

**ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KARBON NANOFİBER/METAL OKSİT- PROTEİN ETKİLEŞİMLERİNİN**  
**ARAŞTIRILMASI**

**NANOTEKNOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**EMİNE ZÜLAL ÇAKAR**

**TEMMUZ 2019**



**ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KARBON NANOFİBER/METAL OKSİT- PROTEİN ETKİLEŞİMLERİNİN**  
**ARAŞTIRILMASI**

**NANOTEKNOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**  
**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Emine Zülal ÇAKAR**

**DANIŞMAN : Prof. Dr. Türkan KOPAÇ**

**ZONGULDAK**  
**Temmuz 2019**



## KABUL

Emine Zülal ÇAKAR tarafından hazırlanan “Karbon Nanofiber/ Metal Oksit- Protein Etkileşimlerinin Araştırılması” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Nanoteknoloji Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle/~~oyçokluğuyla~~ kabul edilmiştir.  
19/07/2019

**Danışman:** Prof. Dr. Türkan KOPAÇ

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü

**Üye:** Prof. Dr. Handan UCUN ÖZEL

Bartın Üniversitesi, Mühendislik, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Çevre Mühendisliği

**Üye:** Dr. Öğretim Üyesi Soner ÇAKAR

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü

## ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

..../..../20....

Prof. Dr. Ahmet ÖZARSLAN  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Emine Zülal ÇAKAR







## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### KARBON NANOFİBER/METAL OKSİT- PROTEİN ETKİLEŞİMLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Emine Zülal ÇAKAR

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Nanoteknoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Türkan KOPAÇ

Temmuz 2019, 129 sayfa

Karbon nanofiberler büyük ölçüde biyouyumlu, zehirli etkisi olmayan, yüzey alanı ve depolama kapasitesi yüksek olan karbon yapılı malzemelerdir. Karbon nanofiberlere kaplama veya metal oksit yüklemesi gibi çeşitli modifikasyon yöntemlerinin uygulanmasıyla yüzey ve adsorpsiyon özellikleri değiştirilebilir. Bu çalışmanın amacı, karbon nanofiberlerin proteinler ile adsorpsiyonunun ve karbon nanofiber/metal oksit-protein etkileşimlerinin araştırılmasıdır. Çalışma kapsamında karbon nanofiber, demir oksit nanotozları, demir oksit nanotozları yüklenerek ve potasyum hidroksit ile modifiye edilerek elde edilen karbon nanofiber malzemeler üzerinde Bovin Serum Albümin proteininin adsorpsiyon denge ve kinetiği incelenmiştir. Sulu çözelti ortamında Bovin Serum Albümin proteininin tüm adsorbentlerle adsorpsiyonuna adsorbent miktarı, pH ve sıcaklığın etkileri araştırılmıştır. Demir oksit nanotozları, karbon nanofiber ve sentezlenen kompozitlerin protein adsorpsiyon kapasiteleri belirlenmiştir. En yüksek protein adsorpsiyon kapasitesi, pH 4.5 ve 42 °C koşullarında 1666.7 mg/g değeri ile potasyum hidroksit ile modifiye edilen karbon nanofiber ile elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Karbon Nanofiber, Protein, Bovin Serum Albümin, Adsorpsiyon, Demir Oksit Nanotozları

**Bilim Kodu:** 405.04.00



## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **INVESTIGATION OF CARBON NANOFIBER/METAL OXIDE-PROTEIN INTERACTIONS**

**Emine Zülal ÇAKAR**

**Zonguldak Bülent Ecevit University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Nanotechnology Engineering**

**Thesis Advisor: Prof. Dr. Türkan KOPAÇ**

**July 2019, 129 pages**

Carbon nanofibers are highly biocompatible, nontoxic carbon materials having high surface area and high storage capacity. Surface and adsorption properties of carbon nanofibers can be changed by various modification techniques such as impregnation or metal oxide loading. The aim of this study is the investigation of the adsorption of carbon nanofibers with proteins and the carbon nanofiber/metal oxide interactions. In the study the adsorption equilibrium and kinetics of Bovin Serum Albumin protein with carbon nanofibers, iron oxide nanopowders, iron oxide nanopowder loaded and potassium hydroxide modified carbon nanofibers were studied. The effects of the amount of adsorbent, pH and temperature on the adsorption of Bovin Serum Albumin protein on all of the adsorbents in aqueous solutions were examined. The adsorption capacities of iron oxide nanopowders, carbon nanofibers and the newly synthesized composites were determined. The highest protein adsorption capacity was determined as 1666.7 mg/g at pH 4.5 and 42 °C conditions for the carbon nanofiber modified with the potassium hydroxide.

**Anahtar Kelimeler:** Carbon Nanofiber, Protein, Bovine Serum Albumin, Adsorption, Iron Oxide Nanopowders

**Science Code:** 405.04.00



## TEŞEKKÜR

Tez çalışmaları süresince yardımını, tecrübelerini ve değerli bilgi birikimini esirgemeyen saygıdeğer hocam Prof. Dr. Türkan KOPAÇ (BEÜ)'a teşekkürü bir borç bilir, şükranlarımı sunarım.

Deneysel çalışmalar boyunca yardım ve desteklerini esirgemeyen, yol gösteren değerli hocam Dr. Arş. Gör. Kadriye BOZGEYİK (BEÜ)'e çok teşekkür ederim.

Yaşamım boyunca maddi, manevi her konuda yanımda olan sevgili annem Güngör KAZLI, babam Kemalettin KAZLI ve ablam Hilal ÇELİKDAL'a, tez çalışmalarım sırasında vefat eden çok kıymetli, canım anneanneme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Her daim yanımda olup bana güç veren sevgili eşim Rıdvan ÇAKAR'a çok teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL .....	ii
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	xiv
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xxi
BÖLÜM 1 GİRİŞ .....	1
1.1. ADSORBENTLER .....	4
1.1.1. Nanomalzemeler .....	4
1.1.2. Karbon Nanofiberler .....	5
1.1.3. Nanopartiküller .....	7
1.1.4. Demir oksit .....	7
1.2. TEZ ÇALIŞMASININ AMACI .....	8
BÖLÜM 2 GENEL BİLGİLER .....	11
2.1. PROTEİNLER .....	11
2.1.1. Proteinlerin yapısı .....	12
2.1.2. Amino asitler .....	13
2.1.3. Proteinlerin sınıflandırılması .....	14
2.1.4. Proteinlerin Adsorpsiyon Yetenekleri .....	19
2.2. ADSORPSİYON .....	20

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
2.3.1. Adsorpsiyon tipleri .....	21
2.3.2. Adsorpsiyonu etkileyen faktörler .....	23
2.3.3. Adsorpsiyon İzotermi .....	24
2.3.4. Adsorpsiyon kinetiği .....	26
2.3.5. Adsorpsiyon Termodinamiği .....	27
BÖLÜM 3 LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	29
BÖLÜM 4 DENEYSEL ÇALIŞMALAR .....	37
4.1. KULLANILAN MALZEMELER .....	37
4.1.1. Kimyasallar .....	37
4.1.2. Çözeltiler .....	37
4.2. KULLANILAN CİHAZLAR .....	38
4.3. DENEYSEL YÖNTEMLER .....	38
4.3.1. Elektrokinetik Deneyleri .....	38
4.3.2. Protein tayini .....	38
4.3.3. KNF-KOH Sentezi .....	39
4.3.4. KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1) Sentezi .....	39
4.3.5. KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2) Sentezi .....	39
4.3.6. Adsorpsiyon Denge Deneyleri .....	39
4.3.7. Adsorpsiyon Kinetiği .....	40
BÖLÜM 5 DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME .....	41



## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
5.1. MALZEMELERİN KARAKTERİZASYONU .....	41
5.1.1. Zeta Potansiyel Ölçümleri .....	41
5.2.1. FT-IR Ölçümleri.....	47
5.2.2. SEM-EDX Ölçümleri .....	50
5.2.3. Tane Boyutu Analizi .....	54
5.2. BSA ADSORPSİYONUNA ADSORPBENT MİKTARI ETKİSİ.....	55
5.2.1. Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> üzerine BSA adsorpsiyonunda adsorbent miktarının etkisi.....	55
5.2.2. KNF Üzerine BSA Adsorpsiyonunda Adsorbent Miktarının Etkisi .....	57
5.2.3. KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonunda Adsorbent Miktarının Etkisi .....	59
5.2.4. KNF- Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1) üzerine BSA Adsorpsiyonunda Adsorbent Miktarının Etkisi ..	61
5.2.5. KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2) üzerine BSA Adsorpsiyonunda Adsorbent Miktarının Etkisi ...	62
5.3. BSA ADSORPSİYONU ÜZERİNDE SICAKLIK ETKİSİ .....	64
5.3.1. Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıcaklık Etkisi .....	64
5.3.2. KNF üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıcaklık Etkisi.....	66
5.3.3. KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıcaklık Etkisi.....	68
5.3.4. KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1) üzerine BSA adsorpsiyonunda sıcaklık etkisi.....	70
5.3.5. KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2) üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıcaklık Etkisi .....	73
5.4. BSA ADSORPSİYON İZOTERMLERİ.....	75
5.4.1. Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonunun İzoterm Modelleri .....	76
5.4.2. KNF üzerine BSA adsorpsiyonunun İzoterm Modelleri.....	81
5.4.3. KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonunun İzoterm Modelleri.....	86
5.4.4. KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1) üzerine BSA Adsorpsiyonunun İzoterm Modelleri .....	90
5.4.5. KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2) üzerine BSA adsorpsiyonunun İzoterm Modelleri .....	94
5.5. BSA ADSORPSİYON KİNETİĞİ.....	98
5.5.1. Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /BSA Adsorpsiyonuna Ait Kinetik ve Adsorpsiyon Hız Sabitleri.....	98
5.5.2. KNF/BSA Adsorpsiyonuna Ait Kinetik ve Adsorpsiyon Hız Sabitleri .....	103

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
5.5.3. KNF-KOH/BSA Adsorpsiyonuna Ait Kinetik ve Adsorpsiyon Hız Sabitleri..	107
5.5.4. KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1)/BSA Adsorpsiyonuna Ait Kinetik ve Adsorpsiyon Hız Sabitleri.....	110
5.5.5. KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2)/BSA Adsorpsiyonuna Ait Kinetik ve Adsorpsiyon Hız Sabitleri.....	113
BÖLÜM 6 SONUÇLAR.....	119
BÖLÜM 7 ÖNERİLER.....	121
KAYNAKLAR.....	123
ÖZGEÇMİŞ .....	123

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 Örneklerle Boyut Skalası .....	4
Şekil 2.1 Proteinlerin Renatürasyonu .....	13
Şekil 2.2 Amino asit yapısı ve peptit bağı (Ası 1996). .....	14
Şekil 2.3 Bovin Serim Albümin .....	18
Şekil 5.1 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /BSA Adsorpsiyonu için 25 °C Sıcaklıkta Zeta Potansiyel Eğrisi (m <sub>ads</sub> : 2 g/L). .....	42
Şekil 5.2 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /BSA Adsorpsiyonu için 40 °C Sıcaklıkta Zeta Potansiyel Eğrisi (m <sub>ads</sub> : 2 g/L). .....	42
Şekil 5.3 KNF/BSA Adsorpsiyonu için 25 °C Sıcaklıkta Zeta Potansiyel Eğrisi (m <sub>ads</sub> : 0.05 g/L). .....	43
Şekil 5.4 KNF/BSA Adsorpsiyonu için 40 °C Sıcaklıkta Zeta Potansiyel Eğrisi (m <sub>ads</sub> : 0.05 g/L). .....	43
Şekil 5.5 KNF-KOH/BSA Adsorpsiyonu için 25 °C Sıcaklıkta Zeta Potansiyel Eğrisi (m <sub>ads</sub> : 0.2 g/L).....	44
Şekil 5.6 KNF-KOH/BSA Adsorpsiyonu için 40 °C Sıcaklıkta Zeta Potansiyel Eğrisi (m <sub>ads</sub> : 0.2 g/L).....	44
Şekil 5.7 KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1)/BSA Adsorpsiyonu için 25 °C Sıcaklıkta Zeta Potansiyel Eğrisi (m <sub>ads</sub> :1 g/L).....	45
Şekil 5.8 KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1)/BSA Adsorpsiyonu için 40 °C Sıcaklıkta Zeta Potansiyel Eğrisi (m <sub>ads</sub> :1 g/L).....	45
Şekil 5.9 KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2)/BSA Adsorpsiyonu için 25 °C Sıcaklıkta Zeta Potansiyel Eğrisi (m <sub>ads</sub> :1 g/L).....	46
Şekil 5.10 KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2)/BSA Adsorpsiyonu için 25 °C Sıcaklıkta Zeta Potansiyel Eğrisi (m <sub>ads</sub> : 1 g/L).....	46
Şekil 5.11 KNF ve KNF/BSA Etkileşiminden Elde Edilen Adsorbentin FT-IR Analizi.....	48
Şekil 5.12 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ve Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /BSA Etkileşiminden Elde Edilen Adsorbentin FT-IR Analizi.....	48
Şekil 5.13 KNF-KOH ve KNF-KOH/BSA Etkileşiminden Elde Edilen Adsorbentin FT-IR Analizi.....	49
Şekil 5.14 KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1) ve KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1)/BSA Etkileşiminden Elde Edilen Adsorbentin FT- IR Analizi.....	49
Şekil 5.15 KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2) ve KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2)/BSA Etkileşiminden Elde Edilen Adsorbentin FT- IR Analizi.....	50
Şekil 5.16 CNF 10 µm Ölçekte SEM Görüntüsü .....	51
Şekil 5.17 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 10 µm Ölçekte SEM Görüntüsü .....	51
Şekil 5.18 KNF-KOH 10 µm Ölçekte SEM Görüntüsü.....	52

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.19 KNF-KOH 10 µm Ölçekte SEM-EDX Analizi .....	52
Şekil 5.20 KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1) 10 µm Ölçekte SEM Görüntüsü .....	53
Şekil 5.21 KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1) 10 µm Ölçekte SEM-EDX Analizi.....	53
Şekil 5.22 KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2) 10 µm Ölçekte SEM Görüntüsü .....	54
Şekil 5.23 KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2) 10 µm Ölçekte SEM-EDX Analizi.....	54
Şekil 5.24 32 °C Sıcaklıktaki Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, T: 32 °C, m <sub>ads</sub> : 5-15 g/L, V: 0.10).....	56
Şekil 5.25 37 °C Sıcaklıktaki Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> : 500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, m <sub>ads</sub> : 5-15 g/L, V: 0.10).....	56
Şekil 5.26 42 °C Sıcaklıktaki Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> : 500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C, m <sub>ads</sub> : 5-15 g/L, V: 0.10).....	57
Şekil 5.27 32 °C Sıcaklıktaki KNF üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, T: 32 °C, m <sub>ads</sub> : 0.2-1 g/L, V: 0.10).....	58
Şekil 5.28 37 °C Sıcaklıktaki KNF üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, m <sub>ads</sub> : 0.2-1 g/L, V: 0.10).....	58
Şekil 5.29 42 °C Sıcaklıktaki KNF üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C, m <sub>ads</sub> : 0.2-1 g/L, V: 0.10).....	59
Şekil 5.30 37 °C Sıcaklıktaki KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, m <sub>ads</sub> : 0.2-1.2 g/L, V: 0.10 L).....	60
Şekil 5.31 42 °C Sıcaklıktaki KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, m <sub>ads</sub> : 0.2-1.2 g/L, V: 0.10 L).....	60
Şekil 5.32 37 °C Sıcaklıktaki KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1) üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, m <sub>ads</sub> : 1.0-10.0 g/L, V: 0.10 L).....	61
Şekil 5.33 42 °C Sıcaklıktaki KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1) üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C, m <sub>ads</sub> : 1.0-10.0 g/L, V: 0.10 L).....	62
Şekil 5.34 37 °C Sıcaklıktaki KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2) üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, m <sub>ads</sub> : 1.0-10.0 g/L, V: 0.10 L).....	63

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

No	Sayfa
Şekil 5.35 42 °C Sıcaklıktaki KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2) üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C, m <sub>ads</sub> : 1.0-10.0 g/L, V: 0.10 L).....	63
Şekil 5.36 Farklı Sıcaklıklarda Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, m <sub>ads</sub> : 5 g/L, V: 0.10).....	64
Şekil 5.37 Farklı Sıcaklıklarda Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, m <sub>ads</sub> : 8 g/L, V: 0.10).....	64
Şekil 5.38 Farklı Sıcaklıklarda Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, m <sub>ads</sub> : 10 g/L, V: 0.10).....	65
Şekil 5.39 Farklı Sıcaklıklarda Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, m <sub>ads</sub> : 12 g/L, V: 0.10).....	65
Şekil 5.40 Farklı Sıcaklıklarda Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, m <sub>ads</sub> : 15 g/L, V: 0.10).....	66
Şekil 5.41 Farklı Sıcaklıklarda KNF üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, m <sub>ads</sub> : 0.2 g/L, V: 0.10).....	66
Şekil 5.42 Farklı Sıcaklıklarda KNF üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, m <sub>ads</sub> : 0.5 g/L, V: 0.10).....	67
Şekil 5.43 Farklı Sıcaklıklarda KNF üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, m <sub>ads</sub> : 0.8 g/L, V: 0.10).....	67
Şekil 5.44 Farklı Sıcaklıklarda KNF üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, m <sub>ads</sub> : 1.0 g/L, V: 0.10).....	68
Şekil 5.45 Farklı Sıcaklıklarda KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, m <sub>ads</sub> : 0.2 g/L, V: 0.10).....	68
Şekil 5.46 Farklı Sıcaklıklarda KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, m <sub>ads</sub> : 0.5 g/L, V: 0.10).....	69
Şekil 5.47 Farklı Sıcaklıklarda KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, m <sub>ads</sub> : 0.8 g/L, V: 0.10).....	69
Şekil 5.48 Farklı Sıcaklıklarda KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, m <sub>ads</sub> : 1.0 g/L, V: 0.10).....	70
Şekil 5.49 Farklı Sıcaklıklarda KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, m <sub>ads</sub> : 1.2 g/L, V: 0.10).....	70
Şekil 5.50 Farklı Sıcaklıklarda KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1) üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, m <sub>ads</sub> : 1.0 g/L, V: 0.10).71	71
Şekil 5.51 Farklı Sıcaklıklarda KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1) üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, m <sub>ads</sub> : 3.0 g/L, V: 0.10).....	71
Şekil 5.52 Farklı Sıcaklıklarda KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1) üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, m <sub>ads</sub> : 5.0 g/L, V: 0.10).72	72
Şekil 5.53 Farklı Sıcaklıklarda KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1) üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, m <sub>ads</sub> : 8.0 g/L, V: 0.10).72	72

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

No	Sayfa
Şekil 5.54 Farklı Sıcaklıklarda KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1) üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, m <sub>ads</sub> : 10.0 g/L, V: 0.10).....	73
Şekil 5.55 Farklı Sıcaklıklarda KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2) üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, m <sub>ads</sub> : 1.0 g/L, V: 0.10).73	73
Şekil 5.56 Farklı Sıcaklıklarda KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2) üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, m <sub>ads</sub> : 3.0 g/L, V: 0.10).74	74
Şekil 5.57 Farklı Sıcaklıklarda KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2) üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, m <sub>ads</sub> : 5.0 g/L, V: 0.10).74	74
Şekil 5.58 Farklı Sıcaklıklarda KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2) üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, m <sub>ads</sub> : 8.0 g/L, V: 0.10).75	75
Şekil 5.59 Farklı Sıcaklıklarda KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2) üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, m <sub>ads</sub> : 10.0 g/L, V: 0.10).....	75
Şekil 5.60 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /BSA Adsorpsiyonu için Deneysel İzoterm Eğrileri (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, T: 32 °C, m <sub>ads</sub> : 2-15 g/L, V: 0.10). ....	76
Şekil 5.61 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonu için Langmuir İzoterm Modeli (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, T: 32 °C, m <sub>ads</sub> : 5-15 g/L, V: 0.10 L). ....	77
Şekil 5.62 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonu için Freundlich İzoterm Modeli (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, T: 32 °C, m <sub>ads</sub> : 5-15 g/L, V: 0.10 L). ....	77
Şekil 5.63 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /BSA Adsorpsiyonu için Deneysel İzoterm Eğrileri (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, m <sub>ads</sub> : 2-15 g/L, V: 0.10). ....	78
Şekil 5.64 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonu için Langmuir İzoterm Modeli (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, m <sub>ads</sub> : 5-15 g/L, V: 0.10 L). ....	78
Şekil 5.65 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonu için Freundlich İzoterm Modeli (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, m <sub>ads</sub> : 5-15 g/L, V: 0.10 L). ....	79
Şekil 5.66 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /BSA Adsorpsiyonu için Deneysel İzoterm Eğrileri (C <sub>0</sub> :500 mg/L; pH: 4.5, T: 42 °C, m <sub>ads</sub> : 2-15 g/L; V: 0.10). ....	79
Şekil 5.67 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonu için Langmuir İzoterm Modeli (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C, m <sub>ads</sub> : 5-15 g/L, V: 0.10 L). ....	80
Şekil 5.68 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonu için Freundlich İzoterm Modeli (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C, m <sub>ads</sub> : 5-15 g/L, V: 0.10 L). ....	80
Şekil 5.69 KNF/BSA Adsorpsiyonu için Deneysel İzoterm Eğrileri (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, T: 32 °C, m <sub>ads</sub> : 0.2-1.0 g/L, V: 0.10). ....	82
Şekil 5.70 KNF üzerine BSA Adsorpsiyonu için Langmuir İzoterm Modeli (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, T: 32 °C, m <sub>ads</sub> : 0.2-1.0 g/L, V: 0.10 L). ....	82
Şekil 5.71 KNF üzerine BSA Adsorpsiyonu için Freundlich İzoterm Modeli (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, T: 32 °C, m <sub>ads</sub> : 0.2-1.0 g/L, V: 0.10 L). ....	83
Şekil 5.72 KNF/BSA Adsorpsiyonu için Deneysel İzoterm Eğrileri (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, m <sub>ads</sub> : 0.2-1.0 g/L, V: 0.10). ....	83

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.73 KNF üzerine BSA Adsorpsiyonu için Langmuir İzoterm Modeli ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, $m_{ads}$ : 0.2-1.0 g/L, V: 0.10 L).....	84
Şekil 5.74 KNF üzerine BSA Adsorpsiyonu için Freundlich İzoterm Modeli ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, $m_{ads}$ : 0.2-1.0 g/L, V: 0.10 L).....	84
Şekil 5.75 KNF/BSA Adsorpsiyonu için Deneysel İzoterm Eğrileri ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C, $m_{ads}$ : 0.2-1.0 g/L, V: 0.10).....	85
Şekil 5.76 KNF üzerine BSA Adsorpsiyonu için Langmuir İzoterm Modeli ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C, $m_{ads}$ : 0.2-1.0 g/L, V: 0.10 L).....	85
Şekil 5.77 KNF üzerine BSA Adsorpsiyonu için Freundlich İzoterm Modeli ( $C_0$ :500 mg/L, pH:4.5, T: 42 °C, $m_{ads}$ : 0.2-1.0 g/L, V: 0.10 L).....	86
Şekil 5.78 KNF-KOH/BSA Adsorpsiyonu için Deneysel İzoterm Eğrileri ( $C_0$ :500 mg/L; pH: 4.5, T; 37 °C, $m_{ads}$ : 0.2-1.2 g/L; V: 0.10).....	87
Şekil 5.79 KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonu için Langmuir İzoterm Modeli ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, $m_{ads}$ : 0.5-1.0 g/L, V: 0.10 L).....	87
Şekil 5.80 KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonu için Freundlich İzoterm Modeli ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, $m_{ads}$ : 0.5-1.0 g/L, V: 0.10 L).....	88
Şekil 5.81 KNF-KOH/BSA Adsorpsiyonu için Deneysel İzoterm Eğrileri ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C, $m_{ads}$ : 0.2-1.2 g/L, V: 0.10).....	88
Şekil 5.82 KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonu için Langmuir İzoterm Modeli ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C, $m_{ads}$ : 0.5-1.0 g/L, V: 0.10 L).....	89
Şekil 5.83 KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonu için Freundlich İzoterm Modeli ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C, $m_{ads}$ : 0.5-1.0 g/L, V: 0.10 L).....	89
Şekil 5.84 KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1)/BSA Adsorpsiyonu için Deneysel İzoterm Eğrileri ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37°C, $m_{ads}$ : 1-10 g/L, V: 0.10).....	91
Şekil 5.85 KNF/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1) üzerine BSA Adsorpsiyonu için Langmuir İzoterm Modeli ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, $m_{ads}$ : 1.0-10.0 g/L, V: 0.10 L).....	91
Şekil 5.86 KNF/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1) üzerine BSA Adsorpsiyonu için Freundlich İzoterm Modeli ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, $m_{ads}$ : 1.0-10.0 g/L, V: 0.10 L).....	92
Şekil 5.87 KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1)/BSA Adsorpsiyonu için Deneysel İzoterm Eğrileri ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C, $m_{ads}$ : 1-10 g/L, V: 0.10).....	92
Şekil 5.88 KNF/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1) üzerine BSA Adsorpsiyonu için Langmuir İzoterm Modeli ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C, $m_{ads}$ : 1.0-10.0 g/L, V: 0.10 L).....	93
Şekil 5.89 KNF/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1) üzerine BSA Adsorpsiyonu için Freundlich İzoterm Modeli ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C, $m_{ads}$ : 1.0-10.0 g/L, V: 0.10 L).....	93
Şekil 5.90 KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2)/BSA Adsorpsiyonu için Deneysel İzoterm Eğrileri ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, $m_{ads}$ : 1-10 g/L; V: 0.10).....	95
Şekil 5.91 KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2) üzerine BSA Adsorpsiyonu için Langmuir İzoterm Modeli ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, $m_{ads}$ : 1.0-8.0 g/L, V: 0.10 L).....	95
Şekil 5.92 KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2) üzerine BSA Adsorpsiyonu için Freundlich İzoterm Modeli ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, $m_{ads}$ : 1.0-8.0 g/L, V: 0.10 L).....	96

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.93 KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2)/BSA Adsorpsiyonu için Deneysel İzoterm Eğrileri (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C, m <sub>ads</sub> : 1-10 g/L, V: 0.10). .....	96
Şekil 5.94 KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2) üzerine BSA Adsorpsiyonu için Langmuir İzoterm Modeli (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C, m <sub>ads</sub> : 1.0-8.0 g/L, V: 0.10 L). .....	97
Şekil 5.95 KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2) Üzerine BSA Adsorpsiyonu için Freundlich İzoterm Modeli (C <sub>0</sub> :500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C, m <sub>ads</sub> : 1.0-8.0 g/L, V: 0.10 L). .....	97
Şekil 5.96 Farklı Adsorbent Miktarlarında Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen Birinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri (C <sub>0</sub> : 500 mg/L, T: 32°C, m <sub>ads</sub> : 5-15 g/L, pH: 4.5, V:0.10 L).....	99
Şekil 5.97 Farklı Adsorbent Miktarlarında Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen Birinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri (C <sub>0</sub> : 500 mg/L, T: 37 °C, m <sub>ads</sub> : 5-15 g/L, pH: 4.5, V:0.10 L).....	99
Şekil 5.98 Farklı Adsorbent Miktarlarında Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen Birinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri (C <sub>0</sub> : 500 mg/L, T: 42 °C, m <sub>ads</sub> : 5-15 g/L, pH: 4.5, V:0.10 L).....	100
Şekil 5.99 Farklı Adsorbent Miktarlarında Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen İkinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri (C <sub>0</sub> : 500 mg/L, T: 32 °C, m <sub>ads</sub> : 5-15 g/L, pH: 4.5, V:0.10 L).....	100
Şekil 5.100 Farklı Adsorbent Miktarlarında Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen İkinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri (C <sub>0</sub> : 500 mg/L, T: 37 °C, m <sub>ads</sub> : 5-15 g/L, pH: 4.5, V:0.10 L).....	101
Şekil 5.101 Farklı Adsorbent Miktarlarında Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen İkinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri (C <sub>0</sub> : 500 mg/L, T;42 °C, m <sub>ads</sub> : 5-15 g/L, pH: 4.5, V:0.10 L).....	101
Şekil 5.102 Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen Birinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri (C <sub>0</sub> ; 500 mg/L, T;32°C, m <sub>ads</sub> : 0.2-1.0 g/L, pH: 4.5, V:0.10 L).....	103
Şekil 5.103 Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen Birinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri (C <sub>0</sub> ; 500 mg/L, T;37°C, m <sub>ads</sub> : 0.2-1.0 g/L, pH: 4.5, V:0.10 L).....	104
Şekil 5.104 Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen Birinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri (C <sub>0</sub> ; 500 mg/L, T;42°C, m <sub>ads</sub> : 0.2-1.0 g/L, pH: 4.5, V:0.10 L).....	104
Şekil 5.105 Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen İkinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri (C <sub>0</sub> ; 500 mg/L, T;32°C, m <sub>ads</sub> : 0.2-1.0 g/L, pH: 4.5, V:0.10 L).....	105
Şekil 5.106 Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen İkinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri (C <sub>0</sub> ; 500 mg/L, T;37°C, m <sub>ads</sub> : 0.2-1.0 g/L, pH: 4.5, V:0.10 L).....	105



## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.107 Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen İkinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri ( $C_0$ : 500 mg/L, T:42°C, $m_{ads}$ : 0.2-1.0 g/L, pH: 4.5, V:0.10 L).....	106
Şekil 5.108 Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen Birinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, $m_{ads}$ : 0.2-1.2 g/L, V: 0.10 L).....	108
Şekil 5.109 Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen Birinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C, $m_{ads}$ : 0.2-1.2 g/L, V: 0.10 L).....	108
Şekil 5.110 Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen İkinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, $m_{ads}$ : 0.2-1.2 g/L, V: 0.10 L).....	109
Şekil 5.111 Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen İkinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C, $m_{ads}$ : 0.2-1.2 g/L, V: 0.10 L).....	109
Şekil 5.112 Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1) üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen Birinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, $m_{ads}$ : 1.0-10.0 g/L, V: 0.10 L).....	111
Şekil 5.113 Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1) üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen Birinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C, $m_{ads}$ : 1.0-10.0 g/L, V: 0.10 L).....	111
Şekil 5.114 Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1) üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen İkinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, $m_{ads}$ : 1.0-10.0 g/L, V: 0.10 L).....	112
Şekil 5.115 Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1) üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen İkinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C, $m_{ads}$ : 1.0-10.0 g/L, V: 0.10 L).....	112
Şekil 5.116 Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2) üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen Birinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, $m_{ads}$ : 1.0-10.0 g/L, V: 0.10 L).....	114
Şekil 5.117 Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2) üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen Birinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 42°C, $m_{ads}$ : 1.0-10.0 g/L, V: 0.10 L).....	115
Şekil 5.118 Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2) üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen İkinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37°C, $m_{ads}$ : 1.0-10.0 g/L, V: 0.10 L).....	115
Şekil 5.119 Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2) üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen İkinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 42°C, $m_{ads}$ : 1.0-10.0 g/L, V: 0.10 L).....	116



## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Aminoasitlerin Fiziksel Özellikleri.....	14
Çizelge 2.2 Proteinlerin Sınıflandırılması.....	15
Çizelge 2.3 Bovin serum albüminin amino asit bileşimi (Bozgeyik, 2012) .....	18
Çizelge 5.1 Sentezlenen malzemelerin tane boyutu analizi .....	55
Çizelge 5.2 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /BSA Adsorpsiyonunda Elde Edilen İzoterm Model Parametreleri.....	81
Çizelge 5.3 KNF/BSA Adsorpsiyonunda Elde Edilen İzoterm Model Parametreleri. ....	86
Çizelge 5.4 KNF-KOH/BSA Adsorpsiyonunda Elde Edilen İzoterm Model Parametreleri. .	90
Çizelge 5.5 KNF- Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1)/BSA Adsorpsiyonunda Elde Edilen İzoterm Model Parametreleri. .....	94
Çizelge 5.6 KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2)/BSA Adsorpsiyonunda Elde Edilen İzoterm Model Parametreleri. .....	98
Çizelge 5.7 32 °C Sıcaklıktaki Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /BSA Adsorpsiyonu için Birinci ve İkinci Derece Kinetik Parametreleri.....	102
Çizelge 5.8 37 °C Sıcaklıktaki Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /BSA Adsorpsiyonu için Birinci ve İkinci Derece Kinetik Parametreleri. ....	102
Çizelge 5.9 42 °C Sıcaklıktaki Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /BSA Adsorpsiyonu İçin Birinci ve İkinci Derece Kinetik Parametreleri.....	102
Çizelge 5.10 32 °C Sıcaklıktaki KNF/BSA Adsorpsiyonu için Birinci ve İkinci Derece Kinetik Parametreleri. ....	106
Çizelge 5.11 37 °C Sıcaklıktaki KNF/BSA Adsorpsiyonu için Birinci ve İkinci Derece Kinetik Parametreleri. ....	106
Çizelge 5.12 42°C Sıcaklıktaki KNF/BSA Adsorpsiyonu için Birinci ve İkinci Derece Kinetik Parametreleri. ....	107
Çizelge 5.13 37 °C Sıcaklıktaki KNF-KOH/BSA Adsorpsiyonu için Birinci ve İkinci Derece Kinetik Parametreleri. ....	110
Çizelge 5.14 42 °C Sıcaklıktaki KNF-KOH/BSA Adsorpsiyonu için Birinci ve İkinci Derece Kinetik Parametreleri. ....	110
Çizelge 5.15 37 °C Sıcaklıktaki KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1)/BSA Adsorpsiyonu için Birinci ve İkinci Derece Kinetik Parametreleri. ....	113
Çizelge 5.16 42 °C Sıcaklıktaki KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1)/BSA Adsorpsiyonu için Birinci ve İkinci Derece Kinetik Parametreleri. ....	113
Çizelge 5.17 37 °C Sıcaklıktaki KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2)/BSA Adsorpsiyonu için Birinci ve İkinci Derece Kinetik Parametreleri. ....	116
Çizelge 5.18 42 °C Sıcaklıktaki KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2)/BSA Adsorpsiyonu için Birinci ve İkinci Derece Kinetik Parametreleri. ....	117



## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

- $b$  : Adsorpsiyon enerjisi ile ilgili Langmuir denge sabiti
- $C_e$  : Dengedeki çözeltinin derişimi (mg/L)
- $q_e$  : Dengede birim adsorbent ağırlığı üzerine adsorplanan madde miktarı (mg/g)
- $Q_0$  : Adsorbentin birim ağırlığında adsorplanan miktar yani maksimum adsorpsiyon kapasitesi (mg/g)
- $K_f$  : Adsorpsiyon kapasitesine bağı Freundlich modeli sabiti
- $1/n$  : Freundlich modeline göre adsorpsiyon yoğunluğunu ifade eden bir parametre
- $B$  : Çözelti ile adsorbent arasındaki etkileşimin enerjisi sabiti
- $C_s$  : Doygunluk derişimini (mg/L)
- $q$  : Herhangi bir zamanda adsorbe olan protein miktarı (mg/g)
- $q_t$  :  $t$  anındaki adsorpsiyon kapasitesi (mg/g)
- $k_1$  : Lagergren birinci mertebe kinetik hız sabiti (1/dk)
- $k_2$  : Lagergren ikinci mertebe kinetik hız sabiti (g/mg dk)
- $\Delta G$  : Adsorpsiyon serbest entalpisi
- $\Delta H$  : Adsorpsiyon entalpisi
- $\Delta S$  : Adsorpsiyon entropisi
- $m_{ads}$  : Birim hacimdeki adsorbent miktarı (g)
- $\zeta$  : Zeta potansiyeli (mV)

$^2$  : Korolasyon katsayısı karesi

t : Zaman (dk)

V : Hacim (L)

## KISALTMALAR

BET : Brunauer Emmett Teller izoterm modeli

BSA : Bovin serum albümin

DMFC : Doğrudan metanol yakıt hücreleri

ÇDKNT :Çift duvarlı karbon nanotüpler

FT-IR : Fourier dönüşümlü infrared spektrofotometre

HSA : İnsan serum albümini

IEP : İzoelektrik nokta

KNF : Karbon nanofiberleri

KNT : Karbon nanotüpleri

MDKNT : Çok duvarlı karbon nanotüpler

MNP : Manyetik nanopartiküller

NP : Nanopartikül

SDKNT : Tek duvarlı karbon nanotüpler

SEM-EDX : Taramalı elektron mikroskobu

UV/Vis : Ultraviyole ve görünür bölge spektrofotometresi

XRD : X-Işını difraktometresi

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

1838 yılında protein kelimesi ilk defa Alman kimyager Mulder'in çalışmalarında besin yapısında bulunan ögelerde azot içeren anlamında kullanılmıştır. Bu yüzden bu maddeye Yunancada en önemli/en önde yer alana anlamında kullanılan "proteios=protein" sözcüğünü vermiştir. Mulder hayvan ve bitki dokularında bulunan ortak bir yapısal madde özütü çıkartmış ve bu özütün bütün canlılar için yapısal ve işlevsel bir madde olduğunu ve onsuz hayatın mümkün olamayacağını belirtmiştir (Korkma vd. 2012).

Organizmadaki proteinlerin çeşitliliği oldukça fazladır. Bunlar yalnız cinse bağlı değil, aynı zamanda aynı cinsler arasındaki organlara da özeldir. Aynı organizmada bulunan farklı organlardaki proteinler birbirleri ile farklılık gösterebilmektedir. Büyük moleküllü proteinler 22 aminoasidin farklı eşleşmelerinden oluşurlar ve bu eşleşmeler sayesinde doğada milyarlarca protein sentezlenebilmektedir (URL-1).

Suda çözünen proteinlerden olan serum albümin, uyuşturucular dahil kandaki maddelerin taşınmasında kullanılan, suda az çözünen ve aynı zamanda kandaki endojen ve eksojen bileşiklerin dağılımında yer alan kan plazmasının en bol ve en temel proteindir. Albüminlerin, bu hücre içerisindeki taşınmasını arttırmak için nano boyutlu parçacıkların kullanımı ile etkinliklerinin arttırıldığı çalışmalar literatürde mevcuttur. İnsan serum albüminin (HSA) yapısı, kolay bulunabilir olması ve suda çözünebilir olması sebebiyle birçok bilimsel araştırmalar için önemlidir (Rajeshwari et al. 2014).

Serum albümin proteini ile nanopartiküllerin etkileşimi çalışmaları; nano partiküllerin dağılımı, serbest konsantrasyonu ve metabolizması hakkında daha iyi bir fikir vermektedir. Nano partiküllerin bağlanma yeteneği ve taşınması, protein üzerindeki yüzey kimyasına ve yüküne bağlıdır. Bağlanma özellikleri farmakokinetik ve dozaj ayarlama tasarımında yararlı olmaktadır. Bovin (sığır) serum albümin (BSA), insan serum albümini (HSA) ile yapısal özellikleri birbirine en yakın protein olduğundan sağlık ve eczacılık alanlarındaki incelenmelerde en sık kullanılan proteindir.

Proteinlerin nanomalzeme ile sıkı, spesifik veya spesifik olmayan bir şekilde bağlanması protein korona olarak adlandırılan bir yüzey kaplaması oluşturur. Nanopartiküller (NP) proteinlerle etkileşime girerek vücuda girdiğinde nanopartikül-protein korona oluştururlar. NP'lerin biyolojik sisteme uygulanmasından sonra, esas olarak farklı boyut ve nicelikteki proteinlerden oluşan birkaç biyolojik ara yüze maruz kalmaktadırlar. Nanopartikül-protein yapılarının fizikokimyasal etkileşimleri; etkileşim kuvvetleri, bağlanma alanları ve afinitesi gibi faktörlerden etkilenir. Şekil ve yüzey özellikleri de dahil olmak üzere kullanılan nanomalzemelerin ve proteinlerin özelliklerine göre bu etkileşim aktivitesi değişkenlik göstermektedir (Ranjan et al. 2016).

Nanomalzemeler üzerindeki koronanın adsorpsiyon ve kompozisyonu, nanomalzemelerin zaman, boyut, şekil, yüzey özellikleri, kimyasal bileşimi, yüzey yükü, yüzey hidrofobikliği vb. özelliklerine bağlıdır. Yüzey özelliklerinin protein ve diğer biyo-arayüz adsorpsiyonu ile üzerindeki etkileri araştıran birçok çalışma olmasına rağmen, çoğu araştırmacı biyolojik olarak kabul gören kararlı nanomalzemelerle etkileşime girmesi için protein kullanmıştır. NP-protein etkileşimleri için bölgeye spesifik bağlanma, adsorbe edilen protein sayısı, adsorplanma yüzdesi, denge süresi, temas zamanı analizi, kinetik ve izoterm analizi hakkında çok az şey bilinmektedir. BSA'nın nanomalzemeler üzerine adsorpsiyonunu analiz etmek, etkileşim mekanizmalarını anlamak için bireysel tekniklerden elde edilen sonuçların topluca incelenmesi gerekmektedir.

Manyetik nano partiküller (MNP), kan dolaşımına veya doku arasındaki sıvılara ulaştıklarında, çeşitli proteinler nano-biyo etkileşimleri yaparak MNP yüzeyine bağlanır. Dolayısıyla kan dolaşımında MNP'lerin plazma proteinleriyle olan etkileşimleri kaçınılmazdır. Bununla beraber nanopartikül yüklemesinin protein üzerinde toplama, yanlış katlama ve deaktivasyona olumsuz biyolojik etkilere neden olduğu da bulunmuştur. NP-protein etkileşimlerinin anlaşılması önemli olmakla birlikte, bu sürecin mekanizmalarının moleküler düzeyde tanımlanmasında halen eksiklikler bulunmaktadır. Dahası, MNP'ler ve insan plazma proteinleri arasındaki etkileşim çalışmaları da azdır (Dasgupta et al. 2016, Zhang et al. 2015).

Son zamanlarda, nanoteknoloji alanındaki çalışmalar biyoteknoloji alanına odaklanmaya başlamıştır. Öncelikle gümüş nanopartiküller (AgNPs) gıda, tarım, su ve tıp vb. alanlarda büyük ilgi görmüştür. Farklı sektörlerde gümüş nano partikül kullanımındaki hızlı artış nedeniyle; bu alanlarda AgNP'nin proteinlerle etkileşime girmesi araştırma ve uygulama konusu olmuştur (Dasgupta et al. 2016).



Deneyisel çalışmalarda insanda bulunan insan serum albüminin (HSA) yapısına benzer olduğu için bovin serum albümin (BSA) sıklıkla kullanılmaktadır. Bu nedenle BSA-nanopartikül etkileşim çalışmaları, HSA ile nanopartikül etkileşimi hakkında bir fikir vermektedir. Ayrıca, BSA %99 saflıkla kolaylıkla bulunabilir ve konformasyonu sıcaklık veya pH'daki ufak değişikliklerden etkilenmez. Ultraviyole/ görünür bölge spektroskopisi (UV/Vis spektroskopisi) ve Fourier dönüşümlü infrared spektroskopisi (FT-IR) teknikleri, etkileşim öncesi ve sonrası BSA'nın karakteristik değişimini incelemek için kullanılmıştır. BSA-NP etkileşiminin temas-zamanı dengesini, kinetik izotermelerini incelemesinden sonra birçok araştırmacı BSA'nın Ag, CdS ve Au gibi metal NP'lerle etkileşimi üzerine raporlar yayınlamışlardır. Öte yandan, ZnO ve TiO<sub>2</sub> gibi metal oksit nano partiküllerinin BSA ile etkileşimi üzerine sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır (Dasgupta et al. 2016).

Ravindran et al. (2010) BSA konsantrasyonunun ve gümüş nano partiküller üzerindeki ortamın pH'nın etkilerini göstermiştir. Ag NP'lerinin yüzeyi üzerindeki BSA adsorpsiyonunun Ag nanopartiküllerinin topaklaşmasını önlediğini gösteren çalışmalar bulunmaktadır (Ravindrana et al. 2010). Zhao et al. (2011) tarafından yapılan çalışmalarda flüoresans spektroskopisi, senkron flüoresans spektroskopisi, ultraviyole görünür soğurma spektroskopisi ve dairesel dikroizm spektroskopisi gibi spektroskopik teknolojileri, BSA'ya bağlanma bölgelerini, bağlanma modlarını ve bağlanma kuvvetlerini ve BSA'nın ikincil ve üçüncül yapı geçişlerini araştırmak için kullanmıştır. Araştırmacılar, Ag NP'lerinin BSA ile etkileşiminin hidrojen bağlarını kırarak BSA'nın konformasyonunu değiştirdiğini bildirmişlerdir (Zhao et al. 2011). Kathiravan et al. (2009) ZnO NP'leri ile BSA arasındaki etkileşimin statik söndürme mekanizmaları hakkında bilgilendirme yapmıştır (Kathiravan et al. 2009). Gao et al. (2010) son yirmi yılda, araştırmacıların kimyasal kararlılık, yüksek katalitik reaktivite, düşük maliyet nedeniyle TiO<sub>2</sub> ve ZnO gibi yarı iletken malzemeler kullanılarak çevresel kirlenici maddelerin fotokatalitik bozunması üzerinde önemli adımlar atmıştır. Özellikle fotokimyasal uygulamaları diğer araştırma alanlarına iletilebileceği konusunda araştırmalarını sunmuştur. Ayrıca bu çalışmada ultrasonik ışınlama ve ZnO'nun birleşik etkisinin BSA proteinine zarar verdiğini belirtmişlerdir (Gao et al. 2010).

Rajeshwari et al. (2014) tarafından Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanopartikülleri, yük taşıyan kalça protezleri, diş implantları, vertebra ara parçaları ve ekstensörler gibi biyomedikal uygulamalarda yaygın olarak kullanılmıştır. BSA'nın Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NP'ler ile etkileşimlerini incelediklerini incelemişlerdir. Ayrıca bu çalışmada, konformasyonel davranışta ufak bir değişimin bile, NP'ler ile etkileşim içinde olan BSA üzerinde ciddi bir değişikliğe sebep olduğunu ve Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> NP'lerin protein (BSA)

ile etkileşiminin, biyolojik aktivitelerinin temelini oluşturacağını belirtmişlerdir (Rajeshwari et al. 2014).

Bhogale et al. (2014) tarafından bakır nanopartiküllerin BSA proteini ile biyomedikal alana olası uygulamaları ve etkileşim mekanizmasını anlamak için bir araştırma yapılmıştır. NP'lerin biyomoleküllerin yüzeyinde birikimlerini kolaylaştırmak için boyut dağılımının optimize edilebilmesi ile yüksek yüzey alanı nedeniyle, aşırı ilaç yükleme kapasitesi sağlayabileceği vurgulanmıştır. NP'lerin sadece çeşitli ilaçlar için taşıyıcı olarak davranmakla kalmadığı, aynı zamanda biyolojik görüntüleme, parlaklık etiketleme de etkili bir şekilde kullanılabildiği yapılan diğer çalışmalarda görülmüştür. Antik çağlardan beri bakırın antibakteriyel, antifungal, molluskisidal, nematosidal, antiviral vb. biyosidal özellikleri bilindiğinden, yaptıkları çalışmada antimikrobiyal tümör ve kanser hücrelerini dengesiz hale getirmek için bakır bazlı ilaçların farmakolojik olarak gelişmesine katkı sağlayacak bir çalışma yapmışlardır (Bhogale et al. 2014).

## 1.1. ADSORBENTLER

### 1.1.1. Nanomalzemeler

Nanoteknoloji, “Yeni ve ilerleyen teknoloji ile geliştirilmiş fiziksel, kimyasal, biyolojik özellikler ve fonksiyonlar sergileyen, 0.1-100 nm mertebesinde boyutta (Şekil1.1’de boyut skalası verilmiştir.) olan yeni kompozit malzeme, cihaz ve sistemlerin oluşturulması, işlenmesi, karakterizasyonu ve kullanımı, fenomenler ve nano ölçekli boyutlarından dolayı süreçler” anlamına gelmektedir. Nanoteknolojideki mevcut ilgi alanları, nanokompozitlerin önemli bir parçası olduğu nano-biyoteknoloji, nano sistemler, nano-elektronik ve nano yapıları materyalleri kapsar.

Su	Glikoz	Antikor	Virüs	Bakteri	Kanser hücresi	Nokta	Tenis topu
0.1	1	10	100	1.000	10.000	100.000	100.000.000
						1.000.000	10.000.000
							nm

Şekil 1.1 Örneklerle Boyut Skalası (URL-2)

Nanoteknoloji sayesinde, nanoyapılı malzemelerin aşağıdan yukarıya bir yaklaşım kullanılarak geliştirilmesi öngörülmektedir. Bu tanımda geçen aşağıdan yukarıya tarifi onların atomlardan, moleküllerden ve nano ölçekli tozlardan, liflerden ve onlardan yapılan diğer küçük yapısal

bileşenlerden inşa ederek daha fazla malzeme ve ürün yapımına imkan sağladığıdır. Bu, hammaddelerin preslendiği, kesildiği, kalıplandığı ve başka şekilde parçalara ve ürünlere dönüştürüldüğü önceki tüm imalatlardan farklıdır (Thostenson et al. 2005).

Nanomalzemeler, boyutlarına ve şekillerine göre benzersiz kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı artan bir ilgi görmüştür. Fullerenler, nanotüpler ve nanofiber gibi farklı formlara sahip nanokompres karbonlar büyüleyici yapılara ve termal/elektrik/mekanik özelliklere sahiptir. Bu yapılar yakıt hücreleri, süperkapasitörler, hidrojen depolama, alan emisyon cihazları, kimyasal/biyolojik sensörlerde kullanımları mevcuttur. Bu uygulamaların birçoğu, değerli metal veya alaşım katalizörlerinin karbon substrat üzerine biriktirilmesi, elektrokatalitik etkinlik gibi işlevleri sağlamak için gereklidir. Bu uygulamalarda, destekleyici karbon malzemelerinin yapısı ve özellikleri önemli bir parametredir. Çünkü desteklenen katalizörlerin boyutu, dağılımı ve etkinliği üzerinde önemli etkiye sahiptirler (Chen et al. 2002, Lin et al. 2009, Tang et al. 2004).

Karbon nanomalzemeleri, eşsiz grafit özellikleri ve üç boyutlu esnek yapılar ile birleştiğinden direkt metanol yakıt hücrelerinde katalizör destekleyici olarak kullanılmaktadır. Çeşitli karbon nanomalzemeleri arasında, karbon nanotüpleri (KNT) ve karbon nanofiberleri (KNF) gibi tek boyutlu nano-karbonlar, benzersiz yapıları, yüksek elektronik ve termal iletkenlikleri ve iyi elektrokimyasal kararlılıkları sayesinde direkt metanol yakıt hücrelerindeki katalizörler için umut vadeden destek malzemeleri olarak kabul edilir. Karbon nanotüpleri ile karşılaştırıldığında, karbon nanofiberleri ucuzdur ve nispeten yüksek hızda çeşitli kontrollü yapılarla üretilebilir. Bununla birlikte, günümüzdeki araştırmaların çoğu, yarımetal/metal metallerin nanopartiküller (NP) karbon nanotüplerine çökmesine odaklanmıştır ve modifiye edilmiş karbon nanofiberlerin kullanımı hakkında literatür araştırmaları giderek artmaktadır (Chen et al. 2002, He et al. 2004, Duarte et al. 2006).

### **1.1.2. Karbon Nanofiberler**

Karbon malzemeleri, muhteşem fizikokimyasal özelliklerinden dolayı büyük ilgi görmüş ve sıklıkla yakıt hücrelerinde elektrokatalizör olarak çalışılmıştır. Karbon nanofiberler, yüksek yüzey/hacim oranları, daha iyi mekanik özellikleri ve kolay yönetilebilirliği nedeniyle özel bir yere sahiptirler ve yeni fiziksel, kimyasal özellikleri araştırılmaktadır. Karbon nanofiberler, bu önemli özelliklerinden dolayı tekstil, kimyasal sentez, ilaç, mühendislik ve savunma gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Özellikle doğrudan metanol yakıt hücrelerinde (DMFC), nanofiber

yapı yüksek dispersiyon için mükemmel bir yüzey ve katalizör nano parçacıklarının kaynaştırma ile alt katmana kuvvetli bir şekilde tespit edilmesini sağlayabilir. Karbon nanofiberlerin elektrospinning yöntemi ile sentezi, basitliği, yüksek verimi, etkinliği ve düşük maliyetli yönleri nedeniyle en çok kullanılan tekniktir. Karbon nanofiberlerin özellikleri metallerin basit katılmasıyla ve katı hal yöntemleri kullanılarak geliştirilebilir (KhanGhour et al. 2015, Alvi et al. 2016).

Karbon nanotüpleri ve nanofiberler yüksek termal ve elektriksel iletkenliklere ilaveten yüksek gerilme mukavemeti ve yüksek elastik modül gibi mükemmel mekanik özelliklere sahiptir. Bu nedenle, karbon nanofiber-reçine kompozisyonu gibi pratik uygulamaların hedefi ile bu eşsiz materyaller üzerine yapılan araştırmalar çoğunluktadır. Karbon nanotüpleri ve karbon nanofiberleri aynı zamanda şekil ısısı, kimyasal kararlılık, mekanik mukavemet ve yüksek sıcaklıktaki kararlılığa sahip olduklarından, alan yayıcılar olarak kullanarak alan emisyon ekranlarının geliştirilmesi araştırılmaktadır (Susumu et al. 2005).

KNF'lerin pek çok farklı yüzey kimyası, morfolojik özellikleri ve boyut özelliklerine sahip olduğu bilinmektedir. Bunlar çözücülerde KNT'lere göre çok daha kolay dağılmaktadırlar. Ayrıca, KNF'ler KNT'lere benzer özellikleri iyileştirmede daha uygun maliyetli bir yapıdadır. Bunların üstün özelliklerinin yanında grafende karbon atomlarının petek örgü kafeslerinden oluşan ve yüksek elektrik iletkenliğine, üstün young modülüne ve çekme mukavemetine sahip olan bir karbon allotropudur (Xiuyi et al. 2014).

Tek duvarlı karbon nanotüpler (SDKNT), tipik olarak 0.5 ila 1.5 nm arasında değişen çaplara ve 100 nm ila birkaç mikrometreye kadar değişen uzunluklara sahiptir. Çok duvarlı karbon nanotüpler (MDKNT) çok katmanlı yapıları nedeniyle daha büyük çaplara (100 nm'den fazla olabilir) sahiptir. KNF'lerin boyutları 3.5 nm ile birkaç yüz nanometre çapında ve birkaç mikrometre uzunluğunda olabilir. SDKNT'ler ve MDKNT'ler, elektrik ark buharlaştırma, lazer buharlaştırma, karbon monoksitten gaz-faz katalitik büyüme ve hidrokarbonlardan kimyasal buhar biriktirme (CVD) gibi çeşitli yöntemlerle imal edilir. Kiral vektöre (yani, bir nanotüp silindiri oluşturmak için grafit yaprağın yuvarlandığı yöne dik olan vektör) bağlı olarak, KNT'ler yarı iletken veya metalik olabilir. Metalik SDKNT'ler normal metallerin taşıyabileceğinden 104 kat daha fazla akım taşıyabilir. KNT ve KNF'lerin en önemli özelliği, yüksek bir en boy oranına (yani uzunluk/çap oranına) ve yan duvarlarda çok fazla sarkan bağlara sahip yüksek yüzey alanlarına sahip olmalarıdır. Bu özellikleri ile biyomedikal

uygulamalar için birçok farklı biyoaktif molekülle modifiye edilme potansiyeline sahiptirler (Tran et al. 2009).

