

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

**ALICI ORTAM SEDİMENTİNDE OLUŞABİLECEK BOYAR  
MADDE KİRLİLİĞİNİN GİDERİMİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Nurdan GÜÇ**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Mart 2023**



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

**ALICI ORTAM SEDİMENTİNDE OLUŞABİLECEK BOYAR  
MADDE KİRLİLİĞİNİN GİDERİMİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Nurdan GÜÇ**

**Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Asude ATEŞ**

**Ortak Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hülya DEMİREL**

**Mart 2023**



Nurdan GÜÇ tarafından hazırlanan “Alıcı Ortam Sedimentinde Oluşabilecek Boyar Madde Kirliliğinin Gideriminin Araştırılması” adlı tez çalışması 09.03.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

### Tez Jürisi

<b>Jüri Başkanı :</b>	<b>Doç. Dr. Ömer Hulusi DEDE</b> Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi	.....
<b>Jüri Üyesi :</b>	<b>Dr. Öğr. Üyesi Rabia KÖKLÜ</b> Sakarya Üniversitesi	.....
<b>Jüri Üyesi :</b>	<b>Doç. Dr. Asude ATEŞ (Danışman)</b> Sakarya Üniversitesi	.....



## **ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ**

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “Alıcı Ortam Sedimentinde Oluşabilecek Boyar Madde Kirliliğinin Gideriminin Araştırılması” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin aboneliği olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, etik kurul onay belgesi aldığımı çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(09/03/2023)

Nurdan GÜÇ





*Kıymetli anneme ve babama,*



## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bilgi ve tecrübelerini benim ile paylaşan, manevi desteğini her zaman yanımda hissettiğim, samimiyetini ve güler yüzünü benden esirgemeyen kıymetli hocam Doç. Dr. Asude Ateş'e; her sorun yaşadığımda eşsiz bir sabır ve ilgiyle sorunlarıma çözüm bulan, laboratuvar imkanları konusunda yardımını asla esirgemeyen, yaptığı motive edici konuşmalarla tez çalışmama odaklanmamı sağlayan çok değerli hocam Doç. Dr. Esra ALTINTIĞ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Geçirdiğim zorlu yüksek lisans tez aşaması sürecimde maddi ve manevi imkanlarını her zaman yanımda hissettiğim, hiçbir fedakarlığı benden esirgemeyen, her sorunuma sabır ve titizlikle çözüm bulan, verdiği her türlü destek için değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Hülya DEMİREL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın en büyük şansı olan, her düştüğümde beni kaldıran, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman benden esirgemeyen, her zaman her koşulda beni güçlü hissettiren canım babam Şenol GÜÇ'e; en kıymetlim canım annem Hatice GÜÇ'e; her yönüyle eşsiz örnek olan ablalarım Melike AYDIN ve Nazan DEVECİ'ye hayatıma kattıkları güzellikler için sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışmamın başlangıcından sonuna kadar bilgi ve tecrübelerini büyük bir içtenlik ve sabırla benim ile paylaşan, motive edici konuşmaları, gülyüzü ve tüm samimiyetiyle yanıbaşımdayken olan çok kıymetli canım arkadaşım Zehra TOPAL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Nurdan GÜÇ



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ</b> .....	<b>v</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>ix</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>xi</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>SİMGELER</b> .....	<b>xv</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>xvii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>xix</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>xxi</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>xxiv</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Literatür Çalışması .....	3
<b>2. GENEL BİLGİLER</b> .....	<b>11</b>
2.1. Boyar Madde .....	11
2.1.1 Boyar maddelerinin sınıflandırılması.....	11
2.1.2. Boyar madde giderim yöntemleri .....	11
2.2. Adsorpsiyon .....	12
2.2.1. Kimyasal adsorpsiyon .....	13
2.2.2. Fiziksel adsorpsiyon.....	13
2.3. Adsorpsiyona Etki Eden Faktörler .....	13
2.3.1. pH.....	13
2.3.2. Başlangıç boyar madde konsantrasyonu .....	13
2.3.3. Sıcaklık.....	14
2.3.4. Adsorban miktarı.....	14
2.3.5. Temas süresi.....	14
2.4. Adsorpsiyon İzotermi.....	14
2.4.1. Langmuir izoterm modeli.....	14
2.4.2. Freundlich izoterm modeli .....	15
2.4.3. Brunauer-Emmett-Teller (BET) izoterm modeli .....	15
2.5. Adsorpsiyon Kinetiği .....	16
2.5.1. Yalancı birinci derece ve yalancı ikinci derece kinetik modeli .....	16
2.6. Adsorpsiyon Termodinamiği.....	17
2.7. Desorpsiyon.....	18
<b>3. MATERYAL VE METOD</b> .....	<b>19</b>
3.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler .....	19
3.2. Kullanılan Cihazlar .....	19
3.3. Hammadde ve Hazırlanması .....	20
3.4. Boyar Madde Çözeltilerinin Hazırlanması.....	20
3.6. Desorpsiyon Prosesi .....	22
<b>4. DENEYSEL BULGULAR</b> .....	<b>23</b>
4.1. FTIR Analizi .....	23
4.2. SEM ve EDS Görüntüleri.....	25

4.3. TGA Görüntüleri .....	26
4.4. pH'ın Metilen Mavisi Giderim Verimine Etkisi .....	27
4.5. S – Fe3O4 Miktarı ve Başlangıç Boyar Madde Konsantrasyonunun Giderim Verimine Etkisi.....	30
4.6. Karıştırma Süresinin Giderim Verimi Üzerine Etkisi .....	32
4.7. Adsorpsiyon İzotermi.....	34
4.8. Adsorpsiyon Termodinamiği.....	37
4.9. Adsorpsiyon Kinetiği.....	39
4.10. Desorpsiyon.....	41
<b>5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME .....</b>	<b>43</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>45</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>50</b>

## **KISALTMALAR**

<b>BET</b>	: Brunauer-Emmet-Teller
<b>EDS</b>	: Energy Dispersive Spectroscopy
<b>FTIR</b>	: Fourier Transform Infrared
<b>SEM</b>	: Scanning Electron Microscope
<b>UV-VIS</b>	: Ultraviolet-visible spectroscopy
<b>S-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub></b>	: Demir yüklü sediment
<b>MM</b>	: Metilen mavisi
<b>TGA</b>	:Termogravimetrik Analiz





## SİMGELER

<b>%</b>	: Yüzde
<b><math>\Delta G^\circ</math></b>	: Gibbs serbest enerji değişimi
<b><math>\Delta H^\circ</math></b>	: Entalpi değişimi
<b><math>\Delta S^\circ</math></b>	: Entropi değişimi
<b>Al</b>	: Alüminyum
<b>C</b>	: Karbon
<b>Ca</b>	: Kalsiyum
<b>cm</b>	: Santimetre
<b>D</b>	: Desorpsiyon miktarı
<b>dk</b>	: Dakika
<b>g</b>	: Gram
<b>HCl</b>	: Hidroklorik asit
<b>K</b>	: Kelvin
<b>kcal</b>	: Kilokalori
<b>kg</b>	: Kilogram
<b>kJ</b>	: Kilojoule
<b>L</b>	: Litre
<b>max</b>	: Maximum
<b>Mg</b>	: Magnezyum
<b>mg</b>	: miligram
<b>ml</b>	: mililitre
<b>nm</b>	: Nanometre
<b>ppm</b>	: Parts per million
<b>rpm</b>	: Revolutions per minute
<b><math>R^2</math></b>	: Korelasyon katsayısı
<b>NaOH</b>	: Sodyum hidroksit
<b><math>\lambda</math></b>	: Dalga boyu



## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 4.1.</b> pH'ın MM giderimine etkisine ait verileri (50 mg/L ,75 mg/L).....	28
<b>Tablo 4.2.</b> pH'ı MM giderimine etkisine ait verileri (100 mg/L,150 mg/L).....	28
<b>Tablo 4.3.</b> pH'ın MM giderimine etkisine ait verileri (200 mg/L, 300 mg/L).....	29
<b>Tablo 4.4.</b> Farklı S – Fe3O4 miktarının giderim verimine etkisi (50 mg/L,75 mg/L). .....	30
<b>Tablo 4.5.</b> Farklı S – Fe3O4 miktarının giderim verimine etkisi(100mg/L,150mg/L). .....	31
<b>Tablo 4.6.</b> Farklı S- Fe3O4 miktarının giderim verimine etkisi(200 mg/L,300 mg/L). .....	31
<b>Tablo 4.7.</b> Karıştırma süresinin giderim verimine etkisi (50 mg/L 75 mg/L).....	32
<b>Tablo 4.8.</b> Karıştırma süresinin giderim verimine etkisi (100 mg/L, 150 mg/L).....	33
<b>Tablo 4.9.</b> Karıştırma süresinin giderim verimine etkisi (200 mg/L, 300 mg/L).....	33
<b>Tablo 4.10.</b> S – Fe3O4 ile MM adsorplama Langmuir izoterm verileri (298K) .....	34
<b>Tablo 4.11.</b> S – Fe3O4 ile MM adsorplama Langmuir izoterm verileri (303K). .....	35
<b>Tablo 4.12.</b> S – Fe3O4 ile MM adsorplama Langmuir izoterm verileri (308K). .....	36
<b>Tablo 4.13.</b> Langmuir izotermi denklem parametreleri. ....	37
<b>Tablo 4.14.</b> Freundlich izotermi denklem parametreleri. ....	37
<b>Tablo 4.15.</b> S – Fe3O4 için elde edilen termodinamik veriler. ....	38
<b>Tablo 4.16.</b> Farklı MM konsantrasyonlarına ait kinetik verileri. ....	41



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1. Adsorpsiyon ve desorpsiyon işlemleri.....	18
Şekil 3.1. MM boyar maddesi açık formülü (Sharifi ve ark.,2018).....	19
Şekil 3.2. Laboratuvarda S-Fe3O4 hazırlanması.....	20
Şekil 3.3. UV-VIS Spektrofotometre için hazırlanan numuneler.....	21
Şekil 3.4. Adsorpsiyon sonrası değişim.....	21
Şekil 3.5. Desorpsiyon ardından numunelerdeki değişim.....	22
Şekil 4.1. Ham sedimentin FTIR grafiği.....	23
Şekil 4.2. S-Fe3O4'e ait FTIR grafiği.....	24
Şekil 4.3. MM ile adsorpsiyon süreci sonrası S-Fe3O4 numunesi grafiği.....	24
Şekil 4.4. Ham sedimente ait SEM görüntüleri.....	25
Şekil 4.5. S-Fe3O4 ait SEM görüntüleri.....	25
Şekil 4.6. MM ile adsorpsiyon sonrası SEM görüntüleri.....	26
Şekil 4.7. S-Fe3O4 ait EDS analiz verileri.....	26
Şekil 4.8. Ham sedimente ait TGA grafiği.....	27
Şekil 4.9. Adsorpsiyon sonrası S-Fe3O4 ait TGA grafiği.....	27
Şekil 4.10. Başlangıç pH ile boyar madde giderim verimindeki değişimi.....	29
Şekil 4.11. Farklı S-Fe3O4 miktarının giderim verimine ait veriler.....	31
Şekil 4.12. Karıştırma süresinin giderim verimine etkisi grafiği.....	33
Şekil 4.13. S-Fe3O4 ile MM adsorplama Langmuir izoterm grafiği (298K).....	34
Şekil 4.14. S-Fe3O4 ile MM adsorplama Freundlich izoterm grafiği (298K).....	35
Şekil 4.15. S-Fe3O4 ile MM adsorplama Langmuir izoterm grafiği (303K).....	35
Şekil 4.16. S-Fe3O4 ile MM adsorplama Freundlich izoterm grafiği (303K).....	36
Şekil 4.17. S-Fe3O4 ile MM adsorplama Langmuir izoterm grafiği (308K).....	36
Şekil 4.18. S-Fe3O4 ile MM adsorplama Freundlich izoterm grafiği (308K).....	37
Şekil 4.19. S-Fe3O4'ün sıcaklığa bağlı değişim grafiği.....	38
Şekil 4.20. MM(100 mg/L) adsorpsiyonunun yalancı 1.dereceden kinetiği.....	39
Şekil 4.21. MM(100 mg/L) adsorpsiyonunun yalancı 2.dereceden kinetiği.....	40
Şekil 4.23. MM(200mg/L) adsorpsiyonunun yalancı 1.dereceden kinetiği.....	40
Şekil 4.22. MM(200 mg/L) adsorpsiyonunun yalancı 2.dereceden kinetiği.....	40
Şekil 4.24. MM(300 mg/L) adsorpsiyonunun yalancı 1.dereceden kinetiği.....	40
Şekil 4.25. MM(300 mg/L) adsorpsiyonunun yalancı 2.dereceden kinetiği.....	41
Şekil 4.26. S-Fe3O4 'ün geri dönüşüm verimi (sıcaklık: 298 K, adsorban miktarı: 0,1g/100 mL, karıştırma hızı: 120 rpm, temas süresi: 60 dk, pH7, çözücü: 0,1 M NaOH).....	42



## ALICI ORTAM SEDİMENTİNDE OLUŞABİLECEK BOYAR MADDE KİRLİLİĞİNİN GİDERİMİNİN ARAŞTIRILMASI

### ÖZET

Yüzeysel sular insan aktiviteleri ve çevre için büyük önem taşımaktadır. Temel olarak içme suyu olarak kullanılmasının yanında tarım, hayvancılık, sanayi sektörü ve atıksu arıtımında da yüzeysel sulara ihtiyaç duyulmaktadır. Yüzeysel sular çeşitli nedenlerle kirletilmektedir. Su kirliliği, içinde toksik maddeler bulunan atıksuların kontrolsüz bir şekilde yüzeysel sulara deşarj edilmesiyle meydana gelmektedir. Bu kirlilik suda ve su çevresinde yaşayan canlıları kötü yönde etkilediği gibi çeşitli türlerin de yok olmasına yol açmaktadır. Buna ek olarak su kirliliği birçok salgın hastalığın da temel nedeni olarak görülmektedir. Bu nedenle yüzeysel suların kirletilmemesi adına önlemler alınması büyük önem arz ettiği gibi yüzeysel sular kirletildiğinde sularda hangi tepkimelerin meydana geldiği, suların bu toksik maddelere karşı nasıl bir davranış sergilediği ve suların gelen kirlilik yükünü ne kadar taşıyabileceğini de tespit etmek önemlidir. Bilinçsiz ve kontrolsüz şekilde nüfus artışı sanayi ve endüstrilere ihtiyaç oranını arttırmaktadır. Sanayi sektörünün yaygınlaşması da aynı oranda yüzeysel suların kirlilik oranını arttırmaktadır. Günümüzde çeşitli endüstriler atıksularını yönetmeliklere uygun olmayan koşullarda kontrolsüz bir şekilde yüzeysel sulara deşarj etmektedir.

Tekstil, deri, kağıt, matbaa ve plastik endüstrileri günümüzde sıkça kullanılan sanayi sektörleridir. Bu sektörlerde ürünlere renk vermek amaçlı boyar maddeler kullanılmaktadır. Boyar maddeler doğal boyar madde ve sentetik boyar madde olarak iki grupta gruplandırılmaktadır. Sentetik boyar maddeler bozulmaya karşı dirençli olduklarından dolayı sanayi sektöründe daha çok tercih edilmektedir. Boyar maddeler arasında metilen mavisi en çok tercih edilen katyonik bir boyar maddedir. Boyar madde içeren atıksular yüzeysel sulara karıştığında çevre ve insan sağlığı tehlike altına girmektedir. Boyar maddeler karaciğer fonksiyon bozukluğu, beyin ve sinir fonksiyon bozukluğu ve kansorejenik etkilere neden olmaktadır. Bu nedenle bu maddelerin yüzeysel sularda nasıl bir etki oluşturduğu, yüzeysel suların dip sedimentlerinde nasıl bir davranış sergilediği, dip sedimentlerin ne kadar boyar madde yükü taşıyabileceğini araştırmak önem arz etmektedir. Bu çalışmada sediment ve boyar madde kirliliği arasındaki ilişki adsorpsiyon prosesi benimsenerek araştırılmıştır.

Yüzeysel sular sanayi, endüstri ve evsel atıklarla doğrudan ya da dolaylı olarak kirletilmektedir. Bu da suların çevre ve insan faaliyetleri için kullanımını sınırlamaktadır. Yüzeysel sulara gelen kirlilik yükü sularda zamanla alt katmanlara doğru inmektedir. Kirlilik yüzeysel suların üst, orta ve alt kısımlarında birikebilmektedir. Kirlilik suların çeşitli katmanlarında farklı tepkimeler gösterebilmektedir. İçme suyu olarak kullanılan atıksular çeşitli arıtım sistemlerinden geçirilerek insan faaliyeti kullanımına sunulmaktadır. Endüstriler ve sanayi kuruluşları çeşitli kimyasallar kullanmaktadır. Son yıllarda özellikle tekstil, matbaa ve plastik sektöründeki üretim artmıştır. Bu endüstrilerden çeşitli toksik maddeler ve

kimyasal atık sular dolaylı ya da direkt olarak çevreye ve yüzeysel sulara deşarj edilmektedir. Bu da yüzeysel sulara büyük kirlilik yüküne neden olmaktadır. Bu kirlilik yükü zamanla yüzeysel suların en alt katmanına kadar inebilmektedir. Böylelikle yüzeysel suların en alt katmanında bulunan sedimentte çeşitli kirlilik yükleri meydana gelmektedir. Sedimentin bu kirliliği yükü ne kadar taşıyabileceği, ne kadarını bünyesinde biriktirdiği ne kadarını tekrardan yüzeysel sulara geri aktardığı, hangi kimyasal tepkimelerin meydana geldiği önemli bir konudur. Bu çalışma ile gelen bu kirlilik yüküne sedimentin uyguladığı davranış adsorpsiyon prosesi benimsenerek incelenmiştir.

