI) konsantrasyonu, temas süresi, adsorban miktarı ve pH değerleri değiştirilerek en etkin şartların bulunması amaçlanmıştır. Zaman çalışmaları incelendiğinde 60 dakika sonra adsorplanacak Cr(VI) miktarının yaklaşık yarısı ilk 5-30 dakikada adsorplandığı görülmüştür. 60 dakikadan sonra ise denge derişiminde önemli bir değişiklik olmadığı için dengeye gelme süresi 60 dakika olarak belirlenmiştir. NDP, NBP, DP-nFe⁰ ve BP-nFe⁰ ile Cr(VI) adsorpsiyonunun asidik şartlarda çok daha fazla olduğu rapor edilmiştir. Optimum adsorban dozu 0.05 g/L olarak belirlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde hazırlanan çevre dostu NDP, NBP, DP-nFe⁰ ve BP-nFe⁰ maddeler ile sulu ortamlardan yüksek verimlilikle Cr(VI) iyonlarının giderilebileceği görülmektedir. Elde edilen tüm sonuçlar Çizelge 5.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 5.1. NDP, NBP, DP-nFe⁰ ve BP-nFe⁰ için optimum koşullarda elde edilen adsorpsiyon kapasiteleri (C0: 50 mg/L; Doz: 0,05 g/10 mL; Sıcaklık :25 C⁰;karıştırma hızı:250 rpm, pH:2)

Adsorban Madde	Süre qm,mg/g	pH qm,mg/g	Başlangıç Derişimi qm,mg/g	Miktar qm,mg/g
NDP	5.170	5.076	5.170	5.113
NBP	5.285	5.297	5.285	5.310
DP-nFe ⁰	8.246	8.257	8.246	9.387
BP-nFe ⁰	7.543	6.848	7.543	6.894



6. KAYNAKLAR

American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, & Water Environment Federation. 1915. Standard methods for the examination of water and wastewater (Vol. 2). American Public Health Association.

Aygun, Z., & Aygun, M. 2016. Spectroscopic analysis of Ahlat stone (ignimbrite) and pumice formed by volcanic activity. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 166, 73-78.

B.I. Kharisov, H.V.R. Dias, O.V. Kharissova, V.M. Jiménez-Pérez, B.O. Pérez, B.M. Flores, Iron-containing nanomaterials: synthesis, properties, and environmental applications, *RSC Adv.* 2 2012 9325–9358.

Bailey, S. E., Olin, T. J., Bricka, R. M., & Adrian, D. D. 1999. A review of potentially low-cost sorbents for heavy metals. *Water research*, 33(11), 2469-2479.

Bilardi, S., Calabrò, P. S., & Moraci, N. 2015. Simultaneous removal of CuII, NiII and ZnII by a granular mixture of zero-valent iron and pumice in column systems. *Desalination and Water Treatment*, 55(3), 767-776.

Browning, E. 1969. Toxicity of Industrial Metals, Bölüm 2, İkinci Basım, Butterworths, London, UK.

Burton, A. 2009. Hit or miss?: benefits and risks of using nanoparticles for in situ remediation.

Calabrò, P. S., Moraci, N., & Suraci, P. 2012. Estimate of the optimum weight ratio in zero-valent iron/pumice granular mixtures used in permeable reactive barriers for the remediation of nickel contaminated groundwater. *Journal of hazardous materials*, 207, 111-116.

Catenacci, A. 2014. Heavy metal removal from water: characterization and applicability of unconventional media.

Choi, H., Al-Abed, S. R., & Agarwal, S. 2009. Effects of aging and oxidation of palladized iron embedded in activated carbon on the dechlorination of 2-chlorobiphenyl. *Environmental science & technology*, 43(11), 4137-4142.

Choi, K., & Lee, W. 2012. Enhanced degradation of trichloroethylene in nano-scale zero-valent iron Fenton system with Cu (II). *Journal of Hazardous materials*, 211, 146-153.