### **1.1.3. Nanopartiküller**

Nanopartiküller (NP'ler, 100 nm'den az) farklı endüstriyel, tıbbi, kişisel ve askeri uygulamalarda kullanılabilirler. Dahili hücre organları aralığında olan NP'ler, yalnızca biyolojik sistemlerin manipüle edilmesinde veya algılanmasında kullanılmaz, ayrıca çevrecede muhtemel zararlı etkileriyle ilgili yaygın bir görüş vardır. Küçük partikül büyüklükleri, geniş yüzey alanları ve reaktif oksijen türlerini üretme yeteneklerinin toksisiteleri ile ilişkili olduğu düşünülmektedir. NP'lerin üretiminin ve uygulamasının artması nedeniyle, çevreye salınımlarının artması kaçınılmaz olacaktır. Nanopartiküllerin konvansiyonel formları üzerindeki eşsiz özellikleri ve gelişmiş reaktivitesi nedeniyle, kozmetik, suntanlotyonlar, kendinden temizleme camları, boyalar gibi biyoyararlanımda kullanılan çeşitli ürünler, biyolojik görüntüleme, ilaç verme ajanları ve biyosensörler gibi çeşitli biyomedikal amaçlar için de kullanılmaktadırlar.

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanopartikülleri, mikroelektronik, seramik, katalizör desteği, aşındırıcılar, alaşımlar, kaplamalar ve sensörler gibi çeşitli ticari uygulamalarda kullanılan en sık mühendislik nano partiküllerinden biridir. TiO<sub>2</sub> boya, kağıt, plastik ve birçok kozmetik ürününde kullanılan bir opaklaştırıcıdır. Kristal şeklindeki SiO<sub>2</sub>, elektronikte yarı iletken olarak yaygın şekilde kullanılır. ZnO, yarı iletkenler veya pigmentler gibi uygulamalarla seramik özelliklere sahiptir. Makro boyuttaki yapılarına göre daha geniş yüzey alanına sahip olan nano metal oksitler, uygulamalarda üstün performans göstermektedir (Jiang et al. 2009, Rajeshwari et al. 2014).

### **1.1.4. Demir oksit**

Demir oksit çekirdeği nanometre boyutta manyetik parçacıklar olarak kullanılabilir ve süperparamanyetik davranış gösterebilir. Manyetik demir oksit nanopartikülleri (MNPs) süperparamanyetiklik, yüksek manyetik duyarlılık, düşük toksitliği ve biyouyumluluk özelliklerine sahiptir.

Bu nanopartiküller, stabil sulu süspansiyonlar oluşturabilirler ve manyetik bir alan varlığında aglomerasyondan sonra kolayca yeniden dağılıbilirler. Bununla birlikte, demir oksitlerin bozulmamış nanopartikülleri, büyük kümeler halinde toplanma eğilimindedir. Metalik özellikleri nedeniyle iyonik/elektronik yükleri vardır ve buldukları ortamda yüzeylerinde

elektrokimyasal olarak oksidasyon/redüksiyon reaksiyonu gösterebilirler ve kararlılıkları etkilenebilir. Nanopartiküller uygulamada boyut olarak üniform olmaları, kimyasal olarak stabil olmaları ve ortam içinde iyi dağılmaları sebebiyle tercih edilirler. Bu nedenle ilaç taşıyıcı olarak nanopartiküllerin performansını arttırmak ve bozulmamış manyetik nanopartiküllerin (MNP'ler) biyo-ayırıcı yüzey modifikasyonu yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

Manyetik nanopartiküller birçok biyomedikal nanoteknoloji alanında (manyetik biyosensör, biyolojik birimlerin tespiti, manyetik rezonan görüntüleme, ilaç taşıma sistemleri, kanser tedavisinde manyetik hipertermi vs.) kullanılan potansiyel ajanlardır. Manyetik nanopartiküller doku onarımında kullanılmaktadır. Örneğin, Gupta et al (2016) proteinlerin denatürasyonu sayesinde yumuşak doku onarımını arttırmak için nano demir oksit uygulanmalarına ait bazı çalışmaları incelemiştirler.

Süperparamanyetik malzemeler geniş çapta kullanılan malzemelerden biridir. Bunlardan birkaçı  $Fe_3O_4$  (magnetit),  $\alpha-Fe_2O_3$  (hematit),  $\gamma-Fe_2O_3$  (maghemit), demir akışkanı, Fe-Ni'dir.  $\gamma-Fe_2O_3$  (maghemit) ulaşılabilir, kararlı, düşük çevre etkili, yüksek manyetik duyarlılığından dolayı manyetik nano pariküller arasında en çok tercih edilen manyetik malzemedir. Manyetik yapının çekirdeği için koruyucu kabuk uzun süre kullanılabilirlik ve topaklaşmaları azaltmak için gereklidir. Core-shell yapı hem kararlılığı arttırmak için hem de MNP'lerin sitotoksitesini (canlı hücre üzerindeki toksite etki oranı) azaltmak için gereklidir. Tasarlanan ve fonksiyonlanan MNP'lerin kaplanmasına izin verilebilir (Zhang et al. 2015, Ramos Guivar et al. 2016, Kılınç 2016, Altay et al. 2017).

## 1.2. TEZ ÇALIŞMASININ AMACI

. BSA'nın birçok farklı yüzey üzerine etkileşimlerinin ve farklı metotlar kullanılarak elde edilen arayüzlerinin anlaşılması ve geliştirilmesi üzerine birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmada doğada bolca bulunan ve insan vücudunun olmazsa olmazı olan proteinlerin metal oksitler üzerine adsorplanma mekanizmaları incelenmiştir. Bu sebeple çalışma proteini olarak bovin serum albümin (BSA) seçilmiştir. Zeta potansiyel ölçümleri ile her bir adsorbent yüzeyi ile BSA arasındaki etkileşimlerin araştırılması,

- Bovin serum albümin (BSA) proteininin demir oksit ( $Fe_2O_3$ ) ve KNF üzerine adsorpsiyonunun incelenmesi,

- Bu kombinasyonlarda adsorpsiyon üzerine sıcaklığın, adsorbent miktarının etkilerinin incelenmesi,
- KNF/BSA ve  $Fe_2O_3$ /BSA sistemleri için deneysel adsorpsiyon izotermelerinin belirlenmesi, Freundlich ve Langmuir adsorpsiyon izoterm modellerinin elde edilmesi ve karşılaştırılması,
- Metal oksitler ile KNF'lere kimyasal yöntemlerle yüzey modifikasyon işlemleri uygulanması,
- Elde edilen kompozitler üzerinde BSA'nın adsorpsiyon denge ve kinetiğinin incelenmesi ve yöntemlerin karşılaştırılması amaçlanmıştır.







## BÖLÜM 2

### GENEL BİLGİLER

#### 2.1. PROTEİNLER

Vücudun en küçük yapı taşı olan canlı hücrelerde ve bu hücrelerin tüm bölümlerinde bulunan makro büyüklükteki kompleks moleküllerdir. Bulunduğu hücrelerde farklı ve birçok işlevsel görevleri vardır özellikle yaşamsal işlevlerin çoğu proteinlere bağlıdır. Yapılarında, karbon, hidrojen, oksijen ve azot atomlarını mutlaka taşıyan proteinler, bitkisel ve hayvansal dokularda önemli oranlarda bulunurlar (Ası 1996).

Hücrelerde meydana gelen olaylar; yüz binlerce proteinin kendilerine ait olan görevlerini yerine getirmeleri ile gerçekleşmektedir. Proteinlerin başlıca görevleri şunlar:

- Proteinler vücudun önemli gereksinimini karşılar.
- Özellikle büyüme ve gelişme dönemlerinde yeni dokuların oluşmasını sağlarlar. Ayrıca yıpranan dokuların onarılması işlevine sahiptir.
- Enzimlerin ve hormonların yapılarında bulunarak bunların oluşumuna katkı sağlarlar.
- Sinir hücrelerinin sinirsel uyarıların iletilmesinde rol oynarlar.
- Hareket sisteminde ve canlıların destek dokularında görev alırlar.
- Bağışıklık sisteminde koruyucu olarak çalışırlar.
- Kanın pıhtılaşmasında görev alırlar.
- Organizmada taşıyıcı olarak çalışırlar. Büyük molekül ve iyonların taşınmasını ve kendilerine ait görevleri yerine getirmesini sağlarlar. Örneğin, hemoglobin alyuvarlarda, miyoglobin ise kasta oksijen taşıırken, demir kan metabolizmasında transferin tarafından taşınır. Hücrelerle hücreler arası sıvılar arasında besin unsurlarının değişimine yardım ederek ödemlere sebebiyet veren sıvıların anormal bir şekilde toplanmasına engel olur.
- Sıvı ve elektrolit dengesinin korunmasında doğrudan ya da dolaylı olarak görevleri vardır.

- Proteinler vücudun enerji kaynağı değildir. Ancak, proteinler vücuda fazla miktarda alındıklarında ya da vücutta yeterli enerji kaynağı olmadığında enerji kaynağı olarak kullanılır. (URL-3).

### 2.1.1. Proteinlerin yapısı

Proteinler, hücrenin yapısında yer alan C, H, O, N ve S içeren zincir şeklindeki amino asitlerin belirli türde, belirli sayıda ve belirli diziliş sırasında karakteristik düz zincirde birbirlerine kovalent bağlanmasıyla oluşmuş büyük organik bileşiklerdir. Proteinler, amino asitlerin polimerleridir. 20 standart amino asit vardır ve bunlar protein yapısının yazıldığı bir dilinin alfabesi olarak düşünülebilir. Böylece tür olarak çok sayıda protein oluşmaktadır. Yeryüzündeki tüm canlılardaki protein türlerinin toplamının bir milyon kadar olduğu tahmin edilmektedir (URL-3).

Proteinler makro molekül yapısındadırlar. Hidrolize edilerek parçalandıklarında daha basit yapıdaki amino asitlere ayrılmaktadırlar (URL-4)

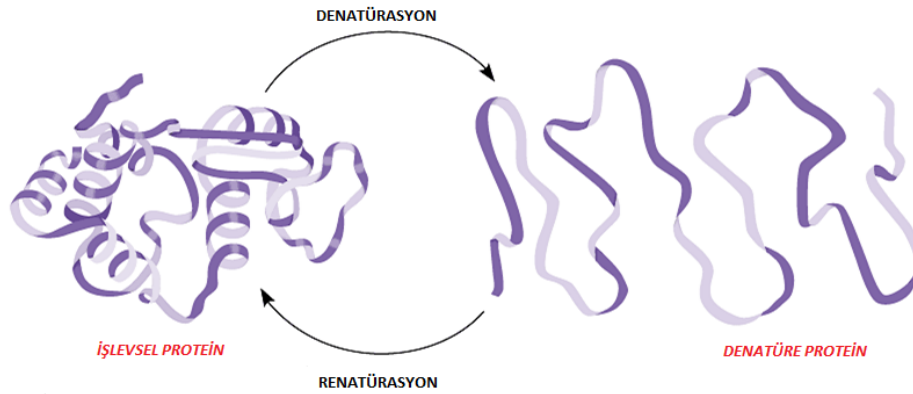
Saf proteinler genellikle tatlı olmalarına rağmen hidroliz ürünleri ise çoğunlukla acıdır. Saf proteinler kokusuzdur. Yanma olayı sonunda, kıl veya tüyün yanma kokusunu verirler. Eskiden homojen olduğu sanılan birçok protein türünün, yeni tekniklerin gelişmesiyle yapılan analizler sonucunda homojen olmadıkları anlaşılmıştır. Ultrasantrifüj ve elektroforez gibi tekniklerle, birçok proteinin yapısal olarak birbirine yakın molekül türlerinden oluştuğu anlaşılmıştır. Örneğin, önceden tek bir maddeden oluştuğu sanılan ve ilkel tekniklerle albümin ve globüline ayrılan serum proteinlerinin 30'dan fazla bileşene ayrıldığı saptanmıştır. İnsan ve hayvan organizmasında bulunan proteinlerin çoğunluğu soğukta, suda ve nötr tuz çözeltilerinde çözünürler (Ası 1996).

Proteinler genel anlamda dörtlü bir yapı sahiptirler. Birincil yapı, aminoasitlerin peptit bağlarıyla birbirlerine bağlanarak oluşturdukları zincir yapısıdır. İkincil yapı, fibröz proteinlerde olduğu gibi bir eksen çevresinde oluşturdukları sarmal yapısıdır. Üçüncül yapı, polipeptit zincirinin globüler proteinlerde olduğu gibi kıvrılarak ya da bükülerek oluşturduğu yapıdır ve dördüncü yapı, birden fazla polipeptit zinciri içeren proteinlerdir ve uzaysal dizilim ilişkileri vardır (Ekingen 2012).

Albümin, fibrinojen, çeşitli enzimler, vb. gibi proteinlerin büyük kısmı sulu fazda (kan plazması, hücre içi sıvısı, vb.) çözünür. Bazı proteinler ise görevleri gereği suda ya çok az çözünür ya da hiç çözünmez (aktin, keratin, vb.). Proteinlerin sudaki çözünürlüğüne etki eden parametrelerin başında pH, sıcaklık, ortamdaki iyonlar ve derişimleridir.

Proteinler çeşitli etkilerle denatüre olurlar; protein denatürasyonu peptit bağları hidroliz olmadan proteinin yapısını çözülüp disorganize olması sonucunda meydana gelmektedir. Denatürasyon sırasında kovalent bağlar korunur. Ancak disülfid bağları kırılarak çok sayıda sülfidril grubu açığa çıkarır. Yani molekül yumak şeklini koruyamayıp açılmaya, düz şekil almaya başlar.

Bir proteinin denatürasyonu, proteinin tersiyer yapısının bozulması, sekonder ve primer yapısının korunması biçiminde olursa geri dönüşümlüdür. Denatüre olmuş bir proteinin tekrar eski haline dönmesine renatürasyon denir. Proteinin denatürasyonu Şekil 2.1’de görülmektedir (Ekingen 2012).



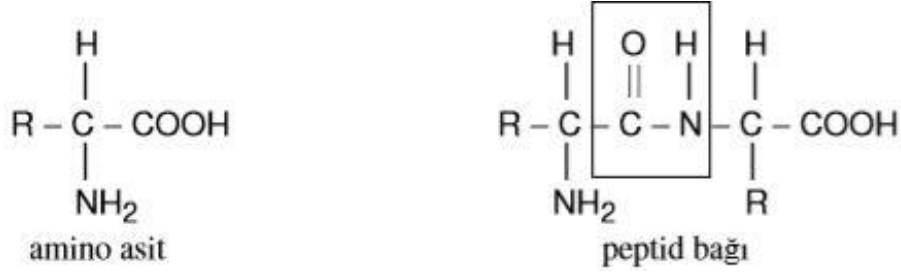
Şekil 2.1 Proteinlerin Renatürasyonu (URL-3).

### 2.1.2. Amino asitler

Amino asitler proteinlerin yapı taşıdır. Değişik kimyasal yapıda bir köke (R) bağlı bir karboksil (-COOH) ve bir amin (-NH<sub>2</sub>) grubundan oluşan organik ögelerdir. Amino asitlerin yapısında bulunan -NH<sub>2</sub>'nin kaynağı havadan toprağa karışan inorganik azottur. Azot bitkilerde NH<sub>3</sub>'e indirgenir. Bu olaya “azot birikimi” denir. Amino asidin R grubundaki değişiklik amino asidin türünü gösterir (URL-4).

Proteinlerde bulunan standart 20 aminoaside  $\alpha$ -aminoasit denir. Basit proteinler asit, baz ve enzimler tarafından hidroliz edildikleri zaman; yapı taşları olan  $\alpha$ -aminoasitlere ve onların bazı

türevlerine parçalanırlar.  $\alpha$ -aminoasitler;  $\alpha$ -karbon atomuna bir  $-\text{NH}_2$ , bir  $-\text{COOH}$ , bir  $-\text{H}$  ve bir  $-\text{R}$  yan grubunun bağlanmasıyla ortaya çıkan bileşiklerdir. Aminoasitler  $-\text{R}$  grubunun yapı ve özellikleri bakımından birbirlerinden farklı olurlar, amino asitlerin fiziksel özellikleri Çizelge 2.1’de verilmiştir.  $\alpha$ -aminoasitlerin iyonlaşmamış halinin, nötral pH’da ve kristal halde genel formüllerini Şekil 2.2’de gösterildiği gibi yazabilir (Ası 1996).



Şekil 2.2 Amino asit yapısı ve peptid bağı (Ası 1996).

Çizelge 2.1. Aminoasitlerin Fiziksel Özellikleri (Bozgeyik, 2012)

Aminoasitlerin(aa) Fiziksel Özellikleri	
Ortam	Çözünürlük
Su	+
Asit	+
Alkali	+
Etatol	±
Eter	-
Tatları	Aminoasit
Acı	Löysin
Tatlı	İzolöysiz, arjinin
Tatsız	Diğerleri
Erime Noktası	200 °C

### 2.1.3. Proteinlerin sınıflandırılması

Protein türlerinin çokluğu, yapısal ve kimyasal özellikleri nedeniyle iyi bir sınıflandırma yapmak zordur. Ayrıca yapılarındaki amino asit diziliş sıralarındaki en ufak bir değişiklik yeni bir izomer yarattığından bu zorluk artmaktadır. Proteinlerin sınıflandırılması Çizelge 2.2’de verilmiştir.

**Çizelge 2.2** Proteinlerin Sınıflandırılması (URL-3)

<b>Proteinler</b>			
<b>Kaynağına göre</b>	<b>Kimyasal yapısına göre</b>	<b>Konfigürasyonuna göre</b>	<b>İşlevine göre</b>
Bitkisel Hayvansal	Basit Bileşik	Fibröz Globüler	Katalitik Yapısal Düzenleyici Antikorlar Koruyucu Taşıyıcı Kontraktıl

### **Kimyasal yapısına göre proteinler**

**1) Basit Proteinler:** Yapısında sadece  $\alpha$ -aminoasitleri bulunduran proteinlerdir. Hidroliz edildiklerinde serbest  $\alpha$ -aminoasitler ve onların bazı türevleri oluşur. Basit proteinler aşağıdaki alt gruplara ayrılır.

**a. Albüminler:** Suda çözünebilir ve ısındığında pıhtılaşan proteinlerdir. Albüminler doygun tuz çözeltisi, özellikle doygun  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  çözeltisi ile çöktürülürler. Serum albümin, yumurta akı ovalbümini, süt laktalbümini örnek olarak verilebilir.

**b. Globülinler:** Seyreltik nötral tuz çözeltilerinde çözünen ve suda çözünmeyen proteinlerdir. Globülinler ısıtılınca pıhtılaşır. %50'lik  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  çözeltisi ile çöktürülürler. Örnek olarak serum globülin, ovoglobülin ve bitki tohumu globülinleri verilebilir.

**c. Glüteninler:** Bitkisel proteinlerdir. Seyreltik asit ve baz çözeltilerinde çözünürler. Su ve alkol gibi nötral çözücülerde çözünmezler ve ısıtılınca pıhtılaşır. Örnek olarak buğday gluteni, pirinç orizenini verilebilir.

**d. Prolaminler:** Bitkisel proteinlerdir. Suda ve nötral çözücülerde çözünmezler. %70'lik alkolde çözünürler, mutlak alkolde çözünmezler. Buğday gliadini, mısır zeini örnek olarak verilebilir.

**e. Histonlar:** Suda ve seyreltik asit çözeltilerinde çözünürler ve ısıyla pıhtılaşmazlar. Arginin ve lizin gibi bazik aminoasitler yapılarında bolca bulunur. Vücut hücrelerinin çekirdeğinde nükleik asitlerle kompleks yapan proteinlerdir. Hayvansal kaynaklı proteindir. Hemoglobinin globin proteini bu grupta yer alır.

f. Protaminler: En basit proteinlerdir. Seyreltik  $\text{NH}_3$  çözültisinde ve suda çözünen bazik polipeptidlerdir. Isıyla pıhtılaşmazlar. Bazik aminoasitler yapılarında bol miktarda (%87 arginin) bulunur ve diğer proteinleri çöktürürler.

g. Skleroproteinler (Albüminoidler): Bütün nötral çözücülerde, seyreltik asit ve baz çözültülerinde çözünmezler. Vücutta bağ ve destek dokusu proteinleridir. Kollagen,  $\alpha$ -keratin ve elastin bu grup proteinlerdir. İnsan sindirim sisteminde aminoasitlere hidroliz edilemediğinden besin değerleri yoktur. Kollagenin hidroliziyle hazırlanan jelatin besinlerde koyulaştırıcı olarak kullanılır.

**2) Bileşik Proteinler:** Biyolojik fonksiyonlarını yerine getirebilmek için protein yapısında olmayan gruplara bağlı proteinlerdir. Protein yapısında olmayan, proteine bağlı böyle gruplara prostetik grup adı verilir. Bileşik proteinler aşağıdaki gruplara ayrılır.

a. Nükleoproteinler: Bir veya daha fazla protein molekülünün nükleik asitlerle yapmış olduğu komplekslerdir. Hücre çekirdeği nükleohistonları (kromozomlar) ve virüsler örnek olarak verilebilir.

b. Glikoproteinler: Prostetik grup olarak karbohidratları içeren proteinlerdir. Proteinlerin karbohidratlara bağlanarak oluşturduğu komplekslerdir. Tükürük salgısı ve mukus salgısı mucusları, immünoglobulinler, yumurta ovomukoidi ve serum elektroforezi sonucu oluşan  $\alpha_1$ - ve  $\alpha_2$ - fraksiyonları örnek olarak verilebilir.

c. Fosfoproteinler: Çoğunlukla serin aminoasidi kalıntısı üzerinden fosfat grubu bağlı proteinlerdir. En bilinen örneği süt kazeinidir. Yumurta sarısı proteinlerinden vitellin ve glikojen sentetaz da bu grupta bulunur.

d. Kromoproteinler: Prostetik grup olarak renkli bir kısım (kromofor grup) grup içeren proteinlerdir. Hemoglobin, flavoproteinler ve sitokromlar örnek olarak verilebilir.

e. Lipoproteinler: Proteinlerin nötral yağlar, fosfolipidler ve kolesterol ile yapmış oldukları komplekslerdir. Serum lipoproteinleri (şilomikronlar, VLDL, LDL, HDL) ve yumurta sarısı proteinleri örnek olarak verilebilir.

f. Metaloproteinler: Metal iyonlarına koordinasyon bağları ile bağlı proteinlerdir.  $\text{Zn}^{+2}$  – karbonik anhidraz,  $\text{Fe}^{+2}$  –transferin,  $\text{Cu}^{+2}$  –seruplazmin bu grup proteinlerdir (Ası 1996)

## **Konfigürasyonuna göre proteinler**

**1.Fibröz;** tek bir eksenle paralel olacak şekilde lifimsi yapı oluşturan proteinlerdir (Özer&Yalçın,1996). Fibröz proteinler buldukları yapıya güç ve/veya esneklik kazandırır. Daha çok vücutta sağlam yapıyı gerektiren ve koruyuculuk görevi yapan yerlerde bulunur. Fibröz proteinler yüksek hayvan ve bitki organizmalarının bağ dokularının temel yapısal elemanıdır (Ası 1996).

**2. Globüler;** Bir polipeptid zincirinin farklı bölümleri veya birçok polipeptid zincirinin birbiri üzerine katlanıp sıkı bir yumak halini almasıyla ortaya çıkan yapıdır. Katlanma aynı zamanda proteinlerin geniş kapsamlı işlevlerini yerine getirebilmeleri için yapısal çeşitliliği sağlar. Bu tip proteinlerin çoğu sulu çözeltilerde çözünür ve kolayca difüze olurlar. Globüler proteinlerin hücrede çok önemli dinamik görevleri vardır. Bilinen enzimlerin çoğu, antikorlar, bazı hormonlar, serum albümin ve hemoglobin gibi taşıma görevi yapan proteinler globüler yapıda proteinlerdir.

## **İşlevlerine göre proteinler**

1. Biyokimyasal reaksiyonları katalize eden ve **katalitik proteinler** sınıfında yer alan **enzimler** yapı olarak proteinden başka bir şey değildirler.
2. Metabolik reaksiyonların düzenli bir şekilde devamını kontrol eden bir kısım **hormonlarda** protein yapısındadırlar ve **fizyolojik düzenleyiciler** sınıfında yer alırlar.
3. Önemli metabolizma maddelerini, organizma içerisinde taşınmalarını sağlayan transport maddelerde protein yapısındadır ve **taşıyıcı proteinler** olarak anılırlar.
4. Subsellüler, sellüler ve organik düzeylerde görevli yapısal maddelerde protein niteliğindedirler ve **yapı proteinleri** sınıfına girerler.
5. Proteinler **nükleik asitlerle** birlikte, canlının kalıtsal niteliklerini ve bunların değişmelerini sağlayan olaylarda da yer alırlar. Bu sınıf proteinlerde fonksiyonel açıdan **kalıtsal proteinleri** oluştururlar (Korkmaz 2012).

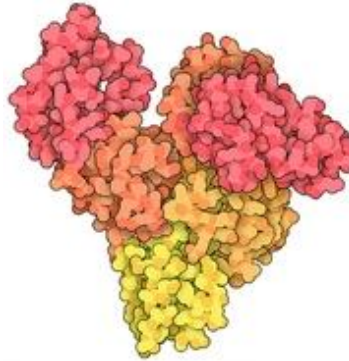
### **2.1.4. Bovin serum albümin (BSA)**

Normal bir kanın santrifüj edilmesiyle kanın üstünde kalan sıvıya kan plazması, pıhtılaşmış kanın santrifüj edilmesiyle elde edilen sıvı üst faza ise serum denir. Serumun plazmadan farkı, fibrinojen ve diğer bazı pıhtılaşma faktörlerini içermemesidir. Kan plazmasındaki çözülmüş katı maddelerin büyük çoğunluğunu proteinler (yaklaşık %7) oluşturmaktadır. İnsan kan

plazma veya serumunun toplam protein miktarının yaklaşık olarak %60'ını serum albümin, %36'sını globülinler ( $\alpha$ -,  $\beta$ - ve  $\gamma$ -globülinler) ve %4'ünü pıhtılaşma proteinleri (fibrinojen ve protrombin) oluşturmaktadır. İnsan kan plazmasının %90'ını su ve %10'unu suda çözülmüş katı maddeler oluşturur (Champe et al. 2007).

Albümin, dolaşım sisteminde kan basıncından ve pH'dan sorumlu en bol proteindir. Albüminler diğer serum proteinlerinin aksine karbonhidrat içeren proteinler değildirler. Buna karşılık lipidleri taşırlar. Tüm plazma proteinlerinin %55'ini oluştururlar ve serumda %3-4 gram bulunurlar. Serum albüminin molekül ağırlığına oranla daha küçük (61.000  $\Delta$ a) olan bir fraksiyonu daha vardır ki buna **prealbümin** adı verilir (URL-3). BSA'nın yapısal görüntüsü Şekil 2.3'te verilmiştir. BSA 40 farklı amino asitin birleşim ile oluşmaktadır, bu amino asitler Çizelge 2.3'te verilmiştir.

- Çoğunlukla lipoprotein yapısındadırlar.
- Molekül ağırlıkları 69.000  $\Delta$ a'dır.
- Molekül biçimleri elipsoid yapıdadır.
- Çözeltileri diğer plazma proteinlerinden daha az viskozdur.



**Şekil 2.3** Bovin Serim Albümin (URL-5, 2019)

**Çizelge 2.3** Bovin serum albüminin amino asit bileşimi (Bozgeyik, 2012)

Ala 48	Cys 35	Asp 41	Glu 58
Phe 30	Gly 17	His 16	Ile 15
Lys 60	Leu 65	Met 5	Asn 14
Pro 28	Gln 21	Arg 26	Ser 32
Thr 34	Val 38	Trp 3	Tyr 21



Serum albüminlerin önemli bir görevi, zor çözünür bazı maddeleri, anyon ve katyonları, lipidleri bağlayarak onları çözünür duruma getirmesidir. Bu nedenle, böyle maddelerin kan dolaşımında taşınmalarını sağlarlar. Birçok ilaçlar ve lipidler kan serumu içerisinde albümine bağlı olarak bulunur ve taşınırlar (Ası 1996).

Diğer bir görevleri de kanın ozmotik basıncının korunmasında globulinlere kıyasla daha önemli bir rol oynamalarıdır. Albümin fraksiyonunun ağırlık ve tane sayısı itibariyle fazla oluşu kan damarı içerisinde yüksek ozmotik basınç meydana getirebilmesinin başlıca nedenini oluşturur.

BSA, %14'lük bazik gruplar ve %18'lik asidik gruplar içeren pH 4.8 olan büyük bir proteindir. Bu nedenle, pH 7.2'de negatif ve pH 4.7'de pozitif olarak yüklenir (Akgül vd. 2008).

Sığır serum albümini (BSA), yüksek kararlılığı, yüksek saflığı ve suda çözünürlüğü nedeniyle bağlanma çalışmaları için uygun bir malzemedir. Çözünürlük pH'ı BSA'nın izoelektrik noktası (IEP) 4.5-5.0 pH'ta olduğu için BSA adsorpsiyonunu etkiler, bu nedenle protein nötr pH'ta negatif olarak yüklenir ve asidik koşullar altında pozitif olarak yüklenir. Değişken yüzey yükü yoğunluğuna sahip olan BSA'nın üç alanı, BSA adsorpsiyon yüklü yüzeyleri etkiler. Örneğin, negatif yüklü amino asitlerin (glutamik asit, aspartik asit) ve pozitif yüklü kalıntıların (lizin, histidin) oluşması BSA'da meydana gelebilir. Protein IEP'sinin üzerindeki pH değerlerinde, pozitif yüklü aminoasit kalıntıları ile elektrostatik etkileşimlerden dolayı negatif yüklü yüzeylerde adsorpsiyon gözlenebilir. BSA adsorpsiyonunda, IEP yakınında maksimum protein adsorpsiyonunun gözlenmektedir (Phan et al. 2015).

### **2.1.5. Proteinlerin Adsorpsiyon Yetenekleri**

Kollodial yapılu küçük moleküller katı parçacık özelliği göstermelerine rağmen birçok protein, belirli adsorpsiyon ve desorpsiyon olasılıkları ile bir ara yüzeye kolaylıkla bağlanamaz ya da ayrılamaz. Proteinlerin yapısının ve kompleks bileşiminin yeniden yapısal düzenlemeleri, adsorpsiyon boyunca değişen yüzey ilgileri, pozitif etkiler, boyut hariç etkiler, adsorpsiyon kinetiğinin ani artışı ya da yüzeyde yığılmalar gibi daha uyarıcı olaylara açık farkla neden olabilmektedir (Rabe et al. 2011).

Protein adsorpsiyonunun gerçekleştiği ortamın durumu adsorpsiyon davranışı üzerinde oldukça önemli bir etkiye sahiptir. Adsorpsiyon mekanizmasını etkileyen birçok parametre vardır. Bunlar öncelikle sıcaklık, pH, iyonik şiddet ve hazırlanan tampon çözeltinin içindeki bileşimidir (Norde and Giocemelli 2000).

Protein ve yüzey arasındaki etkileşimi hem yüzeyin hem de proteinlerin özellikleri belirlemektedir. Bu etkileşimi etkileyen parametreler ise yüzey enerjisi, morfolojisi, yüzeyin ıslatma potansiyeli, yüzey yükü, yüzey gerilimi, polaritedir (Hlady et al. 1999).

**Hidrojen Bağları:** Proteinlerin polipeptit zincirinde, karbonil ve amit grupları arasında bulunan H-bağları protein kararlılığında bir etkiye sahiptir fakat bu bağlar (~0.1 nm) boyundadır. Bu mesafenin kısa olması protein adsorpsiyonunda hidrojen bağlarının öncelikli yürütücü kuvvet olmadığını göstermektedir (Efimova 2006).

**Hidrofobik Etkileşimler:** Sulu ortamda yüzey ile polar olmayan (hidrofobik) moleküller arasındaki güçlü etkileşimlere denir. Bu durum sistemin Gibbs enerjisinin düşürdüğünden dolayı sulu çözeltilerdeki proteinlerin polipeptid zincirindeki hidrofobik moleküllerini çok kolay dehidrasyona uğrattır. Folding prosesinde bu hidrofobik dehidrasyonun ilk yürütücü kuvvet olarak görev yaptığı düşünülmektedir (Efimova 2006).

**Coulomb Etkileşimleri:** Yükler arasındaki saf elektrostatik kuvvetlerdir. Protein molekülünde yüklü amino asit kalıntılarının çoğu sulu ortama doğru yerleştikleri için bu yüklü yüzeyler ile arasında güçlü bir elektrostatik etkileşime neden olur. Genellikle, protein yüzeyi homojen yüklü değildir. Proteinler izoelektrik noktada (IEP) yüksüzdürler ve IEP'den uzaklaştığı zaman proteinler arasında itici ve çekici etkileşimler olur. Çözeltinin pH'ının değişmesiyle yüzey ve protein yükleri değişebilir. Elektrostatik etkileşim yapılan birçok çalışmada belirtildiği gibi protein adsorpsiyonu için önemli bir yürütücü kuvvettir (Efimova 2006).

**Lifshitz-Van der Waals Etkileşimleri:** Lifshitz-Van der Waals (LW) etkileşimleri pozitif yükle yüklenmiş dipoller arasındaki etkileşimlerden oluşmaktadır. Van der Waals kuvveti uzun mesafelidir ve çekim kuvveti hidrojen bağlarından fazladır. Deneysel olarak, proteinler ve materyal yüzeyleri arasında LW etkileşim kuvveti malzeme yüzeyinin düz bir parçasında temas açısı ölçümünden yararlanarak belirlenebilir (Efimova 2006).

## 2.2. ADSORPSİYON

Atom ya da moleküllerin bir fazın yüzeyinde yoğunlaşması ve birikmesi işlemine adsorpsiyon denir. Bir başka deyişle bir malzemenin derişiminin ara yüzeyde yığın derişimine göre artışı şeklinde de tanımlanabilir. Yüzeyde tutunan malzemeye “adsorblanan madde veya adsorbat” ve üzerinde Adsorpsiyonun gerçekleştiği katıya ise “adsorbent veya adsorban” ismi

verilmektedir. Ayrıca Adsorpsiyon işleminin tersine adsorplanan maddenin ortama geri verilmesine yani yüzeyde derişimin azalması işlemine “desorbsiyon” denir (Sarıkaya 2017).

Adsorpsiyon işleminin meydana gelebilmesi için aşağıdaki üç durumun meydana gelmesi gerekmektedir:

1. Adsorbent maddenin yüzeyine tutunacak olan çözülmüş maddelerin öncelikle adsorbent maddenin etrafını çevreleyen çözücü sıvı filmi içerisinde geçmesi gerekmektedir. Bu geçiş film difüzyonu adı verilmektedir.
2. Adsorbent maddenin yüzeyine gelen maddelerin, gözeneklerin iç kısımlarına girebilmesi için partikül difüzyonu adı verilen bir geçiş daha tamamlamaları gerekmektedir.
3. Yukarıdaki iki aşamayı geçen çözülmüş maddenin, adsorbent madde üzerine fiziksel kuvvetlerle bağlanması ile adsorpsiyon prosesinin ön koşulları tamamlanır Adsorpsiyon prosesinin meydana gelebilmesi için gerekli önkoşulların oluşumu gerekmektedir.

### **2.3.1. Adsorpsiyon tipleri**

Adsorpsiyon, adsorbe edilenin yüzeyde tutulmasını sağlayan kuvvet çeşitlerine göre fiziksel Adsorpsiyon, kimyasal Adsorpsiyon ve biyolojik Adsorpsiyon olmak üzere üçe ayrılır.

#### **Fiziksel Adsorpsiyon**

Adsorbe edilen malzeme zayıf van der Waals kuvvetleri yardımı ile yüzeyde tutulmaktadır. İşlem tersinirdir ve işlem şartlarının değiştirilmesi ile adsorbe edilen malzeme kolaylıkla yüzeyden uzaklaştırılabilir. Fiziksel Adsorpsiyon ekzotermik bir olaydır. Adsorbe edilen molekül başına yaklaşık 5-10 kilokalori gibi düşük bir adsorpsiyon ısı ile karakterize edilir. Fiziksel adsorpsiyon işleminin tersine, yüzeyde derişimin azalmasını gösteren “negatif adsorpsiyon” ile de sıkça karşılaşmaktadır. Bu işlem “desorbsiyon” olarak isimlendirilmektedir. Genellikle yüzey serbest enerjisinde artışa neden olan bileşenler veya işlem şartları (adsorbe edilen, T, P, derişim) negatif adsorpsiyona yol açar. Her iki türlü yüzey olayları (yüzey derişimi artışı ve azalması) “sorbsiyon” terimi ile ifade edilmektedir (Sarıkaya 2017 ve Silbey et al. 2005).

## **Kimyasal Adsorpsiyon**

Adsorblanan taneciklerin, adsorblanan yüzeyine rastlayan atomlar tarafından kimyasal bağ ile tutunmasıyla oluşan adsorpsiyon şeklidir. Kimyasal bağın dayanıklılığı farklılıklar göstermektedir. Bununla beraber oluşan bağlar fiziksel adsorpsiyondaki bağlardan kuvvetlidir. Kimyasal adsorpsiyon genellikle katı-katalizörlü reaksiyon sistemlerinde karşılaşılır. Adsorpsiyon enerjisi adsorbe edilenin molü başına 20-100 kilo kalori arasındadır. Bu değer de -olayın ekzotermik ve endotermik olmasına bağlı olarak- kimyasal reaksiyonlardaki reaksiyon ısısı ile yaklaşık aynı değerdedir. Kimyasal adsorpsiyon “aktif adsorpsiyon” olarak da tanımlanır ve genellikle heterojen katalizörlerle ile etkileşim ile meydana gelir.

Kimyasal adsorpsiyon yalnızca bir tabakalı olabildiği halde, fiziksel adsorpsiyon bir tabakalı veya çok tabakalı olabilir. Fiziksel adsorpsiyon genellikle tersinir bir olaydır. İşlem şartlarının (derişim, P, T vb.) değiştirilmesi ile desorbsiyon meydana gelirken kimyasal adsorpsiyon, kuvvetli bağ oluşumu söz konusu olduğu için tersinmez bir işlemdir. Fiziksel adsorpsiyon genellikle sıcaklık yükseltilmesi ile azaldığı halde, kimyasal adsorpsiyon, adsorpsiyonun ekzotermik veya endotermik olmasına ve aktivasyon enerjisine bağlı olarak sıcaklık yükseltilmesi ile artış veya azalma gösterebilir (Sarıkaya 2017, Silbey et al. 2005).

## **Biyolojik Adsorpsiyon**

Biyolojik adsorpsiyon son yıllarda kullanılmaya başlanan bir terimdir. Yapılan araştırmalara göre, kirleticiler sulu ortamda mikroorganizmalar tarafından doğrudan adsorplanabilmekte ve bu özellik mikroorganizmaların yaşam fonksiyonlarından bağımsız gerçekleşmektedir. Mikroorganizmalarla adsorpsiyon kinetiği iki basamaktan oluşur. Birinci basamak fiziksel adsorpsiyon veya iyon değişimidir. Bu basamağa genellikle pasif giderim denir. Bu basamak çok hızlıdır ve mikroorganizma ile kirletici etkileştikten kısa bir süre sonra denge oluşur. Hızlı giderme genellikle yüzey adsorpsiyonu sonucudur. İkinci basamak, kirleticilerin hücre zarından içeri taşınımını da içeren, metabolik aktiviteye bağlı, daha yavaş hücre içi giderim basamağıdır. Bu basamağa aktif giderim denilir (Silbey at al. 2005).

### **2.3.2. Adsorpsiyonu etkileyen faktörler**

#### **Adsorbent yüzey alanı**

Adsorbent yüzey alanı adsorpsiyona etki eden en önemli parametrelerdendir. Adsorbent maddenin yüzey alanının artması sonucu, adsorbat madde ile adsorbent temas yüzeyinde bir artış söz konusu olmaktadır. Böylelikle adsorbatın substratla karşılaşma olasılığı artmaktadır. Bu da adsorbent yüzey alanıyla adsorpsiyon arasında bir doğru orantı oluşmasına neden olur. Aynı şekilde adsorbent gözenekli yapısı, adsorbat molekül veya atomlarının tutunmasını kolaylaştıracağından, adsorbent gözenekliliği arttıkça adsorpsiyon miktarı artar. Gözeneklilik, yüzey alanı arttırıcı bir etkiye sahip olup yüksek gözenek hacmine sahip malzemeler daha çok tercih edilmektedir. Ancak, gözenek çapı adsorplanan maddenin moleküllerinin çapı ile uyumlu olmalıdır. Adsorpsiyon hızı gözenek difüzyonu tarafından belirleniyor ise, gözenekliliğin fazlaca artması direnci arttıracığından adsorpsiyonu sınırlayabilmektedir (URL-6).

#### **Adsorbatın çözünürlüğü**

Adsorbatın çözücüdeki çözünürlüğünün fazla olması, adsorbat madde ile içinde çözündüğü çözücünün bağlarının kuvvetli olması demektir. Bu durumda, adsorbat çözünürlüğünün fazla olması, adsorbent adsorbat maddeyi çekmesini diğer bir deyişle tutmasını zorlaştırır. Bu nedenle adsorpsiyon miktarı azalır (URL-6).

#### **Adsorpsiyon ortamının pH değeri**

Çözücü ortamdaki hidrojen ve hidroksit iyonlarının fazla olması adsorpsiyona olumsuz etki etmektedir. Bunun nedeni hidrojen ve hidroksit iyonlarının substrat yüzeye bağlanma yönelimleridir. Nötral çözücü ortamlarında genellikle adsorpsiyonun daha iyi olmasının nedeni de budur (Gürellier, 2004).

#### **Adsorpsiyon sıcaklığı**

Adsorpsiyon prosesinin ekzotermik olması durumunda sıcaklık artışı ile beraber adsorpsiyon azalmaktadır. Prosesin endotermik olması durumunda sıcaklık artışı ile beraber adsorpsiyon da artmaktadır (Bailey et al. 1970).

## **Karıştırma hızı**

Birçok deneysel çalışmada karıştırma hızı arttıkça adsorpsiyonun artacağı gözlemlenmiştir.

## **Adsorbentın partikül boyutu**

Pek çok çalışma, tanecik boyutundaki azalma ile adsorpsiyon kapasitesinin arttığını göstermektedir (URL-6).

## **Adsorbat molekülünün büyüklüğü**

Adsorplanan madde molekülleri, adsorbantın gözenek yapısına göre büyük ise, bazı gözenekler tıkanabilir ve bu gözeneklerdeki aktif merkezler işlev göremez. Bunun sonucunda adsorpsiyon kapasitesi düşer (Demirbaş vd. 2004).

### **2.3.3. Adsorpsiyon İzotermi**

Adsorpsiyon izotermi, sabit bir sıcaklıkta, adsorbatın çözeltide kalan konsantrasyonu (kütle/hacim) ile adsorbatın adsorbent üzerinde adsorplanmış miktarı (adsorbat kütlesi/adsorbent kütlesi) arasındaki dengeyi açıklayan, nicel ilişki gösterimleridir. Örnek olarak, Langmuir, Freundlich, Temkin, Dubinin Radushkevich ve Brunauer-Emmett-Teller (BET) izoterm modelleri verilebilir. Langmuir ve Freundlich izoterm modelleri, adsorpsiyon çalışmalarında sık kullanılan yaygın izotermelerdir (Sawyer et al. 1978).

### **Langmuir İzoterm Modeli**

1916 yılında Irving Langmuir tarafından geliştirilen izoterm modeli, adsorbent yüzeyinin aktif adsorpsiyon merkezlerinden oluştuğunu kabul eder. Adsorbent sıvıyla temas ettiğinde içindeki molekül ve atomlar bu aktif adsorpsiyon merkezlerince adsorplanırlar. Bu merkezlerin her biri tek bir molekül adsorplar. Adsorpsiyon merkezlerinin bağlanma enerjisi aynıdır. Adsorpsiyon tek tabakada oluşur ve dinamik bir adsorpsiyon dengesi söz konusudur (Langmuir 1916). Langmuir adsorpsiyon izotermi genellikle bir sıvı çözeltiden çözünen maddenin adsorpsiyonu için kullanılmaktadır. Langmuir adsorpsiyon izotermi matematiksel ifadesi aşağıdaki gibi verilir:

$$q_e = \frac{Q_0 b C_e}{1 + b C_e} \quad (2.1)$$

$q_e$ ; dengede birim adsorbent ağırlığı üzerine adsorplanan madde miktarı (mg/g),  $C_e$ ; dengedeki çözeltinin derişimi (mg/L),  $Q_0$ ; yüzeyde tam bir tabaka oluşturmak için adsorbentin birim ağırlığında adsorplanan miktar yani maksimum adsorpsiyon kapasitesi (mg/g),  $b$ ; adsorpsiyon enerjisi ile ilgili Langmuir denge sabitidir (Langmuir 1916).

Langmuir denklemi doğrusal şekle dönüştürülebilir:

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{Q_0} + \frac{1}{Q_0 b} \frac{1}{C_e} \quad (2.2)$$

$1/C_e$ 'ye karşı  $1/q_e$  grafiğinin çizilmesi ile elde edilen doğrunun kesim noktasından  $Q_0$  ve eğiminden  $b$  değerleri bulunabilir.

### Freundlich İzoterm Modeli

1926'da Freundlich bir sulu çözeltideki tek bir adsorplananın adsorpsiyonunu bir tersinir denge olarak tanımlamıştır. Freundlich'e göre çözünen derişimi arttıkça adsorplanan miktarı artmaktadır. Adsorpsiyon enerji açısından heterojen olan yüzey bölgeleri üzerinde gerçekleşmektedir. Adsorplanan moleküller arasında etkileşimler de mevcuttur. Çok tabakalı adsorpsiyonlara da uygulanabilen Freundlich izoterm model eşitliği aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$q_e = K_f C_e^{1/n} \quad (2.3)$$

$q_e$ ; dengedeki adsorplanan maddenin miktarı (mg/g),  $C_e$ ; dengedeki çözeltinin derişimi (mg/L),  $K_f$ ; adsorpsiyon kapasitesi ile ilgili Freundlich sabiti,  $1/n$ ; adsorpsiyon yoğunluğunu ifade eden bir parametredir (Freundlich 1926).

Freundlich izoterm modeline ait eşitliğin doğrusal şekli aşağıdaki gibidir:

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

$\ln C_e$ 'ye karşı  $\ln q_e$  grafiğinin çizilmesi ile elde edilen doğrunun eğiminden  $1/n$  ve kesim noktasından  $K_f$  değerleri bulunabilir.  $1/n$  adsorpsiyon yoğunluğu ile ilgilidir ve 0-1 aralığında değerler alır. Yüzey ne kadar heterojense,  $1/n$  değeri o kadar sifıra yakın olur. Bu izotermin doğruluğu, heterojen adsorpsiyon sistemlerinde Langmuir izotermine göre daha iyidir (Freundlich 1926).

## Brunauer-Emmett-Teller (BET) Adsorpsiyon İzotermi

Brunauer, Emmett ve Teller (BET) tarafından geliştirilen izoterm, çok tabakalı adsorpsiyonun açıklanabilmesi için, Langmuir izotermine göre daha kullanışlıdır. Bu model, adsorbentın yüzeyde birden fazla tabaka oluşturduğunu varsaymaktadır ve bu açıdan Langmuir izotermının her bir tabakaya uygulanmış şeklidir (Sawyer et al. 1978).

Bir adsorpsiyonunun hangi izotermle daha iyi açıklandığının bulunması için deneysel olarak elde edilen veriler tüm izoterm denklemlerine uygulanıp grafiğe dökülür. Bir veya daha fazla izotermde, deneysel verilerle uygunluk gösterebilir. BET denklemi aşağıda gösterilmiştir:

$$q_e = \frac{Q_0 B C_e}{(C_s - C_e)(1 + (B - 1)(C_e / C_s))} \quad (2.5)$$

$C_e$ ; adsorpsiyon sonrası çözeltide kalan maddenin derişimini (mg/L),  $C_s$ ; çözeltideki adsorplananın doygunluk derişimini (mg/L),  $B$ ; çözelti ve adsorbent yüzeyi arasındaki enerji etkileşimini ifade eden bir sabiti,  $Q_0$ ; yüzeyde tam bir tabaka oluşturmak için, adsorbentın birim ağırlığında adsorplanan miktarı (mg/g) göstermektedir.

### 2.3.4. Adsorpsiyon kinetiği

Adsorpsiyon işleminin dört basamakta gerçekleştiği kabul edilmektedir. İlk basamak çok hızlıdır. Bu basamakta sıvı veya gaz fazdaki adsorbat molekülleri, adsorbentın dış tabakasına yani yüzeyine yönelirler. İkinci basamakta adsorbat molekülleri, adsorbentın gözeneklerine doğru difüzyonla başlarlar. Üçüncü basamakta adsorbat molekülleri, adsorbent gözenekleri arasındaki boşuklardan adsorpsiyonun gerçekleştiği yüzeye doğru difüzyonla başlarlar. Son basamakta, adsorbat molekülleri gözeneklerin yüzeyinde adsorplanırlar ve adsorpsiyon tamamlanır. Adsorpsiyon hızını genellikle ikinci veya üçüncü basamaklar belirlemektedir (Gürellier, 2004).

Adsorpsiyon kinetiği modellemeleri için genellikle yalancı birinci dereceden veya yalancı ikinci dereceden hız eşitlikleri denklemlerde kullanılmaktadır. Bu modellemeler, adsorpsiyon hızını, adsorpsiyonun hangi modele ve hız karakterine uyduğunu belirlemekte kullanılmaktadır (Demirbaş vd. 2005).

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - \frac{k_1 t}{2.303} \quad (2.6)$$



$q_e$ ; denge halindeki adsorpsiyon kapasitesi (mg/g),  $q_t$ ; t anındaki adsorpsiyon kapasitesi (mg/g),  $k_1$ ; birinci derece hız sabiti ( $dk^{-1}$ ), t; zaman (dk)

$$\frac{1}{q_e - q_t} = \frac{1}{q_e} + k_2 t \quad (2.7)$$

$q_e$ ; denge halindeki adsorpsiyon kapasitesi (mg/g),  $q_t$ ; t anındaki adsorpsiyon kapasitesi (mg/g),  $k_2$ ; ikinci derece hız sabiti ( $g/(mg.dk)$ ), t; zaman (dk)

### 2.3.5. Adsorpsiyon Termodinamiği

Termodinamik bir maddenin fiziksel veya kimyasal dönüşümü sırasında enerji değişimini incelemektedir. Sistemin iç enerji, entalpi, entropi ve serbest enerji değerlerini belirler ve bunların reaksiyon şartlarına bağlılığını inceler.

Maddelerin yapısında depoladığı her türlü enerjinin toplamına “entalpi” denir ve  $\Delta H^\circ$  ile simgelenir. Sistemdeki fiziksel düzensizliğin ölçüsü “Entropi” ifade eder. Yani sistemde işe dönüştürülemeyen enerjinin miktarıdır ve  $\Delta S^\circ$  ile simgelenir. Serbest enerji ise sistemin denge halinin ve istemliliğin derecesini göstermek için kullanılan termodinamik bir hal fonksiyonudur.

Adsorpsiyon olayındanın gerçekleştiği sitemde, sabit basınç altında gerçekleştirilen reaksiyonun entalpi ( $\Delta H^\circ$ ), adsorpladığı ısıya eşittir. Standart entalpi değişimi, reaksiyonda girenlerin ve ürünlerinin tamamının standart hallerinde buldukları zaman adsorplanan ısıya eşittir. Bu durumda reaksiyon oluşurken reaksiyona girenler ısı adsopluyorsa,  $\Delta H^\circ$  pozitifdir.  $\Delta H^\circ$  pozitif ise reaksiyon endotermiktir.  $\Delta H^\circ$  negatif ise reaksiyon ekzotermiktir. Bir reaksiyonun itici gücü, Gibbs serbest enerjisi  $\Delta G^\circ$  ile ifade edilir. Negatif  $\Delta G^\circ$  değerlerinde prosesin mümkün olduğunu ve reaksiyonun doğal olarak kendiliğinden gerçekleştiğini ifade etmektedir, yani tepkime ekzotermiktir. Eğer bunun tersi bir durum söz konusu ise reaksiyon endotermiktir (Smith, 1987).

$$\Delta H = \Delta G + T\Delta S \quad (2.8)$$

$\Delta G$ ; Gibbs serbest enerjisi (kJ/mol),  $\Delta H$ ; entalpi değişimi (kJ/mol),  $\Delta S$ ; entropi değişimi (kJ/mol K), T; Mutlak sıcaklık (Kelvin)

Belirli bir sıcaklıkta yapılan adsorpsiyon işleminin Gibbs serbest enerji değeri denge sabiti olan  $K_c$  ile Eşitlik 2.9 yardımı ile hesaplanır. Daha sonra  $\ln K_c$  ile  $1/T$ 'ye karşılık çizilen doğrunun eğimi ve kesim noktasından  $\Delta H$  ve  $\Delta S$  hesaplanabilir (Smith, 1987).

$$\Delta G = -RT \ln K_c \quad (2.9)$$

## BÖLÜM 3

### LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Nano parçacıklar proteinlerle etkileşime girer ve vücuda girdiğinde nano partikül-protein korona oluşturur. Bir başka deyişle kan dolaşımında, proteinler, protein korona oluşturmak üzere kovalent olmayan etkileşimler yoluyla KNT'ye bağlanır ve 'rotein korona' olarak bilinen bu protein kaplama katmanı oluşturur. Bu da nano partiküllerin biyolojik kimliğini büyük ölçüde tanımlamaktadır.

Fizikokimyasal etkileşim, örn., Etkileşim kuvvetleri, bağlanma alanları ve afinitesi ve ardından gelen etkiler (örn., Etkileşen proteinlerin konformasyonu ve aktivitesi, NP'lerin kararlılığı ve işlevselliği) etki mekanizmasını ve nano partiküllerin daha iyi uygulanabilirliğini anlamak için çok önemlidir. Kullanılan nanomalzemelerin ve proteinlerin şekil ve yüzey gibi özellikleri değişiklik göstermektedir. Protein koronalarının, dolaşım süresinde değişikliklere neden olan nanopartikül hücresel alımını, biyo-dağılımı etkilediği gösterilmiştir (De Paoli et al. 2014).