Sapanca Gölü, Marmara Bölgesinde içme suyu ve sulama gibi ihtiyaçlar için kullanılan en önemli tatlı su kaynaklarından biridir. Göl, çevresindeki yerleşim bölgeleri, sanayi kuruluşları ve karayolundan gelen kirleticiler tarafından kirliliğe maruz bırakılmaktadır. Bu çalışmada göl sedimenti ve gelen boyar madde kirliliğinin arasındaki ilişki, sedimentin gelen boyar madde yükünü ne kadar taşıdığı, sedimentin bu kirliliğe karşı ne tür davranışlar geliştireceği adsorpsiyon prosesi benimsenerek araştırılmış olup, çalışma göl parametrelerine uygun şartlar altında sürdürülmüştür. Bu çalışmanın konusu kontrolsüzce çevreye salınan boyar maddelerin alıcı ortamda nasıl bir etki oluşturduğunu gözlemlemektir. Ayrıca bu çalışma ile yüzeysel suların alt katmanında bulunan sedimentin ne kadar yük taşıyabileceği, bu gelen kirliliğe karşı nasıl bir tepki gösterdiği incelenecektir. Benimsenen adsorpsiyon prosesi yardımı ile farklı parametrelerin giderim verimini ne yönde değiştiği araştırılacaktır. Bu çalışmada pH, sıcaklık, adsorban miktarı, başlangıç boyar madde konsantrasyonları, temas süresi parametrelerinin adsorpsiyon sürecine etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada amaç sedimentin gelen kirlilik yükünün ne kadarını taşıyabileceğini hesaplamak, göl parametrelerine uygun şartlarda çalışarak suyun ve sedimentin gösterdiği tepkiyi gözlemlemek, sedimentin gelen kirliliğe karşı gösterdiği davranışı incelemektir.

Yapılan adsorpsiyon deneyi çalışmaları sonucunda pH 7, 25 °C, 0,5 gram adsorban miktarı ve 100 mg/L boyar madde konsantrasyonu ile optimum adsorpsiyon verimi sağlanmıştır. Bu da sedimentin bu şartlarda boyar maddeyi tuttuğu ve yüzeysel sulara boyar maddeyi indirmediği sonucunu göstermiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda yapılan hesaplamalar ile adsorpsiyon denge verilerinin Langmuir modeline daha uygun olduğu belirlenmiştir Adsorpsiyon kinetik analizlerine göre yalancı birinci dereceye uygun olduğu görülmüştür. Negatif  $\Delta G^\circ$  değerleri adsorpsiyon işleminin kendiliğinden oluştuğunu ve hesaplanan  $\Delta H^\circ$  değerinin pozitif olması prosesin endotermik olduğunu göstermektedir. Tüm bu sonuçlar ışığında, gelen kirlilik yükünün optimum şartlarda sediment tarafından tutulduğu sonucuna varılmıştır.





## **INVESTIGATION OF THE REMOVAL OF DYE POLLUTION THAT MAY OCCUR IN THE RECIPIENT SEDIMENT**

### **SUMMARY**

Surface waters are of great importance for human activities and the environment. In addition to being basically used as drinking water, surface water is also needed in agriculture, animal husbandry, industry sector and wastewater treatment. Surface waters are polluted for various reasons. Water pollution occurs when wastewater containing toxic substances is discharged into surface waters in an uncontrolled manner. This pollution not only affects the creatures living in the water and around the water, but also causes the extinction of various species. In addition, water pollution is seen as the main cause of many epidemics. For this reason, it is of great importance to take measures in order not to pollute the surface waters, and it is also important to determine what reactions occur in the waters when the surface waters are polluted, how the water behaves against these toxic substances, and how much the water can carry the incoming pollution load. Unconscious and uncontrolled population growth increases the need for industry and industries. The expansion of the industrial sector also increases the pollution rate of surface waters at the same rate. Today, various industries discharge their wastewater into surface waters in an uncontrolled manner under conditions that do not comply with regulations.

Textile, leather, paper, printing and plastic industries are industrial sectors that are frequently used today. In these sectors, dyestuffs are used to color the products. Dyes are grouped into two groups as natural dyestuffs and synthetic dyestuffs. Since synthetic dyestuffs are resistant to deterioration, they are more preferred in the industrial sector. Among the dyestuffs, methylene blue is the most preferred cationic dyestuff. When wastewater containing dyestuffs mixes with surface waters, the environment and human health are endangered. Dyes cause liver dysfunction, brain and nerve dysfunction and carcinogenic effects. For this reason, it is important to investigate how these substances affect the surface waters, how the surface waters behave in the bottom sediments, and how much dyestuff load the bottom sediments can carry. In this study, the relationship between sediment and dyestuff pollution was investigated by adopting the adsorption project.

Sapanca Lake is one of the most important fresh water resources used for drinking water and irrigation needs in the Marmara Region. The lake is exposed to pollution by the surrounding residential areas, industrial establishments and pollutants from the highway. In this study, the relationship between lake sediment and incoming dyestuff pollution, how much the sediment carries the incoming dyestuff load, and what kind of behavior the sediment will develop against this pollution were investigated by adopting the adsorption process, and the study was carried out under conditions suitable for the lake parameters.

The subject of this study is to observe the effect of uncontrolled release of dyestuffs in the receiving environment. In addition, this study will examine how much load the sediment in the bottom layer of surface waters can carry and how it reacts to this incoming pollution. With the help of the adopted adaptation process, it will be investigated how the removal efficiency changes with different parameters. In this study, the effects of pH, temperature, adsorbent amount, initial dyestuff concentrations, contact time parameters on the adsorption process were investigated. The aim of this study is to calculate how much of the incoming pollution load can be carried by the sediment, to observe the reaction of the water and the sediment by working under suitable conditions for the lake parameters, to examine the behavior of the sediment against the incoming pollution.

As a result of the adsorption experiment studies, optimum adsorption efficiency was achieved with pH 7, 25 °C, 0.5 gram adsorbent amount and 100 mg/l dyestuff concentration. This showed that the sediment retained the dyestuff under these conditions and reduced the dyestuff from the surface waters. As a result of the experimental studies, it was determined that the adsorption equilibrium data were more suitable for the Langmuir model with the calculations made. Negative  $\Delta G^\circ$  values indicate that the adsorption process occurs spontaneously and the calculated  $\Delta H^\circ$  value is positive, indicating that the process is endothermic. In the light of all these results, it has been concluded that the incoming pollution load is held by the sediment under optimum conditions.

Surface waters are polluted directly or indirectly by industrial, industrial and domestic wastes. This limits the use of water for environmental and human activities. The pollution load coming to the surface waters decreases towards the lower layers in the waters over time. Pollution can accumulate in the upper, middle and lower parts of the surface waters. Pollution can show different reactions in various layers of water. Wastewater used as drinking water is passed through various treatment systems and offered to human activities. Industries and industrial establishments use a variety of chemicals. In recent years, production has increased especially in the textile, printing and plastics sectors. Various toxic substances and chemical waste waters from these industries are indirectly or directly discharged into the environment and surface waters. This causes a large pollution load in surface waters. This pollution load can go down to the lowest layer of surface waters over time. Thus, various pollution loads occur in the sediment in the lowest layer of surface waters. It is an important issue how much the sediment can carry this pollution load, how much it accumulates in its body, how much it transfers back to the surface waters, and what chemical reactions take place. In this study, the behavior of the sediment to this pollution load was investigated by adopting the adsorption process.

With this study, it will be examined how much the sediment in the bottom layer of surface waters can carry and how it reacts to this incoming pollution. With the help of the adopted adsorption process, it will be investigated how the removal efficiency changes with different parameters. The aim is to observe the reaction of water and sediment by working under conditions suitable for lake parameters and to examine the behavior of sediment against incoming pollution. With the help of the adopted adsorption process, it is to examine how the removal efficiency changes with different parameters. In this study, the effects of pH, temperature, adsorbent amount, initial dyestuff concentrations, contact time parameters on the adsorption process will be investigated.



## 1. GİRİŞ

Yüzeysel sular insan aktiviteleri ve biyolojik yaşam formları için büyük bir öneme sahiptir. Günümüzde nüfus artışı ve buna bağlı olarak artışa geçen sanayi ve endüstri atıkları ile yüzeysel sular kirlenmektedir. Son dönemde matbaacılık ve tekstil sanayisindeki gelişmeler, yüksek miktarda boyar maddenin kontrolsüz bir şekilde yüzeysel sulara karışmasına yol açmaktadır. Herhangi bir ön arıtma işlemi olmadan direkt alıcı ortama deşarj edilen tekstil ve matbaacılık atık suları çevre ve insan sağlığına zarar vermektedir. Boyar maddeler tekstil, deri, kâğıt, kauçuk, matbaa ve plastik gibi sektörlerde yaygınlıkla kullanılmaktadır (Rafatullah et al., 2010; Sivakumar and Rao, 2003; Sokolowska-Gajda et al., 1996). Yüksek konsantrasyonlarda boyar madde içeren atık sular çevre ve insan sağlığı için büyük risk teşkil etmektedir. Boyar maddeler insanların böbrek, karaciğer, beyin ve sinir sistemlerinde fonksiyon bozukluğuna yol açmakta, kanserojenik etkilere sebebiyet vermektedir (Zhou et al., 2019).

Boyar maddeler çeşitli sektörlerde yaygın kullanılmakta olup az miktarda kullanımları dahi renkli atık su oluşmasına olanak vermektedir. Boyar maddelerin alıcı ortamlara deşarjından önce atık sulardan giderilmesi gerekmektedir. Su kalitesini koruma adına adsorpsiyon, kogülasyon/flokülasyon, ileri oksidasyon prosesi, ozonlama, membran, biyolojik arıtma gibi çeşitli kimyasal, fiziksel ve kimyasal arıtma yöntemleri mevcuttur (Fatimah et al., 2011; Peng et al., 2013; Cottet et al., 2014). Bu yöntemler giderimde etkilidir ama çoğu külfetlidir. Biyolojik arıtma yöntemleri fiziksel ve kimyasal arıtma yöntemlerine nazaran yaygın ve basittir. Bununla birlikte biyolojik arıtma yöntemleri sıcaklık, besin ve pH gibi çevresel faktörlere doğrudan bağlıdır. Ek olarak, biyoreaktör kullanımı bir miktar yere ihtiyaç duymaktadır ve böylelikle yöntem daha karmaşık olmakta ve daha fazla zaman almaktadır (Ngulube et al., 2017). Boyar maddeler kararlı, karmaşık kimyasal yapı ve biyolojik bozunmaya dirençli olduklarından dolayı biyolojik arıtma tatmin edici olmamaktadır. Ayrıca biyolojik arıtmada çamur oluşumu da istenmeyen bir sonuç olduğundan sorun teşkil etmektedir. Kimyasal teknolojiler büyük miktarda kimyasal

reaktant ve elektrik enerjisi tüketmektedir (Jamal et a, 2015). Bununla birlikte kimyasal kalıntılar ikincil kirliliğe yol açabilmektedir. Son zamanlarda, ileri oksidasyon yöntemi güçlü okside etme kabiliyetinden dolayı büyük önem kazanmıştır. Bu metotlar etkili olmasına rağmen, pahalı ve toksik olabilmektedir (Wang et al., 2019b; Zhou et al., 2017a). Membran ve adsorpsiyon teknolojileri boyar madde giderilmesinde kullanılan geleneksel metotlardandır. Membran yöntemi mikrofiltrasyon, ultrafiltrasyon, nanofiltrasyon ve ters osmoz içeren etkili bir yöntemdir. Membran yönteminin servis süresi kısadır ve sistem kolayca kirlenebilmektedir (Shamraiz et al., 2016). Bununla birlikte adsorpsiyon etkili ve uygun bir yöntemdir (Mu and Wang, 2016), ve tehlikeli yan ürün oluşturmamaktadır (Crini, 2006). Adsorpsiyon kolay yöntem, çevre dostu ve ekonomik olmasından dolayı etkili bir metottur (Cheng et al. (2021a)). Adsorpsiyon yönteminde kullanılan pek çok adsorban bulunmaktadır. İyi bir adsorban yeniden kullanılabilir ve üretimi kolay, boyar maddelerde etkili, yüksek adsorpsiyon kapasitesi ve atık suyun çeşitli durumlarına karşı toleranslı olma özelliklerine sahip olmalıdır (Zhou et al., 2019). Zeolit, kil, kum, uçucu kül ve aktif karbon kullanılan adsorbanlar arasında bulunmaktadır. Adsorpsiyonda aktif karbon kullanımı yüksektir. Çünkü aktif karbon geniş yüzeyi sayesinde yüksek adsorpsiyon kapasitesi yüksektir fakat bu yöntem pahalıdır (Lin et al., 2014; Duman and Ayranci, 2010). Günümüzde topraklar (kil, kum, sediment vb.) önemli yapısal özellikleri, iyi katyon değiştirme kapasiteleri, bol bulunmaları ve düşük toksik etki göstermeleri gibi özelliklerinden ötürü atık su arıtımında alternatif adsorban olarak yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Bu çalışma ile yüzeysel suların alt katmanında bulunan sedimentin ne kadar yük taşıyabileceği, bu gelen kirliliğe karşı nasıl bir tepki gösterdiği incelenecektir. Benimsenen adsorpsiyon prosesi yardımı ile farklı parametreler ile giderim veriminin ne yönde değiştiği araştırılacaktır. Amaç, göl parametrelerine uygun şartlarda çalışarak suyun ve sedimentin gösterdiği tepkiyi gözlemlemek, sedimentin gelen kirliliğe karşı gösterdiği davranışı incelemektir. Benimsenen adsorpsiyon prosesi yardımı ile farklı parametreler ile giderim veriminin ne yönde değiştiği incelemektir. Bu çalışmada pH, sıcaklık, adsorban miktarı, başlangıç boyar madde konsantrasyonları, temas süresi parametrelerinin adsorpsiyon sürecine etkisi araştırılacaktır.

### 1.1. Literatür Çalışması

Homagai ve diğerleri (2022), kimyasal yapısı değiştirilmiş pirinç kabuğu ile sulu çözeltilerden kristal viyole boyar maddesinin giderilmesini araştırmışlardır. Bu çalışmada ksantat pirinç kabuğu ve kömürleşmiş pirinç kabuğu adsorban olarak kullanılmıştır. Kömürleşmiş pirinç kabuğu konsantre sülfürik asit ile edilmiş olup, ksantat pirinç kabuğu ise kömürleşmiş pirinç kabuğuna sodyum hidroksit ve karbondisülfür eklenmesi ile elde edilmiştir. Hem kömürleşmiş pirinç kabuğu hem de ksantat pirinç kabuğu ile 0,025 gramda adsorban dozu ve 60 dakika içinde 190 rpm karıştırma hızı ile maksimum giderim verimi elde edilmiş olup bu değerler ksantat pirinç kabuğu için %96,16 ve kömürleşmiş pirinç kabuğu için %85.89'dur. Her iki adsorban da Langmuir izotermine uyum sağladığı sonucuna varılmıştır. Ve her iki adsorbanın da psödo ikinci derece kinetiğine uyum sağladığı ortaya konularak ksantat pirinç kabuğunun kömürleşmiş pirinç kabuğuna nazaran daha vadeden adsorban olduğu belirtilmiştir.

Sudiana ve diğerleri (2022), aktive edilmiş hindistan cevizi yaprağı ile reaktif kırmızı rb boyar maddesi giderimine odaklanmıştır. Bu çalışmada Hindistan cevizi yaprağı sapı adsorban olarak kullanılmış olup; adsorban sülfürik asit ve sodyum hidroksit ile aktive edilmiştir. Bununla birlikte sülfürik asit ile aktive edilen adsorban sodyum hidroksit ile aktive edilen adsorbana nazaran daha yüksek adsorpsiyon kapasitesi göstermiştir. pH 5, 60 mg/l boyar madde konsantrasyonu ve 120 dakikalık temas süresi ile sülfürik asit ile aktive edilmiş adsorban ile %88,73 verim elde edilmiştir. Aynı şartlarda sodyum hidroksit ile aktive edilmiş adsorban ile %64,27 verim elde edilmiştir. Adsorpsiyon izotermi Langmuir modeline uyum sağlarken, sonuçların psödo ikinci derece kinetik modeline uyduğu görülmüştür.

Laib ve diğerleri (2021), bu çalışmada demir nitrat ile kimyasal yapısı değiştirilmiş içme suyu arıtma çamuru adsorban olarak kullanılarak katyonik metilen mavisi ve anyonik reaktif 19 boyar maddelerinin adsorpsiyon çalışması yürütülmüştür. Bu çalışmada pH, adsorban dozajı, sıcaklık ve başlangıç boyar madde konsantrasyonu parametrelerinin adsorpsiyona etkisi araştırılmıştır. Düşük pH anyonik reaktif 19 boyar maddesinin adsorpsiyonunu arttırmıştır. Bununla birlikte pH düştükçe katyonik metilen mavisinin adsorpsiyonunda düşme olduğu görülmüştür.

Termodinamik analizler her iki boyar madde için de kendiliğinden ve endotermik olduğu ortaya konmuştur. Langmuir modelinin her iki boyar madde deneysel verilerine de uyum sağladığı görülmüştür. Her iki boyar maddenin deneysel verileri ayrıca ikinci derece kinetik modeline uyduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışmada yapılan BET analizi ile demir nitrat ile değiştirilen arıtma çamurunun yüzey alanının arttığı görülmüştür. Bu çalışma kullanılan adsorbanın sulu çözeltilerden boyar maddeleri gidermede etkili adsorban olduğu ortaya konmuştur.

Kammah ve diğerleri (2022), su arıtımı artıklarını çevre dostu ve ekonomik adsorban kullanarak indigo karmin boyar maddesinin sudan giderilmesi çalışmasını yürütmüştür. Bu çalışmada en uygun pH değeri 5 olarak bulunmuştur. Bununla birlikte 0.1 g adsorban ile %90'dan fazla boyar madde giderimi sağlanmıştır. Adsorpsiyon kinetiği birinci derece kinetik modeline uyarken, adsorpsiyon denge verilerine en iyi uyumu Langmuir modeli sağlamıştır. Bu çalışmada desorpsiyon çalışması da yapılmış olup, 5 kez tekrarlanmada elde edilen yüksek giderim verimi bu adsorbanın çevre dostu, tekrar kullanılabilir ve ekonomik olduğunu ortaya koymuştur.

Ceylan ve diğerleri (2022), bu çalışmada reaktif turuncu 16 boyar maddesi demir ile modifiye edilmiş kitosan adsorban olarak kullanılarak giderilmesi incelenmiştir. Öncelikle kitosan 250 mg/l, 500 mg/l ve 750 mg /l konsantrasyonlarda Fe<sup>2+</sup> içeren FeSO<sub>4</sub> çözeltileri ile modifiye edilmiştir. Bu çözeltilere sırasıyla CsFe-1 , CsFe-2 ve CsFe- 3 isimleri verilmiştir. Bu adsorbanların adsorpsiyon değerleri sırasıyla 79 mg/g, 112 mg/g ve 110 mg/g olarak bulunmuş olup, CsFe-2 ve CsFe-3 değerleri çok yakın olduğundan deneye CsFe-1 ve CsFe-2 adsorbanları ile devam edilmiştir. Renk giderimleri saf kitosan, CsFe-1 ve CsFe-2 için %25 iken; demir ile modifiye edilmiş kitosanlar ile %90'a ulaşmıştır. Optimum şartları belirlemek için adsorban miktarı, çalkalama hızı, boyar madde konsantrasyonu ve sıcaklık parametreleri etkileri incelenmiştir. Bu çalışma için optimum koşullar; 0,5 g CSFe-1/L, 250 rpm, 25°C ve 50 mg/L boya çözeltisi konsantrasyonu şeklinde belirlenmiştir ve verim %92 olarak bulunmuştur. Ayrıca bu çalışmada desorpsiyon çalışması 3 tekrarlı olarak yapılmış olup renk giderim verimleri sırası ile a % 92, 90 ve 87 olarak bulunmuştur.



