

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TİCARİ AKTİF KARBONUN MODİFİKASYONU
VE
BSA ADSORPSİYON ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

MEHMET BERAT TAŞKIN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. BELMA ÖZBEK**

İSTANBUL, 2013

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TİCARİ AKTİF KARBONUN MODİFİKASYONU
VE
BSA ADSORPSİYON ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Mehmet Berat TAŞKIN tarafından hazırlanan tez çalışması tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Belma ÖZBEK
Yıldız Teknik Üniversitesi

Eş Danışman

Prof. Dr. Sunullah ÖZBEK
Gedik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof Dr. Belma Kın OZBEK
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Dilek Kazan
Marmara Üniversitesi

Doç. Dr. Dilek KILIÇ APAR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Bu alışma, Yıldız Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'nün 2011-07-01-KAP02 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın ortaya konmasında doğrudan ve dolaylı olarak emeği olan birçok kişi bulunmaktadır. Bu kişilerden en büyük payın sahibi olan, bilgisi ve tecrübesi ile beni yönlendiren tez danışmanım Sayın Hocam Prof. Dr. Belma ÖZBEK'e ve eş danışmanım Sayın Hocam Prof Dr. Sunullah ÖZBEK'e şükranlarımı sunarım.

Deneylerde kullanılan ticari aktif karbonun temininde bana yardımcı olan Altek A.Ş'ne teşekkür ederim.

Son olarak aileme, dostlarıma, arkadaşlarıma, isimsiz kahramanlara bu süreç içerisinde beni sonuna kadar destekledikleri için en kalbi sevgilerimi iletiyorum.

Nisan, 2013

Mehmet Berat TAŞKIN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	x
KISALTMA LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
ÇİZELGE LİSTESİ	xiv
ÖZET	xvi
ABSTRACT.....	xviii
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Orijinal Katkı.....	2
BÖLÜM 2	
ADSORPSİYON	3
2.1 Adsorpsiyon Çeşitleri	3
2.1.1 Fiziksel Adsorpsiyon.....	4
2.1.2 Kimyasal Adsorpsiyon.....	4
2.1.3 Değişim (İyon Değişimi) Adsorpsiyonu	4
2.2 Adsorpsiyonu Etkileyen Faktörler	4
2.2.1 Adsorban ve Adsorbat	4
2.2.2 Sıcaklık	5
2.2.3 pH	6
2.3 Adsorpsiyon İzotermi.....	6
2.3.1 Langmuir İzotermi	7
2.3.2 Freundlich İzotermi	8
2.3.3 Temkin İzotermi.....	9

2.4	Adsorpsiyon Kinetiği	10	
BÖLÜM 3			
PROTEİNLER			14
3.1	Proteinlerin Genel Özellikleri	14	
3.2	Plazma Proteinleri ve Albümin.....	17	
3.2.1	Albüminin Yapısı ve Fiziko-Kimyasal Özellikleri	18	
3.2.2	Sıcaklık ve pH'ın BSA Üzerine Etkisi	19	
3.2.3	BSA'nın Adsorpsiyonuna Etki Eden Faktörler	20	
BÖLÜM 4			
AKTİF KARBON			21
4.1	Aktif Karbonun Özellikleri	22	
4.1.1	Fiziksel Özellikleri	22	
4.1.1.1	Kristal Yapı.....	22	
4.1.1.2	Yüzey Alanı.....	23	
4.1.1.3	Gözeneklilik.....	23	
4.1.2	Kimyasal Özellikleri	25	
4.2	Aktif Karbon Üretimi	26	
4.2.1	Aktif Karbon Üretiminde Kullanılan Hammaddeler.....	26	
4.2.2	Aktif Karbon Üretimindeki Aşamalar.....	27	
4.2.3	Karbonizasyon	27	
4.2.4	Aktivasyon	28	
4.2.4.1	Fiziksel Aktivasyon	28	
4.2.4.2	Kimyasal Aktivasyon	29	
BÖLÜM 5			
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI			30
BÖLÜM 6			
MATERYAL VE YÖNTEM			37
6.1	Kullanılan Cihazlar.....	37	
6.2	Kullanılan Kimyasal Maddeler.....	38	
6.3	Ticari Aktif Karbonun Modifiye İşlemi	38	
6.4	Ticari Aktif Karbonun Karakterizasyonu	39	
6.4.1	Aktif Karbon Örneklerinin Yüzey Yapısının İncelenmesi.....	40	
6.4.2	Aktif Karbon Örneklerinin Yüzey Gruplarının İncelenmesi.....	40	

6.5	Lowry Yöntemi ile Protein Miktarı Tayini	41	
6.5.1	Hesaplamalar	42	
6.6	Adsorpsiyon Deneyleri	43	
6.7	Adsorpsiyon Deneyleri İçin En Uygun Modifiye Aktif Karbon Seçimi	43	
6.7.1	Adsorpsiyon Kapasitesi ve Adsorpsiyon İzotermi	44	
6.7.1.1	Materyaller	44	
6.7.1.2	Yöntem.....	45	
6.7.1.3	Hesaplamalar	46	
6.7.2	Adsorpsiyon Kinetiği	47	
6.7.2.1	Materyaller	47	
6.7.2.2	Yöntem.....	48	
6.7.2.3	Hesaplamalar	49	
BÖLÜM 7			
DENEYSEL BULGULARIN İNCELENMESİ			51
7.1	Adsorpsiyon Deneyleri İçin En Uygun Modifiye Aktif Karbon Seçimi	51	
7.2	Aktif Karbon Örneklerinin Karakterizasyon Sonuçları	52	
7.2.1	Aktif Karbon Örneklerinin Yüzey Analizi Sonuçları.....	52	
7.2.2	Aktif Karbon Örneklerinin Yüzey Grupları Analizi Sonuçları.....	54	
7.3	Adsorpsiyon Deneylerinin İzoterm Modellerine Uygulanması.....	54	
7.3.1	TAK numunelerine ait adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin incelenmesi.....	54	
7.3.2	MTAK4 numunelerine ait adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin incelenmesi.....	68	
7.3.3	TAK ve MTAK4 numuneleri ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması.....	81	
7.3.4	Kinetik Çalışmaların Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	84	
BÖLÜM 8			
SONUÇLAR VE ÖNERİLER			91
KAYNAKLAR			93
EK-A			
TİCARİ AKTİF KARBONUN SPESİFİKASYONLARI.....			97
EK-B			
BSA ADSORPSİYONLARINA AİT İZOTERM VERİLERİ			99

EK-C

ADSORPSİYON KİNETİĞİ DENEYLERİNE AİT VERİLER	112
ÖZGEÇMİŞ	125

SİMGE LİSTESİ

q_e	Dengede birim adsorban tarafından adsorplanmış adsorbat miktarı, mg/g
C_e	Dengede çözeltideki adsorbat konsantrasyonu, mg/L
Q	Birim adsorbanın maksimum adsorpsiyon kapasitesi, mg/g
b	Langmuir izotermi sabiti, L/mg
K_F	Freundlich sabiti, $\text{mg}^{1-1/n} \text{L}^{1/n} \text{g}^{-1}$
n	Adsorpsiyon yoğunluğunu veren Freundlich sabiti
R^2	Regresyon katsayısı
C_0	Başlangıçta çözeltideki adsorban konsantrasyonu, mg/L
V	Çözelti hacmi, L
σ	Standart sapma
k_1	Yalancı 1. derece hız sabiti, dak^{-1}
k_2	Yalancı 2. derece hız sabiti, $\text{g mg}^{-1} \text{dak}^{-1}$
C_e	Adsorbatın denge konsantrasyonu, mg/L
q_e	Dengede birim adsorban tarafından adsorplanmış adsorban miktarı, mg/g
b_T	Adsorpsiyon ısısına bağlı Temkin sabiti, J/mol
A_T	Temkin izoterm sabiti, L/g
α	Elovich kinetik modelinde başlangıçtaki adsorpsiyon hızı, $\text{mg g}^{-1} \text{dak}$
β	Elovich kinetik modelinde yüzey kaplama derecesi ve adsorpsiyon aktivasyon enerjisi ile ilgili sabit, g mg^{-1}
k_i	Partikül içi difüzyon hız sabiti, $\text{mg g}^{-1} \text{dak}^{-2}$
C_i	Partikül içi difüzyon modelinde adsorban ile adsorbat arasında oluşan tabakanın kalınlığı hakkında bilgi veren sabit, mg g^{-1}

KISALTMA LİSTESİ

BET	Brunauer-Emmet-Teller
BJH	Barrett-Joyner-Halenda
BSA	Bovine Serum Albumine
FT-IR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy
IUPAC	International Union of Pure And Applied Chemistry
HSA	Human Serum Albumine
MTAK1	Modifiye Ticari Aktif Karbon-1
MTAK2	Modifiye Ticari Aktif Karbon-2
MTAK3	Modifiye Ticari Aktif Karbon-3
MTAK4	Modifiye Ticari Aktif Karbon-4
MTAK5	Modifiye Ticari Aktif Karbon-5
XPS	X-Ray Photoelectron Spectroscopy
TAK	Ticari Aktif Karbon

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon arasındaki dönüşümü gösteren izobar [6]	6
Şekil 2.2 Lineerleştirilmiş Langmuir izotermi [9]	8
Şekil 2.3 Lineerleştirilmiş Freundlich izotermi [9]	9
Şekil 2.4 Lineerleştirilmiş Temkin İzotermi [10]	10
Şekil 3.1 Peptid bağı ile bağlanmış iki amino asid [16].....	15
Şekil 3.2 Polipeptid zincirinde ana gövdenin ve yan zincirlerin gösterilmesi [15].....	15
Şekil 3.3 Protein konformasyonlarının şematik gösterimi [7].....	16
Şekil 3.4 BSA'nın model yapısı [7]	19
Şekil 3.5 Farklı pH'larda BSA'nın konformasyonları [22]	20
Şekil 4.1 Grafitin kristal yapısı [26]	22
Şekil 4.2 Aktif karbonun turbostatik düzensiz yapısı [2]	23
Şekil 4.3 Aktif karbon yapısındaki gözeneklerin şematik olarak gösterimi [25].....	24
Şekil 4.4 Aktif karbon yapısında bulunan başlıca fonksiyonel gruplar [12]	25
Şekil 4.5 Aktif karbon üretiminin genel akış şeması [6].....	27
Şekil 6.1 Physisorption ve Chemisorption Analiz Cihazı [47]	40
Şekil 6.2 FT-IR Cihazı [47]	41
Şekil 6.3 BSA için elde edilen kalibrasyon eğrisi.....	43
Şekil 7.1 MTAK1, MTAK2, MTAK3, MTAK4 ve MTAK5 örnekleri ile gerçekleştirilen BSA adsorpsiyonu deneylerinin zaman profili.....	51
Şekil 7.2 TAK örneğinin BJH desorpsiyon yöntemi ile por açıklığı dağılımının analizi	53
Şekil 7.3 MTAK4 örneğinin BJH desorpsiyon yöntemi ile por açıklığı dağılımının analizi.....	53
Şekil 7.4 TAK örneğinin FT-IR spektrumu.....	55
Şekil 7.5 MTAK4 örneğinin FT-IR spektrumu.....	55
Şekil 7.6 TAK numunesine ait pH 4 ve 25 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi.....	56
Şekil 7.7 TAK numunesine ait pH 5 ve 25 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi.....	56
Şekil 7.8 TAK numunesine ait pH 7 ve 25 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi.....	57

Şekil 7.9	TAK numunesine ait pH 8 ve 25 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi.....	57
Şekil 7.10	TAK numunesine ait pH 4 ve 30 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi.....	58
Şekil 7.11	TAK numunesine ait pH 5 ve 30 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi.....	58
Şekil 7.12	TAK numunesine ait pH 7 ve 30 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi.....	59
Şekil 7.13	TAK numunesine ait pH 8 ve 30 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi.....	59
Şekil 7.14	TAK numunesine ait pH 4 ve 35 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi.....	60
Şekil 7.15	TAK numunesine ait pH 5 ve 35 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi.....	60
Şekil 7.16	TAK numunesine ait pH 7 ve 35 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi.....	61
Şekil 7.17	TAK numunesine ait pH 8 ve 35 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi	61
Şekil 7.18	TAK numunesine ait pH 4 ve 40 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi.....	62
Şekil 7.19	TAK numunesine ait pH 5 ve 40 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi.....	62
Şekil 7.20	TAK numunesine ait pH 7 ve 40 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi.....	63
Şekil 7.21	TAK numunesine ait pH 8 ve 40 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi.....	63
Şekil 7.22	MTAK4 numunesine ait pH 4 ve 25 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi	69
Şekil 7.23	MTAK4 numunesine ait pH 5 ve 25 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi	69
Şekil 7.24	MTAK4 numunesine ait pH 7 ve 25 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi	70
Şekil 7.25	MTAK4 numunesine ait pH 8 ve 25 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi	70
Şekil 7.26	MTAK4 numunesine ait pH 4 ve 30 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi	71
Şekil 7.27	MTAK4 numunesine ait pH 5 ve 30 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi	71
Şekil 7.28	MTAK4 numunesine ait pH 7 ve 30 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi	72
Şekil 7.29	MTAK4 numunesine ait pH 8 ve 30 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi	72
Şekil 7.30	MTAK4 numunesine ait pH 4 ve 35 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi	73
Şekil 7.31	MTAK4 numunesine ait pH 5 ve 35 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi	73

Şekil 7.32	MTAK4 numunesine ait pH 7 ve 35 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi.....	74
Şekil 7.33	MTAK4 numunesine ait pH 8 ve 35 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi.....	74
Şekil 7.34	MTAK4 numunesine ait pH 4 ve 40 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi.....	75
Şekil 7.35	MTAK4 numunesine ait pH 5 ve 40 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi.....	75
Şekil 7.36	MTAK4 numunesine ait pH 7 ve 40 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi.....	76
Şekil 7.37	MTAK4 numunesine ait pH 8 ve 40 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi.....	76
Şekil 7.38	Farklı pH'larda 25 °C'de TAK ve MTAK4 numunelerinin Langmuir izoterm modeline göre maksimum adsorpsiyon kapasitelerinin karşılaştırılması...	82
Şekil 7.39	Farklı pH'larda 30 °C'de TAK ve MTAK4 numunelerinin Langmuir izoterm modeline göre maksimum adsorpsiyon kapasitelerinin karşılaştırılması...	82
Şekil 7.40	Farklı pH'larda 35 °C'de TAK ve MTAK4 numunelerinin Langmuir izoterm modeline göre maksimum adsorpsiyon kapasitelerinin karşılaştırılması...	83
Şekil 7.41	Farklı pH'larda 40 °C'de TAK ve MTAK4 numunelerinin Langmuir izoterm modeline göre maksimum adsorpsiyon kapasitelerinin karşılaştırılması...	83
Şekil 7.42	TAK örnekleriyle pH 5 ve farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen BSA adsorpsiyonu deneylerinin Yalancı İkinci Derece kinetik modellemesi.....	85
Şekil 7.43	MTAK4 örnekleriyle pH 5 ve farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen BSA adsorpsiyonu deneylerinin Yalancı İkinci Derece kinetik modellemesi.....	85
Şekil 7.44	TAK örnekleriyle 40 °C'de ve farklı pH'larda gerçekleştirilen BSA adsorpsiyonu deneylerine ait verilerin Yalancı İkinci Derece kinetik modellemesi.....	88
Şekil 7.45	TAK örnekleriyle 40 °C'de ve farklı pH'larda gerçekleştirilen BSA adsorpsiyonu deneylerine ait verilerin Yalancı İkinci Derece kinetik modellemesi.....	88

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1	Plazmada bulunan proteinler, oranları ve fonksiyonları [7] 17
Çizelge 3.2	BSA'nın fizikokimyasal özellikleri [21] 18
Çizelge 4.1	Ticari olarak kullanılan başlıca aktif karbon hammaddeleri ve kullanım yüzdeleri [2].....26
Çizelge 5.1	Farklı malzemelerle gerçekleştirilen BSA adsorpsiyonları 35
Çizelge 6.1	En uygun MTAK seçimi için yapılan deneylere ait koşullar 44
Çizelge 6.2	Adsorpsiyon Kapasitesi ve İzoterm Deneylerinin Koşulları 46
Çizelge 6.3	Hesaplamlarda kullanılan izoterm modelleri 47
Çizelge 6.4	Adsorpsiyon Kinetiği Deneylerinin Koşulları 49
Çizelge 6.5	Hesaplamlarda kullanılan kinetik modeller..... 50
Çizelge 7.1	TAK ve MTAK4 örneklerinin BET yüzey analizi sonuçları 52
Çizelge 7.2	TAK ile gerçekleştirilen adsorpsiyon deneylerinden elde edilen verilerin Langmuir izoterm modeline uygulanmasıyla elde edilen değerler 65
Çizelge 7.3	TAK ile gerçekleştirilen adsorpsiyon deneylerinden elde edilen verilerin Freundlich izoterm modeline uygulanmasıyla elde edilen değerler 66
Çizelge 7.4	TAK ile gerçekleştirilen adsorpsiyon deneylerinden elde edilen verilerin Temkin izoterm modeline uygulanmasıyla elde edilen değerler 67
Çizelge 7.5	MTAK4 ile gerçekleştirilen adsorpsiyon deneylerinden elde edilen verilerin Langmuir izoterm modeline uygulanmasıyla elde edilen veriler.....78
Çizelge 7.6	MTAK4 ile gerçekleştirilen adsorpsiyon deneylerinden elde edilen verilerin Freundlich izoterm modeline uygulanmasıyla elde edilen veriler.....79
Çizelge 7.7	MTAK4 ile gerçekleştirilen adsorpsiyon deneylerinden elde edilen verilerin Freundlich izoterm modeline uygulanmasıyla elde edilen veriler.....80
Çizelge 7.8	TAK örnekleriyle pH 5 ve farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen BSA adsorpsiyonu deneylerinin kinetik model parametreleri.....87
Çizelge 7.9	MTAK4 örnekleriyle pH 5 ve farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen BSA adsorpsiyonu deneylerinin kinetik model parametreleri.....87

Çizelge 7.10	TAK örnekleriyle 40 ve farklı pH'larda gerçekleştirilen BSA adsorpsiyonu deneylerinin kinetik model parametreleri.....	89
Çizelge 7.11	MTAK4 örnekleriyle 40 ve farklı pH'larda gerçekleştirilen BSA adsorpsiyonu deneylerinin kinetik model parametreleri	90
Çizelge EK-A.1	Ticari aktif karbonun spesifikasyonları.....	98
Çizelge EK-B.1	TAK örnekleri ile gerçekleştirilen deneylerin verileri.....	101
Çizelge EK-B.2	MTAK4 örnekleri ile gerçekleştirilen deneylerin verileri.....	107
Çizelge EK-C.1	TAK ile pH 5 ve farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen kinetik adsorpsiyon çalışmalarına ait deneysel veriler ve model verileri.....	114
Çizelge EK-C.2	TAK ile pH 5 ve farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen kinetik adsorpsiyon çalışmalarına ait deneysel veriler ve model verileri	116
Çizelge EK-C.3	TAK ile 40 °C ve farklı pH'larda gerçekleştirilen kinetik adsorpsiyon çalışmalarına ait deneysel veriler ve model verileri.....	118
Çizelge EK-C.4	MTAK4 ile 40 °C ve farklı pH'larda gerçekleştirilen kinetik adsorpsiyon çalışmalarına ait deneysel veriler ve model verileri.....	122

**TİCARİ AKTİF KARBONUN MODİFİKASYONU
VE
BSA ADSORPSİYON ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Mehmet Berat TAŞKIN

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Belma ÖZBEK

Eş Danışman: Prof. Dr. Sunullah ÖZBEK

Protein adsorpsiyonu araştırmacıların oldukça ilgisini çeken bir konudur. Protein adsorpsiyon mekanizmalarını aydınlatmak ve yeni fonksiyonel adsorbanlar bularak endüstriye uygun prosesler tasarlamak önemli hedeflerden biri olmuştur.

Bu çalışmada, ticari olarak elde edilen toz aktif karbon (TAK) öncelikle özelliklerini daha da iyileştirmek için, önce Na_2CO_3 ile muamele edilerek daha sonra mikrodalga tekniği ile ısı ile işleme tabi tutularak ve son olarak HCl ile muamele edilerek modifiye işlemine tabi tutulmuştur. Farklı şartlarda modifiye edilen TAK numuneleri MTAK1, MTAK2, MTAK3, MTAK4 ve MTAK5 olarak isimlendirilmiştir.

Farklı şartlarda modifiye edilmiş beş numune içerisinde yapılan yüzey karakterizasyonu analizleri sonucunda MTAK4'ün en uygun numune olduğu tespit edilmiştir. Uygulanan modifiye işlemi sonucunda MTAK4'ün TAK ile kıyasla BET yüzey alanında %59'luk bir artış sağlanarak 2492 m²/g'lik yüzey alanına sahip olduğu bulunmuştur. Bu nedenle, Bovine Serum Albümin (BSA) adsorpsiyon deneyleri, TAK ve MTAK4 numuneleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deneysel verilerin izoterm modellerine ve kinetik modellere uygunlukları incelenmiştir.

Adsorpsiyon izotermelerini elde etmek amacıyla yapılan deneyler; pH 4 ile 8 ve sıcaklık 25 ile 40 °C arasında değişen şartlarda gerçekleştirilmiştir. Langmuir izoterm modeline göre TAK için maksimum adsorpsiyon kapasitesi pH 5 ve 40 °C'de 134.77 mg/g olarak bulunurken, MTAK4 için bu değer pH 4 ve 40 °C'de 139.37 mg/g olarak bulunmuştur.

Adsorpsiyon kinetik çalışmaları pH 4 ile 8 ve 25 ile 40 °C arasında değişen şartlarda gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verilerin kinetik modellere uygunlukları incelenmiş ve en uygun adsorpsiyon kinetik modelinin Yalancı 2. Derece modeli olduğu saptanmıştır.

Anahtar kelimeler: Ticari aktif karbon, mikrodalga ısıtma işlemi, modifikasyon, BSA, adsorpsiyon, izoterm modelleri, kinetik

**MODIFICATION OF COMMERCIAL ACTIVATED CARBON
AND INVESTIGATION OF ITS BSA ADSORPTION PROPERTIES**

Mehmet Berat TAŞKIN

Department of Chemical Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Prof. Dr. Belma ÖZBEK

Co-Advisor: Prof. Dr. Sunullah ÖZBEK

Protein adsorption has been widely studied by many researchers. Fabrication of novel materials for protein adsorption, elucidating adsorption mechanisms and integrating adsorption process to the industrial production have been important goals for these studies.

In this study, the commercially available powder activated carbon (CAC) sample to further improve its surface properties was modified first by treatment with Na_2CO_3 , secondly thermally treated by microwave technique, and finally subjected to treatment with HCl. The treated activated carbon samples under various modifying conditions were named as MCAC1, MCAC2, MCAC3, MCAC4 and MCAC5.

MCAC4 sample was found to be the most appropriate sample among other samples obtained at various modification conditions, according to BET analysis results obtained for each sample. The results indicated that it was possible to increase surface area of the CAC after modification process (named as MCAC4) up to $2492 \text{ m}^2/\text{g}$ with the enhancement percentage of 59%, compared to initial untreated CAC sample. Then, CAC and MCAC4 samples were used in the series of Bovine Serum Albumin (BSA)

adsorption experiments. The data obtained from the experiments were fitted to isotherm models and then they were used to explain adsorption mechanisms.

The adsorption experiments were carried out at pH values ranging from 4 to 8 and temperature values ranging from 25 to 40 °C. The maximum adsorption value according to the Langmuir Isotherm Model was found as 134.77 mg/g at pH 5 and 40 °C for CAC sample, and 139.37 mg/g at pH 4 and 40 °C for MCAC4 sample.

The kinetics of adsorption studies were also carried at pH values ranging from 4 to 8 and temperature values ranging from 25 to 40 °C. According to the results obtained, Pseudo 2. Order model was found to be the best fit among other models applied.

Key words: Commercial activated carbon, microwave treatment, modification, BSA, adsorption, isotherm models, kinetic

1.1 Literatür Özeti

Protein adsorpsiyonu birçok farklı parametreye bağlı olan bu nedenle açıklanması güç, karışık bir işlemdir. Bu konunun yaygın olarak çalışılmasının en büyük nedenlerinden bazıları biyomedikal, ilaç ve gıda sektörlerinin beklentileridir.

Biyomedikal sektöründe kullanılan implantların biyo-uyumluluğunu test etmek amacıyla bir takım deneyler yapılır. İmplant malzemesi ile protein adsorpsiyonu bunlardan yalnızca biridir. Kullanılan implantların biyomoleküller ile etkileşiminin belirlenmesi implantların uygunluğu bakımından elzemdir. Bu sebeple özellikle yeni tasarlanan biyomedikal malzemelerin (TiO₂, Polimetil Metakrilat, manyetik nano parçacıklar) üzerlerinde protein birikme özellikleri incelenir. Bu tarz incelemelerde genellikle proteinin malzeme üzerinde mümkün olduğunca az birikme meydana getirmesi esastır.

İlaç sektöründe protein adsorpsiyonu çalışmaları daha çok kontrollü ilaç salınımı konuları kapsamında değerlendirilir. Seçilen ilaç iletim materyalinin biyouyumluluk özelliklerinin yanı sıra materyalin, iletilmesi gereken biyomolekülü yeterli miktarda ve stabil bir şekilde taşıyabilmesi, hedeflenen bölgeye iletimini gerçekleştirebilmesi önemlidir.

Gıda sektöründe ise protein adsorpsiyonu ürünün kalitesini artırmak için uygulanır. Örneğin şarap içerisindeki protein artıkları ürünün renksel ve tatsal kalitesine etki etmektedir.

1.2 Tezin Amacı

Bovine Serum Albümin (BSA), çok yaygın olarak çalışılmış, fiziksel ve kimyasal özellikleri bilinen ve bu nedenle farklı model çalışmalarında sıklıkla tercih edilen bir proteindir.

Aktif karbon adsorpsiyon çalışmalarında çok yaygın olarak kullanılır. Su arıtmadan gaz adsorpsiyonuna kadar birçok alanda tercih edilir. Buna sebep olarak ise yüksek yüzey alanına ve fonksiyonel yüzey gruplarına sahip olması gösterilebilir. Ayrıca yıllardır çalışılan bir malzeme olduğundan üretmek ve modifiye etmek nispeten kolaydır. Bununla birlikte, hammadde olarak kullanılan malzemelerin çoğunlukla meyve çekirdekleri, odun vs gibi organik artıklar olmaları toplam maliyeti büyük ölçüde düşürmektedir.

Aktif karbon ile BSA adsorpsiyonu çalışmalarının özellikle gıda sektöründe ürün kalitesi artırmada ve atık sulardan biyolojik kirliliği giderme bakımından örnek bir çalışma olabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle adsorpsiyon kapasitesi bakımından etkili ve ucuz olan aktif karbon olarak seçilmiş, adsorbe olacak biyomolekül olarak ise gıda ve deri endüstrilerinde yoğun bir şekilde rastlanan BSA proteini tercih edilmiştir. Farklı pH ve sıcaklık değerlerinde yapılan deneyler sonucunda adsorpsiyon kapasitesi değerleri elde edilmiş ve bu değerler kullanılarak adsorpsiyon mekanizması aydınlatılmaya çalışılmıştır.

1.3 Orijinal Katkı

Bu çalışmada ticari olarak elde edilen aktif karbon hali hazırda aktive edilmiş olmasına rağmen, elde edilmiş ticari aktif karbonun yüzey özelliklerini daha da iyileştirmek için numuneler kimyasal aktivasyon işlemleri ile birlikte mikrodalga ortamında ısıl işleme de tabi tutulmuşlardır.

ADSORPSİYON

Adsorpsiyon hareketli bir fazda bulunan atom, molekül veya iyonların katı bir yüzey üzerine tutunması olayı olarak tanımlanır. Tutunan maddeler sıvı, gaz veya bir çözücü içerisinde çözülmüş katı halinde olabilir. Yüzeye tutunan bileşenlere adsorbat, adsorpsiyonun gerçekleştiği katı yüzeye ise adsorban denir.

Birçok kimyasal, biyokimyasal proste adsorpsiyon işlemi yer alır. Adsorpsiyon, gerçekleşme şekillerine göre çeşitlere ayrılmıştır. Adsorpsiyon mekanizmaları ise adsorpsiyon modelleri geliştirilerek açıklanmaya çalışılmıştır.

2.1 Adsorpsiyon Çeşitleri

Adsorpsiyonun meydana gelmesi için katı yüzeyine transfer olan bileşenlerin buldukları faz yerine katı yüzeyini tercih etmelerini sağlayacak şartların oluşması gereklidir. Bu şartları sağlayan mekanizmalar; Van der Waals etkileşimlerinin olduğu fiziksel adsorpsiyon, adsorban yüzeyinde meydana gelen kompleks oluşumu, elektron transferi gibi mekanizmalarla gerçekleşen kimyasal adsorpsiyon (sorpsiyon) ve elektrostatik etkileşimlerin rol oynadığı iyon değişimi adsorpsiyonudur. Adsorpsiyon işlemini tek bir adsorpsiyon türü ile açıklamak mümkün değildir. Genellikle adsorpsiyon bu üç adsorpsiyonun türünün katılımıyla da gerçekleşir. Adsorpsiyon derecesinin ve miktarının artırılması için yüzey alanı geniş olan aktif karbon gibi malzemelerin kullanılması tercih edilmektedir [1].

2.1.1 Fiziksel Adsorpsiyon

Fiziksel adsorpsiyonda etkili mekanizmanın moleküller arası çekim kuvveti ve Van der Waals kuvvetleri olduğu belirtilmiştir. Buna göre adsorbat, adsorban yüzeyine zayıf bir şekilde tutunur. Bu yüzden bu tür adsorpsiyonlar tersinir özellik gösterirler. Adsorpsiyon olayı birden fazla katman halinde gerçekleşebilir. Bu özellikleri ile kimyasal adsorpsiyondan ayrılır. Fiziksel adsorpsiyon sırasında adsorplanan moleküller bir miktar enerji kaybeder. Bu enerji, yoğunlaşma sırasında kaybedilen enerji miktarı kadardır ve genellikle <15 kcal/mol şeklinde karakterize edilmiştir. Bu ekzotermik karakterden ötürü fiziksel adsorpsiyonun derecesi sıcaklık arttıkça düşer [2].

2.1.2 Kimyasal Adsorpsiyon

Kimyasal adsorpsiyonda adsorbat ile adsorban yüzeyi arasında elektron ortak kullanımı veya alışverişi veya kompleks oluşumu şeklinde kimyasal bir etkileşim gerçekleşir. Direk adsorban yüzeyi ile temas gerektiğinden bu tip adsorpsiyon tek katmanlı olarak tanımlanır. Adsorpsiyon entalpisi 10 kcal/mol'den büyük olan reaksiyonlar kimyasal adsorpsiyon olarak nitelendirilirler. Adsorban ile adsorbat arasındaki etkileşim fiziksel adsorpsiyona göre çok daha kuvvetlidir. Bu durum kimyasal adsorpsiyonun tersinmez olmasına da neden olur. Fiziksel adsorpsiyonun tersine, kimyasal adsorpsiyon mekanizmaları yüksek sıcaklıklarda daha fazla etkilidir [2; 3].

2.1.3 Değişim (İyon Değişimi) Adsorpsiyonu

Adsorbat ile adsorban arasında oluşan elektrostatik etkileşimler nedeniyle meydana gelen adsorpsiyon çeşididir. Adsorban ile adsorbat arasındaki yük farkı büyüdükçe ve adsorbatın molekül çapı küçüldükçe adsorpsiyon derecesi artar [4].

2.2 Adsorpsiyonu Etkileyen Faktörler

2.2.1 Adsorban ve Adsorbat

Adsorpsiyon derecesini ve miktarını etkileyen birinci unsur adsorban ve adsorbat türleridir. Adsorpsiyon işleminde kullanılan malzemenin ve adsorplanan malzemenin birbirine uyumu bu işlemin verimini artırır.