6.KAYNAKLAR

- Cissoko, N., Zhang, Z., Zhang, J., & Xu, X. 2009. Removal of Cr (VI) from simulative contaminated groundwater by iron metal. *Process Safety and Environmental Protection*, 87(6), 395-400.
- Contreras Rodríguez, A. R. 2015. Removal of cadmium (II), lead (II) and chromium (VI) in water with nanomaterials.
- Crane, R. A., & Scott, T. B. 2012. Nanoscale zero-valent iron: future prospects for an emerging water treatment technology. *Journal of hazardous materials*, 211, 112-125.
- Çifçi, D. İ., & Meriç, S. 2016. A review on pumice for water and wastewater treatment. *Desalination and Water Treatment*, 57(39), 18131-18143.
- P.J. Dorathi, P. Kandasamy, Dechlorination of chlorophenols by zero valent iron impregnated silica, *J. Environ. Sci.* 24 (2012) 765–773.
- Çifçi, D. İ., & Meriç, S. 2017. Manganese adsorption by iron impregnated pumice composite. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 522, 279-286.
- Dorathi, P. J., & Kandasamy, P. 2012. Dechlorination of chlorophenols by zero valent iron impregnated silica. *Journal of Environmental Sciences*, 24(4), 765-773.
- Efecan, N., Shahwan, T., Eroğlu, A. E., & Lieberwirth, I. 2009. Characterization of the uptake of aqueous Ni²⁺ ions on nanoparticles of zero-valent iron (nZVI). *Desalination*, 249(3), 1048-1054.
- Fu, F., & Wang, Q. 2011. Removal of heavy metal ions from wastewaters: a review. *Journal of environmental management*, 92(3), 407-418.
- Gheju, M. (2011). Hexavalent chromium reduction with zero-valent iron (ZVI) in aquatic systems. *Water, Air, & Soil Pollution*, 222(1-4), 103-148.
- Greenlee, L. F., Torrey, J. D., Amaro, R. L., & Shaw, J. M. 2012. Kinetics of zero valent iron nanoparticle oxidation in oxygenated water. *Environmental science & technology*, 46(23), 12913-12920.
- Gupta, V. K., Shrivastava, A.K. ve Jain, N. 2001. Biosorption of Chromium (VI) from aqueous solutions by green algae Spirogyra species, *Water Research*, 35, No.17 4079-4085
- Heibati, B., Rodriguez-Couto, S., Turan, N. G., Ozgonenel, O., Albadarin, A. B., Asif, M., & Gupta, V. K. 2015. Removal of noxious dye—Acid Orange 7 from aqueous

- solution using natural pumice and Fe-coated pumice stone. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 31, 124-131.
- Huang, Q., Liu, W., Peng, P. A., & Huang, W. 2013. Reductive dechlorination of tetrachlorobisphenol A by Pd/Fe bimetallic catalysts. *Journal of hazardous materials*, 262, 634-641.
- Indah, S., Helard, D., Marchelly, F., & Putri, D. E. 2018. Adsorption and Regeneration of Indonesian Natural Pumice for Total Chromium Removal from Aqueous Solution. *Indonesian Journal of Environmental Management and Sustainability*, 2(2), 30-37.
- Kaufaman, D.B. 1970. Acute Potassium Dichromate Poisoning in Man. *Am. J. Diseases Children*, 119, 374-379
- Kishimoto, N., Iwano, S., & Narazaki, Y. 2011. Mechanistic consideration of zinc ion removal by zero-valent iron. *Water, Air, & Soil Pollution*, 221(1-4), 183-189.
- Koralay, T., Özkul, M., Kumsar, H., Celik, S. B., & Pektaş, K. 2011. The effect of welding degree on geotechnical properties of an ignimbrite flow unit: the Bitlis castle case (eastern Turkey). *Environmental Earth Sciences*, 64(3), 869-881.
- Kustov, L. M., Finashina, E. D., Shuvalova, E. V., Tkachenko, O. P., & Kirichenko, O. A. 2011. Pd-Fe nanoparticles stabilized by chitosan derivatives for perchloroethene dechlorination. *Environment international*, 37(6), 1044-1052.
- Kuutondokwa, S. M. 2008. Assessment of the Impacts of Pollution on Water Quality in the Calueque-Oshakati Canal in North-Central Namibia (Doctoral dissertation, University of Zimbabwe).
- Ling, X., Li, J., Zhu, W., Zhu, Y., Sun, X., Shen, J., ... & Wang, L. 2012. Synthesis of nanoscale zero-valent iron/ordered mesoporous carbon for adsorption and synergistic reduction of nitrobenzene. *Chemosphere*, 87(6), 655-660.
- Liu, T., Wang, Z. L., & Sun, Y. 2015. Manipulating the morphology of nanoscale zero-valent iron on pumice for removal of heavy metals from wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 263, 55-61.
- Liu, T., Wang, Z. L., Yan, X., & Zhang, B. 2014. Removal of mercury (II) and chromium (VI) from wastewater using a new and effective composite: pumice-supported nanoscale zero-valent iron. *Chemical Engineering Journal*, 245, 34-40.