Garg ve diğeri (2003), bu çalışmada formaldehit ve sülfürik asit ile ayrı ayrı işlem görmüş talaşı adsorban olarak kullanarak malaşit yeşili boyar maddesinin farklı boyar madde konsantrasyonlarında farklı adsorban dozlarında, farklı pH ve farklı çalkalama hızlarında adsorpsiyon çalışması yapmıştır. Bu çalışmaya göre sülfürik asit ile işlem görmüş talaşın formaldehit ile işlem görmüş talaşa nazaran daha iyi adsorpsiyon kapasitesi gösterdiği görülmüştür. Her iki adsorban içinde pH 6-9 aralığı optimum olarak bulunmuştur. Düşük boyar madde konsantrasyonları ile yüksek adsorpsiyon verimi elde edilmiştir. Her iki adsorban için de adsorban miktarı arttıkça adsorban verimi artmıştır.

Kammah ve diğeri (2022), Moringa ağacı tohumlarının yağ ekstrasyon sonrası oluşan atıkları adsorban olarak kullanılarak indigo karmin boyar maddesi giderimi çalışmıştır. Nano düzeyde bir adsorban elde etmek için Moringa ağacı tohumları öğütülmüştür. Bu çalışmada pH, adsorban/boyar madde oranı, temas süresi, başlangıç boyar madde konsantrasyonu ve sıcaklık parametreleri çalışılmıştır. Nano düzeydeki adsorbanın adsorpsiyon kapasitesi öğütülmemiş Moringa ağacı tohumuna nazaran 4.3 kat daha yüksek değere sahip olduğu ortaya konmuştur. Adsorpsiyon prosesi Langmuir izoterm modeline uyum sağlamış olup, termodinamik veriler adsorpsiyon prosesinin kendiliğinden ve ekzotermik olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışmada 4 tekrarlı desorpsiyon çalışması yürütülmüş ve %94'ten %88'e doğru bir düşüş ile verimler sağlanmıştır. Bu çalışmada Moringa ağacı tohumu nanopartiküllerinin çevre dostu, ekonomik bir adsorban olduğu sonucuna varılmıştır.

Shahriyari Far ve diğeri (2022), bu çalışmada metilen mavi ve metilen turuncu boyar maddelerini sulu çözeltilerden gidermek için bir manyetik krom içeren metal-organik iskelet sentezlemiştir.  $Fe_3O_4@MIL-101@PPI$  manyetik özellik, yüksek sıcaklık kararlılığı ile yüksek kristal yapı bir kompozittir. Bu iskelet yüksek yüzey alanı ( $116 m^2 /g$ ) ve gözenekli yapı atık su arıtımı için yarar sağlamaktadır.  $Fe_3O_4@MIL-101@PPI$  kompozit katyonik boyar maddeyi anyonik boyar maddeye nazaran daha iyi gidermektedir. Adsorpsiyon deneyleri yüksek adsorpsiyon kapasitesini olduğunu ortaya çıkarmıştır ( $93,9 mg/g$ ) ve hızlı adsorpsiyon kinetikleri psödo ikinci derece kinetik modeline uymaktadır.

Harja ve diğeri (2022), yerel enerji santralinden elde edilen uçucu külü adsorban olarak kullanarak Kongo kırmızısı boyar maddesi ile adsorpsiyon çalışması yürütmüştür. Bu çalışmada temas süresi, başlangıç konsantrasyonu, adsorban dozu ve sıcaklık parametreleri analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre adsorban dozu arttıkça adsorpsiyon kapasitesi düşmüştür. İlk 30 dakikalık temas süresinde adsorpsiyon kapasitesi hızlı bir şekilde yükselmiştir ve denge 60 dakika sonra sağlanmıştır. Boyar madde konsantrasyonu arttıkça adsorpsiyon kapasitesi artmıştır. Sıcaklık 293 Kelvin'den 323 Kelvin'e yükseldiğinde adsorpsiyon kapasitesi de yükselmiştir. Deneysel verilere en iyi uyumu Langmuir modeli göstermiştir ve adsorpsiyon kinetiklerinin psödo ikinci derece kinetik modeline uyması giderim prosesinin kimyasal adsorpsiyon olduğunu göstermektedir. Bu çalışma ile Kongo kırmızısı boyar madde gideriminde uçucu külün iyi bir adsorban olabileceği sonucuna varılmıştır.

Isik ve diğeri (2022), Remozal Brilliant Blue R ve Basic Red 18 boyar maddelerinin demir ile aktive edilmiş karbon fiber ile sulu çözeltilerden giderimini incelemiştir. Bu çalışmada pH, adsorban miktarı, hidrojen peroksit konsantrasyonu ve başlangıç boyar madde parametreleri üzerinde çalışılmıştır. En uygun pH değeri Remozal Brilliant Blue R için 2,5 iken, Basic Red 18 için 3 olarak bulunmuştur. 100 mg/l başlangıç boyar madde konsantrasyonu ile 1.0 cm<sup>2</sup>/100 ml adsorban miktarıyla 60 dakikalık temas süresi ile Remozal Brilliant Blue R için %96.14 ve Basic Red 18 için %98.44 verim elde edilmiştir. Ayrıca hidrojen peroksidin konsantrasyonu arttıkça boyar madde giderim verimi düştüğü görülmüştür. Bu çalışma ile demir yüklenmiş karbon fiberin anyonik ve katyonik boyar madde gideriminde etkili adsorban olduğu sonucuna varılmıştır.

Mundada ve diğeri (2017), bu çalışmada sulu çözeltilerden metilen mavi giderilmesinde Hindistan'da Rajasthan'da bulunan toprak adsorban olarak kullanılmıştır. Başlangıç boyar madde konsantrasyonu, adsorban konsantrasyonu, temas süresi ve çözelti pH parametreleri çalışılmıştır. 10 dakikalık temas süresi ile adsorpsiyon dengeye ulaşmıştır. pH 9'dan 11'e adsorpsiyon kapasitesi arttığı sonucuna varılmıştır. Bu çalışma ile yerel olarak mevcut olan toprağın ekonomik alternatif adsorban olabileceği sonucuna varılmıştır.

Bencheqroun ve diğeri (2018), Fas'tan alınan doğal kil ile sulardan metilen mavisi ve Kongo kırmızısı boyar maddelerinin giderilmelerini çalışmıştır. Temas süresi, adsorban miktarı ve pH parametrelerinin adsorpsiyona etkisi araştırılmıştır. Metilen mavisi için dengeye gelme süresi 30 dakika iken Kongo kırmızı için 45 dakika olmuştur. Metilen mavisi boyar madde giderim verimi bazik pH'ta daha yüksek iken, Kongo kırmızısı boyar maddesi için asidik pH'larda giderim verimi daha yüksek olmuştur. Her iki boyar madde için de psödo ikinci derece kinetik modeli uygunluk göstermiştir. Adsorpsiyon verileri Langmuir ve Toth izoterm modelleri ile daha iyi açıklanmıştır. Bu çalışma ile Fas'tan temin edilen alternatif ve etkili adsorban olduğu ortaya konmuştur.

Plaček Otcovská ve diğeri (2022), bu çalışmada farklı kil türlerini adsorban olarak kullanarak metilen mavi adsorpsiyonu çalışması yapmıştır. Bu çalışmada montmorilonit, kaolinit ve illit killeri kullanılmıştır. Her kil türünde farklı adsorpsiyon kapasitesi olduğu gözlemlenmiştir. Adsorpsiyon kapasitesi en yüksek kil kaolinit iken, en düşük illit kili olmuştur.

Eldeeb ve diğeri (2022), bu çalışmada üç farklı şekilde sentez yapılmış talaşın metilen mavisi üzerinde adsorpsiyonu çalışmıştır. Toplanan talaş H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ile kaynatılıp etanol ile yıkanarak biyokömür elde edilmiştir. Daha sonra hazırlanan talaş biyokömürü ultrasonik enerjiye maruz bırakılarak sonikat biyokömür elde edilmiştir. Biyokömür etanol ile yıkanarak saflaştırılmış biyokömür elde edilmiştir. Ve bir de biyokömür ozona maruz bırakılarak ozonlu biyokömür elde edilmiştir. Tüm biyokömürler için optimum pH 12 olarak bulunmuştur. Adsorpsiyon verilerinin Psödo ikinci derece, Langmuir ve Freundlich denklemlerine uyum sağladığı görülmüştür. Bu çalışmaya göre sentezlenen biyokömürlerin ekonomik, kolay ulaşılabilir ve zararsız adsorban oldukları sonucuna varılmıştır.

Onaran (2018), bu çalışmada kestane kabukları çinko klorür ile aktive edilerek aktif karbon elde edilmiştir. Daha sonra elden edilen demir ile yüklenecek manyetik aktif karbon sentezlenmiştir. Ve elde edilen demir yüklü manyetik aktif karbon adsorban olarak kullanılarak sulu çözeltiden malahit yeşili giderim çalışması yapılmıştır. Bu çalışmada pH, başlangıç boyar madde konsantrasyonu, temas süresi, adsorban miktarı ve sıcaklık parametrelerinin etkisi incelenmiştir. En iyi adsorpsiyon

veriminin sağlandığı şartlar pH 6, süre 60 dakika, adsorban miktarı 0,1 grama ve sıcaklık 45 °C olduğunda sağlanmıştır. Deneysel verilerin Langmuir izoterm modeline uyum sağladığı belirtilmiştir. Kintetik çalışma neticesinde adsorpsiyonun psödo ikinci derece kinetik modelini sağladığı görülmüştür. Bu çalışmada adsorbanın tekrar kullanılabilirliğini ölçmek adına 7 tekrarlı desorpsiyon deneyleri yapılmıştır. Bu çalışmanın neticesinde kullanılan adsorbanın ekonomik, uygulaması kolay ve ulaşılabilir bir adsorban olduğu ortaya konmuştur.

Alsancak (2019), demir yüklenmiş klinoptilit nanoparçacıklar adsorban olarak sulu çözeltiden metil viyole gideriminde kullanılmıştır. pH, temas süresi, adsorban miktarı ve boyar madde başlangıç konsantrasyonu parametrelerinin etkisi incelenmiştir. En iyi adsorpsiyon veriminin pH 7, 298 K ve süre 150 dakika olarak belirlenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda hazırlanan adsorbanın çevre dostu, ekonomik ve etkili bir adsorban olduğu ileri sürülmüştür.

Ouakouak ve diğerleri (2021), Cezayir’de bulunan El Gherza Barajı’ndan aldıkları sediment ile boyar madde giderme çalışması yapmışlardır. Bu çalışmanın amaçları barajdan alınan sedimentin mineralojik, fizikokimyasal ve yapısal özelliklerini araştırmak ve kristal viyole boyar maddesinin su ortamından giderilmesini sağlamaktır. pH, karıştırma süresi, sıcaklık ve karıştırma süresi parametreleri üzerinde durularak çalışma yürütülmüştür. Bu çalışmada sediment ile boyar madde giderilmesinde pH’ın etkisinin çok az olduğu sonucuna varılmıştır. İlk 20 dakikalık karıştırma sürecinde %74 oranında kristal viyole giderimi sağlanmıştır. Adsorpsiyon verimi sıcaklık arttıkça artmıştır. Adsorpsiyon verilerinin Langmuir ve Liu denklemlerine uyum sağladığı belirtilerek, kristal viyole boyar madde adsorpsiyonu kendiliğinden ve endotermik olduğu sonucuna varılmıştır. Bu çalışma ile sedimentin boyar madde gideriminde alternatif adsorban olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Dra ve diğerleri (2020), Fas’ta bulunan Oued Sebou Nehri’nden aldıkları sediment ile boyar madde giderim çalışması yapmıştır. Bu çalışmada çözelti pH’ı, başlangıç boyar madde konsantrasyonu, adsorban miktarı, sediment parçacık boyutu ve sıcaklık parametreleri üzerinde yürütülmüştür. Adsorpsiyon verilerinin Freundlich denklemine uyum sağladığı belirtilmiştir. İlk 60 dakikadan sonra metilen mavi

giderilme verimi %100'e ulaşmıştır. Sediment parçacık boyutu 40 µm olduğunda %95 oranında metilen mavi boyar madde giderilmesi sağlanmıştır. Sediment miktarı arttırıldığında adsorpsiyon verimi de artmıştır. pH 8 ve 323 Kelvin sıcaklığında %100 boyar madde giderim verimi sağlanarak, sedimentin boyar madde giderilmesinde alternatif ve etkili adsorban olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Aroguz ve diğerleri (2007), Amerika Birleşik Devletlerinin Massachusetts eyaletinde bulunan Cod Burnu'ndan alınan sediment ile boyar madde giderim çalışması yapmıştır. Adsorpsiyon verilerinin Langmuir ve Freundlich denklemlerine uyum sağladığı görülmüştür. Sıcaklık ve başlangıç boyar madde konsantrasyonları parametreleri üzerinde çalışma yürütülmüştür. Sıcaklık arttıkça adsorpsiyon verimi artmıştır ve termodinamik değerler adsorpsiyon prosesinin endotermik olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışma ile boyar madde giderilmesinde sedimentin alternatif adsorban olabileceği sonucuna varılmıştır.

Chen ve diğerleri (2018), Tayvan'da bulunan Ekman Barajından aldıkları sediment ile boyar madde giderme çalışması yapmıştır. Bu çalışmada baraj sedimentinin organik madde içeriği sebebiyle etkili bir adsorban olduğu vurgulanmıştır. Yüksek sıcaklık adsorpsiyon verimini pozitif yönde etkilerken, 100-140 mesh sediment ile en iyi adsorpsiyon verimi sağlanmıştır. Adsorpsiyon verilerinin Langmuir, Dubinin-Radushkevich ve Temkin denklemlerine uyum sağladığı belirtilerek, yapılan hesaplamalar sonucunda adsorpsiyon reaksiyonunun kendiliğinden ve endotermik olduğu belirtilmiştir. Bu çalışma ile boyar madde giderilmesinde sedimentin alternatif ve etkili adsorban olabileceği sonucuna varılmıştır.

Kang ve Chen (2018), Çin'de bulunan Yellow Nehri'nden aldıkları sediment ile metilen mavi boyar madde giderim çalışması yapmıştır. İlk 60 dakikada metilen mavi adsorpsiyonu en yüksek değerde olup bu dakikadan sonra azaldığı belirtilmiştir. Adsorban konsantrasyonu ve sıcaklık arttıkça adsorpsiyon kapasitesi arttığı sonucuna varılmıştır. Adsorpsiyon verileri Langmuir modeline uyum sağlamıştır.  $NaNO_3$  konsantrasyonu arttıkça adsorpsiyon kapasitesi artarken humik asit varlığının adsorpsiyon üzerinde az bir etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Liu ve diğeri (2001), Çin'de bulunan Qinghe Nehri'nden aldıkları sediment ile C.I. Basic Yellow X-5GL, C.I. Basic Red 13, C.I. Direct Blue 86, C.I. Vat Yellow 2, and C.I. Mordant Black 1 boyar maddelerinin giderim çalışmasını yürütmüşlerdir. Adsorpsiyon verilerinin Freundlich denklemine uyum sağladığı görülmüştür. Sedimentteki  $Ca^{+2}$  ve organik karbon içeriği adsorpsiyon etkileyen faktörler arasında olduğu belirtilmiştir. pH arttıkça C.I. Mordant Black 11 ve C.I. Direct Blue 86 sorpsiyon yüzdeleri düşmüştür ve C.I. Basic Yellow X-5GL ve C.I. Basic Red 13 sorpsiyon yüzdeleri yükselmiştir. Bu çalışma ile sedimentin boyar madde gideriminde adsorban olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmada Sapanca Gölü'nden toplanan sediment demir ile aktive edilerek kompozit sediment numunesi elde edilmiştir. Elde edilen kompozit sediment numunesi adsorban olarak kullanılarak adsorpsiyon prosesi ile metilen mavisi boyar maddesi giderimi yapılmıştır. Adsorban miktarı, pH, metilen mavisi başlangıç derişimi, karıştırma süresi ve sıcaklık parametrelerinin giderim verimi üzerine etkisi incelenmiştir. Elde edilen veriler ile denge, termodinamik ve kinetik hesaplamaları yapılmıştır.

## **2. GENEL BİLGİLER**

### **2.1. Boyar Madde**

Boyar maddeler tekstil, matbaacılık, kauçuk, kozmetik, plastik ve deri endüstrilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Boyar maddeler kumaşa ya da tutunduğu yüzeye renk veren kimyasal bileşiklerdir. Endüstride her yıl 10,000'den fazla farklı boyar maddeleri kullanılmakta ve dünya geneli her yıl yaklaşık 0,7 milyon ton boyar madde sentez edilmektedir (Ogugbue and Sawidis, 2011). Su ortamında mevcut olan yüksek miktarlardaki boyar madde konsantrasyonları çevre için risk taşımaktadır. Boyar maddelerin varlığı güneş ışığı iletimini düşürdüğünden hem su ortamı hem de insan hayatı açısından negatif etki oluşturmaktadır (Crini and Badot, 2008; Dincer et al., 2007). Boyar maddelerin ağır metaller gibi zehirli maddeleri ve aromatikleri içermesi de insan ve çevre açısından büyük risk taşımaktadır (Ramanath, 2005).

#### **2.1.1 Boyar maddelerinin sınıflandırılması**

Boyar maddeler uygulama alanları, kimyasal yapıları ve renklerine göre sınıflandırılmaktadır. Boyar maddeleri sentetik boyar maddeler ve doğal boyar maddeler olarak iki gruba ayırabilmekteyiz. Doğal maddeler hayvanlar ve minerallerden özütleme işlemi ile elde edilmektedir (Zhou et al., 2019). Gelişen endüstri faaliyetleri ile doğal boyar maddeler insanların taleplerini karşılamakta zayıf kalmaktadır. Bu nedenle endüstrilerde doğal boyar maddelerin yerini sentetik boyar maddeler almaktadır. Sentetik boyar maddeler de kendi içinde anyonik, katyonik ve iyonik olmayan olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır (Zhou et al., 2019).