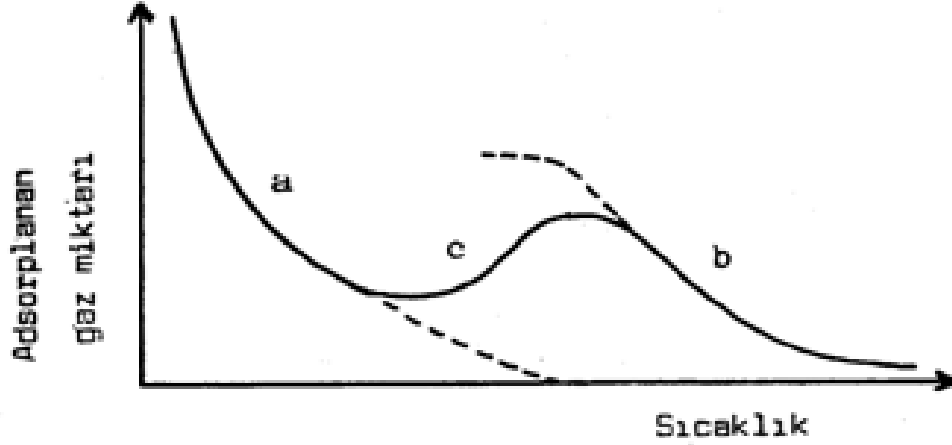
Adsorpsiyon için genellikle yüzey alanı geniş adsorbanlar tercih edilir. Bu özellik düşük miktarda adsorban ile yüksek miktarda adsorbatın katı yüzeyine temasını mümkün kılar. Ayrıca adsorbanın yüzey özellikleri, elektrostatik yükü, yüzey grupları, porozitesi, por genişlikleri ve hidrofilik-hidrofobik özellikleri önem taşır. Bunlara göre; adsorbat ile adsorban arasında elektrostatik çekim gücünün artması ve bunun adsorpsiyon derecesini artırması amacıyla zıt yüklü malzemeler seçilebilir.

Kimyasal adsorpsiyonu mümkün kılacak şekilde adsorbatın yüzey gruplarına karşılık gelen yüzey gruplarını barındıran adsorbanlar tercih edilebilir (örneğin, $-COOH$ ve $-NH_2$). Bununla birlikte seçilecek adsorbanın por genişliklerinin adsorbatın geçişine izin verecek ölçüde olması, adsorbatın adsorban yüzey alanını daha verimli bir şekilde kullanmasının önünü açar. Adsorpsiyon işleminin sulu çözeltilerde gerçekleştiği durumlarda adsorbatın yığın fazdan uzaklaşmasını sağlayan hidrofobik-hidrofilik etkileşimler ön plana çıkar. Çözeltinin pH'ına göre adsorbatın yığın fazdan kurtularak adsorbanın yüzeyini tercih etmesi sağlanabilir.

2.2.2 Sıcaklık

Sıcaklık artışı genel olarak ekzotermik bir işlem olan adsorpsiyonu olumsuz yönde etkiler. Hatta rejenerasyon işlemlerinde sistemin sıcaklığı artırılarak adsorbanın adsorbattan kurtarılması sağlanır [5]. Yine de kimyasal adsorpsiyon için sıcaklık artışıyla adsorpsiyon derecesinin yükseldiğini öne sürenler de olmuştur [1].

Şekil 2.1'de "a" eğrisi fiziksel adsorpsiyonu gösterirken, "b" eğrisi ise kimyasal adsorpsiyonu göstermektedir. Adsorpsiyon miktarının düşük olduğu fakat ihmal edilemeyen sıcaklık aralığı ise "c" ile gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon arasındaki dönüşümü gösteren izobar [6]

2.2.3 pH

Adsorpsiyon işleminde sıvı fazın pH değerinin değişmesi, içerisinde çözülmüş halde bulunan adsorbatın iyonlaşma miktarını etkiler. Sıvı fazda az şekilde iyonlaşan moleküllerin katı faza adsorpsiyonu daha kolay olur. Örneğin Bovine Serum Albüminin (BSA) adsorpsiyonu için en ideal ortamın bu proteinin izoelektrik noktası olan $pH \sim 4.7$ civarında gerçekleştiği tespit edilmiştir [7]. Bununla birlikte, pH'ın değişimi ile adsorbatın elektrostatik yükü de değişir. Bu durum adsorbatın ve adsorbanın yükünün türüne göre adsorpsiyonu olumlu veya olumsuz şekilde etkiler.

2.3 Adsorpsiyon İzotermi

Adsorpsiyon izotermi, sabit bir sıcaklıkta adsorbatın yığın fazdaki ve adsorpsiyon yüzeyindeki konsantrasyonu arasında ilişki kurmayı sağlayan denge eğrileridir [2]. Hareketli faz eğer gaz halinde ise, bu durumda devreye konsantrasyon yerine basınç girer.

Adsorpsiyon izotermi elde etmek için farklı miktarda adsorban içeren adsorbat çözeltileri ile sabit sıcaklıkta adsorpsiyon deneyleri yapılır. Dengeye hareketli fazdaki adsorbat konsantrasyonuna karşı adsorban üzerine transfer olmuş adsorbat konsantrasyonunun grafiği çizilir. En yaygın olarak kullanılan modeller, Langmuir ve Freundlich modelleridir.

2.3.1 Langmuir İzotermi

Langmuir izotermi, adsorbatın adsorban yüzeyine tek tabaka halinde tutunduğu homojen adsorpsiyon sistemlerini açıklamak için kullanılır [8]. Langmuir izoterm modeli için aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

- Malzemenin tüm yüzeyi aynı adsorpsiyon aktivitesine sahiptir ve enerji bakımından üniformdur.
- Adsorbe edilen moleküller arasında herhangi bir etkileşim, rekabet yoktur.
- Tüm adsorpsiyon aynı mekanizma ile olur ve her adsorbe edilen kompleks aynı yapıya sahip kabul edilir.
- Adsorpsiyonun derecesi, yüzey üzerindeki tam bir mono moleküler tabakadan büyük olamaz [1].

Bu kabuller sonucu aşağıdaki denklem ortaya konmuştur.

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

Denklem (2.1)'de;

q_e : dengede birim adsorban tarafından adsorplanmış adsorbat miktarını (mg/g)

C_e : dengede çözeltideki adsorbat konsantrasyonunu (mg/L)

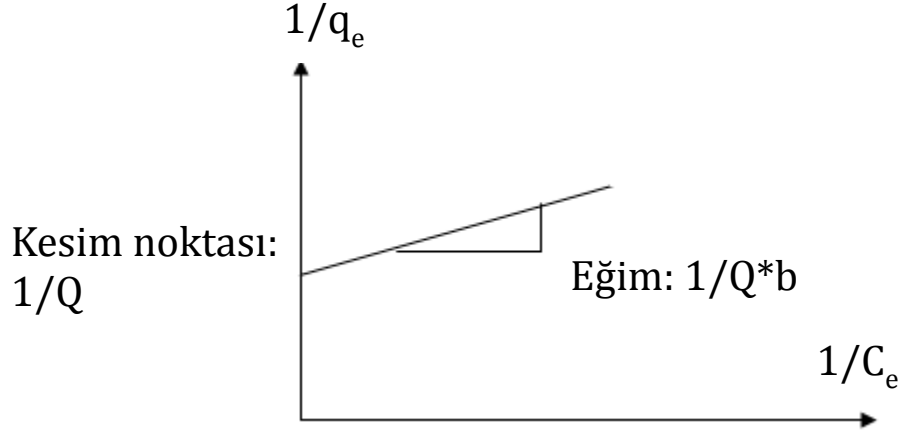
Q : birim adsorbanın maksimum adsorpsiyon kapasitesini (mg/g)

b : Langmuir izoterm sabitini (L/mg)

ifade etmektedir.

Denklem (2.1)'in her iki tarafı C_e 'ye bölünür ise aşağıdaki denklem elde edilir. Böylelikle denklem lineer hale getirilip kesim noktası ve eğimden Langmuir izoterm modeline ait katsayılar hesaplanır.

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



Şekil 2.2 Lineerleştirilmiş Langmuir izotermi [9]

2.3.2 Freundlich İzotermi

Freundlich izoterm modeline göre adsorpsiyon tek tabaka halinde gerçekleşmez. Buna göre adsorban yüzeyinde farklı türde adsorpsiyon noktaları bulunur ve bunlar homojen olarak dağılmamışlardır [8]. Bu varsayımlara dayanarak aşağıdaki eşitlik üretilmiştir.

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

Denklem (2.3)'de;

q_e : dengede birim adsorban tarafından adsorplanmış adsorban miktarını (mg/g)

C_e : dengede çözültideki adsorbat konsantrasyonunu (mg/L)

K_F : Freundlich sabitini ($\text{mg}^{1-1/n} \text{L}^{1/n} \text{g}^{-1}$)

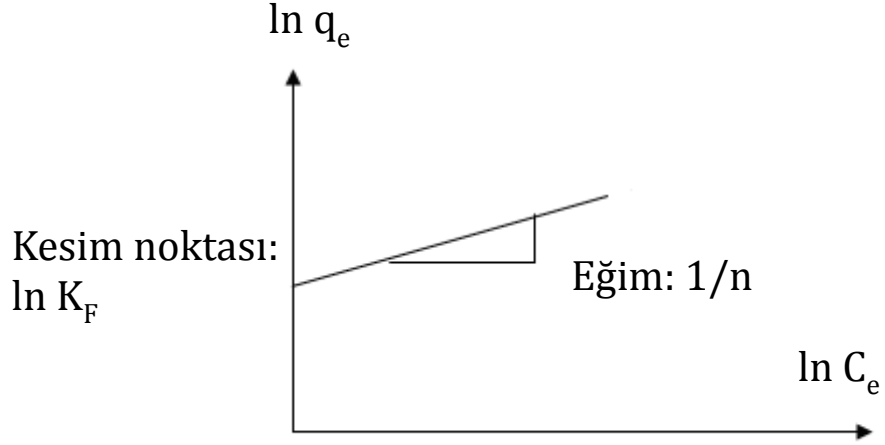
n : Adsorpsiyon yoğunluğunu veren Freundlich sabitini

ifade etmektedir.

Denklem (2.3)'ün her iki tarafının \ln 'i alınarak lineer hale getirilir.

$$\ln q_e = \ln K_F + (1/n) \ln C_e \quad (2.4)$$

Şekil 2.3'de verilen grafiğin eğiminden $1/n$, kesim noktasından ise $\ln K_F$ değeri hesaplanır. $n > 1$ olduğu durumlar adsorpsiyon işleminin elverişli olduğunu gösterir [8].



Şekil 2.3 Lineerleştirilmiş Freundlich izotermi [9]

2.3.3 Temkin İzotermi

Temkin izoterm modeli ilk olarak asidik çözeltilerde hidrojenin platin üzerine adsorpsiyonunu modellemek amacıyla ortaya atılmıştır [10]. Diğer modellerden farklı olarak adsorpsiyon ısısını da modelin içerisinde değerlendirmiştir. Buna göre adsorpsiyon süresince adsorbanın yüzeyi adsorbat molekülleriyle kaplandıkça adsorpsiyon ısısının düşmesi beklenmektedir [11]. Bu model için aşağıdaki eşitlik ortaya konmuştur:

$$q_e = \frac{RT}{b_T} \ln A_T C_e \quad (2.5)$$

Bu eşitlikte;

q_e : dengede birim adsorban tarafından adsorplanmış adsorban miktarını (mg/g)

C_e : dengede çözeltideki adsorbat konsantrasyonunu (mg/L)

R : ideal gaz sabitini ($8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$)

T : sıcaklığı (K)

b_T : adsorpsiyon ısısına bağlı Temkin sabitini (J/mol)

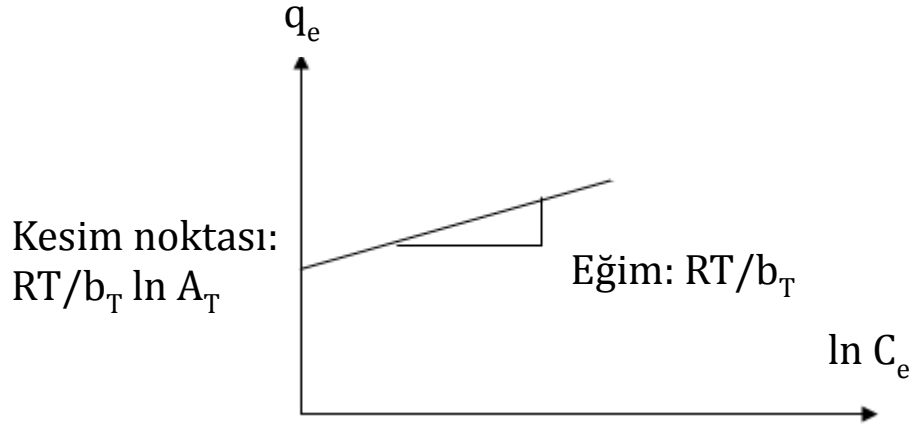
A_T : Temkin izoterm sabitini (L/g)

ifade etmektedir.

Denklem (2.5) lineer hale getirilerek aşağıdaki eşitlik elde edilmiştir:

$$q_e = \frac{RT}{b_T} \ln A_T + \frac{RT}{b_T} \ln C_e \quad (2.6)$$

Şekil 2.4'te verilen grafiğin eğiminden RT/b_T , kesim noktasından ise $(RT/b_T) \ln A_T$ bulunarak A_T ve b_T değerleri hesaplanır.



Şekil 2.4 Lineerleştirilmiş Temkin İzotermi [10]

2.4 Adsorpsiyon Kinetiği

Adsorpsiyon kinetiği, adsorbanın adsorbat ile zaman içerisindeki etkileşim aşamalarını inceler. Adsorpsiyon işleminin iyi anlaşılabilmesi için adsorpsiyon kinetiğinin açıklığa kavuşturulması gerekmektedir. Adsorpsiyonun gerçekleşmesinde 4 ana basamak bulunmaktadır;

1. Akışkan fazdaki adsorban adsorbat yüzeyinde oluşan film tabakasına doğru difüze olur. Adsorpsiyon sistemi karıştırmazsa olduğunda bu basamağın adsorpsiyonun hızı belirleyecek ölçüde yavaş olduğu belirtilmiştir. Karıştırmalı sistemlerde ise bu basamak hızlı bir şekilde gerçekleşir [7].
2. Film tabakası oluşturan adsorbat adsorbanın gözeneklerine doğru ilerlemeye başlar. Bu basamak sınır tabaka difüzyonu olarak adlandırılır [12].

3. Bu aşamada adsorbat, adsorpsiyon işleminin gerçekleşeceği gözenek yüzeylerinin içerisinde ilerlemeye devam eder. Gözenek difüzyonu denilen bu aşama genellikle bir önceki aşama ile beraber adsorpsiyon hızını belirlerler [8].
4. Adsorpsiyon işlemi gözenek yüzeyine tutunma ile sona erer (sorpsiyon) [13].

Adsorpsiyon süresince birim adsorbanın adsorpladığı adsorbat miktarı belli bir noktaya kadar artış gösterir. Bu noktadan sonra çözeltide kalan adsorbat konsantrasyonu değişmez. Denge konsantrasyonu denilen bu noktanın tespiti ile adsorpsiyon işlemi için gerekli olan etkin alıkoyma-temas süresi hesaplanır [7].

Adsorpsiyon kinetiğinin modellenmesi amacıyla birçok eşitlik ortaya konmuştur. Bunlardan en yaygın olanları aşağıda verilmiştir.

Adsorpsiyon işleminin birinci dereceden bir reaksiyon olduğu varsayıldığı durumlar Lagergren'in ortaya konduğu Yalancı 1. Derece eşitliği ile açıklanabilir [8].

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

Denklem (2.6)'da;

q_e : Denge halinde birim adsorban tarafından adsorbe edilmiş adsorbat miktarını (mg/g)

q_t : Herhangi bir t anında birim adsorban tarafından adsorbe edilmiş adsorbat miktarını (mg/g)

k_1 : Yalancı 1. dereceden adsorpsiyon hız sabitini (dak^{-1})

ifade etmektedir.

Denklem (2.6) aşağıdaki şekilde düzenlenebilir:

$$q_t = q_e - q_e e^{-k_1 t} \quad (2.7)$$

Denklem (2.7)'deki q_t ve t değerleri kullanılarak çizilecek adsorpsiyon eğrisinden k_1 değeri hesaplanabilir.

Adsorpsiyon işleminin ikinci dereceden bir reaksiyon olduğu varsayılan işlemler için ise aşağıdaki eşitlik geliştirilmiştir [12].

$$\frac{dq_t}{dt} = k_2(q_e - q_t)^2 \quad (2.8)$$

Denklem (2.8)'deki k_2 , ikinci dereceden hız sabitini (g/mg.dak) göstermektedir. Bu denklem integre edildiğinde;

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (2.9)$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlik kullanılarak t/q_t değerine karşılık t değerinin doğrusal grafiği çizildiğinde eğim ve kesim noktalarının yardımıyla k_2 ikinci dereceden hız sabiti hesaplanır.

Bir başka kinetik model ise adsorpsiyon yüzeyinin heterojen olduğu durumları daha iyi açıkladığı belirtilen Elovich Modeli'dir. Bu model için aşağıdaki eşitlik ortaya konmuştur [14]:

$$\frac{dq_t}{dt} = \alpha e^{-\beta q_t} \quad (2.10)$$

(2.10) eşitliği sınır koşulları için integre edildiğinde lineer haldeki (2.11) eşitliği elde edilmiştir.

$$q_t = \frac{1}{\beta} \ln(\alpha\beta) + \frac{1}{\beta} \ln t \quad (2.10)$$

Denklem (2.10)'da;

q_t : Herhangi bir t anında birim adsorban tarafından adsorbe edilmiş adsorbat miktarını (mg/g)

α : Başlangıçtaki adsorpsiyon hızını ($\text{mg g}^{-1} \text{ dak}$)

β : Yüzey kaplama derecesi ve adsorpsiyon aktivasyon enerjisi ile ilgili sabitini (g mg^{-1}) ifade etmektedir.

Lineer haldeki bu eşitlik kullanılarak, hesaplanan q_t değerlerine karşılık $\ln t$ grafiği çizilerek, grafiğin eğiminden $(1/\beta) \cdot \ln \alpha\beta$ ve kesim noktasından $1/\beta$ değerleri elde edilerek gerekli parametreler hesaplanır.

İyi karışmalı sistemlerde adsorbatın yığın fazdan gözenekli adsorban yüzeyine adsorpsiyonunu modellemek amacıyla partikül içi difüzyon modeli ortaya konmuştur. Aşağıdaki eşitlik partikül içi difüzyon modelini ifade etmektedir [14; 15].

$$q_t = k_i t^{0.5} + C_i \quad (2.11)$$

Denklem (2.11)'de;

q_t : Herhangi bir t anında birim adsorban tarafından adsorbe edilmiş adsorbat miktarını (mg/g)

k_i : partikül içi difüzyon hız sabitini ($\text{mg g}^{-1} \text{ dak}^{-2}$)

C_i : adsorban ile adsorbat arasında oluşan tabakanın kalınlığı hakkında bilgi veren sabiti (mg g^{-1})

İfade etmektedir.

Lineer haldeki bu denklem kullanılarak q_t 'ye karşılık $t^{0.5}$ grafiği çizildiğinde eğimden k_i ve kesim noktasından C_i değerleri hesaplanır.

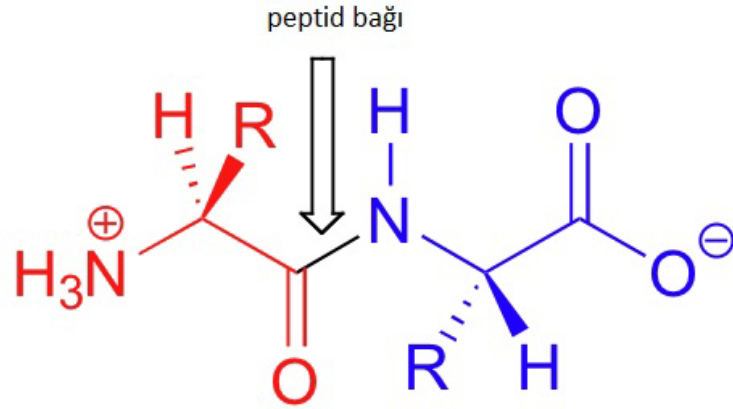
BÖLÜM 3

PROTEİNLER

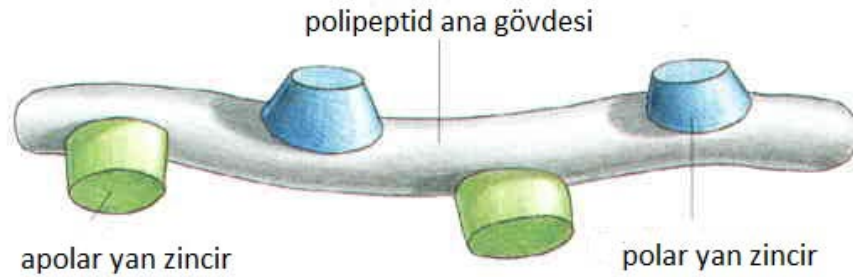
Proteinler canlı metabolizmalarında birçok hayati fonksiyonu yerine getiren biyomoleküllerdir. Sanıldığı gibi yalnızca yapıtaşı olarak görev yapmazlar. Başlıca görevleri arasında; hücreler arası mesaj iletimi, plazma membranlarında biyomoleküllerin taşınması, enzim formunda biyokimyasal reaksiyonları katalizleme ve moleküler boyutta makinecikler olarak işlev görme sayılabilir. Bunlardan başka proteinler özelleşmiş moleküller olarak antikor, toksin, elastik fiber, hormon vs formunda metabolizmada görev alırlar [15].

3.1 Proteinlerin Genel Özellikleri

Proteinler, bünyelerinde C, H, N, O ve S bulunduran belli sayıda ve türde amino asidin bir araya gelmesiyle oluşan organik bileşikler olarak bilinirler [13]. Bir protein molekülü 100 veya daha fazla amino asidin birleşmesinden oluşur. Belli bir protein için amino asit dizilişi ve sayısı her zaman aynıdır. Amino asitler ise tekrar eden bir polipeptid ana gövde ve amino asitlerin birbirinden farklılaşmasını sağlayan yan zincirler içerir (Şekil 3.1). Şekil 3.1’de görüldüğü gibi polipeptid zincirinin bir ucunda eksi (-) yüklü karboksil (-COOH) grubu diğer ucunda ise artı (+) yüklü amin (-NH₂) grubu bulunur. Bu yan zincirler farklı hidrofobik-hidrofilik ve polar-apolar özelliklere sahip olabilirler [15] (Şekil 3.2).



Şekil 3.1 Peptid bağı ile bağlanmış iki amino asid [16]



Şekil 3.2 Polipeptid zincirinde ana gövdenin ve yan zincirlerin gösterilmesi [15]

Amino asitlerin dizilişi ve sayısı o proteinin 3 boyutlu yapısını etkiler (Şekil 3.3). Bu dizilişe primer yapı da denir. Peptid bağındaki karbon çifte bağ yapısına benzer yapı, molekül grubuna ekstra kararlılık sağlayarak düz bir konformasyona neden olurlar [17]. Primer yapı proteinin sekonder ve tersiyer yapılarını da etkiler [7].

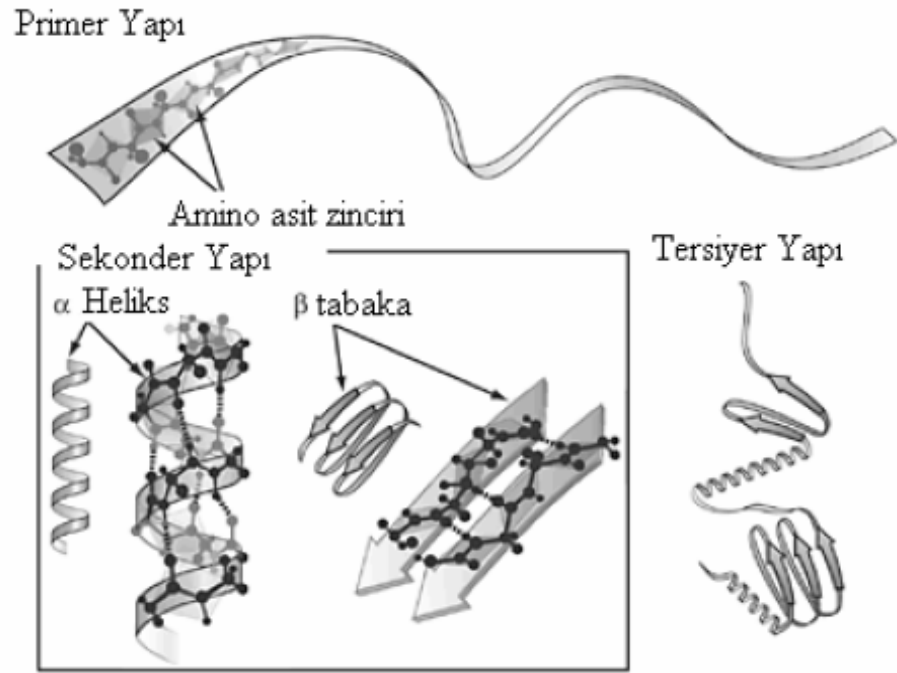
Sekonder yapının iki farklı konformasyonu bulunur: α -Heliks ve β -tabaka. Basitçe ifade etmek gerekirse α -Heliks konformasyonu, peptid ana gövdesinin kendi etrafında vida şeklinde dönmesiyle oluşur. En düşük enerjili ve en kararlı protein konformasyonu olduğu belirtilmiştir. Bunun sebebinin ise bu konformasyonu sağlayan hidrojen bağlarının olabilecek en uygun şekilde yerleşmiş olması gösterilir [17].

β -tabaka, lineer polipeptid zincirlerinin paralel veya anti paralel olarak yan yana (üst üste) sıralanmaları ve bu paralel polipeptid zincirleri arasında hidrojen bağlarının oluşmasıyla meydana gelen kararlı konformasyona verilen addır [18].

Tersiyer yapı, içerisinde hem α -Heliks hem de β -tabaka konformasyonunu bulunduran bir proteinin hacimce küçük bir şekilde paketlenmesiyle oluşan yapıdır. Bu yapının kararlı olmasını sağlayan faktörle şu şekilde sıralanmıştır:

- Hidrojen bağları,
- Yan zincirlerdeki iyonlaşabilen gruplar arası iyonik etkileşimler,
- Yan zinciri alifatik veya aromatik olan amino asitler arası hidrofobik etkileşimler,
- Disülfür bağları,
- Polar grupları arası etkileşimlerdir [13].

Fibröz proteinler sekonder dizilimlerden α -Heliks yapısına sahipken, globüler proteinler β -tabaka yapısına sahiptirler [13].



Şekil 3.3 Protein konformasyonlarının şematik gösterimi [7]

3.2 Plazma Proteinleri ve Albümin

Plazma, kanın sıvı kısmının hacimce %55'lik kısmını oluşturur. Plazmayı oluşturan bileşenler şunlardır: su, çözünmüş halde gazlar, düşük molekül ağırlığına sahip nükleotid amino asit glikoz gibi organik bileşenler, yüksek molekül ağırlığına sahip peptid-polinükleotid-gliko proteinler, çeşitli tuzlar, iyonlar ve metabolitler [19]. Plazmada serumdan farklı olarak pıhtılaşma faktörleri de bulunur. Normal bir plazmada bulunan proteinler ve oranları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Plazmada bulunan proteinler, oranları ve fonksiyonları [7]

Tür	Yüzde	Fonksiyon
Albümin	55	Organik anyonların taşınması, Ozmotik basınç, Ca ⁺² bağlama
α ₁ -Globülin	5	Glikoproteinler, yüksek yoğunluklu lipoproteinler
α ₂ -Globülin	9	Hemoglobin taşınması, Cu ⁺² taşınması, çok düşük yoğunluklu lipoproteinler
β-Globülin	13	Fe ⁺² taşınması, düşük yoğunluklu lipoproteinler
Fibrinojen	7	Kan pıhtılaşması
γ-Globülin	11	İmmunoglobülinler

Albümin 500'den fazla amino asidin bir araya gelmesiyle oluşan bir proteindir. Kütleleri 60-70 bin dalton arasında değişmektedir. Tek bir polipeptid zincirinden meydana gelir ve sekonder yapıya sahiptir. Bu sekonder yapının çoğunluğunu ise α-Heliks oluşturur.

Yumuşak globülin olarak bilinen albüminin 20'den fazla çeşidi bulunmaktadır [7].

Albüminin metabolizmadaki görevleri arasında şunlar yer alır:

- Dolaşım sisteminde ozmotik basıncı düzenleme,
- Antioksidan olarak görev yapma,

- Protein sentezi için amino asit kaynağı olma,
- Hormonlar, vitaminler, ilaçlar, metalik iyonlar gibi birçok molekülün taşınmasında görev alma [20].

Albümin bilimsel çalışmalar amacıyla ticari olarak üretilmektedir. Ticari olarak insandan elde edilen formu ile HSA (Human Serum Albumin) ve sığırdan elde edilen formu ile BSA (Bovine Serum Albumine) olarak bilinir.

3.2.1 Albüminin Yapısı ve Fiziko-Kimyasal Özellikleri

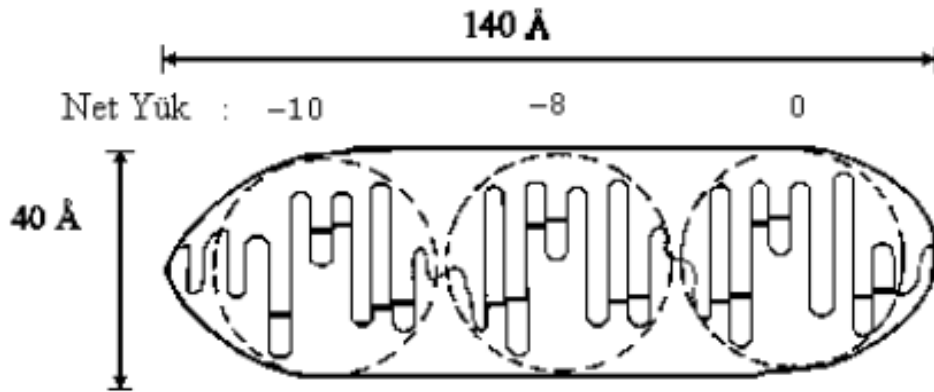
Diğer proteinlerde olduğu gibi albümin de bazik veya asidik ortamlarda yüklük olarak bulunur. Bu yükün miktarını belirleyen yapıdaki amino asitlerin karakteridir. Albüminler asidik ortamda pozitif olarak yüklenirken bazik ortamda eksi yüklüdür.

Proteinlerde izoelektrik noktası olarak bilinen ve toplam yükün sıfır olduğu nokta albüminde pH 4.7-5 civarındadır [7]. Çizelge 3.2’de BSA’nın fizikokimyasal özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.2 BSA'nın fizikokimyasal özellikleri [21]

Moleküler Ağırlık (Da)	66430
İzoelektrik Nokta (pI)	4.7
Difüzyon Katsayısı (m^2/s)	5.9×10^{-11}
Optik Absorbans $A^{1g/L}$ 279 nm	0.63
Hacim (Protein kristal yapısı) u_c (nm^3)	84.5
Toplam Yük	
pH 4	+25
pH 5	~0
pH 7.4	-17

BSA'nın fizyolojik pH'da eksi yüklü olduğundan ve plazma da yüksek oranda bulunmasından dolayı kanın pH'ını ayarlayan bir bileşen olduğu düşünülmektedir [13]. Araştırmalar sonucu BSA'nın elipsoide benzer bir yapıya sahip olduğu bulunmuştur (Şekil 3.4). BSA yüklü durumda iken yükün, bu elipsoid yapıya homojen olarak dağılmadığı tespit edilmiştir. Şekil 3.4'den görülebildiği gibi BSA'nın elipsoide benzer yapısının boyu 140 Å ve genişliği 40 Å civarındadır.