Fukuzaki et al. (1996) BSA'nın silikon dioksit (silika), titanyum dioksit (titanya), zirkonyum dioksit (zirkonya) ve alüminyum oksit (alümina) üzerinde adsorpsiyonunda pH etkilerini incelemiştir. Bu metal oksitler için elde edilen adsorpsiyon izotermelerinin pH 3.5 ile 9 aralığında uyumlu sonuçlar gösterdiğini ve pozitif yüklü metal oksitler üzerindeki izotermelerin afinite özellik gösterdiğini tespit etmişlerdir. pH ile değişen BSA adsorpsiyonunun doygun değerleri, tüm metal oksitler için, BSA'nın izoelektrik noktası civarında maksimum değere sahip olduğunu göstermiştir. Maksimum adsorpsiyonun metal oksitlerin yüzey yük yoğunluğuna bağlı olduğunu göstermişlerdir. Butler et al. (1999) Poly(lactide-co-glycolide) ince tabakaları üzerinde BSA adsorpsiyonunu incelemişler ve protein adsorpsiyonunun biyobozunur mikroküreciklerden ilaç salınımının değişkenliği ile ilgili olduğunu söylemişlerdir. Rezwan et al. (2005) tarafından yapılan çalışmada pH 7.5'te, TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve ZrO<sub>2</sub> partiküllerinin negatif yüklü BSA ve pozitif yüklü lizozimin üzerindeki etkileşimi incelenmiştir. En yüksek BSA adsorplama kapasitesinin elektrostatik itme şartları altında diğerlerine göre daha az hidrofilik olan ZrO<sub>2</sub>'a ait olduğunu tespit etmişlerdir.

Ayrıca adsorplanan protein miktarı arttıkça yüzeydeki zeta potansiyel değerlerinin değiştiğini belirtmişlerdir.

Susumu and Morinobu (2005) tarafından yapılan çalışmada farklı nanofiber tiplerine sahip olan karbon nanofiber-bakır kompozit filmleri elektrokaplama işlemi ile imal edilmiş ve bu malzemelerin yüzey morfolojileri incelenmiştir. Çalışmada, ısıyla muamele edilmiş buharla üretilmiş karbon nanofiberler, ısıyla muamele edilmiş buharla üretilmiş karbon nanofiberler, daha küçük çaplı buharla üretilmiş karbon nanofiberler ve bir fincan istifli nano yapı ile buharla üretilmiş karbon nanofiberler olmak üzere dört tip karbon nanofiber kullanmışlardır. Karbon nanofiberleri poliakrilik asit varlığında sülfat bakır kaplama banyolarında homojen olarak dağıtılarak yapmışlardır. Elektrodepozisyon, bu bakır kaplama banyolarını kullanarak galvanostatik koşullar altında gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda karbon nanofiber-bakır kompozit filmlerin yüzey morfolojisinin, kullanılan karbon nanofiber türüne göre etkilendiğini tespit etmişlerdir.

Gülseren vd. (2007) yüksek yoğunluklu ultrasonikasyonun sığır serum albümin (BSA) çözeltisinin fonksiyonel ve yapısal özellikleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. Yapılan analizlerde BSA'nın fonksiyonel özelliklerinin ultrasonikle değiştiği, BSA'nın yüzey aktivitesinin arttığını, BSA'nın küresel yapısında minimum değişiklikler olduğunu ancak yüzey yükünün özellikle temel pH değerlerinde (örneğin, pH > 9) arttığını tespit etmişlerdir. Dinamik ışık saçılma ölçümleri, partikül boyutunun 90 dakikalık sonikasyondan sonra arttığını göstermiştir. Yüzey hidrofobikliği artmış ve dairesel dikroizm spektroskopisi ve FTIR analizi BSA'nın ikincil yapısındaki değişiklikleri göstermiştir. BSA'da ultrasonikasyonun mekanik, termal ve kimyasal etkilerinin; termal, mekanik veya solvent ile indüklenmiş bir durumdan farklı olarak makro moleküllerin fonksiyonel özelliklerinde değiştireceğini düşünülmektedir.

Kopaç vd. (2008) kesikli bir sistemde  $TiO_2$  üzerine BSA adsorpsiyonunu farklı pH ve sıcaklıkta Lowry yöntemi ile çalışmıştır. Adsorpsiyon hız ve denge deneyleri farklı adsorbent miktarları kullanılarak pH 4, 5 ve 10 ortamında 20-40 °C sıcaklık aralığında gerçekleştirilmiştir. Deneysel adsorpsiyon denge verilerinin hem Langmuir hem de Freundlich adsorpsiyon izoterm modelleri ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. BSA/ $TiO_2$  adsorpsiyon sisteminin sırasıyla 20, 30 ve 40 °C için maksimum adsorpsiyon kapasiteleri ( $Q_0$ ) pH 4 için 35.8, 40.0 ve 42.6 mg/g ve pH 5 için 24.5, 29.1 ve 33.4 mg/g olarak saptanmıştır. Adsorpsiyon hız verileri birinci merteye ve ikinci merteye hız kinetiği karşılaştırılmıştır.  $TiO_2$  üzerine BSA adsorpsiyonunun farklı pH ve sıcaklıklarda birinci derece kinetik modeli ile en iyi uyumu sağladığı bulunmuştur.

Lin et al. (2009) tarafından yapılan çalışmada Pt/karbon bileşik nanofiberleri doğrudan Pt nanopartiküllerin elektrospun karbon nanofiberler üzerine elektroforezlenmesiyle hazırlanmış, Pt nano partiküllerinin morfolojisi ve boyutu elektrokimyasal olarak incelenmiştir. Ortaya çıkan Pt/karbon karma nanofiberleri 0.20M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve 5.0 mM K<sub>4</sub> [Fe(CN)<sub>6</sub>]+0.10M KCl çözeltilerinde siklik voltammogramlar ile karakterize edilmiştir. Pt/karbon kompozit nanofiberlerin elektrokatalitik etkinlikleri metanolün oksidasyonu ile ölçülmüştür. Sonuçlar olarak Pt/karbon kompozit nanofiberlerin, yüksek aktif yüzey alanı ve hızlı elektron aktarım hızı özelliklerine sahip olduğunu göstermiştir. Buda, metanolün elektrokatalitik oksidasyonuna karşı iyi bir performansla neden olmuştur. Aynı zamanda 0.170 mg cm<sup>-2</sup> lik bir Pt yüklemesine sahip Pt/karbon nanofiber elektrodun en yüksek aktiviteye sahip olduğunu belirtmişlerdir.

Kopaç vd. (2010) tarafından ısıl işleme yüzey alanı değiştirilen TiO<sub>2</sub> üzerine BSA adsorpsiyonunun denge ve kinetiği spektroskopik yöntemle çalışılmıştır. TiO<sub>2</sub> adsorpsiyon deneyleri öncesi 100 ve 200 °C de 24 saat süreyle ısıl işleme tabi tutulmuştur. Isıl işlem sonrası TiO<sub>2</sub>'nin yüzey alanı 100°C için 48.9 m<sup>2</sup>/g ve 200 °C için 53 m<sup>2</sup>/g olarak bulunmuştur. Adsorpsiyon hız ve denge deneyleri pH 4 ve 40 °C'de farklı adsorbent miktarları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen adsorpsiyon denge verileri kullanılarak Langmuir ve Freundlich izoterm modellerinin parametreleri belirlenmiştir. Maksimum adsorpsiyon kapasitesi, yüzey alanı 48.9 m<sup>2</sup>/g olan TiO<sub>2</sub> için 40.6 mg/g ve 53 m<sup>2</sup>/g için 44.4 mg/g olarak bulunmuştur. Adsorpsiyon hız verileri birinci merteye ve ikinci merteye hız kinetiği ile karşılaştırıldığında yüzey alanı artırılan TiO<sub>2</sub> üzerine BSA adsorpsiyonunun birinci derece hız kinetiği ile daha uyumlu olduğu bulunmuştur. Isıl işlem etkisiyle yüzey alanı artırılan TiO<sub>2</sub> numuneleri üzerinde BSA'nın 40°C ve pH 4'de adsorpsiyon hızlarının arttığı saptanmıştır.

Li et al. (2012) tarafından hücre içinde gelişen karbon nano fiberlerle (KNF'ler) karbon/karbon (C/C) kompozitler üretilmiştir. Sonuçlar, KNF'lerin C/C kompozitlerinin mekanik özelliklerinin geliştirilmesinde önemli bir yararı olduğunu göstermiştir. KNF'lerin kompozitler için ikinci bir pekiştirici olarak görev yapabilecekleri ve daha yüksek mekanik özelliklere yol açan daha fazla enerji absorbladığı sonucuna varılmıştır.

De Paoli et al. (2014) tarafından karboksilatlı-çok duvarlı karbon nanotüplerin (KNTCOOH) genel insan proteinleri ile olan etkileşimlerinin karakterize edilmiş ve farklı protein koronalarının KNTCOOH ile insan kan trombositleri (PLT) arasındaki etkileşimi araştırılmıştır. Moleküler modelleme ve farklı fotofiziksel teknikler KNTCOOH üzerinde albümin (HSA), fibrinojen (FBG), g-globulinler (IgG) ve histon H1'in (H1) bağlanmasını

karakterize etmek için kullanılmıştır. Korona oluşturan proteinin kimliğinin KNTCOOH'un kan PLT'si ile etkileşimini büyük ölçüde etkilediği bulunmuştur. Çıplak KNTCOOH ile indüklenen PLT topaklandığı ve platelet membran mikropartiküllerinin (PMP) salındığı tespit edilmiştir. HSA korona, KNTCOOH'nin PLT biriktirme aktivitesini zayıflatırken; FBG, KNTCOOH nanomateryalinin topaklanmasına neden olmuştur ve böylece KNTCOOH'ın PLT üzerindeki etkisini azaltmıştır. Aksine, IgG korona, PLT parçalanmasına yol açmıştır. H1 korona, güçlü bir PLT topaklanmasına yol açmıştır ve böylece PMP salınımını güçlendirmiştir.

Zhang et al. (2015) dairesel dikroizm kombinasyonu kullanarak fibrinojen ile  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano parkiküllerinin UV-vis, floresans spektrofotometresi, işlemsel metotlarla yükleme mekanizmasının analizini yapmıştır. Çoklu spektrofotometrik veriler fibrinojen ile  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano parkiküller arasında güçlü hidrojen bağ kuvvetlerinin oluştuğunu göstermiştir. Bu çalışmada fibrinojen ile  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano parkiküllerin yükleme sabiti 298, 304, 310 K de sırasıyla  $2.24 \times 10^7$ ,  $1.15 \times 10^7$ ,  $0.72 \times 10^7$  olarak bulunmuştur. Ayrıca dairesel dikroizm, UV-vis, floresans spektrofotometresi ve 3 boyutlu floresans çalışmalarının sonuçları ikincil ve üçüncül yapıli protein içinde karışım oluştuğunu belirterek fibrinojen ile  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano parkiküller arasında güçlü bir yükleme olduğunu göstermiştir. Üstelik moleküler modelleme sonuçları  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano parkikül modellerinin fibrinojen üzerinde tercih edilebilir bir yükleme alanı meydana getirdiğini belirtmiştir.

Wang et al. (2015) tarafından yapılan çalışmada üç boyutlu bir hiyerarşik yapıya sahip serbest duran, esnek, kağıt benzeri Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/grafen/karbon nanotüpler (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/GKNT) üçlü hibrit film basit bir filtreleme ve daha sonra bir indirgeme işlemi ile sentezlenmiştir. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> parçacıkları iletken GKNT'lere sıkıca bağlanmıştır. Ağların, hızlı ve etkili lityum depolaması için ideal bir sunucu olarak hizmet ettiği; katmanlı GKNT ağların, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> genişmesi/ekstraksiyonunun neden olduğu büyük streslere dayandığı aynı zamanda sürekli şarj/deşarj üzerine Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yığılmasını önlediği gözlemlenmiştir. Sentezlenmiş Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/GKNT hibrit film doğrudan hem yarı ve tam lityum iyon hücreleri için bir anot olarak kullanılmıştır. Elektrokimyasal ölçüm sonuçları, yüksek bir geri dönüşüm kapasitesine ve yarı hücre sisteminde test edildiğinde hibrit üzerinde iyi bir hız kapasitesinin gerçekleştirilebileceğine işaret etmiştir. Dahası, hazırlanan anot aynı zamanda LiCoO<sub>2</sub> katot içeren tam hücre sisteminde olumlu etkiler sergilemiştir. Hibrit filmin bu üstün elektrokimyasal performanslarının, tek tek bileşenler arasındaki eşsiz mikro yapıya, yüzey özelliklerine ve güçlü sinerjik etkilere bağlı olabileceği düşünülmektedir.

Ramos Guivar et al. (2016) tarafından yapılan çalışmada nano hidroksiapatit (Hap)- $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$  ile fonksiyonlandırılan boş yapılı  $\text{Y-Fe}_2\text{O}_3$  nano partikülleri ön çökeltme gibi ucuz bir kimyasal yöntemle çalışılmıştır. Maghemit içindeki boş kısımların varlığı X-Ray difraksiyon ile oluşturulan süre yapıları hatlarla gösterilerek kanıtlanmıştır.  $\text{Y-Fe}_2\text{O}_3$  nano partikülleri üzerindeki sitrik asitin ( $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ ) karboksili grubunun adsorpsiyonu FTIR, XPS ve Mössbauer spektroskopisi ile incelenmiştir. XPS yüzey analizinden, bu nano malzemelerin yüzeyinde su moleküllerinin güçlü bir şekilde adsorplanmasıyla gelişen yüzeyler arası reaksiyonda oksijene iki bağ bağlandığı görülmüştür;  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7/\text{Y-Fe}_2\text{O}_3$  ve  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7/\text{Hap}$  arasındaki bağlardır. XRD çiftlerinin geliştirilmesiyle saf tetragonal maghemit kristallerinin nano HAp'la fonksiyonlandırılmadan önceki ve sonraki formları gösterilmiştir. Saf ve fonksiyonlandırılmış maghemit nano partiküllerin aşırı hassas parametrelerinin sıcaklık bağımlılığı ve Mössbauer spektroskopisi ile incelenmiştir.  $\text{Y-Fe}_2\text{O}_3$  nano partiküllerinin magnetometri ölçümlerinde 12 emu/g doyma magnetizasyonunda ve 340 K blok sıcaklığında olduğu saptanmıştır.

Kılınç (2016)  $\text{Y-Fe}_2\text{O}_3$  nano partikülleri ve karboksili çok duvarlı karbon nano tüplerden (MWKNT) oluşan hibrit nano yapıları kompoziti sentezlemiş ve FTIR, VSM, SEM, HR-TEM ve ICP-OES ile karakterize etmiştir. Mikroskop görüntüleri karboksili MWKNT üzerinde manyetik nano partiküllerin küresel yapıda düzenlendiğini ve partikül boyutunun 10 nm' den küçük olduğu bulunmuştur. VSM sonuçları manyetik nano partiküllerin oda sıcaklığında süper paramanyetik özellik oluşturduğunu göstermiş, manyetik doygunluk değeri 35.2 emu/g olarak belirlenmiştir. Bu adsorpsiyon için kullanılmış ve harmanın salınım, güçlü titreme-nerotoksin oluşumu kontrol edilmiştir. Adsorpsiyon pH 4- 8 aralığında yapılmış ve en yüksek adsorpsiyon pH 7'de gözlemlenmiştir. Maksimum adsorpsiyon kapasitesi Langmuir izoterminden 151.5 mg/g olarak hesaplanmıştır. Harmanın konsantrasyonu floresans yöntemi ve HPLC ile belirlenmiştir. Sentezlenen manyetik nano partiküllerin anti bakteriyel aktivitesi gram (+) ve gram (-) bakterilerine karşı incelenmiş, ancak, hiçbir aktivite oluşmadığı tespit edilmiştir.

Liu et al. (2016) tarafından yapılan çalışmada çekirdek kabuk  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{C}$  nanorodları (FC1) ve nanotüpler (FC2), daha ileri tavlama ile bir hidrotermal yöntem vasıtasıyla sentezlenmiştir. Yapı, morfoloji ve lityum depolama performansı; X-ışını kırınımı, taramalı elektron mikroskobu, yüksek çözünürlüklü transmisyon elektron mikroskopisi, termogravimetri, galvanostatik şarj/deşarj ve elektrokimyasal impedans spektroskopisi ile araştırılmıştır. Araştırmacılar, elektrokimyasal ölçümlerin hem boru şekli morfolojisinin hem de karbon kabuğunun, elektrotların döngü ömrünü ve hız özelliklerini etkilemesinde önemli bir rol

oynadığını göstermişlerdir. Bu bilgilerin, lityum iyon piller için diğer anod materyallerini tasarlarken yarar sağlayacağı belirtilmiştir.

Zhang et al. (2016) yoğun oksidatif veya aşındırıcı ortamlar olmaksızın, elektrostatik self-assembly yöntemi ile organik çözücü içinde nano-yapılı Al/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/MWKNT enerjik malzemelerini hazırlamışlardır. Negatif yüklü MWKNT'i, iyi dağıtılmış pozitif yüklü Al (yakıt) ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (oksit) nano partiküllerinin kendi kendine montajını yönlendirmek için tutkal benzeri bir ajan olarak kullanmışlardır. Yüzey aktif madde kimyası veya diğer kimyasal ve biyolojik kısımları olmayan bu spontan montaj yönteminin nano partiküllerin topaklanmasını büyük oranda azalttığı ve ayrıca, Al (yakıt) ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (oksit) nanopartiküller arasındaki zayıf ara yüz temasını önemli derecede geliştirdiği gözlenmiştir. Birleştirilmiş Al/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/MWKNT nanoyapılı enerjik malzemelerin, 2400 J/g'lık ısı salınımı, 0.42 MPa'lık tepe basıncı ve 105.71 MPas<sup>-1</sup> lik basınçlandırma oranı ile mükemmel performans gösterdiği; sonikasyon ile hazırlanan kontrol grubu ısı salınımının 1326 J/g, son basınç 0.19 MPa ve basınçlandırma hızı 33.33 MPa/s olan Al/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoyapılı enerjik materyallerden üstün olduğu belirtilmiştir. Bu nedenle, çalışmada kullanılmış olan kolay yaklaşımın, yüksek performanslı nanoyapılı enerjik malzemelerin üretiminde umut verici bir teknik olduğu belirtilmiştir.

Xu et al. (2016) tarafından yapılan çalışmada taramalı azot atmosfer basıncı plazma jetleri (APPJs) ile sinterlenmiş nanoporoz Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> %5 KNT kompozitlerinden imal edilen bir süper kondansatörü geliştirilmiştir. Ekran baskı tekniği ilk önce karbon bez üzerine Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanopartiküller, KNT'ler ve karbonlu bağlayıcılar içeren bir macunu basmak için kullanılmıştır. Bundan sonra, baskılı macunları sinterlemek için bir azot APPJ kullanılmıştır. Ağırlıkça %5 KNT'lerin eklenmesi özgül kapasiteyi 16'dan 54 F/g'a yükselmiş, 5 cm/s'lik bir APPJ tarama hızı ile, superkapasitörün, 2 mV/sn'lik bir potansiyel tarama hızı ile sıklık voltametri ölçümünü kullanarak 54 F/g'lık spesifik bir kapasitans sergilediği bulunmuştur.

Zhou (2017) kolay bir hidrotermal yöntemle karbon lifleri üzerinde molibden dioksit (MoO<sub>2</sub>) nano partiküller sentezi yapmıştır. XRD sonuçları, elde edilen nanopartiküllerin, on nanometre aralığında çapa sahip monoklinik bir faza sahip olduğunu ve lityum iyon piller (LIB'ler) için doğrudan işlevsel hale getirilebileceğini ortaya koymuştur. Tavlanmış MoO<sub>2</sub> nano partikülleri, yüksek spesifik kapasite ve mükemmel bisiklet kararlılığı sergilemiştir. 1117 mAhg<sup>-1</sup> yüksek bir deşarj kapasitesi 50 devirden sonra 0.5 C oranında tutulabilmiştir. Mükemmel lityum depolama özellikleri ve büyük ölçekli hazırlamanın kolaylığı göz önüne alındığında,



sentezlenen şekilde MoO<sub>2</sub> nanopartiküllerin, yüksek performanslı LIB' ler için umut verici anot malzemeleri olarak kullanılabilceğini göstermektedir.

Mogolopi Dimpe et al. (2017) tarafından yapılan çalışmada aktif karbon kaplı demir oksit@manganez oksit nano partiküllerin (AC/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/MnO<sub>2</sub>) sol-jel yöntemi ile sentezlenmiştir. Aktif karbon (AC), 900 °C'de karbonizasyondan ve H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kullanılarak kimyasal olarak aktive edildikten sonra hazırlanmıştır. Bileşik, tarama elektron mikroskop/enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (SEM-EDS), transmisyon elektron mikroskopu (TEM), X-ışını toz difraksiyonu (XRD), azot adsorpsiyonu ve FTIR ile karakterize edilmiştir. Fourier Dönüşüm Kızılötesi (FTIR), AC yüzeyinde karboksil ve hidroksil gruplarının varlığını doğrulamıştır. Buna ek olarak, TEM, SEM / EDS ve XRD, AC yüzeyiyle metal oksit nano partiküllerinin birleşmesini doğrulayan çekici özelliklerini ortaya konulmuştur. Bileşik, çevresel su numunelerinde Ge, Hf, Mo, Nb, Sb, Ta, Te, Sn, Ti, W ve Zr'nin ultrason destekli dispersiyonel katı fazlı mikro ekstraksiyon (UA-DSPME) için bir adsorban olarak kullanılmıştır. Optimize edilmiş şartlar altında, saptama ve nicelik sınırlarının sırasıyla 0.0004-0.02 µg L<sup>-1</sup> ve 0.001-0.07 µg L<sup>-1</sup> arasında değiştiği tespit edilmiştir. Göreli standart sapma (% RSD) cinsinden ifade edilen hassasiyet %5.2'den düşük veya ona eşit bulunmuştur. Geliştirilen adsorban gerçek su numunelerinde uygulanmış, geliştirilen yöntemle elde edilen sonuçların, referans yöntemle elde edilenlerle istatistiksel olarak farklı olmadığı saptanmıştır.

Jeong et al. (2019) tarafından yapılan çalışmada, kortizol (kortizol, insanlarda kan basıncını, glikoz seviyelerini ve karbonhidrat metabolizmasını düzenleyen bir hormon olup, anormal salgılanması, psikolojik ve fiziksel sağlıkla yakından bağlantılı çeşitli semptomlara neden olabilmektedir.) tespiti için, N katkılı çok boyutlu karbon nano fiberlerden yüksek performanslı, alan etkili transistör (FET) tabanlı biyosensörler üretilmiştir. Buhar biriktirme polimerizasyonu (VDP) sırasında basınç koşulları morfolojiye uyarlanarak kontrol edilmiş, daha sonra, FET'in iletken kanalları, termal tavlama, asit muamelesi ve antikor ilavesi ile tamamlanmıştır. Kimyasal işlemlerle ilişkili değişiklikler, bununla karakterize edilmiştir. Elde edilen transdüserler, doğru seçicilik, kararlı yeniden kullanılabilirlik ve yüksek hassasiyet ile kortizol moleküllerine karşı hızlı bir tepki göstermiştir. Bu kortizol biyosensörlerinin tepkisi ve uygulanabilirliği bir test matrisi olarak tükürük kullanılarak değerlendirilmiştir.



## BÖLÜM 4

### DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 4.1. KULLANILAN MALZEMELER

##### 4.1.1. Kimyasallar

Bovin serum albümin (BSA, Katalog No. 112018),  $C_{10}H_5NaO_5S$  (Folin, Katalog No. 109001), HCl (Hidroklorik asit, yaklaşık %37 saflıkta), NaOH (Sodyum hidroksit, yaklaşık %97 saflıkta),  $Na_2CO_3$  (Sodyum barbonat, yaklaşık %99.9 saflıkta),  $NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$  (Sodyum Dihidrojen fosfat dihidrat, yaklaşık %98 saflıkta) Merck;  $C_4H_4KNaO_6 \cdot 4H_2O$  (Sodyum-Potasyum tartarat, yaklaşık %99 saflıkta),  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  (Bakır sülfat, yaklaşık %99 saflıkta) Sigma; KOH (Potasyum hidroksit, yaklaşık %86 saflıkta),  $Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$  (Demir(III) nitrat nanohidrat, yaklaşık %98 saflıkta) Sigma-Aldrich; karbon nanofiber (KNF, yaklaşık %98 saflıkta, 100 nm x 20-200 µm, Katalog No. 719811),  $Fe_2O_3$  nano partikül (Demir II, III oksit nano parçacık, %97 saflıkta, 50-100 nm, Katalog No. 637106), FeCl (Demir klorür, %98 saflıkta) Aldrich firmasından tedarik edilmiştir.

##### 4.1.2. Çözeltiler

**BSA Stok Çözeltisi;** derişimi 2 mg/mL olacak şekilde stok Bovin Serum Albümin (Sigma) çözeltisi hazırlanır.

**A Belirteci;** 0.1 N NaOH çözeltisi içine %2 (w/v)  $Na_2CO_3$

**B belirteci;** %1 (w/v) Na- veya K-tartarat çözeltisi içinde %5 (w/v)  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$

**C belirteci;** 50 ml A belirteci ile 1 ml B belirteci karışımından oluşan çözelti (taze olmalı)

**D belirteci;** 1 hacim Folin (fosfomolibdotungstik asit) belirteci ile 2 hacim su (taze olmalı)

**Tuz çözeltisi;** %0.9'luk NaCl çözeltisi.

**pH 10 Tamponu;** 17.5 g  $\text{NH}_4\text{Cl}$  142 ml derişik  $\text{NH}_3$  ile çözüür ve 250 ml'ye saf su ile tamamlanır.

**pH 3 Tamponu;** 0.624 g  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  üzerine 0.068 ml %85'lik  $\text{H}_3\text{PO}_4$  eklenir ve 100 ml'ye saf su ile tamamlanır.

## 4.2. KULLANILAN CİHAZLAR

Çalışmalarda Brookhaven ZetaPlus cihazı malzemelerin arasındaki elektstatik etkileşimlerinin belirlenmesi, Shimadzu UV-1700 PharmaSpec UV-VIS Spektrofotometre adsorpsiyon işlemi sırasında adsorbat derişimin bulunması, Malvern Master Sizer 2000 sentezlenen malzemelerin tane boyut dağılımının belirlenmesi, Quanta 450 Field Emission Gun (FEG) yüksek çözünürlüklü taramalı elektron mikroskobu (SEM-EDX) malzemelerin belirlenen ölçeklerde görüntülerinin alınması ve standartsız elementel analiz yapılması, FT-IR Spektrofotometresi malzemelerin yapısında bulunan fonkiyonel grupların belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. Ayrıca kinetik deneylerde Profilo mikrodaga fırın, Nüve FN-500 etüv, Nüve ST-402 Su banyosu, Nüve NF-200 Santrifüj cihazı kullanılmıştır.

## 4.3. DENEYSEL YÖNTEMLER

### 4.3.1. Elektrokinetik Deneyleri

BSA ile adsorbent yüzeyleri arasındaki elektrostatik etkileşimlerin görülmesi için protein, adsorbent ve protein/adsorbent sistemlerinin iki farklı sıcaklıkta (25 ve 40 °C sıcaklıkta) Brookhaven ZetaPlus cihazı ile zeta potansiyelleri ölçülmüştür. BSA'nın zeta potansiyel ölçümü için adsorpsiyon deneylerindeki ile aynı derişimde (500 mg/L) olan çözeltileri kullanılmıştır. Adsorbentlerin zeta potansiyel ölçümleri için %0.9'luk  $\text{NaCl}$ 'ün 10 mL içerisinde pH 3-9 arasındaki farklı pH değerlerinde süspansiyonlar hazırlanmıştır. Protein/adsorbent sistemi için 500 mg/L BSA çözeltilisinin 10 mL'sinde pH 3-9 aralığında farklı pH değerilerdeki süspansiyonlar hazırlanmıştır. Süspansiyon pH'ları pH 2.8 ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}/\text{H}_3\text{PO}_4$ ) ve pH 10 ( $\text{NH}_4\text{Cl}/\text{NH}_3$ ) tamponları kullanılarak ayarlanmıştır.

### 4.3.2. Protein tayini

Lowry yöntemi (Lowry et al. 1951), fosfomolibdotungstik asit çözeltilisinin (FolinCicaltaeus) tirozin kökleri ile etkileşime girmesi ile mavi bir kompleks oluşturması temeline

dayanmaktadır. Bu reaksiyonda, bakır çözeltisi ile protein arasında kompleks oluşumu olur; alkali çözelti içinde, oda sıcaklığında 5-10 dakika içinde tamamlanır. Bakırın varlığı yöntemin duyarlılığını 3-15 kat arttırmaktadır. Çünkü bakır ile yapılan kompleksler, folin belirtecindeki molibden ve tungsten ile birleşerek yeni bir kompleks ortaya çıkarır. Ancak örneklerdeki fenolik maddeler hatalara neden olabilir. Bu yöntemin kullanılabilmesi için 1 ml reaksiyon karışımında 2 mg protein bulunmalıdır (Toker, 2000).

#### **4.3.3. KNF-KOH Sentezi**

KNF/KOH sentezi için Singhy et al. (2013) tarafından verilen yöntem kullanılmıştır. KNF, 100 ml KOH (0.1N) çözeltisi içinde 10 dakika karıştırılmıştır. Karışım 600W 6 dakika boyunca mikrodalga ışınları altında ısıtılmıştır. Süspansiyonun çökeltmesi için 0.5 N HCl çözeltisi ile müdahale edilmiştir. KNF/KOH 1:0.15 oranında kullanılmıştır. Elde edilen malzeme 80 °C sıcaklıkta 3 saat kurutulmuş ve sentezi tamamlanmıştır.

#### **4.3.4. KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) Sentezi**

Nadagauda and Lytle (2011) tarafından Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>.9H<sub>2</sub>O ile çeşitli karbon yapıları kullanılarak karbon/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> sentezi yöntemleri çalışılmıştır. KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) sentezi için 0.50 g KNF + 11.2 g Fe(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>.9H<sub>2</sub>O + 0.5 mL su kullanılarak elde edilen harç mikrodalga fırında 2 dk 600 W güçte ısıtılmıştır.

#### **4.3.5. KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) Sentezi**

KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) sentezi için Luiz et al. (2002) tarafından verilen yöntem kullanılmıştır. KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) malzemesi 70 °C'de 400 mL'lik bir FeCl<sub>2</sub> (7.8 g, 28 mmol) ve FeSO<sub>4</sub> (3.9 g, 14 mmol) çözeltisi içinde 0.50 g KNF süspansiyonundan hazırlamıştır. NaOH çözeltisi demir oksit süspansiyonunu çökeltmek için damla damla (100 mL, 5 mol l<sup>-1</sup>) ilave edilmiştir. Elde edilen malzemeler 80 °C'de etüvde 3 saat süreyle kurutulmuştur.

#### **4.3.6. Adsorpsiyon Denge Deneyleri**

Katı-sıvı adsorpsiyonlarında çözeltide derişiminin belirlenmesi için literatürde birçok farklı metot kullanılmaktadır. Bu çalışmada, çözeltideki protein miktarını belirleyebilmek için UVvisible ile ölçülen absorbans değerlerinden yararlanılmıştır. Sulu çözeltideki renksiz protein derişiminin tespiti için Lowry yöntemi kullanılmıştır. Kesikli sistemde sabit pH değerinde (pH

4.5), farklı sıcaklıklarda (32, 37 ve 42 °C) 500 mg/L başlangıç derişiminde hazırlanan BSA çözeltilerinin sabit karıştırma hızındaki çalkalayıcı su banyosunda Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, KNF, KNF-KOH, KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) ve KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) üzerine adsorpsiyonu için düzenek kurulmuştur. Hazırlanan çözeltiler sabit sıcaklık ve sabit karıştırma hızındaki çalkalayıcı su banyosuna yerleştirilmiştir. Adsorpsiyon sırasında belirli aralıklarla çözeltiden numuneler alınmış ve bunlar Lowry yöntemine göre UVvisible ile ölçülmüştür. Bu verilerden yararlanılarak adsorpsiyonun denge eğrileri çizilmiştir.

Adsorpsiyon sisteminde bu işlemler yapılmadan önce sulu çözeltideki protein derişiminin doğru bir şekilde belirlenmesi için BSA'nın kalibrasyon eğrisinin (absorbansa karşı çizilen derişim grafiği) elde edilmesi gerekmektedir. Kalibrasyon eğrisinin çizilmesi için, BSA'nın farklı derişimlerde (0.1-1.0 g/L) çözeltileri hazırlanmıştır. Derişimleri farklı olan her bir protein çözeltilerinden 0.5 mL protein örneği alınıp 5 mL C belirteci ile karıştırılmıştır. Bu karışım oda sıcaklığında 10 dakika bekletilmiştir. Daha sonra ise 0.5 mL D belirteci hızla karıştırılarak eklenmiş (D çözeltilerinin ortama katılması ve homojen bir şekilde karıştırma işlemi 2-3 saniye içinde tamamlanmalıdır) ve 30 dakika karanlıkta bekletilmiştir. Hazırlanan bu protein çözeltilerinin Shimadzu 1700-E type UV spektrofotometresi ile 600 nm değerleri ölçülmüştür. Hazırlanan protein çözeltilerinin elde edilen kalibrasyon eğrisi Şekil A1'de verilmiştir.

#### **4.3.7. Adsorpsiyon Kinetiği**

Farklı sıcaklıklar ve adsorbent miktarları için protein çözeltilerinin sulu fazdan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, KNF, KNF-KOH, KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) ve KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) üzerine adsorpsiyonu tamamlandıktan adsorpsiyon hız mekanizmaları incelenmiştir. Denge deneylerinden elde edilen q<sub>e</sub> ve t verileri kullanılarak birinci ve ikinci mertebe hız analizleri yapılmıştır. Birinci derece hız sabiti k<sub>1</sub>, Eşitlik 2.6'da verilen birinci derece hız bağıntısından yararlanılarak zamana karşı log(q<sub>e</sub>-q) değerlerinin derişiminin izlenmesiyle elde edilen doğrunun eğiminden bulunmuştur. İkinci derece hız sabiti k<sub>2</sub> ise Eşitlik 2.7'de verilen ikinci mertebe hız bağıntısından zamana karşı 1/(q<sub>e</sub>-q) değerlerinin grafiğe geçirilmesiyle elde edilen doğrunun eğiminden belirlenmiştir (Bölüm 2.3.4). Hesaplanan hız sabitleri karşılaştırılarak deneysel çalışmaların sonuçlarına uygun hız mertebeleri belirlenmiştir.

## BÖLÜM 5

### DENEY SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

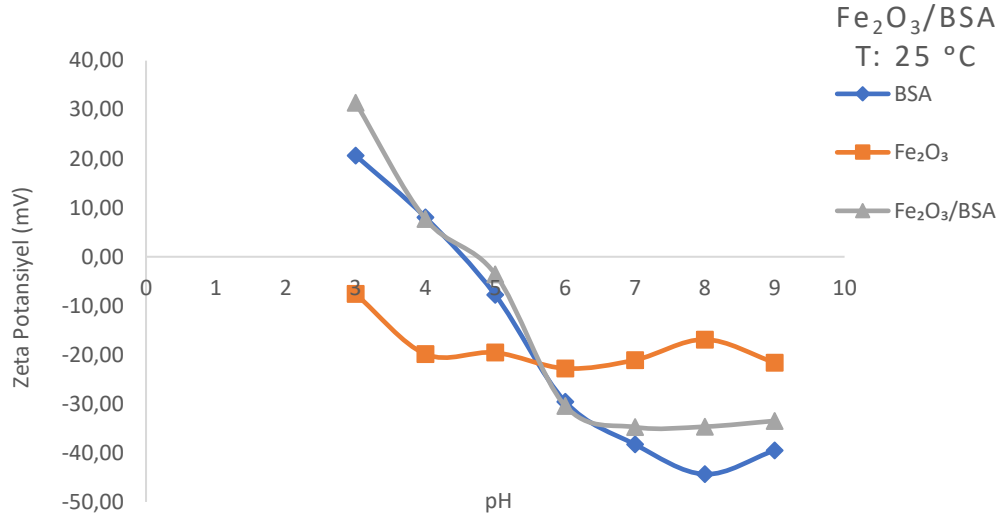
#### 5.1. MALZEMELERİN KARAKTERİZASYONU

##### 5.1.1. Zeta Potansiyel Ölçümleri

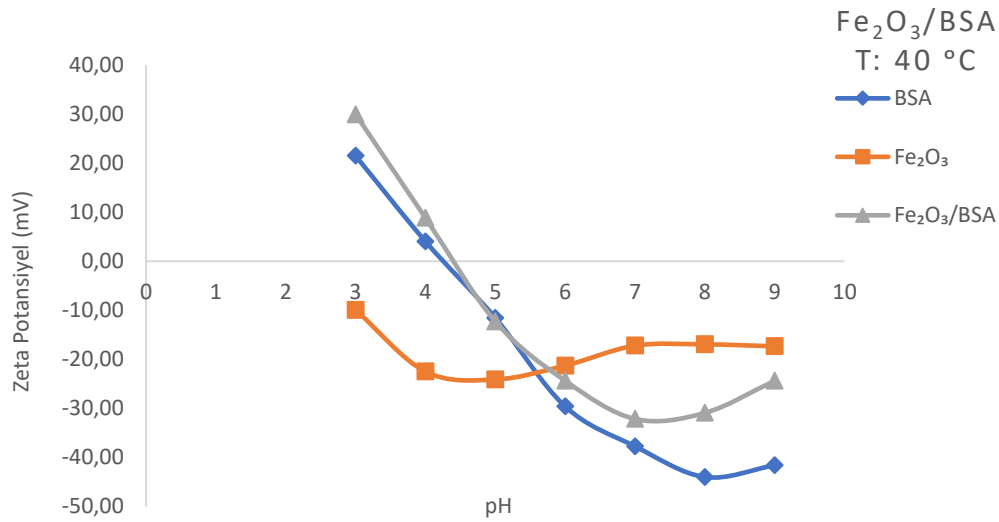
Zeta potansiyel analizleri malzeme yüzeyindeki elektrostatik etkileşimlerin olup olmadığını kanıtlamak ve bunları nicel veriler halinde ortaya koymaya yarayan yalın bir yöntemdir (Lee et al. 2002). Bu çalışmada farklı pH'larda seçilen adsorbent yüzeyleri ile protein arasındaki elektrostatik etkileşimlerin belirlenmesi için sırasıyla her bir adsorbentin, proteinin ve protein-adsorbent ikilisinin zeta potansiyel ölçümleri yapılmıştır. Zeta potansiyel ölçümleri ile pH arasındaki ilişki incelenmiştir. Ayrıca ölçümler aynı şartlar altında sadece sıcaklık değiştirilerek zeta potansiyel etkileşimlerinin sıcaklıkla arasındaki ilişki incelenmiştir. Bu ölçümler sonucunda kinetik deneylerin pH 4.5'te yapılmasına karar verilmiştir.

##### Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/BSA Sonuçları

BSA, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/BSA için ölçülen zeta potansiyel değerlerine ait grafik Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de verilmiştir. 0.15 M NaCl çözeltisi ile hazırlanan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> süspansiyonlarının 25 °C ve 40 °C sıcaklıkta ve tüm pH ortamlarında yapılan ölçümlerinde zeta potansiyel değerlerinin negatif olduğu (sırasıyla (-7)-(-22)/(-9)-(-18) mV) görülmektedir. Aynı şekilden, BSA'nın zeta potansiyel değerinin sıfır olduğu noktaya karşılık gelen izoelektrik noktasının (IEP) 25 °C ve 40 °C sıcaklıkta sırasıyla yaklaşık pH 4.4 ve 4.2, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/BSA ikilisinin ise her iki sıcaklıkta da pH 4.7'te olduğu bulunmuştur. BSA'nın izoelektrik noktası literatür çalışmalarında pH 4-5 arasında olduğu bilinmektedir. Givens et al. (2019) yaptıkları çalışmada BSA'nın izoelektrik noktasının pH 4.7'de olduğunu bildirmişlerdir. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/BSA ikilisinin ölçüm sonuçlarında ise BSA ile Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> eğrilerinin arasında kalmış bir eğri görülmektedir. Bu da aralarında bir etkileşim olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.1 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/BSA Adsorpsiyonu için 25 °C Sıcaklıkta Zeta Potansiyel Eğrisi (m<sub>ads</sub>: 2 g/L).

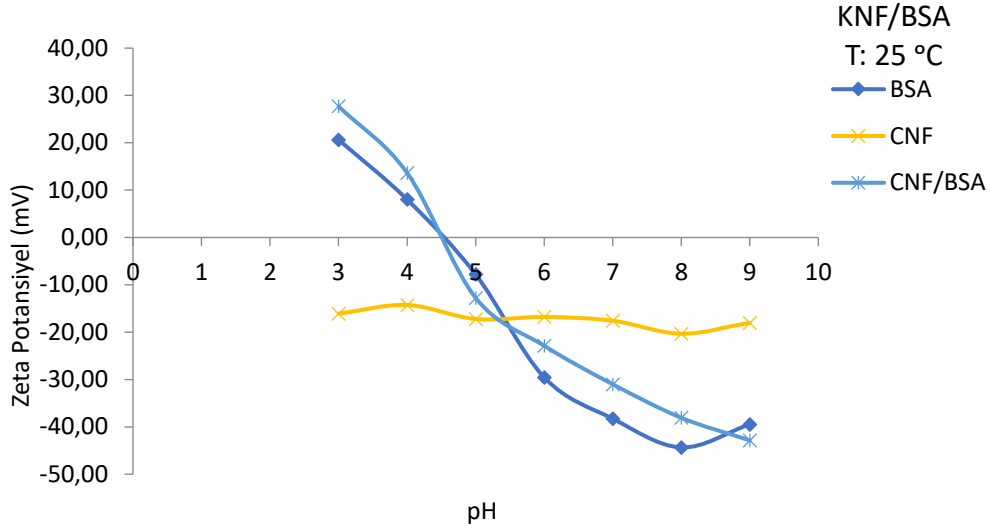


Şekil 5.2 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/BSA Adsorpsiyonu için 40 °C Sıcaklıkta Zeta Potansiyel Eğrisi (m<sub>ads</sub>: 2 g/L).

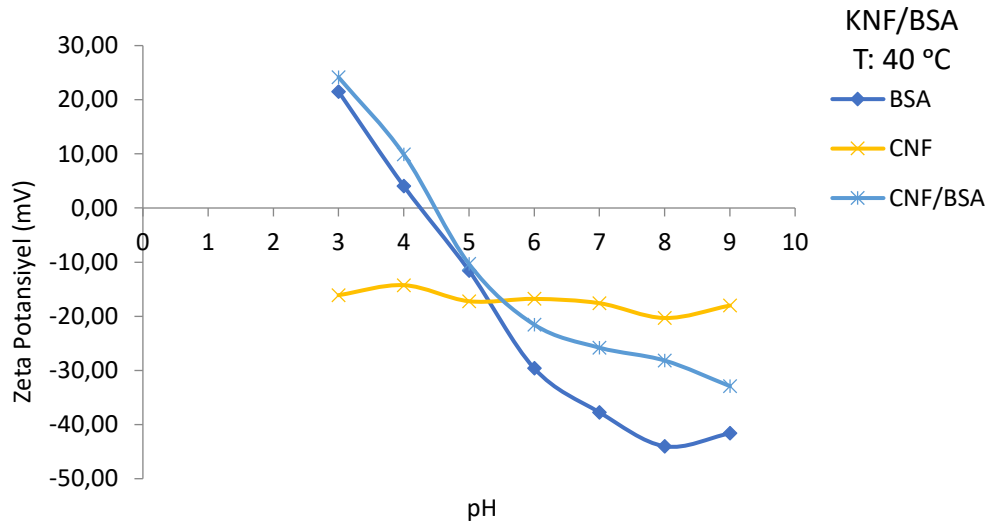
### KNF/BSA Sonuçları

BSA, KNF ve KNF/BSA için ölçülen zeta potansiyel değerlerine ait grafik Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te verilmiştir. 0.15 M NaCl çözeltisi ile hazırlanan KNF süspansiyonlarının 25 °C ve 40 °C sıcaklıkta ve tüm pH ortamlarında yapılan ölçümlerimde zeta potansiyel değerlerinin negatif olduğu (sırasıyla (-16)-(-18)/(-15)-(-16) mV) görülmektedir. KNF/BSA ikilisinin izoelektrik noktası 25 °C ve 40 °C sıcaklıkta 4.7 mV olarak hesaplanmıştır. KNF zeta potansiyeli ölçümlerine bakıldığında sıcaklık ve pH değişikliklerinden etkilenmediği görülmektedir.





Şekil 5.3 KNF/BSA Adsorpsiyonu için 25 °C Sıcaklıkta Zeta Potansiyel Eğrisi ( $m_{ads}$ : 0.05 g/L).

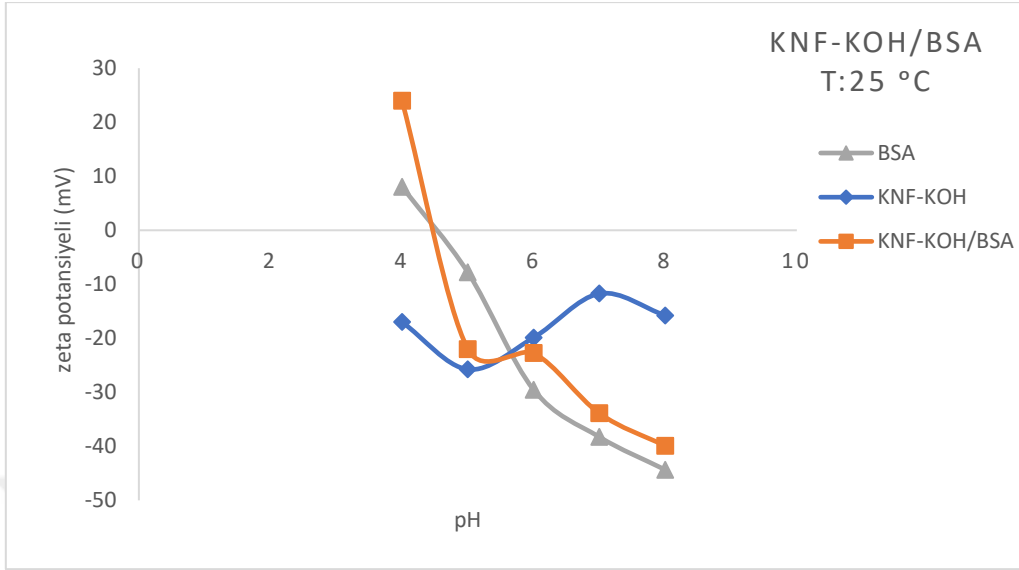


Şekil 5.4 KNF/BSA Adsorpsiyonu için 40 °C Sıcaklıkta Zeta Potansiyel Eğrisi ( $m_{ads}$ : 0.05 g/L).

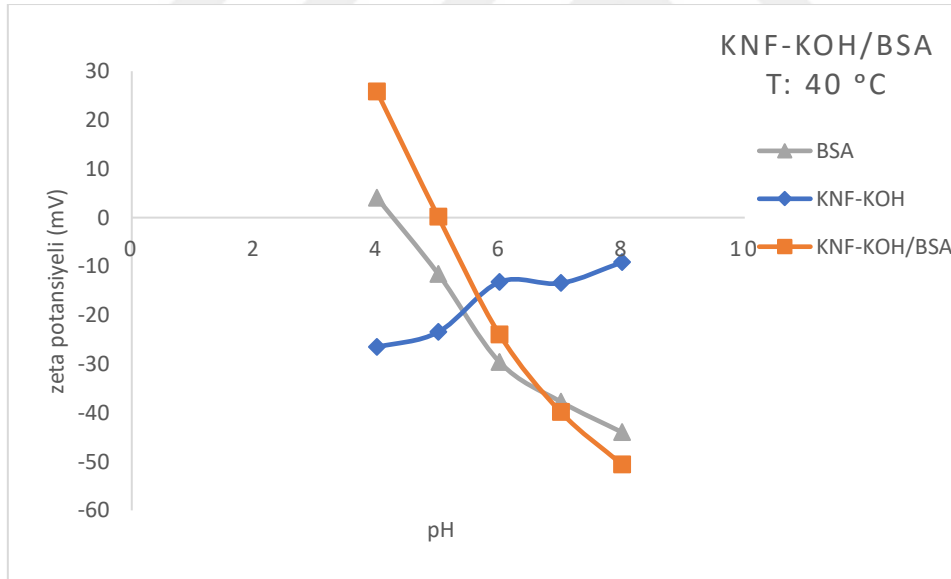
### KNF-KOH/BSA Sonuçları

BSA, KNF-KOH ve KNF-KOH /BSA için ölçülen zeta potansiyel değerlerine ait grafik Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da verilmiştir. 0.15 M NaCl çözeltisi ile hazırlanan KNF-KOH süspansiyonlarının 25 °C ve 40 °C sıcaklıkta ve tüm pH ortamlarında yapılan ölçümlerimde zeta potansiyel değerlerinin negatif olduğu görülmüş ve pH 5 ile 7 arasında sifıra yaklaşan bir eğri elde edilmiştir. KNF-KOH zeta potansiyeli ölçümlerine bakıldığında sıcaklık arttıkça grafiğin negatif bölgeye kaydığı görülmektedir. KNF-KOH/BSA ikilisinin izoelektrik noktası 25 °C ve

40 °C sıcaklıkta sırasıyla 4.7 ve 5.1 mV olarak hesaplanmıştır. KNF-KOH/BSA ve BSA için çizilen grafiklerin birbiri ile paralel olduğu görülmektedir.



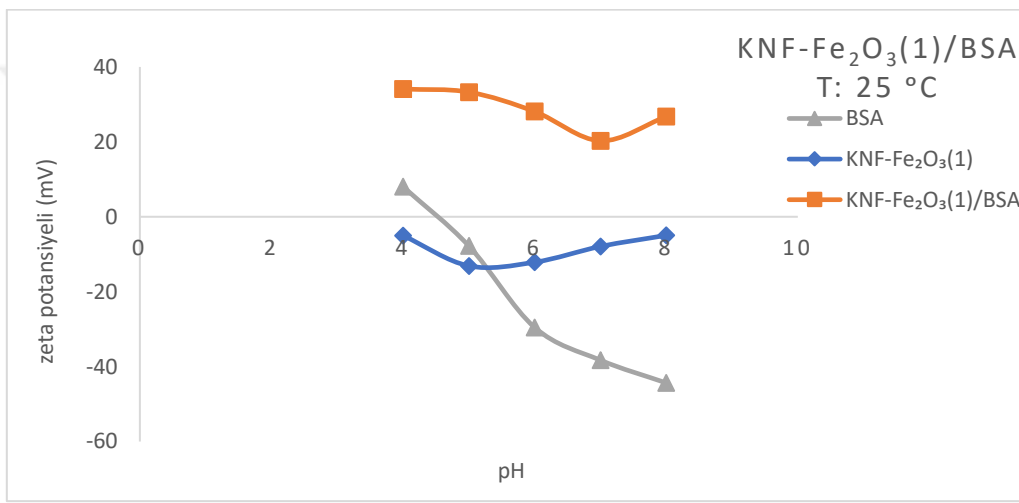
Şekil 5.5 KNF-KOH/BSA Adsorpsiyonu için 25 °C Sıcaklıkta Zeta Potansiyel Eğrisi ( $m_{ads}$ : 0.2 g/L).



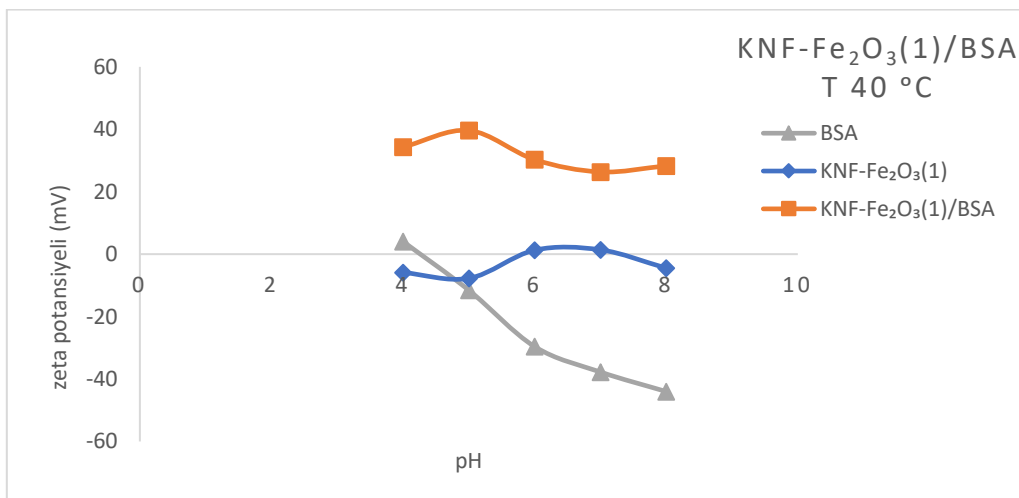
Şekil 5.6 KNF-KOH/BSA Adsorpsiyonu için 40 °C Sıcaklıkta Zeta Potansiyel Eğrisi ( $m_{ads}$ : 0.2 g/L).

## KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1)/BSA Sonuçları

BSA, KNF- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) ve KNF-KOH /BSA için ölçülen zeta potansiyel değerlerine ait grafik Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de verilmiştir. 0.15 M NaCl çözeltisi ile hazırlanan KNF- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) süspansiyonlarının 25 °C ve 40 °C sıcaklıkta ve tüm pH ortamlarında yapılan ölçümlerinde zeta potansiyel değerlerinin negatif olduğu görülmektedir. KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) zeta potansiyeli ölçümlerine bakıldığında sıcaklık ve pH değişikliklerinden etkilenmediği görülmektedir. Yalnızca 25 °C pH 7 ‘de azalan bir pik yapmıştır. 40 °C pH 5’te ise artan bir pik yaptığı görülmektedir. Ayrıca malzemenin her iki sıcaklıkta da BSA ile etkileşimi sonucunda zeta potansiyeli pozitif çıkmıştır.



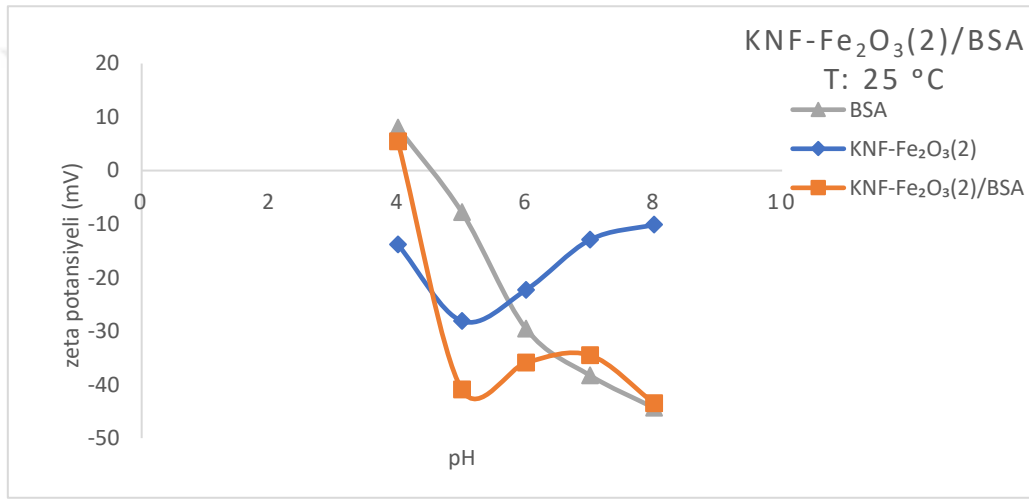
Şekil 5.7 KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1)/BSA Adsorpsiyonu için 25 °C Sıcaklıkta Zeta Potansiyel Eğrisi ( $m_{ads}:1$  g/L).