#### **2.1.2. Boyar madde giderim yöntemleri**

Boyar maddeler karmaşık kimyasal yapılarından dolayı giderilmeye karşı oldukça dirençlidir (Gupta and Suhas, 2009). Boyar maddeleri gidermek için çeşitli fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler bulunmaktadır. Koagülasyon, flokülasyon, membran prosesi, iyon değişimi, ileri oksidasyon yöntemi, adsorpsiyon, fotokataliz,

elektrokimyasal proses gibi yöntemler boyar maddeleri su ortamından gidermede kullanılan yöntemlerdir. Fiziksel ve kimyasal giderim yöntemlerine nazaran biyolojik arıtım daha yaygın ve basittir. Fakat biyolojik arıtma pH, sıcaklık ve besin gibi çevresel koşullara sıkı sıkıya bağlıdır. Bununla birlikte biyolojik arıtmada kullanılan biyoreaktör için yere ihtiyacı, prosesin karmaşık olması ve prosesin uzun süreye ihtiyaç duyması gibi dezavantajlar mevcuttur (Ngulube et al., 2017). Ayrıca, sentetik boyar maddelerin karmaşık kimyasal yapı ve kararlı yapıda olmaları sebebiyle biyoçözünmeye direnç göstermektedir. Kimyasal giderim yöntemleri genellikle etkili olmakta birlikte çamur üretimi prosesi ekonomik açıdan negatif etkilemektedir. Kimyasal giderim yöntemlerinde yüksek miktarlarda kimyasal reaktant ve elektrik enerjisine ihtiyaç duyulmaktadır (Jamal et al., 2015). Son zamanlarda yüksek oksitleme avantajından dolayı ileri oksidasyon prosesi talep edilen bir yöntemdir fakat kimyasal metotlar genellikle pahalıdır ve çevre açısından zararlı etkiler oluşturmaktadır. Buradan da anlaşıldığı üzere kimyasal yöntemler de boyar madde gideriminde çekiciliğini yitirmektedir. Boyar maddeleri gidermede kullanılan fiziksel yöntemler membran ve adsorpsiyondur. Membran kolayca kirlenebilmekte ve bu da membranın ömrünü kısaltmaktadır. Yapılan çalışmalara baktığımızda adsorpsiyonun yaygın olarak kullanıldığı görülmektedir bunun nedeni adsorpsiyon prosesinin kolay uygulanabilirliği, ekonomik ve etkili olmasıdır. Adsorpsiyon prosesi çevre ve insan sağlığı için herhangi zararlı bir madde oluşturmamaktadır.

## **2.2. Adsorpsiyon**

Adsorpsiyon terimi, bir maddenin iki faz arasında birikmesi anlamına gelmektedir. Arayüzde biriken maddeye adsorbat, üzerinde adsorpsiyonun gerçekleştiği katıya adsorban denilmektedir (Dabrowski, 2001). Adsorbanlar başlıca kömür, kil, zeolit, maden cevherleri ve diğer atık kaynaklarından üretilmektedir. Atık kaynaklarından üretilen adsorbanlar arasında Hindistan cevizi kabuğu, pirinç kabuğu, talaş, petrol atıkları, gübre atıkları, şeker endüstrisi atıkları, uçucu kül, kitosan, algler, meyve atıkları gibi atıklar bulunmaktadır (Cameselle et al. 2013). Adsorpsiyon prosesi kimyasal adsorpsiyon ve fiziksel adsorpsiyon olarak iki gruba ayrılmaktadır.



### **2.2.1. Kimyasal adsorpsiyon**

Kimyasal adsorpsiyon, adsorbat yüzeyine adsorplanan moleküller veya iyonlar arasındaki elektron alışverişinden kaynaklanan güçlü kimyasal ilişkilerin oluşumudur. Bu nedenle kimyasal adsorpsiyon genellikle geri döndürülemez (Allen ve Koumanova, 2005).

### **2.2.2. Fiziksel adsorpsiyon**

Fiziksel adsorpsiyon, adsorbat ve adsorban arasındaki zayıf Van der Waals bağlarını temsil etmektedir ve bu nedenle çoğu durumda tersine çevrilebilmektedir (Allen ve Koumanova, 2005). Fiziksel adsorpsiyonda en önemli parametreler yüzey alanı, gözenek yapısı, gözenek hacmi ve büyüklüğüdür. Fiziksel adsorpsiyon yönteminde adsorpsiyon enerjileri genellikle kimyasal adsorpsiyondakine nazaran çok daha düşüktür (Karaman 2010). Adsorpsiyonu kontrol eden başlıca kimyasal bağlara Van der Waals bağları, hidrojen bağları, dipol- dipol bağları örnek verilebilmektedir (Ali H., 2010).

## **2.3. Adsorpsiyona Etki Eden Faktörler**

Adsorpsiyon prosesini pH, başlangıç madde konsantrasyonu, temas süresi, sıcaklık ve adsorban miktarı gibi parametreler etkilemektedir. Bu parametreler adsorpsiyon yönteminin verimi açısından göz önünde bulundurulmalıdır. Adsorpsiyonda yüksek giderim verimi elde edilmesi bu parametrelerin optimum duruma getirilmesi ile sağlanmaktadır.

### **2.3.1. pH**

Atık su arıtımında adsorbanın verimini etkileyen en önemli parametrelerden biri pH'dır. Adsorpsiyon verimi çözeltinin pH değerine bağlıdır, bununla birlikte pH değerindeki değişiklik adsorbat iyonizasyonu ve adsorban yüzey özelliklerinde değişikliğe yol açmaktadır (Nandi et al., 2009).

### **2.3.2. Başlangıç boyar madde konsantrasyonu**

Boyar madde gideriminde adsorpsiyon verimi başlangıç boyar madde konsantrasyonuna doğrudan bağlıdır. Başlangıç boyar maddenin etkisi adsorban

yüzeyi ve boyar maddenin arasındaki anlık ilişkilere göre değişmektedir. Genellikle boyar madde konsantrasyonunun artması ile adsorpsiyon verimi düşmektedir.

### **2.3.3. Sıcaklık**

Sıcaklık, adsorbanın adsorpsiyon kapasitesini değiştireceğinden dolayı en önemli fizikokimyasal parametrelerden biridir. Adsorpsiyon miktarının sıcaklık artışına bağlı yükselmesi prosesin endotermik olduğunu göstermektedir. Adsorpsiyon miktarının sıcaklık artışına bağlı düşmesi ise prosesin ekzotermik olduğunu göstermektedir.

### **2.3.4. Adsorban miktarı**

Adsorban miktarı, adsorpsiyon kapasitesini belirlemede kullanılan en önemli parametrelerden biridir. Genellikle boyar madde giderim verimi adsorban miktarı artışı ile yükselmektedir. Adsorban miktarı, ekonomik bir bakış açısından bir boyar maddenin kapasitesini belirlemek için kullanılmaktadır ve bir adsorpsiyon sürecinde en küçük bir adsorban miktarı ile boyar maddenin adsorbe edilebilmesi için bir fikir vermektedir (Salleh et al, 2011).

### **2.3.5. Temas süresi**

Temas süresi, adsorpsiyon sürecini büyük ölçüde etkilemektedir. Ekonomik verimlilik anlamında temas süresi adsorpsiyonda önemli bir parametredir.

## **2.4. Adsorpsiyon İzotermi**

Adsorpsiyon izotermi, adsorbanın adsorbatla nasıl etkileşeceğini açıklaması ve adsorpsiyon kapasitesi hakkında bir fikir ortaya koyması açısından önem arz etmektedir. Adsorpsiyon izotermi, adsorpsiyon mekanizmasını anlamada önemli bir rol oynarlar. Yüzey fazı tek katmanlı veya çok katmanlı olabilmektedir.

### **2.4.1. Langmuir izoterm modeli**

Adsorbe edilen madde miktarı önce basınçla artış göstermektedir. Bununla birlikte gaz molekülleri ile doyan katı yüzeyde adsorbe edilen madde miktarı daha yavaş artış göstermektedir. Freundlich izotermi, su ve atık su işlenmesinde kullanılan

adsorpsiyon izotermelerindedir. Freundlich izotermi hesaplaması aşağıdaki eşitlikte (Denklem 2.1) gösterilmektedir.

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

$q_e$ : m kütlesinin adsorpladığı madde miktarı

$q_m$ : m kütlesinin adsorpladığı maksimum madde miktarı

$C_e$ : adsorplanan maddenin derişimi

b : adsorban ve adsorplanan madde ve sıcaklığa bağlı sabitlerdir.

#### 2.4.2. Freundlich izoterm modeli

Katı yüzeyde gaz moleküllerinin tek tabaka halinde adsorbe edildiği izoterm modeli Freundlich izoterm modelidir. Bu izoterm modelinde katı yüzeyin tamamının örtülmediği, katı yüzeyin her alanında eşit adsorpsiyon enerjisinin olduğu ve katı yüzeyde tutunan gaz molekülleri arasında bir etkileşim olmadığı hipotezleri öne sürülmüştür (Langmuir, I., 1916). Langmuir izotermi hesaplaması aşağıdaki eşitlikte (Denklem 2.2) gösterilmektedir.

$$q_e = K_f \cdot C_e^{1/n} \quad (2.2)$$

$q_e$ : Adsorbanın birim kütlesinde adsorplanan adsorbat miktarı (mg/g)

$C_e$ : Çözeltideki adsorbatın denge konsantrasyonu (mg/L)

n: Adsorpsiyon şiddetine bağlı Freundlich sabiti

$K_f$ : Adsorpsiyon kapasitesine bağlı Freundlich sabiti(mg/g)

#### 2.4.3. Brunauer-Emmett-Teller (BET) izoterm modeli

Brunauer, Emmett ve Teller katı yüzeyde çoklu moleküllerin tekli moleküllerden daha önce tabaka oluşturduğu, bu adsorpsiyonda çoğunlukla iki tabaka olduğu ve her tabakanın eşit enerjiye sahip olduğu gibi hipotezler öne sürmüşlerdir (Brunauer, S., Emmett, S. P. H. and Teller, E., 1972). BET, bu hipotezler ışığında aşağıdaki eşitliği (Denklem 2.3) önermiştir:

$$V = V_m \cdot \frac{c \cdot P}{(P_0 - P) \cdot \left[1 + \frac{(c-1) \cdot P}{P_0}\right]} \quad (2.3)$$

V: P basıncında ve T sıcaklığında adsorplanmış gazın standart hacmi,

$P_0$ : T sıcaklığında adsorplanmış gazın doymuş buhar basıncı,

$V_m$ : Yüzeyin tek bir moleküler tabaka tarafından kaplanması durumunda adsorplanmış gaz hacminin standart koşullardaki değeri,

c: verilen herhangi bir sıcaklık sabitidir.

## 2.5. Adsorpsiyon Kinetiği

Kimyasal reaksiyon hızının reaksiyona giren madde konsantrasyonu ile ilgili olduğunu gösteren denklemler adsorpsiyon kinetiği denklemleridir. Adsorpsiyon kinetiği reaksiyon mekanizmasını açıklaması adına önemlidir.

### 2.5.1. Yalancı birinci derece ve yalancı ikinci derece kinetik modeli

Adsorpsiyon işleminde kinetik denklem hesapları ile yalancı birinci derece ve yalancı ikinci derece eşitlikleri hesaplanmaktadır.

Yalancı birinci dereceden denklem eşitliği (Denklem 2.4) aşağıda gösterilmektedir:

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - k_1 \cdot t \quad (2.4)$$

$q_e$ : Denge anında adsorbentin gramı başına adsorplanan madde miktarı (mg/g)

$q_t$ : Herhangi bir anda adsorbentin gramı başına adsorplanan madde miktarı (mg/g)

t: Temas süresi (dk)

$k_1$ : Hız sabiti

Yalancı ikinci dereceden denklem hesaplaması aşağıdaki eşitlikte (Denklem 2.5) gösterilmektedir:

$$\frac{1}{qt} = \frac{1}{k_2 \cdot qe^2} + \frac{t}{qe} \quad (2.5)$$

$q_e$ : Denge anında adsorbentin gramı başına adsorplanan madde miktarı (mg/g)

$q_t$ : Herhangi bir anda adsorbentin gramı başına adsorplanan madde miktarı (mg/g)

t: Temas süresi (dk)

$k_2$ : Hız sabiti

## 2.6. Adsorpsiyon Termodinamiği

Sıcaklık adsorpsiyon prosesinde belirgin bir etki oluşturduğundan önemli bir parametredir. Adsorpsiyon termodinamiği verileri sıcaklık ve denge sabitlerinden elde edilmektedir. Adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleşip gerçekleşmediğini öğrenmek için termodinamik hesaplamaları gereklidir. Gibbs serbest enerji değişimi,  $\Delta G^\circ$ , kimyasal reaksiyonun doğal bir göstergesi olup, bu enerjiyi belirlemek için enerji ve entropi faktörleri göz önünde bulundurulmalıdır.  $\Delta G^\circ$  değerinin negatif olması reaksiyonların kendinden gerçekleştiğini ortaya koymaktadır. Termodinamik hesaplamaları aşağıdaki eşitliklerde (Denklem 2.6 ve Denklem 2.7) gösterilmektedir.

$$\Delta G^\circ = -RT \cdot \ln K_c \quad (2.6)$$

R: Gaz sabiti (8,314 J/mol K)

T: Mutlak sıcaklık (Kelvin)

$K_c$ : Denge sabiti (mg/L)

Denge sabiti olan  $K_c$  aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır:

$$K_c = \frac{C_a}{C_e} \quad (2.7)$$

$K_c$ : Denge sabiti (mg/L)

$C_a$ : Adsorban tarafından tutulan madde konsantrasyonu (mg/L)

$C_e$ : Çözeltide kalan madde denge konsantrasyonu (mg/L)

$\Delta G^\circ$ ,  $\Delta H^\circ$ ,  $\Delta S^\circ$  değerleri aşağıdaki eşitlikler (Denklem 2.8) ile hesaplanmaktadır

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T \cdot \Delta S^\circ \quad (2.8)$$

$\Delta G^\circ$ : Serbest enerji değişimi, Gibbs serbest enerjisi (kJ/mol)

$\Delta H^\circ$ : Entalpi değişimi (kJ/mol)

$\Delta S^\circ$ : Entropi değişimi (kJ/mol K)

T: Mutlak sıcaklık (Kelvin)

$\Delta H^\circ$  ve  $\Delta S^\circ$  hesapları  $\ln K_C$ ye karşı  $1/T$  grafiğinin eğim ve kayma değerleri hesaplamaları sonucunda bulunmaktadır. Aşağıda bu eşitlikler (Denklem 2.9) gösterilmektedir.

$$\ln K_C = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT} \quad (2.9)$$

$K_C$ : Denge sabiti (mg/L)

$\Delta S^\circ$ : Entropi değişimi (kJ/mol K)

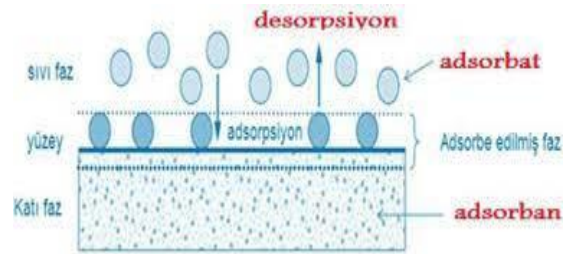
$\Delta H^\circ$ : Entalpi değişimi (kJ/mol) 36

R: Gaz sabiti (8,314 J/mol K)

T: Mutlak sıcaklık (Kelvin)

## 2.7. Desorpsiyon

Desorpsiyon, yüzeye tutunmuş atom, iyon ve moleküllerin yüzeyden ayrılma işlemine denmektedir. Desorpsiyon, bir molekül, onu yüzeyde tutan enerjinin aktivasyon bariyerini aşmak için yeterli enerji kazandığında olmaktadır. Şekil 2.1’de adsorpsiyon ve desorpsiyon işlemleri gösterilmektedir.

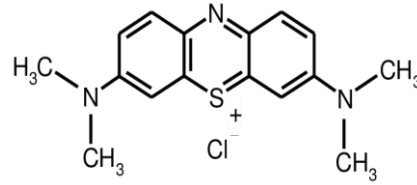


Şekil 2.1. Adsorpsiyon ve desorpsiyon işlemleri.

### 3. MATERYAL VE METOD

#### 3.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler

Bu çalışmada sediment ile kirlilik arasındaki ilişkiyi anlamak adına adsorpsiyon prosesi benimsenmiştir. Kimyasal formülü  $C_{16}H_{18}ClN_3S$  ve molekül ağırlığı 319.85  $g.mol^{-1}$  olan MM boyar madde adsorbat olarak, adsorban olarak demir sülfat heptahidrat ve demir klorür heksahidrat bileşikleri ve sodyum hidroksit çözeltisi ile sentezlenen sediment numunesi kullanılmıştır. Demir sülfat heptahidrat, demir klorür heksahidrat, NaOH kimyasalları Merck firmasından; adsorban olarak kullanılan sediment numunesi Sapanca Gölü'nden elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan MM boyar maddesinin açık formülü Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



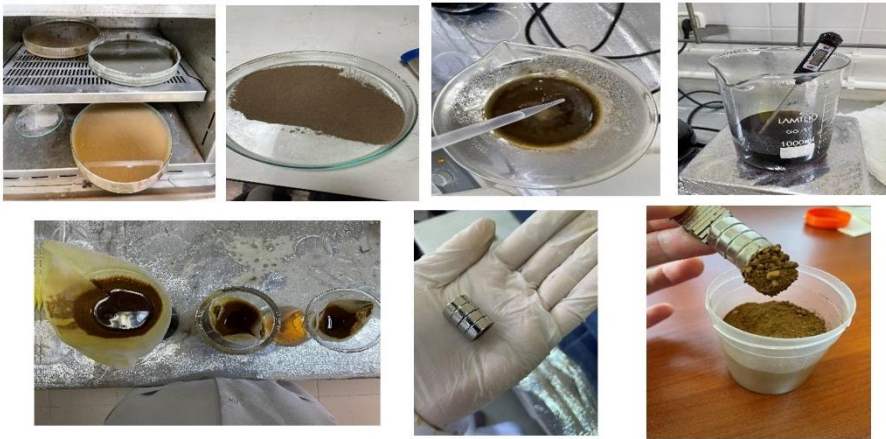
Şekil 3.1. MM boyar maddesi açık formülü (Sharifi ve ark.,2018).

