

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



POLİAMİDOAMİN DENDRİMERLERİ İLE MODİFİYE
EDİLMİŞ SÜPERPARAMAGNETİK DEMİR OKSİT
NANOPARTİKÜLLERİN HAZIRLANMASI VE BAZI AĞIR
METALLERİN VE BOYAR MADDELERİN
ADSORPSİYONUNDA KULLANILMASI

Selma EKİNCİ

Doktora Tezi
Kimya Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Zülfiye İLTER

TEMMUZ-2019

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

POLİAMİDOAMİN DENDRİMERLERİ İLE MODİFİYE EDİLMİŞ
SÜPERPARAMAGNETİK DEMİR OKSİT NANOPARTİKÜLLERİN
HAZIRLANMASI VE BAZI AĞIR METALLERİN VE BOYAR MADDELERİN
ADSORPSİYONUNDA KULLANILMASI

DOKTORA TEZİ

Selma EKİNCİ

(082117202)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih:28.05.2019

Tezin Savunulduğu Tarih:25.06.2019

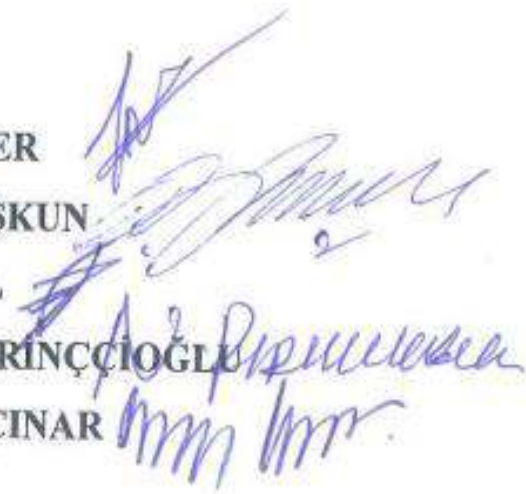
Tez Danışman : Prof. Dr. Zülfiye İLTER

Diğer Jüri Üyeleri :Prof. Dr. Mehmet COŞKUN

Prof. Dr. Fuat GÜZEL

Prof. Dr. Necmettin PİRİNÇÇİOĞLU

Dr. Öğr. Üyesi Ercan ÇINAR



ÖNSÖZ

Öncelikle doktora çalışmam boyunca bana sunduğu her türlü destek ve katkılarından dolayı danışman hocam sayın Prof. Dr. Zülfiye İLTER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İkinci danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Selami ERCAN'a tüm katkılardan dolayı teşekkür ederim.

Ayrıca, Prof. Dr. Necmettin PİRİNÇÇİOĞLU, Prof. Dr. Fuat GÜZEL, Dr. Öğr. Üyesi Reşit ÇAKMAK ve Dr. Öğr. Üyesi Ercan ÇINAR'a da katkılardan dolayı, teşekkür ederim.

Araştırma projesine finansal destek veren FÜBAP birimine teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Hayatıma kattığı tüm güzellikler için, bu süreçte ve her zaman yanımda duran hayat arkadaşım Mehmet Şafi EKİNCİ'ye ve yine hayatım boyunca en büyük desteği kendilerinden gördüğüm başta annem ve babam olmak üzere tüm aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Selma EKİNCİ
ELAZIĞ-2019

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
TABLolar LİSTESİ	XVI
SEMBOLLER LİSTESİ	XXII
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Ağır Metaller	2
1.2. Boyarmaddeler	4
1.3. Adsorpsiyon.....	6
1.3.1. Kimyasal Adsorpsiyon	6
1.3.2. Fiziksel Adsorpsiyon	6
1.3.3. Değişim Adsorpsiyonu	7
1.3.4. Çözüldürden Adsorpsiyon	7
1.3.5. Adsorpsiyon Kinetiği	12
1.3.6. Adsorpsiyon Uygulamaları.....	15
1.4. Nanoteknoloji	16
1.4.1. Nanoteknolojinin Kullanıldığı Alanlar.....	17
1.4.2. Nanopartiküller.....	17
1.4.3. Demir Oksit Nanopartiküller.....	17
1.4.4. Demir Oksit Nanopartiküllerin Sentez Yöntemleri.....	19
1.4.4.1. Birlikte Çöktürme Yöntemi.....	19
1.4.4.2. Termal Bozulma Yöntemi	20
1.4.4.3. Mikroemülsiyon Yöntemi	20
1.4.4.4. Hidrotermal Sentez Yöntemi.....	20
1.4.4.5. Sonokimyasal Yöntem	21
1.4.4.6. Sol-jel Yöntemi	21
1.4.5. Demir oksit Nanopartiküllerin Yüzey modifikasyonu	22
1.4.5.1. Organik Moleküller ile Modifikasyon.....	22

1.4.5.2. Küçük Moleküller ile Yüzey Aktif Maddeler	22
1.4.5.3. Polimerler	23
1.4.5.4. Biyolojik Moleküller	23
1.4.5.5. İnorganik Bileşikler	23
1.4.5.6. Silika.....	24
1.4.5.7. Metal veya Ametal	24
1.4.5.8. Metal Oksit/Sülfür	25
1.5. Dendrimerler	25
1.5.1. Dendrimerlerin Kullanıldığı Yerler	27
1.6. Kullanılan Spektroskopik Yöntemler	28
1.7. Literatürdeki Çalışmalar	29
2. MATERYAL VE METOD	34
2.1. Materyal.....	34
2.1.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler	34
2.1.2. Kullanılan Alet ve Cihazlar	34
2.2. Metod.....	35
2.2.1. Birinci adsorbentin (Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu) Sentezi.....	35
2.2.1.1. Fe_3O_4 Manyetik Nanopartiküllerin (Fe_3O_4 MNPs) Sentezi	35
2.2.1.2. Manyetik Demir Oksit Nanopartiküllerin Silika ile Kaplanması.....	36
2.2.1.3. Silika Kaplı Manyetik Nanopartiküllerin APTES ile kaplanması.....	37
2.2.1.4. Nanopartiküllerin PAMAM ile Modifikasyonu	37
2.2.1.5. PAMAM Kaplanmış Nanopartiküllerin Müreksit ile Modifikasyonu	37
2.2.2. İkinci Adsorbentin (Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu) Sentezlenmesi	38
2.2.3. Adsorbentlerin Karakterizasyonu	40
2.2.4. Ağır Metaller ile Yapılan Adsorpsiyon Çalışmaları.....	40
2.2.4.1. Temas Süresi ve Sıcaklığın Adsorpsiyona Etkisinin Belirlenmesi	41
2.2.4.2. Adsorbent Miktarının Adsorpsiyona Etkisinin Belirlenmesi	41
2.2.4.3. pH'ın Adsorpsiyona Etkisinin Belirlenmesi	41
2.2.4.4. Başlangıç Konsantrasyonunun Adsorpsiyona Etkisinin Belirlenmesi	42
2.2.4.5. Adsorpsiyonu Temsil Eden İzotermelerin Belirlenmesi	42
2.2.4.6. Kinetik Verilerin Değerlendirilmesi.....	42
2.2.5. Boyarmaddeler ile Yapılan Adsorpsiyon Çalışmaları.....	42
2.2.6. Nanopartiküllerin Antimikrobiyal Aktivitesinin Belirlenmesi.....	44

3.	BULGULAR	45
3.1.	Adsorbentlerin Karakterizasyonuna Ait Bulgular	45
3.2.	Fe ₃ O ₄ -MNPs-G1-Mu ile Pb (II) Adsorpsiyonuna Ait Bulgular	57
3.3.	Fe ₃ O ₄ -MNPs-G2-Mu ile Pb (II) Adsorpsiyonuna Ait Bulgular	63
3.4.	Fe ₃ O ₄ -MNPs-G1-Mu ile Ni (II) Adsorpsiyonuna Ait Bulgular	69
3.5.	Fe ₃ O ₄ -MNPs-G2-Mu ile Ni(II) Adsorpsiyonuna Ait Bulgular	74
3.6.	Fe ₃ O ₄ -MNPs-G1-Mu ile Co (II) Adsorpsiyonuna Ait Bulgular	80
3.7.	Fe ₃ O ₄ -MNPs-G2-Mu ile Co(II) Adsorpsiyonuna Ait Bulgular	85
3.8.	Fe ₃ O ₄ -MNPs-G1-Mu ile Cr(III) Adsorpsiyonuna Ait Bulgular	90
3.9.	Fe ₃ O ₄ -MNPs-G2-Mu ile Cr (III) Adsorpsiyonuna Ait Bulgular	97
3.10.	Fe ₃ O ₄ -MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı Boyarmaddesi Adsorpsiyonuna Ait Bulgular	103
3.11.	Fe ₃ O ₄ -MNPs-G2-Mu ile Alizarin Sarısı Boyarmaddesi Adsorpsiyonuna Ait Bulgular	110
3.12.	Fe ₃ O ₄ -MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T Boyarmaddesi Adsorpsiyonuna Ait Bulgular	115
3.13.	Fe ₃ O ₄ -MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T Boyarmaddesi Adsorpsiyonuna Ait Bulgular	122
3.14.	Adsorpsiyon İzotermlerine Ait Bulgular	127
3.15.	Nanopartiküllerin Antimikrobiyal Aktivitelerine Ait Bulgular	152
4.	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	154
5.	ÖNERİLER.....	170
	KAYNAKLAR.....	171
	ÖZGEÇMİŞ.....	181

ÖZET

Bu çalışmada, süperparamanyetik demir oksit nanopartikül temelli iki yeni adsorbentin sentezlenmesi ve sentezlenen bu adsorbentlerin bazı ağır metal ve boyar maddelerin sulu çözeltiden uzaklaştırılmasında kullanılması amaçlanmıştır. Adsorbent sentezi için ilk önce demir oksit nanopartiküller sentezlenmiştir. Ardından nanopartiküllerin kararlılığını sağlamak için silika ve aminopropiltrietoksisilan ile kaplanmıştır. Kaplama işleminden sonra nanopartiküller poliamidoamin dendrimeri ve amonyum purpurat ile modifiye edilerek birinci adsorbent elde edilmiştir. Poliamidoamin dendrimeri ve amonyum purpurat ile modifikasyon işlemi ikinci kez tekrar edilerek ikinci adsorbent de elde edilmiştir. Adsorbentlerin sentez aşamalarında her basamaktan sonra karakterizasyon işlemleri yapılarak sentezin doğruluğu kanıtlanmıştır. Hazırlanan her iki adsorbent, Pb(II), Ni(II), Co(II) ve Cr(III) ağır metalleri ile Alizarin Sarısı ve Eriokrom Siyahı T boyarmaddelerinin sulu çözeltiden uzaklaştırılmasında kullanılmıştır. Adsorpsiyona temas süresinin, sıcaklığın, pH'ın, adsorbent miktarının ve başlangıç konsantrasyonunun etkileri incelenmiş olup adsorpsiyon verileri Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermelerinde değerlendirilmiştir. Langmuir ve Freundlich sabitleri hesaplanmıştır. Ayrıca deneysel çalışmalar sonucu elde edilen kinetik veriler Pseudo birinci ve ikinci derece hız denklemlerine uygulanarak adsorpsiyonların hız sabitleri hesaplanmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre adsorbentler hem ağır metallerin hem de boyarmaddelerin uzaklaştırılmasında etkili olmuşlardır. Adsorpsiyon işlemlerinin tamamlanmasının ardından tez çalışmasında sentezlenen nanopartiküllerin antibakteriyel etkisi de incelenmiştir. 9 farklı bakteri kullanılarak dilüsyon yöntemiyle antibakteriyel etkileri belirlenmiştir. Çalışmada sentezlenen nanopartiküllerin, bazı bakteri türlerine karşı antimikrobiyal etkilerinin de olduğu kanıtlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: demir oksit nanopartiküller, PAMAM, adsorpsiyon, müreksit, ağır metal, boyarmadde, dendrimer, antimikrobiyal etki.

SUMMARY

Preparation of The Superparamagnetic Iron Oxide Nanoparticles Modified with Polyamidoamin Dendrimers and Using Them in Adsorption of some Heavy Metals and Dyestuffs

In this study, two new adsorbents based on superparamagnetic iron oxide nanoparticle were synthesized and they were employed for the removal of some heavy metals and dyes from aqueous solution. First, Fe_3O_4 nanoparticles were prepared for the synthesis of adsorbents. Then, Fe_3O_4 was coated with silica and aminopropyltriethoxysilane to ensure the stability of the nanoparticles. After coating, the nanoparticles were modified with polyamidoamine dendrimer and ammonium purpurate to obtain the first adsorbent. Modification with polyamidoamine dendrimer and ammonium purpurate was repeated for the second time and a second adsorbent was obtained. The synthesis of the adsorbents has been proved by the characterization processes after each step. Both adsorbents were used to remove Pb (II), Ni (II), Co (II) and Cr (III) heavy metals and Alizarin Yellow and Eriochrom Black T dyestuffs from aqueous solution. The effects of contact time, temperature, pH, adsorbent amount and initial concentration to the adsorption were investigated and adsorption datas were evaluated to Langmuir and Freundlich adsorption isotherms. Langmuir and Freundlich constants were calculated. In addition, kinetical datas obtained as a result of experimental studies were applied to Pseudo first and second order kinetic equations and rate constants of adsorptions were calculated. According to the results of the study, adsorbents were effective in removing both heavy metals and dyestuffs. Following the completion of adsorption processes, the antibacterial effect of nanoparticles synthesized in the thesis study was also investigated. Antibacterial effects were determined by dilution method using 9 different bacterias. It has proven that the nanoparticles synthesized in this study have also anti-bacterial effects against some bacterias.

Keywords: Iron Oxide Nanoparticles, PAMAM, Adsorption, Murexide, Heavy Metal, Dyestuff, Dendrimer, Antimicrobial effect.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Langmuir doğrusal izotermi.....	10
Şekil 1.2. Freundlich doğrusal izotermi	11
Şekil 1.3. Pseudo birinci derece hız denkleminin çizgisel şekli.....	13
Şekil 1.4. Arrhenius denkleminin çizgisel şekli	14
Şekil 1.5. Pseudo ikinci derece hız denkleminin çizgisel şekli	15
Şekil 1.6. Hematit, manyetit ve maghemitin kristal yapıları.....	18
Şekil 1.7. Bir dendrimerin üç ana birimi	26
Şekil 2.1. Manyetik nanopartikül oluşumunun şematik gösterimi.....	36
Şekil 2.2. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G1-Mu adsorbentinin sentez basamaklarının şematik gösterimi..	38
Şekil 2.3. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G2-Mu adsorbentinin hazırlanışının şematik gösterimi	39
Şekil 2.4. Alizarin Sarısı boyarmaddesinin molekül yapısı	43
Şekil 2.5. Eriokrom Siyahı T boyarmaddesinin molekül yapısı.....	43
Şekil 3.1. Manyetik Fe ₃ O ₄ nanopartiküllerin FT-IR spektrumu	45
Şekil 3.2. Silika ile kaplanmış Fe ₃ O ₄ manyetik nanopartiküllerin (Fe ₃ O ₄ @SiO ₂) FT-IR spektrumu.....	46
Şekil 3.3. APTES ile kaplanmış (Fe ₃ O ₄ @SiO ₂ @APTES) manyetik nanopartiküllerin FT-IR spektrumu.....	46
Şekil 3.4. PAMAM ile modifiye edilmiş manyetik nanopartiküllerin FT-IR spektrumu ..	47
Şekil 3.5. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G1-Mu adsorbentinin FT-IR spektrumu	48
Şekil 3.6. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G2-Mu adsorbentinin FT-IR spektrumu	48
Şekil 3.7. Fe ₃ O ₄ , Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ ve Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ /APTES nanopartiküllerin XRD grafiği	49
Şekil 3.8 Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ /APTES/PAMAM ve Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ /APTES/PAMAM/Mu nanopartiküllerin XRD grafiği	50
Şekil 3.9. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G2-Mu adsorbentinin XRD grafiği.....	50
Şekil 3.10. Fe ₃ O ₄ nanopartiküllerin SEM görüntüsü	51
Şekil 3.11. Fe ₃ O ₄ manyetik nanopartiküllerin EDX analiz grafiği	52
Şekil 3.12. a) Fe ₃ O ₄ b) Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ c) Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ /APTES d) Fe ₃ O ₄ /SiO ₂ /APTES/PAMAM e) Fe ₃ O ₄ -MNPs-G1-Mu f) Fe ₃ O ₄ -MNPs-G2-Mu SEM görüntüleri	52
Şekil 3.13. Silika kaplı manyetik nanopartiküllerin EDX analiz grafiği.....	53
Şekil 3.14. Fe ₃ O ₄ @SiO ₂ @APTES kaplı manyetik nanopartiküllerin EDX analiz grafiği .	53

Şekil 3.15. a) Fe_3O_4 b) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ c) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{APTES}$ d) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{APTES}/\text{PAMAM}$ e) $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNP s-G1-Mu}$ f) $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNP s-G2-Mu}$ TEM görüntüleri	54
Şekil 3.16. Fe_3O_4 , $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ ve $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2@\text{APTES}$ nanopartiküllerinin VSM grafiği	55
Şekil 3.17. $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2@\text{APTES}@\text{PAMAM}$, $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNP s-G1-Mu}$, $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNP s-G2-Mu}$ nanopartiküllerinin VSM grafiği	56
Şekil 3.18. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNP s-G1-Mu}$ ile Pb(II) adsorpsiyonu için sıcaklığa bağlı temas süresi - %Adsorpsiyon grafiği	57
Şekil 3.19. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNP s-G1-Mu}$ ile Pb(II) adsorpsiyonu için sıcaklığa bağlı temas süresi - q_e grafiği	58
Şekil 3.20. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNP s-G1-Mu}$ ile Pb(II) adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisi ...	59
Şekil 3.21. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNP s-G1-Mu}$ ile Pb(II) adsorpsiyonuna pH'ın etkisi	60
Şekil 3.22. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNP s-G1-Mu}$ ile Pb(II) adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisi	61
Şekil 3.23. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNP s-G1-Mu}$ ile Pb(II) adsorpsiyonuna ait pseudo birinci derece denkleminin grafiği	61
Şekil 3.24. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNP s-G1-Mu}$ ile Pb(II) adsorpsiyonuna ait Arrhenius denkleminin grafiği	62
Şekil 3.25. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNP s-G1-Mu}$ ile Pb(II) adsorpsiyonuna ait pseudo ikinci derece denkleminin grafiği	63
Şekil 3.26. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNP s-G2-Mu}$ ile Pb(II) adsorpsiyonu için sıcaklığa bağlı temas süresi - % Adsorpsiyon grafiği	64
Şekil 3.27. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNP s-G2-Mu}$ ile Pb(II) adsorpsiyonu için sıcaklığa bağlı temas süresi - q_e grafiği	64
Şekil 3.28. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNP s-G2-Mu}$ ile Pb(II) adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisi ...	65
Şekil 3.29. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNP s-G2-Mu}$ ile Pb(II) adsorpsiyonuna pH'ın etkisi	66
Şekil 3.30. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNP s-G2-Mu}$ ile Pb(II) adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisi	67
Şekil 3.31. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNP s-G2-Mu}$ ile Pb(II) adsorpsiyonuna ait pseudo ikinci derece kinetik denkleminin grafiği	68
Şekil 3.32. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNP s-G1-Mu}$ ile Ni(II) adsorpsiyonu için sıcaklığa bağlı temas süresi - % Adsorpsiyon grafiği	69

Şekil 3.33. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için sıcaklığa bağlı temas süresi - q_e grafiği.....	70
Şekil 3.34. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisi ...	71
Şekil 3.35. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonuna pH'ın etkisi	72
Şekil 3.36. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisi	73
Şekil 3.37. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonuna ait pseudo ikinci derece kinetik denkleminin grafiği	74
Şekil 3.38. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için sıcaklığa bağlı temas süresi - % Adsorpsiyon grafiği	75
Şekil 3.39. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için sıcaklığa bağlı temas süresi - q_e grafiği	75
Şekil 3.40. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisi ...	76
Şekil 3.41. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonuna pH'ın etkisi	77
Şekil 3.42. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisi	78
Şekil 3.43. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonuna ait pseudo ikinci derece kinetik denkleminin grafiği	79
Şekil 3.44. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için temas süresi - % Adsorpsiyon grafiği.....	80
Şekil 3.45. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için temas süresi - q_e grafiği....	81
Şekil 3.46. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Co(II) adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisi...	82
Şekil 3.47. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Co(II) adsorpsiyonuna pH'ın etkisi	83
Şekil 3.48. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Co (II) adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisi	84
Şekil 3.49. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Co(II) adsorpsiyonuna ait pseudo ikinci derece denkleminin grafiği	85
Şekil 3.50. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için sıcaklığa bağlı temas süresi - % Adsorpsiyon grafiği	85
Şekil 3.51. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için sıcaklığa bağlı temas süresi - q_e grafiği.....	86
Şekil 3.52. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Co(II) adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisi...	87
Şekil 3.53. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Co(II) adsorpsiyonuna pH'ın etkisi	88

Şekil 3.54. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Co(II) adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisi	89
Şekil 3.55. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Co (II) adsorpsiyonuna ait pseudo ikinci derece denkleminin grafiği	90
Şekil 3.56. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonu için sıcaklığa bağlı temas süresi - % adsorpsiyon grafiği.....	91
Şekil 3.57. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonu için sıcaklığa bağlı temas süresi – q_e grafiği.....	91
Şekil 3.58. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisi..	92
Şekil 3.59. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonuna pH'ın etkisi.....	93
Şekil 3.60. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisi	94
Şekil 3.61. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonuna ait pseudo birinci derece denkleminin grafiği	95
Şekil 3.62. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Co (II) adsorpsiyonuna ait Arrhenius denkleminin grafiği	96
Şekil 3.63. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonuna ait pseudo ikinci derece denkleminin grafiği	96
Şekil 3.64. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonu için sıcaklığa bağlı temas süresi - % Adsorpsiyon grafiği.....	97
Şekil 3.65. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonu için sıcaklığa bağlı temas süresi – q_e grafiği.....	97
Şekil 3.66. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisi.	98
Şekil 3.67. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonuna pH'ın etkisi.....	99
Şekil 3.68. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisi	100
Şekil 3.69. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonuna ait pseudo birinci derece denkleminin grafiği	101
Şekil 3.70. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonuna ait Arrhenius denkleminin grafiği	102
Şekil 3.71. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonuna ait pseudo ikinci derece denkleminin grafiği	103
Şekil 3.72. Alizarın sarısı boyar maddesine ait çalışma grafiği	103

Şekil 3.73. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Alizarin sarısı adsorpsiyonu için temas süresi - % adsorpsiyon grafiği (298 K)	104
Şekil 3.74. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Alizarin sarısı adsorpsiyonu için temas süresi - q_e grafiği (298 K).....	105
Şekil 3.75. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisi	106
Şekil 3.76. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna pH'ın etkisi	107
Şekil 3.77. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisi	108
Şekil 3.78. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna ait pseudo birinci derece denklem grafiği (298 K)	109
Şekil 3.79. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna ait pseudo ikinci derece denklem grafiği (298 K)	109
Şekil 3.80. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Alizarin sarısı adsorpsiyonu için temas süresi - % adsorpsiyon grafiği (298 K)	110
Şekil 3.81. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Alizarin sarısı adsorpsiyonu için temas süresi - q_e grafiği (298 K).....	110
Şekil 3.82. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Alizarin sarısı adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisi	111
Şekil 3.83. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna pH'ın etkisi	112
Şekil 3.84. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisi	113
Şekil 3.85. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna ait pseudo birinci derece denklem grafiği (298 K)	114
Şekil 3.86. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna ait pseudo ikinci derece denklem grafiği (298 K)	115
Şekil 3.87. Eriokrom Siyahı T boyar maddesine ait çalışma grafiği.....	115
Şekil 3.88. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonu için temas süresi - % adsorpsiyon grafiği (298 K)	116
Şekil 3.89. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonu için temas süresi - q_e grafiği (298 K)	117
Şekil 3.90. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisi	118

Şekil 3.91. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna pH'ın etkisi	119
Şekil 3.92. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisi	120
Şekil 3.93. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı adsorpsiyonuna ait pseudo birinci derece denklem grafiği (298 K)	121
Şekil 3.94. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı adsorpsiyonuna ait pseudo ikinci derece denklem grafiği (298 K)	121
Şekil 3.95. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonu için temas süresi - % adsorpsiyon grafiği (298 K)	122
Şekil 3.96. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonu için temas süresi - q_e grafiği (298 K)	122
Şekil 3.97. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisi	123
Şekil 3.98. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna pH'ın etkisi	124
Şekil 3.99. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisi	125
Şekil 3.100. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı adsorpsiyonuna ait pseudo birinci derece denklem grafiği (298 K)	126
Şekil 3.101. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı adsorpsiyonuna ait pseudo ikinci derece denklem grafiği (298 K)	127
Şekil 3.102. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi	128
Şekil 3.103. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi	129
Şekil 3.104. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi	130
Şekil 3.105. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi	131
Şekil 3.106. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi	132
Şekil 3.107. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi	133

Şekil 3.108. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi	134
Şekil 3.109. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi	135
Şekil 3.110. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G1-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi	136
Şekil 3.111. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G2-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi	137
Şekil 3.112. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G1-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi	138
Şekil 3.113. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G2-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi	139
Şekil 3.114. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G2-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi	140
Şekil 3.115. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi	141
Şekil 3.116. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi	142
Şekil 3.117. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G2-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi	143
Şekil 3.118. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G2-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi	144
Şekil 3.119. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi	145
Şekil 3.120. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi	146
Şekil 3.121. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi	147
Şekil 3.122. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi	148
Şekil 3.123. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G1-Mu adsorbentinin Pb(II) iyonlarını adsorpladıktan sonraki FT-IR spektrumu	149

Şekil 3.124. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu adsorbentinin Ni (II) iyonlarını adsorpladıktan sonraki FT-IR spektrumu	150
Şekil 3.125. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu adsorbentinin Co (II) iyonlarını adsorpladıktan sonraki FT-IR spektrumu	150
Şekil 3.126. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu adsorbentinin Pb (II) iyonlarını adsorpladıktan sonraki FT-IR spektrumu	151
Şekil 3.127. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu adsorbentinin Ni (II) iyonlarını adsorpladıktan sonraki FT-IR spektrumu	151
Şekil 3.128. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu adsorbentinin Co (II) iyonlarını adsorpladıktan sonraki FT-IR spektrumu	152



TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Adsorpsiyon ve ilgili alanlarının pratik uygulamaları	15
Tablo 1.2. Temel adsorban çeşitleri	16
Tablo 3.1. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için temas süresi-sıcaklık verileri.....	58
Tablo 3.2. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için adsorbent miktarının etkisine ait veriler	59
Tablo 3.3. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için pH'ın etkisine ait veriler	60
Tablo 3.4. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için başlangıç konsantrasyonunun etkisine ait veriler	61
Tablo 3.5. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu pseudo birinci ve ikinci derece hız sabitleri	62
Tablo 3.6. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için temas süresi-sıcaklık verileri.....	65
Tablo 3.7. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için adsorbent miktarının etkisine ait veriler	66
Tablo 3.8. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için pH'ın etkisine ait veriler	67
Tablo 3.9. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için başlangıç konsantrasyonunun etkisine ait veriler	68
Tablo 3.10. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için $k_{\text{ads},2}$ değerleri.....	69
Tablo 3.11. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için temas süresi-sıcaklık verileri	70
Tablo 3.12. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için adsorbent miktarının etkisine ait veriler.....	71
Tablo 3.13. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için pH'ın etkisine ait veriler ..	72
Tablo 3.14. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için başlangıç konsantrasyonunun etkisine ait veriler.....	73
Tablo 3.15. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için $k_{\text{ads},2}$ sabitleri	74
Tablo 3.16. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için temas süresi-sıcaklık verileri	76
Tablo 3.17. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için adsorbent miktarının etkisine ait veriler.....	77

Tablo 3.18. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için pH'ın etkisine ait veriler ..	78
Tablo 3.19. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için başlangıç konsantrasyonunun etkisine ait veriler.....	79
Tablo 3.20. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için $k_{\text{ads},2}$ hız sabitleri	80
Tablo 3.21. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için temas süresi-sıcaklık verileri	81
Tablo 3.22. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için adsorbent miktarının etkisine ait veriler.....	82
Tablo 3.23. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için pH'ın etkisine ait veriler .	83
Tablo 3.24. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Co (II) adsorpsiyonu için başlangıç konsantrasyonunun etkisine ait veriler.....	84
Tablo 3.25. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Co(II) adsorpsiyonuna ait $k_{\text{ads},2}$ hız sabitleri.....	84
Tablo 3.26. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için temas süresi-sıcaklık verileri	86
Tablo 3.27. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için adsorbent miktarının etkisine ait veriler.....	87
Tablo 3.28. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için pH'ın etkisine ait veriler .	88
Tablo 3.29. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için başlangıç konsantrasyonunun etkisine ait veriler.....	89
Tablo 3.30. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Co (II) adsorpsiyonuna ait hız sabitleri	90
Tablo 3.31. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonu için temas süresi-sıcaklık verileri	92
Tablo 3.32. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonu için adsorbent miktarının etkisine ait veriler.....	93
Tablo 3.33. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonu için pH'ın etkisine ait veriler.	93
Tablo 3.34. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonu için başlangıç konsantrasyonunun etkisine ait veriler.....	94
Tablo 3.35. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonuna ait hız sabitleri	95
Tablo 3.36. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonu için temas süresi-sıcaklık verileri	98
Tablo 3.37. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonu için adsorbent miktarının etkisine ait veriler.....	99
Tablo 3.38. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonu için pH'ın etkisine ait veriler	100

Tablo 3.39. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonu için başlangıç konsantrasyonunun etkisine ait veriler.....	101
Tablo 3.40. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonuna ait hız sabitleri	102
Tablo 3.41. Alizarın Sarısı çalışma grafiğine ait veriler	104
Tablo 3.42. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Alizarın Sarısı adsorpsiyonuna ait temas süresi verileri	105
Tablo 3.43. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Alizarın Sarısı adsorpsiyonuna ait adsorbent miktarı verileri.....	106
Tablo 3.44. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Alizarın Sarısı adsorpsiyonuna ait pH etkisi verileri	107
Tablo 3.45. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Alizarın Sarısı adsorpsiyonuna ait başlangıç konsantrasyonu verileri	108
Tablo 3.46. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Alizarın Sarısı adsorpsiyonuna ait temas süresi verileri	111
Tablo 3.47. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Alizarın Sarısı adsorpsiyonuna ait adsorbent miktarı verileri.....	112
Tablo 3.48. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Alizarın Sarısı adsorpsiyonuna ait pH etkisi verileri	113
Tablo 3.49. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Alizarın Sarısı adsorpsiyonuna ait başlangıç konsantrasyonu verileri	114
Tablo 3.50. Eriokrom Siyahı T çalışma grafiğine ait veriler	116
Tablo 3.51. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna ait temas süresi verileri.....	117
Tablo 3.52. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna ait adsorbent miktarı verileri.....	118
Tablo 3.53. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna ait pH etkisi verileri	119
Tablo 3.54. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna ait başlangıç konsantrasyonu verileri	120
Tablo 3.55. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna ait temas süresi verileri.....	123
Tablo 3.56. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna ait adsorbent miktarı verileri.....	124

Tablo 3.57. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna ait pH etkisi verileri	125
Tablo 3.58. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna ait başlangıç konsantrasyonu verileri	126
Tablo 3.59. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi verileri.....	128
Tablo 3.60. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için Langmuir sabitleri (298 K)	128
Tablo 3.61. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi verileri.....	129
Tablo 3.62. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için Freundlich sabitleri (298 K)	129
Tablo 3.63. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi verileri.....	130
Tablo 3.64. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için Langmuir sabitleri (298 K)	130
Tablo 3.65. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi verileri.....	131
Tablo 3.66. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için Freundlich sabitleri (298 K)	131
Tablo 3.67. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi verileri.....	132
Tablo 3.68. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için Langmuir sabitleri (298 K)	132
Tablo 3.69. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi verileri.....	133
Tablo 3.70. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için Freundlich sabitleri (298 K)	133
Tablo 3.71. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi verileri.....	134
Tablo 3.72. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için Langmuir sabitleri (298 K)	134

Tablo 3.73. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi verileri.....	135
Tablo 3.74. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için Freundlich sabitleri (298 K)	135
Tablo 3.75. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G1-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi verileri.....	136
Tablo 3.76. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G1-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için Freundlich sabitleri (298 K)	136
Tablo 3.77. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G2-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi verileri.....	137
Tablo 3.78. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G2-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için Freundlich sabitleri (298 K)	137
Tablo 3.79. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G1-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi verileri.....	138
Tablo 3.80. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G1-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonu için Freundlich sabitleri (298 K)	138
Tablo 3.81. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G2-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi verileri.....	139
Tablo 3.82. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G2-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonu için Langmuir sabitleri (298 K)	139
Tablo 3.83. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G2-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi verileri.....	140
Tablo 3.84. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G2-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonu için Freundlich sabitleri (298 K)	140
Tablo 3.85. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi verileri.....	141
Tablo 3.86. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonu için Langmuir sabitleri (298 K)	141
Tablo 3.87. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi verileri.....	142
Tablo 3.88. Fe ₃ O ₄ -MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonu için Freundlich sabitleri (298 K)	142

Tablo 3.89. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi verileri.....	143
Tablo 3.90. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonu için Langmuir sabitleri (298 K)	143
Tablo 3.91. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi verileri.....	144
Tablo 3.92. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonu için Freundlich sabitleri (298 K)	144
Tablo 3.93. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi verileri.....	145
Tablo 3.94. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonu için Langmuir sabitleri (298 K)	145
Tablo 3.95. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi verileri.....	146
Tablo 3.96. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonu için Freundlich sabitleri (298 K)	146
Tablo 3.97. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi verileri.....	147
Tablo 3.98. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonu için Langmuir sabitleri (298 K)	147
Tablo 3.99. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi verileri.....	148
Tablo 3.100. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonu için Freundlich sabitleri (298 K)	148
Tablo 3.101. Tüm adsorpsiyonlara ait Langmuir ve Freundlich sabitleri	149
Tablo 3.102. Adsorbentlerin antimikrobiyal aktivitelerine ait sonuçlar	153

SEMBOLLER LİSTESİ

APTES	: Aminopropiltrietoksisilan
C_e	: Dengede çözeltide kalan madde miktarı
C₀	: Başlangıç konsantrasyonu
DAP	: Diaminopropan
DMSO	: Dimetil sülfoksit
FT-IR	: Fourier transform Infrared Spectroscopy
ICP-OES	: Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer
MNPs	: Manyetik nanopartiküller
Mu	: Mürexide (amonyum purpurat)
mg	: Miligram
nm	: Nanometre
PAMAM	: Poliamidoamin
q_e	: Dengede adsorplanan madde miktarı
SEM	: Scanning Electron Microscopy
T	: Sıcaklık
TEM	: Transmission Electron Microscopy
TEOS	: Tetraetilortosilikat
UV-VIS	: Ultraviolet Visible Spectroscopy
V	: Hacim
VSM	: Vibrating Sample Magnetometer
XRD	: X-Ray Diffractometer
λ	: Dalga boyu

1. GİRİŞ

Günümüzde teknolojinin ve bilimin geldiği nokta beraberinde bazı problemleri de doğurmuştur. Ekolojik dengenin bozulmasına sebep olan çevre sorunlarının başında su kirliliği gelmektedir. Organik olan boyarmaddeler ile inorganik olan ağır metaller, canlı yaşamı için vazgeçilmez olan su kaynaklarımızı kirleten maddeler arasında bulunmaktadır.

Ağır metaller, genellikle yüksek yoğunluklu, düşük derişimlerde bile zehirli olabilen metalik elementlerdir. Bozunmaz ya da yok edilemezler. Yiyecekler, içme suyu veya hava yoluyla vücudumuza nüfus ederler. Her ne kadar bakır, çinko ve selenyum gibi bazı ağır metallerin belirli bir oranda insan sağlığı için gerekli olduğu bilinse de yüksek derişimlerde zehirlenmelere yol açabilirler. Ağır metaller, endüstriyel ve tüketici atıklarından veya asidik yağmurlar yoluyla toprağı parçalayarak nehirlerle, göllere ve yeraltı sularına karışarak bir su kaynağına girebilirler. Bu durum, hem çevreye hem de canlıların sağlığına olumsuz etkiler bırakır.

Tekstil endüstrisinde genellikle sentetik boyar maddeler kullanılmaktadır. Sentetik boyarmaddelerin iyi teknik özelliklere sahip olmasının yanı sıra bu alanda çalışanlara ve çevreye oldukça zararlı etkileri olduğu da bilinmektedir. Boyar maddelerin çoğunun rengi ışık, su ya da çeşitli kimyasallardan bile etkilenmeden kalır. Endüstride kullanılan büyük moleküllü organik bileşiklerden oluşan boyarmaddeler, işlem gördükleri sıralarda atık sulara karışarak sudaki canlı hayata, insan sağlığına ve çevreye olumsuz etkiler bırakırlar.

Hem ağır metallerin hem de boyarmaddelerin zararlı etkilerinden dolayı atık sulardan uzaklaştırılması hayati önem taşımaktadır. Bunun için bazı fiziksel ya da kimyasal yöntemler kullanılmaktadır. Kimyasal çöktürme, iyon değişimi, ters ozmoz ve adsorpsiyon yöntemleri örnek olarak verilebilir. Bu yöntemler arasında adsorpsiyon, basit olması, yüksek maliyetli olmaması ve düşük derişimlerde bile etkili olması gibi özelliklerinden dolayı son zamanlarda daha fazla tercih edilen yöntemdir. Adsorpsiyon işlemi sıvı veya katı fazın yüzeyinde yığın derişimine kıyasla çok sayıda moleküler türün birikmesi olgusudur. Adsorpsiyon için bir adsorplayıcı madde gereklidir. Son yıllarda bu alanda yapılan çalışmalar, etkili adsorplayıcı maddeler (adsorbent) arayışına yönelik çalışmalardır. Aktif Karbon en çok bilinen adsorbentlerden biridir. Bunun yanı sıra killler, kitosin, zeolitler, bazı endüstriyel veya tarımsal atıklar da çalışmalar da adsorbent olarak kullanılmışlardır. Son yıllarda nano teknolojinin gelişmesiyle nano-adsorbentler de

sentezlenmeye başlanmıştır. Nanoteknoloji; nano boyutlu yapı taşları kullanılarak, istenilen yapıda ve işlevsellikte materyaller ve sistemler üzerine çalışmaktadır. Nanopartiküller, nanomateryal üretimi için kullanılan en önemli yapı taşlarından. Oldukça küçük boyutlarda ve yüksek yüzey alanına sahip olmaları, onları diğer malzemelere kıyasla üstün kılmakta olup biyoteknoloji, ilaç, otomotiv, kimya, elektrik, elektronik, farmakoloji gibi alanlarda da kullanılmalarına olanak sağlamaktadır. Nanopartiküllerin karakteristik özellikleri sentezlendikleri başlangıç materyalinin özelliklerine göre farklılık göstermektedir. Metalik nanopartiküller oldukça reaktif olmalarından kaynaklı hava ile uzun süre temas etmeleri durumunda okside olurlar. Bu nedenle metalik nanopartiküllerin kararlı yapısını korumak için onları yüzey aktif maddelerle kaplamak gerekir.

Bu çalışmada; Fe_3O_4 temelli manyetik nanopartiküller sentezlenmiş ve poliamidoamin dendrimeriyle modifiye edilerek bazı ağır metal (Pb (II), Ni (II), Co (II) ve Cr (III)) ve boyar maddelerin (Alizarin Yellow, Ericrom Black T) sulu çözeltiden uzaklaştırılması için, yeni ve etkili materyallerin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Nanopartiküllerin poliamidoamin dendrimeriyle modifikasyon aşamalarında aminopropil uçlarına sahip manyetik nanopartiküller sentezlendikten sonra Müreksit (amonyum purpurat) ile etkileştirilmiş ve iki yeni adsorbent elde edilmiştir. Sentezlenen iki yeni adsorbentin (G1 ve G2) hazırlanması işlemlerinde her basamakta karakterizasyon işlemleri yapıldıktan sonra diğer basamağa geçilmiştir. Sentezlenen adsorbentler daha sonra ağır metal ve boyarmadde adsorpsiyonunda kullanılmıştır. Adsorpsiyon deneylerinde çalkalama (batch) yöntemiyle; pH, temas süresi, adsorbent miktarı, başlangıç konsantrasyonu ve sıcaklığın adsorpsiyona etkisi incelenmiştir. Kinetik çalışma sonucu elde edilen veriler pseudo birinci ve ikinci derece kinetik denklemlerine uygulanmış ve adsorpsiyon hız sabitleri belirlenmiştir. Ayrıca adsorpsiyon deneysel verileri Freundlich ve Langmuir izotermine uygulanıp adsorpsiyonu hangi izotermin temsil ettiği belirlenmiştir.

1.1. Ağır Metaller

Ağır metaller, nispeten yüksek atom ağırlığı veya atom sayısına ve nispeten yüksek bir yoğunluğa sahip olan metalik elementler olarak tanımlanır. 20'den fazla ağır metal vardır, ancak sadece birkaç tanesi insan sağlığı için özel bir önem taşır: kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), cıva (Hg), krom (Cr) ve inorganik arsenik (As). Bu ağır metaller, birçok çalışma bölgesinde mevcut olan en tehlikeli metallerin başındadır. Çok zehirlidirler ve çok

düşük derişimlerde bile zararlı etkilere neden olabilirler. Bunlar gıda zincirinde ve vücutta birikirler ve yumuşak (örneğin, böbrek) ve sert dokularda (örneğin, kemik) depolanabilirler [1]. Ağır metaller; doğal olarak oluşan bileşikler olmakla birlikte, pestisitler, piller, alaşımlar ve tekstil boya ları üretimi gibi endüstriyel uygulamalarda kullanılmalarından ötürü insan sağlığı ve ekosistem üzerinde ciddi tehditler meydana getirebilmektedirler [2]. Çinko (Zn), demir (Fe), molibden (Mo), cobalt (Co), bakır (Cu) ve mangan (Mn) gibi bazı ağır metallerin belirli bir miktarına insanlar gereksinim duysa da bunların da aşırı miktarları zararlıdır [3]. Aşırı maruz kalma, insanlarda belirli bozukluklara yol açabilir. Hasarın derecesi, doğaya, doza ve maruz kalma süresine bağlıdır. Akut hasar ile kronik hasar toksisite mekanizmalarına göre farklılık gösterir. Plazmadaki ağır metaller, difüze olmayan ve iyonize formlarda bulunur. İyonize formu zehirlidir ve akut toksisite üretir [1]. Toprağın ve suyun kalitesini, ekosistemi ve insan sağlığını korumak için ağır metallerin uzaklaştırılması gerekmektedir. Fiziksel ve kimyasal ağır metal ayırma teknolojileri, çoğu zaman yerel ekosisteme zarar verir, çok pahalıdır ve büyük miktarda tehlikeli atığın kullanılmasını gerektirir [2].

Aşağıda çalışmada kullanılan ağır metallerin kullanım alanları ile etkileri hakkında bilgi verilmiştir.

Kurşun ağır metalinin en fazla kullanıldığı alan akü ve pil üretimidir. Ayrıca, sanayide sülfürik asit sentezinde, boya endüstrisinde, mıkna tıs, cam ve mürekkep üretiminde de kullanılır. Bir insanın kurşun partiküllerini soluması, yutması veya emmesi arasında sağlığa verdiği zarar açısından pek bir fark olmasa da solunduğu zaman vücut daha fazla kurşun absorbe etmiş olur. İnsan vücudu içerisinde kurşun, kemikler, kan ve dokularda emilir ve depolanır. Kalıcı olarak orada kalmaz, sürekli içsel bir maruz kalma kaynağı olarak orada saklanır [4]. Kurşun zehirlenmesi, bir kişi kısa bir süre boyunca çok yüksek seviyelerde kurşuna maruz kalırsa gerçekleşebilir. Kurşuna maruz kalan kişilerde karın ağrısı, kabızlık, yorgunluk, baş ağrısı, sinirlilik, iştah ve hafıza kaybı, el ve ayaklarda ağrı veya karıncalanma ve güçsüzlük baş gösterebilir. Çok yüksek miktarda maruz kalma ise ölüme sebebiyet verebilir [5].

Nikel, içeren malzemeler günlük yaşamımızda önemli bir rol oynamaktadır. Gıda hazırlama ekipmanları, cep telefonları, tıbbi cihazlar, ulaşım, binalar, elektrik üretimi gibi birçok alanda nikel kullanılmaktadır. Nikel, diğer malzemelerle karşılaştırıldığında daha iyi korozyon direnci, daha iyi tokluk, yüksek ve düşük sıcaklıklarda daha iyi dayanım ve bir dizi özel manyetik ve elektronik özellikler sunduğu için seçilir [6]. Ayrıca; seramik,

kaplama, elektronik, uçak ve motorlu taşıt endüstrilerinde de nikel kullanılır [7]. Nikelin sebep olduğu en yaygın görülen sağlık bozukluğu türleri solunum, deri ve kardiyovasküler hastalıklardır [8].

Krom, yer kabuğunda bol miktarda bulunur ve çevreye yaygın olarak dağılır. Isıya dayanıklı malzemelerde ve kimyasallarda, dayanıklı ve pürüzsüz yüzeylerin elde edilmesi ve korozyonun önlenmesi için kaplama olarak kullanılır. Paslanmaz ve alaşımlı çeliklerin imalatı, madencilik, boya, elektrokaplama, pigment, deri tabaklama, seramik, tekstil boyama vb. endüstri alanlarında da oldukça kullanılan bir metaldir. Büyük atmosferik krom emisyonları metal üreten endüstrilerden, kömür yakıtlı tesislerden, belediye yakma fırınlarından ve soğutma kulelerinden; suya verilen krom ise tekstil ve deri tabaklama endüstrilerinden kaynaklanır. İnsan veya hayvanlara zararlı etkileri nadiren ortam havasındaki veya kamu içme suyundaki kromdan kaynaklansa da en çok mesleki maruziyet hasar bırakır. Cr (III), Cr (VI)'ya oranla daha az toksik olsa da tozuna veya buharına aşırı maruz kalmak, cilt lezyonları ile karaciğer ve böbrek hasarı üretir [9].

Kobalt, dayanıklı ve oksitlenmeye karşı dirençli bir metaldir. Bu yüzden elektrolizle kaplama işleminde kullanılır. Ayrıca, cam, boya, pil elektrotları ve seramik sanayilerinde, manyetik ve paslanmaz çelik eldesinde, gaz türbin jeneratörlerindeki alaşımların üretiminde kullanılır. Toz halinde havada bulunan kobaltın solunması veya tuzlarının deriye temas etmesi sonucunda kobalt zehirlenmesi gerçekleşir. Kobaltın belirli miktarlarda yaşamsal faaliyetlere katkısı olsa da uzun süre maruz kalınması durumunda deride kızarıklık, alerjik reaksiyonlar, kalıcı bronşit gibi rahatsızlıklara sebep olabilir [10,11].

1.2. Boyarmaddeler

Boyar maddeler, genellikle uygulandıkları alt-tabakaya bir afinite (ilgi) gösteren, renklendirilmiş, iyonize edici ve aromatik, organik bileşiklerdir. Boyar maddelerle yapılan renklendirme işlemi boya ile yapılan renklendirme işleminden farklıdır. Farklı boyama yöntemleri kullanılarak çoğunlukla çözelti veya süspansiyon halinde uygulanırlar. Boyar maddelerin tümü organik bileşikler olup uygulandıkları yüzeyle sürekli ve kalıcı olarak birleşip cismin yüzeyi ile kimyasal ya da fizikokimyasal bir ilişkiye girerek birleşirler. Bu birleşme sonucunda cismin yüzey yapısının değişmesini sağlarlar. Boyarmadde ile

boyanan yüzey yıkama, kazıma veya silme gibi fiziksel işlemler sonucunda başlangıçtaki renksiz haline getirilemez [12].

Boyar maddeler; suda çözünüp çözünmemesine göre, boyama özelliklerine göre ve kimyasal yapılarına göre değişik sınıflara ayrılırlar. Suda çözünebilen boyarmaddelerin yapısında tuz oluşturabilecek en az bir tane grup bulunur. Bu grup başlangıçta boyar maddenin yapısında yoksa sonradan ilave edilerek de suda çözünürlüğü sağlanabilir. İçerdiği tuz oluşturabilen grubun yapısına göre suda çözünebilen boyar maddeler anyonik, katyonik ve zwitter iyon karakterli olmak üzere üç sınıfa ayrılır.

Boyarmaddeler kimyasal yapılarına göre sınıflandırılırken, molekülün temel yapısı göz önünde bulundurulurken, molekülün kromojen ve renk verici özellikteki kısmı da esas kabul edilebilir. Aşağıda boyarmaddelerin kimyasal sınıflandırılması verilmiştir.

Kimyasal yapısına göre boyarmaddeler,

- Azo Boyarmaddeleri
- Nitro ve Nitrozo Boyarmaddeleri
- Polimetin Boyarmaddeleri
- Arilmetin Boyarmaddeleri
- Aza annulen Boyarmaddeleri
- Karbonil Boyarmaddeleri
- Kükürt Boyarmaddeleri

olmak üzere yedi gruba ayrılır [13].

Tekstil endüstrisinde yüksek miktarlarda boyarmadde ile yardımcı maddeler (yaklaşık 10.000 çeşit) kullanılmaktadır. Sektörde kullanılan tüm boyarmaddelerin yarısından fazlası azo boyarmaddelerdir. Azo boyarmaddeler, en az bir ancak genellikle her ikisi de aromatik grup olan iki radikale bağlı en az bir ve en fazla dört azo grubu içerirler [14]. Genel olarak, düşük biyolojik bozunurluğa sahip olan boyarmaddeler, atık su arıtma tesisinden geçer ve sudaki yüksek çözünürlüklerinden dolayı çevreye salınır [15]. Ayrıca tekstil endüstrisindeki işlemlerde büyük miktarlarda su kullanılmaktadır. Bu durum, bu miktarlarda suyun kirlenmesi sonucunu doğurur [16].

Atık su arıtma yöntemleri; fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler olarak üçe ayrılır. Fiziksel yöntemler: sedimantasyon, süzme, yüzdürme, köpük fraksiyonu, koagülasyon, ters osmoz, solvent ekstraksiyonu, adsorpsiyon, damıtma, membran arıtma yöntemleridir. Kimyasal yöntemler: nötralizasyon, indirgeme, oksidasyon, kataliz, iyon değişimi, elektroliz'dir. Biyolojik yöntemler ise; stabilizasyon (dengeleme), biyolojik

gölet, damlatmalı filtreler, aktif çamur, anaerobik sindirim, mantar tedavisi, flokülasyon gibi yöntemlerdir [17].

1.3. Adsorpsiyon

Adsorpsiyon; sıvı veya katı fazın yüzeyinde çok sayıda moleküler türün birikmesi olayıdır. Adsorpsiyon işlemi sıvı veya katı fazın yüzeyinde dengede olmayan veya kalıcı kuvvetlerin bulunmasından dolayı ortaya çıkar. Bu dengede olmayan artık kuvvetler, yüzeyle temas ettiği moleküler türleri çekme ve tutma eğilimindedirler. Yani adsorpsiyon aslında bir yüzey olayıdır.

Adsorpsiyon işlemi adsorplanan ve adsorplayıcı olmak üzere iki bileşen içerir. Adsorplayıcı; yüzeyinde adsorpsiyonun gerçekleştiği madde, adsorplanan ise adsorplayıcı tarafından adsorplanan maddedir (adsorbat: adsorbe olan, adsorban: yüzeyine tutunulan). Adsorbat ve adsorban arasındaki etkileşime göre adsorpsiyon ikiye ayrılır. Bu etkileşim Van Der Waals bağları gibi zayıf kuvvetlerle ya da kimyasal bağlarla olabilir. Kimyasal bağlı etkileşimin olduğu adsorpsiyon kimyasal adsorpsiyon; fiziksel etkileşimin olduğu adsorpsiyon ise fiziksel adsorpsiyondur [18].

1.3.1. Kimyasal Adsorpsiyon

Adsorbat ile adsorban yüzeyindeki fonksiyonel grupların arasında oluşan kimyasal bağ aracılığıyla tek tabakalı olarak gerçekleşen adsorpsiyon türüdür. Yüzey ile adsorban arasında güçlü etkileşim gerektirdiği için her adsorpsiyon olayında gerçekleşmez. Kimyasal adsorpsiyonun entalpisi yüksektir ($200-400 \text{ kJ mol}^{-1}$). Kimyasal reaksiyon gerçekleştiğinden kimyasal adsorpsiyonun hızını aktifleşme enerjisi belirler. Tüm sıcaklıklarda gerçekleşebilir. Ancak sıcaklığın artmasıyla kimyasal adsorpsiyon önce artar sonra azalır. Kimyasal adsorpsiyon güçlü bağ oluşumundan kaynaklandığı için tersinmezdir.

1.3.2. Fiziksel Adsorpsiyon

Adsorban üzerinde adsorbatın zayıf Van Der Waals kuvvetleri aracılığıyla çok tabakalı olarak tutunması olayıdır. Kimyasal bağ oluşumu gerekmediğinden adsorpsiyon

ısısı tıpkı gazların yoğunlaşma ısısı mertebesinde. Düşük sıcaklıklarda gerçekleşir ve herhangi iki maddenin arasında oluşabilir. Sıcaklık arttıkça fiziksel adsorpsiyon azalır. Fiziksel adsorpsiyon tersinirdir ve sıcaklığın yükseltilip basıncın düşürülmesiyle adsorplanan madde kolaylıkla desorplanabilir. Fiziksel adsorpsiyonun entalpi değeri düşüktür (20-40 kJ mol⁻¹).

1.3.3. Değişim Adsorpsiyonu

İyonların, elektrostatik çekim kuvvetleri aracılığıyla yüklü olan alanlara tutunması şeklinde gerçekleşen adsorpsiyon türüdür. İyon değişimi adsorpsiyonu da denilir. Burada zıt yüklere sahip adsorban yüzeyi ile adsorbat birbirini çekerek tutunur. Küçük çaptaki iyonlar ile elektriksel yükü fazla olan iyonlar daha fazla tutunurlar [18,19].

1.3.4. Çözültiden Adsorpsiyon

Katı yüzeyler sadece gazları değil, çözeltide çözünmüş maddeleri de bazı durumlarda çözücüyü de adsorbe eder. Çözünen maddenin molekül kütlesi büyüdükçe, adsorpsiyon artacağından, molekül kütlesi büyük olan bir çözünen, önceden adsorplanmış küçük molekül kütleli çözüneni yerinden çıkarıp kendisi adsorplanmaya eğilimlidir. Çözücünün hiç adsorplanmaması halinde, adsorpsiyon sonucunda ölçülen derişim azalması çözünenin adsorplanan miktarına eşittir. Buna pozitif adsorpsiyon denir. Yalnız çözücünün adsorplanması halinde ise adsorpsiyon sonucunda ortamda çözünenin derişimi artmış gibi görünür. Bu tür adsorpsiyona da negatif adsorpsiyon denir. Gazların katılar tarafından adsorpsiyonunda, adsorpsiyon üzerinde sadece katı ile gaz arasındaki kuvvetler rol oynar. Fakat çözeltiden adsorpsiyonda durum karışıktır. Adsorplayıcı yüzey çıplak kalamaz ya çözücü ya da çözünmüş madde tarafından daima örtülüdür.

Organik bileşiklerin adsorpsiyonunu etkileyen temel etkenler: polarlanırlık, yapı ve molekül kütesidir. Yüksekçe polar moleküller genellikle suda çok çözünür. Çözünürlüğü yüksek olan moleküller, güçlükle adsorplanabildiğinden adsorpsiyon kolaylığını azaltır. Yüksek molekül kütleli bileşikler genellikle daha az çözünür ve bunun sonucu olarak daha kolay adsorplanır. Benzer şekilde, yüzeyin çekim kuvveti, büyük adsorplanan molekül için daha büyüktür ve onlar daha kolay adsorplanır. Ancak bu kural, adsorplanan molekül, adsorplayıcının gözenek boyutundan daha küçük olduğu zaman geçerlidir.

Genelde sıvı-katı ara yüzeyindeki yarışmalı adsorpsiyona etki eden etmenler şunlardır:

- 1) Polar katılar üzerinde polar bileşiklerin, polar olmayan bileşiklere göre daha kuvvetle adsorplandığını ve bunun tersinin de polar olmayan katılar için doğru olduğu söylenebilir.
- 2) Homojen bir yüzey, ikili bir karışımın bir bileşenini ötekinden daha kuvvetli olarak adsorplayabilirse, bu durum U şeklinde bir karma izotermle sonuçlanır. Oksit adsorplayıcılarda genelde durum böyledir.
- 3) Başka etkiler mevcut olmadığında verilen bir çözünen madde, genel olarak zayıf çözücülerdeki çözeltilerinden kuvvetli çözücülerdekine oranla daha kuvvetli adsorplanabilir. Böylece çözünürlük arttıkça adsorpsiyon azalır [20].

Çözeltilerden adsorpsiyonun kapasitesini etkileyen bazı parametreler mevcuttur. Aşağıda bu parametrelerden bahsedilmiştir.

a) Ortamın pH Değeri

Adsorpsiyon ortamının pH değeri adsorpsiyon kapasitesini etkileyen önemli bir parametredir. Hidroksil ve hidronyum iyonları adsorbent tarafından kuvvetli olarak adsorplanan iyonlardır. Bu yüzden ortamdaki diğer iyonların adsorpsiyonu sulu çözeltinin pH'ından etkilenir. Ayrıca pH iyonlaşmayı az miktarda da olsa etkiler. Düşük pH değerlerinde organik asitler daha fazla adsorplanabilirken, yüksek pH değerlerinde de organik bazlar daha fazla adsorplanabilme özelliği gösterirler. Ancak çoğunlukla nötr ortamlarda adsorpsiyon hızının arttığı belirlenmiştir [21,22,23].

b) Sıcaklık

Adsorpsiyon ortamı sıcaklıktan etkilenir. Genellikle adsorpsiyon işlemi sıcaklık arttıkça azalır yani ekzotermiktir. Ancak reaksiyon ısı alan yani endotermik ise sıcaklığın artmasıyla adsorpsiyon kapasitesi artar. Adsorpsiyonda açığa çıkan ısı fiziksel adsorpsiyon için yoğunlaşma ısısı seviyesinde, kimyasal adsorpsiyon içinse kimyasal tepkime ısısı seviyesinde olur [22,23,24].

c) Yüzey Alanı

Adsorpsiyon yüzeyde cereyan eden bir olay olduğu için adsorbentin yüzey alanı oldukça önemlidir. Spesifik (özümlü) yüzey alanı adsorpsiyon için elverişli olan alan

demektir. Bunun büyüklüğü ne kadar fazla ise adsorpsiyon kapasitesi o kadar büyüktür. İyi bir adsorbent; partikül boyutu küçük olup, yüzey alanı gözenekli ve geniş olan adsorbenttir [22,23,25].

d) Adsorbent Molekülünün Büyüklüğü

Adsorpsiyon, moleküllerin gözeneklere girmesiyle gerçekleşen bir olaydır. Bu yüzden adsorbent moleküllerinin boyutunun adsorplayıcının gözenek büyüklüğüne uygunluğu çok önemlidir. Bu uygunluk arttıkça adsorpsiyon artar. Ayrıca adsorplanan maddenin molekül boyutu arttıkça çözünürlüğü azalacağı için adsorbe olma şansı molekül boyutu daha küçük olan maddelere oranla artar.

e) Adsorbatın Özellikleri

Adsorbat olarak kullanılan maddenin sahip olduğu özellikler de adsorpsiyonu etkiler. Örneğin adsorbatın çözücüde çözünebilen bir madde olması daha az adsorbe olmasına sebep olur. Çözünürlüğün yüksek olması adsorbat ile çözücü arasında bir bağ olduğu anlamına geldiğinden adsorpsiyon azalır. Çözücünün su olduğu durumlarda hidrofilik (suda çözünebilen) veya hidrofobik gruplar içeren bir adsorbentin hidrofobik (suda az çözünebilen) ucu daha fazla adsorbe olacaktır. Birden fazla çeşitli moleküllerin olduğu bir ortamdaki adsorbent, saf olarak tek başına bulunduğu ortama göre daha az adsorbe olur. Çünkü böyle bir ortamda bulunan iyonların adsorpsiyonu yarışmalı olacaktır. Adsorbatın iyonlaşma özelliği de adsorpsiyonu etkiler. Yüklü moleküller daha az adsorbe olurken, nötr olanlar daha fazla adsorbe olur. Ayrıca polar olan bir adsorbent yine polar olan bir adsorplayıcı üzerinde daha fazla tutunur [22,23,24].

Adsorpsiyon ve desorpsiyon terimleri genellikle denge durumlarına geline yönü göstermek için kullanılır. Denge basıncı veya yığın konsantrasyonu ile verilen adsorpsiyon-desorpsiyon yaklaşımıyla adsorbe edilen miktar ile desorbe edilen miktar aynı seviyeye getirilmediğinde adsorpsiyon histeresi ortaya çıkar [26]. Sıcaklık sabit olmak kaydıyla, adsorplanan maddenin miktarı ile adsorplanmadan çözeltide geriye kalan maddenin dengedeki derişimi veya basıncı arasındaki ilişkiyi gösteren grafiğe izoterm denir. İzoterm, adsorpsiyonun sabit sıcaklıkta dengedeki durumunu ifade ederler. İzoterm, adsorpsiyon işleminin sürecini en iyi şekilde ifade etmelerine rağmen adsorpsiyon hızı hakkında bilgi vermezler. Ayrıca izoterm, adsorbentin gözenekliliği ve yüzey yapısı hakkında da bilgi edinilebilir [18].

Çözeltilerden adsorpsiyonda sıkça kullanılan izoterm modelleri, Langmuir ve Freundlich izoterm modelleridir. Aşağıda bu izoterm modelleri hakkında bilgi verilmiştir.

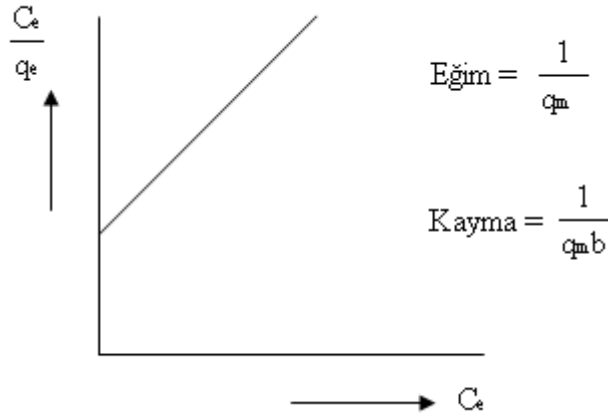
Langmuir İzoterm Modeli: Bu model, adsorpsiyonu; adsorbatın nicel olarak adsorbentin dış yüzeyinde tek tabaka halinde tutunması olarak açıklar ve bu tabakanın dolması ile adsorpsiyon son bulur. Böylece, Langmuir katı ve sıvı fazlar arasındaki iyonların denge dağılımını temsil eder [27]. Langmuir izotermine göre; adsorbent yüzeyinde sınırlı sayıda etkin adsorpsiyon alanları vardır ve yüzey homojendir. Adsorplanmış moleküller arasında etkileşim olmayıp, moleküller katı yüzeyi etrafında da hareket etmezler.

Langmuir izoterminin doğrusal denklemi,

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m b} + \frac{C_e}{q_m} \quad (1.1)$$

şeklindedir. Burada; q_e dengede adsorplanan madde miktarı (mg g^{-1}), C_e ise adsorplanan maddenin dengedeki derişimini (mg L^{-1}) ifade etmektedir. q_m ile b ise sırasıyla maximum adsorpsiyon kapasitesi ve adsorpsiyon enerjisiyle ilgili olan Langmuir sabitleridir. q_m değerinin büyük olması adsorblayan maddenin adsorplama kapasitesinin büyük olduğu ve geniş bir yüzey alanına sahip olduğu anlamına gelir. b sabiti ise adsorpsiyon ısısı ile orantılı olan ve sıcaklıkla ilgili bir sabittir.

Şekil 1.1’de görüldüğü gibi Langmuir doğrusal denkleminde bulunan C_e değerlerine karşı C_e/q_e değerleri grafiğe geçirildiğinde elde edilen doğrunun eğim ve kayma değerlerinden Langmuir sabitleri (q_m ve b) hesaplanır [28].



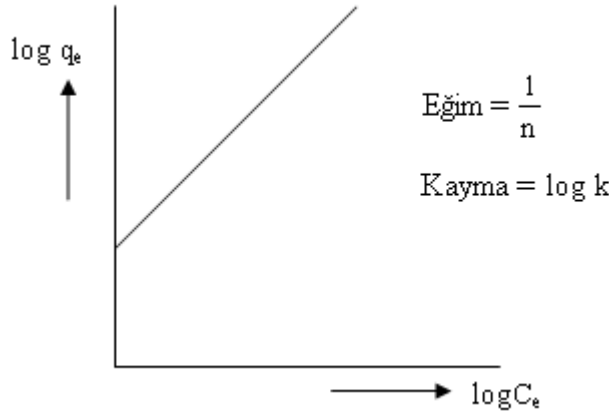
Şekil 1.1. Langmuir doğrusal izotermi

Freundlich İzoterm Modeli: Freundlich izoterm modeli, heterojen yüzeyler için adsorpsiyon karakteristiğini tanımlamak için türetilmiştir. Burada Langmuir izoterminde olduğu gibi adsorpsiyon tek tabaka ile sınırlı değildir. Bu izoterme göre adsorplanan miktar önce hızla artar, adsorplayıcı yüzeyi doygunluğa ulaştıktan sonra ise daha yavaş bir artış gösterir.

Freundlich izoterminin doğrusal denklemi aşağıdadır:

$$\log q_e = \log k + \frac{1}{n} \log C_e \quad (1.2)$$

Denklemde; q_e , adsorplanan madde miktarı (mg g^{-1}), C_e , adsorplanmadan kalan maddenin çözeltideki derişimi (mg L^{-1}) ve k ile n de sırasıyla adsorbanın adsorplama yeteneği ile adsorbatın adsorplanma eğilimiyle orantılı olan Freundlich sabitleridir. Deneysel verilerden elde edilen $\log C_e$ değerlerine karşılık $\log q_e$ değerleri grafiğe geçirilir (Şekil 1.2.) ve elde edilen doğrunun eğiminden n sabiti, kaymasından da k sabiti hesaplanır [29].



Şekil 1.2. Freundlich doğrusal izotermi

Deneyler sonucunda elde edilen bütün veriler adsorpsiyon izoterm denklemlerine uygulanır. Hangi izotermin denkleminin grafiği doğrusal olursa adsorpsiyon sürecinin o izoterme uygun olduğu anlaşılmış olur [18].

1.3.5. Adsorpsiyon Kinetiği

Adsorpsiyon kinetiğinin anlaşılması ile etkin adsorplanan-adsorplayıcı denge temas süresi yani alıkoyma süresi bulunur. Adsorpsiyon işleminin hızına etki eden adsorpsiyon basamaklarının anlaşılması için önemli bir adımdır. Bir çözeltide bulunan adsorplananın adsorplayıcı tarafından adsorplanması işleminde dört ana basamak vardır:

1. Gaz ya da sıvı fazda bulunan adsorplanan, adsorplayıcıyı kapsayan bir film tabakası sınırına doğru difüze olur. Bu basamak, adsorpsiyon düzeneğinde belirli bir hareketlilik olduğu için çoğunlukla ihmal edilir.
2. Film tabakasına gelen adsorplanan buradaki durgun kısımdan geçerek adsorplayıcının gözeneklerine doğru ilerler.
3. Sonra adsorplayıcının gözenek boşluklarında hareket ederek adsorpsiyonun meydana geleceği yüzeye doğru ilerler.
4. En son olarak da adsorplananın adsorplayıcının gözenek yüzeyine tutunması meydana gelir.

Eğer adsorplayıcının bulunduğu faz hareketsiz ise, 1. basamak en yavaş ve adsorpsiyon hızını belirleyen basamak olabilmektedir. Bu nedenle, eğer akışkan hareket ettirilirse, yüzey tabakasının kalınlığı azalacağı için adsorpsiyon hızı artacaktır. Son basamak ölçülemeyecek kadar hızlı olduğundan ve ilk basamak da iyi bir karıştırma olduğu düşünülerek adsorpsiyon hızına aksi bir etki yapmayacakları için 2. ve 3. basamaklar hız belirleyicidir. 2. basamak adsorpsiyon işleminin ilk birkaç dakikasında, 3. basamak ise adsorpsiyon işleminin geri kalan daha uzun bir süresinde meydana geldiği için, adsorpsiyon hızını tam olarak etkileyen basamağın 3.basamak olduğunu söyleyebiliriz.

Çözeltiden adsorpsiyonda hız sabitinin belirlenmesinde pseudo birinci dereceden ve pseudo ikinci dereceden kinetik denklemler deneysel verilere uygulanmaktadır.

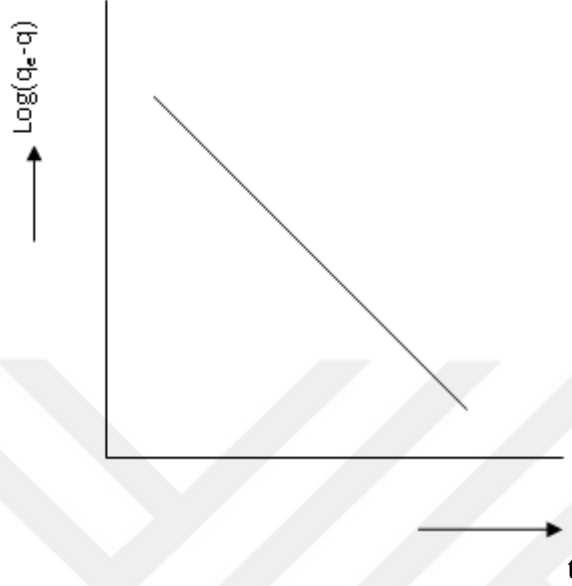
Birinci Derece Kinetik Denklemi:

Bu denklem Lagergren denklemi olarak da bilinmektedir ve şu şekilde ifade edilir:

$$\log(q_e - q) = \log q_e - \frac{k_{ads,1}}{2,303} \cdot t \quad (1.3)$$

Burada q_e dengede adsorplanmış madde miktarı (mg g^{-1}), q herhangi bir t anında adsorplanmış madde miktarı (mg g^{-1}), $k_{ads,1}$ (dak^{-1}) adsorpsiyon hız sabitidir. t değerlerine

karşılık $\log (q_e - q)$ değerleri grafiğe geçirilirse (Şekil 1.3), elde edilen doğrunun eğiminden adsorpsiyon hız sabiti $k_{ads,1}$ ve kayma değerinden denge adsorpsiyon kapasitesi q_e bulunur:



Şekil 1.3. Pseudo birinci derece hız denkleminin çizgisel şekli

Lagergren denkleminin deneysel verilere uygulanabilmesi için, denge adsorpsiyon kapasitesi q_e mutlaka bilinmelidir. q_e 'nin bilinmediği (ya da belirlenemediği) bazı durumlarda, adsorpsiyon olayı ölçülemeyecek derecede yavaştır. Ayrıca, q_e ; herhangi bir t anında adsorplanmış madde miktarı olan (mg g^{-1})'den büyük olmalıdır. Bu nedenle, gerçek denge adsorpsiyon kapasitesi q_e , $t=\infty$ için deneysel verilerin ekstrapolasyonu veya deneme-yanılma yöntemi ile belirlenir.