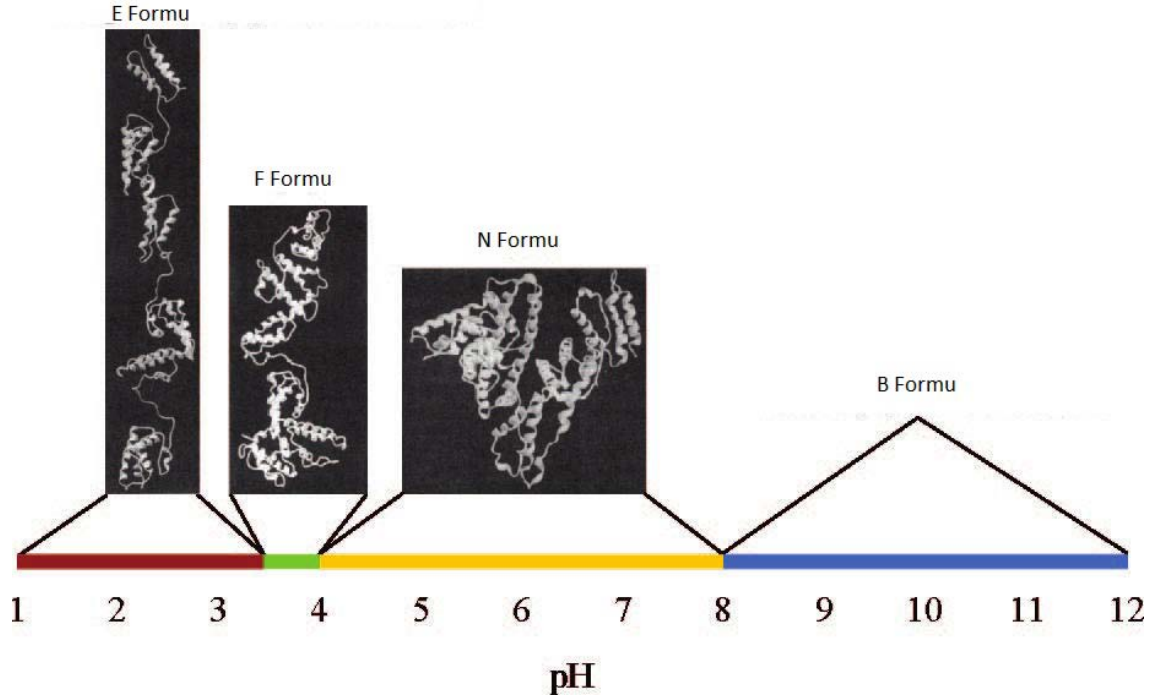


Şekil 3.4 BSA'nın model yapısı [7]

3.2.2 Sıcaklık ve pH'ın BSA Üzerine Etkisi

BSA farklı pH'larda farklı yüklere sahip olup, fiziksel yapısı pH'dan etkilenmektedir. BSA Şekil 3.5'te gösterilen farklı izomerlere sahiptir. pH>8 durumunda BSA temel hal denilen ve karakterize edilemeyen B formunu alır. pH 4-8 arasında ise BSA kalp şekline benzeyen N diye isimlendirilen normal yapıdadır. pH<4 durumunda BSA'nın konformasyonu hızlı bir şekilde değişmeye başlar ve ilk olarak F formunu, sonrasında da E formunu alır. Ayrıca BSA'nın izoelektrik noktası olan pH ~5'te sudaki çözünürlüğünün en düşük olduğu belirtilmektedir [22].

Sıcaklığın BSA'ya olan etkisi 2 aşamada değerlendirilmiştir. Buna göre 65 °C'ye kadar olan kısma birinci kısım denmiştir. Denatürasyona başlama sıcaklığı 58.2 °C olarak bulunmuş olsa da 65 °C'ye kadar bu etki tersinirdir. 65 °C'den sonra ise yapı tersinmez olarak bozunmaya uğrar [13].



Şekil 3.5 Farklı pH'larda BSA'nın konformasyonları [22]

3.2.3 BSA'nın Adsorpsiyonuna Etki Eden Faktörler

Hidrofobik etkileşimler: Araştırmalar sonucu soft proteinlerden olan BSA'nın hidrofobik yüzeylere adsorpsiyonunun daha yüksek miktarda olduğu tespit edilmiştir. Buna göre soft proteinler hidrofobik bir yüzeye adsorplanırken konformasyon yapıları bir miktar değişerek adsorpsiyonu daha kolay kılmaktadırlar [23]. Diğer bir araştırmada hidrofobik bir malzemenin hidrofilik bir malzeme ile kaplanması sonucun adsorpsiyon miktarının bazik bölgede ciddi bir şekilde düştüğü aktarılmıştır [24].

Elektrostatik etkileşimler: Proteinler farklı pH'larda farklı yüklere sahiptirler. BSA ise yukarıda belirtildiği gibi bazik bölgede eksi yüklü iken pH 5 in altında ise artı yüklüdür. Bu durum BSA'nın katı bir yüzeye adsorpsiyonu yüzeyin yük miktarına ve çeşidine göre farklılık göstermesine neden olur [7]. Bununla birlikte soft proteinlerin zıt bir elektrostatik etki dâhilinde bile yüzeye adsorpsiyonlarının fazla etkilenmediği aktarılmıştır [23].

Lifshitz-Van der Waals: Van der Waals etkileşimlerinin görece etkisi düşük olmasına rağmen ihmal edilemeyen etkileşimlerdir. Bu etkileşim indüklenmiş dipollerin arasında meydana gelir ve hidrojen bağlarına göre daha uzun mesafelerde gerçekleşir.

BÖLÜM 4

AKTİF KARBON

Aktif karbon, gözenekli yapısı sayesinde yüzey alanı 2000 m²/g ve üstüne çıkabilen karbon zincirlerine verilen addır [25]. Aktif karbon bilim dünyasının yeni tanıştığı bir malzeme değildir. Yüzyıllar boyu kullanılan bir malzeme olan aktif karbonun bilimin ilerlemesiyle birlikte kullanım alanları, etkileri ve çeşitleri artırılmıştır. Örneğin ilk çağlarda Hipokrat tarafından tıp alanında kullanıldığı kaydedilmiştir. Buna rağmen endüstriyel olarak üretime geçilmesi 18. yüzyılı bulduğu belirtilmiştir [2].

20. yüzyılın başlarında ise modern aktif karbon üretim teknikleri geliştirilmiştir. Bu teknikler ile elde edilen aktif karbonun yoğun olarak farklı adsorpsiyon işlemlerinde kullanılmıştır. Bunlara Almanya'da sudaki kötü koku verici fenollerin giderilmesi [6] ve 1. Dünya Savaşı sırasında zehirli gazlardan korunmaya yarayan aktif karbon ile donatılmış gaz maskelerinin kullanılması örnek olarak gösterilebilir [2].

Aktif karbon günümüzde de adsorpsiyon amacıyla yoğun olarak kullanılmasına rağmen teknolojik gelişmelerle birlikte, silah, otomotiv, metal sanayilerinde ve tıp alanında kullanımı artış göstermiştir [3].

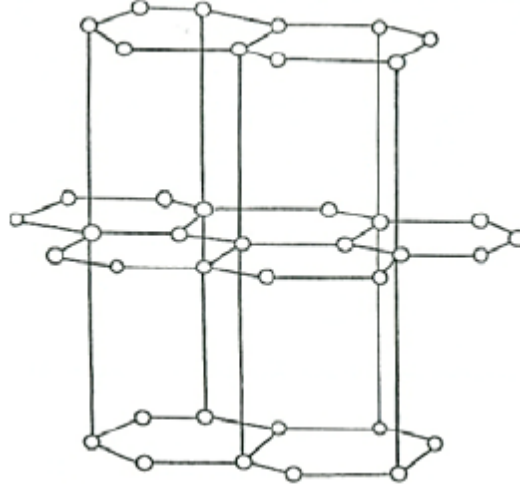
4.1 Aktif Karbonun Özellikleri

Bu bölümde aktif karbonun özellikleri fiziksel ve kimyasal özellikleri olmak üzere iki ana grupta incelenmiştir.

4.1.1 Fiziksel Özellikleri

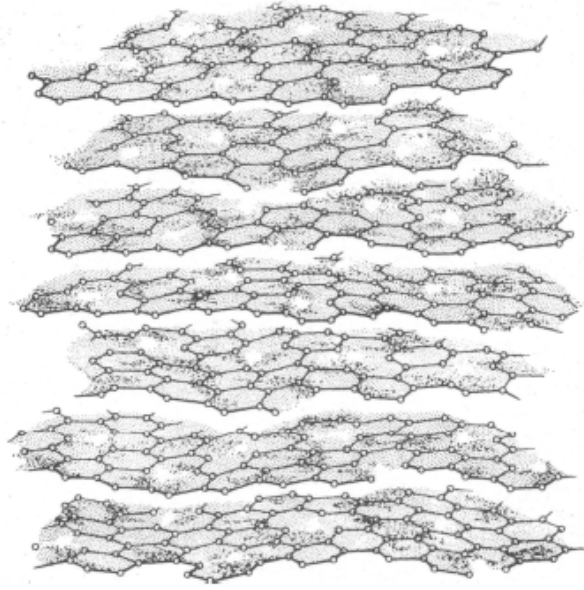
4.1.1.1 Kristal Yapı

Aktif karbonun fiziksel yapısının grafitinkine benzediği belirtilmiştir. Grafitte bir karbon atomu çevresi ile normalde farklı olarak 3 bağ yaptığı bilinmektedir. Geriye kalan elektron ise karbonun rahatça hareket edebilmesine imkân tanır. Böylelikle altıgen birbirine paralel tabakalardan oluşmuş grafit kristal yapısında bu tabakalar kolayca birbirini üzerinde kayabilir (Şekil 4.1) [26].



Şekil 4.1 Grafitin kristal yapısı [26]

Aktif karbonun yapısı da benzer bir yapıdır. Yalnız tabakalar arasındaki açılar düzensizdir. Aktif karbon, aktivasyon işlemi sırasında grafitteki bu düzenli yapıyı kaybeder. Tabakalardaki düzensizlikler aktif karbonun yüzey alanının artmasını sağlayan gözenekli yapıyı oluşturur. Tabakalar arasındaki mesafenin grafitte göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Yeni düzensiz yapıya turbostatik yapı denmiştir (Şekil 4.2) [2; 25; 26].



Şekil 4.2 Aktif karbonun turbostatik düzensiz yapısı [2]

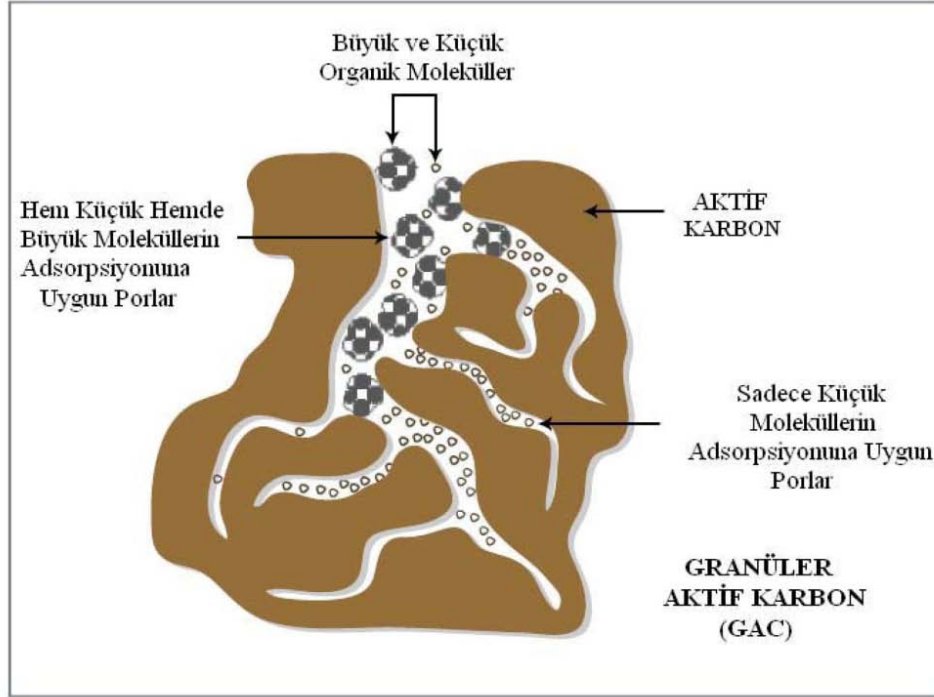
4.1.1.2 Yüzey Alanı

Yüzey alanı aktif karbonun en önemli fiziksel özelliklerinden biridir. Adsorpsiyon işlemi adsorbanın yüzeyinde gerçekleşmesinden ötürü teorik olarak yüzey alanının artışıyla adsorpsiyon noktaları artacağından adsorpsiyon kapasitesinin de artacağı öngörülmüştür [6]. Ticari aktif karbonlarda yüzey alanı 500-2000 m²/g aralığında değişmektedir. Bu rakamın özel sentetik aktif karbon üretimlerinde 5000 m²/g'a kadar çıkabildiği kaydedilmiştir [3].

Aktif karbonun yüzey alanını tespit etmek için yaygın olarak BET (Brunauer-Emmet-Teller) analizi kullanılır. Bu yöntemde gazların katıların üzerine tek tabaka halinde fiziksel adsorpsiyonu model olarak alınır.

4.1.1.3 Gözeneklilik

Aktif karbonu diğer malzemelerden ayıran önemli unsurlardan bir tanesi de gözenekliliktir. Aktif karbon yapısında buluna çeşitli boyutlardaki ve özellikle mikro gözenek denilen en küçük boyuttaki gözenekler, yüzey alanının benzer malzemelere oranla şaşırtıcı derecede fazla olmasına olanak tanır. Aktif karbonun gözenek yapısını bir ağacın gövdesinden başlayarak dallarına doğru kalınlığının azalmasına benzetilebilir. Şekil 4.3'de aktif karbonun gözenekli yapısı şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.3 Aktif karbon yapısındaki gözeneklerin şematik olarak gösterimi [25]

IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) tarafından yapılan sınıflandırmaya göre aktif karbonun yapısındaki gözenekler çaplarına göre üçe ayrılır [27]. Buna göre;

- $r < 2$ nm; mikro gözenek,
- $2 < r < 50$ nm; mezo gözenekler,
- $r > 50$ nm; makro gözenekler.

Aktif karbon yapısında bu gözeneklerin boyutunun ve dağılımının, karbonizasyon ve aktivasyon süreçlerindeki farklı muameleler ile modifiye edilebildiği kaydedilmiştir [2].

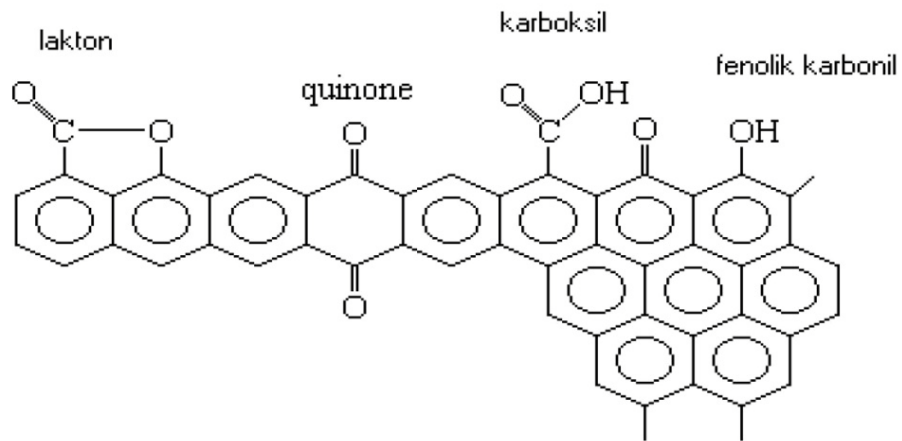
4.1.2 Kimyasal Özellikleri

Aktif karbon bünyesindeki ana karbon zincirlerinden başka hidrojen ve oksijenli yüzey fonksiyonel grupları ve çeşitli mineral maddeler bulunabilir. Aktif karbonun yapısındaki yüzey fonksiyonel gruplar hammadde kaynaklı olabilirken, ideal olmayan karbonizasyon ve aktivasyon işleminde kullanılan yöntemlere göre de aktif karbon bünyesine katılabilir. Yüzeydeki bu gruplar asidik veya bazik özellik gösterebilirler. Bu

farklı gruplar aktif karbonun iyon değiştirme kapasitesini değiştirdiğinden doğrudan aktif karbonun adsorpsiyon özelliklerini etkiler [2].

Yüzey gruplarının nitelikleri ve nicelikleri başta FT-IR ve XPS olmak üzere farklı yöntemlerle tespit edilebilir. Karboksilik ve fenolik grupları yüzey fonksiyonel gruplarından en fazla bulunanlardır. Bu gruplar aktif karbona asidik bir karakter kazandırır [12].

Yüksek sıcaklıkta yapılan oksidasyon asidik yüzey gruplarının sayısını artırır. Ancak inert atmosferde gerçekleştirilen ısıl muamelenin oksijen içeriği olan yüzey gruplarını su buharı, hidrojen ve karbon oksitler şekilde yapıdan uzaklaştırdığı da bildirilmiştir [6]. şekil 4.4'te başlıca yüzey fonksiyonel grupları gösterilmiştir.



şekil 4.4 Aktif karbonun yapısında bulunan başlıca fonksiyonel gruplar [12]

Bazik yüzey gruplarının varlığı bilinse de karakterize edilmelerini asidik yüzey gruplarına oranla daha zor olduğu kaydedilmiştir. Yine de siklik eter gibi grupların bazik karaktere neden olan gruplardan olduğu tespit edilmiştir [28]. Ayrıca karbonun π -elektron sisteminin de bazik karaktere katkıda bulunduğu belirtilmiştir [6].

Aktif karbonun yapısında hammadde kaynaklı % 1-12 arası kül olduğu kaydedilmiştir. Bu külün içerisinde bulunan silika, demir, alkali ve toprak alkali gibi maddelerin aktif karbona hidrofilitik özelliği kazandırdığı tespit edilmiştir [28]. Bunlardan sodyum ve

potasyumun karbonatları ve hidroksitlerinin aktif karbon yapısındaki mikro gözenekliliği artırdığı belirtilmiştir. Ayrıca yine bu metallerin kanallaşması özelliğinden dolayı mezoporik yapıya da katkıda buldukları aktarılmıştır [6].

4.2 Aktif Karbon Üretimi

4.2.1 Aktif Karbon Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

Aktif karbon üretiminde kullanılan malzemelerin öncelikle karbon içeriklerinin fazla olması gerekir. Bu nedenle hammadde olarak organik malzemeler seçilir. Ayrıca hammaddenin bileşimindeki uçucuların miktarı ve çeşidi üretilen aktif karbonun yüzey alanını etkiler. Bu nedenle bazı organik malzemeler diğerlerine oranla aktif karbon üretimine daha yatkındır [25]. Çizelge 4.1’de ticari olarak kullanılan başlıca hammadde kaynakları gösterilmiştir.

Çizelge 4.1 Ticari olarak kullanılan başlıca aktif karbon hammaddeleri ve kullanım yüzdeleri [2]

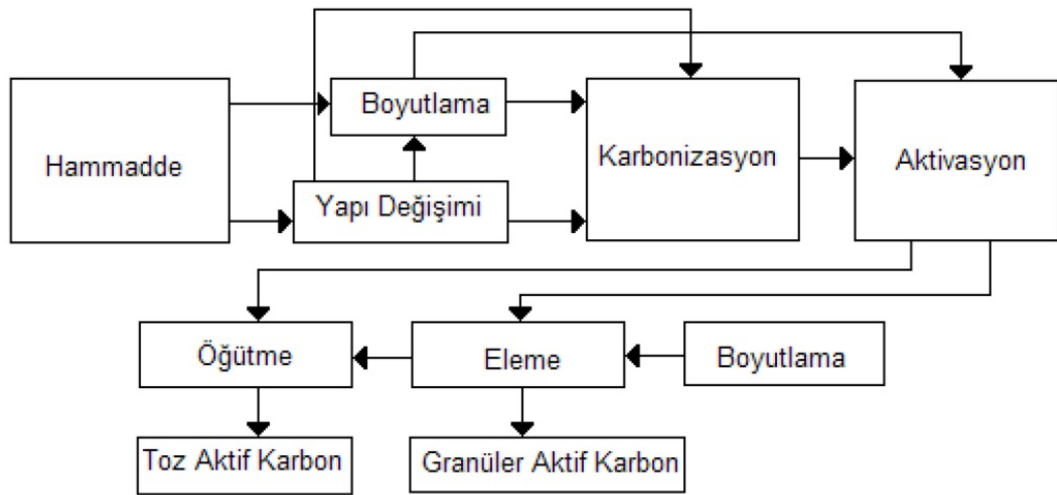
Hammadde	Kullanım Yüzdesi
Odun	34
Kömür	28
Linyit	14
Hindistan Cevizi Kabuğu	10
Turba Kömürü	10
Diğer	3

Çizelge 4.1’de verilen listeden başka meyve çekirdeklerinden deniz yosununa, şeker kamışından kauçuk artığına kadar birçok organik içerik malzemedeki aktif karbon üretilmektedir [25].

4.2.2 Aktif Karbon Üretimindeki Aşamalar

Aktif karbon üretiminde iki ana aşama bulunur: karbonizasyon ve aktivasyon. Şekil 4.5’de genel üretim şeması gösterilmektedir. Aktif karbon, toz ve granül halinde olmak üzere iki farklı formda üretilir. Toz aktif karbon, tanecik boyutu 100 μm ’den küçük olan aktif karbonlara denir. Genellikle bu tür aktif karbonlarda adsorpsiyon işleminin ilk yarım saatte dengeye geldiği saptanmıştır [6].

Granül aktif karbonun partikül boyutu daha büyük ve düzensizdir. Daha geniş por genişliğine sahip olduklarından büyük moleküllerin adsorpsiyonu için yaygın olarak kullanılırlar [6].



Şekil 4.5 Aktif karbon üretiminin genel akış şeması [6]

4.2.3 Karbonizasyon

Karbonizasyon basamağı, hammadde içerisindeki uçucuların (safsızlıkların) uzaklaştırıldığı ve dolayısıyla karbon yüzdesinin göreceli olarak arttığı ve temel hal gözenekli yapının oluştuğu aşamadır. Fakat malzemenin yüzey alanı henüz yeteri kadar genişlememiş olduğundan bir sonraki aşama olan aktivasyon işlemine ihtiyaç duyulur [12].

İnert atmosferde gerçekleşmesi gereken piroliz işlemi sırasında ilk olarak düşük moleküler ağırlıklı uçucular, sonrasında hafif aromatikler ve en sonunda da hidrojen gazı saliverilir. Sonrasında ise serbest karbon atomları grafitin kristal yapısına benzer

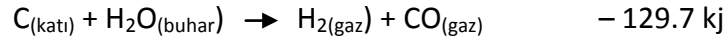
olan ama düzensiz olan yapıya geçerler. Karbonizasyon ürünlerinin bir kısmı boşluklu kristal yapısını doldurduğundan elde edilen ara ürünün adsorpsiyon kapasitesi çok düşüktür [3].

4.2.4 Aktivasyon

Karbonizasyon işlemini aktivasyon işlemi takip eder. Bu aşama iki farklı şekilde gerçekleştirilir. Bu aşama ile aktif karbona yüksek yüzey alanı, genişlemiş porlar ve fonksiyonel yüzey özellikleri kazandırılır [2]. Aktivasyon işlemi sırasında malzemenin kütlesi giderek azaldığından uzun süreli aktivasyon işlemi, prosesi verimsiz ve karsız kılabilir [6].

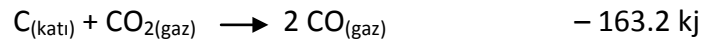
4.2.4.1 Fiziksel Aktivasyon

Fiziksel adsorpsiyon prosesinde genellikle su buharı, karbondioksit veya ikisi birden kullanılır. Yüksek sıcaklıkta gerçekleşen bu işlem sonucunda bir önceki işlem basamağındaki ara ürün bir miktar gazlaştırılarak gözenekler genişletilir [3]. Su buharı ile aktivasyon aşağıdaki tepkimeye göre gerçekleşir.



Su buharı ile aktivasyonda işlem sıcaklığı 1000-1200 K arasında değişmektedir. Bu sıcaklıkta inert ortamda gerçekleşen aktivasyon işlemi aktif karbonun yapısında bulunan mineral maddelerin katalizlediği belirtilmiştir [6].

Karbon dioksit ile aktivasyon yöntemi ise aşağıdaki tepkimeye göre gerçekleşmektedir:



Karbon dioksit ile aktivasyonda proses sıcaklığı 1373 K'e kadar çıkar. İki yöntemde de aktif karbon ürününün porozitesinin kimyasal adsorpsiyondaki gibi arttığı gösterilmiştir. Yaygın olarak sıvı ve katı fazdan molekül ve iyonların adsorpsiyonunda kullanılır [3].

4.2.4.2 Kimyasal Aktivasyon

Kimyasal aktivasyon, aktif karbon bünyesinin kimyasal ajanlar yardımıyla bozundurulup aktif karbonun istenen gözenek ve yüzey özelliklerine sahip olmaya yarayan işleme denir. Bunun için aktif karbonu farklı şekilde etkileyen maddeler kullanılmıştır. Bunların

en yaygın olanları; $MgCl_2$, $CaCl_2$, H_3PO_4 , H_2SO_4 , $ZnCl_2$, KOH , HCl ve K_2CO_3 gibi kimyasallardır [25].

Aktivasyon ajanları aktif karbonun su kaybetmesine, kömürleşmesine, aromatikleşmesine ve gözenekli yapısının oluşmasına neden olur. Kimyasal aktivasyon, fiziksel adsorpsiyona göre daha düşük sıcaklıklarda (400 - 800 °C) gerçekleşebilmesi ve yüksek oranda karbon verimi sağlaması nedeniyle tercih edilir [2].

Farklı aktivasyon ajanlarının aktif karbon yapısında değişik etkilere neden oldukları tespit edilmiştir. Örneğin $ZnCl_2$ ile muamelenin mikropor yapıların oluşmasına ve bunların yüzeyde eşit olarak dağılmasına neden olduğu tespit edilmiştir [29]. Bir diğer örnekte H_3PO_4 'ün mikropor yapısını heterojen olarak artırdığı ama yüksek aktivasyon miktarını düşük sıcaklıklarda (450 °C) gerçekleştirebildiği kaydedilmiştir. KOH ile aktivasyon ise ilk işlem basamağında dar mikrogözeneklerin oluştuğu, işleme devam edildiğinde ise bu gözeneklerin genişledikleri aktarılmıştır [29].

Sodyum ve potasyumun aktivasyon işlemlerinde iyi bir katalizor olduklarından bahsedilmiştir. Ayrıca bu alkali molekülleri grafitik yapının arasına girerek onun genişlemesine neden olurlar [6].

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, literatürde farklı adsorbanlarla farklı deneysel koşullarda gerçekleştirilen BSA protein adsorpsiyonu çalışmaları derlenmiştir. Bu çalışmalar Çizelge 5.1’de özetlenmiştir.

Jiang vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada [30], Cu(II) ile yüklenmiş silika kaplamalı manyetik nanoparçacıkların adsorpsiyon kapasitesi incelenmiştir. pH 6 – 6.5 ve 7’de, oda sıcaklığında gerçekleştirilen adsorpsiyon deneylerinde en yüksek adsorpsiyon kapasitesi pH 6’da 235 mg/g olarak bulunmuştur. pH arttıkça adsorpsiyon kapasitesinin hızla düştüğü görülmüştür. Adsorpsiyon işlemine Cu(II)’nin etkisini araştırmak için Cu(II) içermeyen silika kaplamalı manyetik nanoparçacıklar ile aynı şartlarda gerçekleştirilen deneylerde adsorpsiyon kapasitesinin 14 mg/mL olduğu görülmüştür. Bu durum BSA’nın manyetik nanoparçacıklar üzerine adsorpsiyonu işleminin çok küçük bir kısmının fiziksel olarak gerçekleştiği şeklinde yorumlanmıştır.

Kamran vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada [31], iyonik çözeltilerdeki BSA, lizozim ve miyogloblin proteinlerinin manyetik Fe₃O₄ nano parçacıkları üzerine adsorpsiyonu incelenmiştir. Elde edilen adsorpsiyon değerleri Langmuir izoterm modeline oturtularak maksimum adsorpsiyon kapasiteleri hesaplanmıştır. Buna göre, Fe₃O₄ nano parçacıklarının maksimum adsorpsiyon kapasitesi, BSA, lizozim ve miyogloblin için sırasıyla 182, 455 ve 143 mg/g olarak bulunmuştur. Adsorpsiyon işleminin her üç protein için de endotermik olduğu, bu sebeple sıcaklık arttıkça adsorpsiyon kapasitelerinde artış meydana geldiği tespit edilmiştir. BSA’nın maksimum

adsorpsiyona pH 6.5 değerinde ulaştığı gözlenirken belli konsantrasyondaki NaCl(0.08 mol/L) ilavesinin adsorpsiyon kapasitesini artırdığı gözlemlenmiştir.

Song vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada [32], nano boyutta TiO_2 , SiO_2 , $\alpha-Al_2O_3$ ve $\gamma-Al_2O_3$ bulk olarak TiO_2 , SiO_2 ve Al_2O_3 parçacıkları ile BSA adsorpsiyonu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deneyler Langmuir ve Freundlich izoterm modellerine oturtulmuştur. Langmuir izoterm modellerinden elde edilen sonuçlara göre yüzey alanı yüksek nano boyuttaki TiO_2 , SiO_2 , $\gamma-Al_2O_3$ parçacıkların maksimum adsorpsiyon kapasitesinin de fazla olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca adsorpsiyon miktarlarındaki farklılıklar katı parçacıkların yüzeyinde bulunan hidrojen miktarı ve hidroksil grupları bakımından incelenerek, yorumlanmiştir.

Dizge ve Tansel (2011) tarafından yapılan çalışmada [33], hazırlanan model atık su örneklerinden glikoz ve BSA'nın yarışmalı şekilde aktif karbon üzerine adsorpsiyonu incelenmiştir. pH 7.2 ± 2 ve 23 ± 2 °C'de gerçekleştirilen deneyler sonucu elde edilen verilen Langmuir ve Freundlich izoterm modellerine uygulanmiştir. Yarışmalı adsorpsiyon şeklinde yapılan deneylerde BSA ve glikozun aktif karbon üzerine maksimum adsorpsiyonu Langmuir modelinden elde edilen verilere göre sırasıyla 12.30 ve 11.44 mg/g şeklinde bulunurken, aynı modele göre elde edilen tek bileşen adsorpsiyon kapasiteleri BSA ve glikoz için sırasıyla 13.35 ve 9.70 mg/g olarak bulunmuştur.

Mavropoulos vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada [34], yüzeyi Zn^{+2} ve Sr^{+2} ile modifiye edilen hidroksiapatit parçacıkları kullanılarak BSA adsorpsiyonu gerçekleştirilmiştir. 37 °C'de gerçekleştirilen deneyler sonucu adsorpsiyon kapasitesi modifiye edilmemiş hidroksiapatit için 39.1 mg/g olarak bulunurken, metal iyonları ile modifiye edilmiş hidroksiapatit parçacıklarında adsorpsiyon kapasitesinin ~%40 oranında arttığı gözlemlenmiştir.

Liang ve Wang (2010) tarafından yapılan çalışmada [35], silika kaplamalı manyetik $MnFe_2O_4$ parçacıkları BSA adsorpsiyonunda kullanılmıştır. Adsorpsiyon işleminde kullanılan malzemenin yüzeyi amin grubu ile modifiye edilerek adsorpsiyon kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Deneylerden elde edilen verilere göre yüzeyi amin ile modifiye edilmiş ve dolayısıyla artı yüklü silika kaplamalı manyetik $MnFe_2O_4$ parçacıkları, BSA'nın

negatif yüklü olduğu pH 5.1'de elektrostatik etkileşimden dolayı yüksek adsorpsiyon kapasitesi verdiği aktarılmıştır. Ayrıca elektrostatik etkileşim, eklenen NaCl ile de test edilerek, BSA ile adsorpsiyon için yarışan Cl⁻ iyonundan dolayı BSA'nın adsorpsiyonunun düştüğü gözlemlenmiştir. Amin ile modifiye edilmeyen silika kaplamalı manyetik MnFe₂O₄ parçacıkları ise negatif yüklü olduklarından BSA'nın artı yüklü olduğu pH3.8'de yüksek adsorpsiyon kapasitesi göstermiştir

Ravindran vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada [36], Ag nano parçacıkları kullanılarak farklı pH değerlerinde BSA adsorpsiyonu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen adsorpsiyon değerleri Langmuir ve Freundlich izoterm modellerine uygulanmıştır. Langmuir modeline göre maksimum adsorpsiyon değeri 130 mg/g olarak hesaplanmıştır. Bundan başka, yüzeyi BSA tabakası ile kaplanmış Ag parçacıklarının, yüzeydeki elektrostatik etkiye neden olan BSA molekülleri nedeniyle, yüzeyi BSA ile kaplanmamış Ag parçacıklarına daha az topaklanma eğilimi gösterdiği gözlemlenmiştir. pH'a konformasyonunda değişiklik meydana gelen Ag yüzeyine adsorbe olmuş BSA molekülleri SEM yardımı ile karakterize edilmiştir.

Sezões vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada [37], BSA adsorpsiyonu için mezoporlu modifiye silika köpükleri kullanılmıştır. pH 5'te 25 °C'de gerçekleştirilen deneylerde farklı por açıklıklarına (11.3–17.3 nm) sahip silika köpüklerinin BSA adsorpsiyonu kapasiteleri Langmuir izoterm modeline oturtularak karşılaştırılmıştır. BSA'nın giremeyeceği kadar dar por açıklıklarına sahip olan silika örneklerinde adsorpsiyon dış yüzeye bağımlı olduğundan adsorpsiyon miktarı 120 mg/g'da kalırken, por açıklıkları arttıkça bu rakam 500-600 mg/g'a kadar yükselmiştir. Bu çalışmada pH 7'de BSA'nın desorpsiyonu da incelenmiştir.