#### 3.2. Kullanılan Cihazlar

Bu çalışmada Nüve (model no: NS112) Marka distile su, Mettler Toledo Seven Compact marka pH metre, 10 mm'lik spektra küvet, Precisa marka hassas terazi, Ika-Werke GmbH & Co.kG (model no:KS 501) marka manyetik karıştırıcı, mavi bantlı süzgeç kağıdı, Shimadzu marka UV-VIS Spektrofotometre, Blulab (model no: BKHS) marka etüv kullanılmıştır. SEM/EDS analiz fotoğrafları Jeol JSM-6060LV marka cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Aktive edilmiş sediment yapısında bulunan fonksiyonel grupların tayinleri; 400- 4000  $cm^{-1}$  dalga boyu aralığında Perkin Elmer Spektrum Two marka FTIR cihazı ile belirlenmiştir. Termal analiz Termogravimetrik Analiz Cihazı (TGA) ile yapılmıştır.

### 3.3. Hammadde ve Hazırlanması

Bu çalışmada  $S-Fe_3O_4$  numunesi hazırlanmıştır.  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  çözeltisinden 27,8-gram alınıp su ile 50 ml'ye tamamlanarak;  $FeCl_3 \cdot 6H_2O$  çözeltisinden 54-gram alınıp 200 ml'ye tamamlanarak hazırlanmıştır. Hazırlanan çözeltiler 1000 ml'lik behere konulup  $70\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye ısıtılmıştır. 16,5-gram sediment tartılıp, karışıma yavaş yavaş eklenmiştir. Karışımdan nitrojen gazı geçirilmiştir. 100 ml 5M NaOH çözeltisi karışıma yavaş yavaş eklenerek demir oksit çöktürülmesi sağlanmıştır. Kompozit materyal distile su ile yıkanarak mavi bantlı filtre kâğıt vasıtası ile süzölmüştür. Elde edilen manyetik kompozit materyal etüvde  $80\text{ }^\circ\text{C}$ 'de 2 saat kurutulmaya bırakılmıştır. Manyetik karakteristik özellik neodimyum mıknatıslar ile ölçölmüştür. Laboratuvar ortamında ative edilmiş sedimentin hazırlanma aşamasına ait fotoğraflar Şekil 3.2'de sunulmuştur.



Şekil 3.2. Laboratuvar ortamında  $S-Fe_3O_4$  hazırlanması.

### 3.4. Boyar Madde Çözeltilerinin Hazırlanması

Deneyisel çalışma için başlangıç olarak 1000 ppm'lik (mg/L) stok çözelti hazırlanmıştır. Bu çalışmada kullanılacak olan boyar madde çözeltileri 50 mg/L, 75mg/L, 100 mg/L, 150 mg/L, 200 mg/L ve 300 mg/L konsantrasyonlarında hazırlanmıştır.

### 3.5. Sulu Çözeltilerden Metilen Mavisi Adsorpsiyonu

Deneyisel çalışmalar için başlangıç konsantrasyonu 50 mg/L, 75mg/L, 100 mg/L, 150 mg/L, 200 mg/L ve 300 mg/L olan çözeltiler metilen mavi stok çözeltisinden distile su ile seyreltilerek hazırlanmıştır. pH (3-10), proses süresi (5-120 dk), MM



konsantrasyonu (50- 300 mg/L),  $S-Fe_3O_4$  miktarı (0,05-0,1-0,2-0,3-0,4-0,5-0,75-1 g) ve proses sıcaklığı (293 K, 303 K, 308 K) parametrelerinin  $S-Fe_3O_4$  'ün adsorpsiyon kapasiteleri üzerine etkileri incelenmiştir. Sıcaklığın sabit tutulduğu adsorpsiyon hesaplamaları aşağıdaki eşitliklerde (Denklem 3.1 ve Denklem 3.2) gösterilmektedir.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)}{m} \times V \quad (3.1)$$

$$\text{Giderim(\%)} = 100 \times (C_0 - C_e) / C_0 \quad (3.2)$$

$q_e$  = Adsorbanın adsorpsiyon kapasitesi (mg/g, mol/g)

$C_0$  = Adsorplanan maddenin başlangıç konsantrasyonu (mg/L, mol/L)

$C_e$  = Adsorplanan maddenin denge anındaki konsantrasyonu (mg/L, mol/L)

$V$  = Çözelti hacmi (L)

$m$  = Adsorbanın ağırlığı (g)

Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'de ölçüm hazırlanan numuneler ve adsorpsiyon sonrası değişimi gösteren fotoğraflar sunulmuştur.



Şekil 3.3. UV-VIS Spektrofotometre için hazırlanan numuneler.



Şekil 3.4. Adsorpsiyon sonrası değişim.

### 3.6. Desorpsiyon Prosesi

Bu çalışmada, desorpsiyon prosesi için 0,05 M NaOH, 0,1 M NaOH, 0,2 M NaOH ve 0,05 M HCl, 0,1 M HCl, 0,2 M HCl çözeltileri hazırlanmıştır. Öncelikle içinde 0,5 gram  $S - Fe_3O_4$  bulunan 100 ppm'lik 6 erlen ph 7-8 aralığında ayarlanarak çalkalayıcıda oda sıcaklığında 60 dakika çalkalanmıştır. Bu süre sonucunda süzgeç kâğıdı ve huni yardımıyla süzerek, süzgeç kağıtlarını etüve 24 saat boyunca kurutulmaya bırakılmıştır. Kuruyan numuneler için 0,05 M NaOH, 0,1 M NaOH, 0,2 M NaOH ve 0,05M HCl, 0,1M HCl, 0,2M HCl çözeltileri ile 60 dk çalkalayıcıda çalkalanmıştır. Bu süre sonucunda erlenlerden numune alarak UV-VIS spektrofotometresinde ölçüm yapılmıştır. Bu işlem 7 kez tekrarlanmıştır. Bu işlemler neticesinde elde edilen değerler ile desorpsiyon miktarı (%D) aşağıda verilen eşitliğe (Denklem 3.3) göre hesaplanmıştır. Şekil 3.5'de desorpsiyon prosesini takriben numunelerdeki değişimler sunulmuştur.

$$\%D = \frac{C_d}{C_a} \times 100 \quad (3.3)$$

$C_a$  : Adsorbe edilen miktar (mg/g)

$C_d$ : Desorbe edilen miktar (mg/g)

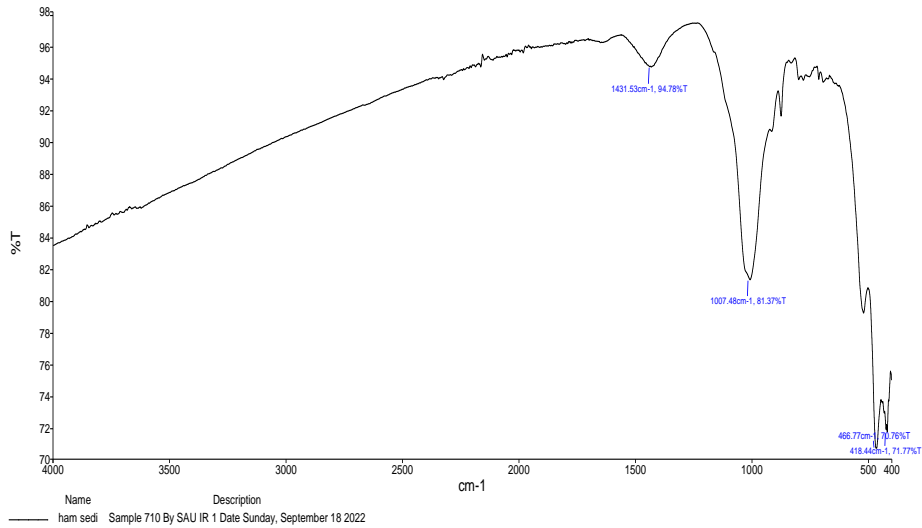


Şekil 3.5. Desorpsiyon ardından numunelerdeki değişim.

## 4. DENEYSEL BULGULAR

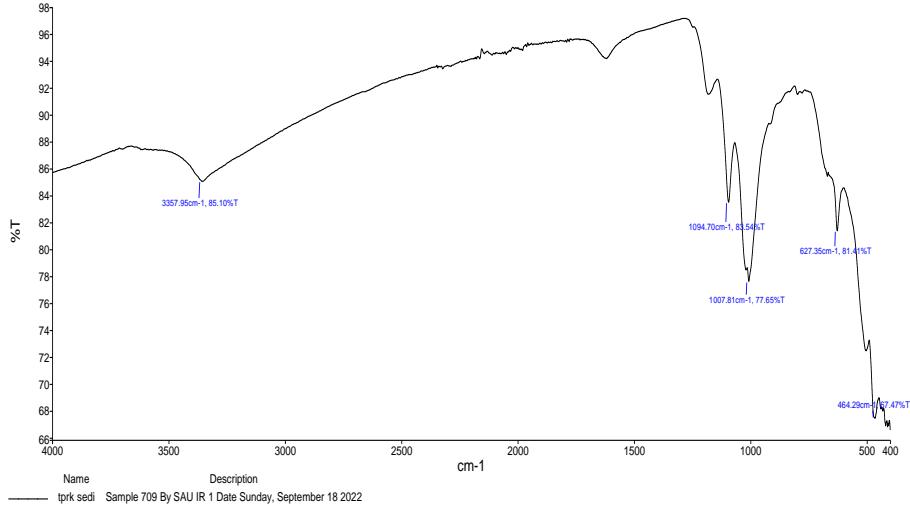
### 4.1. FTIR Analizi

FTIR analizleri, bir numunenin yapısı hakkında bilgi sahibi olma adına yapılmaktadır. Ham sediment numunesi,  $S - Fe_3O_4$  numunesi, metilen mavisi boyar maddesi ile adsorpsiyon sürecinden sonra elde edilen  $S - Fe_3O_4$  numunesinin FTIR spektrum sonuçları Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



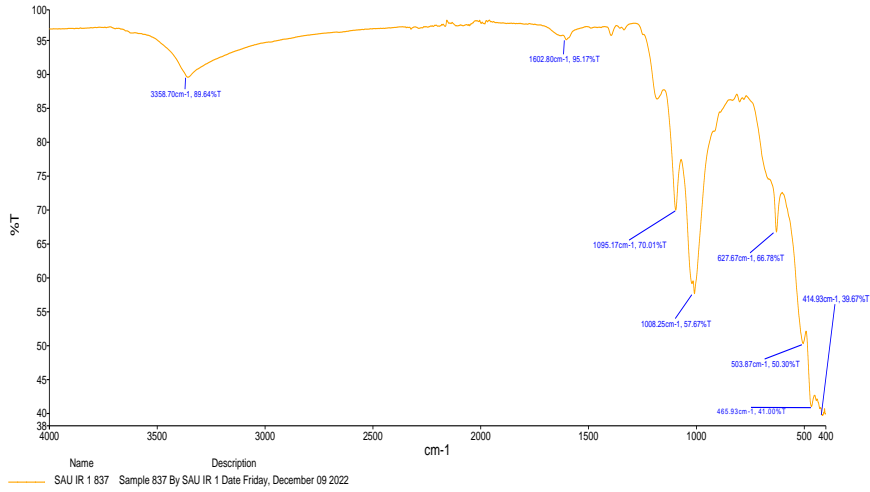
Şekil 4.1. Ham sedimentin FTIR grafiği.

Şekil 4.1 Sapanca göl sedimenti için FTIR spektrum karakteristiğini göstermektedir. FTIR karakterizasyonu, Fe-O, Si-O ve diğerleri gibi metal oksit bağları dahil olmak üzere sedimentin oksit bağı rezonansının oluşumunu gösterir. Göl sedimentinin FTIR spektrumunun 1413  $cm^{-1}$  dalga numaralı soğurma zirvesi, H-O-H bağının bükülmesi ve gerilmesi ile ilişkilidir. Oysa 1007  $cm^{-1}$  dalga sayısı için bir tepe soğurma, oksijen hareketine atfedilen Si-O-Si bağının anti simetrik gerilmesidir. Fe-O bağının yaklaşık 600-700  $cm^{-1}$  dalga sayısında artış gözlemlendiği bilinmektedir.



**Şekil 4.2.** S – Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>'e ait FTIR grafiği.

Şekil 4.2'de Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ile aktive edilmiş göl sedimentinin FTIR spektrumunun 1413 cm<sup>-1</sup> -3000 cm<sup>-1</sup> dalga numaralı soğurma zirvesi, H-O-H bağının bükülmesi ve gerilmesi ile ilişkilidir. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> eklenmesi ile birlikte Fe-O bağının yaklaşık 600-700 cm<sup>-1</sup> dalga sayısında artış gözlenmektedir.

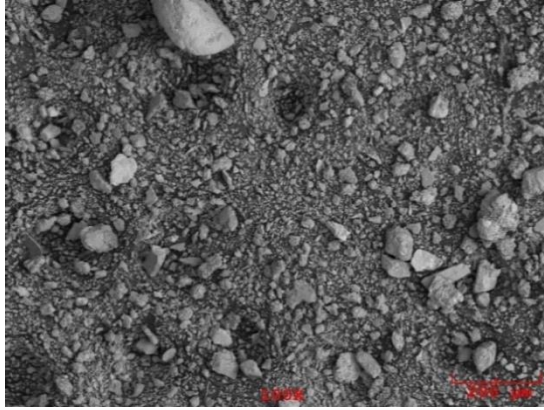


**Şekil 4.3.** MM ile adsorpsiyon süreci sonrası S – Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> numunesi grafiği.

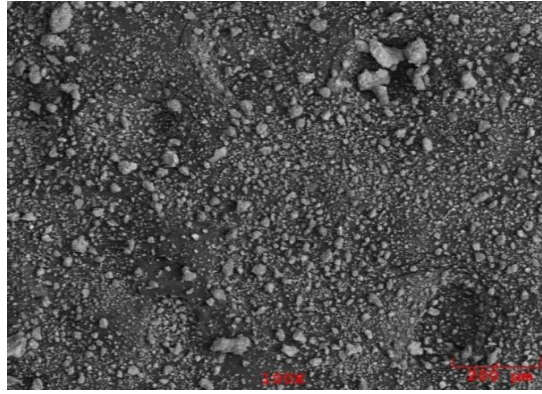
Şekil 4.3'te MM ile adsorpsiyon sürecinden sonrası S – Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> numunesinin FTIR spektrumu S – Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> FTIR grafiği ile benzer tepkileri göstermiştir.

#### 4.2. SEM ve EDS Görüntüleri

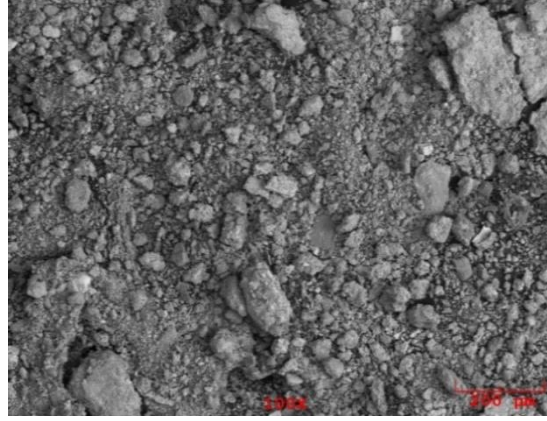
Numunelerin yüzeyinden yüksek çözünürlüklü görüntü alma analizlerinde SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) kullanılmaktadır. Demir sülfat ve demir klorür ile aktive edilmiş sediment numunesi, ham sediment numunesi, aktive edilmiş sedimentin metilen mavisi boyar maddesi ile adsorpsiyon sürecinden sonra elde edilen numunesinin yüzey morfolojisi SEM ile incelenmiştir. SEM görüntüleri Şekil 4.4, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.4. Ham sedimente ait SEM görüntüleri.

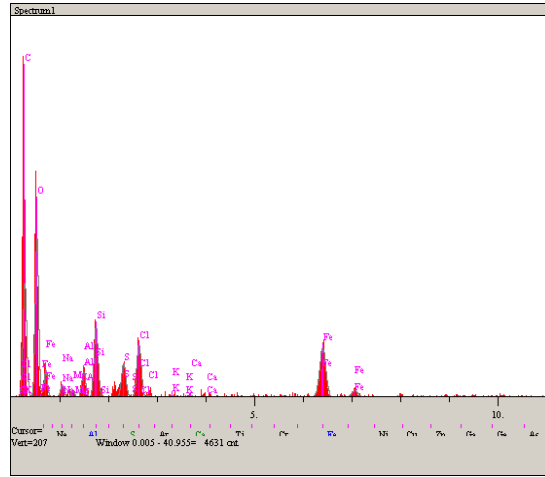


Şekil 4.5. S – Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ait SEM görüntüleri.



Şekil 4.6. MM ile adsorpsiyon sonrası SEM görüntüleri.

Şekil 4.7’de EDS grafiğine göre aktive edilmiş sedimenti C, O, Si, Al, Cl, Fe ve az miktar da olsa Ca ve K elementlerini içermektedir.

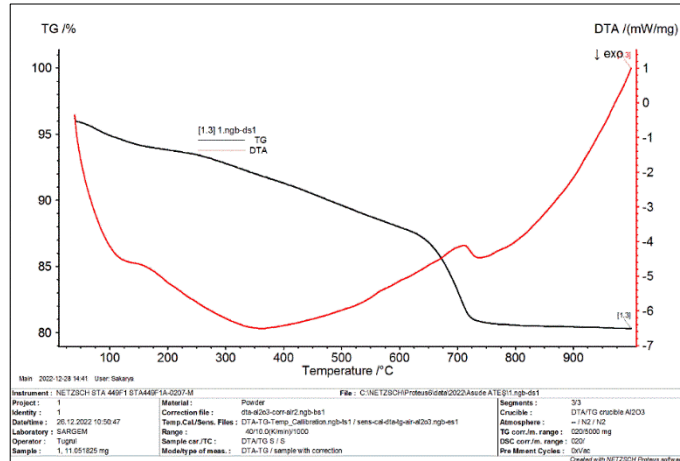


Şekil 4.7. S – Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ait EDS analiz verileri.

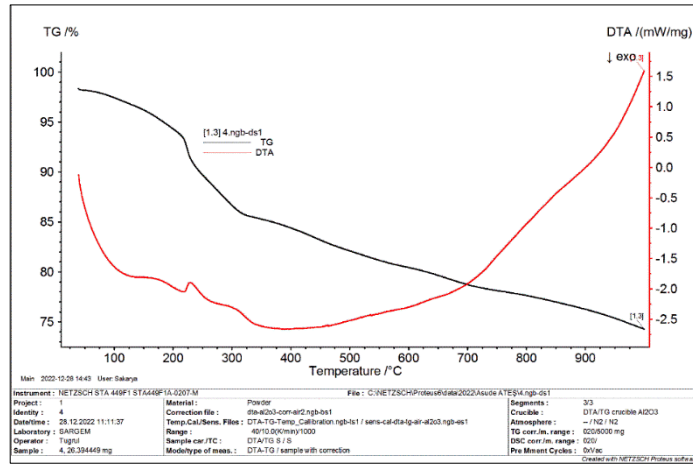
Şekil 4.7’ de gösterildiği gibi partiküllerin EDS analizleri incelendiğinde % ağırlıkça oranı en yüksek olan Fe bulunmuş olup; bunun kaynağı olarak Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> tespit edilmiştir. Si, Cl ve K elementi sedimentten meydana gelmektedir. Ayrıca Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> partikülleri ile ilgili Fe ve O elementleri manyetit sorbentinin yüzeyi boyunca homojen bir şekilde dağılmıştır.