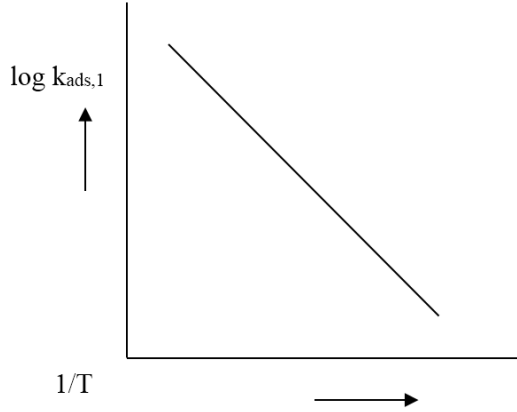
Birinci dereceden adsorpsiyon hız sabiti $k_{ads,1}$ sıcaklığın bir fonksiyonu olarak Arrhenius denkleminde kullanıldığında, adsorpsiyon enerjisi hesaplanabilir.

Arrhenius denkleminin çizgisel şekli,

$$\log k_{ads,1} = \log A - \frac{E_a}{2,303R} \times \frac{1}{T} \quad (1.4)$$

olup, A; adsorpsiyon olayının frekans faktörü, R; evrensel gaz sabiti ($8,314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$), T; mutlak sıcaklık (K) ve E_a ise adsorpsiyonun aktivasyon enerjisidir. $1/T$ değerleri $\log k_{ads,1}$ değerlerine karşılık grafiğe geçirildiğinde (Şekil 1.4), elde edilen doğrunun

eğiminden, adsorplanan maddenin adsorplanabilme enerjisine karşılık gelen aktivasyon enerjisi (E_a) belirlenir.



Şekil 1.4. Arrhenius denkleminin çizgisel şekli

Aktivasyon enerjisinin büyüklüğü, adsorpsiyonun fiziksel veya kimyasal oluşu ile ilgili bilgi verir. Fiziksel adsorpsiyonda, dengeye çabuk ulaşılır ve olay tersinirdir. Çünkü adsorplayıcı adsorplanan arasındaki kuvvetler zayıf ve böylece adsorplanabilme enerjisine karşılık gelen aktivasyon enerjisi (E_a) düşüktür (Genellikle $4,2 \text{ kJ mol}^{-1}$ 'den daha küçüktür).

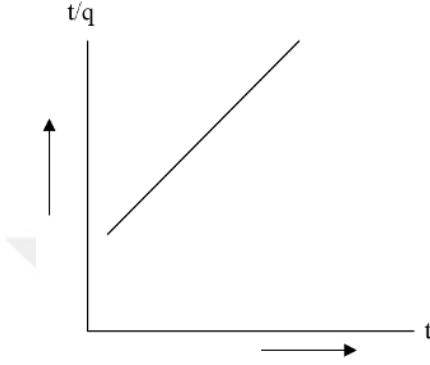
Kimyasal adsorpsiyon ise spesifik bir olaydır ve adsorplayıcı-adsorplanan arasındaki etkileşimler kuvvetlidir, bundan dolayı kimyasal adsorpsiyonun aktivasyon enerjisi yüksektir ve genellikle kimyasal tepkime ısısı mertebesinde (8,4 kJ mol^{-1} – 83,7 kJ mol^{-1}). Ayrıca aktivasyon enerjisinin büyüklüğü sıcaklığa bağlı olarak değişir.

Pseudo İkinci Derece Denklemi

Birçok adsorpsiyon olayında, Lagergren birinci dereceden hız denklemi, dengeye gelene dek geçen sürenin tüm zaman aralıklarına uygulanmaz ve genellikle denge temas süresinin ilk 20-30 dakikasına tam olarak uyar. Fakat pseudo ikinci dereceden hız denklemi (veya Ho-McKay denklemi) denge temas süresinin tümü için uygulanabilir. Pseudo ikinci derece hız denklemine göre adsorpsiyon kapasitesi adsorplayıcı üzerinde bulunan aktif bölgelerin sayısı ile orantılıdır ve kinetik hız yasası şöyle ifade edilir:

$$\frac{t}{q} = \frac{1}{k_{ads,2} \cdot q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (1.5)$$

Burada k_{ads} adsorpsiyon hız sabiti ($g\ mg^{-1}\ dk^{-1}$), q_e denge anında adsorplanan madde miktarı ve q ise herhangi bir t anında adsorplanan madde miktarı ($mg\ g^{-1}$) dır. t değerlerine karşılık t/q değerleri grafiğe geçirildiğinde, elde edilen doğrunun (Şekil 1.5) eğiminden denge adsorpsiyon kapasitesi q_e ve kayma değerinden adsorpsiyon hız sabiti $k_{ads,2}$ bulunur [20].



Şekil 1.5. Pseudo ikinci derece hız denkleminin çizgisel şekli [20].

1.3.6. Adsorpsiyon Uygulamaları

Adsorbanların, hava kirliliğini azaltmada ya da yararlı maddelerin geri kazanılmasında kullanılması yoluyla adsorbsiyon işlemi çevre kirliliği kontrolüne önemli miktarda katkılar sağlamaktadır. Adsorpsiyon süreci, yüksek güvenilirlik, enerji verimliliği, tasarım esnekliği ve teknolojik olgunluk özellikleri sayesinde ayrıştırma ve saflaştırma işlemleri için çok kullanışlı olmaktadır. Adsorpsiyon ve ilgili alanlarının en önemli pratik uygulamaları Tablo 1.1.'de verilmiştir [30].

Tablo 1.1. Adsorpsiyon ve ilgili alanlarının pratik uygulamaları [31].

Alan	Uygulama
Baca gazı arıtımı	SO _x , NO _x ve civa emisyonu uzaklaştırılması
Atık su arıtımı	Organik maddeler, azot ve fosfor uzaklaştırılması
İçme suyu üretimi	Su kaynaklarının iyileştirilmesi, ileri atık su arıtımı vb.
Kurutucu Nem giderme	İç mekan hava kalitesinin iyileştirilmesi ve teknolojik hava kirleticilerinin giderilmesi ile kurutucu materyallerin birlikte adsorpsiyonuna bağlı olarak kurutucuların çıkardığı veya öldürdüğü mikroorganizmaların sayısının azaltılması
Küresel ısı kontrolü	“Greenhouse” gazlarının (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O) emisyon kontrolü; CH ₄ kullanımı

Adsorpsiyonun gelişimi ve uygulamaları laboratuvar ve endüstriyel ölçeklerde uygulanan adsorbanların üretiminde kullanılan teknolojinin gelişiminden ayrı olarak düşünülemez. Adsorbanlar, çok çeşitli kimyasal formlarda ve farklı geometrik yüzey yapılarında olabilirler. Tablo 1.2’de temel adsorban türleri verilmiştir [30].

Tablo 1.2. Temel adsorban çeşitleri [31].

Karbon adsorbanları	Mineral adsorbanlar	Diğer adsorbanlar
Aktif karbonlar Mezokarbon Mikroboncuklar, fullerinler Karbonlu bileşikler Nanomateriyaller	Aktif alümina Metal oksitler Metal hidroksitleri Zeolitler Kil mineralleri Gözenekli kil heteroyapıları (PCHs)	Sentetik polimerler Kompozit adsorbanlar

Adsorban gözeneklerinin geniş bir özgül yüzey alanına sahip olması büyük bir adsorpsiyon kapasitesi sağlar. Sınırlı bir hacimde büyük bir iç yüzey alanının yaratılması kaçınılmaz olarak, adsorpsiyon yüzeyleri arasında çok sayıda küçük boyutlu gözenekler ortaya çıkarmaktadır. Aktif karbon ve zeolit gibi malzemeler, hassas gözenek boyutu dağılımları ile özel olarak tasarlanabilir ve bu nedenle belirli bir ayırma uygulaması için ayarlanabilirler [32,33].

1.4. Nanoteknoloji

Yunanca “cüce” anlamına gelen nano kelimesi metrenin milyarda birine tekabül eden bir ölçü birimi olarak (10^{-9} m) kullanılmaktadır [34]. Nano yapılar mikroskopla bakmak için bile oldukça küçük olan yapılardır. Büyüklüğü 1 ila 500 nm aralığında olan maddeler nano ölçekteki maddelerdir [35].

Nanoteknoloji ise nano boyutunda yeni yapıların oluşturulması, bu yapıların, atomik ve moleküler seviyede kontrolünün sağlanması, üzerinde yapısal değişiklikler yapılarak yeni özelliklerin eklenmesi veya işlevsellik kazandırılması ile ilgilenen uygulama alanıdır [36].

Yüzey alanı / hacim oranının iri taneli yapılara göre yüksek olması nanopartikülleri üstün kılan özellikleridir. Ayrıca, termal, mekanik, optik, manyetik ve elektriksel özellikleri de diğer maddelerinkinden daha farklıdır [37,38]. Nanoteknoloji sayesinde

maddenin kimyasal özellikleri değiştirilmeksizin iletkenlik, dayanıklılık, atom yapısı, rengi, esnekliği, tepkiselliği gibi birçok özelliğinde farklılaşmalar gerçekleştirilebilir. Dolayısıyla, amaç ve ihtiyaçlara uygun olarak, daha dayanıklı, daha iletken, daha hızlı, daha esnek gibi birçok yeni özelliğe sahip yapılar üretmek mümkün olabilecektir [39].

1.4.1. Nanoteknolojinin Kullanıldığı Alanlar

Nanoteknoloji, birçok teknoloji ve endüstri sektörünü önemli ölçüde iyileştirmeye, hatta devrim yapmaya yardımcı oluyor. Bu alanlar: bilgi teknolojisi, elektronik, taşımacılık, ilaç, ulaşım, enerji, gıda güvenliği, çevre bilimi gibi alanlardır [40].

1.4.2. Nanopartiküller

1 μm 'den küçük boyutta olan tanecikler nanopartikül olarak adlandırılır [41]. Nanopartiküller, çağımızın en önemli materyalleri arasındadır. Bu konudaki çalışmalar gün geçtikçe artmaktadır [42].

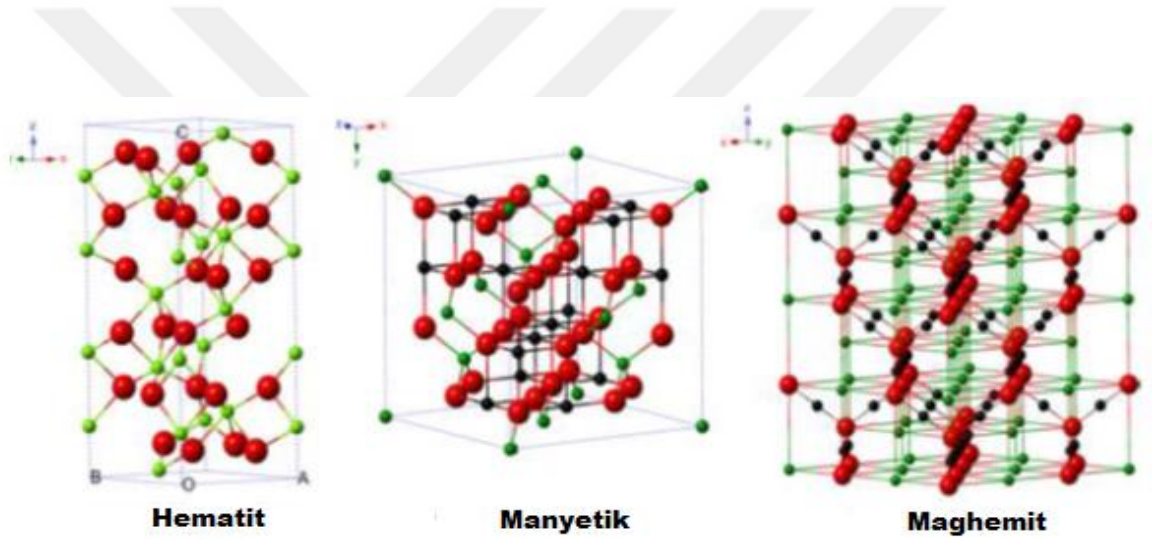
Nanopartiküller, benzer büyük ölçekli malzemelere göre çok daha büyük yüzey alanlarına sahiptir. Bir maddenin kütlesi başına yüzey alanı arttıkça, maddenin daha büyük bir kısmı çevreleyici maddeyle temas edebilir ve böylece reaktivitesi artar [43]. Ayrıca, geniş yüzey alanı diğer uygulama alanlarının yanı sıra nanopartikülleri, su arıtma ve desalinasyon için ideal adaylar yapar. [44].

Şekil olarak küresel, boru şeklinde veya düzensiz halde olabilen nanoparçacıklar doğal ve sentetik olmak üzere ikiye ayrılır. Sentetik nanopartiküller de kimyasal bileşimlerine göre organik ve inorganik olmak üzere ikiye ayrılır. [45].

1.4.3. Demir Oksit Nanopartiküller

Demir oksit nanopartiküller, yaklaşık 1 ila 100 nanometre çapa sahip demir oksit parçacıklarıdır. Doğada farklı formlarda bulunabilir. Ancak en çok bulunanları; manyetit (Fe_3O_4), oksitlenmiş form olan maghemit ($\gamma - \text{Fe}_2\text{O}_3$) ve hematit'tir ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$). Hematit bilinen en eski demir oksittir. Kayalarda ve toprakta bulunur. Hematit, ince bölünmüş halde ise kan kırmızı, kaba kristalin şeklinde ise siyah veya gri renktedir. Ortam koşullarında oldukça kararlıdır ve genellikle diğer demir oksitlerin dönüşüm

reaksiyonlarının son ürünüdür. Manyetit ise genellikle siyah demir oksit, manyetik demir cevheri, yük taşı, demirli ferrit veya herkül taşı olarak bilinir. Aralarında en güçlü manyetik özellik gösteren manyetittir. Maghemite, manyetitin ayrışma ürünü olarak veya diğer demir oksitlerin ısıtılması ürünü olarak toprakta oluşur [46,47]. Hematitte, oksijen iyonları birbirlerine yakın altıgen bir düzendedir ve Fe (III) iyonları oktahedral bölgeleri doldurmuştur. Manyetit ve maghemitte ise oksijen iyonları kübik bir düzendedir. Manyetit, oktahedral ve tetrahedral bölgeler arasında rastgele dağıtılmış Fe (III) iyonları ve oktahedral bölgelerdeki Fe (II) iyonları ile ters spinel yapıdadır. Maghemit ise manyetitinkine benzer, ancak katyonun alt tabanındaki boşluklarla birlikte spinel bir yapıya sahiptir [48].



Şekil 1.6. Hematit, manyetit ve maghemitin kristal yapıları [49].

Manyetik demir oksit nanopartiküller yüksek kimyasal aktiviteye sahip olduklarından, havada (özellikle manyetit) kolayca oksitlenirler. Oksitlenme sonucu manyetiklik ve dispersite özellikleri azalır. Bu nedenle, yüzeylerinin uygun maddelerle kaplanması ve manyetik demir oksit nanopartiküllerin kararlılığının korunması için bazı etkili koruma stratejilerinin geliştirilmesi çok önemlidir. Bu stratejiler bazı organik moleküllerle (küçük organik moleküller, yüzey aktif maddeler, polimerler ve biyomoleküller) kaplama ya da inorganik tabakalarla (silika, metal veya ametal elementler, metal oksit veya metal sülfür) kaplama yapılmasıdır. Birçok durumda, kaplama işlemi sadece manyetik demir oksit nanopartikülleri kararlı kılmakla kalmayıp, aynı zamanda daha fazla işlevsel olmasını da sağlar [50].

1.4.4. Demir Oksit Nanopartiküllerin Sentez Yöntemleri

Son yıllarda şekil olarak kontrol edilebilen, kararlı, biyo-uyumlu ve monodispers demir oksit nanopartiküllerin verimli sentezi için çok çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan en çok kullanılanları; birlikte çöktürme, termal bozulma, mikroemülsiyon, hidrotermal sentez ve sonokimyasal sentez yöntemleridir. Bunlara ek olarak, nanopartiküller, elektrokimyasal sentez, lazer piroliz teknikleri, mikroorganizma veya bakteriyel sentez (özellikle manyetotaktik bakteriler ve demir azaltıcı bakteriler) gibi diğer yöntemlerle de hazırlanabilir.

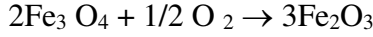
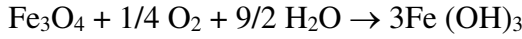
1.4.4.1. Birlikte Çöktürme Yöntemi

Fe₃O₄ veya γ -Fe₂O₃ elde etmek için en geleneksel yöntem, birlikte çöktürme yöntemidir. Bu yöntemde, oda sıcaklığında veya yüksek sıcaklıkta yüksek bazik çözeltiler içinde 2:1 mol oranında Fe (III) ve Fe (II) iyonlarının karıştırılmasıyla manyetit ya da maghemit elde edilir. Burada demir oksit nanopartiküllerin boyutu ve şekli kullanılan tuzun türüne (klorürler, sülfatlar, nitratlar, perkloratlar, vb.), demir ve demir iyonları oranına, reaksiyon sıcaklığına, pH değerine ve iyonik kuvvete bağlıdır. Ayrıca, ortama ve karıştırma hızı, çözeltilerin damlatılma hızı gibi diğer reaksiyon parametrelerine de bağlıdır. Bu yöntem, nano boyutlu demir oksit parçacıklarının fiziksel ve kimyasal özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Fe₃O₄ nanopartiküller ortam koşullarında çok kararlı değildir ve Fe₂O₃'e kolayca oksitlenir veya asidik bir ortamda çözülürler. Bu nedenle havadaki olası oksidasyonu önlemek için, Fe₃O₄ nanopartiküllerin sentezi anerobik koşullarda (oksijensiz ortam) yapılmalıdır [50,51]. Son zamanlarda, birçok yeni yayın, eş boyutlu nanopartikülleri elde etmek için verimli yollar tarif etmiştir, reaksiyon ortamına dekstran veya polivinil alkol (PVA) gibi yüzey aktif maddeler eklenilmiş veya parçacıklar sonraki bir aşamada kaplanmıştır [52,53].

Birlikte çöktürme yönteminin reaksiyonu aşağıdaki gibidir [54].



Eğer reaksiyon azot atmosferi altında yapılmazsa oksijen varlığından dolayı aşağıdaki reaksiyonlar gerçekleşebilir.



Bu yüzden birlikte çöktürme reaksiyonu azot atmosferi altında yapılır [54].

1.4.4.2. Termal Bozulma Yöntemi

Bu yöntem, demir komplekslerinin, oleik asit eşliğinde kaynama noktası yüksek olan bir çözücü içerisinde yüksek sıcaklıkta karıştırılması esasına dayanır [50].

Hyeon ve arkadaşları, bir çalışmalarında, toksik ve pahalı demir pentakarbonil yerine ucuz ve toksik olmayan demir klorür kullanarak eş boyutlu demir oksit nanopartikülleri elde etmek için sentetik bir yöntem bildirmişlerdir. Demir-oleat kompleksi ve bir yüzey aktif madde ihtiva eden bir organik çözeltiyi, çözücünün kaynama noktasına kadar yavaş yavaş ısıtmışlardır. Tek bir reaksiyon ile herhangi bir boyut seçme işlemi yapılmasına gerek kalmadan 40 g kadar eş boyutlu demir oksit nanopartikülleri elde etmişlerdir [55].

Ayrıca, termal bozulma yöntemi genellikle nanoküp ve nanoküre gibi farklı şekillere sahip demir oksit nanopartikülleri hazırlamak için de kullanılır [56].

1.4.4.3. Mikroemülsiyon Yöntemi

Mikroemülsiyon, mevcut yüzey aktif madde ortamında iki karışmayan fazın (su ve yağ) termodinamik olarak kararlı bir izotropik dağılımıdır. Yüzey aktif madde molekülleri, yağ fazında çözünmüş yüzey aktif madde moleküllerinin hidrofobik kuyrukları ve sulu fazdaki hidrofilik baş grupları ile yağ ve su arasındaki arayüzde bir tek tabaka oluşturabilir [57].

Bu yöntemde misel oluşturulması ve her iki fazın da kararlı olması gerekliliği vardır. Misel içinde büyütülen partiküller, aseton ya da etil alkol gibi çözücüler eklenerek çöktürülür. Su ve yüzey aktif maddenin kullanılan oranına göre miselin boyutu değişir [58].

1.4.4.4. Hidrotermal Sentez Yöntemi

Mikroemülsiyon ve termal bozunma yöntemleri genellikle karmaşık işlemler ve yüksek sıcaklık gerektirir. Bunlara alternatif olarak hidrotermal sentez yönteminde, kapalı

bir kapta, yüksek buhar basıncında (genellikle 0,3-4 MPa arası) ve yüksek sıcaklıktaki (genellikle 130-250 °C) sulu çözelti içinde maddeyi kristallendirmek için çeşitli yaş kimyasallar gereklidir. Bu teknik aynı zamanda serbest, tek kristal parçacıklarını büyütme için kullanılmıştır ve bu süreçte oluşan partiküller diğer yöntemlerle elde edilenlere göre daha iyi bir kristallığe sahiptir [50].

Demir oksit nanopartiküllerin, şekil ve boyut kontrollü olarak sentezlenmesini sağlayan hidrotermal sentez yönteminde FeCl₃, etilen glikol, sodyum asetat ve polietilen glikol kullanılır. Kaynama noktası yüksek olan etilen glikol çözücü olarak kullanılırken, yüzey aktif madde olarak da polietilen glikol kullanılır. Nanopartiküllerin etrafının yüklenmesini ve dolayısıyla elektrostatik itme oluşturarak nanopartiküllerin birleşmesini önleme görevini sodyum asetat görür [59].

1.4.4.5. Sonokimyasal Yöntem

Rekabetçi bir alternatif olarak, sonokimyasal yöntem, sıra dışı özelliklere sahip yeni malzemeler üretmek için yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Ultrasonun kimyasal etkileri akustik kaviteasyondan (yani sıvıda kabarcıkların oluşumu, büyümesi ve etkisiz çökmesi) kaynaklanır. Kabarcıklı patlamanın çökmesi, çöken balonun gaz fazında adyabatik sıkıştırma veya şok dalgası oluşumu yoluyla lokal bir sıcak nokta yaratır. Bu sıcak noktalarda oluşan koşullar, 5000 K geçici sıcaklık, 1800 atm basınç ve 1010 K s⁻¹'den fazla soğutma hızı olarak deneysel yolla belirlenmiştir [60]. Bu aşırı koşullar, yeni fazı oluşturmak için gerekli olup, monodispers (tek dağılımlı) nanopartikülleri hazırlamaya eğilimli olan aglomerasyon (kümelenme) için bir kesme etkisine sahiptir. Bu yöntem çeşitli nanokompozitlerin sentezi için uygulanmıştır ve çok yönlülüğü demir oksit nanopartiküllerin hazırlanmasında başarıyla gösterilmiştir [61].

1.4.4.6. Sol-jel Yöntemi

Sol – jel yöntemi, manyetik nanopartiküller de dahil olmak üzere saf, stokiyometrik ve monodispers nanopartikülleri sentezlemek için sulu faz içinde gerçekleştirilen bir tekniktir. Bu yöntem aynı zamanda nanopartikül sentezi için yararlıdır ve "sol" olarak adlandırılan bir kolloidal sistemi oluşturmak için çeşitli reaktif ligandlar ile çevrelenmiş metal öncüleri, metal veya metalsi elementlerin hidroliz ve polikondensasyon

reaksiyonlarına dayanmaktadır. "Sol", daha sonra, çözücü uzaklaştırılarak veya "jel" adı verilen bir sıvı fazı içeren bir ağın oluşumuna yol açan kimyasal reaksiyonla kurutulur. Sol-jel yöntemi, büyük ölçekli, nispeten dar boyut dağılımı ile saf, stokiyometrik, monodispers ve büyük boyutlu nanopartikülleri (onlarca yüzlerce nanometre) sentezlemek için kullanılabilir. Bu sentezleme süreci ile ilgili bazı avantajlar; nanopartiküllerin iyi boyut kontrolü, nanopartiküllerin yapısını önceden belirleme olasılığı, deneysel koşul ve saf amorf fazlarla partikül elde etme olasılığıdır. Aslında katı halde (toz) manyetik parçacıklar üretmek için daha uygun bir metottur [62].

1.4.5. Demir oksit Nanopartiküllerin Yüzey modifikasyonu

1.4.5.1. Organik Moleküller ile Modifikasyon

Organik bileşikler genellikle kümelenmeyi önlemek için hazırlama işlemleri sırasında veya sonrasında demir oksit nanopartiküllerin yüzeyini pasifleştirmek için kullanılırlar. Manyetik demir oksit nanopartiküller, herhangi bir uygun yüzey kaplamasının yokluğunda, geniş yüzey alanı-hacim oranına sahip hidrofobik yüzeylere sahiptir ve nanopartiküller arasındaki hidrofobik etkileşimler, bunların kümelenmesine neden olur ve bu durum da parçacık boyutunu arttırır. Demir oksit nanopartiküller üzerine kaplanan organik bileşikler, partiküllere çeşitli alanlarda yüksek potansiyelli uygulama fırsatı sunar. Modifikasyonda kullanılan organik moleküllerin iki görevi vardır. Birincisi, manyetik demir oksitlerin manyetikliğini korumak, ikincisi ise organik molekülün diğer özelliklerini korumaktır [50].

1.4.5.2. Küçük Moleküller ile Yüzey Aktif Maddeler

Yüzey özelliklerine göre, küçük moleküller veya yüzey aktif maddelerle modifiye edilmiş demir oksit nanopartiküller; yağda çözünebilir, suda çözünebilir ve amfifilik olmak üzere üç türe ayrılabilir. Diğer bir yöntem, yağda çözünebilir tipin suda çözünür tip fonksiyonelleştirilmiş demir oksit nanopartiküllere dönüştürülmesidir ve ligand değişim reaksiyonu, bu amacı gerçekleştirmede başlıca yaklaşımdır [50].

1.4.5.3. Polimerler

Polimerle kaplamanın avantajı, itme kuvvetlerini arttırmasından dolayı manyetik ve Van Der Waals çekme kuvvetleri arasında denge kurulmasını sağlamasıdır. Polimer ile kaplanan nanopartiküller bazı özel fiziksel veya kimyasal özellikler kazanır. Nanopartiküllerin manyetik doygunluğu polimerle kaplandıktan sonra azalır. Polimerle kaplama materyalleri doğal ve sentetik materyaller olmak üzere ikiye ayrılır.

Gupta ve arkadaşları bir çalışmada, manyetik çekirdekli ve hidrofilik polimerik kabuklu bir poli(etilenglikol) (PEG) ile modifiye edilmiş süperparamanyetik demir oksit nanopartikülleri hazırlamak için mikroemülsiyon polimerizasyon yöntemini kullanmışlardır. PEG ile modifiye edilmiş bu nanopartiküllerin ortalama büyüklüğünün dar ebat dağılımı ile yaklaşık 40–50 nm olduğu belirlenmiştir [63].

1.4.5.4. Biyolojik Moleküller

Protein, polipeptit, antikor, biyotin ve avidin gibi çeşitli biyolojik moleküller, nanopartiküllerin spesifik olarak sentezlenmesini sağlamak için bazı fonksiyonel uç grupları yoluyla doğrudan veya dolaylı olarak demir oksit nanopartiküllerin yüzeyine bağlanabilir.

Nanopartiküllerin biyolojik maddelerle kaplanması iki aşamalı bir işlemdir. Birincisi; küçük moleküller veya polimerize edilmiş nanopartiküllerin sentezlenmesi, ikicisi ise daha sonra kimyasal bağ veya fiziksel adsorpsiyon ile biyomoleküllere bağlanmasıdır [64].

1.4.5.5. İnorganik Bileşikler

Demir oksit nanopartiküllerin inorganik bileşiklerle modifiye edilmesi, antioksidan özelliklerini büyük ölçüde arttırır ve ilgili uygulama alanlarının kapsamını genişletir. Bu nanopartiküller, kataliz, biyo-etiketleme ve biyo-ayırma uygulamalarında kullanılırlar. İnorganik bileşiklerle modifikasyonda, silika, metal, ametal, metal oksitler ve sülfidler kullanılır. Kaplama işleminde hem nanopartiküllerin manyetik özellikleri hem de inorganik bileşiklerin özellikleri korunur.

1.4.5.6. Silika

Silika, modifiye edilmiş demir oksit nanopartiküllerini hazırlamak için en yaygın kullanılan bileşiktir. Silika kaplı demir oksit nanopartiküllerin çeşitli avantajları vardır. Bu kaplama, çözelti içindeki demir oksit nanopartiküllerine sadece kararlılık sağlamakla kalmaz, aynı zamanda parçacıklar arası etkileşimleri de önler ve kümelenme oluşmasını engeller.

Stöber yöntemi, sol-jel prosesi ve aerosol piroliz, silika ile demir oksit nanopartiküllerin kaplanması için kullanılan yöntemlerdir.

Ma ve diğerleri, sol-jel ve Stöber yöntemleri ile $Fe_xO_y@SiO_2$ çekirdek-kabuk nanopartikülleri sentezlemişlerdir. İlk önce süperparamanyetik demir oksit nanopartikülleri, manyetik çekirdeği çevresinden izole etmek için silika ile kaplamışlar. Ardından, boya moleküllerini ikinci bir silika kabuğunun içine katmışlar. Bu silika kabuk, boya moleküllerinin, fotostabiliteyi iyileştirmek ve çok yönlü yüzey fonksiyonlarına izin verme işlevini görür. Sonuçta, silika kaplamasından sonra doygunluk manyetizasyonunun azaldığı tespit edilmiştir [65].

1.4.5.7. Metal veya Ametal

Demir oksit nanopartiküllerini korumak için bir başka kolay yol, altın, gümüş, platin, paladyum, demir, karbon vb. saf bir tek metal veya ametal kabukların kontrollü oksidasyonudur. Tek metal veya ametal tabakanın kontrolü, demir oksitlerin özellikle biyomedikal ve katalizör uygulamalarının kapsamını genişletmek için muazzam bir etkiye sahiptir.

Mandal ve diğerleri bir çalışmalarında, demir oksit nanopartiküllerin kararlı hale getirilmesi için sırasıyla altın (Au) ve gümüş (Ag) ile doğrudan altın ve gümüşü indirgeme yoluyla kaplamışlardır [66].

Son zamanlarda manyetik kayıt ve manyetik mürekkep malzemelerinin uygulama beklentilerini dikkate alarak, çoğu çalışma, karbonla kaplanmış demir oksit manyetik nanopartiküllerin geliştirilmesine odaklanmıştır. Örneğin Wang ve diğerleri, sulu glikoz, oleik asit ve manyetik nanopartikül çözeltisini ısıtmak suretiyle Fe_3O_4/C nano kompozitini hazırlamışlardır [67]. Dantas ve diğerleri Fe_3O_4/C kompozitlerini sentezlemişler ve Fenton

reaksiyonunda heterojen katalizör olarak tekstil atık suyunun temizlenmesinde kullanılmışlardır [68].

1.4.5.8. Metal Oksit/Sülfür

Esas olarak benzersiz fiziksel veya kimyasal özelliklerinin önemi nedeniyle metal oksitler veya metal sülfürlerle modifiye edilen demir oksit nanopartiküller ile ilgili bol miktarda araştırma yapılmıştır. Genel olarak, araştırmalar ZnO, MgO, CaO, SnO₂, Al₂O₃ [69] gibi materyaller, demir oksitler, CoO, NiO, CoFe₂O₄ [70] gibi manyetik materyaller ve TiO₂, ZnS, Y₂O₃ gibi optik ve elektriksel fonksiyonel materyaller üzerinde yoğunlaşmıştır [71]. Metal oksitle kaplanan demir oksit nanopartiküller, genellikle metal oksitlerin özel özelliklerini de alırlar.

1.5. Dendrimerler

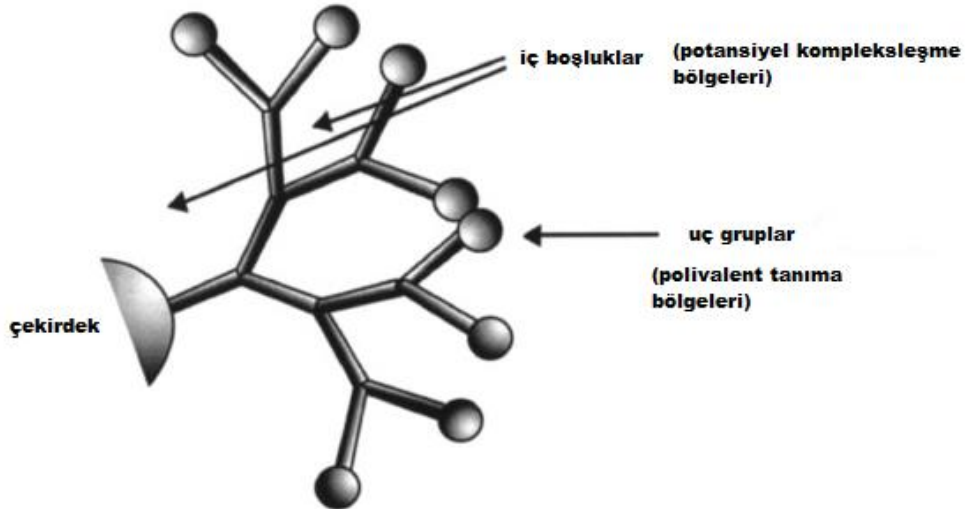
Dendrimerler, ağaç benzeri kollar veya dallardan oluşan iyi tanımlanmış, homojen ve monodispers yapıya sahip nano boyutlu, radyal olarak simetrik moleküllerdir. Dendrimerler aynı zamanda "kaskat molekülleri" olarak da adlandırılabilir, ancak bu terim "dendrimer" kelimesi kadar kabul görmemiştir [72,73]. Küçük bir molekül veya doğrusal bir polimer çekirdeği etrafında inşa edilen simetrik dallanma birimleri içeren neredeyse tek kutuplu makromoleküller olan dendrimerler, sadece bir mimari motiftir ve bileşik değildirler. Poliyonik dendrimerler, kalıcı bir şekle sahip değildir ve artan jenerasyonların bir fonksiyonu olarak boyut, şekil ve esneklikte değişikliklere uğrayabilirler [74,75].

Dendrimerlerin son grupları fonksiyonel hale getirilebilir, böylece bunların fizikokimyasal veya biyolojik özellikleri değiştirilir. Bu özelliklerinden dolayı birçok uygulamada kullanılabilirler [76]. Antikanser terapileri ve tanısal görüntüleme için dendritik makromoleküllerin ortaya çıkan rolü dikkat çekicidir. Bu iyi tanımlanmış malzemelerin avantajları, onları en yeni makromoleküler nano ölçekli dağıtım cihazları sınıfına dahil eder [77]. Dendritik makromoleküller, çapta doğrusal olarak artma eğilimi gösterirler ve dendrimer üretiminin artmasıyla daha küresel bir şekil alırlar. Bu nedenle dendrimerler, polimer boyutu, yükü ve bileşiminin, lipit iki tabakalı etkileşimler, sitotoksosite, içselleştirme, kan plazma retansiyon süresi, biyolojik dağılım ve filtrasyon

gibi biyolojik özellikler üzerindeki etkilerini açık bir şekilde incelemek için ideal bir taşıyıcı araç adayı haline gelmiştir [78].

Dendrimer moleküllerinin yapısı, çekirdek olarak etiketlenmiş bir merkezi atom veya atom grubuyla başlar. Bu merkezi yapıdan, "dendron" adı verilen diğer atomların dalları çeşitli kimyasal reaksiyonlarla büyür [79]. Dendrimerler, çoğu lineer polimerler ile elde edilemeyen bir kontrol seviyesi ile hazırlanabilir [80].

Kimyası, yeni kimyanın en çekici ve aceleyle büyüyen alanlarından biri olan dendrimerler, yeni bir polimerik madde sınıfı olarak kabul edilirler. Dendrimer kimyasının da, diğer özel araştırma alanları gibi, kendi terimleri ve kısaltmaları vardır. Ayrıca, dendrimer yüzeyinde meydana gelen farklı kimyasal olayları tanımlamak için daha kısa bir yapısal isimlendirme uygulanır. Örneğin "dendrigraft"lar, monodispers olarak yapılabilen dendrimerler gibi bir dendritik polimer sınıfıdır. Şekil 1.15'de görüldüğü gibi, bir dendrimer, iki molekülü birbirine bağlayan çekirdek, uç grupları ve alt birimler olmak üzere üç ana bölümden oluşur [81].



Şekil 1.7. Bir dendrimerin üç ana birimi [81].

Dendrimer, bir çekirdek, çekirdek etrafındaki dallanma birimleri ve dallanmış fonksiyonel grup olarak da adlandırılan yüzey gruplarından oluşurlar. Dendrimerlerin çeşitliliği fonksiyonel gruplarla sağlanmaktadır. Dallanma birimleri ise dendrimerlerin tekrarlı bir şekilde büyümesini sağlamaktadır. Dendrimerlerin polimerizasyon derecesi, gerçekleştirilen tekrarlama döngüsü sayısını ifade eden jenerasyon sayısı (G) kavramıyla belirtilir. Jenerasyon sayısı çekirdekten dış yüzeye doğru ilerleyen dallanma noktaları

sayısının hesaplanması ile kolayca tespit edilebilir. Dallanma noktası dendrimer büyümesi ile orantısal bir artış göstermektedir. Örneğin bağlanma noktası olmayan bir dendrimer sıfırıncı jenerasyon (G-0) olarak adlandırılmaktadır.

Molekül yapıları ve yüzeylerinin farklılığı nedeniyle konvansiyonel lineer polimerlerle karşılaştırıldıklarında bazı belirgin gelişmiş özellikler gösterirler. Çözültide lineer zincirler bobin halindedir, dendrimerler ise içi dolu top gibidir. Bu dendrimerlerin reolojik özelliklerinde önemli bir etkiye sahiptir. Küresel olmak için yeterince büyük olan dendrimerler yüksek hacimlidir. Birçok zincir uçlarının varlığı, yüksek çözünürlük ve reaktivite sağlar. Işık altındaki yapraklar gibi dendrimerin ağaç benzeri yapısı da açık yüzey alanını arttırmayı sağlamaktadır. Böylece büyük bir kısmı yüzeyde kalan ve yüksek moleküler yüzey/hacim oranlarına sahip moleküller oluşturulabilir. Dendrimerlerde sayısız yüzey grupların varlığı, yüzey gruplarının çözücüyle ya da moleküllerle çeşitli eş zamanlı etkileşimini kolaylaştırır ve bunun sonucu olarak yüksek çözünürlük ve reaktivite eğilimi gösterirler. Polimerin yüzeyinde yer alacak fonksiyonel grupların yeri, sayısı ve cinsini kontrol etme yeteneği, bu yapıların modifikasyonunda da birçok değişikliğe izin vermektedir. Bu modifikasyon ya fonksiyonlu grubun dendrimerlerin iç kısmına bağlanıp, fonksiyonel grubun özelliklerini kazanması ya da dendrimerin dış yüzeyine fonksiyonel grupların kimyasal olarak bağlanması ile gerçekleştirilmektedir. Dendrimerlerin yüzey grup numarası geometrik olarak artarken, dendrimer çapı lineer olarak artar. G1 jenerasyon için 1.1 nm, G8 jenerasyon için 9 nm çaplarında olmaktadır.

Çekirdeğin, kabukların ve özellikle de yüzey tabakalarının kimyasal özelliklerinin değiştirilmesiyle, dendrimer özellikleri belirli bir uygulamaya yönelik olacak şekilde değiştirilebilir. Dendrimer çekirdeğinin birbirini takip eden reaksiyonlarla dallanması ve gerekli fiziksel ve kimyasal yüzey özelliklerini sağlayan son grupların eklenmesi birbirini takip eden çok basamaklı reaksiyonların sonucunda oluşur. Bu şekilde bir dendrimer molekülü istenilen özelliklere sahip olarak tasarlanmaktadır. Dendrimer molekülündeki bu özellikler nedeniyle; biyolojik hücrelere farklı moleküllerin taşınması, ışık toplama ve enerji elde sistemleri, tekstil gibi çeşitli alanlarda uygulama imkânı bulmuştur [82].

1.5.1. Dendrimerlerin Kullanıldığı Yerler

Dendrimerlerin eş yüzey grupları, mükemmel kapsüllenme özellikleri ve büyük oranda kontrol edilebilir kimyaları, belirli ilaç taşıma uygulamalarında kullanılmaları için

oldukça uygundur. Yüzey gruplarına bağlı olarak ilaç moleküler dendrimerin içine yüklenebilir. Dendrimerler ya dendritik yapı içinde ilaç enkapsülasyonu ile ya da elektrostatik veya dendrimerin kovalent bağlarla ilacın en sonundaki fonksiyonel gruba etkileşimi ile ilaç taşıyıcı olarak işlev görebilmektedir. Oldukça geniş kullanım alanlarına sahip dendrimerlerin; son yıllarda tekstil alanında da uygulamaları hız kazanmıştır.

- Genetik tedavilerde, DNA moleküllerini hücreye taşıyan nano robot görevi yaparlar.
- Dendrimer ve dendrimer polimerleri kullanılarak anti kanser ilaçlar elde edilmiştir.
- HIV ve benzeri cinsel yolla bulaşan hastalıklara karşı cinsel ilişki sırasında aktif koruma sağlamaktadır [82].
- Dendrimer bazlı metal şelatlar manyetik rezonans görüntüleme kontrast ajanları olarak görev yapar.
- PAMAM (Poliamidoamin) dendrimerleri, ilaç dağıtım sistemleri için çözünürlüğü artırmada potansiyel uygulamalara sahiptir [81].

1.6. Kullanılan Spektroskopik Yöntemler

FT-IR Spektroskopisi:

Infrared spektroskopisinin günümüzde en yaygın kullanılan türü Fourier Dönüşümlü Infrared spektroskopisidir. FT-IR'da moleküler bağ karakterizasyonu yapılarak, organik bileşiklerin yapısındaki fonksiyonel gruplar, yapıdaki bağların durumu, bağlanma yerleri, yapının aromatik veya alifatik olup olmadığı belirlenebilmektedir. Bu yöntemde veri zaman alanından frekans alanına aktarılır, değişik frekanslarda absorpsiyonlar grafiğe dökülür.

X-Işınları Difraktometresi (XRD):

Katıların kristal yapısı, atomların veya moleküllerin geometrik bir düzende yerleşmesiyle oluşur. X-ışını kırınımı, kristal yapıları karmaşık bileşiklerin yapısını saptamak, geometrik düzenin belirlenmesi yani nitel olarak analizi için kullanılan bir yöntemdir. Kristal yapı üzerine X-ışını düşürüldüğünde ışınlar, maddenin kristal yapısından dolayı saçılırlar. Bu saçılım, kırınım olarak adlandırılır. XRD analizlerinde

kullanılan numune tekrar tekrar analiz edilebilir. Analiz sonrası numunede hasar oluşmaz [83].

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM):

Taramalı elektron mikroskobu, vakum ortamında oluşturulan ve elektromanyetik lenslerle çok küçük bir alana odaklanan yüksek enerjili elektronlarla yüzeyin taranması prensibiyle çalışır. Elektron demetinin numune ile olan etkileşiminden ortaya çıkan ışımlar veya geri yansıyan elektronlar sinyal güçlendiricilerden geçirildikten sonra gelen sinyaller dijital sinyallere çevrilip bilgisayar monitörüne verilmektedir.

Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM):

Geçirimli Elektron Mikroskobu veya TEM (Transmission Electron Microscopy) cismin içinden geçirilen yüksek enerjili elektronların görüntülenmesi prensibine dayanır. Elektron mikroskobu, optik mikroskoba kıyasla çok daha küçük ayrıntıları görmeye olanak tanır. Genel olarak, küçük ölçekli malzeme karakterizasyonu için akla gelen ilk cihaz optik mikroskoptur. Optik mikroskop, bilim adamlarına, çoğu numunelerde bir ilk inceleme imkânı verir ve bir inceleme sırasında rutin dokümantasyon için kullanılabilir [84].

Titreşimli Örnek Manyetometresi (VSM):

Titreşimli örnek manyetometresinin çalışma prensibi, manyetik örnek titreştiğinde meydana gelen akı değişimi ile birlikte bir elektromanyetik kuvvetin oluştuğunu ifade eden Faraday yasasına dayanmaktadır. VSM ile manyetik malzemenin mıknatıslanma eğrileri veya histeresis eğrileri elde edilebilmektedir. VSM'in çalışma sıcaklığı oldukça geniştir. Kullanılan çubuğun yüksek ve düşük sıcaklıklara dayanıklı olması sayesinde düşük sıcaklıklarda ve yüksek sıcaklıklar ölçüm yapılabilir [85].

1.7. Literatürdeki Çalışmalar

Lyubutin ve diğerleri (2018), demir oksit nanopartikülleri grafen'le modifiye etmişlerdir. Raman ve Mössbauer spektroskopisi, grafen oksit'le modifiye edilen manyetik Fe_3O_4 'ün stokiyometrik olmadığını ve $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ maghemit fazının görüldüğünü ortaya koymuştur. Termik işlemle grafen oksidin daha sonra indirgenmesi, maghemit içeriğinin fraksiyonunda bir artışa yol açmış ve ek olarak, 500°C 'nin üzerinde tavllanmış numunede hematit fazı $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ görülmüştür. Nanokompozitin çekirdek-kabuk yapısında olduğu

belirlenmiştir. Manyetiğin grafene elektron donörü olarak davrandığı ve grafen ile demir oksit arasında yük transfer etkileşimi olduğunu tespit etmişlerdir [86].

Gruskiene ve diğerleri (2018), demir oksit nanopartikülleri sentezlemiş ve X-Ray ile karakterizasyonunu yapmışlardır. Daha sonra partikülleri sitrik, askorbik gallik veya glukuronik asit ile modifiye etmişlerdir. Ardından, nanopartiküller basit bir adsorpsiyon yöntemi kullanılarak nisin ile fonksiyonel hale getirilmiştir. Nisin, gıda muhafazası için gıda katkı maddesi olarak onaylanmış bilinen bir bakteriyozdur. Gram-pozitif bakterilere karşı geniş spektrumlu bir antimikrobiyal aktivite sergiler. Nisin yüklemesi FT-IR spektrumları, termogravimetrik analiz, dinamik ışık saçılması ve atomik kuvvet mikroskopi yöntemleri ile doğrulanmıştır. Sonuçta nisin yüklü demir oksit manyetik nanopartiküllerin, zeta potansiyeli ve hidrodinamik çap ölçümleri ile değerlendirildiğinde en az altı hafta kararlı kaldığı gözlenmiştir ve nanoparçacıkların gram-pozitif bakterilere karşı antimikrobiyal aktivite gösterdiği belirlenmiştir [87].

Özel ve diğerleri (2018), demir oksit nanopartikülleri sentezledikten sonra tartarik asit ve askorbik asit ile hava atmosferinde oda sıcaklığında birlikte çöktürme yöntemi ile modifiye etmişlerdir. Kaplama maddelerinin, nanopartikülleri oksidasyona karşı başarılı bir şekilde koruduğunu manyetik doyumluk değerlerinden belirlemişlerdir. M_s değeri, 12 hafta boyunca $\sim 62 \text{ emu g}^{-1}$ olarak neredeyse sabit kalmıştır ve daha sonra 48 hafta boyunca $\sim 57 \text{ emu g}^{-1}$ 'e düşmüştür. Kaplanmış süperparamanyetik nanopartiküllerin yüksek doyumluk manyetizasyonuna ve oksidasyona karşı yüksek kararlılığa sahip olduğu sonucuna varmışlardır. Daha sonra sentezleyip modifiye ettikleri nanopartiküller ile çıplak nanopartiküllerin biyouyumluluk çalışmalarını, farklı parçacık konsantrasyonları ile MTT analizi ile test etmişlerdir. MTT test sonuçlarından, kaplanmış nanoparçacıkların toksik olmadıklarını ve bu nedenle potansiyel biyomedikal uygulamalar için biyo-uyumlu olduklarını gözlemlemişlerdir [88].

Sathya ve diğerleri (2017), indirgeyici bir madde olarak coriandrum sativum yaprak ekstratı kullanarak demir oksit nano partikülleri ultrason destekli yeşil sentez yöntemi ile sentezlemişlerdir. UV spectra ve SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) ile karakterizasyonunu gerçekleştirmişlerdir. SEM analizinden partiküllerin, 20 ila 90 nm arasında değişen boyuttaki küresel parçacıklar olduğunu belirlemişlerdir. Yaprak ekstratının ve sentezlenen nanopartiküllerin antimikrobiyal aktivitesini, micrococcus luteus, staphylococcus aureus ve aspergillus niger patojenlerine karşı çalışmışlardır. Ultrasonik demir oksit nanopartiküllerin, manyetik karıştırıcı yöntemiyle ve coriandrum

sativum yaprak ekstratı ile sentezlenen demir oksit nanopartiküllerle karşılaştırıldığında daha yüksek temizleme aktivitesi ve antimikrobiyal aktivite gösterdiğini belirlemişlerdir [89].

Pesqueira ve diğerleri (2018), oleik asit yüzey modifikasyonu ile kararlı hale getirilmiş demir karbür@demir oksit çekirdek-kabuk nanopartiküllerini (ICIONPs) organik sonosentez yöntemiyle sentezlemişlerdir. Bu güçlü sentez yolunun, düşük yoğunluklu ultrasonik banyo kullanılarak oktanol içinde $\text{Fe}(\text{CO})_5$ gibi organometalik bir öncünün sonokimyasal reaksiyonuna dayanmakta olduğunu bildirmişlerdir. Nanoparçacıkların çaplarını, yaklaşık 25 nm'de bir hidrodinamik çap ve yaklaşık 0.27'lik bir polidispersite ile yaklaşık $6.38 \text{ nm} \pm 1.34$ olarak ölçmüşlerdir. Nanopartiküllerin çekirdek-kabuk yapısı, HR-TEM ve XPS karakterizasyon araçları kullanılarak doğrulanmıştır ve yapısında çekirdek olarak demir karbür (Fe_3C) ile kabuk olarak da bir manyetit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) olduğu bulunmuştur. Nanopartiküllerin hidrofobik özellik gösterdiği ve ferromanyetik bir davranış sergilediğini ortaya koymuşlardır. Demir oksitler ve demir karbür fazlarından elde edilen özelliklerine bağlı olarak sentezledikleri nanopartiküllerin, terapötik ajan gibi çeşitli uygulamalarda potansiyel olarak kullanılabileceğini göstermişlerdir [90].

Soares ve diğerleri (2016), kimyasal çöktürme ve termal ayrışma ile yöntemleriyle demir oksit nanopartikülleri sentezlemişlerdir. Sentezledikleri nanopartikülleri, kitosan ile farklı molekül ağırlıklarında modifiye etmişlerdir. Karakterizasyon işlemleri kitosanın partiküllerin kristallenmesini, kimyasal bileşimini ve süperparamanyetik özelliklerini etkilemeden hidrodinamik çapını arttırdığını göstermiştir. Nano-kompozit, Fe_3O_4 nanopartiküllerinin ısıtma yeteneğinin kitosandan önemli ölçüde etkilenmediğini gösteren numunelere alternatif bir akım manyetik alan uygulanarak manyetik hipertermi için test edilmiştir. Kitosan kaplı demir oksit nanopartiküllerin manyetik hipertermi için uygun olduğunu belirlemişlerdir [91].

Petters ve Dringen (2015), dimerkaptosüksinat (DMSA) kaplı demir oksit nanopartiküllerini, kültürlü primer sıçan serebellar granül nöronları üzerine uygulamışlardır. Bu nanopartiküllerin ortalama hidrodinamik çaplarının, inkübasyon ortamında ve % 10 fetal dana serumu yokluğunda ya da varlığında sırasıyla 80 nm ve 120 nm olduğunu belirlemişlerdir. Nöronların 6 saate kadar demir oksit nanopartiküllere akut maruz kalması hücre morfolojisini değiştirmemiş veya hücre canlılığını tehlikeye atmamıştır, ancak nöronlar gecikmiş toksisiteye neden olan zaman ve konsantrasyona bağlı bir şekilde büyük miktarlarda demir oksit nanopartikül biriktirmişlerdir. Her iki

inkübasyon koşulu için, hücrel demir içeriğindeki artış, inkübasyon sıcaklığının 4 ° C'ye düşürülmesiyle önemli ölçüde azaltılmıştır. Endositoz yollarının inhibitörlerinin uygulanması serum yokluğunda nöronal demir oksit nanopartikül birikimini etkilemezken, klatrin aracılı endositoz inhibitörleri serum varlığında demir oksit nanopartikül birikimini önemli ölçüde azaltmıştır. Bu veriler ışığında, DMSA-kaplı demir oksit nanopartiküllerin kültür nöronları için akut olarak toksik olmadığını ve partiküller etrafındaki bir protein koronasının nöronlarla etkileşimlerini kuvvetle etkilediğini bildirmişlerdir [92].

Parveen ve diğerleri (2018), partikül boyutu 10–30 nm olan demir oksit nanopartikülleri tannik asit kullanarak yeşil bir yaklaşımla modifiye etmişlerdir. Bu nanopartikülleri X-ışını difraktometresi (XRD), yüksek çözünürlüklü alan emisyon taramalı elektron mikroskobu (FESEM) ve transmisyon elektron mikroskobu (TEM) ile karakterize etmişlerdir. Hazırlanan demir oksit nanopartikülleri *trichothecium roseum*, *cladosporium herbarum*, *penicillium chrysogenum*, *alternaria alternata* ve *aspergillus niger*'e karşı antifungal aktiviteleri açısından da değerlendirmişlerdir. Spor çimlenmesinin engellenmesi ve kültür ortamındaki farklı demir oksit nanopartikül konsantrasyonlarının neden olduğu mantar patojenlerinin inhibisyon bölgesinin belirlenmesi aracılığıyla antifungal aktivitelerine bakılmıştır. Bu çalışmada, Fe₂O₃ nanopartiküllerinin, test edilen tüm mantar patojenlerine karşı önemli bir antimikotik aktivite gösterdiği gözlenmiştir. Demir oksit nanopartiküllerinin kristal yapıda olduğu, safsızlıklardan arınmış, kararlı olduğu ve antifungal aktivitelere sahip olduğu anlaşılmıştır. Hazırlanan demir oksit nanopartiküllerin *penicillium chrysogenum* ve *aspergillus niger*'e karşı en etkili olduğu bulunmuştur [93].

Sidiropoulou ve diğerleri (2018), çalışmalarında karasal ortamlar için bir biyo-işaretçi olarak kullanımını araştırmak amacıyla kara salyangozu *Helix aspersa* üzerindeki oksidatif strese bağlı olarak demir oksit nanopartiküller ve zeolit kaplı demir oksit nanopartiküllerin tetiklediği biyolojik yanıtların değerlendirilmesini amaçlamışlardır. Her iki nanopartikülün de morfolojisi ve yapısını karakterize etmişlerdir. Salyangoz gıdalarını bir dizi demir oksit nanopartikül ve zeolit kaplı demir oksit nanopartikül konsantrasyonu ile desteklemişlerdir ve hemosit lizozomal membranların % 50 destabilizasyonunu (dengesizleştirme), nötr kırmızı alıkoyma (NRRT50) testi ile analiz etmişlerdir. Daha sonra, salyangozlar 20 gün boyunca NRRT50 değerlerinin yarısına eşit nanopartikül konsantrasyonları, (demir oksit nanopartiküller için 0.05 mg L⁻¹, 1, 5, 10 ve zeolit kaplı demir oksit nanopartiküller için 1 mg L⁻¹) ile beslenmiştir. Her iki nanopartikülün de,

tedavi edilmeyen hayvanlara kıyasla, salyangozların hemositlerinde oksidatif strese neden olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar, test edilen parametrelerin eşzamanlı kullanımının, nanopartikül toksisitesinin değerlendirilmesi için olası güvenilir biyo-işaretçiler oluşturabileceğini göstermiştir. Bununla birlikte, gelecekte güvenli kullanımlarını sağlamak için demir oksit nanopartiküllerin atılması ve zehirli etkisinin aydınlatılması için daha fazla araştırma yapılması gerektiğini bildirmişlerdir [94].



2. MATERYAL VE METOD

2.1. Materyal

2.1.1. Kullanılan Kimyasal Maddeler

$\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (Merck)

$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{NH}_3 \cdot \text{OH}$, Toluene, Dimetilsülfoksit (DMSO) (Sigma-Aldrich)

Tetraetilortosilikat (TEOS), 3-Aminopropiltrietoksisilan (3-APTES) (Merck)

Metilakrilat, Diaminopropan (DAP), Amonyum purpurat (Müreksit) (Merck)

Etanol, Metanol, Aseton, %25'lik amonyak, HCl, NaOH (Merck)

Nikel (II) nitrat heksahidrat ($\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (Sigma-Aldrich)

Krom (III) nitrat nanohidrat ($\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) (Sigma-Aldrich)

Kurşun (II) nitrat ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$) (Sigma-Aldrich)

Kobalt (II) nitrat heksahidrat ($\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (Sigma-Aldrich)

Alizarin Sarısı ve Eriokrom Siyahı T (Sigma-Aldrich)

2.1.2. Kullanılan Alet ve Cihazlar

Nanopartiküllerin hazırlanması sırasında; Heidolph MR Hei-Standart marka magnetik karıştırıcı, Zhicheng ZHWY-200 B marka inkübatör karıştırıcı, MP Mini Pure marka saf su cihazı, Sonics marka sonikatör, Hanna Instrument HI 221 marka pH metre kullanıldı. Partiküller, Memmert marka etüv'de kurutuldu. Adsorpsiyon deneyleri, JP Selecta marka UR 6032011 model su banyolu çalkalayıcıda yapıldı.

Nanopartiküllerin karakterizasyonunda; Thermo Scientific marka Nicolet IS5 model Fourier Transform Infrared (FT-IR), Bruker marka D8 Advance model X-Işınları Difraktometresi (XRD), Zeiss marka EVO MA10 model Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), FEI marka Tecnai G2 Spirit Biotwin model Yüksek Kontrastlı Geçirimli Elektron Mikroskobu (CTEM), Cryogenic Limited PPMS marka Titreşen Örnek Manyetometresi (VSM) cihazları kullanıldı. Ayrıca ağır metal tayininde Agilent ICP-OES 725 cihazı, boyarmadde analizinde ise Perkin Elmer Lambda 35 UV-Vis Spektrofotometre cihazı kullanıldı.

2.2. Metod

Bu çalışmada sulu çözeltiden bazı ağır metallerin ve boyar maddelerin uzaklaştırılmasında kullanılmak üzere iki yeni adsorbent sentezlendi. Sentezlenen bu adsorbentlerin her aşamasında karakterizasyon işlemleri yapıldı. Ardından adsorpsiyon çalışmasına geçildi.

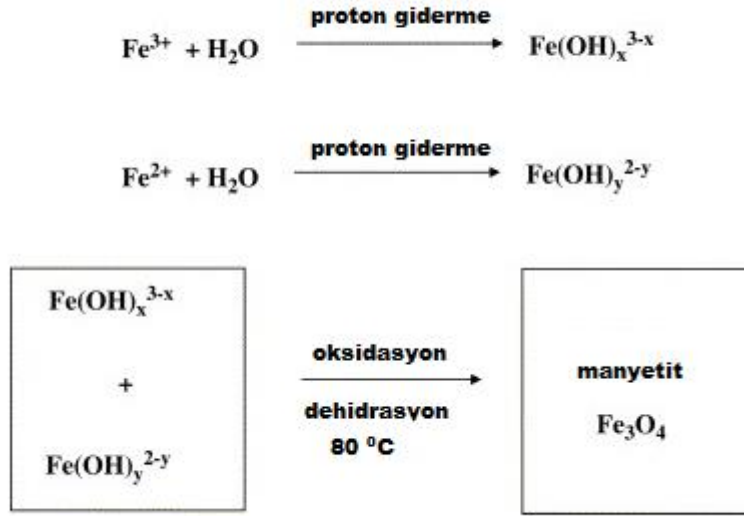
2.2.1. Birinci adsorbentin (Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu) Sentezi

Birinci adsorbentin sentezi için önce süperparamanyetik demir oksit nanopartiküller sentezlendi. Nanopartiküllerin kararlı olması ve yüzey modifikasyonunun yapılması için silika ve APTES ile kaplandı. Kaplama işleminden sonra ise PAMAM ve müreksit ile modifiye edildi. Böylece birinci adsorbent (Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu) elde edildi.

2.2.1.1. Fe₃O₄ Manyetik Nanopartiküllerin (Fe₃O₄ MNPs) Sentezi

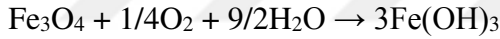
Demir oksit nanopartikülleri, birlikte çöktürme yöntemine göre hazırlandı. Buna göre 3,1736 g FeCl₂.4H₂O (0,016 mol) ile 7,5684 g FeCl₃.6H₂O (0,028 mol) 320 mL saf suda çözüldü. Burada, Fe⁺²/Fe⁺³ molar oranı 1.75 olmalıdır. Hazırlanan bu karışım azot atmosferi altında ve 80 °C’de 1 saat boyunca karıştırıldı. Sonra 40 mL NH₄OH karışıma hızlıca ilave edildi ve 1 saat daha azot atmosferine tabi tutuldu. Daha sonra çöken siyah renkteki partiküller süzüldü. pH değeri 7 olana kadar defalarca saf suyla yıkandı. pH’ı ayarlanan nanopartiküller mıknatıs yardımıyla ayrıldı ve 70 °C’de kurutuldu [95]. Şekil 2.1’de manyetik nanopartikül oluşumu şematik olarak gösterilmektedir.





Şekil 2.1. Manyetik nanopartikül oluşumunun şematik gösterimi [96].

Eğer reaksiyon azot atmosferi altında yapılmazsa aşağıdaki reaksiyonlar da gerçekleşebilir.



Bu yüzden reaksiyonun azot atmosferi altında gerçekleştirilmesi önemlidir [97]. Ayrıca deneysel çalışmalar akan N₂ gazının sadece kritik olan oksidasyonu korumakla kalmayıp diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında partikül boyutunu da azalttığını göstermiştir [98].

2.2.1.2. Manyetik Demir Oksit Nanopartiküllerin Silika ile Kaplanması

Hazırlanan manyetik demir oksit nanopartiküllerin yüzeyini silika ile kaplamak için Stober metodu kullanıldı. Buna göre; 2 g demir oksit nanopartikül, 160 mL etanol, 40 mL saf su ve 5 mL %25'lik amonyaktan oluşan karışıma eklendi. Karışım 15 dakika boyunca sonikatörde karıştırıldı. Ardından 5 mL TEOS damla damla ilave edildikten sonra 12 saat boyunca karıştırılmaya devam edildi. 12 saatin sonunda silika ile kaplanan nanopartiküller

(Fe₃O₄@SiO₂) süzölüp saf su ile yıkandı ve daha sonraki işlem için 60 °C’de kurumaya bırakıldı [99].

2.2.1.3. Silika Kaplı Manyetik Nanopartiküllerin APTES ile kaplanması

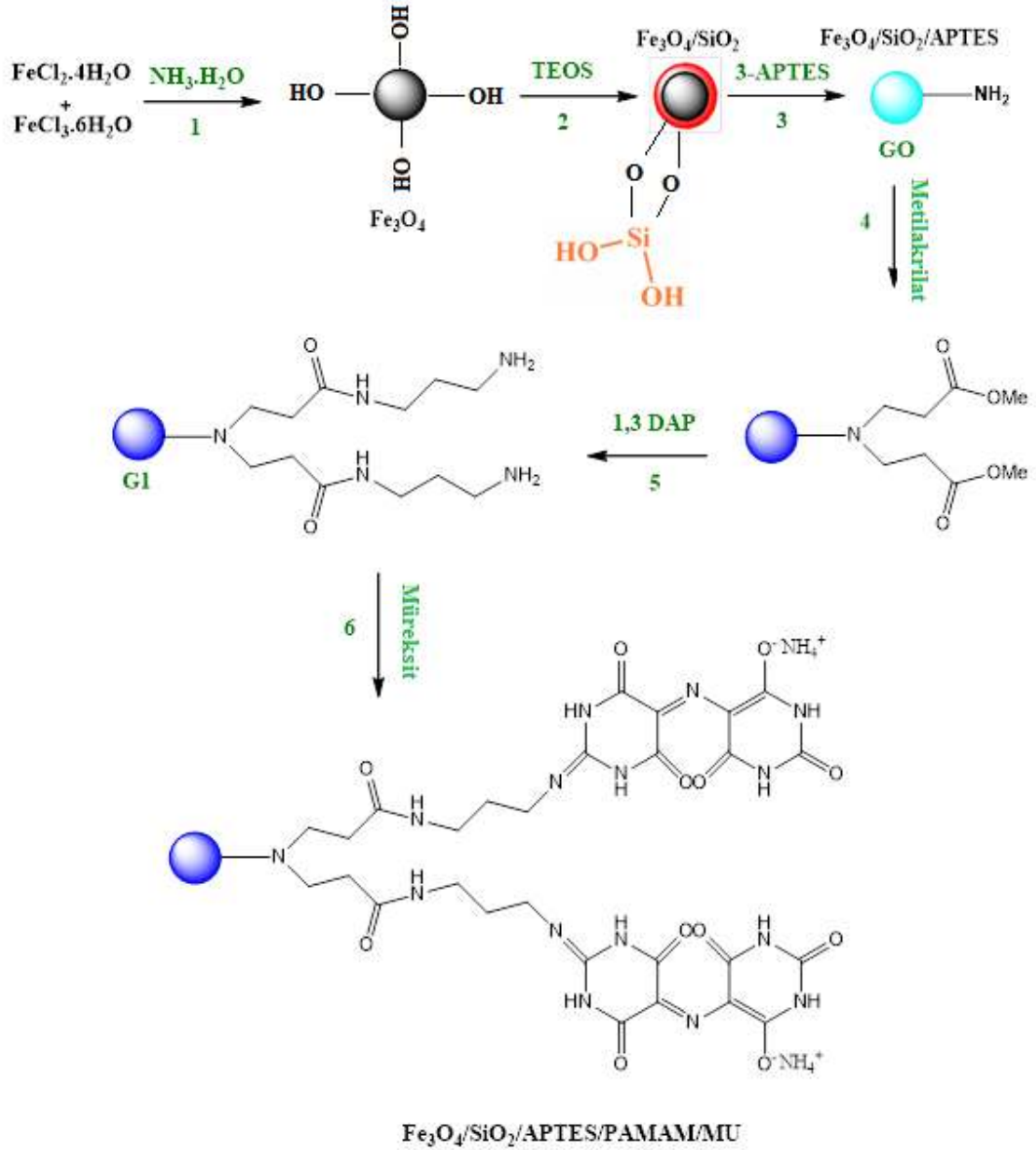
0,5 g Fe₃O₄@SiO₂, 50 mL etanol içine bırakıldı ve 1 saat sonikatörde karıştırıldı. 1 saatin sonunda 4,2 g APTES ilave edilip 20 saat boyunca mekanik olarak oda sıcaklığında tekrar karışmaya bırakıldı. Sonra, oluşan Fe₃O₄@SiO₂@APTES nanopartiküller mıknatısla ayrılıp su ve etanolla birkaç kez yıkandı. Daha sonra 70 °C’de kurumaya bırakıldı [100].

2.2.1.4. Nanopartiküllerin PAMAM ile Modifikasyonu

APTES ile kaplanmış 2 g nanopartikül 100 mL metanol içinde yarım saat boyunca sonikatörde karıştırıldı. Sonikatörde karıştırma esnasında 20 mL metil akrilat yavaşça karışıma eklendi. Yarım saatin sonunda karışım bu kez mekanik karıştırıcıda 8 saat karıştırıldı. 8 saat sonra nanopartiküller süzölüp 6 defa metanolla yıkandı. Sonra yine nanopartiküllerin üzerine 40 mL metanol ve 8 ml 1,3-diaminopropan (DAP) eklendi ve yarım saat sonikatöre tabi tutulduktan sonra 3 saat de oda sıcaklığında karıştırıldı. Karıştırma işlemi sonunda nanopartiküller yine mıknatısla ayrılıp metanolla birkaç kez yıkandı ve kurutuldu. Bu basamağın sonunda elde edilen nanopartiküller, birinci jenerasyon dendrimer anlamında Fe₃O₄-MNPs-G1 adıyla adlandırıldı [101].

2.2.1.5. PAMAM Kaplanmış Nanopartiküllerin Müreksit ile Modifikasyonu

Birinci adsorbentin elde edileceği son basamakta şimdiye kadar sentezlenen PAMAM ile kaplanmış nanopartiküller son olarak müreksit (amonyum purpurat) ile modifiye edildi. Bunun için, 10 mmol müreksit, 10 g kuru Fe₃O₄-MNPs-G1 nanopartiküller ve 100 mL dimetil sülfoksit (DMSO) karışımı hazırlandı. Bu karışım, 120 °C’de 24 saat boyunca reflux edildi. Ardından nanopartiküller süzölüp müreksitin siyah rengi kaybolana kadar metanolla yıkandı ve 80 °C’de 7 saat boyunca kurutuldu. Böylece birinci adsorbent Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu sentezlendi. Şekil 2.2’de sentez basamakları şematik olarak gösterilmektedir.

