



**T.C.**  
**KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**



**ŞEKER PANCARI KÜSPESİNE EMPRENYE  
EDİLMİŞ  $Fe_3O_4$  İLE SUCUL ORTAMLARDAN  
NİKEL GİDERİMİ**

Sayed Mohammad Osman SADAT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Kasım-2019**  
**KONYA**  
**Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Sayed Mohammad Osman SADAT tarafından hazırlanan “Şeker Pancarı K spestine Emprenye Edilmiş Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ile Sucul Ortamlardan Nikel Giderimi” adlı tez çalışması 14/11/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy okluđu~~ ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü evre Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri  yeleri

#### Bařkan

Prof.Dr. şükrü DURSUN

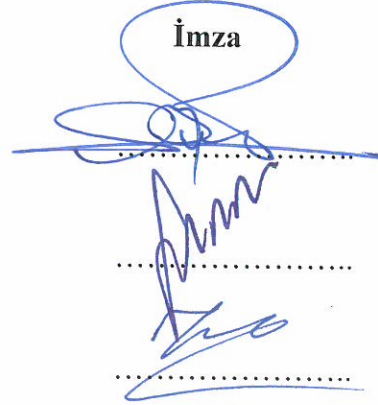
#### Daniřman

Dr. Öğr. Üyesi Sezen KÜÇÜKÇONGAR

####  ye

Dr. Öğr. Üyesi Zehra GÖK

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK  
Enstitü Müdürü

Bu tez alışması Konya Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP)  
Koordinat rl đu tarafından 18201142 no.lu proje ile desteklenmiřtir.

## TEZ BİLDİRİMİ

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

## DECLARATION PAGE

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

İmza

Sayed Mohammad Osman SADAT

Tarih: 15.10.2019



## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS

## ŞEKER PANCARI KÜSPESİNE EMPRENYE EDİLMİŞ $Fe_3O_4$ İLE SUCUL ORTAMLARDAN NİKEL GİDERİMİ

Sayed Mohammad Osman SADAT

Konya Teknik Üniversitesi  
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü  
Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Sezen KÜÇÜKÇONGAR

2019, 58 Sayfa

Jüri

Dr.Öğr.Üyesi Sezen KÜÇÜKÇONGAR  
Prof. Dr. Şükrü DURSUN  
Dr. Öğr. Üyesi Zehra GÖK

Ağır metal içeren atıksular en önemli çevre problemlerinden birisidir. Adsorpsiyon su atıksulardan ağır metal gideriminde uygulama ve tasarım kolaylıkları nedeniyle diğer konvansiyonel arıtım tekniklerine göre tercih edilebilmektedir. Ancak ekonomik olabilmesi için düşük-maliyetli adsorban maddelerin kullanımı gerekmektedir. Endüstriyel atıkların adsorpsiyon prosesinde kullanımı hem atıkların giderimi problemine bir çözüm hem de atıkların faydalı bir amaç için düşük maliyetli bir adsorban olarak kullanımı şeklinde bir yeniden kullanım metodu sağlamaktadır. Bu nedenle iki avantaj bulunmaktadır: Güvenilir ve zararsız bir adsorban üretimi için ağır metal gideriminin yanı sıra endüstri kaynaklı muhtemel tüm ucuz adsorban kaynaklarının araştırılmasına ihtiyaç vardır. Çay atıkları, deri endüstrisi atıkları, zeytinyağı üretim atıkları, atık gazete, pil endüstrisi atıkları gibi düşük maliyetli ve çevresel olarak uygun pek çok adsorban madde sucul ortamlardan ağır metal gideriminde kullanılabilir. Son yıllarda manyetik özelliklere sahip adsorban maddelerin su ve atıksulardan farklı kirleticilerin gideriminde kullanımı, bu malzemelerin yüzey özellikleri ve çözüldüden kolay ayrılabilmesi nedeniyle artmaktadır.

Bu çalışmada şeker pancarı küspesine emprenye edilmiş  $Fe_3O_4$  manyetik kompoziti, kimyasal çöktürme tekniği kullanılarak sentezlenmiştir. Manyetik nanoparçacığın nikel giderim verimliliği, temas süresi, adsorban dozu, pH, başlangıç ağır metal konsantrasyonu vb. değişken çevresel şartların etkisi altında incelenmiştir. Deneysel çalışmalar göstermiştir ki, 25 mg/L başlangıç nikel konsantrasyonunda, 40 dk temas süresinde, 200 rpm karıştırma hızı, 5 g/L nanoparçacık dozu ve pH 6.6 (orijinal pH) için malzemenin maksimum adsorplama kapasitesi 9.36 mg/g olarak belirlenmiştir. Freundlich ve Langmuir izoterm çalışmaları yapılmış ve korelasyon katsayıları sırasıyla %94.5 ve %99.4 olarak belirlenmiştir. Nanoparçacık karakterizasyonu XRD, SEM/EDX analizleri ile aydınlatılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Nikel giderimi, şeker pancar küspesi, endüstriyel atık, nanoparçacık.

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

# **NICKEL REMOVAL FROM AQUEOUS SOLUTIONS BY Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> IMPREGNATED ONTO SUGAR BEET PULP**

**Sayed Mohammad Osman SADAT**

**Konya Technical University  
Institute of Graduate Studies  
Department of Environmental Engineering**

**Advisor: Asst.Prof.Dr. Sezen KÜÇÜKÇONGAR**

**2019, 58 Pages**

**Jury**

**Asst.Prof.Dr. Sezen KÜÇÜKÇONGAR**

**Prof. Dr. Şükrü DURSUN**

**Dr. Öğr. Üyesi Zehra GÖK**

Industrial wastewaters which contain heavy metals are one of the most important environmental problems. Adsorption has preferable properties compared to other conventional treatment techniques due to the operating and design facilities in heavy metal removal from water and wastewater. However, low-cost adsorbent materials should be used in order to be economically. The use of industrial wastes in the adsorption process provides both a solution to the problem of the removal of wastes and a reuse method for the use of wastes as a low cost adsorbent for a useful purpose. Therefore, it has two advantages: There is a need to investigate the feasibility of investigating all possible industry-based cheap adsorbent sources as well as the removal of heavy metals for the production of a reliable and harmless adsorbent. A large number of industrial low-costly and environmentally suitable adsorbents such as tea waste, waste of leather factory, waste of olive oil products, newspaper dough, battery industry waste are used for heavy metal removal from aqueous solutions. In recent years, the usage of adsorbent materials with magnetic properties due to their surface properties and enable easy separation from the solution, increases in the removal of different pollutants from water and wastewaters.

In this study the magnetic composites material was synthesized with Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> impregnated to sugar beet pulp using chemical precipitation techniques. Nickel removal performance of magnetic nanoparticles was investigated under different environmental conditions such as contact time, adsorbent dose, pH, initial heavy metal concentration, etc. The experimental studies have shown that, the maximum adsorption capacity of material was achieved as 9.36 mg/g for aqueous solution containing 25 mg/L initial nickel concentration at 40 minute contact time, 200 rpm shaking speed, 5 g/L nanoparticle dose and pH 6.6 (original pH). Freundlich and Langmuir isotherm experiments were performed and correlation coefficients were determined as 94.5% and 99.4%, respectively. Nanoparticle characterization was illuminated with XRD, SEM/EDX analysis.

**Keywords:** Nickel removal, sugar beet pulp, industrial waste, nanoparticle.

## ÖNSÖZ

Çalışmalarımda öncelikle beni yönlendiren, bana yüksek lisans aşamasında her konuda desteğini esirgemeyen saygıdeğer hocam Dr.Öğr.Üyesi Sezen KÜÇÜKÇONGAR'a, laboratuvar çalışmalarım sırasında bana yol gösteren çok değerli hocam Arş. Gör. Mehmet TÜRKYILMAZ'a; teşekkürlerimi sunuyorum.

Tüm öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen ve daima hissettiğim, çok kıymetli aileme ve arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Sayed Mohammad Osman SADAT  
KONYA -2019



# İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET .....</b>	<b>IV</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>V</b>
<b>ÖNSÖZ .....</b>	<b>VI</b>
<b>İÇİNDEKİLER .....</b>	<b>VII</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR .....</b>	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK ARAŞTIRMASI .....</b>	<b>3</b>
2.1. Ağır Metaller.....	3
2.1.1. Nikel iyonu .....	3
2.1.1.1. Nikel iyonun özellikleri .....	3
2.1.1.2. Nikel iyonun kullanım alanları .....	5
2.1.1.3. Nikel kirliliğini oluşturan kaynaklar.....	5
2.1.1.4. Nikel insan sağlığına ve çevreye etkileri .....	6
2.1.1.5. Nikel iyonun arıtma yöntemleri.....	7
2.2. Adsorpsiyon .....	7
2.2.1. Adsorpsiyonu etkileyen temel faktörler.....	8
2.2.2. Adsorpsiyon izotermi .....	9
2.2.2.1. Langmuir adsorpsiyon izotermi .....	9
2.2.2.2. Freundlich adsorpsiyon izotermi .....	10
2.3. Endüstriyel Atıklar.....	10
2.3.1. Endüstriyel atıkların kullanım alanları .....	11
2.3.1.1. Endüstriyel atıkların sulardaki ağır metal gideriminde kullanımı .....	12
2.3.1.2. Şeker pancarı küspesi .....	18
2.4. Manyetik Nanopartiküller.....	20
2.4.1. Nanoteknoloji .....	20
2.4.2. Manyetik nanopartiküllerin kullanıldığı yerler .....	20
2.4.2.1. Endüstriyel atıkların nanopartikül ve manyetik nanopartikül üretiminde kullanımı .....	20
<b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>	<b>24</b>
3.1. Kullanılan kimyasallar .....	24
3.2. Kullanılan cihazlar .....	24
3.3. Şeker pancar küspesi (ŞPK).....	24
3.4. Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> -ŞPK kompozitinin hazırlanması.....	26
3.4. Kesikli reaktör deneyleri.....	27
<b>4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>29</b>
4.1. Optimizasyon çalışmaları .....	29
4.1.1. Nikel gideriminde temas süresinin etkisi.....	29

4.1.2. Nikel gideriminde adsorban madde dozunun etkisi.....	31
4.1.3. Nikel gideriminde çözelti ph'sının etkisi.....	32
4.1.4. Nikel gideriminde başlangıç nikel konsantrasyonunun etkisi .....	34
4.2. Adsorpsiyon İzoterm Modelleri .....	35
4.3. Adsorpsiyon Kinetiği .....	37
4.4. Adsorban Maddenin Karakteristik Özellikleri.....	39
4.4.1. FT-IR analizleri.....	39
4.4.2 XRD analizleri .....	40
4.4.3. SEM-TEM-EDX analizleri .....	41
4.4.4. BET analizi .....	48
4.4.5. Termogravimetrik analiz.....	49
4.5. Desorpsiyon .....	50
<b>5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....</b>	<b>52</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>53</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>58</b>



## SİMGELER VE KISALTMALAR

### Simgeler

b	: Adsorpsiyon enerjisini ifade eden Langmuir sabiti (L/mg)
C	: Partikül iç difüzyon sabiti
°C	: Sıcaklık
Ce	: Adsorpsiyon sonrası sıvıdaki madde konsantrasyonu (mg/L)
Co	: Ni(II) başlangıç konsantrasyonu (mg/L)
Fe	: Demir
$K_1$	: Birinci derece adsorpsiyon hız sabiti (1/dk)
$K_2$	: İkinci derece adsorpsiyon hız sabiti (g/mg.dk)
$K_i$	: Partikül içi difüzyon hız sabiti (mg/g.dk <sup>0.5</sup> )
m	: Adsorban madde miktarı (g)
Ni	: Nikel
R(%)	: Giderim yüzdesi (%)
$R_L$	: Langmuir izotermi için ayırma faktörü
t	: Optimum süre (dk)
V	: Numune hacmi (mL)
qmax	: Maksimum adsorpsiyon kapasitesi (mg/g)
$q_e$	: Denge de adsorplanan miktar (mg/g)
$q_t$	: t zamanında adsorplanan maksimum miktar (mg/g)

### Kısaltmalar

WHO	: Dünya Sağlık Örgütü
EU	: Avrupa Birliği
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
BET	: Brunauer-Emmett-Teller
BJH	: Barrett-Joyner-Halenda
EDX	: Enerji dağılımlı X-ışınları
MNP	: Manyetik nanoparçacık
SEM	: Taramalı elektron mikroskobu
FTIR	: Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
TGA	: Termogravimetrik analiz
XRD	: X-ışını kırınımı
ŞPK	: Şeker pancar küspesi

## 1. GİRİŞ

Çevre kirlenmesi hızla artan nüfus ve sanayileşmenin gelişiminden sonra en önemli problemlerden biri olmaya başlamıştır. Endüstrinin gelişmesi ile birlikte çevre kirliliği, dolayısıyla su kaynaklarının kirlenmesi de gündeme gelmiştir. Su kaynağında suyun genel özelliklerinin olumsuz yönde değişimiyle gözlenen ve suyun kullanım alanlarında kısıtlamalar oluşmasına sebep olabilecek maddelerin deşarjı su kirliliği olarak ifade edilmektedir. Söz konusu su kirliliğini önlemek veya kısmen gidermek amacıyla endüstrilere yasal bazı kısıtlamalar getirilmektedir (Bayram ve Önsoy, 2011).

Çevresel açıdan endüstriyel atıksular evsel atıksulara oranla daha büyük tehlike oluşturmaktadır. Endüstriyel atıksular zaman zaman yüksek konsantrasyonda toksik bileşenler, kalıcı ya da zor bozunabilir maddeleri içerebilirler. Endüstriyel prosesler doğayı farklı şekilde etkileyebilen farklı özelliklerde kirleticileri üretebilmektedir. Endüstriyel atıksularda bulunan toksik maddeler, sudaki canlıların yaşamını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu toksik maddeler arasında ağır metaller oldukça önemlidir. Ağır metal içeren atıksuların deşarjı su ortamında yaşayan canlıların yaşamını etkilemekte ve bu atıksuların içme suyu olarak veya zirai amaçla kullanılması durumunda ise yüksek maliyetli arıtma uygulamaları lazım olmaktadır (Bradl, 2004). Bu nedenle ağır metal içeren atıksuların alıcı ortama verilmeden önce arıtılması büyük önem arz etmektedir.

Ağır metal konsantrasyonu yüksek olan endüstriyel atıksuların arıtımında kimyasal çöktürme, nötralizasyon, adsorpsiyon, ters ozmoz, iyon değiştirme, elektrodializ ve membran yöntemleri uygulanabilmektedir (Saygideger ve ark., 2005). Adsorpsiyon yüksek verimlerin elde edilebilmesi ve uygulama kolaylığı nedeniyle tercih edilen bir yöntemdir. Adsorban madde olarak aktif karbon, çeşitli metal iyonlarının atıksudan uzaklaştırılmasında çok sık kullanılmaktadır, fakat son derece maliyetlidir. Adsorpsiyon işleminde maliyet ve çevresel açıdan uygun çok sayıda adsorban madde kullanılmaktadır.

Son yıllarda teknolojinin gelişmesi oluşan evsel ve endüstriyel atıkların da miktar ve çeşitlilik olarak artmasını beraberinde getirmektedir. Oluşan atıkların uygun olmayan bertarafı çevre kirlenmesine sebep olmaktadır. Bu nedenle endüstriyel atıkların farklı endüstri dallarında ikincil hammadde olarak kullanılması veya farklı bir faydalı amaç için değerlendirilmesi, hem atıkların miktarının ve zararlarının azaltılması hem de

doğal kaynakların korunması suretiyle iki kat fayda sağlamaktadır. Endüstriyel atıkların yeniden kullanımının sağlanabilmesi için su arıtımında adsorban madde olarak kullanımı ile ilgili literatürde çalışmalar mevcuttur. Bunlara örnek olarak nikel adsorpsiyonunda kullanılan; çay atığı (Malkoc ve Nuhoglu, 2005), deri fabrikası atığı (Oliveira ve ark., 2008), kırmızı çamur (Akin ve ark., 2012), gazete hamuru (Chakravarty ve ark., 2008), pil sanayi atıkları (Bhatnagar ve ark., 2007) verilebilir. Böylece hem endüstriyel atıkların çevreyi kirletmesi önlenilmekte, hem de ekonomik ve kolayca bulunabilen bir adsorban madde elde edilebilmektedir. Bunun yanı sıra son yıllarda hem adsorban maddenin yeniden kullanılabilirlik özelliklerinin artırılması hem de adsorplama özelliklerinin kuvvetlendirilmesi için nanoparçacıklarla birleştirilmesi konusunda çalışmalar yapılmaya başlanmıştır.

Bu tez çalışmasında bir endüstriyel atık olan şeker pancarı küspesinin uygun koşullarda  $Fe_3O_4$  ile birlikte sentezlenmesi, manyetik özelliğe sahip bir nanokompozitin elde edilmesi, üretilen malzemenin yeniden kullanılabilirlik ve geri kazanım özelliklerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Elde edilen yeni adsorban maddeyle su ortamından nikel iyonunun giderimi incelenmiş, ortam şartlarının giderim verimine etkisi araştırılmış ve malzemenin yeniden kullanımı çalışmaları yapılmıştır. Kompozit materyalin manyetizma özelliği arıtım sonrası malzemenin sudan kolay ayrışabilmesine katkı sağlamıştır. Bu tez çalışmasında elde edilen sonuçlar ile bu alandaki literatüre destek sağlanabileceği düşünülmektedir.

## 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Ağır Metaller

Ağır metaller toprakta diğer elementlere göre daha düşük konsantrasyonlardadır. Ağır metaller grubu 70 elementi içermekte, fakat bunlardan 20 tanesi çevresel açıdan önem arz etmektedir. Cd, Ni, Cu, Pb, Zn, Hg, Co, As ve Cr çevresel ortamlarda birikme eğilimi gösteren, çoğunlukla toksik elementlerdir. Bazı ağır metallerin toprakta birikmesi ekolojik dengeyi bozmakta ve besin zincirine dahil olarak halk sağlığını tehdit etmektedir. Bunun yanı sıra suların arıtımı sonrası hem verildikleri ortam hem de oluşan çamur içeriği bakımından problemlere sebep olabilmektedir.

Ağır metaller zehirleyici özelliklere sahip elementlerdir, ancak sahip oldukları bir takım özellikler nedeniyle sanayide farklı alanlarda kullanılmaktadır. Farklı yollardan çevresel ortamlara karışan ağır metaller, toprakta birikme potansiyelleri ve besin zincirine girebilmeleri nedeniyle de önem taşımaktadırlar (Uysal, 2004). Su ortamında ağır metallerin bulunması, düşük konsantrasyonlarda bile toksik etkileri nedeniyle büyük endişe kaynağı olmuştur. Bazı metal iyonları, asimile edilebilen ve organizmaların dokularında depolanabilen ve dikkate değer olumsuz fizyolojik etkilere neden olan kümülatif zehirlerdir (Gupta ve Ali, 2004). Ağır metal içeren kirletilmiş suların, bütün bu olumsuz etkileri sebebiyle kullanım amacına göre deşarj standartları göz önünde bulundurularak gerekli arıtımın gerçekleştirilmesi gerekmektedir (Viraraghavan ve ark., 1999).

#### 2.1.1 Nikel

##### 2.1.1.1 Özellikleri

Sembölü Ni, atom ağırlığı 58.71 g/mol olan nikel oda sıcaklığında gümüş renkli parlak metalik bir katıdır. Nikel elementi ilk olarak İsveçli bir mineralojist olan Nikel Axel Cronstedt (1751) tarafından, gersdorfit (NiAsS) cevherinin araştırılması ile bulunmuştur. Saf metal üretimi ilk olarak 1804'te Jeremias Richter tarafından yapılmıştır. Başlıca mineralleri, millerit (NiS), nikelin (NiAs), gersdorfit (NiAsS), bunsenit (NiO), anabergit (Ni<sub>3</sub>(AsO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>.8H<sub>2</sub>)'dir (Demir, 2005). Doğada nikel birincil olarak oksit ve sülfat filizleri şeklinde bulunur. Yüksek elektriksel ve ısı iletkenliğe sahiptir ve -200°C ile +300°C sıcaklıkları arasında paslanmaya karşı dirençlidir. Metalik nikel sert, parlak, gümüşü beyaz bir metaldir, özgül ağırlığı 8.9'dur, erime

noktası 1455°C, kaynama noktası 2732°C'dir. Suda ve amonyum hidroksitte çözünmez, seyreltilmiş nitrik asitte çözünür, hidroklorik ve sülfürik asitte yarı çözünürdür (Çokadar ve ark., 2003).

Atmosferde nikel en çok 2 µm çapında solunabilir küçük parçacıklar biçiminde bulunur. Nikel karbonil karbon monoksitle etkileşime girdiğinde oluşan bileşik renksiz ve uçucudur. 43°C'de kaynar ve 50°C'nin üzerinde ayrışır. Bu bileşik, havada kararsız bir bileşiktir ve 30 dakikadan sonra genelde ölçülemez. Saf molekülü akciğerler tarafından emilir ve suda çözünmez, fakat çoğu inorganik çözeltilerde çözülmemektedir (Chen ve ark., 2006).

Nikel, yağmur suyunda partiküller halinde birincil dip kaya materyallerinin çözülmesi ve ikincil toprak seviyeleri yoluyla olmak üzere üç şekilde yüzey sularına karışır. Sulu sistemlerde nikel, kil parçaları, organik maddeler ve diğer maddeler tarafından emilen ya da onlarla etkileşebilen çözülebilir tuzlar şeklindedir. Nikel klorür heksahidrat ve nikel sülfat heksahidrat, 2.400-2.500 g/L değerlerinde sularda fazlasıyla çözünebilirlerdir. Suda daha az çözünebilir nikel bileşikleri nikel nitrat (45 g/L), nikel hidroksit (0.13 g/L) ve nikel karbonat (0.09 g/L) içerir. Nikelin fiziksel ve kimyasal özellikleri, Tablo 2.1 ve 2.2'de verilmiştir (Çokadar ve ark., 2003).

**Tablo 2.1.** Nikel metalinin fiziksel özellikleri (Çokadar ve ark., 2003)

Yoğunluk	8.908 g/mL
Erime noktası	1455 ° C ( 1728 K)
Kaynama noktası	2913 ° C ( 3186 K)
Molar hacim	6.59 mL/mol
Mineral sertlik (Mohs'a göre)	4.0
Isıl iletkenlik (300K)	0.907 W/ cm K
Özgül ısı	0.440 J / gK
Buharlaşma entalpisi	378 kJ/mol
Atomlaşma entalpisi	431 kJ/mol

**Tablo 2.2.** Nikel metalinin kimyasal özellikleri (Çokadar ve ark., 2003)

Elektronik konfigürasyon	$3d^8.4s^2$
Kabuk yapısı	2.8.16.2
Elektron ilgisi	112 kJ/mol
Elektronegatiflik	1.91 (Pauling birimine göre)
Atomik yarıçapı	135 pm (149 pm hesaplama ile)

### 2.1.1.2. Nikel Elementinin Kullanım Alanları

Ticari olarak farklı formlarda temin edilebilen nikel, kimyasal ve fiziksel özellikleri nedeniyle, oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Nikel metalinin yaklaşık %85'i farklı mekanik ve fiziksel nitelikler kazanabilmesi için diğer metallerle karışım yapılarak tüketilmektedir. 19. yüzyıldan itibaren, bakır ve nikel karışımının, para yapımında farklı ülkelerde kullanımı yaygındır. Binalarda, altyapılarda, haberleşmede, enerji üretiminde, çevre korumada, kimyasal madde üretiminde, gıda hazırlama sektöründe, su arıtımında ve daha birçok alanda nikel alternatiflerinin sınırlı olması sebebiyle sıklıkla kullanılan önemli bir metaldir. Nikel tüketiminin sektör bazında dağılımında ülkelerin sanayi yapısı ve zaman belirleyici etkendir. Nikel tüketiminde dünyada en büyük paya paslanmaz çelik sektörü sahiptir (Katip ve ark., 2014). Ayrıca, sülfat, klorür ve bromürü içeren çoğu nikel tozu 1800'lerin ortalarından sonlarına kadar baş ağrısı, ishal ve sara hastalığını tedavi etmek için ilaçlarda ve antiseptiklerde kullanılmıştır. Nikel bileşiklerinin tedavilerdeki kullanımı bu tuzların kronik ve kuvvetli zehirlilikleri hayvanların kullanıldığı deneylerde ispatlandıktan sonra sona ermiştir. Bazı nikel tuzlarının kullanımları düzenleyici mercilerce onaylanmamasına rağmen bitkilerde hastalıklara neden olan bakterilerle savaşmak için mantar öldürücü ilaçların içine katılmaktadır (Murat, 2007).