### 4.3. TGA Görüntüleri

Adsorpsiyon sonrası S – Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ve ham sediment numunesinin kristal yapısını belirlemek adına TGA analizi yapılmıştır. TGA analiz verileri Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da gösterilmektedir.



Şekil 4.8. Ham sedimente ait TGA grafiği.



Şekil 4.9. Adsorpsiyon sonrası S – Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ait TGA grafiği.

Ham sediment ve Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ile aktive edilen sedimentlerde ölçüm yapılan sıcaklık aralığında belirgin bir ağırlık kaybı olmaması bu yapıların ısı kararlılık durumunu ifade etmektedir. Hazırlanan çözelti içerisindeki su, DMF ve etanol gibi maddeler nedeniyle 20-200 °C aralığında yaklaşık %10 ağırlık kaybı görülmüştür. İkinci aşamada 200 °C ve 500 °C arasında meydana gelen belirgin ağırlık kaybı metalik öncüllerin ayrışması ile ilişkilidir.

#### 4.4. pH'in Metilen Mavisi Giderim Verimine Etkisi

Adsorban üzerine adsorplanan boyar maddesi miktarı kontrolünde pH önemli bir parametredir (Mundada et al., 2016). pH parametresi adsorpsiyon prosesi, adsorban ve adsorbat yapısını etkilediğinden dolayı önemli bir faktördür (Laib et al. 2021).

Hem adsorban yüzey bağlanma bölgeleri hem de boya molekülü iyonizasyon prosesi üzerindeki etkisinden dolayı sulu çözeltinin pH'ı önemli bir etkiye sahiptir (Isik et al. 2022). Adsorpsiyonda etkili bir parametre olan pH'ın metilen mavisinin  $S - Fe_3O_4$  üzerine adsorpsiyonunda, 3,0 ile 10,0 pH değerleri aralığında, 298 K'de metilen mavisi çözeltileri hazırlanmıştır. Metilen mavisinin  $S - Fe_3O_4$  üzerine adsorpsiyonuna etki eden parametre değerleri ve elde edilen sonuçlar Tablo 4.1, Tablo 4.2 ve Tablo 4.3'de gösterilmektedir. Adsorpsiyon başlangıç pH ile boyar madde giderim verimindeki değişimi gösteren veriler Şekil 4.10' da gösterilmektedir.

**Tablo 4.1.** pH'ın MM giderimine etkisine ait verileri (50 mg/L ,75 mg/L).

pH	50mg/L			75mg/L		
	$C_e$	$q_e$	Giderim(%)	$C_e$	$q_e$	Giderim(%)
3	16,26	33,74	67,48	20,29	54,71	72,95
4	8,06	41,94	83,88	19,14	55,86	74,48
5	1,44	48,56	97,12	9,06	65,94	87,91
6	2,01	47,99	95,97	2,59	72,41	96,55
7	2,16	47,84	95,68	1,87	73,13	97,50
8	1,87	48,13	96,26	2,73	72,27	96,35
9	2,88	47,12	94,24	3,17	71,83	95,78
10	1,44	48,56	97,12	4,46	70,54	94,05

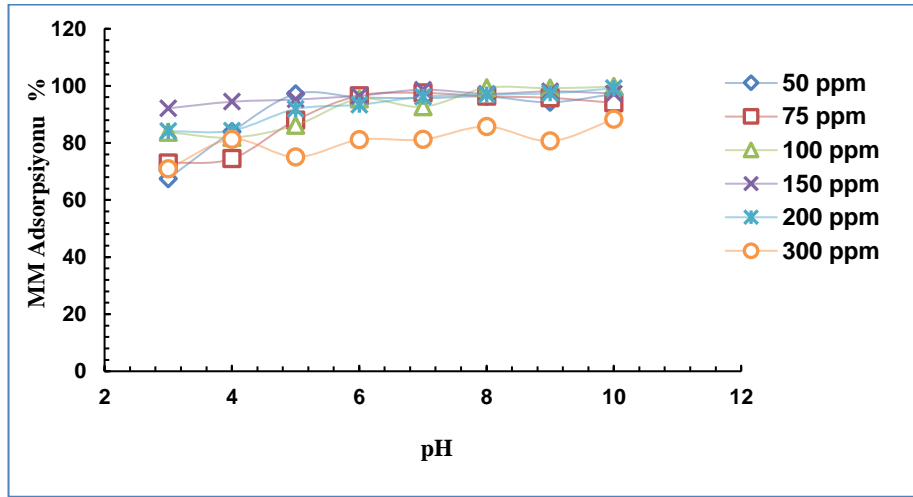
**Tablo 4.2.** pH'ı MM giderimine etkisine ait verileri (100 mg/L,150 mg/L).

pH	100mg/L			150mg/L		
	$C_e$	$q_e$	Giderim(%)	$C_e$	$q_e$	Giderim(%)
3	16,26	83,74	83,74	11,79	138,20	92,13
4	18,13	81,87	81,87	8,345	141,65	94,44
5	13,81	86,19	86,19	7,19	142,81	95,20
6	4,60	95,39	95,39	5,18	144,82	96,55
7	7,34	92,66	92,66	2,01	147,99	98,66
8	0,72	99,28	99,28	4,17	145,83	97,22
9	0,86	99,14	99,14	2,88	147,12	98,08
10	0,29	99,71	99,71	4,03	145,97	97,31



**Tablo 4.3.** pH'ın MM giderimine etkisine ait verileri (200 mg/L, 300 mg/L).

pH	200mg/L			300mg/L		
	$C_e$	$q_e$	Giderim(%)	$C_e$	$q_e$	Giderim(%)
3	31,79	168,20	84,10	87,34	212,66	70,8
4	31,37	168,63	84,32	56,26	243,74	81,25
5	16,26	183,74	91,87	74,82	225,18	75,06
6	13,24	186,76	93,38	56,69	243,31	81,10
7	7,63	192,37	96,19	56,40	243,59	81,19
8	6,19	193,81	96,91	42,73	257,27	85,76
9	5,17	194,82	97,41	57,99	242,01	80,67
10	1,727	198,27	99,14	35,11	264,89	88,29



**Şekil 4.10.** Başlangıç pH ile boyar madde giderim verimindeki değişimi.

Şekil 4.10' dan da görüldüğü gibi metilen mavisinin giderim verimi çözeltinin pH değerinin artması ile adsorpsiyonun da arttığı görülmektedir. Optimum pH değeri 7 olarak bulunmuş olup, pH 7'den sonra adsorpsiyonun sabit kaldığı Şekil 10' da görülmektedir. Bu durumun meydana gelme sebebinin ortamdaki OH iyonu fazlalığı ve metilen mavisi boyar maddesinin katyonik yapıya sahip olmasından kaynaklandığı sonucuna varılmaktadır. pH değerinin 6'dan yüksek olduğu durumlardaki metilen mavisi adsorpsiyonu daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu da bazik ortamlardaki adsorpsiyon veriminin daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır. Tüm konsantrasyonlarda optimum pH 7 olarak belirlenmiştir.

#### 4.5. S – Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Miktarı ve Başlangıç Boyar Madde Konsantrasyonunun Giderim Verimine Etkisi

Adsorpsiyon işleminde adsorban miktarı ve başlangıç boyar madde derişim konsantrasyonları önemli parametrelerdir. Adsorban miktarındaki artış adsorpsiyon verimindeki artış ile doğru orantılıdır. Bu artan yüzey alanı ile doğrudan ilişkilidir. Bununla beraber adsorban dozu ile adsorpsiyon verimindeki azalma adsorpsiyon bölgelerinin doygunluğa ulaşamaması durumu ilişkilendirilmektedir (Thinakaran ve ark., 2008).

Metilen mavisi ve kullanılan kompozit sediment numunesi miktarının adsorpsiyon verimine etkisini araştırmak adına 50 mg/L, 75 mg/L, 100 mg/L, 150 mg/L, 200 mg/L ve 300 mg/L metilen mavisi boyar maddesi konsantrasyonlarında ve 0,05 g, 0,1 g, 0,2 g, 0,3 g, 0,4 g, 0,5, 0,75 g ve 1 g adsorban miktarlarında deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu deneysel çalışmalar pH 7 ve 298 K sıcaklıkta yürütülmüştür. Belirlenen optimum pH ve sıcaklık değerlerine metilen mavisi çözeltilerine farklı miktarlarda adsorban ilave edilerek 1 saat boyunca manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır. Ardından huni ve filtre yardımı ile süzme gerçekleştirilerek sıvı faz UV-VIS cihazı ile ölçüm yapılmak üzere küvetlere konulmuştur. 50 mg/L, 75 mg/L, 100 mg/L, 150 mg/L, 200 mg/L ve 300 mg/L metilen mavisi boyar maddesi konsantrasyonlarında ve 0,05 g, 0,1 g, 0,2 g, 0,3 g, 0,4 g, 0,5, 0,75 g ve 1 g adsorban miktarlarında kullanılarak yapılan çalışmalarda elde edilen adsorpsiyon verileri Şekil 4.11’de ve Tablo 4.4, Tablo 4.5 ve Tablo 4.6’ da verilmiştir.

**Tablo 4.4.** Farklı S – Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> miktarının giderim verimine etkisi (50 mg/L,75 mg/L).

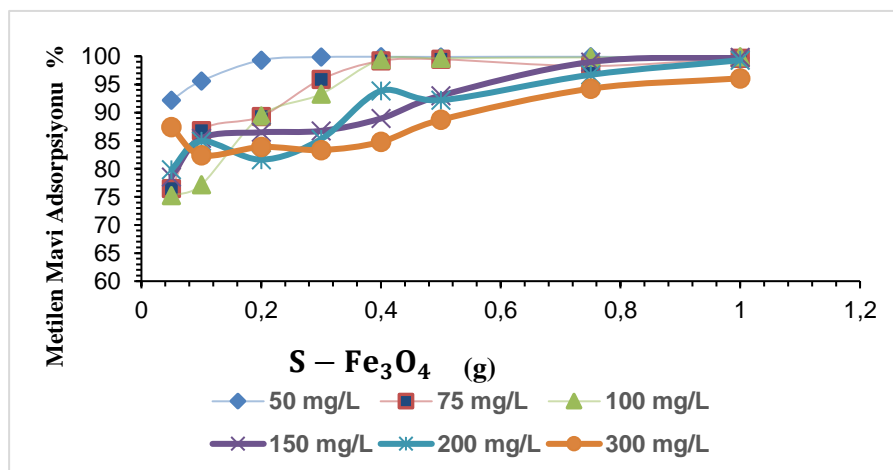
Miktar(gr)	50mg/L			75mg/L		
	C <sub>e</sub>	q <sub>e</sub>	Giderim(%)	C <sub>e</sub>	q <sub>e</sub>	Giderim(%)
0,05	3,90	92,20	92,20	17,63	114,75	76,50
0,1	2,20	47,80	95,60	9,91	65,09	86,78
0,2	0,35	24,83	99,31	8,01	33,49	89,31
0,3	0,07	16,64	99,86	3,08	23,97	95,89
0,4	0,04	12,49	99,91	0,60	18,60	99,19
0,5	0,06	9,99	99,88	0,40	14,92	99,46
0,75	0,04	9,99	99,91	1,29	9,83	98,27
1	0,16	4,98	99,68	0,26	7,47	99,65

**Tablo 4.5.** Farklı S –  $Fe_3O_4$  miktarının giderim verimine etkisi(100mg/L,150mg/L).

Miktar(gr)	100mg/L			150 mg/L		
	$C_e$	$q_e$	Giderim(%)	$C_e$	$q_e$	Giderim(%)
0,05	24,79	150,41	75,21	32,17	235,65	78,55
0,1	22,86	77,14	77,14	21,90	128,1	85,40
0,2	10,60	44,70	89,40	20,29	64,86	86,47
0,3	6,719	31,09	93,28	19,90	43,37	86,73
0,4	0,59	24,85	99,41	16,60	33,35	88,93
0,5	0,35	19,93	99,65	10,47	27,90	93,01
0,75	0,20	13,31	99,80	1,53	19,80	98,98
1	0,07	9,99	99,93	0,24	14,98	99,84

**Tablo 4.6.** Farklı S-  $Fe_3O_4$  miktarının giderim verimine etkisi (200 mg/L,300 mg/L).

Miktar(gr)	200mg/L			300 mg/L		
	$C_e$	$q_e$	Giderim(%)	$C_e$	$q_e$	Giderim(%)
0,05	40,33	319,34	79,83	37,76	524,49	87,41
0,1	30,17	169,83	84,91	52,75	247,25	82,42
0,2	36,76	81,62	81,62	48,43	125,78	83,86
0,3	29,47	56,84	85,27	50,01	83,33	83,33
0,4	12,32	46,92	93,84	45,68	63,58	84,77
0,5	15,61	36,88	92,19	33,90	53,22	88,70
0,75	6,59	25,79	96,71	17,29	37,70	94,24
1	1,40	19,86	99,30	11,77	28,82	96,08



**Şekil 4.11.** Farklı S –  $Fe_3O_4$  miktarının giderim verimine ait veriler

Adsorban miktarını belirlemek adına 6 farklı konsantrasyon ile yapılan deneysel çalışma sonucunda 0,5 gram sediment optimum değer olarak kabul edilmiştir. Bunun nedeni 5 farklı konsantrasyonda da 0,5 gram sediment %90'ın üzerinde giderim verimi sağlamıştır. Bu çalışmada 0,75 gram ve 1 gram sediment adsorban olarak kullanıldığında neredeyse %100'e yakın verim sağlansa da amacımız daha az sediment kullanıp ekonomik, etkili ve çevre dostu bir adsorban elde etmektir.

#### 4.6. Karıştırma Süresinin Giderim Verimi Üzerine Etkisi

Metilen mavisi adsorpsiyonuna kullanılan adsorbanın yapısı, adsorbatın karakteristik özelliği ve adsorbanın değişken adsorpsiyon merkezleri etki etmektedir (Onaran, 2018). S –  $Fe_3O_4$  ile metilen mavisi adsorpsiyonuna sürenin etkisinin araştırılması adına 6 farklı konsantrasyondaki metilen mavisi çözeltileri 0,5-gram S –  $Fe_3O_4$  ile 298 K'de 5 ile 120 dakika arasındaki sürelerde çalışılmıştır. 50 mg/L, 75 mg/L, 100 mg/L, 150 mg/L, 200 mg/L ve 300 mg/L konsantrasyonlarına ait metilen mavisi adsorpsiyonuna sürenin etkisini gösteren değerler Şekil 4.12'de ve elde edilen analiz verileri Tablo 4.7, Tablo 4.8 ve Tablo 4.9'da gösterilmektedir.

**Tablo 4.7.** Karıştırma süresinin giderim verimine etkisi (50 mg/L 75 mg/L).

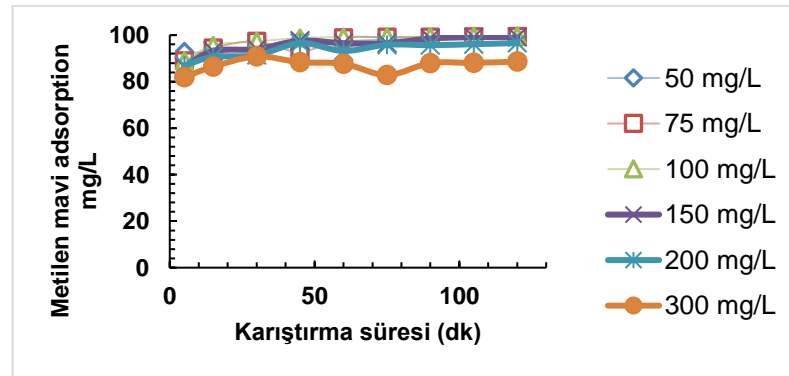
Zaman(dk)	50mg/L			75mg/L		
	$C_e$	$q_e$	Giderim(%)	$C_e$	$q_e$	Giderim(%)
5	3,52	46,47	92,94	8,30	66,69	88,93
15	3,81	46,18	92,37	4,18	70,81	94,41
30	2,51	47,48	94,96	2,02	72,97	97,29
45	1,00	48,99	97,98	5,43	69,56	92,74
60	1,26	48,73	97,46	0,92	74,07	98,77
75	0,94	49,05	98,10	0,71	74,28	99,04
90	0,84	49,15	98,30	0,66	74,33	99,11
105	0,47	49,52	99,05	0,58	74,41	99,21
120	0,41	49,58	99,16	0,43	74,56	99,42

**Tablo 4.8.** Karıştırma süresinin giderim verimine etkisi (100 mg/L, 150 mg/L).

Zaman(dk)	100 mg/L			150 mg/L		
	$C_e$	$q_e$	Giderim(%)	$C_e$	$q_e$	Giderim(%)
5	11,09	88,90	88,90	20,31	129,68	86,45
15	4,46	95,53	95,53	10,27	139,72	93,15
30	2,70	97,29	97,29	9,05	140,94	93,96
45	1,28	98,71	98,71	3,61	146,38	97,59
60	0,87	99,12	99,12	5,22	144,77	96,51
75	0,77	99,22	99,22	5,26	144,73	96,48
90	0,70	99,29	99,29	2,23	147,76	98,51
105	0,47	99,52	99,52	1,32	148,67	99,11
120	0,43	99,56	99,56	1,20	148,79	99,19

**Tablo 4.9.** Karıştırma süresinin giderim verimine etkisi (200 mg/L, 300 mg/L).

Zaman(dk)	200 mg/L			300 mg/L		
	$C_e$	$q_e$	Giderim(%)	$C_e$	$q_e$	Giderim(%)
5	26,16	173,84	86,92	54,24	245,76	81,91
15	18,76	181,23	90,619	40,70	259,29	86,43
30	17,31	182,69	91,35	27,51	272,49	90,82
45	6,85	193,15	96,58	35,02	264,98	88,32
60	13,59	186,40	93,20	36,93	263,06	87,68
75	8,32	191,68	95,84	51,52	248,47	82,82
90	8,63	191,37	95,68	36,10	263,89	87,96
105	7,83	192,17	96,09	35,81	264,18	88,06
120	6,83	193,16	96,58	34,17	265,82	88,60



**Şekil 4.12.** Karıştırma süresinin giderim verimine etkisi grafiği.

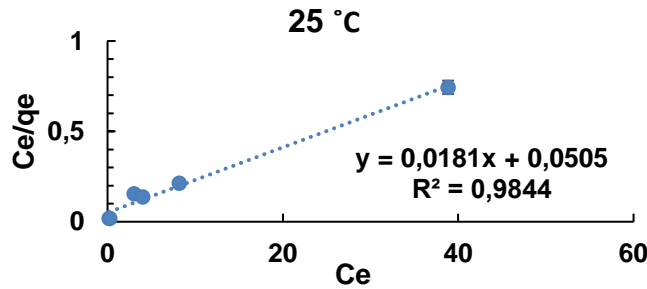
Şekil 4.12’de metilen mavisinin giderim verimi, 60 dakika sonunda %95’in üzerinde bir verim elde edilmiştir fakat kesin sonucu gözlemleyebilmek adına adsorpsiyon 120 dakika boyunca devam etmiştir. Metilen mavisinin en yüksek verimle giderildiği süre 120 dakika olarak belirlenmiştir.