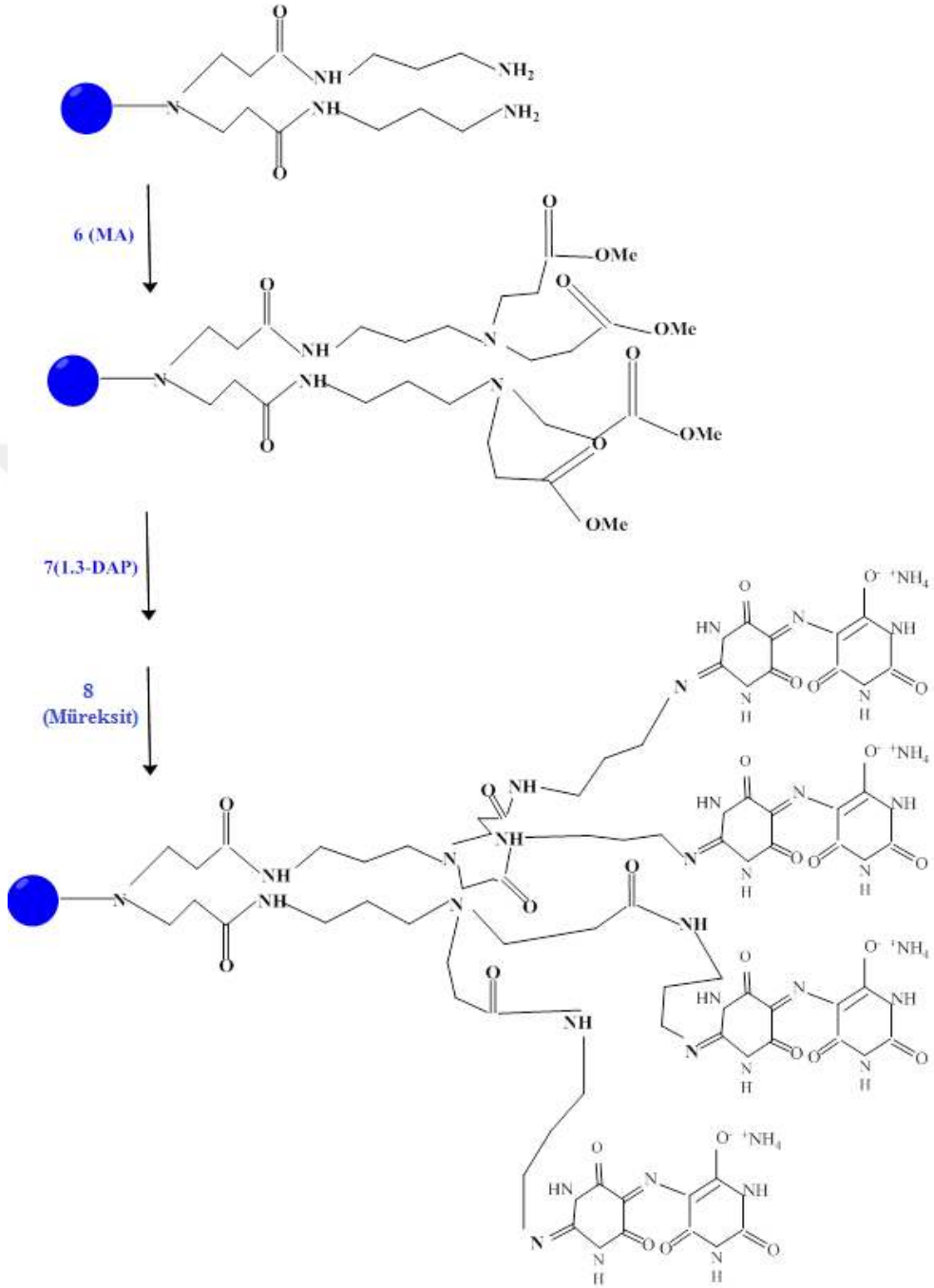


Şekil 2.2. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNPs-G1-Mu}$ adsorbentinin sentez basamaklarının şematik gösterimi

2.2.2. İkinci Adsorbentin ($\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNPs-G2-Mu}$) Sentezlenmesi

İkinci adsorbentin hazırlanmasında beşinci basamak sonunda elde edilmiş olan aminopropil uçlarına sahip manyetik nanopartiküller ($\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNPs-G1}$) bir kez daha metil akrilat (MA) ile ve daha sonra 1,3-DAP ile etkileştirilerek PAMAM ile ikinci kez modifiye edilerek $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNPs-G2}$ sentezlendi. Daha sonra da Mureksit ile etkileştirilerek ikinci

adsorbent olan $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNPs-G2-Mu}$ hazırlandı. İkinci adsorbentin hazırlanması ile ilgili ilave reaksiyonlar Şekil 2.3' de verilmektedir.



Şekil 2.3. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNPs-G2-Mu}$ adsorbentinin hazırlanışının şematik gösterimi

2.2.3. Adsorbentlerin Karakterizasyonu

Adsorbentler sentezlenirken her basamak sonrası karakterizasyon işlemlerine tabi tutuldu. Karakterizasyon işlemleri, Infrared Spektroskopisi (FT-IR), X-ışınları Difraksiyonu (XRD), Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), Geçirimli Elektron Mikroskobu (TEM) ve Titreşimli Örnek Manyetometresi (VSM) ile yapıldı. Tez kapsamında sentezlenen nanopartiküllerin yapıları Dicle, Fırat, İnönü Üniversiteleri ile Orta Doğu Teknik Üniversitesi merkezi laboratuvarlarında bulunan cihazlar ile aydınlatıldı.

2.2.4. Ağır Metaller ile Yapılan Adsorpsiyon Çalışmaları

Sentezlenen adsorbentlerle sulu çözeltiden ağır metalleri uzaklaştırmaya yönelik adsorpsiyon deneyleri için ilk önce ağır metallerin sulu stok çözeltileri hazırlandı:

- *Kurşun çözeltisi:* 1000 mg L⁻¹ (ppm)'lik stok çözelti hazırlamak için 1,6 g Pb(NO₃)₂ tartılarak 1 L'lik balon jojede saf suyla çözüldükten sonra hacmi 1 L'ye tamamlandı. Böylece stok çözelti hazırlanmış olup daha sonraki deneylerde kullanılmak üzere farklı derişimlere seyreltilerek kullanıldı.
- *Nikel Çözeltisi:* 1000 mg L⁻¹ (ppm)'lik stok çözelti hazırlamak için 4,95 g Ni(NO₃)₂.6H₂O tartılarak 1 L'lik balon jojede saf suyla çözüldükten sonra hacmi 1 L'ye tamamlandı.
- *Krom Çözeltisi:* 7,69 g Cr(NO₃)₃. 9H₂O tartılarak 1 L'lik balon jojede saf suyla çözüldükten sonra hacmi 1 L'ye tamamlandı.
- *Kobalt Çözeltisi:* 4,94 g Co(NO₃)₂. 6H₂O tartılarak 1 L'lik balon jojede saf suyla çözüldükten sonra hacmi 1 L'ye tamamlandı.

Adsorpsiyon deneyleri çalkalama yöntemiyle yapıldı. Çalkalama sonucunda çözeltilerde adsorplanmadan geriye kalan ağır metal konsantrasyonu Batman Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı'nda bulunan ICP-OES cihazı ile belirlendi. Adsorplanan madde miktarı denklem 2.1, adsorpsiyon yüzdesi ise denklem 2.2 kullanılarak hesaplandı.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (2.1)$$

$$\% \text{ Adsorpsiyon} = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100 \quad (2.2)$$

Burada;

q_e : birim adsorban üzerinde adsorplanan madde miktarı (mg g^{-1})

C_0 : çözeltinin başlangıç konsantrasyonu (mg L^{-1})

C_e : çözeltide adsorplanmadan kalan madde konsantrasyonu (mg L^{-1})

V : çözeltinin hacmi (L)

m : adsorbent miktarı (g)

olarak verilmektedir.

2.2.4.1. Temas Süresi ve Sıcaklığın Adsorpsiyona Etkisinin Belirlenmesi

Her bir metalin her iki adsorbentle adsorpsiyonlarına temas süresi ve sıcaklığın etkisini belirlemek için stok çözeltilerden seyreltilerek hazırlanmış 100 mg L^{-1} 'lik 200 ml metal çözeltilerine $0,05 \text{ g}$ adsorbent ilave edildi. Değişik zamanlarda alınan numunelerde bulunan metal konsantrasyonu ICP-OES cihazı ile belirlendi. Cihazdan elde edilen C_e değerleri yardımıyla adsorplanan madde miktarı (q_e) hesaplandı (Denklem 2.1). Temas süresine karşılık % Adsorpsiyon ve q_e değerleri grafiğe geçirilerek sonuçlar yorumlandı.

2.2.4.2. Adsorbent Miktarının Adsorpsiyona Etkisinin Belirlenmesi

Hazırlanan 1000 mg L^{-1} 'lik stok metal çözeltileri seyreltilerek 100 mg L^{-1} 'lik metal çözeltileri hazırlandı. Bu çözeltiden 50 'şer mL 'lik metal çözeltileri alınıp her birine değişik miktarlarda adsorbentler ilave edildi ve temas süreleri boyunca çalkalandı.

2.2.4.3. pH'ın Adsorpsiyona Etkisinin Belirlenmesi

Adsorpsiyona pH'ın etkisini belirlemek için değişik pH'larda hazırlanan 50 'şer mL 'lik metal çözeltileri $0,05 \text{ g}$ adsorbentle denge temas süresince çalkalandı. Çözeltilerin pH'larını ayarlamak için $0,1 \text{ M HCl}$ ve $0,1 \text{ M NaOH}$ çözeltileri kullanıldı.

2.2.4.4. Başlangıç Konsantrasyonunun Adsorpsiyona Etkisinin Belirlenmesi

Stok çözeltilerden hazırlanan farklı konsantrasyonlardaki metal çözeltilerinden 50 mL alınıp üzerine 0,05 g adsorbent ilave edildi. Çözeltiler denge temas süreleri boyunca çalkalandıktan sonra adsorplanmadan kalan metal iyonları konsantrasyonları ICP-OES cihazı ile belirlendi.

2.2.4.5. Adsorpsiyonu Temsil Eden İzotermilerin Belirlenmesi

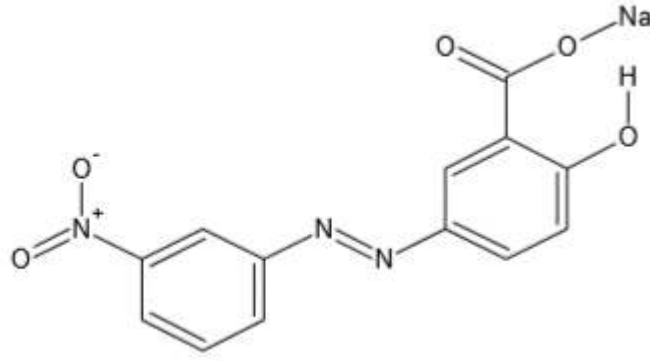
Başlangıç konsantrasyonunun belirlenmesi deneylerinin sonuçlarından elde edilen veriler kullanılarak her bir adsorpsiyon için Langmuir ve Freundlich izotermi çizildi. İzotermi yardımıyla her bir adsorpsiyon için Langmuir sabitleri (q_m ve b) ve Freundlich sabitleri (k ve n) hesaplandı. Adsorpsiyona hangi izotermi uyduğu belirlenmiş oldu.

2.2.4.6. Kinetik Verilerin Değerlendirilmesi

Kinetik deneylerin sonucunda elde edilen veriler, Pseudo birinci ve ikinci derece kinetik denklemlerine uygulandı. Bunun sonucunda adsorpsiyonların kinetiğinin hangi denkleme uyduğu belirlendi ve uyduğu denklemden elde edilen hız sabitleri hesaplandı. Ayrıca, pseudo birinci derece kinetik denkleminin uygunluk gösteren adsorpsiyonların aktivasyon enerjileri de Arrhenius denkleminde yararlanarak hesaplandı.

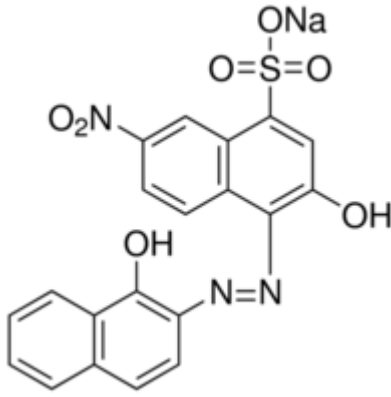
2.2.5. Boyarmaddeler ile Yapılan Adsorpsiyon Çalışmaları

Çalışmada Alizarin sarısı ve Eriokrom siyahı T boyar maddeleri kullanıldı. Alizarin sarısı anyonik (asidik) bir azo boyarmaddedir. Molekül formülü $C_{13}H_8N_3NaO_5$ 'tır. Molekül yapısı (5-(3-nitrofenilazo)-2- hidroksibenzoik asit sodyum tuzu) Şekil 2.4'de gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Alizarin Sarısı boyarmaddesinin molekül yapısı

Eriokrom siyahı T boyarmaddesi de azo grubundan olup molekül formülü $C_{20}H_{12}N_3O_7SNa$ 'dır. Molekül yapısı Şekil 2.5'de gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Eriokrom Siyahı T boyarmaddesinin molekül yapısı

İlk önce her iki boyar maddenin 1000 mg L^{-1} 'lik stok çözeltileri hazırlandı. Daha sonraki deneylerde bu çözeltiler seyreltilerek kullanıldı. Adsorpsiyon çalışmasına geçmeden önce her iki boyar maddenin maximum çalışma dalga boyu belirlendi. Bunun için SHIMADZU UV – 160 UV-Vis Spektrofotometre cihazı kullanıldı. Daha sonra belirlenen dalga boylarında boyar maddelerin farklı derişimlerine karşılık gelen absorbanslar (A) belirlendi. Belirlenen bu absorbans değerleri ile Lambert - Beer denkleminde (Denklem 2.3) göre absorbansa karşı derişim verileri grafiğe geçirilerek her bir boyar maddeye ait çalışma eğrisi grafiği çizildi.

$$A = \epsilon \cdot l \cdot C \quad (2.3)$$

Çalışma eğrisi çizildikten sonra adsorpsiyon çalışmalarına geçildi. Adsorpsiyon çalışmalarında yine, temas süresi, adsorbent miktarı, pH ve başlangıç konsantrasyonunun etkileri incelendi. Kinetik veriler kinetik denklemlere uygulandı. Ardından izoterm çalışmasına geçildi.

2.2.6. Nanopartiküllerin Antimikrobiyal Aktivitesinin Belirlenmesi

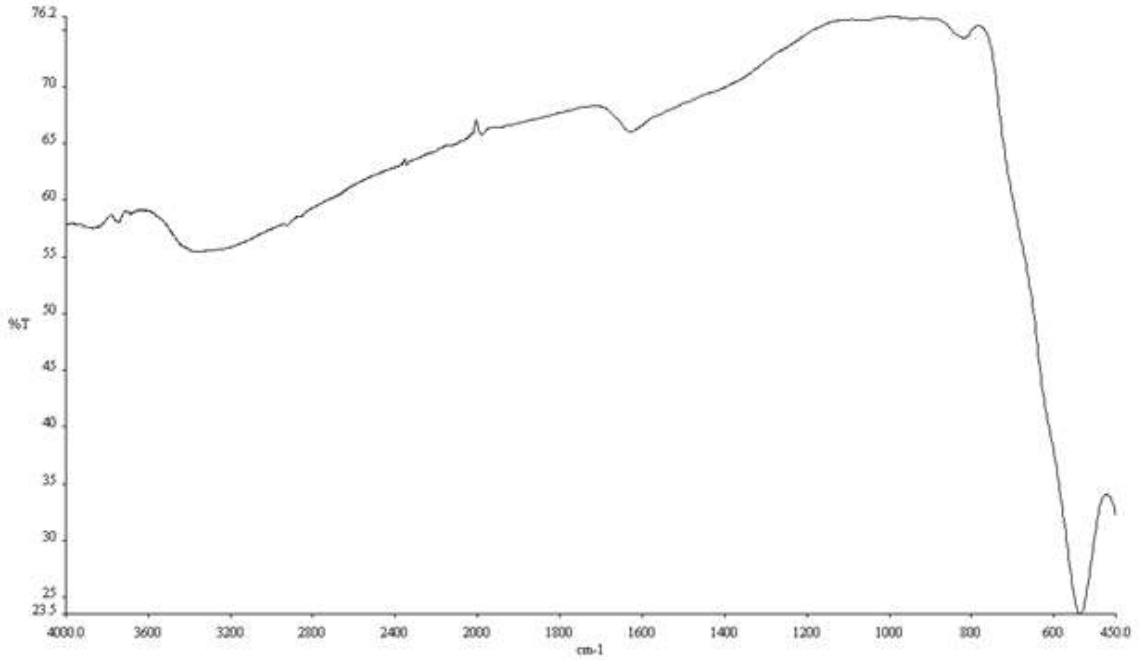
Antimikrobiyal aktivite, mikroorganizmalara karşı antibakteriyel aktivitenin varlığının ve derecesinin belirlenmesiyle tayin edilir. Mikroorganizmaların antimikrobiyal madde duyarlılığı, temelde iki farklı tayin yöntemi ile belirlenebilir. Bu yöntemler; dilüsyon ve difüzyon yöntemleridir. Difüzyon yönteminin prensibi, test materyalinin agarda difüze olmasına ve difüze olduğu mesafe kadar test mikroorganizmalarını inhibe etme esasına dayanır. Bu yöntemin birbirinin yerine geçebilir tarzda kullanılan, disk difüzyon ve çukur agar difüzyon yöntemleri olarak adlandırılan iki alt grubu vardır. Tez çalışmasında dilüsyon yöntemi kullanıldı. Dilüsyon yöntemi; antimikrobiyal maddenin sıvı veya katı besiyerlerinde (agarlarda) bir seri halinde seyreltilmesi ve her bir seyreltme ortamına, duyarlılığı belirlenecek bakterinin belirli sayıda hücre içeren süspansiyonundan eşit miktarda ilave edilmesidir. Deney serileri uygun sıcaklıkta (35-37 °C'de) ve bakterinin üremesi için uygun süre (16-20 saat) inkübe edildi. Üremeyi baskılayan en düşük madde konsantrasyonu MİK (Minimal İnhibisyon Konsantrasyonu) olarak kabul edilir. Tüplerdeki üreme gözle değerlendirildi. Böylece üremenin olmadığı son dilüsyon MİK değeri olarak kabul edildi. Bu noktanın kesin olması için, test ikili paralel olarak yapıldı [102].

3. BULGULAR

3.1. Adsorbentlerin Karakterizasyonuna Ait Bulgular

FT-IR spektrumları:

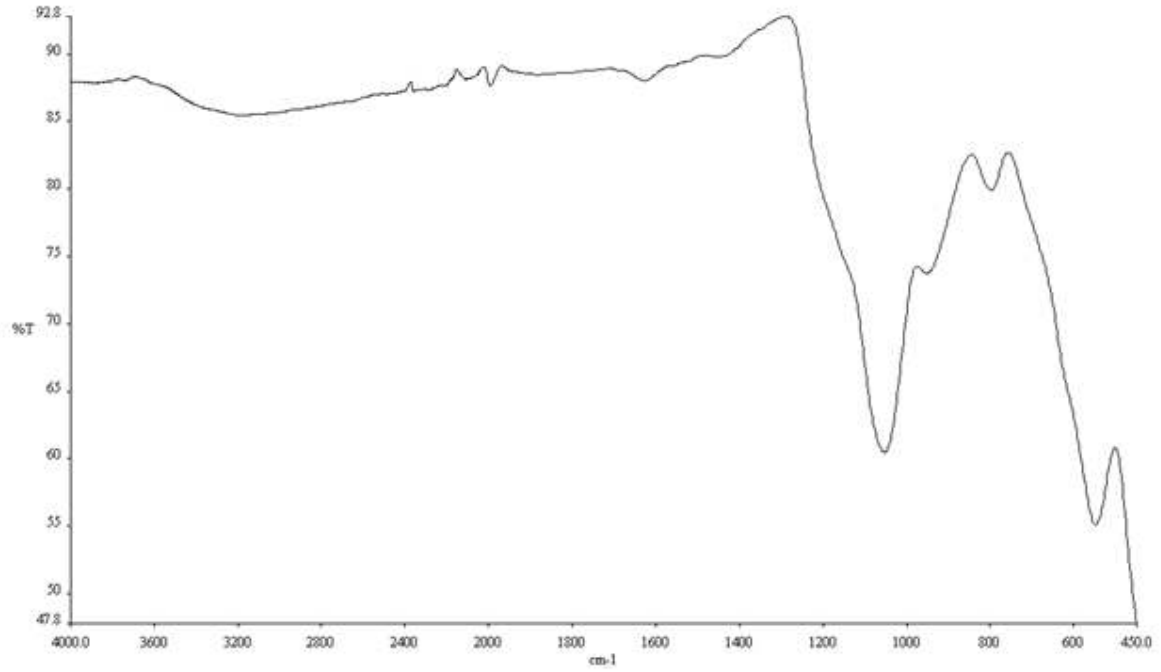
Birinci basamakta sentezlenen manyetik Fe_3O_4 nanopartiküllerin FT-IR spektrumu Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



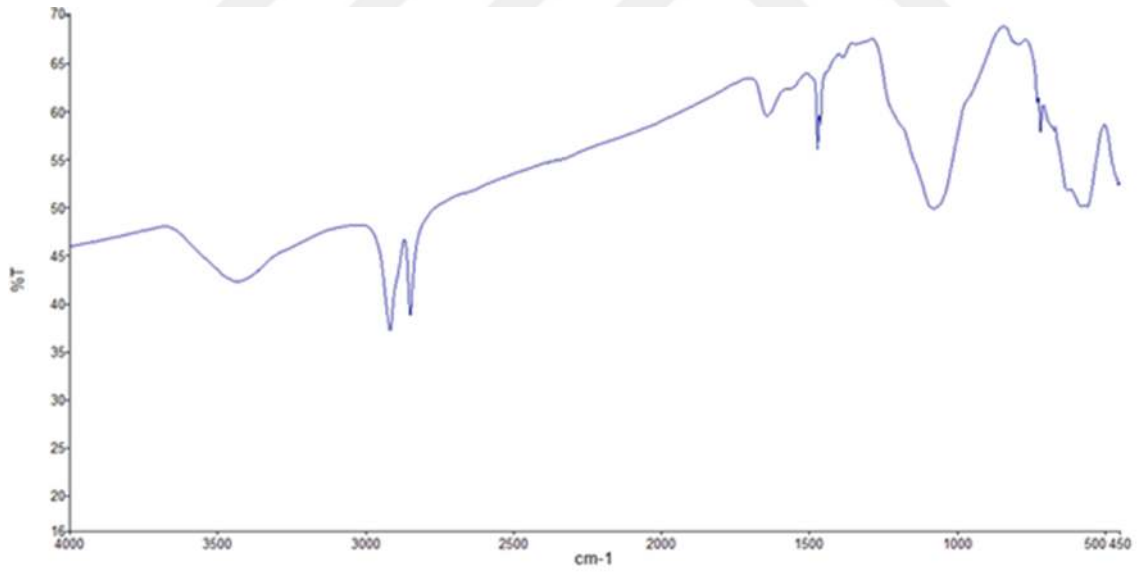
Şekil 3.1. Manyetik Fe_3O_4 nanopartiküllerin FT-IR spektrumu

Fe_3O_4 nanopartiküllerin FT-IR spektrumuna bakıldığında; Fe_3O_4 ’ün varlığı 530 cm^{-1} ’de görülen Fe-O bağına ait absorpsiyon bandından anlaşılmaktadır. 3500 cm^{-1} ’de görülen geniş bant ise nanopartiküllerin adsorpladıkları sudan kaynaklı O-H gerilme titreşimine aittir [103,104].

Şekil 3.2 silika kaplı manyetik nanopartiküllerin FT-IR spektrumuna aittir. Manyetik Fe_3O_4 nanopartiküller silika ile kaplandıktan sonra 797 cm^{-1} ve 1097 cm^{-1} civarlarında iki yeni pik görülmektedir. Bu pikler de Si-O-Si ve Si-O-Fe bağları simetrik titreşimlerini göstermektedir [105,106]. Şekil 3.2’de ortaya çıkan bu pikler manyetik nanopartiküllere silika bağlandığını kanıtlamaktadır.

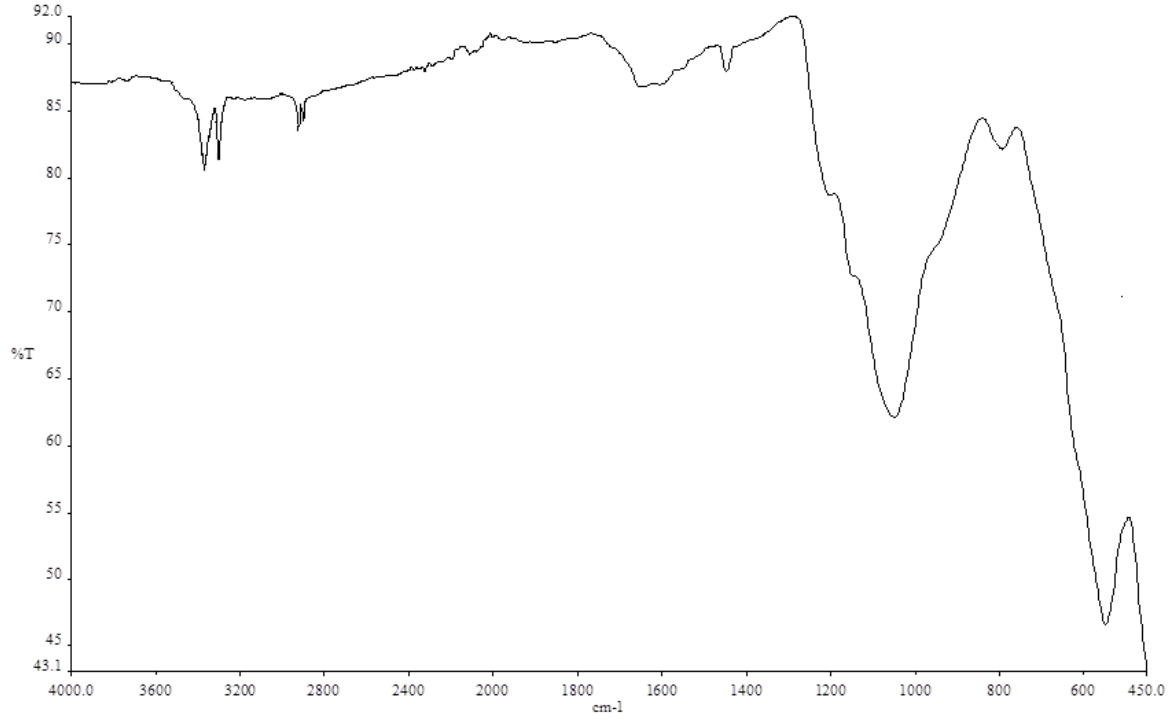


Şekil 3.2. Silika ile kaplanmış Fe_3O_4 manyetik nanopartiküllerin ($\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$) FT-IR spektrumu



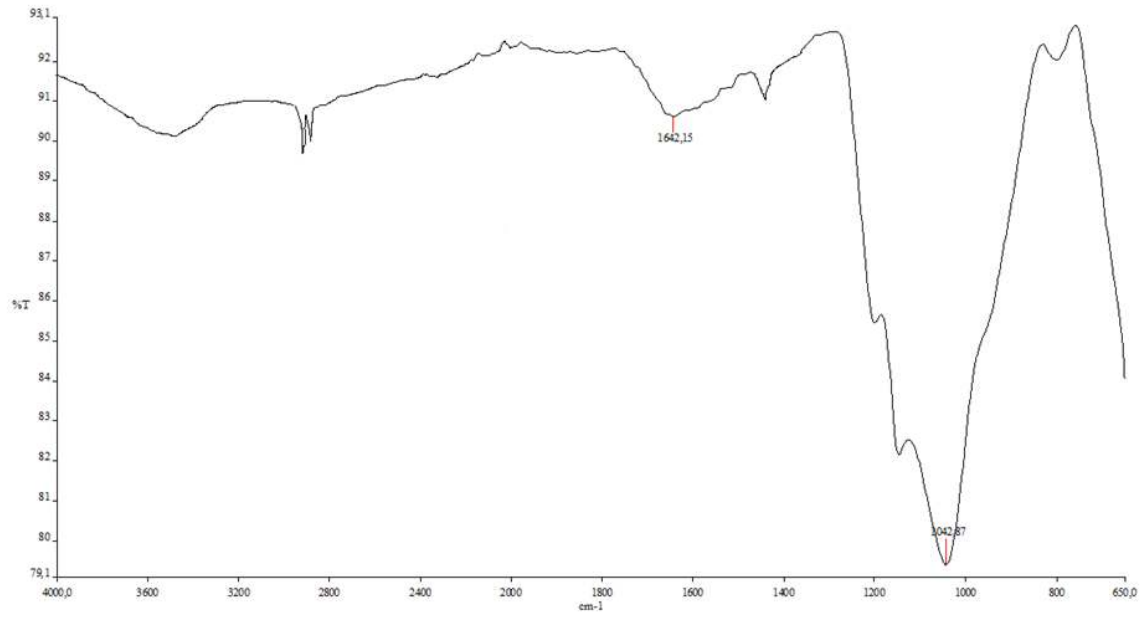
Şekil 3.3. APTES ile kaplanmış ($\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2@\text{APTES}$) manyetik nanopartiküllerin FT-IR spektrumu

Şekil 3.3’de APTES ile kaplanmış nanopartiküllerin FT-IR spektrumu gösterilmektedir. 3419 cm^{-1} ’deki N-H gerilme piki, 1628 cm^{-1} ’deki serbest NH_2 pikleri ve 2911 cm^{-1} ’deki C-H gerilme titreşimine ait piklerden nanopartiküllere APTES bağlandığı anlaşılmaktadır [107,108].

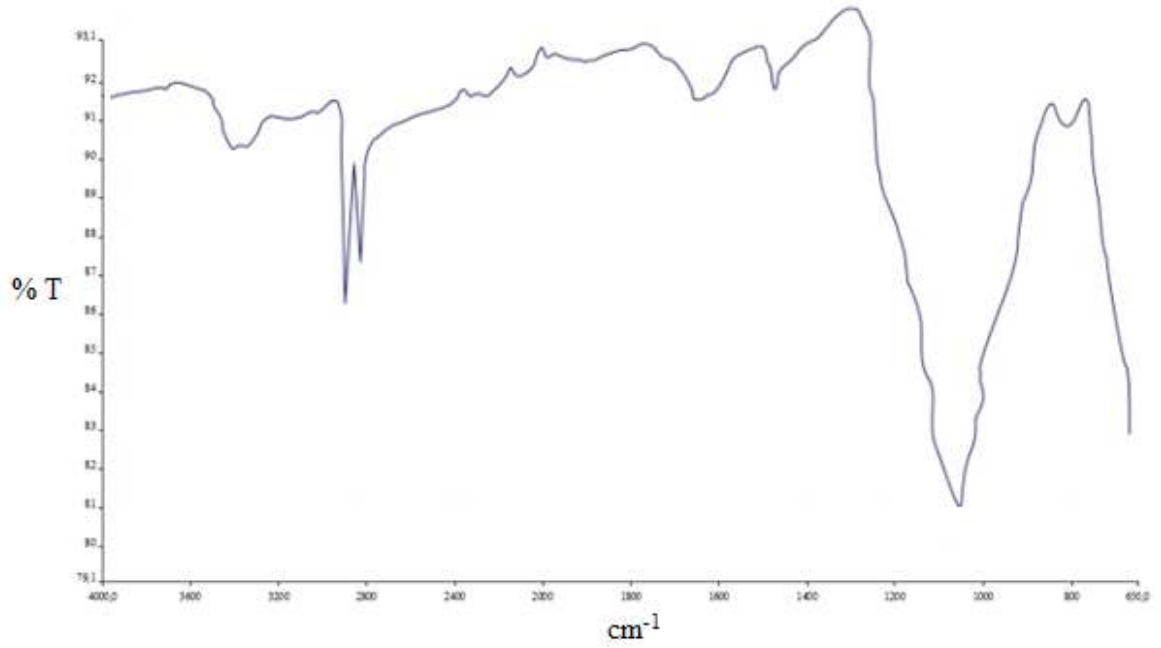


Şekil 3.4. PAMAM ile modifiye edilmiş manyetik nanopartiküllerin FT-IR spektrumu

Şekil 3.4’de PAMAM ile modifiye edilmiş manyetik nanopartiküllerin FT-IR spektrumu görülmektedir. Buna göre; --CO--NH-- bağı titreşimleri $1430\text{--}1600\text{ cm}^{-1}$ ’de, NH_2 bağı titreşimleri $3200\text{--}3600\text{ cm}^{-1}$ ’de ve C-H bağı titreşimleri de 2904 cm^{-1} ’de bulunmaktadır [109].



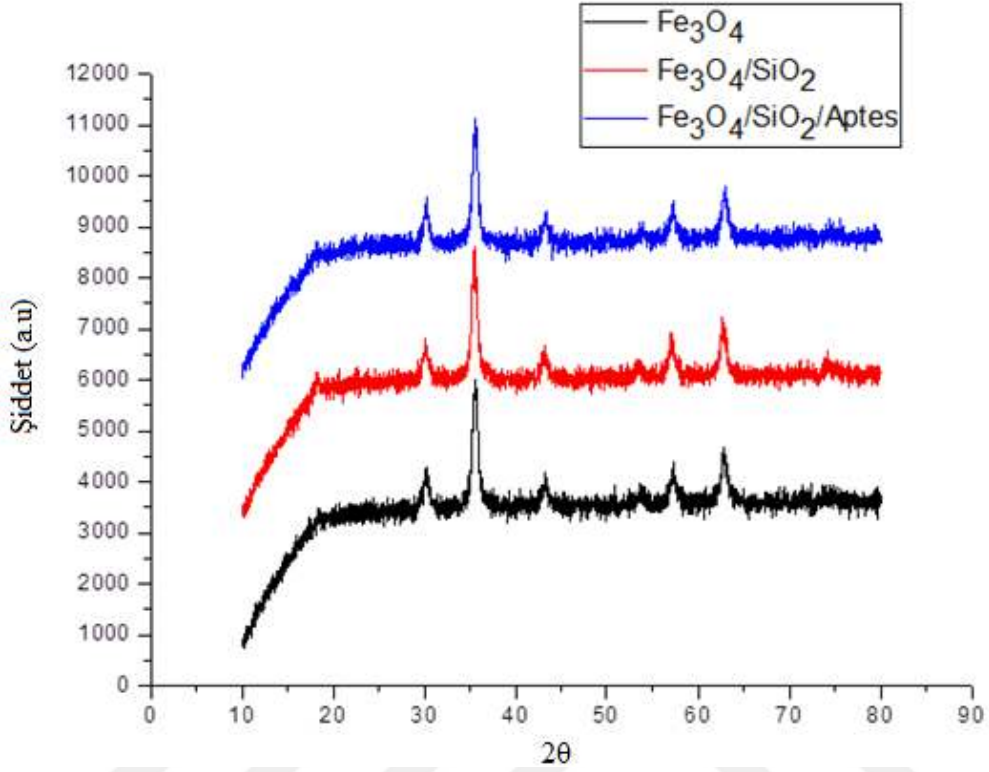
Şekil 3.5. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu adsorbentinin FT-IR spektrumu



Şekil 3.6. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu adsorbentinin FT-IR spektrumu

Şekil 3.5 ve 3.6’da sırasıyla birinci ve ikinci adsorbentlerin, FT-IR spektrumu görülmektedir. 1000-1400 cm⁻¹ dalga boyu aralığındaki pikler C-C, C-N, C-O bağlarına ait piklerdir. N-H bağı pikleri 3410 cm⁻¹’de ve C=O bağına ait pikler de 1642 cm⁻¹’de yer almaktadır [110].

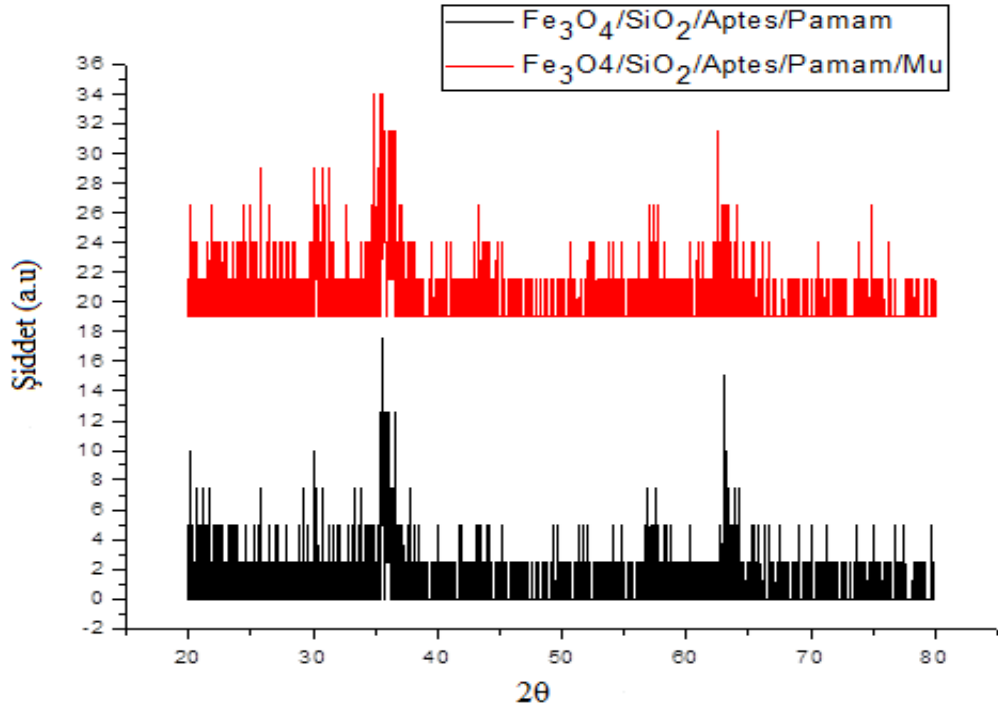
XRD Analizleri:



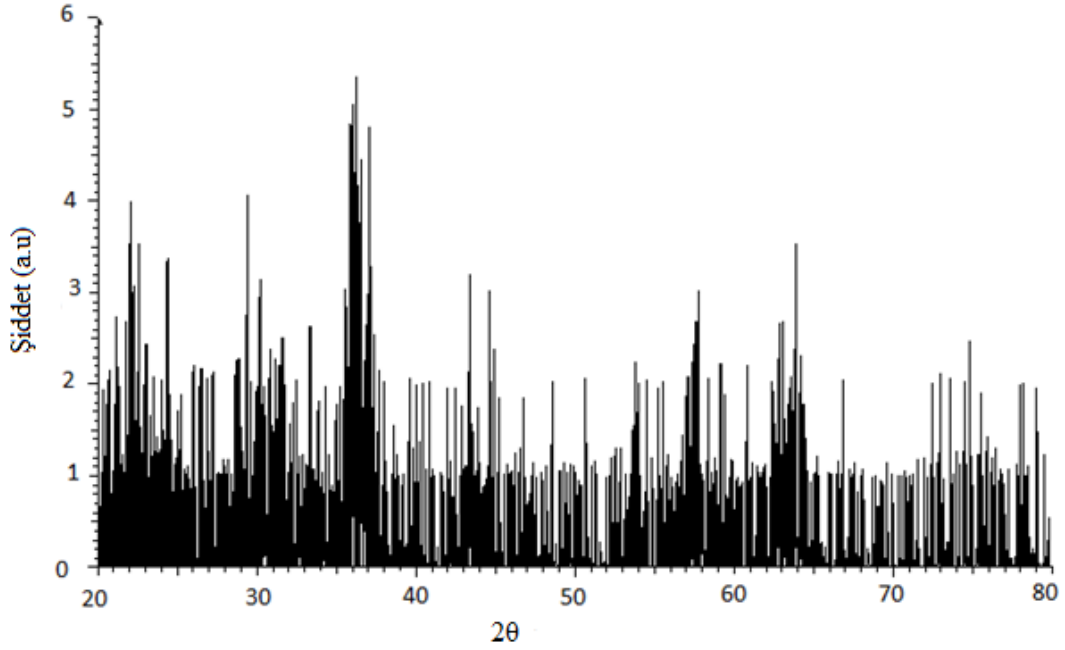
Şekil 3.7. Fe_3O_4 , $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ ve $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{APTES}$ nanopartiküllerin XRD grafiği

Şekil 3.7 manyetik demir oksit nanopartiküllerin XRD grafiğini göstermektedir. Grafiğe bakıldığında demir oksit'in kübik spinel yapısına ait olan pikler 2θ 'da 30.4° , 35.5° , 43.5° , 53.7° , 57.5° ve 63° 'de görülmektedir. Bu pikler aynı zamanda İngilizce adı Joint Corporation of Powder Diffraction Standards (JCPDS) olan X-ışını toz kırınım dosyalarında demir oksit için (kart no: 19-0629) belirtilen x-ışını kırınım verileri ile örtüşmektedir [110].

Şekil 3.8'de PAMAM ve müreksit ile kaplanmış nanopartiküllerin yani birinci adsorbentin, Şekil 3.9 ise ikinci adsorbentin XRD grafikleri görülmektedir. Grafiklerden de anlaşılacağı üzere, manyetik demir oksit nanopartiküllerin silika ve APTES ile kaplanması sonrasında PAMAM ve müreksitle modifiye edilmesi karakteristik pikleri değiştirmemiştir. Sadece piklerin yoğunluğu ve şiddetinde bir miktar değişme olmuştur. Bu durum, demir oksit nanopartiküllerin kaplanıp modifiye edildikten sonra da kristal yapısının bozunmadığını göstermektedir [111].



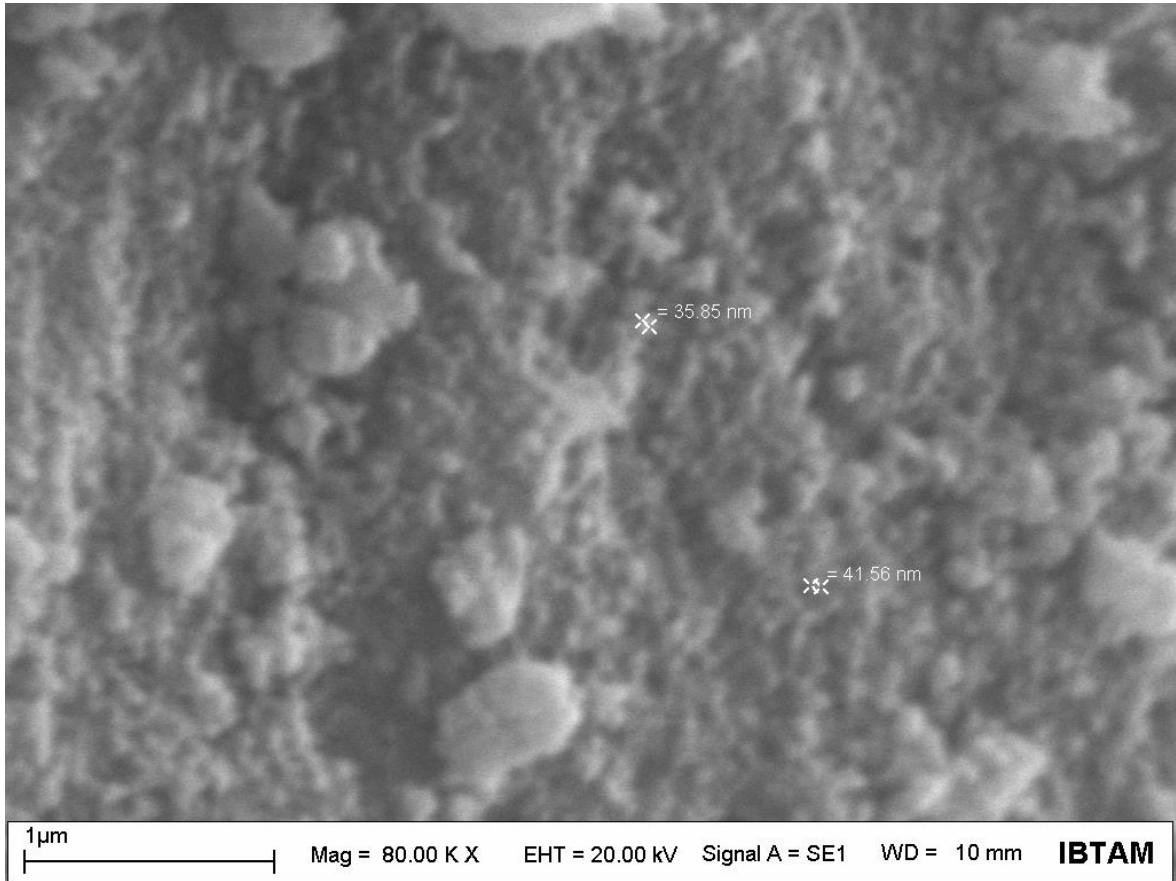
Şekil 3.8 $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{APTES}/\text{PAMAM}$ ve $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{APTES}/\text{PAMAM}/\text{Mu}$ nanopartiküllerin XRD grafiği



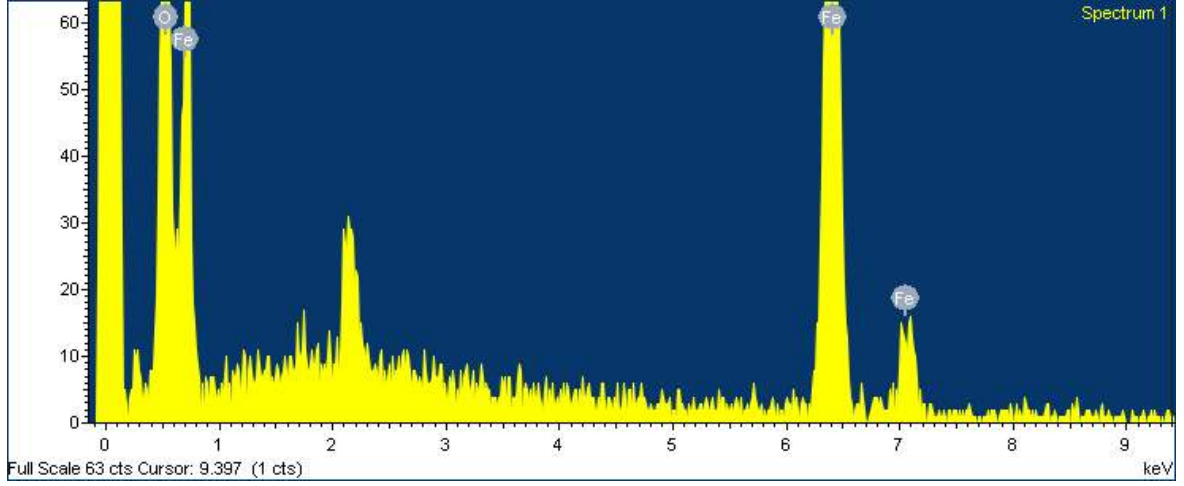
Şekil 3.9. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNPs-G2-Mu}$ adsorbentinin XRD grafiği.

SEM Analizleri:

Şekil 3.10'da Fe_3O_4 manyetik nanopartiküllerin SEM görüntüsü görülmektedir. Buna göre partiküller kübik spinel yapıdadır ve boyutları 35.85 ila 41.56 nm aralığındadır. Fe ve O elementlerinin varlığı da Şekil 3.11'deki EDX (Enerji yayımlımlı X-ışını Analizi) grafiğinden belli olmaktadır. EDX sonuçlarına göre, demir oksit nanopartiküller, ağırlıkça %27,89 oranında O ve %72,11 oranında da Fe içermektedir.

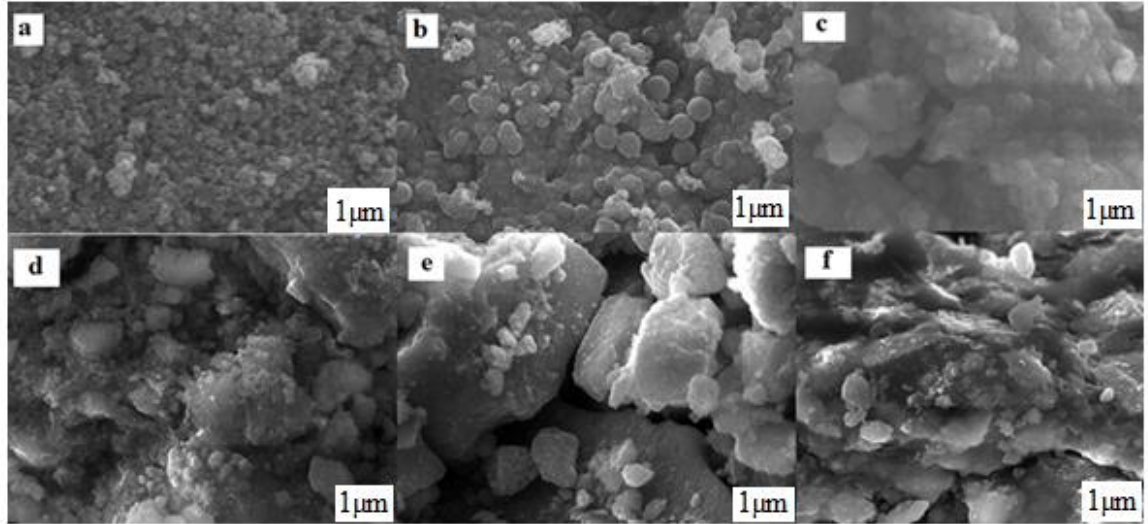


Şekil 3.10. Fe_3O_4 nanopartiküllerin SEM görüntüsü

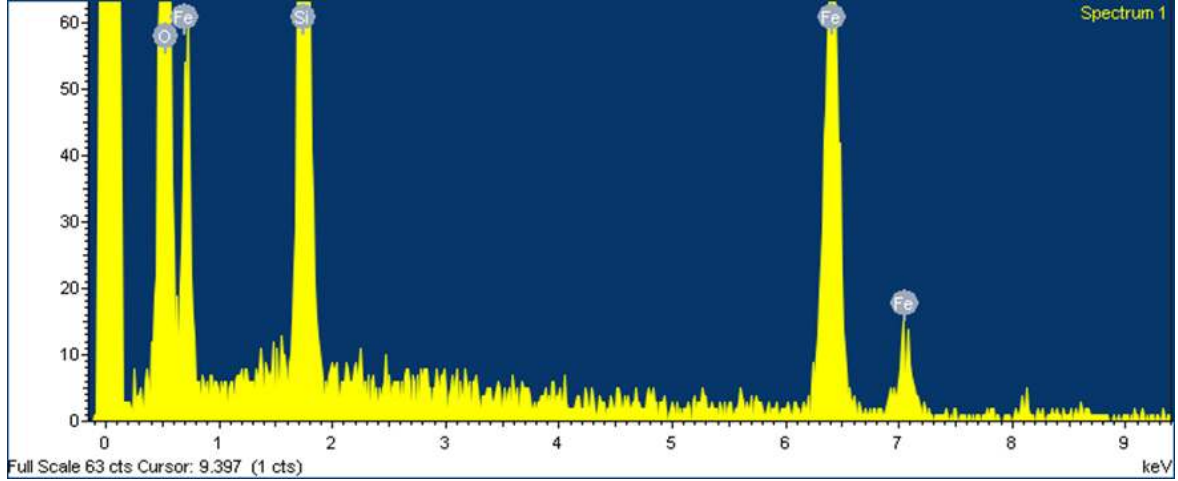


Şekil 3.11. Fe_3O_4 manyetik nanopartiküllerin EDX analiz grafiği

Şekil 3.12’de ise tüm partiküllerin SEM görüntüsü bir arada görülmektedir. Buna göre manyetik nanopartiküllerin kaplandıkça partikül boyutunun arttığı görülmektedir.

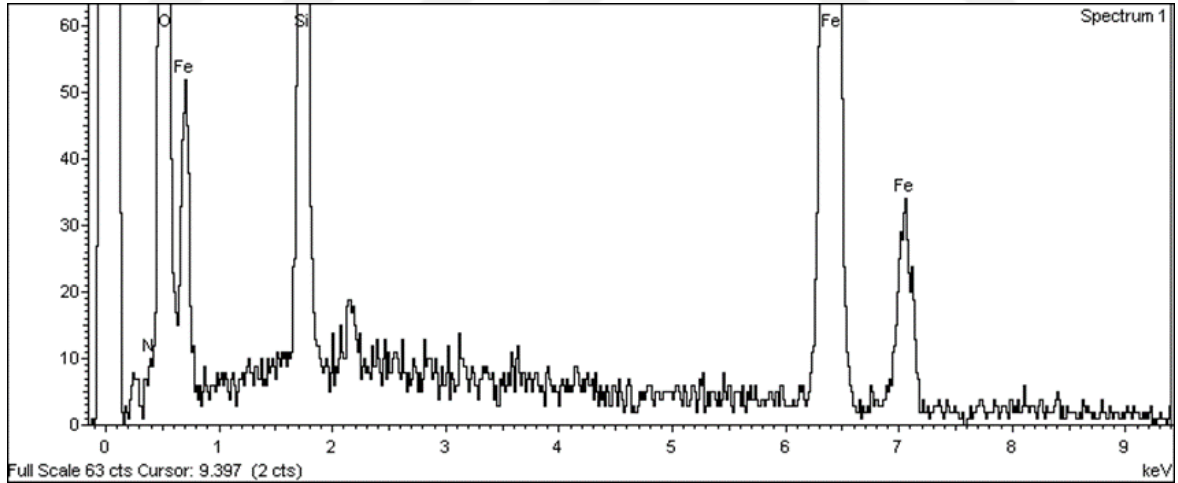


Şekil 3.12. a) Fe_3O_4 b) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ c) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{APTES}$ d) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{APTES}/\text{PAMAM}$ e) $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNPs-G1-Mu}$ f) $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNPs-G2-Mu}$ SEM görüntüleri



Şekil 3.13. Silika kaplı manyetik nanopartiküllerin EDX analiz grafiği

Şekil 3.12 (b) ve 3.13’de sırasıyla silika kaplı manyetik demir oksit nanopartiküllerin SEM görüntüsü ve EDX grafiği görülmektedir. Grafikten demir oksit nanopartiküllere silika bağlandığı görülmektedir. Ağırlıkça % 42,64 O elementi, % 16,31 Silisyum ve % 41,04 de Fe içerdiği yine cihazdan çıkan sonuçlarda verilmiştir.

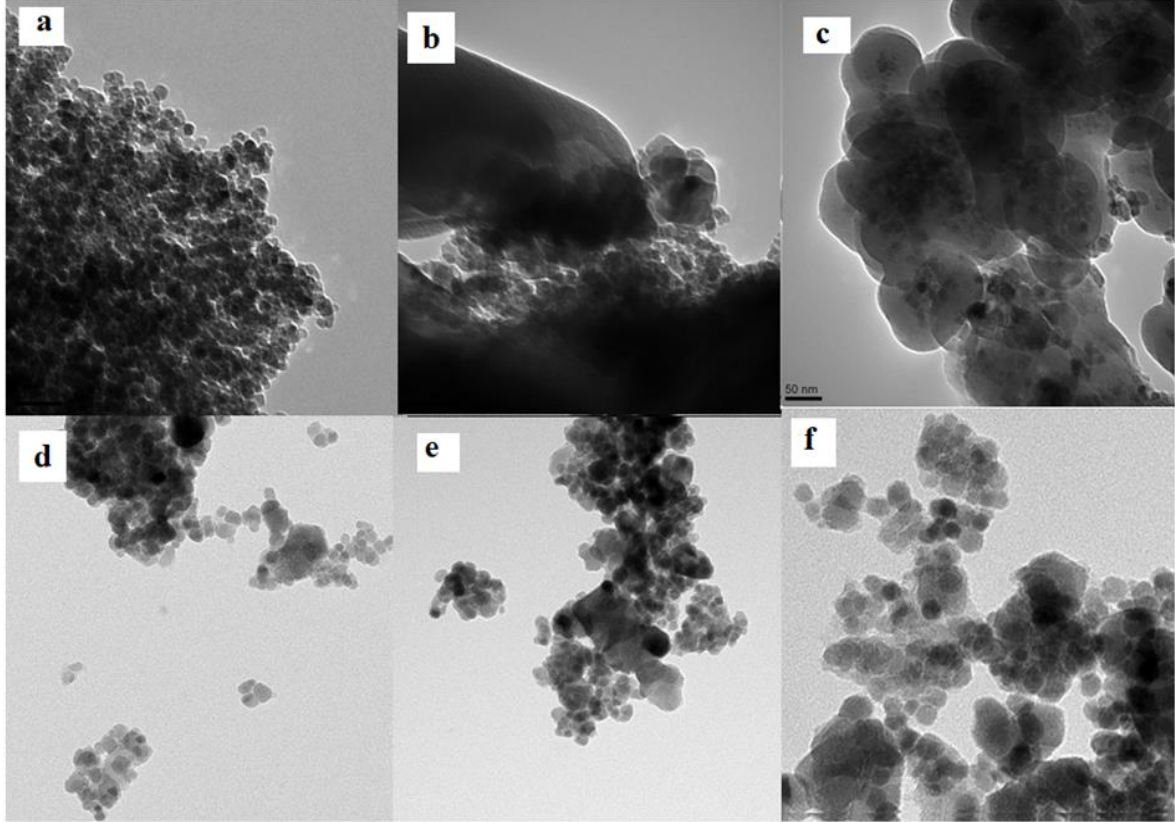


Şekil 3.14. $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2@\text{APTES}$ kaplı manyetik nanopartiküllerin EDX analiz grafiği

Şekil 3.12 (c) ve 3.14’de silika ve APTES kaplı demir oksit manyetik nanopartiküllerinin SEM görüntüsü ve EDX grafiği görülmektedir. Buna göre nanopartiküllere APTES bağlandığı grafikte görülen N atomunun varlığından anlaşılmaktadır. Ağırlıkça % 1,59 N , % 38,35 O, % 8,75 Si ve % 51,31 de Fe varlığı cihazdan alınan sonuçlarda verilmektedir.

Şekil 3.12 (d)'de PAMAM ile modifiye edilmiş nanopartiküllerin ve Şekil 3.12 (e) ile 3.12 (f)'de ise birinci ve ikinci adsorbentlerin SEM görüntüleri görülmektedir. Buna göre manyetik nanopartiküllerin kaplandıkça partikül boyutunun arttığı görülmektedir.

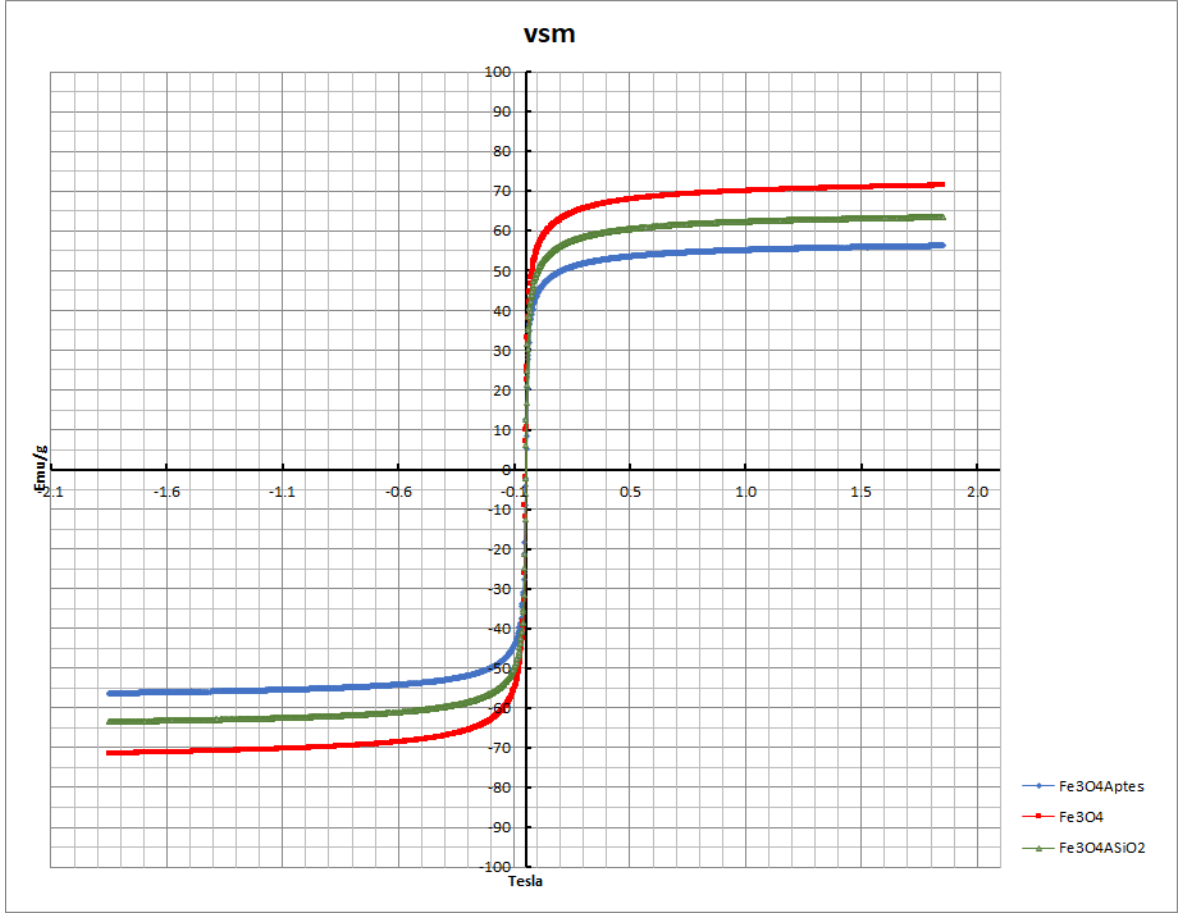
TEM Analizleri:



Şekil 3.15. a) Fe_3O_4 b) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ c) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{APTES}$ d) $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2/\text{APTES}/\text{PAMAM}$ e) $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNPs-G1-Mu}$ f) $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNPs-G2-Mu}$ TEM görüntüleri

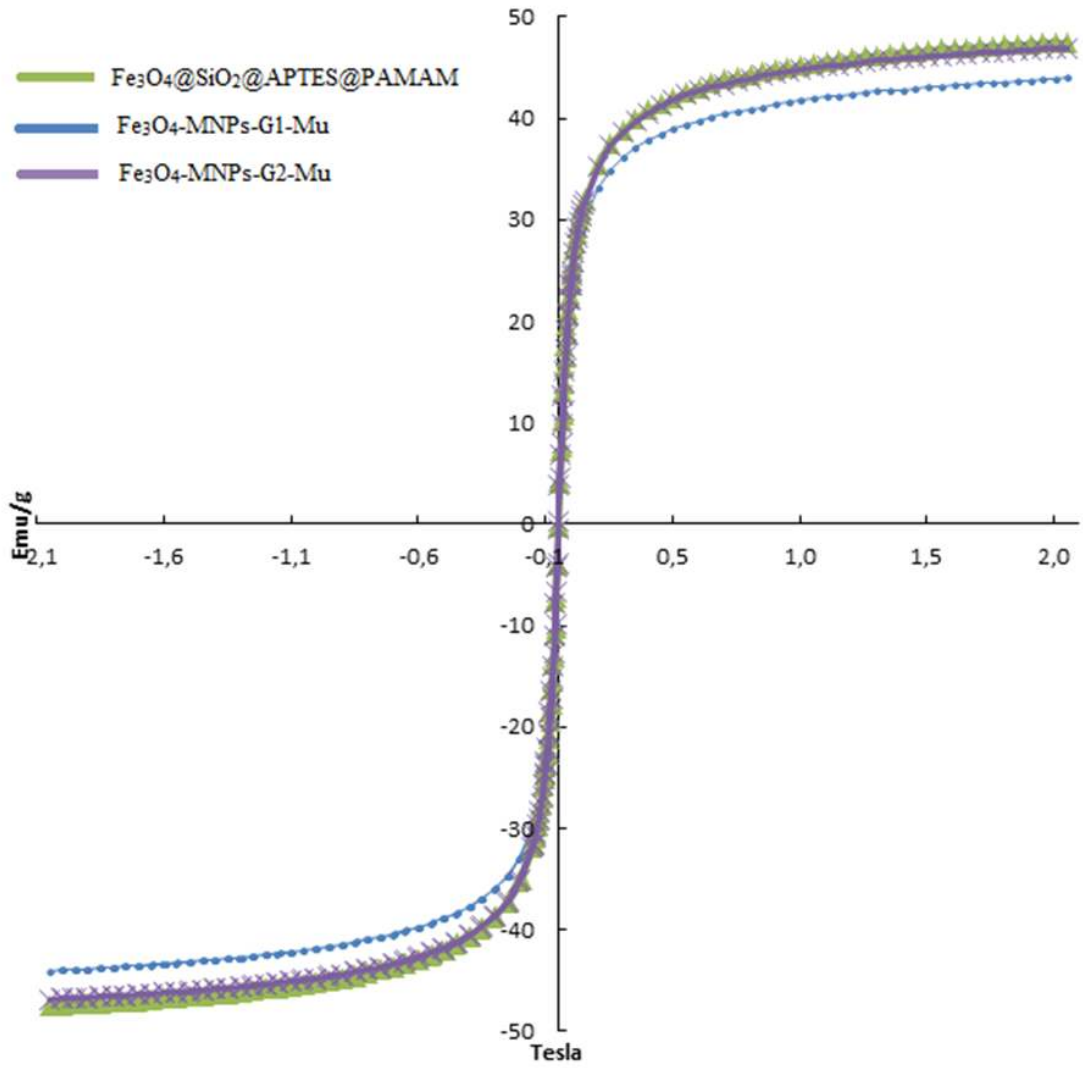
Şekil 3.15'de nanopartiküllerin TEM görüntüleri gösterilmektedir. SEM ve TEM görüntüleri nanopartiküllerin morfolojik yapısı ve boyut dağılımı hakkında bilgi verir. TEM görüntülerine göre de demir oksit nanopartiküllerinin kübik spinel yapıda olduğu anlaşılmaktadır. Nanopartiküllerin kümelenmiş ve gözenekli olduğu görülmektedir. Görüntülerde görülen siyah kısım nanopartiküllerin çekirdek kısmı, etrafındaki gri bölgeler ise kaplamanın olduğunu belli eden kabuk kısmıdır [112].

VSM Analizleri:



Şekil 3.16. Fe_3O_4 , $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ ve $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2@\text{APTES}$ nanopartiküllerinin VSM grafiği

Şekil 3.16 ilk üç basamakta sentezlenen nanopartiküllerin VSM grafiğine aittir. Demir oksit nanopartiküllerinin manyetik özellikleri Titreşen Örnek Manyetometresi cihazı ile ölçülmüştür. Nanopartiküllerin kuvvetli manyetik özellik gösterdiği VSM grafiğinden görülmektedir. Ancak, partiküller silika ve APTES ile kaplandıktan sonra manyetik özellikleri bir miktar azalmıştır.



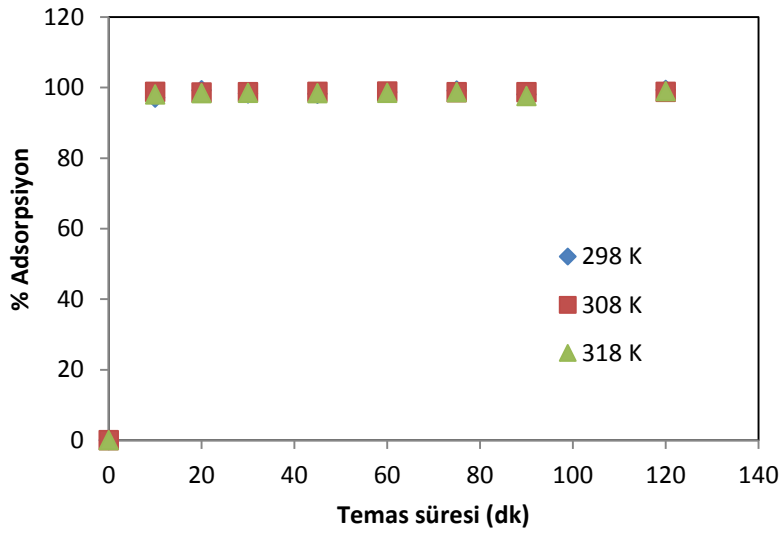
Şekil 3.17. $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2@\text{APTES}@\text{PAMAM}$, $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNPs-G1-Mu}$, $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNPs-G2-Mu}$ nanopartiküllerinin VSM grafiği

Demir oksit nanopartiküllerin PAMAM ve müreksitle modifiye edilmesinden sonra manyetik özelliğinin bir miktar azaldığı görülse de hala devam ettiği Şekil 3.17’de görülmektedir. Başlangıçta Fe_3O_4 nanopartiküllerin manyetik saturasyonu $51,6 \text{ emu g}^{-1}$ iken PAMAM ile modifiye edildikten sonra $44,5$ ’e, müreksit eklendikten sonra da $44,4 \text{ emu g}^{-1}$ değerine düşmüştür. İkinci adsorbentin manyetik saturasyon değeri ise yine $44,4 \text{ emu g}^{-1}$ olarak ölçülmüştür. Nanopartiküllerin kaplandıktan sonra manyetik saturasyonunun düşmesinin sebebi kaplamanın manyetik alana karşı adeta bir kalkan görevi görmesinden kaynaklanmaktadır [112].