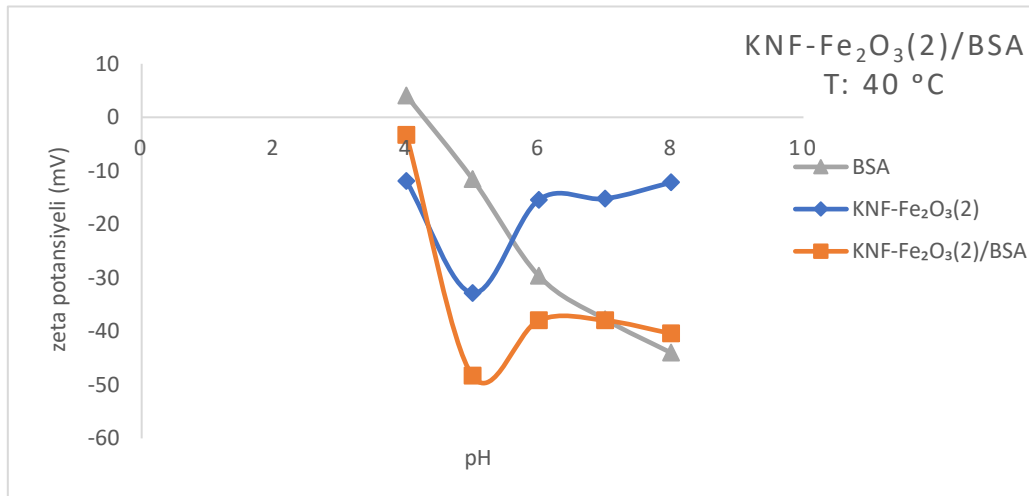
Şekil 5.8 KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1)/BSA Adsorpsiyonu için 40 °C Sıcaklıkta Zeta Potansiyel Eğrisi ( $m_{ads}:1$  g/L).

## KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2)/BSA Sonuçları

BSA, KNF- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) ve KNF-KOH /BSA için ölçülen zeta potansiyel değerlerine ait grafik Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da verilmiştir. 0.15 M NaCl çözeltisi ile hazırlanan KNF- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) süspansiyonlarının 25 °C ve 40 °C sıcaklıkta ve tüm pH ortamlarında yapılan ölçümlerimde zeta potansiyel değerlerinin negatif olduğu görülmektedir. KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) zeta potansiyeli ölçümlerine bakıldığında 25 °C ve 40 °C sıcaklıklarda pH 5'ten sonra artan bir çizgi olduğu görülmektedir. BSA ile etkileşim grafiğine bakıldığında malzemenin saf hali ile aynı doğrultuda bir çizgi oluşturduğu görülmüştür.



Şekil 5.9 KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2)/BSA Adsorpsiyonu için 25 °C Sıcaklıkta Zeta Potansiyel Eğrisi ( $m_{ads}:1$  g/L).



Şekil 5.10 KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2)/BSA Adsorpsiyonu için 25 °C Sıcaklıkta Zeta Potansiyel Eğrisi ( $m_{ads}:1$  g/L).

### 5.2.1. FT-IR Ölçümleri

Kızılötesi (IR) spektroskopisi, organik veya inorganik bileşiklerin karakterize edilmesinde kullanılan bu cihaz, maddeyi oluşturan atomlar arasındaki bağların titreşimiyle oluşan frekanslarına karşılık gelen absorpsiyon pikleri ile örneğin parmak izini göstermektedir. Her maddenin kendine has bir spektrumu vardır. Bu spektrumlar ile numune içindeki fonksiyonel gruplar belirlenir. Bu analizde kullanılan malzemeler yapısal olarak bir organik yapı içermedikleri için spektrumlar oldukça düşük bulunmuştur. Fakat burada dikkat edilecek nokta malzemelerin saf halleri ile protein adsorpsiyonunda dengeye gelindikten sonra çözeltide kalan adsorbentler arasındaki farklılıklardır.

KNF ve KNF/BSA etkileşiminden elde edilen adsorbentlerin FT-IR analizi Şekil 5.11'de verilmiştir. Bu grafikte KNF ve KNF/ BSA etkileşiminden elde edilen adsorbentlerin 2000-2400  $\text{cm}^{-1}$  dalga boyunda aralığında pik verdiği görülmüştür. Bu pik üçlü C bağımlı göstermektedir ve KNF/BSA etkileşiminden elde edilen adsorbentte KNF'ye göre daha nettir. Ayrıca KNF/ BSA etkileşiminden elde edilen adsorbentte KNF'den farklı olarak 3200  $\text{cm}^{-1}$  dalga boyunda spektrum görülmektedir. Bu spektrum oksijen-hidrojen (su) bağımlı temsil etmektedir.

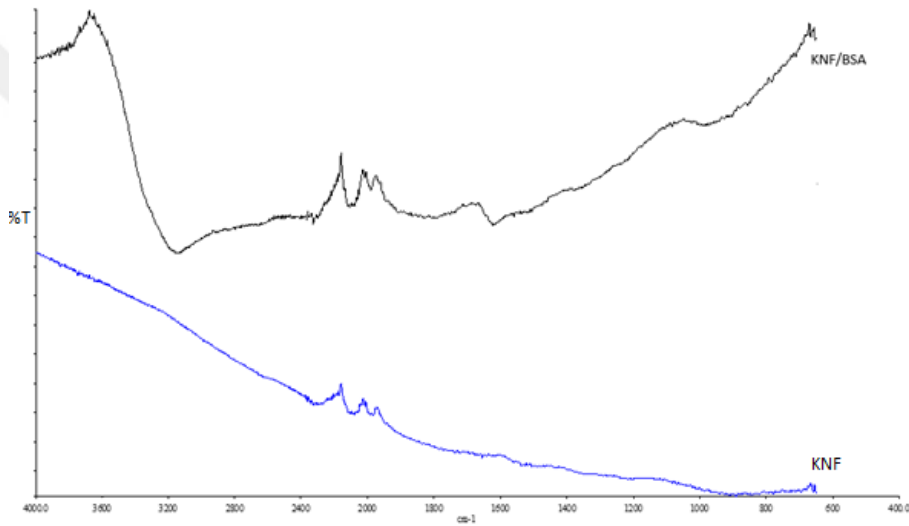
$\text{Fe}_2\text{O}_3$  ve  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{BSA}$  etkileşiminden elde edilen adsorbentlerin FT-IR analizi Şekil 5.12'de verilmiştir. bu ölçüm sonucunda her iki numuneninde sonucu aynı çıkmıştır. 500-600  $\text{cm}^{-1}$  dalga boyunda görülen pik demir-oksijen bağına aittir. Manyetik malzeme olmasından kaynaklı bir fonksiyonel grup içermemektedir. Zhang et al.(2013) yaptığı çalışmada  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 'in FT-IR analizinde sadece 500-600  $\text{cm}^{-1}$  dalga boyunda pik verdiğini göstermiştir.

KNF-KOH ve KNF-KOH/ BSA etkileşiminden elde edilen adsorbentlerin FT-IR analizi Şekil 5.13'de verilmiştir. KNF-KOH ve KNF-KOH/BSA etkileşiminden elde edilen adsorbentlerin 2000-2400  $\text{cm}^{-1}$  dalga boyunda görülen spektrum üçlü C bağımlı olduğunu ifade eder. KNF-KOH ve KNF-KOH/BSA etkileşiminden elde edilen adsorbentlerin birbiri ile aynı spektrum verdiği, piklerin birbirine eş olduğu görülmektedir.

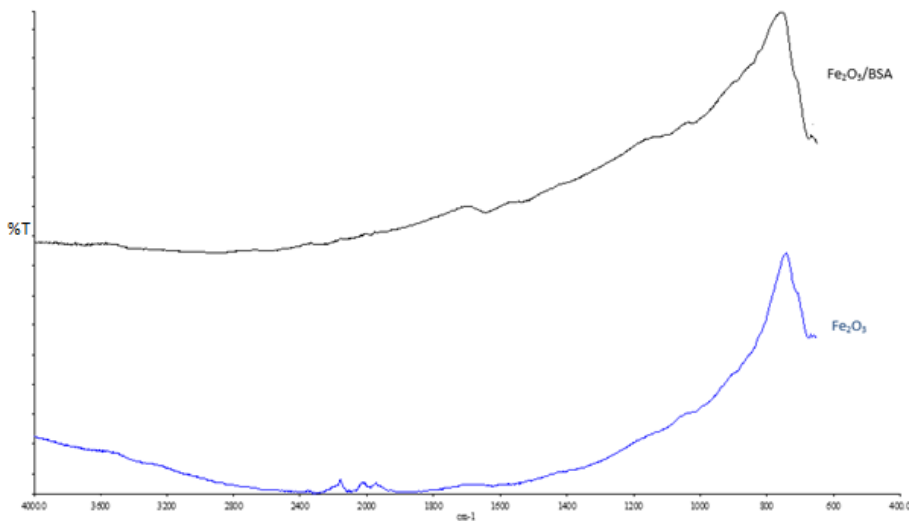
KNF- $\text{Fe}_2\text{O}_3(1)$  ve KNF- $\text{Fe}_2\text{O}_3(1)/\text{BSA}$  etkileşiminden elde edilen adsorbentlerin FT-IR analizi Şekil 5.14'de verilmiştir. Bu grafikte KNF- $\text{Fe}_2\text{O}_3(1)$  ve KNF- $\text{Fe}_2\text{O}_3(1)/\text{BSA}$  etkileşiminden elde edilen adsorbentlerin analizinde de 2000-2400  $\text{cm}^{-1}$  dalga boyunda aralığında ve KNF/BSA etkileşimi sonunda alınan adsorbente nazaran yoğun bir karbon bağı görülmektedir. Ayrıca

KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1)'nin analizinde karbon-oksijen bağları görülürken, KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1)'nin BSA ile etkileşiminden sonra karbon-oksijen bağları azaldığı yerine karbon-hidrojen bağlarının oluştuğu görülmektedir.

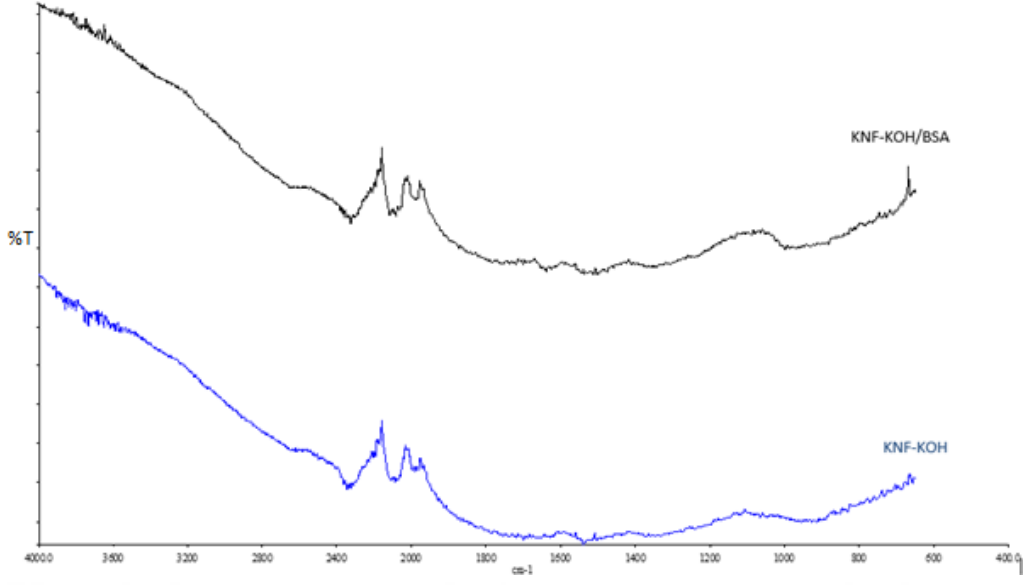
KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) ve KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2)/BSA etkileşiminden elde edilen adsorbentlerin FT-IR analizi Şekil 5.15'de verilmiştir. her iki analizde de bir grubu temsil edecek yoğunlukta bir spektrum görülmemekte ve birbirini ile neredeyse eş bir grafik oluştuğu görülmektedir. Bununla beraber KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2)'nin BSA ile etkileşiminden sonra elde edilen adsorbentte oksijen-hidrojen bağını temsil eden spektrum görülmemiştir.



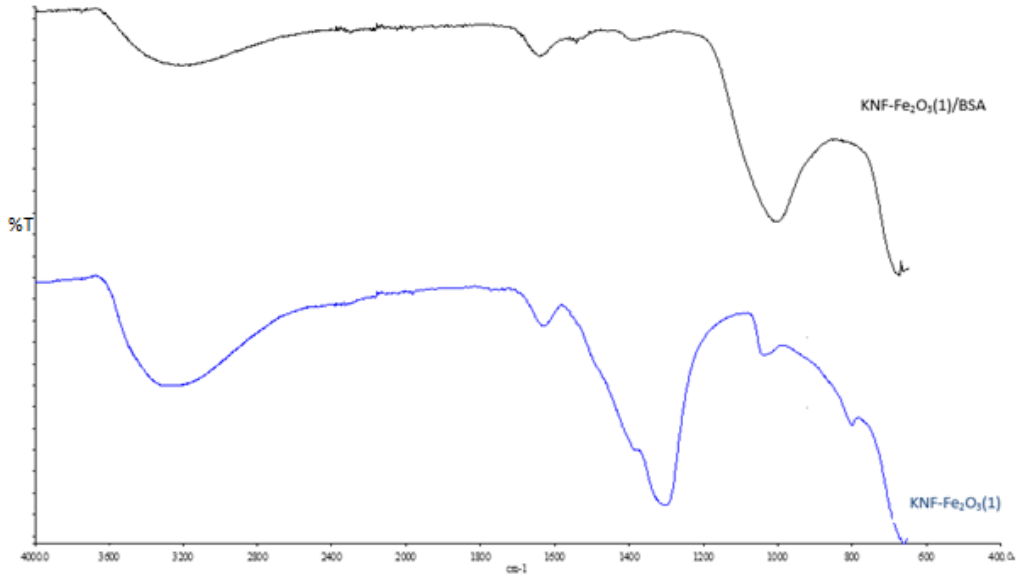
Şekil 5.11 KNF ve KNF/BSA Etkileşiminden Elde Edilen Adsorbentin FT-IR Analizi



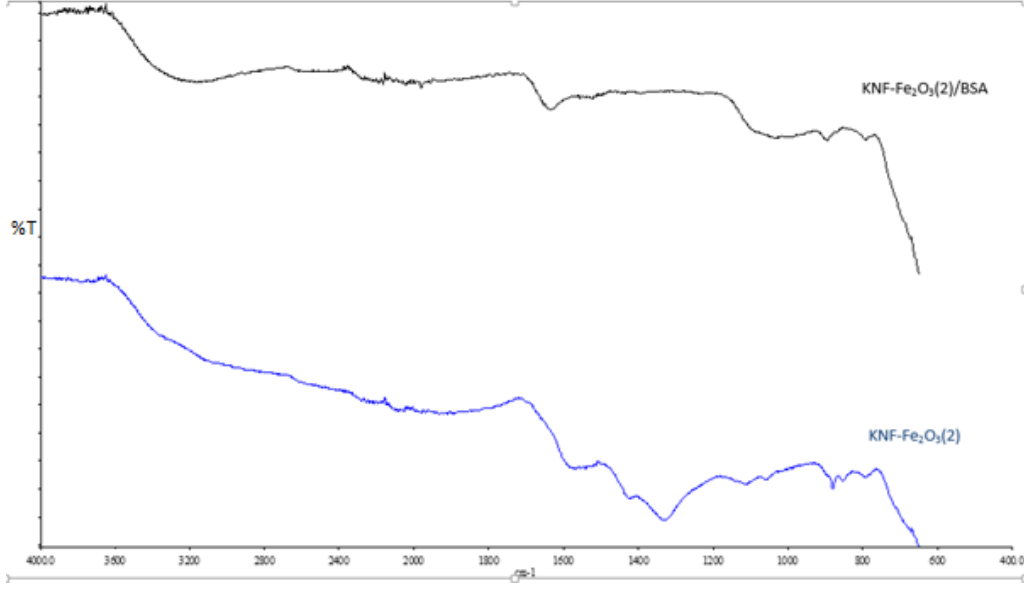
Şekil 5.12 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/BSA Etkileşiminden Elde Edilen Adsorbentin FT-IR Analizi



Şekil 5.13 KNF-KOH ve KNF-KOH/BSA Etkileşiminden Elde Edilen Adsorbentin FT-IR Analizi



Şekil 5.14 KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) ve KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1)/BSA Etkileşiminden Elde Edilen Adsorbentin FT-IR Analizi



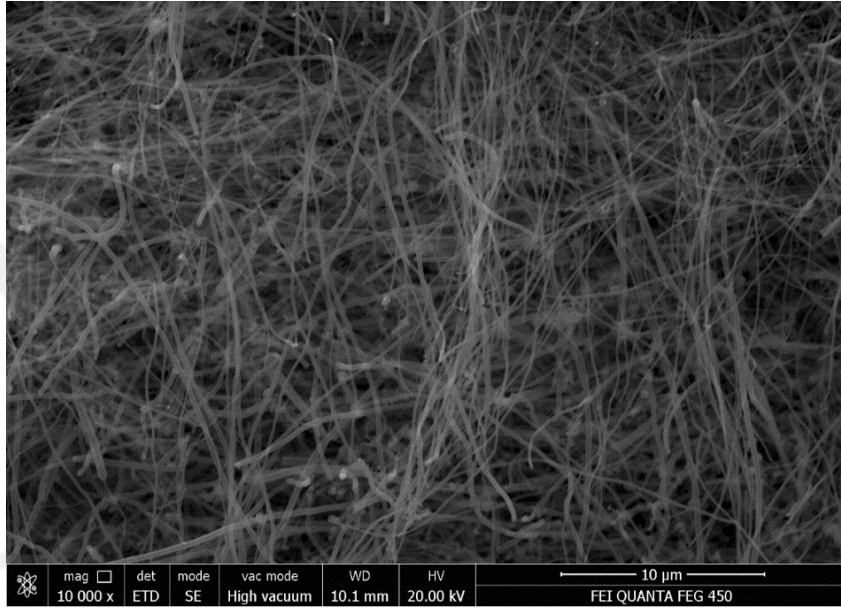
**Şekil 5.15** KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) ve KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2)/BSA Etkileşiminden Elde Edilen Adsorbentin FT-IR Analizi

### 5.2.2. SEM-EDX Ölçümleri

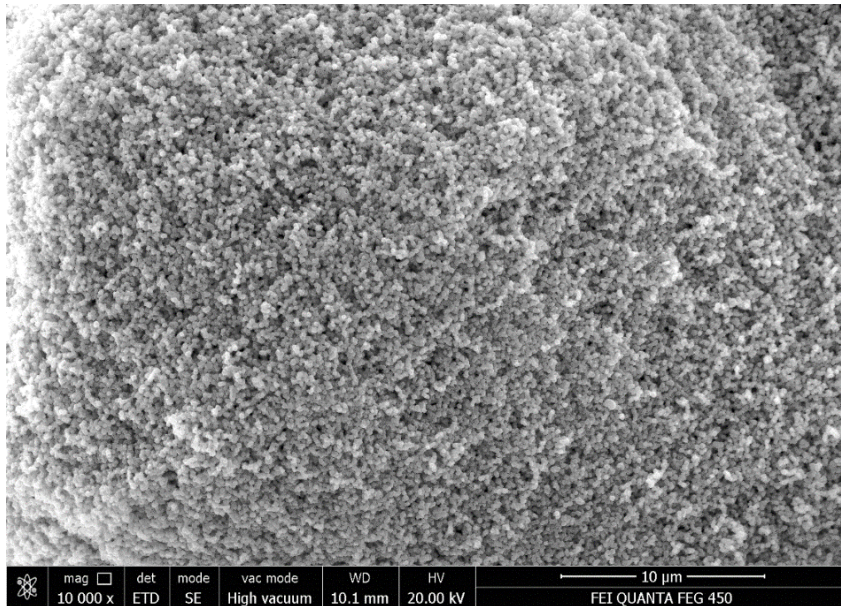
Işık mikroskobu olarak adlandırılan optik mikroskoplar görünür ışığı ve lensleri kullanarak küçük numunelerin görüntülerini büyütürler. Lensler, kullanılan ışığı çeşitli amaçlar için yönlendirmemizi sağlamaktadır. Taramalı Elektron Mikroskobu'nda (SEM) görüntüsü yüksek voltaj ile hızlandırılmış elektronların numune üzerine odaklanması, bu elektron demetinin numune yüzeyinde taratılması, taratma sırasında elektron ve numune atomları arasında oluşan girişimler sonucunda meydana gelen etkilerin uygun algılayıcılarda toplanması, bu bilgilerin sinyal güçlendiricilerinden geçirildikten sonra bir katot ışınları tüpünün ekranına aktarılmasıyla elde edilir. KNF, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1), KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) ve KNF-KOH'un 5-40 µm ölçeklerindeki SEM görüntülerine bakılmıştır. Ayrıca KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1), KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) ve KNF-KOH'a EDX analizi de yapılarak sentezlenen kompozitlerin bir kesitinde dağılmış elementler tespit edilmiştir. KNF'nin 10 µm ölçekteki SEM görüntüleri Şekil 5.16 görüldüğü gibi lifli yapıdadır. 4 µm ölçekle alınan görüntüde lif çapları 50-270 nm arasında ölçülmüştür. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nano partiküllerinin de Şekil 5.17'de görüldüğü gibi küre şeklindedir. 2 µm ölçekle alınan görüntüde küre çapları 80-210 nm arasında ölçülmüştür. KNF-KOH'un 10 µm ölçekteki SEM görüntüleri Şekil 5.18'de KOH partiküllerinin KNF içinde dağıldığı görülmektedir. Fakat 100 µm ölçekle bakıldığında topaklaşmış tanecikleri tespit edilmiştir. Şekil 5.19'da KNF-KOH'un SEM-EDX analizinde bu topakların potasyum olduğu tespit edilmiştir. KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1)'in 10 µm ölçekteki SEM görüntüleri Şekil 5.20'de EDX analizi Şekil 5.21'de verilmiştir. Demir



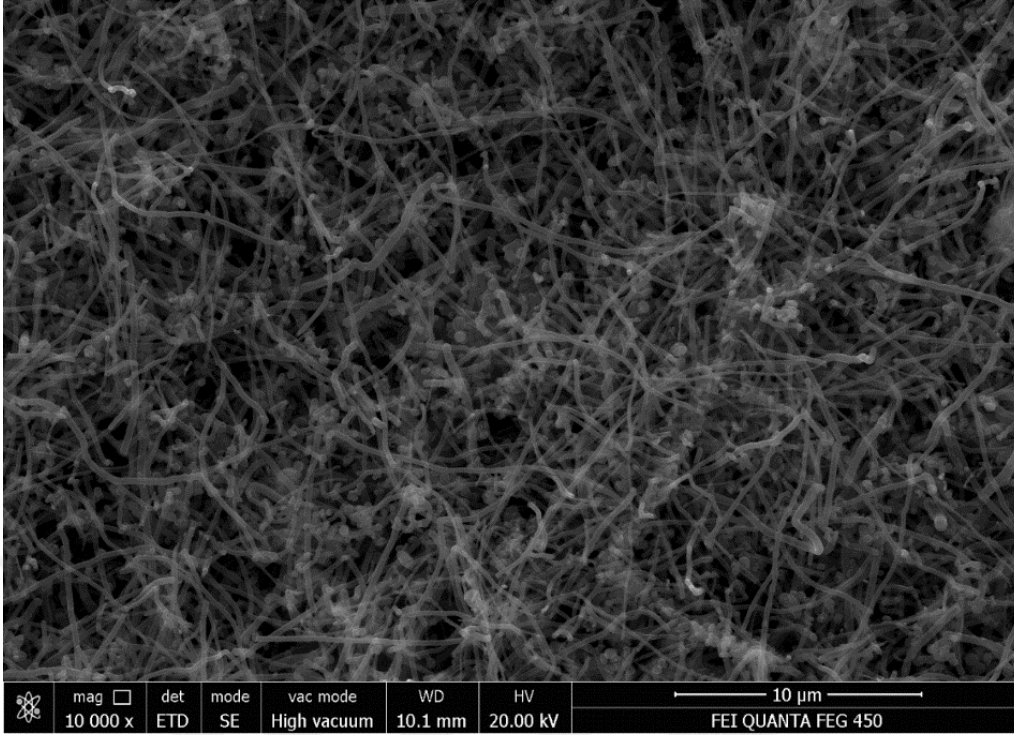
partiküllerin topaklar oluşturduğunu ve bir örtü gibi KNF üzerini kapladığı görülmektedir. KNF-  $Fe_2O_3(2)$ 'in 10  $\mu m$  ölçekteki SEM görüntüleri Şekil 5.22'de verilmiştir. Burada KNF liflerin koptuğu, lifsi yapısının bozulduğu görülmektedir. EDX analizi için KNF üzerine odaklama yapılmıştır. Bunun sebebi KNF içinde nüfus eden demir oksit oranını tespit etmektir. Şekil 5. 23'te verilen EDX analizi sonuçlarına göre KNF içinde %0.30 oranında demir bulunmuştur. Demir partiküller KNF içine nüfus etmemiştir. Ayrıca demir oranının KNF'ye oranla fazla olduğu görülmektedir.



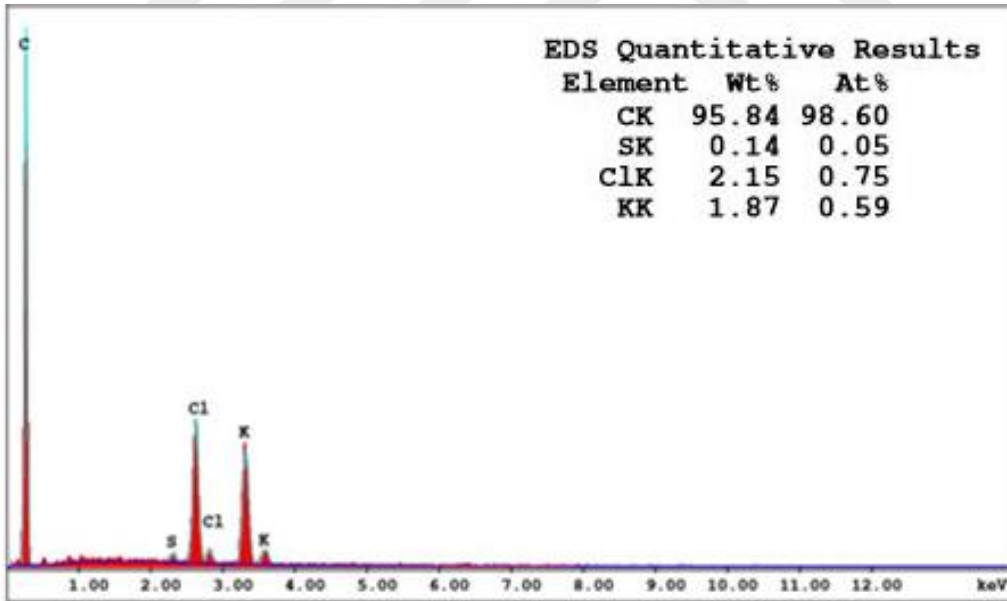
Şekil 5.16 CNF 10  $\mu m$  Ölçekte SEM Görüntüsü



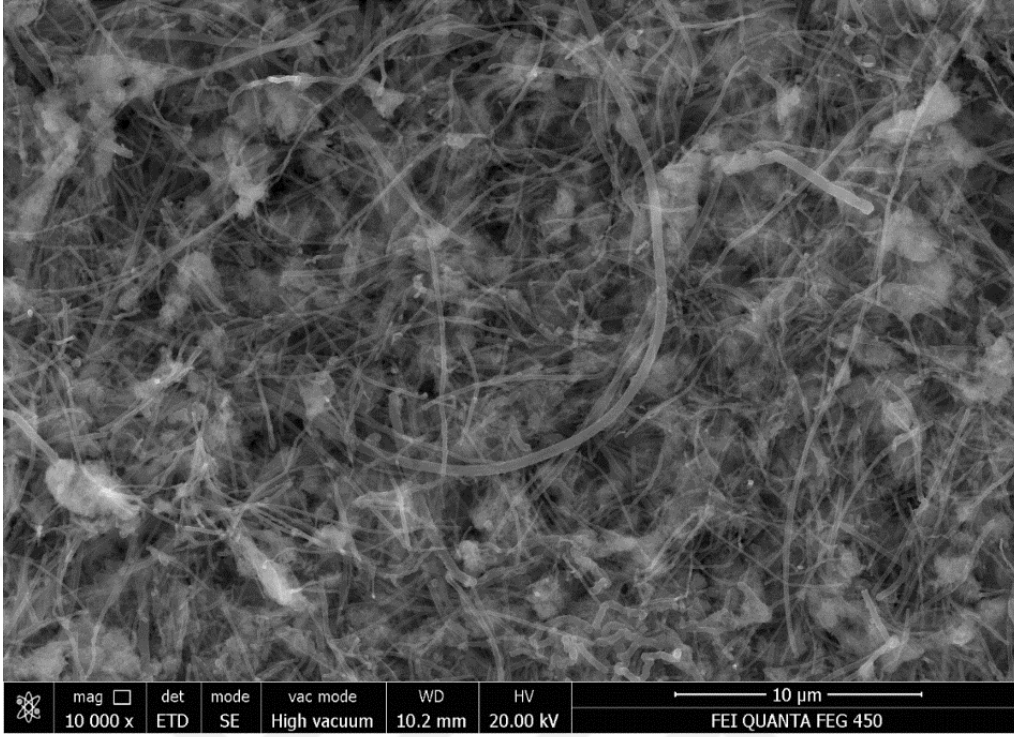
Şekil 5.17  $Fe_2O_3$  10  $\mu m$  Ölçekte SEM Görüntüsü



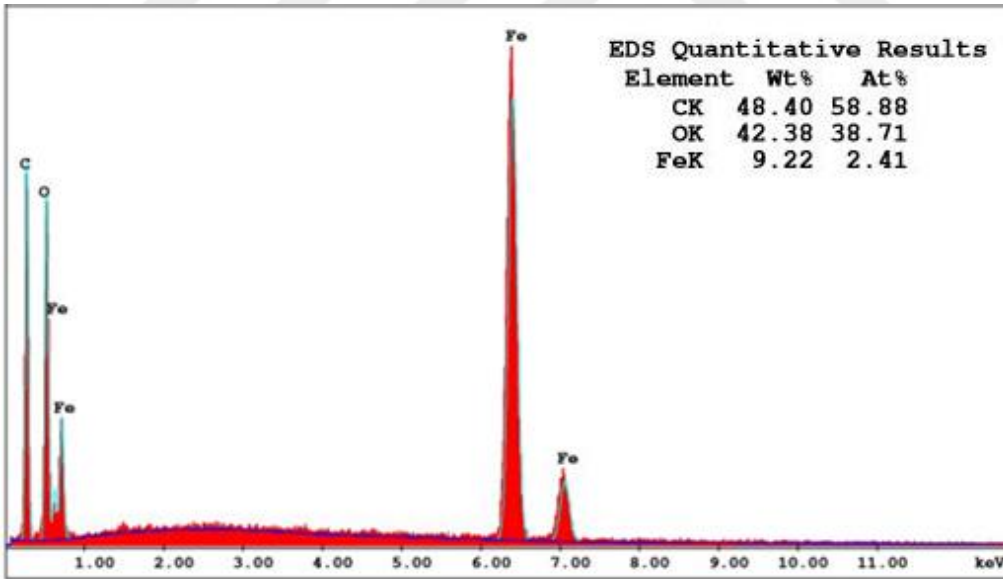
Şekil 5.18 KNF-KOH 10 μm Ölçekte SEM Görüntüsü



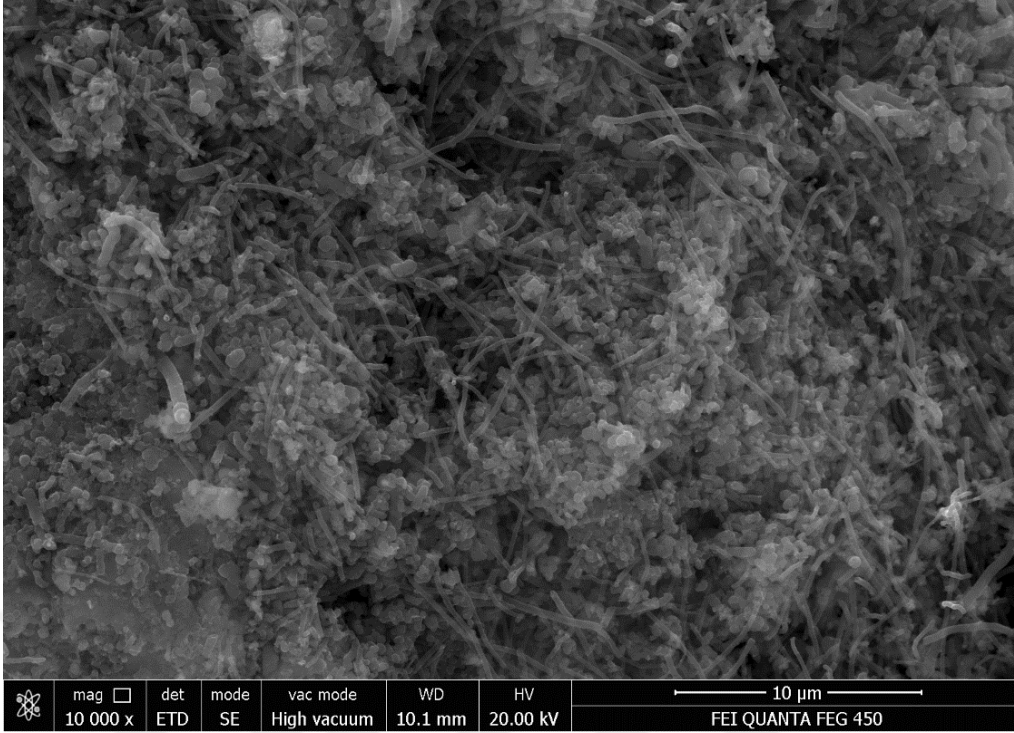
Şekil 5.19 KNF-KOH 10 μm Ölçekte SEM-EDX Analizi



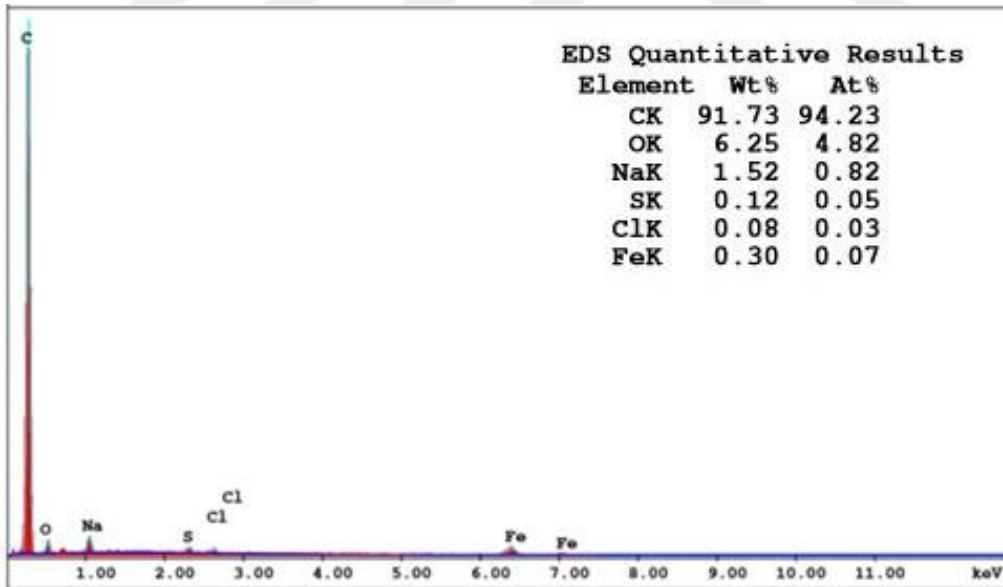
Şekil 5.20 KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) 10 µm Ölçekte SEM Görüntüsü



Şekil 5.21 KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) 10 µm Ölçekte SEM-EDX Analizi



Şekil 5.22 KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) 10 µm Ölçekte SEM Görüntüsü



Şekil 5.23 KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) 10 µm Ölçekte SEM-EDX Analizi

### 5.2.3. Tane Boyutu Analizi

Tane boyutu analizi Malvern Master Sizer 200 cihazı ile yapılmıştır. Cihaz numunedeki tanelerin üzerine lazer ışınları göndererek tanelerden yansıyan ışınları bir mercek yardımıyla

dedektörün üzerine düşürmektedir. Dedektörün üzerine düşen ışınlar bir dönüştürücü vasıtasıyla sayısallaştırılarak bilgisayar aracılığıyla tane büyüklüğü ve yüzdesi hesaplanmaktadır, verilen değerler numune içindeki mikron boyuttaki tanelerin yüzdesini verir (URL-7). Sentezlenen malzemelerin tane boyut dağılımları Tablo 5.1’te verilmiştir. KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1)’in analizinde iki pik vardır. Buda iki farklı tane boyutu aralığında yığılma olduğunu ifade etmektedir.

**Çizelge 5.1** Sentezlenen Malzemelerin Tane Boyutu Analizi

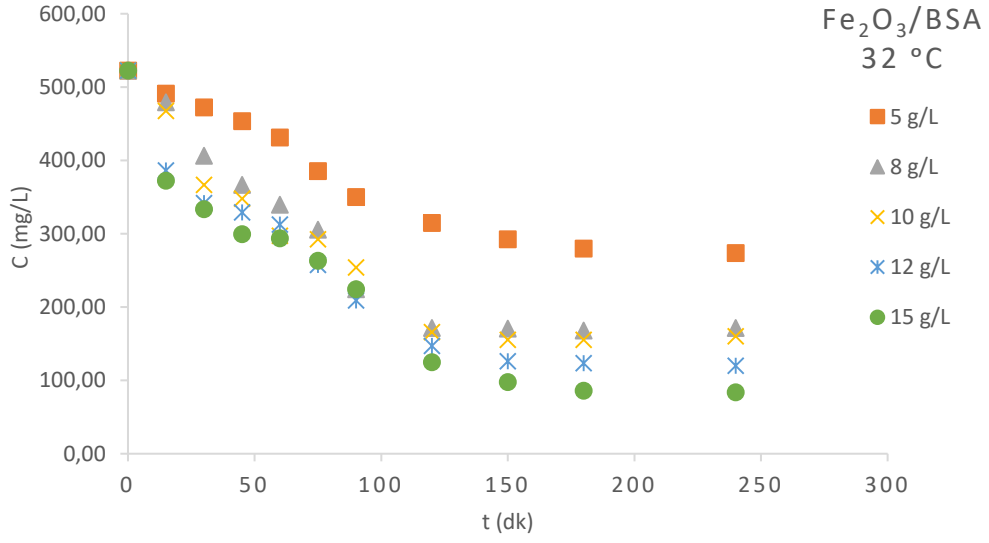
Numune adı	d(0.1)	d(0.5)	d(0.9)
<b>KNF-KOH</b>	16.913 µm	140.398 µm	458.554 µm
<b>KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1)</b>	3.126 µm	35.113 µm	476.766 µm
<b>KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2)</b>	42.657 µm	897.506 µm	1571.031 µm

## 5.2. BSA ADSORPSİYONUNA ADSORBENT MİKTARI ETKİSİ

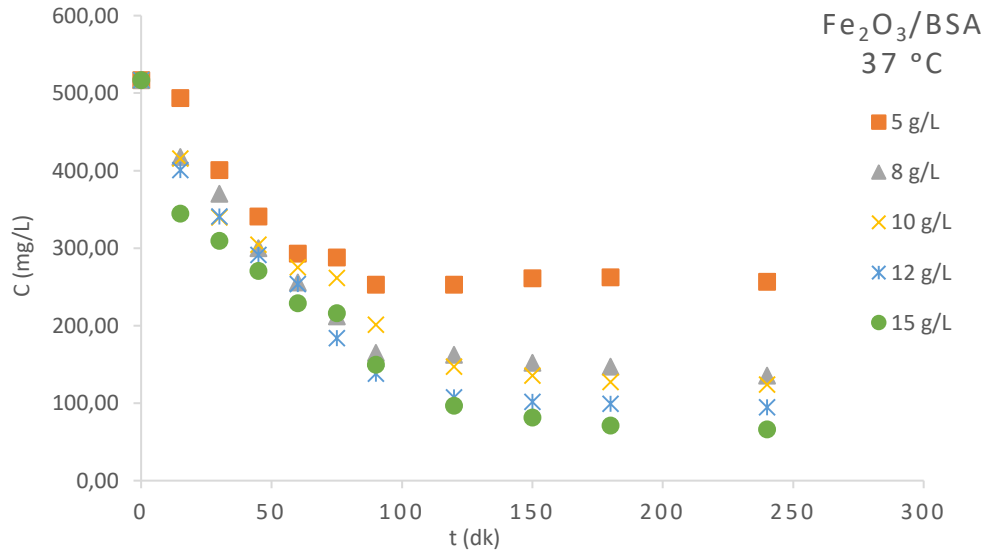
Kesikli sistemde sabit pH değerinde (pH 4,5) 32, 37 ve 42 °C sıcaklıklarda 500 mg/L başlangıç derişiminde hazırlanan BSA çözeltilerinin Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ve KNF üzerine adsorpsiyonunda sıvı fazdaki protein derişiminin zamana göre derişimleri grafikler halinde verilmiştir. Sentezlenen adsorbentler KNF-KOH, KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) ve KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) ise 37 ve 42 °C sıcaklıklarda çalışılmıştır.

### 5.2.1. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonunda Adsorbent Miktarının Etkisi

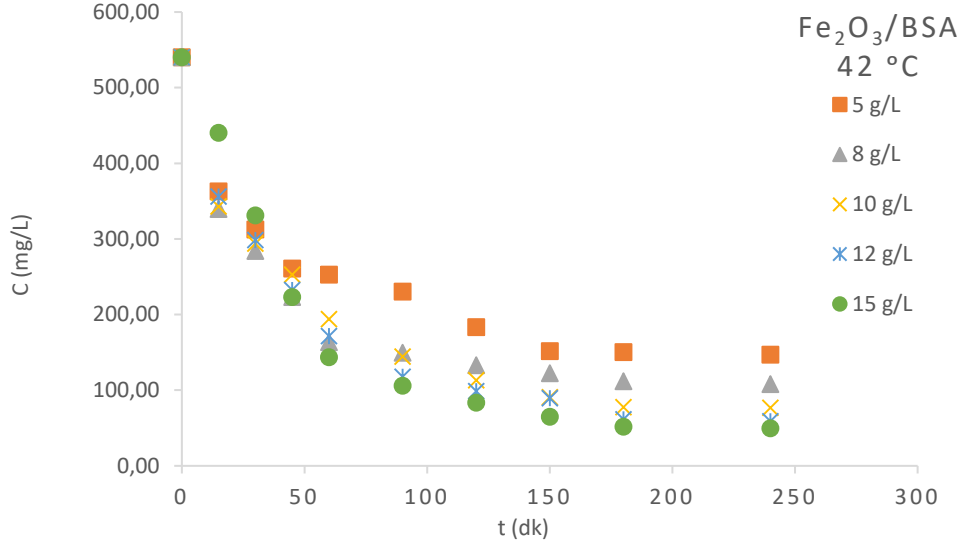
BSA çözeltilerinin 32, 37 ve 42 °C sıcaklıklarda Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerine adsorpsiyonunda sıvı fazdaki protein derişiminin zamana göre derişimleri sırasıyla Şekil 5.24, Şekil 5.25 ve Şekil 5.26’te verilmiştir. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> için elde edilen sonuçlara bakıldığında, farklı adsorbent miktarlarında yapılan deneylerde adsorpsiyon süresince BSA derişiminin düzenli bir şekilde derişim gösterdiği ve adsorpsiyonun yaklaşık 250 dakika içinde dengeye ulaştığı gözlenmektedir. Tüm sıcaklıklarda yapılan çalışmalarda adsorbent miktarının arttırılmasının adsorpsiyon miktarını da arttırdığı gözlenmektedir.



**Şekil 5.24** 32 °C Sıcaklıktaki Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, T: 32 °C, m<sub>ads</sub>: 5-15 g/L, V: 0.10).



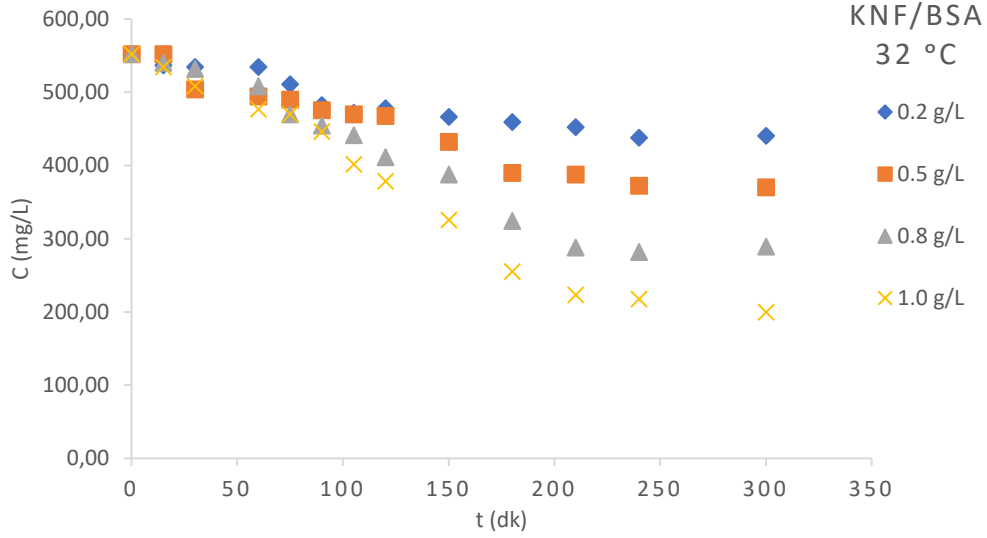
**Şekil 5.25** 37 °C Sıcaklıktaki Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C<sub>0</sub>: 500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, m<sub>ads</sub>: 5-15 g/L, V: 0.10).



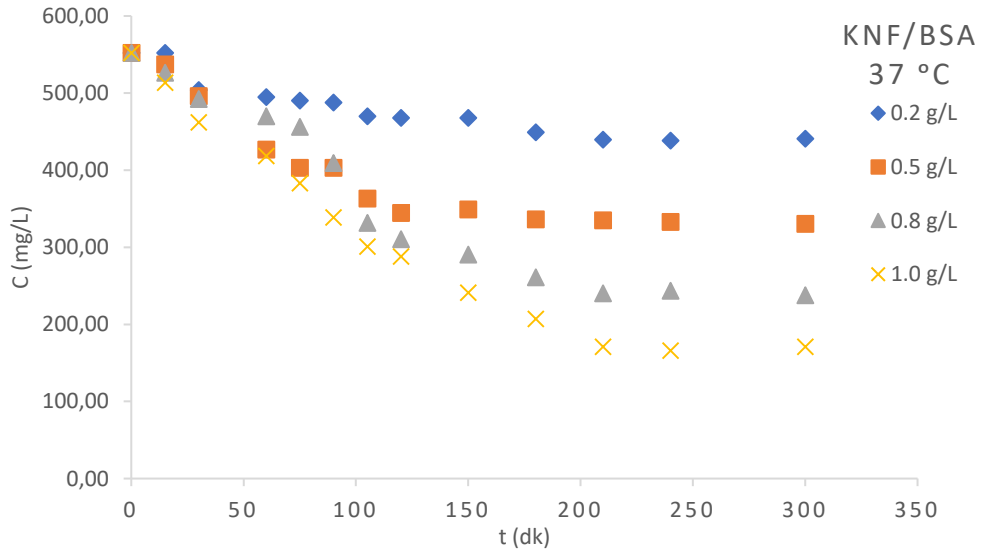
**Şekil 5.26** 42 °C Sıcaklıktaki Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C<sub>0</sub>: 500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C, m<sub>ads</sub>: 5-15 g/L, V: 0.10).

### 5.2.2. KNF Üzerine BSA Adsorpsiyonunda Adsorbent Miktarının Etkisi

BSA çözeltilerinin KNF üzerine adsorpsiyonunda sıvı fazdaki protein derişiminin zamana göre değişimleri sırasıyla Şekil 5.27, Şekil 5.28 ve Şekil 5.29’da verilmiştir. KNF için elde edilen sonuçlara bakıldığında, farklı sıcaklık ortamlarında gerçekleştirilen deneylerde adsorpsiyon süresince BSA derişiminin Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>’e göre az daha değişim gösterdiği ve adsorpsiyonun yaklaşık 300 dakika içinde dengeye ulaştığı gözlenmektedir. Aynı zamanda adsorbent miktarının artırılmasının adsorpsiyon miktarını da arttırdığı gözlenmektedir. Adsorplama hızının Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>’e göre daha yavaş olduğu görülmüştür.

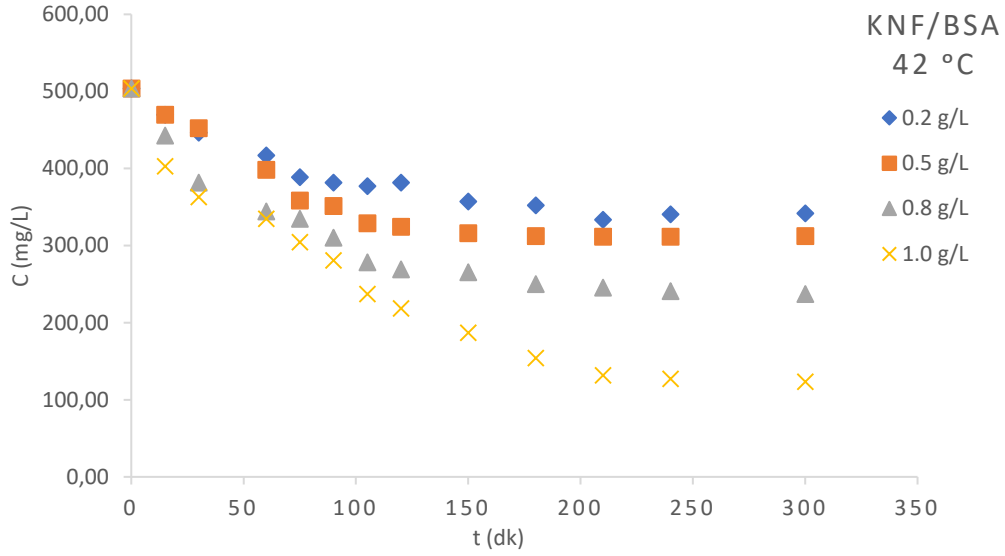


**Şekil 5.27** 32 °C Sıcaklıktaki KNF üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 32 °C,  $m_{ads}$ : 0.2-1 g/L, V: 0.10).



**Şekil 5.28** 37 °C Sıcaklıktaki KNF üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C,  $m_{ads}$ : 0.2-1 g/L, V: 0.10).

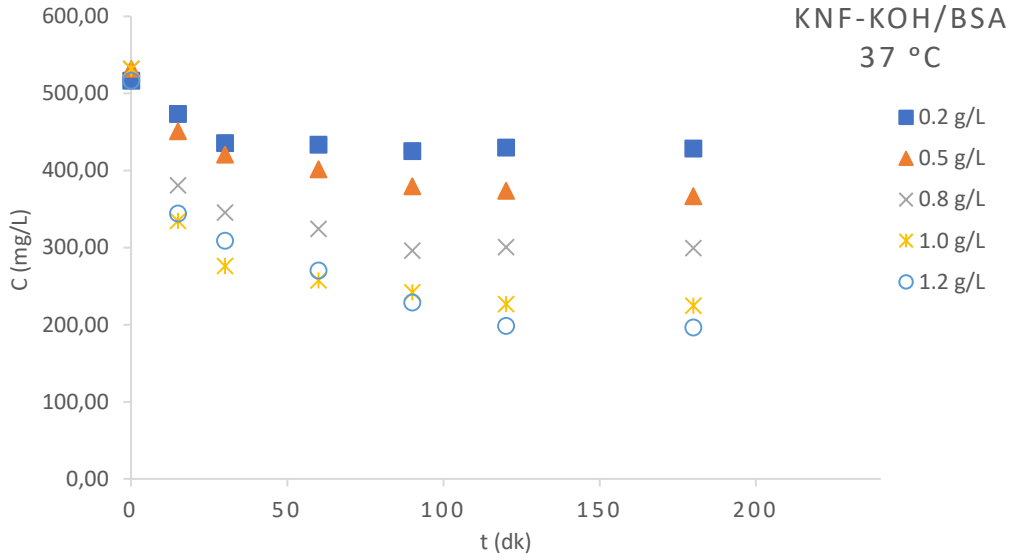




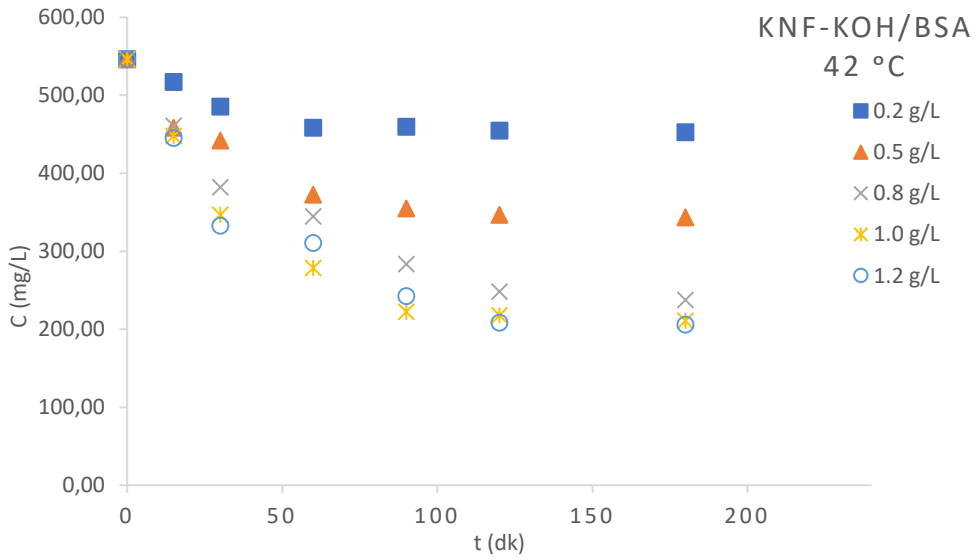
**Şekil 5.29** 42 °C Sıcaklıktaki KNF üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C,  $m_{ads}$ : 0.2-1 g/L, V: 0.10).