6.KAYNAKLAR

- Liu, T., Yang, X., Wang, Z. L., & Yan, X. 2013. Enhanced chitosan beads-supported Fe⁰-nanoparticles for removal of heavy metals from electroplating wastewater in permeable reactive barriers. *Water research*, 47(17), 6691-6700.
- Liu, T., Yang, Y., Wang, Z. L., & Sun, Y. 2016. Remediation of arsenic (III) from aqueous solutions using improved nanoscale zero-valent iron on pumice. *Chemical Engineering Journal*, 288, 739-744.
- Mondal, M. K. 2009. Removal of Pb (II) ions from aqueous solution using activated tea waste: Adsorption on a fixed-bed column. *Journal of environmental management*, 90(11), 3266-3271.
- Moraci, N., & Calabrò, P. S. 2010. Heavy metals removal and hydraulic performance in zero-valent iron/pumice permeable reactive barriers. *Journal of Environmental Management*, 91(11), 2336-2341.
- Muzzarelli, R. A., Tanfani, F., Scarpini, G., & Muzzarelli, M. G. 1979. ESR characterization of chitins and chitosans. *Biochemical and biophysical research communications*, 89(2), 706-712.
- Ncube, S. 2015. An assessment of the contribution of agricultural non-point source pollution on the water quality of the Vaal River within the Grootdraai Dam catchment (Doctoral dissertation).
- Özdemir, N. 2015. İmmobilize formda kemik ve ayçekirdeği kabuğu biyokütleleri üzerine viktorya mavisini biyosorpsiyonu (Master's thesis, Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Özvan, A., Dinçer, İ., Akın, M., Oyan, V., & Tapan, M. 2015. Experimental studies on ignimbrite and the effect of lichens and capillarity on the deterioration of Seljuk Gravestones. *Engineering geology*, 185, 81-95.
- Samdani, S., Attar, S. J., Kadam, C., & Baral, S. S. (2008). Treatment of Cr (VI) contaminated wastewater using biosorbent, *Hydrilla verticillata*. *International J. of Engg. Research & Indu. Appls*, 1(4), 271-282.
- Schwartz, J. 1984. Costs and benefits of reducing lead in gasoline (Vol. 84, No. 5). Office of Policy Analysis, Office of Policy, Planning, and Evaluation, US Environmental Protection Agency.

- Shu, H. Y., Chang, M. C., Chen, C. C., & Chen, P. E. 2010. Using resin supported nano zero-valent iron particles for decoloration of Acid Blue 113 azo dye solution. *Journal of Hazardous Materials*, 184(1-3), 499-505.
- Su, C., Puls, R. W., Krug, T. A., Watling, M. T., O'Hara, S. K., Quinn, J. W., & Ruiz, N. E. 2012. A two and half-year-performance evaluation of a field test on treatment of source zone tetrachloroethene and its chlorinated daughter products using emulsified zero valent iron nanoparticles. *Water research*, 46(16), 5071-5084.
- Sudha, B.R. ve Emilia, T.A. 2001. Biosorption of Cr(VI) from aqueous solution by *Rhizopus nigricans*. *Bioresource Technology*, 79, 73-81.
- Şencan, A. 2006. Sulu çözelti ve deri endüstrisi atıksuyundan Cr⁺⁶ iyonunun aktif çamur biyokütlesi ile biyosorpsiyonu (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi).
- Şimşek, O., & Erdal, M. 2004. Investigation of some mechanical and physical properties of the Ahlat stone (ignimbrite). *Gazi University Journal of Science*, 17(4), 71-78.
- Trommelen, J., Holwerda, A. M., Kouw, I. W., Langer, H., Halson, S. L., Verdijk, L. B., & van Loon, L. J. 2016. Resistance Exercise Augments Postprandial Overnight Muscle Protein Synthesis Rates [accepted manuscript].
- Uluçınar, Ş., & Nur Onar, A. 2005. Effect of organic Cr (III) complexes on chromium speciation. *Chemical Speciation & Bioavailability*, 17(2), 31-39.
- Ulusoy, İ., Çubukçu, H. E., Aydar, E., Labazuy, P., Ersoy, O., Şen, E., & Gourgaud, A. 2012. Volcanological evolution and caldera forming eruptions of Mt. Nemrut (Eastern Turkey). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 245, 21-39.
- Üzüm, Ç., Shahwan, T., Eroğlu, A. E., Lieberwirth, I., Scott, T. B., & Hallam, K. R. 2008. Application of zero-valent iron nanoparticles for the removal of aqueous Co²⁺ ions under various experimental conditions. *Chemical Engineering Journal*, 144(2), 213-220.
- Wang, J., Ji, B., Shu, Y., Chen, W., Zhu, L., & Chen, F. 2018. Cr (VI) Removal from Aqueous Solution Using Starch and Sodium Carboxymethyl Cellulose-Coated Fe and Fe/Ni Nanoparticles. *Polish Journal of Environmental Studies*, 27(6).