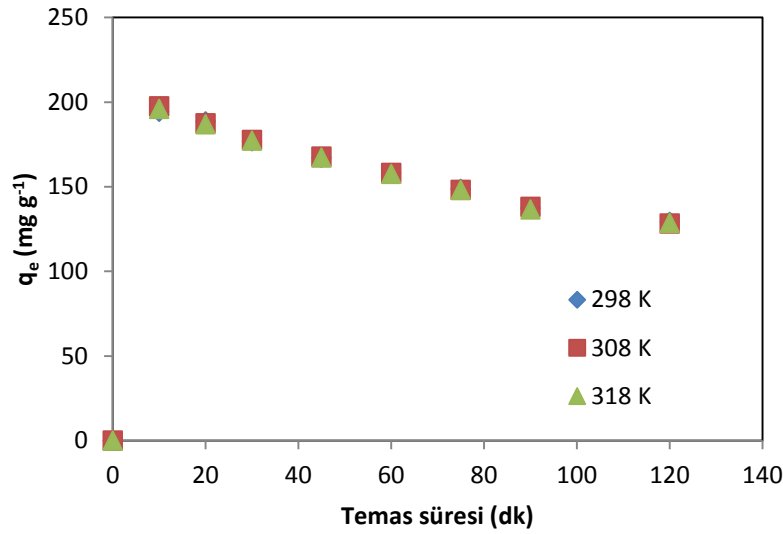
3.2. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Pb (II) Adsorpsiyonuna Ait Bulgular

Temas Süresi ve Sıcaklığın Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Pb (II) adsorpsiyonunda temas süresi ve sıcaklığın etkisinin belirlenmesi için 100 mg L⁻¹'lik 100 mL Pb (II) çözeltisi hazırlandı ve 0,05 g adsorbentle karıştırılıp iki saat boyunca çalkalandı. Farklı zamanlarda çözültiden alınan numunelerde kalan metal iyonu konsantrasyonu (C_e) ICP-OES cihazıyla ölçüldü. C_e değerlerinin ölçümünden sonra adsorplanan metal iyon konsantrasyonları hesap yoluyla belirlendi. Çalışma üç ayrı sıcaklıkta (298, 308 ve 318 K) yapıldı. Şekil 3.18 ve 3.19'da görülen zamana karşı % adsorpsiyon ve zamana karşı q_e grafikleri çizildi. Bu adsorpsiyona ait veriler de Tablo 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.18. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için sıcaklığa bağlı temas süresi - %Adsorpsiyon grafiği



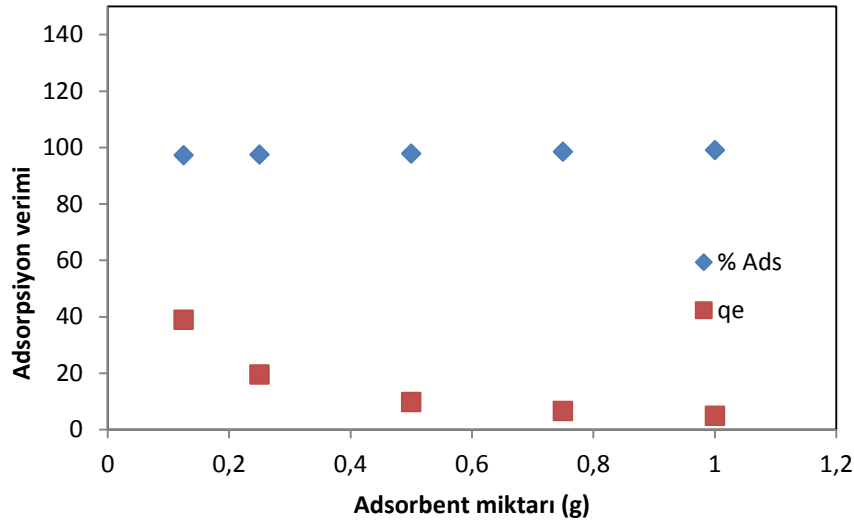
Şekil 3.19. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için sıcaklığa bağlı temas süresi-q_e grafiği

Tablo 3.1. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için temas süresi-sıcaklık verileri

	298 K			308 K			318 K		
Zaman (dk)	C _e (mgL ⁻¹)	q _e (mgg ⁻¹)	Adsorpsiyon Yüzdesi (%)	C _e (mgL ⁻¹)	q _e (mgg ⁻¹)	Adsorpsiyon Yüzdesi (%)	C _e (mgL ⁻¹)	q _e (mgg ⁻¹)	Adsorpsiyon Yüzdesi (%)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	2,878	194,244	97,122	1,248	197,504	98,752	1,974	196,052	98,026
20	0,765	188,546	99,235	1,377	187,383	98,623	1,625	186,912	98,375
30	1,691	176,956	98,309	1,326	177,613	98,674	1,536	177,235	98,464
45	1,75	167,025	98,25	1,246	167,881	98,754	1,623	167,24	98,377
60	1,319	157,889	98,681	1,116	158,214	98,884	1,465	157,656	98,535
75	0,845	148,732	99,155	1,305	148,042	98,695	1,296	148,056	98,704
90	1,964	137,25	98,036	1,298	138,182	98,702	2,427	136,602	98,573
120	0,677	129,119	99,323	1,275	128,342	98,725	1,069	128,61	98,931

Adsorbent Miktarının Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Pb (II) adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisini belirlemek için 100 mg L⁻¹'lik 50 mL Pb(II) çözeltilerine 0,125; 0,25; 0,5; 0,75 ve 1 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında yarım saat boyunca karıştırıldı. Şekil 3.20'de görülen adsorbent miktarına karşı % adsorpsiyon ve q_e değerleri grafiğe geçirildi. Bu deneylere ait veriler de Tablo 3.2'de gösterilmektedir.



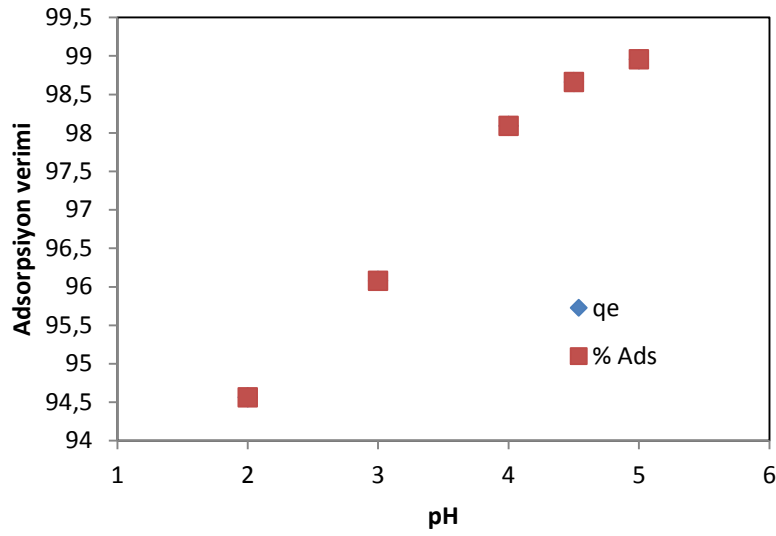
Şekil 3.20. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisi

Tablo 3.2. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için adsorbent miktarının etkisine ait veriler

Adsorbent miktarı (g)	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	Adsorpsiyon (%)
0,125	2,736	38,905	97,264
0,25	2,475	19,505	97,525
0,5	2,172	9,782	97,828
0,75	1,467	6,568	98,533
1	0,952	4,952	99,048

pH Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonuna pH'ın etkisini belirlemek için 100 mg L⁻¹'lik Pb(II) çözeltilerinin pH'ı 0,1 M HCl ve 0,1 M NaOH yardımıyla 2, 3, 4, 4.5 ve 5 olarak ayarlandı. Her bir çözeltiye 0,05 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında yarım saat boyunca karıştırıldı. Şekil 3.21'de pH değerlerine karşı % adsorpsiyon ve q_e değerleri grafiği görülmektedir. Bu deneylere ait veriler de Tablo 3.3'de verilmektedir.



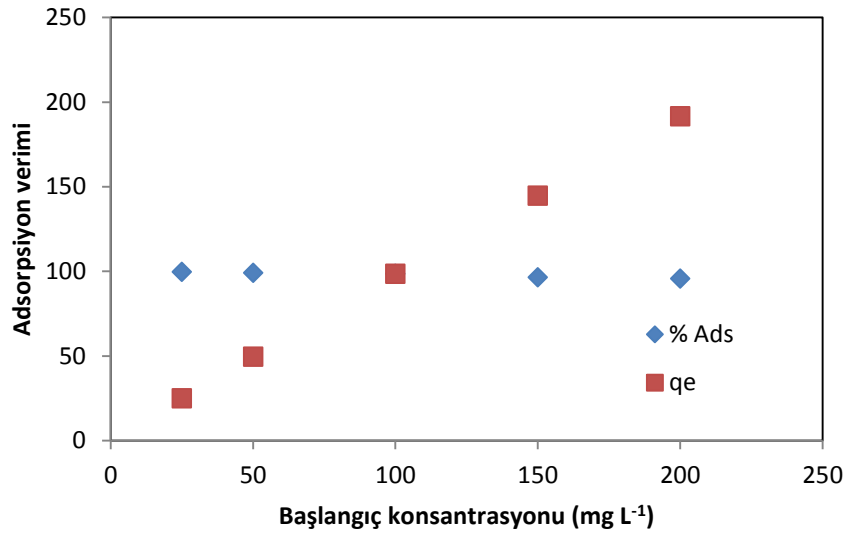
Şekil 3.21. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonuna pH'ın etkisi

Tablo 3.3. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için pH'ın etkisine ait veriler

Ph	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	Adsorpsiyon (%)
2	5,437	94,563	94,563
3	3,924	96,076	96,076
4	1,909	98,091	98,091
4,5	1,339	98,661	98,661
5	1,044	98,956	98,956

Başlangıç Konsantrasyonunun Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Pb (II) adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisini belirlemek için 25, 50, 100, 150 ve 200 mg L⁻¹ konsantrasyonlarında Pb (II) çözeltileri hazırlandı. Farklı konsantrasyonlardaki her bir çözeltiliye 0,05 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında yarım saat karıştırıldı. Başlangıç konsantrasyonu değerlerine karşı % adsorpsiyon ve q_e değerleri grafiği Şekil 3.22'de gösterilmektedir. Bu deneylere ait veriler de Tablo 3. 4'de verilmektedir.

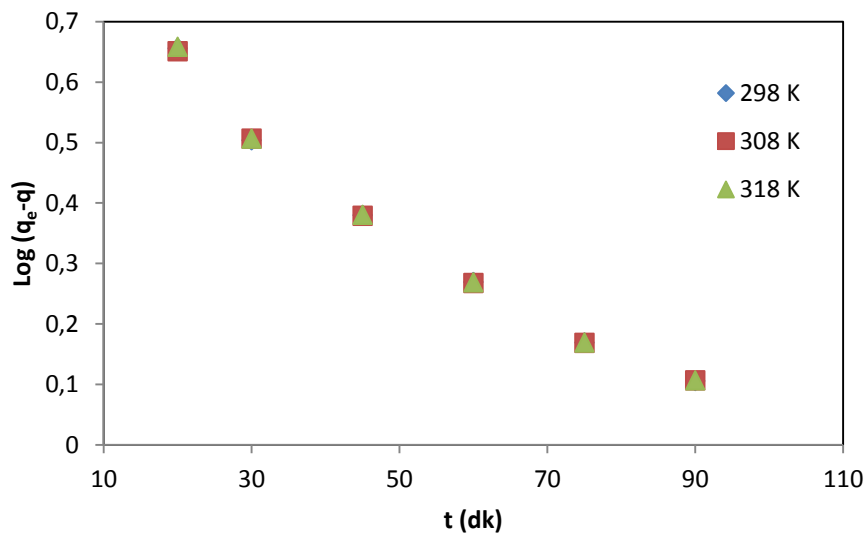


Şekil 3.22. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisi

Tablo 3.4. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için başlangıç konsantrasyonunun etkisine ait veriler

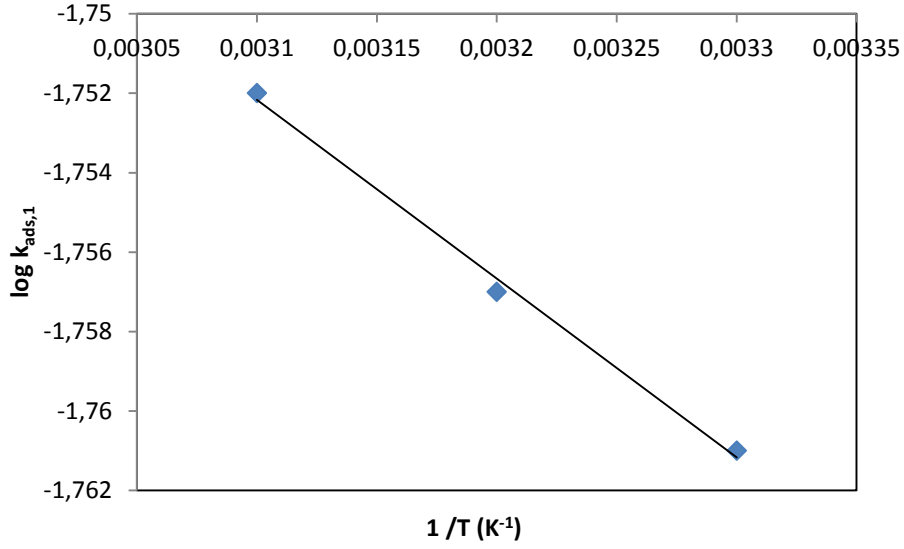
C ₀ (mg L ⁻¹)	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	Adsorpsiyon (%)
25	0,058	24,942	99,768
50	0,389	49,611	99,222
100	1,339	98,661	98,661
150	5,326	144,674	96,45
200	8,435	191,565	95,782

Kinetik verilerin Değerlendirilmesi: Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonuna ait kinetik verilerin Pseudo birinci derece kinetik denkleminin uygulanmasıyla Şekil 3. 23'deki grafik elde edildi.



Şekil 3.23. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonuna ait pseudo birinci derece denkleminin grafiği

Bu grafikteki doğruların eğiminden üç sıcaklık için $k_{ads,1}$ sabitleri hesaplandı. Tablo 3.5’de $k_{ads,1}$ değerleri verilmiştir. Elde edilen $k_{ads,1}$ değerleri Arrhenius denkleminde değerlendirildi. Arrhenius denkleminin grafiği Şekil 3.24’de görülmektedir. Adsorpsiyonun aktivasyon enerjisi $0,96 \text{ kJ mol}^{-1}$ olarak hesaplandı.

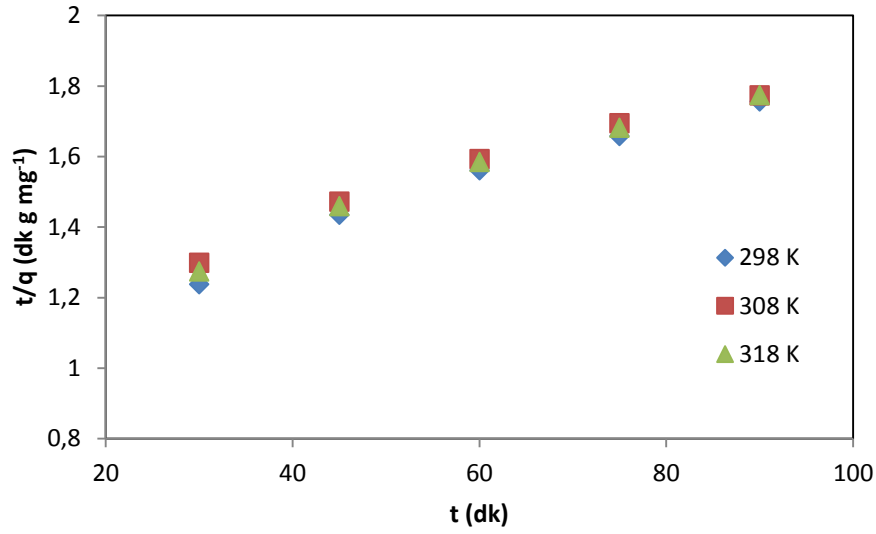


Şekil 3.24. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonuna ait Arrhenius denkleminin grafiği

Tablo 3.5. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu pseudo birinci ve ikinci derece hız sabitleri

T (K)	$k_{ads,1} \text{ (dk}^{-1}\text{)}$	$k_{ads,2} \text{ (g mg}^{-1}\text{dk}^{-1}\text{)}$
298	0,0177	0,0082
308	0,0175	0,0071
318	0,0177	0,0075

Yine kinetik verilerin Pseudo ikinci derece kinetik denkleminde uygulanmasıyla Şekil 3. 25’deki grafik elde edildi.



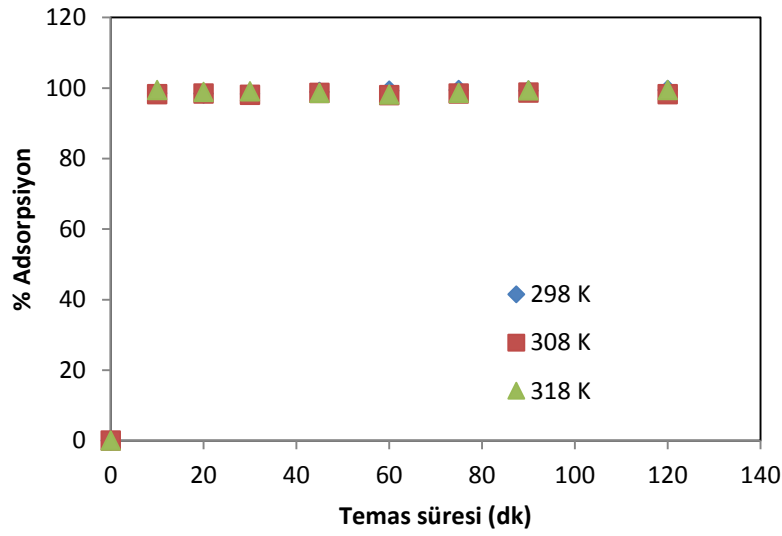
Şekil 3.25. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNPs-G1-Mu}$ ile Pb(II) adsorpsiyonuna ait pseudo ikinci derece denkleminin grafiği

Bu grafikten elde edilen doğruların kayma değerinden üç sıcaklık için $k_{\text{ads},2}$ sabitleri hesaplandı. Elde edilen $k_{\text{ads},2}$ değerleri Tablo 3.5’de verilmiştir.

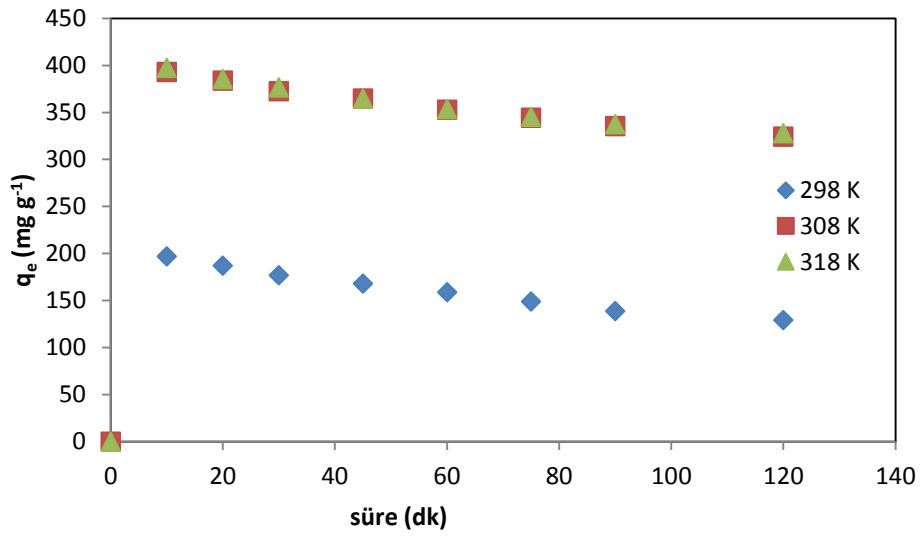
3.3. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNPs-G2-Mu}$ ile Pb (II) Adsorpsiyonuna Ait Bulgular

Temas Süresi ve Sıcaklığın Etkisi:

$\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNPs-G2-Mu}$ ile Pb (II) adsorpsiyonuna temas süresi ve sıcaklığın etkisinin belirlenmesi için 100 mg L^{-1} ’lik 100 mL Pb (II) çözeltisi hazırlandı ve $0,05 \text{ g}$ adsorbentle karıştırılıp iki saat boyunca çalkalandı. Şekil 3.26 ve 3.27 sırasıyla, zamana karşı % adsorpsiyon ve zamana karşı q_e grafiklerine aittir. Bu deneylere ait veriler de Tablo 3. 6’da verilmektedir.



Şekil 3.26. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNPs-G2-Mu}$ ile Pb(II) adsorpsiyonu için sıcaklığa bağlı temas süresi - % Adsorpsiyon grafiği



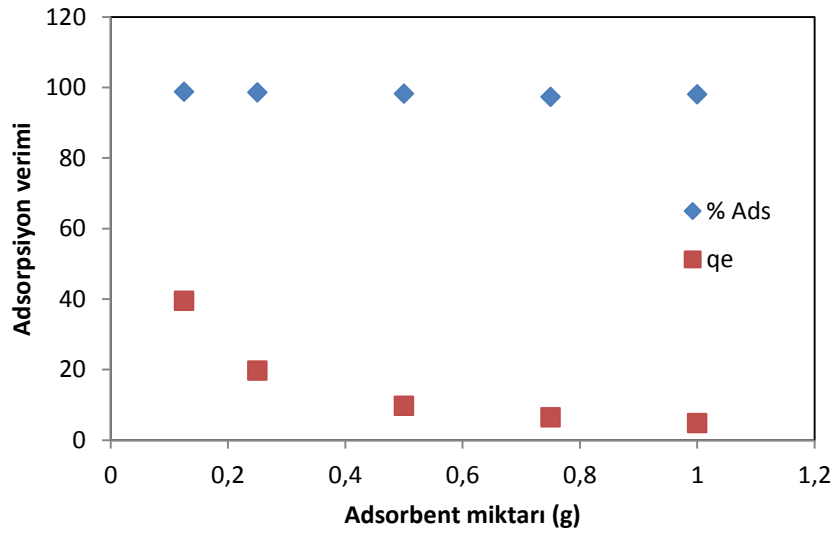
Şekil 3.27. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNPs-G2-Mu}$ ile Pb(II) adsorpsiyonu için sıcaklığa bağlı temas süresi- q_e grafiği

Tablo 3.6. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için temas süresi-sıcaklık verileri

	298 K			308 K			318 K		
Zaman (dk)	C _e (mgL ⁻¹)	q _e (mgg ⁻¹)	Adsorpsiyon Yüzdesi (%)	C _e (mgL ⁻¹)	q _e (mgg ⁻¹)	Adsorpsiyon Yüzdesi (%)	C _e (mgL ⁻¹)	q _e (mgg ⁻¹)	Adsorpsiyon Yüzdesi (%)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1,507	196,986	98,49	1,734	393,064	98,266	0,606	397,576	99,394
20	1,598	186,963	98,4	1,544	383,978	98,456	1,126	385,608	98,874
30	1,628	177,069	98,372	1,912	372,734	98,088	0,903	376,568	99,097
45	1,125	168,087	98,875	1,401	364,816	98,599	1,378	364,901	98,622
60	0,761	158,782	99,239	2,008	352,771	97,992	1,809	353,487	98,191
75	0,581	149,128	99,419	1,581	344,466	98,419	1,356	345,254	98,644
90	0,764	138,93	99,236	1,347	335,42	98,653	0,701	337,616	99,299
120	0,556	129,277	99,444	1,758	324,198	98,242	0,572	328,112	99,428

Adsorbent Miktarının Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Pb (II) adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisini belirlemek için 100 mg L⁻¹'lik 50 mL Pb (II) çözeltilerine 0,125; 0,25; 0,5; 0,75 ve 1 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında yarım saat boyunca karıştırıldı. Şekil 3.28 adsorbent miktarına karşı % adsorpsiyon ve q_e değerleri grafiğine aittir. Deneysel veriler ise Tablo 3.7'de verilmektedir.

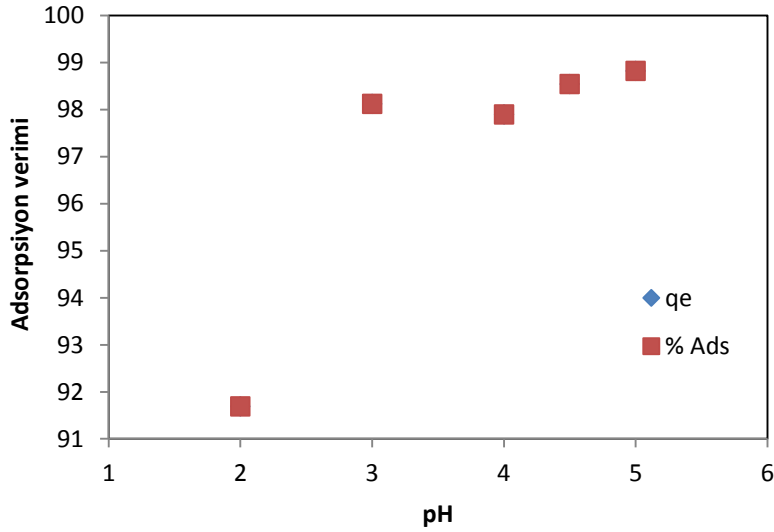
**Şekil 3.28.** Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisi

Tablo 3.7. Fe₃O₄-MNP_s-G2-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için adsorbent miktarının etkisine ait veriler

Adsorbent miktarı (g)	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	Adsorpsiyon (%)
0,125	1,206	39,517	98,794
0,25	1,316	19,736	98,684
0,5	1,744	9,825	98,256
0,75	2,58	6,494	97,42
1	1,938	4,903	98,062

pH Etkisi:

Fe₃O₄-MNP_s-G2-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonuna pH'ın etkisini belirlemek için 100 mg L⁻¹'lik Pb(II) çözeltilerinin pH'ı 0,1 M HCl ve 0,1 M NaOH yardımıyla 2, 3, 4, 4.5 ve 5 olarak ayarlandı. Her bir çözeltiye 0,05 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında yarım saat boyunca karıştırıldı. pH değerlerine karşı % adsorpsiyon ve q_e değerleri Şekil 3.29'da görüldüğü gibi grafiğe geçirildi. Bu deneylere ait veriler ise Tablo 3.8'de görülmektedir.



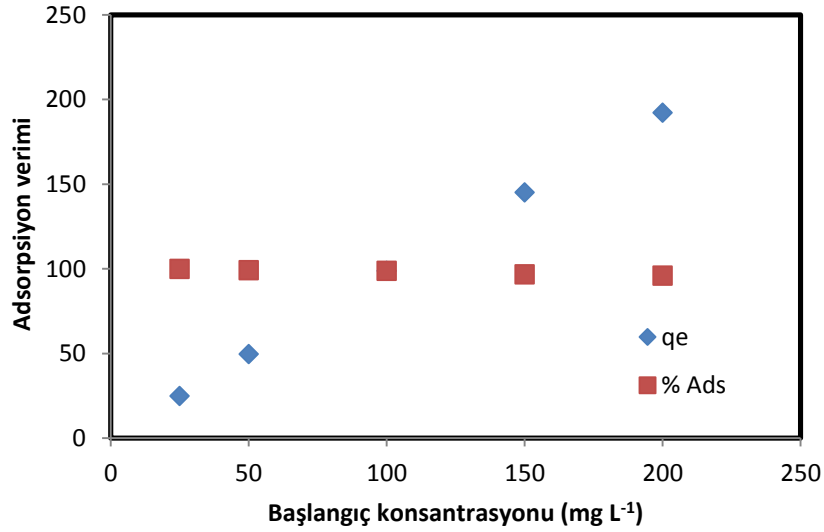
Şekil 3.29. Fe₃O₄-MNP_s-G2-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonuna pH'ın etkisi

Tablo 3.8. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için pH'ın etkisine ait veriler

pH	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	Adsorpsiyon (%)
2	8,309	91,691	91,691
3	1,874	98,126	98,126
4	2,097	97,903	97,903
4,5	1,454	98,546	98,546
5	1,177	98,823	98,823

Başlangıç Konsantrasyonunun Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Pb (II) adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisini belirlemek için 25, 50, 100, 150 ve 200 mg L⁻¹ konsantrasyonlarında Pb (II) çözeltileri hazırlandı. Farklı konsantrasyondaki her bir çözeltiliye 0,05 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında yarım saat boyunca karıştırıldı. Şekil 3.30'da görüldüğü gibi başlangıç konsantrasyonu değerlerine karşı % adsorpsiyon ve q_e değerleri grafiğe geçirildi. Deneysel veriler ise Tablo 3.9'da verilmektedir.

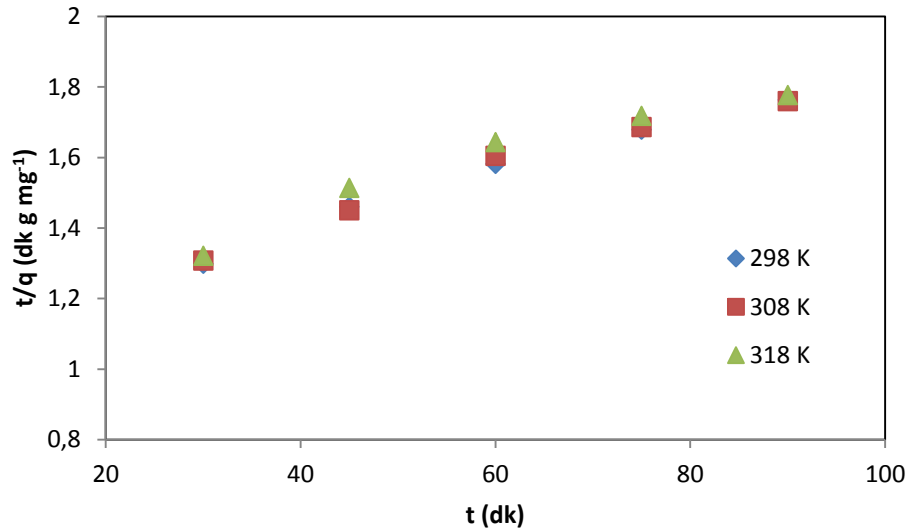


Şekil 3.30. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisi

Tablo 3.9. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için başlangıç konsantrasyonunun etkisine ait veriler

C ₀ (mg L ⁻¹)	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	Adsorpsiyon (%)
25	0,006	24,994	99,976
50	0,33	49,67	99,34
100	1,177	98,823	98,823
150	4,84	145,1599	96,773
200	7,696	192,304	96,152

Kinetik Verilerin Değerlendirilmesi: Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Pb (II) adsorpsiyonuna ait kinetik veriler hem Pseudo birinci derece kinetik denklemine hem de pseudo ikinci derece kinetik denklemine uygulandı. Ancak sadece pseudo ikinci derece kinetik denklemine uygunluk gösterdi. Şekil 3.31’de Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Pb (II) adsorpsiyonuna ait pseudo ikinci derece kinetik denkleminin grafiği görülmektedir.



Şekil 3.31. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonuna ait pseudo ikinci derece kinetik denkleminin grafiği

Bu grafikten elde edilen doğruların kayma değerinden üç sıcaklık için Tablo 3.10 ‘da verilen $k_{ads,2}$ sabitleri hesaplandı.

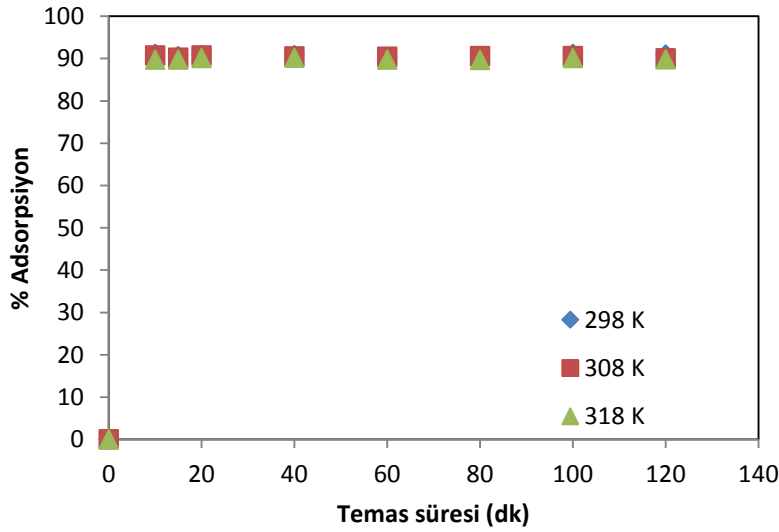
Tablo 3.10. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için $k_{ads,2}$ değerleri

T (K)	$k_{ads,2}$ (g mg ⁻¹ dk ⁻¹)
298	0,0064
308	0,0069
318	0,0070

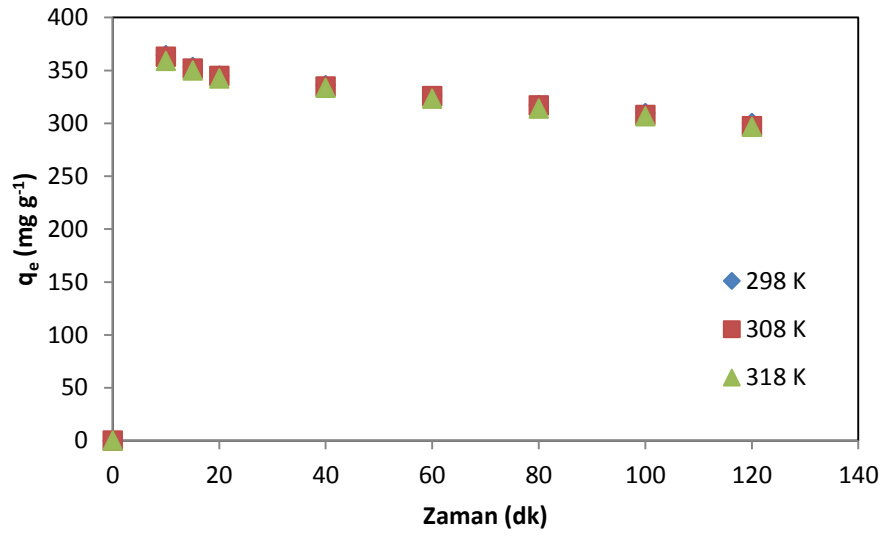
3.4. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Ni (II) Adsorpsiyonuna Ait Bulgular

Temas Süresi ve Sıcaklığın Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Ni (II) adsorpsiyonuna temas süresi ve sıcaklığın etkisinin belirlenmesi için 100 mg L⁻¹'lik 100 mL Ni (II) çözeltisi hazırlandı ve 0,05 g adsorbentle karıştırılıp iki saat boyunca çalkalandı. Şekil 3.32 ve 3.33'de Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Ni (II) adsorpsiyonuna ait zamana karşı % adsorpsiyon ve zamana karşı q_e grafikleri ile Tablo 3.11'de ise bu deneylere ait veriler görülmektedir.



Şekil 3.32. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için sıcaklığa bağlı temas süresi - % Adsorpsiyon grafiği



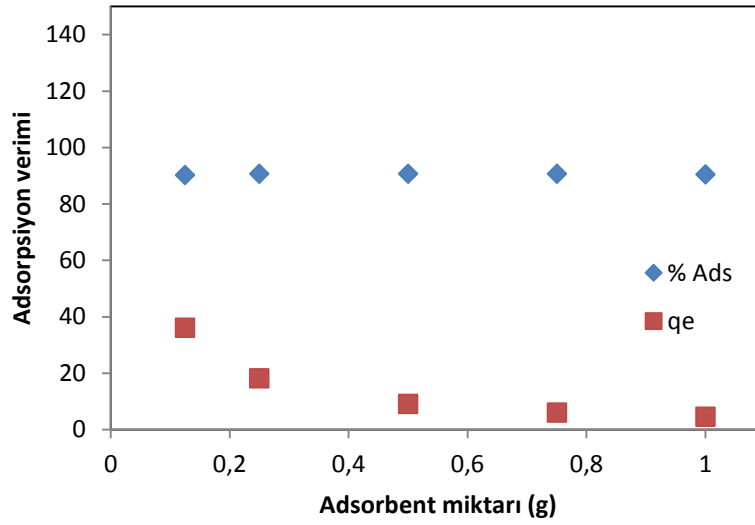
Şekil 3.33. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için sıcaklığa bağlı temas süresi-q_e grafiği

Tablo 3.11. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için temas süresi-sıcaklık verileri

Zaman (dk)	298 K			308 K			318 K		
	C _e (mgL ⁻¹)	q _e (mgg ⁻¹)	Adsorpsiyon Yüzdesi (%)	C _e (mgL ⁻¹)	q _e (mgg ⁻¹)	Adsorpsiyon Yüzdesi (%)	C _e (mgL ⁻¹)	q _e (mgg ⁻¹)	Adsorpsiyon Yüzdesi (%)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	8,942	364,232	91,058	9,29	362,84	90,71	10,25	359	89,75
15	9,421	353,258	90,579	9,789	351,822	90,211	10,27	349,947	89,73
20	9,232	344,918	90,768	9,298	344,66	90,702	9,906	342,357	90,094
40	9,182	336,026	90,818	9,552	334,657	90,448	9,847	333,566	90,153
60	9,577	325,522	90,423	9,564	325,569	90,436	10,24	323,136	89,76
80	9,372	317,198	90,628	9,471	316,851	90,529	10,37	313,705	89,63
100	8,938	309,61	91,062	9,477	307,778	90,523	9,869	306,445	90,131
120	9,041	300,164	90,959	9,973	297,089	90,027	10,16	296,472	89,84

Adsorbent Miktarının Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Ni (II) adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisini belirlemek için 100 mg L⁻¹'lik 50 mL Ni (II) çözeltilerine 0,125; 0,25; 0,5; 0,75 ve 1 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında yarım saat boyunca karıştırıldı. Şekil 3.34'de Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonuna ait adsorbent miktarına karşı % adsorpsiyon ve q_e değerleri grafiği, Tablo 3.12'de ise bu deneylere ait veriler görülmektedir.



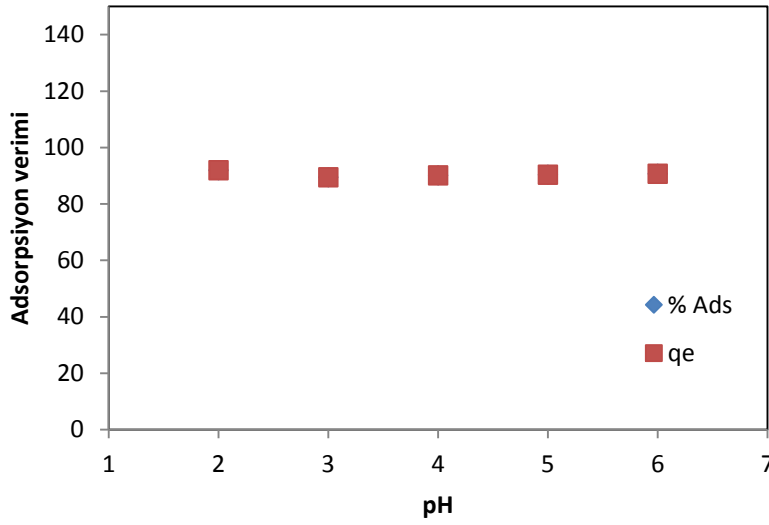
Şekil 3.34. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisi

Tablo 3.12. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için adsorbent miktarının etkisine ait veriler

Adsorbent miktarı (g)	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	Adsorpsiyon (%)
0,125	9,777	36,089	90,223
0,25	9,267	18,146	90,733
0,5	9,343	9,065	90,657
0,75	9,342	6,043	90,658
1	9,529	4,523	90,471

pH Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Ni (II) adsorpsiyonuna pH'ın etkisini belirlemek için 100 mg L⁻¹'lik Ni (II) çözeltilerinin pH'ı 0,1 M HCl ve 0,1 M NaOH yardımıyla 2, 3, 4, 5 ve 6 olarak ayarlandı. Her bir çözeltiliye 0,05 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında yarım saat boyunca karıştırıldı. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Ni (II) adsorpsiyonuna ait pH değerlerine karşı % adsorpsiyon ve q_e değerleri grafiğe geçirildi. Bu grafik Şekil 3.35'de görülmektedir. Deneysel veriler ise Tablo 3.13'te görülmektedir.



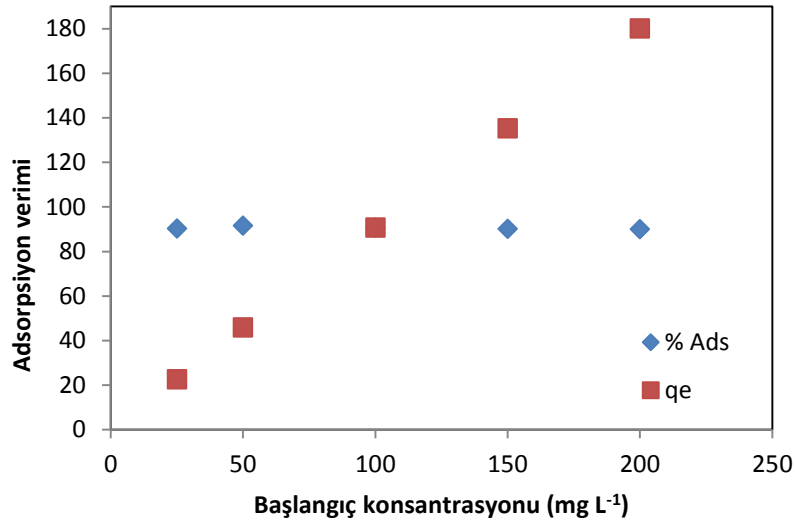
Şekil 3.35. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonuna pH'ın etkisi

Tablo 3.13. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için pH'ın etkisine ait veriler

pH	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	Adsorpsiyon (%)
2	8,097	91,903	91,903
3	10,6	89,4	89,4
4	9,851	90,149	90,149
5	9,597	90,403	90,403
6	9,728	90,722	90,722

Başlangıç Konsantrasyonunun Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Ni (II) adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisini belirlemek için 25, 50, 100, 150 ve 200 mg L⁻¹ konsantrasyonlarında Ni (II) çözeltileri hazırlandı. Farklı konsantrasyondaki her bir çözeltiliye 0,05 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında yarım saat boyunca karıştırıldı. Bu adsorpsiyona başlangıç konsantrasyonunun etkisini gösteren grafik Şekil 3.36'da, bu deneylere ait veriler ise Tablo 3.14'de görülmektedir.

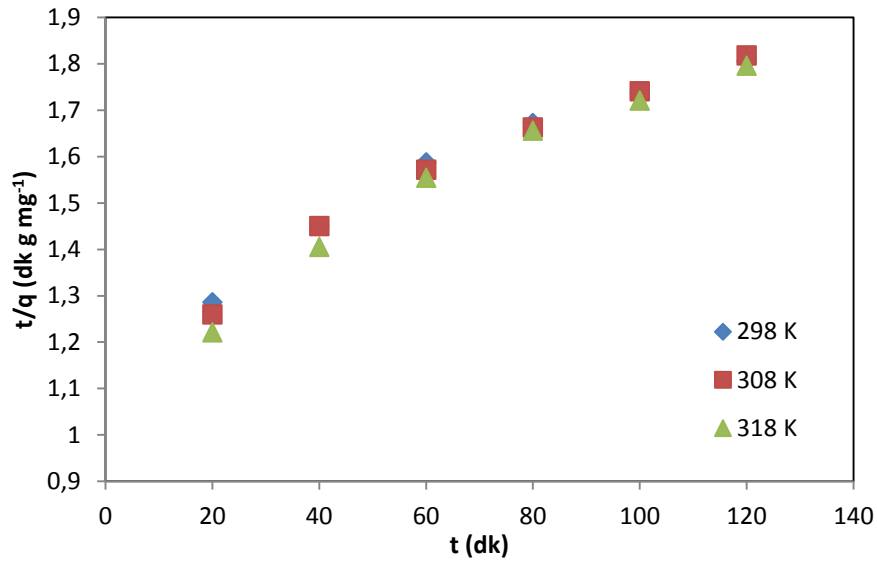


Şekil 3.36. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisi

Tablo 3.14. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için başlangıç konsantrasyonunun etkisine ait veriler

C ₀ (mg L ⁻¹)	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	Adsorpsiyon (%)
25	2,43	22,57	90,28
50	4,182	45,818	91,636
100	9,278	90,722	90,722
150	14,6705	135,3295	90,22
200	19,93	180,07	90,035

Kinetik Verilerin Değerlendirilmesi: Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Ni (II) adsorpsiyonuna ait kinetik veriler sadece Pseudo ikinci derece kinetik denkleminde uygunluk gösterdi. Denklemin grafiği Şekil 3.37’de görülmektedir.



Şekil 3.37. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonuna ait pseudo ikinci derece kinetik denkleminin grafiği

Pseudo ikinci derece kinetik denkleminin grafiğinin kayma değerinden hesaplanan $k_{ads,2}$ değerleri Tablo 3. 15’de verilmiştir.

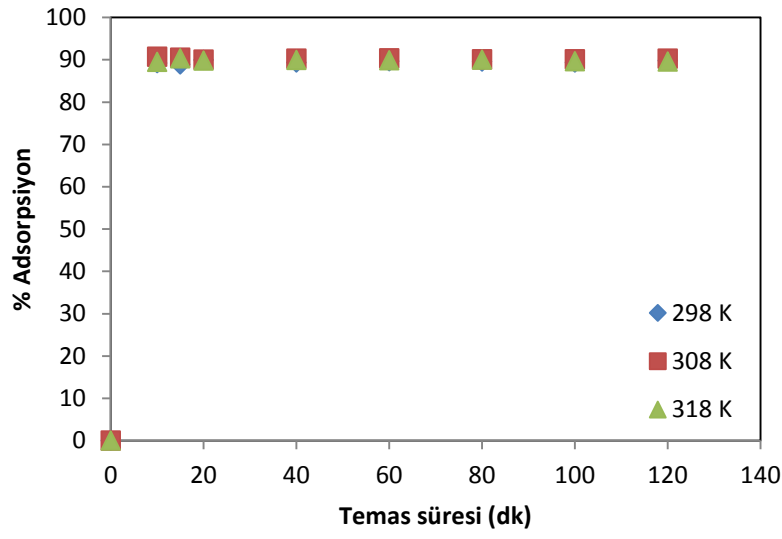
Tablo 3.15. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için $k_{ads,2}$ sabitleri

T (K)	$k_{ads,2}$ (g mg ⁻¹ dk ⁻¹)
298	$3,1 \cdot 10^{-5}$
308	$2,4 \cdot 10^{-5}$
318	$2,1 \cdot 10^{-5}$

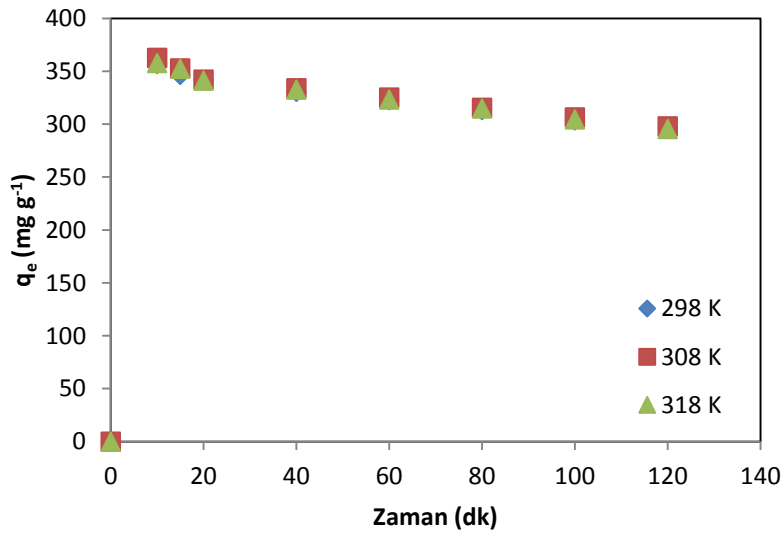
3.5. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Ni(II) Adsorpsiyonuna Ait Bulgular

Temas Süresi ve Sıcaklığın Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Ni (II) adsorpsiyonuna temas süresi ve sıcaklığın etkisinin belirlenmesi için 100 mg L⁻¹’lik 100 mL Ni (II) çözeltisi hazırlandı ve 0,05 g adsorbentle karıştırılıp iki saat boyunca çalkalandı. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonuna temas süresi ve sıcaklığın etkisine ait zamana karşı % adsorpsiyon ve zamana karşı q_e grafikleri Şekil 3.38 ve 3.39’da verilmektedir. Deneylere ait veriler de Tablo 3.16’da görülmektedir.



Şekil 3.38. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNPs-G2-Mu}$ ile Ni(II) adsorpsiyonu için sıcaklığa bağlı temas süresi - % Adsorpsiyon grafiği



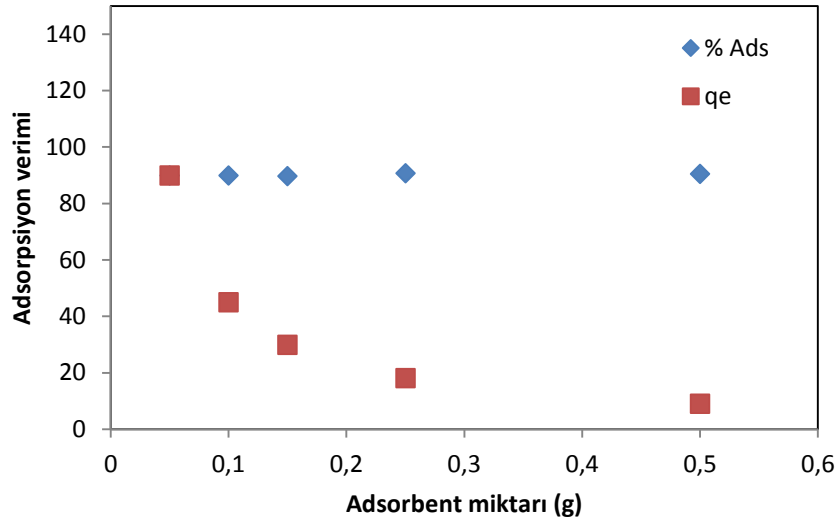
Şekil 3.39. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNPs-G2-Mu}$ ile Ni(II) adsorpsiyonu için sıcaklığa bağlı temas süresi – q_e grafiği

Tablo 3.16. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için temas süresi-sıcaklık verileri

	298 K			308 K			318 K		
Zaman (dk)	C _e (mgL ⁻¹)	q _e (mgg ⁻¹)	Adsorpsiyon Yüzdesi (%)	C _e (mgL ⁻¹)	q _e (mgg ⁻¹)	Adsorpsiyon Yüzdesi (%)	C _e (mgL ⁻¹)	q _e (mgg ⁻¹)	Adsorpsiyon Yüzdesi (%)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	10,78	356,88	89,22	9,3	362,8	90,7	10,51	357,96	89,49
15	11,13	346,593	88,87	9,524	352,856	90,476	9,645	352,384	90,355
20	10,07	341,734	89,93	9,93	342,266	90,07	10,21	341,202	89,79
40	10,63	330,669	89,37	9,775	333,832	90,225	10,04	332,852	89,96
60	10,36	322,704	89,64	9,675	325,17	90,325	10,14	323,496	89,86
80	10,45	313,425	89,55	9,884	315,406	90,116	9,99	315,035	90,01
100	10,67	303,722	89,33	9,874	306,428	90,126	10,37	304,742	89,63
120	10,19	296,373	89,81	9,745	297,841	90,255	10,45	295,515	89,55

Adsorbent Miktarının Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Ni (II) adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisini belirlemek için 100 mg L⁻¹'lik 50 mL Ni (II) çözeltilerine 0,05; 0,1; 0,15; 0,25 ve 0,5 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında yarım saat boyunca karıştırıldı. Şekil 3.40, Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisini gösteren grafiğe aittir. Bu deneylere ait veriler de Tablo 3.17'de verilmektedir.

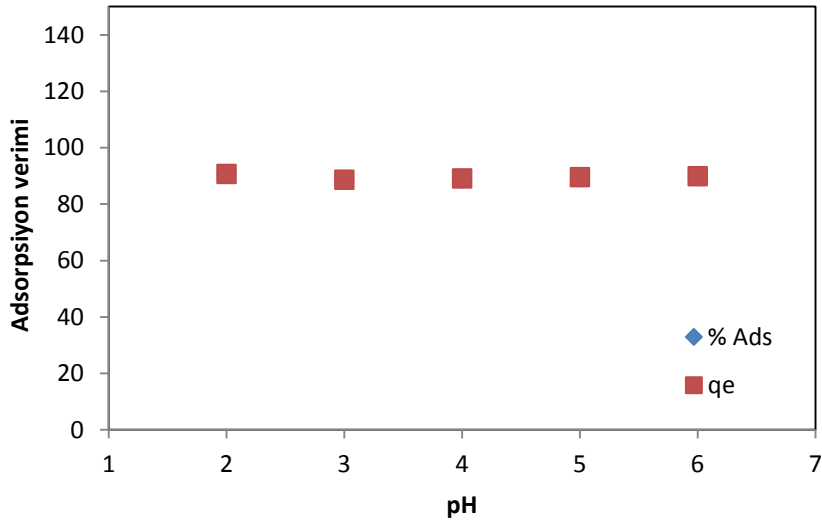
**Şekil 3.40.** Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisi

Tablo 3.17. Fe₃O₄-MNP_s-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için adsorbent miktarının etkisine ait veriler

Adsorbent miktarı (g)	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	Adsorpsiyon (%)
0,05	10,02	89,98	89,98
0,1	10,01	44,995	89,99
0,15	10,24	29,92	89,76
0,25	9,221	18,155	90,779
0,5	9,435	9,056	90,563

pH Etkisi:

Fe₃O₄-MNP_s-G2-Mu ile Ni (II) adsorpsiyonuna pH'ın etkisini belirlemek için 100 mg L⁻¹'lik Ni (II) çözeltilerinin pH'ı 0,1 M HCl ve 0,1 M NaOH yardımıyla 2, 3, 4, 5 ve 6 olarak ayarlandı. Her bir çözeltiye 0,05 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında yarım saat boyunca karıştırıldı. Şekil 3.41, Fe₃O₄-MNP_s-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonuna pH'ın etkisini gösteren grafik. Bu deneylere ait veriler de Tablo 3.18'de görülmektedir.



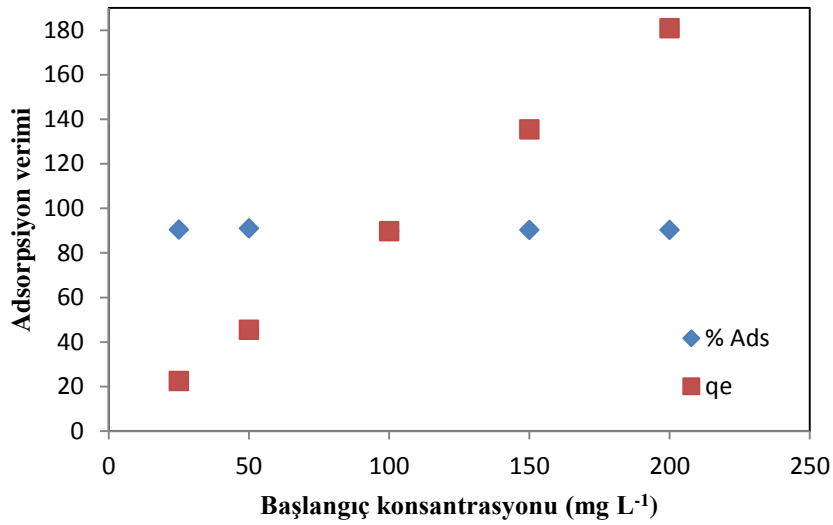
Şekil 3.41. Fe₃O₄-MNP_s-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonuna pH'ın etkisi

Tablo 3.18. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için pH'ın etkisine ait veriler

pH	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	Adsorpsiyon (%)
2	9,292	90,708	90,708
3	11,32	88,68	88,68
4	10,84	89,16	89,16
5	10,44	89,56	89,56
6	10,11	89,89	89,89

Başlangıç Konsantrasyonunun Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Ni (II) adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisini belirlemek için 25, 50, 100, 150 ve 200 mg L⁻¹ konsantrasyonlarında Ni (II) çözeltileri hazırlandı. Farklı konsantrasyonlardaki her bir çözeltiliye 0,05 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında yarım saat boyunca karıştırıldı. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Ni (II) adsorpsiyonu için başlangıç konsantrasyonunun etkisine ait grafik Şekil 3.42'de görülmektedir. Deneylere ait veriler ise Tablo 3.19'da verilmektedir.

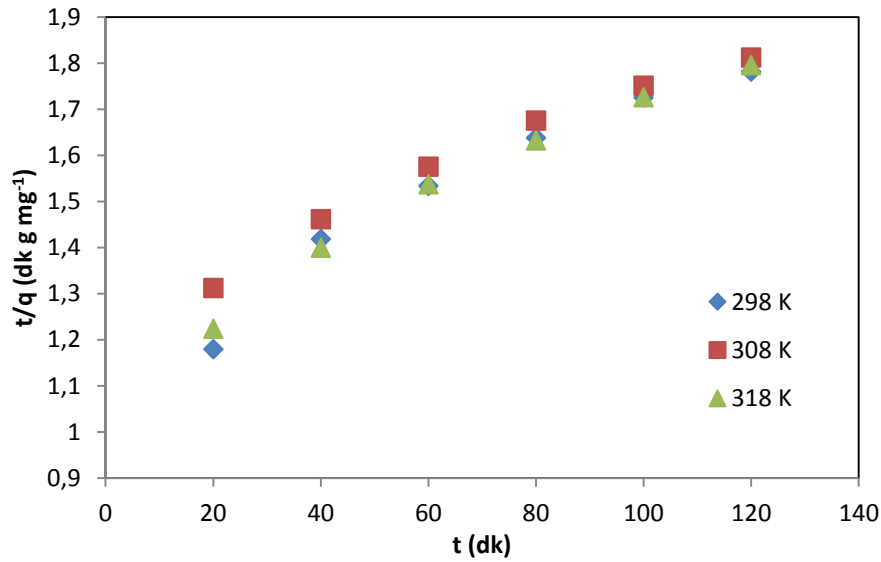


Şekil 3.42. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisi

Tablo 3.19. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için başlangıç konsantrasyonunun etkisine ait veriler

C ₀ (mg L ⁻¹)	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	Adsorpsiyon (%)
25	2,376	22,624	90,496
50	4,459	45,541	91,082
100	10,11	89,89	89,89
150	14,43	135,57	90,38
200	19,08	180,92	90,46

Kinetik Verilerin Değerlendirilmesi: Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonuna ait kinetik veriler sadece Pseudo ikinci derece kinetik denkleminin uygunluk gösterdi. Şekil 3.43’de pseudo ikinci derece denkleminin grafiği görülmektedir.



Şekil 3.43. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonuna ait pseudo ikinci derece kinetik denkleminin grafiği

Pseudo ikinci derece kinetik denkleminin grafiğinin kayma değerinden hesaplanan $k_{ads,2}$ hız sabitleri Tablo 3.20’de verilmiştir.

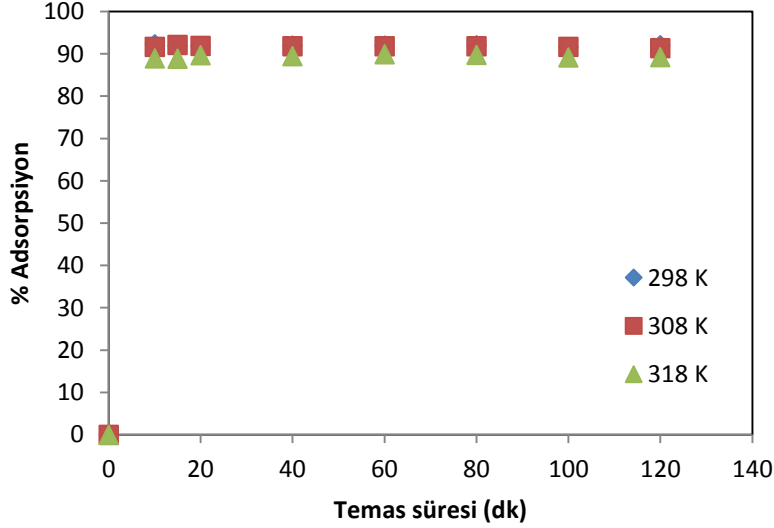
Tablo 3.20. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için $k_{ads,2}$ hız sabitleri

T (K)	$k_{ads,2}$ (g mg ⁻¹ dk ⁻¹)
298	$2,9 \cdot 10^{-5}$
308	$2,7 \cdot 10^{-5}$
318	$2 \cdot 10^{-5}$

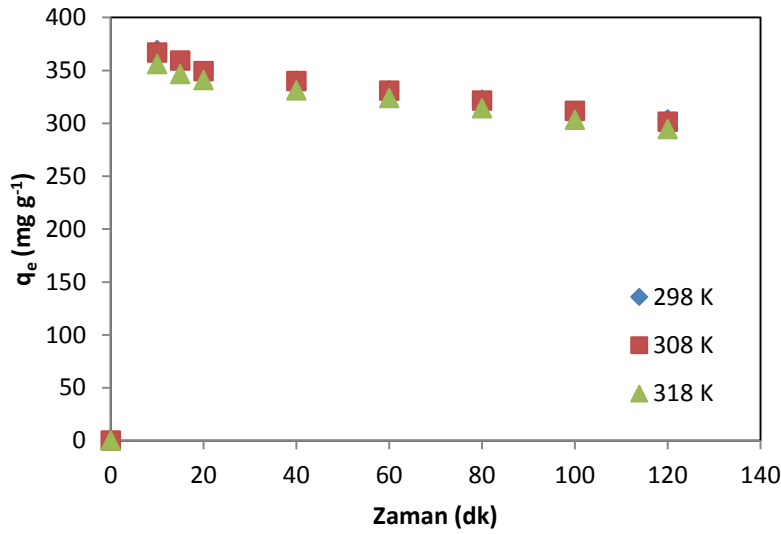
3.6. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Co (II) Adsorpsiyonuna Ait Bulgular

Temas Süresi ve Sıcaklığın Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Co (II) adsorpsiyonuna temas süresi ve sıcaklığın etkisinin belirlenmesi için 100 mg L⁻¹'lik 100 mL Co (II) çözeltisi hazırlandı ve 0,05 g adsorbentle karıştırılıp iki saat boyunca çalkalandı. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Co(II) adsorpsiyonuna temas süresi ve sıcaklığın etkisini gösteren, zamana karşı % adsorpsiyon ve zamana karşı q_e grafikleri sırasıyla Şekil 3.44 ve Şekil 3.45'de görülmektedir. Deneylere ait veriler de Tablo 3.21'de verilmektedir.



Şekil 3.44. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için temas süresi - % Adsorpsiyon grafiği



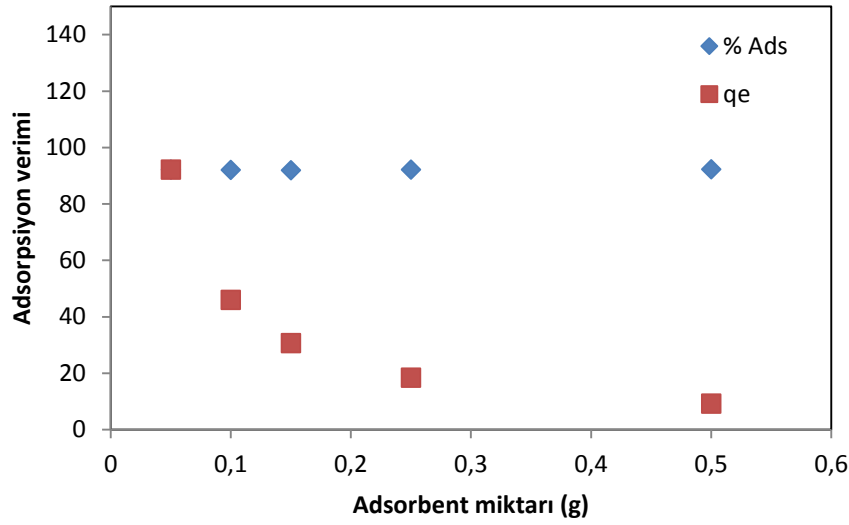
Şekil 3.45. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için temas süresi – q_e grafiği

Tablo 3.21. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için temas süresi-sıcaklık verileri

Zaman (dk)	298 K			308 K			318 K		
	C _e (mgL ⁻¹)	q _e (mgg ⁻¹)	Adsorpsiyon Yüzdesi (%)	C _e (mgL ⁻¹)	q _e (mgg ⁻¹)	Adsorpsiyon Yüzdesi (%)	C _e (mgL ⁻¹)	q _e (mgg ⁻¹)	Adsorpsiyon Yüzdesi (%)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	7,73	369,08	92,27	8,327	366,692	91,673	11,01	355,96	88,99
15	8,058	358,573	91,942	7,879	359,271	92,121	11,15	346,515	88,85
20	8,131	349,102	91,869	8,082	349,288	91,918	10,31	340,822	89,69
40	8,024	340,311	91,976	8,17	339,771	91,83	10,49	331,187	89,51
60	8,018	331,135	91,982	8,133	330,721	91,867	10,04	323,856	89,96
80	7,942	322,203	92,058	8,192	321,328	91,808	10,24	314,16	89,76
100	8,379	311,511	91,621	8,32	311,712	91,68	10,8	303,28	89,2
120	7,972	303,692	92,028	8,619	301,557	91,381	10,73	294,591	89,27

Adsorbent Miktarının Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Co (II) adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisini belirlemek için 100 mg L⁻¹'lik 50 mL Co (II) çözeltilerine 0,05; 0,1; 0,15; 0,25 ve 0,5 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında yarım saat boyunca karıştırıldı. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Co (II) adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisini gösteren grafik Şekil 3.46'da görülmektedir. Deneylere ait veriler de Tablo 3.22'de verilmektedir.



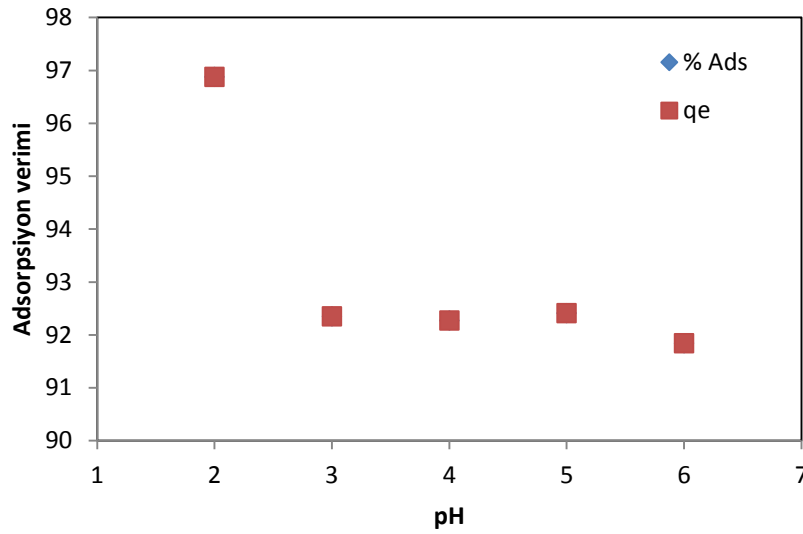
Şekil 3.46. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Co(II) adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisi

Tablo 3.22. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için adsorbent miktarının etkisine ait veriler

Adsorbent miktarı (g)	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	Adsorpsiyon (%)
0,05	7,814	92,186	92,186
0,1	7,954	46,023	92,046
0,15	8,018	30,66	91,982
0,25	7,885	18,423	92,115
0,5	7,674	9,232	92,326

pH Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Co (II) adsorpsiyonuna pH'ın etkisini belirlemek için 100 mg L⁻¹'lik Co (II) çözeltilerinin pH'ı 0,1 M HCl ve 0,1 M NaOH yardımıyla 2, 3, 4, 5 ve 6 olarak ayarlandı. Her bir çözeltiye 0,05 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında yarım saat boyunca karıştırıldı. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Co (II) adsorpsiyonu için pH'ın etkisine ait grafik Şekil 3.47'de görülmektedir. Bu deneylere ait veriler ise Tablo 3.23'de verilmektedir.



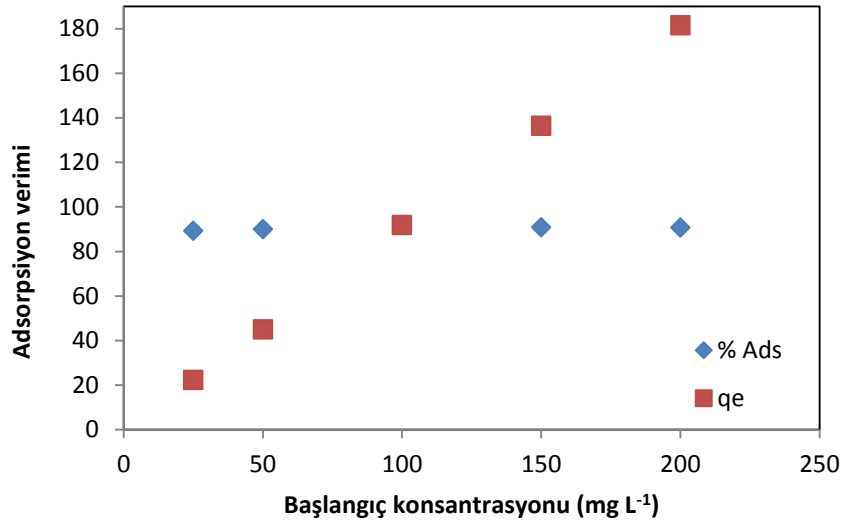
Şekil 3.47. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Co(II) adsorpsiyonuna pH'nin etkisi

Tablo 3.23. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için pH'nin etkisine ait veriler

pH	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	Adsorpsiyon (%)
2	3,125	96,875	96,875
3	7,648	92,352	92,352
4	7,731	92,269	92,269
5	7,59	92,41	92,41
6	8,159	91,841	91,841

Başlangıç Konsantrasyonunun Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Co(II) adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisini belirlemek için 25, 50, 100, 150 ve 200 mg L⁻¹ konsantrasyonlarında Co(II) çözeltileri hazırlandı. Farklı konsantrasyondaki her bir çözeltiliye 0,05 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında yarım saat boyunca karıştırıldı. Bu adsorpsiyona başlangıç konsantrasyonunun etkisini gösteren grafik Şekil 3.48'de görülmektedir. Bu deneylere ait veriler de Tablo 3.24'de verilmektedir.