### 5.2.3. KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonunda Adsorbent Miktarının Etkisi

BSA çözeltilerinin KNF-KOH üzerine adsorpsiyonunda sıvı fazdaki protein derişiminin zamana göre değişimleri sırasıyla Şekil 5.90 ve Şekil 5.31’de verilmiştir. KNF-KOH için elde edilen sonuçlarda, farklı sıcaklık ortamlarında gerçekleştirilen deneylerde adsorpsiyon süresince BSA derişiminin düzenli bir şekilde değişim gösterdiği ve adsorpsiyonun yaklaşık 200 dakika içinde dengeye ulaştığı gözlenmektedir. Diğer malzemelere göre en kısa sürede dengeye gelen malzeme KNF-KOH olmuştur. Aynı zamanda adsorbent miktarının arttırılmasının adsorpsiyon miktarını da arttırdığı gözlenmektedir.



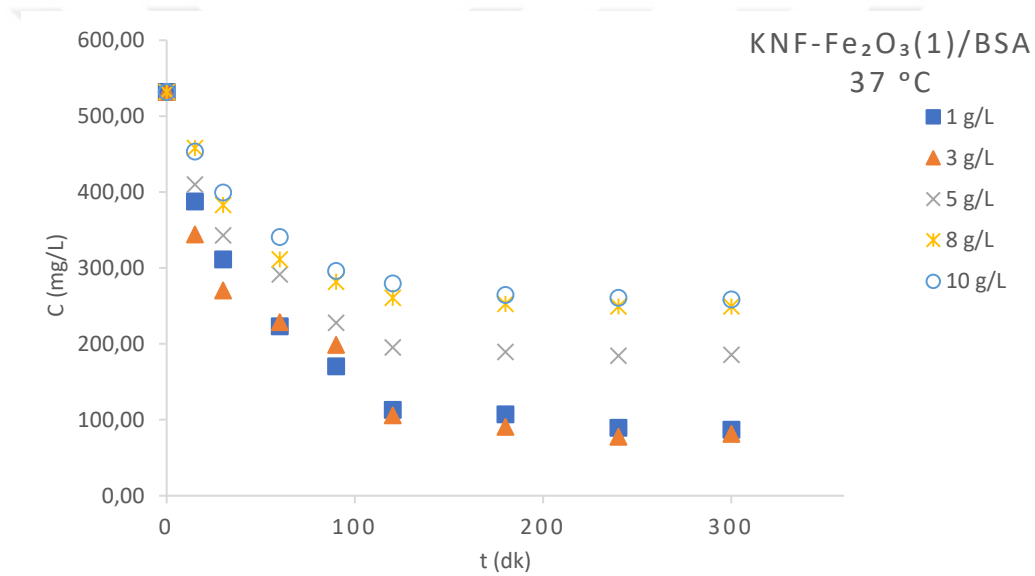
**Şekil 5.30** 37 °C Sıcaklıktaki KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C,  $m_{ads}$ : 0.2-1.2 g/L, V: 0.10 L).



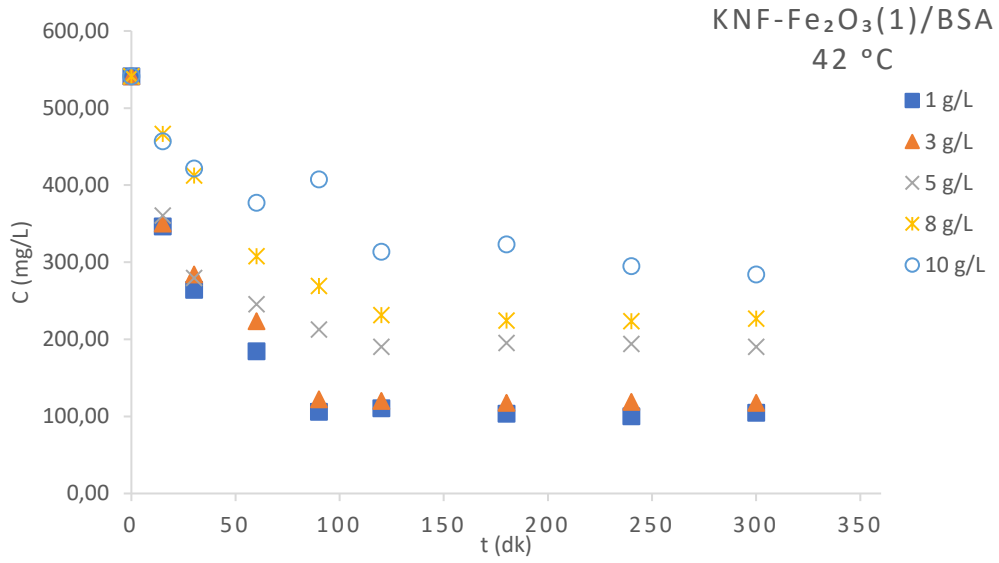
**Şekil 5.31** 42 °C Sıcaklıktaki KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C,  $m_{ads}$ : 0.2-1.2 g/L, V: 0.10 L).

#### 5.2.4. KNF- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) üzerine BSA Adsorpsiyonunda Adsorbent Miktarının Etkisi

BSA çözeltilerinin KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) üzerine adsorpsiyonunda sıvı fazdaki protein derişiminin zamana göre değişimleri değişimleri sırasıyla Şekil 5.32 ve Şekil 5.33'te verilmiştir. KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) için elde edilen sonuçlara bakıldığında, farklı sıcaklık ortamlarında gerçekleştirilen deneylerde adsorpsiyon süresince BSA derişiminin düzenli bir şekilde değişim gösterdiği ve adsorpsiyonun yaklaşık 300 dakika içinde dengeye ulaştığı gözlenmektedir. Fakat diğer malzemelerden farklı olarak KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) miktarının artırılmasının adsorpsiyon miktarını azalttığı gözlenmektedir.



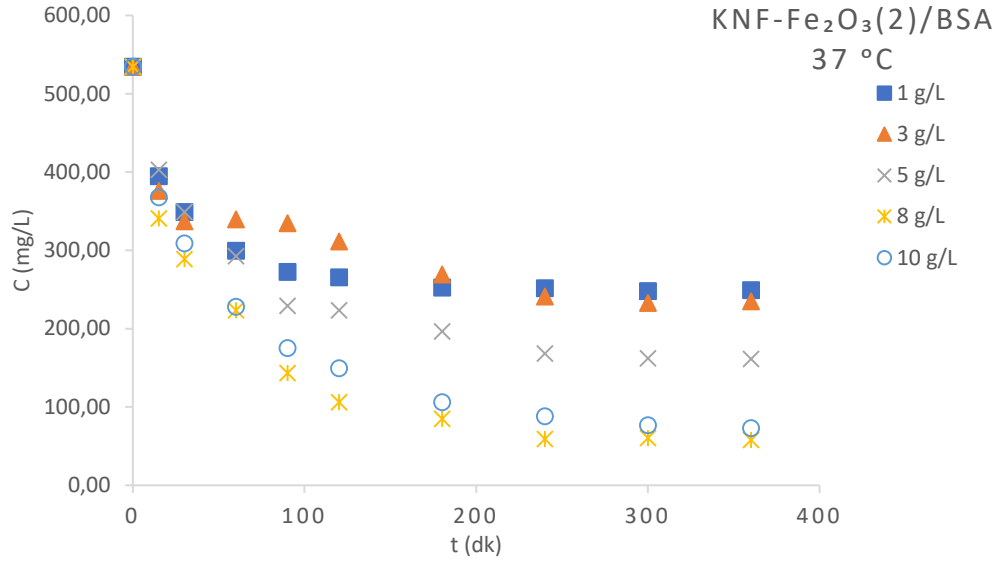
**Şekil 5.32** 37 °C Sıcaklıktaki KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, m<sub>ads</sub>: 1.0-10.0 g/L, V: 0.10 L).



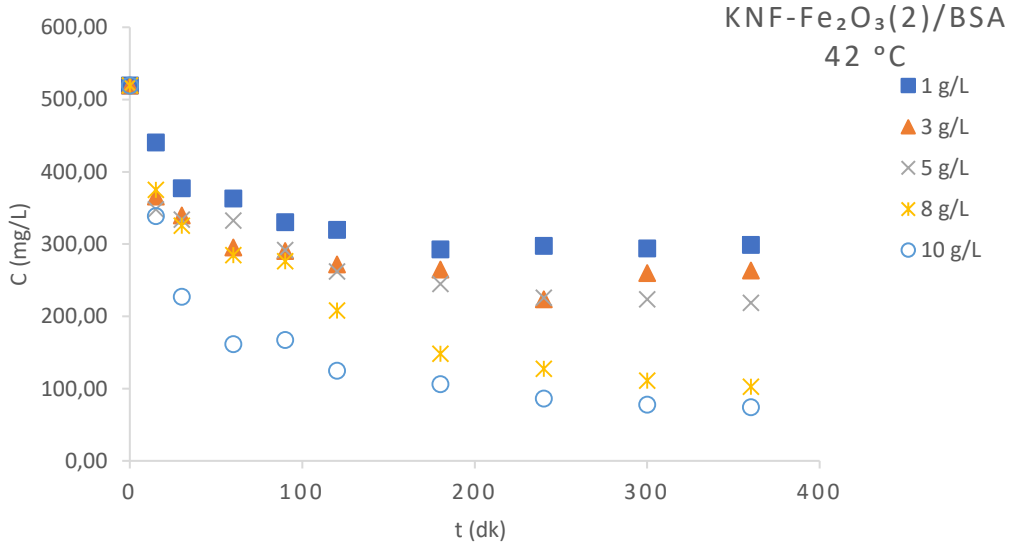
**Şekil 5.33** 42 °C Sıcaklıktaki KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C, m<sub>ads</sub>: 1.0-10.0 g/L, V: 0.10 L).

#### 5.2.5. KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) üzerine BSA Adsorpsiyonunda Adsorbent Miktarının Etkisi

BSA çözeltilerinin KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) üzerine adsorpsiyonunda sıvı fazdaki protein derişiminin zamana göre değişimleri sırasıyla Şekil 5.34 ve Şekil 5.35'te verilmiştir. KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) için elde edilen sonuçlarda, farklı sıcaklık ortamlarında gerçekleştirilen deneylerde adsorpsiyon süresince BSA derişiminin düzenli bir şekilde değişim gösterdiği ve adsorpsiyonun yaklaşık 360 dakika içinde dengeye ulaştığı gözlenmektedir. Adsorbent miktarının arttırılmasının adsorpsiyon miktarını da arttırdığı gözlenmektedir.



**Şekil 5.34** 37 °C Sıcaklıktaki KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, m<sub>ads</sub>: 1.0-10.0 g/L, V: 0.10 L).

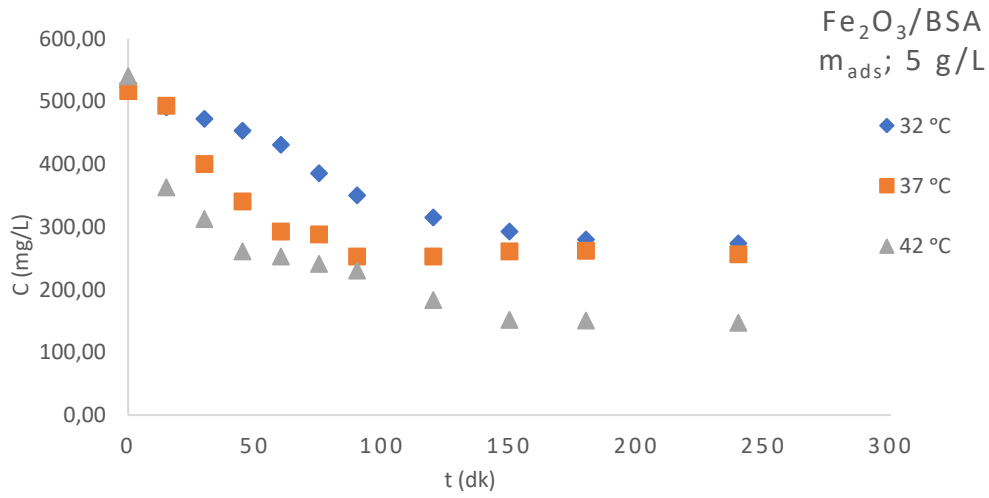


**Şekil 5.35** 42 °C Sıcaklıktaki KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C, m<sub>ads</sub>: 1.0-10.0 g/L, V: 0.10 L).

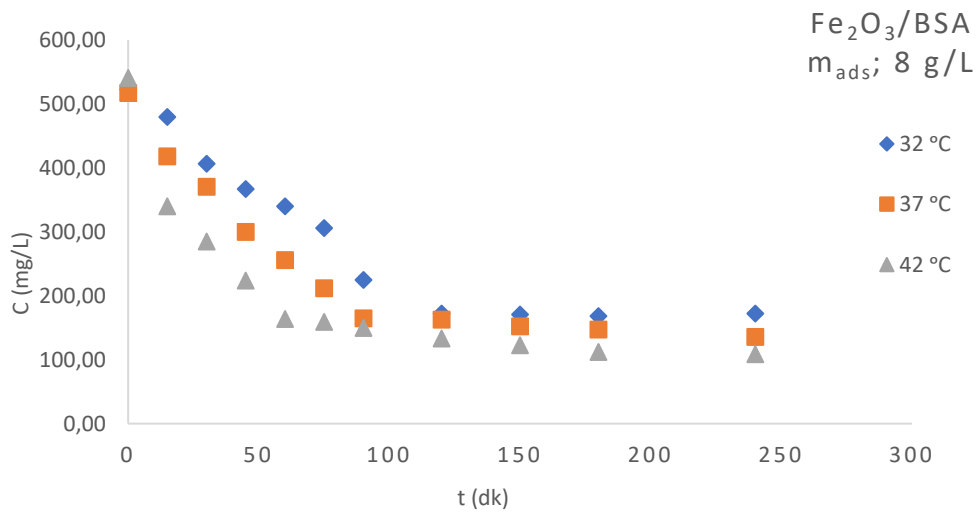
### 5.3. BSA ADSORPSİYONU ÜZERİNDE SICAKLIK ETKİSİ

#### 5.3.1. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıcaklık Etkisi

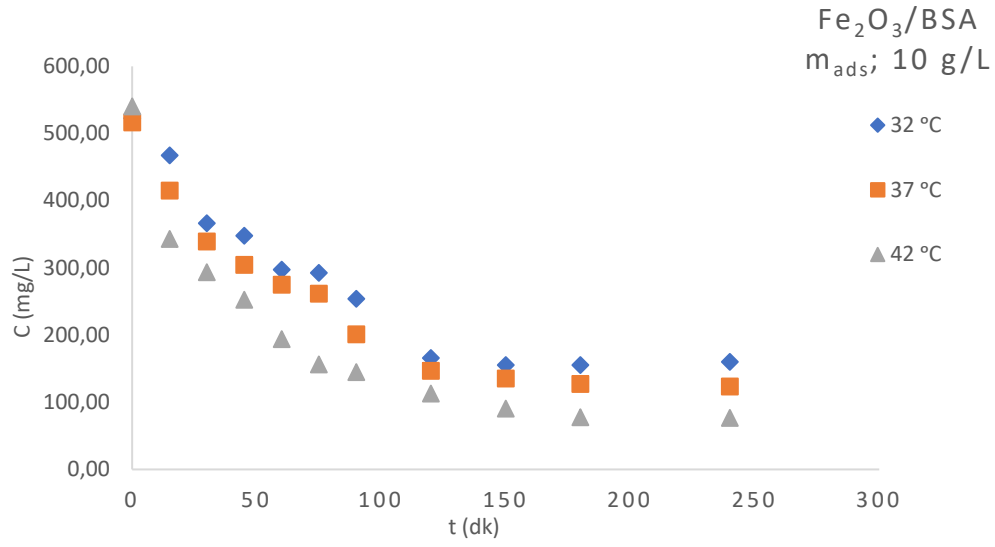
Farklı sıcaklıkta aynı adsorbent miktarında çizilen grafikler (Şekil5.36-40'da) incelendiğinde sıcaklık arttıkça sıvı fazdaki protein derişiminin azaldığı yani sıcaklık arttıkça adsorplama miktarının da arttığı görülmüştür. Malzemelerin farklı sıcaklıktaki dengeye gelme durumları incelendiğinde adsorbent miktarları ne olursa olsun 32 ve 37 °C sıcaklıkta sıvı fazın derişimin birbirine yakın değerlerde olduğu görülmüştür.



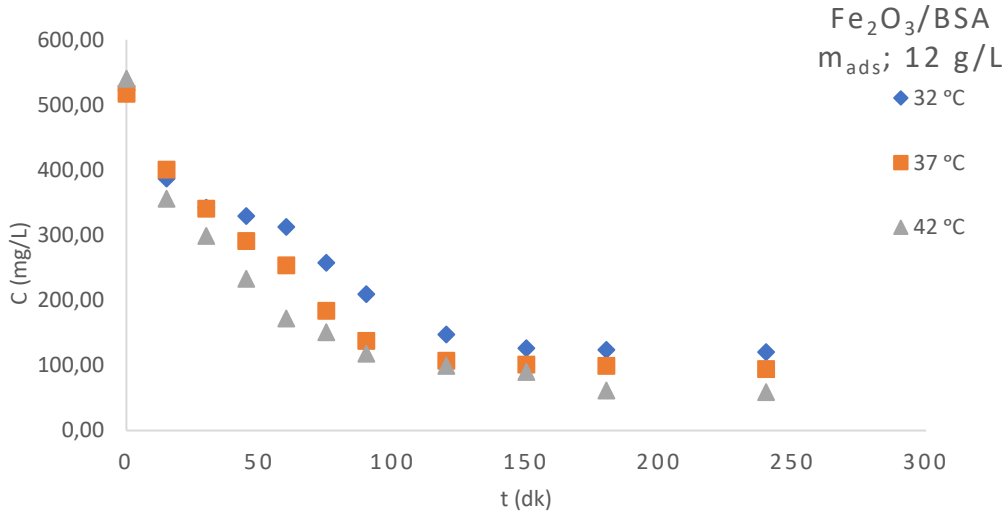
Şekil 5.36 Farklı Sıcaklıklarda Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, m<sub>ads</sub>: 5 g/L, V: 0.10).



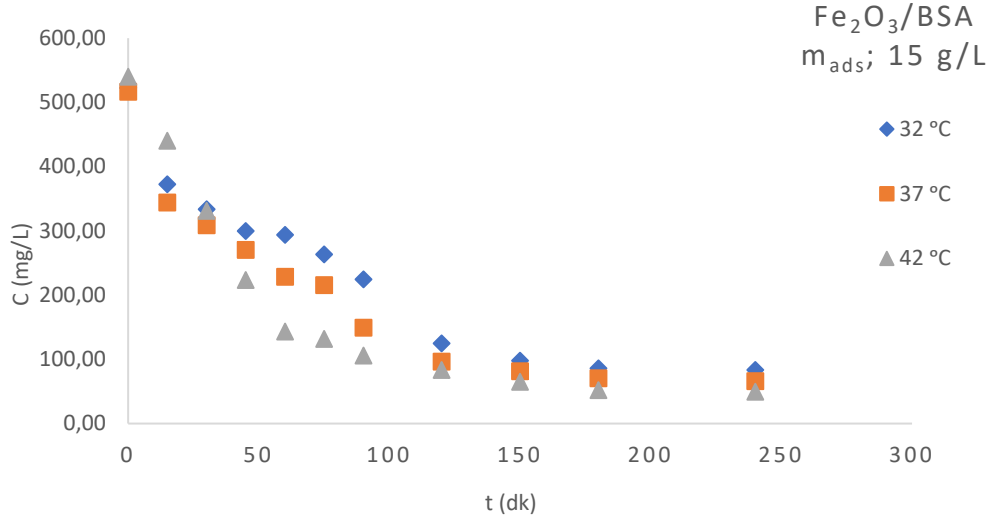
Şekil 5.37 Farklı Sıcaklıklarda Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, m<sub>ads</sub>: 8 g/L, V: 0.10).



**Şekil 5.38** Farklı Sıcaklıklarda Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, m<sub>ads</sub>: 10 g/L, V: 0.10).



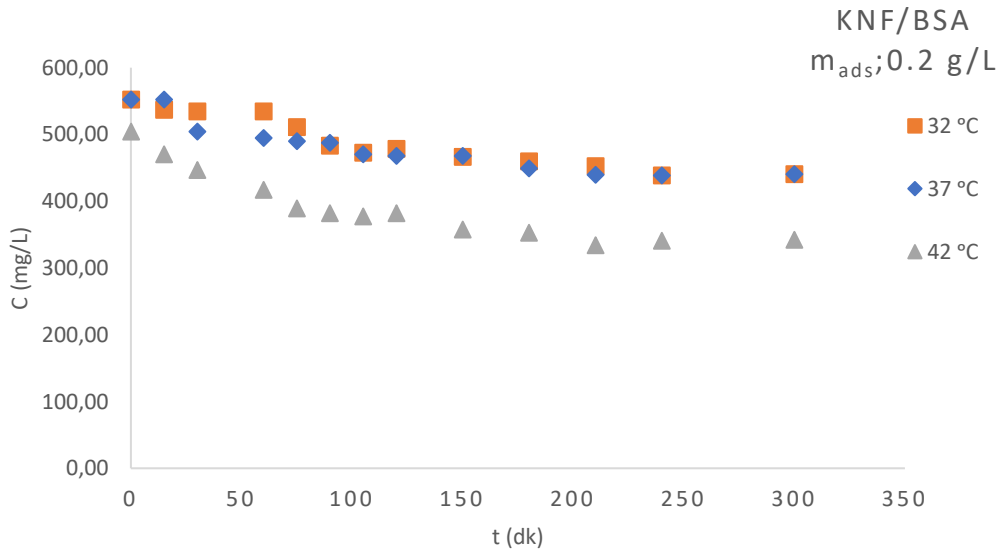
**Şekil 5.39** Farklı Sıcaklıklarda Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, m<sub>ads</sub>: 12 g/L, V: 0.10).



**Şekil 5.40** Farklı Sıcaklıklarda Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, m<sub>ads</sub>: 15 g/L, V: 0.10).

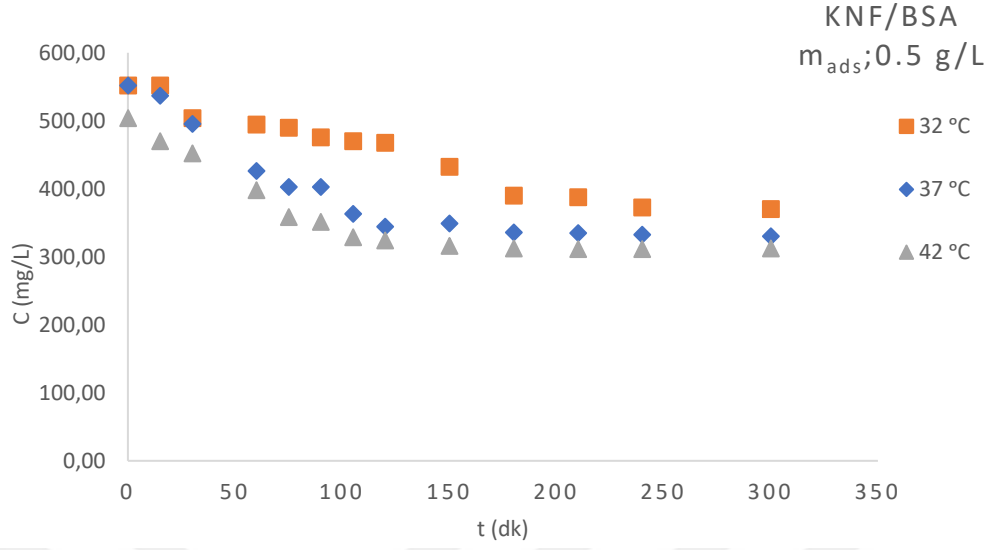
### 5.3.2. KNF üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıcaklık Etkisi

KNF için elde edilen sonuçlara bakıldığında (Şekil 5.41- Şekil 5.44), sıcaklık arttıkça sıvı fazdaki protein derişiminin azaldığı yani sıcaklık arttıkça adsorplama miktarının da arttığı görülmüştür. 32 °C sıcaklıkta yapılan adsorpsiyon işleminde diğer sıcaklıklara göre sıvı fazdaki derişim değişikliği azdır. Buna göre bu sıcaklıkta (32 °C) adsorplama miktarının az olduğu anlaşılmaktadır.

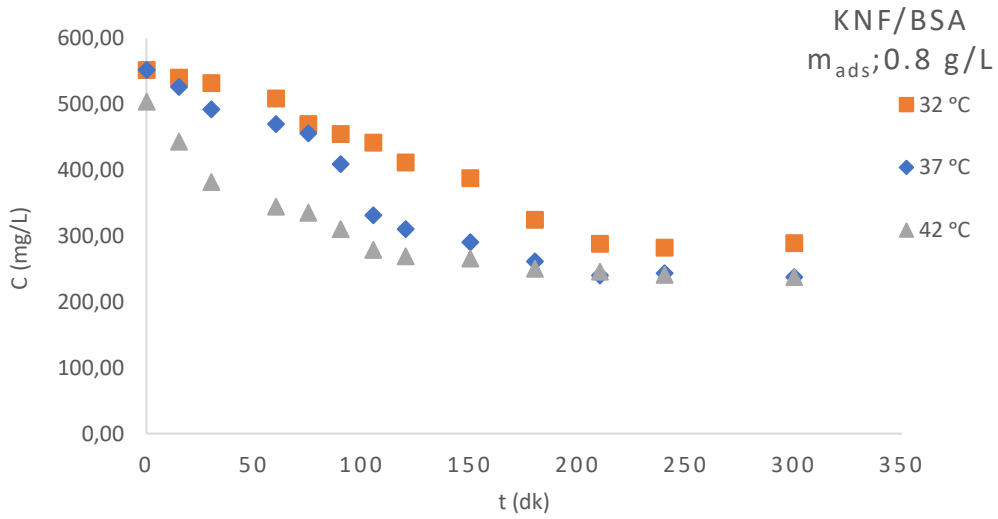


**Şekil 5.41** Farklı Sıcaklıklarda KNF üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, m<sub>ads</sub>: 0.2 g/L, V: 0.10).

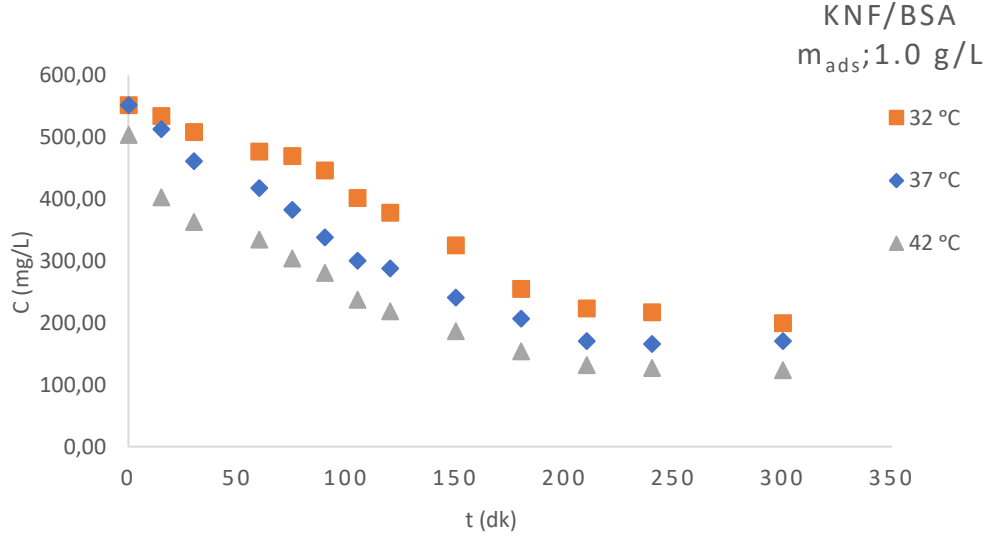




**Şekil 5.42** Farklı Sıcaklıklarda KNF üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi ( $C_0:500 \text{ mg/L}$ ,  $\text{pH}: 4.5$ ,  $m_{ads}: 0.5 \text{ g/L}$ ,  $V: 0.10$ ).



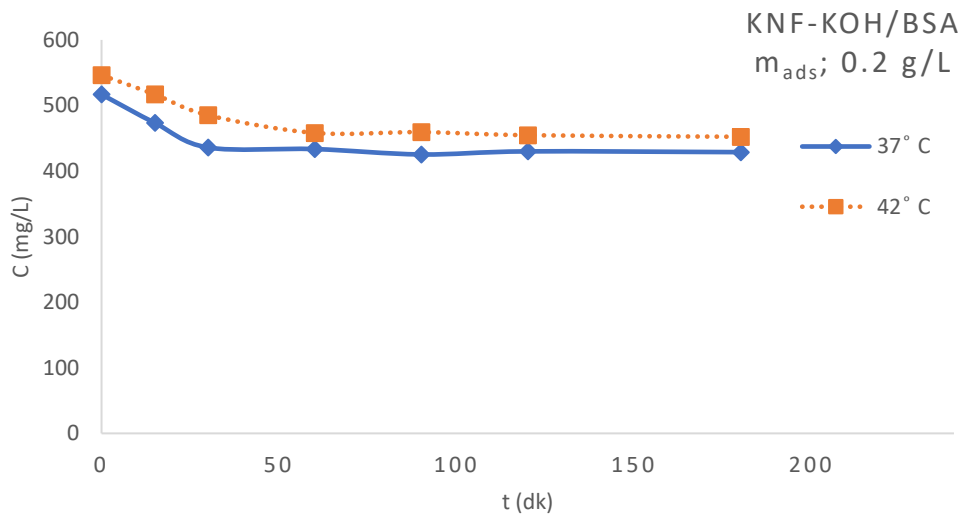
**Şekil 5.43** Farklı Sıcaklıklarda KNF üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi ( $C_0:500 \text{ mg/L}$ ,  $\text{pH}: 4.5$ ,  $m_{ads}: 0.8 \text{ g/L}$ ,  $V: 0.10$ ).



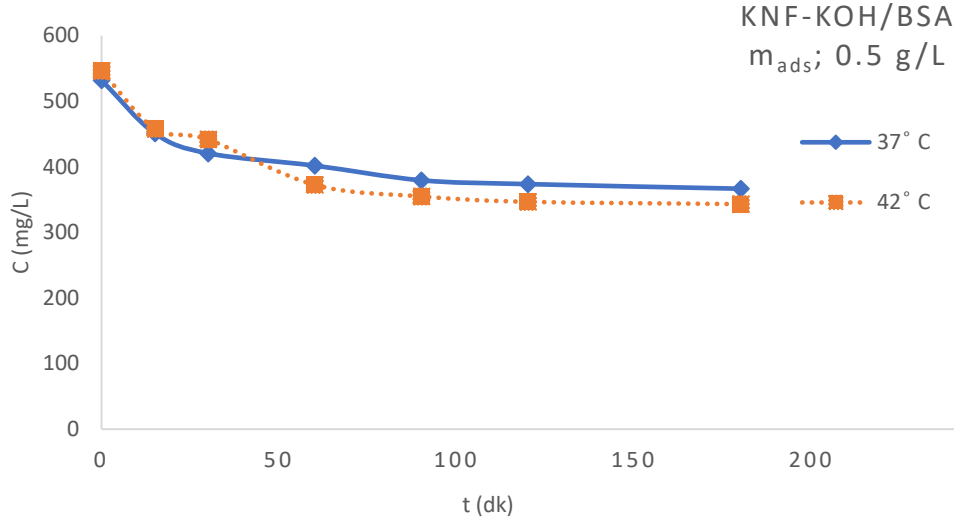
**Şekil 5.44** Farklı Sıcaklıklarda KNF üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5,  $m_{ads}$ : 1.0 g/L, V: 0.10).

### 5.3.3. KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıcaklık Etkisi

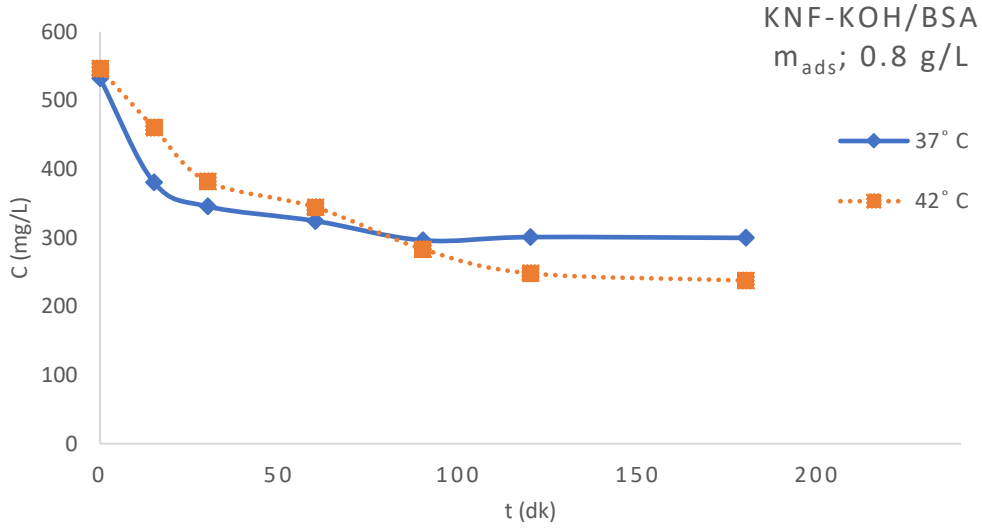
Aynı adsorbent miktarında farklı sıcaklıkta çizilen grafikler (Şekil5.45- Şekil5.50) incelendiğinde BSA içinde KNF-KOH adsorbentinin sıcaklık artışı ile adsorpsiyon arasında anlamlı bir ilişki olmadığı görülmüştür. 37 ve 42 °C sıcaklıklarda adsorplanan malzeme miktarının birbirine çok yakın olduğu görülmektedir.



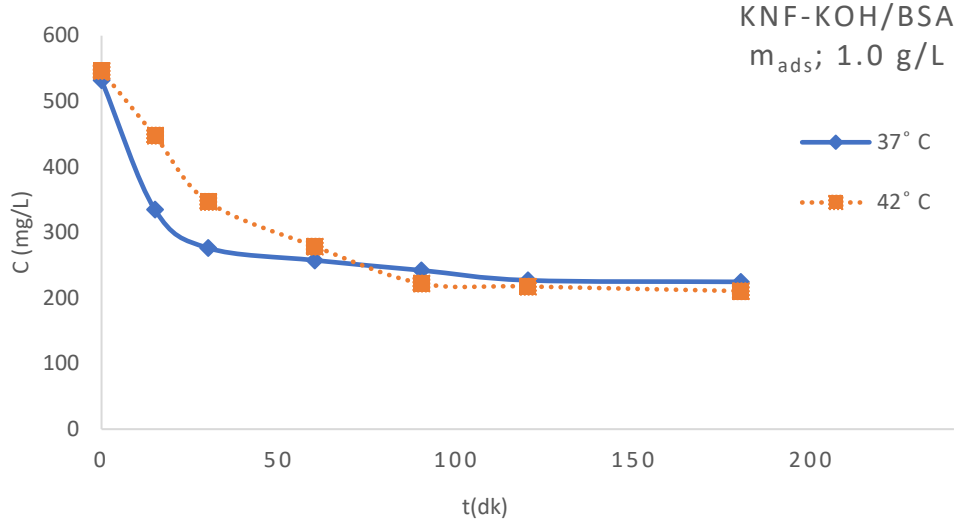
**Şekil 5.45** Farklı Sıcaklıklarda KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5,  $m_{ads}$ : 0.2 g/L, V: 0.10).



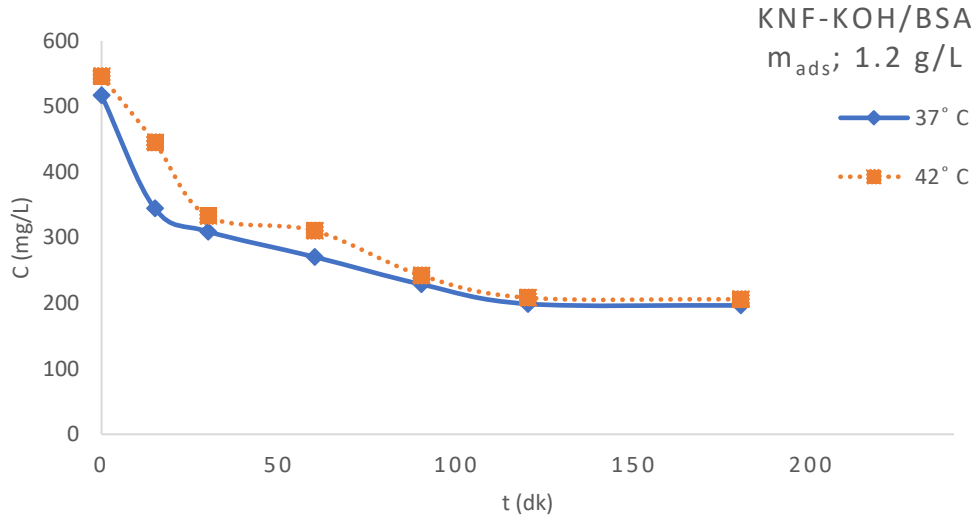
**Şekil 5.46** Farklı Sıcaklıklarda KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5,  $m_{ads}$ : 0.5 g/L, V: 0.10).



**Şekil 5.47** Farklı Sıcaklıklarda KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5,  $m_{ads}$ : 0.8 g/L, V: 0.10).



**Şekil 5.48** Farklı Sıcaklıklarda KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, m<sub>ads</sub>: 1.0 g/L, V: 0.10).

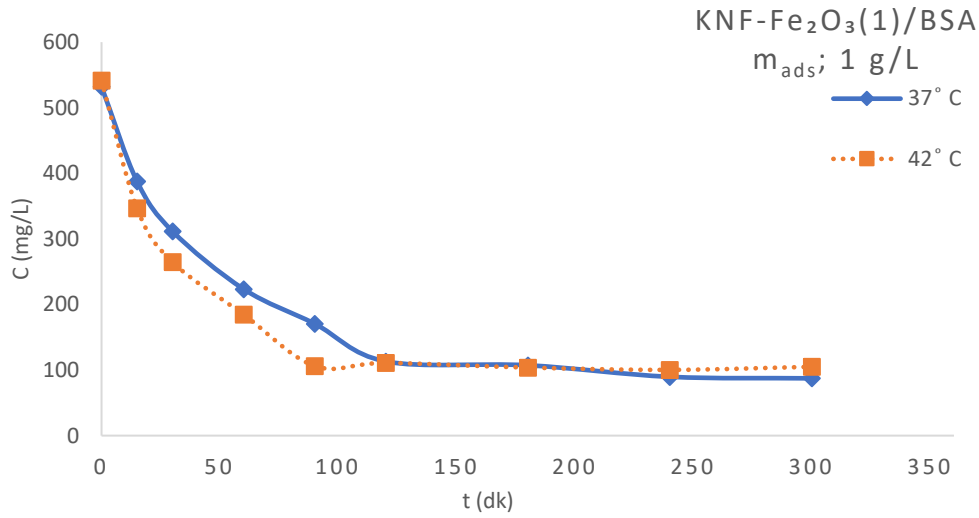


**Şekil 5.49** Farklı Sıcaklıklarda KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, m<sub>ads</sub>: 1.2 g/L, V: 0.10).

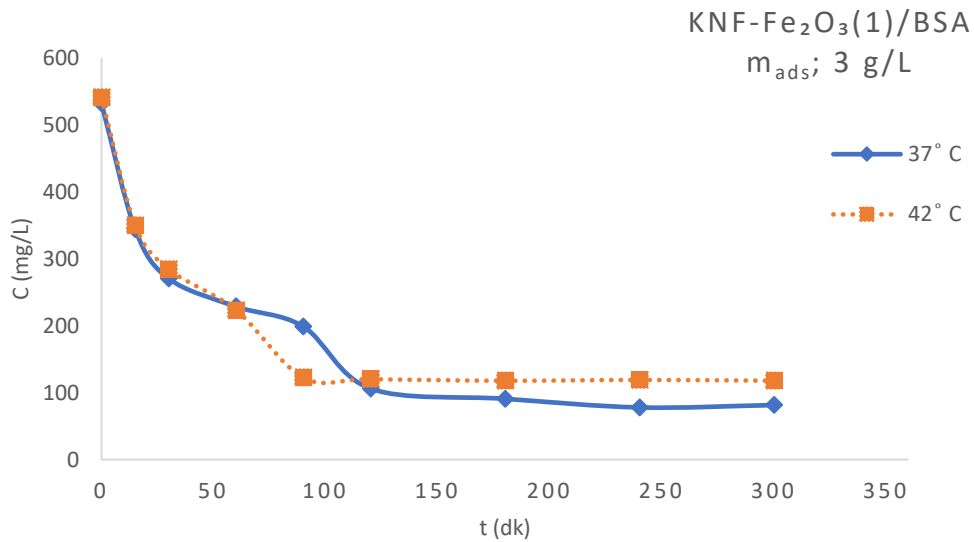
#### 5.3.4. KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) üzerine BSA adsorpsiyonunda sıcaklık etkisi

Aynı adsorbent miktarında farklı sıcaklıkta çizilen grafikler (Şekil5.50- Şekil5.55) incelendiğinde BSA içinde KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) adsorbentinin sıcaklık artışı ile adsorpsiyon arasında

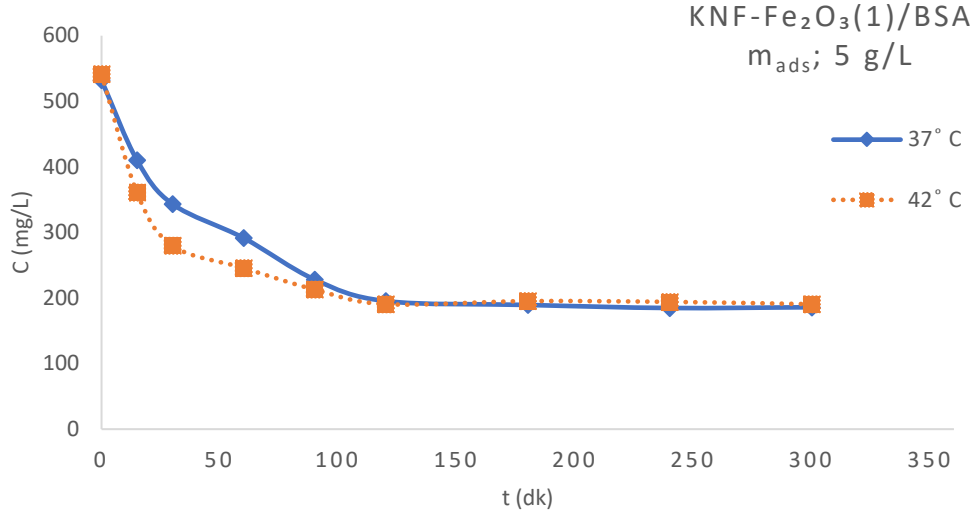
anlamli bir iliŖki olmadığı grlmŖtir. 37 ve 42 °C sıcaklıklarda çizilen eğrilerin neredeyse akıŖık olduğu grlmŖtir.



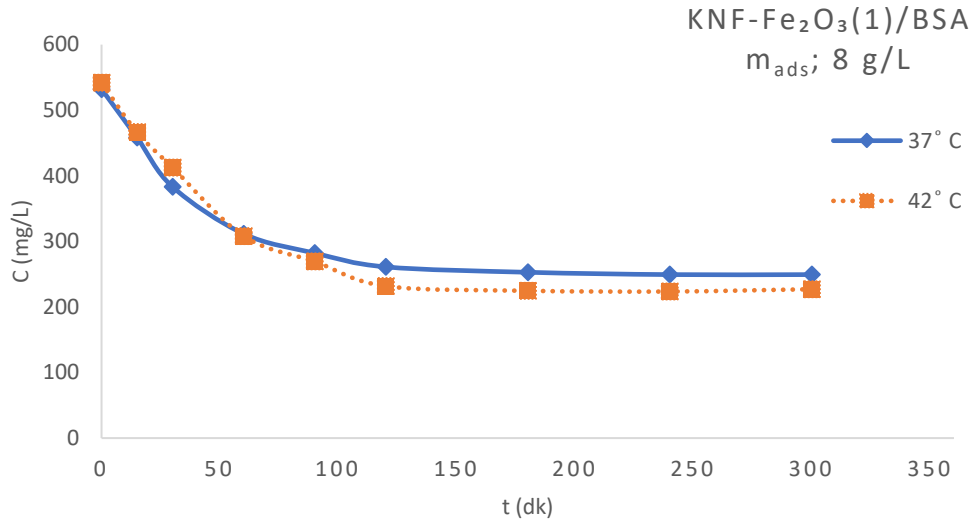
**Ŗekil 5.50** Farklı Sıcaklıklarda KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) zerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein DeriŖiminin Zamana Bağlı DeđiŖimi (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, m<sub>ads</sub>: 1.0 g/L, V: 0.10).



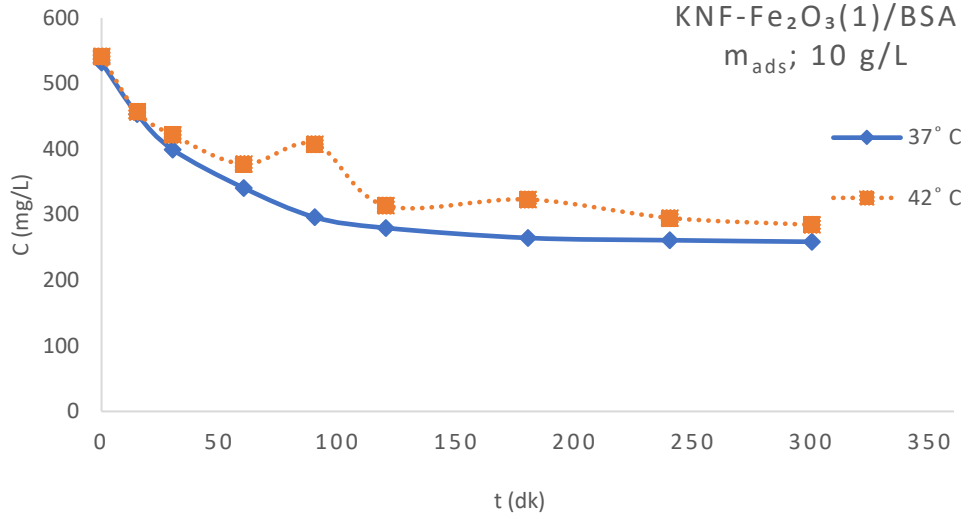
**Ŗekil 5.51** Farklı Sıcaklıklarda KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) zerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein DeriŖiminin Zamana Bağlı DeđiŖimi (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, m<sub>ads</sub>: 3.0 g/L, V: 0.10).



**Şekil 5.52** Farklı Sıcaklıklarda KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, m<sub>ads</sub>: 5.0 g/L, V: 0.10).



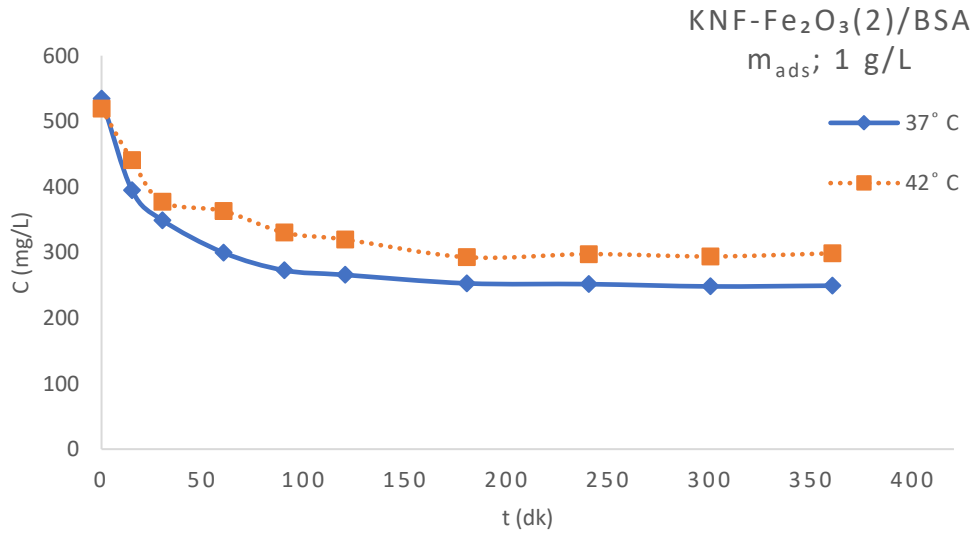
**Şekil 5.53** Farklı Sıcaklıklarda KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, m<sub>ads</sub>: 8.0 g/L, V: 0.10).



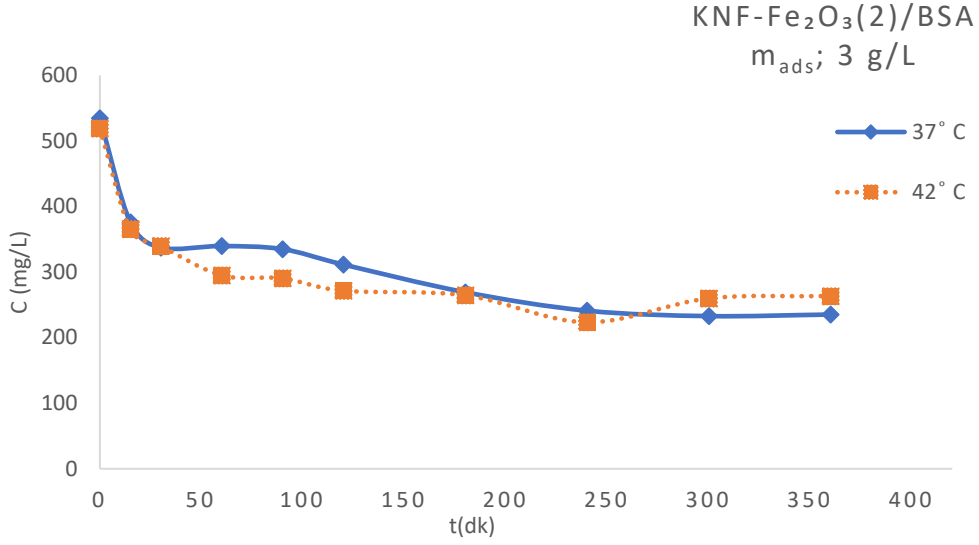
**Şekil 5.54** Farklı Sıcaklıklarda KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, m<sub>ads</sub>: 10.0 g/L, V: 0.10).

### 5.3.5. KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıcaklık Etkisi

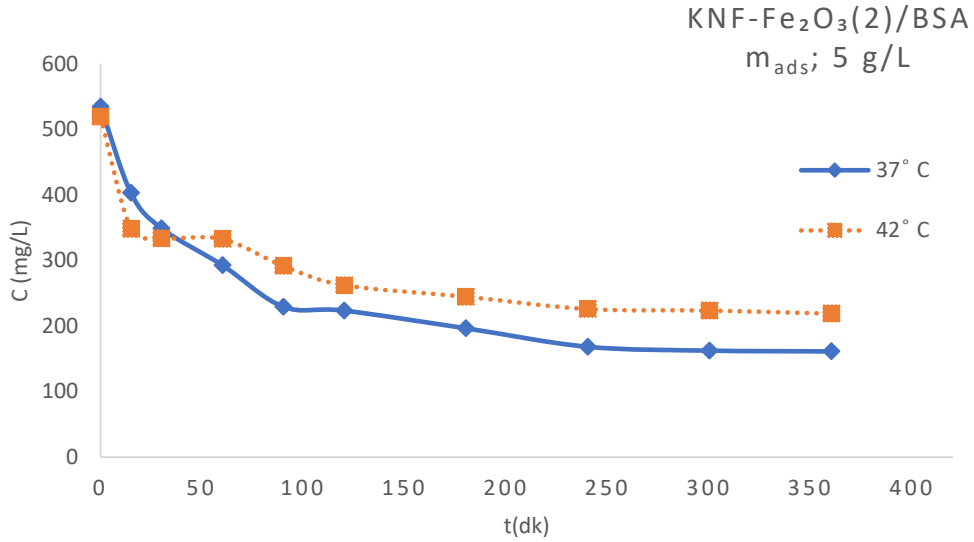
KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) için elde edilen grafiklere (Şekil5.55-Şekil5.59) bakıldığında, sıcaklık arttıkça sıvı fazdaki protein derişiminin arttığı gözlenmiştir. Eğriler birbirine yakındır, fakat sıcaklık arttıkça adsorplama miktarının da azaldığı görülmüştür.



**Şekil 5.55** Farklı Sıcaklıklarda KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, m<sub>ads</sub>: 1.0 g/L, V: 0.10).

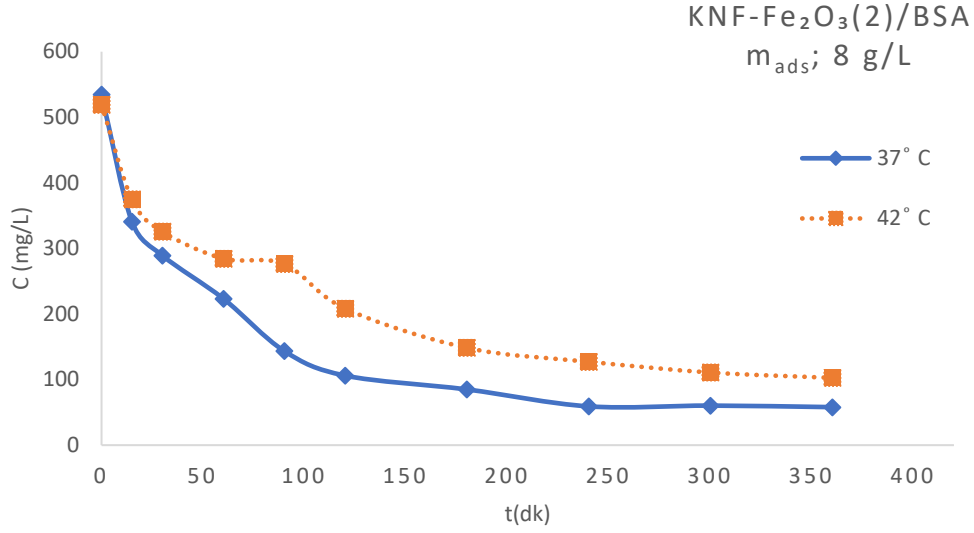


**Şekil 5.56** Farklı Sıcaklıklarda KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, m<sub>ads</sub>: 3.0 g/L, V: 0.10).