Srisuwan vd. (2009) tarafından yapılan çalışmada [38], ipek fibroininden elde edilen mikro küreler kullanılarak gerçekleştirilen BSA adsorpsiyonu sunulmuştur. Deneysel koşullar olarak fizyolojik şartlar seçilmiştir(37 °C – pH 7.4). Farklı çaplara sahip olacak şekilde üretilen mikro kürelerin adsorpsiyon değerlerinin incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre küçük çaplara sahip mikro kürelerin adsorpsiyon kapasitesinin yüzey alanı artışından dolayı daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Çapları 150 µm olan mikro kürelerin BSA adsorpsiyonu miktarları 3,5 mg/g olarak bulunurken çapları 80 µm mikro

küreler ile gerçekleştirilen deneylerde adsorpsiyon miktarı ~16 mg/g olarak bulunmuştur.

Kopac vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada [39], pH ve sıcaklığın, BSA'nın titanyum dioksit üzerine adsorpsiyonunun üzerine etkilerini incelemişlerdir. Deneysel veriler Langmuir izoterm modeline işlenip, maksimum adsorpsiyon rakamları tespit edilmiştir. Buna göre BSA'nın adsorpsiyonunun sıcaklık ile arttığı sonucuna ulaşılmıştır. En yüksek adsorpsiyon değerlerine ulaşılan pH 4'te 20 – 30 – 40 °C'de gerçekleştirilen deneylerde sırasıyla 35.8, 40.0 and 42.6 mg/g adsorpsiyon miktarlarına ulaşılmıştır. Deneyler pH 4, 5 ve 10'da gerçekleştirilmiş, pH 10'da gerçekleştirilen deneylerin düzensiz olduğundan dolayı denge adsorpsiyon verileri elde edilememiştir.

Xu vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada [40], sentezledikleri mezopor oranı yüksek karbon ile ticari olarak temin ettikleri aktif karbonun BSA, tavuk yumurtası beyazı albümini ve vitamin B₁₂ adsorpsiyonu kapasitelerini karşılaştırmışlardır. Buna göre, sentezlenen karbonun yüzey alanı, ticari aktif karbon örneklerinden çok daha az olmasına rağmen sahip oldukları yüksek mezopor alanı sayesinde yüksek adsorpsiyon kapasitesi elde edilmiştir. BSA adsorpsiyon kapasitesi, yüzey alanı 1408 m²/g olan sentetik mezoporlu karbon için 176 mg/g'a kadar çıkarken, yüzey alanı 3000 m²/g olan mikropor oranı yüksek ticari karbon için 36 mg/g'da kaldığı bildirilmiştir. Ticari karbonun bu kadar düşük bir adsorpsiyon kapasitesine sahip olmasında yapısındaki gözeneklerin açıklıklarının küçük olmasının (2.26 nm) da etkili olduğu düşünülmektedir.

Li ve Li (2007) tarafından yapılan çalışmada [41], poli(metil) metakrilat mikroküreleri kullanılmıştır. Buna göre poli(metil) metakrilat mikroküreleri ile BSA adsorpsiyonunun BSA'nın izoelektrik noktasına yakın pH 4.3'te maksimum değerine ulaştığı görülmüştür. Ayrıca bu çalışmada iyon etkisi de incelenmiş, NaCl ilavesinin izoelektrik noktasında BSA'nın çözünürlüğünü artırarak adsorpsiyon miktarının düşmesine yol açarken, pH 2.2'de adsorpsiyonun artmasına neden olduğu ortaya konmuştur.

Qiao vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada [42], BSA'nın sentezlenen mezoporlu silikalara adsorpsiyonu, pH, por açıklığı ve yüzey modifikasyonları açısından incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre silikaların yüzeyi amin grubu ile modifiye edildiğinde pH 4.7'de adsorpsiyon kapasitesinin artarak 222 mg/g'a kadar

yükselmesine neden olmuştur. Amin grupları pH 3.4'de gerçekleştirilen deneylerde, kendileri gibi artı yüklü olan BSA ile elektrostatik etkileşime girerek adsorpsiyon kapasitesinin 15.9 mg/g'a kadar düşmesine neden olmuştur. Ayrıca, silika örneklerinin por açıklığı daraldıkça adsorpsiyon kapasitesinin düştüğü bildirilmiştir.

Sekaran vd. (1996) tarafından yapılan çalışmada [43], pirinç kepeğinden elde edilen aktif karbon ile BSA adsorpsiyonu çalışılmıştır. Optimum deneysel koşullar olarak seçilen pH 7, 40 °C ve 0.6 M NaCl konsantrasyonunda yapılan deneylerde maksimum adsorpsiyon 3.22 mg/g. Ayrıca pH 7 ve 0.6 M NaCl konsantrasyonunda gerçekleştirilen deneylerde adsorpsiyon karakterinin ekzotermik olduğu görülmüştür. Buna göre sıcaklık arttıkça BSA adsorpsiyonu da azalmıştır.

Sigal ve Osadchiı (1987) tarafından yapılan çalışmada [44], mezopor oranı yüksek ticari aktif karbon örneği ile BSA adsorpsiyonu gerçekleştirilmiştir. Por çapları $r > 15$ nm olarak bulunan aktif karbon örnekleri ile gerçekleştirilen deneylerde 2.4 mg/m²'lik (~312 mg/g) adsorpsiyon kapasitesi bulunmuştur. Por çapı yüksek olması sebebiyle BSA molekülün aktif karbonun iç yüzeyine adsorpsiyonu mümkün olmuş, aktif karbonun yüzey alanı 130 m²/g olmasına rağmen yüksek bir adsorpsiyon kapasitesi elde edilmiştir.

Wu (1982) tarafından yapılan çalışmada [45], farklı sıcaklık ve pH değerlerinde aktif karbon ve fenolik reçine ile BSA ve lizozim adsorpsiyonu çalışılmıştır. Maksimum BSA ve lizozim adsorpsiyonunun BSA ve lizozimin izoelektrik noktalarının (pH ~4.7 – pH ~11) yakınlarında meydana geldiği gözlemlenmiştir. Yüzey alanı 1000 m² olarak belirtilen aktif karbonun BSA ve lizozim adsorpsiyonu kapasitesi sırasıyla 27.3 mg/g ve 27.6 mg/g olarak bulunmuştur. Fenolik reçine ile yapılan deneylerde ise reçinenin yüzey alanı daha düşük olmasına rağmen BSA ve Lizozim için sırasıyla 202 ve 223 mg/g'lık yüksek bir adsorpsiyon miktarı gözlemlenmiştir. Çalışmada adsorpsiyon kapasitelerinin iyonik şiddete, sıcaklık, pH ve adsorbanın parçacık boyutuna göre değişimi de incelenmiştir.

Çizelge 5.1 Farklı malzemelerle gerçekleştirilen BSA adsorpsiyonları

Araştırmacılar	BSA Derişimi	Adsorban Türü ve Derişimi	Deneysel Koşullar	İzoterm Modeli	Adsorpsiyon Kapasitesi (mg/g)
Jiang, 2013	0 – 3 mg/mL	Silika kaplamalı manyetik nanoparçacık, 0.3 mg/mL	25 °C – pH 6	Langmuir	235
Song, 2012	0.1-12 mg/mL	Nano TiO ₂ , 6.67 mg/mL	25 °C - pH 7	Langmuir	155
		Bulk TiO ₂ , 133.3 mg/mL			8
		Nano SiO ₂ , 26.6 mg/mL			107
		Bulk SiO ₂ , 266.6 mg/mL			5.99
		α-Al ₂ O ₃ , 33.3 mg/mL			38.8
γ-Al ₂ O ₃ , 6.67 mg/mL	307.1				
Bulk Al ₂ O ₃ , 126.66 mg/mL	25.1				
Kamran, 2012	0.05-2 mg/mL	Fe ₃ O ₄ , 4 mg/mL	25 °C - pH 6.5	Langmuir	181.8
Mavropoulos, 2011	1 mg/mL	Hidroksiapatit, 12.5 mg/mL	37 °C - water	-	39.1
Dizge, 2011	0.05-2 mg/mL	Aktif karbon, 0.25- 50 mg/mL	23 °C - pH 7.2	Langmuir	13.35
Ravindran, 2010	0.05-0.85 mg/mL	Nano Ag, 50 ppm	25°C	Langmuir	130
Sezões, 2010	Belirtilmemiş	Silika, 5 mg/mL	25 °C - pH 5	Langmuir	608

Çizelge 5.1 Devam

Araştırmacılar	BSA Derişimi	Adsorban Türü ve Derişimi	Deneysel Koşullar	İzoterm Modeli	Adsorpsiyon Kapasitesi (mg/g)
Liang, 2010	0.1-2.5 mg/mL	Silika kaplamalı MnFe ₂ O ₄ , 0.3mg/mL	25 °C - pH 3.8 - NaCl	Langmuir	100
		Modifiye silika kaplamalı MnFe ₂ O ₄ , 0.3 mg/mL	5 °C - pH 5.1		164
Srisuvan, 2009	1 mg/mL	İpek fibroin mikro küreleri	37 °C – pH 7.4 - PBS	-	16
Kopac, 2008	0.5 mg/mL	TiO ₂ , 8–14 mg/mL	40 °C - pH 4 - NaCl	Langmuir	42.6
Xu, 2008	0.2 mg/mL	Sentetik karbon, 4 mg/mL	25 °C	-	176
		Ticari aktif karbon, 4 mg/mL			36
Li, 2007	Belirtilmemiş	Poli(metil) metakrilat, 40 mg/mL	37 °C - pH 4.3	-	5
Qiao, 2007	0.5 - 15 mg/mL	Silika, 10 mg/mL	25 °C - 4.7	Langmuir	222
Sekaran 1996	0.1 - 0.5 mg/mL	Aktif karbon, 3.5 g	40 °C - pH 7 - 0.6 M NaCl	Langmuir	3.22
Sigal 1987	2.5 mg/mL	Aktif karbon, ~20 mg/mL	25 °C -pH 5.7	-	312
Wu, 1982	0.955 mg/mL	Aktif karbon, 5 mg/mL	25 °C - pH 5.27	-	27.3
	0.955 mg/mL	Fenolik reçine 4.38 mg/mL	25 °C - pH 4.93	-	202

MATERYAL VE YÖNTEM

6.1 Kullanılan Cihazlar

Terazi

Deneylerde kullanılan malzemelerin tartımı için 0.001 g hassaslığındaki SCALTEC SBA 41 markalı terazi kullanılmıştır.

Orbital Çalkalayıcı

Adsorpsiyon deneyleri, IKA KS 4000i orbital çalkalayıcı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Mikro Santrifüj

Spektrofotometrik analizler öncesi örneklerin hazırlanması için 12x2.2 mL kapasitesindeki Hettich marka mikro santrifüj cihazı kullanılmıştır.

Spektrofotometre

Protein çözeltilerindeki protein konsantrasyonlarını tayin etmek amacıyla Shimadzu-UV-150-02 çift ışınli cihazı kullanılmıştır.

Mikrodalga Fırın

Aktif karbon modifikasyonu için 530x500x322 mm boyutunda, 30 L fırın hacmine sahip, 180-900 W aralığında çalışabilen Arçelik firmasına ait MD 594 modelli mikrodalga fırın kullanılmıştır.

Etüv

Modifiye edilen aktif karbon örnekleri Memmert UM 400 kullanılarak kurutulmuştur.

pH Metre

pH ölçümlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla WTW–pH 340 cihazı kullanılmıştır.

FT-IR (Fourier Transform Infra Red) Spektroskopisi

Numunelerin FT-IR analizleri için Perkin Elmer Pyris1 FT-IR cihazı kullanılmıştır.

Yüzey Karakterizasyon Cihazı, BET

Numunelerin yüzey karakterizasyonları Physisorption ve Chemisorption cihazı ile gerçekleştirilmiştir.

6.2 Kullanılan Kimyasal Maddeler

Deneyler sırasında kullanılan kimyasal maddeler yüksek saflıkta olup Sigma-Aldrich, Fluka, J.T. Baker ve Fisher firmalarından temin edilmiştir.

Aktif Karbon

Araştırmada, ticari ismi Acticarbhone-CPW olan toz aktif karbon kullanılmıştır. Kullanılan ticari toz aktif karbon spesifikasyonları Ek A'da verilmiştir.

Bovine Serum Albümin

Protein çözeltilerinin hazırlanmasında Sigma-Aldrich firmasından temin edilen liyofilize BSA (≥ 98 agaroz jel elektroforez) kullanılmıştır.

6.3 Ticari Aktif Karbonun Modifiye İşlemi

Bu çalışmada gerçekleştirilen modifikasyon işlemi ticari aktif karbonun yeniden aktivasyon işlemine tabi tutulması şeklinde algılanmalıdır. Buna göre spesifikasyonları EK A'da gösterilen ticari toz aktif karbonun yeniden aktivasyonu için Na_2CO_3 ve HCl kimyasalları ve mikrodalga tekniği kullanılmıştır.

Aktif karbon modifikasyonuna ilişkin işlem basamakları, Jiang vd. [46] tarafından bildirilen mısır koçanından aktif karbon üretimine ait çalışmadan alınmıştır.

İlk aşama olarak; %10'luk 100, 150, 200, 250 ve 300 mL'lik Na_2CO_3 çözeltileri hazırlanmıştır. Hazırlanan çözeltilerin içerisine 50 g ticari olarak elde edilmiş toz aktif karbon (TAK) ilave edilerek aktivasyon işlemine başlanmıştır. Bu karışımlar 24 saat oda

sıcaklığında bekletildikten sonra mikrodalga fırında 540 Watt'ta 7 dakikalık ısıtma işlemine tabi tutulmuştur. Mikrodalga ile muamelede 7 dakikalık sürenin tercih edilmesinin sebebi, bu süreden sonra karışımlarda meydana gelen kabarmaya sebep olan gazın kaymasıdır. Mikrodalga işleminden sonra karışım ortam sıcaklığına gelene kadar bekletilmiş ve daha sonra % 10'luk 250 mL HCl ilave edilerek 30 dakika boyunca kaynatılmıştır. Kaynatma işleminden sonra karışım birkaç defa distile su ile yıkanmış ve 24 saat boyunca 100 °C'deki etüvde kurumaya bırakılmıştır.

Elde edilen modifiye aktif karbon örnekleri (MTAK) Na₂CO₃ ile muamele miktarlarına göre (100, 150, 200, 250 ve 300 mL %10'luk Na₂CO₃) sırasıyla 1'den 5'e kadar numaralandırılmıştır (MTAK 1, MTAK 2, MTAK3, MTAK4 ve MTAK 5).

6.4 Ticari Aktif Karbonun Karakterizasyonu

Ticari olarak temin edilen aktif karbon, modifikasyon işlemlerine tabi tutulduktan sonra yüzey fiziksel yapısında ve kimyasal yapısında meydana gelen muhtemel değişiklikleri incelemek amacıyla karakterizasyon işlemlerine tabi tutulmuştur. Modifiye edilen aktif karbonun yüzey yapısı BET tekniği ile incelenirken, modifiye aktif karbonun yüzey grupları FT-IR tekniği ile incelenmiştir.

6.4.1 Aktif Karbon Örneklerinin Yüzey Yapısının İncelenmesi

Aktif karbon örneklerinin yüzey analizleri BET (Brunauer-Emmet-Teller) tekniği ile Physisorption ve Chemisorption cihazı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 6.1).



Şekil 6.1 Physisorption ve Chemisorption Analiz Cihazı [47]

6.4.2 Aktif Karbon Örneklerinin Yüzey Gruplarının İncelenmesi

Yüzey gruplarını incelemek amacıyla Perkin Elmer Pyris1 FT-IR cihazı kullanılmıştır (Şekil 6.2). Ölçümler için KBr pelletleri yaklaşık %0.5 oranında aktif karbon içerecek şekilde hazırlanmıştır.



Şekil 6.2 FT-IR Cihazı [47]

6.5 Lowry Yöntemi ile Protein Miktarı Tayini

Lowry yöntemi 1951'de Lowry vd. [48] tarafından geliştirilmiştir. Protein analizinde sıklıkla başvurulan bir yöntemdir. Hata payının düşük olması ve basit uygulama basamaklarına sahip olması bu yöntemin kullanılmasının tercih nedenleri arasında gösterilebilir. Bu metodu uygularken aşağıda verilen hususlara dikkat edilmesi gerekir:

- Örneğin protein derişiminin Lowry yöntemine uygun aralıklarda olması gerekir. Örneğin 0.1-1 mg protein/mL aralığında daha hassas sonuçlar elde edilir [13].
- Lowry yönteminde kullanılan çözeltilerin taze olarak hazırlanmış olması gerekir.
- Ortam sıcaklığına ve çözeltilerin homojen olarak karışmasına dikkat edilmelidir.

Lowry yöntemi aşağıda belirtilen esaslara dayanır:

- Bakır iyonu ile amid bağı arasında oluşan kompleks sonucu alkali ortamda indirgenmiş bakır, Cu^+ , oluşur.
- Folin-Ciocalteu maddesi tirozin ve triptofan maddeleri ile indirgenir. Folin-Ciocalteu maddesi indirgendiğinde çözeltiliye mavi renk verir.

Lowry yöntemini uygulamak için 4 farklı ayraç kimyasal kullanılır:

- A ayracı: 20 mg Na_2CO_3 , 0.1 N NaOH çözeltilisinde çözümlenerek hazırlanır.
- B ayracı: 0.125 g $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, 50 mL'lik % 0.5'lik (w/w) sodyum tartarat çözeltilisinde çözümlenerek hazırlanır.

- C ayracı: 50 mL A çözeltisi ile 2 mL B çözeltisi karıştırılarak elde edilir.
- D ayracı: Folinin % 200 oranında distile su ile seyreltilmesiyle elde edilir.
- Fosfat Tamponu: Protein çözeltisini pH 7'de tutmak amacıyla kullanılır. Suda çözülen Na_2HPO_4 ve NaH_2PO_4 çözeltilerinin uygun oranlarda karıştırılmasıyla elde edilir.

Protein tayini için aşağıdaki işlem basamakları takip edilmiştir:

- Ölçülmek istenen 0.5 mL protein çözeltisine 2.5 mL C ayracı eklenir ve 25 °C'de 10 dakika bekletilir.
- 0.25 mL D ayracı eklenerek 25 °C'de 30 dakika bekletilir.
- 750 nm dalga boyunda UV spektrofotometrede okuma gerçekleştirilir.

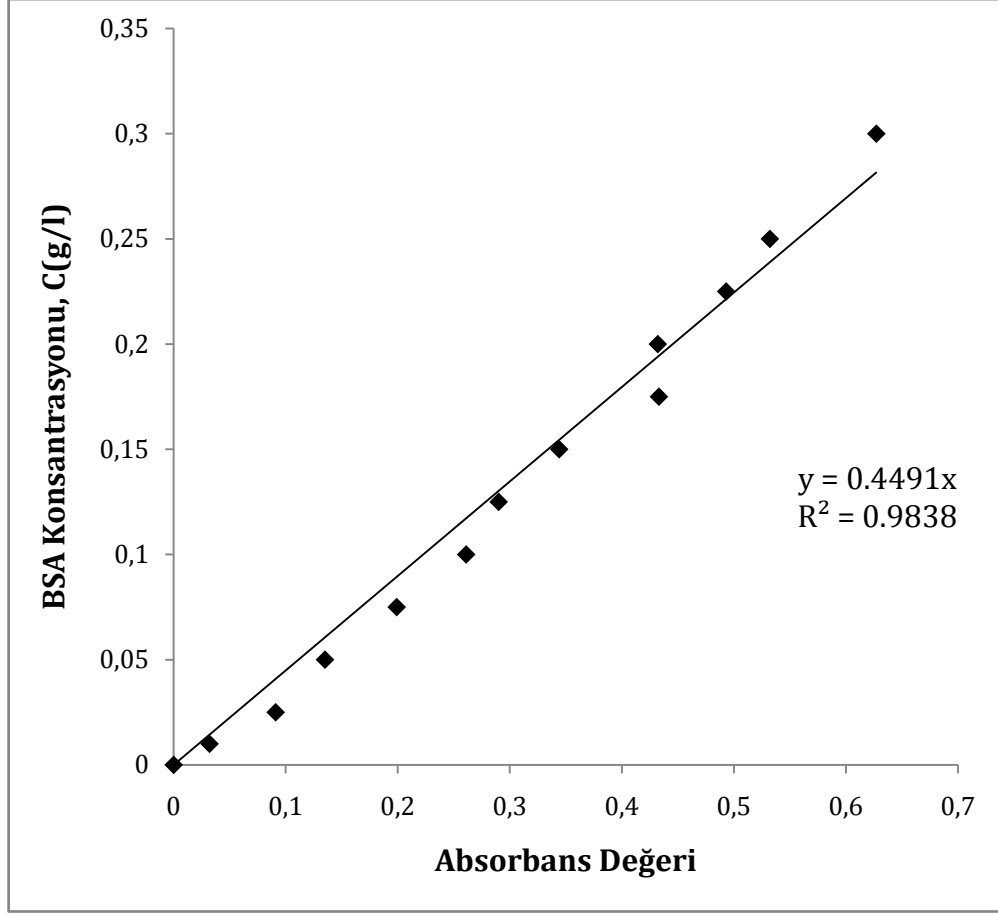
6.5.1 Hesaplamalar

Farklı konsantrasyonlarda, pH 7'de hazırlanmış BSA çözeltilerinin 750 nm'deki absorban değerleri okunmuş ve bu değerler kullanılarak kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur. Lineer regresyon analizi sonucunda protein konsantrasyonunun hesaplanacağı aşağıdaki denklem elde edilmiştir:

$$C \text{ (g/L)} = 0.4491 \times (\text{Absorbans değeri})$$

$$R^2 = 0.9838$$

Şekil 6.3'te BSA için elde edilen kalibrasyon eğrisi verilmiştir. Deneyler üç kez tekrarlanmış ve elde edilen verilerin ortalaması alınmıştır.



Şekil 6.3 BSA için elde edilen kalibrasyon eğrisi

6.6 Adsorpsiyon Deneyleri

6.7 Adsorpsiyon Deneyleri İçin En Uygun Modifiye Aktif Karbon Seçimi

Ticari toz aktif karbonun modifikasyonu ile edilen 5 farklı modifiye aktif karbon örneğinin BSA adsorpsiyonu davranışlarının incelenmesi amacıyla deneyler gerçekleştirilmiştir (Çizelge 6.1). Bu amaçla, pH 7 ve 25 °C'de fosfat tampon çözeltisi içerisinde hazırlanmış olan 1 mg/mL konsantrasyonundaki 50 mL'lik BSA çözeltilerinin her biri, 0.5 g'lık 5 farklı modifiye aktif karbon örneği ile ayrı ayrı 60 dakika boyunca adsorpsiyon işlemine tabi tutulmuştur (çözelti hacmi 50 mL). Adsorpsiyon deney süresi boyunca her 5 dakikada bir alınan örnekler ile adsorpsiyon zaman profilleri çıkarılmıştır.

Çizelge 6.1 En uygun MTAK seçimi için yapılan deneylere ait koşullar

Parameterler	Değerler
pH	7
Sıcaklık	25 °C
Tampon Çözelti	0.1 M Fosfat Tamponu ($\text{Na}_2\text{HPO}_4+\text{NaH}_2\text{PO}_4$)
BSA Konsantrasyonu	1 mg/mL
Aktif Karbon Miktarı	10 mg/mL
Çözelti hacmi	50 mL

BSA'nın aktif karbon ile adsorpsiyon deneyleri,

- i) Adsorpsiyon kapasitesi ve adsorpsiyon izotermelerini,
- ii) Adsorpsiyon kinetiğini

incelemek için yapılmıştır.

6.7.1 Adsorpsiyon Kapasitesi ve Adsorpsiyon İzotermeleri

Adsorpsiyon izotermelerinin elde edilmesi amacıyla farklı pH ve sıcaklıklarda, farklı adsorban (aktif karbon) miktarları ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Seçilen pH değerleri 4, 5, 7 ve 8, sıcaklık değerleri 25, 30, 35 ve 40 °C ve adsorban konsantrasyonları ise 2, 3, 4, 5, 10 mg/mL'dir.

6.7.1.1 Materyaller

Adsorban: TAK ve MTAK4 örnekleri hassas terazi yardımıyla; 2, 3, 4, 5 ve 10 mg/mL konsantrasyonlarını verecek şekilde tartılarak hazırlanmıştır.

Adsorbat: BSA çözeltisi, 50 mL'lik tampon çözeltileri içerisinde 1 mg/mL olacak şekilde çözülerek hazırlanmıştır.

Tampon Çözeltiler: Çözeltilerin pH'ını deney boyunca sabit pH değerlerinde tutabilmek amacıyla BSA çözeltileri tampon çözeltiler kullanılarak hazırlanmıştır. Farklı iki pH aralığını elde etmek için kullanılan konjuge asit-baz çiftleri aşağıda belirtilmiştir. Tampon çözeltiler distile su kullanılarak hazırlanmıştır.

- pH 4 - 5.5 aralığındaki deneyler için 0.1 M asetat tamponu (CH_3COOH ve CH_3COONa)
- pH 6 - 8 aralığındaki deneyler için 0.1 M fosfat tamponu (Na_2HPO_4 ve NaH_2PO_4)

6.7.1.2 Yöntem

- Deney boyunca pH'ın sabit kalmasını sağlayabilmek için 0.1 M derişimindeki tampon çözeltiler kullanılmıştır. Ayrıca, protein çözeltisinin pH'ı reaksiyon süresi boyunca belirli zaman aralıklarında ölçümler alınarak kontrol edilmiştir
- Protein çözeltileri, her deney öncesi taze olarak, 50 mg toz haldeki BSA'nın, içerisinde 50 mL tampon çözelti bulunan 250 mL'lik erlene ilave edilmesi ile hazırlanmıştır.
- Adsorpsiyon izotermelerinin elde edilmesi amacıyla farklı pH ve sıcaklıklarda, farklı adsorban (aktif karbon) miktarları ile deneyler gerçekleştirilmiştir.
- Seçilen pH değerleri 4, 5, 7 ve 8, sıcaklık değerleri 25, 30, 35 ve 40 °C ve adsorban konsantrasyonları ise 2, 3, 4, 5, 10 mg/mL'dir.

İçerisinde protein çözeltisi bulunan erlenlerin içerisine adsorbanın (TAK veya MTAK4) eklenmesiyle 60 dakikalık deney süresi başlatılmıştır. Erlenler, ağızları parafilm ile kapatılmış olarak orbital çalkalayıcıya konularak, 100 rpm'lik hızda karıştırma işlemine tabi tutulmuştur. Deneyin sona ermesi ile denge halindeki çözeltiden alınan örnek 12000 rpm'de 4 dakika boyunca santrifüjlenmiş olup, sonrasında süpernatant alınarak Lowry yöntemi ile denge protein derişimleri elde edilmiştir. Çizelge 6.2'de adsorpsiyon kapasitesi ve izoterm deneylerine ait deneysel koşullar verilmiştir.

Çizelge 6.2 Adsorpsiyon Kapasitesi ve İzoterm Deneilerinin Koşulları

Parameterler	Değerler
pH	4, 5, 7 ve 8
Sıcaklık	25, 30, 35 ve 40 °C
Tampon Çözelti	pH 4 - 5.5 aralığındaki deneyler için 0.1 M asetat tamponu (CH ₃ COOH ve CH ₃ COONa) pH 6 - 8 aralığındaki deneyler için 0.1 M fosfat tamponu (Na ₂ HPO ₄ ve NaH ₂ PO ₄)
BSA Konsantrasyonu	1 mg/mL
Aktif Karbon Miktarı	2, 3, 4, 5 ve 10 mg/mL
Çözelti hacmi	50 mL

6.7.1.3 Hesaplamalar

Denge adsorpsiyon değerleri, Denklem (6.1) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \cdot V}{m} \quad (6.1)$$

Denklem (6.1)'de;

q_e , adsorpsiyon kapasitesini (mg protein/g adsorban)

C_0 , başlangıç protein konsantrasyonunu (mg/L)

C_e , denge protein konsantrasyonunu (mg/L)

V , çözelti hacmini (L)

m , adsorban miktarını (g)

ifade etmektedir.

Çizelge 6.3 Hesaplamalarda kullanılan izoterm modelleri

İzoterm Modeli	Model Denklem	Plot	Hesaplanan Parametreler
Langmuir	$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{Q * b * C_e} + \frac{1}{Q}$	$\frac{1}{q_e}$ vs $\frac{1}{C_e}$	Q - b
Freundlich	$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e$	$\ln q_e$ vs $\ln C_e$	$K_F - n$
Temkin	$q_e = \frac{RT}{b_T} \ln A_t + \frac{RT}{b_T} \ln C_e$	q_e vs $\ln C_e$	$b_T - A_T$

Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleri için deneysel olarak bulunan q_e değerleri kullanılarak Bölüm 2.3'te belirtilen izoterm modellerine ait doğrusal grafikleri çizilmiş ve bunlara ait sabitler elde edilerek izoterm modellerine göre adsorpsiyon kapasiteleri hesaplanmıştır. Ayrıca regresyon katsayısı ve standart sapma değerleri hesaplanarak modellerin adsorpsiyon işlemine uygunluğu incelenmiştir.

6.7.2 Adsorpsiyon Kinetiği

6.7.2.1 Materyaller

Adsorban: TAK ve MTAK4 örnekleri hassas terazi yardımıyla 0.5 g tartılarak hazırlanmıştır.

Adsorbat: BSA çözeltisi, 50 mL'lik tampon çözeltileri içerisinde 1 mg/mL olacak şekilde hazırlanmıştır.

Tampon Çözeltiler: Çözeltilerin pH'ını deney boyunca sabit pH değerlerinde tutabilmek amacıyla BSA çözeltileri tampon çözeltiler içerisinde hazırlanmıştır. Farklı iki pH

aralığını elde etmek için kullanılan konjuge asit-baz çiftleri aşağıda belirtilmiştir. Tampon çözeltiler distile su kullanılarak hazırlanmıştır.

- pH 4 - 5.5 aralığındaki deneyler için 0.1 M asetat tamponu (CH_3COOH ve CH_3COONa)
- pH 6 - 8 aralığındaki deneyler için 0.1 M fosfat tamponu (Na_2HPO_4 ve NaH_2PO_4)

6.7.2.2 Yöntem

- Deney boyunca pH'ın sabit kalmasını sağlayabilmek için 0.1 M derişimindeki tampon çözeltiler kullanılmıştır. Ayrıca, protein çözeltisinin pH'ı reaksiyon süresi boyunca belirli zaman aralıklarında ölçümler alınarak kontrol edilmiştir.
- Protein çözeltileri, her deney öncesi taze olarak, 50 mg toz haldeki BSA'nın, içerisinde 50 mL tampon çözelti bulunan 250 mL'lik erlene ilave edilmesi ile hazırlanmıştır.
- Seçilen pH değerleri 4, 4.5, 5, 5.5, 6, 7 ve 8, sıcaklık değerleri 25, 30, 35 ve 40 °C ve adsorban konsantrasyonu ise 10 mg/mL'dir.

Protein çözeltisi bulunan erlenlerin içerisinde TAK ve MTAK4 adsorbanının eklenmesiyle deneyler başlatılmıştır. 60 dakikalık deney süresi boyunca her 5 dakikada bir örnekler alınmıştır. Alınan örnekler 12000 rpm'de 4 dakika boyunca santrifüjlenmiş olup, sonrasında süpernatant alınarak Lowry yöntemi ile protein derişimleri hesaplanmıştır.

Çizelge 6.4 Adsorpsiyon Kinetiği Deneilerinin Koşulları

Parametreler	Değerler
pH	4 - 4.5 - 5 - 5.5 - 6 - 7 - 8
Sıcaklık	25 - 30 - 35 - 40 °C
Tampon Çözelti	pH 4 - 5.5 aralığındaki deneyler için 0.1 M asetat tamponu (CH ₃ COOH ve CH ₃ COONa) pH 6 - 8 aralığındaki deneyler için 0.1 M fosfat tamponu (Na ₂ HPO ₄ ve NaH ₂ PO ₄)
BSA Konsantrasyonu	1 mg/mL
Aktif Karbon Miktarı	10 mg/mL
Çözelti hacmi	50 mL

6.7.2.3 Hesaplamalar

Adsorpsiyon değerleri Denklem (6.2) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t) \cdot V}{m} \quad (6.2)$$

Denklem (6.2)'de;

q_t , t anındaki adsorpsiyon kapasitesini (mg protein/g aktif karbon)

C_0 , başlangıç protein konsantrasyonunu (mg/mL)

C_t , t anındaki protein konsantrasyonunu (mg/mL)

V , çözelti hacmini (mL)

m , adsorban miktarını (g)

ifade etmektedir.

Adsorpsiyon kinetiklerini incelemek amacıyla Yalancı 1. Derece, Yalancı 2. Derece, Elovich ve Partikül İçi Difüzyon modelleri kullanılmıştır. Hesaplamalar Bölüm 2.4'te belirtildiği şekilde gerçekleştirilmiştir.