Şekil 3.48. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Co (II) adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisi

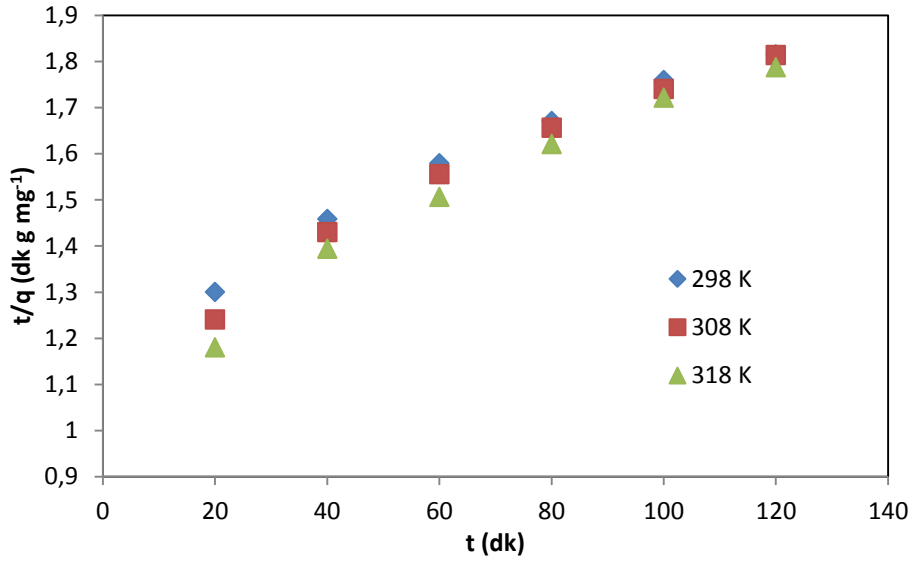
Tablo 3.24. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Co (II) adsorpsiyonu için başlangıç konsantrasyonunun etkisine ait veriler

C ₀ (mg L ⁻¹)	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	Adsorpsiyon (%)
25	2,685	22,315	89,26
50	5,012	44,988	89,976
100	8,159	91,841	91,841
150	13,591	136,409	90,939
200	18,43	181,57	90,785

Kinetik Verilerin Değerlendirilmesi: Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Co(II) adsorpsiyonuna ait deneysel veriler sadece pseudo ikinci derece kinetik denkleminde uygunluk gösterdi. t'ye karşı t/q değerleri grafiğe geçirildiğinde Şekil 3.49 elde edildi. Grafikteki doğruların kayma değerlerinden her sıcaklıktaki k_{ads,2} hız sabitleri hesaplandı. Hesaplanan bu değerler Tablo 3.25’de verilmektedir.

Tablo 3.25. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Co(II) adsorpsiyonuna ait k_{ads,2} hız sabitleri

T (K)	k _{ads,2} (g mg ⁻¹ dk ⁻¹)
298	3,1.10 ⁻⁵
308	2,6.10 ⁻⁵
318	2.10 ⁻⁵

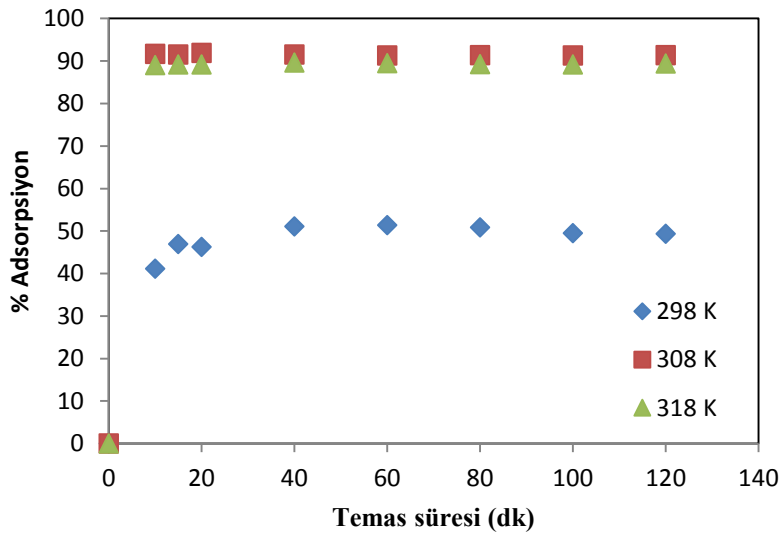


Şekil 3.49. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Co(II) adsorpsiyonuna ait pseudo ikinci derece denkleminin grafiği

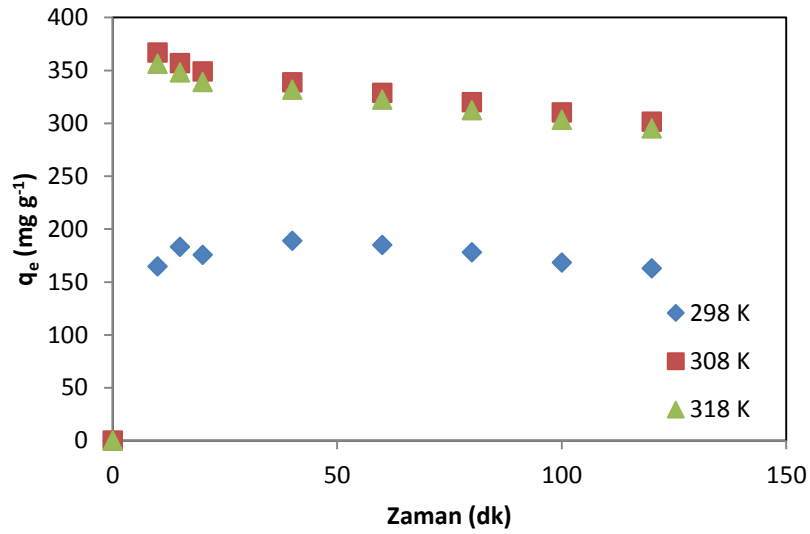
3.7. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Co(II) Adsorpsiyonuna Ait Bulgular

Temas Süresi ve Sıcaklığın Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Co(II) adsorpsiyonuna temas süresi ve sıcaklığın etkisinin belirlenmesi için 100 mg L⁻¹'lik 200 mL Co(II) çözeltisi hazırlandı ve 0,05 g adsorbentle karıştırılıp iki saat boyunca çalkalandı. Şekil 3.50 ve 3.51'de görülen zamana karşı % adsorpsiyon ve zamana karşı q_e grafikleri çizildi. Bu deneylere ait veriler Tablo 3.26'da verilmektedir.



Şekil 3.50. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için sıcaklığa bağlı temas süresi - % Adsorpsiyon grafiği



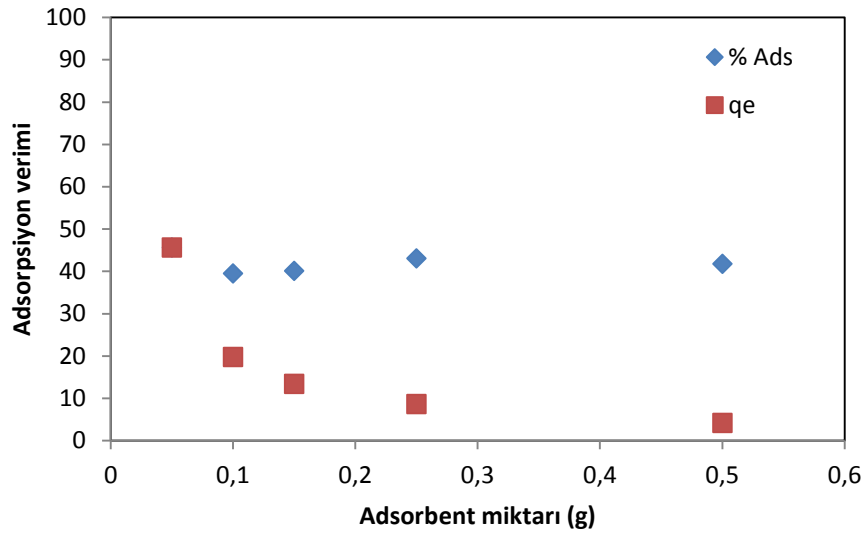
Şekil 3.51. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için sıcaklığa bağlı temas süresi – q_e grafiği

Tablo 3.26. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için temas süresi-sıcaklık verileri

Zaman (dk)	298 K			308 K			318 K		
	C _e (mgL ⁻¹)	q _e (mgg ⁻¹)	Adsorpsiyon Yüzdesi (%)	C _e (mgL ⁻¹)	q _e (mgg ⁻¹)	Adsorpsiyon Yüzdesi (%)	C _e (mgL ⁻¹)	q _e (mgg ⁻¹)	Adsorpsiyon Yüzdesi (%)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	58,83	164,68	41,17	8,31	366,76	91,69	10,95	356,2	89,05
15	53,06	183,066	46,94	8,516	356,787	91,484	10,79	347,919	89,21
20	53,76	175,712	46,24	8,134	349,09	91,866	10,81	338,922	89,19
40	48,92	188,996	51,08	8,46	338,698	91,54	10,36	331,668	89,64
60	48,65	184,86	51,35	8,735	328,554	91,265	10,49	322,236	89,51
80	49,12	178,08	50,88	8,63	319,795	91,37	10,76	312,34	89,24
100	50,48	168,368	49,52	8,734	310,304	91,266	10,8	303,28	89,2
120	50,63	162,921		8,668	301,395	91,332	10,61	294,987	89,39

Adsorbent Miktarının Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Co(II) adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisini belirlemek için 100 mg L⁻¹'lik 50 mL Co(II) çözeltilerine 0,05; 0,1; 0,15; 0,25 ve 0,5 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında yarım saat boyunca karıştırıldı. Adsorbent miktarına karşı % adsorpsiyon ve q_e değerleri Şekil 3.52'de görülen grafiğe geçirildi. Bu deneylere ait veriler de Tablo 3.27'de verilmektedir.



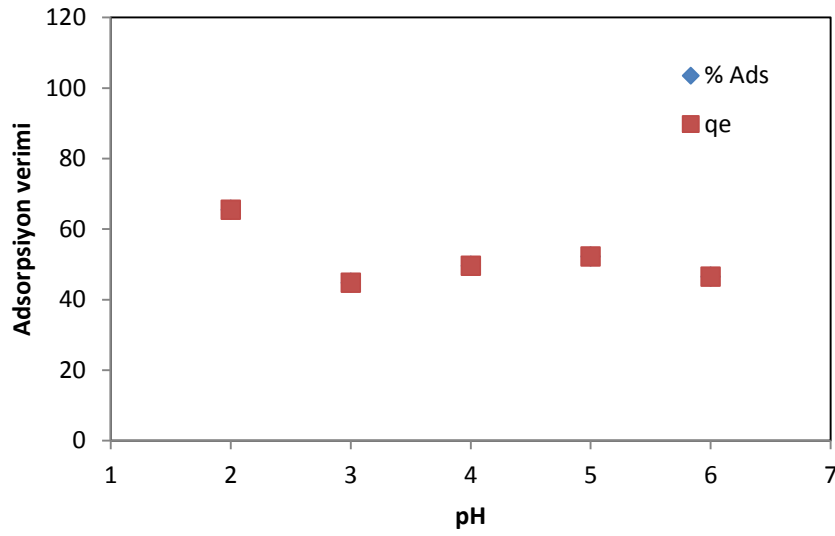
Şekil 3.52. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Co(II) adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisi

Tablo 3.27. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için adsorbent miktarının etkisine ait veriler

Adsorbent miktarı (g)	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	Adsorpsiyon (%)
0,05	54,38	45,62	45,62
0,1	60,47	19,765	39,53
0,15	59,87	13,376	40,13
0,25	56,94	8,612	43,06
0,5	58,26	4,174	41,74

pH Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Co(II) adsorpsiyonuna pH'ın etkisini belirlemek için 100 mg L⁻¹'lik Co(II) çözeltilerinin pH'ı 0,1 M HCl ve 0,1 M NaOH yardımıyla 2, 3, 4, 5 ve 6 olarak ayarlandı. Her bir çözeltiliye 0,05 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında yarım saat boyunca karıştırıldı. pH değerlerine karşı % adsorpsiyon ve q_e değerleri Şekil 3.53'de görülen grafiğe geçirildi. Bu deneylere ait veriler de Tablo 3.28'de verilmektedir.



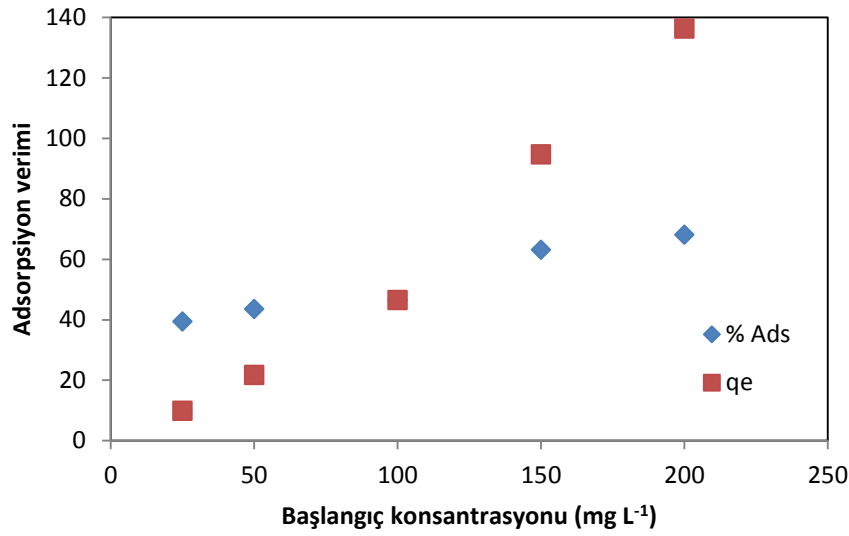
Şekil 3.53. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Co(II) adsorpsiyonuna pH'ın etkisi

Tablo 3.28. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için pH'ın etkisine ait veriler

pH	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	Adsorpsiyon (%)
2	34,56	65,44	65,44
3	55,18	44,82	44,82
4	50,39	49,61	49,61
5	47,79	52,21	52,21
6	53,48	46,52	46,52

Başlangıç Konsantrasyonunun Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Co(II) adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisini belirlemek için 25, 50, 100, 150 ve 200 mg L⁻¹ konsantrasyonlarında Co(II) çözeltileri hazırlandı. Farklı konsantrasyonlardaki her bir çözeltiliye 0,05 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında yarım saat boyunca karıştırıldı. Başlangıç konsantrasyonu değerlerine karşı % adsorpsiyon ve q_e değerleri grafiği Şekil 3.54'de, bu deneylere ait veriler de Tablo 3.29'da görülmektedir.

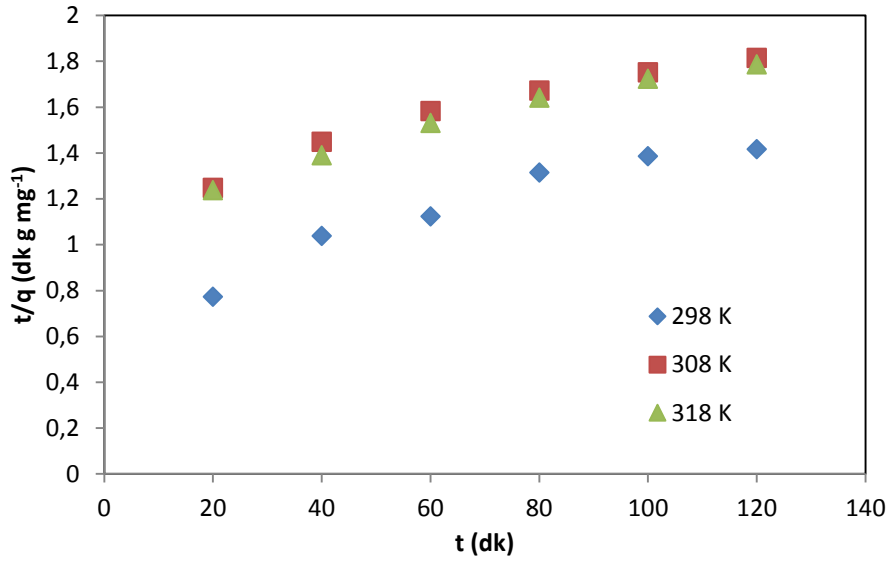


Şekil 3.54. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Co(II) adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisi

Tablo 3.29. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için başlangıç konsantrasyonunun etkisine ait veriler

C ₀ (mg L ⁻¹)	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	Adsorpsiyon (%)
25	15,15	9,85	39,4
50	28,24	21,76	43,52
100	53,48	46,52	46,52
150	55,263	94,737	63,158
200	63,73	136,27	68,135

Kinetik Verilerin Değerlendirilmesi: Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Co(II) adsorpsiyonuna ait deneysel veriler pseudo ikinci derece kinetik denkleminde değerlendirildi. t'ye karşı t/q değerleri grafiğe geçirildiğinde Şekil 3.55 elde edildi. Grafikteki doğruların kayma değerlerinden Tablo 3.30'da verilen k_{ads,2} hız sabitleri hesaplandı.



Şekil 3.55. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Co (II) adsorpsiyonuna ait pseudo ikinci derece denkleminin grafiği

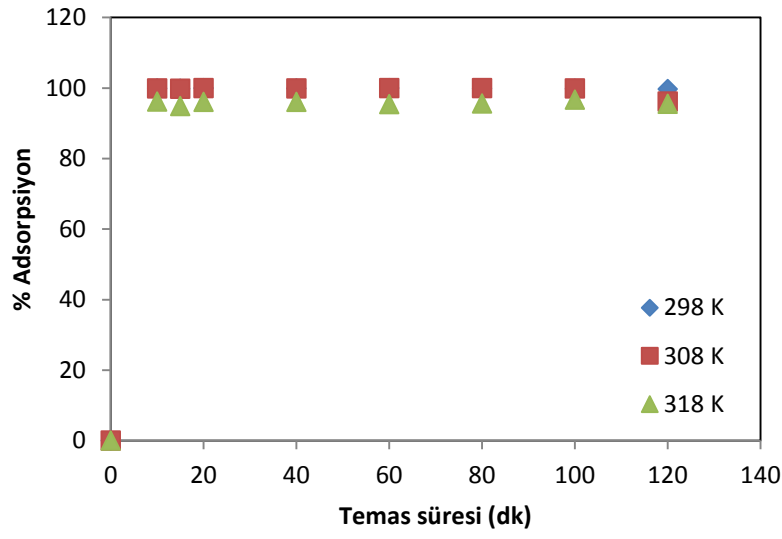
Tablo 3.30. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Co (II) adsorpsiyonuna ait hız sabitleri

T (K)	k _{ads,2} (g mg ⁻¹ dk ⁻¹)
298	2,5.10 ⁻⁵
308	5,6.10 ⁻⁵
318	5,6.10 ⁻⁵

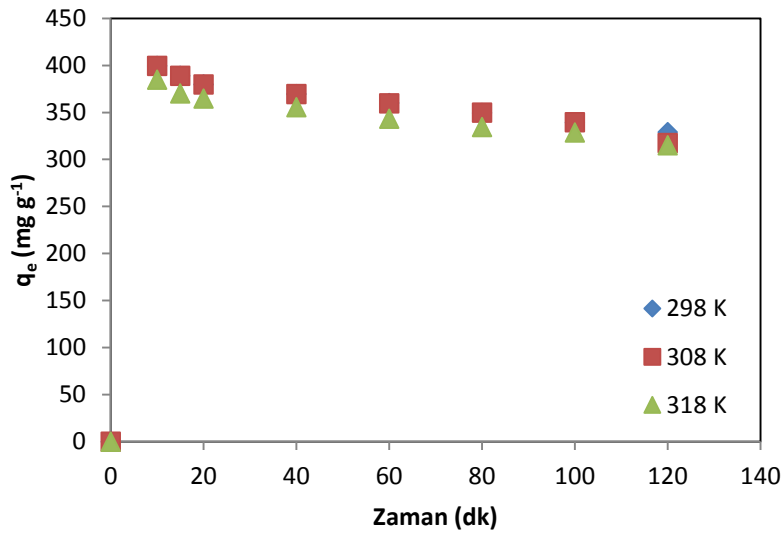
3.8. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Cr(III) Adsorpsiyonuna Ait Bulgular

Temas Süresi ve Sıcaklığın Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonuna temas süresi ve sıcaklığın etkisinin belirlenmesi için 100 mg L⁻¹'lik 200 mL Cr (III) çözeltisi hazırlandı ve 0,05 g adsorbentle karıştırılıp iki saat boyunca çalkalandı. Şekil 3.56 ve 3.57'de görülen zamana karşı % adsorpsiyon ve zamana karşı q_e grafikleri çizildi. Bu deneylere ait veriler Tablo 3.31'de verilmektedir.



Şekil 3.56. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNPs-G1-Mu}$ ile Cr(III) adsorpsiyonu için sıcaklığa bağlı temas süresi - % adsorpsiyon grafiği



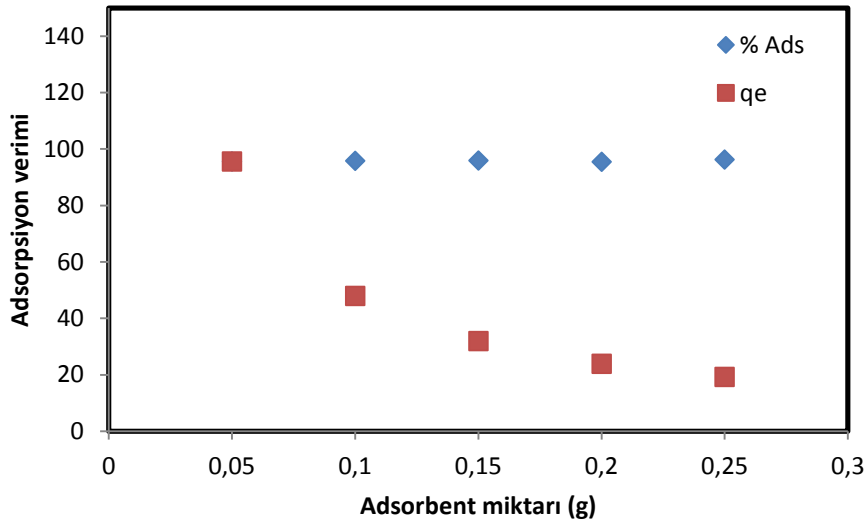
Şekil 3.57. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNPs-G1-Mu}$ ile Cr(III) adsorpsiyonu için sıcaklığa bağlı temas süresi – q_e grafiği

Tablo 3.31. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonu için temas süresi-sıcaklık verileri

	298 K			308 K			318 K		
Zaman (dk)	C _e (mgL ⁻¹)	q _e (mgg ⁻¹)	Adsorpsiyon Yüzdesi (%)	C _e (mgL ⁻¹)	q _e (mgg ⁻¹)	Adsorpsiyon Yüzdesi (%)	C _e (mgL ⁻¹)	q _e (mgg ⁻¹)	Adsorpsiyon Yüzdesi (%)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0,159	399,364	99,841	0,083	399,668	99,917	3,807	384,772	96,193
15	0,251	389,0211	99,749	0,245	389,044	99,755	5,093	370,137	94,907
20	0,074	379,718	99,926	0,054	379,794	99,946	3,976	364,891	96,024
40	0,085	369,685	99,915	0,086	369,681	99,914	3,93	355,459	96,07
60	0,032	359,884	99,968	0,07	359,748	99,93	4,594	343,461	95,406
80	0,131	349,541	99,869	0,037	349,87	99,963	4,379	334,673	95,621
100	0,193	339,343	99,807	0,159	339,459	99,841	3,299	328,783	96,701
120	0,302	329,003	99,698	3,824	317,38	96,176	4,523	315,074	95,477

Adsorbent Miktarının Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisini belirlemek için 100 mg L⁻¹'lik 50 mL Cr (III) çözeltilerine 0,05; 0,1; 0,15; 0,25 ve 0,5 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında yarım saat boyunca karıştırıldı. Adsorbent miktarına karşı % adsorpsiyon ve q_e değerleri grafiği Şekil 3.58'de, bu deneylere ait veriler de Tablo 3.32'de görülmektedir.

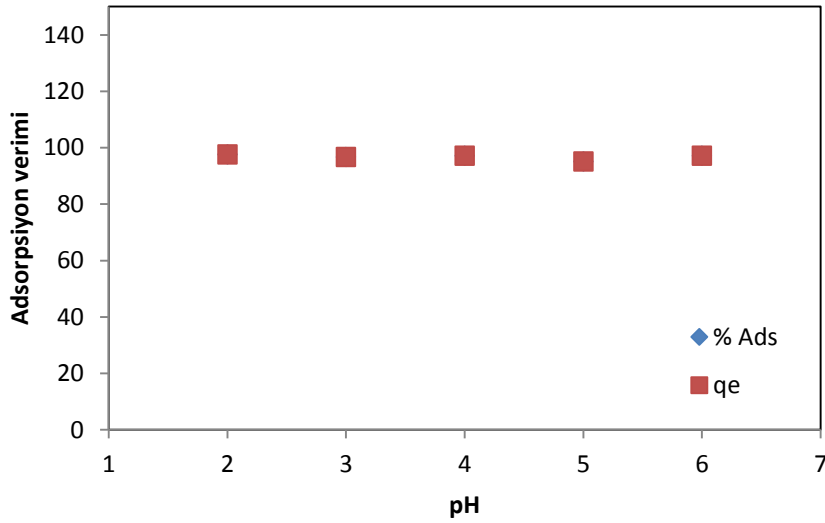
**Şekil 3.58.** Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisi

Tablo 3.32. Fe₃O₄-MNP_s-G1-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonu için adsorbent miktarının etkisine ait veriler

Adsorbent miktarı (g)	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	Adsorpsiyon (%)
0,05	4,39	95,61	95,61
0,1	4,15	47,925	95,85
0,15	4,077	31,974	95,923
0,20	4,436	23,891	95,564
0,25	3,739	19,252	96,261

pH Etkisi:

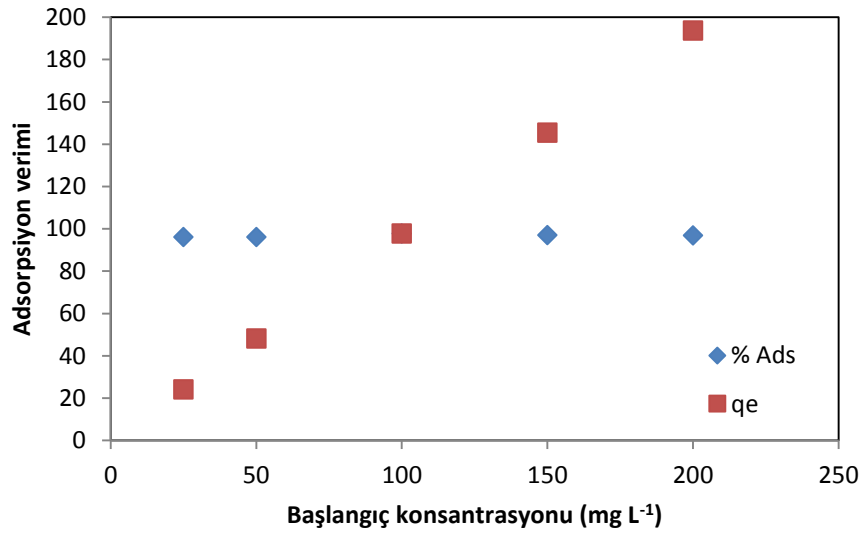
Fe₃O₄-MNP_s-G1-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonuna pH'ın etkisini belirlemek için 100 mg L⁻¹'lik Cr (III) çözeltilerinin pH'ı 0,1 M HCl ve 0,1 M NaOH yardımıyla 2, 3, 4, 5 ve 6 olarak ayarlandı. Her bir çözeltiye 0,05 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında yarım saat boyunca karıştırıldı. pH değerlerine karşı % adsorpsiyon ve q_e değerleri Şekil 3.59'da görülen grafiğe geçirildi. Deneylere ait veriler ise Tablo 3.33'de verilmektedir.

**Şekil 3.59.** Fe₃O₄-MNP_s-G1-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonuna pH'ın etkisi**Tablo 3.33.** Fe₃O₄-MNP_s-G2-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonu için pH'ın etkisine ait veriler

pH	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	Adsorpsiyon (%)
2	2,317	97,683	97,683
3	3,269	96,731	96,731
4	2,835	97,165	97,165
5	4,833	95,167	95,167
6	2,77	97,23	97,23

Başlangıç Konsantrasyonunun Etkisi:

$\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNP}\text{s-G1-Mu}$ ile Cr (III) adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisini belirlemek için 25, 50, 100, 150 ve 200 mg L^{-1} konsantrasyonlarında Cr (III) çözeltileri hazırlandı. Farklı konsantrasyondaki her bir çözeltiye 0,05 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında yarım saat boyunca karıştırıldı. Başlangıç konsantrasyonu değerlerine karşı % adsorpsiyon ve q_e değerleri Şekil 3.60'da görülen grafiğe geçirildi. Bu deneylere ait veriler de Tablo 3.34'de verilmektedir.

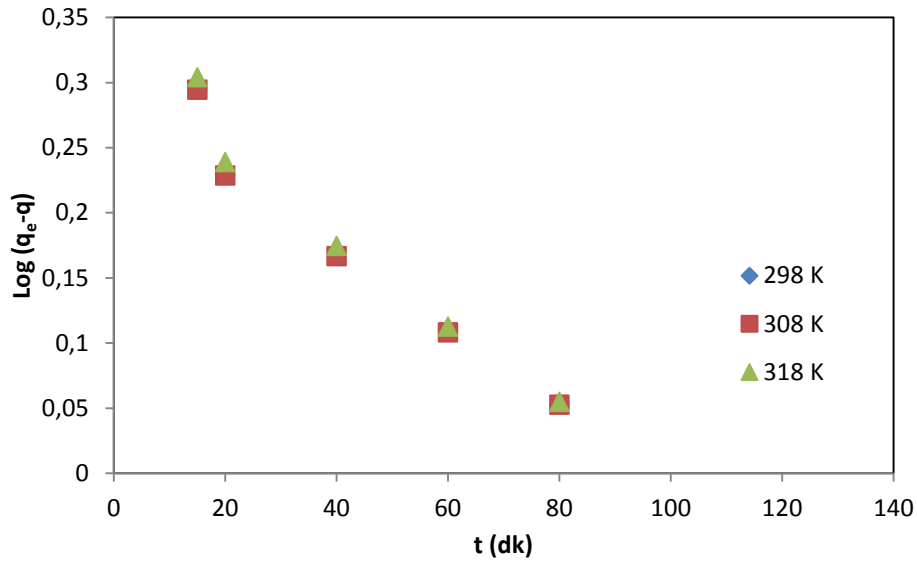


Şekil 3.60. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNP}\text{s-G1-Mu}$ ile Cr(III) adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisi

Tablo 3.34. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNP}\text{s-G1-Mu}$ ile Cr(III) adsorpsiyonu için başlangıç konsantrasyonunun etkisine ait veriler

C_0 (mg L^{-1})	C_e (mg L^{-1})	q_e (mg g^{-1})	Adsorpsiyon (%)
25	0,967	24,033	96,132
50	1,942	48,058	96,116
100	2,317	97,683	97,683
150	4,557	145,443	96,962
200	6,306	193,694	96,847

Kinetik Verilerin Değerlendirilmesi: $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNP}\text{s-G1-Mu}$ ile Cr(III) adsorpsiyonuna ait deneysel veriler pseudo birinci derece kinetik denkleminde değerlendirildi. t' 'ye karşı $\log (q_e - q)$ değerleri grafiğe geçirildiğinde Şekil 3.61 elde edildi.

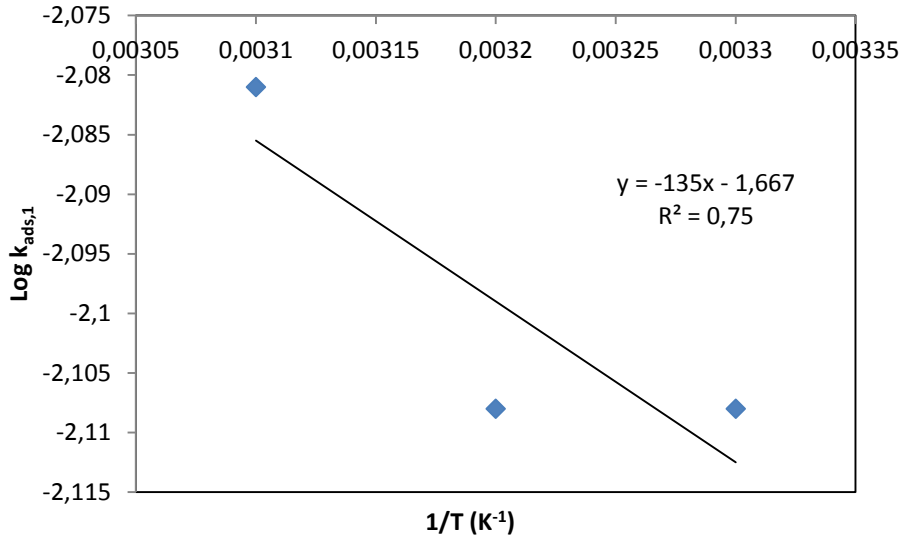


Şekil 3.61. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonuna ait pseudo birinci derece denkleminin grafiği

Bu grafiğin eğiminden Tablo 3.35’de verilen $k_{ads,1}$ değerleri hesaplandı. $k_{ads,1}$ hız sabitleri Arrhenius denkleminde değerlendirilerek Şekil 3.62’de görülen grafik elde edildi. Adsorpsiyonun aktivasyon enerjisi 2,58 kJ mol⁻¹ olarak hesaplandı.

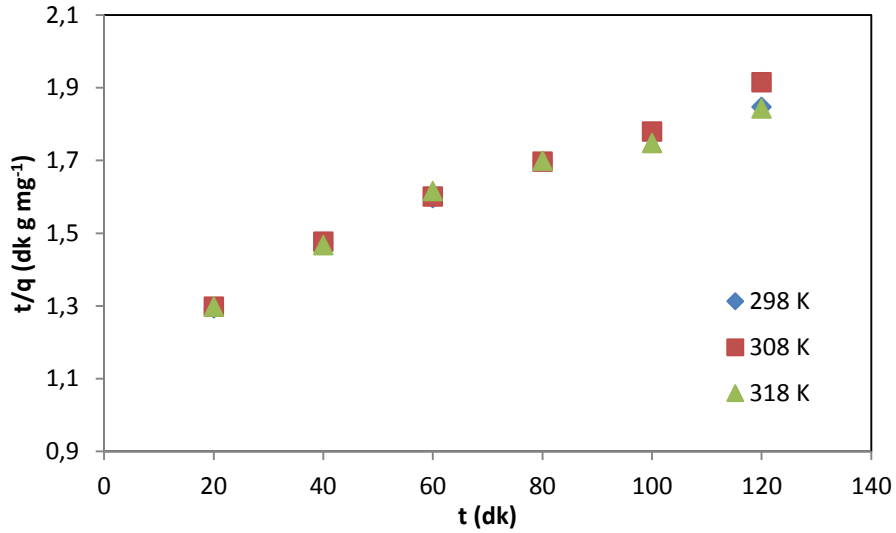
Tablo 3.35. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonuna ait hız sabitleri

T (K)	$k_{ads,1}$ (dk ⁻¹)	$k_{ads,2}$ (g mg ⁻¹ dk ⁻¹)
298	0,0083	$2,7 \cdot 10^{-5}$
308	0,0078	$2,3 \cdot 10^{-5}$
318	0,0078	$2,1 \cdot 10^{-5}$



Şekil 3.62. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Co (II) adsorpsiyonuna ait Arrhenius denkleminin grafiği

Yine Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonuna ait deneysel veriler pseudo ikinci derece kinetik denkleminde değerlendirildi. t' 'ye karşı t/q değerleri grafiğe geçirildiğinde Şekil 3.63 elde edildi. Grafikteki doğruların kayma değerlerinden Tablo 3.35'de verilen her sıcaklıktaki $k_{\text{ads},2}$ hız sabitleri hesaplandı.

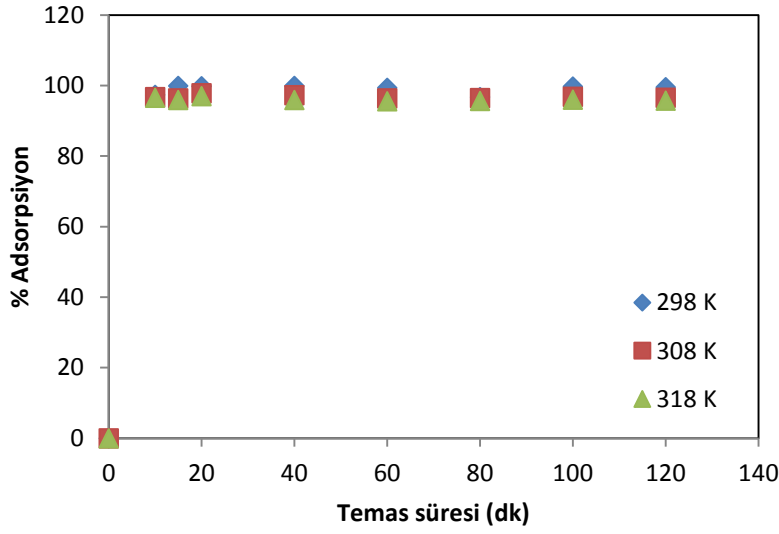


Şekil 3.63. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonuna ait pseudo ikinci derece denkleminin grafiği

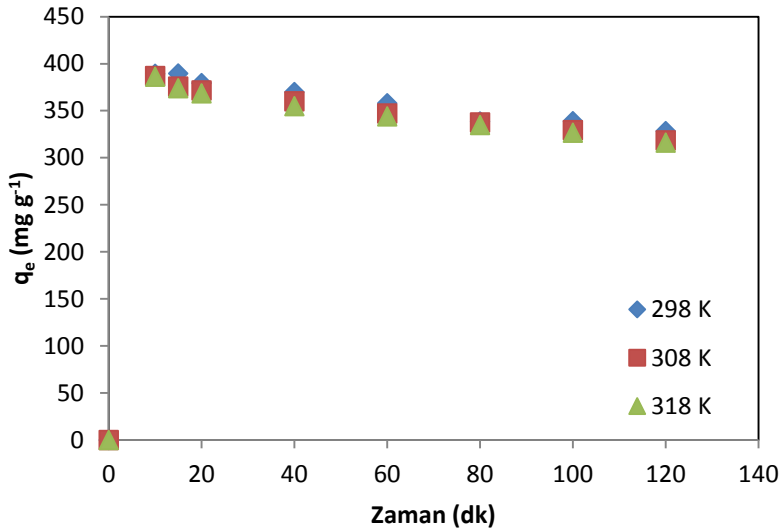
3.9. Fe₃O₄-MNP_s-G2-Mu ile Cr (III) Adsorpsiyonuna Ait Bulgular

Temas Süresi ve Sıcaklığın Etkisi:

Fe₃O₄-MNP_s-G2-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonuna temas süresi ve sıcaklığın etkisinin belirlenmesi için 100 mg L⁻¹'lik 200 mL Cr (III) çözeltisi hazırlandı ve 0,05 g adsorbentle karıştırılıp iki saat boyunca çalkalandı. Şekil 3.64 ve 3.65'de görülen zamana karşı % adsorpsiyon ve zamana karşı q_e grafikleri çizildi. Bu deneylere ait veriler de Tablo 3.36'da verilmektedir.



Şekil 3.64. Fe₃O₄-MNP_s-G2-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonu için sıcaklığa bağlı temas süresi - % Adsorpsiyon grafiği



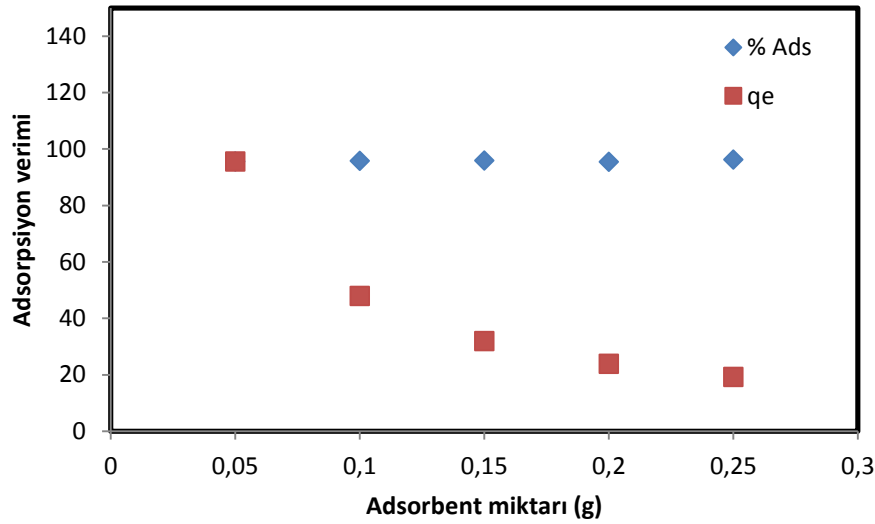
Şekil 3.65. Fe₃O₄-MNP_s-G2-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonu için sıcaklığa bağlı temas süresi – q_e grafiği

Tablo 3.36. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonu için temas süresi-sıcaklık verileri

	298 K			308 K			318 K		
Zaman (dk)	C _e (mgL ⁻¹)	q _e (mgg ⁻¹)	Adsorpsiyon Yüzdesi (%)	C _e (mgL ⁻¹)	q _e (mgg ⁻¹)	Adsorpsiyon Yüzdesi (%)	C _e (mgL ⁻¹)	q _e (mgg ⁻¹)	Adsorpsiyon Yüzdesi (%)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	2,67	389,32	97,33	3,291	386,836	96,709	3,46	386,16	96,54
15	0,114	389,555	99,886	3,658	375,733	96,342	4,125	373,912	95,875
20	0,169	379,357	99,831	2,204	371,624	97,796	2,981	368,672	97,019
40	0,052	369,807	99,948	2,727	359,91	97,273	4,108	354,8	95,892
60	0,594	357,861	99,406	3,591	347,072	96,409	4,421	344,084	95,579
80	3,254	338,611	96,746	3,548	337,582	96,452	4,384	334,656	95,616
100	0,292	339,007	99,708	3,141	329,32	96,859	3,961	326,532	96,039
120	0,455	328,498	99,545	3,452	318,608	96,548	4,221	316,07	95,779

Adsorbent Miktarının Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisini belirlemek için 100 mg L⁻¹'lik 50 mL Cr (III) çözeltilerine 0,05; 0,1; 0,15; 0,25 ve 0,5 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında yarım saat boyunca karıştırıldı. Adsorbent miktarına karşı % adsorpsiyon ve q_e değerleri grafiğe geçirilerek Şekil 3.66 elde edildi. Bu deneylere ait veriler de Tablo 3.37'de verilmektedir.

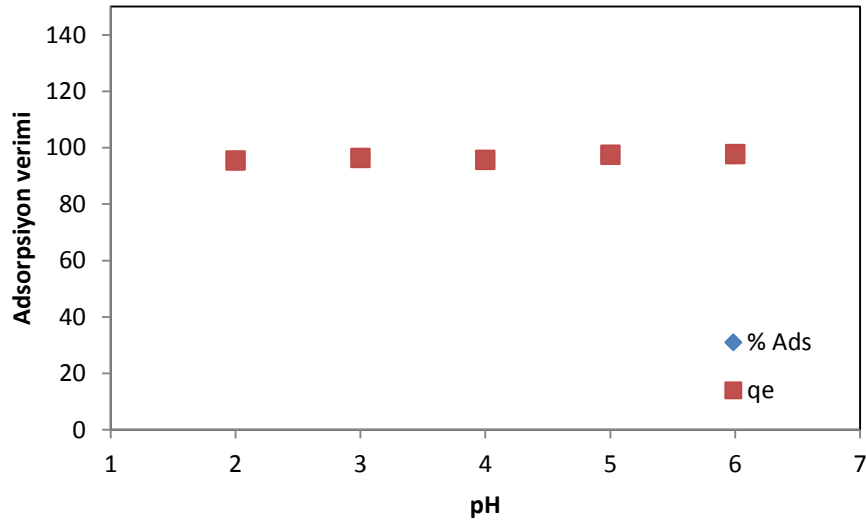
**Şekil 3.66.** Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisi

Tablo 3.37. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonu için adsorbent miktarının etkisine ait veriler

Adsorbent miktarı (g)	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	Adsorpsiyon (%)
0,05	4,39	95,61	95,61
0,1	4,15	47,925	95,85
0,15	4,077	31,974	95,923
0,20	4,436	23,891	95,564
0,25	3,739	19,252	96,261

pH Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonuna pH'ın etkisini belirlemek için 100 mg L⁻¹'lik Cr (III) çözeltilerinin pH'ı 0,1 M HCl ve 0,1 M NaOH yardımıyla 2, 3, 4, 5 ve 6 olarak ayarlandı. Her bir çözeltiye 0,05 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında yarım saat boyunca karıştırıldı. pH değerlerine karşı % adsorpsiyon ve q_e değerleri grafiğe geçirilerek Şekil 3.67 elde edildi. Bu deneylere ait veriler ise Tablo 3.38'de verilmektedir.



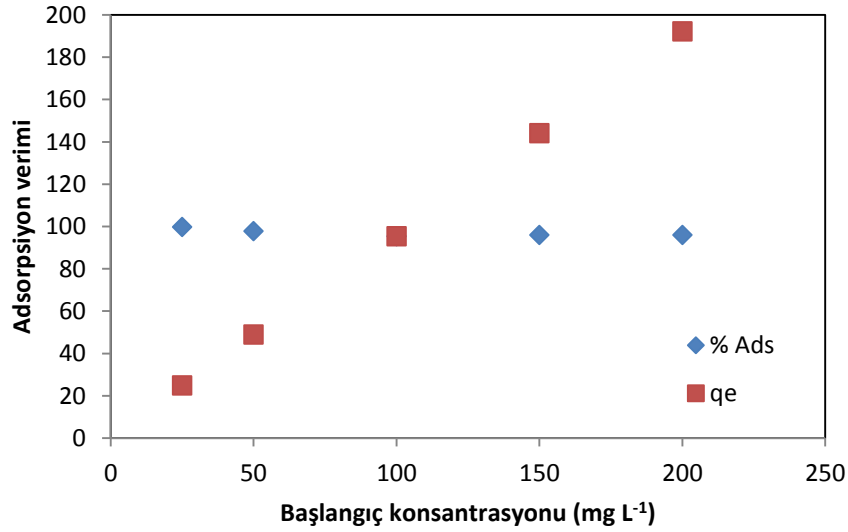
Şekil 3.67. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonuna pH'ın etkisi

Tablo 3.38. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonu için pH'ın etkisine ait veriler

pH	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	Adsorpsiyon (%)
2	4,476	95,524	95,524
3	3,644	96,356	96,356
4	4,35	95,65	95,65
5	2,517	97,483	97,483
6	2,196	97,804	97,804

Başlangıç Konsantrasyonunun Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisini belirlemek için 25, 50, 100, 150 ve 200 mg L⁻¹ konsantrasyonlarında Cr (III) çözeltileri hazırlandı. Farklı konsantrasyondaki her bir çözeltiye 0,05 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında yarım saat boyunca karıştırıldı. Başlangıç konsantrasyonu değerlerine karşı % adsorpsiyon ve q_e değerleri grafiğe geçirilerek Şekil 3.68 elde edildi. Bu deneylere ait veriler de Tablo 3. 39'da verilmektedir.

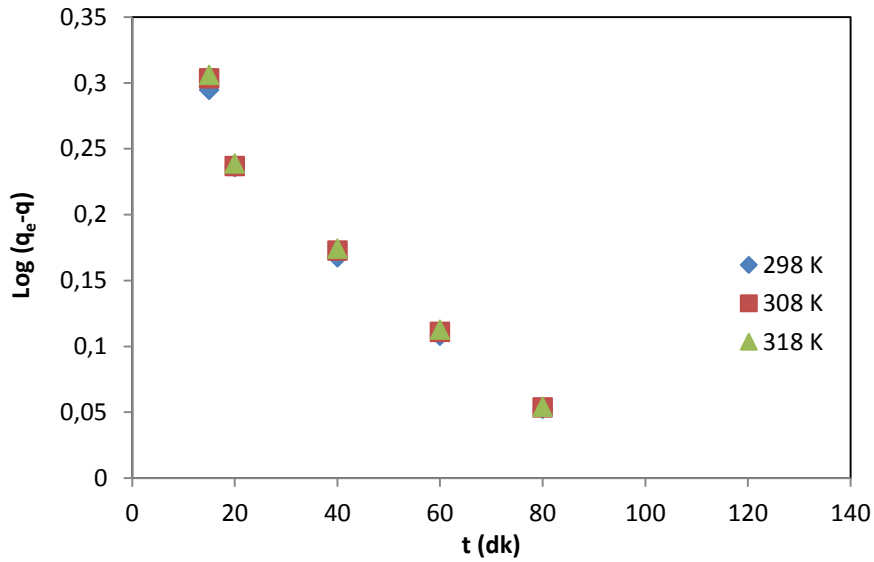


Şekil 3.68. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisi

Tablo 3.39. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonu için başlangıç konsantrasyonunun etkisine ait veriler

C ₀ (mg L ⁻¹)	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	Adsorpsiyon (%)
25	0,029	24,971	99,884
50	1,042	48,958	97,916
100	4,476	95,524	95,524
150	5,828	144,172	96,114
200	7,726	192,274	96,137

Kinetik Verilerin Değerlendirilmesi: Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonuna ait deneysel veriler pseudo birinci derece kinetik denkleminde değerlendirildi. t'ye karşı log (q_e-q) değerleri grafiğe geçirildiğinde Şekil 3.69 elde edildi.

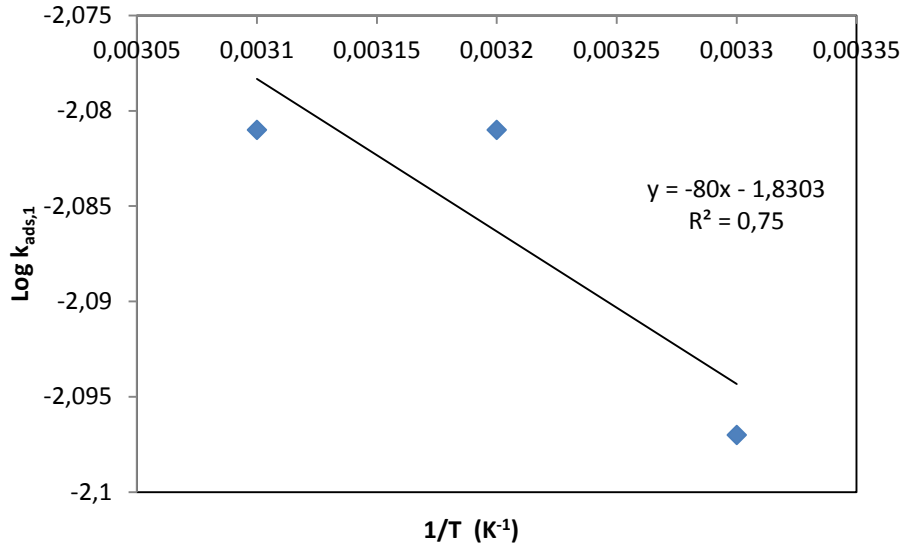


Şekil 3.69. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonuna ait pseudo birinci derece denkleminin grafiği

Bu grafiğin eğiminden üç sıcaklık için hesaplanan $k_{ads,1}$ değerleri Tablo 3.45'de verilmektedir. $k_{ads,1}$ hız sabitleri Arrhenius denkleminde değerlendirilerek Şekil 3.70'de görülen grafik elde edildi. Adsorpsiyonun aktivasyon enerjisi 1,53 kJ mol⁻¹ olarak hesaplandı.

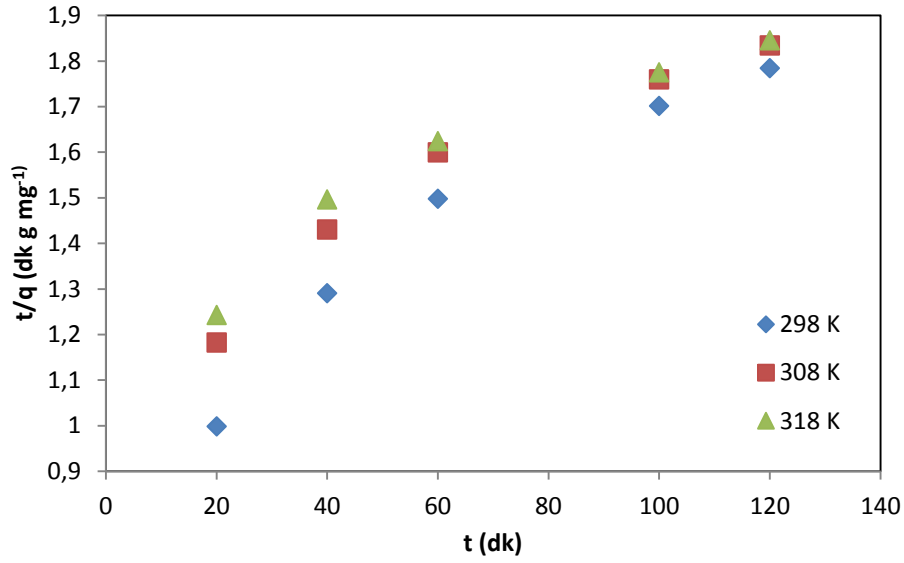
Tablo 3.40. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonuna ait hız sabitleri

T (K)	k _{ads,1} (dk ⁻¹)	k _{ads,2} (g mg ⁻¹ dk ⁻¹)
298	0,0083	5,7.10 ⁻⁵
308	0,0080	3,2.10 ⁻⁵
318	0,0080	2,5.10 ⁻⁵



Şekil 3.70. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonuna ait Arrhenius denkleminin grafiği

Yine Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonuna ait deneysel veriler pseudo ikinci derece kinetik denkleminde değerlendirildi. t'ye karşı t/q değerleri grafiğe geçirildiğinde Şekil 3.71 elde edildi. Grafikteki doğruların kayma değerlerinden Tablo 3.45'de verilen her sıcaklıktaki k_{ads,2} hız sabitleri hesaplandı.

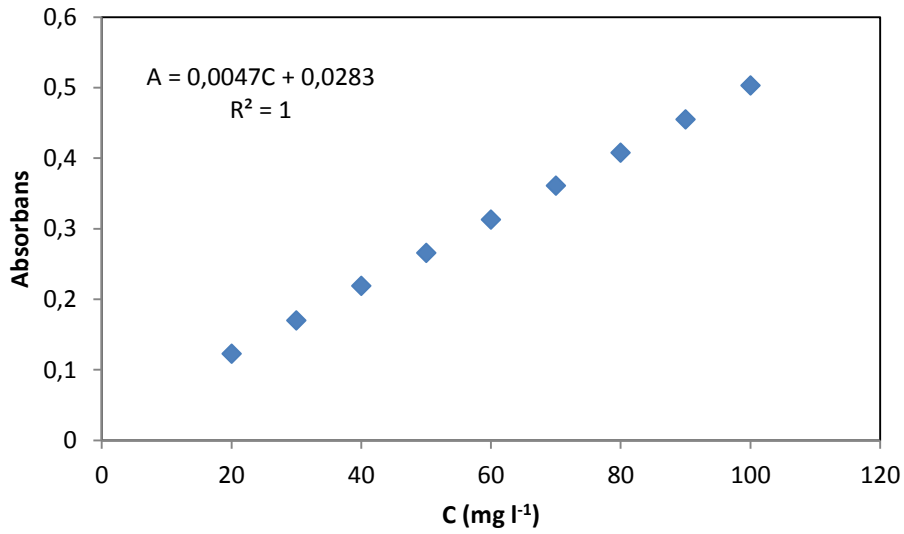


Şekil 3.71. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonuna ait pseudo ikinci derece denkleminin grafiği

3.10. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı Boyarmaddesi Adsorpsiyonuna Ait Bulgular

Çalışma Grafiğinin Belirlenmesi:

Alizarin sarısı boyarmaddesinin maksimum çalışma dalga boyu 385 nm olarak belirlendi. Bu dalga boyunda, farklı miktardaki Alizarin Sarısı derişimlerine karşı ölçülen absorbans değerleri grafiğe geçirilerek Şekil 3.72’de görülen çalışma grafiği çizildi. Tablo 3.41’de çalışma grafiğine ait veriler verilmektedir.



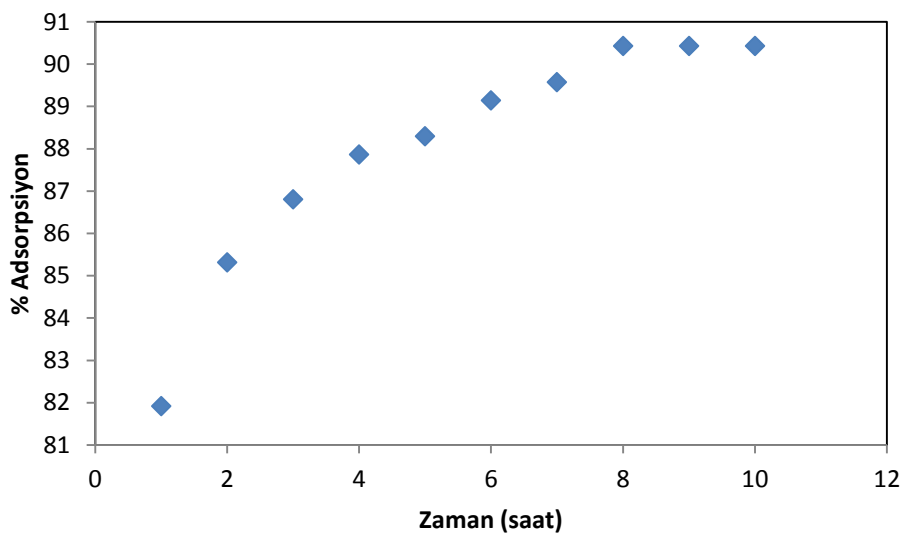
Şekil 3.72. Alizarin sarısı boyar maddesine ait çalışma grafiği

Tablo 3.41. Alizarin Sarısı çalışma grafiğine ait veriler

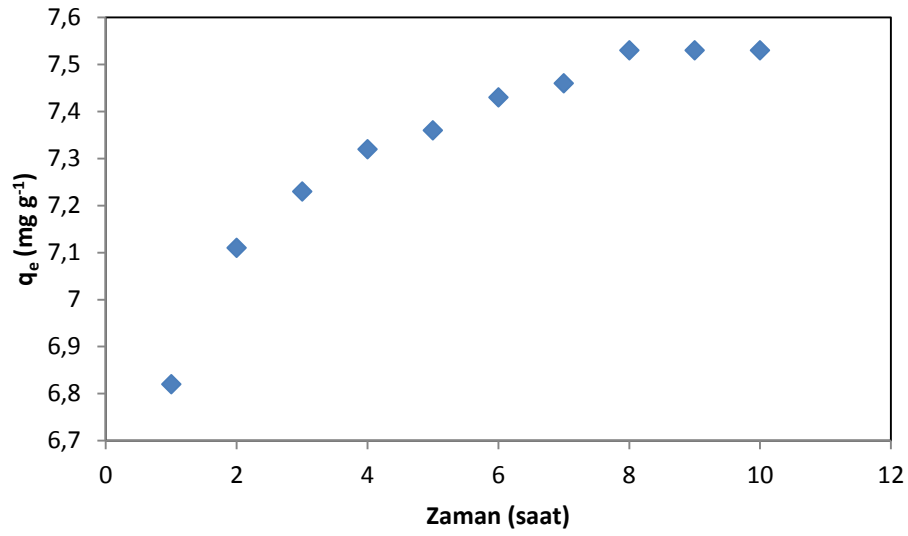
C (mg L ⁻¹)	Absorbans
20	0,123
30	0,17
40	0,219
50	0,266
60	0,313
70	0,361
80	0,408
90	0,455
100	0,503

Temas Süresinin Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna temas süresinin etkisinin belirlenmesi için 100 mg L⁻¹'lik 250 mL Alizarin Sarısı çözeltileri hazırlandı ve 3 g adsorbentle karıştırılıp on saat boyunca 25 °C'de çalkalandı. Farklı zamanlarda çözeltilerden alınan numunelerde kalan boyarmadde konsantrasyonu (C_e) UV-Visible cihazıyla elde edilen absorbans değerlerinin konsantrasyon değerlerine dönüştürülmesiyle belirlendi. C_e değerlerinin ölçümünden sonra adsorplanan boyarmadde konsantrasyonu hesap yoluyla belirlendi. Şekil 3.73 ve 3.74'de sırasıyla zamana karşı % adsorpsiyon ve zamana karşı q_e grafikleri görülmektedir. Tablo 3.42'de ise deneylere ait veriler verilmektedir.



Şekil 3.73. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Alizarin sarısı adsorpsiyonu için temas süresi - % adsorpsiyon grafiği (298 K)



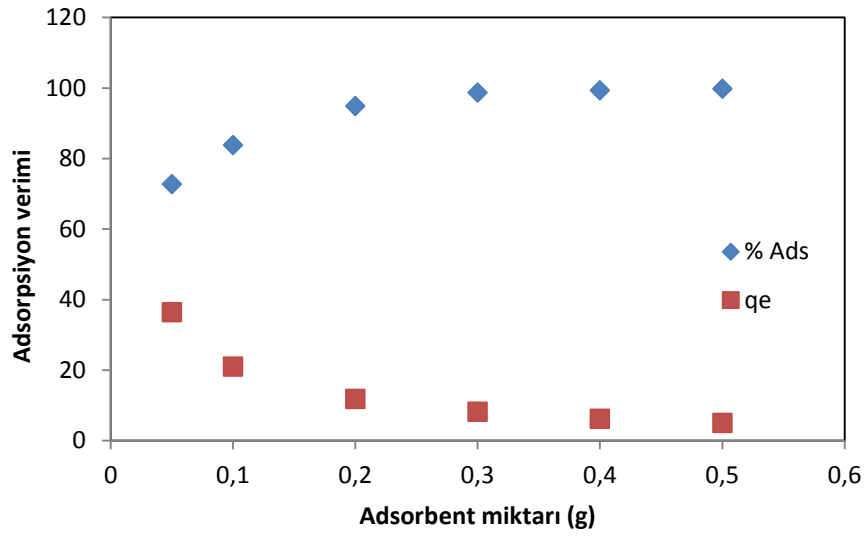
Şekil 3.74. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Alizarin sarısı adsorpsiyonu için temas süresi - q_e grafiği (298 K)

Tablo 3.42. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna ait temas süresi verileri

Zaman (saat)	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	% Adsorpsiyon
1	18,08	6,82	81,92
2	14,68	7,11	85,32
3	13,19	7,23	86,81
4	12,13	7,32	87,87
5	11,7	7,36	88,3
6	10,85	7,43	89,15
7	10,42	7,46	89,58
8	9,57	7,53	90,43
9	9,57	7,53	90,43
10	9,57	7,53	90,43

Adsorbent Miktarının Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisini belirlemek için 100 mg L⁻¹'lik 25 mL Alizarin sarısı çözeltilerine 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 ve 0,5 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında sekiz saat boyunca karıştırıldı. Adsorbent miktarına karşı % adsorpsiyon ve q_e değerleri grafiğe geçirilerek Şekil 3.75 elde edildi. Bu deneylere ait veriler de Tablo 3.43'de verilmektedir.



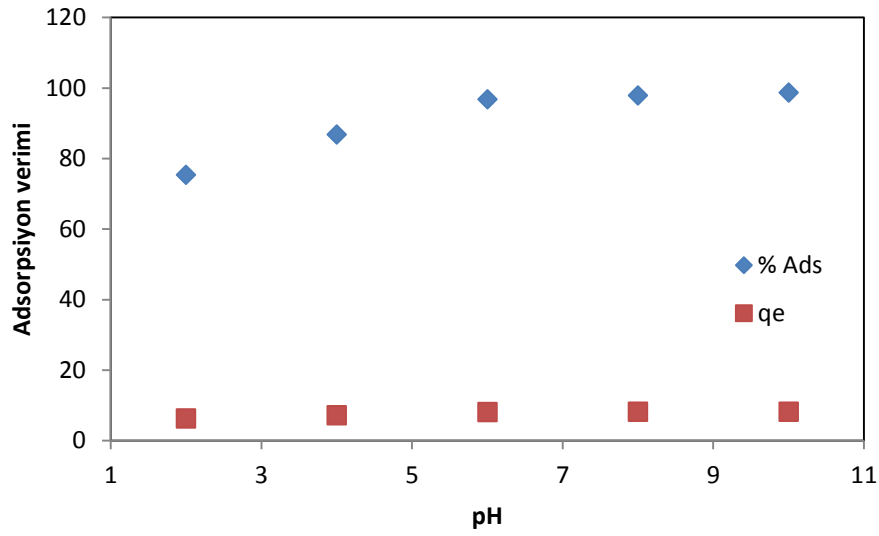
Şekil 3.75. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Alizarın Sarısı adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisi

Tablo 3.43. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Alizarın Sarısı adsorpsiyonuna ait adsorbent miktarı verileri

Adsorbent miktarı (g)	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	% Adsorpsiyon
0,05	27,23	36,38	72,77
0,1	16,17	20,96	83,83
0,2	5,11	11,86	94,89
0,3	1,28	8,23	98,72
0,4	0,63	6,21	99,37
0,5	0,21	4,99	99,79

pH Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Alizarın Sarısı adsorpsiyonuna pH'nın etkisini belirlemek için 100 mg L⁻¹'lik 25 mL Alizarın Sarısı çözeltilerinin pH'ı 0,1 M HCl ve 0,1 M NaOH yardımıyla 2, 4, 6, 8 ve 10 olarak ayarlandı. Her bir çözeltiye 0,3 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında sekiz saat boyunca karıştırıldı. pH değerlerine karşı % adsorpsiyon ve q_e değerleri grafiğe geçirilerek Şekil 3.76 elde edildi. Bu deneylere ait veriler ise Tablo 3.44'de verilmektedir.



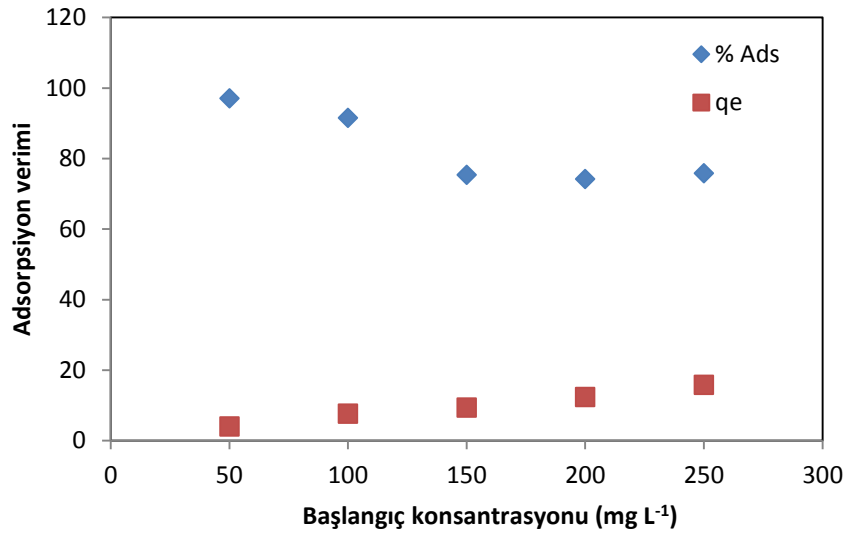
Şekil 3.76. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna pH'nin etkisi

Tablo 3.44. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna ait pH etkisi verileri

pH	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	% Adsorpsiyon
2	24,68	6,277	75,32
4	13,19	7,23	86,81
6	3,19	8,07	96,81
8	2,13	8,15	97,87
10	1,28	8,22	98,72

Başlangıç Konsantrasyonunun Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisini belirlemek için 50, 100, 150, 200 ve 250 mg L⁻¹ konsantrasyonlarında Alizarin Sarısı çözeltileri hazırlandı. Farklı konsantrasyonlardaki her bir çözeltiye 0,3 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında sekiz saat boyunca karıştırıldı. Başlangıç konsantrasyonu değerlerine karşı % adsorpsiyon ve q_e değerleri grafiğe geçirilerek Şekil 3.77 elde edildi. Deneylere ait veriler Tablo 3.45'de verilmektedir.

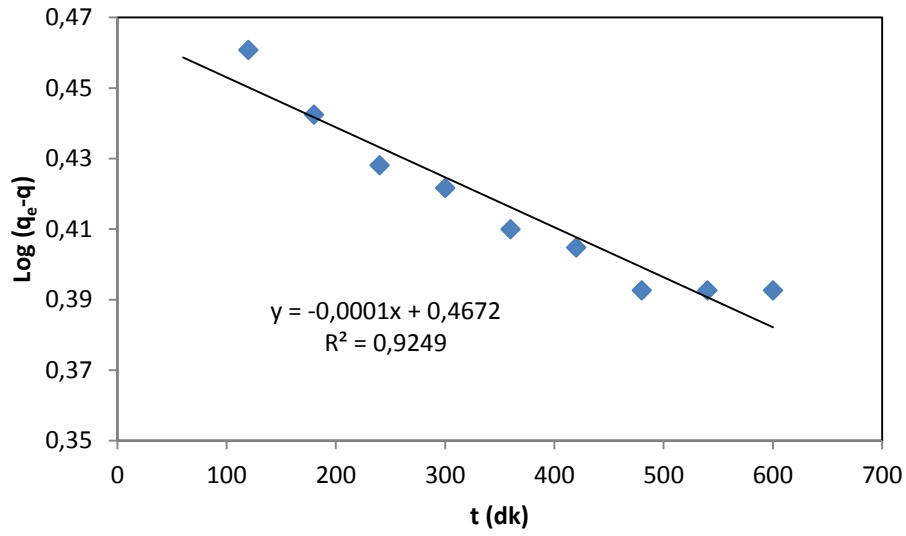


Şekil 3.77. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisi

Tablo 3.45. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna ait başlangıç konsantrasyonu verileri

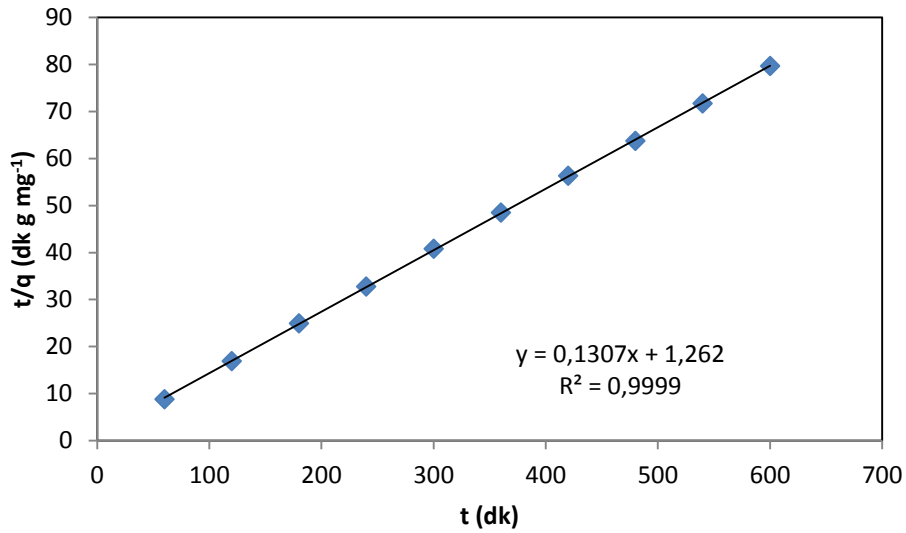
C ₀ (mg L ⁻¹)	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	% Adsorpsiyon
50	1,48	4,04	97,04
100	8,51	7,62	91,49
150	37,02	9,415	75,32
200	51,49	12,37	74,225
250	60,42	15,79	75,808

Kinetik Verilerin Değerlendirilmesi: Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna ait 298 K sıcaklığındaki deneysel veriler pseudo birinci derece kinetik denkleminde değerlendirildi. t'ye karşı log (q_e-q) değerleri grafiğe geçirildiğinde Şekil 3.78 elde edildi. Grafiğin eğiminden 298 K sıcaklığındaki k_{ads,1} hız sabiti 2,3.10⁻⁴ dk⁻¹ olarak hesaplandı.