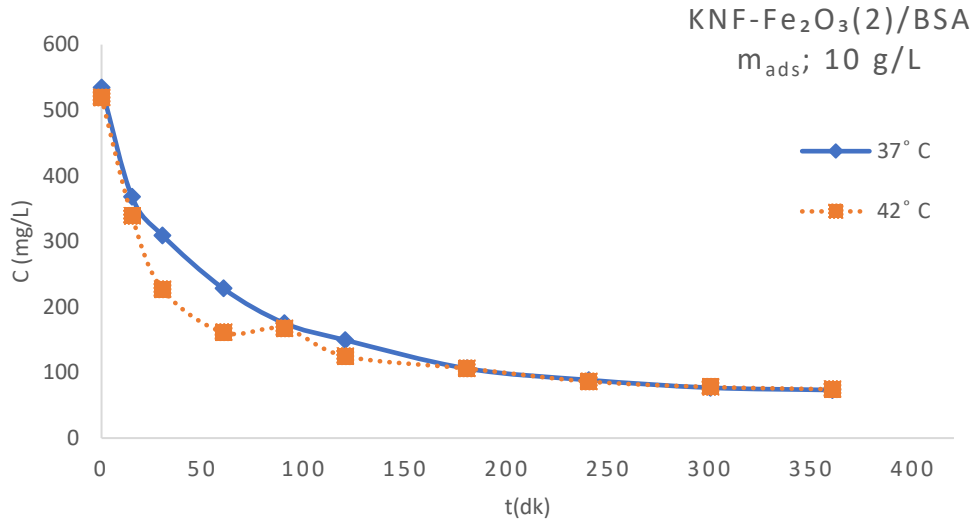


**Şekil 5.57** Farklı Sıcaklıklarda KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, m<sub>ads</sub>: 5.0 g/L, V: 0.10).





**Şekil 5.58** Farklı Sıcaklıklarda KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, m<sub>ads</sub>: 8.0 g/L, V: 0.10).



**Şekil 5.59** Farklı Sıcaklıklarda KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) üzerine BSA Adsorpsiyonunda Sıvı Fazdaki Protein Derişiminin Zamana Bağlı Değişimi (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, m<sub>ads</sub>: 10.0 g/L, V: 0.10).

#### 5.4. BSA ADSORPSİYON İZOTERMLERİ

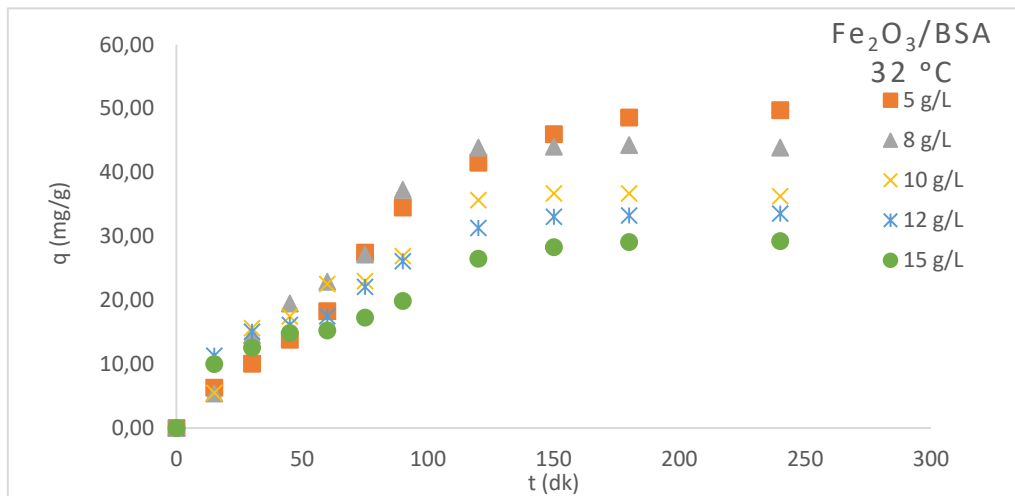
DeneySEL çalışmalarla farklı adsorbent miktarları ve farklı sıcaklıkta elde edilen sulu çözeltilerde protein derişiminin zamana karşı değişimlerinden, sulu çözeltide kalan dengeki

protein derişimi  $C_e$  ve dengedeki adsorbent üzerinde adsorplanan proteinin zamana içindeki değişiminden  $q_e$  değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen veriler grafiğe geçirilerek, her sıcaklık değeri için adsorpsiyon izoterm elde edilmiştir. Deneysel adsorpsiyon izotermi, çeşitli izoterm modelleri ile karşılaştırılarak, modellerle uyumu ve model parametreleri belirlenmiştir.

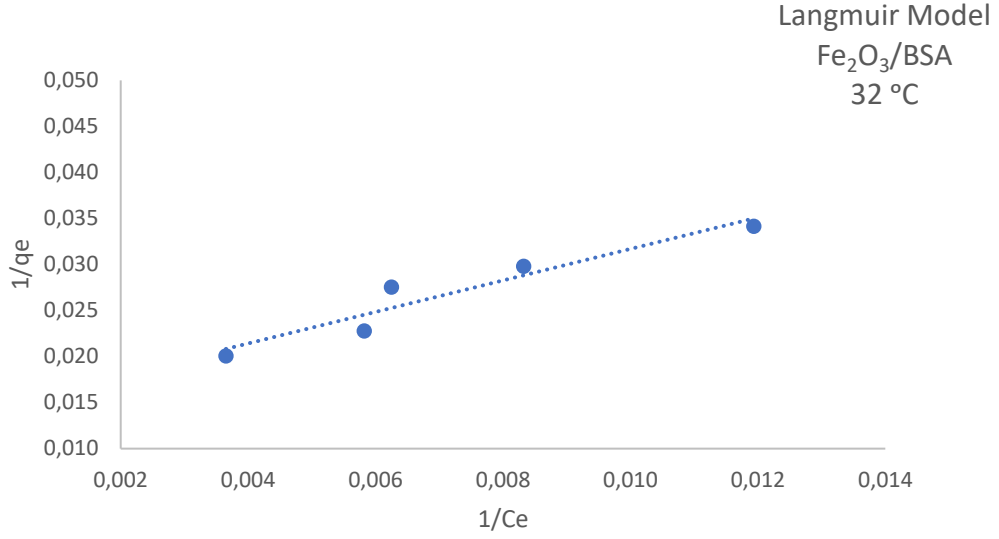
#### 5.4.1. $Fe_2O_3$ üzerine BSA Adsorpsiyonunun İzoterm Modelleri

Farklı sıcaklık ve farklı madde miktarlarında yapılan çalışmalar neticesinde  $Fe_2O_3$  üzerine BSA adsorpsiyonu için sırasıyla Şekil 5.61 ve Şekil 5.62; Şekil 5.64 ve Şekil 5.65; Şekil 5.67-Şekil 5.68' de görülen Freundlich ve Langmuir izoterm modelleri çizilmiştir. Bu izoterm modellerine ait parametreler bulunmuştur. Çizelge 5.1'deki veriler incelendiğinde Langmuir izoterm modeline göre maksimum adsorplama kapasitesi olan  $Q_0$  sıcaklık arttıķa artmıştır. 42 °C sıcaklıkta maksimum adsorplama kapasitesi 166 mg/g, korolasyon sabiti 0.97 olarak bulunmuştur. Langmuir ve Freundlich izoterm modelleri karşılaştırılacak olursa, korolasyon sabitleri her iki modelde de 0.90 üzerindedir. Kullanılan deneysel Şartlar altında  $Fe_2O_3$  üzerine BSA adsorpsiyonu için her iki izoterm modelinin de uygun olabileceği düşünülmektedir. Literatürde Kopaç and Bozgeyik (2010) tarafından yapılan çalışmada  $TiO_2$  üzerine BSA adsorpsiyonu yapılmıştır ve  $TiO_2$ 'nin adsorpsiyon kapasitesi pH 4 ve 20, 30 ve 40 C sıcaklıklarda sırasıyla 35.8, 40.0 ve 42.6 mg/g bulunmuştur. Buda BSA adsorpsiyon prosesinde  $Fe_2O_3$ 'in  $TiO_2$ 'ye göre daha yüksek adsorplama kapasitesi olduğunu göstermektedir. Ayrıca her iki oksitin de sıcaklık artışı ile adsorpsiyon kapasitesinin arttığı grlmştir.

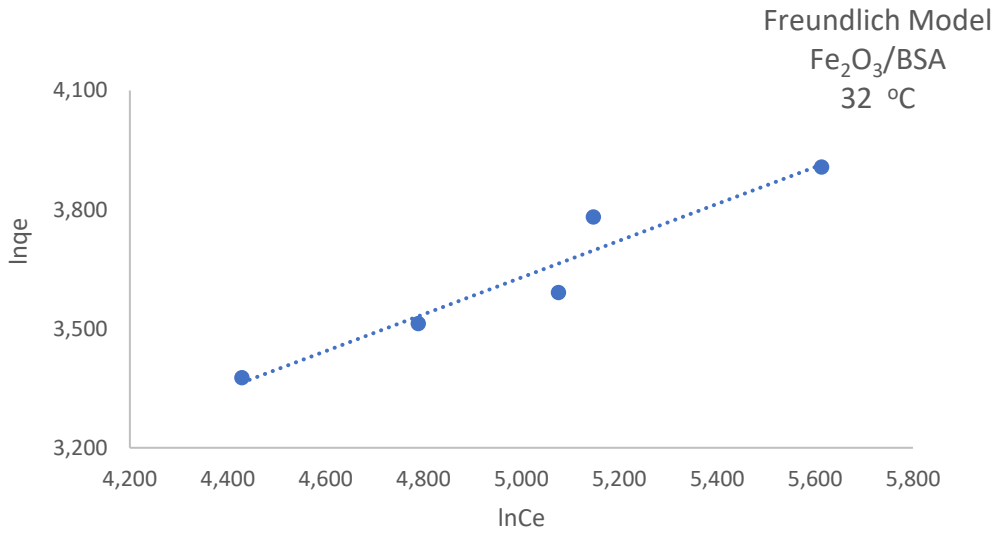
#### 32 °C Sıcaklıktaki $Fe_2O_3$ üzerine BSA Adsorpsiyonunun İzoterm Modelleri



Şekil 5.60  $Fe_2O_3$ /BSA Adsorpsiyonu için Deneysel İzoterm Eğrileri ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 32 °C,  $m_{ads}$ : 2-15 g/L, V: 0.10).

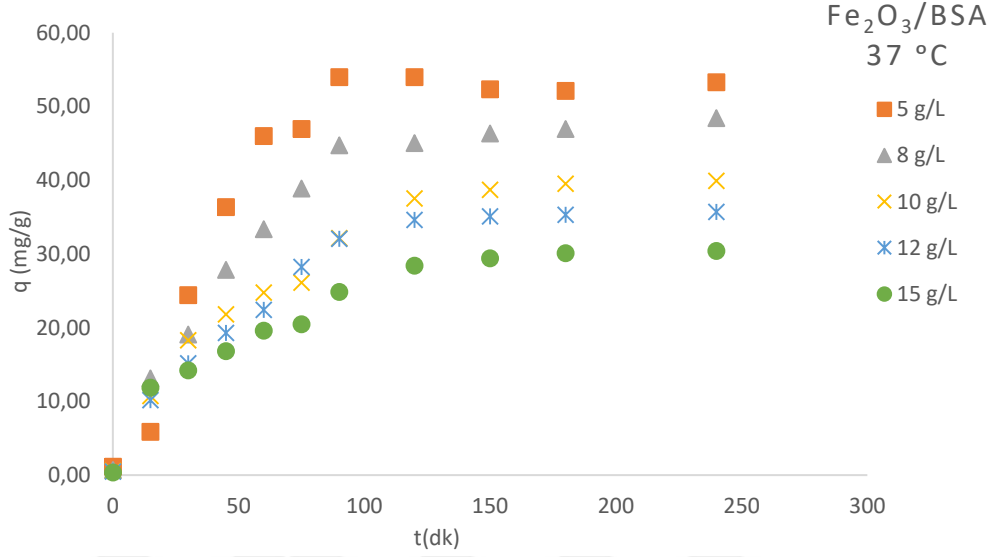


**Şekil 5.61** Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonu için Langmuir İzoterm Modeli (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, T: 32 °C, m<sub>ads</sub>: 5-15 g/L, V: 0.10 L).

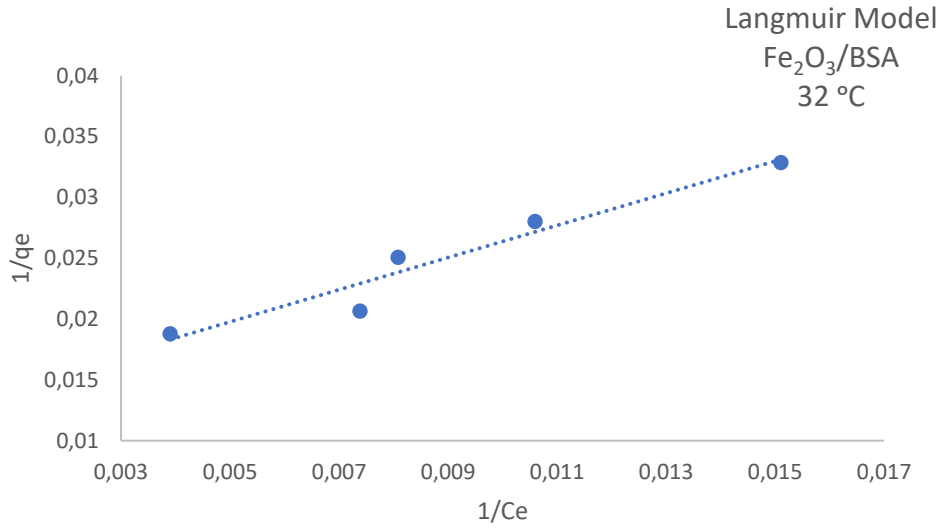


**Şekil 5.62** Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonu için Freundlich İzoterm Modeli (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, T: 32 °C, m<sub>ads</sub>: 5-15 g/L, V: 0.10 L).

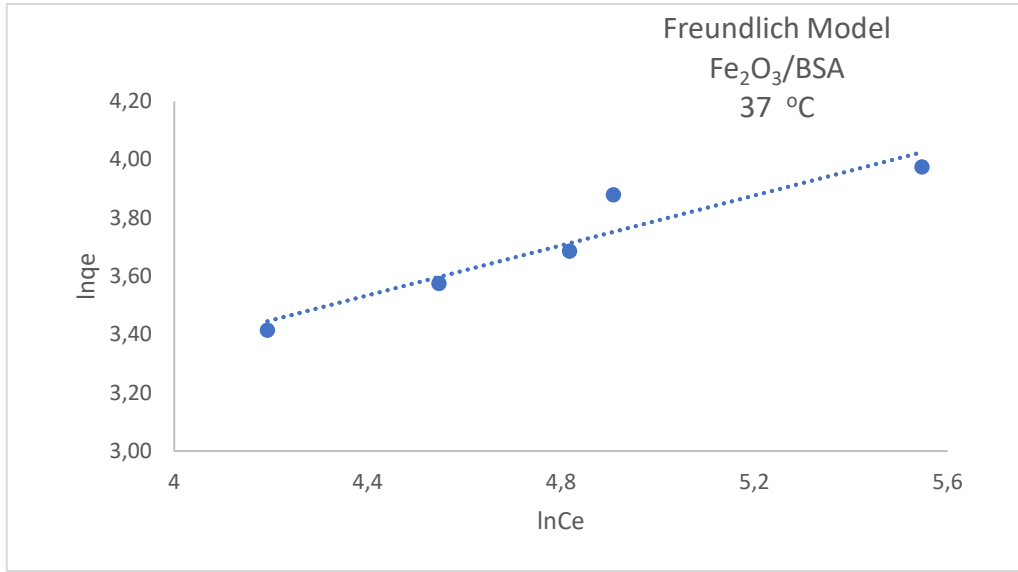
### 37 °C Sıcaklıktaki Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonunun İzoterm Modelleri



Şekil 5.63 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/BSA Adsorpsiyonu için Deneysel İzoterm Eğrileri (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, m<sub>ads</sub>: 2-15 g/L, V: 0.10).

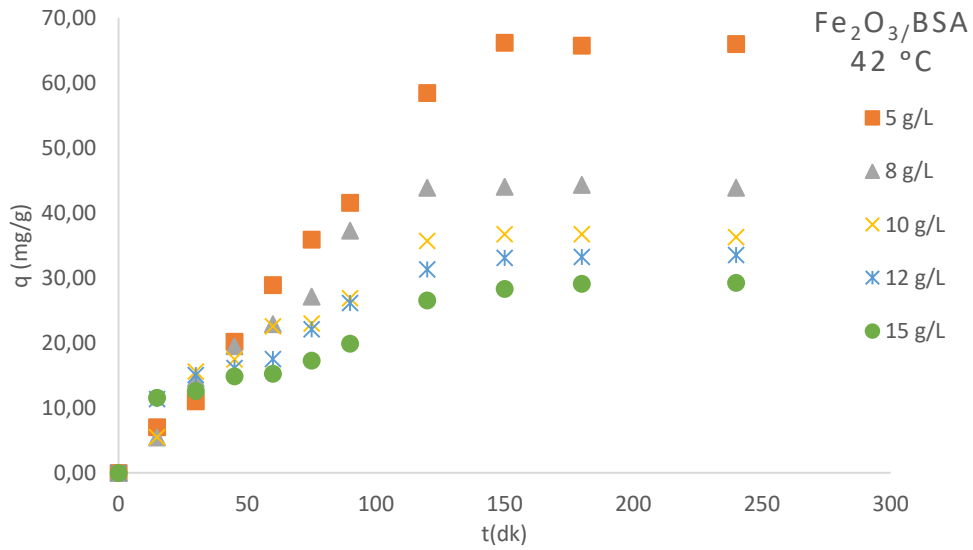


Şekil 5.64 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonu için Langmuir İzoterm Modeli (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, m<sub>ads</sub>: 5-15 g/L, V: 0.10 L).

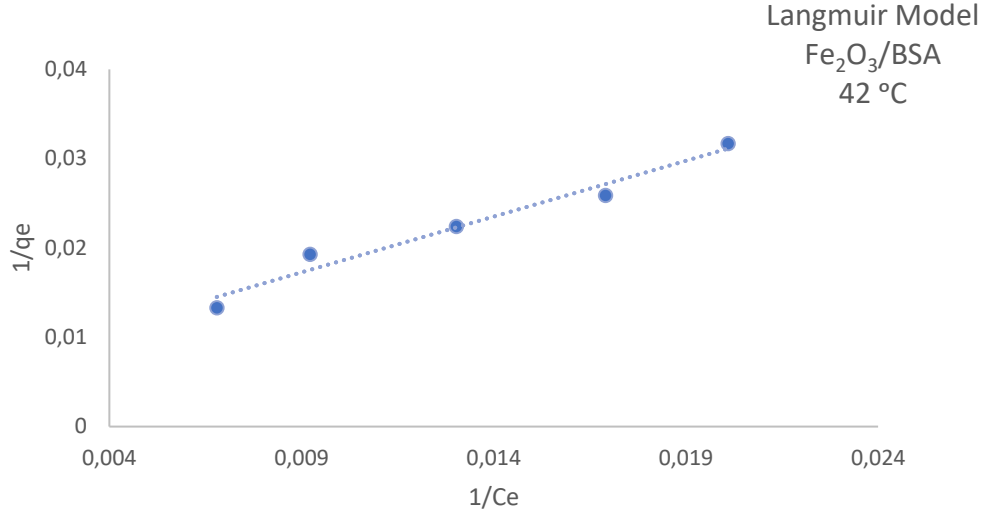


Şekil 5.65 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonu için Freundlich İzoterm Modeli (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, m<sub>ads</sub>: 5-15 g/L, V: 0.10 L).

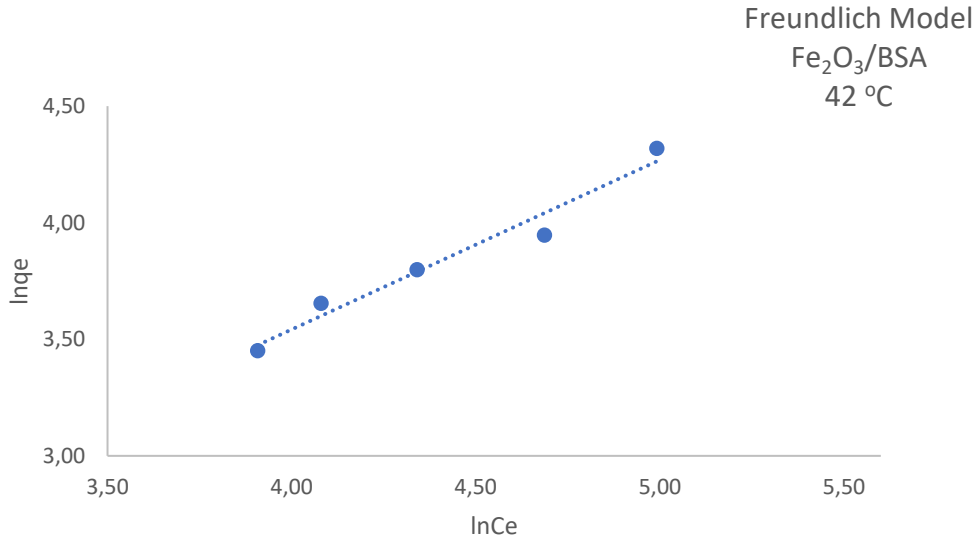
#### 42 °C Sıcaklıktaki Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerine BSA adsorpsiyonunun İzoterm Modelleri



Şekil 5.66 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/BSA Adsorpsiyonu için Deneysel İzoterm Eğrileri (C<sub>0</sub>:500 mg/L; pH: 4.5, T: 42 °C, m<sub>ads</sub>: 2-15 g/L; V: 0.10).



**Şekil 5.67** Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonu için Langmuir İzoterm Modeli (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C, m<sub>ads</sub>: 5-15 g/L, V: 0.10 L).



**Şekil 5.68** Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonu için Freundlich İzoterm Modeli (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C, m<sub>ads</sub>: 5-15 g/L, V: 0.10 L).

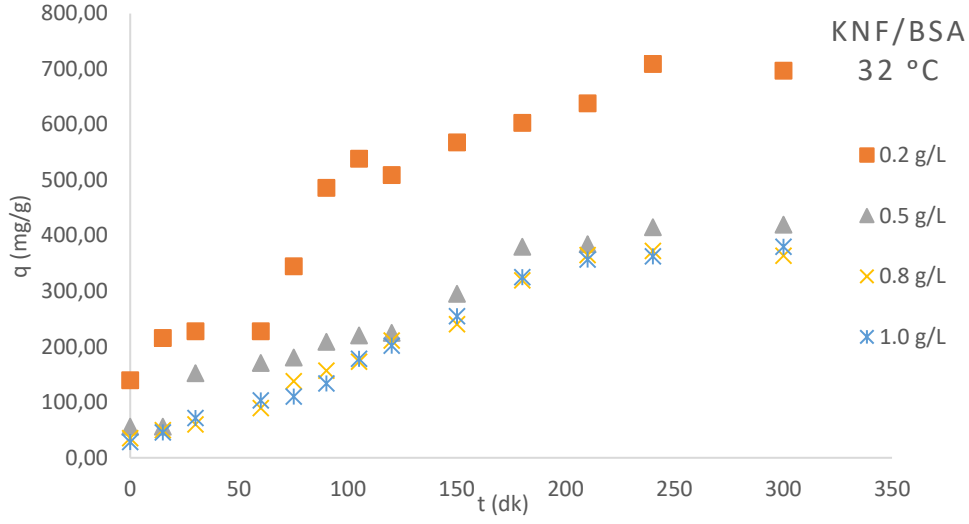
**Çizelge 5.2** Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/BSA Adsorpsiyonunda Elde Edilen İzoterm Model Parametreleri.

İzoterm Modelleri Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /BSA	pH: 4.5		
	32 °C	37 °C	42 °C
Langmuir	Q <sub>0</sub> : 68.49 b: 0.009 r <sup>2</sup> : 0.92	Q <sub>0</sub> :75.76 b: 0.01 r <sup>2</sup> : 0.94	Q <sub>0</sub> :166.67 b: 0.005 r <sup>2</sup> : 0.97
Freundlich	K <sub>f</sub> : 3.71 n: 2.16 r <sup>2</sup> : 0.93	K <sub>f</sub> : 5.21 n: 2.34 r <sup>2</sup> : 0.90	K <sub>f</sub> : 1.88 n: 1.37 r <sup>2</sup> : 0.96

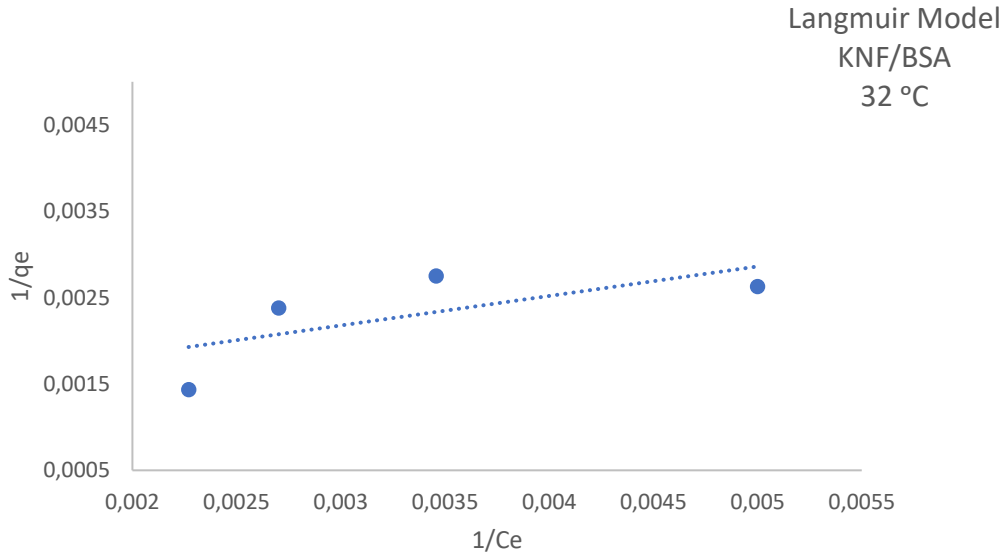
#### 5.4.2. KNF üzerine BSA Adsorpsiyonunun İzoterm Modelleri

Farklı sıcaklık ve farklı madde miktarlarında yapılan çalışmalar neticesinde KNF üzerine BSA adsorpsiyonu için sırasıyla Şekil 5.70 ve Şekil 5.71; Şekil 5.73 ve Şekil 5.74; Şekil 5.76 ve Şekil 5.77’de görülen Freundlich ve Langmuir izoterm modelleri çizilmiştir. Bu izoterm modellerine ait parametreler bulunmuştur. Çizelge 5.2’deki veriler incelendiğinde Langmuir izoterm modeline göre maksimum adsorplama kapasitesi olan Q<sub>0</sub> sıcaklık arttıkça azalmıştır. 32 °C, 37 °C ve 42 °C sıcaklıkta maksimum adsorplama kapasitesi 1428.9, 909.1 ve 714.3 mg/g bulunmuştur fakat korolasyon sabiti sırasıyla 0.64, 0.80 ve 0.25 olarak hesaplanmıştır. Kopaç et. al (2018) tarafından çift duvarlı karbon nanotüp (ÇDKNT) üzerine pH 4 ve 40 °C sıcaklıkta BSA adsorpsiyonu yapılmıştır. Bu çalışmada ÇDKNT’nin adsorpsiyon kapasitesi 1221 mg/g bulunmuştur. 32 °C ve 42 °C sıcaklıklarda yapılan denge deneylerinin Langmuir ve Freundlich izoterm modelleri için uygun olduğu düşünülmektedir. Kullanılan deneysel şartlar altında KNF üzerine BSA adsorpsiyonu için her iki izoterm modelinin de uygun olabileceği düşünülmektedir.

### 32 °C Sıcaklıktaki KNF üzerine BSA Adsorpsiyonunun İzoterm Modelleri

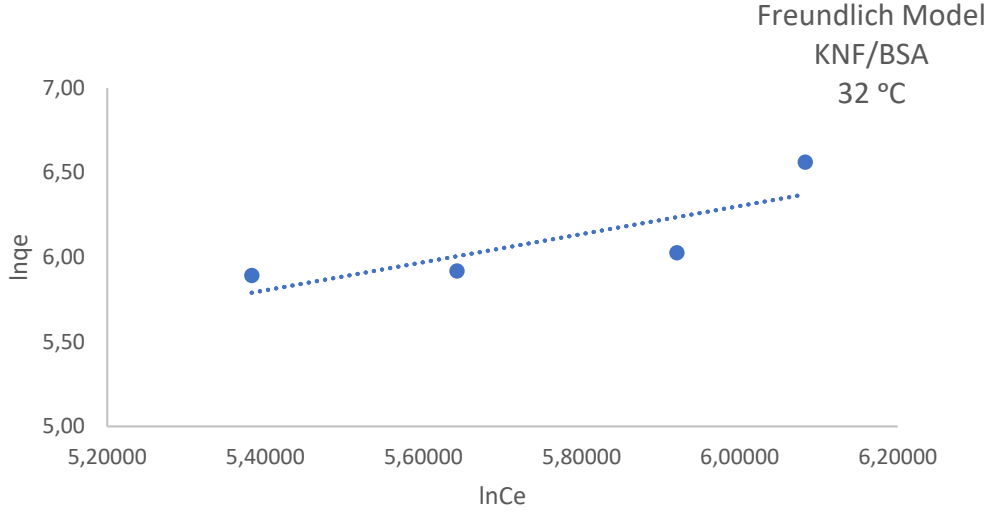


Şekil 5.69 KNF/BSA Adsorpsiyonu için Deneysel İzoterm Eğrileri ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 32 °C,  $m_{ads}$ : 0.2-1.0 g/L, V: 0.10).



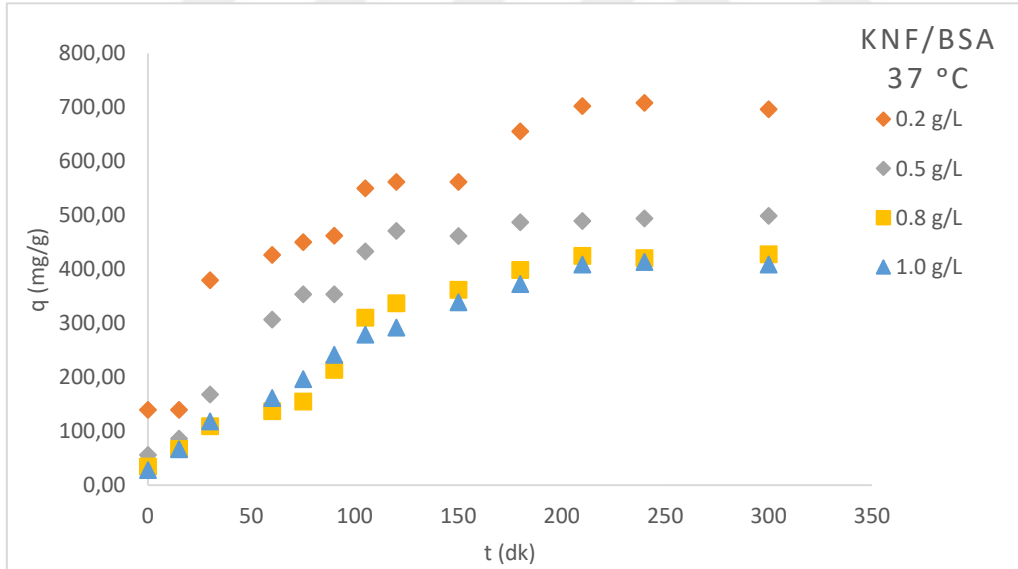
Şekil 5.70 KNF üzerine BSA Adsorpsiyonu için Langmuir İzoterm Modeli ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 32 °C,  $m_{ads}$ : 0.2-1.0 g/L, V: 0.10 L).



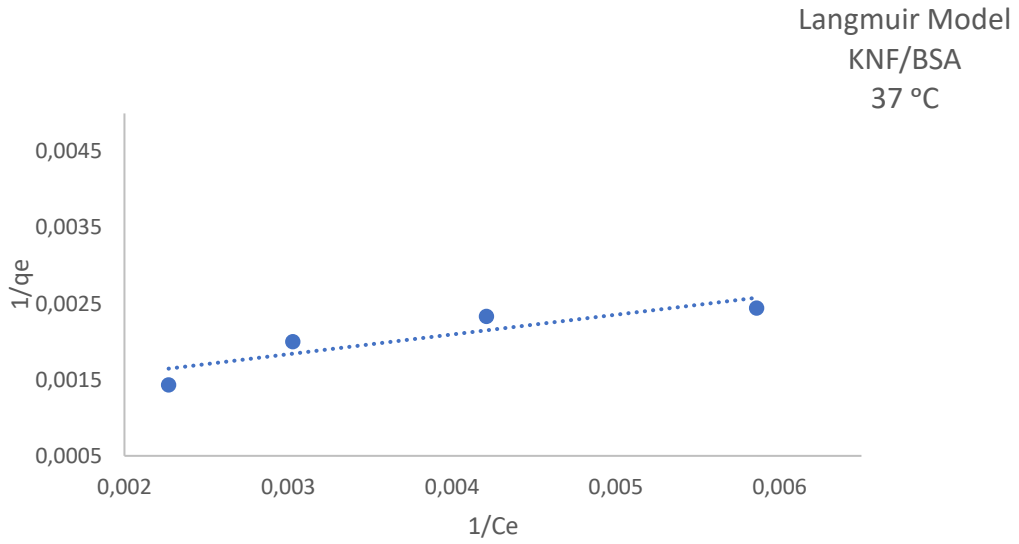


Şekil 5.71 KNF üzerine BSA Adsorpsiyonu için Freundlich İzoterm Modeli ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 32 °C,  $m_{ads}$ : 0.2-1.0 g/L, V: 0.10 L).

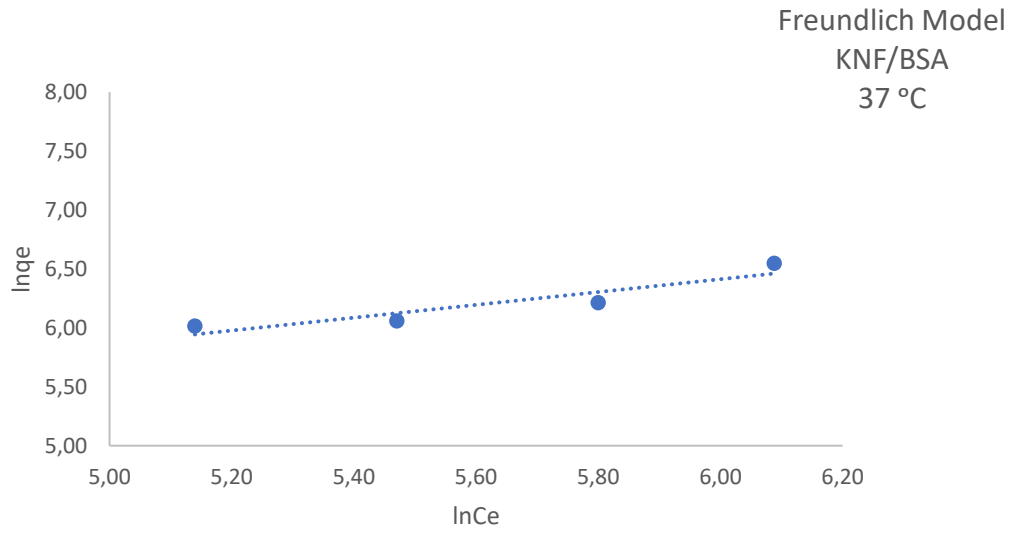
### 37 °C Sıcaklıktaki KNF üzerine BSA adsorpsiyonunun İzoterm Modelleri



Şekil 5.72 KNF/BSA Adsorpsiyonu için Deneysel İzoterm Eğrileri ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C,  $m_{ads}$ : 0.2-1.0 g/L, V: 0.10).

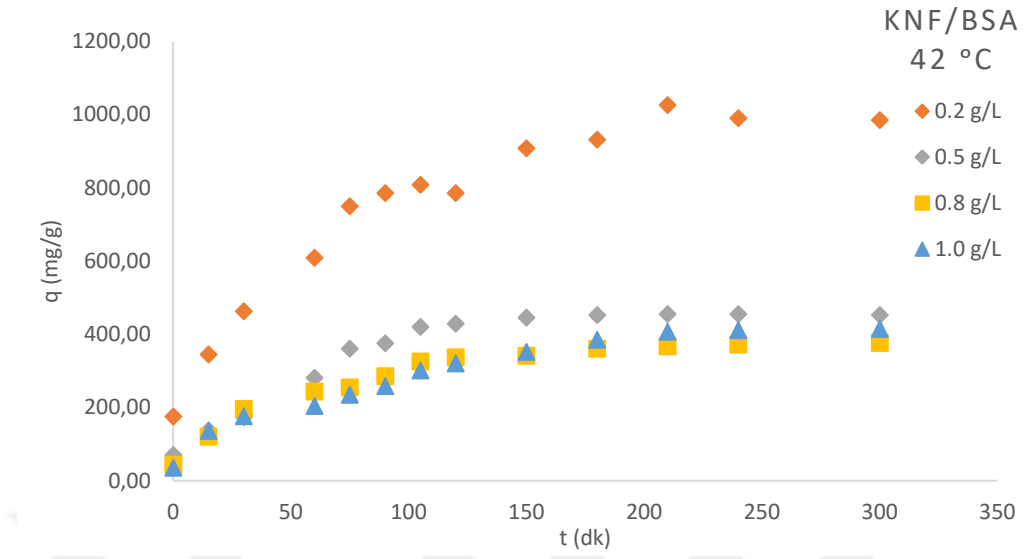


**Şekil 5.73** KNF üzerine BSA Adsorpsiyonu için Langmuir İzoterm Modeli ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4,5, T: 37 °C,  $m_{ads}$ : 0.2-1.0 g/L, V: 0.10 L).

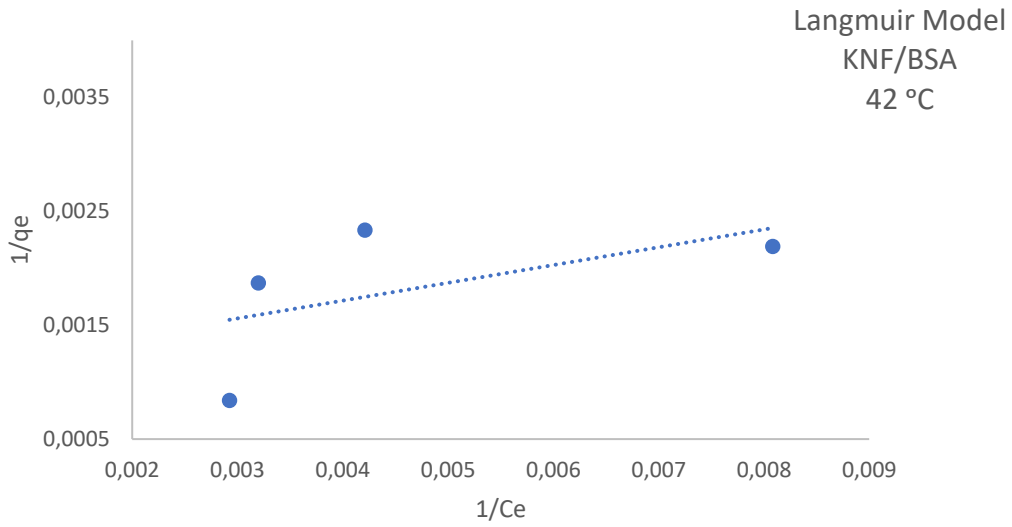


**Şekil 5.74** KNF üzerine BSA Adsorpsiyonu için Freundlich İzoterm Modeli ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4,5, T: 37 °C,  $m_{ads}$ : 0.2-1.0 g/L, V: 0.10 L).

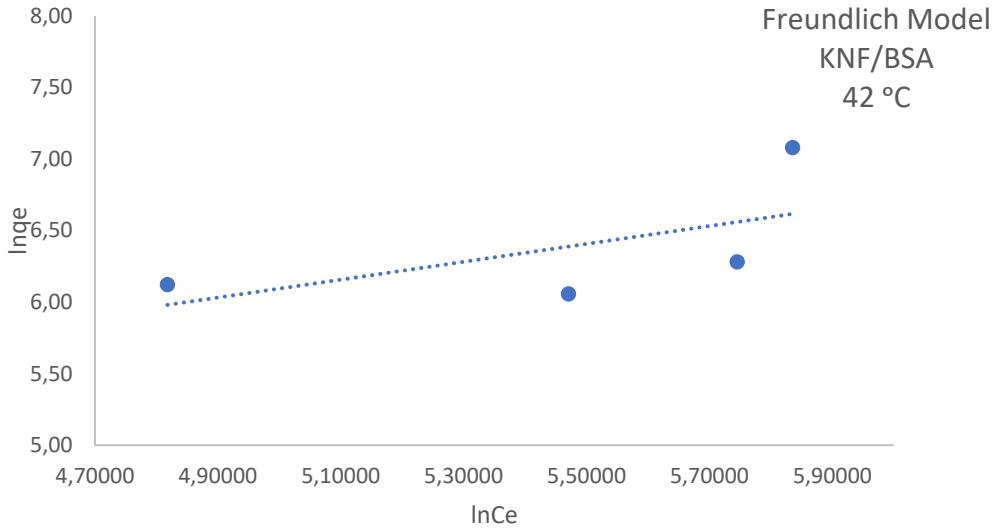
## 42 °C Sıcaklıktaki KNF üzerine BSA Adsorpsiyonunun İzoterm Modelleri



Şekil 5.75 KNF/BSA Adsorpsiyonu için Deneysel İzoterm Eğrileri ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C,  $m_{ads}$ : 0.2-1.0 g/L, V: 0.10).



Şekil 5.76 KNF üzerine BSA Adsorpsiyonu için Langmuir İzoterm Modeli ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C,  $m_{ads}$ : 0.2-1.0 g/L, V: 0.10 L).



**Şekil 5.77** KNF üzerine BSA Adsorpsiyonu için Freundlich İzoterm Modeli ( $C_0$ :500 mg/L, pH:4.5, T: 42 °C,  $m_{ads}$ : 0.2-1.0 g/L, V: 0.10 L).

**Çizelge 5.3** KNF/BSA Adsorpsiyonunda Elde Edilen İzoterm Model Parametreleri.

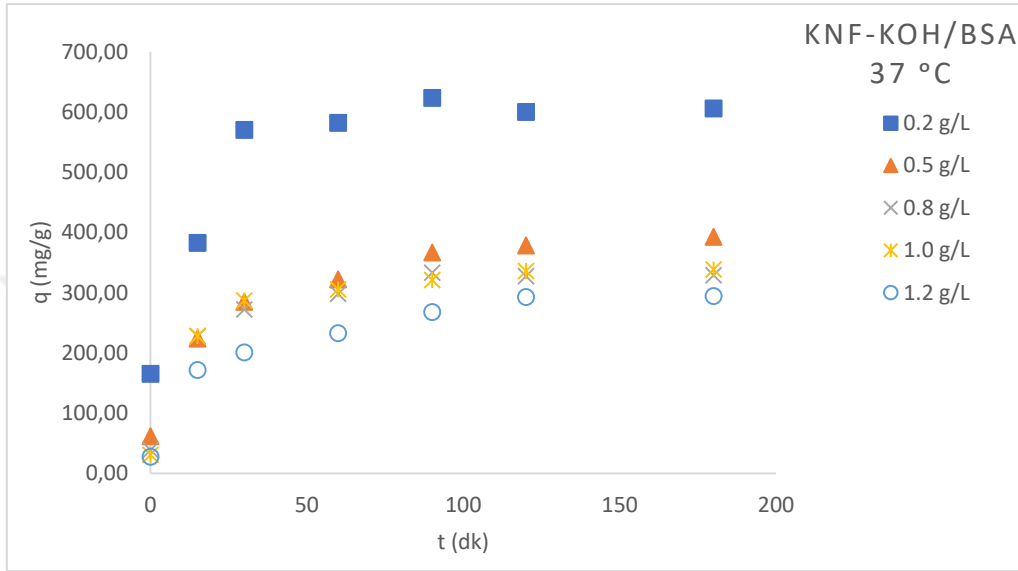
İzoterm Modelleri KNF/BSA	pH: 4.5		
	32 °C	37 °C	42 °C
Langmuir	$Q_0$ : 1428.6 b: 0.001 $r^2$ : 0.64	$Q_0$ :909.1 b: 0.004 $r^2$ : 0.80	$Q_0$ :714.3 b: 0.01 $r^2$ : 0.25
Freundlich	$K_f$ : 3.75 n: 1.2 $r^2$ : 0.66	$K_f$ : 23.25 n: 1.84 $r^2$ : 0.86	$K_f$ : 27.11 n: 1.86 $r^2$ : 0.30

#### 5.4.3. KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonunun İzoterm Modelleri

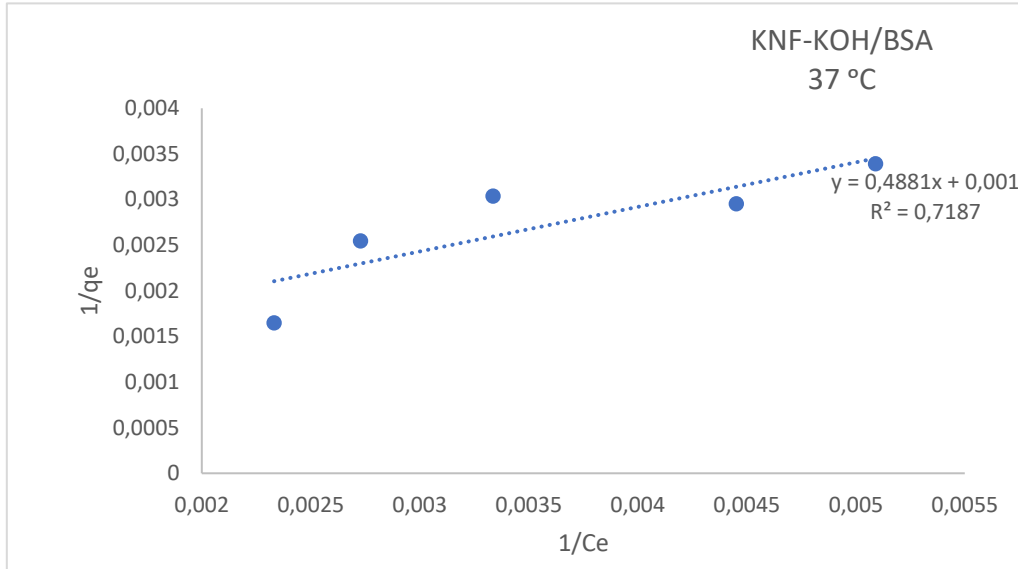
Farklı sıcaklık ve farklı madde miktarlarında yapılan çalışmalar neticesinde KNF-KOH üzerine BSA adsorpsiyonu için Şekil 5.79 ve Şekil 5.80; Şekil 5.82 ve Şekil 5.83’de görülen Freundlich ve Langmuir izoterm modelleri çizilmiştir. Bu izoterm modellerine ait parametreler bulunmuştur. Çizelge 5.3’deki veriler incelendiğinde Langmuir izoterm modeline göre maksimum adsorplama kapasitesi olan  $Q_0$  sıcaklık arttıkça artmıştır. 37 °C ve 42 °C sıcaklıkta maksimum adsorplama kapasitesi sırasıyla 1000.0 mg/g ve 1666.7 mg/g olarak bulunmuştur ve korolasyon sabitinin karesi sırasıyla 0.72 ve 0.86 olarak hesaplanmıştır. Bu sebeple bu

adsorpsiyon için 42 °C sıcaklığın daha uygun olduğu düşünülmektedir. Langmuir ve Freundlich izoterm modelleri karşılaştırılacak olursa korolasyon sabitleri 42 °C’de her iki modelde de 0.80 üzerindedir ve birbirine yakın değerlerdedirler. Bu deneysel şartlar altında KNF-KOH üzerine BSA adsorpsiyonu için her iki izoterm modelinin de uygun olabileceği düşünülmektedir.

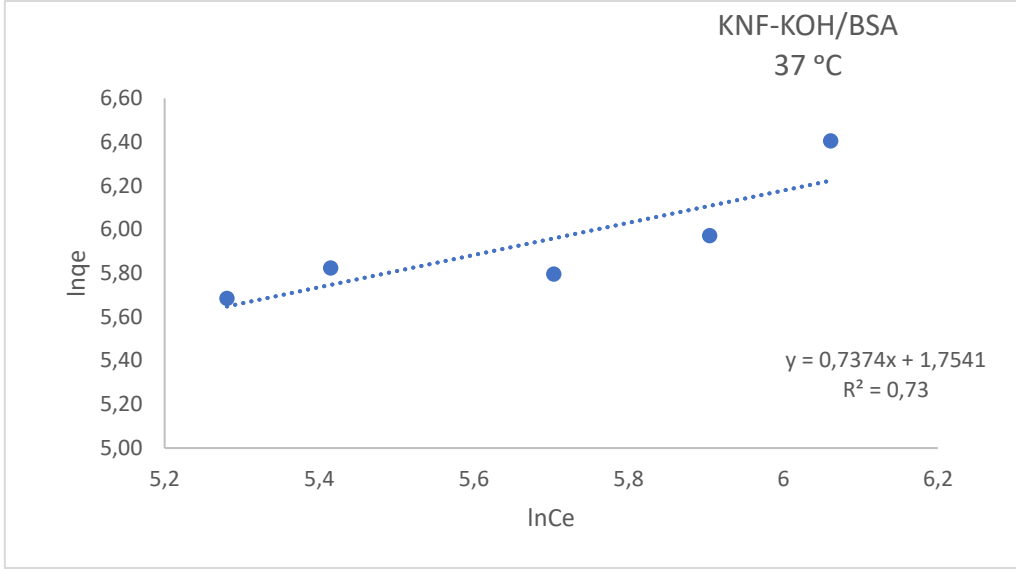
### 37 °C Sıcaklıktaki KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonunun İzoterm Modelleri



Şekil 5.78 KNF-KOH/BSA Adsorpsiyonu için Deneysel İzoterm Eğrileri (C<sub>0</sub>:500 mg/L; pH: 4.5, T; 37 °C, m<sub>ads</sub>: 0.2-1.2 g/L; V: 0.10).

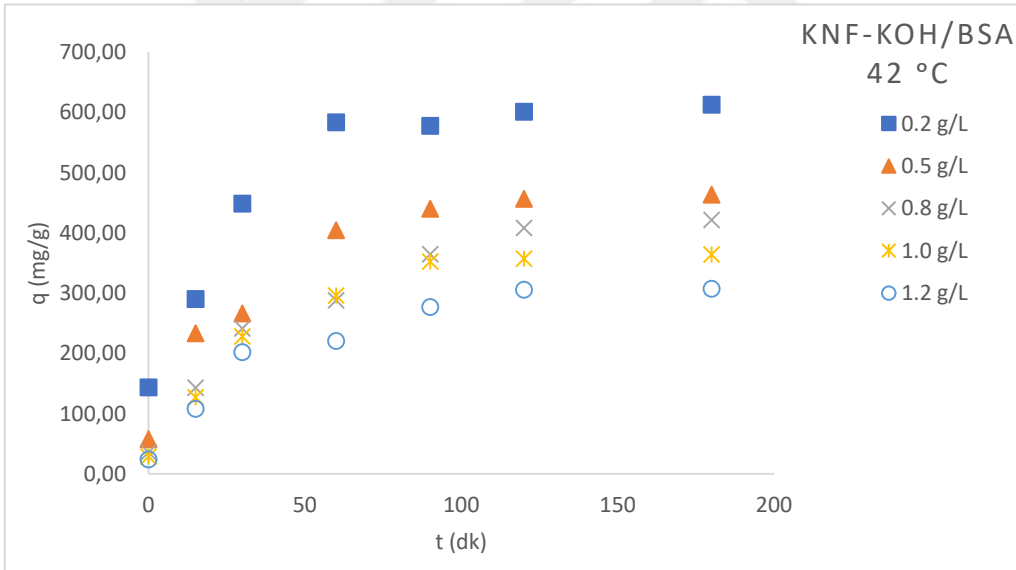


Şekil 5.79 KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonu için Langmuir İzoterm Modeli (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, m<sub>ads</sub>: 0.5-1.0 g/L, V: 0.10 L).

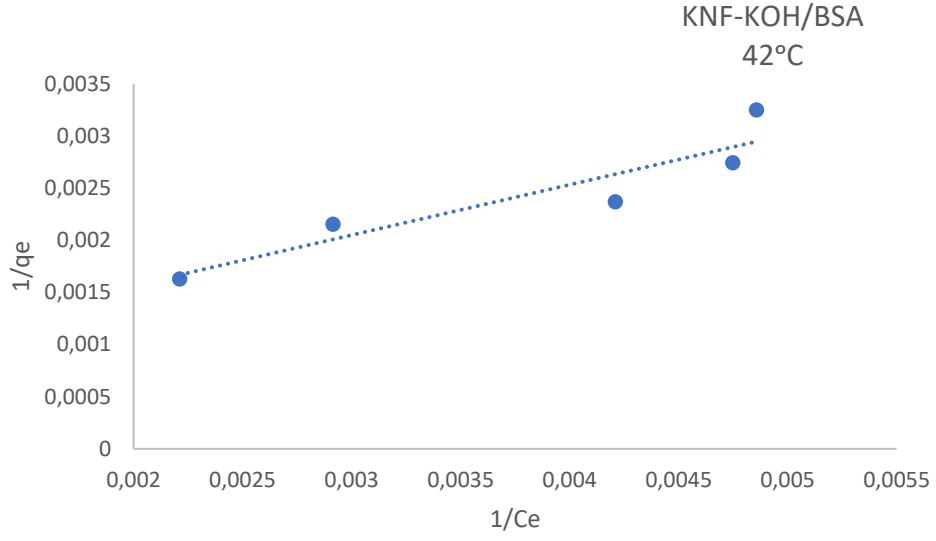


**Şekil 5.80** KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonu için Freundlich İzoterm Modeli ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C,  $m_{ads}$ : 0.5-1.0 g/L, V: 0.10 L).

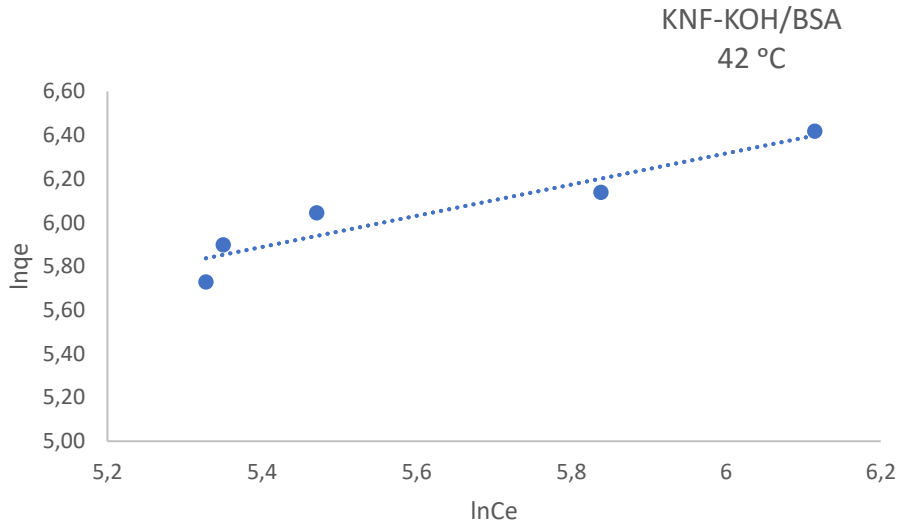
#### 42°C Sıcaklıktaki KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonunun İzoterm Modelleri



**Şekil 5.81** KNF-KOH/BSA Adsorpsiyonu için Deneysel İzoterm Eğrileri ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C,  $m_{ads}$ : 0.2-1.2 g/L, V: 0.10).