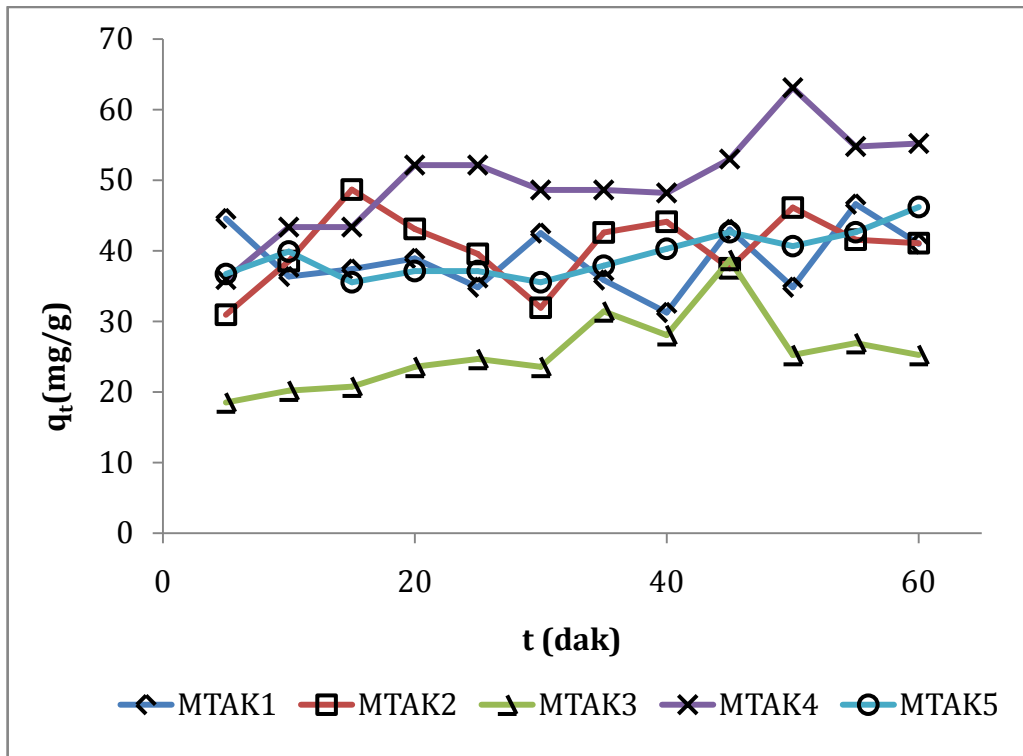
Çizelge 6.5 Hesaplamalarda kullanılan kinetik modeller

Kinetik Model	Model Denklem	Plot	Hesaplanan Parametreler
Yalancı 1. Derece	$q_t = q_e - q_e e^{-k_1 t}$	q_t vs t	k_1 (dak ⁻¹)
Yalancı 2. Derece	$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e}$	t/q_t vs t	k_2 (g mg ⁻¹ dak ¹)
Elovich Modeli	$q_t = \frac{1}{\beta} \ln \alpha \beta + \frac{1}{\beta} \ln t$	q_t vs $\ln t$	α (mg g ⁻¹ dak) β (g mg ⁻¹)
Partikül İçi Difüzyon	$q_t = k_i t^{0.5} + C_i$	q_t vs $t^{0.5}$	k_i (mg g ⁻¹ dak ⁻²) C_i (mg g ⁻¹)

DENEYSEL BULGULARIN İNCELENMESİ

7.1 Adsorpsiyon Deneyleri İçin En Uygun Modifiye Aktif Karbon Seçimi

MTAK1, MTAK2, MTAK3, MTAK4 ve MTAK5 (bkz. Bölüm 6.7) örnekleri ile gerçekleştirilen BSA adsorpsiyonu deneylerinin sonuçları Şekil 7.1’de verilmiştir.



Şekil 7.1 MTAK1, MTAK2, MTAK3, MTAK4 ve MTAK5 örnekleri ile gerçekleştirilen BSA adsorpsiyonu deneylerinin zaman profili

Şekil 7.1’de görüldüğü üzere, 25 °C ve pH 7 koşullarında gerçekleştirilen deneylerde MTAK4 örneğinin diğer modifiye aktif karbon örneklerine oranla daha yüksek bir adsorpsiyon kapasitesine sahip olduğu görülmüştür. Bu nedenle TAK örneği ile karşılaştırmak üzere farklı pH ve sıcaklık değerlerinde yapılacak bundan sonraki adsorpsiyon çalışmaları için MTAK4 örneği seçilmiştir.

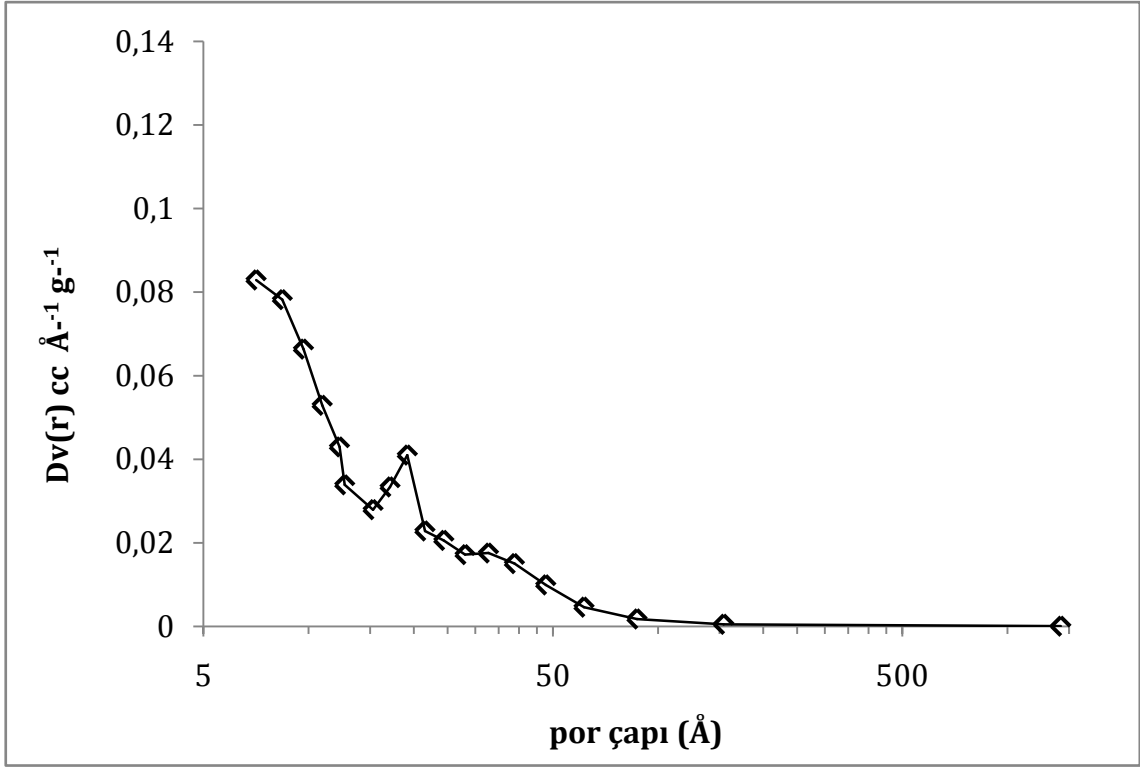
7.2 Aktif Karbon Örneklerinin Karakterizasyon Sonuçları

7.2.1 Aktif Karbon Örneklerinin Yüzey Analizi Sonuçları

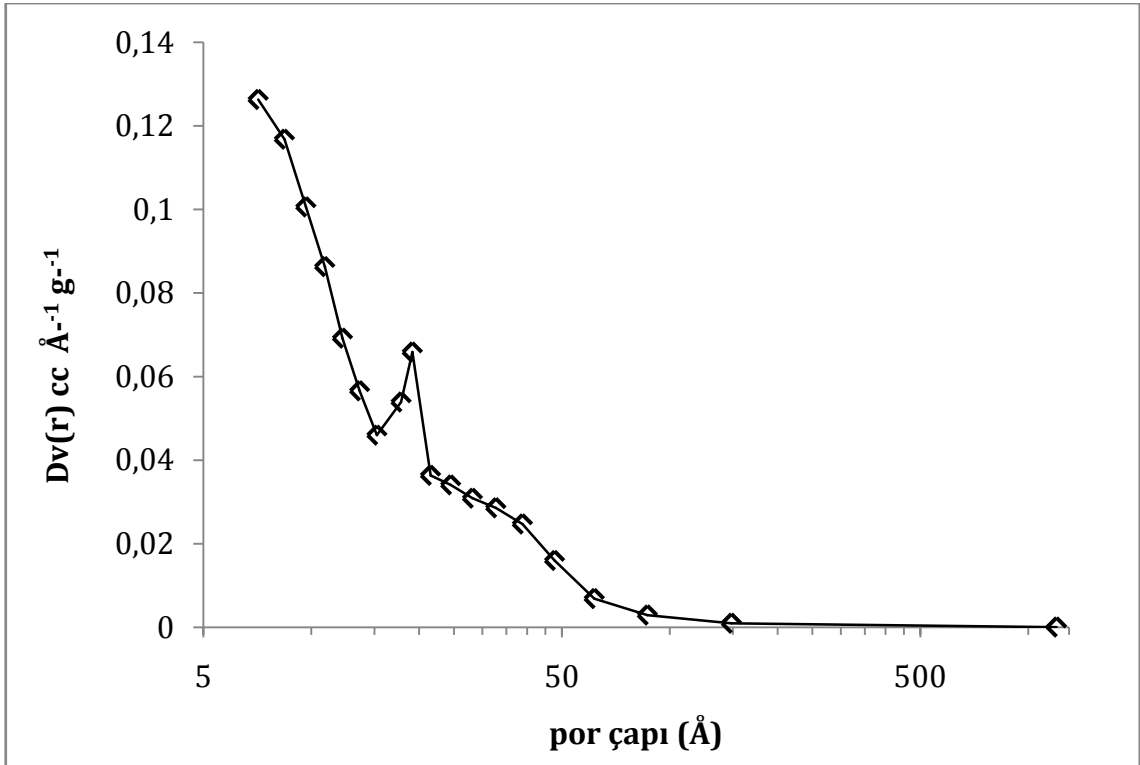
Yüzey analizi sonuçları Çizelge 7.1’de verilmiştir. Genel olarak iki aktif karbon örneğinde de yüzey alanının, yüzey yapısındaki çok sayıda mikropor nedeniyle yüksek olduğu görülmektedir. Çizelge 7.1 incelendiğinde, modifikasyon sonucu oluşan çok sayıda yeni mikropor aktif karbonun yüzey alanını 1572 m²/g’den 2492 m²/g’a (% 59’luk bir artış) çıkmasına katkı sağlamıştır. Ayrıca TAK örneğinde mezoporlardan kaynaklanan yüzey alanı 1014 m²/g iken, modifikasyon sonucu 1653 (% 63’lük bir artış) m²/g’a yükselmiştir. Bununla beraber modifiye aktif karbondaki (MTAK4) mikroporların yoğunluğunun artması sonucu ortalama gözenek çapında 2.026 nm’den 1.948 nm’ye olmak üzere az miktarda düşüş gözlemlenmiştir. Literatüre göre por çapı 2<r<50 nm olan porlar mezopor olarak nitelendirilmektedir. Mezopor oranında yüksek bir artış meydana gelen MTAK4 örneğinin ortalama gözenek çapının temel hal TAK’ınki ile benzer değerde olması, MTAK4 örneğinde oluşan mezoporların çaplarının r>2 nm olmasına rağmen ortalama gözenek çapını artırmayacak ölçüde küçük olduklarını göstermektedir. Bir başka deyişle, oluşan mezoporların çapı, mikropor ölçüsüne çok yakındır. Şekil 7.2 ve 7.3’te BJH desorpsiyon yöntemi ile elde edilen TAK ve MTAK örneklerine ait por açıklığı özellikleri gösterilmiştir.

Çizelge 7.1 TAK ve MTAK4 örneklerinin BET yüzey analizi sonuçları

Numune	S _{BET} (m ² /g)	S _{mez} (m ² /g)	V _{tot} (cm ³ /g)	V _{mic} (cm ³ /g)	V _{mez} (cm ³ /g)	R _{ort} (nm)
TAK	1572	1014	1.608	0.256	1551	2.026
MTAK4	2492	1653	2.427	0.402	2296	1.948



Şekil 7.2 TAK örneğinin BJH desorpsiyon yöntemi ile por açıklığı dağılımının analizi



Şekil 7.3 MTAK4 örneğinin BJH desorpsiyon yöntemi ile por açıklığı dağılımının analizi

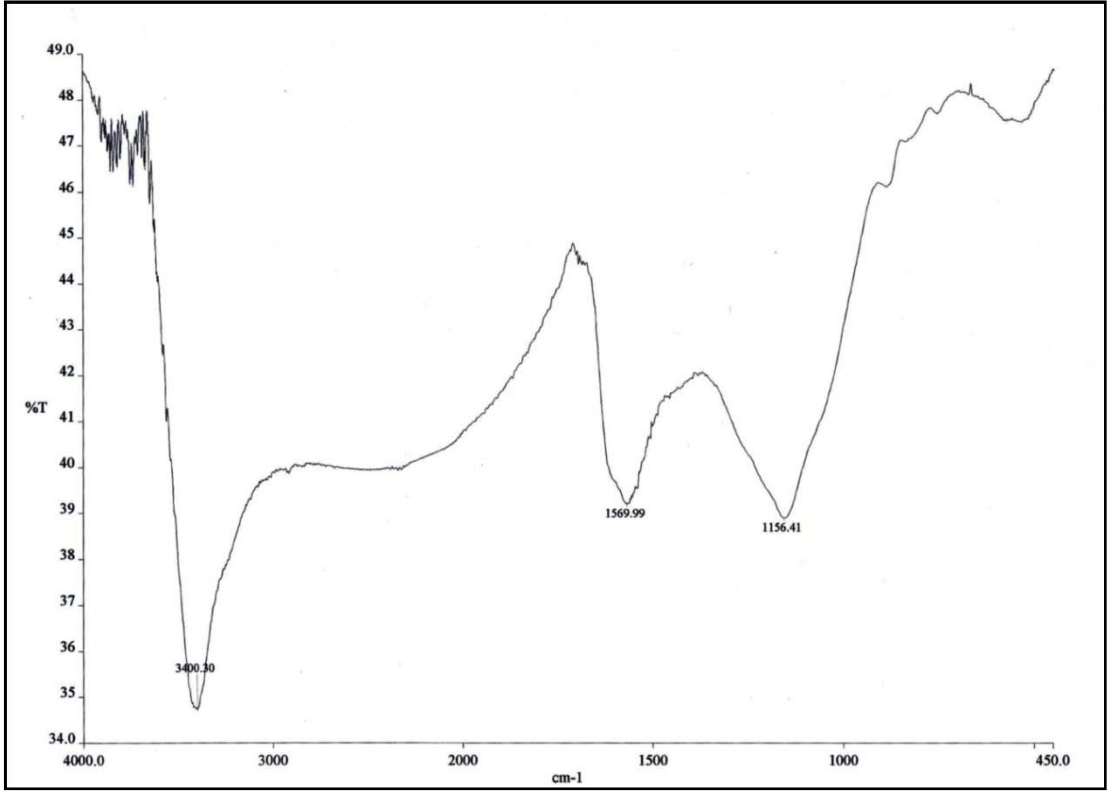
7.2.2 Aktif Karbon Örneklerinin Yüzey Grupları Analizi Sonuçları

Şekil 7.4 ve 7.5'te TAK ve MTAK4 aktif karbon örneklerine ait FT-IR spektrumları verilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi iki aktif karbon örneğinin FT-IR spektrumları arasında önemli bir fark bulunmamaktadır. Bunun sebebinin aktif karbon modifikasyonunda kullanılan Na_2CO_3 ve HCl'nin birbirlerini nötrleyici etkisine bağlanabilir. Literatüre göre 3400 cm^{-1} dalga boyunda gözlenen pikler -OH gruplarından kaynaklanan gerilmelerdir. Şekil 7.4 ve 7.5'teki iki spektrum karşılaştırıldığında, MTAK örneğinde -OH gerilme şiddetinin modifikasyon sonucu bir miktar düştüğü gözlemlenmiştir. Bu durum modifikasyon sırasındaki Na_2CO_3 muamelesi ile açıklanabilir. Ayrıca, her iki spektrumda 1155 cm^{-1} dalga boyunda pikler gözlenmiş olup literatüre göre bu pikler sırasıyla asitler, alkoller, fenoller, eterler ve esterlerde bulunan -C-O- gruplarından kaynaklanan gerilmelerine işaret etmektedir. Bundan başka, yine her iki spektrumda 1565 cm^{-1} dalga boyunda gözlenmiş olan piklerin birden fazla grup içerdiği ve bu grupların literatüre göre C=C ve -COOH gruplarına ait olduğu düşünülmektedir [49].

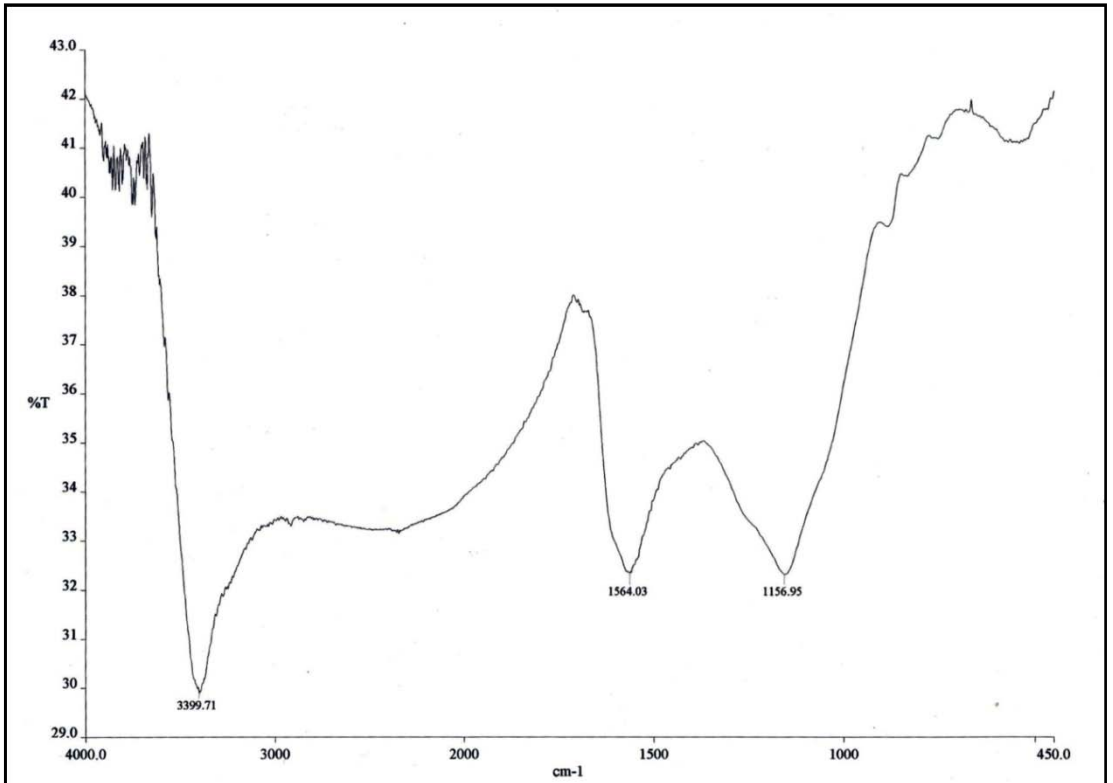
7.3 Adsorpsiyon Denejlerinin İzoterm Modellerine Uygulanması

7.3.1 TAK numunelerine ait adsorpsiyon kapasitesi değjerlerinin incelenmesi

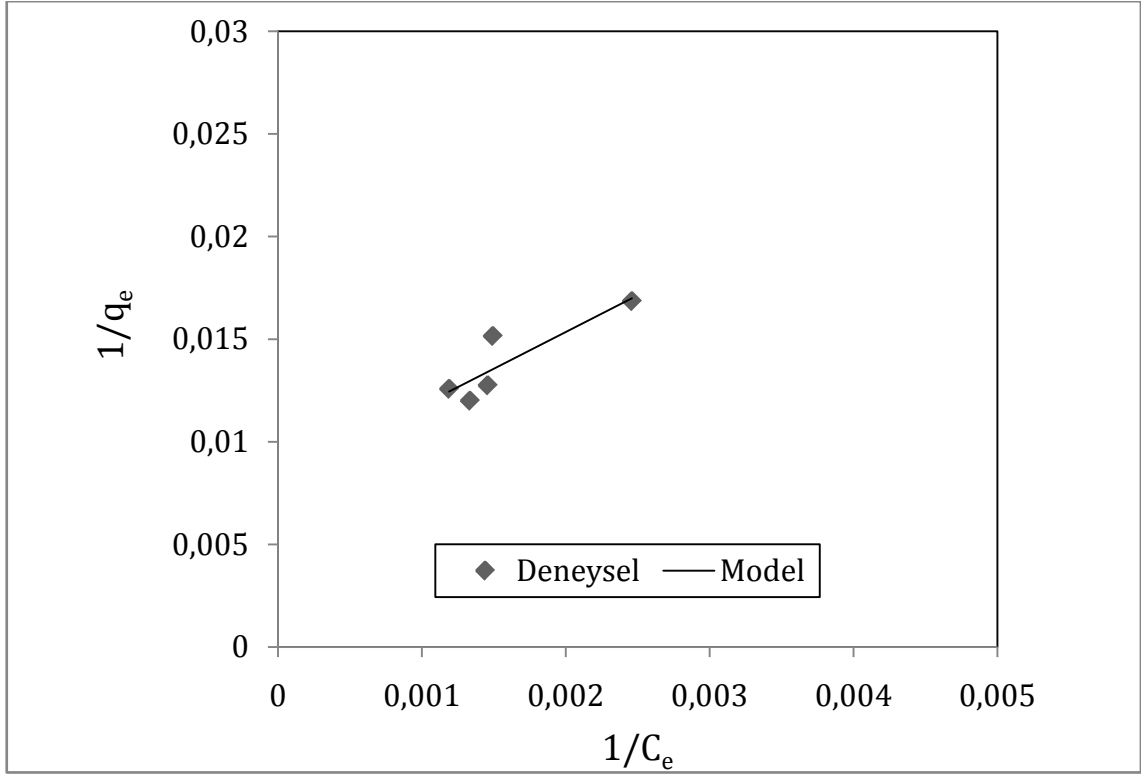
Bu bölümde; TAK numuneleri ile yapılan adsorpsiyon deneylerine ait verilerle izoterm modellerinden elde edilen veriler karşılaştırılmış olup, deneysel verilerin izoterm modellerine uygunlukları incelenmiştir. BSA'nın TAK tarafından adsorpsiyonu deneylerinden elde edilen verilere göre Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleri, R^2 katsayıları ve standart sapma (σ) değjerleri açısından karşılaştırılmış olup, Langmuir modelinin en uygun izoterm modeli olduğu görülmüştür. Bu nedenle, Langmuir izoterm verileri Şekil 7.6-7.21'de grafiksel olarak sunulmuştur. Langmuir, Freundlich ve Temkin izotermelerinden elde edilen veriler Çizelge 7.2-7.4'de sunulmuştur.



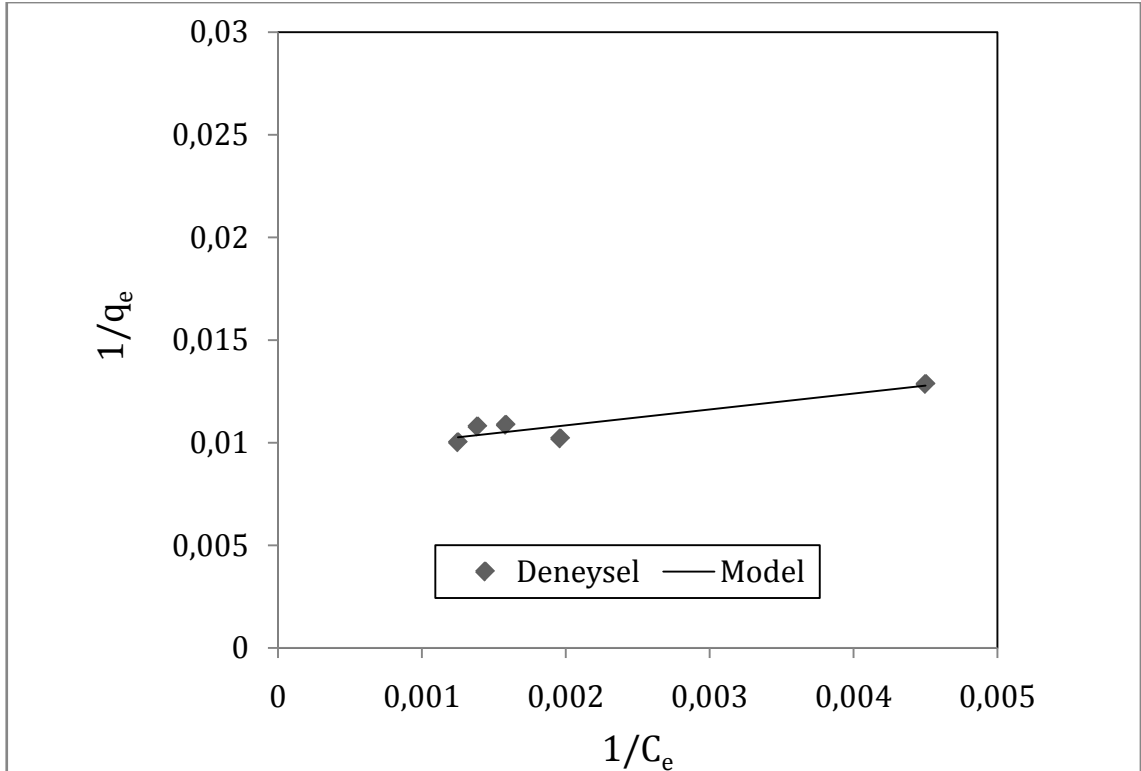
Şekil 7.4 TAK örneğinin FT-IR spektrumu



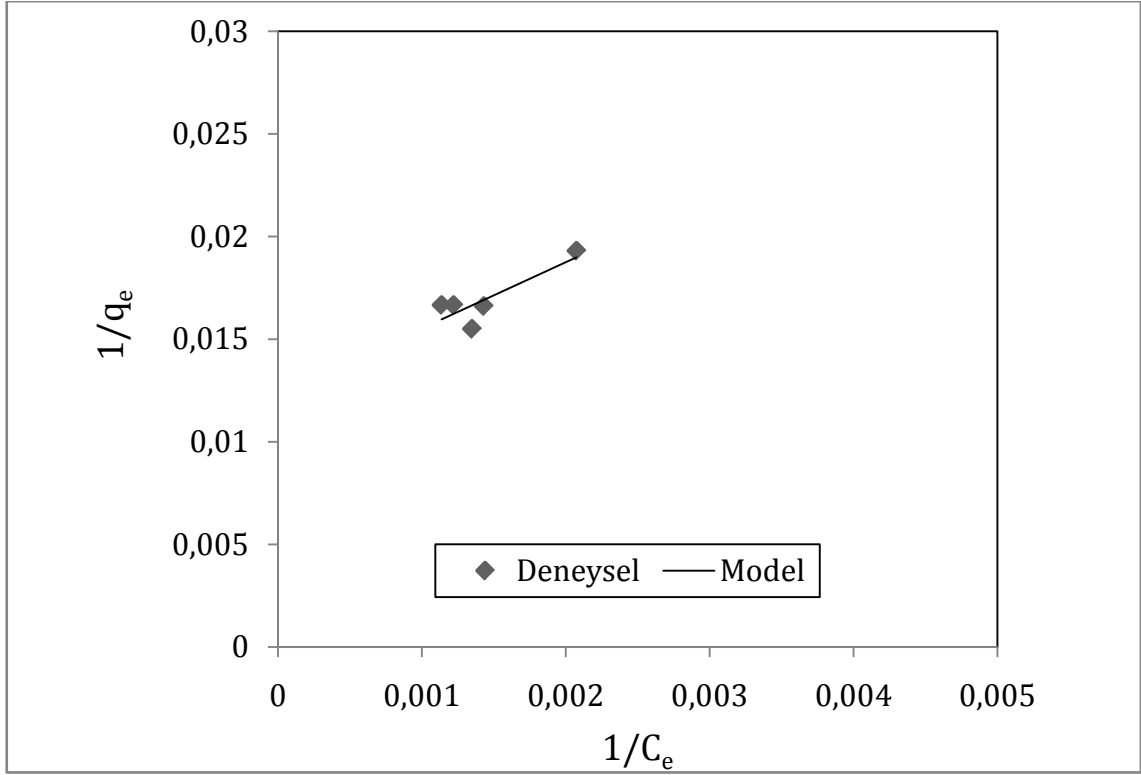
Şekil 7.5 MTAK4 örneğinin FT-IR spektrumu



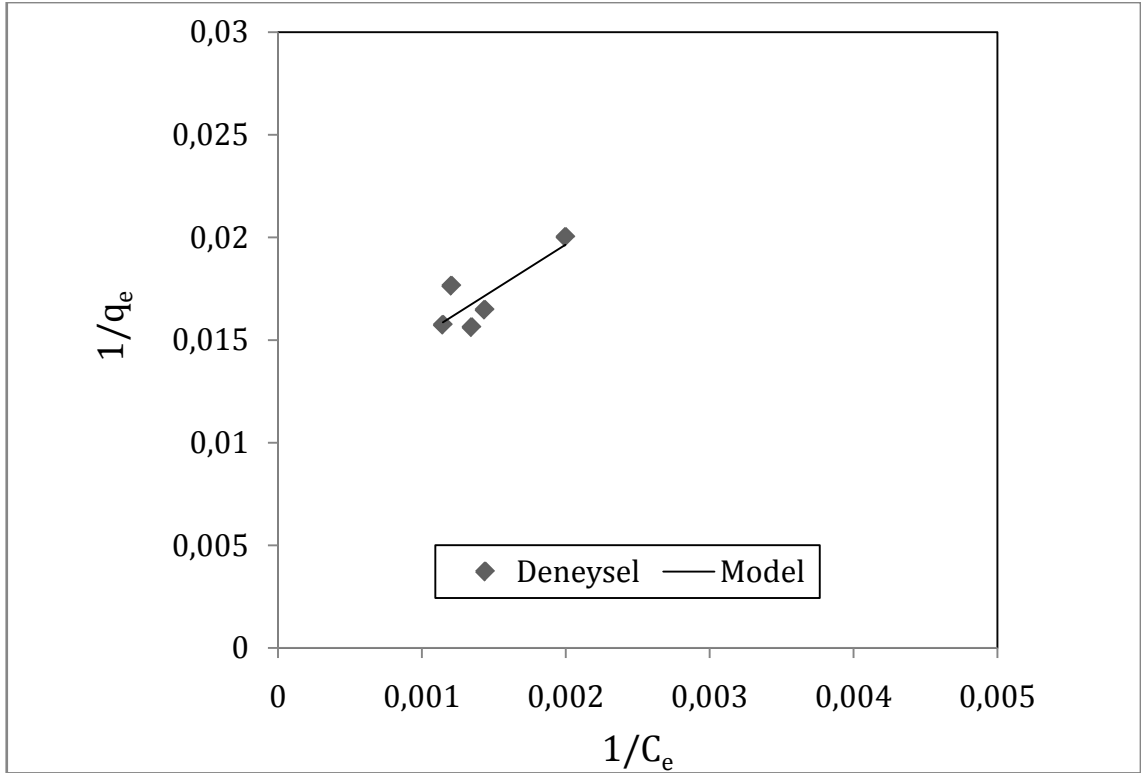
Şekil 7.6 TAK numunesine ait pH 4 ve 25 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi



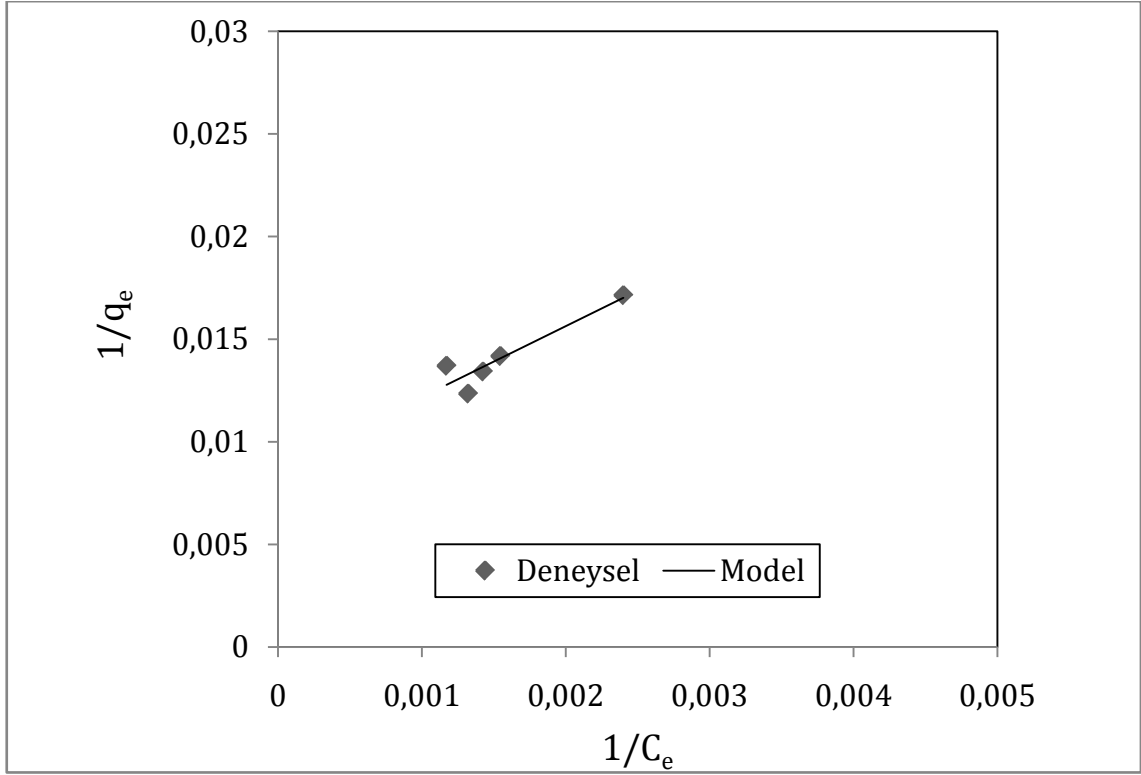
Şekil 7.7 TAK numunesine ait pH 5 ve 25 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi



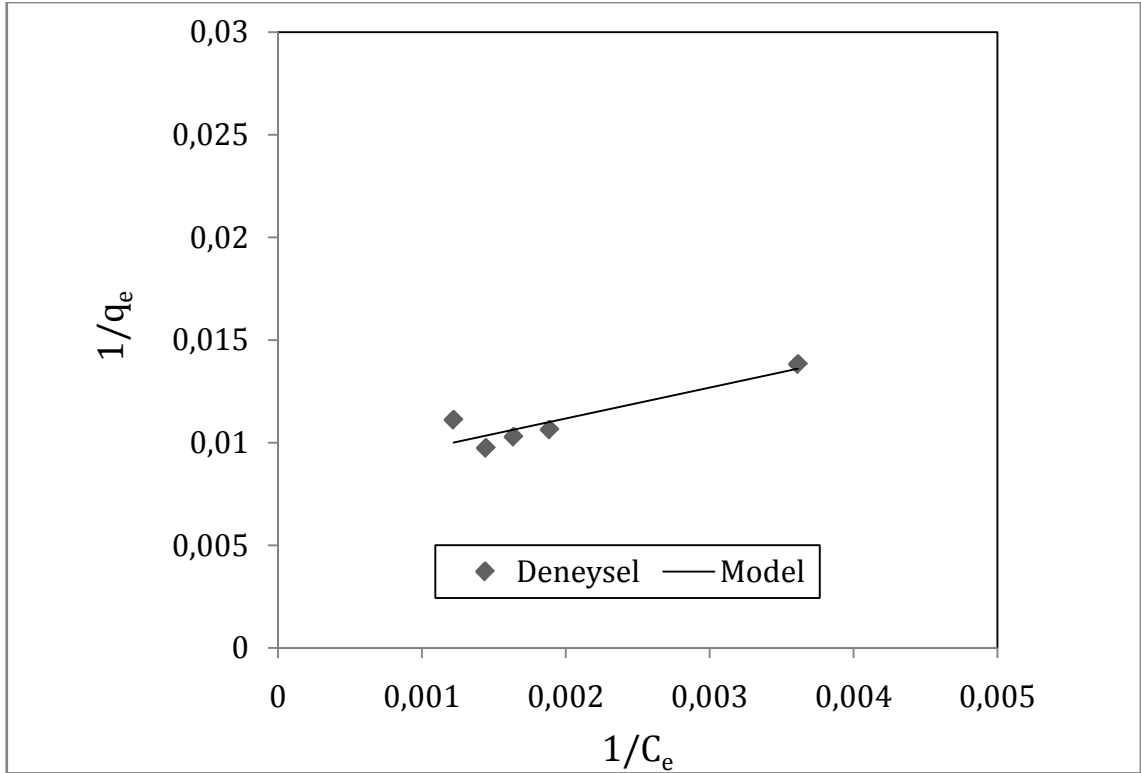
Şekil 7.8 TAK numunesine ait pH 7 ve 25 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi



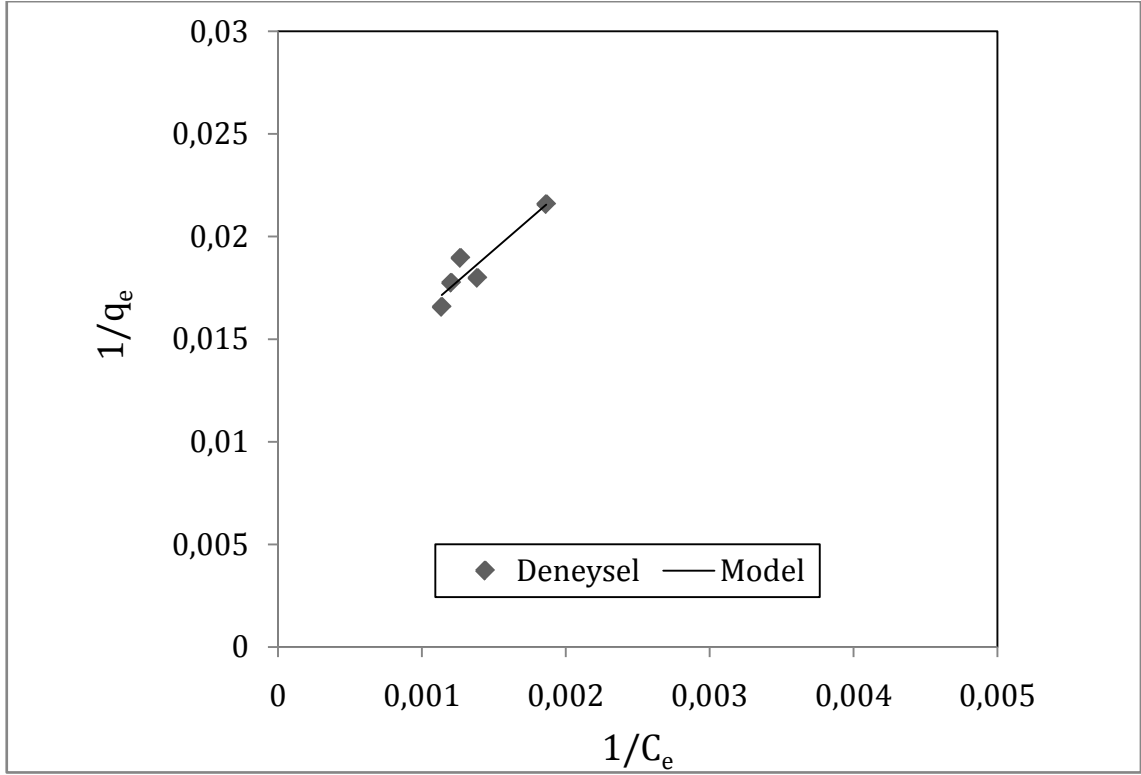
Şekil 7.9 TAK numunesine ait pH 8 ve 25 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi



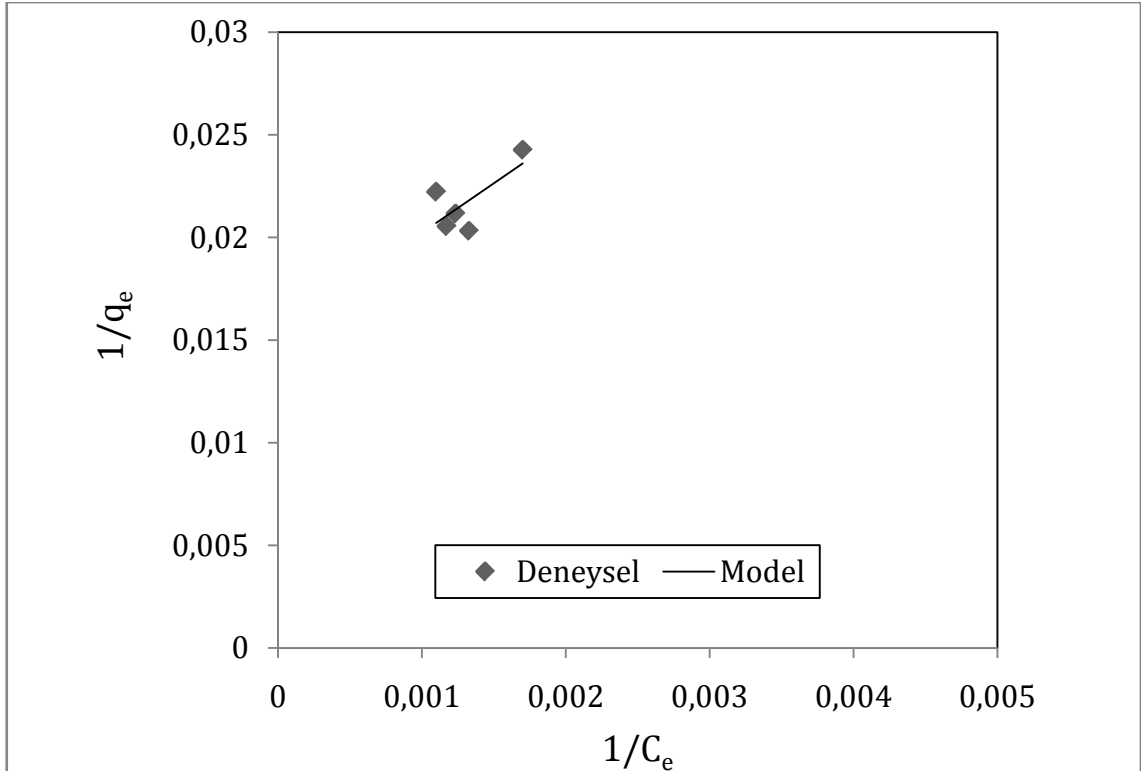
Şekil 7.10 TAK numunesine ait pH 4 ve 30 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi



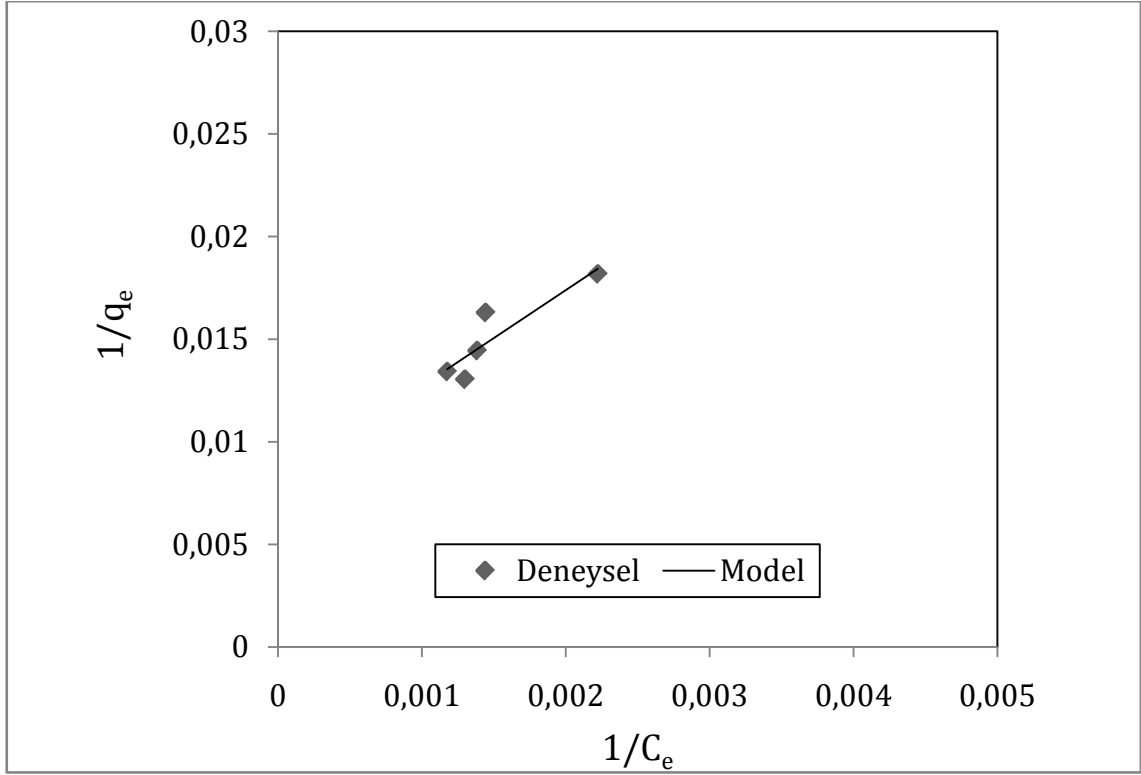
Şekil 7.11 TAK numunesine ait pH 5 ve 30 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi



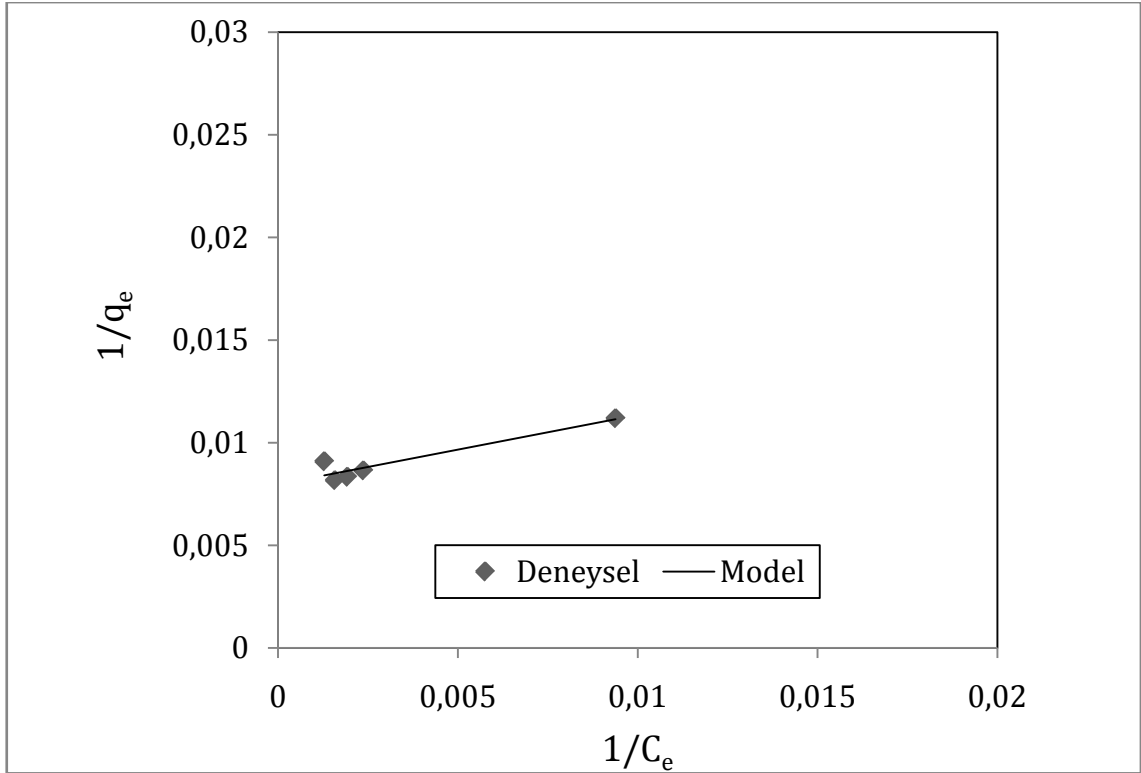
Şekil 7.12 TAK numunesine ait pH 7 ve 30 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi



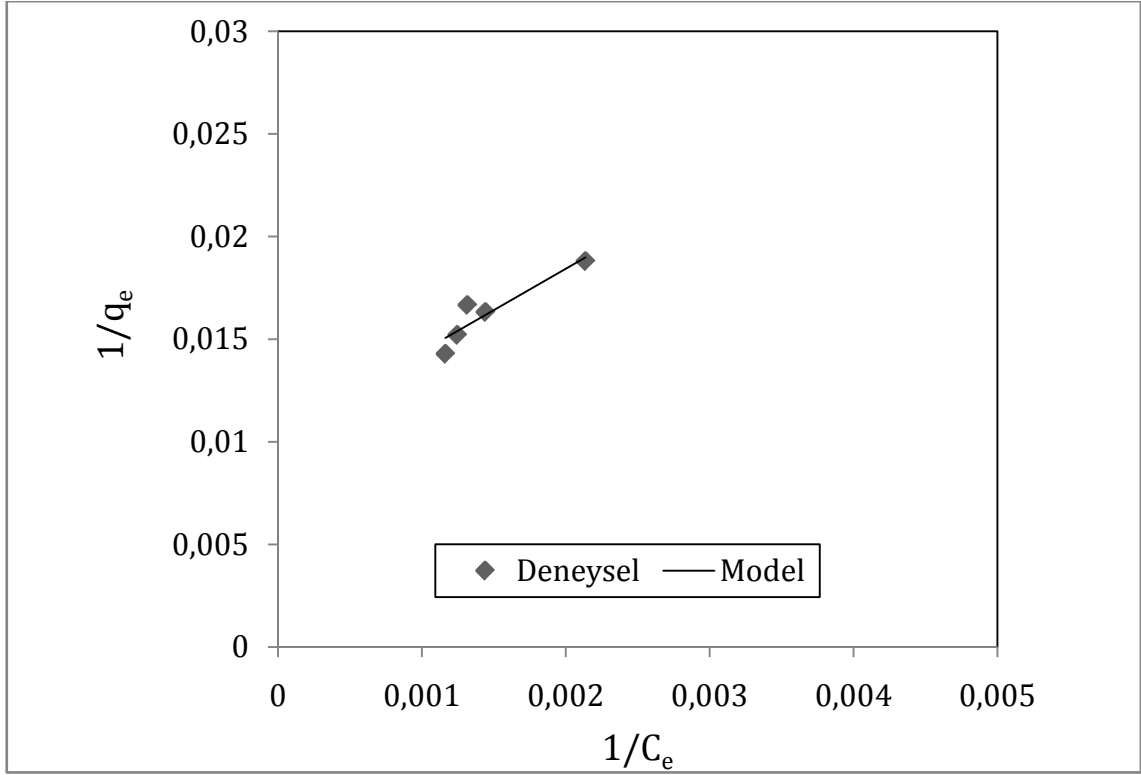
Şekil 7.13 TAK numunesine ait pH 8 ve 30 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi



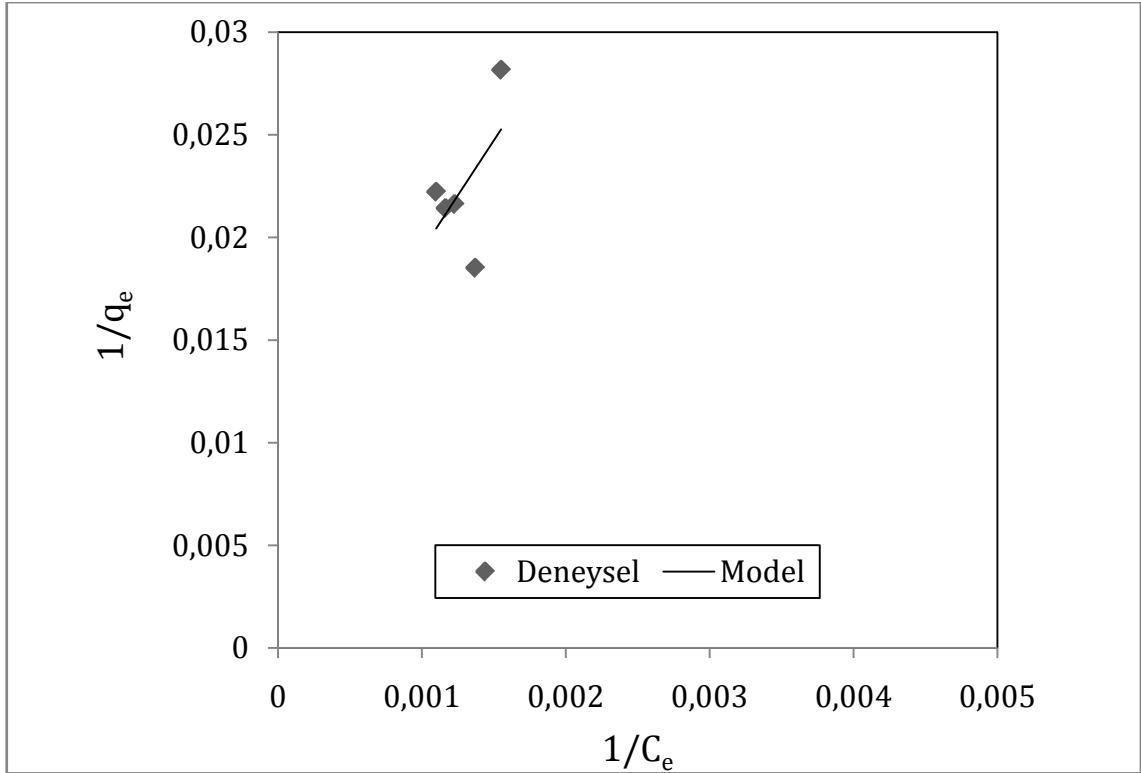
Şekil 7.14 TAK numunesine ait pH 4 ve 35 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi



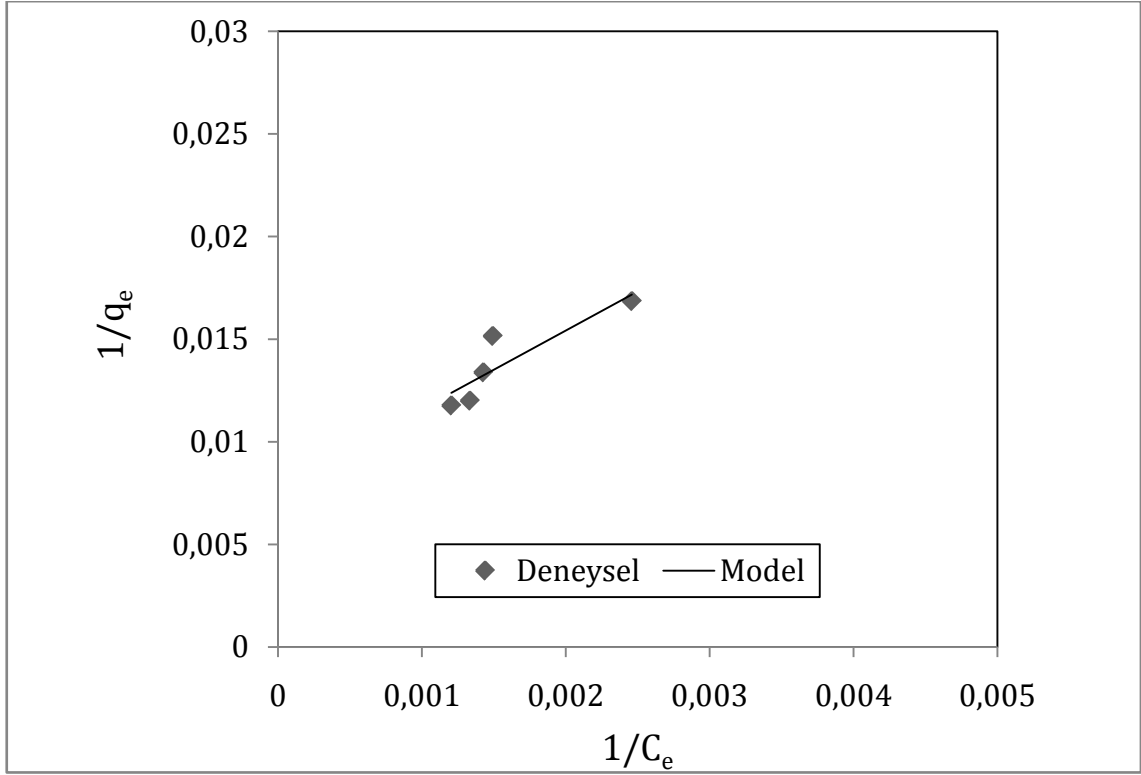
Şekil 7.15 TAK numunesine ait pH 5 ve 35 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi



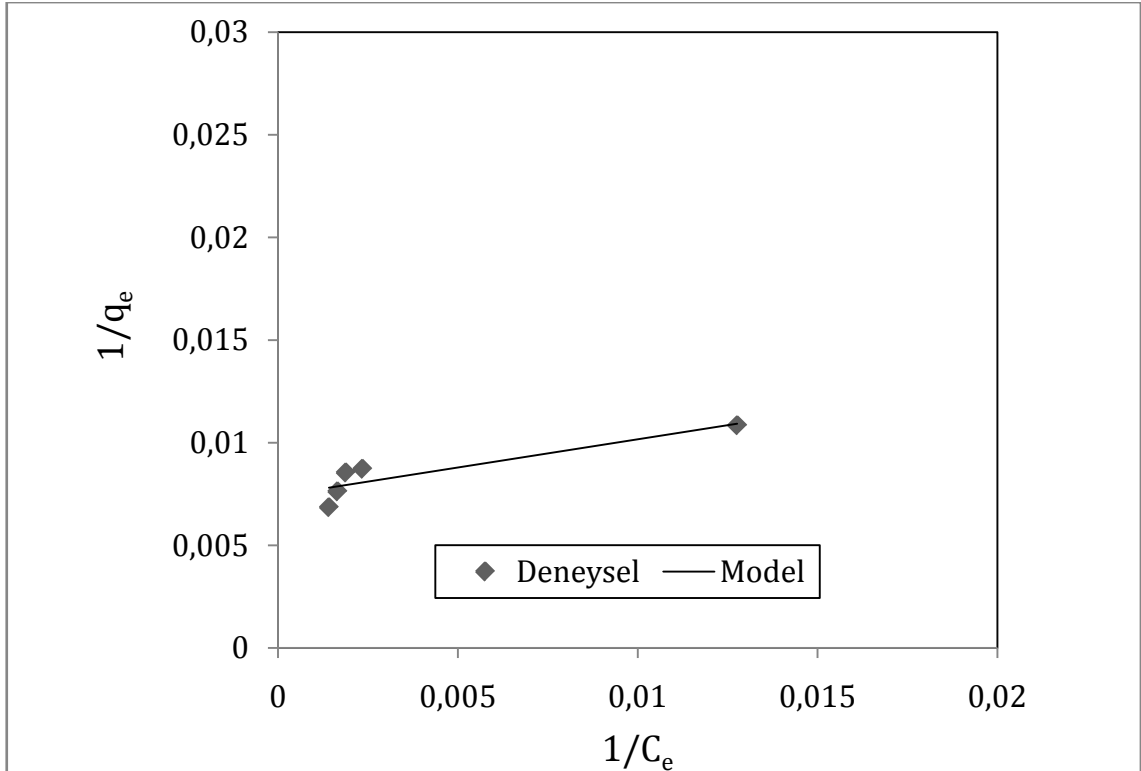
Şekil 7.16 TAK numunesine ait pH 7 ve 35 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi



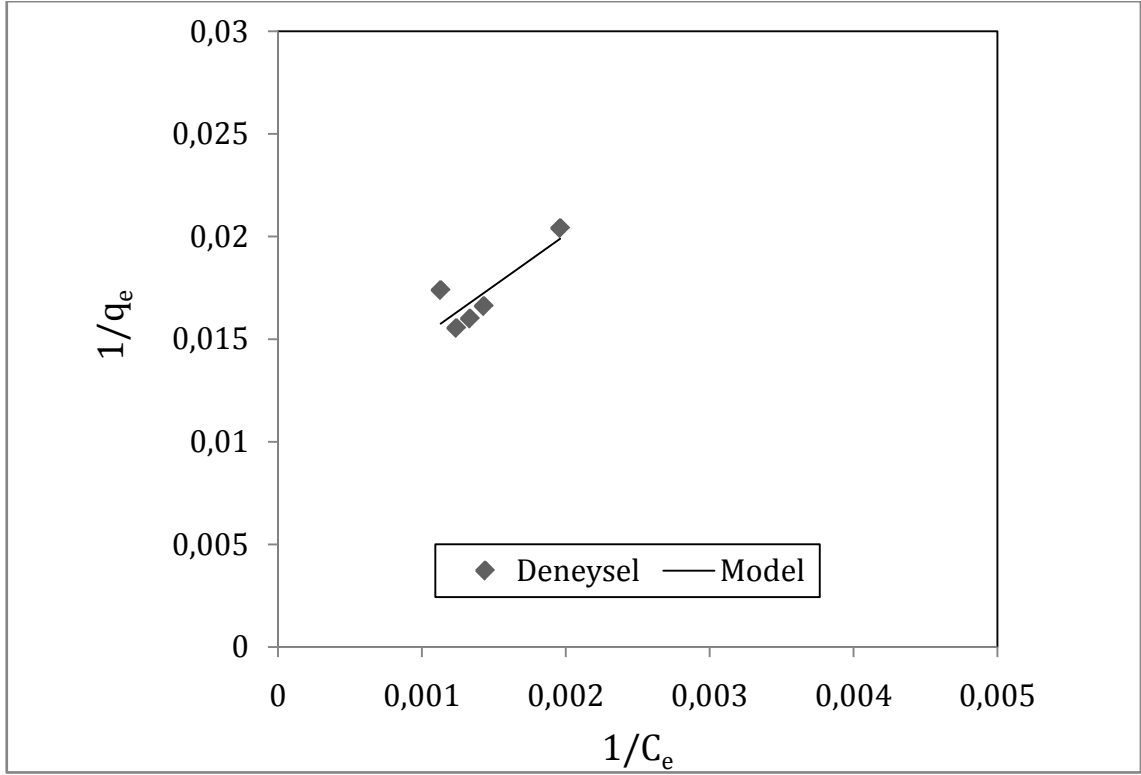
Şekil 7.17 TAK numunesine ait pH 8 ve 35 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi



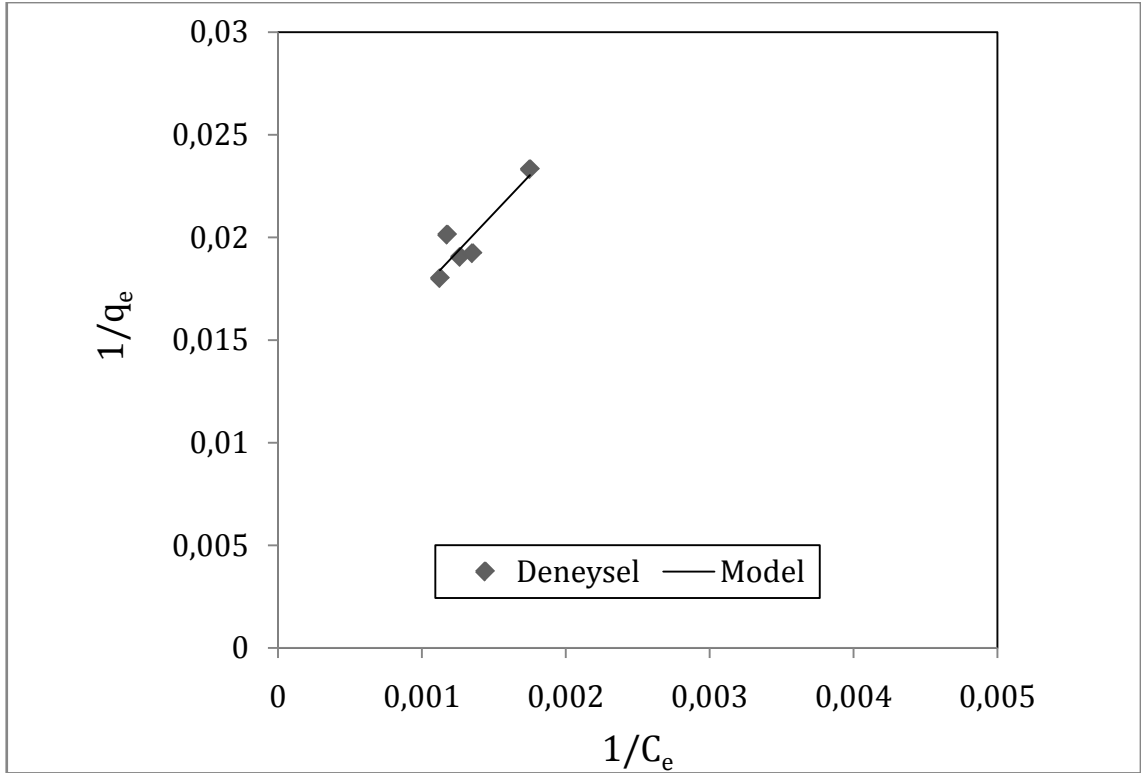
Şekil 7.18 TAK numunesine ait pH 4 ve 40 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi



Şekil 7.19 TAK numunesine ait pH 5 ve 40 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi



Şekil 7.20 TAK numunesine ait pH 7 ve 40 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi



Şekil 7.21 TAK numunesine ait pH 8 ve 40 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermi

Çizelge 7.2 incelendiğinde Langmuir izoterm modelinin 1'e en yakın regresyon katsayısı (R^2) değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra Langmuir izoterm modelinin standart sapma (σ) çok küçük olması Langmuir izoterm modelinin adsorpsiyon işlemine en uygun model olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, Çizelge 7.2'den görüleceği üzere en yüksek maksimum protein adsorpsiyonu kapasitesi (Q) pH 5 ve 40 °C şartlarında 134.77 mg/g olarak bulunmuştur. Bununla birlikte pH 4'te gerçekleştirilen deneylerde adsorpsiyon kapasitesinin pH 7 ve pH 8'dekilere kıyasla daha fazla olduğu görülmüştür. Bu durum, BSA'nın izoelektrik noktası olan pH ~4.7'de en yüksek adsorpsiyon değerini verdiğini göstermektedir.