### 2.1.1.3. Nikel Kirliliğini Oluşturan Kaynaklar

Dünyadaki nikelin %90'ından fazlası Kanada'da ve Eski Sovyetler Birliği'nde yeraltından çıkarılan bir nikel-sülfat mineral olan pentlandinden  $[(FeNi)_9S_8]$  elde edilmektedir. Dünyadaki toplam nikel üretiminin 1900'den 2002'ye kadar 7.500 tondan 2 milyon tona çıktığı görülür. Daha sonraki yıllarda artıklardan elde edilen ikincil nikel endüstriyel uygulamalar için ana kaynak olmuştur. Hava yoluyla oluşan nikel

kirliliğinin kaynakları arazi tozu, deniz tuzu, volkanlar, orman yangınları, bitki örtüsü sızıntılarıdır ve atmosferik nikel yükünün %16'sını oluşturmaktadır. İnsan kaynaklı atmosferdeki nikel toplam atmosferdeki nikel kirliliğinin %84'ünü oluşturmaktadır. Nikel filizi madenciliği, tasfiyesi ve rafineri faaliyetleri, fosilli yakıtların ısınma güç ve motorlu araçlarda yakılması/kullanılması, lağım tortularının yakılması, nikel kimyasalları üretimi, elektro kaplama, nikel kadmiyum pil üretimi, taşpamuğu madenciliği ve preslenmesi, çimento üretimi gibi aktiviteler sonucu insan kaynaklı nikel kirliliği artmaktadır (Özer, 2007).

#### 2.1.1.4. Nikelin İnsan Sağlığına ve Çevreye Etkileri

Nikelin insan sağlığı üzerinde olumsuz etkileri vardır. İnsanlara içme sularından, sulu gıdalardan veya soluma yoluyla geçer. Nikel metalinin, insanlar üzerindeki en önemli etkisi saat ve mücevher gibi nikelden yapılmış eşyaların neden olduğu deri yangısı de denilen nikel alerjisidir (Denkhaus ve Salnikow, 2002). Uzun süre nikel maruz kalan insanlarda ise, nikelin vücutta birikmesi sonucunda, kalp, cilt, böbrekler ve akciğer kanserine yakalanma oranının yüksekliği görülmüştür (Çokadar ve ark., 2003). Hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalarda nikel bileşiklerinin tümöre yol açtığı tespit edilmiştir. Nikel bazı bitki türleri için yararlı bir element olmasına rağmen belli bir doz aşımında (0,18-5 ppm) zehirli olmaktadır (Murat, 2007).

Nikel zehirlenmesinin en önemli şekli, nikel karbonilin solunmasından kaynaklanmaktadır. Havadaki nikel karbonilin yarı ömürlü direnci yaklaşık 30 dakikadır. Nikel karbonil, lipitlerdeki çözülebilirliği nedeniyle metabolik değişime uğramadan hücre zarlarından geçebilir ve nikel karbonilin bu hücrelerde işleyebilme özelliği uç noktalardaki zehirliliğini de açıklamaktadır. Dokularda nikel karbonil, karbon monoksit ve NiO'i serbest bırakarak ayrışır, sonra hücre içi oksidasyon sistemlerince Ni<sup>2+</sup>ye oksitlenir. Nikel idrarla salgılanır, karbon monoksit hemoglobine yapışır ve hemen akciğere doğru salgılanır. Nikel karbonil zehirlenmesinde akciğer hedef organdır. İnsanların nikel maruz kalmaları, akciğerde yaralar, kanama, ödem, alveol hücrelerinde düzen bozuklukları, bronş epitelyumunda bozukluklar ve akciğer fibrosizi şeklinde sonlanır (Özer, 2007).

İçme sularında nikel tolerans limiti Dünya Sağlık Örgütü (WHO)'ne göre 0.02 mg/L, Türk Standartları Enstitüsü (TSE)'ne göre 0.02 mg/L, Avrupa Birliği (EU)'ne göre 0.01mg/L, Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı (USEPA)'na göre

0.01 mg/L, Çin Halk Cumhuriyeti Çevre Koruma Bakanlığı (MEP)'na göre 0,0 mg/L maksimum değer olarak kabul edilebilir.

### **2.1.1.5. Arıtma yöntemleri**

Konvansiyonel arıtma yöntemlerinden kimyasal koagülasyon-flokülasyon, çöktürme, ters ozmos ve filtrasyon yöntemleriyle %35-80 arasında giderim sağlamak mümkündür (Organization, 2004). Yeraltı sularında bulunan nikel iyonunun giderimi ise adsorpsiyon ya da iyon değişimi ile gerçekleştirilebilir (Organization, 2008). Bu yöntemlerin yanı sıra kireçle yumuşatma ve ters ozmos yöntemleri ile de nikel giderimi yapılabilir (Chang ve Wang, 2007; Gümüş ve Gümüş, 2018). Kirletilmiş sularda bulunan ağır metallerin gideriminde kimyasal çökeltmeni yanı sıra, daha düşük konsantrasyonlarda adsorpsiyon, membran arıtımı, filtrasyon ve iyon değiştirme gibi yöntemler de önerilmektedir (Küçükgül ve Kutlu, 2006). Bu yöntemler arasında adsorpsiyon, toksik metallerin uzaklaştırılması için maliyet ve işletme şartları da göz önüne alındığında çok yönlü ve yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Walker Jr, 1972).

## **2.2. Adsorpsiyon**

Adsorpsiyon çevresel olarak problem oluşturan bileşiklerin gaz fazında veya su ortamında giderilmesi veya geri kazanılmasında sıkça kullanılan bir yöntemdir. Bir katı yüzeyinde atom, iyon ya da moleküllerin tutulması işlemine adsorpsiyon denir. Adsorpsiyon uygulamasında adsorban ve adsorbat olmak üzere iki temel bileşen vardır. Adsorplanan maddeler bir ya da birden fazla sayıda olabilirler. Adsorpsiyon işleminde iyi bir adsorbanın yüksek kapasite değerlerine sahip olması proses verimini artıracaktır. Adsorpsiyon uygulamasının verimi, adsorban-adsorbat etkileşimi ve oluşan sistemin özelliklerine bağlıdır (Tantekin, 2006).

Bir bileşiğin aktif karbonla adsorpsiyonu dört adımda gerçekleşir. İlk kademede difüzyon, ikinci adım olarak adsorban yüzeyinde ince film oluşumu, üçüncü adımda adsorbatın adsorban madde gözeneklerinde hareket ederek adsorpsiyonun meydana geleceği yüzeye doğru hareketi, dördüncü olarak ise adsorbatın gözenek yüzeyine bağlanması şeklinde sıralanabilir (Kılıçer, 2006).



Adsorpsiyon işlemi adsorplayan yüzey arasındaki çekim kuvvetlerinin türüne ve çözeltide bulunan moleküllere bağlı olarak üç farklı türdedir: Fiziksel, kimyasal ve iyonik adsorpsiyon.

Fiziksel adsorpsiyonda Van der Waals kuvvetleri söz konusudur ve moleküller arası düşük çekim kuvvetleri yüzeyde tutunmayı sağlamaktadır. Burada oluşan bağlar daha zayıftır ve adsorbat katı yüzeyinde hareketli bir durumdadır. İşlem tersinir olduğu için rejenere etmesi kolaydır. Kimyasal adsorpsiyonda adsorban ve adsorbat arasında fonksiyonel gruplar ile kimyasal etkileşimler mevcuttur. Adsorbat yüzeyde monomoleküler tabaka oluşturur ve bu tabaka hareketsizdir. Bundan dolayı adsorpsiyon tersinmezdir ve rejenere etme güçtür. Rejenere etmek için çok yüksek sıcaklıklara ihtiyaç vardır. İyonik adsorpsiyonda seçimli olarak bir iyonun katı yüzeyine tutunmasında elektrostatik çekim kuvvetlerinin etken olmasıyla açıklanır. İyonik adsorpsiyonda verimin artması için küçük çaplı ve elektrik yükü fazla olan iyonların olması gerekmektedir. İyon değişimi ise yüzeye tutunan iyonlara eş yüklü diğer iyonların aynı anda yüzeyi terk edilmesi durumunda gerçekleşir (Mohamed ve ark., 2006).

Farklı adsorpsiyon türleri eşzamanlı olarak gerçekleşebilmektedir. Adsorpsiyonun hızı ve kapasitesi adsorban yüzeyi ile ilişkilidir ve bu nedenle yüksek yüzey alanına sahip adsorbanlar tercih edilir. Ortam pH, sıcaklık değeri ve adsorbat konsantrasyonu da önemlidir.

### 2.2.1 Adsorpsiyonda Etkili Olan Faktörler

Adsorpsiyon işleminde verimi etkileyen temel faktörler adsorban, adsorbat ve ortamın genel özellikleridir.

**a** - Adsorpsiyonun gerçekleştiği ortamın özellikleri:

- pH
- Zaman
- Sıcaklık
- Ortamdaki diğer çözülmüş maddeler

**b** - Adsorban maddenin özellikleri:

- Adsorban miktarı ve yüzey özellikleri
- Yüzey alanı
- Gözenek yapısı ve gözenek büyüklüğü

- Moleküler büyüklük
- Sıvı içerisindeki çözünürlük
- Sıvı içindeki derişim
- Moleküler yapı

## 2.2.2 Adsorpsiyon İzotermi

Adsorpsiyon işlemlerinde verilerin değerlendirilmesinde Langmuir, Freundlich, Brunauer-Emmet-Teller (BET) eşitlikleri yaygınlıkla kullanılmaktadır. Bu eşitliklerin dışında farklı kabullerle oluşturulmuş denklemlerden bazıları, Dubinin-Radushkevich, Temkin, Redlich-Peterson, Toth, Sips olarak verilebilir (İleri ve ark., 1993; Ho ve ark., 2002).

### 2.2.2.1 Langmuir adsorpsiyon izotermi

1915 yılında Langmuir tarafından verilen izoterm denklemi her basınç aralığında kullanılabilir. Adsorpsiyon ve desorpsiyon olayları bu izotermin temelini oluşturur. Adsorpsiyon ve desorpsiyon hızlarının eşit olması durumunda sistemde denge kurulacaktır (Langmuir, 1916).

Langmuir modeli 2.1 denklemde verilmiştir.

$$q_e = \frac{q_0 b C_e}{1 + b C_e} \quad (2.1)$$

Denklem 2.1 deneysel veri analizinde kullanmak için doğrusal ifadeye dönüştürülebilir.

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{b q_0} + \frac{C_e}{q_0} \quad (2.2)$$

$q_e$  : adsorbanın dengedeki kapasitesi (mg/g)

$C_e$  : adsorpsiyon sonrasında kalan madde denge derişimi (mg/L)

$b$  : enerjiyi ifade eden Langmuir sabiti (L/mg)

$q_0$  : maksimum adsorplanan madde miktarıdır (mg/g)

Deneysel verilerden elde edilen  $C_e$ 'ye karşı  $C_e/q_e$  değerlerinin grafiğe geçirilmesinden elde edilen doğrunun eğiminden  $q_0$  ve kesim noktasından  $b$  sabiti hesaplanır.

İzotermin etkisi, adsorpsiyon sisteminin istemli veya istemsiz olması açısından değerlendirilirse Langmuir izotermi için ayırma faktörü veya denge parametresi olarak tanımlanan  $R_L$  değeri (2.3) denklemi ile hesaplanabilir.

$$R_L = \frac{1}{1+bC_0} \quad (2.3)$$

$C_0$  : başlangıç çözelti derişimidir (mg/L).

Hesaplanan  $R_L$  değerlerine göre  $R_L > 1$  olması sürecin uygun olmadığını,  $R_L = 1$  olması lineer olduğunu,  $0 < R_L < 1$  uygun olduğunu ve  $R_L = 0$  olması ise tersinmez olduğunu gösterir (Hall ve ark., 1966).

### 2.2.2.2 Freundlich adsorpsiyon izotermi

Freundlich izotermi, tek tabaka oluşumıyla sınırlı olmayan, tersinir ve ideal olmayan adsorpsiyon için tanımlanan bilinen en eski bağıntılardan biridir (Freundlich, 1906). Freundlich'e göre bir adsorbanın yüzeyi üzerinde bulunan adsorplama alanları heterojendir. Freundlich tarafından çözeltilerin adsorplanmasını açıklamak için aşağıdaki denklem türetilmiştir (Freundlich, 1906).

$$q_e = K_f C_e^{\frac{1}{n}} \quad (2.4)$$

Freundlich izotermiminin doğrusal şekli aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\log q_e = \log K_f + (1/n) \log C_e \quad (2.5)$$

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

$K_f$  : adsorpsiyon kapasitesini gösteren sabit ( $mg^{(1-\frac{1}{n})} L^{\frac{1}{n}} / g$ )

$n$  : adsorpsiyon şiddetini ifade eden Freundlich sabitidir.

$\log C_e$ 'ye karşı  $\log q_e$  değerleri grafiğe geçirildiğinde elde edilen doğrunun eğiminden  $n$ , kesim noktasından  $K_f$  hesaplanır.

### 2.3. Endüstriyel Atıklar

Teknolojik gelişmeler, evsel ve endüstriyel katı atıkların miktarında ve çeşitliliğinde artışa neden olmaktadır. Uygun olmayan bertaraf yöntemleri de çevresel açıdan kirlenme problemlerine neden olmaktadır. Bundan dolayı atıkların bertarafında çevreci ve ekonomik yöntemlerin kullanılması gerekmektedir.

Katı atık yönetim planlarının mevcut olmaması veya uygulanamaması halinde atıkları taşıma, bertaraf, depolama, geri dönüşüm açısından problemler ile karşılaşılması muhtemeldir. Bu nedenle çevrenin korunması için katı atık yönetimi planlarının oluşturulması ve atıkların bertarafı için modern ve çevreci teknolojilerin geliştirilmesi gerekmektedir (Kim ve ark., 2013). Katı atık yönetiminde üç temel ilke mevcuttur: Atık üretiminin azaltılması, atıkların çevreye zarar vermeden bertaraf edilmesi ve geri

kazanılmasıdır (Kozak, 2010). Atıkların geri dönüşümü ile; atık miktarı azaltılmakta, doğal kaynaklar korunmakta, ekonomiye katkı ve enerji tasarrufu sağlanmaktadır ve böylelikle geleceğe yatırım yapılmış olacağı düşünülmektedir. Endüstriyel atıkların uzaklaştırılması ve arıtılması tehlikeli olabilme ihtimali nedeniyle de, evsel atıklardan daha kompleks ve masraflıdır (Kim ve ark., 2013). 2016 yılında, 1.390 belediyenin günlük ortalama 87 bin ton olmak üzere toplam 32 milyon ton atık topladığı belirlenmiştir. TÜİK verilerine göre, belediyeler tarafından toplanan ortalama atık miktarı 1.17 kg/kişi.gündür. Devlet İstatistik Enstitüsü'nün 2016 yılında yaptığı İmalat Sanayi Atık Envanteri Araştırması ile toplam katı atığın 1.2 milyon tonunun tehlikeli atık niteliğinde olduğu tespit edilmiştir. İZAYDAŞ yöneticilerinin tespitleri ve AB ülkelerinde üretilen tehlikeli katı atık miktarı göz önüne alındığında ülke genelinde oluşan endüstriyel kaynaklı tehlikeli atık miktarının yıllık 2.0-2.5 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir (Kim ve ark., 2013).

### **2.3.1 Endüstriyel Atıkların Kullanım Alanları**

Endüstriyel prosesler sonrasında oluşan atıkların ve yan ürünlerin yeniden kullanımının sağlanması, hem atık kaynaklı çevresel problemlere çözüm üretmek, hem de doğal kaynakların kullanımını azaltarak doğanın bozulmasını önlemektedir. Bu nedenle endüstriyel atıkları değerlendirilmek için farklı alanlarda kullanımı mümkündür.

Kozak (2010) çalışmasında tekstil atıklarının yapı malzemesi olarak kullanım alanlarını araştırmıştır. Atıklardan organik izolasyon malzemesi, vernik, tutkal ve suda çözülebilen polimerlerin üretiminde faydalanılmaktadır.

Aruntaş (2006) çalışmasında, termik santrallerde oluşan uçucu küllerin farklı alanlarda kullanımını incelemiştir. Uçucu külün genel özellikleri, inşaat sektöründe bu malzemenin yaygın olarak kullanılabileceğini göstermektedir.

Aşık ve Katkat (2004) çalışmalarında gıda endüstrisi kaynaklı arıtma çamurunun özelliklerini ve tarımsal kullanım olanağını araştırmıştır. Bu amaçla fabrikadan temin edilen arıtma çamuru örneklerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlenmiş ve 0-160 ton/ha düzeyinde toprağa uygulanarak, mısır bitkisi gelişimi ve toprak üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çamur miktarının artırılması bitki gelişimine olumlu katkı

sağlamıştır. Topraktaki organik madde içeriği artmış, ancak tuzluluğu olumsuz yönde etkileyerek iletkenliği artırmıştır.

Çağlar (2007) çalışmasında, Türkiye’de de kullanım potansiyeli var olan, yurtdışındaki karayollarında yaygın olarak kullanılan endüstriyel atıkların özellikleri ile ilgili bilgi vermiştir. Bazı atıkların karayollarında kullanımının, maliyet, performans ve çevresel faktörler göz önüne alındığında olumlu sonuçlar elde edileceği sonucuna varılmıştır.

Zorluer ve Usta (2003) çalışmalarında zemin iyileştirme amacıyla katkı maddesi olarak mermer işleme atığı mermer tozunu kullanmıştır. Sonuçlar atık mermer tozunun killerin şişme potansiyelini etkilediğini ve zemin iyileştirmesinde mermer tozu kullanımının iyi bir alternatif olduğunu göstermiştir.

### **2.3.1.1 Endüstriyel atıkların sulardaki ağır metal gideriminde kullanımı**

Mendoza-Castillo ve ark. (2015) çalışmalarında,  $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  ağır metallerinin ve arseniğin sulu çözeltilerden uzaklaştırılması için kumaş elyaf atıklarını, alternatif düşük maliyetli bir sorbent olarak kullanmışlardır. Sonuçlar, bu tekstil atığının bu ağır metal gideriminde etkili bir sorbent olduğunu ve aktif karbon ve zeolitler gibi diğer sentetik ve doğal adsorban maddeler için rapor edilenlerden daha iyi bir giderim performansı sunduğunu göstermiştir. Öte yandan, ham ve metal yüklü kumaş atıkları da arseniğin sulu çözeltilerden uzaklaştırılmasında yararlı olmuştur ve bunların sorpsiyon kapasiteleri 1.5 mg/g'den yüksek elde edilmiştir. Özellikle kumaş atıklarının yüzeyindeki  $Pb^{2+}$  iyonlarının varlığı, arseniğin giderim performansını önemli ölçüde artırmıştır. Özetle kumaş tekstil atıklarının atıksu arıtımında yeniden kullanılması, atık yönetimi için faydalı olabilecek ve aynı zamanda bu önemli sanayi sektöründeki üretim maliyetlerini düşüren çevre dostu bir uygulama olarak düşünülebilmektedir. Bu çalışmanın sonuçları, kumaş atıkları ile bu zehirli kirleticiler arasındaki elektrostatik etkileşimlerin, sorpsiyon sürecinde önemli bir rol oynayabileceğini göstermiştir. Son olarak, kumaş kalıntılarının ve atıkların öncelikli su kirleticilerinin gideriminde yeniden kullanılmasının, serbestçe kullanılabilirlik ve düşük maliyetli bir muamele gibi çeşitli avantajlar sağladığı ve tekstil sanayi sektöründeki atık yönetimine katkıda bulunduğu gösterilmiştir.

Amarasinghe ve Williams (2007) bakır ve kurşun iyonlarını su ortamından gidermek için, adsorban madde olarak çay atıklarını, diğer adsorban maddeler ile karşılaştırılabilmesi için incelemişlerdir. Adsorpsiyonu ve kinetiğini etkileyen faktörleri

belirlemek için deneyler yapılmıştır. Pratik uygulanabilirliği incelemek için sabit yatak kolon deneyleri yapılmış ve adsorpsiyon eğrileri elde edilmiştir. Maksimum adsorpsiyon kapasitesi, çözeltinin pH 5-6 aralığında tespit edilmiştir. Denge verileri Langmuir ve Freundlich izotermelerinde değerlendirilmiştir. Cu ve Pb için sırasıyla en yüksek kapasite 48 ve 65 mg/g olarak bulunmuştur. Pb, tüm deney koşulları altında Cu'ya göre daha yüksek tepkime ilgisi ve adsorpsiyon hızı göstermiştir. Kinetik çalışmalar, Pb ve Cu adsorpsiyonunun, temas süresinin ilk 15-20 dakika içinde meydana gelen %90 veya daha fazla adsorpsiyon ile hızlı olduğunu ortaya koymuştur. Kinetik veriler, 0.999'dan büyük korelasyon katsayıları ile yalancı ikinci dereceden modele uygun bulunmuştur. Çözeltide hem Cu hem de Pb iyonları mevcut olduğunda toplam adsorpsiyon kapasitesinde artış gözlenmiştir. Daha yüksek adsorpsiyon oranı ve daha küçük adsorban partikülleri için kapasite gözlenmiştir. Adsorpsiyon kinetiği, varsayımsal kemisorpsiyona dayanan, hız sınırlama aşaması olan yalancı ikinci mertebeden modele uygun bulunmuştur. Metal iyonlarının giderilmesi çözelti pH'sı 5-6 civarında en yüksek seviyede elde edilmiştir. Adsorpsiyon hızı ve adsorpsiyon kapasitesi adsorban dozuna, çözeltinin konsantrasyonuna ve partikül büyüklüğüne bağlı bulunmuş, sabit yatak kolonu sonuçları, diğer deneyler ile benzer bir eğilim göstermiştir. Bununla birlikte, adsorpsiyon kapasiteleri, diğer deneylere kıyasla daha düşük bulunmuştur.