**Şekil 5.82** KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonu için Langmuir İzoterm Modeli ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C,  $m_{ads}$ : 0.5-1.0 g/L, V: 0.10 L).



**Şekil 5.83** KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonu için Freundlich İzoterm Modeli ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C,  $m_{ads}$ : 0.5-1.0 g/L, V: 0.10 L).

**Çizelge 5.4** KNF-KOH/BSA Adsorpsiyonunda Elde Edilen İzoterm Model Parametreleri.

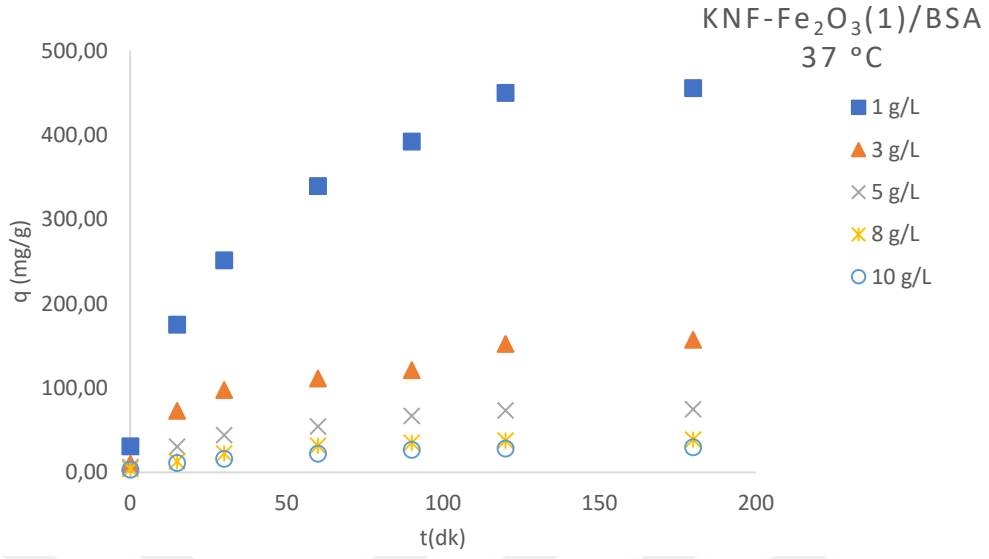
İzoterm Modelleri KNF-KOH/BSA	pH: 4.5	
	37 °C	42 °C
Langmuir	Q <sub>0</sub> :1000.0 b: 0.002 r <sup>2</sup> : 0.72	Q <sub>0</sub> :1666.7 b: 0.001 r <sup>2</sup> :0.86
Freundlich	K <sub>f</sub> : 5.78 n: 1.36 r <sup>2</sup> : 0.73	K <sub>f</sub> : 7.66 n: 1.40 r <sup>2</sup> : 0.89

#### 5.4.4. KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) üzerine BSA Adsorpsiyonunun İzoterm Modelleri

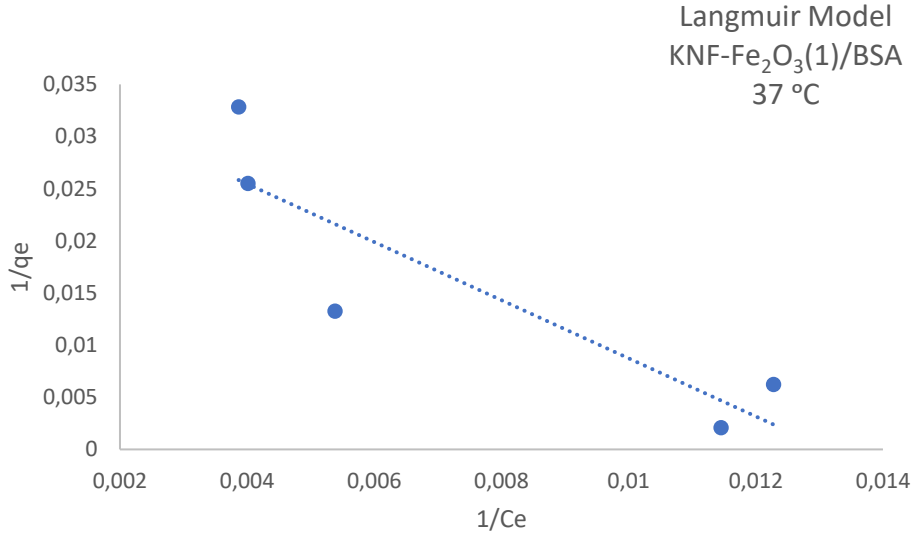
Farklı sıcaklık ve farklı madde miktarlarında yapılan çalışmalar neticesinde KNF- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) üzerine BSA adsorpsiyonu için Şekil 5.85 ve Şekil 5.86; Şekil 5.88 ve Şekil 5.89’da görülen Freundlich ve Langmuir izoterm modelleri çizilmiştir. Bu izoterm modellerine ait parametreler bulunmuştur. Çizelge 5.4’deki veriler incelendiğinde Langmuir izoterm modeline göre maksimum adsorplama kapasitesi olan Q<sub>0</sub> sıcaklık arttıkça azalmıştır. 37 °C ve 42 °C sıcaklıkta maksimum adsorplama kapasitesi sırasıyla 27.32 mg/g ve 21.64 mg/g olarak bulunmuştur, korolasyon sabiti sırasıyla 0.79 ve 0.86 olarak hesaplanmıştır. Bu sebeple bu adsorpsiyon için 37 °C sıcaklığın daha uygun olduğu düşünülmektedir. Langmuir ve Freundlich izoterm karşılaştırılacak olursa korolasyon sabitleri 37 °C’de her iki modelde de 0.80 civarındadır ve birbirine yakın değerlerdedirler. Kullanılan deneysel şartlar altında KNF- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) üzerine BSA adsorpsiyonu için her iki izoterm modelinin de uygun olabileceği düşünülmektedir.



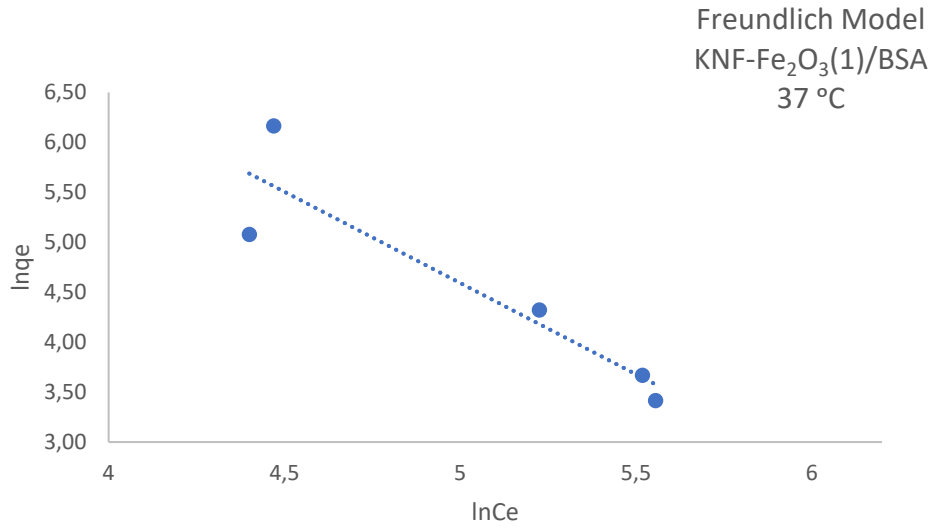
### 37 °C Sıcaklıktaki KNF/ Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) üzerine BSA Adsorpsiyonunun İzoterm Modelleri



Şekil 5.84 KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1)/BSA Adsorpsiyonu için Deneysel İzoterm Eğrileri (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, T: 37°C, m<sub>ads</sub>: 1-10 g/L, V: 0.10).

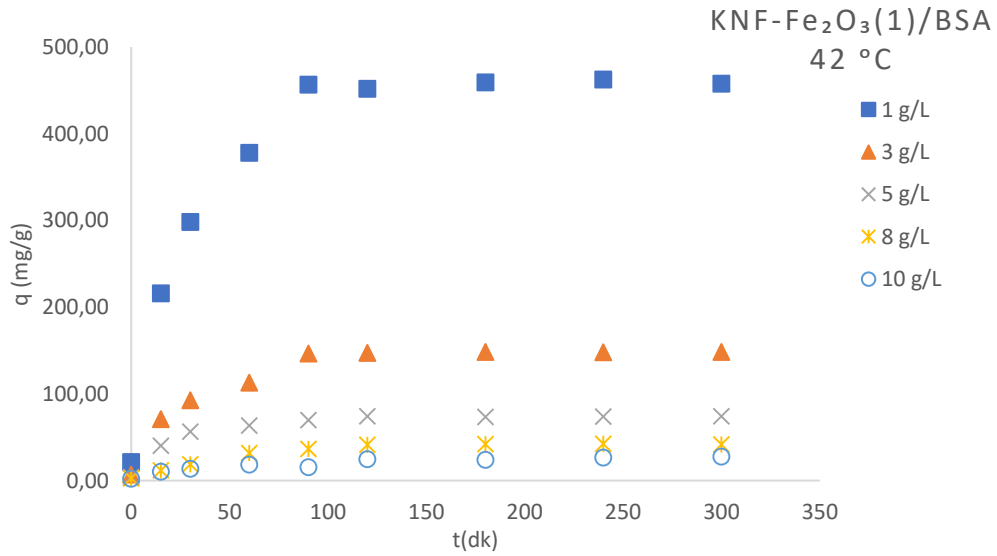


Şekil 5.85 KNF/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) üzerine BSA Adsorpsiyonu için Langmuir İzoterm Modeli (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, m<sub>ads</sub>: 1.0-10.0 g/L, V: 0.10 L).

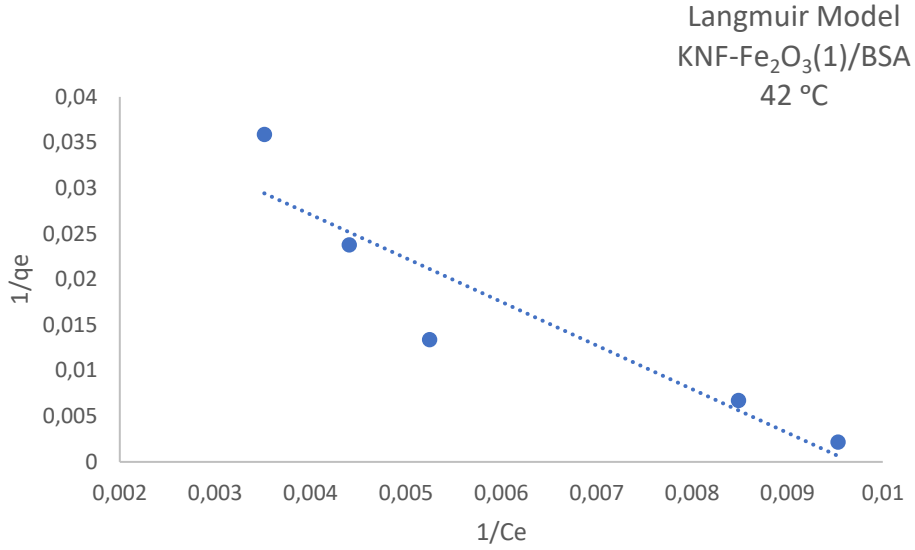


Şekil 5.86 KNF/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) üzerine BSA Adsorpsiyonu için Freundlich İzoterm Modeli (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, m<sub>ads</sub>: 1.0-10.0 g/L, V: 0.10 L).

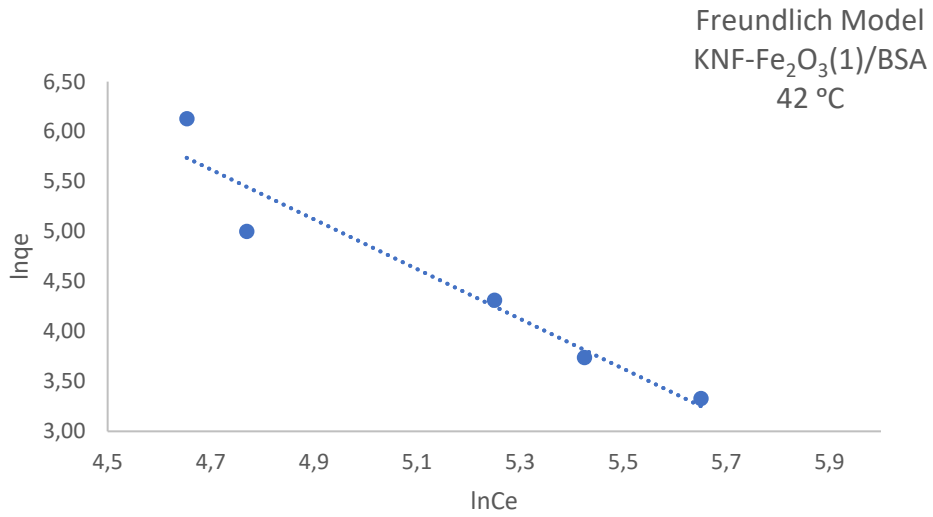
#### 42°C Sıcaklıktaki KNF/ Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) üzerine BSA Adsorpsiyonunun İzoterm Modelleri



Şekil 5.87 KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1)/BSA Adsorpsiyonu için Deneysel İzoterm Eğrileri (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C, m<sub>ads</sub>: 1-10 g/L, V: 0.10).



**Şekil 5.88** KNF/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) üzerine BSA Adsorpsiyonu için Langmuir İzoterm Modeli (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C, m<sub>ads</sub>: 1.0-10.0 g/L, V: 0.10 L).



**Şekil 5.89** KNF/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) üzerine BSA Adsorpsiyonu için Freundlich İzoterm Modeli (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C, m<sub>ads</sub>: 1.0-10.0 g/L, V: 0.10 L).

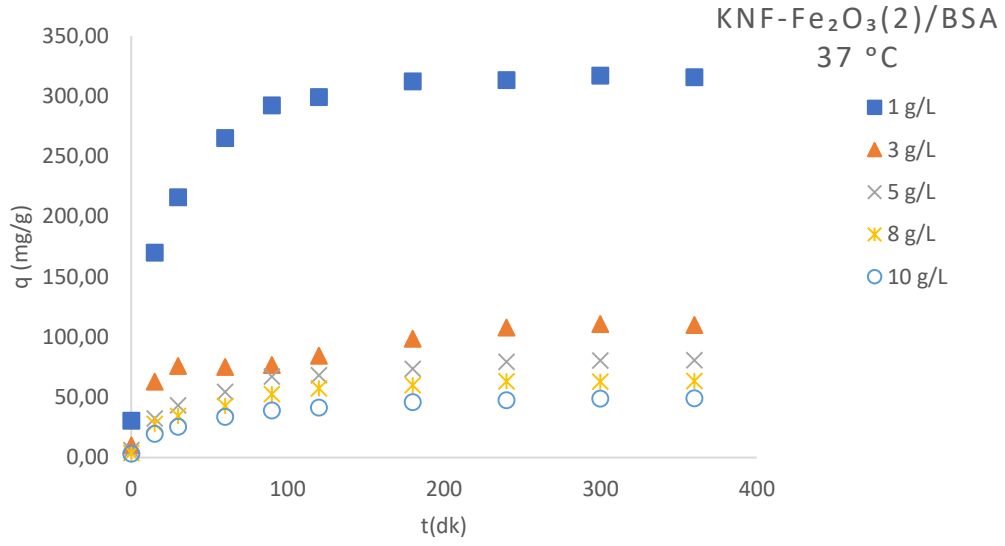
**Çizelge 5.5** KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1)/BSA Adsorpsiyonunda Elde Edilen İzoterm Model Parametreleri.

İzoterm Modelleri KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1) /BSA	pH: 4.5	
	37 °C	42 °C
Langmuir	Q <sub>0</sub> :27.32 b: -0.013 r <sup>2</sup> : 0.79	Q <sub>0</sub> :21.64 b: -0.01 r <sup>2</sup> : 0.8
Freundlich	K <sub>f</sub> : 912551.7 n: -0.55 r <sup>2</sup> : 0.84	K <sub>f</sub> : 32736460 n: -0.40 r <sup>2</sup> : 0.93

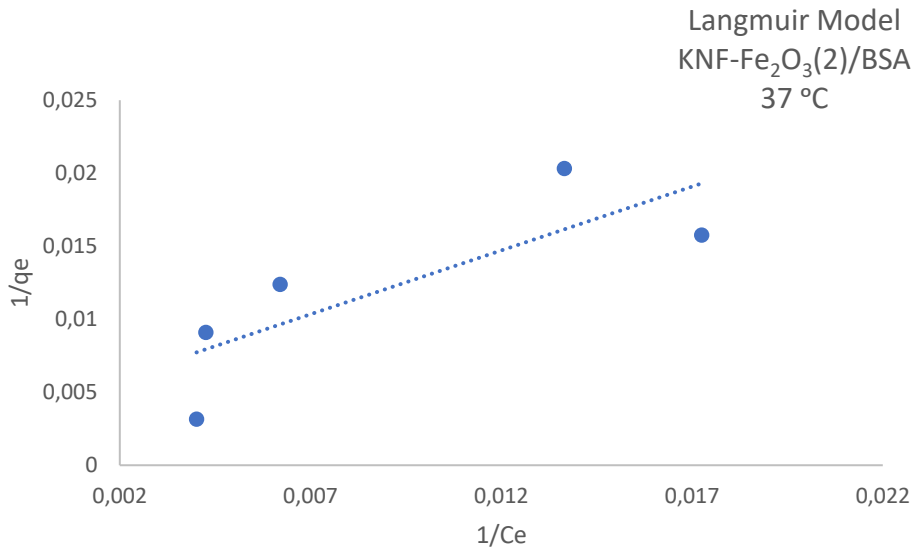
#### 5.4.5. KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) üzerine BSA Adsorpsiyonunun İzoterm Modelleri

Farklı sıcaklık ve farklı madde miktarlarında yapılan çalışmalar neticesinde KNF-KOH üzerine BSA adsorpsiyonu için Şekil 5.91 ve Şekil 5.92; Şekil 5.94 ve Şekil 5.95’de görülen Freundlich ve Langmuir izoterm modelleri çizilmiştir. Bu izoterm modellerine ait parametreler bulunmuştur. Çizelge 5.5’deki veriler incelendiğinde Langmuir izoterm modeline göre maksimum adsorplama kapasitesi olan Q<sub>0</sub> sıcaklık arttıkça artmıştır. 37 °C ve 42 °C sıcaklıkta maksimum adsorplama kapasitesi sırasıyla 238.1 mg/g ve 232.6 mg/g olarak bulunmuştur, fakat korolasyon sabiti sırasıyla 0.65 ve 0.74 olarak hesaplanmıştır. Bu sebeple bu adsorpsiyon için sıcaklığın etkisinin olmadığı düşünülmektedir. Langmuir ve Freundlich izoterm modelleri karşılaştırılacak olursa korolasyon sabitleri 37 °C’de her iki modelde de 0.65 civarındadır. Kullanılan deneysel şartlar altında KNF- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) üzerine BSA adsorpsiyonu için her iki izoterm modelinin de uygun olabileceği düşünülmektedir.

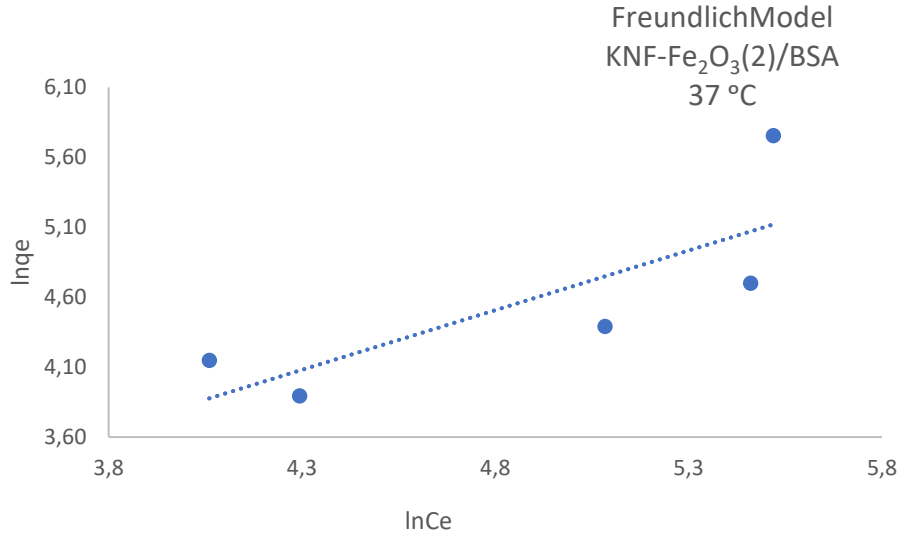
### 37 °C Sıcaklıktaki KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) üzerine BSA Adsorpsiyonunun İzoterm Modelleri



Şekil 5.90 KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2)/BSA Adsorpsiyonu için Deneysel İzoterm Eğrileri (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, m<sub>ads</sub>: 1-10 g/L; V: 0.10).

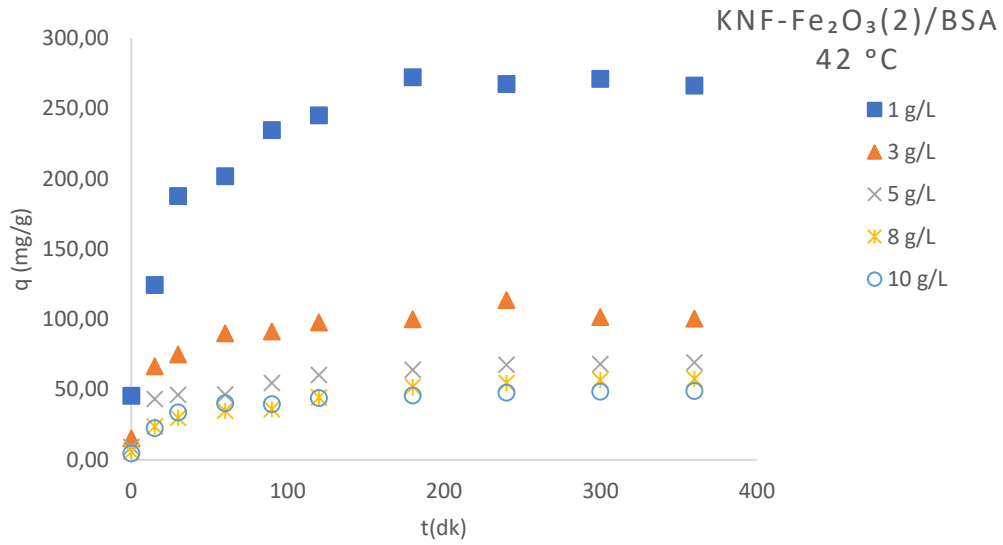


Şekil 5.91 KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) üzerine BSA Adsorpsiyonu için Langmuir İzoterm Modeli (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, m<sub>ads</sub>: 1.0-8.0 g/L, V: 0.10 L).

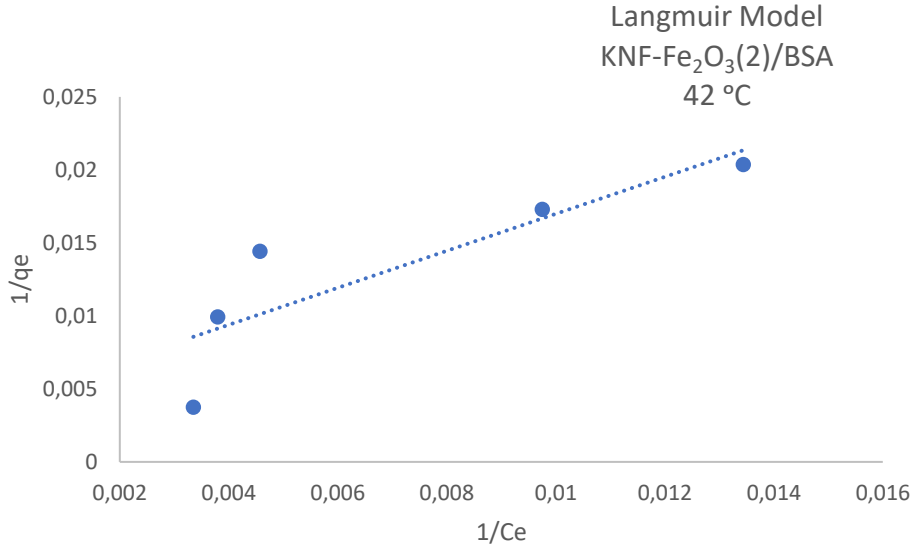


**Şekil 5.92** KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) üzerine BSA Adsorpsiyonu için Freundlich İzoterm Modeli (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C, m<sub>ads</sub>: 1.0-8.0 g/L, V: 0.10 L).

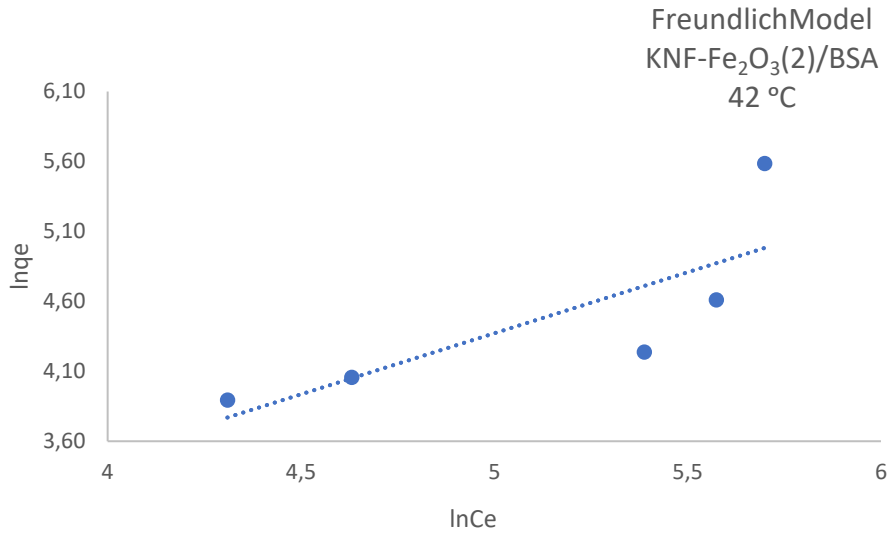
#### 42°C Sıcaklıktaki KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) üzerine BSA Adsorpsiyonunun İzoterm Modelleri



**Şekil 5.93** KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2)/BSA Adsorpsiyonu için Deneysel İzoterm Eğrileri (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C, m<sub>ads</sub>: 1-10 g/L, V: 0.10).



**Şekil 5.94** KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) üzerine BSA Adsorpsiyonu için Langmuir İzoterm Modeli (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C, m<sub>ads</sub>: 1.0-8.0 g/L, V: 0.10 L).



**Şekil 5.95** KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) Üzerine BSA Adsorpsiyonu için Freundlich İzoterm Modeli (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C, m<sub>ads</sub>: 1.0-8.0 g/L, V: 0.10 L).

**Çizelge 5.6** KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2)/BSA Adsorpsiyonunda Elde Edilen İzoterm Model Parametreleri.

İzoterm Modelleri KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2)/BSA	pH: 4.5	
	37 °C	42 °C
Langmuir	Q <sub>o</sub> :238.1 b: 0.005 r <sup>2</sup> : 0.65	Q <sub>o</sub> :232.6 b: 0.004 r <sup>2</sup> : 0.74
Freundlich	Kf: 1.51 n: 1.17 r <sup>2</sup> : 0.63	Kf: 1.05 n: 1.17 r <sup>2</sup> : 0.63

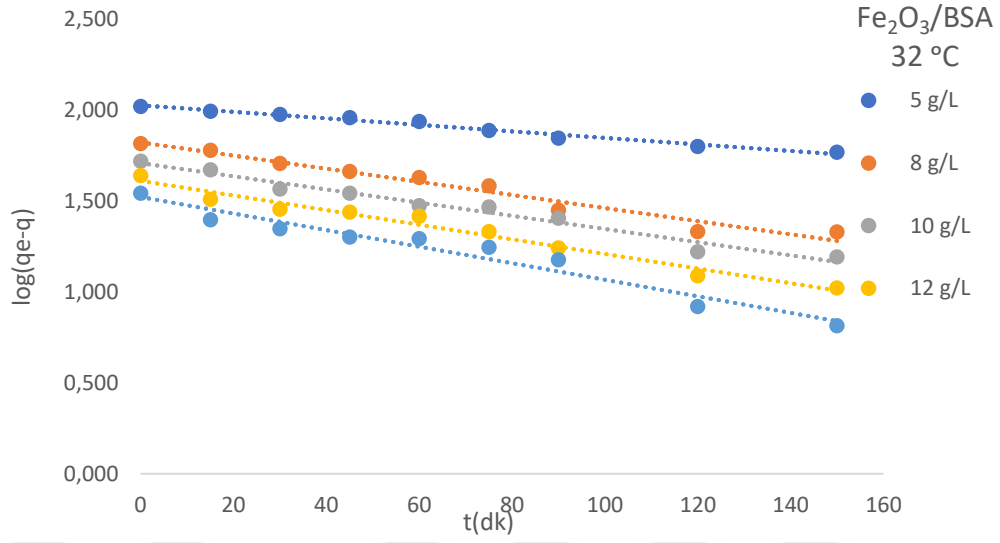
## 5.5. BSA ADSORPSİYON KİNETİĞİ

BSA'nın adsorbentler üzerinde adsorpsiyon mekanizmasını analiz etmek için farklı sıcaklıkta elde edilen deneysel hız verileri Lagergren-birinci ve pseudo-ikinci derece kinetik modelleri hesaplanmıştır. Tüm adsorbentleri ile BSA'nın adsorpsiyonu sonucunda hesaplanan kinetik modelleri karşılaştırıldığında birinci derece kinetik modele uygun oldukları bulunmuştur. Tüm adsorbentler üzerine yapılan BSA adsorpsiyonunun madde taşınımıyla olduğu yani fiziksel adsorpsiyon olduğu düşünülmektedir.

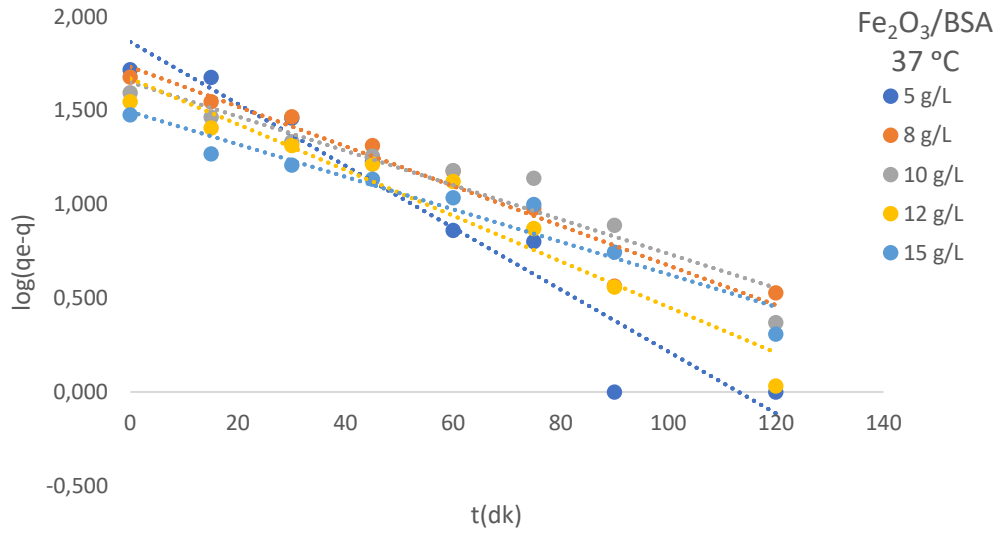
### 5.5.1. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/BSA Adsorpsiyonuna Ait Kinetik ve Adsorpsiyon Hız Sabitleri

32, 37 ve 42 °C sıcaklıkta Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerine BSA adsorpsiyonundan elde edilen q<sub>e</sub> ile hesaplanan birinci ve ikinci derece hız grafikleri sırasıyla Şekil 5.96, Şekil 5.97, Şekil 5.98, Şekil 5.99, Şekil 5.100, Şekil 5.101'de verilmiştir. Birinci ve ikinci derece hız sabitlerinin hesaplanması için çizilen eğrilerin korolasyon katsayısının kareleri karşılaştırıldığında ikinci derece kinetik modelinin korolasyon katsayısının karesi 37 ve 42 °C sıcaklıklarda 0.65'den düşükken 32 °C sıcaklıkta 0.94 olarak hesaplanmıştır. Birinci derece kinetik modelinin korolasyon katsayısı karesi 32 °C sıcaklıkta 0.97, 37 °C sıcaklıkta 0.94 ve 42 °C sıcaklıkta 0.94 olarak bulunmuştur. Buna göre 32, 37 ve 42 °C sıcaklıklarda birinci derece hız sabiti k<sub>1</sub> sırasıyla ortalama 0.002, 0.012 ve 0.007 dk<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerine BSA adsorpsiyonunun birinci derece kinetik modeline uygun olduğu düşünülmektedir.

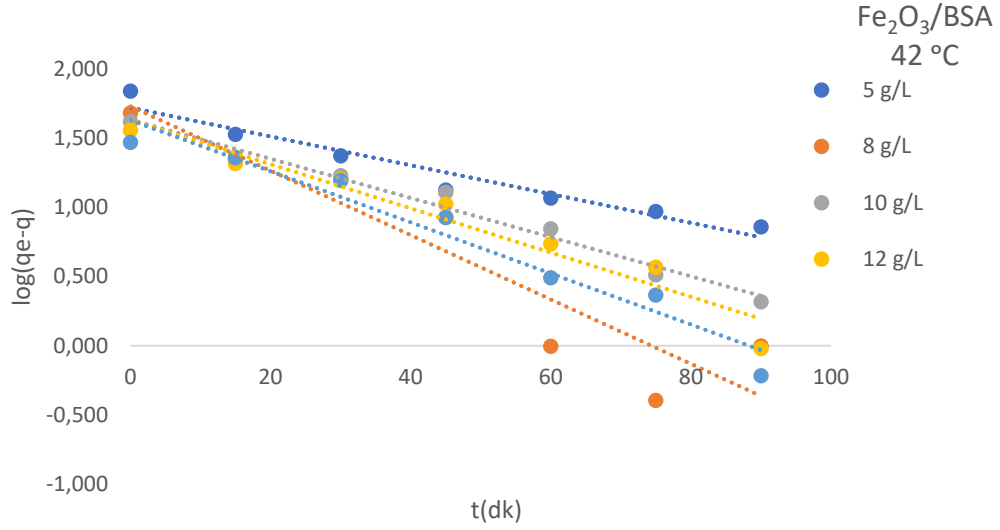




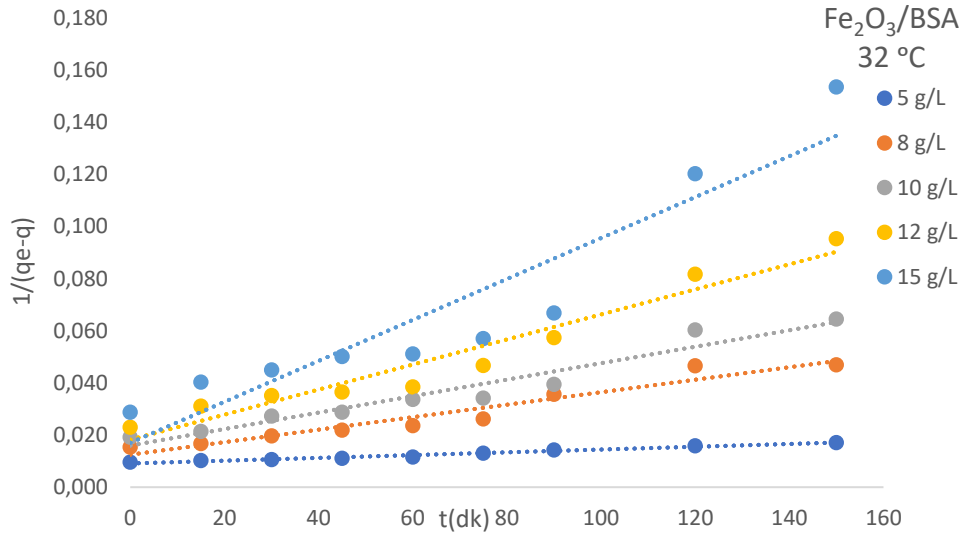
**Şekil 5.96** Farklı Adsorbent Miktarlarında Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen Birinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri (C<sub>0</sub>: 500 mg/L, T: 32°C, m<sub>ads</sub>: 5-15 g/L, pH: 4.5, V:0.10 L).



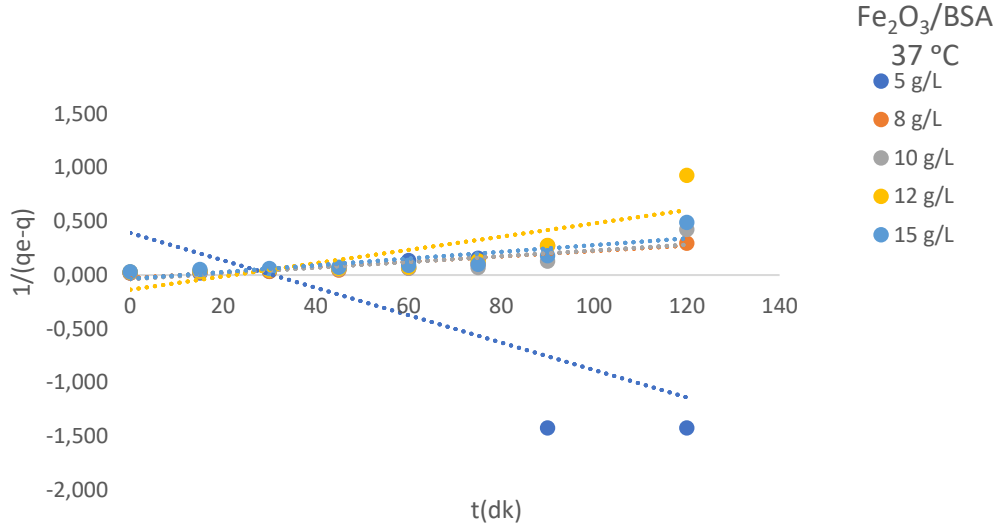
**Şekil 5.97** Farklı Adsorbent Miktarlarında Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen Birinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri (C<sub>0</sub>: 500 mg/L, T: 37 °C, m<sub>ads</sub>: 5-15 g/L, pH: 4.5, V:0.10 L).



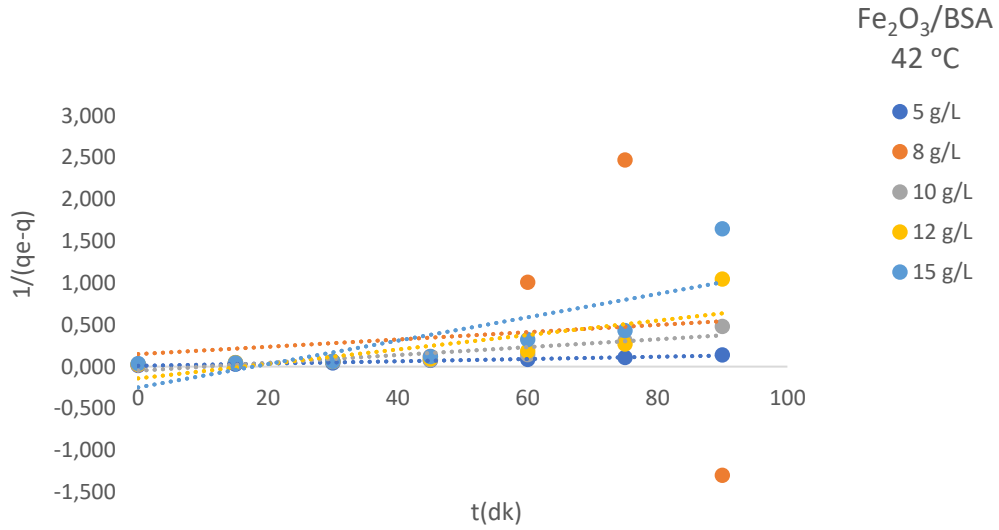
**Şekil 5.98** Farklı Adsorbent Miktarlarında Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen Birinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri (C<sub>0</sub>: 500 mg/L, T: 42 °C, m<sub>ads</sub>: 5-15 g/L, pH: 4.5, V:0.10 L).



**Şekil 5.99** Farklı Adsorbent Miktarlarında Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen İkinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri (C<sub>0</sub>: 500 mg/L, T: 32 °C, m<sub>ads</sub>: 5-15 g/L, pH: 4.5, V:0.10 L).



**Şekil 5.100** Farklı Adsorbent Miktarlarında  $Fe_2O_3$  üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen İkinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri ( $C_0$ : 500 mg/L, T: 37°C,  $m_{ads}$ : 5-15 g/L, pH: 4.5, V:0.10 L).



**Şekil 5.101** Farklı Adsorbent Miktarlarında  $Fe_2O_3$  üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen İkinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri ( $C_0$ ; 500 mg/L, T;42 °C,  $m_{ads}$ : 5-15 g/L, pH: 4.5, V:0.10 L).

**Çizelge 5.7** 32 °C Sıcaklıktaki Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/BSA Adsorpsiyonu için Birinci ve İkinci Derece Kinetik Parametreleri.

Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g/L)	k <sub>1</sub> (dk <sup>-1</sup> )	r <sup>2</sup>	k <sub>2</sub> (g/mg.dk)	r <sup>2</sup>
5	0.0008	0.98	0.0001	0.98
8	0.0016	0.96	0.0002	0.94
10	0.0016	0.97	0.0003	0.94
12	0.0017	0.97	0.0005	0.94
15	0.0020	0.95	0.0008	0.88
Ortalama	0.0015	0.97		0.94

**Çizelge 5.8** 37 °C Sıcaklıktaki Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/BSA Adsorpsiyonu için Birinci ve İkinci Derece Kinetik Parametreleri.

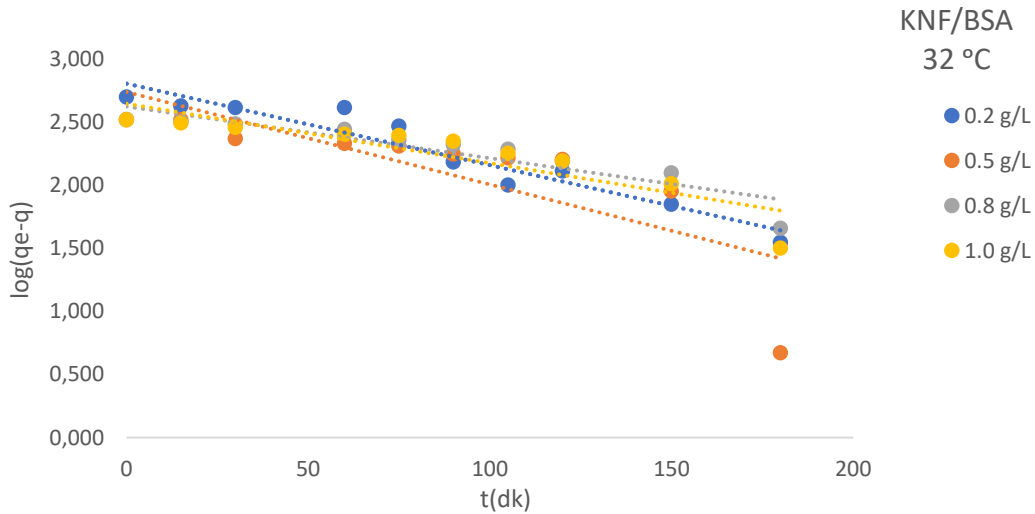
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g/L)	k <sub>1</sub> (dk <sup>-1</sup> )	r <sup>2</sup>	k <sub>2</sub> (g/mg.dk)	r <sup>2</sup>
5	0.0072	0.93	-0.013	0.54
8	0.0046	0.95	0.025	0.81
10	0.0040	0.92	0.003	0.65
12	0.0049	0.94	0.006	0.65
15	0.0378	0.93	0.003	0.69
Ortalama	0.0117	0.94		0.67

**Çizelge 5.9** 42 °C Sıcaklıktaki Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/BSA Adsorpsiyonu için Birinci ve İkinci Derece Kinetik Parametreleri.

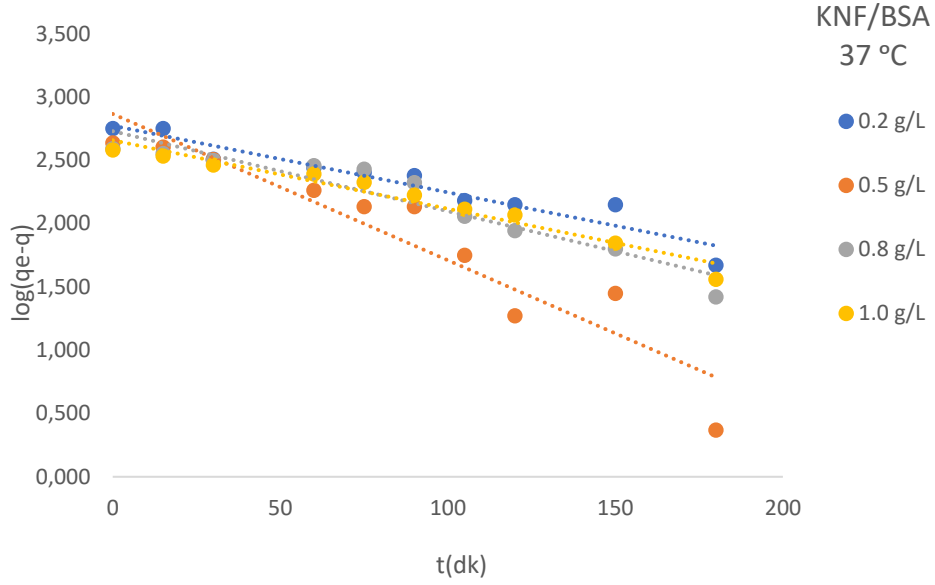
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (g/L)	k <sub>1</sub> (dk <sup>-1</sup> )	r <sup>2</sup>	k <sub>2</sub> (g/mg.dk)	r <sup>2</sup>
5	0.0045	0.94	0.0014	0.98
8	0.0101	0.88	0.0044	0.
10	0.0063	0.98	0.0047	0.81
12	0.0069	0.95	0.0086	0.59
15	0.0080	0.96	0.0140	0.61
Ortalama	0.0072	0.94		0.60

### 5.5.2. KNF/BSA Adsorpsiyonuna Ait Kinetik ve Adsorpsiyon Hız Sabitleri

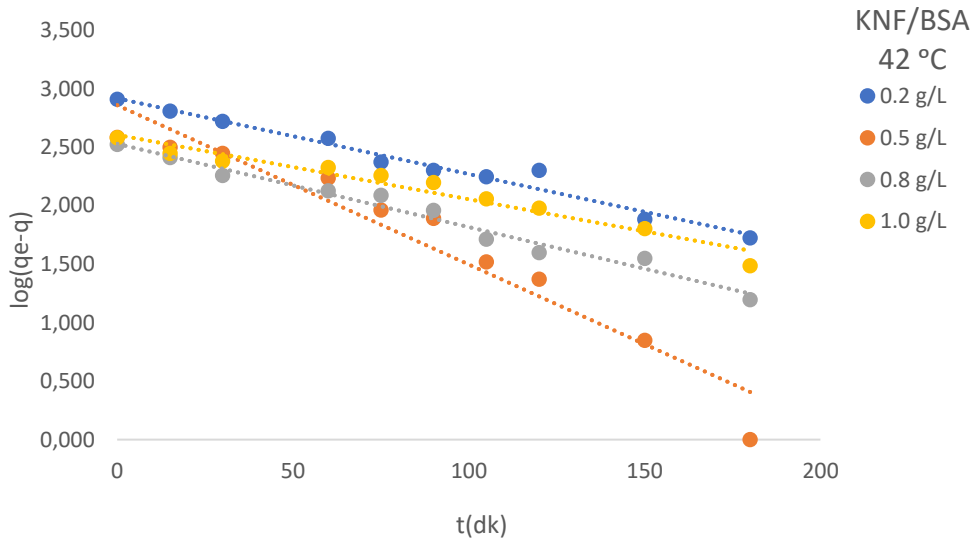
32, 37 ve 42 °C sıcaklıkta KNF üzerine BSA adsorpsiyonundan elde edilen  $q_e$  ile hesaplanan birinci ve ikinci derece hız grafikleri sırasıyla Şekil 5.102, Şekil 5.103, Şekil 5.104, Şekil 5.105, Şekil 5.106, Şekil 5.107’de verilmiştir. Birinci ve ikinci derece hız sabitlerinin hesaplanması için çizilen eğrilerin korolasyon katsayısının kareleri karşılaştırıldığında ikinci derece kinetik modelinin korolasyon katsayısının karesi tüm sıcaklıklarda 0.65’den düşükken, birinci derece kinetik modelinin korolasyon katsayısı karesi 32 °C sıcaklıkta 0.80, 37 °C sıcaklıkta 0.92 ve 42 °C sıcaklıkta 0.96 olarak bulunmuştur. Buna göre 32, 37 ve 42 °C sıcaklıklarda birinci derece hız sabiti  $k_1$  sırasıyla ortalama 0.03, 0.03 ve 0.04 dk<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. KNF üzerine BSA adsorpsiyonunun birinci derece kinetik modeline uygun olduğu düşünülmektedir. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ile KNF’nin BSA ile adsorpsiyon hız kinetiği karşılaştırılacak olursa KNF’nin Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>’e göre adsorpsiyonun daha hızlı olduğu söylenebilir.



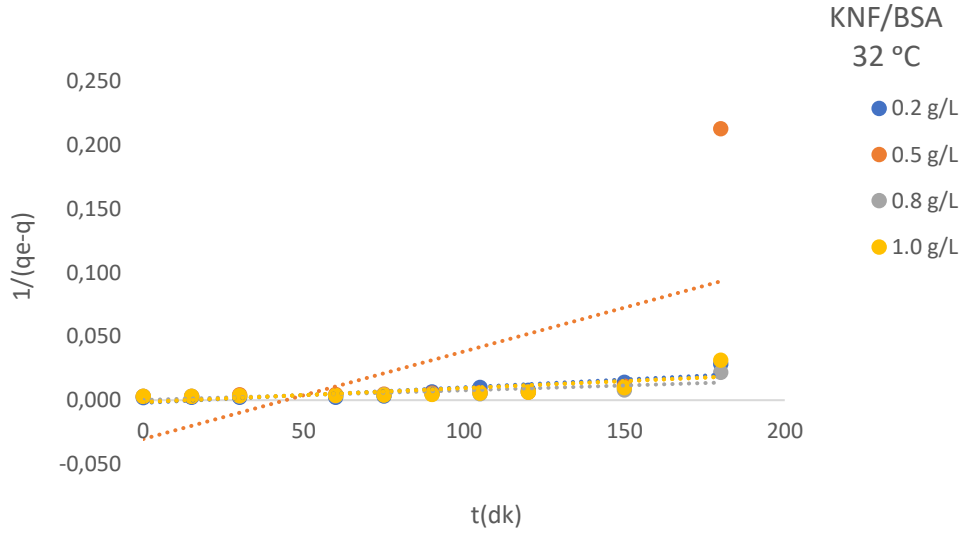
**Şekil 5.102** Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen Birinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri ( $C_0$ ; 500 mg/L, T;32°C,  $m_{ads}$ : 0.2-1.0 g/L, pH: 4.5, V:0.10 L).



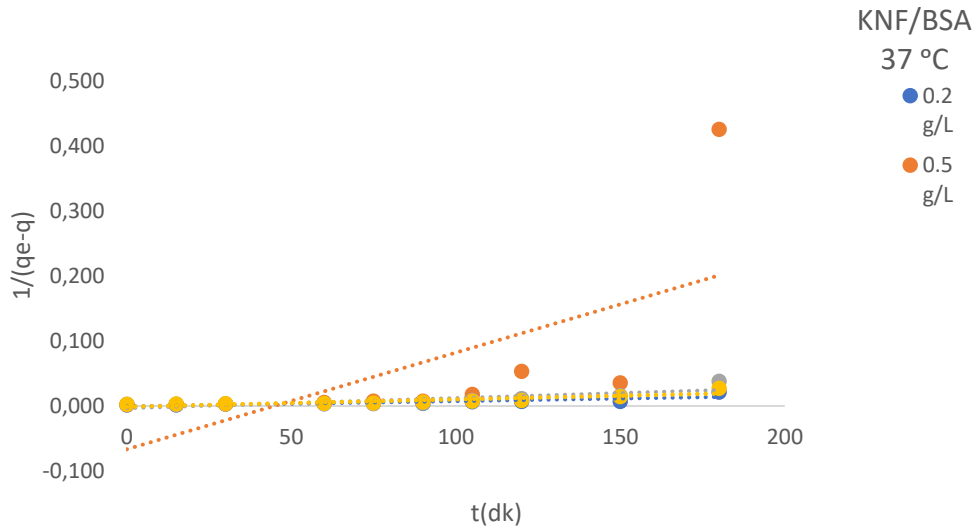
**Şekil 5.103** Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen Birinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri ( $C_0$ ; 500 mg/L, T;37°C,  $m_{ads}$ : 0.2-1.0 g/L, pH: 4.5, V:0.10 L).



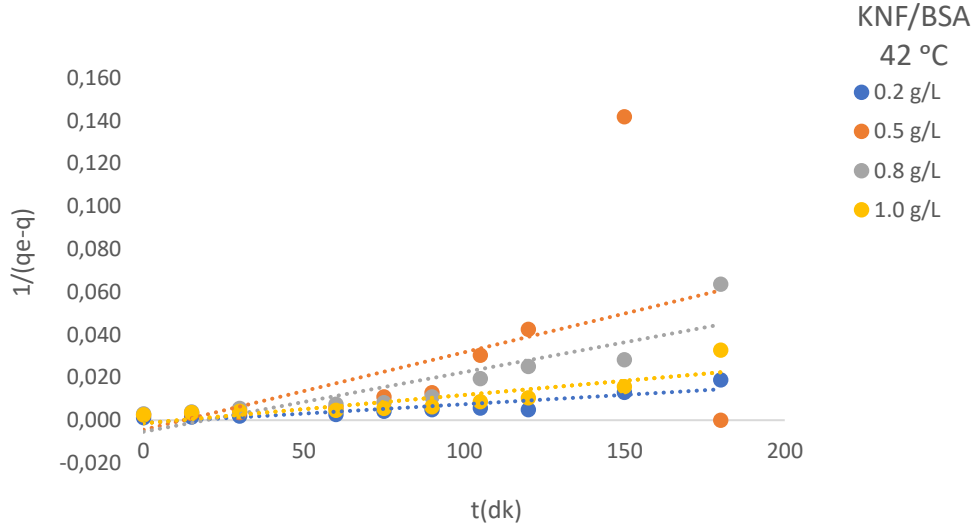
**Şekil 5.104** Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen Birinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri ( $C_0$ ; 500 mg/L, T;42°C,  $m_{ads}$ : 0.2-1.0 g/L, pH: 4.5, V:0.10 L).