6.KAYNAKLAR

- Xu, F., Deng, S., Xu, J., Zhang, W., Wu, M., Wang, B., ... & Yu, G. 2012. Highly active and stable Ni-Fe bimetal prepared by ball milling for catalytic hydrodechlorination of 4-chlorophenol. *Environmental science & technology*, 46(8), 4576-4582.
- Yan, W., Herzing, A. A., Kiely, C. J., & Zhang, W. X. 2010. Nanoscale zero-valent iron (nZVI): aspects of the core-shell structure and reactions with inorganic species in water. *Journal of Contaminant Hydrology*, 118(3-4), 96-104.
- Yavuz, M., Gode, F., Pehlivan, E., Ozmert, S., & Sharma, Y. C. 2008. An economic removal of Cu²⁺ and Cr³⁺ on the new adsorbents: Pumice and polyacrylonitrile/pumice composite. *Chemical Engineering Journal*, 137(3), 453-461.
- Zhang, X., Lin, S., Lu, X. Q., & Chen, Z. L. 2010. Removal of Pb (II) from water using synthesized kaolin supported nanoscale zero-valent iron. *Chemical Engineering Journal*, 163(3), 243-248.
- Ziagova, M., Dimitriadis, G., Aslanidou, D., Papaioannou, X., Tzannetaki, E. L., & Liakopoulou-Kyriakides, M. 2007. Comparative study of Cd (II) and Cr (VI) biosorption on *Staphylococcus xylosus* and *Pseudomonas* sp. in single and binary mixtures. *Bioresource technology*, 98(15), 2859-2865.

ÖZGEÇMİŞ

Adı : Mehmet

Soyadı : GÜZEL

Mail : mehmet_guzel21@gmail.com

Doğum Yeri : Ergani

Doğum Tarihi : 01.01.1985

EĞİTİM

2016-Devam Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Bölümü Yüksek Lisans

2010-2015 Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Kimya Öğretmenliği



DICLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ İNTİHAL FORMU

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ

ADI VE SOYADI	Mehmet GÜZEL
ÖĞRENCİ NO	16803018
EĞİTİM - ÖĞRETİM YILI	2018-2019
YARIYIL	<input type="checkbox"/> Güz <input checked="" type="checkbox"/> Bahar
ANABİLİM DALI	Kimya Anabilim Dalı
PROGRAM	Yüksek Lisans
TEZ KONUSU	Pomza Destekli Demir Nano Kompozit ile Sulardan Ağır Metal Giderimi

İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ

RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	74
BENZERLİK ORANI	%12,5
RAPORLAMA TARİHİ	12/07/ 2019

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 74 sayfalık kısmına ilişkin, 12/07/2019 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından *turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 12,5 'dur.

Uygulanan filtrelemeler:

- Kabul/Onay sayfaları hariç,
 Kaynakça hariç
 Alıntılar hariç/dâhil
 Diğer

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Programlarda Tez Çalışması İntihal Raporu Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Mehmet GÜZEL

12/07/2019

Prof.Dr.Bilsen TURAL

Danışman
12/07/2019

Prof.Dr.Haluk AYDIN

Kimya Anabilim Dalı Başkanı
12/07/2019

Formdaki bilgiler bilgisayar ortamında doldurulmalıdır. El yazısı ile doldurulan formlar geçersiz sayılmaktadır.