Çay atığının deneysel olarak GAC ile karşılaştırılması sonucu, çay atıklarının GAC kadar iyi ya da en azından eşit derecede iyi olduğunu göstermiştir. Adsorpsiyon GAC'ye kıyasla çay atığı için daha hızlı olmuştur. Sabit yatak kolonunda GAC'nin adsorpsiyon kapasiteleri çay atıklarından çok daha düşüktür. Bu, çay atığı ve GAC'ın farklı kanallama etkileri nedeniyle olabilir. Adsorpsiyon hızlarındaki çay atığı ve GAC üzerindeki fark, kolondaki adsorpsiyon kapasite farkına da katkıda bulunmuştur. Atık biyokütlenin adsorbe edici özellikleri büyük ölçüde biyokütlenin kaynağına ve adsorbana verilen arıtmalara bağlıdır. Yüzey alanı, yüzey fonksiyonel gruplar, yüzey yükü ve partikül büyüklüğü gibi adsorbanın fiziksel ve kimyasal özellikleri, bir malzemenin adsorpsiyon özelliklerini belirlemektedir. Atık biyokütlenin yüzey özellikleri, adsorpsiyon öncesinde çeşitli termal ve kimyasal işlemler ile iyileştirilebilir. Bununla birlikte, bu ek maliyete neden olur ve aynı zamanda diğer kimyasalların suya eklenmesine de yol açabilmektedir. İyonun hareketliliği, iyonik yarıçap, hidrasyon entalpisi gibi metal iyon özellikleri, belirli bir iyonun adsorban üzerine adsorpsiyonunu kontrol edebilmektedir. Çözeltinin pH'sı, temas süresi ve adsorban-adsorbat temas

modu, adsorpsiyon kapasitesini ve hızı etkileyen parametrelerdir. Bu çalışmada kullanılan çay atığı kimyasal veya termal olarak işlem görmemiştir. Bununla birlikte, sonuçlar, çay atıklarının, işlenmiş biyokütle maddelerinin bazılarına kıyasla daha iyi bir adsorban olduğunu göstermiştir. Bu nedenle, bu çalışmada Sri Lanka çayından elde edilen atıkların, endüstriyel atıksulardan ağır metal iyonlarının uzaklaştırılması için düşük maliyetli bir adsorban olarak kullanılabilmesi öngörülmüştür. Çay atıkları çay fabrikalarında ve kafeteryalarda mevcuttur, ancak çay atıklarının toplanması ve depolanması için uygun bir mekanizmanın dikkate alınması gerektiği düşünülmüştür. Desorpsiyon çalışmaları, adsorbanın ekonomik olarak uygulanabilir rejenerasyonu ve gerçek endüstriyel atıksu için adsorbanın uygulanması için ileri incelemeler gerekli olacağı, bununla birlikte, çay atıklarının düşük ya da sıfır maliyetle temin edildiği dünyanın birçok yerinde, rejenerasyonun gerekli olmadığı ve metal yüklü biyokütlenin yakma ile imha edilebileceği belirtilmiştir.

Bhatnagar ve Minocha (2009) çalışmalarında, kadmiyumun sudan uzaklaştırılması için metal çamurunun (elektrokaplama endüstrisinin atık ürünü) adsorpsiyon potansiyelini araştırmışlardır. Kadmiyum için atık çamurun adsorpsiyon kapasitesi 25°C'de 40 mg g<sup>-1</sup> olarak elde edilmiştir. Adsorpsiyon deneylerinde temas süresi, konsantrasyon ve sıcaklığın etkisi incelenmiştir. Adsorpsiyonun endotermik olduğu ve verilerin Langmuir modeline uygun olduğu bulunmuştur. Kinetik verilerin analizi, mevcut adsorpsiyon sisteminin, yalancı-birinci dereceden kinetikler izlediğini göstermiştir. Adsorpsiyon çalışmalarından sonra, metal yüklü çamur adsorbanı nihai bertarafı için çimentoda immobilize edilmiştir. Metal yüklü çamurun etkisini araştırmak için, başlangıç ve son ayarlama zamanı ve çimento stabilize edilmiş atıkların basınç dayanımı gibi fiziksel özellikler test edilmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, atık metal çamurunun, kadmiyum içeren endüstriyel atıkların arıtılmasında ve çimentoya immobilize edilerek güvenli bir şekilde bertaraf edilmesinde yararlı bir şekilde kullanılabilmesini açıkça ortaya koymuştur. Önerilen teknoloji, atıksu arıtımının ve katı atık yönetiminin iki kat avantajını sunmaktadır.

Oliveira ve ark. (2008) çalışmalarında, Cr(VI) ve As(V)'in su ortamından uzaklaştırılması için deri atıklarının bir adsorban olarak kullanılmasının fizibilitesini değerlendirmişlerdir. Adsorban madde, yüzey özelliklerini değerlendirmek için reaksiyondan önce kimyasal analizler, infrared spektroskopi ve taramalı elektronik mikroskopi (SEM) ile karakterize edilmiştir. Langmuir ve Freundlich denklemlerine uygunluk incelenmiş, Langmuir modeline daha iyi bir uyum gösterdiği deney verilerinin

analizinde tespit edilmiş, böylece adsorban yüzeyinde tek katmanlı bir adsorpsiyon süreci belirlenmiştir. Yüksek miktarda Cr(VI)-133 mg g<sup>-1</sup> ve As(V)-26 mg g<sup>-1</sup> adsorbe edilen bu katı atığın, geleneksel olarak kullanılan adsorbanlara düşük maliyetli bir alternatif olma potansiyeli olduğunu göstermiştir. Adsorpsiyon çalışmalarından elde edilen veriler, ıslak mavi deri atıklarının, sulu ortamdan kromat ve arsenatın uzaklaştırılması için önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermiştir. Bu malzemedeki adsorpsiyon mekanizmasını daha iyi anlamak için, farklı sıcaklıklarda farklı deneyler gerçekleştirilmesinin gerekliliği belirtilmiştir. Test edilen adsorbanın nispeten yüksek adsorpsiyon kapasitesi ve ayrıca dünya çapında üretilmekte olan bu malzemenin yüksek miktarları nedeniyle, deri atıklarının, pirolizden önce endüstriyel atıklardan metalik iyonların adsorpsiyonu için kullanılabilmesi belirtilmiştir.

Chakravarty ve ark. (2008) tarafından yapılan çalışmada gazete hamurunun, bakırın sulu ortamdan uzaklaştırılması için potansiyel bir adsorban olduğu bulunmuştur. Bakır iyonunun gazete hamuru üzerine detaylı adsorpsiyon çalışması incelenmiştir. Adsorpsiyonun temas süresinin, adsorban dozunun, sıcaklığın (303-323 K) bir fonksiyonu olarak gerçekleştiği gözlenmiştir. Deneysel veriler Freundlich, Langmuir, Dubinin-Radushkevich (D-R) ve Redlich-Peterson (R-P) izoterm modelleri kullanılarak analiz edilmiştir. Freundlich, Langmuir ve R-P modellerine uyumlu bulunmuştur. Deneysel çalışmalar adsorpsiyonun çözeltinin pH'sındaki artışla arttığını göstermiştir. Maksimum kapasite, başlangıç Cu konsantrasyonunun 20 mg L<sup>-1</sup>'inde 30 mg g<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. Adsorpsiyon verileri iki kinetik model, Lagergren birinci derece ve yalancı ikinci derece modeli kullanılarak analiz edilmiştir. Yalancı ikinci derece modelin en iyi korelasyonu temsil ettiği gözlenmiştir. Langmuir izoterm, serbest enerji ( $\Delta G^\circ$ ), entalpi ( $\Delta H^\circ$ ) ve adsorpsiyonun entropisi ( $\Delta S^\circ$ ) gibi termodinamik parametreleri elde etmek için kullanılmıştır. Serbest enerjinin negatif değeri ve entalpi değişiminin pozitif değeri Cu iyonunun kağıt hamuru üzerindeki adsorpsiyonunun spontane bir süreç ve endotermik olduğunu göstermiştir. Aktivasyon enerjisinin sonuçları, bakır iyonunun kağıt hamuru üzerindeki adsorpsiyonunun fiziksel olduğunu doğrulamıştır. Mevcut araştırma, gazete hamurunun, bakır giderimi için düşük maliyetli bir adsorban olarak kullanılabilmesini vurgulamıştır. Önlenemez bir atık malzeme olan gazete posası Cu giderimi için potansiyel bir adsorbandır. Maksimum yükleme kapasitesi, gazete hamurunun X/m'si, pH 5.5'te 20 mg L<sup>-1</sup> Cu iyonunun başlangıç konsantrasyonu için 30 mg g<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur. pH incelemesi, maksimum Cu gideriminin pH 7'de elde edilebileceğini göstermiştir. Deney verilerinin, tüm sıcaklık



aralığı için yalancı ikinci derece kinetik model ile daha iyi uyum sağladığı bulunmuştur. Cu iyonunun kağıt hamuru ile geri kazanımı, 0.1 N HCl kullanılarak %80 olarak bulunmuştur. Cu iyonunun sulu ortamdan uzaklaştırılması için gazete hamurunun adsorpsiyon verimliliğinin %5 oranında azaldığı gözlenmiştir.

Gupta ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada yağ yakıt esaslı endüstriyel jeneratörlerde üretilen düşük karbonlu gübre endüstrisi atık maddesi, sulu çözeltilerden krom(VI) giderilmesi için etkili ve verimli bir adsorban haline dönüştürülmüştür. Atık kimyasal olarak işlenmiş, aktive edilmiş, karakterize edilmiş ve kromun adsorpsiyonu için kullanılmıştır. Bu çalışma, temas süresinin, pH'nın, sıcaklığın, konsantrasyonun ve adsorban dozunun karbon bulamacı tarafından adsorpsiyon derecesine etkisini araştırmak için yapılan deneyleri kapsamaktadır. Maksimum adsorpsiyon 70 dakika, 2.0 pH, 4.0 g/L doz ve 303 K sıcaklıkta bulunmuştur. 100 mg/L başlangıç Cr(VI) konsantrasyonunda maksimum adsorpsiyon kapasitesi 15.24 mg/g olarak gözlemlenmiştir. Adsorpsiyon verilerini analiz etmek için Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm modelleri uygulanmış ve her ikisi de nispeten yüksek regresyon değerleri açısından bu adsorpsiyon sistemine uygulanabilir bulunmuştur. Termodinamik parametreler, Cr(VI)'nin karbon bulamacı üzerine adsorpsiyonunun, incelenen koşullar altında uygun, doğal ve ekzotermik olduğunu göstermiştir. Adsorpsiyon kinetiğinin, yalancı ikinci dereceden hız denklemini takip ettiği bulunmuştur. Bulunan bu kapasiteleri karşılaştırmak için kolon çalışmaları yapılmıştır. Cr(VI)'nin geri kazanımı ve harcanan kolonun kimyasal rejenerasyonu da denenmiştir. Sonuç olarak, bu çalışmada kullanılan adsorbanın, krom içeren sulu çözeltilerin işlenmesi için etkili bir malzeme olduğu kanıtlanmıştır. Kolon işlemleri ile ilgili çalışmalar, ürünün endüstriyel ölçekte de kullanılabileceğini göstermiştir. Bu malzemenin kolonunda adsorbe edilen metal iyonları, HNO<sub>3</sub> ile niceliksel olarak ayrıştırılabilmektedir. Tükenmiş kolon, HNO<sub>3</sub> ile işleme tabi tutularak kimyasal olarak yeniden üretilebilir ve sökülme gerektirmediği belirlenmiştir. Yüksek metal adsorpsiyon kapasitesinin avantajı, karbon bulamacının, sulu fazdan kromun uzaklaştırılması için verimli ve ekonomik bir adsorban malzeme olarak kullanılma potansiyeline sahip olduğunu kanıtlamıştır.

Bhatnagar ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmada pil endüstrisi atığını kullanarak ucuz bir adsorban hazırlanmış ve bazı metal iyonlarının (Pb, Cu, Cr ve Zn) sulu çözeltilerden uzaklaştırılması için araştırılmıştır. Sonuçlar, metal iyonlarını yeterli ölçüde adsorbe ettiğini göstermiştir (33-64 mg g<sup>-1</sup>). Kinetik verilerin analizi, adsorpsiyonun birinci dereceden bir süreç olduğunu göstermiştir. Ayrıca, metal yüklü

adsorban nihai olarak çimento içine immobilize edilmiştir ve bertaraf edilen ürünlerden önemli bir sızıntı görülmemiştir. %10 metal yüklü adsorban ile hazırlanan bir harç örneğinin tek başına çimentodan daha dayanıklı olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla, mevcut çalışmalar, pil endüstrisi atıklarının toksik metal iyonları içeren endüstriyel atıkların arıtılmasında verimli bir şekilde kullanılabileceğini açıkça ortaya koymuştur. Önerilen teknoloji (atıkların arıtılması için endüstriyel atıkların kullanımı ve çimentolu malzemelerde sabitleme ile kirletici maddelerle kaplanan adsorbanların nihai olarak kullanımı), atıksu arıtımının ve katı atık yönetiminin çift katlı bir hedefini sağlamıştır. Mevcut çalışmalar, pil endüstrisi atıklarının zehirli metal iyonları içeren endüstriyel atıkların arıtılmasında verimli bir şekilde kullanılabileceğini açıkça ortaya koymuştur.

Gharaibeh ve ark. (1998) Cr(III), Ni(II), Pb(II), Cd(II) ve Zn(II) gibi çeşitli ağır metaller içeren içme suyunun arıtılması için işlenmiş zeytinyağı katı kalıntı ürünlerinin (SROOMP) potansiyel kullanımı araştırmışlardır. Adsorpsiyon deneyleri, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve X-ışını flüoresansı (XRF) gibi farklı deneysel yaklaşımlar, bu ağır metallerin sulu çözeltilerden uzaklaştırılması için bir adsorban olarak bu malzemenin fizibilitesini araştırmak için kullanmıştır. Sonuçlar, SROOMP'nin Pb(II) ve Zn(II)'nin sulu çözeltilerden adsorpsiyon (Fruenlich izotermine en uygun veri) ile ayrıştırılmasında kullanılabilceğini ancak bu çalışmada araştırılan diğer ağır metallerin ayrılmadığını göstermiştir. SROOMP, seçilmiş ağır metallerle kirlenmiş suyu arıtmak için potansiyel olarak ucuz ve etkili bir malzeme olarak tanımlanmıştır. Bu araştırma, SROOMP'nin iz konsantrasyonlarında sulu çözeltilerde bulunan kurşun ve çinkoyu etkili bir şekilde giderebildiğini, ancak test edilen diğer ağır metalleri adsorbe etmek için daha az kapasiteye sahip olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar farklı deneysel tekniklerle doğrulanmıştır.

### 2.3.1.2 Şeker pancarı küspesi

Son yıllarda alternatif ve ekonomik adsorbanlar geliştirmek için kapsamlı araştırmalar yapılmıştır. Ekonomik bir sorbent, doğada bol olan ya da bir yan ürün veya endüstriden gelen atık olarak tanımlanır ve çok az işlem gerektirir. Özellikle biyosorpsiyon için uygun olan bu düşük maliyetli sorbentlerden biri, şeker-rafine endüstrisinin bir yan ürünü olan ve metalleri bağlamak için büyük bir kapasite sergileyen şeker pancarı posasıdır. Bu malzeme çok ucuzdur ve esas olarak hayvan yemi olarak kullanılır. Şeker pancarı posası doğal bir polisakkarittir ve sırasıyla %20 ve

%40'dan fazla selülozik ve pektik maddelerden oluşur (Aksu ve İšoğlu, 2005). Şeker pancarı posası şeker endüstrisinin bir yan ürünüdür. Bu malzeme çok ucuz (metrik ton başına 100 ABD Doları) ve üretimi her yıl Avrupa Topluluğu'nda  $14 \times 10^6$  ton kuru maddeye ulaşmaktadır (Gérente ve ark., 2000).

Gupta ve Ali (2004) kurşun ve kromun giderimi amacıyla bir şeker endüstrisinden elde edilen küspe uçucu küllerinden ucuz ve etkili bir adsorban geliştirmişlerdir. Kurşun ve krom, %96-98'e kadar sözkonusu adsorban tarafından adsorplanmıştır. Adsorpsiyonun ekzotermik doğada olduğu bulunmuştur. Laboratuvarda atıksudan kurşun ve kromun uzaklaştırılması için adsorpsiyon deneyleri yapılmış, her iki iyonun giderimi için geliştirilen sistem çok faydalı, ekonomik, hızlı ve tekrar üretilbilir bulunmuştur. Yerel şeker endüstrisinden elde edilen küspe uçucu külünün, kurşun ve kromun atıksudan uzaklaştırılmasında etkili olduğu bulunmuştur. Kurşun ve kromun küspe uçucu külü ile uzaklaştırılması, partikül difüzyon mekanizması ile gerçekleşmiştir. Adsorpsiyon Langmuir ve Freundlich modellerinin her ikisine de uygun bulunmuştur. Bu iki metal iyonunun uzaklaştırılması, 0.5 mL dk<sup>-1</sup> akış hızında kolon işlemleri ile %95-96'ya kadar elde edilmiştir. Tüm bu bulgular ışığında, kurşun ve kromun giderilmesi için geliştirilen küspe uçucu kül sisteminin çok faydalı, ekonomik, hızlı ve tekrarlanabilir olduğu sonucuna varılmıştır. Bu nedenle, bu sistem kurşun ve kromun atıksudan ve diğer atıklardan başarılı bir şekilde uzaklaştırılması için kullanılabilir bulunmuştur.

Altundogan ve ark. (2007) şeker pancarı posası ile sülfürik asit ve karbonizasyon işlemi sırasında oluşan gazın reaksiyonundan hazırlanan karbon açısından zengin bir adsorbanın, sulu çözeltilerden Cr(VI) giderilmesi için uygunluğunu incelenmişlerdir. SO<sub>2</sub> gazının mükemmel bir Cr(VI) indirgeyici olduğu görülmüştür. Denge ve kinetik çalışmalar, şeker pancarı posasından elde edilen karbonlu adsorban kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Langmuir ve Freundlich izoterm modelleri uygulanmış ve Langmuir modeline uygun olduğu bulunmuştur. Langmuir izoterminden hesaplanan kromun maksimum adsorpsiyon kapasitesi 25°C için yaklaşık 24 mg g<sup>-1</sup>'dir. Cr(VI)'nın adsorpsiyonu endotermik bir prosestir ve yalancı-ikinci derece kinetiğine uyumlu bulunmuştur. Sülfürik asit-karbonizasyon özellikle krom giderimi için ekonomik bir yöntemdir, çünkü karbonizasyon sırasında üretilen gaz iyi Cr(VI) indirgeme özellikleri gösterir ve elde edilen karbonlu malzeme etkili bir Cr(VI) adsorbandır. Endüstriyel atık malzeme, yani şeker pancarı posası sülfürik asitle reaksiyona girerek düşük maliyetli karbonlu malzemeye dönüştürülmüştür. Karbonizasyon işleminden gelişen gaz, Cr(VI)

indirgeyici ajan olarak başarılı bir şekilde kullanılmıştır. Şeker pancarı posasından elde edilen karbonlu malzeme Cr(VI)'nın giderilmesi için etkili bir adsorban olarak kullanılabilmiştir. Ayrıca, reaksiyona girmemiş H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, ilk yıkama aşamasında seyreltilmiş bir çözelti halinde geri kazanılmış ve asidik ortamda tercih edilen Cr(VI) adsorpsiyonunda kullanılabilmiştir. Kısaca, daha pahalı reaktiflere ve sistemlere bir alternatif olarak, Cr(VI) giderilmesi için H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> karbonizasyon işleminin katı ve gaz ürünleri kullanılabilirliği belirlenmiştir.

Aksu ve İşoğlu (2005) endüstriyel katı atık yan ürünü olan kurutulmuş şeker pancarı posasını, sulu çözeltilerden bakır(II) iyonlarının uzaklaştırılması için bir adsorbe edici madde olarak başarılı bir şekilde kullanmışlardır. Adsorpsiyona, başlangıç pH, sıcaklık ve başlangıç bakır(II) konsantrasyonu gibi çeşitli parametrelerin etkileri incelenmiştir. Kurutulmuş şeker pancarı posası ile maksimum bakır(II) giderimi, başlangıç pH'sı 4.0'de meydana gelmiş ve adsorpsiyon 250 mg L<sup>-1</sup>'e kadar artan bakır(II) konsantrasyonu ile artmış ve sıcaklıkla azalmıştır. Biyosorbentin maksimum bakır(II) adsorplama kapasitesi 28.5 mg g<sup>-1</sup>'dir; bu değer, bakır(II) biyosorpsiyonu için test edilen diğer sorbentlerle karşılaştırılabilir düzeydedir. Denge verileri, sıcaklığa bağlı olarak Freundlich, Langmuir, Redlich–Peterson ve Koble–Corrigan izoterm modelleri kullanılarak analiz edilmiştir. Langmuir modelinin, çalışılan konsantrasyon ve sıcaklık aralıklarındaki verileri en iyi şekilde tanımladığı bulunmuştur. Deneysel verilere, basit kütle transferi ve kinetik modeller uygulanmış, biyosorpsiyon mekanizmaları ve dış kütle transferi, partikül içi difüzyon ve biyosorpsiyon süreci gibi potansiyel hız kontrol aşamaları incelenmiştir. Partikül içi difüzyonunun, bakır(II) ve biyosorpsiyon kinetiğinin biyosorpsiyon mekanizmalarında, çalışılan tüm sıcaklıklar için doygunluk tipi kinetik modelden ziyade birinci ve ikinci yalancı derece kinetik modellerden sonra önemli bir rol oynadığı bulunmuştur. Biyosorpsiyon aktivasyon enerjisi (EA), Arrhenius denklemi kullanılarak -58.47 kJ mol<sup>-1</sup> olarak belirlenmiştir. Farklı sıcaklıklarda elde edilen termodinamik denge katsayıları kullanılarak biyosorpsiyonun termodinamik sabitleri de ( $\Delta G^\circ$ ,  $\Delta H^\circ$  ve  $\Delta S^\circ$ ) değerlendirilmiştir.

#### 2.4. Manyetik Nanopartiküller

Nanoteknoloji nano boyutta malzemelerin tasarımı, üretimi ve karakterizasyonu yapılarak yeni özelliklerinin ortaya konulması ile ilgilenen bir alandır. 1959 yılında Richard Feynman'ın cihazlar ve malzemenin nano boyutlarda üretilmesi ile

nanoteknoloji hayatımıza girmiştir. Bazı bilim dallarında elde edilen nanopartiküllere manyetik özellik kazandırılması, malzemenin kullanımını kolaylaştırmakta ve bunun yanısıra kontrol edilebilmesine katkı sağlamaktadır. Bu özellikleri nedeniyle manyetik nanopartiküller çok farklı alanlarda kullanılmaktadır. Analitik uygulamalar, bilgi depolama, biyolojik uygulamalar ve katalizör olarak kullanımının dışında ilaç, elektronik, çevre, enerji, tarım, bilgisayar ve bilişim teknolojisi gibi pek çok alanda etkin olarak kullanılmaktadır (Kodama, 1999).

#### **2.4.1. Endüstriyel Atıkların Nanopartikül ve Manyetik Nanopartikül Üretiminde Kullanımı**

Lunge ve ark. (2014) çay atık örneklerini kullanarak manyetik atık oksit nanopartikülleri (MION-Tea) başarıyla sentezlemiştir. Çay atıklarından süper paramanyetik  $Fe_3O_4$  nanopartikülleri (MION-Tea) elde etmek için basit ve ekonomik bir yöntem sunmuşlar ve sudaki arsenik giderimi için uygulamışlardır. MION-Tea, oda sıcaklığında 6.9 emu/g doygunluk mıknatıslanma değeri ile harici manyetik alan altında süper manyetik özellikler sergilemiştir. MYON-Tea SEM,  $Fe_3O_4$ 'ün (manyetit) küboid/piramit şekilli kristal yapısını göstermiştir. Çay atıklarının kullanımı  $Fe_3O_4$  nanopartiküllerin kristalin doğasını geliştirmiştir. MION-Tea TEM, partikül büyüklüğünün 5–25 nm aralığında olduğunu göstermiştir. MION-Tea'nın XRD paterni manyetit ile aynı bulunmuştur. Manyetik nanopartiküller, As(III) ve As(V)'in sulu çözeltilerden giderimi için test edilmiştir. Hazırlanan MION-Tea sudaki As(III) ve As(V) iyonlarının giderimde mükemmel bir yetenek göstermiştir. Arsenik giderimi başlangıçta hızlı elde edilmiş ve 10 saatte dengeye ulaşmıştır. Adsorpsiyon verileri, arsenik(III) için 188.69 mg/g ve arsenik(V) için 153.8 mg/g yüksek adsorpsiyon kapasitesi ile Langmuir denkleminde uymuştur. D-R modelinden hesaplanan ortalama sorpsiyon enerjisi (E), fiziko-kimyasal sorpsiyon işlemini göstermiştir. MION-Tea üzerinde As(III) adsorpsiyonu için en uygun yalancı ikinci dereceden kinetik model bulunmuş ve türetilen aktivasyon enerjisi 64.27 kJ/mol olarak elde edilmiştir. Termodinamik çalışmalar, adsorpsiyonun endotermik doğasını ortaya çıkarmıştır. Çözelti pH'sının, enterferans anyonlarının ve başlangıç As(III) konsantrasyonunun etkileri araştırılmıştır. As(III)'ün adsorpsiyonu, klorür, nitrat, sülfat ve fosfat vb. gibi diğer anyonların varlığında negatif etkiye sahiptir. MION-Tea çok düşük maliyetlidir (kg başına Rs. 136). MION-Tea 5 adsorpsiyon döngüsüne kadar tekrar kullanılabilirliği ve NaOH kullanılarak rejenere edilebilirliği belirlenmiştir.