**Şekil 5.105** Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen İkinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri ( $C_0$ ; 500 mg/L, T;32°C,  $m_{ads}$ : 0.2-1.0 g/L, pH: 4.5, V:0.10 L).



**Şekil 5.106** Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen İkinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri ( $C_0$ ; 500 mg/L, T:37°C,  $m_{ads}$ : 0.2-1.0 g/L, pH: 4.5, V:0.10 L).



**Şekil 5.107** Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen İkinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri ( $C_0$ ; 500 mg/L,  $T$ :42°C,  $m_{ads}$ : 0.2-1.0 g/L, pH: 4.5,  $V$ :0.10 L).

**Çizelge 5.10** 32 °C Sıcaklıktaki KNF/BSA Adsorpsiyonu için Birinci ve İkinci Derece Kinetik Parametreleri.

KNF (g/L)	$k_1$ (dk <sup>-1</sup> )	$r^2$	$k_2$ (g/mg.dk)	$r^2$
0.2	0.0028	0.92	0.0001	0.75
0.5	0.0032	0.63	0.0001	0.60
0.8	0.0018	0.84	0.0007	0.37
1.0	0.0020	0.80	0.0001	0.55
Ortalama	0.0025	0.80		0.57

**Çizelge 5.11** 37 °C Sıcaklıktaki KNF/BSA Adsorpsiyonu için Birinci ve İkinci Derece Kinetik Parametreleri.

KNF (g/L)	$k_1$ (dk <sup>-1</sup> )	$r^2$	$k_2$ (g/mg.dk)	$r^2$
0.2	0.0027	0.91	0.0001	0.67
0.5	0.0023	0.92	0.0015	0.44
0.8	0.0023	0.96	0.0001	0.74
1.0	0.0050	0.89	0.0002	0.68
Ortalama	0.0031	0.92		0.63

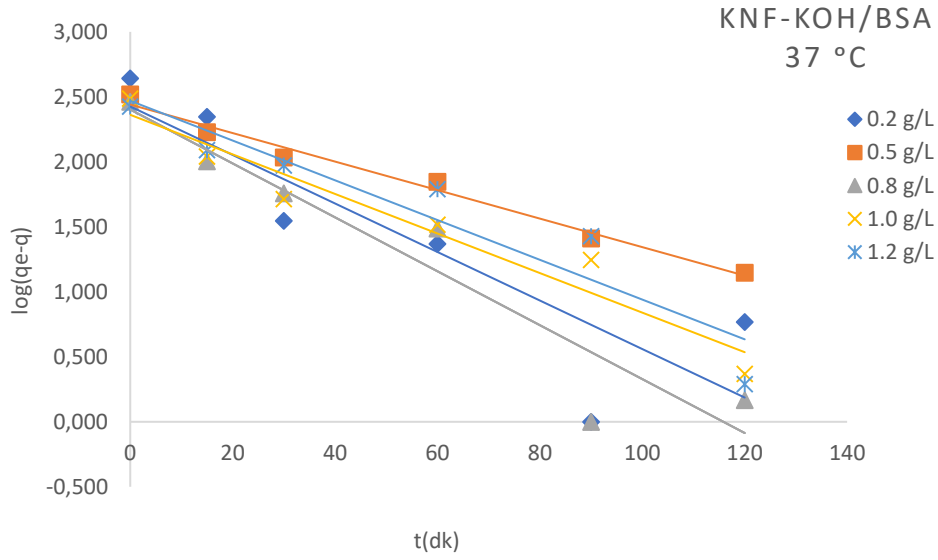


**Çizelge 5.12** 42 °C Sıcaklıktaki KNF/BSA Adsorpsiyonu için Birinci ve İkinci Derece Kinetik Parametreleri.

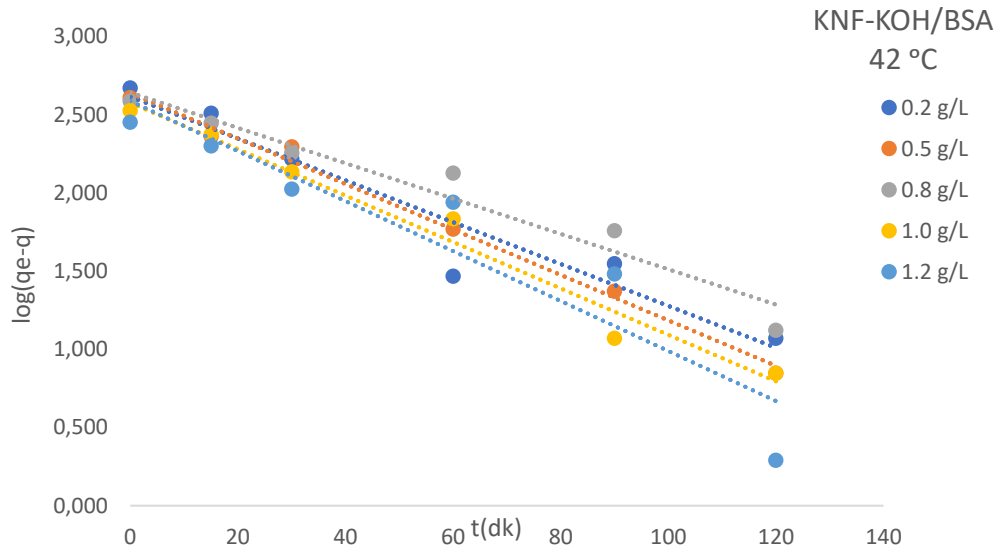
KNF (g/L)	$k_1$ (dk <sup>-1</sup> )	$r^2$	$k_2$ (g/mg.dk)	$r^2$
0.2	0.0028	0.97	0.0004	0.24
0.5	0.0059	0.93	0.0001	0.80
0.8	0.0031	0.98	0.0001	0.73
1.0	0.0024	0.96	0.0003	0.77
Ortalama	0.0035	0.96		0.64

### 5.5.3. KNF-KOH/BSA Adsorpsiyonuna Ait Kinetik ve Adsorpsiyon Hız Sabitleri

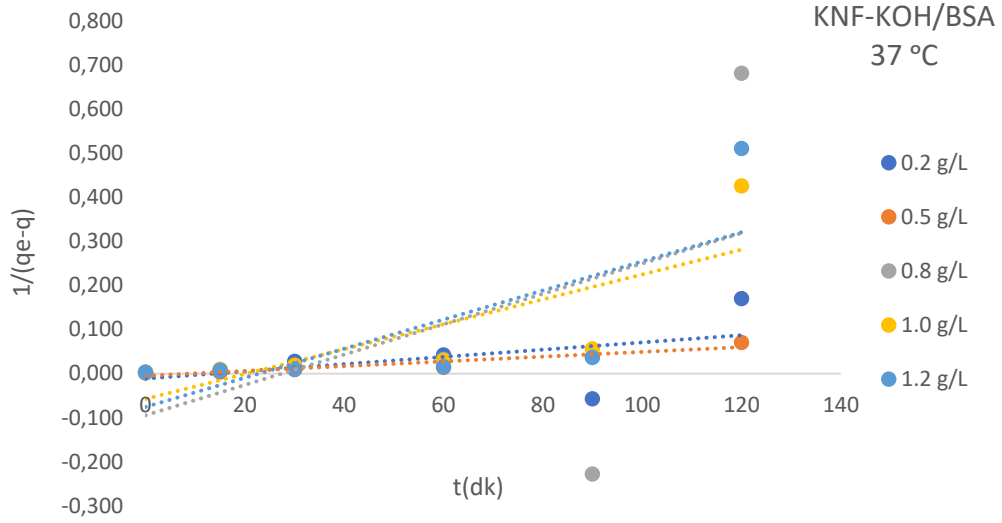
37 ve 42 °C sıcaklıkta KNF-KOH üzerine BSA adsorpsiyonundan elde edilen  $q_e$  ile hesaplanan birinci ve ikinci merteye hız grafikleri sırasıyla Şekil 5.108, Şekil 5.109, Şekil 5.110, Şekil 5.111’de verilmiştir. Birinci ve ikinci derece hız sabitlerinin hesaplanması için çizilen eğrilerin korolasyon katsayısının kareleri karşılaştırıldığında birinci derece kinetik modelinin korolasyon katsayısı karesi 37 °C sıcaklıkta 0.90 ve 42 °C sıcaklıkta 0.95; ikinci derece kinetik modelinin korolasyon katsayısının karesi ise 37 °C sıcaklıkta 0.52 ve 42 °C sıcaklıkta 0.74 bulunmuştur. Buna göre 37 ve 42 °C sıcaklıklarda birinci derece hız sabiti  $k_1$  sırasıyla ortalama 0.007, 0.006 dk<sup>-1</sup> olarak hesaplanmıştır. Birinci derece kinetik modeline uygun olduğu düşünülmektedir. Ayrıca sıcaklık artıkça hız sabitinde değişim olmamıştır.



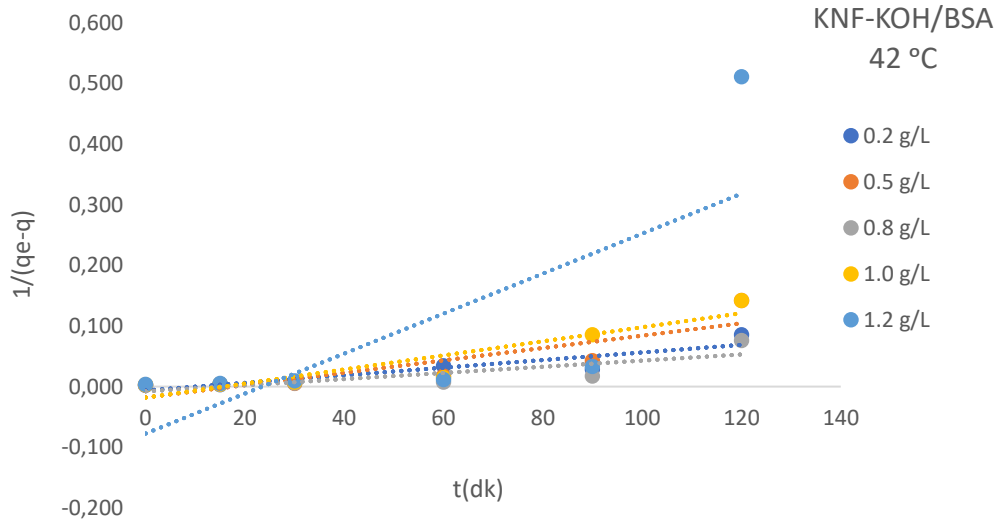
**Şekil 5.108** Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen Birinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C,  $m_{ads}$ : 0.2-1.2 g/L, V: 0.10 L).



**Şekil 5.109** Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen Birinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C,  $m_{ads}$ : 0.2-1.2 g/L, V: 0.10 L).



**Şekil 5.110** Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen İkinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C,  $m_{ads}$ : 0.2-1.2 g/L, V: 0.10 L).



**Şekil 5.111** Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF-KOH üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen İkinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 42 °C,  $m_{ads}$ : 0.2-1.2 g/L, V: 0.10 L).

**Çizelge 5.13** 37 °C Sıcaklıktaki KNF-KOH/BSA Adsorpsiyonu için Birinci ve İkinci Derece Kinetik Parametreleri.

KNF-KOH (g/L) 37 °C	$k_1$ (dk <sup>-1</sup> )	$r^2$	$k_2$ (g/mg.dk)	$r^2$
0.2	0.0081	0.77	0.0008	0.25
0.5	0.0048	0.98	0.0005	0.89
0.8	0.0090	0.91	0.0034	0.27
1.0	0.0066	0.94	0.0028	0.62
1.2	0.0067	0.89	0.0033	0.56
Ortalama	0.0070	0.90		0.52

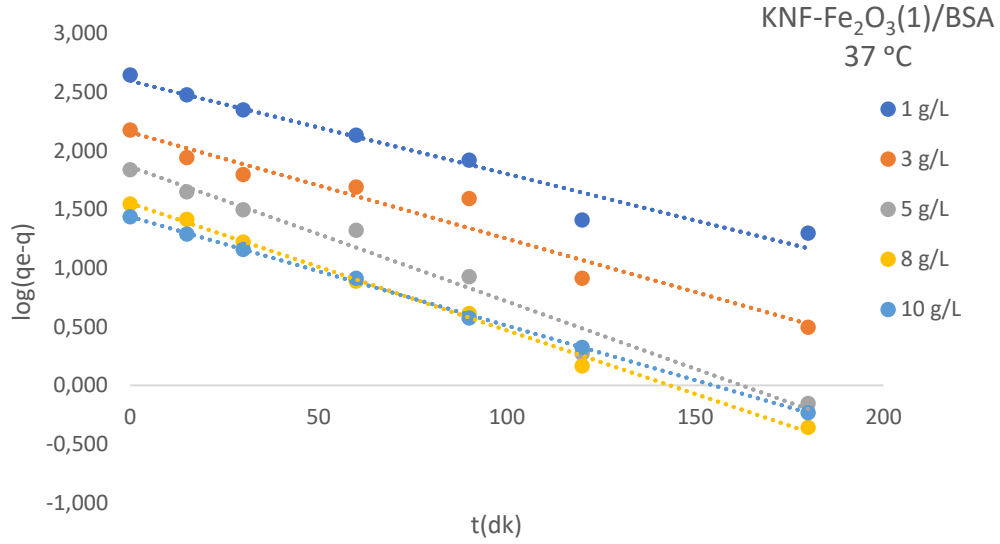
**Çizelge 5.14** 42 °C Sıcaklıktaki KNF-KOH/BSA Adsorpsiyonu için Birinci ve İkinci Derece Kinetik Parametreleri.

KNF-KOH (g/L) 42 °C	$k_1$ (dk <sup>-1</sup> )	$r^2$	$k_2$ (g/mg.dk)	$r^2$
0.2	0.0058	0.93	0.0006	0.83
0.5	0.0063	0.99	0.0010	0.76
0.8	0.0049	0.95	0.0005	0.68
1.0	0.0064	0.98	0.0012	0.85
1.2	0.0069	0.88	0.0033	0.56
Ortalama	0.0061	0.95		0.74

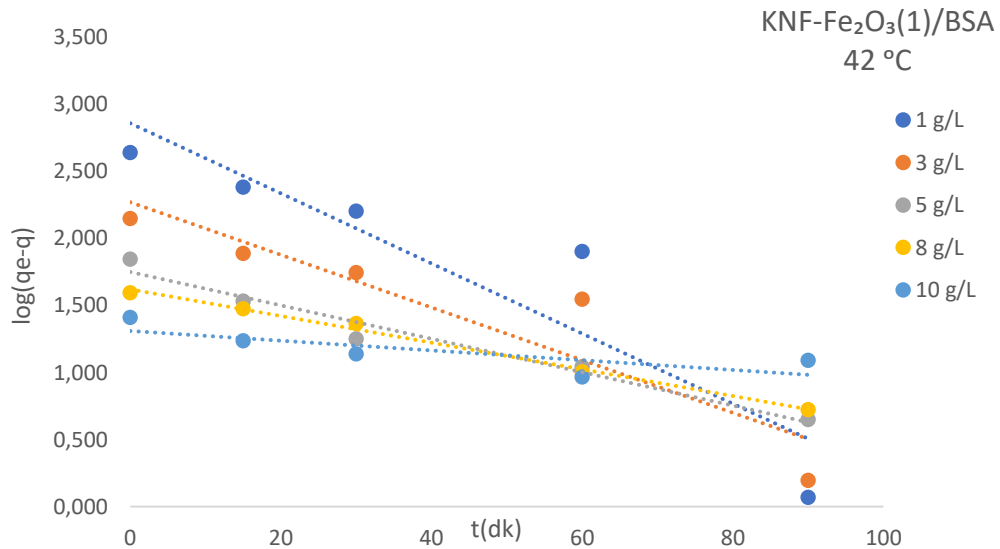
#### 5.5.4. KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1) /BSA Adsorpsiyonuna Ait Kinetik ve Adsorpsiyon Hız Sabitleri

37 ve 42 °C sıcaklıkta KNF- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (1) üzerine BSA adsorpsiyonundan elde edilen  $q_e$  ile hesaplanan birinci ve ikinci mertbe hız grafikleri sırasıyla Şekil 5.112, Şekil 5.113, Şekil 5.114, Şekil 5.115'te verilmiştir. Birinci ve ikinci derece hız sabitlerinin değerlendirilmesi için çizilen eğrilerin korolasyon katsayısının kareleri karşılaştırıldığında 37 °C sıcaklıkta sırasıyla 0.87 ve 0.81; 42 °C sıcaklıkta 0.86 ve 0.74 olarak bulunmuştur. Buna göre 37 ve 42 °C

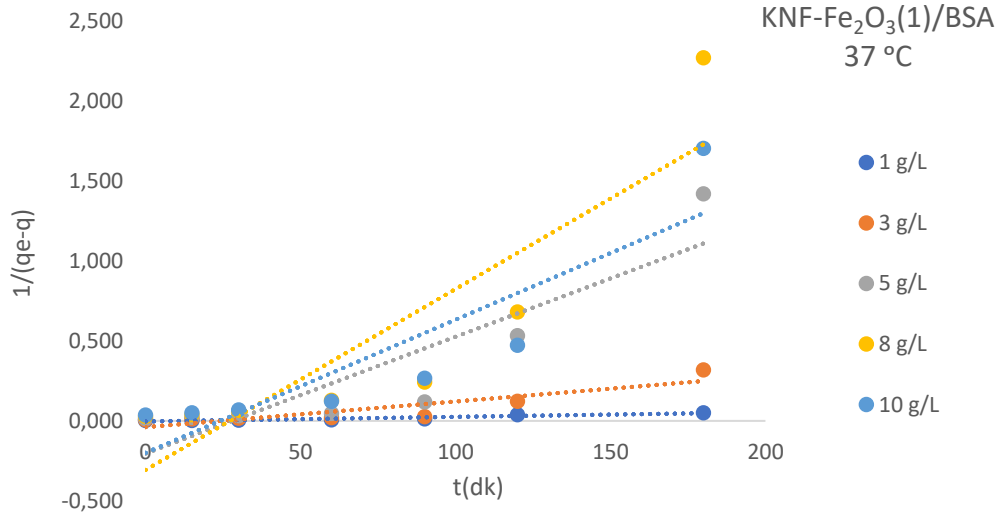
sıcaklıklarda birinci derece hız sabiti  $k_1$  ortalama sırasıyla 0.005 ve 0.006  $dk^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. Birinci dereceden hız sabitinin sıcaklık arttıkça değişim olmadığı görülmüştür. Adsorpsiyonun her iki kinetik modeline uygun olduğu ve sıcaklıktan etkilenmediği düşünülmektedir.



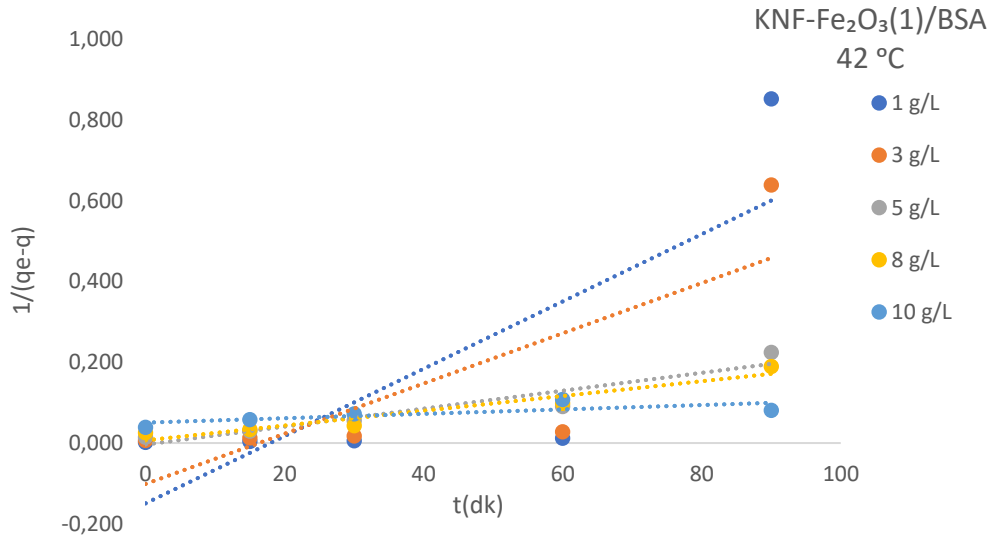
**Şekil 5.112** Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen Birinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37 °C,  $m_{ads}$ : 1.0-10.0 g/L, V: 0.10 L).



**Şekil 5.113** Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen Birinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 42°C,  $m_{ads}$ : 1.0-10.0 g/L, V: 0.10 L).



**Şekil 5.114** Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen İkinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, T: 37°C, m<sub>ads</sub>: 1.0-10.0 g/L, V: 0.10 L).



**Şekil 5.115** Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen İkinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, T: 42°C, m<sub>ads</sub>: 1.0-10.0 g/L, V: 0.10 L).

**Çizelge 5.15** 37 °C Sıcaklıktaki KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1)/BSA Adsorpsiyonu için Birinci ve İkinci Derece Kinetik Parametreleri.

KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1) (g/L) 37 °C	k <sub>1</sub> (dk <sup>-1</sup> )	r <sup>2</sup>	k <sub>2</sub> (g/mg.dk)	r <sup>2</sup>
1.0	0.0034	0.95	0.0003	0.89
3.0	0.0040	0.95	0.0016	0.79
5.0	0.0065	0.98	0.0073	0.80
8.0	0.0047	0.99	0.0113	0.79
1.0	0.0040	0.99	0.0083	0.79
Ortalama	0.0045	0.97		0.81

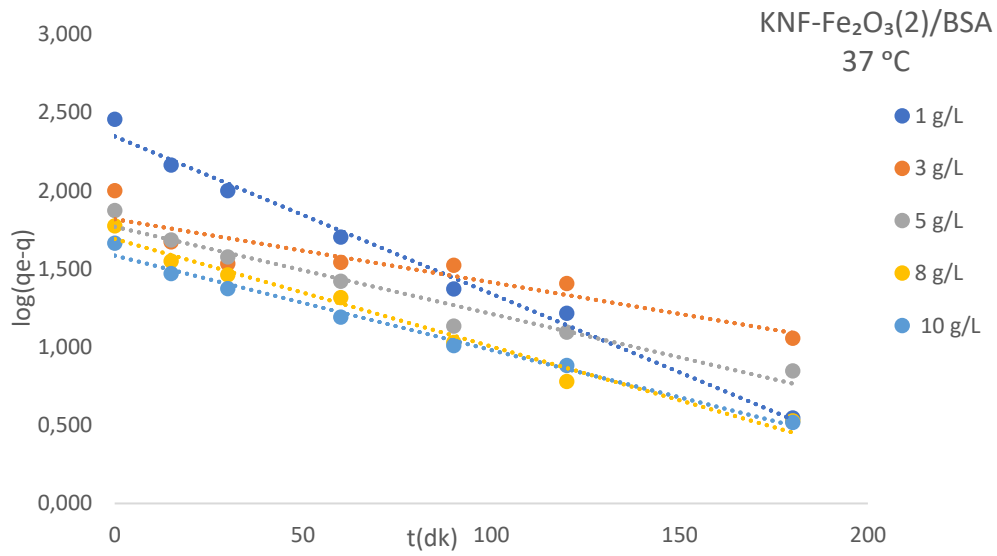
**Çizelge 5.16** 42°C Sıcaklıktaki KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1)/BSA Adsorpsiyonu için Birinci ve İkinci Derece Kinetik Parametreleri.

KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (1) (g/L) 42 °C	k <sub>1</sub> (dk <sup>-1</sup> )	r <sup>2</sup>	k <sub>2</sub> (g/mg.dk)	r <sup>2</sup>
1.0	0.0114	0.85	0.0083	0.63
3.0	0.0085	0.86	0.0062	0.65
5.0	0.0054	0.92	0.0022	0.91
8.0	0.0043	0.99	0.0018	0.93
10.0	0.0016	0.62	0.0005	0.58
Ortalama	0.0062	0.86		0.74

### 5.5.5. KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (2) /BSA Adsorpsiyonuna Ait Kinetik ve Adsorpsiyon Hız Sabitleri

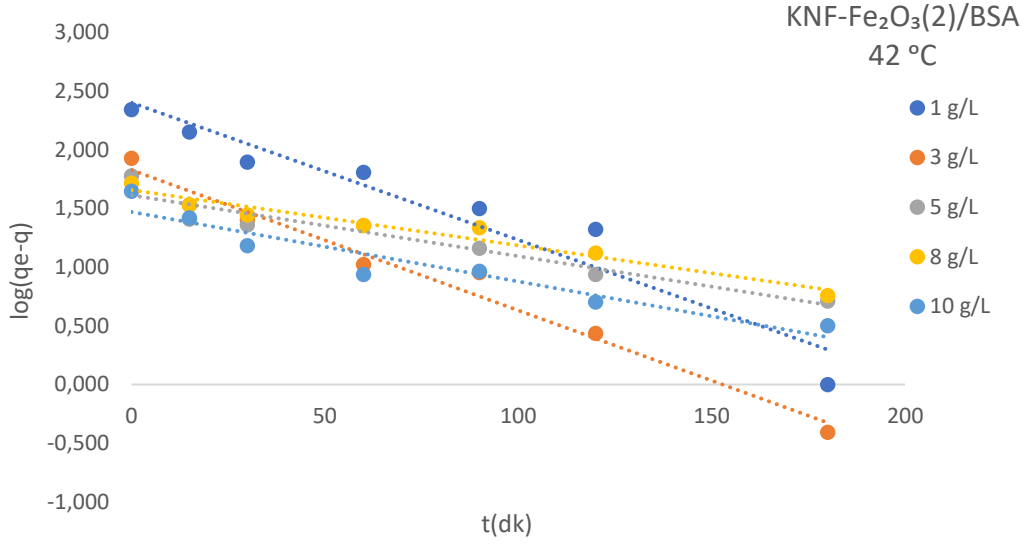
37 ve 42 °C sıcaklıkta KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) üzerine BSA adsorpsiyonundan elde edilen q<sub>e</sub> ile hesaplanan birinci ve ikinci derece hız grafikleri sırasıyla Şekil 5.116, Şekil 5.117, Şekil 5.118, Şekil 5.119'de verilmiştir. Birinci ve ikinci derece hız sabitlerinin değerlendirilmesi için

çizilen eğrilerin korolasyon katsayısının kareleri karşılaştırıldığında 37 °C sıcaklıkta sırasıyla 0.95 ve 0.88; 42 °C sıcaklıkta 0.94 ve 0.75 olarak bulunmuştur. Buna göre 37 ve 42 °C sıcaklıklarda birinci derece hız sabiti  $k_1$  ortalama  $0.003 \text{ dk}^{-1}$  olarak hesaplanmıştır. Birinci dereceden hız sabitinin sıcaklık arttıkça değişim olmadığı görülmüştür. Adsorpsiyonun her iki kinetik modeline uygun olduğu ve sıcaklıktan etkilenmediği düşünülmektedir. KNF, KNF- $\text{Fe}_2\text{O}_3(2)$  ve KNF- $\text{Fe}_2\text{O}_3(1)$ 'in birinci derece hız sabiti  $0.003 \text{ dk}^{-1}$  ile aynıdır.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ise  $0.006 \text{ dk}^{-1}$  değerlerinden fazladır.

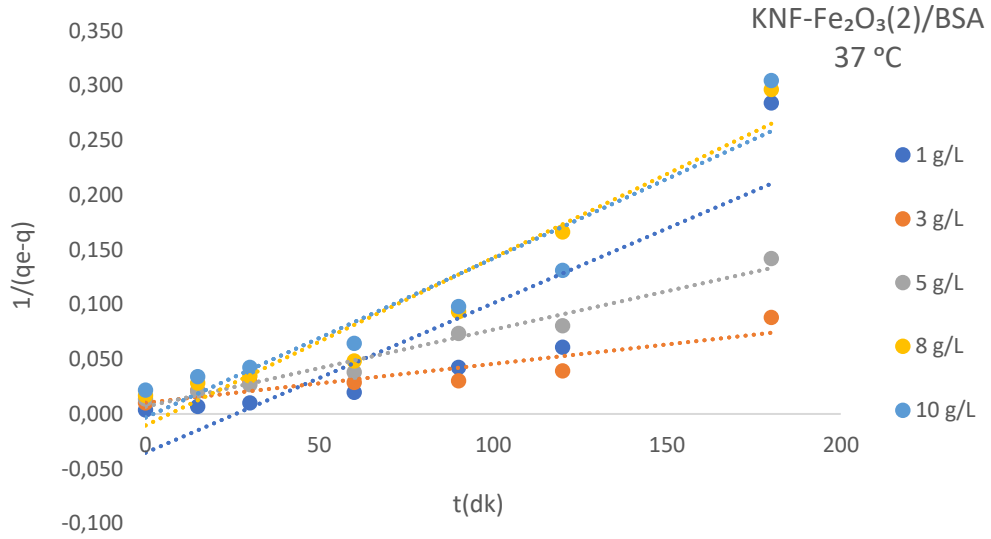


**Şekil 5.116** Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF- $\text{Fe}_2\text{O}_3(2)$  üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen Birinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri ( $C_0$ :500 mg/L, pH: 4.5, T: 37°C,  $m_{\text{ads}}$ : 1.0-10.0 g/L, V: 0.10 L).

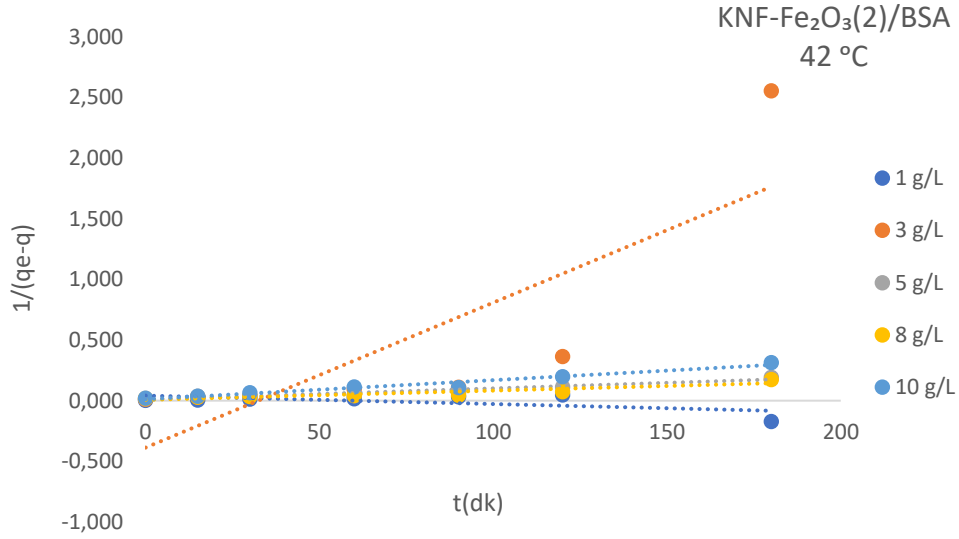




**Şekil 5.117** Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen Birinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, T: 42°C, m<sub>ads</sub>: 1.0-10.0 g/L, V: 0.10 L).



**Şekil 5.118** Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (2) üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen İkinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, T: 37°C, m<sub>ads</sub>: 1.0-10.0 g/L, V: 0.10 L).



**Şekil 5.119** Farklı Adsorbent Miktarlarında KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) üzerine BSA Adsorpsiyonundan Elde Edilen İkinci Derece Adsorpsiyon Hız Eğrileri (C<sub>0</sub>:500 mg/L, pH: 4.5, T: 42°C, m<sub>ads</sub>: 1.0-10.0 g/L, V: 0.10 L).

**Çizelge 5.17** 37°C Sıcaklıktaki KNF- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2)/BSA Adsorpsiyonu için Birinci ve İkinci Derece Kinetik Parametreleri.

KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2) (g/L) 37 °C	k <sub>1</sub> (dk <sup>-1</sup> )	r <sup>2</sup>	k <sub>2</sub> (g/mg.dk)	r <sup>2</sup>
1.0	0.0044	0.99	0.0014	0.76
3.0	0.0017	0.84	0.0004	0.83
5.0	0.0024	0.95	0.0007	0.97
8.0	0.0030	0.98	0.0015	0.93
10.0	0.0026	0.99	0.0015	0.90
Ortalama	0.0028	0.95		0.88

**Çizelge 5.18** 42°C Sıcaklıktaki KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (2)/BSA Adsorpsiyonu için Birinci ve İkinci Derece Kinetik Parametreleri.

KNF-Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (2) (g/L) 42 °C	k <sub>1</sub> (dk <sup>-1</sup> )	r <sup>2</sup>	k <sub>2</sub> (g/mg.dk)	r <sup>2</sup>
1.0	0.0051	0.93	-0.0007	0.37
3.0	0.0052	0.98	0.0012	0.67
5.0	0.0023	0.92	0.0009	0.92
8.0	0.0020	0.96	0.0008	0.84
10.0	0.0026	0.91	0.0016	0.96
Ortalama	0,0034	0.94		0.75



## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR

- BSA adsorpsiyonuna pH etkisinin incelenmesi amacıyla farklı pH aralıklarında her bir malzemenin zeta potansiyel ölçümleri yapılmıştır. Öncelikle BSA'nın farklı pH değerlerinde hazırlanan çözeltileri, daha sonra malzemelerin BSA ile etkileşim halinde olduğu çözeltiler ölçülmüştür. BSA'nın zeta potansiyel ölçümleri sonucunda izoelektrik noktasının ortalama pH 4.3'te bulunması sebebiyle çalışmalar pH 4.5'de yapılmıştır. KNF'nin pH değişimlerinden etkilenmediği görülmüştür.
- KNF, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, KNF-KOH ve KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) malzemelerinin adsorpsiyonunda; adsorbent miktarı artarken adsorpsiyon kapasitesinin arttığı, KNF- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) için ise adsorpsiyon kapasitesinin azaldığı görülmüştür.
- Sıcaklık arttıkça KNF-KOH ve Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>'nin adsorpsiyon kapasitesi artarken, KNF'nin azalmıştır. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yüklemesi yapılan KNF kompozit malzemelerin sıcaklık artışından etkilenmediği düşünülmektedir.
- Adsorpsiyon izoterm modelleri incelendiğinde KNF hariç diğer adsorbentler için Langmuir ve Freundlich izoterm modellerinin uygun olduğu, KNF için ise Langmuir izoterm modelinin uygun olduğu çizilen grafiklerde bulunmuştur.
- SEM-EDX ölçümlerinde adsorbentlerin nano boyutta incelemesi yapılmıştır. Özellikle kompoziti oluşturan malzemelerin birbiri içinde homojen dağılmış olması adsorpsiyon için oldukça önemlidir. Bu sonuçlarda KNF-KOH'nin analizinde KNF lifleri arasında potasyumların homojen dağıldığı fakat ara ara topaklaşmış potasyumlar olduğu görülmüştür. KNF-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(1) kompozitinin görselinde KNF üzerinde demir topaklarının bir örtü oluşturduğu, bu örtünün de adsorpsiyonu engellediği düşünülmektedir. KNF Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(2) kompozitinin analizinde heterojen bir görünüm elde edilmiştir. Ayrıca KNF

liflerinin parçalandığı, liflerin içine demirlerin nüfus etmediği tespit edilmiştir. KNF lifli yapısının bozulması ve kompoziti oluşturan malzemelerin uyum sağlamamış olmasının adsorpsiyonu olumsuz etkilediği düşünülmektedir.

- $Fe_2O_3$  üzerine pH 4.5 ve 32, 37 ve 40 °C sıcaklıkta yapılan BSA adsorpsiyonunda Langmuir izotermine göre adsorpsiyon kapasitesi 68.5, 75.8 ve 166.0 mg/g; KNF üzerine yapılan BSA adsorpsiyonunda aynı şartlar altında sırasıyla 1428.6, 909.1 ve 714.3 mg/g olarak hesaplanmıştır.
- Adsorpsiyon kapasiteleri karşılaştırıldığında (Langmuir modeline göre) KNF'nin adsorpsiyon kapasitesi 909.1 mg/g iken, KNF-KOH kompozit malzemesinin 1250 mg/g' dir. Bu da sentezlenen malzemenin yapılan modifikasyon ile adsorplama kapasitesinin arttığını göstermektedir. KNF- $Fe_2O_3(2)$  kompozit malzemesinin adsorpsiyon kapasitesi 232.6 mg/g'dir, yani KNF'nin değerinden oldukça düşüktür. Bunun sebebi SEM görüntülerinde görülmüştür. Fakat  $Fe_2O_3$ 'in adsorplama kapasitesi 166 mg/g ile kıyaslandığında artış olduğu görülmektedir. KNF- $Fe_2O_3(1)$  kompozit malzemesinin adsorpsiyon kapasitesi 21.64 mg/g bulunmuştur. Bunun sebebinin adsorbentin SEM görüntülerine bakıldığında anlaşıldığı gibi (Şekil 5.19'da) bu kompozitin içindeki karbon liflerin kısaldığını ve lifler arasına malzemenin homojen dağılmadığı görülmektedir.
- Birinci ve ikinci mertebeden kinetik modellerle deneysel adsorpsiyon verileri analiz edilmiştir. BSA'nın KNF,  $Fe_2O_3$ , KNF-KOH, KNF-  $Fe_2O_3(1)$  ve KNF-  $Fe_2O_3(2)$  üzerine adsorpsiyonunda korolasyon değerleri incelendiğinde birinci mertebeden kinetik modeline daha uyumlu olduğu bulunmuştur. Buna göre BSA'nın bu adsorbentler üzerine adsorpsiyonu kütle akışı ile yani fiziksel adsorpsiyon ile olmaktadır.

## BÖLÜM 7

### ÖNERİLER

- KNF üzerine  $Fe_2O_3$  yüklenmesi için kullanılan sentez yöntemlerinin başarılı olabilmesi amacıyla yöntem koşullarının optimize edilmesi gerekebilir.
- Farklı yöntemlerle sentezlenen KNF-demir oksit etkileşimleri üzerine adsorpsiyon prosesi incelenebilir.
- Elde edilen verilerin karşılaştırılması amacıyla farklı metal oksitler ile yükleme yapılarak kompozitler oluşturulabilir.





## KAYNAKLAR

- Akgül M, Savak N B, Özmak M, Dumanlı A G, Yürüm Y, ve Karabakan A** (2008) Adsorption of Bovine SerumAlbumin (BSA) on Clinoptilolite. *Hacettepe Journal Of Biologyand Chemistr*, 36(1): 21-29.
- Altay C, Senay H R, Eksin E, Congur G, Erdem A ve Akgöl, S** (2017) Development of amino functionalized carbon coated magnetic nanoparticles and their application to electrochemical detection of hybridization of nucleic acids. *Talanta*, 164:175-182.
- Alvi M A ve Shaheer Akhtar M** (2016) An effective and low cost PdCe bimetallic decorated carbon nanofibers as electro-catalyst for direct methanol fuel cells applications. *Journal of Alloys and Compounds*, 684: 524-529.
- Ası T** (1996) Proteinler. *Tablolarla Biyokimya*, Cilt I, İstanbul, 199-269.
- Bailey G W ve White J L** (1970) Factors influencing the adsorption, desorption, and movement of pesticides in soil. *Single pesticide volume, the triazine herbicides*, (3656): 40-64.
- Bhogale A, Patel N, Mariam J, Dongre P M, Miotello A ve Kothari D C** (2014) Comprehensive studies on the interaction of copper nanoparticles with bovine serum albumin using various spectroscopies. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, (113): 276-278.
- Bozgeyik K** (2012) BSA'nın Farklı Yüzeylerde Adsorpsiyonu ve Elektrokinetik Özellikleri. *Doktora Tezi*, Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya ABD, Zonguldak, 209.
- Butler S M, Tracy M A ve Tilton R D** (1999) Adsorption of serum albumin to thin films of poly(lactide-co-glycolide). *Journal of Controlled Release*, 58(3): 335-347.
- Champe P C, Harvey R A ve Ferrier D R** (2007) *Lippincott Biyokimya*, E. Ulukaya, (Çev.), 5.baskı, İstanbul: Nobel Tıp Kitabevi, 520.
- Chen J H, Li W Z, Wang D Z, Yang S X, Wen J G ve Ren Z F** (2002) Electrochemical characterization of carbon nanotubes as electrode in electrochemical double-layer capacitors. *Carbon*, 40(8): 1193-1197.
- Chen J, Nie L, Liu D, Deng W, Kuang Y ve Yao S** (2004) High dispersion and electrocatalytic properties of platinum nanoparticles on graphitic carbon nanofibers (GKNFs). *Journal of Colloid and Interface Science*, 269(1): 26-31.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Dasgupta N, Ranjan S, Patra D, Srivastava P, Kumar A ve Ramalingam C** (2016) Bovine serum albumin interacts with silver nanoparticles with a “side on” or “end on” conformation. *Chemico-Biological*, 253:110-111.
- De Paoli S H, Diduch L L, Tegegn T Z, Orecna M, Strader M B, Karnaukhova E, Simak J** (2014) The effect of protein corona composition on the interaction of carbon nanotubes with human blood platelets. *Biomaterial*, 35(24): 6182-6194.6
- Demirbaş E, Kobya M, Şentürk E ve Özkan T** (2004) Adsorption kinetics for the removal of chromium (VI) from aqueous solutions on the activated carbons prepared from agricultural wastes. *Water SA*, 30(4): 533-540.
- Dimpe M K, Nyaba L, Magoda C, Ngila J C ve Nomngongo P N** (2017) Synthesis, modification, characterization and application of AC@Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>@MnO<sub>2</sub> composite for ultrasound assisted dispersive solid phase microextraction of refractory metals in environmental samples. *Chemical Engineering Journal*, 308: 169-176.
- Duarte M M, Pilla A S, Sieben J M ve Mayer C E** (2006) Platinum particles electrodeposition on carbon substrates. *Electrochemistry Communications*, 8(1): 159-164.
- Duman O** (2012) Doğal Nano Killer ile Atıksulardan Zn<sup>+2</sup> Ve Pb<sup>+2</sup> Ağır Metallerinin Giderilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Çevre Mühendisliği ABD, Konya, 62.
- Ekingen İ** (2012) Protein Adsorpsiyonu. *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği ABD, İstanbul, 111.
- Freundlich H** (1926) *Colloid and Capillary Chemistry*. London: Methuen, 883.
- Fukuzaki S, Urano H ve Nagata K** (1996) Adsorption of Bovine Serum Albumin onto Metal Oxide Surface. *Journal of Fermentation and Bioengineering*, 82(2): 163-167.
- Gao J, Jun L, Xudong W, Renzheng J, Lijun J, Wanga B ve Xuc Y** (2010) Spectroscopic investigation on assisted sonocatalytic damage of bovine serum albumin (BSA) by metronidazole (MTZ) under ultrasonic irradiation combined with nano-sized ZnO. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 77(4): 895-901.
- Gülseren İ, Güzey D, Bruce B ve Weiss J** (2007) Structural and Functional Change in Ultrasonicated Bovine Serum Albumin Solution. *Ultrasonic Sonochemistry*, 14(2): 173-183.
- Gürellier R** (2004) Bulunan Uranyumun Polimerik Adsorbanla Tutulmasının Kinetik İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Ankara Üniversitesi, Kimya ABD, Ankara, 64.
- He Z, Chen J, Liu D, Tang H, Deng W ve Kuang Y** (2004) Deposition and electrocatalytic properties of platinum nanoparticles on carbon nanotubes for methanol electrooxidation. *Materials Chemistry and Physics*, 85(2-3): 396-401.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Hlady V, Buijs J ve Jennissen H P** (1999) Methods for Studying Protein Adsorption. *Methods in Enzymology*, 309: 402-429.
- Jeong G, Oh J ve Jang J** (2019) Fabrication of N-doped multidimensional carbon nanofibers for high-performance cortisol biosensors. *Biosensors & Bioelectronics*, 131: 30-36.
- Jiang W, Mashayekhi H ve Xing, B** (2009) Bacterial toxicity comparison between nano- and micro-scaled oxide particles. *Environmental Pollution*, 157(5), 1619-1625.
- Kathiravan A, Paramaguru G ve Renganathan R** (2009) Study on the binding of colloidal zinc oxide nanoparticles with bovine serum albumin. *Journal of Molecular Structure*, 934(1-3), 129-137.
- KhanGhouri Z, A M Barakat N, Park M, Byoung-SuhKim ve Kim Y** (2015) Synthesis and characterization of Co/SrCO<sub>3</sub> nanorods decorated carbon nanofibers as novel electrocatalyst for methanol oxidation in alkaline medium. *Ceramics International Part A*, 41(5): 6575-6582.
- Kılınc E** (2016)  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> magnetic nanoparticle functionalized with carboxylated multiwalled carbon nanotube: Synthesis, characterization, analytical and. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 401: 949-955.
- Kopaç T ve Bozgeyik K** (2010) Effect of Surface Area Enhancement on the Adsorption of Bovine Serum Albumin onto Titanium Dioxide. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 76: 265-271.
- Kopaç T, Bozgeyik K ve Yener J** (2008) Effect of pH and Temperature on the Adsorption of Bovine Serum Albumin onto Titanium Dioxide. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 322: 19-28.
- Kopaç T, Bozgeyik K ve Flahaut E** (2018) Adsorption and interactions of the bovine serum albumin-double walled carbon nanotube system. *Journal of Molecular Liquids*, 252: 1-8.
- Korkmaz H, Tıncılıç N, Özen T ve Güder A** (2012) Biyokimya-I Ders Notları. Samsun.
- Langmuir I** (1916) The Constitution and Fundamental Properties of Solids and Liquids Part I Solid. *Journal of the American Chemical Society*, 38: 2221-2295.
- Lee W K, Ko J S ve Kim H M** (2002) Effect of Electrostatic Intraction on the Adsorption of Globular Proteins on Octacalcium Phospate Crystal Film. *Journal of Colloid and Interface Science*, (246): 70-77.
- Li H, Lu J, Li K, Sun C ve Zhang D** (2012) Mechanical properties enhancement of carbon/carbon composites by in situ grown carbon nanofibers. *Materials Science and Engineering: A*, 547: (138-141).
- Lin Z, Ji L ve Zhang X** (2009) Electrocatalytic properties of Pt/carbon composite nanofibers. *Electrochimica Acta*, 54: 7042-7047.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Liu S, Sun Y, Zhou F ve Nan J** (2016) Improved electrochemical performance of  $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanorods and nanotubes confined in carbon nanoshells. *Applied Surface Science*, 375: 101-109.
- Nadagouda M N ve Lytle D A** (2011) Microwave-Assisted Combustion Synthesis of NanoIron Oxide/Iron-Coated Activated Carbon, Anthracite, Cellulose Fiber, and Silica, with Arsenic Adsorption Studies. (T. F. Speth, Dü.) *Journal of Nanotechnology*, (2011): 8.
- Norde W ve Giacomelli C E** (2000) BSA Structural Changes during Homomolecular Exchanges between the Adsorbed and the Dissolved States. *Journal of Biotechnology*, 79: 259-268.
- Oliveira L, Rios R V, Fabris J D, Sapag K ve Logo R M** (2002) Activated carbon/iron oxide magnetic composites for the adsorption of contaminants in water. *Carbon*, (40): 2177-2183.
- Özer N ve Yalçın S** (1996) *Temel Biyokimya*. İstanbul: Marmara Üniversitesi Yayın No:667.
- Phan H T, Bartelt-Hunt L S, Rodenhausen K B, Schubert M ve Bartz J C** (2015) Investigation of Bovine Serum Albumin (BSA) Attachment onto Self-Assembled Monolayers (SAMs) Using Combinatorial Quartz Crystal Microbalance with Dissipation (QCM-D) and Spectroscopic Ellipsometry (SE). *Civil Engineering Faculty Publications*, (s. 62). Lincoln.
- Rabe M, Verdes D ve Seeger S** (2011) Understanding Protein Adsorption Phenomena at Solid Surfaces. *Advances in Colloid and Interface Science*, 162: 87-106.
- Rajeshwari A, Pakrashi S, Dalai S** (2014) Spectroscopic studies on the interaction of BSA with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles. *Journal of Luminescence*, (145): 859-865.
- Ramos Guivar J A, Sanches E A, Bruns F, Sadrollahi E, Morales M A, Lopez E O ve Litterst J F** (2016) Vacancy ordered  $\gamma$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles functionalized with nanohydroxyapatite: XRD, FTIR, TEM, XPS and Mössbauer studies. *Applied Surface Science*, 389: 721-734.
- Ranjan S, Dasgupta N, Srivastava P ve Ramalingam C** (2016) A spectroscopic study on interaction between bovine serum albumin and titanium dioxide nanoparticle synthesized from microwave-assisted hybrid chemical approach. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, (161): 472-481.
- Ravindrana A, Singha A, Raichurb A M ve Mukherjee A** (2010) Studies on interaction of colloidal Ag nanoparticles with Bovine Serum Albumin (BSA). *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 76(1): 32-37.
- Rezwan K, Studart A R, Volroels J ve Gauckler L J** (2005) Change of  $\zeta$  Potential of Biocompatible Colloidal Oxide Particles upon Adsorption of Bovine Serum Albumin and Lysozyme. *J. Phys. Chem. B*, 109: 14469-14474.
- Sarıkaya Y** (2017) *Fizikokimya*. Ankara: Gazi Kitabevi, 1121.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Silbey R J, Alberty, R ve Bawendy M** (2005) *Physical Chemistry*, 4th, New York: Wiley.
- Singh P, Raizada P, Pathania D, Sharma G ve Sharma P** (2013) Microwave induced KOH activation of guava peel carbon as an adsorbent for Congo red dye removal from aqueous phase. *Indian Journal of Chemical Technology* (20): 305-311.
- Smith J M ve Van Ness H C** (2004) *Introduction to chemical engineering thermodynamics*, 7th, Singapore: McGraw-Hill, 840.
- Susumu A ve Morinobu E** (2005) Various carbon nanofiber–copper composite films prepared by electrodeposition. *Electrochemistry Communications*, (7): 19-22.
- Tang L, Persky A M, Hochhaus G ve Meibohm B** (2004) Pharmacokinetic aspects of biotechnology products. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 93(9): 2184-2204.
- Thostenson E T, Li C ve Chou W** (2005) Nanocomposites in context. *Composites Science and Technology*, 65(3-4): 491-516.
- Tran P A, Zhang L ve Webster T J** (2009) Carbon nanofibers and carbon nanotubes in regenerative medicine. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 61(12): 1097-1114.
- Wang J, Wang G ve Wang H** (2015) Flexible free-standing Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/graphene/carbon nanotubes hybrid films as anode materials for high performance lithium-ion batteries. *Electrochimica Acta*, 182: 192-201.
- Xiuyi L, Xu L, Jingjing J, Xi S ve Jang-Kyo K** (2014) Electrical and mechanical properties of carbon nanofiber/graphene oxide hybrid papers. *Composites Science and Technology*, (100): 166-173.
- Xu C, Shen P ve Chiu Y** (2016) Atmospheric pressure plasma jet processed nanoporous Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/KNT composites for supercapacitor application. *Journal of Alloys and Compounds*, 676: 469-473.
- Zhang H, Wu P, Zhu Z ve Wang Y** (2015) Interaction of c-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanoparticles with fibrinogen. *Spectrochimica Acta Part; Molecular and Biomolecular Spectroscopy* (151): 40-47.
- Zhang T, Ma Z, Li G, Wang Z, Zhao B ve Lou Y** (2016) Electrostatic interactions for directed assembly of high performance nanostructured energetic materials of Al/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/multi-walled carbon nanotube (MWKNT). *Journal of Solid State Chemistry*, 237: 394-403.
- Zhao X, Liu R, Teng Y ve Liu X** (2011) The interaction between Ag<sup>+</sup> and bovine serum albumin: A spectroscopic investigation. *Science of The Total Environment*, 409(5): 892-897.
- Zhou E, Wang C, Shao M, Deng X ve Xu X** (2017) MoO<sub>2</sub>. *Ceramics International*, 43(1): 760-765.

## **KAYNAKLAR (devam ediyor)**

**URL-1**<[content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/49144/46358/proteinler\\_ders\\_notu.pdf](http://content.lms.sabis.sakarya.edu.tr/Uploads/49144/46358/proteinler_ders_notu.pdf)>, Ziyaret Tarihi: 15.06.2019

**URL-2**<<https://www.gercekbilim.com/2014-nobel-kimya-odulu-nano-yapilari-gosteren-super-mikroskopun-mucitlerine/goruntuleme-nano/>>, Ziyaret Tarihi: 02.07.2019

**URL-3**<[http://megep.meb.gov.tr/mte\\_program\\_modul/moduller/Proteinler.pdf](http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller/Proteinler.pdf)>, Ziyaret Tarihi: 15.06.2019

**URL-4**<<http://www.mustafaaltinisik.org.uk/89-1-07.pdf>>, Ziyaret Tarihi 15.04.2019

**URL-5**<<https://www.sigmaaldrich.com/catalog/product/sigma/a9647?lang=en&region=TR>>, Ziyaret Tarihi: 15.06.2019

**URL-6**<<https://www.academia.edu/34077722/6-PROTE%C4%B0NLER>>, Ziyaret tarihi: 15.04.2019

**URL7**<[http://depo.btu.edu.tr/dosyalar/metalurji/Dosyalar/Partikül\\_boyut\\_olcumu\\_deneyi%281%29.pdf](http://depo.btu.edu.tr/dosyalar/metalurji/Dosyalar/Partikül_boyut_olcumu_deneyi%281%29.pdf)>, Ziyaret tarihi 15.07.2019

## ÖZGEÇMİŞ

Emine Zülal ÇAKAR, 1993 yılında Zonguldak'ta doğdu; İlk ve Orta ve lise öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 2011 yılında Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümüne girdi. 2015 yılında mezun olduktan hemen sonra aynı yıl Bülent Ecevit Üniversitesi Nanoteknoloji Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programına başladı. 2017 yılında Çanakcılar Seramik A.Ş' de Ar-Ge Uzman Yardımcısı olarak göreve başladı ve şu an aynı şirkette Ar-Ge Uzmanı olarak görevine devam etmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Çanakcılar Seramik A.Ş.  
Çukur Mah. Mevkii  
Gökçebey/ZONGULDAK

Tel : (0372) 535 5130-1280

E-posta : zulal00@hotmail.com