#### 4.7. Adsorpsiyon İzotermeleri

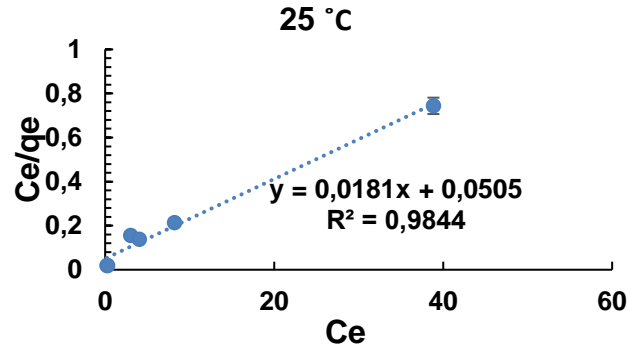
Adsorpsiyon izotermeleri, adsorbe edilen maddenin yüzeyinde adsorbatın dağılımı hakkında fikir sahibi olunması adına önemli bir parametredir. Bundan dolayı adsorpsiyon prosesinde boyar madde giderimi için etkili olan parametrelerin en uygun korelasyon katsayıları elde edilerek denge verileri hesaplanmıştır (Davis ve ark., 2003). Adsorpsiyon izoterm modelleri ile adsorban birim başına boyar madde miktarları arasındaki ilişki açıklanmaktadır. 298 K sıcaklıkta, 0,5 g aktive edilmiş sediment ile metilen mavisi adsorplama çalışmaları için Langmuir izoterm verileri Tablo 4.10’da , Langmuir izoterm grafiği Şekil 4.13’te, Freundlich izoterm grafiği Şekil 4.14’te verilmiştir.

**Tablo 4.10.** S – Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ile MM adsorplama Langmuir izoterm verileri (298K)

Başlangıç metilen mavisi konsantrasyonu	Absorbans	Ce	qe	Ce/qe	Giderim (%)
50	0,01	0,18	9,96	0,018	99,62
75	0,02	0,27	14,95	0,019	99,64
100	0,21	3,02	19,40	0,156	96,98
150	0,28	4,03	29,19	0,138	97,31
200	0,57	8,20	38,36	0,214	95,90
300	0,27	38,85	52,23	0,744	87,05



**Şekil 4.13.** S – Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ile MM adsorplama Langmuir izoterm grafiği (298K).

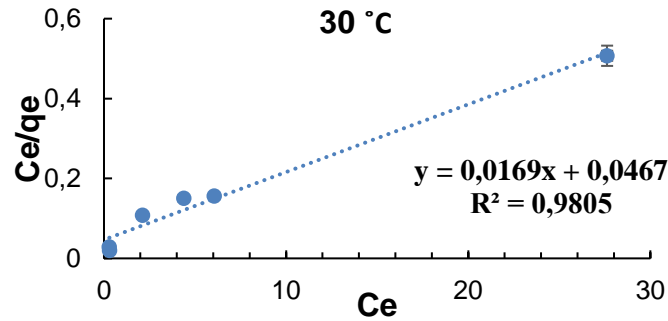


Şekil 4.14. S – Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ile MM adsorplama Freundlich izoterm grafiği (298K).

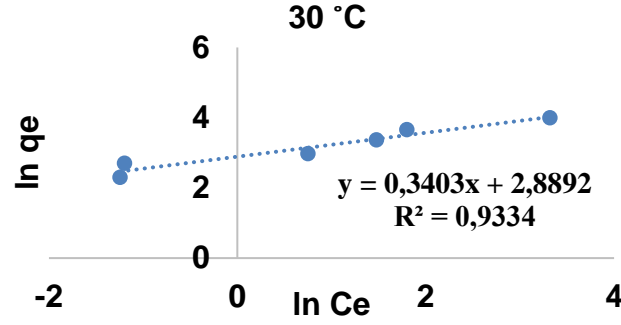
303 K sıcaklıkta, 0,5 g S – Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ile metilen mavisi adsorplama çalışmaları için Langmuir izoterm verileri Tablo 4.11’de, Langmuir izoterm grafiği Şekil 4.15 ’te, Freundlich izoterm grafiği Şekil 4.16’da verilmiştir.

Tablo 4.11. S – Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ile MM adsorplama Langmuir izoterm verileri (303K).

Başlangıç metilen mavisi konsantrasyonu	Absorbans	Ce	qe	Ce/qe	Giderim (%)
50	0,02	0,29	9,94	0,029	99,42
75	0,02	0,30	14,94	0,02	99,60
100	0,15	2,11	19,58	0,11	97,88
150	0,30	4,37	29,13	0,15	97,08
200	0,42	6,04	38,79	0,16	96,98
300	1,92	27,63	54,47	0,51	90,7



Şekil 4.15. S – Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ile MM adsorplama Langmuir izoterm grafiği (303K).

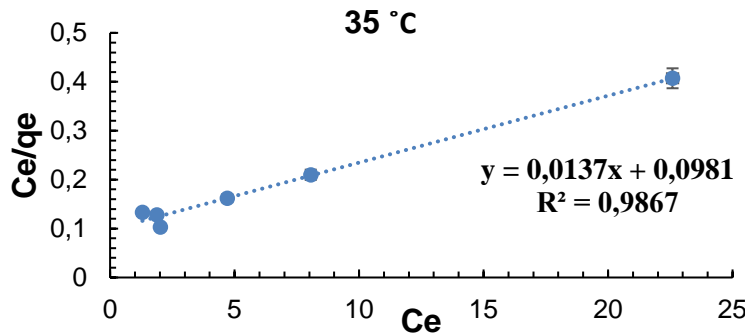


Şekil 4.16. S – Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ile MM adsorplama Freundlich izoterm grafiği (303K).

313 K sıcaklıkta, 0,5 g S – Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ile metilen mavisi adsorplama çalışmaları için Freundlich ve Langmuir izoterm verileri Tablo 4.12’de; Langmuir izoterm grafiği Şekil 4.17’de, Freundlich izoterm grafiği Şekil 4.18’de verilmiştir.

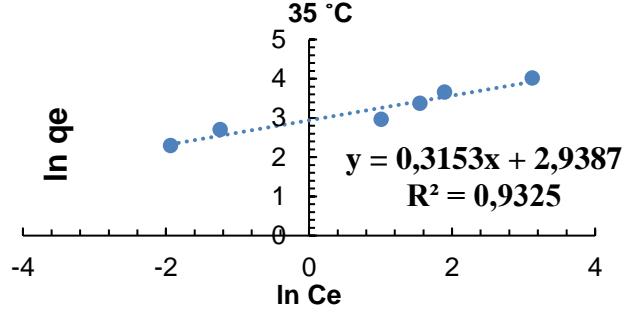
Tablo 4.12. S – Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ile MM adsorplama Langmuir izoterm verileri (308K).

Başlangıç metilen mavi konsantrasyonu	Absorbans	Ce	qe	Ce/qe	Giderim (%)
50	0,01	0,144	9,971	0,014	99,712
75	0,02	0,288	14,942	0,019	99,616
100	0,19	2,733	19,453	0,140	97,266
150	0,327	4,705	29,059	0,161	96,863
200	0,46	6,6187	38,676	0,171	96,690
300	1,57	22,590	55,482	0,407	92,470



Şekil 4.17. S – Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ile MM adsorplama Langmuir izoterm grafiği (308K).





**Şekil 4.18.** S – Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ile MM adsorplama Freundlich izoterm grafiği (308K).

Yapılan çalışmada korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) değeri, çalışılan tüm sıcaklıklarda 0,93'ün üzerinde olduğu hesaplanmıştır ve ortaya çıkan yüksek korelasyon değerlerinden dolayı Langmuir izotermine uyduğu belirlenmiştir. Tablo 4.13 ve Tablo 4.14'te Langmuir ve Freundlich izotermi denklem parametrelerine ait tablolar sunulmuştur.

**Tablo 4.13.** Langmuir izotermi denklem parametreleri.

Sıcaklık	Numune	$q_m(\text{mg/g})$	$b (\text{L/mg})$	$K_L(\text{mg/L})$	$R^2$
298 K	S-Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	54,94	0,42	2,38	0,99
303 K	S-Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	59,17	0,36	2,77	0,98
308 K	S-Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	60,97	0,32	3,1	0,94

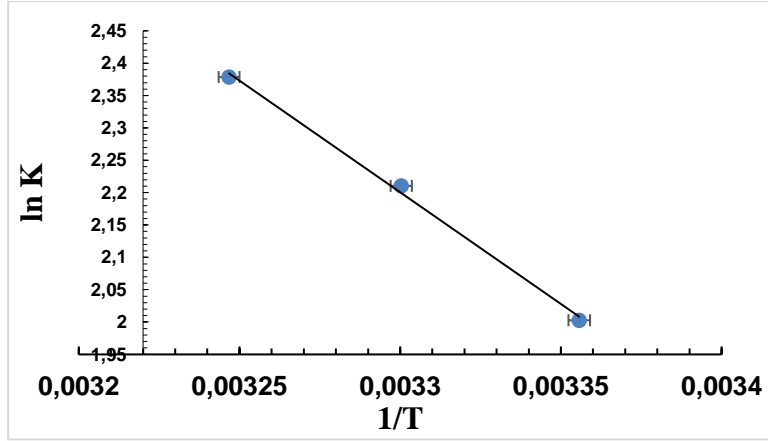
**Tablo 4.14.** Freundlich izotermi denklem parametreleri.

Sıcaklık	Numune	$K_f$	$n (\text{L/mg})$	$R^2$
298 K	S-Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	29,3	3,38	0,96
303 K	S-Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	18,92	2,94	0,93
308 K	S-Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	23,8	3,17	0,93

#### 4.8. Adsorpsiyon Termodinamiği

Termodinamik parametreleri, adsorpsiyon ile ilişkili doğal enerjik değişiklikler hakkında bilgi vermektedir (Ahmad ve ark., 2014). Aktive edilmiş sediment üzerine metilen mavisi boyasının adsorpsiyon işlemini termodinamik açıdan incelemek için

Gibbs serbest enerji değişimi ( $\Delta G^\circ$ ), entalpi değişimi ( $\Delta H^\circ$ ) ve entropi değişimi ( $\Delta S^\circ$ ) hesaplanmaktadır. 0,5 g aktive edilmiş sediment kullanılarak 100 mg/L konsantrasyonundaki 100 mL metilen mavisi çözeltileri ile 293 K, 298 K ve 303 K sıcaklık değerlerinde boyar madde adsorpsiyonu prosesinde sıcaklığın etkisi incelenmiştir. Şekil 4.19’da adsorbanın sıcaklığa bağlı değişim grafiği sunulmuştur.



Şekil 4.19. S –  $Fe_3O_4$ 'ün sıcaklığa bağlı değişim grafiği.

Şekil 4.19’da 1/T ve lnK değerleri ile çizilen grafikten korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) ve denklem elde edilmiştir. Elde edilen denklem ile serbest enerji değişimi ( $\Delta G^\circ$ ), entalpi değişimi ( $\Delta H^\circ$ ) ve entropi değişimi ( $\Delta S^\circ$ ) değerleri hesaplanmıştır. Tablo 4.15’de ise S –  $Fe_3O_4$  için elde edilen termodinamik veriler görülmektedir.

Tablo 4.15. S –  $Fe_3O_4$  için elde edilen termodinamik veriler.

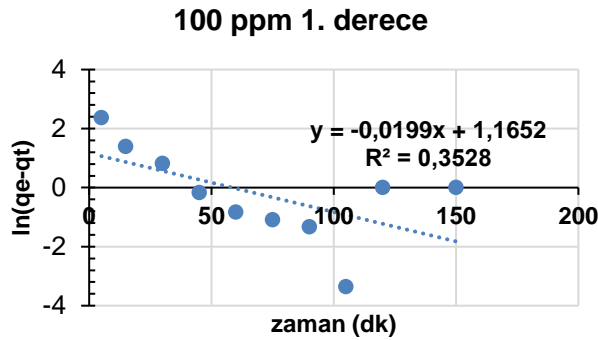
Numune	T(K)	$\Delta G^\circ$ (kJ/mol)	$\Delta H^\circ$ (kJ/mol)	$\Delta S^\circ$ (kJ/mol)
S- $Fe_3O_4$	293	-4,96	28,42	0,112
	303	-5,66	28,84	
	313	-6,27	29,35	

Negatif  $\Delta G^\circ$  değerlerinden, adsorpsiyon işleminin kendiliğinden oluştuğu ve termodinamik olarak uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Sonuçlara göre, artan sıcaklıkla  $\Delta G^\circ$  değerlerinde bir artış, metilen mavisinin daha fazla miktarda adsorbe olmasına neden olmasına yol açmıştır. Adsorpsiyon işleminde hesaplanan  $\Delta H^\circ$  değerinin pozitif olması endotermik, negatif olması ekzotermik reaksiyon gerçekleştiğini göstermektedir. Pozitif  $\Delta S^\circ$  değeri, metilen mavisi ve aktive edilmiş

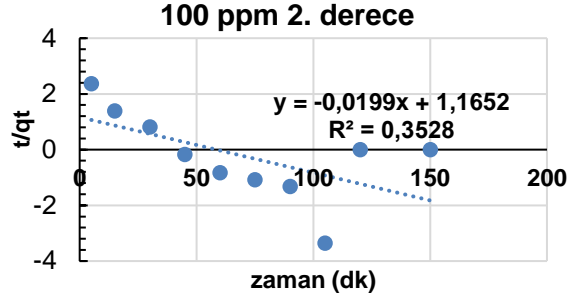
sediment etkileşiminden kaynaklanan yapısal değişikliklerden dolayı adsorpsiyon boyunca katı/çözelti arayüzünde entropinin arttığını ifade etmektedir (Malakootian ve ark., 2015; Parshetti ve ark., 2014).

#### 4.9. Adsorpsiyon Kinetiği

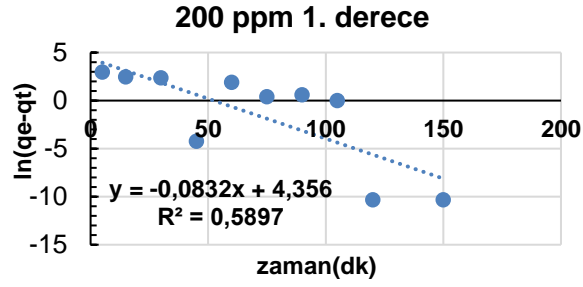
Boyar maddelerin adsorbe olduğu mekanizmayı açıklamada birçok kinetik model mevcuttur. Adsorpsiyon prosesi, adsorbanın kütle taşıma, fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır. Aktive edilmiş sedimente metilen mavisi adsorpsiyonunu açıklamak için yalancı birinci derece ve yalancı ikinci derece kinetik modeller ile hesaplanmıştır. Şekil 4.20 ve Şekil 4.21’de sırasıyla MM(100 mg/L) adsorpsiyonunun yalancı 1.dereceden kinetiği ve MM(100 mg/L) adsorpsiyonunun yalancı 2.dereceden kinetiği grafikleri sunulmuştur. Şekil 4.22 ve Şekil 4.23’te sırasıyla MM(200 mg/L) adsorpsiyonunun yalancı 2.dereceden kinetiği ve MM(200mg/L) adsorpsiyonunun yalancı 1.dereceden kinetiği grafikleri sunulmuştur. Şekil 4.24 ve Şekil 4.25’te sırasıyla MM(300 mg/L) adsorpsiyonunun yalancı 1.dereceden kinetiği ve MM(300 mg/L) adsorpsiyonunun yalancı 2.dereceden kinetiği grafikleri sunulmuştur. Tablo 4.16’da MM farklı konsantrasyonlara ait kinetik verileri tablosu sunulmuştur.



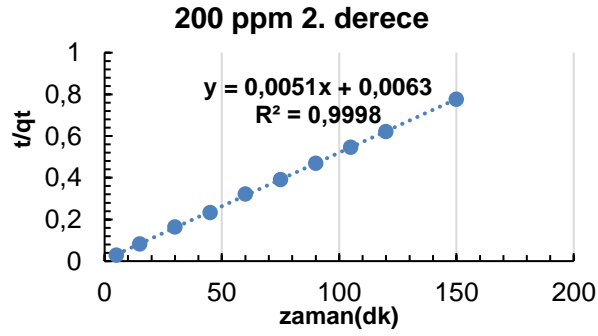
Şekil 4.20. MM(100 mg/L) adsorpsiyonunun yalancı 1.dereceden kinetiği.



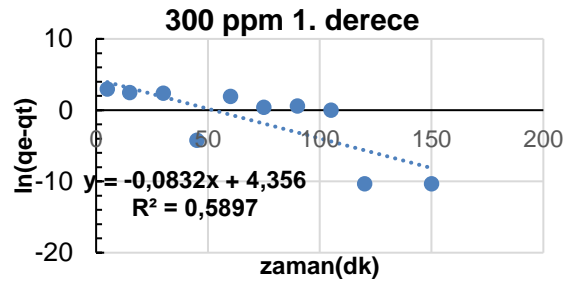
Şekil 4.21. MM(100 mg/L) adsorpsiyonunun yalancı 2.dereceden kinetiği.



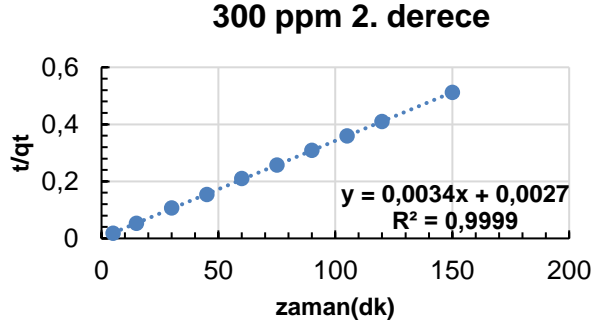
Şekil 4.23. MM(200mg/L) adsorpsiyonunun yalancı 1.dereceden kinetiği.