Geleneksel sentez yöntemleri çevre için büyük tehlikeler oluşturduğundan, endüstriyel atıkların ve bitki parçalarının kullanımının önemli bir alternatif olduğu kirlenmiş suyun arıtılması için biyomimetik süreçlerin geliştirilmesine ihtiyaç vardır.

Tandon ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada ortalama bir  $59.08 \pm 7.81$  nm'ye sahip olan, eşdeğer demir nano tanecikleri, ferrik nitratın ticari olarak temin edilebilen çay çözeltilisi ile karıştırılmasıyla hazırlanmıştır. 30 dakika boyunca montmorillonite K10 üzerinde desteklenen sıfır değerli demir nano tanecikleri ile kirlenmiş suyun karıştırılması, hem yüksek hem de düşük pH'taki çözeltilisinden As(III)'in %99'a kadar giderimiyle sonuçlanmıştır. Benzer koşullar altında, sadece montmorillonit K10 (MMV K10)'un sudan As(III)'ün sadece %10'unu giderdiği görülmüştür. As(III) giderimi için daha yüksek pH'ta çökeltme ile düşük pH'ta adsorpsiyon önerilmiştir. Bildirilen sonuçları doğrulamak için IR, XRD, SEM ve yüzey alanı çalışmaları yapılmıştır. Çevre dostu olan ve montmorillonit K10 üzerinde oda sıcaklığında desteklenen sıfır değerli demir nano taneciklerinin sentezinde bitki parçalarının kullanımına dayanan tek adımlı bir yöntem geliştirilmiştir. Yöntemde, nanopartiküllerin stabilizasyonu için indirgeyici veya herhangi bir kimyasal veya sürfaktan için tehlikeli kimyasallar kullanılmamıştır. MMV K10 üzerindeki sıfır değerli demir nanopartiküllerin (ZVINP) yüklenmesine bağlı olarak, desteklenen nanoparçacıkların hem düşük hem de yüksek pH'da (2.75 ve 11.1) 30 dakika içinde sudan As(III)'in %99'a kadar giderilebileceği bulunmuştur. Bu çalışmada ayrıca, ZVINP'lerin tam stabilizasyonunun daha önce rapor edildiği gibi çay polifenollerini tarafından sağlanmadığını ve destekleyici bir stabilizatörün kullanımının daha iyi sonuçlar verebileceğini gösterilmiştir.

López-Téllez ve ark. (2011) tarafından yapılan çalışmanın amacı, endüstriyel atıksudan altı değerlikli kromu etkili bir şekilde uzaklaştırmak için, demir nanoparçacıkların indirgeme yeteneğini, selülozun adsorpsiyon kapasitesi ile birleştiren bir biyo-kompozit oluşturmaktır. Demir nanopartikülleri, biyokompozitin ucuz ve üretilmesi kolay olduğundan emin olmak için basit bir redoks çökeltme reaksiyonu kullanılarak portakal kabuğu özütü üzerinde sentezlenmiştir. Nanopartiküller, Cr(VI) maruziyetinden önce ve sonra büyüklük, bileşim, oksidasyon durumu ve dağılımı için karakterize edilmiştir. Nanopartiküller çoğunlukla  $20 \times 80$  nm tübüler şekillere sahiptir, ancak 20–40 nm civarında bazı oktahedral (sekiz yüzlü cisim) kristaller de elde edilmiştir. Nanoparçacıklara sahip olan biyo-kompozit, modifiye edilmemiş portakal kabuğu özütünün Cr(VI) gideriminden iki kat daha fazla ve aynı zamanda adsorpsiyon

kapasitesinin iki katı 5.37 mg/g'ya karşı 1.90 mg/g değerine sahip olarak elde edilmiştir. Gözenekli bir portakal kabuğu ile demir oksit nanoparçacıkların biyo-kompoziti, çözeltide Cr(VI)'yı adsorbe etme ve azaltma etkinliğini göstermiş, bu da onu ağır metal taşıyan endüstriyel atıksular için umut verici bir malzeme haline getirmiştir. Biyokompozit, 10 mg/L'lik bir çözeltiden %71'e kadar Cr(VI) absorbe etmiş ve 5.37 mg/g kapasiteye sahip olduğu bulunmuştur. Bu, modifiye edilmemiş portakal kabuğu özü üzerinde bir gelişme olup, sadece Cr(VI)'nın %34'ünü, 10 mg/L'lik bir çözelti ile 1.90 mg/g'lik bir kapasitede gidermiştir.

Panneerselvam ve ark. (2011) tarafından tarımsal biyokütle çay atığı ile birleştirilmiş manyetik nanoparçacıkların ( $Fe_3O_4$ -TW) sulu çözeltiden Ni(II)'in uzaklaştırılması araştırılmıştır. Manyetik nanopartiküller ( $Fe_3O_4$ ), bir  $Fe^{2+}$  ve  $Fe^{3+}$  tuzlarının sulu çözeltiden amonyak çözeltisi ile kimyasal olarak çökeltmesiyle hazırlanmıştır. Adsorban madde yüzey alanı (BET), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Transmisyon Elektron Mikroskobu (TEM) ve Fourier Transform-Infrared Spektroskopisi (FT-IR) ile karakterize edilmiştir. Temas süresi, pH, konsantrasyon, adsorban dozu ve sıcaklık gibi çeşitli parametrelerin etkileri incelenmiştir. Hız sabitinin değeri  $100 \text{ mg L}^{-1}$  ve 303 K'da  $1.90 \times 10^{-2} \text{ dk}^{-1}$  olarak bulunmuştur. Ni(II)'in adsorpsiyonunun, 303'ten 323 K'ya kadar olan sıcaklık artışıyla arttığı ve işlemin endotermik olduğu bulunmuştur. Adsorpsiyon izoterm verileri Langmuir ve Freundlich denkleminde yerleştirilmiş ve Langmuir adsorpsiyon kapasitesi  $Q^{\circ}$ , (38.3)  $\text{mg g}^{-1}$  olarak bulunmuştur. Sonuçlar ayrıca, tarımsal biyokütleden çay atıklarına emdirilmiş nanoparçacıkların, endüstriyel atıklardan metal giderimi için cazip bir seçenek olabileceğini ortaya çıkarmıştır. Sonuçlar, adsorpsiyonun pH ve sıcaklığa pozitif olarak bağlı olduğunu göstermiştir. Daha düşük başlangıç nikel konsantrasyonunda Daha düşük bir nikelin çıkarılması elde edilebilmiştir. Adsorpsiyon kinetiği, birinci mertebeden kinetik olarak belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonuçları, atıksu arıtımı ve çevre kirliliğinin kontrolü için çay atıklarına emdirilmiş olan manyetik nanoparçacık ( $Fe_3O_4$ )'un önerilebileceğini öngörmüştür.

Akin ve ark. (2012) çalışmalarında Seydişehir'den (Konya, Türkiye) elde edilen atık kırmızı çamur (boksit kalıntı) numunesini amonyak çözeltisinde  $Fe_3O_4$  nanopartikülleriyle (NP) sentezlemiş, hem sentetik hem de doğal yeraltı sularından As(V)'i uzaklaştırmak için kullanmışlardır. Sentezlenen  $Fe_3O_4$ -NP'leri TEM, VSM, XRD, SAXS, TGA ve FT-IR spektroskopisi kullanılarak karakterize edilmiştir.  $Fe_3O_4$ -NP'ler, ortalama 9 nm'lik bir boyuta yakın bir küre şeklinde tespit edilmiştir. Sonuçlar,

atık kırmızı çamurdan sentezlenmiş Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-NP'lerin, özellikle düşük denge arsenat konsantrasyonlarında, tatmin edici manyetik özelliklere ve As(V) sorpsiyon kapasitesine sahip olduğunu göstermiştir. Bu çalışma sonucunda alüminyum üretim işleminden çıkan kırmızı çamur, manyetik Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanopartiküllerinin sentezi için başarıyla kullanılmıştır. Sentezlenen Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanopartikülleri, As(V)'in sudan uzaklaştırılmasında başarıyla kullanılmıştır. Çalışma, As(V)'in kirlenmiş sudan giderilmesinin pH, temas süresi, sudaki başlangıç arsenik konsantrasyonuna bağlı olduğunu göstermiştir. Langmuir izoterm modeline kıyasla, Freundlich izotermi deneysel verilere uyarlanmış ve sonuçta oluşan izoterm parametreleri, As(V) için  $n=1.101$  ve  $k=1.238 (\mu\text{g/g}) (\mu\text{g/L})^{-1/n}$  olmuştur. 1570  $\mu\text{g/L}$  As(V) ve 280  $\mu\text{g/L}$  As(III) içeren doğal (yeraltı) su numunesi sentezlenmiş Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-NP'ler kullanılarak işlemde geçirilmiştir. Sonuçlar, numunelerin toplam arsenik konsantrasyonunun etkin bir şekilde 15.30  $\mu\text{g/L}$ 'ye düştüğünü göstermiştir (giderim:% 99.2).



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1. Kullanılan Kimyasallar

pH ayarlamaları için HCl ve NaOH, nanoparçacık sentezi işlemi için  $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , amonyak çözeltisi (%25), sentetik nikel çözeltisi hazırlamak için  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , nikel analiz işlemi için nikel numune küveti, desorpsiyon çalışmaları için  $\text{HNO}_3$ , HCl kimyasalları kullanılmıştır. Kimyasal maddelerin tamamı Merck ve Hach-Lange firmalarından temin edilmiştir.

#### 3.2. Kullanılan cihazlar

Deneylerde aşağıda marka/modelleri verilen cihazlar kullanılmıştır.

- ✓ XRD analizi (Bruker D-8 Advance)
- ✓ FTIR analizi (Bruker Wertex70)
- ✓ SEM analizi (Zeiss Evo LS10 SE dedektör Creesington Auto 108 AU Sputer Coater)
- ✓ BET analizi (Micromeritics Tristar II Plus)
- ✓ TG analizi
- ✓ pH metre (Hach/ HQ 40D)
- ✓ Spektrofotometre (Hach Lange/DR 2800)
- ✓ Etüv (Binnder)
- ✓ Desikatör (Cam)
- ✓ Hassas terazi (Sartorius/ TE214s)
- ✓ Mekanik karıştırıcı (Heidolph / RZR 1)
- ✓ Jar test düzeneği (Yerli cihaz)
- ✓ Saf su cihazı (MP Minipure Saf Su Cihazı /DEST)
- ✓ Su banyosu (Elektro.mag/ M96 kp)
- ✓ Otomatik pipet (Brand)

#### 3.3. Şeker Pancarı Küspesi (ŞPK)

Kompozit materyalin üretiminde Konya'daki bir şeker pancarı işleme tesisinden alınan şeker pancarı küspesi kullanılmıştır (Şekil 3.1). Laboratuvara getirilen şeker pancarı küspesi, 20 saat boyunca  $100\text{ }^\circ\text{C}$  de etüvde kurutulmuştur (Şekil 3.2). Kurutulmuş malzeme daha sonra öğütülmüş ve elenmiştir ( $100\text{ }\mu\text{m}$ ) (Şekil 3.3).



**Şekil 3.1.** Temin edilen ham şeker pancarı küspesi.



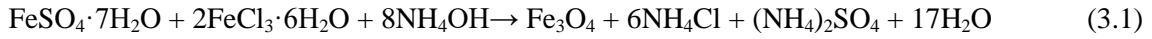
**Şekil 3.2.** Etüvde kurutulmuş şeker pancarı küspesi



**Şekil 3.3.** Elekten geçirilmiş şeker pancar küspesi

### 3.4. $Fe_3O_4$ -ŞPK Kompozitinin Hazırlanması

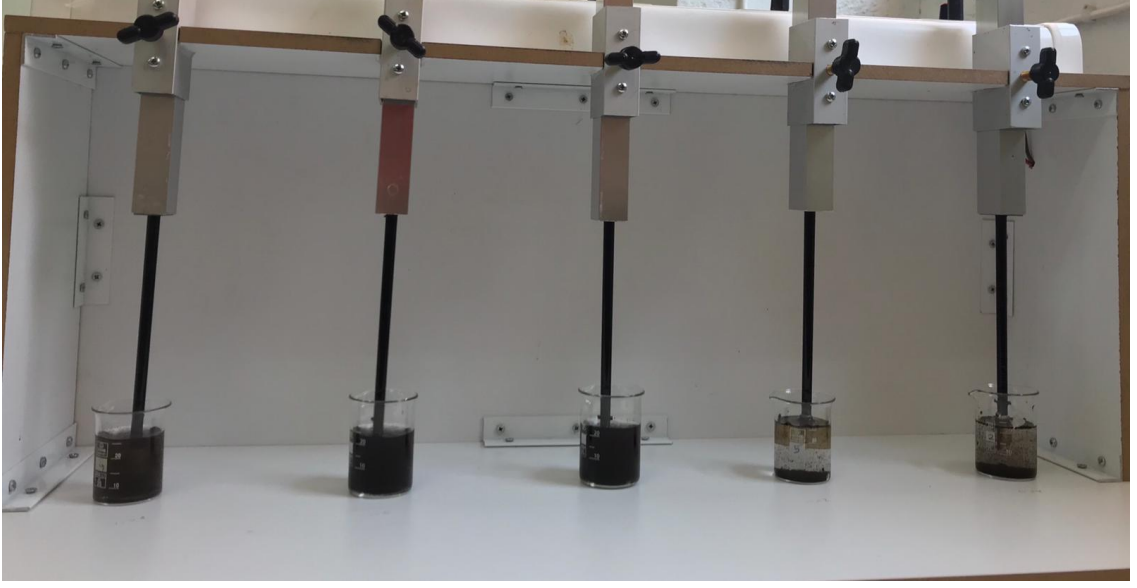
Kompozit materyalin hazırlanmasında, homojen bileşim ve nano boyut dağılımı olan partikülleri hazırlamak için sıklıkla uygulanan kimyasal çökeltme tekniği kullanılmıştır (Laurent ve ark., 2008). Panneerselvam ve ark. (2011) tarafından uygulanan manyetik nanokompozit üretim metodundan faydalanılmıştır. Öncelikle manyetik nanoparçacık (MNPs) sentezi için, 3.1 g demir(III) klorür heksahidrat ( $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ) ve 2.1 g demir(II) sülfat heptahidrat ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) tartılmış ve üzerine saf su ilave edilmiştir. Çözelti  $80^\circ C$ 'ye ısıtılmış, üzerine amonyum hidroksit çözeltisi (%25) eklenmiştir. Nanokompozit sentezini sağlamak için, çözeltiliye şeker pancarı küspesi ilave edilmiş ve reaksiyon 30 dakika boyunca  $80^\circ C$ 'de sürekli karıştırma altında gerçekleştirilmiştir. Elde edilen süspansiyon oda sıcaklığına kadar soğutuldu ve reaksiyona girmemiş kimyasalların uzaklaştırılması için 9-10 kez tekrar tekrar saf suyla yıkandı. Daha sonra adsorban madde yaklaşık 12 saat boyunca  $100^\circ C$  etüvde kurutulmuştur. Elde edilen  $Fe_3O_4$ -ŞPK nanokompoziti Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Manyetik nanomalzeme üretiminde (3.1) ve (3.2) reaksiyonları gerçekleşmiştir.



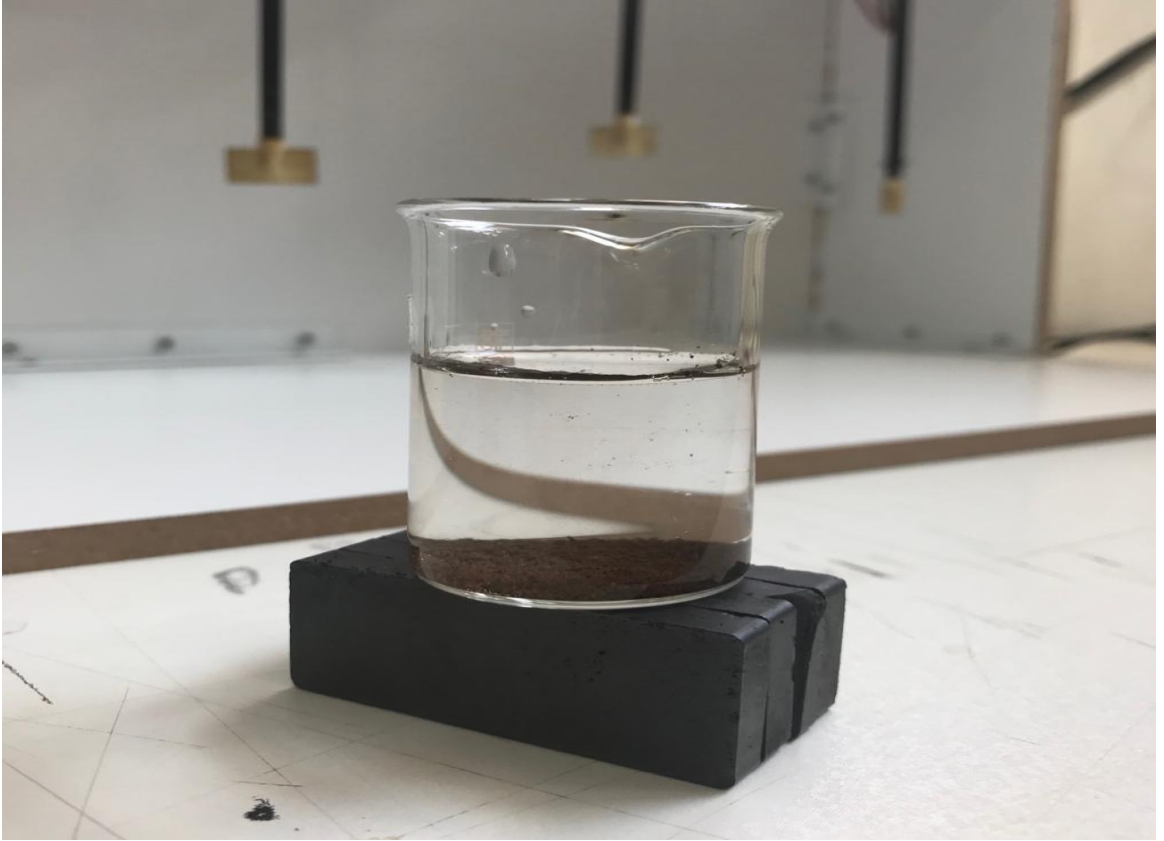
Şekil 3.4. MNPs-ŞPK nanokompozit materyali.

### 3.5. Kesikli Deney Çalışmaları

1000 mg/L konsantrasyonundaki stok çözeltisi  $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  kimyasal maddesinin saf suda çözülmesiyle hazırlanmıştır. Adsorpsiyon-desorpsiyon deneysel çalışmalarında istenilen başlangıç nikel konsantrasyonu stok çözülden istenilen oranlarda saf su ile seyreltilmiştir. Kesikli deneylerde kullanılan düzenek Şekil 3.5’de verilmiştir. Ortam şartlarının nikel giderimine etkisini incelemek için, temas süresi, kompozit materyal dozu, pH, başlangıç nikel konsantrasyonu kontrollü olarak değiştirilmiş ve adsorplama işleminden sonra kompozit materyal su ortamından harici bir mıknatıs ile uzaklaştırılarak (Şekil 3.6) suda spektrofotometrik olarak nikel tayini yapılmıştır. Desorpsiyon işlemi için, nikel adsorplamış nanomalzeme farklı normalitelerde asit çözeltileri ile 1 saat boyunca karıştırılmış, sonrasında çözeltideki nikel konsantrasyonu analiz edilerek geri kazanım yüzdeleri hesaplanmıştır. Malzeme saf su ile temizlendikten sonra yeniden kullanımının belirlenmesi için kesikli deneyler tekrar yapılmıştır.



Şekil 3.5. Jar test karıştırma düzeneği ve malzemenin numuneyle karıştırılması



Şekil 3.6. Malzemenin adsorpsiyon sonrası numuneden ayrılması

## 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### 4.1. Optimizasyon Çalışmaları

Elde edilen deneysel sonuçları adsorpsiyon kapasitesinin miktarı ve yüzde giderimi denklemleriyle hesaplanmıştır.

$$R(\%) = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (4-1)$$

$$q_{max} = \frac{C_0 - C_e}{m} \times V \quad (4-2)$$

R(%) : Yüzde giderimi (%)

$C_0$  : Başlangıç nikel konsantrasyonu (mg/L)

$C_e$  : Adsorpsiyon sonrası kalan nikel konsantrasyonu (mg/L)

$q_{max}$  : Adsorpsiyon kapasitesi (mg/g)

$m$  : Adsorban maddenin miktarı (g)

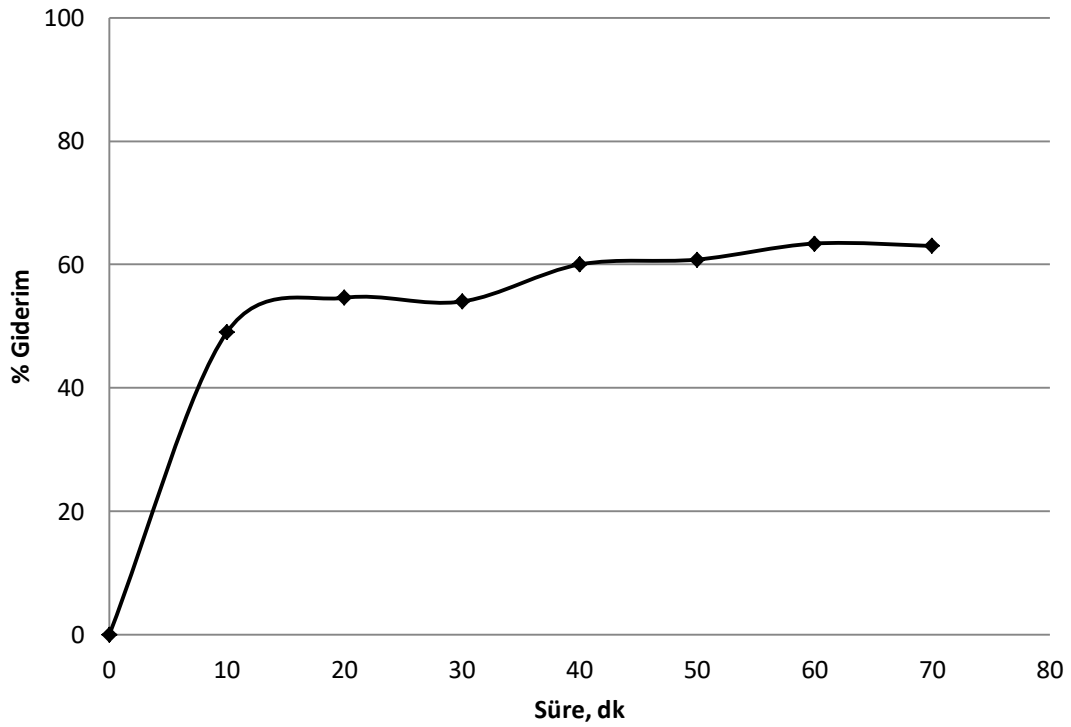
$V$  : Numune hacmi (mL)

#### 4.1.1. Temas süresinin etkisi

Adsorban madde etrafını çevreleyen sıvı filmdeki maddeyi hızla adsorplamaktadır. Adsorpsiyon hızı ilk temasta yüksektir ve sürenin ilerlemesiyle azalma görülür. Adsorpsiyon süreçlerinde adsorban ve adsorplanan maddeye ait en iyi temas süresinin bulunması önemlidir (Akın, 2015).