Şekil 3.78. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna ait pseudo birinci derece denklem grafiği (298 K)

Yine Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Alizarin sarısı adsorpsiyonuna ait deneysel veriler pseudo ikinci derece kinetik denkleminde değerlendirildi. t'ye karşı t/q değerleri grafiğe geçirildiğinde Şekil 3.79 elde edildi. Grafikteki doğrunun kayma değerinden 298 K sıcaklığındaki $k_{ads,2}$ hız sabiti 0,01 g mg⁻¹ dk⁻¹ olarak hesaplandı.



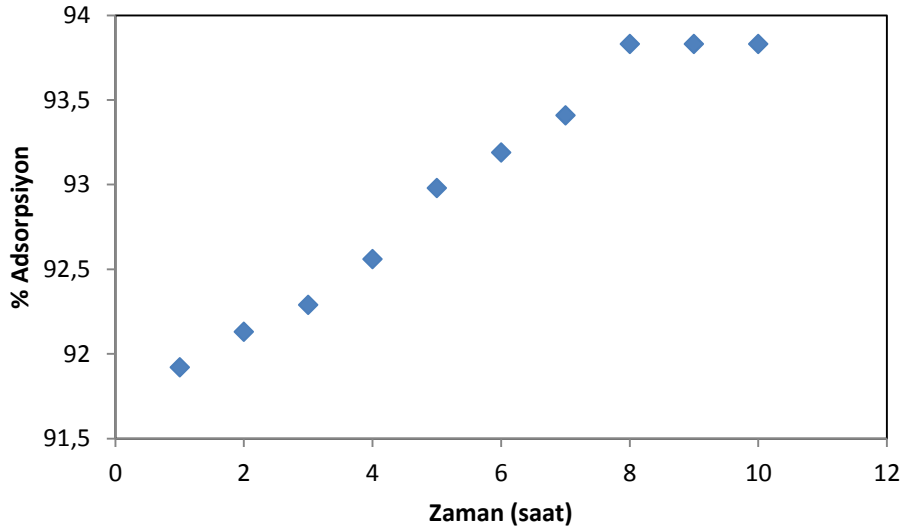
Şekil 3.79. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna ait pseudo ikinci derece denklem grafiği (298 K)

3.11. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Alizarin Sarısı Boyarmaddesi Adsorpsiyonuna Ait

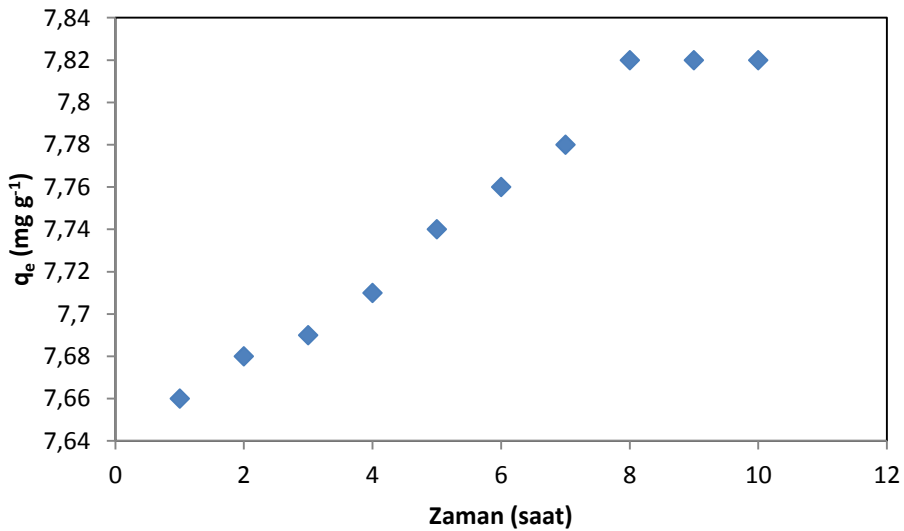
Bulgular

Temas Süresinin Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna temas süresinin etkisinin belirlenmesi için 100 mg L⁻¹'lik 250 mL Alizarin Sarısı çözeltileri hazırlandı ve 3 g adsorbentle karıştırılıp on saat boyunca 25 °C'de çalkalandı. Şekil 3.80 ve 3.81'de sırasıyla zamana karşı % adsorpsiyon ve zamana karşı q_e grafikleri görülmektedir. Tablo 3.46'da ise deneylere ait veriler verilmektedir.



Şekil 3.80. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Alizarin sarısı adsorpsiyonu için temas süresi - % adsorpsiyon grafiği (298 K)



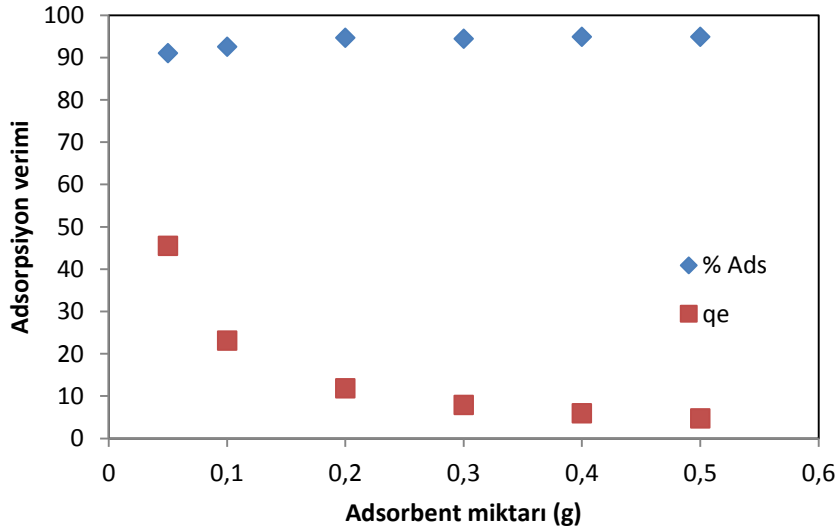
Şekil 3.81. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Alizarin sarısı adsorpsiyonu için temas süresi - q_e grafiği (298 K)

Tablo 3.46. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna ait temas süresi verileri

Zaman (saat)	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	% Adsorpsiyon
1	8,08	7,66	91,92
2	7,87	7,68	92,13
3	7,71	7,69	92,29
4	7,44	7,71	92,56
5	7,02	7,74	92,98
6	6,81	7,76	93,19
7	6,59	7,78	93,41
8	6,17	7,82	93,83
9	6,17	7,82	93,83
10	6,17	7,82	93,83

Adsorbent Miktarının Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisini belirlemek için 100 mg L⁻¹'lik 25 mL Alizarin sarısı çözeltilerine 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 ve 0,5 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında sekiz saat boyunca karıştırıldı. Adsorbent miktarına karşı % adsorpsiyon ve q_e değerleri grafiğe geçirilerek Şekil 3.82 elde edildi. Deneylere ait veriler ise Tablo 3.47'de verilmektedir.



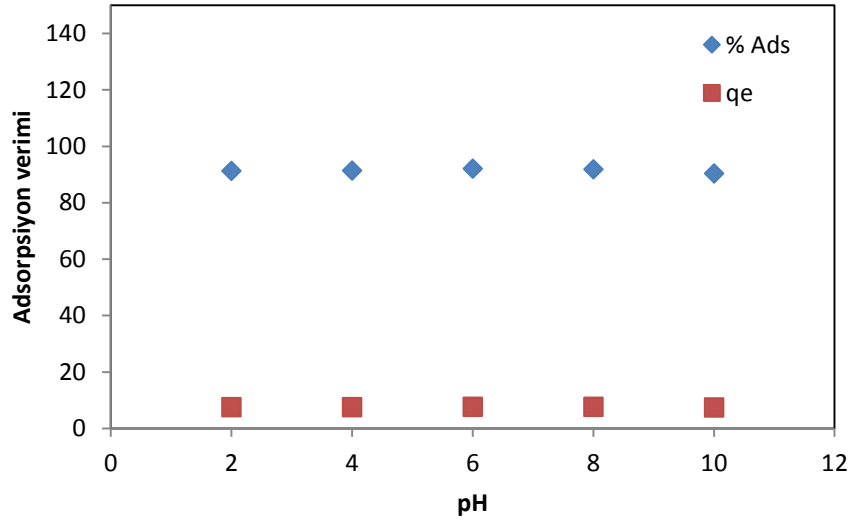
Şekil 3.82. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Alizarin sarısı adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisi

Tablo 3.47. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Alizarın Sarısı adsorpsiyonuna ait adsorbent miktarı verileri

Adsorbent miktarı (g)	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	% Adsorpsiyon
0,05	8,93	45,535	91,07
0,1	7,44	23,14	92,56
0,2	5,32	11,835	94,68
0,3	5,53	7,872	94,47
0,4	5,11	5,93	94,89
0,5	5,11	4,74	94,89

pH Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Alizarın Sarısı adsorpsiyonuna pH'nın etkisini belirlemek için 100 mg L⁻¹'lik 25 mL Alizarın Sarısı çözeltilerinin pH'ı 0,1 M HCl ve 0,1 M NaOH yardımıyla 2, 4, 6, 8 ve 10 olarak ayarlandı. Her bir çözeltiye 0,3 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında sekiz saat karıştırıldı. pH değerlerine karşı % adsorpsiyon ve q_e değerleri grafiğe geçirilerek Şekil 3.83'deki grafik elde edildi. Bu deneylere ait veriler de Tablo 3.48'de verilmektedir.



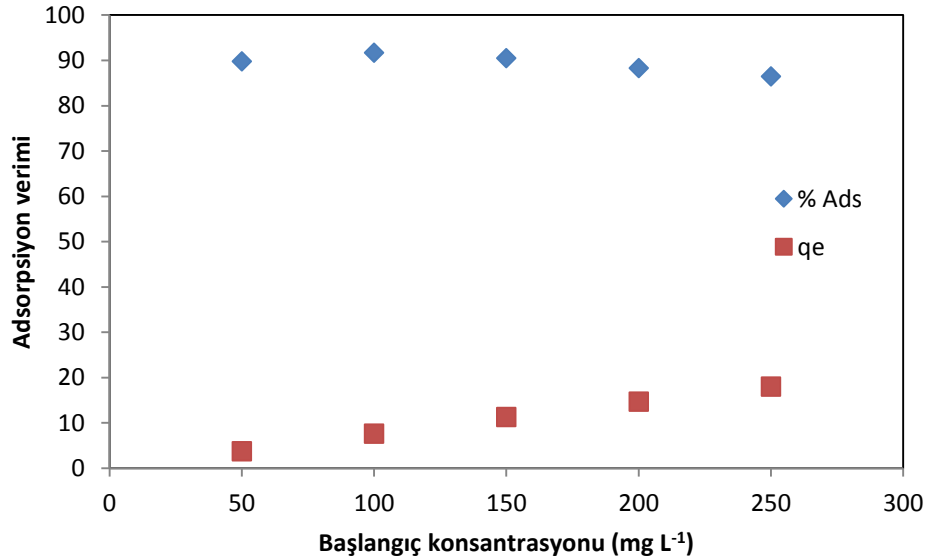
Şekil 3.83. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Alizarın Sarısı adsorpsiyonuna pH'nın etkisi

Tablo 3.48. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna ait pH etkisi verileri

pH	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	% Adsorpsiyon
2	8,72	7,6	91,28
4	8,51	7,62	91,49
6	7,87	7,67	92,13
8	8,08	7,66	91,92
10	9,57	7,53	90,43

Başlangıç Konsantrasyonunun Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisini belirlemek için 50, 100, 150, 200 ve 250 mg L⁻¹ konsantrasyonlarında Alizarin Sarısı çözeltileri hazırlandı. Farklı konsantrasyonlardaki her bir çözeltiliye 0,3 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında sekiz saat karıştırıldı. Başlangıç konsantrasyonu değerlerine karşı % adsorpsiyon ve q_e değerleri grafiğe geçirilerek Şekil 3.84’de görülen grafik elde edildi. Bu deneylere ait veriler ise Tablo 3.49’da verilmektedir.

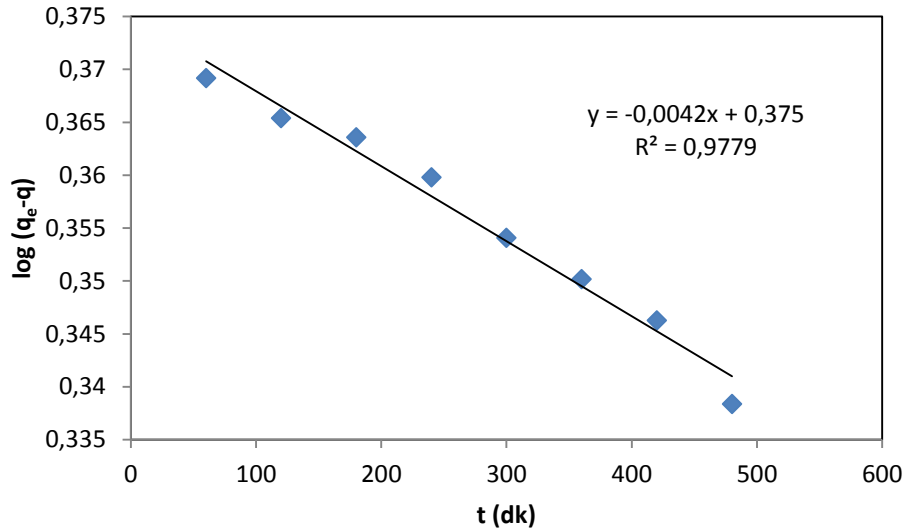


Şekil 3.84. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisi

Tablo 3.49. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna ait başlangıç konsantrasyonu verileri

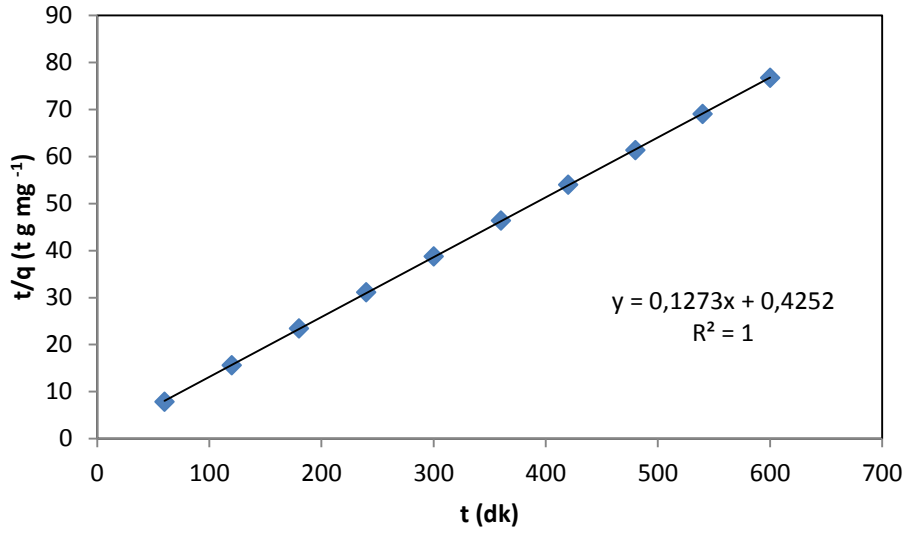
C ₀ (mg L ⁻¹)	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	% Adsorpsiyon
50	5,11	3,74	89,78
100	8,29	7,64	91,71
150	14,25	11,31	90,5
200	23,4	14,71	88,3
250	33,83	18,014	86,448

Kinetik Verilerin Değerlendirilmesi: Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Alizarin sarısı adsorpsiyonuna ait 298 K sıcaklığındaki deneysel veriler pseudo birinci derece kinetik denkleminde değerlendirildi. t'ye karşı log (q_e-q) değerleri grafiğe geçirildiğinde Şekil 3.85 elde edildi. Grafiğin eğiminden 298 K sıcaklığındaki k_{ads,1} hız sabiti 9,6. 10⁻³ dk⁻¹ olarak hesaplandı.



Şekil 3.85. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna ait pseudo birinci derece denklem grafiği (298 K)

Yine Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Alizarin sarısı adsorpsiyonuna ait deneysel veriler pseudo ikinci derece kinetik denkleminde değerlendirildi. t'ye karşı t/q değerleri grafiğe geçirilerek Şekil 3.86 elde edildi. Grafikteki doğrunun kayma değerinden 298 K sıcaklığındaki k_{ads,2} hız sabiti 0,038 g mg⁻¹ dk⁻¹ olarak hesaplandı.

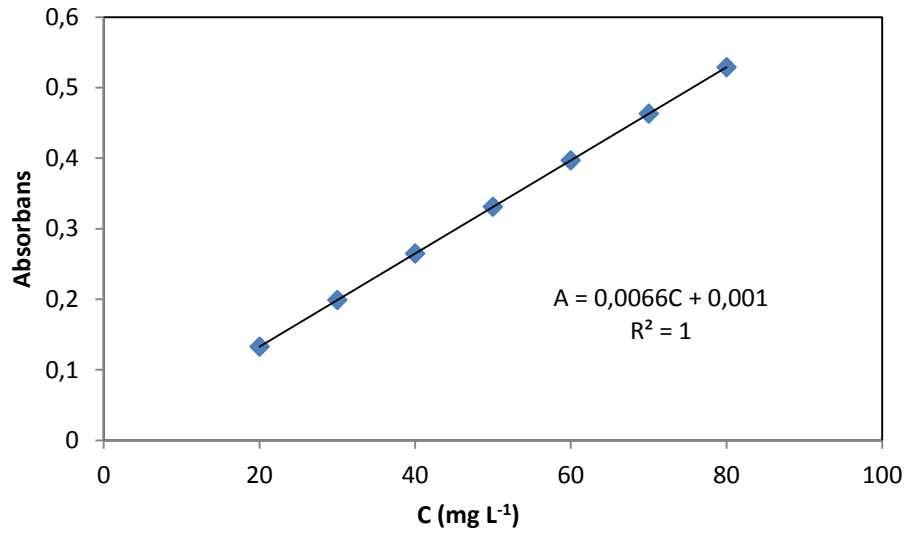


Şekil 3.86. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna ait pseudo ikinci derece denklem grafiği (298 K)

3.12. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T Boyarmaddesi Adsorpsiyonuna Ait Bulgular

Çalışma Grafiğinin Belirlenmesi:

Eriokrom Siyahı T boyarmaddesinin maksimum çalışma dalga boyu 620 nm olarak belirlendi. Bu dalga boyunda, farklı miktardaki Eriokrom Siyahı T derişimlerine karşı ölçülen absorbans değerleri grafiğe geçirilerek Şekil 3.87’de görülen çalışma grafiği çizildi. Çalışma grafiğine ait veriler de Tablo 3.50’de verilmektedir.



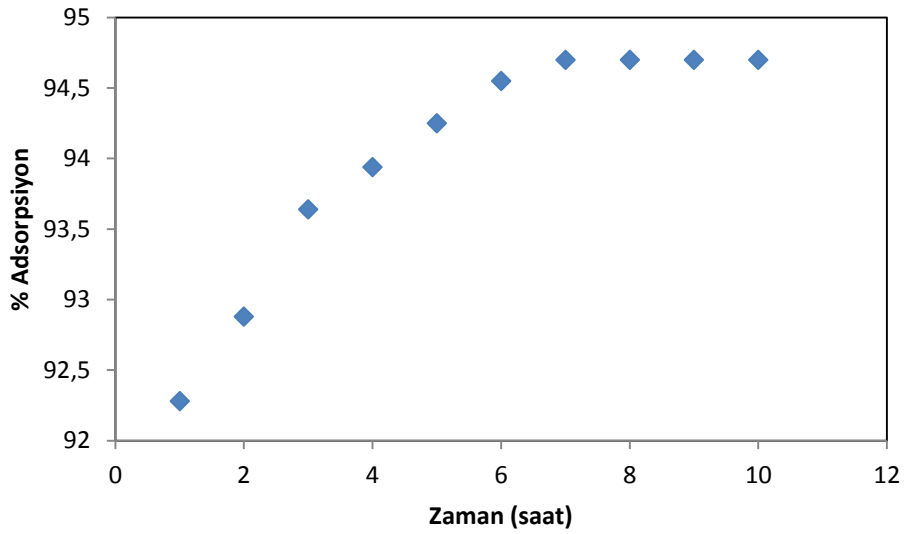
Şekil 3.87. Eriokrom Siyahı T boyar maddesine ait çalışma grafiği

Tablo 3.50. Eriokrom Siyahı T çalışma grafiğine ait veriler

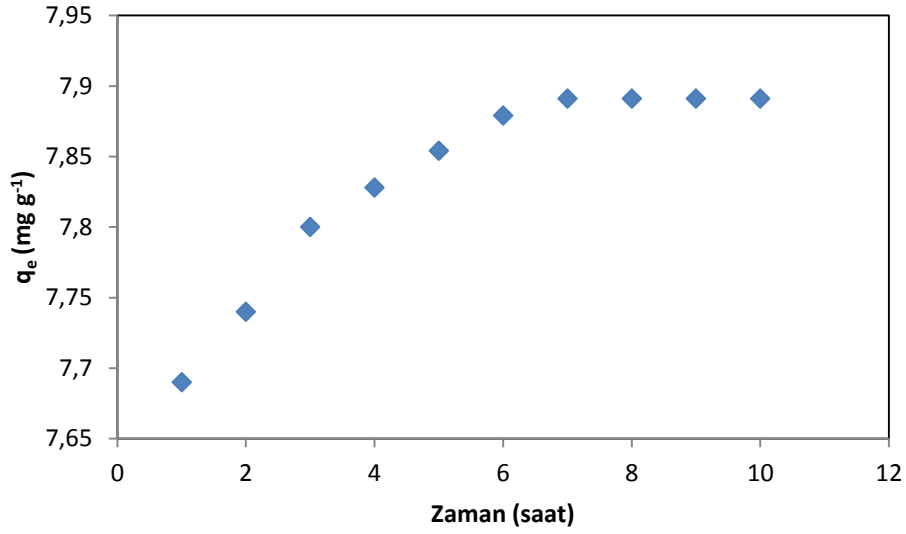
C (mg L ⁻¹)	Absorbans
20	0,133
30	0,199
40	0,265
50	0,331
60	0,397
70	0,463
80	0,529

Temas Süresinin Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna temas süresinin etkisinin belirlenmesi için 100 mg L⁻¹'lik 250 mL Eriokrom Siyahı T çözeltileri hazırlandı ve 3 g adsorbentle karıştırılıp on saat boyunca 25 °C'de çalkalandı. Şekil 3.88 ve 3.89'da sırasıyla zamana karşı % adsorpsiyon ve zamana karşı q_e grafikleri görülmektedir. Tablo 3.51'de ise deneylere ait veriler verilmektedir.



Şekil 3.88. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonu için temas süresi - % adsorpsiyon grafiği (298 K)



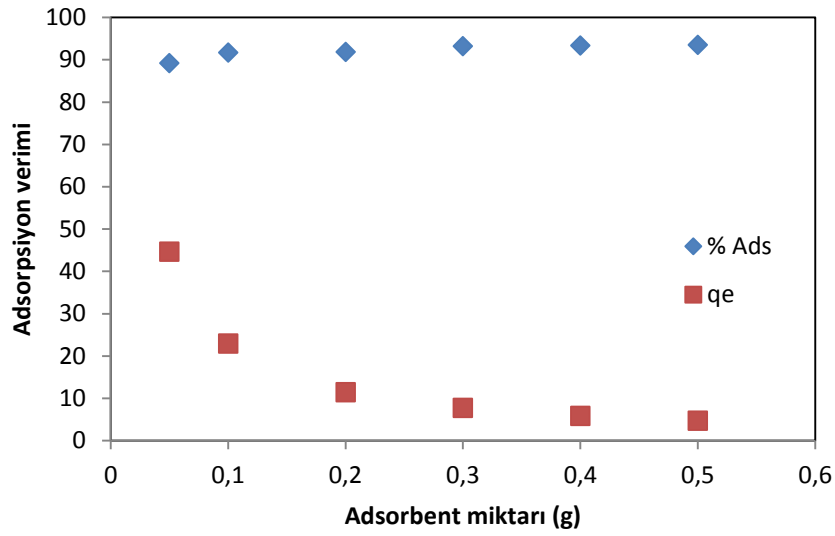
Şekil 3.89. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonu için temas süresi - q_e grafiği (298 K)

Tablo 3.51. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna ait temas süresi verileri

Zaman (saat)	C_e (mg L ⁻¹)	q_e (mg g ⁻¹)	% Adsorpsiyon
1	7,72	7,69	92,28
2	7,12	7,74	92,88
3	6,36	7,8	93,64
4	6,06	7,828	93,94
5	5,75	7,854	94,25
6	5,45	7,879	94,55
7	5,3	7,891	94,7
8	5,3	7,891	94,7
9	5,3	7,891	94,7
10	5,3	7,891	94,7

Adsorbent Miktarının Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisini belirlemek için 100 mg L⁻¹'lik 25 mL Eriokrom Siyahı T çözeltilerine 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 ve 0,5 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında sekiz saat boyunca karıştırıldı. Adsorbent miktarına karşı % adsorpsiyon ve q_e değerleri grafiğe geçirilerek Şekil 3.90'da görülen grafik elde edildi. Bu deneylere ait veriler Tablo 3.52'de verilmektedir.



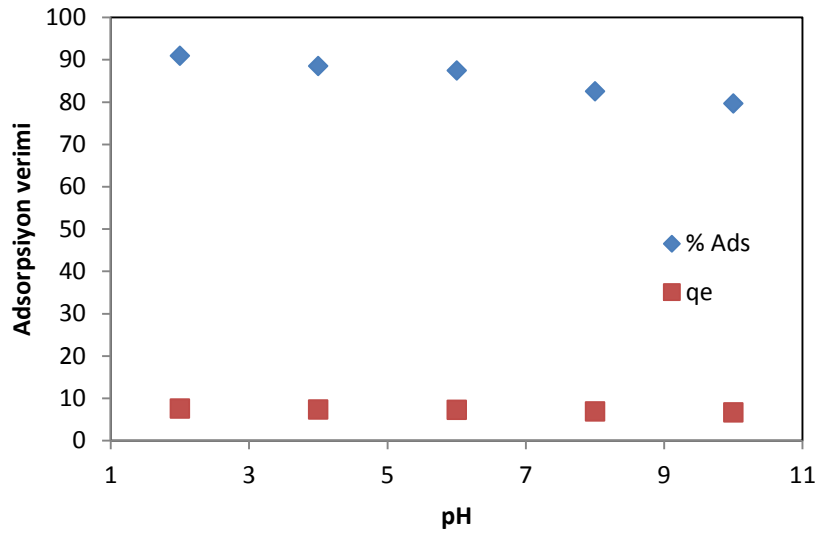
Şekil 3.90. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisi

Tablo 3.52. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna ait adsorbent miktarı verileri

Adsorbent miktarı (g)	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	% Adsorpsiyon
0,05	10,76	44,62	89,24
0,1	8,33	22,917	91,67
0,2	8,18	11,477	91,82
0,3	6,82	7,765	93,18
0,4	6,66	5,83	93,34
0,5	6,51	4,674	93,49

pH Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna pH'nın etkisini belirlemek için 100 mg L⁻¹'lik 25 mL Eriokrom Siyahı T çözeltilerinin pH'ı 0,1 M HCl ve 0,1 M NaOH yardımıyla 2, 4, 6, 8 ve 10 olarak ayarlandı. Her bir çözeltiye 0,3 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında sekiz saat karıştırıldı. pH değerlerine karşı % adsorpsiyon ve q_e değerleri grafiğe geçirilerek Şekil 3.91'de görülen grafik elde edildi. Bu deneylere ait veriler Tablo 3.53'de verilmektedir.



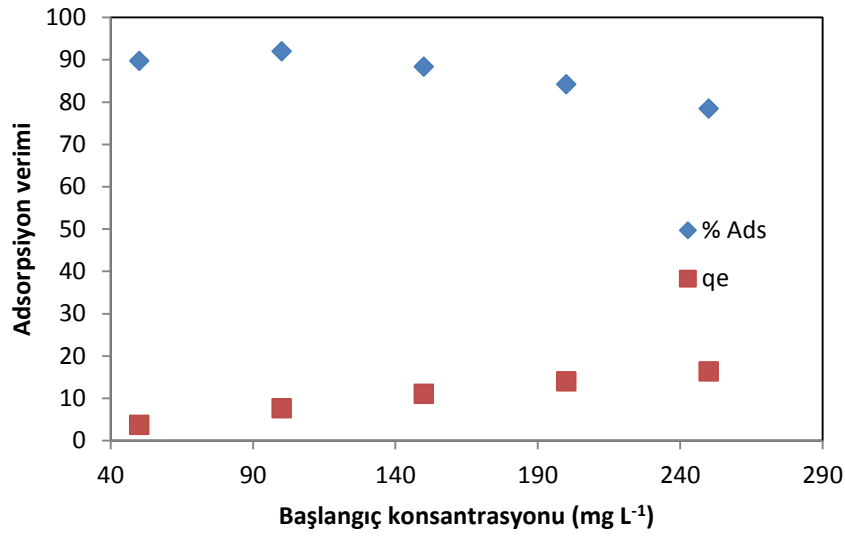
Şekil 3.91. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna pH'nin etkisi

Tablo 3.53. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna ait pH etkisi verileri

pH	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	% Adsorpsiyon
2	9,09	7,575	90,91
4	11,51	7,374	88,49
6	12,57	7,285	87,43
8	17,42	6,881	82,58
10	20,3	6,641	79,7

Başlangıç Konsantrasyonunun Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisini belirlemek için 50, 100, 150, 200 ve 250 mg L⁻¹ konsantrasyonlarında Eriokrom Siyahı T çözeltileri hazırlandı. Farklı konsantrasyondaki her bir çözeltiliye 0,3 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında sekiz saat karıştırıldı. Başlangıç konsantrasyonu değerlerine karşı % adsorpsiyon ve q_e değerleri grafiğe geçirilerek Şekil 3.92'de görülen grafik elde edildi. Deneylere ait veriler Tablo 3.54'de verilmektedir.

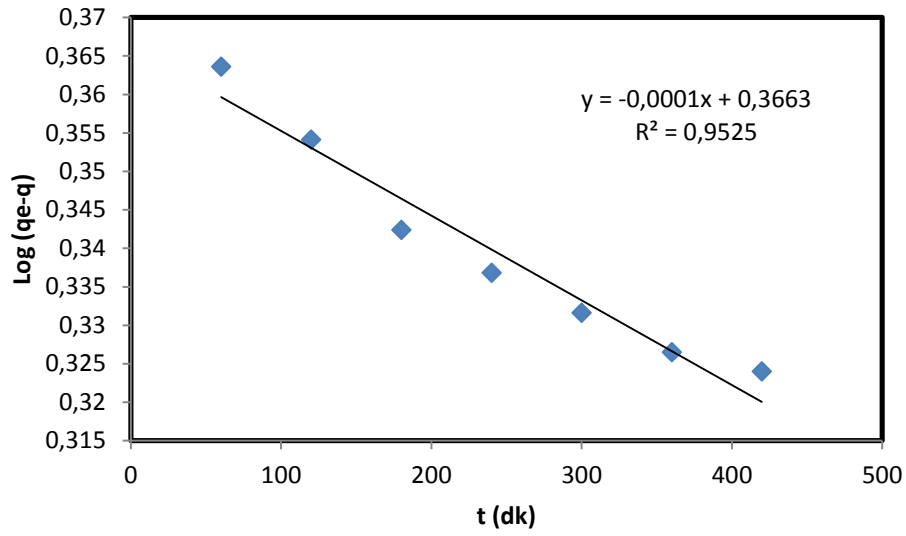


Şekil 3.92. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisi

Tablo 3.54. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna ait başlangıç konsantrasyonu verileri

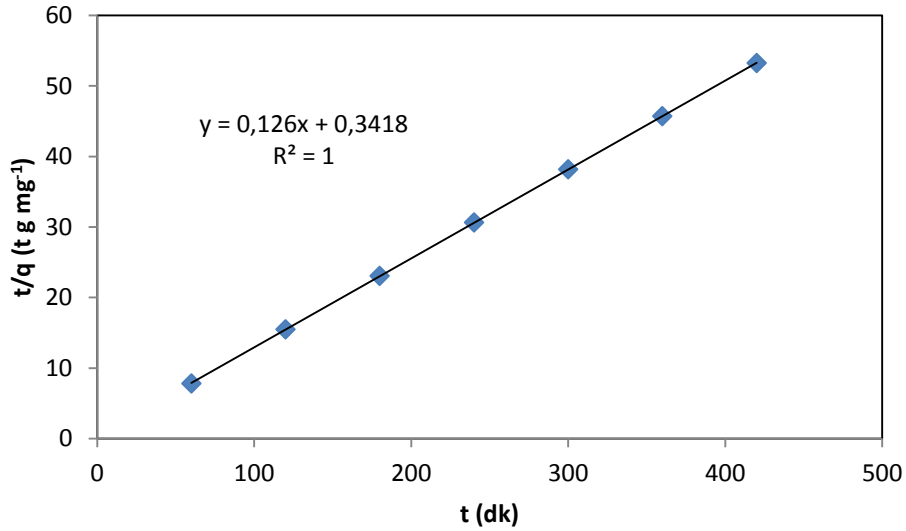
C ₀ (mg L ⁻¹)	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	% Adsorpsiyon
50	5,15	3,737	89,7
100	8,03	7,66	91,97
150	17,42	11,048	88,38
200	31,51	14,04	84,245
250	53,93	16,339	78,428

Kinetik Verilerin Değerlendirilmesi: Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı adsorpsiyonuna ait 298 K sıcaklığındaki deneysel veriler pseudo birinci derece kinetik denkleminde değerlendirildi. t'ye karşı log (q_e-q) değerleri grafiğe geçirildiğinde Şekil 3.93 elde edildi. Grafiğin eğiminden 298 K sıcaklığındaki k_{ads,1} hız sabiti 2,3. 10⁻⁴ dk⁻¹ olarak hesaplandı.



Şekil 3.93. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı adsorpsiyonuna ait pseudo birinci derece denklem grafiği (298 K)

Yine Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı adsorpsiyonuna ait deneysel veriler pseudo ikinci derece kinetik denkleminde değerlendirildi. t 'ye karşı t/q değerleri grafiğe geçirildiğinde Şekil 3.94 elde edildi. Grafikteki doğrunun kayma değerinden 298 K sıcaklığındaki $k_{\text{ads},2}$ hız sabiti $0,046 \text{ g mg}^{-1} \text{ dk}^{-1}$ olarak hesaplandı.

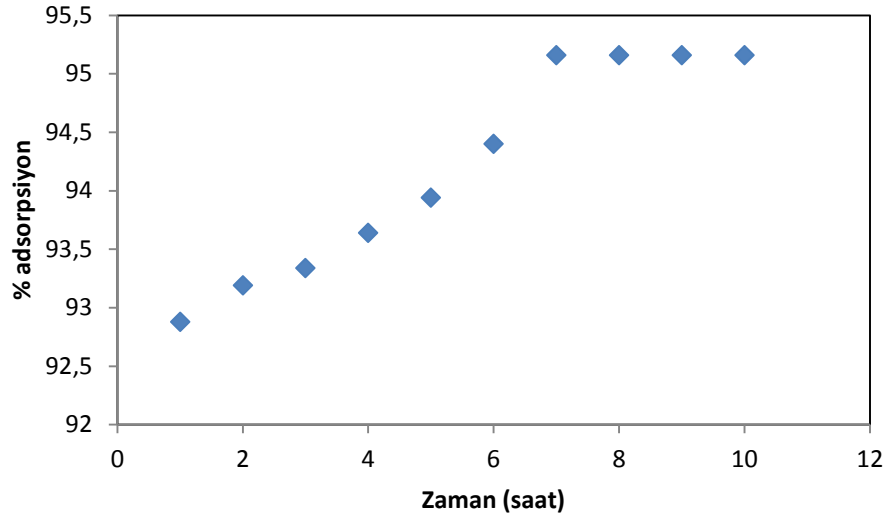


Şekil 3.94. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı adsorpsiyonuna ait pseudo ikinci derece denklem grafiği (298 K)

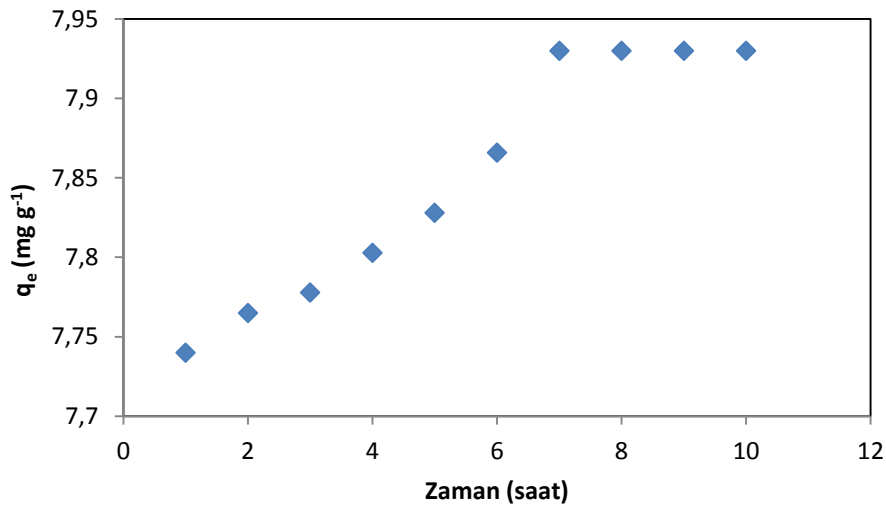
3.13. Fe₃O₄-MNP_s-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T Boyarmaddesi Adsorpsiyonuna Ait Bulgular

Temas Süresinin Etkisi:

Fe₃O₄-MNP_s-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna temas süresinin etkisinin belirlenmesi için 100 mg L⁻¹'lik 250 mL Eriokrom Siyahı T çözeltileri hazırlandı ve 3 g adsorbentle karıştırılıp on saat boyunca 25 °C'de çalkalandı. Şekil 3.95 ve 3.96'da sırasıyla zamana karşı % adsorpsiyon ve zamana karşı q_e grafikleri görülmektedir. Tablo 3.55'de ise deneylere ait veriler verilmektedir.



Şekil 3.95. Fe₃O₄-MNP_s-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonu için temas süresi - % adsorpsiyon grafiği (298 K)



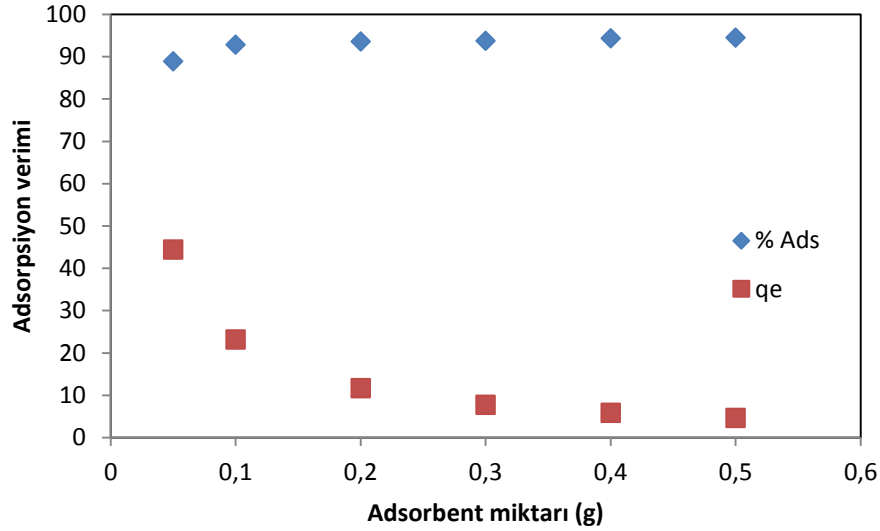
Şekil 3.96. Fe₃O₄-MNP_s-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonu için temas süresi - q_e grafiği (298 K)

Tablo 3.55. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna ait temas süresi verileri

Zaman (saat)	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	% Adsorpsiyon
1	7,12	7,74	92,88
2	6,81	7,765	93,19
3	6,66	7,778	93,34
4	6,36	7,803	93,64
5	6,06	7,828	93,94
6	5,6	7,866	94,4
7	4,84	7,93	95,16
8	4,84	7,93	95,16
9	4,84	7,93	95,16
10	4,84	7,93	95,16

Adsorbent Miktarının Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisini belirlemek için 100 mg L⁻¹'lik 25 mL Eriokrom Siyahı T çözeltilerine 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 ve 0,5 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında sekiz saat karıştırıldı. Adsorbent miktarına karşı % adsorpsiyon ve q_e değerleri grafiğe geçirilerek Şekil 3.97 elde edildi. Bu deneylere ait veriler de Tablo 3.56'da verilmektedir.



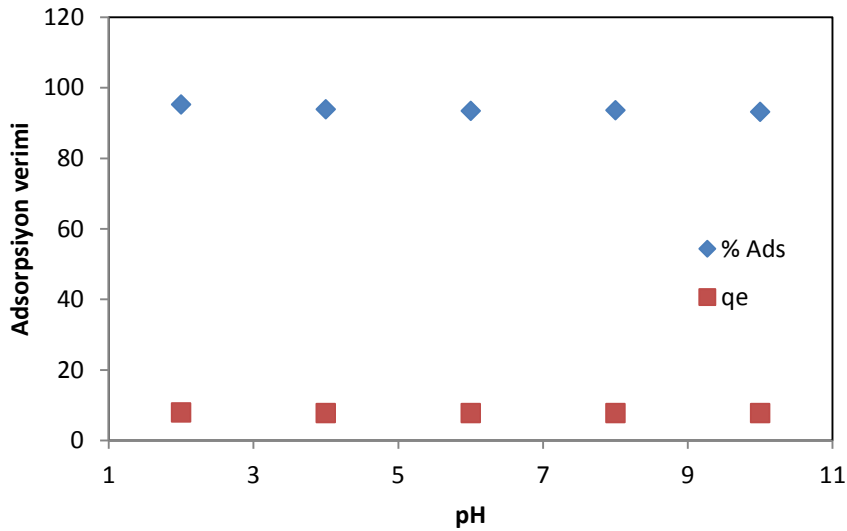
Şekil 3.97. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna adsorbent miktarının etkisi

Tablo 3.56. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna ait adsorbent miktarı verileri

Adsorbent miktarı (g)	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	% Adsorpsiyon
0,05	11,06	44,47	88,94
0,1	7,12	23,22	92,88
0,2	6,36	11,705	93,64
0,3	6,21	7,815	93,79
0,4	5,61	5,89	94,39
0,5	5,45	4,72	94,55

pH Etkisi:

Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna pH'ın etkisini belirlemek için 100 mg L⁻¹'lik 25 mL Eriokrom Siyahı T çözeltilerinin pH'ı 0,1 M HCl ve 0,1 M NaOH yardımıyla 2, 4, 6, 8 ve 10 olarak ayarlandı. Her bir çözeltiliye 0,3 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında sekiz saat karıştırıldı. pH değerlerine karşı % adsorpsiyon ve q_e değerleri grafiğe geçirilerek Şekil 3.98'de görülen grafik elde edildi. Bu deneylere ait veriler ise Tablo 3.57'de verilmektedir.



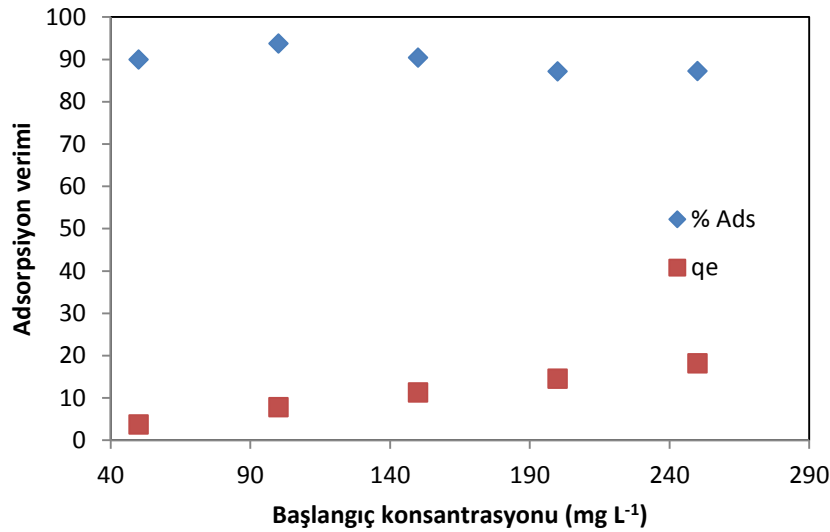
Şekil 3.98. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna pH'ın etkisi

Tablo 3.57. Fe₃O₄-MNP_s-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna ait pH etkisi verileri

pH	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	% Adsorpsiyon
2	4,7	7,94	95,3
4	6,06	7,83	93,94
6	6,36	7,8	93,49
8	6,51	7,79	93,64
10	6,82	7,765	93,18

Başlangıç Konsantrasyonunun Etkisi:

Fe₃O₄-MNP_s-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisini belirlemek için 50, 100, 150, 200 ve 250 mg L⁻¹ konsantrasyonlarında Eriokrom Siyahı T çözeltileri hazırlandı. Farklı konsantrasyonlardaki her bir çözeltiye 0,3 g adsorbent ilave edilerek oda sıcaklığında sekiz saat karıştırıldı. Başlangıç konsantrasyonu değerlerine karşı % adsorpsiyon ve q_e değerleri grafiğe geçirilerek Şekil 3.99’da görülen grafik elde edildi. Bu deneylere ait veriler de Tablo 3.58’de verilmektedir.

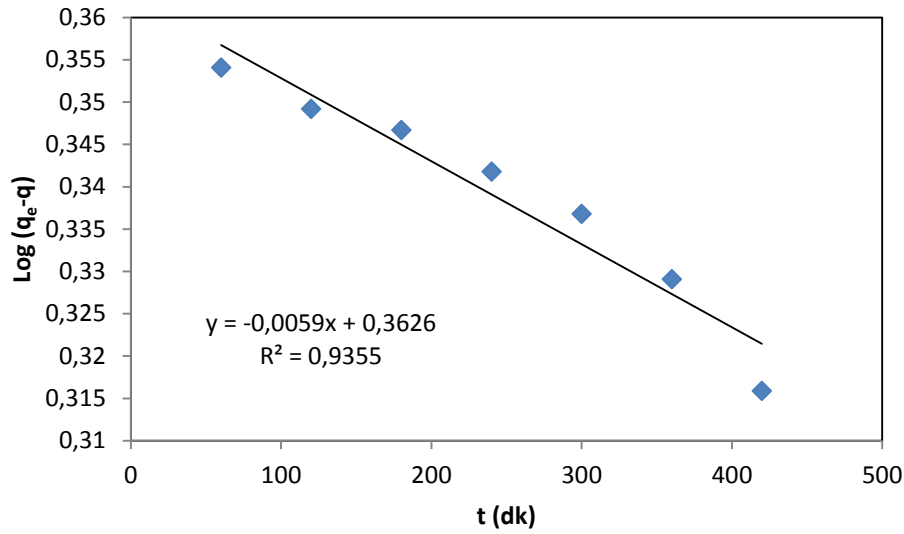


Şekil 3.99. Fe₃O₄-MNP_s-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna başlangıç konsantrasyonunun etkisi

Tablo 3.58. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna ait başlangıç konsantrasyonu verileri

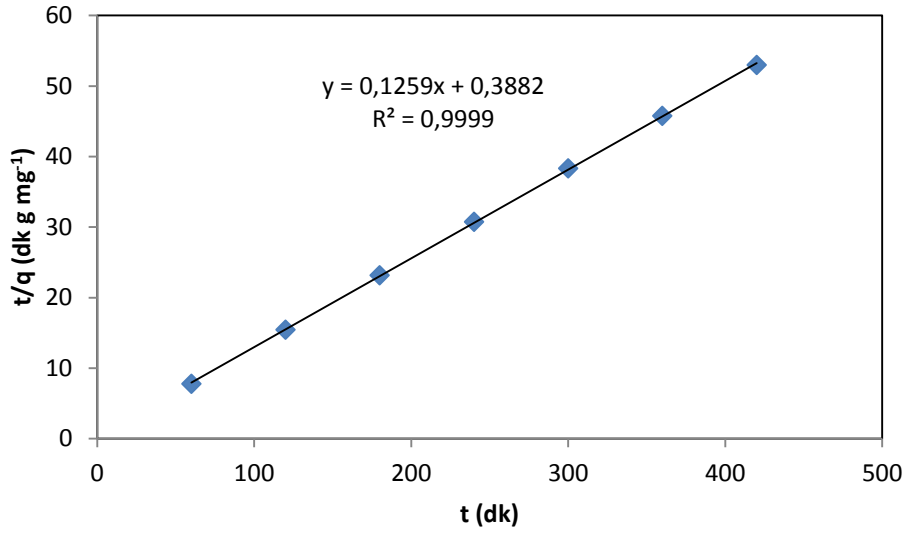
C ₀ (mg L ⁻¹)	C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	% Adsorpsiyon
50	5	3,75	90
100	6,21	7,81	93,79
150	14,4	11,3	90,4
200	25,6	14,53	87,2
250	31,81	18,18	87,276

Kinetik Verilerin Değerlendirilmesi: Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Eriokrom siyahı adsorpsiyonuna ait 298 K sıcaklığındaki deneysel veriler pseudo birinci derece kinetik denkleminde değerlendirildi. t'ye karşı log (q_e-q) değerleri grafiğe geçirildiğinde Şekil 3.100 elde edildi. Grafiğin eğiminden 298 K sıcaklığındaki k_{ads,1} hız sabiti 0,013 dk⁻¹ olarak hesaplandı.



Şekil 3.100. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı adsorpsiyonuna ait pseudo birinci derece denklem grafiği (298 K)

Yine Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı adsorpsiyonuna ait deneysel veriler pseudo ikinci derece kinetik denkleminde değerlendirildi. t'ye karşı t/q değerleri grafiğe geçirildiğinde Şekil 3.101 elde edildi. Grafikteki doğrunun kayma değerinden 298 K sıcaklığındaki k_{ads,2} hız sabiti 0,04 g mg⁻¹ dk⁻¹ olarak hesaplandı.



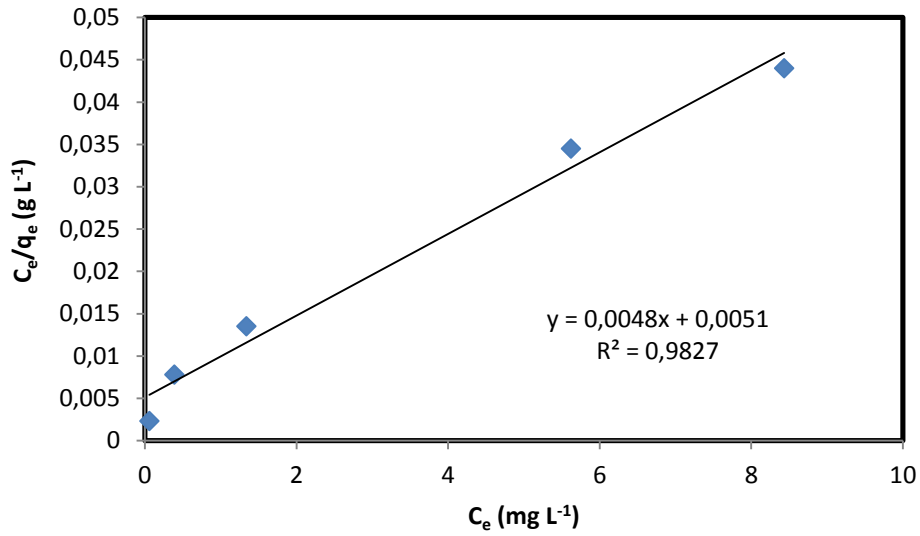
Şekil 3.101. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı adsorpsiyonuna ait pseudo ikinci derece denklem grafiği (298 K)

3.14. Adsorpsiyon İzotermlerine Ait Bulgular

Her bir adsorbent - ağır metal / boyarmadde adsorpsiyonuna ait veriler Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermelerinde değerlendirildi. Langmuir izotermine uyan adsorpsiyonlar için Langmuir sabiti q_m çizgisel izotermin eğiminden; b sabiti ise kayma değerinden hesaplandı. Freundlich izotermine uyan adsorpsiyonlar için ise Freundlich sabiti n Freundlich çizgisel izoterminin eğiminden; k sabiti de kayma değerinden hesaplandı.

Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Pb(II) için Langmuir İzotermi:

Şekil 3.102’de Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonuna ait Langmuir çizgisel izoterm grafiği ve Tablo 3.59’da ise bu grafiğe ait veriler görülmektedir. Langmuir çizgisel izoterminin eğiminden hesaplanan q_m ve kayma değerinden hesaplanan b Langmuir sabitlerinin değerleri de Tablo 3.60’da verilmektedir.



Şekil 3.102. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi

Tablo 3.59. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi verileri

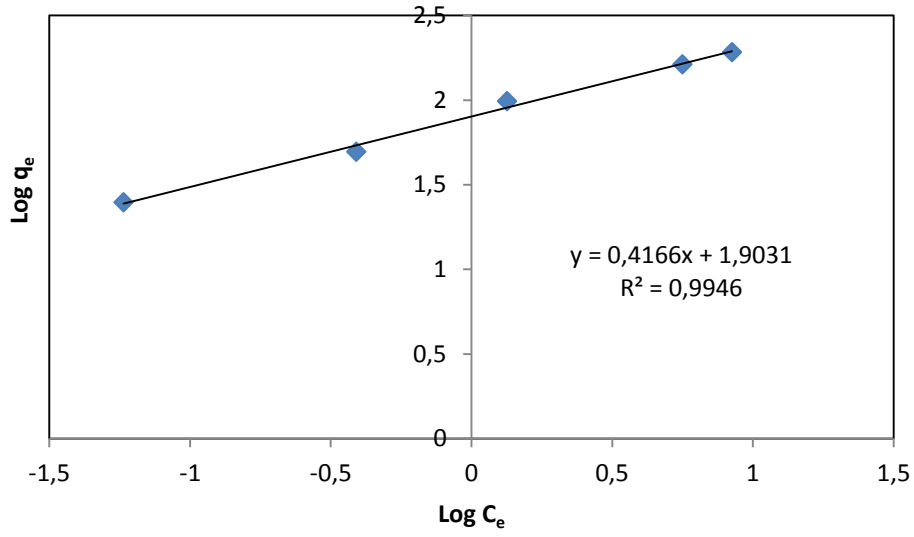
C_e (mg L ⁻¹)	q_e (mg g ⁻¹)	C_e/q_e (g L ⁻¹)
0,058	24,942	0,0023
0,389	49,611	0,0078
1,339	98,661	0,0135
5,62	162,817	0,0345
8,435	191,565	0,044

Tablo 3.60. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için Langmuir sabitleri (298 K)

q_m (mg g ⁻¹)	b (L mg ⁻¹)
208,333	0,941

Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Pb(II) için Freundlich İzotermi:

Şekil 3.103’de Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonuna ait Freundlich çizgisel izoterm grafiği ve Tablo 3.61’de ise bu grafiğe ait veriler görülmektedir. Freundlich çizgisel izoterminin eğiminden hesaplanan n ve kayma değerinden hesaplanan k Freundlich sabitlerinin değerleri de Tablo 3.62’de verilmektedir.



Şekil 3.103. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi

Tablo 3.61. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi verileri

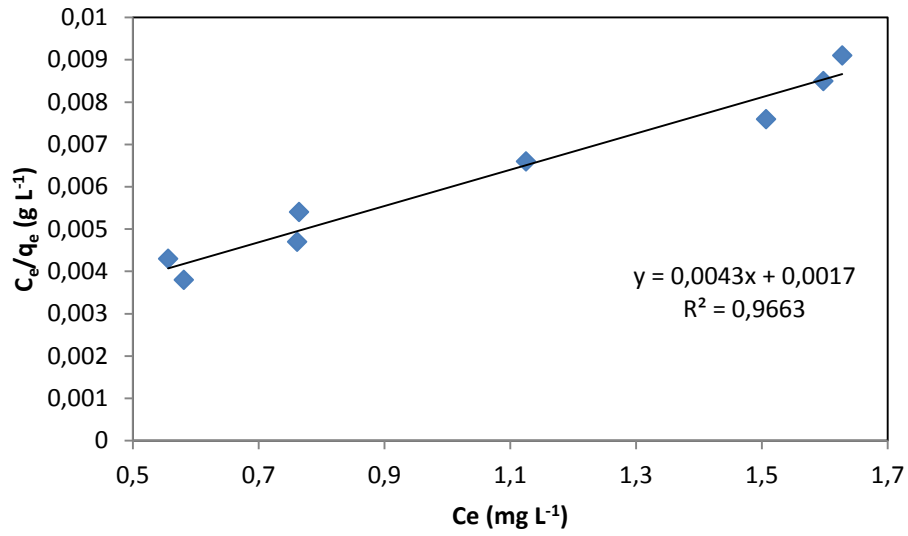
C_e (mg L ⁻¹)	q_e (mg g ⁻¹)	Log C_e	Log q_e
0,058	24,942	-1,2365	1,3969
0,389	49,611	-0,41	1,6955
1,339	98,661	0,1267	1,9941
5,62	162,817	0,75	2,2117
8,435	191,565	0,926	2,2823

Tablo 3.62. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için Freundlich sabitleri (298 K)

n	k
2,4	80,0018

Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Pb(II) Adsorpsiyonu için Langmuir İzotermi:

Şekil 3.104’de Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonuna ait Langmuir çizgisel izoterm grafiği ve Tablo 3.63’de ise bu grafiğe ait veriler görülmektedir. Langmuir çizgisel izoterminin eğiminden hesaplanan q_m ve kayma değerinden hesaplanan b Langmuir sabitlerinin değerleri de Tablo 3.64’de verilmektedir.



Şekil 3.104. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi

Tablo 3.63. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi verileri

C_e (mg L ¹)	q_e (mg g ⁻¹)	C_e/q_e (g L ⁻¹)
1,507	196,986	0,0076
1,598	186,963	0,0085
1,628	177,069	0,0091
1,125	168,087	0,0066
0,761	158,782	0,0047
0,581	149,128	0,0038
0,764	138,93	0,0054
0,556	129,277	0,0043

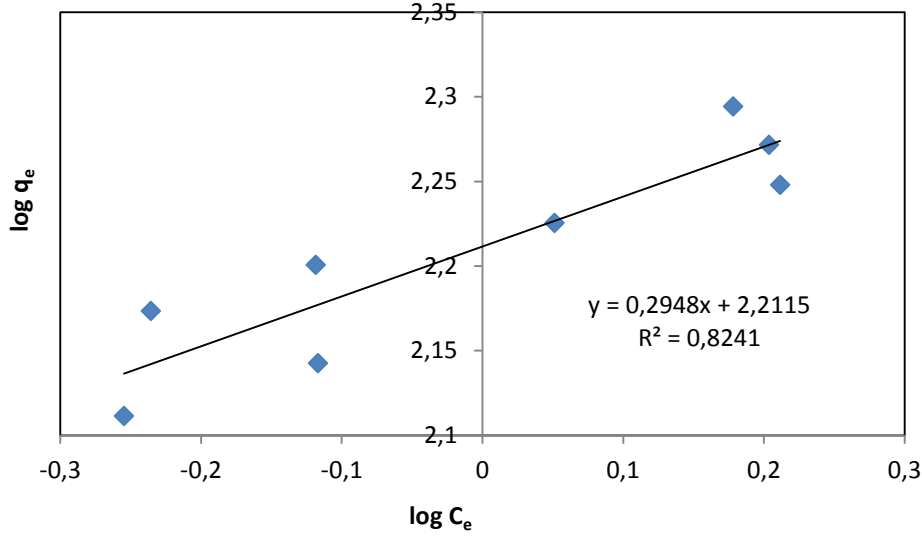
Tablo 3.64. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için Langmuir sabitleri (298 K)

q_m (mg g ⁻¹)	b (L mg ⁻¹)
232,558	2,5294

Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Pb(II) Adsorpsiyonu için Freundlich İzotermi:

Şekil 3.105’de Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonuna ait Freundlich çizgisel izoterm grafiği ve Tablo 3.65’de ise bu grafiğe ait veriler görülmektedir. Freundlich

çizgisel izoterminin eğiminden hesaplanan n ve kayma değerinden hesaplanan k Freundlich sabitlerinin değerleri de Tablo 3.66’da verilmektedir.



Şekil 3.105. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi

Tablo 3.65. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi verileri

C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	Log C _e	Log q _e
1,507	196,986	0,1781	2,2944
1,598	186,963	0,2035	2,2717
1,628	177,069	0,2116	2,2481
1,125	168,087	0,0511	2,2255
0,761	158,782	-0,1186	2,2008
0,581	149,128	-0,2358	2,1735
0,764	138,93	-0,1169	2,1427
0,556	129,277	-0,2549	2,1115

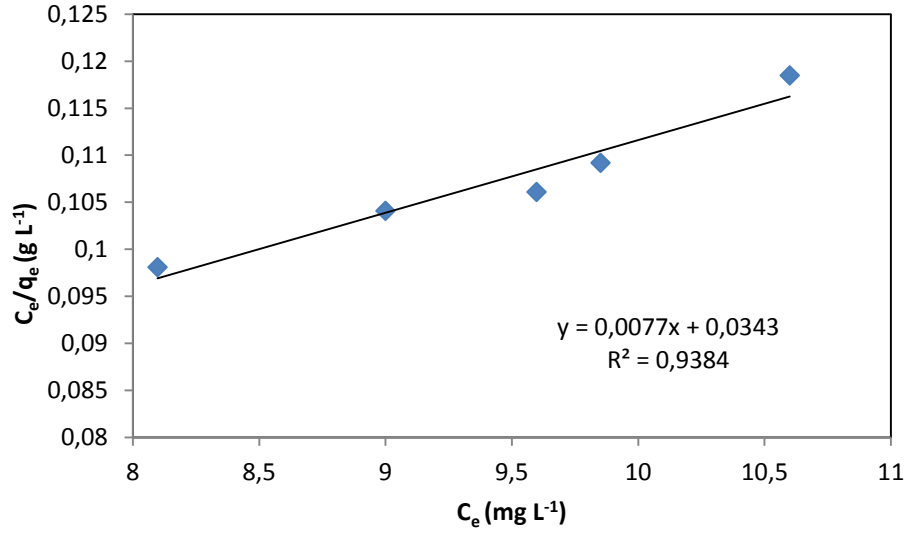
Tablo 3.66. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonu için Freundlich sabitleri (298 K)

n	k
3,3921	162,742

Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Ni(II) için Langmuir İzotermi:

Şekil 3.106’da Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Ni (II) adsorpsiyonuna ait Langmuir çizgisel izoterm grafiği ve Tablo 3.67’de ise bu grafiğe ait veriler görülmektedir. Langmuir çizgisel

izoterminin eğiminden hesaplanan q_m ve kayma değerinden hesaplanan b Langmuir sabitlerinin değerleri de Tablo 3.68’de verilmektedir.



Şekil 3.106. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi

Tablo 3.67. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi verileri

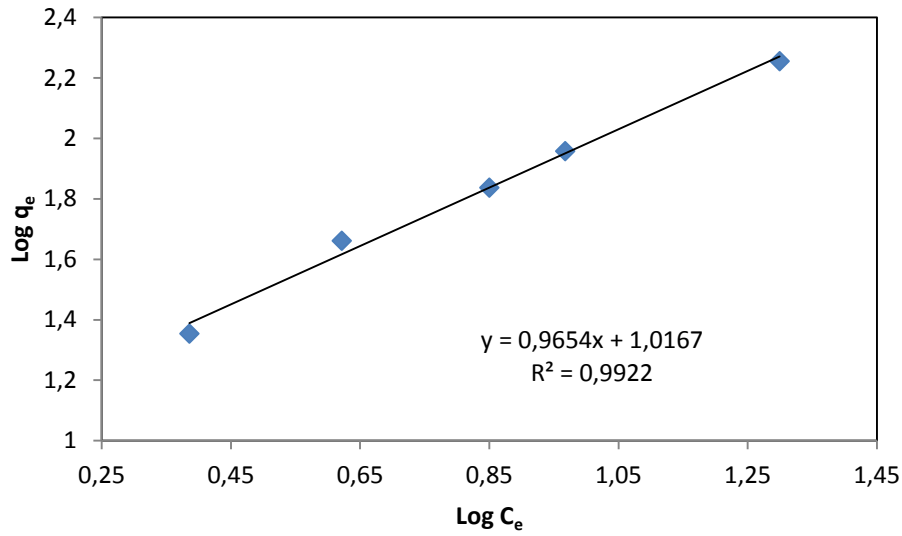
C_e (mg L ⁻¹)	q_e (mg g ⁻¹)	C_e/q_e (g L ⁻¹)
8,097	91,903	0,0981
9	86,4553	0,1041
9,597	90,403	0,1061
9,851	90,149	0,1092
10,6	89,4	0,1185

Tablo 3.68. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için Langmuir sabitleri (298 K)

q_m (mg g ⁻¹)	b (Lmg ⁻¹)
129,870	0,2244

Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Ni(II) için Freundlich İzotermi:

Şekil 3.107’de Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Ni (II) adsorpsiyonuna ait Freundlich çizgisel izoterm grafiği ve Tablo 3.69’da ise bu grafiğe ait veriler görülmektedir. Freundlich çizgisel izoterminin eğiminden hesaplanan n ve kayma değerinden hesaplanan k Freundlich sabitlerinin değerleri de Tablo 3.70’de verilmektedir.



Şekil 3.107. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi

Tablo 3.69. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi verileri

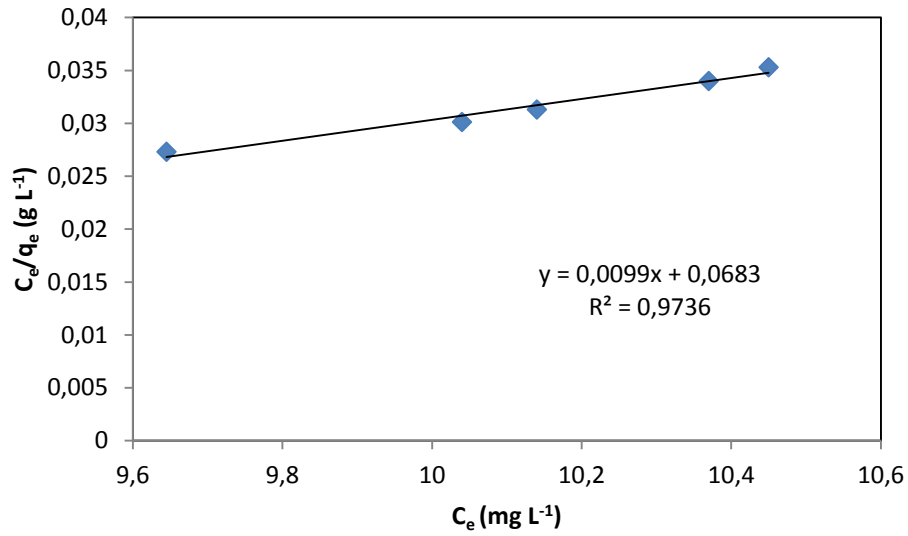
C_e (mg L ⁻¹)	q_e (mg g ⁻¹)	Log C_e	Log q_e
2,43	22,57	0,3856	1,3535
4,182	45,818	0,6213	1,661
9,278	90,722	0,9674	1,9577
19,93	180,07	1,2995	2,2554
7,079	68,75	0,85	1,8373

Tablo 3.70. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için Freundlich sabitleri (298 K)

n	k
1,0358	10,392

Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Ni(II) için Langmuir İzotermi:

Şekil 3.108’de Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Ni (II) adsorpsiyonuna ait Langmuir çizgisel izoterm grafiği ve Tablo 3.71’de ise bu grafiğe ait veriler görülmektedir. Langmuir çizgisel izoterminin eğiminden hesaplanan q_m ve kayma değerinden hesaplanan b Langmuir sabitlerinin değerleri de Tablo 3.72’de verilmektedir.