Şekil 4.22. MM(200 mg/L) adsorpsiyonunun yalancı 2.dereceden kinetiği.



Şekil 4.24. MM(300 mg/L) adsorpsiyonunun yalancı 1.dereceden kinetiği.



**Şekil 4.25.** MM(300 mg/L) adsorpsiyonunun yalancı 2.dereceden kinetiği.

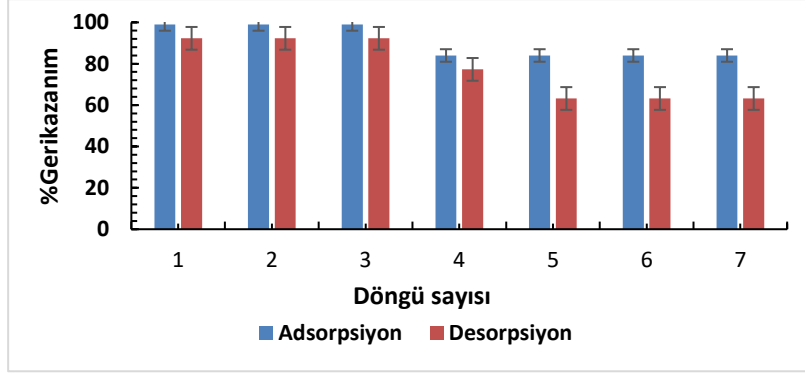
**Tablo 4.16.** Farklı MM konsantrasyonlarına ait kinetik verileri.

Numune	Yalancı 1. Derece				Yalancı 2. derece		
	Kons.	$k_1$	$q_e$	$R^2$	$k_1$	$q_e$	$R^2$
S- $Fe_3O_4$	100mg/l	0,20	3,21	0,35	1,47	100	1
	200mg/l	0,83	77,94	0,59	0,81	196,07	0,99
	300mg/l	0,83	77,94	0,59	1,26	294,12	0,99

Üç konsantrasyon için yapılan çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlara göre yalancı ikinci derece, kinetik modelinin yalancı birinci derece modeline kıyasla daha iyi uyduğunu göstermektedir. Elde edilen bu veriler kimyasal adsorpsiyon varlığını ispatlamaktadır. Elde edilen bu sonuçlarla, sentezlenen aktive edilmiş sedimentin MM ile adsorpsiyonunda parçacıklar arası difüzyonun gerçekleştiği ifade edilebilmektedir (Zhong ve ark., 2012).

#### 4.10. Desorpsiyon

Aktive edilmiş sedimentin üzerine metilen mavi adsorpsiyonu prosesinden sonra desorpsiyon prosesi çalışılmıştır. Desorpsiyon prosesinde S –  $Fe_3O_4$ 'ün tekrar kullanımı araştırılmıştır. Desorpsiyon işlemi bazik ve asidik koşullar altında çalışılmış olup, asidik şartlar 0,05 M HCl, 0,1 M HCl ve 0,2 M HCl ile bazik şartlar 0,05 NaOH, 0,1 M NaOH ve 0,2 M sağlanmıştır. En iyi sonuç 0,1 M NaOH ile elde edilmiştir. Desorpsiyon işlemine 0,1 M NaOH ile 7 tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.26'da desorpsiyon verilerine ait grafik sunulmuştur.



**Şekil 4.26.** S – Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> ‘ün geri dönüşüm verimi (sıcaklık: 298 K, adsorban miktarı: 0,1g/100 mL, karıştırma hızı: 120 rpm, temas süresi: 60 dk, pH7, çözücü: 0,1 M NaOH).

Şekil 4.26’da görüldüğü üzere adsorpsiyon-desorpsiyon döngüsü çalkalamalı sistemde 7 kez tekrar edilerek gerçekleştirilmiştir. Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> kaplı sediment üzerine adsorbe edilen MB miktarının yaklaşık %36,8’i döngüsel işlemten sonra geri kazanılmıştır. Bu sonuç aktive edilmiş göl sedimentinin tekrar kullanılabilirliği açısından iyi durumda olduğunu göstermektedir.

## 5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Sapanca Gölü, Marmara Bölgesinde içme suyu ve sulama gibi ihtiyaçlar için kullanılan en önemli tatlı su kaynaklarından biridir. Göl, çevresindeki yerleşim bölgeleri, sanayi kuruluşları ve karayolundan gelen kirleticiler tarafından kirliliğe maruz bırakılmaktadır. Bu çalışmada göl sedimenti ve gelen boyar madde kirliliğinin arasındaki ilişki, sedimentin gelen boyar madde yükünü ne kadar taşıdığı, sedimentin bu kirliliğe karşı ne tür davranışlar geliştireceği adsorpsiyon prosesi benimsenerek araştırılmış olup, çalışma göl parametrelerine uygun şartlar altında sürdürülmüştür. Bu çalışmanın konusu kontrolsüzce çevreye salınan boyar maddelerin alıcı ortamda nasıl bir etki oluşturduğunu gözlemlemektir. Ayrıca bu çalışma ile yüzeysel suların alt katmanında bulunan sedimentin ne kadar yük taşıyabileceği, bu gelen kirliliğe karşı nasıl bir tepki gösterdiği incelenecektir. Benimsenen adsorpsiyon prosesi yardımı ile farklı parametreler ile giderim veriminin ne yönde değiştiği araştırılacaktır. Bu çalışmada pH, sıcaklık, adsorban miktarı, başlangıç boyar madde konsantrasyonları, temas süresi parametrelerinin adsorpsiyon sürecine etkisi araştırılmıştır. Amaç sedimentin gelen kirlilik yükünün ne kadarını taşıyabileceğini hesaplamak, göl parametrelerine uygun şartlarda çalışarak suyun ve sedimentin gösterdiği tepkiyi gözlemlemek, sedimentin gelen kirliliğe karşı gösterdiği davranışı incelemektir. Yapılan adsorpsiyon deneyi çalışmaları sonucunda pH 7, 25 °C, 0,5 gram adsorban miktarı ve 100 mg/L MM boyar madde konsantrasyonu ile optimum adsorpsiyon verimi sağlanmıştır. Bu da sedimentin bu şartlarda boyar maddeyi tuttuğu ve yüzeysel sulardan boyar maddeyi indirmediği sonucunu göstermiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda yapılan hesaplamalar ile adsorpsiyon denge verilerinin Langmuir modeline daha uygun olduğu belirlenmiştir Adsorpsiyon kinetik analizlerine göre yalancı birinci dereceye uygun olduğu görülmüştür. Negatif  $\Delta G^\circ$  değerleri adsorpsiyon işleminin kendiliğinden oluştuğunu ve hesaplanan  $\Delta H^\circ$  değerinin pozitif olması prosesin endotermik olduğunu göstermektedir. Tüm bu

sonuçlar ışığında, gelen kirlilik yükünün optimum şartlarda sediment tarafından tutulduğu sonucuna varılmıştır.



## KAYNAKLAR

- Ali, H. (2010). Biodegradation of synthetic dyes—a review. *Water, Air, & Soil Pollution*, 213(1), 251-273.
- Altıntig, E., Alsancak, A., Karaca, H., Angin, D., & Altundag, H. (2022). The comparison of natural and magnetically modified zeolites as an adsorbent in methyl violet removal from aqueous solutions. *Chemical Engineering Communications*, 209(4), 555-569.
- Aroguz, A. Z., Gulen, J., & Evers, R. H. (2008). Adsorption of methylene blue from aqueous solution on pyrolyzed petrified sediment. *Bioresource Technology*, 99(6), 1503-1508.
- Archin, S. (2018). Optimization of process parameters by response surface methodology for methylene blue removal using cellulose dusts. *Civil Engineering Journal*, 4(3).
- Allen, S. J., & Koumanova, B. (2005). Decolourisation of water/wastewater using adsorption. *Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy*, 40(3), 175-192.
- Bencheqroun, Z., Chaouki, Z., Hadri, M., Nawdali, M., Draoui, K., Valdés, H., & Zaitan, H. (2018, June). Removal of textile dyes from aqueous solutions using low cost Moroccan clay. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 161, No. 1, p. 012009). IOP Publishing.
- Cameselle, C., Gouveia, S., Akretche, D. E., & Belhadj, B. (2013). Advances in electrokinetic remediation for the removal of organic contaminants in soils. *organic pollutants-monitoring, risk and treatment*, 10, 54334.
- Ceylan, E., BAŞARAN, G., Bektaş, N., & YATMAZ, C. (2022). Demir yüklenmiş kitosanın Reaktif Turuncu 16 boyar maddesinin giderimine etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 37(3), 1427-1440.
- Crini, G. (2006). Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: a review. *Bioresource technology*, 97(9), 1061-1085.
- Crini, G., & Badot, P. M. (2008). Application of chitosan, a natural aminopolysaccharide, for dye removal from aqueous solutions by adsorption processes using batch studies: A review of recent literature. *Progress in polymer science*, 33(4), 399-447.
- Cheng, S., Zhao, S., Guo, H., Xing, B., Liu, Y., Zhang, C., & Ma, M. (2022). High-efficiency removal of lead/cadmium from wastewater by MgO modified biochar derived from crofton weed. *Bioresource Technology*, 343, 126081.

- Chen, L. F., Wang, H. H., Lin, K. Y., Kuo, J. Y., Wang, M. K., & Liu, C. C. (2018). Removal of methylene blue from aqueous solution using sediment obtained from a canal in an industrial park. *Water Science and Technology*, 78(3), 556-570.
- Dąbrowski, A. (2001). Adsorption—from theory to practice. *Advances in colloid and interface science*, 93(1-3), 135-224.
- Duman, O., & Ayranci, E. (2010). Adsorptive removal of cationic surfactants from aqueous solutions onto high-area activated carbon cloth monitored by in situ UV spectroscopy. *Journal of hazardous materials*, 174(1-3), 359-367.
- Diñçer, A. R., Güneş, Y., Karakaya, N., & Güneş, E. (2007). Comparison of activated carbon and bottom ash for removal of reactive dye from aqueous solution. *Bioresource Technology*, 98(4), 834-839.
- Eldeeb, T. M., Aigbe, U. O., Ukhurebor, K. E., Onyancha, R. B., El-Nemr, M. A., Hassaan, M. A., ... & El Nemr, A. (2022). Adsorption of methylene blue (MB) dye on ozone, purified and sonicated sawdust biochars. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-23.
- El-Kammah, M., Elkhatib, E., Gouveia, S., Cameselle, C., & Aboukila, E. (2022). Cost-effective ecofriendly nanoparticles for rapid and efficient indigo carmine dye removal from wastewater: Adsorption equilibrium, kinetics and mechanism. *Environmental Technology & Innovation*, 28, 102595.
- El-Kammah, M., Elkhatib, E., Gouveia, S., Cameselle, C., & Aboukila, E. (2022). Enhanced removal of Indigo Carmine dye from textile effluent using green cost-efficient nanomaterial: Adsorption, kinetics, thermodynamics and mechanisms. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 29, 100753.
- Fatimah, I., Wang, S., & Wulandari, D. (2011). ZnO/montmorillonite for photocatalytic and photochemical degradation of methylene blue. *Applied Clay Science*, 53(4), 553-560.
- Far, H. S., Hasanzadeh, M., Najafi, M., & Rabbani, M. (2022). Magnetic metal–organic framework (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@ MIL-101) functionalized with dendrimer: Highly efficient and selective adsorption removal of organic dyes. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 1-16.
- Garg, V. K., Gupta, R., Yadav, A. B., & Kumar, R. (2003). Dye removal from aqueous solution by adsorption on treated sawdust. *Bioresource technology*, 89(2), 121-124.
- Gupta, V. K. (2009). Application of low-cost adsorbents for dye removal—a review. *Journal of environmental management*, 90(8), 2313-2342.
- Harja, M., Buema, G., & Bucur, D. (2022). Recent advances in removal of Congo Red dye by adsorption using an industrial waste. *Scientific Reports*, 12(1), 1-18.
- Homagai, P. L., Poudel, R., Poudel, S., & Bhattarai, A. (2022). Adsorption and removal of crystal violet dye from aqueous solution by modified rice husk. *Heliyon*, 8(4), e09261.
- Isik, Z., Bouchareb, R., Saleh, M., & Dizge, N. (2022). Iron Oxide Particles Loaded Activated Carbon Cloth and Comparison of Adsorption and Fenton Reaction for Efficient Cationic and Anionic Dyes Removal. *Water, Air, & Soil Pollution*, 233(5), 1-11.

- Jamal, M. A., Muneer, M., & Iqbal, M. (2015). Photo-degradation of monoazo dye blue 13 using advanced oxidation process. *Chem. Int*, 1(1), 12-16.
- Kang, X., & Chen, Z. (2018). A study of kinetics and thermodynamics of methylene blue adsorption onto the Yellow River bottom sediment: Untersuchung der kinetischen und thermodynamischen Adsorption von Methylblau in Bodensediment vom Gelben Fluß. *Materialwissenschaft Und Werkstofftechnik*, 49(11), 1392-1398.
- Karaman, İ. (2010). Soma linyitinin fiziksel aktivasyonu ve aktiflenmiş ürüne boyarmadde adsorpsiyonu. *Kimya Mühendisliği ABD*.
- Laib, S., Rezzaz-Yazid, H., & Sadaoui, Z. (2022). Comparative Study on Removal of Textile Dyes in Aqueous Medium by Adsorption Using Modified Drinking Water Treatment Sludge. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 47(5), 6085-6098.
- Liu, R., Liu, X., Tang, H., & Su, Y. (2001). Sorption behavior of dye compounds onto natural sediment of Qinghe River. *Journal of colloid and interface science*, 239(2), 475-482.
- Lin, S., Song, Z., Che, G., Ren, A., Li, P., Liu, C., & Zhang, J. (2014). Adsorption behavior of metal-organic frameworks for methylene blue from aqueous solution. *Microporous and mesoporous materials*, 193, 27-34.
- Mu, B., & Wang, A. (2016). Adsorption of dyes onto palygorskite and its composites: a review. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 4(1), 1274-1294.
- Mundada, P., Brighu, U., & Gupta, A. B. (2017). Removal of methylene blue on soil: an alternative to clay. *Journal of Desalination and Water Treatment*, 58, 267-273.
- Nandi, B. K., Goswami, A., & Purkait, M. K. (2009). Removal of cationic dyes from aqueous solutions by kaolin: kinetic and equilibrium studies. *Applied Clay Science*, 42(3-4), 583-590.
- Ngulube, T., Gumbo, J. R., Masindi, V., & Maity, A. (2017). An update on synthetic dyes adsorption onto clay based minerals: A state-of-art review. *Journal of environmental management*, 191, 35-57.
- Ogugbue, C. J., & Sawidis, T. (2011). Bioremediation and detoxification of synthetic wastewater containing triarylmethane dyes by *Aeromonas hydrophila* isolated from industrial effluent. *Biotechnology research international*, 2011
- Onaran, M. (2018). *Demir ile kaplanmış aktif karbon ile sulu çözeltilerden boyar madde giderimi* (Master's thesis, Sakarya Üniversitesi).
- Otcovská, T. P., Mužíková, B., & Padevět, P. (2022). Methylene blue test and adsorption capacity of clays. *Acta Polytechnica CTU Proceedings*, 34, 63-68.
- Ouakouak, A., Abdelhamid, M., Thouraya, B., Chahinez, H. O., Hocine, G., Hamdi, N., ... & Boopathy, R. (2021). Development of a novel adsorbent prepared from dredging sediment for effective removal of dye in aqueous solutions. *Applied Sciences*, 11(22), 10722

- Peng, Y., Chen, D., Ji, J., Kong, Y., Wan, H., & Yao, C. (2013). Chitosan-modified palygorskite: Preparation, characterization and reactive dye removal. *Applied clay science*, 74, 81-86.
- Ramanath, R., 2005. Color chemistry: synthesis, properties, and applications of organic dyes pigm. *Color Res. Appl.* 30, 312e313.
- Rafatullah, M., Sulaiman, O., Hashim, R., & Ahmad, A. (2010). Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: a review. *Journal of hazardous materials*, 177(1-3), 70-80.
- Salleh, M. A. M., Mahmoud, D. K., Karim, W. A. W. A., & Idris, A. (2011). Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: a comprehensive review. *Desalination*, 280(1-3), 1-13.
- Shamraiz, U., Hussain, R. A., Badshah, A., Raza, B., & Saba, S. (2016). Functional metal sulfides and selenides for the removal of hazardous dyes from Water. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 159, 33-41.
- Sivakumar, V., & Rao, P. G. (2003). Studies on the use of power ultrasound in leather dyeing. *Ultrasonics sonochemistry*, 10(2), 85-94.
- Sokolowska-Gajda, J., Freeman, H. S., & Reife, A. (1996). Synthetic dyes based on environmental considerations. Part 2: Iron complexes formazan dyes. *Dyes and pigments*, 30(1), 1-20.
- Sudiana, I. K., Sastrawidana, I. D. K., & Sukarta, I. N. Adsorption Kinetic and Isotherm Studies of Reactive Red B Textile Dye Removal Using Activated Coconut Leaf Stalk. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 23(5), 61-71.
- Tanji, K., Arrahli, A., Iboustaten, E. M., El Gaidoumi, A., Kherchafi, A., Benabdallah, A. C., & Kherbeche, A. (2020). Valorization of oued sebou natural sediments (Fez-Morocco area) as adsorbent of methylene blue dye: kinetic and thermodynamic study. *The Scientific World Journal*, 2020.
- Wang, T., Zhou, Y., Cao, S., Lu, J., & Zhou, Y. (2019). Degradation of sulfanilamide by Fenton-like reaction and optimization using response surface methodology. *Ecotoxicology and environmental safety*, 172, 334-340.
- Zhou, Y., Fang, X., Wang, T., Hu, Y., & Lu, J. (2017). Chelating agents enhanced CaO<sub>2</sub> oxidation of bisphenol A catalyzed by Fe<sup>3+</sup> and reuse of ferric sludge as a source of catalyst. *Chemical Engineering Journal*, 313, 638-645.
- Zhou, Y., Lu, J., Zhou, Y., & Liu, Y. (2019). Recent advances for dyes removal using novel adsorbents: a review. *Environmental pollution*, 252, 352-365.



## ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Nurdan GÜÇ

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği
- **Yüksek lisans** : 2023, Sakarya Üniversitesi, Çevre Mühendisliği, Çevre Mühendisliği