Bu çalışmada Ni(II) iyonu gideriminde temas süresinin etkisi Şekil 4.1'de gösterilmiştir. 25 mg/L başlangıç nikel konsantrasyonundaki çözeltiye 2 g/L kompozit materyal ilave edilmiştir. Çözeltilerin pH'ları sabit (6.6), karıştırıcının devri 200 rpm/dk olacak şekilde 25<sup>0</sup>C oda sıcaklığında, sırasıyla 10, 20, 30, 40, 50, 60 ve 70 dakika karıştırma yapılmıştır. Her bir temas süresi sonunda nikel analizi yapılmış ve zamana bağlı nikel giderim sonuçları Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

Zamana bağlı olarak nikel(II) iyonunun giderimi artmış, 40. dakikada %60 giderim sağlanmış ve bu süreden sonra önemli bir değişim göstermemiştir. Sonraki çalışmalar için optimum süre Ni(II) iyonunun giderimi için 40 dakika olarak belirlenmiştir.



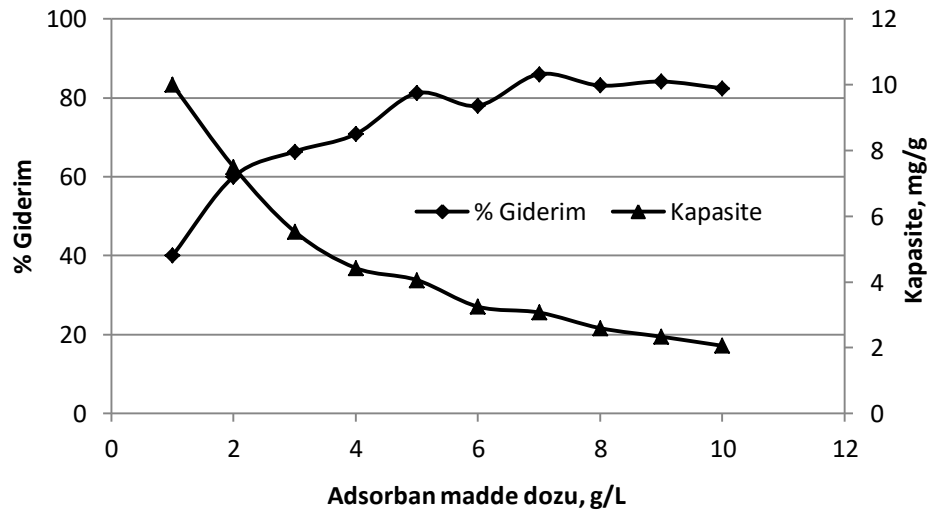
Şekil 4.1. Ni(II) iyonunun Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ŞPK ile gideriminde temas süresinin etkisi (pH 6.6, sıcaklık 25°C, karıştırma hızı 200 rpm, C<sub>0</sub>= 25 mg/L, kompozit dozu: 2 g/L).

Panneerselvam ve ark. (2011) yaptığı çalışmada çay atığı ile zenginleştirilmiş manyetik nanomalzeme su ortamında bulunan nikel iyonun arıtımında kullanılmıştır. Optimum şartlarda 120. dakikada, %90-96'ya kadar nikel(II) iyonun giderimi sağlanmıştır. Farklı bir çalışmada (Hasar, 2003) badem kabuğu adsorban madde olarak sucul ortamdan nikel(II) iyonu giderimi için kullanılmıştır. Yapılan optimizasyon çalışmasında, optimum şartlarında, 50. dakikada, %97 nikel(II) iyonun giderimi sağlanmıştır. Villaescusa ve ark. (2004) çalışmalarında, şarap üretim prosesinde üretilen üzüm sapsarı atıklarını, sulu çözeltilerden bakır ve nikel iyonlarının uzaklaştırılması için kullanmıştır. Optimum şartlarında, 60. dakikada, %80 nikel(II) iyonunun giderimi sağlanmıştır.

Literatürdeki farklı çalışmalara baktığımızda temas süresi ağır metallerin adsorpsiyon için etkili bir parametre olduğu bilinmektedir. Adsorpsiyon süreçlerinde adsorban ve adsorplanan maddeye ait en iyi sürenin bulunması önemlidir.

#### 4.1.2 Adsorban madde dozunun etkisi

1-10 g/L doz aralığında  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ŞPK ile 25 mg/L başlangıç nikel konsantrasyonundaki çözeltilerden 200 rpm karıştırma hızında ve 40 dk temas süresi boyunca adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon sonunda bir magnet yardımıyla kompozit çözeltiden uzaklaştırılmış ve bütün numunelerde Ni(II) analizi için spektrofotometre cihazıyla okuma yapılmıştır. Şekil 4.2’de maksimum adsorplama kapasitesi ve nikel giderim yüzdelerinin değişimi farklı kompozit dozları için verilmiştir. Optimum şartlarda 5 g/L adsorban kullanıldığında Ni(II) iyonun giderimi yaklaşık %81 değerine ulaşmıştır. Daha yüksek dozlarda nikel giderimi bir miktar artarken, adsorplama kapasitesinde düşüş gözlenmiştir. Bu nedenle her iki parametreyi de birlikte değerlendirdiğimizde, optimum doz %81 nikel giderimi ve 4.06 mg/g kapasitenin elde edildiği 5 g/L olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.2. Ni(II) iyonunun  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ŞPK ile gideriminde kompozit dozunun etkisi (pH 6.6, sıcaklık 25°C, karıştırma hızı 200 rpm,  $C_0 = 25$  mg/L, temas süresi 40 dk).

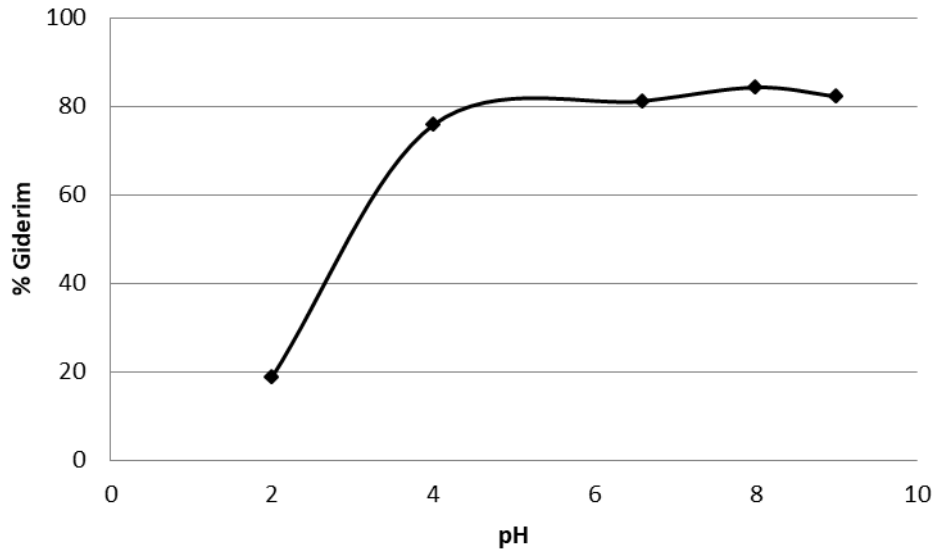
Reddad ve ark. (2002) şeker pancarı küspesi kullanarak su ortamından Ni(II) ve Cu(II) iyonlarının uzaklaştırılmasını sağlamışlardır. Optimum şartlarında, 2.5 g adsorban madde kullanılarak yaklaşık, %85 nikel(II) iyonun giderimi sağlanmıştır. Farklı bir çalışmada (Panneerselvam ve ark., 2011) çay atığı ile hazırlanmış adsorban maddeyle su ortamından nikel(II) iyonu arıtımında kullanılmıştır. Optimum şartlarda, 0.6 g adsorban madde kullanılarak yaklaşık, %94 nikel(II) iyonun giderimi sağlanmıştır. Farklı bir çalışmada (Reddad ve ark., 2002) talaş maddesi kullanılarak su ortamından Ni(II) iyonunun giderilmesi sağlanmıştır. Sonuçlara bakıldığında 0.01-8 g/L adsorban



maddeyle yaklaşık %50 - %80 Ni(II) iyonun giderimi ortaya çıkmıştır. Daha sonra adsorban dozunun artmasıyla Ni(II) iyonun gideriminde herhangi bir artış görülmemiştir ve bunun nedeni adsorban ve adsorbat arasındaki etkin alanın azalması olarak belirtilmiştir. Nithya ve ark., (2017) tarafından yapılan çalışmada sentezlenen nanoparçacık ile sulardan nikel giderimi incelenmiş ve 0.2 g adsorban dozunda %99 giderim elde edilmiş, ancak maksimum kapasite değeri olarak 48.8 mg/g 0.1 g adsorban dozunda tespit edilmiştir. Bu sonuç adsorpsiyon denklemindeki kapasite ve adsorban dozu parametreleri arasındaki ters bağlantı ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca yüksek adsorban dozlarında agregasyon problemi oluşabilmekte ve buna bağlı olarak da malzemenin yüzey alanı azalmaktadır.

#### 4.1.3. Çözelti pH'sının Etkisi

Analizlerde kullanılan nikel çözeltisinin pH'sının Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ŞPK üzerinde nikel iyonu adsorpsiyonu üzerindeki etkisini incelemek amacıyla yapılan bu deneylerde; en uygun adsorban dozajı olarak belirlenen 5 g/L Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ŞPK, 25 mg/L içeren nikel çözeltilerine eklenerek çözeltilerin pH'ları 2, 4, 6, 8 ve 9 değerlerine ayarlanmıştır. Bu çözelti örnekleri 40 dakika boyunca jar test düzenek deneyi ile karıştırmaları sağlanmıştır. 40 dakikanın sonunda nikel analizi spektrofotometrik olarak gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara bakıldığında (Şekil 4.3) pH 2'den 6.6'ya doğru verim artarken pH 6.6'dan sonra grafiği yaklaşık sabit bir çizgi şeklindedir. Deney sonuçları esas alınarak 6.6 çözeltinin pH'sı optimum değer olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.3. Ni(II) iyonunun  $Fe_3O_4$ -ŞPK ile gideriminde çözelti pH'sının etkisi (Sıcaklık 25°C, karıştırma hızı 200 rpm,  $C_0 = 25$  mg/L, temas süresi 40 dk, kompozit dozu 5 g/L).

Shukla ve ark. (2005) talaş maddesi kullanarak su ortamından Ni(II) iyonunun giderimini çalışmışlardır. Uygun pH bulmak için deneyleri pH 2-9 değerleri arasında gerçekleştirmişlerdir. pH değeri 3-9 aralığında artarken, adsorpsiyon kapasitesi ve Ni(II) giderimi de %90'a kadar artmış, ardından adsorpsiyon yüzdesi 9-10 pH aralığında azalmıştır. Talaş üzerine metal iyonlarının adsorpsiyon oranındaki en büyük artış, nikel(II) için 2'den 5'e kadar olan pH değişikliklerinde gözlenmiştir. pH'nın etkisi adsorbanın sıfır yük noktası (pH<sub>zpc</sub>) cinsinden açıklanabilir. Talaşın pH<sub>zpc</sub>'si 6.0'dadır ve adsorbanın bu pH yüzey yükünün altında pozitifdir. Panneerselvam ve ark., (2011) çalışmasında optimum pH değerini bulmak için pH 2-7, çalkalama hızı, başlangıç konsantrasyonu, temas süresi, adsorban dozajı, sıcaklık parametreleri sabit tutarak incelemişlerdir. Adsorpsiyon kapasitesi pH 2'den 4'e kadar yükselirken pH 4'ten sonra sabit kalmıştır. Adsorpsiyon için pH 4 optimum değer olarak bildirmişlerdir. Burada düşük pH değerlerinde  $H^+$  iyonu konsantrasyonunun yüksek olması, adsorban yüzeyinde boş bölgelerin tutulmasında  $H^+$  iyonları ve Ni(II) katyonları arasındaki bir rekabet oluşturmakta ve nikel giderim verimi düşmektedir. Diğer bir çalışmada (Hasar, 2003) badem kabuğu adsorban madde olarak nikel(II) iyonu gideriminde kullanılmıştır. pH optimizasyonu için 2-7 pH aralığında deneyler gerçekleştirilmiş ve adsorpsiyon kapasitesi pH 2'den 5'e yükseldikçe artarken, Ni(II) iyonu giderimi de %75'e kadar artmış, pH 4'ten sonra adsorpsiyon kapasitesi sabit kalmıştır. pH>5.0'de, Ni(II) iyonları,

bir nikel hidroksit çökeltisi oluşturan hidroksit anyonları nedeniyle çöktülebildiği için optimal pH değeri 5.0 olarak seçilmiştir.

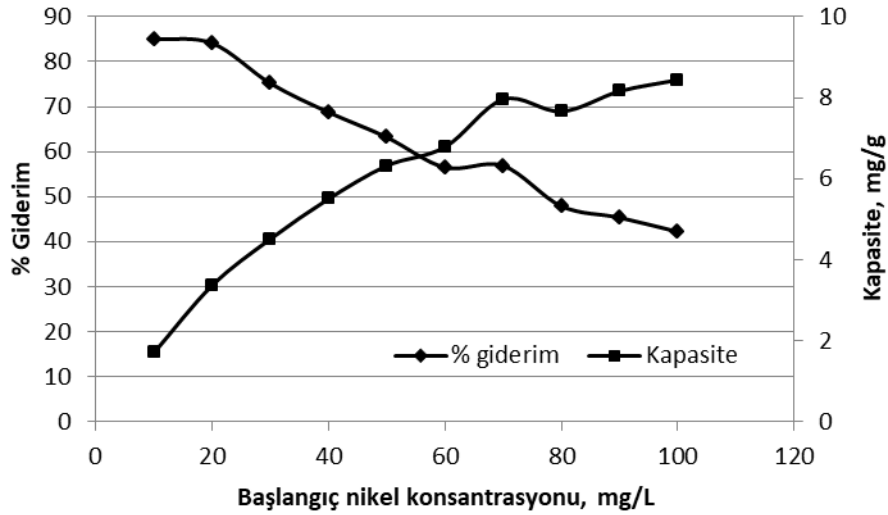
#### 4.1.4. Başlangıç Nikel Konsantrasyonunun Etkisi

Başlangıç nikel konsantrasyonu, adsorbat türlerinin su ortamından uzaklaştırılması üzerinde belirgin bir etkiye sahiptir. Başlangıç konsantrasyonunun etkisini belirlemek için farklı nikel konsantrasyonlarına sahip (10-100 mg/L) numuneler hazırlanmış ve 40 dakika boyunca kesikli deney düzeneğinde karışımları sağlanmıştır. 40 dakikanın sonunda kompozit malzeme ayrılmış ve nikel(II) analizi için spektrofotometre okumaları yapılmıştır. Şekil 4.4'de gösterildiği gibi çıkan sonuçlara bakılacak olursa başlangıç nikel konsantrasyonu yükseldikçe verim azalmış, ancak kapasite değeri artmıştır. 10 mg/L başlangıç konsantrasyonunda nikel giderim verimi %85.1 ve kapasite 1.7 mg/g iken, 100 mg/L başlangıç konsantrasyonu için giderim verimi %42.2 ve kapasite 8.44 mg/g olarak belirlenmiştir.

Panneerselvam ve ark. (2011) çalışmalarında adsorpsiyon prosesi için başlangıçtaki nikel(II) iyonun konsantrasyonunun etkisini incelemişlerdir. Optimum şartlarda nikel konsantrasyonu 50-100 mg/L aralığında yükseldiğinde giderim de %90-96'ya çıkmıştır. Yu ve ark., (2016) yaptığı çalışmada Ni(II), Co(II) ve Cu(II) iyonlarını su ortamından gidermek için mısır püskülünden adsorban madde hazırlamışlardır. Burada adsorpsiyon üzerine başlangıç konsantrasyonunun etkisini belirlemek için optimum şartlarda 8-500 mg/L aralığında incelemeler yapmışlardır. Sonuçlara göre Ni(II) iyonu için başlangıç konsantrasyonu 300 mg/L belirlemiştir.

Metal iyon konsantrasyonundaki artışla adsorpsiyon veriminin düşmesi oldukça olağandır. Bu eğilim hem katyonik hem de anyonik ağır metaller için çok yaygındır ve ağır metal giderim çalışmalarının çoğunda rapor edilmiştir. Sabit bir adsorban dozunda, düşük konsantrasyonlu çözeltilerde daha az metal iyonları bulunacaktır. Dolayısıyla, mevcut adsorban bölgeleri metal iyonlarını yerleştirmek için yeterlidir ve sorpsiyon oranı da doğal olarak daha hızlı olacaktır. Ancak, daha yüksek konsantrasyonlarda, aynı sabit doz için, adsorban bölgeleri, çözeltilerde bulunan tüm metal iyonlarını yakalamak için yeterli olmayacaktır. Ayrıca, metal iyon konsantrasyonundaki artıştan dolayı, partikül içi difüzyonun adsorbana mümkün olduğunca çok iyon yayması gerekebilir. Bu tür bir difüzyon da genellikle daha yavaş olacaktır. Bununla birlikte, bu yalnızca adsorban partikül içi difüzyon olasılığına sahipse olur ve genellikle gözenekli

adsorbanlar için oluşur. Bu nedenle adsorpsiyon verimliliğini daha yüksek konsantrasyonda arttırmak için, adsorban dozunda orantılı bir artış gereklidir (Nithya ve ark., 2017).

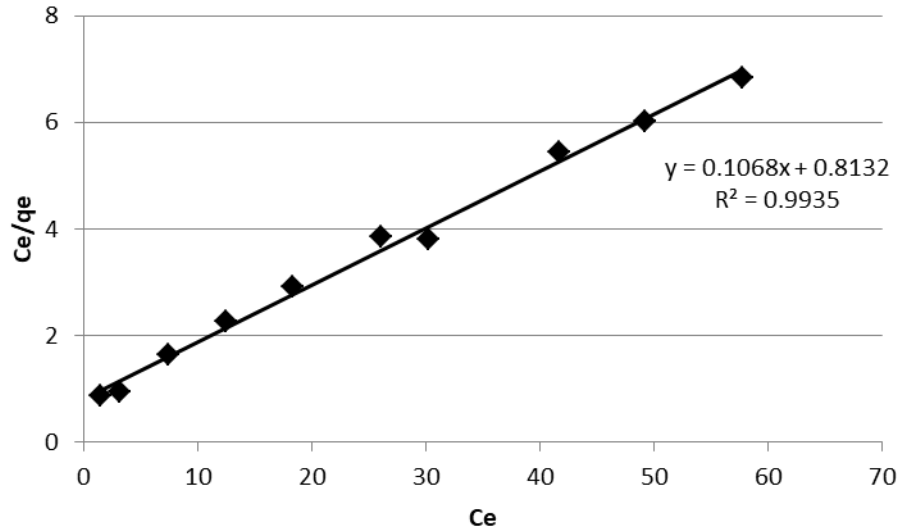


Şekil 4.4. Ni(II) iyonunun  $Fe_3O_4$ -ŞPK ile gideriminde başlangıç nikel konsantrasyonunun etkisi (Sıcaklık  $25^\circ C$ , karıştırma hızı 200 rpm, temas süresi 40 dk, kompozit dozu 5 g/L, pH 6.6).

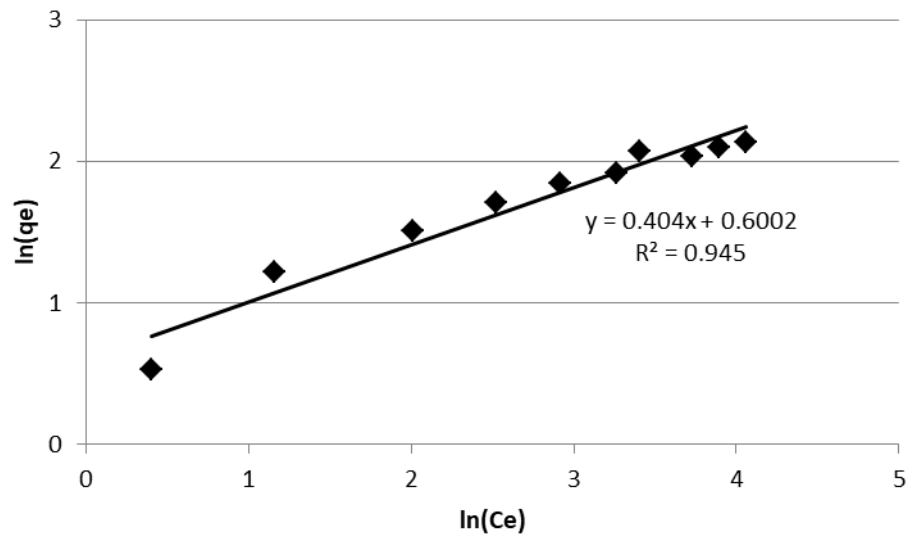
## 4.2 İzoterm Modelleri

$Fe_3O_4$ -ŞPK ile nikel iyonlarının adsorpsiyonu için elde edilen denge verilerine Langmuir ve Freundlich izoterm modelleri uygulanmıştır. Langmuir izoterm modeline (Denklem 2.2) göre  $C_e$ 'ye karşı  $C_e/q_e$  değerleri grafiğe geçirilerek eğim ve kesim noktasından  $q_0$  ve b sabitleri hesaplanmıştır.  $Fe_3O_4$ -ŞPK için elde edilen grafik Şekil 4.5'te verilmiştir.

Freundlich izoterm modeline (Denklem 2.5) göre  $\log C_e$ 'ye karşı  $\log q_e$  değerleri grafiğe geçirilerek eğim ve kesim noktasından n ve Kf sabitleri belirlenmiştir.  $Fe_3O_4$ -ŞPK için elde edilen grafik Şekil 4.6'de verilmiştir.



Şekil 4.5. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ŞPK kompozitinin nikel adsorpsiyonu için Langmuir izotermi grafiği.



Şekil 4.6. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ŞPK kompozitinin nikel adsorpsiyonu için Freundlich izotermi grafiği.

Sonuçlara bakılacak olursa Şekil 4.5 ve 4.6’da görüldüğü gibi kompozit ile nikel gideriminde her iki izoterm modeline de uygunluk görülmektedir. Ancak Langmuir izotermine korelasyon katsayısı değeri 1’e daha yakın olduğu için Langmuir izoterm modeli en uygun model olarak seçilmiş ve deney sonuçları bu modele göre değerlendirilmiştir. Langmuir ve Freundlich izoterm sabitleri ve korelasyon katsayıları Tablo 4.1’de verilmiştir.