Şekil 3.108. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi

Tablo 3.71. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi verileri

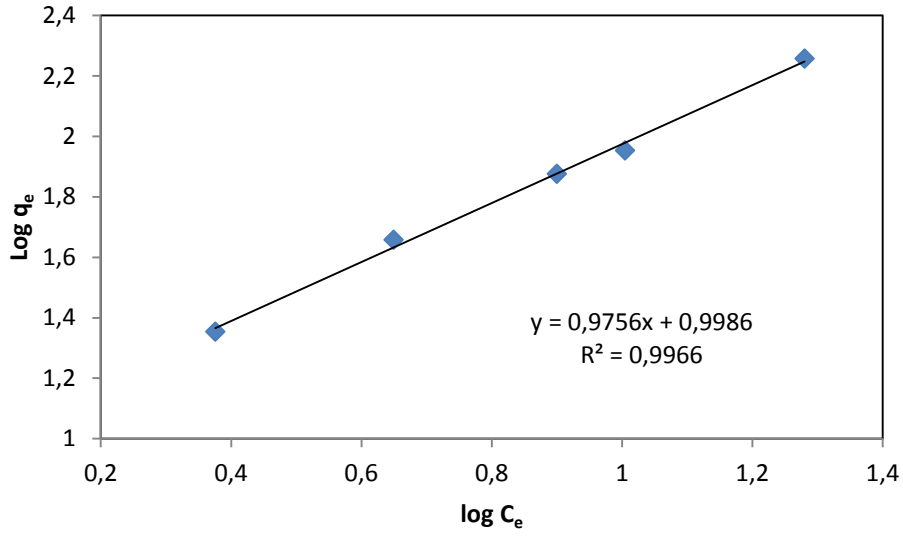
C_e (mg L ⁻¹)	q_e (mg g ⁻¹)	C_e/q_e (g L ⁻¹)
9,645	352,384	0,0273
10,04	332,852	0,0301
10,14	323,496	0,0313
10,37	304,742	0,034
10,45	295,515	0,0353

Tablo 3.72. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için Langmuir sabitleri (298 K)

q_m (mg g ⁻¹)	b (L mg ⁻¹)
101,010	0,1449

Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Ni (II) için Freundlich İzotermi:

Şekil 3.109’da Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Ni (II) adsorpsiyonuna ait Freundlich çizgisel izoterm grafiği ve Tablo 3.73’de ise bu grafiğe ait veriler görülmektedir. Freundlich çizgisel izotermine eğiminden hesaplanan n ve kayma değerinden hesaplanan k Freundlich sabitlerinin değerleri de Tablo 3.74’te verilmektedir.



Şekil 3.109. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi

Tablo 3.73. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi verileri

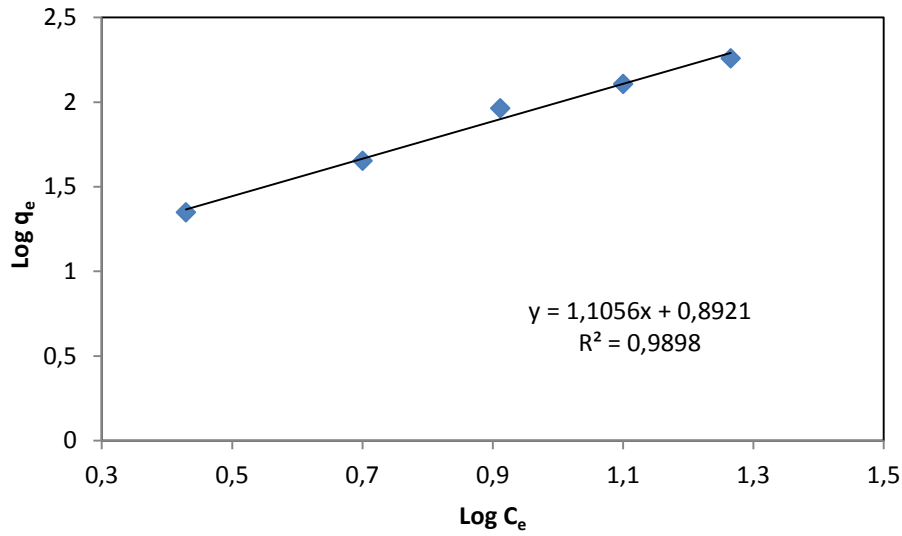
C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	Log C _e	Log q _e
2,376	22,624	0,3758	1,3545
4,459	45,541	0,6492	1,6584
10,11	89,89	1,0047	1,9537
19,08	180,92	1,2805	2,2574
7,94	75,26	0,9	1,8766

Tablo 3.74. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu için Freundlich sabitleri (298 K)

n	k
1,025	9,9678

Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Co(II) için Freundlich İzotermi:

Şekil 3.110'da Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Co (II) adsorpsiyonuna ait Freundlich çizgisel izoterm grafiği ve Tablo 3.75'de ise bu grafiğe ait veriler görülmektedir. Freundlich çizgisel izoterminin eğiminden hesaplanan n ve kayma değerinden hesaplanan k Freundlich sabitlerinin değerleri de Tablo 3.76'da verilmektedir.



Şekil 3.110. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi

Tablo 3.75. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi verileri

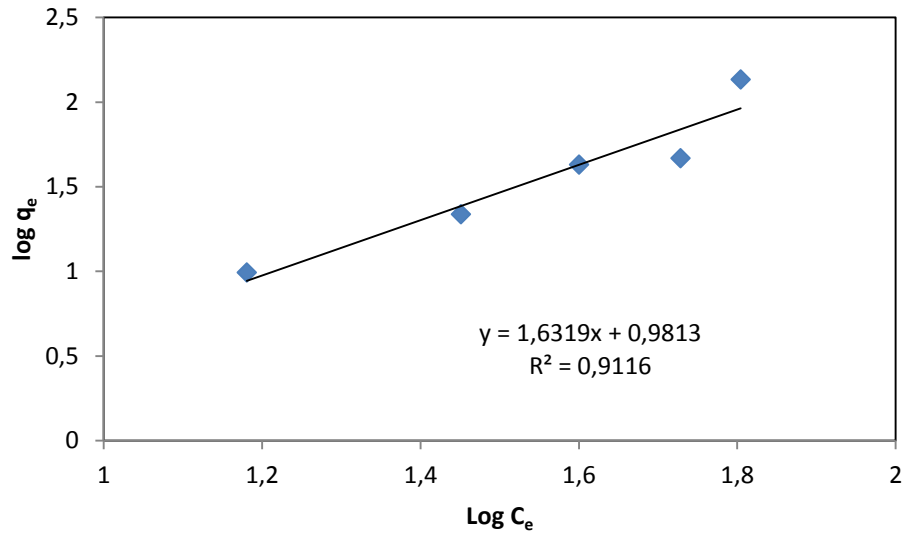
C_e (mg L ⁻¹)	q_e (mg g ⁻¹)	Log C_e	Log q_e
2,685	22,315	0,4289	1,3485
5,012	44,988	0,7	1,653
8,159	91,841	1,9116	1,963
18,43	181,57	1,2652	2,259
12,589	128,233	1,1	2,108

Tablo 3.76. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için Freundlich sabitleri (298 K)

n	k
0,9044	7,8

Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Co(II) için Freundlich İzotermi:

Şekil 3.111’de Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Co (II) adsorpsiyonuna ait Freundlich çizgisel izoterm grafiği ve Tablo 3.77’de ise bu grafiğe ait veriler görülmektedir. Freundlich çizgisel izotermi eğiminden hesaplanan n ve kayma değerinden hesaplanan k Freundlich sabitlerinin değerleri de Tablo 3.78’de verilmektedir.



Şekil 3.111. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi

Tablo 3.77. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi verileri

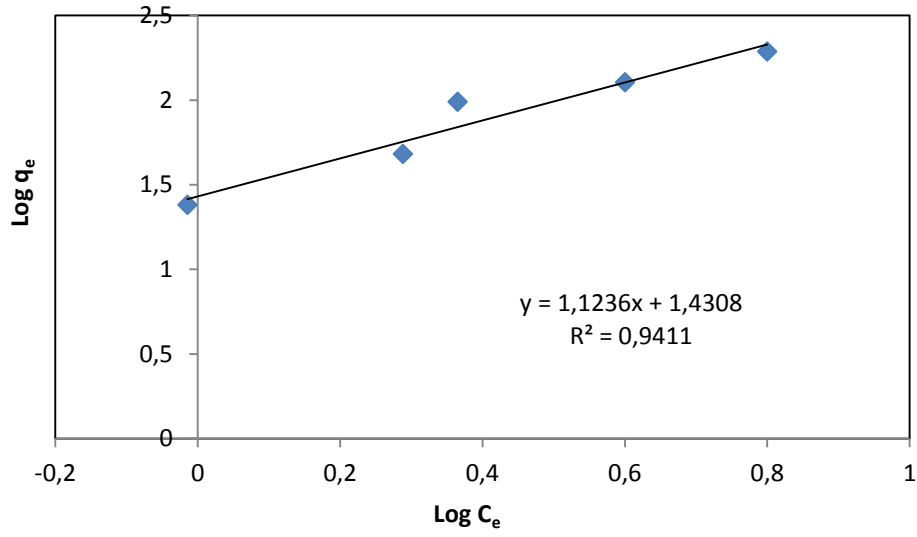
C_e (mg L ⁻¹)	q_e (mg g ⁻¹)	Log C_e	Log q_e
15,15	9,85	1,1804	0,9934
28,24	21,76	1,4508	1,3376
53,48	46,52	1,7281	1,6676
63,73	136,27	1,8043	2,1344
39,81	42,632	1,6	1,6297

Tablo 3.78. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu için Freundlich sabitleri (298 K)

n	k
0,6127	9,5785

Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Cr(III) için Freundlich İzotermi:

Şekil 3.112’de Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonuna ait Freundlich çizgisel izoterm grafiği ve Tablo 3.79’da ise bu grafiğe ait veriler görülmektedir. Freundlich çizgisel izoterminin eğiminden hesaplanan n ve kayma değerinden hesaplanan k Freundlich sabitlerinin değerleri de Tablo 3.80’de verilmektedir.



Şekil 3.112. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi

Tablo 3.79. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi verileri

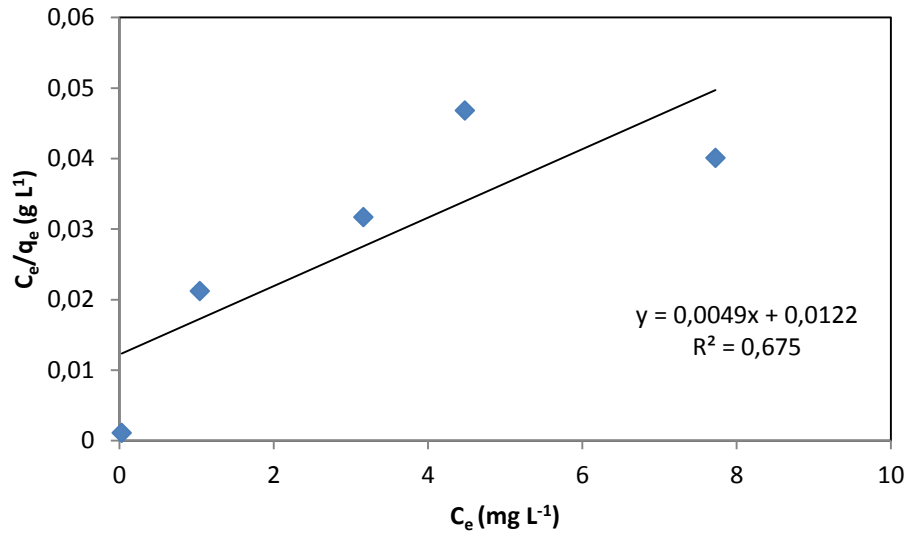
C_e (mg L ⁻¹)	q_e (mg g ⁻¹)	Log C_e	Log q_e
0,967	24,033	-0,0145	1,3808
1,942	48,058	0,2882	1,6817
2,317	97,683	0,3649	1,9898
6,306	193,694	0,7997	2,2871
3,981	127,32	0,6	2,1049

Tablo 3.80. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonu için Freundlich sabitleri (298 K)

n	k
0,8899	26,964

Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Cr(III) için Langmuir İzotermi:

Şekil 3.113’de Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonuna ait Langmuir çizgisel izoterm grafiği ve Tablo 3.81’de ise bu grafiğe ait veriler görülmektedir. Langmuir çizgisel izoterminin eğiminden hesaplanan q_m ve kayma değerinden hesaplanan b Langmuir sabitlerinin değerleri de Tablo 3.82’de verilmektedir.



Şekil 3.113. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi

Tablo 3.81. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi verileri

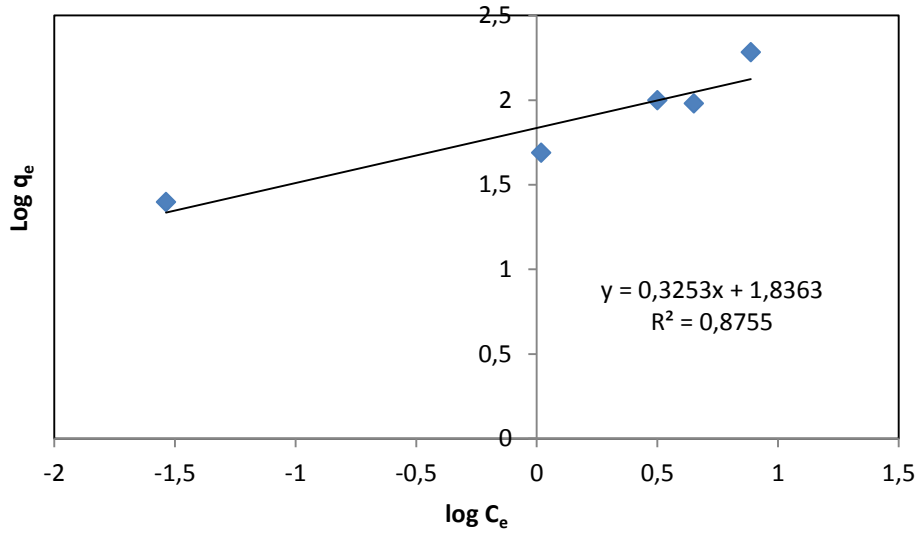
C_e (mg L ⁻¹)	q_e (mg g ⁻¹)	C_e/q_e (g L ⁻¹)
0,029	24,971	0,0011
1,042	48,958	0,0212
4,476	95,524	0,0468
7,726	192,274	0,0401
3,162	99,747	0,0317

Tablo 3.82. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonu için Langmuir sabitleri (298 K)

q_m (mg g ⁻¹)	b (L mg ⁻¹)
204,08	0,4016

Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Cr(III) için Freundlich İzotermi:

Şekil 3.114’de Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonuna ait Freundlich çizgisel izoterm grafiği ve Tablo 3.83’de ise bu grafiğe ait veriler görülmektedir. Freundlich çizgisel izoterminin eğiminden hesaplanan n ve kayma değerinden hesaplanan k Freundlich sabitlerinin değerleri de Tablo 3.84’de verilmektedir.



Şekil 3.114. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi

Tablo 3.83. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi verileri

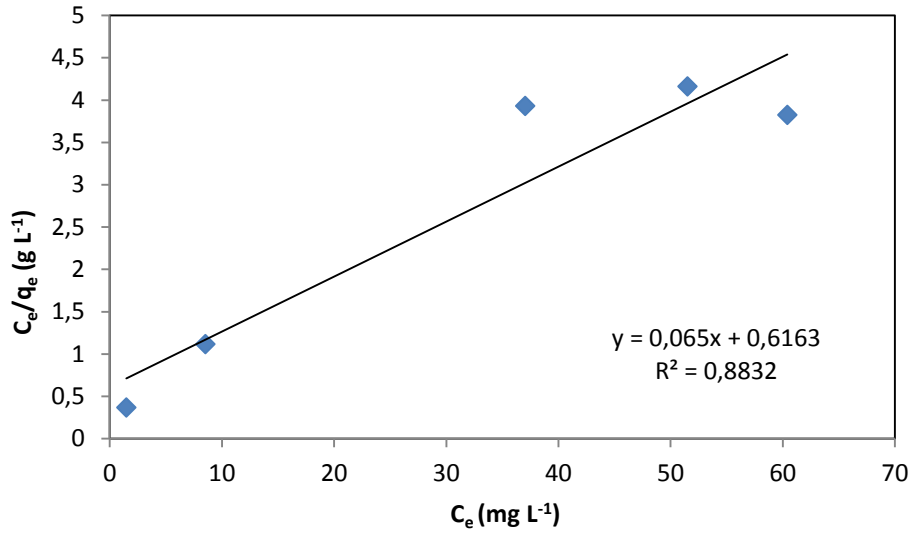
C _e (mg L ⁻¹)	q _e (mg g ⁻¹)	Log C _e	Log q _e
0,029	24,971	-1,5376	1,3974
1,042	48,958	0,0178	1,6898
4,476	95,524	0,6508	1,9801
7,726	192,274	0,8879	2,2839
3,162	99,747	0,5	1,9989

Tablo 3.84. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Cr(III) adsorpsiyonu için Freundlich sabitleri (298 K)

n	k
3,074	68,596

Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı için Langmuir İzotermi:

Şekil 3.115’de Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna ait Langmuir çizgisel izoterm grafiği ve Tablo 3.85’de ise bu grafiğe ait veriler görülmektedir. Langmuir çizgisel izoterminin eğiminden hesaplanan q_m ve kayma değerinden hesaplanan b Langmuir sabitlerinin değerleri de Tablo 3.86’da verilmektedir.



Şekil 3.115. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi

Tablo 3.85. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi verileri

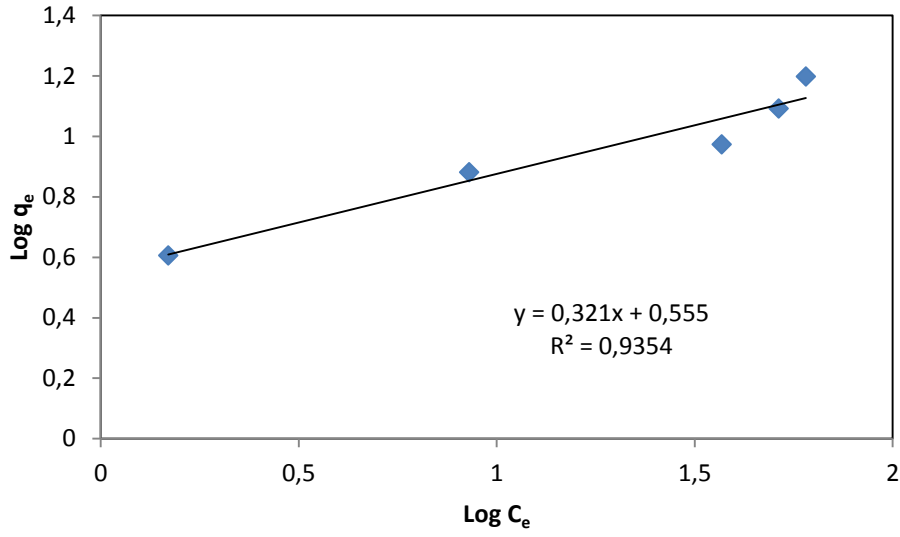
C_e (mg L ⁻¹)	q_e (mg g ⁻¹)	C_e/q_e (g L ⁻¹)
1,48	4,04	0,3663
8,51	7,62	1,1167
37,02	9,415	3,932
51,49	12,37	4,1624
60,42	15,79	3,8264

Tablo 3.86. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonu için Langmuir sabitleri (298 K)

q_m (mg g ⁻¹)	b (L mg ⁻¹)
15,384	0,105

Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı için Freundlich İzotermi:

Şekil 3.116'da Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna ait Freundlich çizgisel izoterm grafiği ve Tablo 3.87'de ise bu grafiğe ait veriler görülmektedir. Freundlich çizgisel izotermine eğiminden hesaplanan n ve kayma değerinden hesaplanan k Freundlich sabitlerinin değerleri de Tablo 3.88'de verilmektedir.



Şekil 3.116. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi

Tablo 3.87. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi verileri

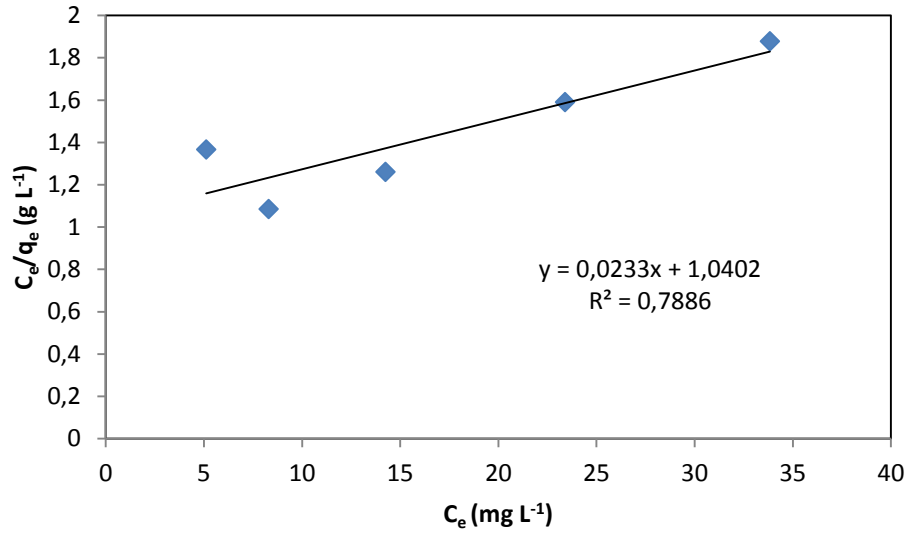
C_e (mg L ⁻¹)	q_e (mg g ⁻¹)	Log C_e	Log q_e
1,48	4,04	0,1702	0,6063
8,51	7,62	0,9299	0,8819
37,02	9,415	1,5684	0,9738
51,49	12,37	1,7117	1,0923
60,42	15,79	1,7811	1,1983

Tablo 3.88. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonu için Freundlich sabitleri (298 K)

n	k
3,115	3,589

Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Alizarin Sarısı için Langmuir İzotermi:

Şekil 3.117’de Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna ait Langmuir çizgisel izoterm grafiği ve Tablo 3.89’da ise bu grafiğe ait veriler görülmektedir. Langmuir çizgisel izotermine eğiminden hesaplanan q_m ve kayma değerinden hesaplanan b Langmuir sabitlerinin değerleri de Tablo 3.90’da verilmektedir.



Şekil 3.117. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi

Tablo 3.89. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi verileri

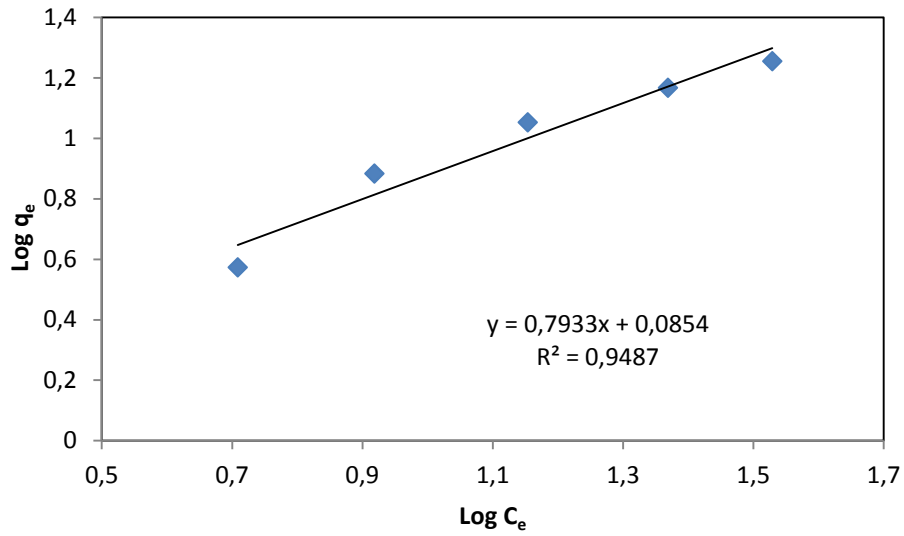
C_e (mg L ⁻¹)	q_e (mg g ⁻¹)	C_e/q_e (g L ⁻¹)
5,11	3,74	1,3663
8,29	7,64	1,085
14,25	11,31	1,2599
23,4	14,71	1,5907
33,83	18,014	1,8779

Tablo 3.90. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonu için Langmuir sabitleri (298 K)

q_m (mg g ⁻¹)	b (L mg ⁻¹)
42,918	0,022

Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Alizarin Sarısı için Freundlich İzotermi:

Şekil 3.118'de Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna ait Freundlich çizgisel izoterm grafiği ve Tablo 3.91'de ise bu grafiğe ait veriler görülmektedir. Freundlich çizgisel izoterminin eğiminden hesaplanan n ve kayma değerinden hesaplanan k Freundlich sabitlerinin değerleri de Tablo 3.92'de verilmektedir.



Şekil 3.118. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi

Tablo 3.91. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi verileri

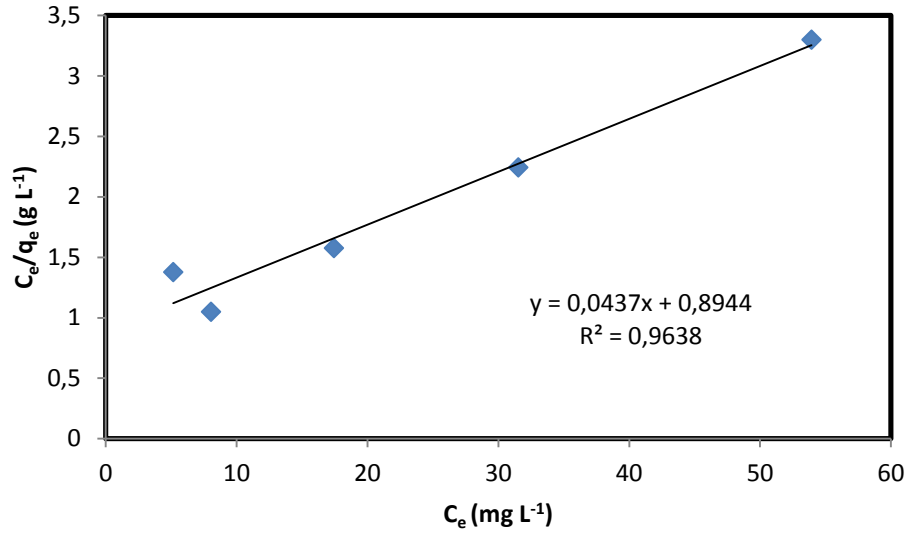
C_e (mg L ⁻¹)	q_e (mg g ⁻¹)	Log C_e	Log q_e
5,11	3,74	0,7084	0,5728
8,29	7,64	0,9185	0,883
14,25	11,31	1,1538	1,0534
23,4	14,71	1,3692	1,1676
33,83	18,014	1,5293	1,2556

Tablo 3.92. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonu için Freundlich sabitleri (298 K)

n	k
1,26	1,217

Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T için Langmuir İzotermi:

Şekil 3.119'da Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna ait Langmuir çizgisel izoterm grafiği ve Tablo 3.93'de ise bu grafiğe ait veriler görülmektedir. Langmuir çizgisel izotermine eğiminden hesaplanan q_m ve kayma değerinden hesaplanan b Langmuir sabitlerinin değerleri de Tablo 3.94'de verilmektedir.



Şekil 3.119. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi

Tablo 3.93. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi verileri

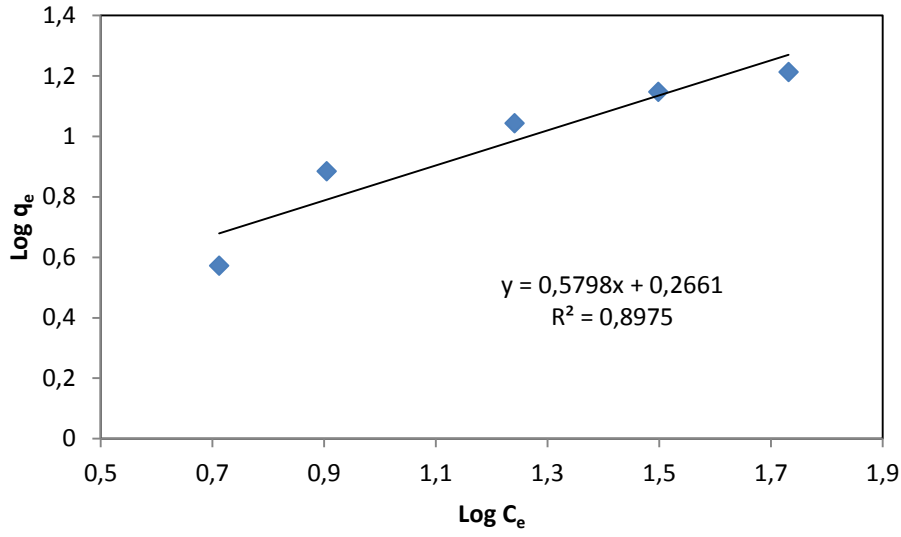
C_e (mg L ⁻¹)	q_e (mg g ⁻¹)	C_e/q_e (g L ⁻¹)
5,15	3,737	1,3781
8,03	7,66	1,0483
17,42	11,048	1,5767
31,51	14,04	2,2443
53,93	16,339	3,3006

Tablo 3.94. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonu için Langmuir sabitleri (298 K)

q_m (mg g ⁻¹)	b (L mg ⁻¹)
22,883	0,049

Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T için Freundlich İzotermi:

Şekil 3.120’de Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna ait Freundlich çizgisel izoterm grafiği ve Tablo 3.95’de ise bu grafiğe ait veriler görülmektedir. Freundlich çizgisel izoterminin eğiminden hesaplanan n ve kayma değerinden hesaplanan k Freundlich sabitlerinin değerleri de Tablo 3.96’da verilmektedir.



Şekil 3.120. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi

Tablo 3.95. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi verileri

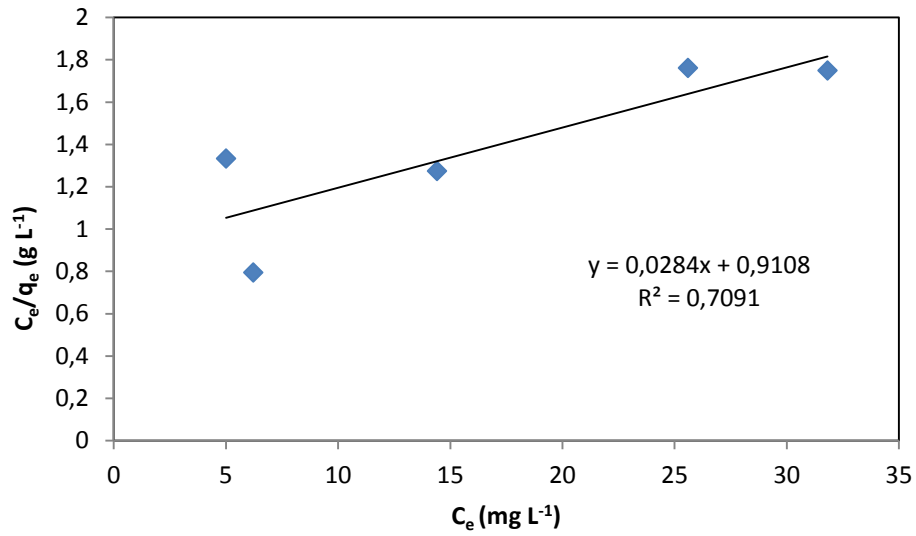
C_e (mg L ⁻¹)	q_e (mg g ⁻¹)	Log C_e	Log q_e
5,15	3,737	0,7118	0,5725
8,03	7,66	0,9047	0,8842
17,42	11,048	1,241	1,0432
31,51	14,04	1,4984	1,1473
53,93	16,339	1,7318	1,2132

Tablo 3.96. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonu için Freundlich sabitleri (298 K)

n	k
1,724	1,845

Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T için Langmuir İzotermi:

Şekil 3.121’de Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna ait Langmuir çizgisel izoterm grafiği ve Tablo 3.97’de ise bu grafiğe ait veriler görülmektedir. Langmuir çizgisel izoterminin eğiminden hesaplanan q_m ve kayma değerinden hesaplanan b Langmuir sabitlerinin değerleri de Tablo 3.98’de verilmektedir.



Şekil 3.121. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi

Tablo 3.97. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonu için Langmuir çizgisel izotermi verileri

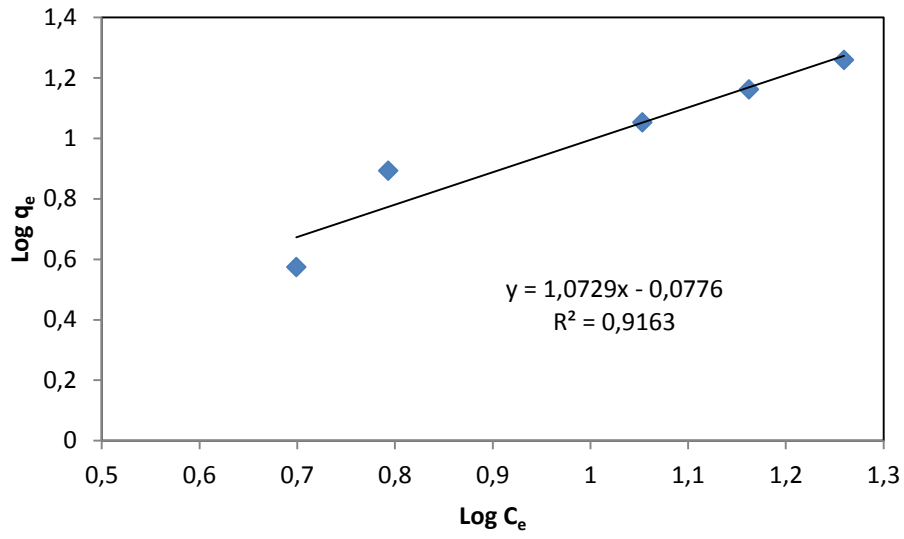
C_e (mg L ⁻¹)	q_e (mg g ⁻¹)	C_e/q_e (g L ⁻¹)
5,0	3,75	1,3333
6,21	7,81	0,7951
14,4	11,3	1,2743
25,6	14,53	1,7618
31,81	18,18	1,7497

Tablo 3.98. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonu için Langmuir sabitleri (298 K)

q_m (mg g ⁻¹)	b (L mg ⁻¹)
35,211	0,031

Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T için Freundlich İzotermi:

Şekil 3.122’de Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonuna ait Freundlich çizgisel izoterm grafiği ve Tablo 3.99’da ise bu grafiğe ait veriler görülmektedir. Freundlich çizgisel izotermine eğiminden hesaplanan n ve kayma değerinden hesaplanan k Freundlich sabitlerinin değerleri de Tablo 3.100’de verilmektedir.



Şekil 3.122. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi

Tablo 3.99. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonu için Freundlich çizgisel izotermi verileri

C_e (mg L ⁻¹)	q_e (mg g ⁻¹)	Log C_e	Log q_e
5,0	3,75	0,6989	0,574
6,21	7,81	0,793	0,8926
14,4	11,3	1,053	1,0526
25,6	14,53	1,1622	1,1622
31,81	18,18	1,2595	1,2593

Tablo 3.100. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonu için Freundlich sabitleri (298 K)

n	k
0,932	1,195

Tablo 3.101’de de tüm adsorpsiyon işlemlerine ait Langmuir ve Freundlich sabitleri toplu olarak verilmektedir.

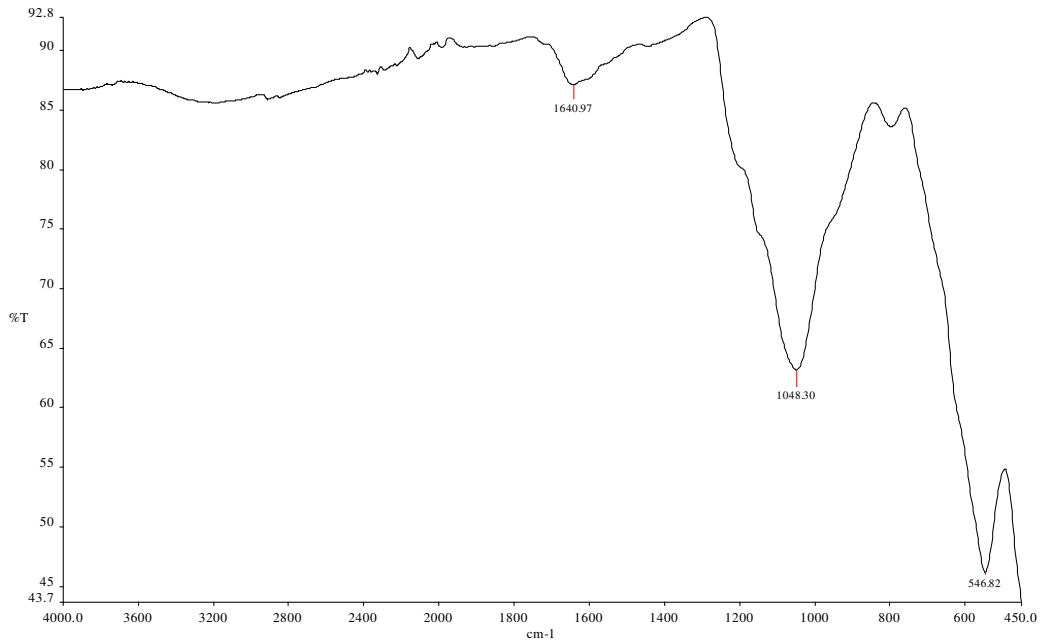
Tablo 3.101. Tüm adsorpsiyonlara ait Langmuir ve Freundlich sabitleri

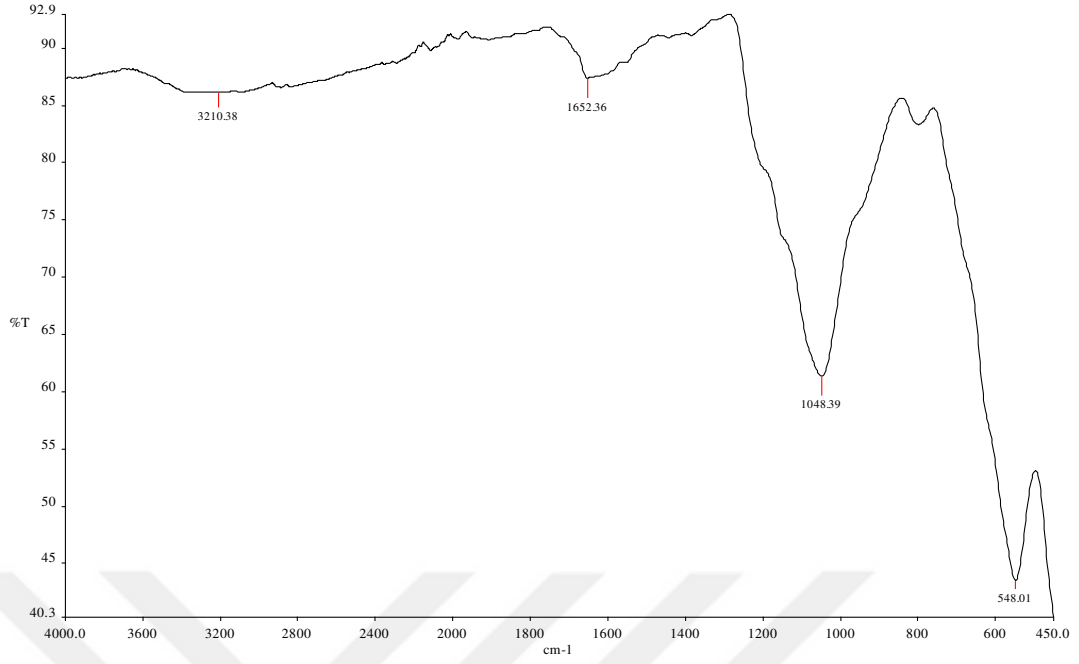
		Langmuir Sabitleri		Freundlich sabitleri	
		q_m (mg g ⁻¹)	b (l mg ⁻¹)	k	N
1. adsorbent	Pb ²⁺	208,333	0,941	80,0018	2,4
	Ni ²⁺	129,870	0,2244	10,392	1,0358
	Co ²⁺	-	-	7,8	0,9044
	Cr ³⁺	-	-	26,964	0,8899
	Alizarin Sarısı	15,384	0,105	3,589	3,115
	Eriokrom Siyahı T	22,883	0,049	1,845	1,724
2. adsorbent	Pb ²⁺	232,558	2,5294	162,742	3,3921
	Ni ²⁺	101,010	0,1449	9,9678	1,025
	Co ²⁺	-	-	9,5785	0,6127
	Cr ³⁺	204,08	0,4016	68,596	3,074
	Alizarin Sarısı	42,918	0,022	1,217	1,26
	Eriokrom Siyahı T	35,211	0,031	1,195	0,932

Adsorpsiyon sonrası adsorbentlerin FT-IR spektrumları:

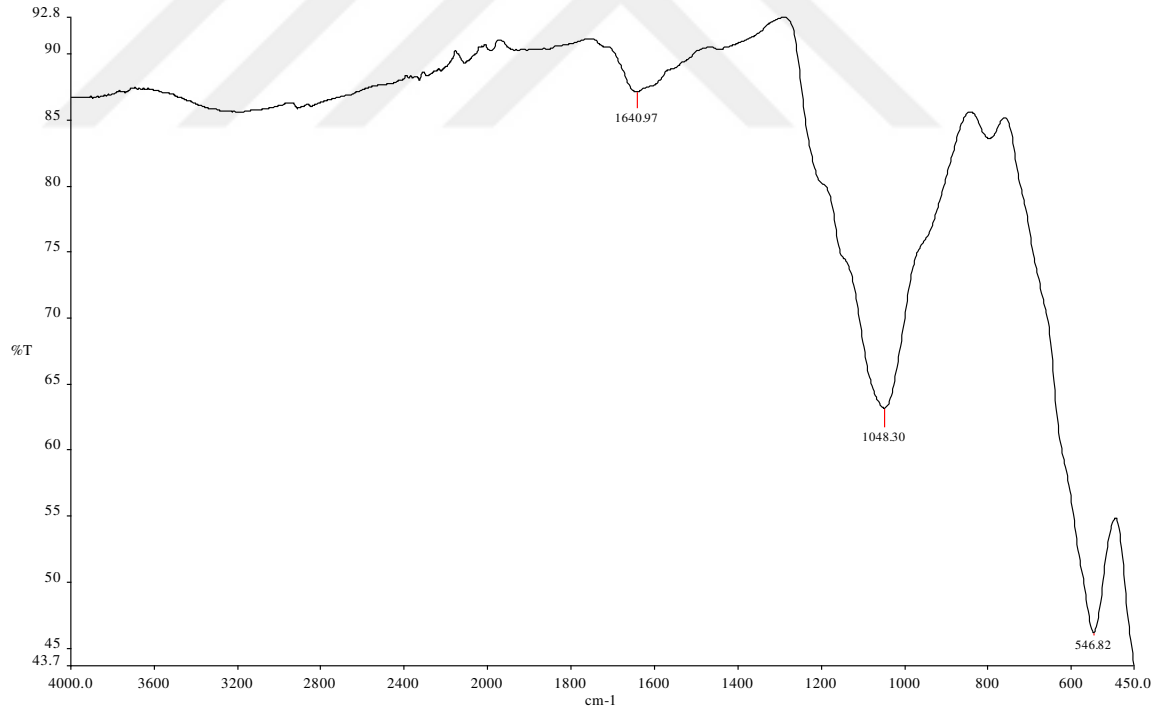
Adsorpsiyon çalışmalarının tamamlanmasının ardından adsorbentlerin tekrar FT-IR spektrumları çekildi. FT-IR spektrumları adsorpsiyon olayının hangi gruplar arasında olduğuna dair ipuçları verir.

Şekil 3.123, 3.124 ve 3.125, Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu adsorbentinin sırasıyla Pb(II), Ni(II) ve Co(II) iyonlarını adsorpladıktan sonraki FT-IR spektrumlarına aittir.

**Şekil 3.123.** Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu adsorbentinin Pb(II) iyonlarını adsorpladıktan sonraki FT-IR spektrumu

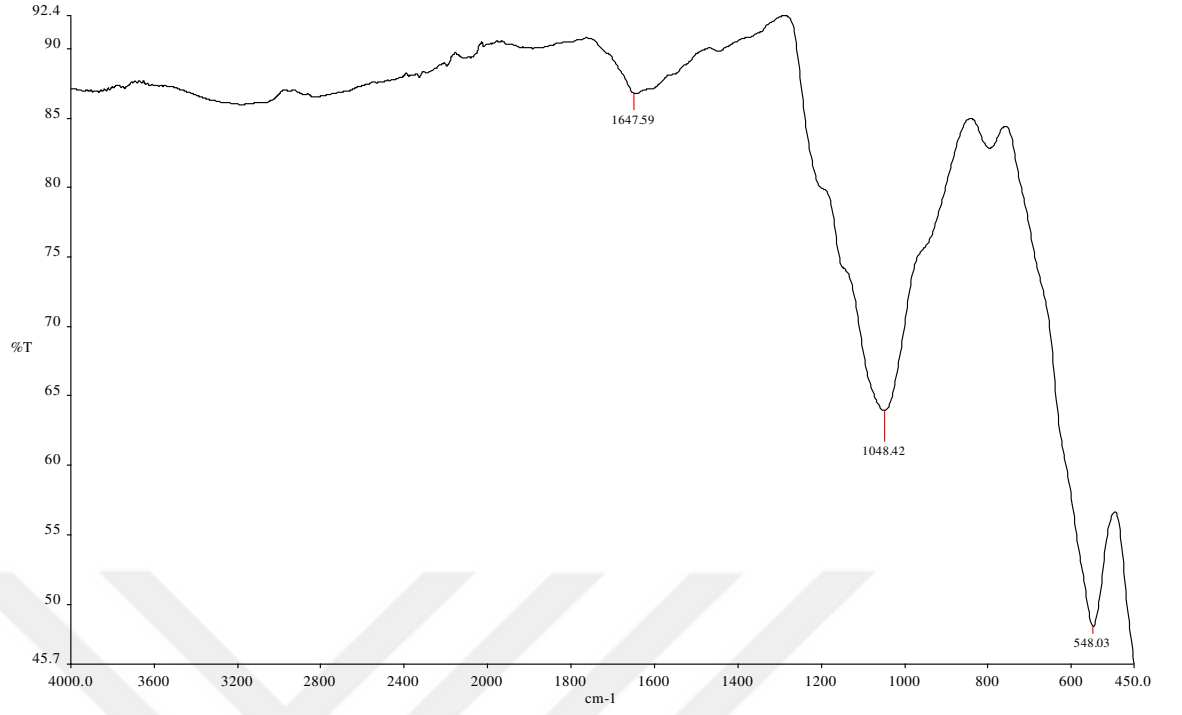


Şekil 3.124. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu adsorbentinin Ni (II) iyonlarını adsorpladıktan sonraki FT-IR spektrumu

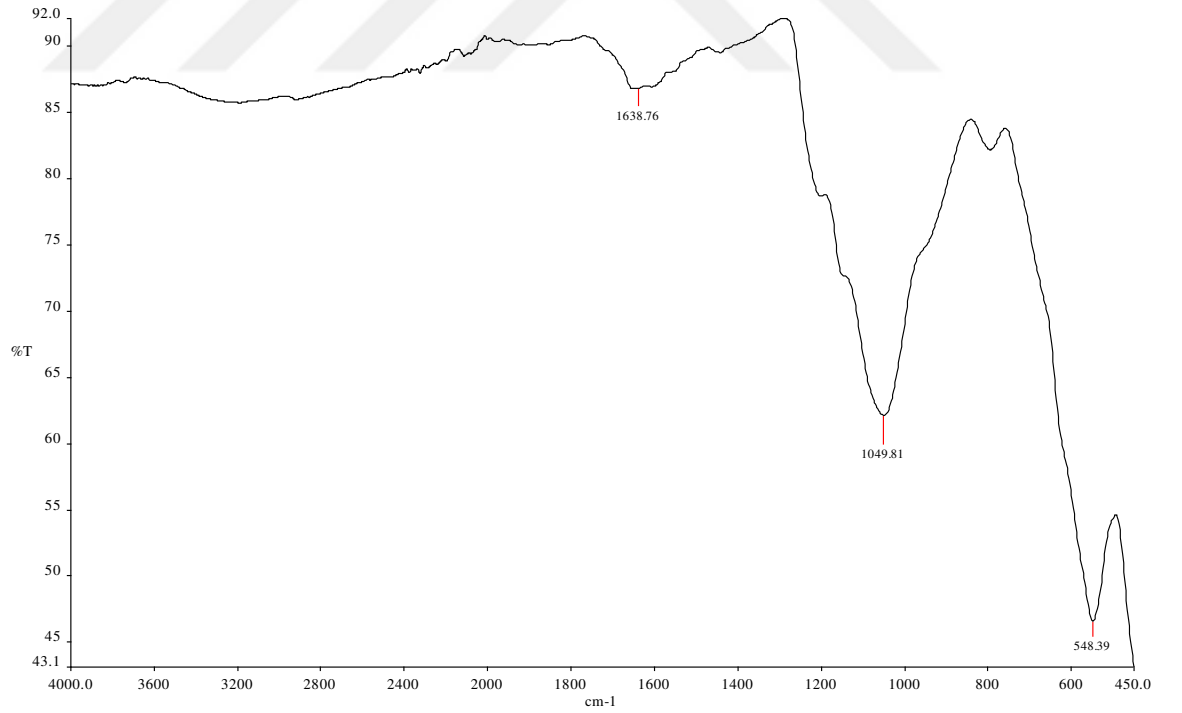


Şekil 3.125. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu adsorbentinin Co (II) iyonlarını adsorpladıktan sonraki FT-IR spektrumu

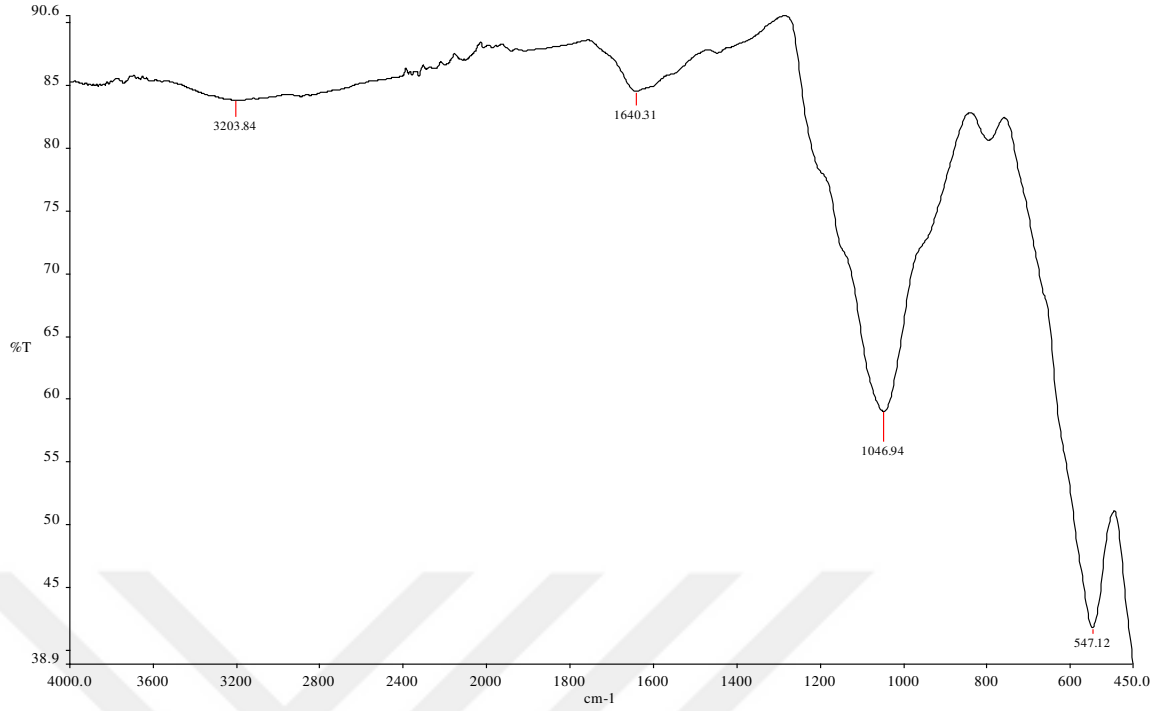
Şekil 3.126, 3.127 ve 3.128 ise Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu adsorbentinin sırasıyla Pb(II), Ni(II) ve Co(II) iyonlarını adsorpladıktan sonraki FT-IR spektrumlarına aittir.



Şekil 3.126. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu adsorbentinin Pb (II) iyonlarını adsorpladıktan sonraki FT-IR spektrumu



Şekil 3.127. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu adsorbentinin Ni (II) iyonlarını adsorpladıktan sonraki FT-IR spektrumu



Şekil 3.128. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu adsorbentinin Co (II) iyonlarını adsorpladıktan sonraki FT-IR spektrumu

3.15. Nanopartiküllerin Antimikrobiyal Aktivitelerine Ait Bulgular

Adsorbentlerin antimikrobiyal aktiviteleri, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 4352, *Proteus mirabilis* ATCC 14153, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853, *Enterococcus faecalis* ATCC 29212, *Staphylococcus aureus* ATCC 29213, *Staphylococcus epidermidis* ATCC 12228, *Candida parapsilosis* ATCC 22019, *Candida albicans* ATCC 10231'e karşı Minimum İnhibitör Konsantrasyon (MİK) değerleri Clinical Laboratory Standards Institute (CLSI) kriterleri doğrultusunda microdilüsyon yöntemiyle saptanmıştır. Bu aktiviteye ait sonuçlar Tablo 3.102'de verilmiştir.

Tablo 3.102. Adsorbentlerin antimikrobiyal aktivitelerine ait sonuçlar

	<i>P. aeruginosa</i> ATCC 27853	<i>E. coli</i> ATCC 25922	<i>K. pneumoniae</i> ATCC 4352	<i>P. mirabilis</i> ATCC 14153	<i>E. faecalis</i> ATCC 29212	<i>S. epidermidis</i> ATCC 12228	<i>S. aureus</i> ATCC 29213	<i>C. albicans</i> ATCC 10231	<i>C. parapsilosis</i> ATCC 22019
1.ADSORBENT	-	-	-	-	-	-	625	312,5	78,12
2.ADSORBENT	-	-	-	-	-	-	625	-	625
2. ADSORBENT+PB+2	-	-	-	-	-	-	625	-	625
FE3O4 KONTROL	-	-	-	-	-	-	-	-	625

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

a) Adsorbentlerin Karakterizasyonuna Ait Sonuçlar:

Manyetik demir oksit nanopartiküllerinin sentezlendiği, Şekil 3.1’de verilen FT-IR spektrumundaki 530 cm^{-1} ’de görülen Fe-O bağına ait absorpsiyon bandından anlaşılmaktadır. Manyetik Fe_3O_4 nanopartiküller silika ile kaplandıktan sonra 797 cm^{-1} ve 1097 cm^{-1} civarlarında iki yeni pik görülmektedir (Şekil 3.2). Bu pikler de Si-O-Si ve Si-O-Fe bağları simetrik titreşimlerini göstermektedir. Şekil 3.2’de ortaya çıkan bu pikler manyetik nanopartiküllere silika bağlandığını kanıtlamaktadır. Şekil 3.3’de APTES ile kaplanmış nanopartiküllerin varlığı 3419 cm^{-1} ’deki N-H gerilme piki, 1628 cm^{-1} ’deki serbest NH_2 pikleri ve 2911 cm^{-1} ’deki C-H gerilme titreşimine ait piklerden anlaşılmaktadır. Şekil 3.4’de PAMAM ile modifiye edilmiş manyetik nanopartiküllerin FT-IR spektrumu görülmektedir. Buna göre; $-\text{CO}-\text{NH}-$ bağı titreşimleri $1450-1600\text{ cm}^{-1}$ ’de, NH_2 bağı titreşimleri $3200-3600\text{ cm}^{-1}$ ’de ve C-H bağı titreşimleri de 2904 cm^{-1} ’de yer almaktadır. Şekil 3.5 ve 3.6’da sırasıyla $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNP-s-G1-Mu}$ ve $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNP-s-G2-Mu}$ ’nun FT-IR spektrumu görülmektedir. $1000-1400\text{ cm}^{-1}$ dalga boyu aralığındaki pikler C-C, C-N, C-O bağlarına ait piklerdir. N-H bağı pikleri 3410 cm^{-1} ’de ve C=O bağına ait pikler de 1642 cm^{-1} ’de yer almaktadır. Şekil 3.7 manyetik demir oksit nanopartiküller ile silika ve APTES kaplı partiküllerin XRD grafiğini göstermektedir. Grafiğe bakıldığında demir oksitin kübik spinel yapısına ait olan pikler 2θ ’da 30.4° , 35.5° , 43.5° , 53.7° , 57.5° ve 63° ’de görülmektedir. Şekil 3.10’da demir oksit manyetik nanopartiküllerin SEM görüntüsüne bakıldığında partiküllerin kübik spinel yapısı görülmektedir. Fe ve O elementlerinin varlığı da EDX analiz grafiğinden (Şekil 3.11) belli olmaktadır. Şekil 3.12 (b) ve 3.13’de sırasıyla, silika kaplı manyetik demir oksit nanopartiküllerin SEM görüntüsü ve EDX grafiğine aittir. EDX analizi sonucundan demir oksit nanopartiküllere silika bağlandığı görülebilmektedir. Şekil 3.12 (c) ve 3.14’de silika ve APTES kaplı demir oksit manyetik nanopartiküllerinin SEM görüntüsü ve EDX grafiği görülmektedir. Buna göre nanopartiküllere APTES bağlandığı grafikte görülen N atomunun varlığından anlaşılmaktadır. Şekil 3.12 (d) ve 3.12 (e)’de sırasıyla, PAMAM ve müreksit ile modifiye edilmiş demir oksit nanopartiküllerin, Şekil 3.12 (f)’de ise $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNP-s-G2-Mu}$ ’nun SEM görüntüleri görülmektedir. Buna göre manyetik nanopartiküllerin kaplandıkça partikül boyutunun arttığı görülmektedir. Ayrıca, demir oksit nanopartiküllerinin TEM görüntülerinden de kübik spinel yapıda olduğu anlaşılmaktadır. Demir oksit

nanopartiküllerin kuvvetli manyetik özellik gösterdiği VSM grafiğinden (Şekil 3.16) görülmektedir. Manyetik özelliğin nanopartiküllerin silika ve APTES ile kaplandıktan sonra da devam ettiği Şekil 3.16'dan görülebilmektedir. Demir oksit nanopartiküllerin PAMAM ve müreksitle modifiye edilmesinden sonra da manyetik özellik göstermeye devam ettiği Şekil 3.17'den görülmektedir. Karakterizasyon işlemleri sonuçlarından adsorbentlerin başarılı bir şekilde sentezlenmiş olduğu anlaşılmaktadır.

b) Pb(II) Adsorpsiyonuna Ait Sonuçlar:

Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Pb (II) adsorpsiyonu sonuçlarına bakıldığında, adsorpsiyon ilk 10 dk içinde maksimum değerine ulaşmıştır (Şekil 3.18-19). Daha sonraki dakikalar içinde q_e değerlerinin azalmasının bir sebebi, adsorbentin manyetik özelliğinden dolayı sürekli kümelenme eğiliminde olması iken diğer sebep ise oksitlenme etkisidir. Oksijen adsorbente kimyasal olarak tutunduğu için metal iyonlarının tutunmasını azaltmıştır. Maksimum adsorplanan Pb (II) miktarları 298, 308 ve 318 K sıcaklıklarında sırasıyla 194,244; 197,505 ve 196, 052 mg g^{-1} olmuştur (Tablo 3.1) Yani sıcaklık artışıyla adsorplanan miktar önce artmış sonra yine azalmıştır. Ancak sıcaklık değişimiyle adsorplanan miktarlardaki değişimler çok büyük olmadığından sıcaklığın adsorpsiyona etkisinin olmadığı söylenebilir. Adsorbent miktarı arttıkça adsorpsiyon yüzdesi önemli oranda değişmemiş fakat adsorplanan Pb (II) miktarı azalmıştır (Şekil 3.20). 0,125 g adsorbent kullanıldığında 38, 905 mg g^{-1} Pb (II) adsorplanmıştır (Tablo 3.2). Bu durum, adsorbent miktarının artışıyla adsorplayıcının kendi yüzeyini örterek aktif merkezlerini pasifize etmesinden kaynaklanıyor olabilir. pH değerinin artmasıyla adsorpsiyon yüzdesi ile birlikte adsorplanan Pb (II) miktarı da artmıştır (Şekil 3.21). pH 5'te adsorpsiyon yüzdesi 98, 956, adsorplanan Pb (II) miktarı (q_e) ise 98, 956 mg g^{-1} (Tablo 3.3) olarak maksimum seviyeye ulaşmıştır. pH değeri adsorpsiyon için önemli bir parametredir. Çünkü aktif adsorpsiyon alanlarında bulunan fonksiyonel grupların adsorbent yüzeyinden ayrışması, adsorbentin yüzey yükü ve malzemelerin iyonlaşma derecesi pH değerinden etkilenir. pH 2 değerinden arttıkça, adsorbentin yüzey yükü giderek daha negatif hale gelmiştir. Adsorbentin daha yüksek pH değerlerinde bu yüzey negatifliği, metalin adsorpsiyonunu büyük ölçüde etkilemiştir. Negatif yüzey yükü, adsorbentin bünyesindeki H^+ iyonlarının suyla birleşerek H_3O^+ olarak salınmasına neden olur. Bu nedenle, bağlanma bölgesi olarak işlev gören bu parçalanmış fonksiyonel gruplar, metal iyonları tarafından kolayca erişilebilir hale gelir ve daha iyi adsorbe olur. Ayrıca, düşük pH değerlerinde

adsorplanan miktarın düşük olması ortamda fazlaca bulunan protonların, yüzeydeki aktif merkezlere metal iyonlarından daha çok tutunmasından da kaynaklanmaktadır. Böyle bir sonuç daha önceki bazı çalışmalarda da görülmüştür [113]. pH 6 değerinden sonraki pH değerlerinde Pb (II) iyonlarının çökmesinden dolayı pH 2-5 aralığında çalışılmıştır. Başlangıç Pb (II) konsantrasyonunun artmasıyla adsorpsiyon yüzdesi bir miktar azalmış ancak adsorplanan metal iyonu miktarı artmıştır (Şekil 3.22). 200 mg L⁻¹ başlangıç konsantrasyonunda adsorplanan Pb (II) miktarı 191, 565 mg g⁻¹ olmuştur (Tablo 3.4). Bu durum konsantrasyonun artmasıyla metal iyonlarının sayısının artışından kaynaklanmaktadır. Adsorpsiyona ait kinetik veriler pseudo birinci derece ve ikinci derece denklemlerinin ikisine de uygunluk göstermiştir (Şekil 3.23-24). Bu grafiklerin eğim ve kayma değerlerinden hesaplanan hız sabitleri de Tablo 3.5’de verilmiştir. Arrhenius denkleminde ait grafik Şekil 3.25’de gösterilmiştir. Bu grafiğin eğiminden adsorpsiyonun aktivasyon enerjisi 0,96 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Aktivasyon enerjisinin büyüklüğü de adsorpsiyonun fiziksel olduğunu göstermektedir.

Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Pb(II) adsorpsiyonunda ise sıcaklık arttıkça adsorplanan Pb (II) miktarı artmıştır (Şekil 3.26-27). Maksimum adsorplanan Pb (II) miktarları 298, 308 ve 318 K sıcaklıklarında sırasıyla 196,986; 393,064 ve 397,576 mg g⁻¹ iken adsorpsiyon yüzdeleri de sırasıyla 99,444; 98, 653 ve 99,428 olmuştur (Tablo 3.6). Sıcaklık arttıkça adsorplanan miktarın artması ya metal çözeltisinin viskozluğunun azalması sonucu ortamdaki iyonların hareketliliğinin artmasından ya da adsorplayıcı ile adsorplanan arasındaki etkileşimin artmasından kaynaklanmaktadır. Sonuç olarak adsorpsiyon endotermiktir. Adsorbent miktarının etkisine bakılacak olursa; adsorbent miktarı arttıkça adsorplanan Pb (II) miktarı azalmış, adsorpsiyon yüzdesi önemli oranda değişmemiştir. (Şekil 3.28). 0,125 g adsorbent kullanıldığında 39, 517 mg g⁻¹ Pb (II) adsorplanmış, 1 g adsorbent kullanıldığında ise bu miktar 4, 903 mg g⁻¹ değerine düşmüştür (Tablo 3.7). Bu durum yine, adsorbent miktarının artışıyla adsorplayıcının kendi yüzeyini örterek aktif merkezlerini pasifize etmesinden kaynaklanıyor olabilir [114]. Adsorpsiyonun en fazla olduğu pH değeri ise pH 5’tir (Şekil 3.29). pH 5’te adsorplanan Pb (II) miktarı 98,823 mg g⁻¹, adsorpsiyon yüzdesi ise 98, 823’tür (Tablo 3.8). pH değerinin 2’den 5’e yükselmesiyle adsorplanan miktarın artmasının sebebi ise Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu adsorbentine ilişkin açıklanan gerekçe ile aynıdır. Başlangıç Pb (II) konsantrasyonunun artmasıyla adsorpsiyon yüzdesi azalmış ancak adsorplanan metal iyonu miktarı artmıştır (Şekil 3.30). 200 mg L⁻¹ başlangıç konsantrasyonunda adsorplanan Pb(II) miktarı 192, 304 mg g⁻¹ olmuştur (Tablo

3.9). Bu durum yine, konsantrasyonun artmasıyla metal iyonlarının sayısının artışından kaynaklanmaktadır. Adsorpsiyona ait kinetik veriler sadece pseudo ikinci derece denkleminde uygunluk göstermiştir (Şekil 3.31). Bu grafiğin kayma değerlerinden hesaplanan $k_{ads,2}$ hız sabitleri de Tablo 3.10'da verilmiştir. $k_{ads,2}$ hız sabitleri de adsorpsiyonun sıcaklık arttıkça hızlandığını göstermektedir.

Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu, Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu adsorbentine oranla daha fazla Pb (II) adsorplamıştır. Adsorpsiyon izotermine bakıldığında Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Pb (II) adsorpsiyonunun, hem Langmuir (Şekil 3.102) hem de Freundlich (Şekil 3.103) izotermine uyduğu görülmektedir. Çizgisel izoterm grafiklerinden yararlanılarak hesaplanan Langmuir sabitleri (q_m ve b) değerleri Tablo 3.60'da, Freundlich sabitleri (k ve n) değerleri ise Tablo 3.62'de verilmiştir. Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Pb(II) adsorpsiyon sonuçları da hem Langmuir (Şekil 3.104) hem de Freundlich (Şekil 3.105) izotermine uymaktadır. Ancak Langmuir çizgisel izoterm korelasyon sayısı (R^2) (Langmuir izotermi için 0,9663; Freundlich izotermi için 0,8241), daha büyük olduğundan Langmuir izotermine daha fazla uyduğu söylenebilir. Çizgisel izoterm grafiklerinden yararlanılarak hesaplanan Langmuir sabitleri (q_m ve b) değerleri Tablo 3.64'de, Freundlich sabitleri (k ve n) değerleri ise Tablo 3.66'da verilmiştir. Langmuir ve Freundlich sabitlerinin değerlerine bakıldığında da Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu için değerler daha büyük olduğundan bu adsorbentin daha fazla Pb (II) adsorpladığı doğrulanmaktadır. Freundlich izotermindeki k sabiti ile Langmuir izotermindeki b sabiti adsorplayıcının adsorbente olan ilgisini gösterirler. Freundlich izotermindeki n sabiti ile Langmuir izotermindeki q_m sabiti ise adsorplanan maddenin yüzeye olan ilgisini ifade eder. Bu sabitlerin değerlerine göre; Pb(II) iyonlarının Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu adsorbentine ilgisi daha fazla iken bu adsorbentin de Pb(II) iyonlarını adsorplama kapasitesi daha fazladır denilebilir.

c) Ni(II) Adsorpsiyonuna Ait Sonuçlar:

Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu sonuçlarına bakıldığında, adsorpsiyon yine 10 dk'da maksimuma ulaşmıştır (Şekil 3.32-33). Maksimum adsorplanan Ni(II) miktarları 298, 308 ve 318 K sıcaklıklarında sırasıyla 364,232; 362,84 ve 359 mg g⁻¹ olmuştur (Tablo 3.11). Yani en çok 298 K sıcaklığında Ni(II) iyonları adsorplanmıştır. Çok büyük miktarlarda azalma olmasa da sıcaklık yükseldikçe adsorplanan miktar azalmıştır. Yani adsorpsiyon ekzotermiktir. Adsorbent miktarı arttıkça adsorpsiyon yüzdesi çok küçük miktarda değişiklik göstermişken (hemen hemen sabit), adsorplanan Ni(II) miktarları

azalmıştır (Şekil 3.34). 0,125 g adsorbent kullanıldığında 36, 089 mg g⁻¹ Ni(II) adsorplanmıştır (Tablo 3.12). Bu durum yine adsorbent miktarının artışıyla adsorplayıcının kendi yüzeyini örterek aktif merkezlerini pasifize etmesinden kaynaklanıyor olabilir. pH değerinin artmasıyla adsorpsiyon yüzdesi ile adsorplanan Ni(II) miktarı önemli bir değişiklik göstermemiştir (Şekil 3.35). pH 2’de adsorpsiyon yüzdesi 91, 903, adsorplanan Ni(II) miktarı (q_e) ise 91, 903 mg g⁻¹ (Tablo 3.13) olarak maksimum seviyeye ulaşmıştır. En az Ni(II) adsorpsiyonu ise pH 3 değerinde % 89,4 adsorpsiyon yüzdesiyle 89,4 mg g⁻¹ olarak belirlenmiştir. Görüldüğü gibi, adsorplanan miktarların pH 2-6 aralığındaki değişimi çok büyük miktarlarda değildir. Dolayısıyla, bu pH aralığında adsorpsiyona pH’ın etkisi çok önemli değildir diye düşünülebilir. Başlangıç Ni(II) konsantrasyonunun artmasıyla adsorplanan metal iyonu miktarı (q_e) artmıştır, adsorpsiyon yüzdesi önemli oranda değişiklik göstermemiştir (Şekil 3.36). Bu durum, başlangıç konsantrasyonunun etkisinin pek fazla olmadığını gösterir. 200 mg L⁻¹ başlangıç konsantrasyonunda adsorplanan Ni(II) miktarı (q_e) 180, 07 mg g⁻¹ olmuştur (Tablo 3.14). Adsorpsiyona ait kinetik veriler sadece pseudo ikinci derece denkleminde uygunluk göstermiştir (Şekil 3.37). Bu grafiğin kayma değerlerinden hesaplanan k_{ads,2} hız sabitleri de Tablo 3.15’de verilmiştir. Bu hız sabiti değerlerine göre de adsorpsiyon hızı sıcaklık arttıkça azalmıştır.

Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonu sonuçlarına bakıldığında, adsorpsiyon yine 10 dk’da maksimuma ulaşmıştır (Şekil 3.38-39). Maksimum adsorplanan Ni(II) miktarları 298, 308 ve 318 K sıcaklıklarında sırasıyla 356,88; 362,8 ve 357,96 mg g⁻¹ olmuştur (Tablo 3.16) En çok 308 K sıcaklığında Ni(II) adsorplanmış olsa da aradaki farklar çok az olduğundan adsorpsiyona sıcaklığın etkisi çok fazla olmamıştır. Adsorbent miktarı arttıkça, adsorpsiyon yüzdesi küçük miktarda değişiklik göstermişken (% 89,98 ila % 90,779 arasında) adsorplanan Ni(II) miktarları azalmıştır (Şekil 3.40). Bu durum yine yukarıda açıklanan sebepten kaynaklanmaktadır. En yüksek adsorpsiyon yüzdesi, 0,25 g adsorbent kullanıldığında % 90,779’a ulaşmışken, adsorplanan Ni(II) miktarı (q_e) en fazla 0,05 g adsorbent kullanıldığında 89,98 mg g⁻¹’e ulaşmıştır (Tablo 3.17). pH değerinin etkisine bakıldığında; adsorplanan miktar en yüksek pH 2’de q_e değeri 90,708 mg g⁻¹ ve adsorpsiyon yüzdesi % 90,7 (Şekil 3.41) iken en düşük pH 3’de q_e değeri 88,68 mg g⁻¹ ve adsorpsiyon yüzdesi % 88,68’dir (Tablo 3.18). pH 2 ila 6 aralığında adsorplanan miktarların arasındaki farklar çok az olduğundan adsorpsiyona bu aralıkta pH’ın çok fazla etkisi olmamıştır. Başlangıç Ni(II) konsantrasyonunun artmasıyla adsorplanan metal iyonu miktarı (q_e) artmıştır, adsorpsiyon yüzdesi ise çok önemli miktarda değişmemiştir (Şekil

3.42). En fazla adsorplanan Ni(II) miktarı (q_e), 200 mg L⁻¹ başlangıç konsantrasyonunda 180, 92 mg g⁻¹ olmuştur, adsorpsiyon yüzdesi ise en fazla % 91,082 değeriyle başlangıç konsantrasyonu 50 mg L⁻¹ iken olmuştur (Tablo 3.19). 25 ila 200 mg L⁻¹ başlangıç konsantrasyonları aralığında, adsorpsiyon yüzdesinin az miktarda değişmesi de yine başlangıç konsantrasyonunun etkisinin pek fazla olmadığını gösterir. Adsorpsiyona ait kinetik veriler sadece pseudo ikinci derece denkleminde uygunluk göstermiştir (Şekil 3.43). Bu grafiğin kayma değerlerinden hesaplanan $k_{ads,2}$ hız sabitleri de Tablo 3.20’de verilmiştir. Hız sabitlerinin değerlerine göre sıcaklık arttıkça adsorpsiyon hızı azalmıştır.

Bu sonuçlara göre Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu, Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu adsorbentine göre az bir farkla daha fazla Ni(II) adsorplamıştır. Adsorpsiyon izotermlerine bakıldığında Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Ni(II) adsorpsiyonunun, hem Langmuir (Şekil 3.106) hem de Freundlich (Şekil 3.107) izotermlerine uyduğu görülmektedir. Çizgisel izoterm grafiklerinden yararlanılarak hesaplanan Langmuir sabitleri (q_m ve b) değerleri Tablo 3.68’de, Freundlich sabitleri (k ve n) değerleri ise Tablo 3.70’de verilmiştir. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Ni(II) adsorpsiyon sonuçları da hem Langmuir (Şekil 3.108) hem de Freundlich (3.109) izotermine uymaktadır. Çizgisel izoterm grafiklerinden yararlanılarak hesaplanan Langmuir sabitleri (q_m ve b) değerleri Tablo 3.72’de, Freundlich sabitleri (k ve n) değerleri ise Tablo 3.74’de verilmiştir. Langmuir ve Freundlich sabitlerinin değerlerine bakıldığında da Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu için değerler daha büyük olduğundan bu adsorbentin daha fazla Ni(II) adsorplamış olduğunu desteklemektedir. İzoterm sabitlerinin değerlerine göre; Ni(II) iyonlarının Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu adsorbentine ilgisi daha fazla iken bu adsorbentin de Ni(II) iyonlarını adsorplama kapasitesi daha fazladır denilebilir.

d) Co(II) Adsorpsiyonuna Ait Sonuçlar:

Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Co(II) adsorpsiyonu sonuçlarına bakıldığında, adsorpsiyon yine 10 dk içinde maksimuma ulaşmıştır (Şekil 3.44-45). Maksimum adsorplanan Co(II) miktarları 298, 308 ve 318 K sıcaklıklarında sırasıyla 369,08; 366,692 ve 355,96 mg g⁻¹ olmuştur (Tablo 3.21) Yani en çok 298 K sıcaklığında Co(II) adsorplanmıştır. Sıcaklık yükseldikçe adsorplanan miktar azalmıştır. Yani adsorpsiyon ekzotermiktir. Adsorbent miktarı arttıkça adsorpsiyon yüzdesi % 91,982 ila % 92, 326 gibi küçük bir aralıkta değişiklik göstermiş, adsorplanan Co(II) miktarları ise yine adsorbent miktarının artışıyla adsorplayıcının kendi yüzeyini örterek aktif merkezlerini pasifize etmesinden kaynaklı azalmıştır (Şekil 3.46). 0,05 g adsorbent kullanıldığında 92, 186 mg g⁻¹ ile q_e , en yüksek

değerine ulaşmıştır, 0,5 g adsorbent kullanıldığında ise 9,232 mg g⁻¹ ile q_e, en düşük değerdedir (Tablo 3.22). pH değerinin artmasıyla hem adsorpsiyon yüzdesi hem de adsorplanan Co(II) miktarı azalmıştır (Şekil 3.47). pH 2’de adsorpsiyon yüzdesi 96, 875, adsorplanan Co(II) miktarı (q_e) ise 96, 875 mg g⁻¹ (Tablo 3.23) olarak maksimum seviyeye ulaşmıştır. En az Co(II) adsorpsiyonu ise pH 6 değerinde % 91,841 adsorpsiyon yüzdesiyle 91,841 mg g⁻¹ olarak belirlenmiştir. Co (II) iyonlarının, suda hidroliz reaksiyonlarına maruz kaldıkları ve artan pH ile çözünmeyen sulu kompleksler oluşturdıkları iyi bilinmektedir [115]. Bu durum, Co (II) iyonlarının adsorbent üzerinde adsorpsiyon davranışını anlamak için önemlidir. pH’ın artışıyla oluşan bu komplekslerin varlığından dolayı Co (II) iyonları adsorpsiyonu azalmıştır. Başlangıç Co (II) konsantrasyonunun artmasıyla adsorplanan metal iyonu miktarı (q_e) artmıştır, adsorpsiyon yüzdesi ise önemli miktarda değişiklik göstermemiştir (Şekil 3.48). En fazla adsorpsiyon 200 mg L⁻¹ başlangıç konsantrasyonunda (q_e = 181, 57 mg g⁻¹), en az adsorpsiyon ise 25 mg L⁻¹ başlangıç konsantrasyonunda (q_e = 22, 315 mg g⁻¹) gerçekleşmiştir (Tablo 3.24). Adsorpsiyona ait kinetik veriler pseudo ikinci derece denkleminde uygunluk göstermiştir (Şekil 3.49). Bu grafiğin eğim ve kayma değerlerinden hesaplanan hız sabitleri de Tablo 3.25’de verilmiştir.

Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Co (II) adsorpsiyonu sonuçlarına bakıldığında, adsorpsiyon 298 K sıcaklığında daha geç maksimuma ulaşmıştır, en fazla adsorpsiyon 308 K sıcaklığında gerçekleşmiştir (Şekil 3.50-51). Maksimum adsorplanan Co (II) miktarları 298, 308 ve 318 K sıcaklıklarında sırasıyla 188,996; 366,76 ve 356,2 mg g⁻¹ olmuştur (Tablo 3.26). Sıcaklığın 298 K’den 308 K’e çıkarılmasıyla adsorplanan miktardaki artış çok fazla iken 308 K’den 318 K’e çıkarılmasıyla az miktarda artış olmuş, en çok 308 K sıcaklığında Co (II) adsorplanmıştır. Düşük sıcaklıkta adsorpsiyon verimi oldukça düşük olmuştur. Adsorbent miktarı arttıkça adsorpsiyon yüzdesi düzenli bir azalış göstermemişken, adsorplanan Co (II) miktarları ise azalmıştır (Şekil 3.52). 0,05 g adsorbent kullanıldığında 45,62 mg g⁻¹ ile q_e, en yüksek değerine ulaşmıştır, 0,5 g adsorbent kullanıldığında ise 4,174 mg g⁻¹ ile q_e, en düşük değerdedir (Tablo 3.27). pH etkisine bakıldığında (Şekil 3.53), pH 2’de adsorpsiyon yüzdesi % 65,44, adsorplanan Co (II) miktarı (q_e) ise 65,44 mg g⁻¹ (Tablo 3.28) olarak maksimum seviyeye ulaşmıştır. pH 3, 4, 5 ve 6’da ise daha düşük ve birbirine yakın miktarlardaki değerlerde Co (II) adsorplanmıştır. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu için açıklanan sebepten dolayı pH artışı adsorplanan Co (II) miktarlarını azaltmıştır. Başlangıç Co (II) konsantrasyonunun artmasıyla hem

adsorpsiyon yüzdesi hem de adsorplanan metal iyonu miktarı (q_e) artmıştır (Şekil 3.54). En fazla adsorpsiyon 200 mg L^{-1} başlangıç konsantrasyonunda ($q_e = 136,27 \text{ mg g}^{-1}$, $\%A = 68,135$), en az adsorpsiyon ise 25 mg L^{-1} başlangıç konsantrasyonunda ($q_e = 9,85 \text{ mg g}^{-1}$, $\%A = 39,4$) gerçekleşmiştir (Tablo 3.29). Adsorpsiyona ait kinetik veriler sadece pseudo ikinci derece kinetik denkleminde uygunluk göstermiştir (Şekil 3.55). Bu grafiğin kayma değerlerinden hesaplanan $k_{ads,2}$ hız sabitleri de Tablo 3.30 'da verilmiştir. Hız sabitlerinin değerlerine göre adsorpsiyonun hızı, sıcaklığın 298 K 'den 308 K 'e yükselmesiyle artmıştır.

Bu sonuçlara göre 298 K sıcaklığında $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNPs-G1-Mu}$, $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNPs-G2-Mu}$ adsorbentine göre daha fazla Co (II) adsorplamıştır. 308 ve 318 K sıcaklıklarında ise her iki adsorbent hemen hemen eşit miktarlarda Co (II) adsorplamıştır. Adsorpsiyon izotermine bakıldığında her iki adsorbentle yapılan adsorpsiyonun da sadece Freundlich (Şekil 3.110-111) izotermine uyduğu görülmektedir. Çizgisel izoterm grafiklerinden yararlanılarak hesaplanan Freundlich sabitleri (k ve n) değerleri $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNPs-G1-Mu}$ için Tablo 3.76'da, $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNPs-G2-Mu}$ için Tablo 3.78'de verilmiştir. Freundlich sabitlerinin değerlerine bakıldığında, $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNPs-G1-Mu}$ için Freundlich sabiti n değerinin daha büyük; $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNPs-G2-Mu}$ için de Freundlich sabiti k değerinin daha büyük olduğu görülür. Buna göre, Co (II) iyonlarının $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNPs-G1-Mu}$ adsorbentine ilgisi daha fazla iken $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNPs-G2-Mu}$ adsorbentinin Co (II) iyonlarını adsorplama kapasitesi daha yüksektir.

e) Cr (III) Adsorpsiyonuna Ait Sonuçlar:

$\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNPs-G1-Mu}$ ile Cr (III) adsorpsiyonu sonuçlarına bakıldığında, adsorpsiyon 10 dk 'da dengeye ulaşmıştır (Şekil 3.56-57). Maksimum adsorplanan Cr (III) miktarları 298 , 308 ve 318 K sıcaklıklarında sırasıyla $399,364$; $399,668$ ve $384,772 \text{ mg g}^{-1}$ olmuştur (Tablo 3.31). Sıcaklık 318 K 'e çıkarıldığında adsorplanan miktarda küçük bir azalma olmakla birlikte, 298 ve 308 K sıcaklıklarında adsorplanan miktar arasındaki fark önemsenmeyecek kadar azdır. 308 K 'den sonraki sıcaklık değerlerinde adsorpsiyon azalmıştır. Yani Cr (III) adsorpsiyonu ekzotermiktir. Adsorbent miktarı arttıkça adsorpsiyon yüzdesindeki değişim çok büyük olmamakla birlikte, adsorplanan Cr (III) miktarları azalmıştır (Şekil 3.58). $0,05 \text{ g}$ adsorbent kullanıldığında $95,61 \text{ mg g}^{-1}$ ile q_e , en yüksek değerine ulaşmıştır. $0,25 \text{ g}$ adsorbent kullanıldığında ise $19,252 \text{ mg g}^{-1}$ ile q_e , en düşük değerdedir (Tablo 3.32). Şekil 3.59'dan, pH 'ın 2 ile 6 aralığındaki değişiminin adsorpsiyonu önemli oranda etkilemediği görülebilmektedir. $\text{pH } 6$ 'da adsorpsiyon yüzdesi

% 97,23, adsorplanan Cr (III) miktarı (q_e) ise 97,23 mg g⁻¹ (Tablo 3.33) olarak maksimum seviyeye ulaşmıştır. pH'ın artması ortamın negatif yükünün artmasını sağlar. Cr (III) iyonlarının adsorpsiyonu elektrostatik çekim kuvvetinden dolayı gerçekleştiğinden pH 2 ile 6 aralığında adsorpsiyon artar. Öte yandan pH yükseldikçe hidroliz reaksiyonları sonucu ortamda Cr(OH)⁺², Cr(OH)₂⁺, Cr₂(OH)₂⁺⁴ ve Cr₃(OH)₄⁺⁵ gibi yeni türler oluşur [116]. Toplam Cr(III) iyonu konsantrasyonu 100 mg l⁻¹ ve pH 3 olduğunda çözünmüş türlerin oranı Cr⁺³ (%87), Cr(OH)⁺² (%11) ve Cr₂(OH)₂⁺⁴ (%2) şeklindedir. pH 4 olduğunda ise bu türlerin oranı şu şekilde değişir: Cr⁺³ (%30), Cr(OH)⁺² (%40), Cr₂(OH)₂⁺⁴ (%26) ve Cr₃(OH)₄⁺⁵ (%4) [117]. Adsorbent yüzeyi hidroksilli Cr iyonlarına daha fazla ilgi göstereceğinden pH 6'dan sonra adsorpsiyon azalacaktır. Bu yüzden Cr (III) iyonlarının adsorpsiyon çalışmaları genellikle pH 2-6 arasında çalışılır. Başlangıç Cr (III) konsantrasyonunun artmasıyla adsorplanan metal iyonu miktarı (q_e) artmıştır, adsorpsiyon yüzdesi ise pek değişiklik göstermemiştir. (Şekil 3.60). En fazla adsorpsiyon 200 mg L⁻¹ başlangıç konsantrasyonunda (q_e = 193,694 mg g⁻¹, %A = 96,847), en az adsorpsiyon ise 25 mg L⁻¹ başlangıç konsantrasyonunda (q_e = 24, 033 mg g⁻¹, %A = 96,132) gerçekleşmiştir (Tablo 3.34). Adsorpsiyona ait kinetik veriler pseudo birinci derece ve ikinci derece denklemlerinin ikisine de uygunluk göstermiştir (Şekil 3.61-63). Bu grafiklerin eğim ve kayma değerlerinden hesaplanan hız sabitleri de Tablo 3.35'de verilmiştir. Hız sabitlerinin değerlerine göre adsorpsiyon hızı sıcaklıkla azalmıştır. Arrhenius denkleminde ait grafik Şekil 3.62'de gösterilmiştir. Bu grafiğin eğiminden adsorpsiyonun aktivasyon enerjisi 2,58 kJ mol⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Aktivasyon enerjisinin büyüklüğü de adsorpsiyonun fiziksel olduğunu göstermektedir.

Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonu sonuçlarına bakıldığında, adsorpsiyon 10 dk'da maksimuma ulaşmıştır (Şekil 3.64-65). Maksimum adsorplanan Cr (III) miktarları 298, 308 ve 318 K sıcaklıklarında sırasıyla 389,32; 386,836 ve 386,16 mg g⁻¹ olmuştur (Tablo 3.36). Bu sonuçlardan anlaşılabileceği gibi adsorpsiyon ekzotermiktir. Adsorbent miktarı arttıkça adsorpsiyon yüzdesi önemli bir değişiklik göstermeyip, adsorplanan Cr (III) miktarları ise azalmıştır (Şekil 3.66). 0,05 g adsorbent kullanıldığında 95,61 mg g⁻¹ ile q_e , en yüksek değerine ulaşmıştır, 0,25 g adsorbent kullanıldığında ise 19,252 mg g⁻¹ ile q_e , en düşük değerdedir (Tablo 3.37). pH etkisine bakıldığında (Şekil 3.67), hem adsorpsiyon yüzdesinin hem de adsorplanan miktarın bu aralıkta büyük oranda değişmediği görülmektedir. pH 6'da adsorpsiyon yüzdesi % 97,23, adsorplanan Cr (III) miktarı (q_e) ise 97,23 mg g⁻¹ olarak maksimum seviyeye ulaşmışken, pH 2'de adsorpsiyon

yüzdesi % 95,524 ve adsorplanan Cr (III) miktarı (q_e) ise 95,524 mg g⁻¹ olarak minimum seviyededir (Tablo 3.38). Bu durum yine Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile ilgili açıklanan sebebe bağlıdır. Başlangıç Cr (III) konsantrasyonunun artmasıyla adsorplanan metal iyonu miktarı (q_e) artmıştır, adsorpsiyon yüzdesi ise önemli bir değişiklik göstermemiştir (Şekil 3.68). En fazla adsorpsiyon 200 mg L⁻¹ başlangıç konsantrasyonunda ($q_e = 193,694$ mg g⁻¹, %A = 96,847), en az adsorpsiyon ise 25 mg L⁻¹ başlangıç konsantrasyonunda ($q_e = 24,033$ mg g⁻¹, %A = 96,132) gerçekleşmiştir (Tablo 3.39). Adsorpsiyona ait kinetik veriler pseudo birinci derece ve ikinci derece denklemlerinin ikisine de uygunluk göstermiştir (Şekil 3.69-71). Bu grafiklerin eğim ve kayma değerlerinden hesaplanan hız sabitleri de Tablo 3.40'da verilmiştir. Hız sabitlerinin değerlerine göre adsorpsiyon hızı sıcaklık arttıkça azalmıştır. Arrhenius denkleminde ait grafik Şekil 3.70'de gösterilmiştir. Bu grafiğin eğiminden adsorpsiyonun aktivasyon enerjisi 1,53 kJ mol⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Aktivasyon enerjisinin büyüklüğü de adsorpsiyonun fiziksel olduğunu göstermektedir.

Bu sonuçlara göre ilk iki sıcaklıkta Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu, Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu adsorbentine göre biraz daha fazla Cr (III) adsorplamıştır. 318 K'de ise Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu az bir farkla daha fazla Cr (III) iyonu adsorplamıştır. Adsorpsiyon izotermine bakıldığında Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile yapılan adsorpsiyonun sadece Freundlich (Şekil 3.112) izotermine uyduğu görülmektedir. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonu ise hem Langmuir hem de Freundlich izotermine uygunluk göstermiştir (Şekil 3.113-114). Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonunun Freundlich çizgisel izoterm grafiğinden yararlanılarak hesaplanan Freundlich sabitleri (k ve n) Tablo 3.80'de verilmiştir. Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Cr (III) adsorpsiyonu için çizgisel izoterm grafiklerinden yararlanılarak hesaplanan Freundlich sabitleri (k ve n) değerleri Tablo 3.84'de, Langmuir sabitleri ise Tablo 3.82'de verilmiştir. Freundlich sabitlerinin değerlerine bakıldığında, Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu için Freundlich sabitlerinin değerlerinin daha büyük olduğu görülür. Yani Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu adsorbentinin Cr (III) iyonlarını adsorplama kapasitesi daha fazla olup, Cr (III) iyonlarının da bu adsorbente ilgisi daha fazladır.

f) Alizarin Sarısı Adsorpsiyonuna Ait Sonuçlar:

Şekil 3.72, Alizarin Sarısı boyarmaddesine ait çalışma grafiğini ve Tablo 3.41 de bu grafiğe ait verileri ifade etmektedir. Bu grafiğe göre, cihazdan alınan absorbans değerleri konsantrasyona çevrilerek diğer hesaplamalar yapılmıştır. $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-MNP}\text{s-G1-Mu}$ ile Alizarin Sarısı boyarmaddesinin adsorpsiyonunun sonuçlarına bakıldığında, adsorpsiyon 8. saatin sonunda dengeye ulaşmıştır (Şekil 3.73-74). Tablo 3.42’de adsorpsiyona ait, 298 K sıcaklığında, zamana göre % adsorpsiyon ve adsorplanan miktar (q_e) değerleri verilmiştir. Buna göre adsorpsiyon verimi % 90,43 ve maksimum adsorplanan miktar da $7,53 \text{ mg g}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Adsorbent miktarının adsorpsiyona etkisi incelendiğinde (Şekil 3.75), adsorbent miktarının artışıyla adsorpsiyon yüzdesinin arttığı ancak adsorplanan madde miktarının azaldığı görülmektedir. Adsorpsiyon yüzdesinin artışı, adsorpsiyon bölgelerinin sayısının artışından kaynaklanırken, adsorplanan miktarın azalması da adsorplanmadan kalan bölgelerin olmasından kaynaklanmaktadır. 0,5 g adsorbent kullanıldığında adsorpsiyon yüzdesi 99,79’a ulaşırken adsorplanan Alizarin Sarısı miktarı (q_e) ise $4,99 \text{ mg g}^{-1}$ ’dir (Tablo 3.43). pH’ın adsorpsiyona etkisi incelenirken 2, 4, 6, 8 ve 10 pH değerlerinde çalışılmıştır. Şekil 3.76, pH etkisini gösteren grafiğe aittir. Bu grafiğe göre, pH 2’den 10’a yükselirken adsorpsiyon yüzdesi ve adsorplanan miktar önce artmış sonra sabit denilebilecek kadar az artış göstermiştir. Yani pH 6’dan sonra adsorpsiyonu çok fazla etkilememiştir denilebilir. Başka bir deyişle bazik ortamda adsorpsiyon verimi artmıştır. Boyar madde adsorpsiyonunda pH etkisi ağır metal adsorpsiyonlarına göre daha azdır. Çünkü boyarmaddelerin moleküllerinin büyüklüğü gibi özellikleri karşısında pH etkisinin önemi azalmaktadır. Alizarin Sarısının başlangıç konsantrasyonunun etkisini belirlemek için 50, 100, 150, 200 ve 250 mg L^{-1} konsantrasyonlarında deneyler yapılmıştır. Şekil 3.77, başlangıç konsantrasyonunun etkisini gösteren grafiğe aittir. Bu grafiğe göre başlangıç konsantrasyonu arttıkça, adsorpsiyon yüzdesi azalmış ancak adsorplanan miktar artmıştır. 50 mg L^{-1} başlangıç konsantrasyonunda adsorpsiyon yüzdesi 97,04 iken adsorplanan miktar $4,04 \text{ mg g}^{-1}$ ’dir. Başlangıç konsantrasyonu 250 mg L^{-1} olduğunda ise adsorpsiyon yüzdesi 75,808’e düşerken, adsorplanan miktar artarak $15,79 \text{ mg g}^{-1}$ olmuştur (Tablo 3.45). Başlangıç konsantrasyonunun artmasıyla adsorplanan madde miktarının artması, boyarmadde ile adsorbent arasındaki etkileşimin fazla olduğunu gösterir. Adsorpsiyona ait 298 K sıcaklığındaki kinetik veriler pseudo birinci derece ve ikinci derece denklemlerinin ikisine de uygunluk göstermiştir (Şekil 3.78-79). Bu grafiklerin

eğim ve kayma değerlerinden 298 K sıcaklığındaki hız sabitleri $k_{ads,1}$ $2,3.10^{-4} \text{ dk}^{-1}$ olarak ve $k_{ads,2}$ ise $0,01 \text{ g mg}^{-1}\text{dk}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.

Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu ile Alizarin sarısı boyarmaddesinin adsorpsiyonunun sonuçlarına bakıldığında, adsorpsiyon yine 8. saatin sonunda dengeye ulaşmıştır (Şekil 3.80-81). Tablo 3.45’de adsorpsiyona ait, 298 K sıcaklığında, zamana göre % adsorpsiyon ve adsorplanan miktar (q_e) değerleri verilmiştir. Buna göre adsorpsiyon verimi % 93,83 ve maksimum adsorplanan miktar da $7,82 \text{ mg g}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Adsorbent miktarının adsorpsiyona etkisi incelendiğinde (Şekil 3.82), adsorbent miktarının artışıyla adsorpsiyon yüzdesinin önce arttığı sonra sabit olduğu ancak adsorplanan madde miktarının azaldığı görülmektedir. Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu adsorpsiyonunda olduğu gibi adsorpsiyon yüzdesinin artışı, adsorpsiyon bölgelerinin sayısının artışından kaynaklanırken, adsorplanan miktarın azalması da adsorbentin miktarının artmasıyla kendi yüzeyini örterek aktif adsorpsiyon alanlarını azaltmasından kaynaklanmaktadır. 0,5 g adsorbent kullanıldığında adsorpsiyon yüzdesi 94,89’a ulaşırken adsorplanan Alizarin Sarısı miktarı (q_e) ise $5,11 \text{ mg g}^{-1}$ ’dir (Tablo 3.47). Şekil 3.83, pH etkisini gösteren grafiklerdir. Bu grafiğe göre, pH 2’den 10’a yükselirken adsorpsiyon yüzdesi ve adsorplanan miktar çok küçük miktarlarda değişiklik göstermiştir. Bu durum 2 ila 10 arasında değişen pH değerlerinin adsorpsiyonu çok fazla etkilemediğini göstermiştir. pH 2 iken adsorpsiyon yüzdesi 91,28 ve adsorplanan boyarmadde miktarı $7,6 \text{ mg g}^{-1}$ iken; pH 10 olduğunda adsorpsiyon yüzdesi 90,43 ve adsorplanan boyarmadde miktarı ise $7,53 \text{ mg g}^{-1}$ olmuştur (Tablo 3.48). Bu değerlerden de anlaşılabileceği gibi pH’ın adsorpsiyon üzerindeki etkisi çok az olmuştur. Şekil 3.84, başlangıç konsantrasyonunun etkisini gösteren grafiğe aittir. Bu grafiğe göre, başlangıç konsantrasyonu arttıkça adsorpsiyon yüzdesi önce artmış sonra azalmış ancak adsorplanan miktar artmıştır. 50 mg L^{-1} başlangıç konsantrasyonunda adsorpsiyon yüzdesi 89,78 iken adsorplanan miktar $3,74 \text{ mg g}^{-1}$ ’dir. Başlangıç konsantrasyonu 250 mg L^{-1} olduğunda ise adsorpsiyon yüzdesi 86,448’e düşerken, adsorplanan miktar artarak $18,014 \text{ mg g}^{-1}$ olmuştur (Tablo 3.49). Başlangıç konsantrasyonunun artmasıyla adsorplanan madde miktarının artması, boyarmadde ile adsorbent arasındaki etkileşimin fazla olduğunun göstergesidir. Adsorpsiyona ait 298 K sıcaklığındaki kinetik veriler pseudo birinci derece ve ikinci derece denklemlerinin ikisine de uygunluk göstermiştir (Şekil 3.85-86). Bu grafiklerin eğim ve kayma değerlerinden 298 K sıcaklığındaki hız sabitleri $k_{ads,1}$ $9,6.10^{-3} \text{ dk}^{-1}$ olarak ve $k_{ads,2}$ ise $0,038 \text{ g mg}^{-1} \text{ dk}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu adsorbenti Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu adsorbentine göre Alizarin Sarısını biraz daha fazla adsorplamıştır. Diğer parametrelerin her iki adsorpsiyona da etkileri hemen hemen benzerdir. Adsorpsiyon izotermlerine bakıldığında her iki adsorbentle yapılan adsorpsiyonun da hem Langmuir (Şekil 3.115-117) hem de Freundlich (Şekil 3.116-118) izotermine uyduğu görülmektedir. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Alizarin Sarısı adsorpsiyonuna ait Langmuir çizgisel izoterm grafiğinden yararlanılarak hesaplanan Langmuir sabitleri (q_m ve b) Tablo 3.86'da ($q_m = 15,384 \text{ mg g}^{-1}$ ve $b = 0,105$) ve Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu adsorbentine ait Langmuir sabitleri ise Tablo 3.90'da ($q_m = 42,918 \text{ mg g}^{-1}$ ve $b = 0,022$) verilmiştir. Bu değerlere göre Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu için hem q_m hem de b sabiti değerleri daha büyüktür. Bu durum Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu adsorbentinin daha fazla Alizarin Sarısı adsorplamasını doğrulamaktadır. Çizgisel izoterm grafiklerinden yararlanılarak hesaplanan Freundlich sabitleri (k ve n) değerleri Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu için Tablo 3.88'de ($k = 3,589$ ve $n = 3,115$); Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu için Tablo 3.92'de ($k = 1,217$ ve $n = 1,26$) verilmiştir. Her iki adsorpsiyonun da (R^2 değerleri daha büyük olduğu için) Freundlich izotermine daha fazla uygunluk gösterdiği görülmektedir.

g) Eriokrom Siyahı T Adsorpsiyonuna Ait Sonuçlar:

Şekil 3.87, Eriokrom Siyahı T boyarmaddesine ait çalışma grafiğini ve Tablo 3.50 de bu grafiğe ait verileri ifade etmektedir. Bu grafiğe göre, cihazdan alınan absorbans değerleri konsantrasyona çevrilerek diğer hesaplamalar yapılmıştır. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T boyarmaddesinin adsorpsiyonunun sonuçlarına bakıldığında, adsorpsiyon 7. saatin sonunda dengeye ulaşmıştır (Şekil 3.88-89). Tablo 3.51'de adsorpsiyona ait, 298 K sıcaklığında, zamana göre % adsorpsiyon ve adsorplanan miktar (q_e) değerleri verilmiştir. Buna göre adsorpsiyon verimi % 94,7 ve maksimum adsorplanan miktar da $7,891 \text{ mg g}^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Adsorbent miktarının adsorpsiyona etkisi incelendiğinde (Şekil 3.90), adsorbent miktarının artışıyla adsorpsiyon yüzdesinin arttığı ancak adsorplanan madde miktarının azaldığı görülmektedir. Adsorpsiyon yüzdesinin artışı, adsorpsiyon bölgelerinin sayısının artışıyla kaynaklanırken, adsorplanan miktarın azalması da yine yukarıda açıklanan sebepten kaynaklanmaktadır. 0,5 g adsorbent kullanıldığında adsorpsiyon yüzdesi 93,49'a ulaşırken adsorplanan Eriokrom Siyahı T miktarı (q_e) ise $4,674 \text{ mg g}^{-1}$ 'dir (Tablo 3.52). pH'ın adsorpsiyona etkisi incelenirken 2, 4, 6, 8 ve 10 pH değerlerinde çalışılmıştır. Şekil 3.91, adsorpsiyona pH'ın etkisini gösteren grafiğe aittir. Bu grafiğe göre, pH 2'den 10'a yükselirken adsorpsiyon yüzdesi ile birlikte

adsorplanan miktar da azalmıştır. Yani pH 2'den sonra adsorplanan miktar yavaş yavaş azaldığından adsorpsiyon asidik ortamda daha verimli olur denilebilir. pH 2 iken adsorpsiyon yüzdesi 90,91 ve adsorplanan boyarmadde miktarı 7,575 mg g⁻¹ iken pH 10'da adsorpsiyon yüzdesi 79,7 ve adsorplanan boyarmadde miktarı 6,641 mg g⁻¹'e düşmüştür (Tablo 3.53). Şekil 3.92, başlangıç konsantrasyonunun etkisini gösteren grafiğe aittir. Buna göre, başlangıç konsantrasyonu 50 mg L⁻¹'den 100 mg L⁻¹'e artınca adsorpsiyon yüzdesi 89,7'den 91,97'ye yükselmiş ancak sonraki konsantrasyon artışlarıyla birlikte azalmıştır. Bununla birlikte başlangıç konsantrasyonunun artmasıyla adsorplanan boyarmadde miktarı da artmıştır. 50 mg L⁻¹ başlangıç konsantrasyonunda adsorpsiyon yüzdesi 89,7 iken adsorplanan miktar 3,737 mg g⁻¹'dir. Başlangıç konsantrasyonu 250 mg L⁻¹ olduğunda ise adsorpsiyon yüzdesi 78,428'e düşerken, adsorplanan miktar artarak 16,339 mg g⁻¹ olmuştur (Tablo 3.54). Başlangıç konsantrasyonunun artmasıyla adsorplanan madde miktarının artması, boyarmadde ile adsorbent arasındaki etkileşimin fazla olduğunu gösterir. Adsorpsiyona ait 298 K sıcaklığındaki kinetik veriler pseudo birinci derece ve ikinci derece denklemlerinin ikisine de uygunluk göstermiştir (Şekil 3.93-94). Bu grafiklerin eğim ve kayma değerlerinden 298 K sıcaklığındaki hız sabitleri $k_{ads,1}$ 2,3.10⁻⁴ dk⁻¹ olarak ve $k_{ads,2}$ ise 0,046 g mg⁻¹ dk⁻¹ olarak hesaplanmıştır.

Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu ile Eriokrom Siyahı T boyarmaddesinin adsorpsiyonunun sonuçlarına bakıldığında, adsorpsiyon yine 7. saatin sonunda dengeye ulaşmıştır (Şekil 3.95-96). Tablo 3.55'de adsorpsiyona ait, 298 K sıcaklığında, zamana göre % adsorpsiyon ve adsorplanan miktar (q_e) değerleri verilmiştir. Buna göre adsorpsiyon verimi % 95,16 ve maksimum adsorplanan miktar da 7, 93 mg g⁻¹ olarak hesaplanmıştır. Adsorbent miktarının adsorpsiyona etkisi incelendiğinde (Şekil 3.97), adsorbent miktarının artışıyla adsorpsiyon yüzdesinin arttığı ancak adsorplanan madde miktarının azaldığı görülmektedir. 0,5 g adsorbent kullanıldığında adsorpsiyon yüzdesi 94,55'e ulaşırken adsorplanan Eriokrom Siyahı T miktarı (q_e) ise 4,72 mg g⁻¹'dir (Tablo 3.56). pH'ın adsorpsiyona etkisi incelenirken 2, 4, 6, 8 ve 10 pH değerlerinde çalışılmıştır. Şekil 3.98, pH etkisini gösteren grafiğe aittir. Bu grafiğe göre, pH 2'den 10'a yükselirken adsorpsiyon yüzdesi ile birlikte adsorplanan miktar çok küçük de olsa azalmıştır. Değişim çok küçük miktarlarda olduğu için pH'ın adsorpsiyona çok fazla etkisi olmamıştır denilebilir. Ph 2 iken adsorpsiyon yüzdesi 95,3 ve adsorplanan boyarmadde miktarı 7,94 mg g⁻¹ iken pH 10'da adsorpsiyon yüzdesi 93,18 ve adsorplanan boyarmadde miktarı 7,765 mg g⁻¹'e düşmüştür (Tablo 3.57). Şekil 3.99, başlangıç konsantrasyonunun etkisini gösteren grafiğe aittir. Buna göre,

başlangıç konsantrasyonu 50 mg L⁻¹'den 100 mg L⁻¹'e artınca adsorpsiyon yüzdesi 90'dan 93,79'a yükselmiş ancak sonraki konsantrasyon artışlarıyla birlikte azalmıştır. Bununla birlikte, başlangıç konsantrasyonunun artmasıyla adsorplanan boyarmadde miktarı da artmıştır. 50 mg L⁻¹ başlangıç konsantrasyonunda adsorpsiyon yüzdesi 90 iken adsorplanan miktar 3,75 mg g⁻¹'dir. Başlangıç konsantrasyonu 250 mg L⁻¹ olduğunda ise adsorpsiyon yüzdesi 87,276'ya düşerken, adsorplanan miktar artarak 18,18 mg g⁻¹ olmuştur (Tablo 3.58). Başlangıç konsantrasyonunun artmasıyla adsorplanan madde miktarının artması, boyarmadde ile adsorbent arasındaki etkileşimin fazla olduğunu gösterir. Adsorpsiyona ait 298 K sıcaklığındaki kinetik veriler pseudo birinci derece ve ikinci derece denklemlerinin ikisine de uygunluk göstermiştir (Şekil 3.100-101). Bu grafiklerin eğim ve kayma değerlerinden 298 K sıcaklığındaki hız sabitleri $k_{ads,1}$ 0,013 dk⁻¹ olarak ve $k_{ads,2}$ ise 0,04 g mg⁻¹ dk⁻¹ olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu adsorbenti Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu adsorbentine göre Eriokrom Siyahı T boyarmaddesini biraz daha fazla adsorplamıştır. Diğer parametrelerin her iki adsorpsiyona da etkileri hemen hemen benzerdir. Adsorpsiyon izotermine bakıldığında her iki adsorbentle yapılan adsorpsiyonun da hem Langmuir (Şekil 3.119-121) hem de Freundlich (Şekil 3.120-122) izotermine uyduğu görülmektedir. Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu ile Eriokrom Siyahı T adsorpsiyonunun Langmuir çizgisel izoterm grafiğinden yararlanılarak hesaplanan Langmuir sabitleri (q_m ve b) Tablo 3.94'de ($q_m = 22,883$ mg g⁻¹ ve $b = 0,049$) ve Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu adsorbentine ait Langmuir sabitleri ise Tablo 3.98'de ($q_m = 35,211$ mg g⁻¹ ve $b = 0,031$) verilmiştir. Bu değerlere göre Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu adsorbenti için q_m daha büyük, Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu adsorbenti için de b sabiti daha büyüktür. Çizgisel izoterm grafiklerinden yararlanılarak hesaplanan Freundlich sabitleri (k ve n) değerleri Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu adsorbenti için Tablo 3.96'da ($k = 1,845$ ve $n = 1,724$); Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu adsorbenti için Tablo 3.100'de ($k = 1,195$ ve $n = 0,932$) verilmiştir. İzotermilerin R² değerlerine göre; Fe₃O₄-MNPs-G1-Mu adsorbenti ile yapılan adsorpsiyon Langmuir izotermine, Fe₃O₄-MNPs-G2-Mu adsorbenti ile yapılan adsorpsiyon da Freundlich izotermine daha fazla uygunluk göstermektedir.

Tablo 3.100'de adsorbentlerin bütün adsorplananlarla ilgili Langmuir ve Freundlich sabitleri görülmektedir. Buna göre; her iki adsorbentin de ağır metallerden en fazla Pb⁺²'yi, boyarmaddelerden ise en fazla Eriokrom siyahı T'yi adsorplama kapasitesi yüksektir.

İkinci olarak da Ni^{+2} iyonları her iki adsorbent tarafından iyi derecede adsorplanmıştır. b sabiti değerlerine bakılınca da Pb^{+2} ağır metalinin 2. adsorbente ilgisinin daha fazla olduğu görülüyor. Adsorbentlerin her ikisi de ağır metalleri boyarmaddelere göre daha fazla adsorplanmıştır. Boyarmaddelerin moleküllerinin büyük oluşu bu duruma sebep olmuştur. Co^{+2} iyonlarının her iki adsorbentle ve Cr^{+3} iyonlarının da birinci adsorbentle adsorpsiyonu dışındaki tüm adsorpsiyonlar hem Langmuir hem de Freundlich izotermlerine uygunluk göstermiştir.

Şekil 3.123, 3.124 ve 3.125 Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu adsorbentinin sırasıyla $Pb(II)$, $Ni(II)$ ve $Co(II)$ iyonlarını adsorpladıktan sonraki FT-IR spektrumlarını göstermektedir. Bu spektrumlar Şekil 3. 5'deki Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu'ya ait spektrumla kıyaslandığında 1400 cm^{-1} 'deki C-O bağı titreşimine ait pikin adsorpsiyondan sonra olmadığı görülmektedir. Buna göre; adsorpsiyon, büyük bir olasılıkla adsorbentin üzerindeki O^- iyonları ile ağır metallerin + yükleri arasında oluşan elektrostatik çekim kuvvetinden kaynaklanmıştır.

Şekil 3.126, 3.127 ve 3.128 Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu adsorbentinin sırasıyla $Pb(II)$, $Ni(II)$ ve $Co(II)$ iyonlarını adsorpladıktan sonraki FT-IR spektrumlarını göstermektedir. Yukarıda Fe_3O_4 -MNPs-G1-Mu adsorbenti için bahsedilen durum aynen Fe_3O_4 -MNPs-G2-Mu adsorbenti için de geçerlidir.

h)Antimikrobiyal Aktivite Sonuçları

Tablo 3.101'deki antimikrobiyal aktivite etkisinin sonuçlarına göre;

C. parapsilosis ATCC 22019 bakterisi üzerine; Fe_3O_4 nano partikülü (kontrol) dahil tüm adsorbentler antimikrobiyal aktivite göstermiş olup en yüksek aktiviteyi birinci adsorbent sergilemiştir.

C. albicans ATCC 10231 bakterisi üzerine kontrol Fe_3O_4 nano partikülüne karşı birinci adsorbent, ikinci adsorbent ve Pb^{+2} tutmuş adsorbent denenmiştir. Elde edilen sonuca göre birinci adsorbent haricinde diğer tüm adsorbentler aktivite göstermemiştir.

S. aureus ATCC 29213 bakterisi üzerine kontrol Fe_3O_4 nano partikülüne karşı birinci adsorbent, ikinci adsorbent ve Pb^{+2} tutmuş adsorbent denenmiştir ve tüm adsorbentler aktivite göstermiştir. Yani, birinci adsorbent C. Parapsilosis, C. albicans ve S. Aureus bakterilerine karşı bakteriyel inhibisyon göstermiştir. Pb^{+2} bağlamaksızın bu etkiyi göstermiştir.

5. ÖNERİLER

Bu çalışma ile demir oksit nanopartiküllerin birlikte çöktürme yöntemiyle sentezlendikten sonra modifiye edilmesiyle birlikte, kullanılan ağır metalleri ve boyarmaddeleri adsorplamada başarılı olduğunu gösterdik. Ayrıca, sentezlediğimiz nanopartiküllerin antibakteriyel aktivite göstermede de etkili olduğunu kanıtladık. Bununla birlikte, daha sonraki çalışmalarda aynı nanopartiküllerin, tez içinde bahsi geçen diğer bazı yöntemlerle de sentezi denenebilir. Demir oksit nanopartiküllerin başka maddelerle modifikasyonu ile farklı maddelerin adsorpsiyonunda kullanılması da ileride denenebilecek çalışmalar arasında olabilir.

Çalışmada, PAMAM dendrimerinin birinci ve ikinci jenerasyon modifikasyonunu gerçekleştirdik. Bu jenerasyonlar artırılarak, demir oksit nanopartiküllerin özelliklerinin nasıl değiştiği incelenebilir. Nanoteknoloji, uygulama alanları çok olan ve sürekli gelişen yeni bir çalışma alanıdır. Bu gelişmelerin ışığında, sentezlenen nanopartiküller, başka bazı uygulama alanlarında da kullanılarak farklı çalışmalar yapılabilir.

Suyun canlılar için hayati önemde olduğu bilinse de son yıllarda sanayi ve teknolojinin gelişmesiyle su kaynaklarının kirletilmesi ne yazık ki gün geçtikçe artmaktadır. Adsorpsiyon çalışmaları, zararlı maddeleri sudan uzaklaştırmada kullanılan ekonomik bir yöntemdir. Dolayısıyla çalışmamızda canlıların sağlığına zararlı olan bazı ağır metallerin ve boyar maddelerin sulu çözeltiden uzaklaştırılması için yeni ve etkili iki yeni adsorbent hazırlayarak çevre sağlığına da katkıda bulunmuş olduk.

KAYNAKLAR

- [1] **Fovad, M.B., El-Habit, O.,** 2018. Bioenvironmental issues affecting men's reproductive and sexual health Chapter 18: Heavy metal toxicity affecting fertility and reproduction of males, Academic Press, 293-304.
- [2] **Roychowdhury, A., Datta, R., Sarkar, D.,** 2018. Green chemistry (An inclusive approach) Chapter 3:10 Heavy metal pollution and remediation, Elsevier, 359-373.
- [3] **Şenol, H.,** 2015. Boyarmadde ve ağır metallerin bentonit ile adsorpsiyonunun incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sivas.
- [4] **Gulson, B.L., Mahaffey, K.R., Mizon, K.J., Korsch, M.J., Cameron, M.A., Vimpani, G.,** 1995. Contribution of tissue lead to blood lead in adult female subjects based on stable lead isotope methods, *Journal of Lab. Clin. Med.*, 125, 703-712.
- [5] **National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH),** 1995. Report to Congress on Workers' Home Contamination Study Conducted Under the Workers' Family Protection Act, Publication No: 95-123.
- [6] <https://nickelinstitute.org/NickelUseInSociety/AboutNickel/whereWhyNickelIsUsed.aspx>. 12 kasım 2018.
- [7] **Siegel, F.R.,** 2002. Environmental geochemistry of potential toxic metals, Verlag Berlin Heidelberg, New York.
- [8] **Chashschin, V.P., Artunina, G.P., Norseth, T.,** 1994. Congenital defects, abortion and other health effects in nickel refinery workers, *Science of the total Environment*, 148, 287-291.
- [9] **Towill, L.E., Shriner, C.R., Drury, J.S., Hammons, A.S., Holleman, J.W.,** 1978. *Reviews of the environmental effects of pollutants Technical Report, III. Chromium*, United States.
- [10] **Kendrick, M.J., May, M.T., Plishka, M.J., Robinson, K.D.,** 1992. Metals in Biological Systems, pp. 183, Ellis Harwood, Chichester.
- [11] **Habashi, F.,** 1997. Handbook of Extractive Metallurgy Vol. 2, Wiley – VCH, Germany.
- [12] **Akkaya, G.** 2007. Sulu çözeltiden kitin ve kitin türevleri ile bazı toksik boyarmaddelerin adsorpsiyonunun kinetik ve termodinamik olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.

- [13] **Başer, İ. Ve İNANICI, Y.**, 1990. Boyarmadde Kimyası, Marmara Üniversitesi yayın no 482, İstanbul.
- [14] **Wang, C., Yediler A., Lienert, D., Wang, Z. and Kettrup, A.**, 2002. Toxicity evaluation of reactive dyestuffs, auxiliaries and selected effluents in textile finishing industry to luminescent bacteria *Vibrio fischeri*, *Chemosphere*, 46, 339-344.
- [15] **Lopez, A., Ricco, G., Mascolo, G., Tiravanti, G., Di Pinto, A.C., and Passino, R.**, 1998. Biodegradability enhancement of refractory pollutants by ozonation: a laboratory investigation on azo-dyes intermediate, *Water Science Technology*, 38, 239-245.
- [16] **Kant, R.**, 2012. Textile dyeing industry an environmental hazard, *Natural Science*, 4, 22-26.
- [17] **Majahan, S.P.**, 2004. Pollution control in process industries, Summer report, IIT, Bombay 5.
- [18] **Sarıkaya, Y.**, 1993. Fizikokimya 1, Gazi Büro Kitabevi, Ankara.
- [19] **Felder, R.M., Rousseau, R.W.**, 2000. Elementary principles of Chemical processes 3rd edition, pp. 275-278, Wiley, New York.
- [20] **Atıç, S.**, 2008. Sulu çözümlerden chitosan ve chitosan türevi ile bazı toksik boyarmaddelerin adsorpsiyonunun kinetik ve termodinamik olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- [21] **Kobya, M.**, 2001. Adsorpsiyon Prosesleri, Bölüm 1 ve 6, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Gebze, Kocaeli.
- [22] **Rodrigues, M., Le Van, D. and Tondeur, D.**, 1989. Adsorption: Science and Technology, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston and London.
- [23] **Herley, S. and Herley, E.J.**, 1998. Separation Process Principles, John Wiley & Sons Inc., New York.
- [24] **Sawyer, C.N. and McCarty, P.L.**, 1978. Chemistry for environmental engineering 3rd. Edition, pp. 519, McGraw Hill Book Co., Singapore.
- [25] **Weber, J.R.**, 1972. Physicochemical processes for water quality control, pp. 640, Wiley-Interscience, USA.
- [26] **Rouquerol, J., Rouquerol, F., Llewellyn, P., Maurin, G. And Sing, K.S.**, 2013. Adsorption by powders and porous solids: principles, methodology and applications, Elsevier Academic Press.

- [27] **Dada, A.O., Olalekan, A.P., Olatunya, A.M. and Dada, O.,** 2012. Langmuir, Freundlich, Temkin and Dubinin-Radushkevich isotherms studies of equilibrium sorption of Zn^{+2} unto phosphoric acid modified rice husk, *Journal of Applied Chemistry*, 3, 38-45.
- [28] **Langmuir, I.,** 1918. The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum, *Journal of American Chemical Society*, 40, 1361-1368.
- [29] **Freundlich, H.,** 1926. Colloid and Capillary Chemistry, Methuen, London.
- [30] **Kandasany, J., Vigneswaran, S., Hoang, T.T.L. and Chaudhary, D.N.S.,** Water and wastewater treatment technologies-Adsorption and biological filtration in wastewater treatment, Encyclopedia of life support systems (EOLSS), <http://eolss.net/Sample-Chapters/C07/E6-144-06.pdf>.
- [31] **Dabrowski, A.,** 2001. Adsorption from theory to practice, *Advances in Colloid and Interface Science*, 93, 135-224.
- [32] **Slejko, F.L.,** 1985. Adsorption Technology, Marcel Dekker Inc., New york.
- [33] **Suzuki, M.,** 1990. Adsorption Engineering, Elsevier Science publishers, Amsterdam and New York.
- [34] **Kayır, Z., ve Başçıl, E.,** 2010. Nanoteknoloji nedir, *15. Uluslararası Metalurji ve Malzeme Kongresi, TÜYAP Fuar ve Kongre Merkezi, Beylikdüzü-İstanbul*, 11-13 Kasım, s. 14.
- [35] **Özdoğan, E., Demir, E. ve Seventekin, N.,** 2006. Nanoteknoloji ve Tekstil Uygulamaları, *Tekstil ve Konfeksiyon*, 16, 159-163.
- [36] **Perez, E. and Sandgren, P.,** 2008. Nanotechnology in Sweeden: An innovation system approach to an emerging area, *Vinnova Analysis*, 03, 11.
- [37] **Duncan, M.A. and Rouvray, D.H.,** 1989. Microclusters, *Scientific American*, 261, 110-115.
- [38] **Siegel R.W.,** 1991. Cluster-assembled nanophase materials, *Annual Review of Materials Science*, 21, 559-578.
- [39] **Sevinç, E.,** 2017. Nanoteknoloji inovasyon sistemi: Türkiye tekstil örneği, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- [40] <http://www.nano.gov/nanotechnology&you-benefits>. National Nanotechnology Initiative, 11 Kasım 2018.

- [41] **Çakmak, R.**, 2015. Manyetik Fe₃O₄ nanopartiküllerine *Candida rugosa* lipaz enziminin immobilizasyonu ve rasemik organik asit esterlerinin enantiyoseçimli hidrolizi, Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.
- [42] **Guzman, K.A.D., Taylor, M.R., Banfield, J.F.**, 2006. Environmental risks of nanotechnology: national nanotechnology initiative funding, *Environmental Science and Technology*, 40, 1401-407.
- [43] **Koçak, A., Karasu, B.**, 2018. General evaluations of nanoparticles, *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 5, 191-236.
- [44] **Hubler, A., Lyon, D.**, 2013. Gap size dependence of the dielectric strength in nano vacuum gaps, *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, 20, 1467-1471.
- [45] **Taylor, R., Coulombe, S., Otanicar, T., Phelan, P., Gunawan, A., Lv, W., Rosengarten, G., Prasher, R., Tyagi, H.**, 2013. Small particles, big impacts: A review of the diverse applications of nanofluids, *Journal of Applied Physics*, 113, 011301.
- [46] **Cornell, R.M., Schwertmann, U.**, 2003. The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrences and uses, Wiley-VCH, second edition, Weinheim.
- [47] **Majewski, P., Thierry, B.**, 2007. Functionalized Magnetite Nanoparticles—Synthesis, Properties, and Bio-Applications, *Critical reviews in solid state and materials sciences*, 32, 203-215.
- [48] **Klotz, S., Steinle-Neumann, G., Strassle, T., Philippe, J., Hansen, T., Wenzel, M.J.**, 2008. Magnetism and the Verwey transition in Fe₃O₄ under pressure, *Physical Review B*, 77, 012411.
- [49] **Wu, W., Wu, Z., Yu, T., Jiang, C., Kim, W.S.**, 2015. Recent progress on magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis, surface functional strategies and biomedical applications, *Science and Technology for Advanced Materials*, 16, 023501.
- [50] **Wu, W., He, Q., Jiang, C.**, 2008. Magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis and surface functionalization strategies, *Nanoscale Research Letters*, 3, 397-415.
- [51] **Thien, V., Purcell, S.T., Semet, V., Feschet, F.**, 1998. Nanotips and nanomagnetism, *Applied Surface Science*, 130-132, 803-814.

- [52] **Jianga, H., Yanb, Z., Zhaoa, Y., Hua, X., Liana, H.,** 2012. Zincon-immobilized silica-coated magnetic Fe₃O₄ nanoparticles for solid-phase extraction and determination of trace lead in natural and drinking waters by graphite furnace atomic absorption spectrometry, *Talanta*, 94, 251-256.
- [53] **Yin, J., Jiang, Z., Chang, G., Hu, B.,** 2005. Simultaneous on-line preconcentration and determination of trace metals in environmental samples by flow injection combined with inductively coupled plasma mass spectrometry using a nanometer-sized alumina packed microcolumn, *Analytica Chimica Acta*, 540, 333-339.
- [54] **Hosseini, F., Seyedsadjadi, M., Farhadyar, N.,** 2014. Fe₃O₄ nanoparticles modified with APTES as the carrier for (+)-(S)-2-(6-methoxynaphthalen-2-yl) propanoic acid (naproxen) and (RS) 2-(3-benzoylphenyl)-propionic acid (ketoprofen) drug, *Oriental Journal of Chemistry*, 30, 1609-1618.
- [55] **Park, J., An, K., Hwang, Y., Park, J.G., Noh, H.J., Kim, J.Y., Park, J.H., Hwang, N.M., Hyeon, T.,** 2004. Ultra-large scale synthesis of monodisperse nanocrystals, *Natural Materials*, 3, 891-895.
- [56] **Amara, D., Grinblat, J., Margel, S.,** 2012. Solventless thermal decomposition of ferrocene as a new approach for one-step synthesis of magnetite nanocubes and nanospheres, *Journal of Materials Chemistry*, 22, 2188-2195.
- [57] **Solans, C., Izquierdo, P., Nolla, J., Azemar, N., Garcia-Celma, M.J.,** 2015. Nano-emulsions, *Current Opinion in Colloid&Interface Science*, 10, 102-110.
- [58] **Babel, S., Kurniawan, T.A.,** 2003. Low-cost adsorbents for heavy metals uptake from contaminated water: A review, *Journal of Hazardous Materials*, 97, 219-243.
- [59] **Gündoğdu, M.,** 2016. Demiroksit nanopartiküller ile metal iyonlarının sulardan uzaklaştırılması, önderiştirilmesi ve tayini, Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [60] **Suslick, K.S.,** 1990. Sonochemistry, *Science*, 247, 1439-1445.
- [61] **Bang, J.H., Suslick, K.S.,** 2007. Sonochemical synthesis of nanosized hollow hematite, *Journal of the American Chemical Society*, 129, 2242-2243.
- [62] **Lima-Tenorio, M.K., Gomez Pineda, E.A., Ahmad, N.M., Fessi, H., Elaissari, A.,** 2015. Magnetic nanoparticles: In vivo cancer diagnosis and therapy, *International Journal of Pharmaceutics*, 493, 313-327.

- [63] **Gupta, A.K., Wells, S.,** 2004. Surface-modified superparamagnetic nanoparticles for drug delivery: preparation, characterization and cytotoxicity studies, *IEEE Transactions on NanoBioscience*, 3, 66-73.
- [64] **Lee, C.W., Huang, K.T., Wei, P.K., Yao, Y.D.,** 2006. Conjugation of γ - Fe_2O_3 nanoparticles with single strand oligonucleotides, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 304, e412-e414.
- [65] **Ma, D., Guan, J., Denommee, S., Enright, G., Veres, T., Simard, B.,** 2006. Multifunctional nano-architecture for biomedical applications, *Chemistry of Materials*, 18, 1920-1927.
- [66] **Mandal, M., Kundu, S., Ghosh, S.K., Panigrahi, S., Sau, T.K., Yusuf, S.M., Pal, T.,** 2005. Magnetite nanoparticles with tunable gold or silver Shell, *Journal of Colloid and Interface Science*, 286, 187-194.
- [67] **Wang, Z., Guo, H., Yu, Y., He, N.,** 2006. Synthesis and characterization of a novel magnetic carrier with its composition of Fe_3O_4 /carbon using hydrothermal reaction, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 302, 397-404.
- [68] **Dantas, T.L.P., Mendonça, V.P., Jose, H.J., Rodrigues, A.E., Moreira, R.F.P.M.,** 2006. Treatment of textile wastewater by heterogeneous fenton process using a new composite Fe_2O_3 /Carbon, *Chemical Engineering Journal*, 118, 77-82.
- [69] **Liu, Z., Zhang, D., Han, S., Li, C., Lei, B., Lu, W., Fang, J., Zhou, C.,** 2005. Single crystalline magnetite nanotubes, *Journal of the American Chemical Society*, 127, 6-7.
- [70] **Natile, M.M., Glisenti, A.,** 2003. New $\text{NiO}/\text{Co}_3\text{O}_4$ and $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{Co}_3\text{O}_4$ nanocomposite catalysts: synthesis and characterization, *Chemistry of Materials*, 15, 2502-2510.
- [71] **Chen, C.T., Chen, Y.C.,** 2005. $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{TiO}_2$ core/Shell nanoparticles as affinity probes for the analysis of phosphopeptides using TiO_2 surface-assisted laser desorption/ionization mass spectrometry, *Analytical Chemistry*, 77, 5912-5919.
- [72] **Srinivasa-Gopalan, S., Yarema, K.J.,** 2007. Nanotechnologies for the Life Sciences: Dendrimers in Cancer Treatment and Diagnosis, 7, Wiley, New York.
- [73] **Tomalia, D.A., Frechet, J.M.J.,** 2002. Discovery of dendrimers and dendritic polymers: a brief historical perspective, *Journal of Polymer Science A Polymer Chemistry*, 9, 2719-2728.
- [74] **De Gennes, P.G., Hervet, H.,** 1983. Statistics of starburst polymers, *Journal De Physique Letters*, 9, 9-351.

- [75] **Balghat, M.K., Roberts, J.C.**, 2000. Molecular modelling of polyamidoamine (PAMAM) starburst dendrimers, *European Polymer Journal*, 9, 647-651.
- [76] **Bosman, A.W., Meijer, E.W.**, 1999. About dendrimers: structure, physical properties and applications, *Chemical Review*, 9, 1665-1688.
- [77] **Wolinsky, J.B., Grinstaff, M.V.**, 2008. Therapeutic and diagnostic applications of dendrimers for cancer treatment, *Advance Drug Delivery Review*, 60, 1037-1055.
- [78] **Svenson, S., Tomalia, D.A.**, 2005. Dendrimers in biomedical applications: reflections on the field, *Advance Drug Delivery Review* 57, 2106-2129.
- [79] **Zeng, F., Zimmerman, S.C.**, 1997. Dendrimers in supramolecular chemistry: from molecular recognition to self-assembly, *Chemical Review*, 97, 1681-1712.
- [80] **Moore, J.C.**, 1997. Shape-persistent molecular architectures of nanoscale dimension, *Accounts of Chemical Research*, 30, 402-413.
- [81] **Abbasi, E., Aval, S.F., Akbarzadeh, A., Milani, M., Nasrabadi, H.T., Joo, S.W., Hanifehpour, Y., Koshki, K.N., Pashaei-Asl, R.**, 2014. Dendrimers: synthesis, applications and properties, *Nanoscale Research Letters*, 9, 247.
- [82] Bulut, M.O., Akar, E., 2012. Dendrimerlerin önemi ve kullanım alanları, *SDU Teknik Bilimler Dergisi*, 2, 5-11.
- [83] **Ayas, O.**, 2015. Nanobilim ve nanoteknoloji yöntemleri ile tekstil yüzeylerine kazandırılan çoklu fonksiyonel özelliklerinin, karakterizasyon yöntemlerinin ve kullanım alanlarının araştırması üzerine bir çalışma, *Yüksek Lisans Tezi*, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- [84] <http://kisi.deu.edu.tr7umit.erdogan/SEM.pdf> 12 Aralık 2018.
- [85] **Enönlü, E.**, 2017. Mikromanyetik soğutucularda kullanılacak ni-Mn tabanlı manyetik ince filmlerin üretimi ve bunların yapısal, manyetik ve manyetik soğutma özelliklerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [86] **Lyubutin, I.S., Basbakov, A.O., Starchikov, S.S., Shih, K., Lin, C., Tseng, Y., Yang, S., Han, Z., Ogarkova, Y., Nikolaichik, V.I., Avilov, A.S.**, 2018. Synthesis and characterization of graphene modified by iron oxide nanoparticles, *Materials Chemistry and Physics*, 219, 411-420.

- [87] **Gruskiene, R., Krivorotova, T., Staneviciene, R., Ratautas, D., Serviene, E., Sereikaite, J.,** 2018. Preparation and characterization of iron oxide magnetic nanoparticles functionalized by nisin, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 169, 126-134.
- [88] **Özel, F., Tokay, Karaağaç, Ö., E., Köçkar, F., Köçkar, H.,** 2019. A simple way to synthesize tartaric acid, ascorbic acid and their mixture coated superparamagnetic iron oxide nanoparticles with high saturation magnetisation and high stability against oxidation: Characterizations and their biocompatibility studies, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 474, 654-660.
- [89] **Sathya, K., Saravanathamizhan, R., Baskar, G.,** 2017. Ultrasound assisted phytosynthesis of iron oxide nanoparticle, *Ultrasonics Sonochemistry*, 39, 446-451.
- [90] **Arguelles-Pesqueira, A.I., Dieguez-Armenta, N.M., Bobadilla-Valencia, A.K., Nataraj, S.K., Rosas-Durazo, A., Esquivel, R., Alvarez-Ramos, M.E., Escudero, R., Guerrero-German, P., Lucero-Acuna, J.A., Zavala-Rivera, P.,** 2018. Low intensity sonosynthesis of iron carbide@iron oxide core-shell nanoparticles, *Ultrasonics Sonochemistry*, 49, 303-309.
- [91] **Soares, P.I.P., Machado, D., Laia, C., Pereira, L.C.J., Countinho, J.T., Ferreira, I.M.M., Novo, C.M.M., Borges, J.P.,** 2016. Thermal and maproperties of chitosan-iron oxide nanoparticles, *Carbohydrate Polymers*, 49, 382-390.
- [92] **Petters, C., Dringen, R.,** 2015. Accumulation of iron oxide nanoparticles by cultured primary neurons, *Neurochemistry International*, 81, 1-9.
- [93] **Parveen, S., Wani, A., Shah, M.A., Devi, H.S., Bhat, M.Y., Koka, J.A.,** 2018. Preparation, characterization and antifungal activity of iron oxide nanoparticles, *Microbial Pathogenesis*, 115, 287-292.
- [94] **Sidiropoulou, E., Feidantsis, K., Kalogiannis, S., Gallios, G.P., Kastrinaki, G., Papaioannou, E., Vaclavikova, M., Kaloyianni, M.,** 2018. Insights into the toxicity of iron oxides nanoparticles in land snails, *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 206-207, 1-10.
- [95] **Özmen, M., Can, K., Arslan, G., Tor, A., Cengeloğlu, Y., Ersöz, M.,** 2010. Adsorption of Cu(II) from aqueous solution by using modified Fe₃O₄ magnetic nanoparticles, *Desalination*, 254, 162-169.
- [96] **Gupta, A.K., Gupta, M.,** 2005. Synthesis and surface engineering of iron oxide nanoparticles for biomedical applications, *Biomaterials*, 26, 3995-4021.

- [97] **Shen, L., Laibinis, P.E., Hatton, T.A.**, 1999. Bilayer surfactant stabilized magnetic fluids: Synthesis and interactions at interfaces, *Langmuir*, 15, 447-453.
- [98] **Kim, D.K., Zhang, Y., Voit, W., Rao, K.V., Muhammed, M.**, 2001. Synthesis and characterization of surfactant-coated superparamagnetic monodispersed iron oxide nanoparticles, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 225, 30-36.
- [99] **Rahimi, R., Maleki, A., Maleki, S., Morsali, A., Rahimi, M.J.**, 2014. Synthesis and characterization of magnetic dichromate hybrid nanomaterials with triphenylphosphine surface modified iron oxide nanoparticles ($\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2@\text{PPh}_3@\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$), *Solid State Sciences*, 28, 9-13.
- [100] **Mirzabe, G.H., Keshtkar, A.R.**, 2015. Application of response surface methodology for throum adsorption on PVA/ Fe_3O_4 / SiO_2 /APTES nanohybrid adsorbent, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 26, 277-285.
- [101] **Wang, T., Yang, W.L., Hong, Y., Hou, Y.L.**, 2016. Magnetic nanoparticles grafted with amino-riched dendrimer as magnetic flocculant for efficient harvesting of oleaginous microalgae, *Chemical Engineering Journal*, 297, 304-314.
- [102] **Öztürk, H.**, 2009. Jurinea Consanguinea'nın antioksidan ve antibakteriyel aktivitesinin belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- [103] **Waldron, R.D.**, 1955. Infrared spectra of Ferrites, *Physical Reviews*, 99, 1727-1735.
- [104] **Ma, M., Zhang, Y., Yu, W., Shen, H.Y., Zhang, H.G., Gu, N.**, 2003. Preparation and characterization of magnetite nanoparticles coated by aminosilane, *Colloid surface A*, 212, 219-226.
- [105] **Maleki, A.**, 2012. $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SiO}_2$ nanoparticles: an efficient and magnetically recoverable nanocatalyst for the one-pot multicomponent synthesis of diazepines, *Tetrahedron*, 68, 7827-7833.
- [106] **Chi, Y., Yuan, Q., Li, Y., Tu, J., Zhao, L., Li, N., Li, X.**, 2012. Synthesis of $\text{Fe}_3\text{O}_4@\text{SiO}_2$ -Ag magnetic nanocomposite based on small-sized and highly dispersed silver nanoparticles for catalytic reduction of 4-nitrophenol, *Journal of Colloid and Interface Science*, 383, 96-102.
- [107] **White, L.D., Tripp, C.P.**, 2000. Reaction of (3-aminoprophyl) dimethylethoxysilane with amine catalyst on silica surfaces, *Journal of Colloid and Interface Science*, 232, 400-407.

- [108] **Heiney, P.A., Gruneberg, K., Fang, J., Dulcey, C., Shashidhar, R.,** 2000. Structure and growth of chromophore-functionalized (3-aminopropyl) triethoxysilane self assembled on silicon, *Langmuir*, 16, 2651-2657.
- [109] **Khodaust, R., Unsoy, G., Yalçın, S., Gündüz, G., Gündüz, Ü.,** 2013. PAMAM dendrimer-coated iron oxide nanoparticles: synthesis and characterization of different generations, *Journal of Nanoparticle Research*, 15, 1488-1494.
- [110] **Jung, J.J., Jang, J.W., Park, J.W.,** 2016. Effect of generation growth on photocatalytic activity of nano TiO₂-magnetic cored dendrimers, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 44, 52-59.
- [111] **Arsalani, N., Fattahi, H., Nazarpour, M.,** 2010. Synthesis and characterization of PVP-functionalized superparamagnetic Fe₃O₄ nanoparticles as an MRI contrast agent, *Express Polymer Letters*, 4, 329-338.
- [112] **Aliannejadi, S., Hassani, A.H., Panahi, H.A., Borghei, S.M.,** 2019. Fabrication and characterization of high- branched recyclable PAMAM dendrimer polymers on the modified magnetic nanoparticles for removing naphthalene from aqueous solutions, *Microchemical Journal*, 145, 767-777.
- [113] **Basu, M., Guha, A.K., Ray, L.,** 2017. Adsorption of Lead on Cucumber Peel, *Journal of Cleaner Production*, 151, 603-615.
- [114] **Bulut, Y., Aydın, H.,** 2006. A kinetics and thermodynamics study of methylene blue adsorption on wheat shells, *Desalination*, 194, 259-267.
- [115] **Kara, M., Yüzer, H., Sabah, E., Çelik, M.S.,** 2003. Adsorption of cobalt from aqueous solutions onto sepiolite, *Water Research*, 37, 224-232.
- [116] **Pan, J.J., Jiang, J., Xu, R.,** 2013. Adsorption of Cr(III) from acidic solutions by crop straw derived biochars, *Journal of Environmental Science*, 25, 1957-1965.
- [117] **Bernardo, G.R., Rene, R.M., Ma Catalina, A.D.T.,** 2009. Chromium(III) uptake by agro-waste biosorbents: chemical characterization, sorption-desorption studies, and mechanism, *Journal of Hazardous Materials*, 170, 845-854.

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Batman’da doğdum. Mardin Sakarya İlkokulu’nu bitirdim. Ardından ilk ve ortaokulu Batman Anadolu Lisesi’nde tamamladım. 1999’da Dicle Üniversitesi Ziya Gökalp Eğitim Fakültesi Kimya Bölümünü kazandım. Bu bölümü, 2004 yılında tezsiz yüksek lisans mezunu olarak bitirdim. 2005-2008 yılları arasında Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Bölümünde yüksek lisans yaptım. 2010 yılında Batman Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi’nde Araştırma Görevlisi oldum. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Bölümünde doktora başladım.