Reddad ve ark. (2002) yerli ve modifiye edilmiş şeker pancar küspesiyle Ni(II) ve Cu(II) iyonlarını su ortamından uzaklaştırılmalarını incelemişlerdir. Adsorban maddenin etkisini belirlemek için 0.2 ila 2.5 mmol  $1 \pm 1$  arasında başlangıç

konsantrasyonlarını kullanmışlardır. Langmuir izoterm teorisi, adsorbe edilen katmanın kalınlığında bir molekül, yani bir monolayer adsorpsiyon olduğunu varsayar. Gautam ve ark., (2015) yaptığı çalışmada  $Fe_3O_4$  manyetik nanoparçacıklarının Ni(II) adsorpsiyonu özelliklerini belirlemek için, verileri Langmuir, Freundlich, Dubnin–Raduskvich ve Temkin izotermine uygulamışlardır. Sonuçlara göre Langmuir izotermi için ayırma faktörü veya denge parametresi olarak tanımlanan  $R_L$  değeri, ( $0 < R_L < 1$ ) çıkmıştır. Bu da, Ni(II) gideriminde sentezlenen manyetik nanoparçacıkların uygunluğunu göstermektedir. Sonuçlara bakıldığında  $R^2$  değeri Freundlich izoterm modeli diğerlerine göre en elverişli olduğunu belirlemişlerdir.

**Çizelge 4. 1.**  $Fe_3O_4$ -ŞPK kompozitinin nikel adsorpsiyonu için Langmuir ve Freundlich izoterm sabitleri

Adsorban Madde	Langmuir izotermi				Freundlich izotermi		
	$b, 10^{-2}$ (L /mg)	$q_0$ (mg/g)	$R^2$	$R_L$	n	$K_f$ $mg^{(1-\frac{1}{n})} L^{1/n} / g$	$R^2$
$Fe_3O_4$ -ŞPK	0.131	9.363	0.9935	0.234	2.475	1.822	0.945

Sonuçlara göre Langmuir izotermi için ayırma faktörü veya denge parametresi olarak tanımlanan  $R_L$  değeri 0.234 ( $0 < R_L < 1$ ) uygun olduğunu gösterir.

### 4.3.Adsorpsiyon Kinetiği

Adsorpsiyon kinetiğini incelemek için yalancı birinci derece, yalancı ikinci derece ve partikül içi difüzyon modelleri farklı temas sürelerinde elde edilen deneysel sonuçlara uygulanmıştır.

Yalancı birinci derece kinetik modeline göre (Denklem 4.3) zamana karşı  $\log(q_e - q_t)$  değerleri grafiği oluşturulmuş,  $k_1$  hız sabiti ve dengede adsorpsiyon kapasiteleri belirlenmiştir.  $Fe_3O_4$ -ŞPK için elde edilen grafik Şekil 4.7’de verilmiştir.

$$\frac{dq_t}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (4.7)$$

Yalancı ikinci derece kinetik modeline göre (Denklem 4.8) zamana karşı  $t/q_t$  değerleri grafiğe geçirilmiş,  $q_e$  dengede adsorpsiyon kapasiteleri ve  $k_2$  hız sabiti belirlenmiştir.  $Fe_3O_4$ -ŞPK için elde edilen grafik Şekil 4.8’de verilmiştir.

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (4.8)$$

Partikül içi difüzyon modeline göre (Denklem 4.9)  $t^{1/2}$ 'ye karşı  $q_t$  değerleri grafiğe geçirilmiş ve  $k_p$  hız sabiti belirlenmiştir.

$$q_t = k_p t^{1/2} + C \quad (4.9)$$

Kinetik çalışma sonucuna göre üretilen malzeme ile nikel giderimi yalancı ikinci derece kinetik modeline uyumlu görülmüştür.

**Tablo 4.2.** Nikel iyonunun  $Fe_3O_4$ -ŞPK kompoziti ile adsorpsiyonu için kinetik modellerinin parametreleri

Adsorban Madde	Yalancı birinci derece			Yalancı ikinci derece			Partikül içi difüzyon		
	$q_e$ (mg/g)	$K_1, 10^{-3}$ (1/dk)	$R^2$	$q_e$ (mg/g)	$K_2, 10^{-3}$ (g/mg.dk)	$R^2$	$k_p, 10^{-2}$ (g/mg dk <sup>1/2</sup> )	$R^2$	C
$Fe_3O_4$ -ŞPK	2.96	0.044	0.9031	8.431	0.0284	0.9947	0.381	0.939	4.94

Gautam ve ark. (2015) yaptığı çalışmada  $Fe_3O_4$  manyetik nanopartiküllerinin Ni(II) adsorpsiyonu kinetiğini incelemek amacıyla, deneysel verilerini farklı kinetik modelleri üzerine uygulamışlardır. Çıkan sonuçlara dikkate alınarak adsorpsiyon modeli için korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) ikinci derece yüksek değere ( $> 0.9967$ ) sahip olduğu için en uygun model olarak yalancı ikinci derece seçmişlerdir. Panneerselvam ve ark., (2011) tarafından yapılan çalışmada adsorpsiyon kinetiğini belirlemek için deneysel verilerini birinci derece kinetik, ikinci derece kinetik ve partikül içi difüzyon kinetik modelleri üzerine uygulamışlardır. Uygulamalardan çıkan sonuçlara bakıldığında kinetik birinci derece modelini en doğrusal çizgilere sahip ve aynı zamanda  $R^2$  değeri diğer kinetikleri göre 1'e daha yakın olması nedeniyle uygun model olarak seçmişlerdir.

#### 4.4. Adsorban Maddenin Karakteristik Özellikleri

Sentezlenen manyetik  $Fe_3O_4$ -ŞPK kompozitinin yapısal özellikleri FT-IR, XRD, BET, TGA, SEM-EDX yöntemleriyle karakterize edilmiştir.

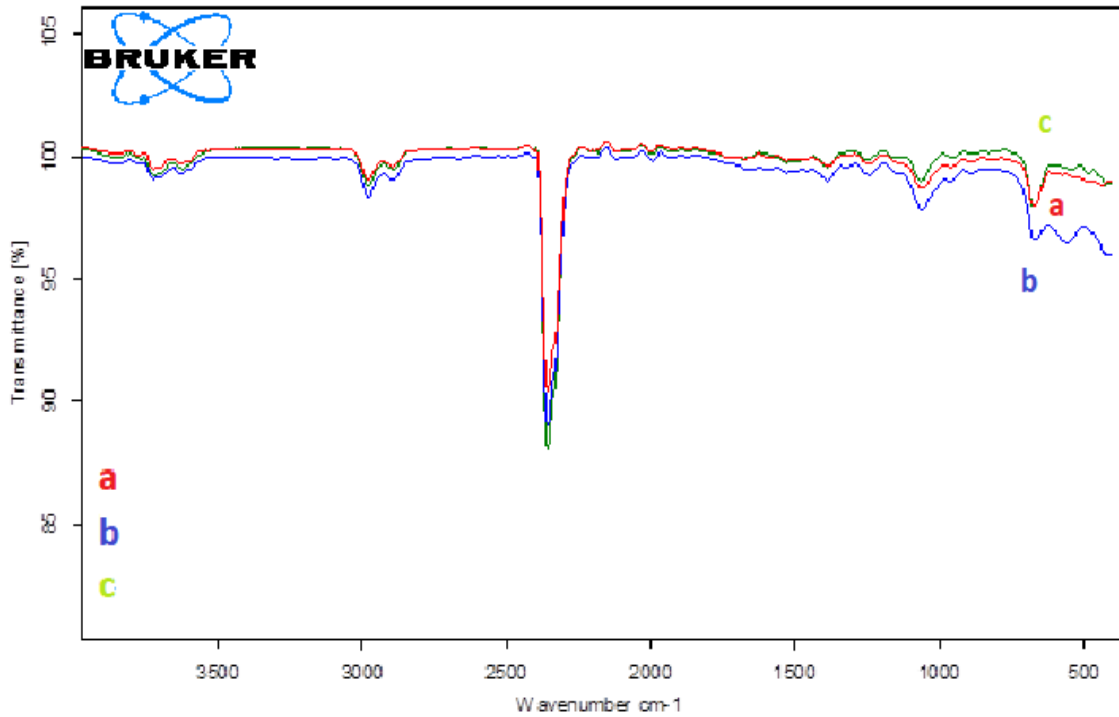
##### 4.4.1. FT-IR analizleri

Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (Fourier Transform Infrared Spektroskopy FT-IR) kızılötesi ışınların molekülün titreşim hareketleri tarafından soğurulduğu bir spektroskopidir. FT-IR organik ve inorganik bileşiklerin karakterize edilmesinde kullanılmaktadır (Ono ve ark., 2011).

FT-IR analizinin yapılmasında amaç adsorpsiyonun adsorbanların kimyasal yapısında değişikliğe neden olup olmadığını katı, sıvı, gaz veya çözelti halindeki organik bileşiklerin yapısındaki fonksiyonel grupla, iki bileşiğin aynı olup olmadığı, yapıdaki bağların durumu, bağlanma yerleri ve yapının aromatik ya da alifatik olup olmadığını gözlemlemektir. Şekil 4.10'da kurutulmuş ve öğütülmüş şeker pancar küspesi, şeker pancarı küspesine  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  emprenye edilerek üretilen manyetik malzeme ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ŞPK) ve Ni(II) iyonu adsorpsiyonundan sonraki  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ŞPK malzemelerinin FT-IR spektrumları verilmiştir. Aşağıda verilen FT-IR spektrumlarına bakıldığında kimyasal işlemler sonucu şeker pancar küspesi materyalinin çok farklı bir yapıya dönüşmediği anlaşılmaktadır.

Şekil 4.10'da gösterildiği gibi FT-IR analizinden çıkan sonuçlar ve gösterdiği pikler Ni adsorplamış  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ŞPK ( $3722.17 \text{ cm}^{-1}$ ) hidroksil (O-H) gerilmesi olduğunu ispat etmiştir (Ahmad ve Hameed, 2009). ŞPK ( $2979.24 \text{ cm}^{-1}$ ), ( $2896.24 \text{ cm}^{-1}$ ),  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ŞPK ( $2979.18 \text{ cm}^{-1}$ ), ( $2895.48 \text{ cm}^{-1}$ ) ve Ni adsorplamış  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ŞPK ( $2979.05 \text{ cm}^{-1}$ ), ( $2895.44 \text{ cm}^{-1}$ ) yüzeylerinde C-H fonksiyonel grupları bulunmaktadır (Rabbani ve ark., 2016).  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ŞPK ve Ni adsorplamış  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ŞPK sırasıyla  $2357.84 \text{ cm}^{-1}$ ,  $2357.8 \text{ cm}^{-1}$ 'de pikleri, bütün malzemelerde üçlü bağları bulunan  $\text{C}\equiv\text{C}$ ,  $\text{C}\equiv\text{N}$  fonksiyonel gruplarının varlığını göstermektedir (Panneerselvam ve ark., 2011). Şekil 4.9 a,b'da gösterildiği gibi ŞPK ( $1062.35 \text{ cm}^{-1}$ ),  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ŞPK ( $1060.7 \text{ cm}^{-1}$ ) ve Ni adsorplamış  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ŞPK ( $1066.12 \text{ cm}^{-1}$ ) pikler (R-OH) fonksiyonel gruplarını temsil etmektedir (Ahmad ve Hameed, 2009). ŞPK ve Ni adsorplamış ŞPK- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  için sırasıyla  $675.76 \text{ cm}^{-1}$ ,  $675.76 \text{ cm}^{-1}$ 'de pik C-O-H yapısından kaynaklıdır (Ahmad ve Hameed, 2009). ŞPK- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  için bu pik bir miktar kaymış ( $666.49 \text{ cm}^{-1}$ ) ve  $642.86$ 'da Fe-O bandından kaynaklı bir pik oluşumu gözlenmiştir (Lopez ve ark., 2010; Rabbani ve ark., 2016). Nikel sorpsiyonu işleminden sonra bu pikin sönümlendiği görülmüştür. Meydana gelen bu pikler kimyasal işlemler sonucu şeker pancarı küspesi materyalinin çok farklı bir yapıya dönüşmediğini, ancak yeni Fe-O bağlarının oluştuğunu göstermiştir.





Şekil 4.10. ŞPK (a),  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ŞPK (b) ve Ni adsorplamış  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ŞPK (c) malzemelerinin FT-IR spektrumu.

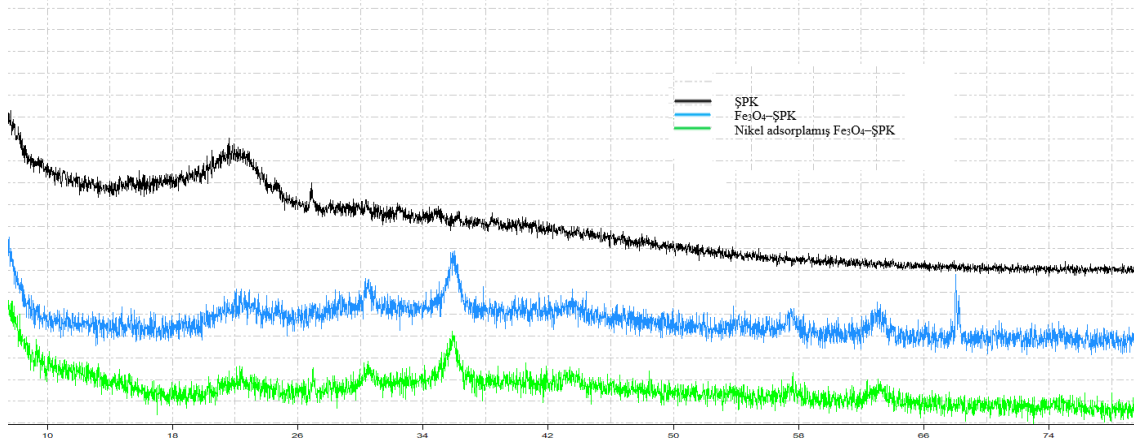
#### 4.4.2. XRD analizi

X-ışını kırınım analizi (XRD), her bir kristal fazın atomik sıralanmalarına bağlı olarak X-ışınlarını karakteristik bir düzen içerisinde kırması esasına dayanmaktadır. XRD analiz metodu, analiz esnasında numuneyi tahrip etmeyen ve çok az miktardaki numunelerde dahi analizlerinin yapılmasını mümkün kılan bir metottur (Sirkecioğlu, 1993).

Bu tez çalışmasında ŞPK,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ŞPK ve nikel adsorplamış  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ŞPK malzemelerinin yapısını incelemek için XRD analizi yapılmıştır. Şekil 4.17'de gösterilmiş ŞPK ham adsorban maddesinin XRD analizinin sonucunda  $2\theta=21.603^\circ$ ,  $26.868^\circ$  açılarda çıkan ana pik daha geniş açıyla yüksek oranda organize kristalli selülozun varlığını gösterirken, ikincisi ise oldukça zayıf pik ve dar açıyla daha az organize pektiklerin yapısını göstermektedir (Yiğit, 2015).

Manyetik malzeme için ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ŞPK) 7 karakteristik tepe noktası ( $2\theta= 14.744^\circ$ ,  $22.372^\circ$ ,  $22.621^\circ$ ,  $30.313^\circ$ ,  $35.908^\circ$ ,  $68.044^\circ$ ,  $68.248^\circ$ ) belirlenmiş ve en kuvvetli pik  $2\theta= 35.908^\circ$ de gözlenmiştir. Bu pik manyetik nanomalzeme ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ŞPK) yapısında  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 'ün göstergesidir (Gupta ve Nayak, 2012).

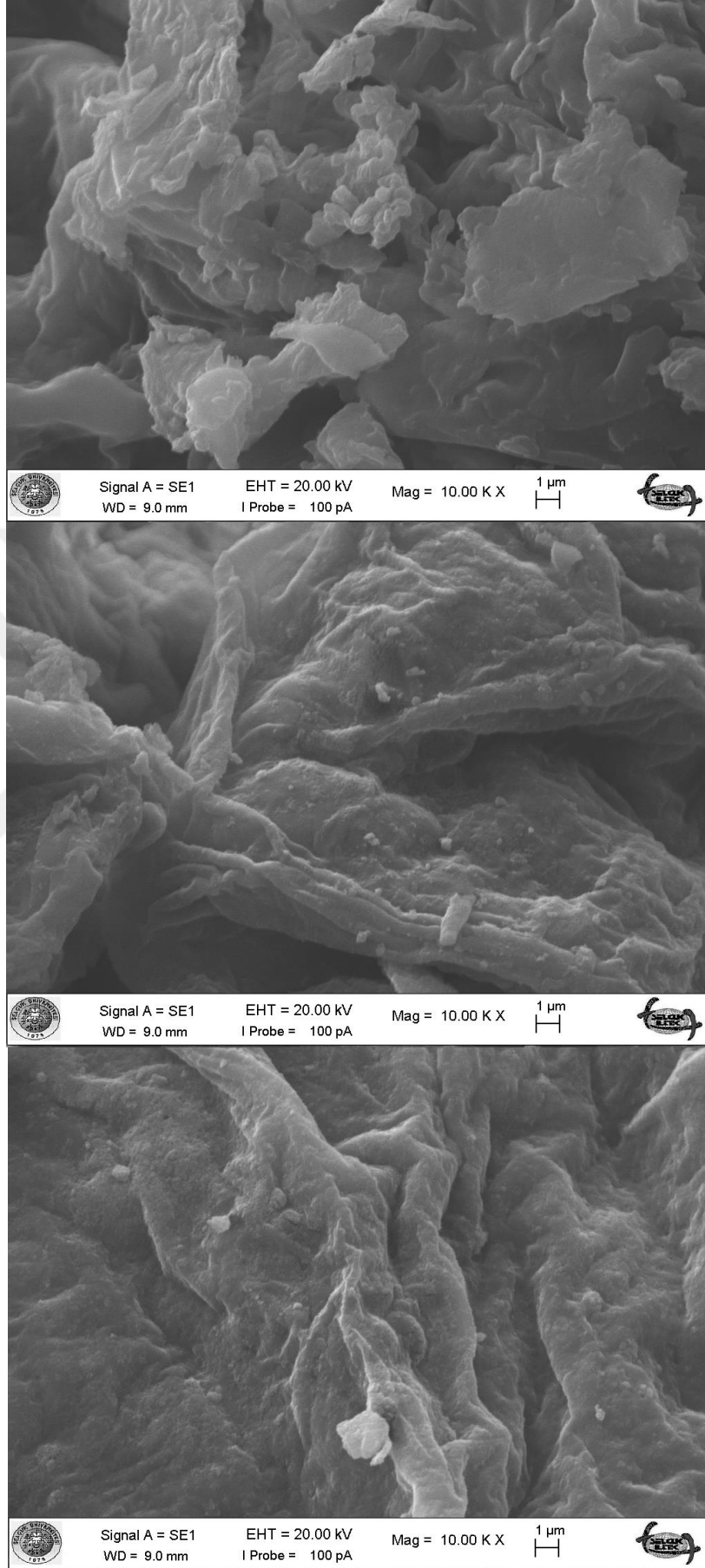
Nikel adsorpsiyonu sonrası  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ŞPK malzemesine ait XRD diyagramı Şekil 4.17'de gösterilmiştir. Malzemede 4 karakteristik tepe noktası ( $2\theta=22.410^\circ$ ,  $26.434^\circ$ ,  $26.972^\circ$ ,  $35.922^\circ$ ) tespit edilmiştir ve en yüksek pik  $2\theta=35.922$  değerinde gözlenmiştir. Nikel adsorpsiyonu işleminden sonra pik sayısı azalmıştır (Gautam ve ark., 2015).



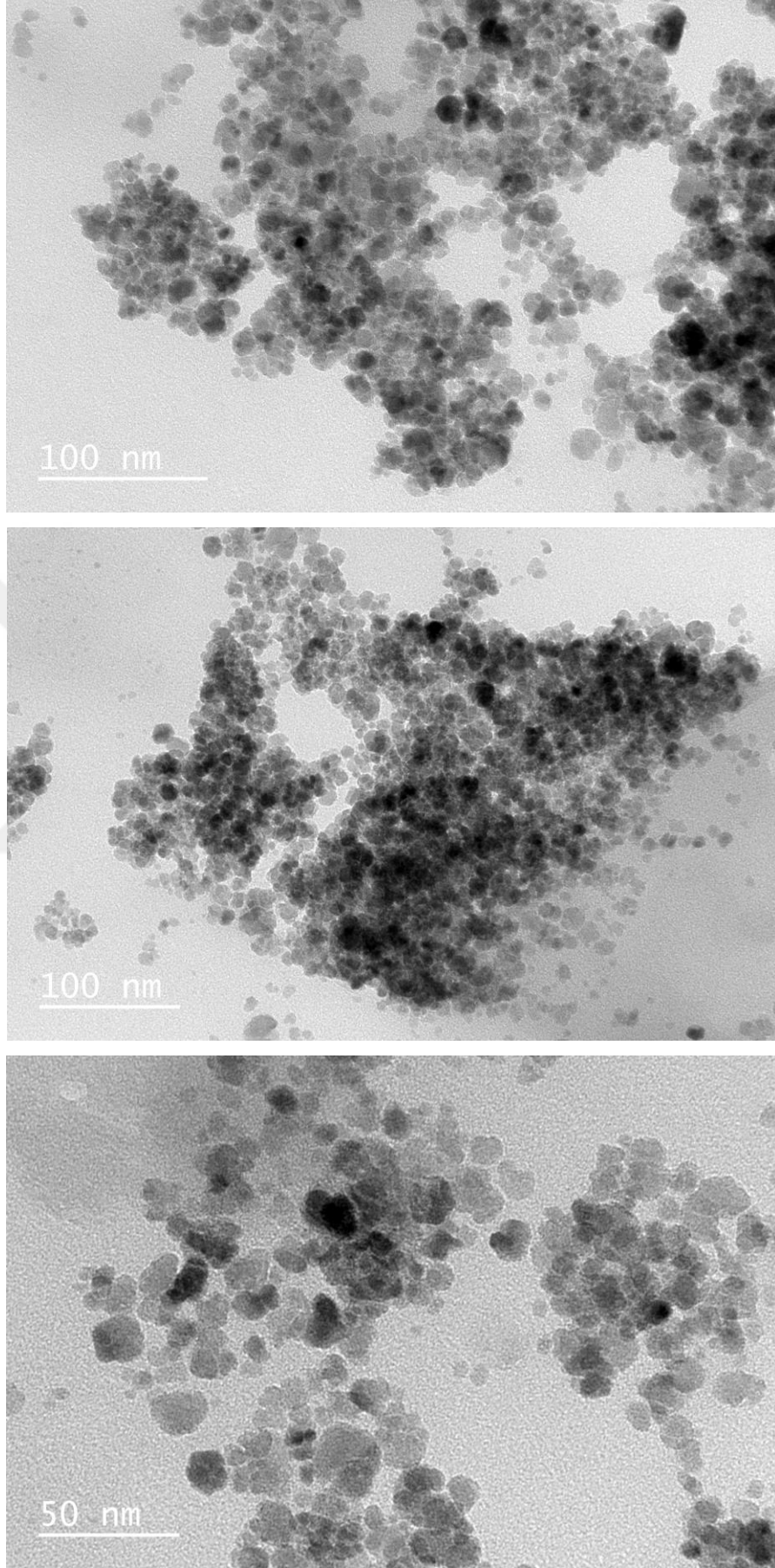
Şekil 4.17. ŞPK,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ŞPK ve nikel adsorplamış  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ŞPK malzemelerinin XRD diyagramı

#### 4.4.3. SEM-TEM-EDX Analizleri

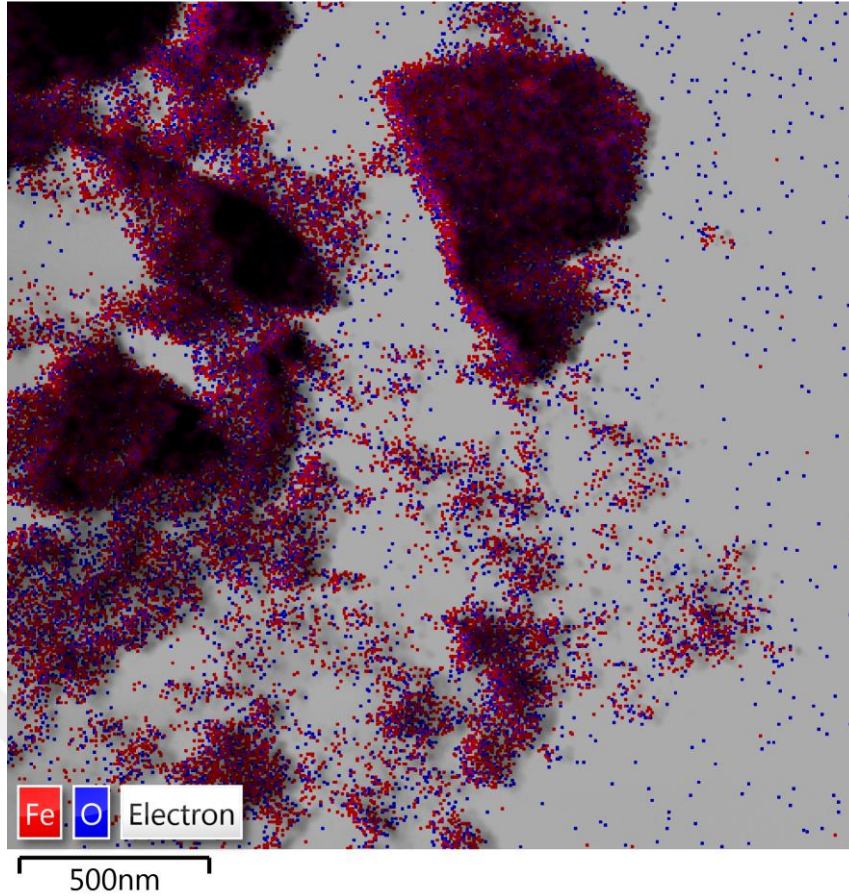
Çok küçük ve ince detayları görebilmek amacıyla Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope-SEM) veya Geçirimli Elektron Mikroskobu (Transmission Electron Microscope-TEM) gibi farklı cihazlar geliştirilmiştir. Bu cihazlar oldukça küçük bir alanda yüksek enerjili elektronlar vasıtasıyla malzemenin yüzeyinin taranması veya yüzeyden ışının geçirilmesi prensibiyle çalışır. ŞPK,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ŞPK ve nikel adsorplamış  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ŞPK malzemelerinin modifikasyon işlemlerinden sonra çekilen SEM fotoğrafları Şekil 4.11'de verilmiştir. Buradan şeker pancarı küspesinin gözenekli bir yapıya sahip olduğu görülmektedir (Mata ve ark., 2009). Şekil 4.11b ve c'deki görüntüler Şekil 4.11a ile kıyaslandığında malzemenin yüzeyinde daha fazla gözenekler ve parçacıklar görünmektedir. Bu parçacıklar Ni(II) iyonlarını veya demir oksit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) varlıklarını temsil etmektedir. ŞPK malzemesinin gözenekliliğinin kimyasal modifikasyon ile arttığı anlaşılmaktadır (Panneerselvam ve ark., 2011). Şekil 4.12'de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ŞPK malzemesinin farklı magnifikasyonlarda TEM görüntüleri verilmiştir.  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ŞPK malzemesinde Fe ve O elementlerinin haritasal dağılımı Şekil 4.13'de görülmektedir.



Şekil 4. 11. ŞPK (a), Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ŞPK (b) ve nikel adsorplamış Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ŞPK kompozitlerinin SEM fotoğrafları



Şekil 4. 12. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ŞPK kompozitinin TEM fotoğrafları



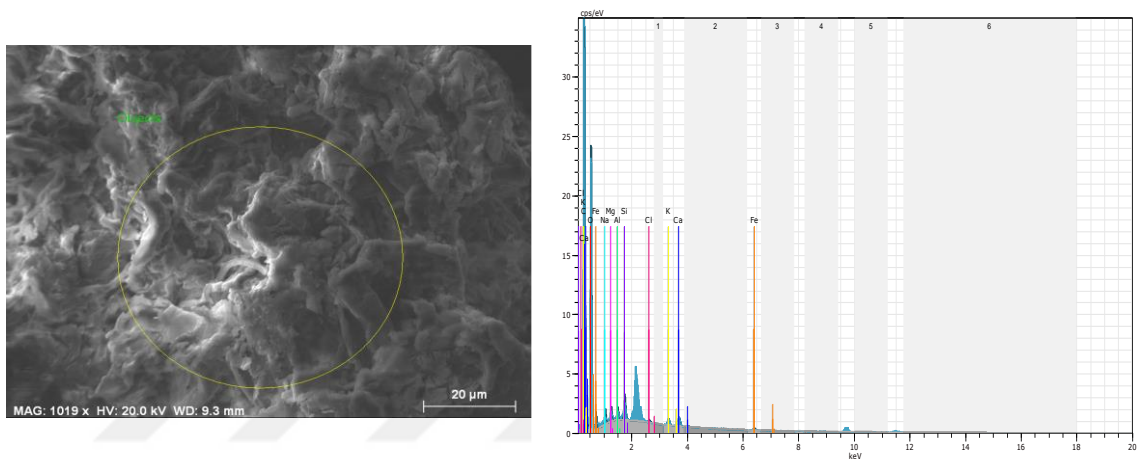
Şekil 4. 13.  $Fe_3O_4$ -ŞPK kompozitinin TEM-EDX harita analizi.

EDS veya EDX olarak adlandırılan Enerji Dağılım X-Işını Analizi (EDX), malzemelerin esas bileşimini belirlemek için uygulanan bir x-ışını tekniğidir. EDX analizi ile üretilen veriler, analiz edilen numunenin gerçek kompozisyonunu oluşturan elementlere karşılık gelen pikleri gösteren spektrumlardan oluşur (Erdin, 1987).

Bu tez çalışmasında diğer analizler yapıldığı gibi üç farklı örnek (ŞPK,  $Fe_3O_4$ -ŞPK ve nikel adsorplamış  $Fe_3O_4$ -ŞPK) üzerinde SEM-EDX analizleri yapılmıştır. SEM-EDX analizi kantitatif bir analiz olduğu için kalitatif (XRD, FT-IR) analizlerin sonuçlarının teyit edilmesi ve uyumlu olması gerekmektedir. SEM-EDX analizlerinden elde edilen sonuçlar Tablo 4.4, 4.5 ve 4.6'de gösterilmiştir. Çıkan sonuçlara bakıldığında malzeme organik (selüloz, pektik gibi) olduğu için yüzde olarak oksijenden sonra karbon ikinci sırada olduğu görülmektedir (Gérente ve ark., 2000). SEM-EDX analizlerinden çıkmış, Tablo 4.4'deki yüzdeler ve Şekil 4.15'deki pikler, XRD ve FT-IR sonuçlarını teyit etmek ile beraber prosesin başarılı olduğunu göstermektedir.

**Tablo 4. 3.** ŞPK malzemesi için SEM-EDX analizi sonuçları

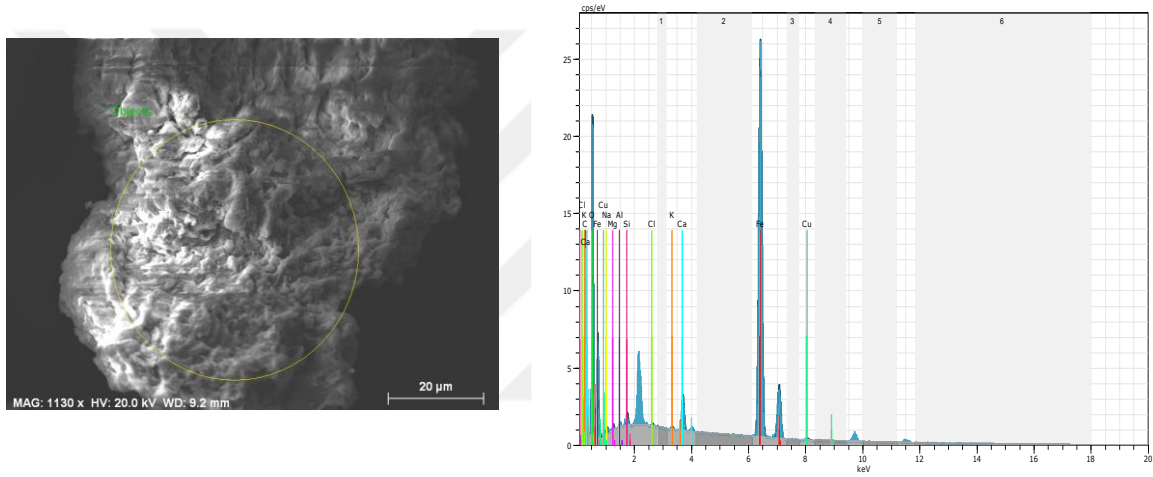
Element	Seri	C norm. wt (%)
Oksijen	K	60.39
Karbon	K	36.76
Kalsiyum	K	0.40
Sodyum	K	0.65
Magnezyum	K	0.44
Potasyum	K	0.26
Demir	K	0.22
Alüminyum	K	0.31
Silikon	K	0.48
Klorür	K	0.08
Toplam		100

**Şekil 4. 14.** ŞPK malzemesinin SEM-EDX analiz grafiği

Sentezlenmiş  $Fe_3O_4$ -ŞPK kompoziti görüntüleri Şekil 4.15’de gösterilmiştir. Şeker pancarı küspesinin içinde Fe(II) in oranı %0.22 iken şeker pancarı küspesi- $Fe_3O_4$  kompozitinde demir miktarı %47.31’e kadar çıkması kompozitteki demir oksit varlığını göstermektedir. Genel olarak bir değerlendirme yapılırsa ham maddenin ana bileşenini karbon ve oksijen teşkil ederken, Şeker pancar küspesi- $Fe_3O_4$  kompozitini çoğunlukla oksijen, demir ve karbon elementlerinden oluşmaktadır.

**Tablo 4. 4.** Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ŞPK malzemesi için SEM-EDX analizi sonuçları

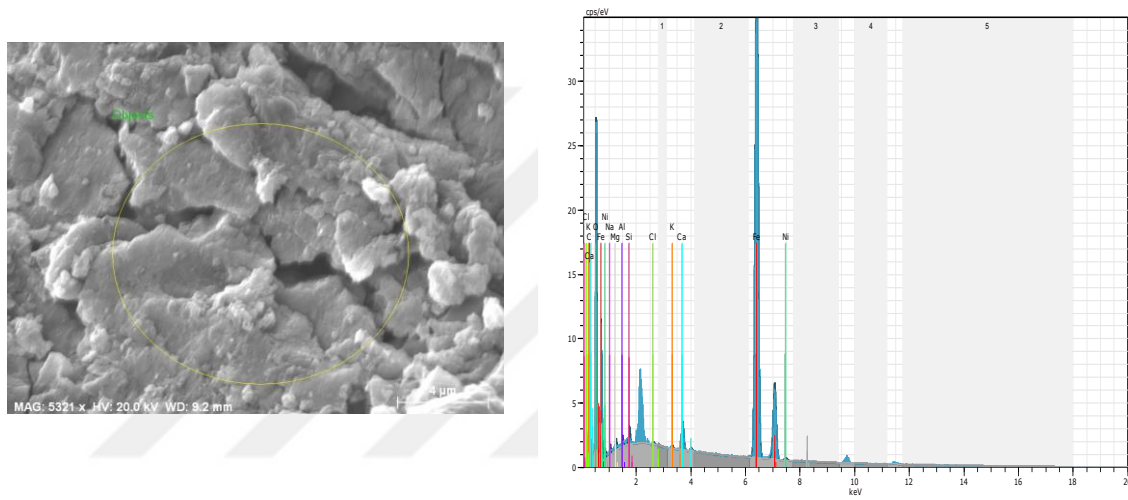
Element	Seri	C norm. wt (%)
Demir	K	47.41
Oksijen	K	38.41
Karbon	K	10.02
Kalsiyum	K	1.91
Magnezyum	K	0.36
Sodyum	K	0.69
potasyum	K	0.15
Alüminyum	K	0.21
Silikon	K	0.40
Klorür	K	0.12
Bakır	K	0.59
Toplam		100.00

**Şekil 4.15.** Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-ŞPK malzemesinin SEM-EDX analiz grafiği

ŞPK-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> kompoziti ile nikel(II) iyonu adsorpsiyonu sonrası, kompozit için elde edilen spektrum Şekil 4.16'de gösterilmiştir. ŞPK-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> içinde nikel tespit edilmemiş iken, ŞPK-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> kompozitinde adsorpsiyon sonrası belirlenen nikel miktarı %0.55'e kadar çıkmıştır (Tablo 4.5). Bu durum adsorpsiyon işleminde nikelin malzemenin yüzeyinde tutulduğunu göstermektedir.

**Tablo 4. 5.** Nikel(II) adsorplamış  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ŞPK malzemesi için SEM-EDX analizi sonuçları

Element	Serisi	C norm. wt (%)
Demir	K	63.25
Oksijen	K	27.51
Karbon	K	4.46
Kalsiyum	K	1.35
Sodyum	K	0.99
Magnezyum	K	0.65
Potasyum	K	0.15
Nikel	K	0.55
Alüminyum	K	0.45
Silikon	K	0.54
Klorür	K	0.09
Toplam		100

**Şekil 4.16.** Nikel adsorplamış  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ŞPK malzemesinin SEM-EDX analiz grafiği

#### 4.4.4. BET Analizi

Yüzey alan analizi (BET), gözenekli numunelerde gözenegin boyutu ve dağılımının yüksek ve düşük basınçlarda belirlenmesinde kullanılmaktadır. Adsorban maddenin yüzey alanı adsorpsiyona en çok etki eden faktörlerden birisi olduğu düşünülmektedir (Özcan, 2010). Bu tez çalışmasında BET analizleri, Micromeritics TriStar II PLUS model cihaz kullanılarak yapılmıştır. Bu tez çalışmasında  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ŞPK kompozitin BET analizi için 0.1197 g numune alınarak 2 saat 50 dakika boyunca 77.3 K sıcaklığında tutulmuştur.  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ŞPK kompozitin yüzey alanı  $32.3873 \text{ m}^2/\text{g}$  olarak elde edilmiştir. Çıkan sonuçlar literatürdeki diğer çalışmalarla kıyaslandığında bizim çalışmada üretilen ŞPK- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  kompozitinin yüksek bir yüzey alanına sahip olduğu görülmüştür. Tablo 4.6'de farklı adsorban maddeler için tespit edilen BET yüzey



alanları verilmiştir. Malzemenin BJH yöntemine göre belirlenen adsorpsiyon gözenek hacmi  $0.038351 \text{ cm}^3/\text{g}$ , desorpsiyon gözenek hacmi  $0.035226 \text{ cm}^3/\text{g}$  ve ortalama gözenek çapı  $4.695 \text{ nm}$  olarak belirlenmiştir.

**Tablo 4.6.** Farklı manyetik malzemelerin BET yüzey alanları

Adsorban madde	BET yüzey alanı ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	Çalışma
Modifiye uçucu kül	5.60	(İleri, 2018)
Doğal bentonit	78.23	(Özcan, 2010)
Çay atığı/ $\text{Fe}_3\text{O}_4$	22.3-27.5	(Panneerselvam ve ark., 2011)
Çay atığı	0.39	(Malkoc, 2006)
Talaş	0.57-0.01	(Ali ve ark., 2016)
$\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ŞPK	32.39	Bu çalışma., 2019

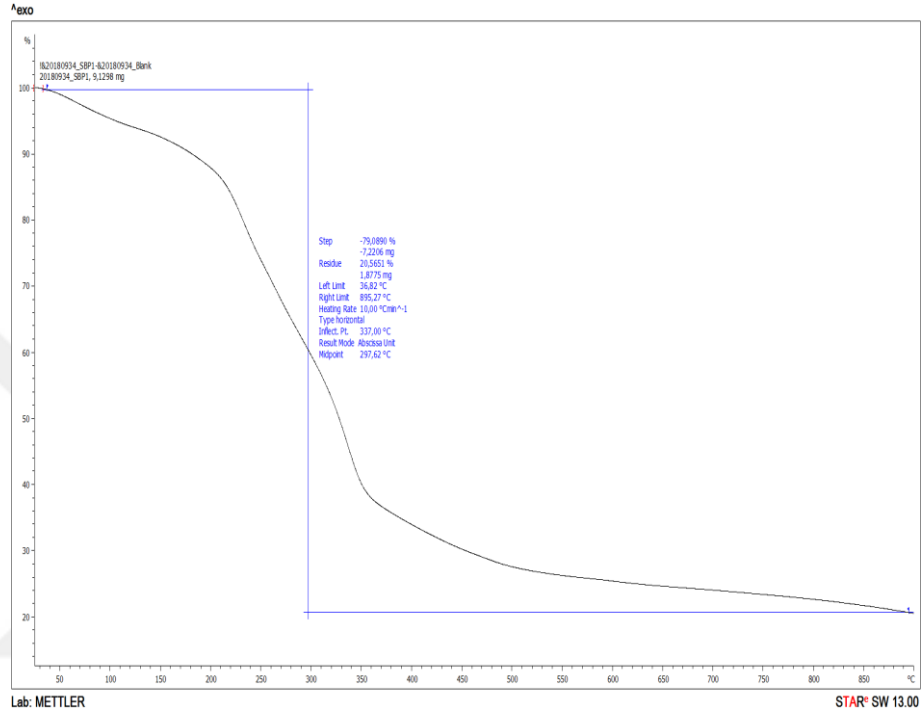
#### 4.4.5 Termogravimetrik analiz (TGA)

Termogravimetrik analiz, genellikle sıcaklığın veya zamanın bir fonksiyonu olarak malzemelerin kütle değişimlerinin tespit edilmesinde kullanılır. Deney numunesi, sabit sıcaklık artış hızında ısıtılır ve kütle değişimi sıcaklığa bağlı olarak ölçülür. Genellikle, deney numunelerinde reaksiyonlar; bozunma veya yükseltgenme reaksiyonları veya bir bileşenin buharlaşması kütlede değişmesine neden olmaktadır. Kütlede sıcaklık veya zamana karşı çizilen grafiği TG eğrisidir.

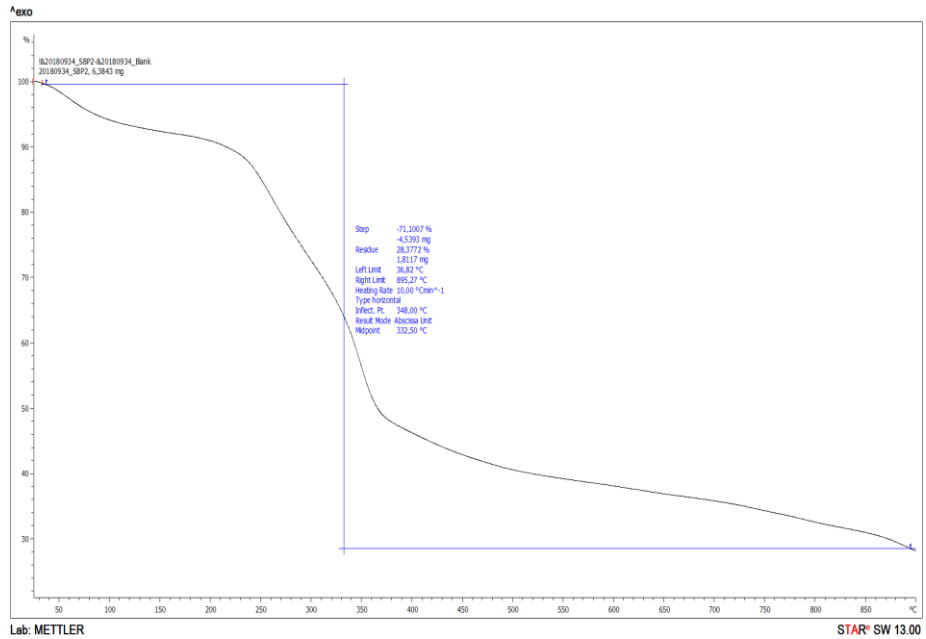
Bu tez çalışmasında yüksek sıcaklıklara karşı malzemelerin kütle kaybının incelenmesi için şeker pancar küspesi (ŞPK),  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ŞPK ve nikel(II) adsorplanmış  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ŞPK malzemelerinde TG analizleri yapılmıştır. elde edilen grafikler Şekil 4.18-20'de gösterilmiştir.

TG analiz için  $25-900^\circ\text{C}$  sıcaklık aralığında  $10^\circ\text{C}/\text{dk}$  ısıtma hızı uygulanmış, ŞPK için Şekil 4.18'de gösterildiği gibi numunede %79.0890'lik bir ağırlık kaybı ortaya çıkmıştır. Bu kayıp selüloz, pektik bozulmalarından ve kalan karbonlu maddelerden kaynaklanmaktadır (Yuşan, 2016).  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ -ŞPK malzemesinin termal özelliklerinin incelemesi için TG analizi  $10^\circ\text{C}/\text{dk}$  ısıtma hızında ve  $25-900^\circ\text{C}$  sıcaklıklarda yapılmış, Şekil 4.19'da gösterildiği gibi numunede yaklaşık %71.1007'lik bir ağırlık kaybı ortaya çıkmıştır. Nedenleri ise, manyetik nanoparçacık yüzeylerinde adsorbe edilmiş su moleküllerinin buharlaşmasından, C-O ve  $\text{CH}_2$  fonksiyonel gruplarının sıcaklığa bağlı olarak malzeme yüzeyinden uzaklaşmasından, manyetiğin magemit veya vüstit indirgeme yoluyla faz transferinden kaynaklanan termal

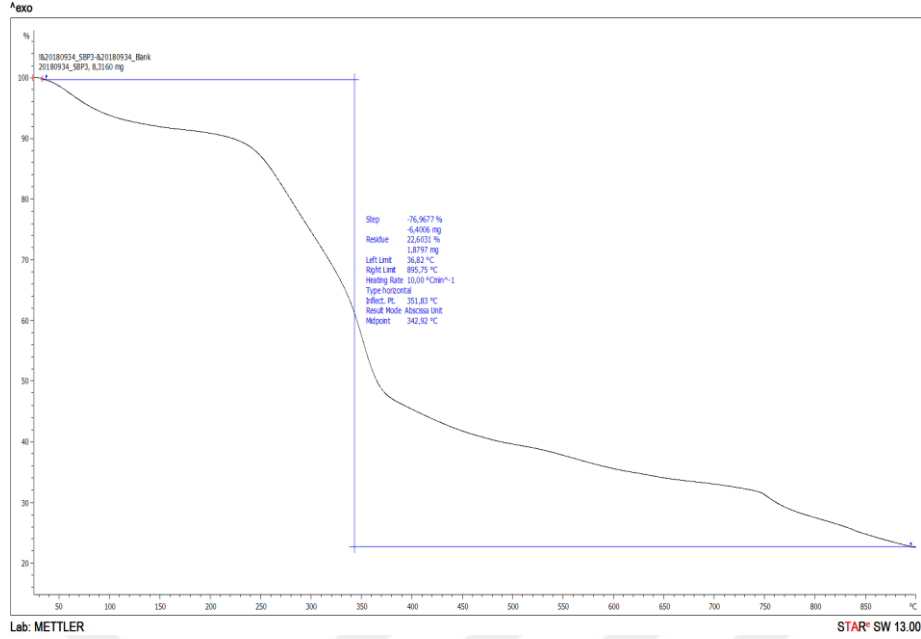
bozulmasından ve  $Fe_3O_4$ -ŞPK kompozitlerin gövdesinde organik bileşenlerin olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Reddy ve Lee, 2013). Nikel adsorplanmış  $Fe_3O_4$ -ŞPK malzemesinin termal özelliklerinin incelemesi için TG analizi  $10^\circ C/dk$  ısıtma hızında ve  $25-900^\circ C$  sıcaklıklarda yapılmış, Şekil 4.20'de görüldüğü üzere %76.9677'lik bir ağırlık kaybı tespit edilmiştir.



Şekil 4.18. ŞPK malzemesinin TGA Eğrisi



Şekil 4.19.  $Fe_3O_4$ -ŞPK malzemesinin TGA Eğrisi



Şekil 4.20. Nikel adsorplamış  $Fe_3O_4$ -ŞPK malzemesinin TGA Eğrisi

#### 4.5. Desorpsiyon prosesi

Desorpsiyon prosesi ağır metallerin geri kazanılması, adsorpsiyonda adsorban maddenin tekrar kullanılabilmesi, işlem maliyetinin düşürülmesi, ikincil atıkların oluşmasının önlenmesi veya minimum düzeyde getirilmesi için yapılan önemli çalışmalardan oluşmaktadır. Bu tez çalışmasında saf su, farklı derişimlerde HCl ve  $HNO_3$  çözeltileri kullanılarak nikel adsorplamış  $Fe_3O_4$ -ŞPK malzemesinin desorpsiyonu için yapılan çalışma sonuçları Çizelge 5.1’de verildi.

Çizelge 5.1. Farklı konsantrasyonlarda çözeltiler için nikel(II) iyonun desorpsiyon verimleri.

Çözelti türü	HCl			HNO <sub>3</sub>		
	0.1 N	0.5 N	1 N	0.1 N	0.5 N	1 N
Çözelti konsantrasyonu	0.1 N	0.5 N	1 N	0.1 N	0.5 N	1 N
Nikel geri kazanımı (%)	86.228	88.199	86.228	83.271	85.242	87.706

Desorpsiyon sonuçlarına bakıldığında  $HNO_3$  için 1 N ve HCl çözeltisi için 0.5 N optimum çözelti konsantrasyonu olarak seçilmiştir.  $Fe_3O_4$ -ŞPK nanomalzeme nikel(II) adsorpsiyon işlemi için tekrar kullanıldığında sırasıyla 0.5 N HCl ve 1 N  $HNO_3$  için %40.4, %36.8 nikel giderimi sonuçları elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara baktığımızda 2. döngüde yaklaşık %55 üstünde düşüş ortaya çıkmıştır. Genel olarak bakıldığında sentezlenmiş nanomalzemede geri kazanımın yüksek olduğu, fakat yeniden

kullanımında daha düşük verim elde edildiği görülmüştür. Malzemenin organik içeriğinden dolayı yeniden kullanım performansını yükseltmek için farklı desorpsiyon çözeltilerinin ve/veya tekniklerinin uygulanmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

Lunge ve ark., (2014) yaptığı çalışmada manyetik nanoparçacık  $Fe_3O_4$ -çay atığından As(III) iyonunu geri kazanımı ve tekrar kullanabilmesi için reaksiyon maddesi olarak 0.001 ve 0.1 M NaOH çözeltisi kullanılmıştır. Manyetik nanoparçacık  $Fe_3O_4$ -çay atığı beş döngüden sonra verim %99'dan %49'a düşmüştür. Diğer bir çalışmada (Ersal, 2013)  $\alpha$  ve  $\beta$ -sepiyolit adsorplamış olduğu nikel iyonlarının desorpsiyonu için 4 farklı (saf su, 0.1 M HCl, 0.25 M HCl ve 0.5 M HCl) reaktif kullanmışlardır. Kullanılan reaktiflerle  $\alpha$ -sepiyolit için %0.16, %54.75, %59.74 ve %65.2 ve  $\beta$ -sepiolit için %0.26, %21.65, %44.33 ve %70.57 (sırasıyla) sonuçlarını elde etmişlerdir. Saf su ile  $\alpha$  ve  $\beta$ -sepiyolit adsorplamış olduğu nikel iyonlarının çok azının geri alınabildiği görülmektedir. Bu nedenle saf suyun desorpsiyon için uygun olmadığı belirtilmiştir.

## 6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında bir endüstriyel atık olan şeker pancarı küspesinin uygun koşullarda  $Fe_3O_4$  ile birlikte sentezlenmesi, manyetik özelliğe sahip bir nanokompozitin elde edilmesi, yeniden kullanılabilirlik ve geri kazanım özelliklerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Elde edilen yeni kompozit materyalin su ortamından nikel iyonunun gideriminde etkinliği incelenmiş, ortam şartlarının giderim verimine etkisi belirlenmiş ve desorpsiyon çalışmaları yapılmıştır. Kompozit materyalin manyetizma özelliği arıtım sonrası malzemenin sudan kolay ayrışabilmesine katkı sağlamıştır. Bu tez çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Sulu çözeltilerden nikel iyonunu gidermek için kimyasal çöktürme yöntemi ile şeker pancar küspesinden manyetik özellikte bir kompozit üretildi.

- Üretilmiş adsorban madde ile nikel iyonu adsorpsiyonuna adsorban dozajı, pH, temas süresi ve başlangıç çözelti derişimi parametrelerinin etkileri araştırıldı.

- En uygun adsorban dozajı 20 mL nikel çözeltisinde 0.1 g ve en uygun pH değeri 6.6 olarak belirlendi. Adsorpsiyon dengesine ortam sıcaklığında, 200 rpm hızında ve 40 dakikada ulaşıldı.

- ŞPK- $Fe_3O_4$  kompozit materyali ile nikel iyonu adsorpsiyonu için elde edilen denge verilerinin Langmuir izoterm modeli ile daha uyumlu olduğu bulundu.

- Adsorpsiyon kinetiği çalışmaları adsorpsiyon sürecinin yalancı ikinci dereceden kinetik modele uygun olduğunu gösterdi.

- Manyetik ŞPK- $Fe_3O_4$  kompozitini karakterize etmek için SEM-EDX, FT-IR, TGA, BET ve XRD analizleri yapıldı.

- 0,5 N HCl ve 1 N  $HNO_3$  çözeltisi ile ŞPK- $Fe_3O_4$  kompozit materyali için sırasıyla % 88.199 ve % 87,706 desorpsiyon verimleri elde edildi.

Sonuç olarak endüstriyel bir atık olan şeker pancar küspesinin düşük maliyetli bir adsorban madde olarak manyetik nanoparçacık sentezlenmesi ve sulu çözeltilerden nikel iyonunun giderilmesinde adsorban olarak değerlendirilebileceği ve bu şekilde ekonomiye katkı sağlanabileceği belirlenmiştir. Bundan sonraki çalışmalarda şeker pancar küspesi ile elde edilen materyalin diğer kirleticilerin gideriminde kullanılabilirliği ve yeniden kullanımda farklı çözeltilerin etkinliği incelenebilir.

## KAYNAKLAR

- Ahmad, A. ve Hameed, B., 2009, Reduction of COD and color of dyeing effluent from a cotton textile mill by adsorption onto bamboo-based activated carbon, *Journal of Hazardous Materials*, 172 (2-3), 1538-1543.
- Akın, C., 2015, Demir oksit kaplı sepiolitle sulu çözeltilerden nikel ve kadmiyum giderimi, *ESOGÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi*.
- Akin, I., Arslan, G., Tor, A., Ersoz, M. ve Cengelöglu, Y., 2012, Arsenic (V) removal from underground water by magnetic nanoparticles synthesized from waste red mud, *Journal of Hazardous Materials*, 235, 62-68.
- Aksu, Z. ve İšoğlu, İ. A., 2005, Removal of copper (II) ions from aqueous solution by biosorption onto agricultural waste sugar beet pulp, *Process Biochemistry*, 40 (9), 3031-3044.
- Ali, R. M., Hamad, H. A., Hussein, M. M. ve Malash, G. F., 2016, Potential of using green adsorbent of heavy metal removal from aqueous solutions: adsorption kinetics, isotherm, thermodynamic, mechanism and economic analysis, *Ecological Engineering*, 91, 317-332.
- Altundogan, H. S., Bahar, N., Mujde, B. ve Tumen, F., 2007, The use of sulphuric acid-carbonization products of sugar beet pulp in Cr (VI) removal, *Journal of Hazardous Materials*, 144 (1-2), 255-264.
- Amarasinghe, B. ve Williams, R., 2007, Tea waste as a low cost adsorbent for the removal of Cu and Pb from wastewater, *Chemical Engineering Journal*, 132 (1-3), 299-309.
- Arslan, M., 2012, Manyetik  $\beta$ -siklodekstrin nanopartiküllerin sentezi ve bazı kiral karboksilik asitlere karşı ekstraksiyon özelliklerinin incelenmesi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi*.
- Aruntaş, H., 2006, Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21 (1).
- Aşık, B. ve Katkat, A. V., 2004, Gıda sanayi arıtma tesisi atığının (arıtma çamuru) tarımsal alanlarda kullanım olanakları, *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18 (2), 59-71.
- Bayram, A. ve Önsoy, H., 2011, HARŞİT ÇAYI (GİRESUN-TİREBOLU) TARAFINDAN KARADENİZE TAŞINAN KİRLETİCİLERİN BELİRLENMESİ, 7. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, 545-555.
- Bhatnagar, A., Minocha, A., Kim, S. ve Jeon, B., 2007, Removal of some metal ions from water using battery industry waste and its cement fixation, *Fresenius Environmental Bulletin*, 16 (1), 99-103.
- Bhatnagar, A. ve Minocha, A. K., 2009, Utilization of industrial waste for cadmium removal from water and immobilization in cement, *Chemical Engineering Journal*, 150 (1), 145-151.
- Bradl, H. B., 2004, Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents, *Journal of colloid and interface science*, 277 (1), 1-18.
- Çağlar, G. A., 2007, Endüstriyel Atık Malzemelerin Karayollarında Kullanımı, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi*.
- Chakravarty, S., Pimple, S., Chaturvedi, H. T., Singh, S. ve Gupta, K., 2008, Removal of copper from aqueous solution using newspaper pulp as an adsorbent, *Journal of Hazardous Materials*, 159 (2-3), 396-403.
- Chang, Q. ve Wang, G., 2007, Study on the macromolecular coagulant PEX which traps heavy metals, *Chemical Engineering Science*, 62 (17), 4636-4643.
- Chen, G., He, Z., Stoffella, P., Yang, X., Yu, S., Yang, J. ve Calvert, D., 2006, Leaching potential of heavy metals (Cd, Ni, Pb, Cu and Zn) from acidic sandy soil

- amended with dolomite phosphate rock (DPR) fertilizers, *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 20 (2), 127-133.
- Çokadar, H., İleri, R., Ateş, A. ve İzgi, B., 2003, Nikel (II) iyonunun sulu ortamdan granül aktif karbon (GAK) ile giderilmesi, *Ekoloji çevre dergisi*, 46, 38-42.
- Demir, R., 2005, Vişne çekirdeğinden üretilen aktif karbon ile sudan nikel giderimi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.
- Denkhaus, E. ve Salnikow, K., 2002, Nickel essentiality, toxicity, and carcinogenicity, *Critical reviews in oncology/hematology*, 42 (1), 35-56.
- Erdin, N., 1987, Tarama elektron mikroskopunun temel prensipleri ve numune hazırlığı, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 102-124.
- Ersal, E. K., 2013, Sepiolit ile sulu çözeltilerden Ni (II) iyonunun giderilmesi, *ESOGÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.
- Freundlich, H., 1906, Over the adsorption in solution, *J. Phys. Chem*, 57 (385471), 1100-1107.
- Gautam, R. K., Gautam, P. K., Banerjee, S., Soni, S., Singh, S. K. ve Chattopadhyaya, M. C., 2015, Removal of Ni (II) by magnetic nanoparticles, *Journal of molecular liquids*, 204, 60-69.
- Gérente, C., du Mesnil, P. C., Andrés, Y., Thibault, J.-F. ve Le Cloirec, P., 2000, Removal of metal ions from aqueous solution on low cost natural polysaccharides: sorption mechanism approach, *Reactive and Functional Polymers*, 46 (2), 135-144.
- Gharaibeh, S., Wa'il, Y. ve Al-Kofahi, M., 1998, Removal of selected heavy metals from aqueous solutions using processed solid residue of olive mill products, *Water research*, 32 (2), 498-502.
- Gümüş, D. ve Gümüş, F., 2018, Potasyum permanganat kaplı zeolit ve demir oksit kaplı zeolitle metil oranjin adsorpsiyon çalışmaları, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21 (1), 43-54.
- Gupta, V. ve Nayak, A., 2012, Cadmium removal and recovery from aqueous solutions by novel adsorbents prepared from orange peel and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles, *Chemical Engineering Journal*, 180, 81-90.
- Gupta, V. K. ve Ali, I., 2004, Removal of lead and chromium from wastewater using bagasse fly ash—a sugar industry waste, *Journal of colloid and interface science*, 271 (2), 321-328.
- Gupta, V. K., Rastogi, A. ve Nayak, A., 2010, Adsorption studies on the removal of hexavalent chromium from aqueous solution using a low cost fertilizer industry waste material, *Journal of colloid and interface science*, 342 (1), 135-141.
- Hall, K. R., Eagleton, L. C., Acrivos, A. ve Vermeulen, T., 1966, Pore-and solid-diffusion kinetics in fixed-bed adsorption under constant-pattern conditions, *Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals*, 5 (2), 212-223.
- Hasar, H., 2003, Adsorption of nickel (II) from aqueous solution onto activated carbon prepared from almond husk, *Journal of Hazardous Materials*, 97 (1-3), 49-57.
- Ho, Y., Porter, J. ve McKay, G., 2002, Equilibrium isotherm studies for the sorption of divalent metal ions onto peat: copper, nickel and lead single component systems, *Water, air, and soil pollution*, 141 (1-4), 1-33.
- İleri, B., 2018, Ultrases Prosesi ile Modifiye Edilen Uçucu Kül Kullanılarak Metil Kırmızısı Boyasının Adsorpsiyon Prosesi ile Giderimi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 21 (61), 25-40.
- İleri, R., Sümer, B. ve Şengörür, B., 1993, Biyosorpsiyon kinetiği ve izotermelerinin araştırılması, *Ekoloji çevre dergisi*, 7, 39-45.

- Katip, A., Karaer, F. ve Özenin, N., 2014, Otomotiv Sektörünün Çevresel Açından Değerlendirilmesi, *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 19 (2), 51-65.
- Kılıçer, T., 2006, Malatya 1. Organize Sanayi Bölgesi Atık Suyunun Aktif Karbon, Zeolit ve Ozon Kullanılarak Arıtımının İncelenmesi. İnönü Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi*, 84.
- Kim, C., ELMAS, K. P. D. M. ve İŞMAN, A., 2013, ISTECCoordinator-International Science and Technology, *Proceedings Book ISSN*, 2146, 7382.
- Kodama, R., 1999, Magnetic nanoparticles, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 200 (1-3), 359-372.
- Kozak, M., 2010, Tekstil atıkların yapı malzemesi olarak kullanım alanlarının araştırılması, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 6 (1), 62-70.
- Küçükgül, E. Y. ve Kutlu, S., 2006, Çinko ve Bakırın Sulu Çözeltilerde Aktif Karbonla Tekli Adsorpsiyonu, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8 (2), 21-30.
- Langmuir, I., 1916, The constitution and fundamental properties of solids and liquids. Part I. Solids, *Journal of the American chemical society*, 38 (11), 2221-2295.
- Laurent, S., Forge, D., Port, M., Roch, A., Robic, C., Vander Elst, L. ve Muller, R. N., 2008, Magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis, stabilization, vectorization, physicochemical characterizations, and biological applications, *Chemical reviews*, 108 (6), 2064-2110.
- López-Téllez, G., Barrera-Díaz, C. E., Balderas-Hernández, P., Roa-Morales, G. ve Bilyeu, B., 2011, Removal of hexavalent chromium in aquatic solutions by iron nanoparticles embedded in orange peel pith, *Chemical Engineering Journal*, 173 (2), 480-485.
- Lopez, J. A., González, F., Bonilla, F. A., Zambrano, G. ve Gómez, M. E., 2010, Synthesis and characterization of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> magnetic nanofluid, *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 30 (1), 60-66.
- Lunge, S., Singh, S. ve Sinha, A., 2014, Magnetic iron oxide (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) nanoparticles from tea waste for arsenic removal, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 356, 21-31.
- Malkoc, E. ve Nuhoglu, Y., 2005, Investigations of nickel (II) removal from aqueous solutions using tea factory waste, *Journal of Hazardous Materials*, 127 (1-3), 120-128.
- Malkoc, E., 2006, Ni (II) removal from aqueous solutions using cone biomass of Thuja orientalis, *Journal of Hazardous materials*, 137 (2), 899-908.
- Mata, Y., Blázquez, M., Ballester, A., González, F. ve Munoz, J., 2009, Sugar-beet pulp pectin gels as biosorbent for heavy metals: preparation and determination of biosorption and desorption characteristics, *Chemical Engineering Journal*, 150 (2-3), 289-301.
- Mendoza-Castillo, D., Rojas-Mayorga, C., García-Martínez, I., Pérez-Cruz, M., Hernández-Montoya, V., Bonilla-Petriciolet, A. ve Montes-Morán, M., 2015, Removal of heavy metals and arsenic from aqueous solution using textile wastes from denim industry, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 12 (5), 1657-1668.
- Mohamed, F. S., Khater, W. ve Mostafa, M., 2006, Characterization and phenols sorptive properties of carbons activated by sulphuric acid, *Chemical Engineering Journal*, 116 (1), 47-52.
- Murat, S., 2007, Aktif karbon ile sulu çözeltilerden nikel gideriminde kolon çalışmaları, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*.



- Nithya, K., Sathish, A., Kumar, P. S., & Ramachandran, T. (2018). Fast kinetics and high adsorption capacity of green extract capped superparamagnetic iron oxide nanoparticles for the adsorption of Ni (II) ions. *Journal of industrial and engineering chemistry*, 59, 230-241.
- Oliveira, D. Q., Gonçalves, M., Oliveira, L. C. ve Guilherme, L. R., 2008, Removal of As (V) and Cr (VI) from aqueous solutions using solid waste from leather industry, *Journal of Hazardous Materials*, 151 (1), 280-284.
- Ono, D., Bamba, T., Oku, Y., Yonetani, T. ve Fukusaki, E., 2011, Application of Fourier transform near-infrared spectroscopy to optimization of green tea steaming process conditions, *Journal of bioscience and bioengineering*, 112 (3), 247-251.
- Organization, W. H., 2004, Permethrin in drinking-water: background document for development of WHO guidelines for drinking-water quality, 15.
- Organization, W. H., 2008, Guidelines for drinking-water quality: second addendum. Vol. 1, Recommendations, World Health Organization, p.
- Özcan, A. S., 2010, Doğal bentonitin karakterizasyonu ve kurşun (II) iyonlarını adsorpsiyon yeteneği, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12 (2), 85-97.
- Panneerselvam, P., Morad, N. ve Tan, K. A., 2011, Magnetic nanoparticle (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) impregnated onto tea waste for the removal of nickel (II) from aqueous solution, *Journal of Hazardous materials*, 186 (1), 160-168.
- Rabbani, M., Rafiee, F., Ghafuri, H. ve Rahimi, R., 2016, Synthesis of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanoparticles via a fast and facile mechanochemical method: Modification of surface with porphyrin and photocatalytic study, *Materials Letters*, 166, 247-250.
- Reddad, Z., Gérente, C., Andrès, Y., Ralet, M.-C., Thibault, J.-F. ve Le Cloirec, P., 2002, Ni (II) and Cu (II) binding properties of native and modified sugar beet pulp, *Carbohydrate Polymers*, 49 (1), 23-31.
- Reddy, D. H. K. ve Lee, S.-M., 2013, Application of magnetic chitosan composites for the removal of toxic metal and dyes from aqueous solutions, *Advances in Colloid and Interface Science*, 201, 68-93.
- Saygideger, S., Gulnaz, O., Istifli, E. S. ve Yucel, N., 2005, Adsorption of Cd (II), Cu (II) and Ni (II) ions by Lemna minor L.: effect of physicochemical environment, *Journal of Hazardous Materials*, 126 (1-3), 96-104.
- Shukla, S. S., Yu, L. J., Dorris, K. L. ve Shukla, A., 2005, Removal of nickel from aqueous solutions by sawdust, *Journal of Hazardous Materials*, 121 (1-3), 243-246.
- Sirkecioğlu, A., 1993, Bigadiç klinoptilolit rezervinin NH<sup>+</sup><sub>4</sub> değişimi ve CO<sub>2</sub> adsorpsiyonu yardımıyla karakterizasyonu, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*.
- Tandon, P. K., Shukla, R. C. ve Singh, S. B., 2013, Removal of arsenic (III) from water with clay-supported zerovalent iron nanoparticles synthesized with the help of tea liquor, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 52 (30), 10052-10058.
- Tantekin, T., 2006, Malatya tekstil fabrikalarında kullanılan çeşitli boyaların atık kaysıdan elde edilen aktif karbon ile adsorpsiyonunun incelenmesi, İnönü Üniversitesi, Yüksek lisans tezi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya*.
- Uysal, M., 2004, Endüstriyel Atık sulardan Cr (VI)'nın adsorpsiyon yöntemiyle giderilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*.

- Villaescusa, I., Fiol, N., Martínez, M. a., Miralles, N., Poch, J. ve Serarols, J., 2004, Removal of copper and nickel ions from aqueous solutions by grape stalks wastes, *Water research*, 38 (4), 992-1002.
- Viraraghavan, T., Subramanian, K. ve Aruldoss, J., 1999, Arsenic in drinking water-problems and solutions, *Water Science and Technology*, 40 (2), 69-76.
- Walker Jr, P., 1972, Activated carbon: Surface chemistry and adsorption from solution, *Journal of colloid and interface science*, 40, 129-130.
- Yiğit, K., 2015, POLİANİLİN VE ŞEKER PANCARI POSASINDAN ELDE EDİLEN KOMPOZİTLERİN ATIK SULARDAN NİKEL VE BAKIRIN UZAKLAŞTIRILMASINDA ADSORBENT OLARAK KULLANILMASI, *Yüksek Lisans Tezi*.
- Yu, H., Pang, J., Ai, T. ve Liu, L., 2016, Biosorption of Cu<sup>2+</sup>, Co<sup>2+</sup> and Ni<sup>2+</sup> from aqueous solution by modified corn silk: Equilibrium, kinetics, and thermodynamic studies, *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 62, 21-30.
- Yuşan, S., 2016, U (VI) iyonlarının ham ve modifiye edilmiş diatomit üzerine adsorpsiyon özelliklerinin kinetik ve termodinamik olarak incelenmesi, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 13 (3), 761-768.
- Zorluer, İ. ve Usta, M., 2003, Zeminlerin Atık Mermer Tozu İle İyileştirilmesi, *TürkiyeIV Mermer Sempozyumu(MERSEM '2003)*.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Sayed Mohammad Osman SADAT  
**Uyruğu** : Afganistan  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : 08-09-1993 Balkh/Afganistan  
**Telefon** : 5318868668  
**Faks** :  
**E-Posta** : osmansadat0@gmail.com

### EĞİTİM

Derece	Adı	İl	Bitirme Yılı
Lise	: İstiqlal Lisesi	Balkh	2010
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi	Konya	2017
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi	Konya	2019

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2014	ASAT Genel Müdürlüğü	Stajyer
2016	KOSKİ Genel Müdürlüğü	Stajyer
2018	KOSKİ Genel Müdürlüğü	Eğitimci

**YABANCI DİLLER:** İngilizce, Farsça

### YAYINLAR

Sadat S.M.O., Küçükçongar S., Türkyılmaz M., “REMOVAL OF NICKEL USING Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> IMPREGNATED ONTO SUGAR BEET PULP FROM AQUATIC ENVIRONMENTS”, 14th International Scientific Conference Students on Their Way to Science, April 26, 2019, Jelgava, Latvia (Yüksek Lisans tezinden yapılmıştır).