Bundan başka, pH ~7.5'te BSA'nın (-) yüklü hale geldiği bilinmektedir (bkz. Bölüm 3.2.1). Bu durum, yüzeyi eksi (-) yük bakımından zengin olan aktif karbon [50] ile protein arasında elektrostatik itmeye neden olup adsorpsiyonu sınırlandırmış olabilir. Çizelge 7.2'den çıkarılabilecek bir başka sonuç ise sıcaklık artışının adsorpsiyon kapasitelerinde artışa neden olduğudur.

Çizelge 7.3'te gösterilen verilerden Freundlich izoterm modelinin BSA'nın aktif karbon üzerine adsorpsiyonunu açıklamakta yetersiz kaldığı anlaşılmaktadır. Her ne kadar R^2 katsayıları 1'e yakın olsa da adsorpsiyon kapasitesi olarak hesaplanan K_F değerlerinin deneysel q_e verileri ile uyuşmadığı görülmektedir (bkz EK B). Buna ek olarak, standart sapma değerlerinin Langmuir izoterm modeline göre daha yüksek olduğu da görülmektedir.

Çizelge 7.4'te adsorpsiyon verilerinin Temkin izoterm modeline uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar verilmiştir. Çizelge 7.4 incelendiğinde R^2 katsayısının 1'den uzak olduğu görülmektedir. Ayrıca standart sapma değerlerinin anormal ölçüde yüksek olduğu görülmektedir. Bu nedenle Temkin izoterm modelinin adsorpsiyon işlemine uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

Çizelge 7.2 TAK ile gerçekleştirilen adsorpsiyon deneylerinden elde edilen verilerin Langmuir izoterm modeline uygulanmasıyla elde edilen değerler

Sıcaklık (°C)	pH	Q (mg/g)	σ	R ²	b (L/mg)
25	4	122.18	0.00116	0.8736	0.00229
25	5	107.57	0.00049	0.9246	0.01202
25	7	81.28	0.00085	0.8514	0.00382
25	8	92.81	0.00118	0.8377	0.00243
30	4	114.58	0.00078	0.9266	0.00253
30	5	122.34	0.00079	0.9019	0.00544
30	7	97.54	0.00079	0.9324	0.00169
30	8	64.90	0.00132	0.7059	0.00319
35	4	124.10	0.00108	0.8999	0.00173
35	5	125.46	0.00048	0.9418	0.02358
35	7	96.46	0.00074	0.9255	0.00257
35	8	115.51	0.00341	0.5578	0.00081
40	4	128.40	0.00116	0.8849	0.00204
40	5	134.77	0.00077	0.8959	0.02703
40	7	98.77	0.00124	0.8344	0.00203
40	8	99.19	0.00099	0.9058	0.00136

Çizelge 7.3 TAK ile gerçekleştirilen adsorpsiyon deneylerinden elde edilen verilerin Freundlich izoterm modeline uygulanmasıyla elde edilen değerler

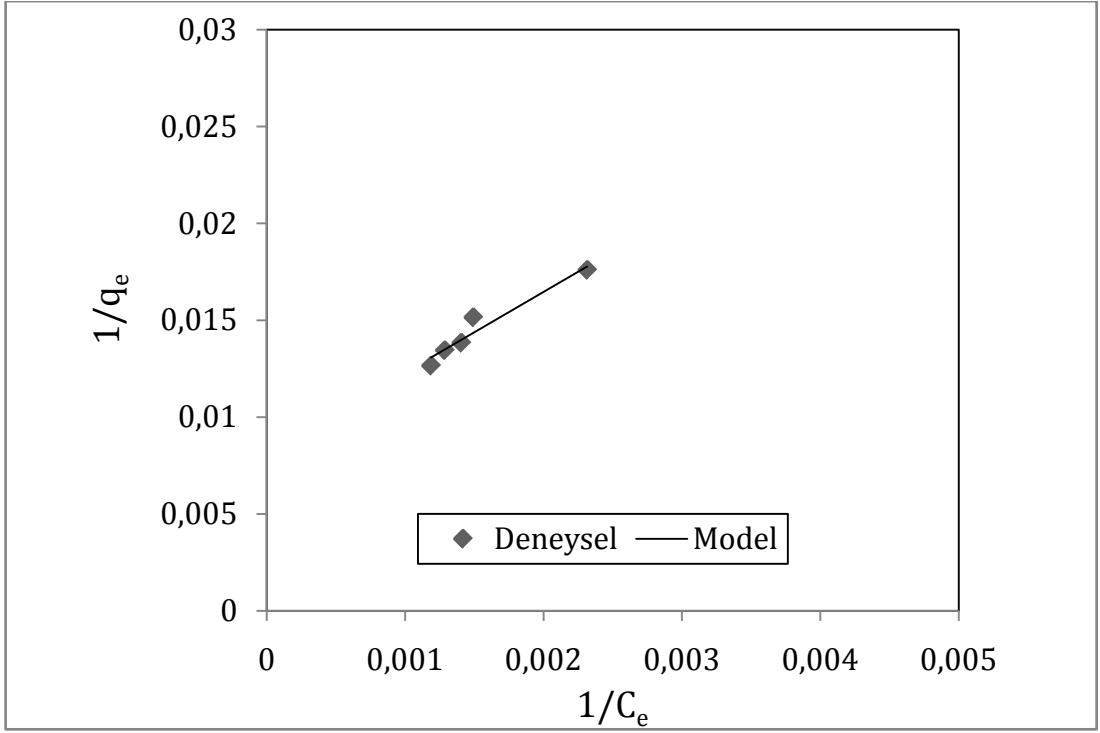
Sıcaklık (°C)	pH	K_F ($\text{mg}^{1-1/n}\text{L}^{1/n}\text{g}^{-1}$)	σ	R^2	n
25	4	4.002	0.08327	0.8657	2.2346
25	5	31.542	0.05262	0.8866	5.8754
25	7	9.777	0.05580	0.7985	3.6470
25	8	5.176	0.07321	0.7866	2.7063
30	4	5.496	0.06389	0.8904	2.5342
30	5	16.668	0.08689	0.8299	3.7286
30	7	2.425	0.04315	0.9255	2.1286
30	8	7.274	0.06367	0.6483	3.5999
35	4	2.406	0.07020	0.8991	1.9629
35	5	47.478	0.07133	0.8734	7.1004
35	7	4.461	0.04426	0.9289	2.4938
35	8	1.613	0.15568	0.4534	2.0021
40	4	2.936	0.07945	0.8939	2.0170
40	5	41.990	0.07896	0.9172	5.7060
40	7	4.300	0.07758	0.7789	2.5203
40	8	1.837	0.05229	0.8866	2.0037

Çizelge 7.4 TAK ile gerçekleştirilen adsorpsiyon deneylerinden elde edilen verilerin Temkin izoterm modeline uygulanmasıyla elde edilen değerler

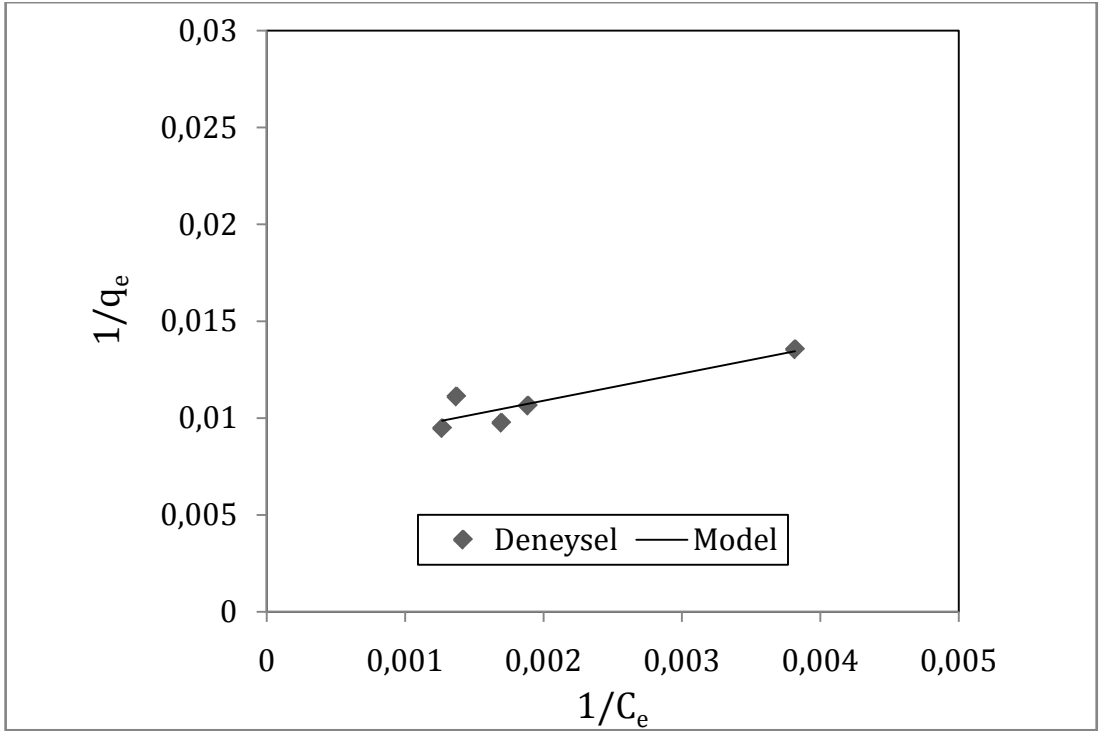
Sıcaklık (°C)	pH	A_T (L/g)	b_T (J/mol)	σ	R^2
25	4	0.01629	79.8453	6.1839	0.8502
25	5	0.96395	167.7890	4.8288	0.8755
25	7	0.06637	160.9709	3.3263	0.7809
25	8	0.02448	120.3478	4.2718	0.7726
30	4	0.02278	95.3691	4.8170	0.8726
30	5	0.10539	112.1359	7.7857	0.8118
30	7	0.01235	102.7494	2.4029	0.9164
30	8	0.05746	206.7023	2.9231	0.6312
35	4	0.01148	78.2589	4.9181	0.8832
35	5	5.49509	177.3542	7.8256	0.8587
35	7	0.01862	106.0822	2.9646	0.9141
35	8	0.01455	137.1875	7.0272	0.3881
40	4	0.01260	74.4355	6.1170	0.8773
40	5	1.17369	131.9671	10.8043	0.8842
40	7	0.02069	119.6202	4.4789	0.7628
40	8	0.01079	108.3873	2.6112	0.8793

7.3.2 MTAK4 numunelerine ait adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin incelenmesi

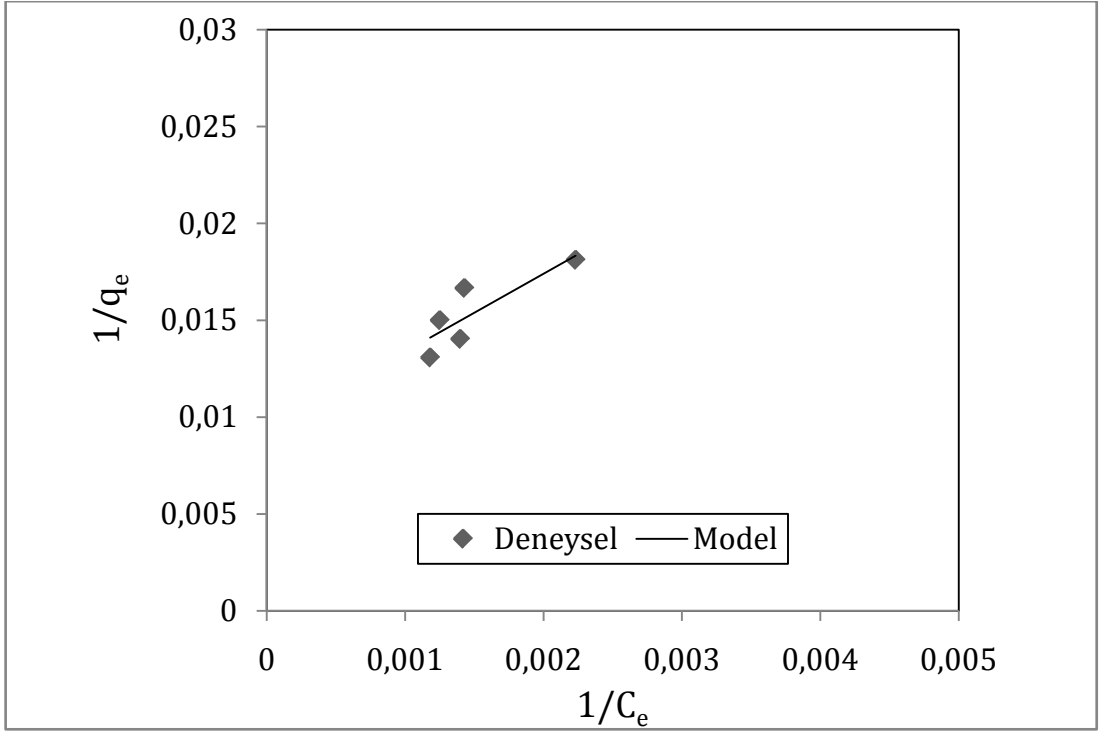
Bu bölümde; MTAK4 numuneleri ile yapılan adsorpsiyon deneylerine ait verilerle izoterm modellerinden elde edilen veriler karşılaştırılmış olup, deneysel verilerin izoterm modellerine uygunlukları incelenmiştir. BSA'nın MTAK4 tarafından adsorpsiyonu deneylerinden elde edilen verilere göre Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleri, R^2 katsayıları ve standart sapma değerleri açısından karşılaştırılmış olup, Langmuir izoterm modelinin en uygun izoterm modeli olduğu görülmüştür. Bu nedenle, Langmuir izoterm verileri Şekil 7.22-7.37'de grafiksel olarak sunulmuştur. Ayrıca; Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterminden elde edilen veriler Çizelge 7.5–7.7'de sunulmuştur.



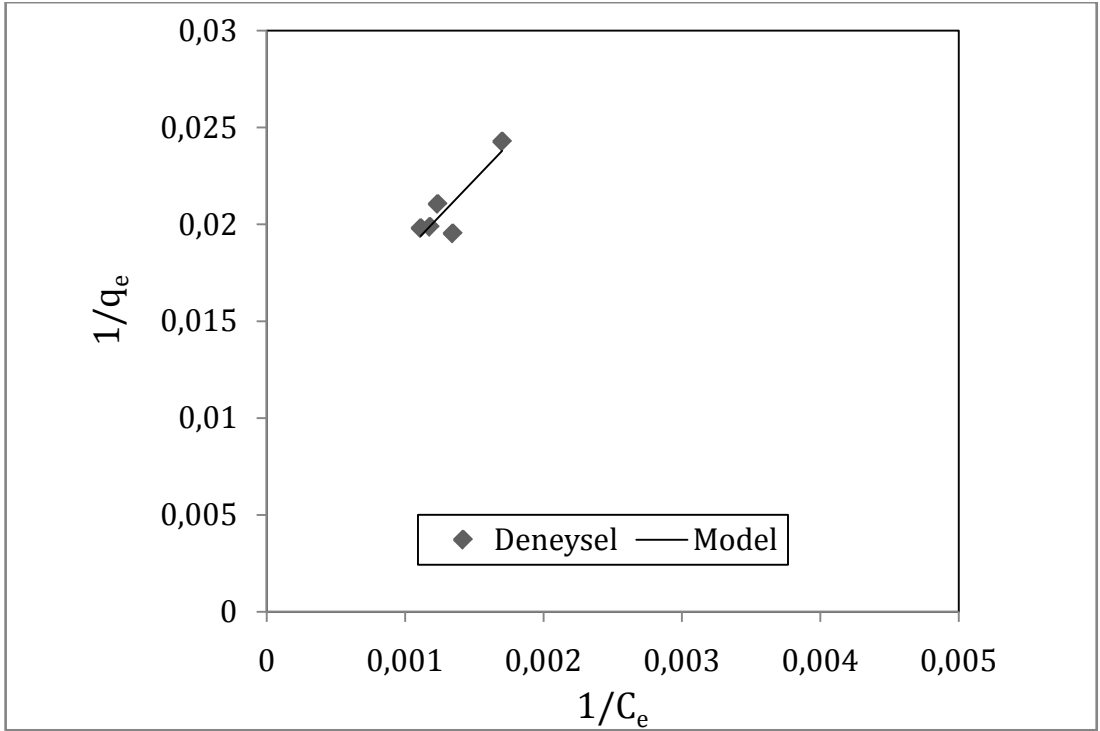
Şekil 7.22 MTAk4 numunesine ait pH 4 ve 25 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermini



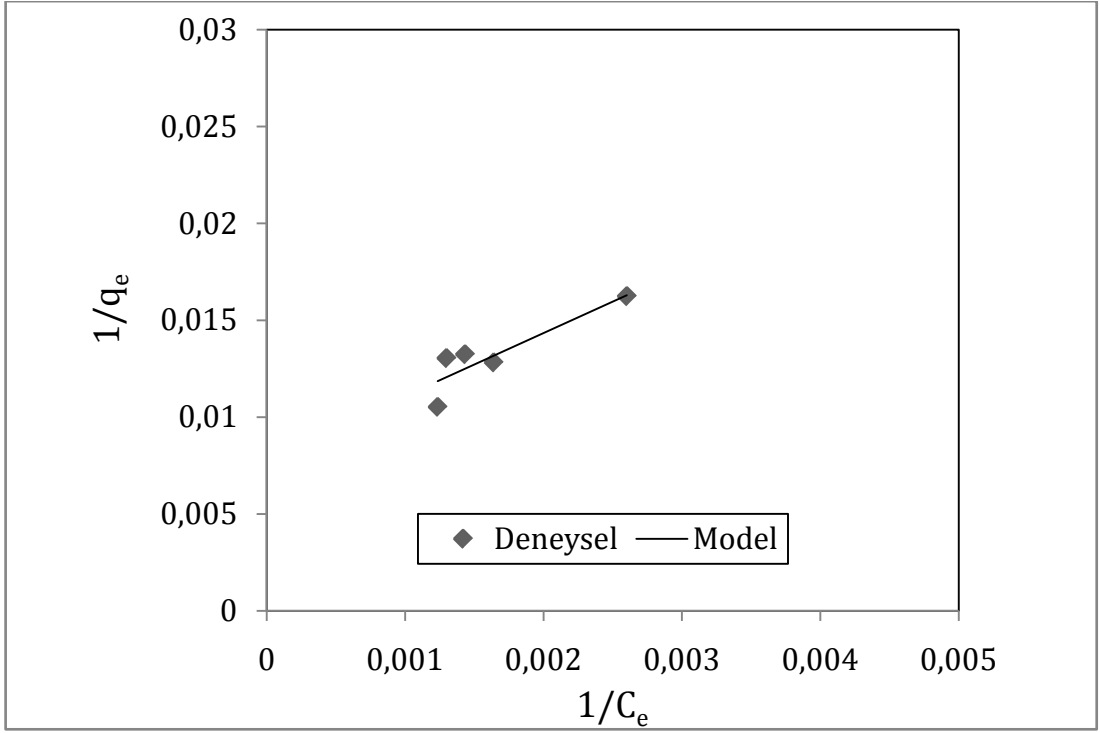
Şekil 7.23 MTAk4 numunesine ait pH 5 ve 25 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermini



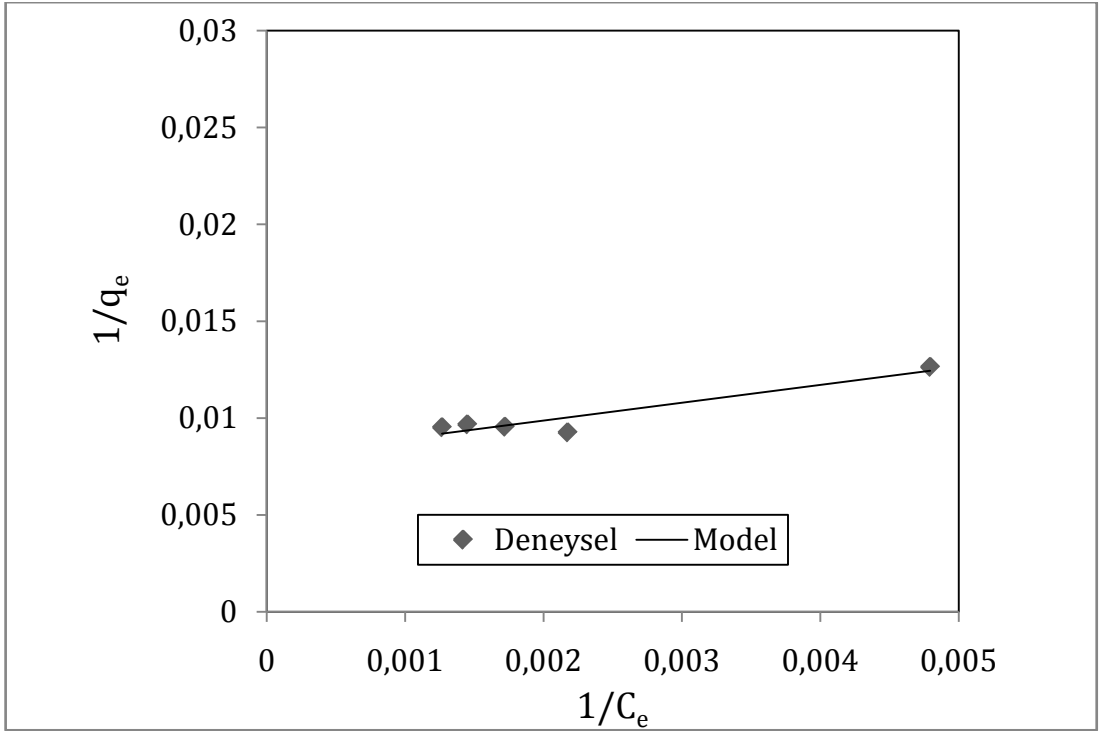
Şekil 7.24 MTAk4 numunesine ait pH 7 ve 25 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermini



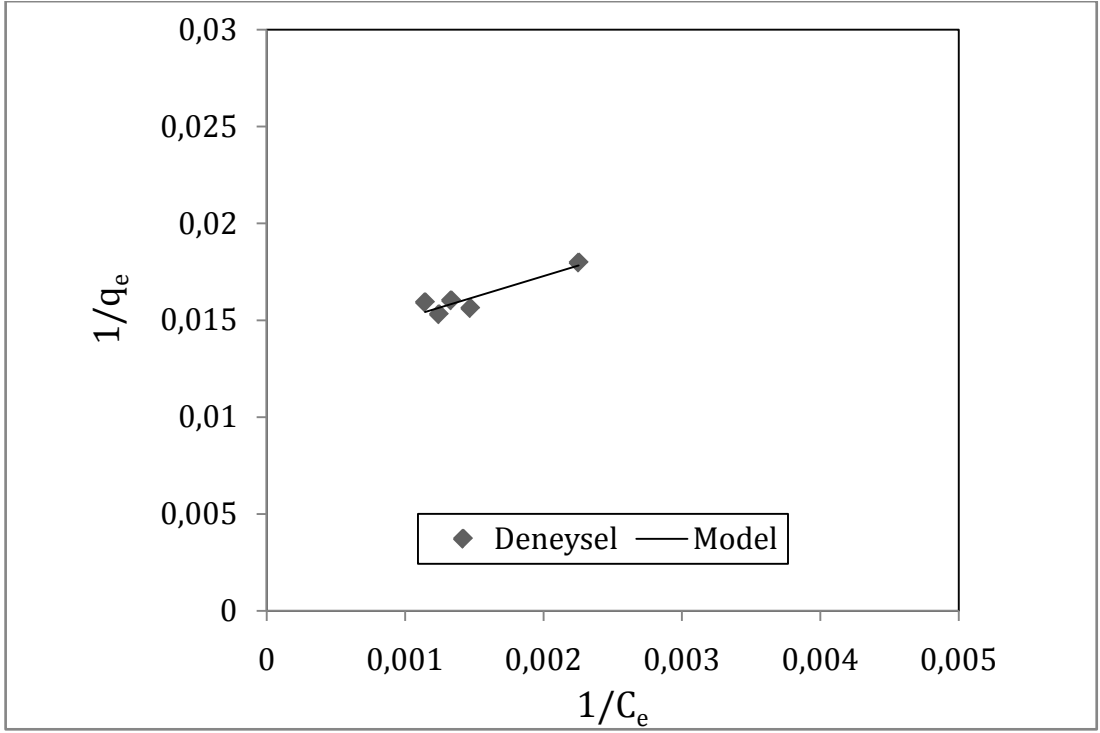
Şekil 7.25 MTAk4 numunesine ait pH 8 ve 25 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermini



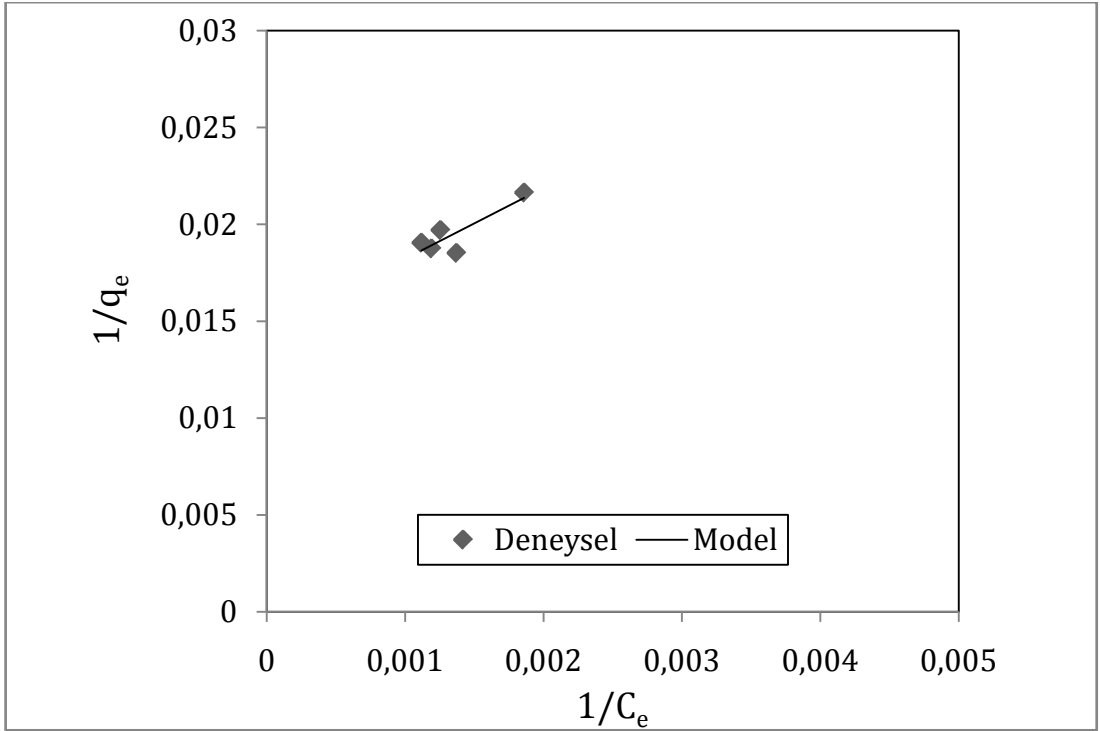
Şekil 7.26 MTAk4 numunesine ait pH 4 ve 30 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermini



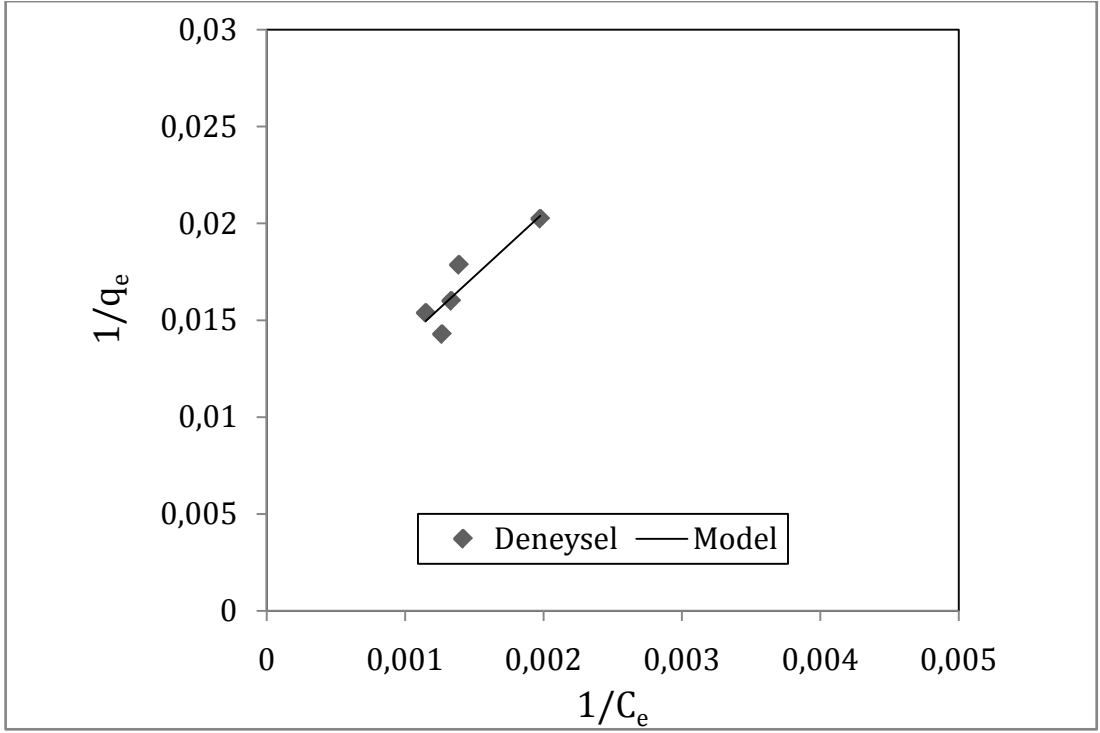
Şekil 7.27 MTAk4 numunesine ait pH 5 ve 30 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermini



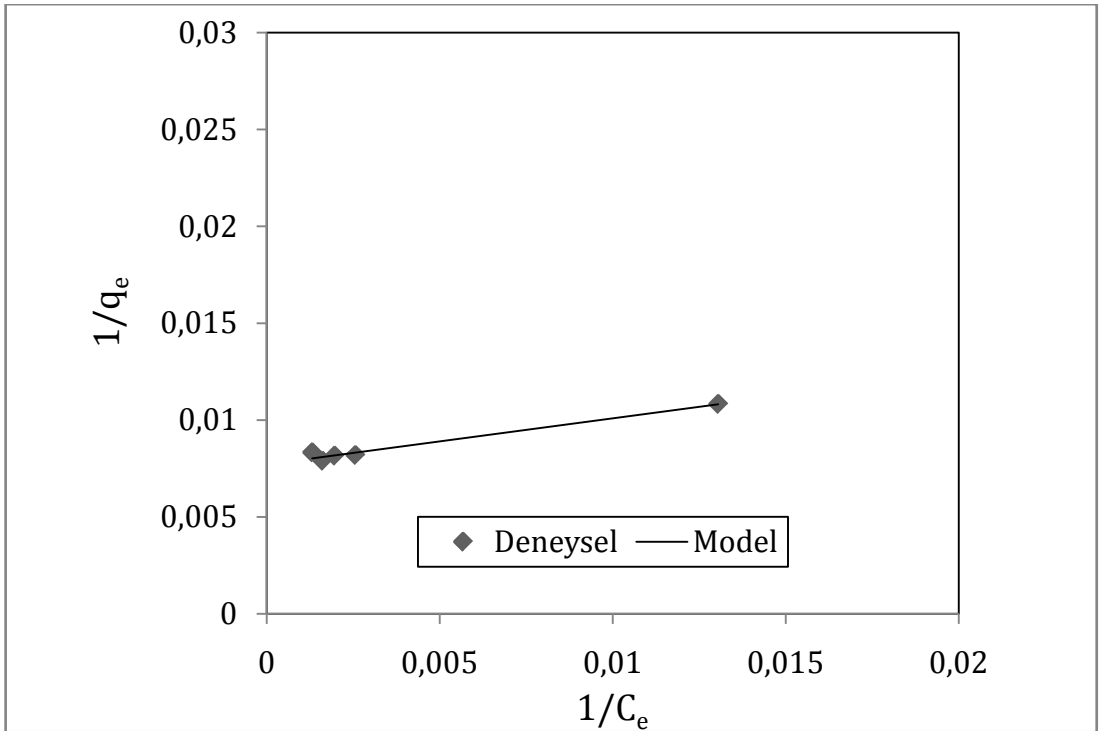
Şekil 7.28 MTAk4 numunesine ait pH 7 ve 30 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermini



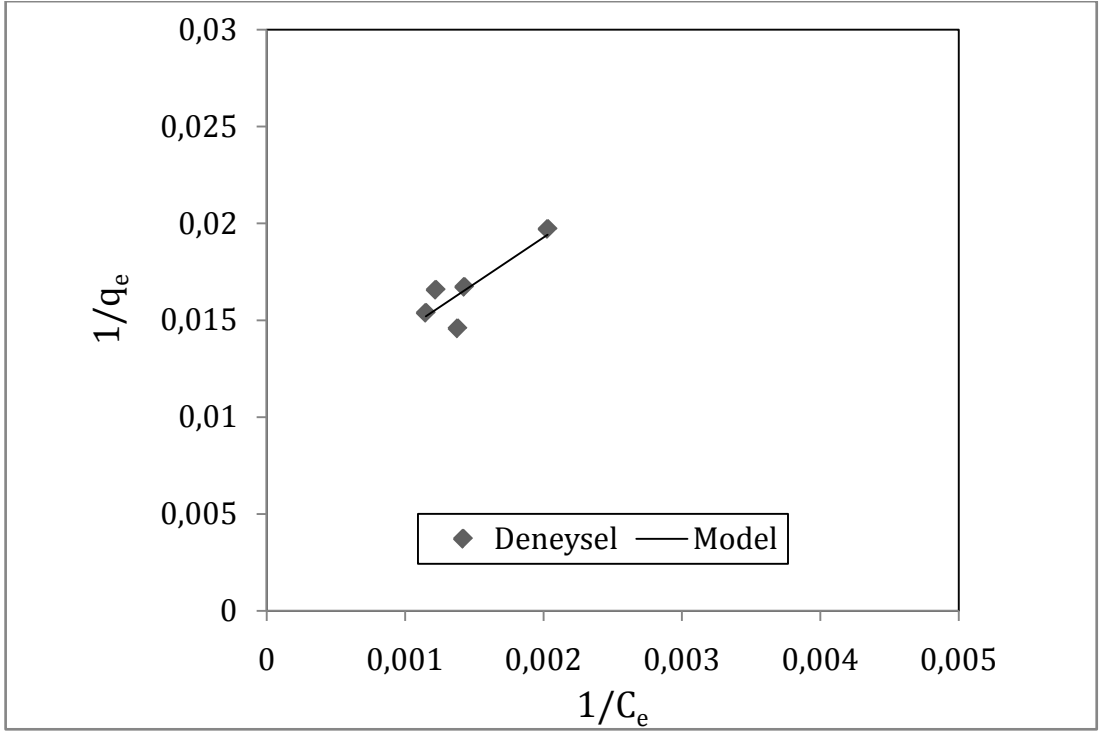
Şekil 7.29 MTAk4 numunesine ait pH 8 ve 30 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermini



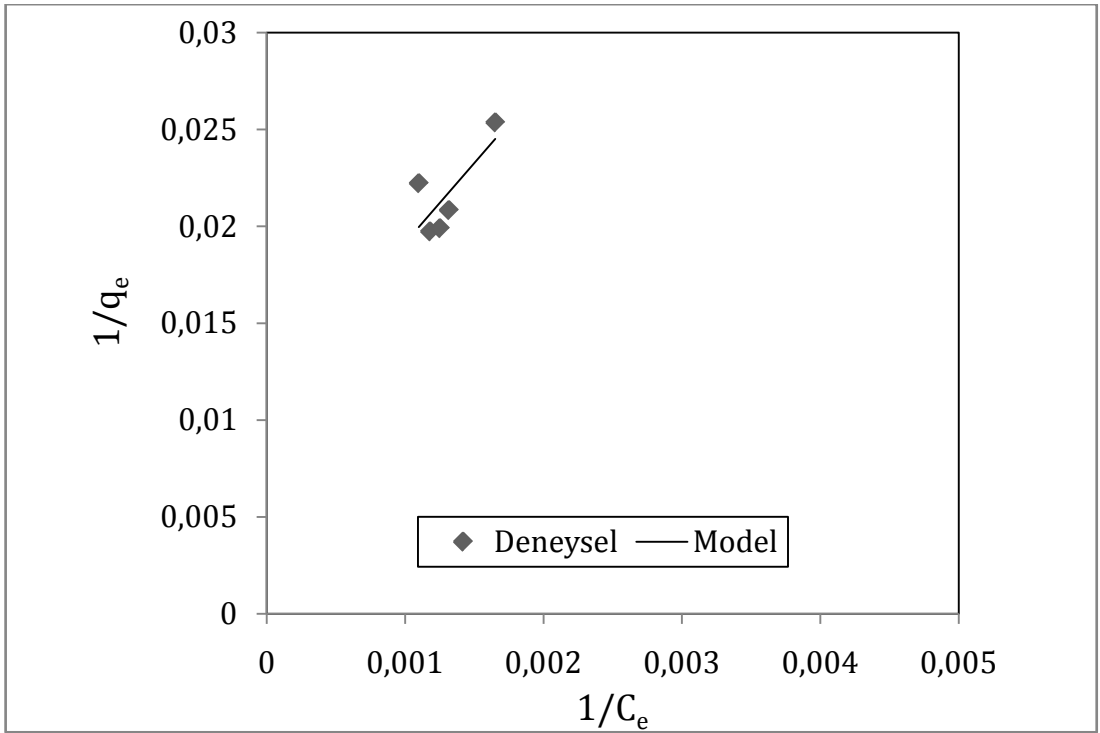
Şekil 7.30 MTAk4 numunesine ait pH 4 ve 35 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermini



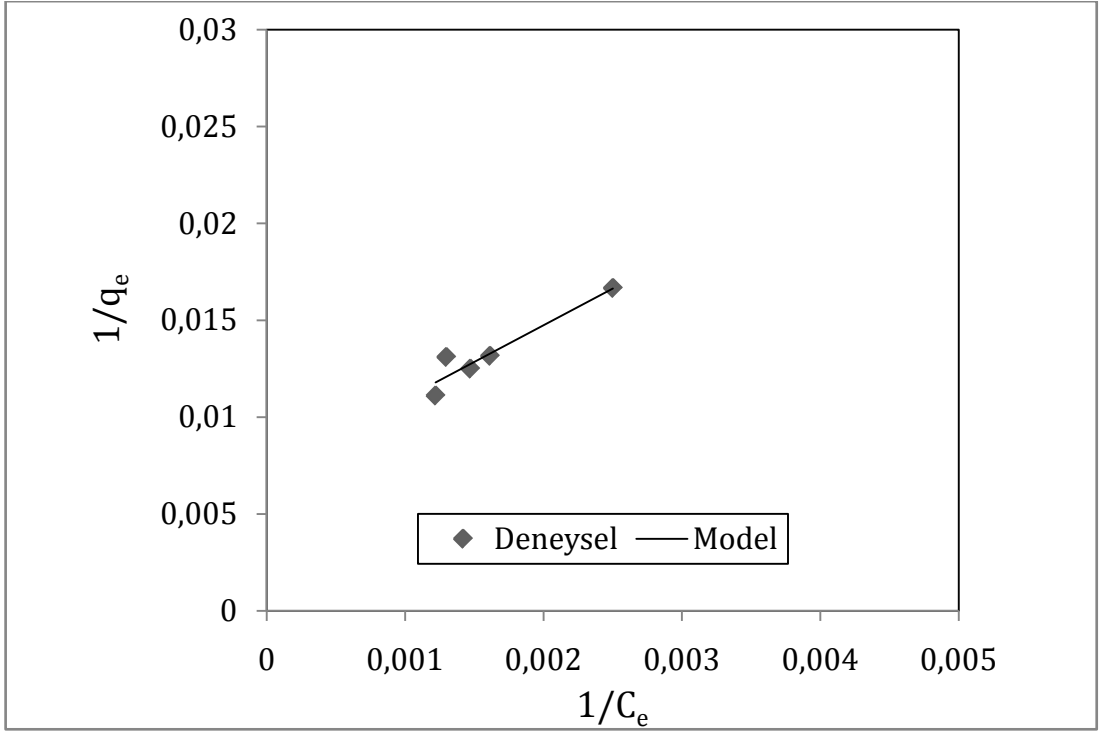
Şekil 7.31 MTAk4 numunesine ait pH 5 ve 35 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermini



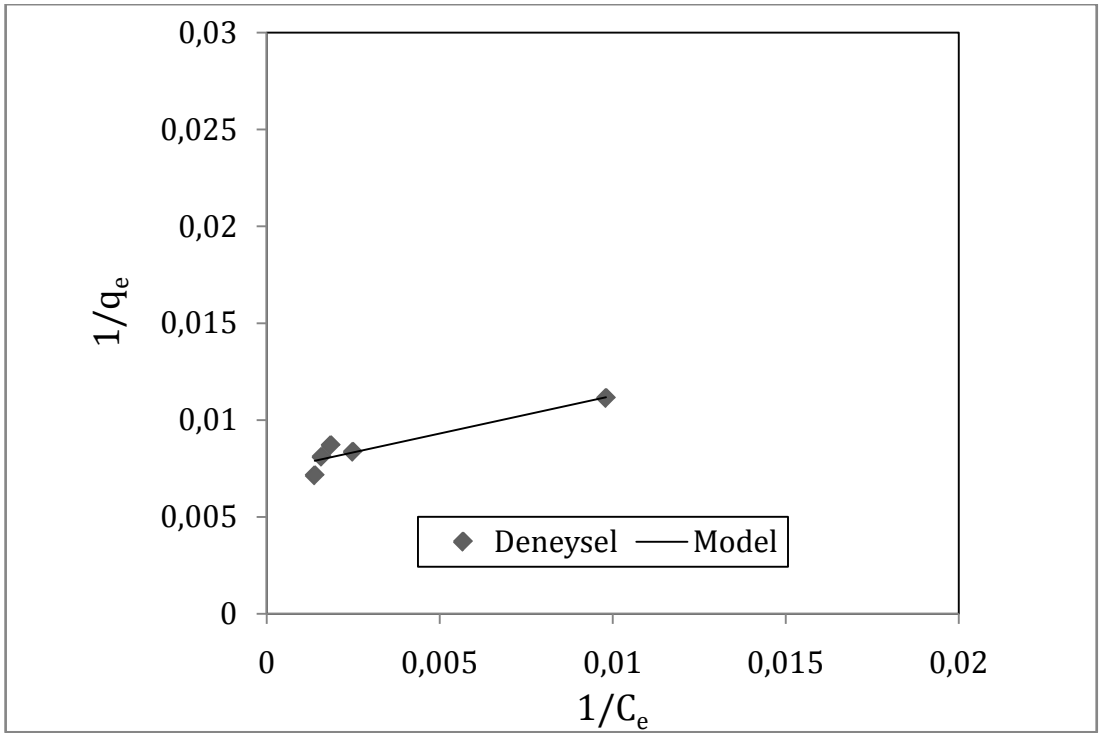
Şekil 7.32 MTAk4 numunesine ait pH 7 ve 35 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermini



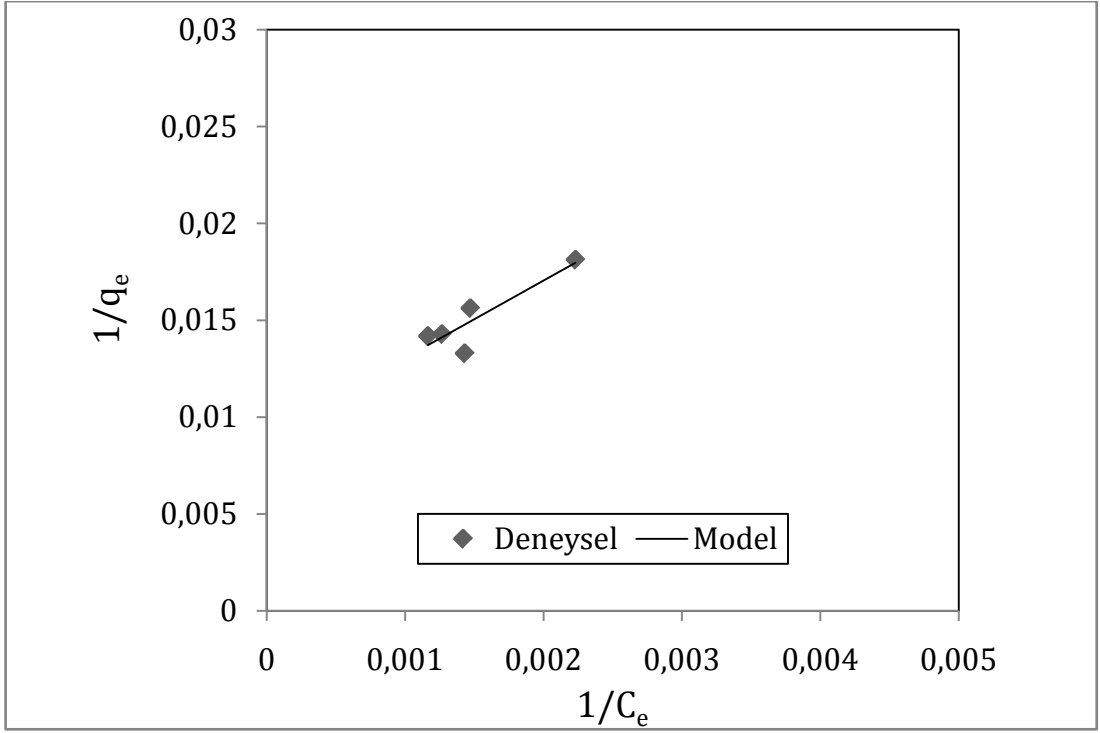
Şekil 7.33 MTAk4 numunesine ait pH 8 ve 35 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermini



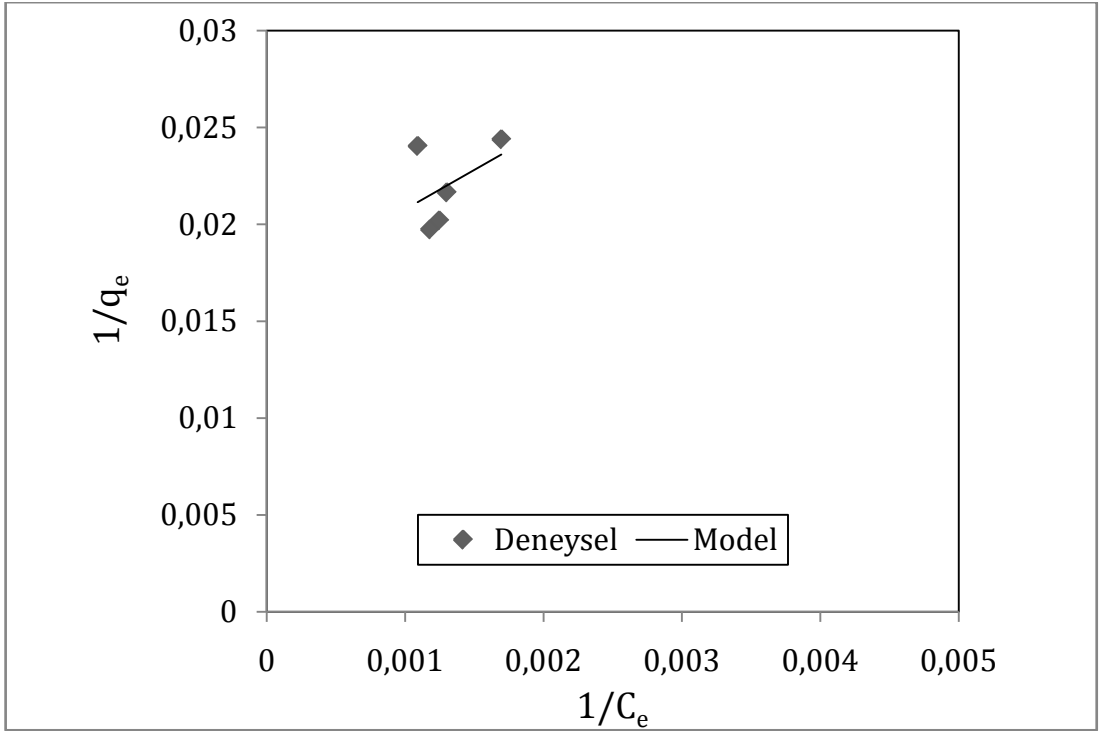
Şekil 7.34 MTAk4 numunesine ait pH 4 ve 40 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermini



Şekil 7.35 MTAk4 numunesine ait pH 5 ve 40 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermini



Şekil 7.36 MTAk4 numunesine ait pH 7 ve 40 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermini



Şekil 7.37 MTAk4 numunesine ait pH 8 ve 40 °C'deki BSA adsorpsiyonu-Langmuir izotermini

Çizelge 7.5'te BSA'nın MTAK4 ile adsorpsiyonu işlemine ait Langmuir izoterm modellerinden elde edilen veriler sunulmuştur. Çizelge 7.5 incelendiğinde protein adsorpsiyon kapasitesinin en fazla (139.37 mg/g) olduğu şartlar pH 5 ve 40 °C olarak bulunmuştur. TAK örnekleri ile gerçekleştirilen deneylerde olduğu gibi MTAK4 ile gerçekleştirilen deneylerde de pH 7 ve 8 diğer pH'lara kıyasla düşük bir adsorpsiyon kapasitesi göstermişlerdir.

Bununla birlikte pH 5'te gerçekleştirilen deneylerde adsorpsiyon kapasitesinin pH 7 ve pH 8'dekilere kıyasla daha fazla olduğu görülmüştür. Bu durum, BSA'nın izoelektrik noktası olan pH ~4.7'de en yüksek adsorpsiyon değerini verdiğini göstermektedir. Çizelge 7.5'te verilen R^2 değerlerinin 1'e yakınlığı Langmuir izoterm modelinin adsorpsiyon işlemine uygunluğunu göstermektedir. Bu durum aynı modelin standart sapma değerlerinin çok düşük olmasıyla desteklenmektedir.

Çizelge 7.6'te sunulan verilerden Freundlich izoterm modelinin BSA'nın MTAK4 üzerine adsorpsiyonunu açıklamakta yetersiz kaldığı anlaşılmaktadır. R^2 katsayıları Langmuir izoterm modelinden elde edilen değerlerle kıyaslandığında 1'den daha uzak ve küçük olduğu görülmüştür. Standart sapma değerlerinin de daha yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 7.7'de Temkin izoterm modelinden elde edilen veriler sunulmuştur. Temkin izoterm modelinin adsorpsiyon işlemine uygunluk bakımından en kötü model olduğu görülmektedir. Bu duruma sebep olarak, R^2 katsayılarının 1'e yakın olmaması ve standart sapma değerlerinin çok büyük olması gösterilebilir.

Çizelge 7.5 MTAK4 ile gerçekleştirilen adsorpsiyon deneylerinden elde edilen verilerin Langmuir izoterm modeline uygulanmasıyla elde edilen veriler

Sıcaklık (°C)	pH	Q (mg/g)	σ	R ²	b (L/mg)
25	4	122.95	0.00054	0.9701	0.00195
25	5	123.68	0.00079	0.9053	0.00575
25	7	106.93	0.00127	0.8401	0.00232
25	8	90.14	0.00108	0.8803	0.00229
30	4	127.40	0.00106	0.8912	0.00242
30	5	122.18	0.00053	0.9454	0.00229
30	7	77.22	0.00055	0.9188	0.00598
30	8	68.66	0.00075	0.8573	0.00398
35	4	134.84	0.00116	0.9028	0.00113
35	5	129.73	0.00022	0.9870	0.03242
35	7	103.15	0.00118	0.8529	0.00202
35	8	593.82	0.00175	0.7562	0.00011
40	4	139.37	0.00072	0.9522	0.00190
40	5	136.00	0.00057	0.9433	0.01884
40	7	110.35	0.00099	0.8898	0.00227
40	8	59.93	0.00221	0.4441	0.00409

Çizelge 7.6 MTAK4 ile gerçekleştirilen adsorpsiyon deneylerinden elde edilen verilerin Freundlich izoterm modeline uygulanmasıyla elde edilen veriler.

Sıcaklık (°C)	pH	K_F ($\text{mg}^{1-1/n} \text{L}^{1/n} \text{g}^{-1}$)	σ	R^2	n
25	4	3.043	0.03250	0.9756	2.0823
25	5	15.944	0.08202	0.8644	3.5829
25	7	3.768	0.08227	0.8385	2.2876
25	8	2.209	0.05429	0.8529	2.1590
30	4	4.315	0.08787	0.8890	2.2425
30	5	26.176	0.07072	0.8792	4.6526
30	7	15.773	0.03347	0.8864	4.7816
30	8	9.256	0.04098	0.8239	3.8658
35	4	1.280	0.07288	0.8864	1.7074
35	5	52.664	0.04678	0.9493	7.5002
35	7	3.947	0.07775	0.8071	2.4034
35	8	2.066	0.08500	0.7013	2.1380
40	4	3.260	0.05927	0.9374	2.0529
40	5	36.500	0.06207	0.9437	5.1647
40	7	4.648	0.07262	0.8520	2.4494
40	8	9.855	0.10295	0.3966	4.3430

Çizelge 7.7 MTAK4 ile gerçekleştirilen adsorpsiyon deneylerinden elde edilen verilerin Freundlich izoterm modeline uygulanmasıyla elde edilen veriler

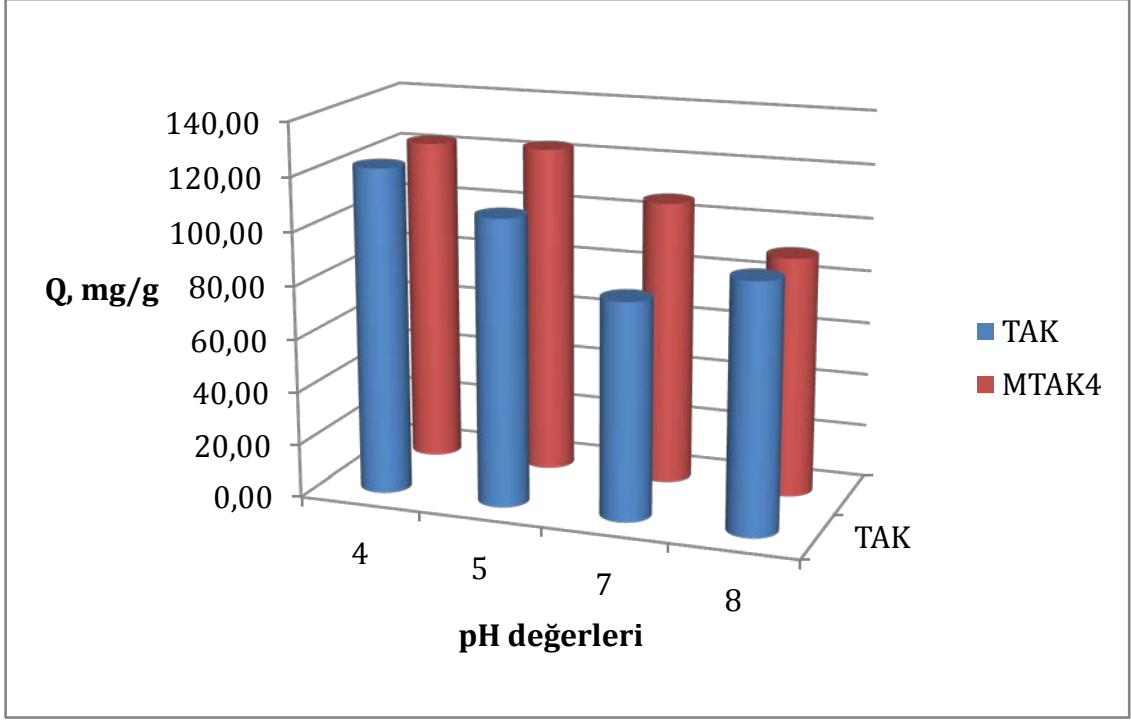
Sıcaklık (°C)	pH	A_T (L/g)	b_T (J/mol)	σ	R^2
25	4	0.01332	77.8051	2.5472	0.9663
25	5	0.08640	102.3446	7.6627	0.8474
25	7	0.01554	88.939	5.6343	0.8199
25	8	0.01281	117.7836	2.5591	0.8440
30	4	0.01634	76.11181	7.5574	0.8346
30	5	0.33449	128.7691	6.6995	0.8712
30	7	0.20975	202.1814	2.0552	0.8805
30	8	0.07517	197.6848	2.0944	0.8139
35	4	0.00845	76.08477	4.6549	0.8648
35	5	9.65020	179.6551	5.1992	0.9455
35	7	0.01831	107.792	4.8405	0.7818
35	8	0.01264	125.3591	3.9045	0.6831
40	4	0.01385	74.19134	4.8386	0.9216
40	5	0.65615	123.2266	8.1491	0.9213
40	7	0.02022	101.7874	4.9720	0.8300
40	8	0.10459	249.8916	4.6925	0.3940

7.3.3 TAK ve MTAK4 numuneleri ile elde edilen sonuçların karşılaştırılması

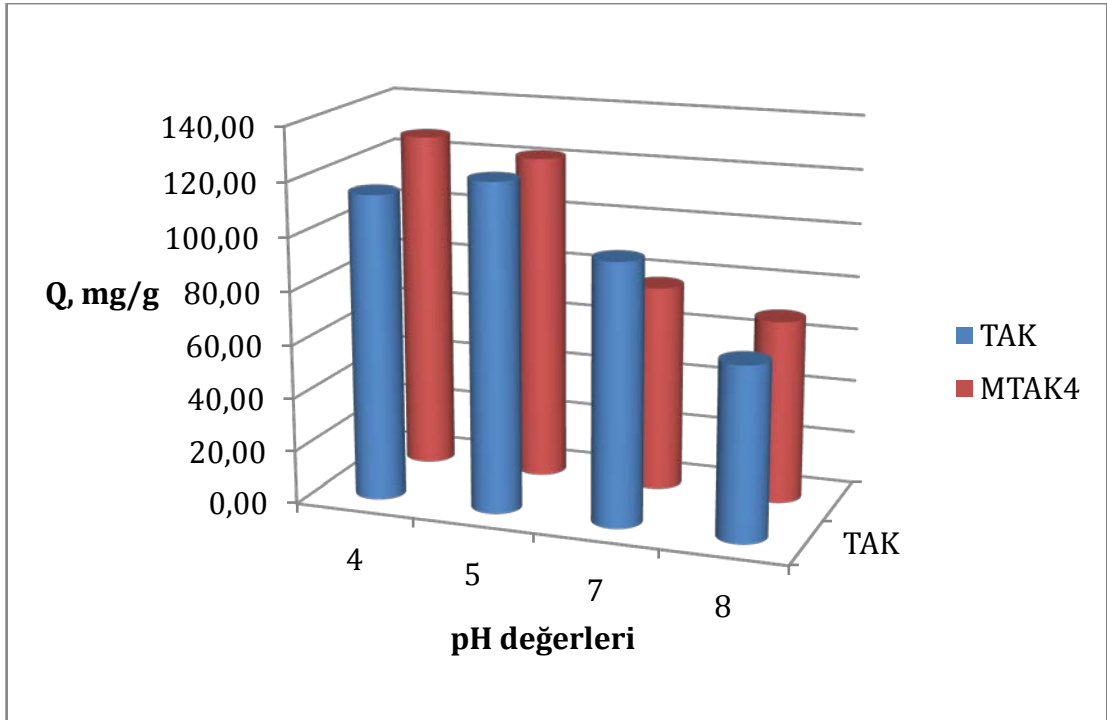
Adsorpsiyon izoterm verileri R^2 ve standart sapma verileri açısından incelendiğinde BSA adsorpsiyonunun Langmuir izoterm modeline uyduğu görülmektedir. Bu durum adsorpsiyon işleminin tek tabaka halinde meydana geldiğine işaret etmektedir [8].

TAK ve MTAK4 numunelerinin her sıcaklıkta pH 4 ve 5’de en yüksek yüksek adsorpsiyon kapasitesi verdikleri görülmüştür. Şekil 7.38-41 incelendiğinde, MTAK4 ile elde edilen maksimum adsorpsiyon kapasitesi değerlerinin TAK örneklerine göre bir miktar daha fazla olduğu saptanmıştır. Modifikasyon sonucu elde edilen MTAK4 örneklerinin adsorpsiyon kapasitesinin çok daha fazla olmamasına sebep olarak BSA’nın molekül boyutunun mikroporlara giremeyecek kadar büyük (4-14 nm) olması gösterilebilir [7].

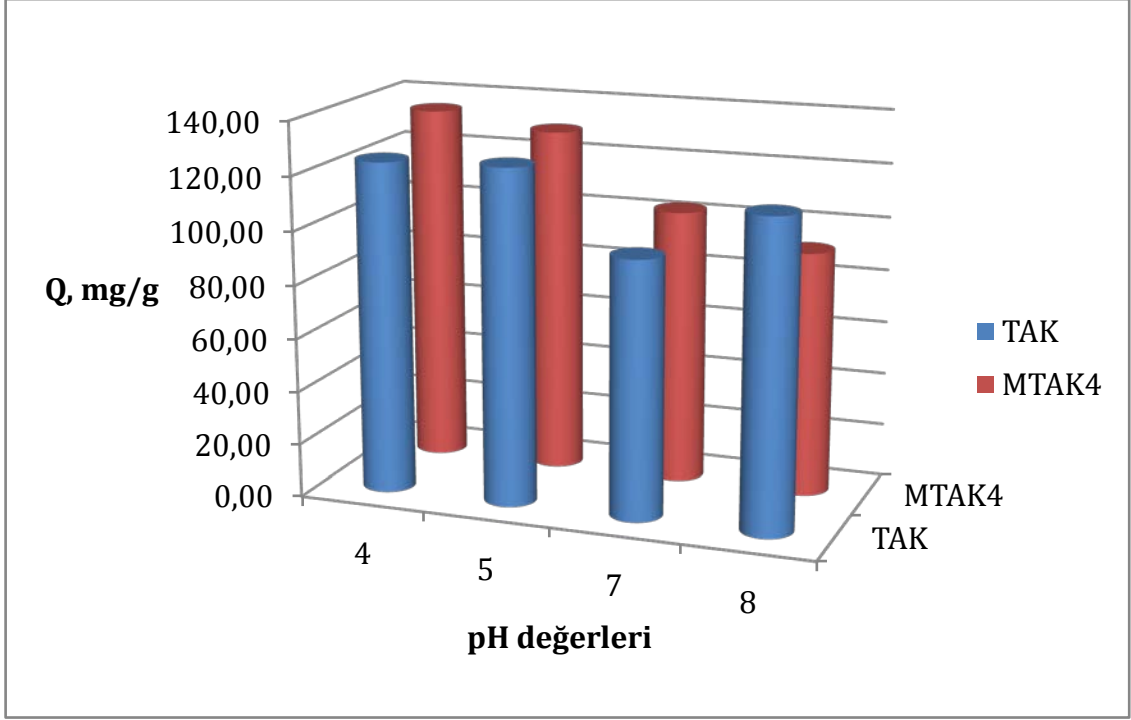
Bölüm 7.1.1’de aktarıldığı üzere, MTAK4 yüzeyinde oluşan mezoporların çaplarının mikropor seviyesine çok yakın olduklarından, MTAK4’ün adsorpsiyon kapasitesini artırmaya yetmemişlerdir. Bu durum, literatürde BSA’nın değişik por açıklığı olan malzemelere adsorpsiyonunda sıklıkla görülmektedir [37] [40]. Ayrıca modifikasyon işlemi sırasında aktif karbon yüzeyinde kalan ve giderilemeyen mineral kalıntıları MTAK4’ün hidrofiliğini artırıp adsorpsiyon kapasitesinin dramatik bir şekilde artmasını önlemiş olabilir [29].



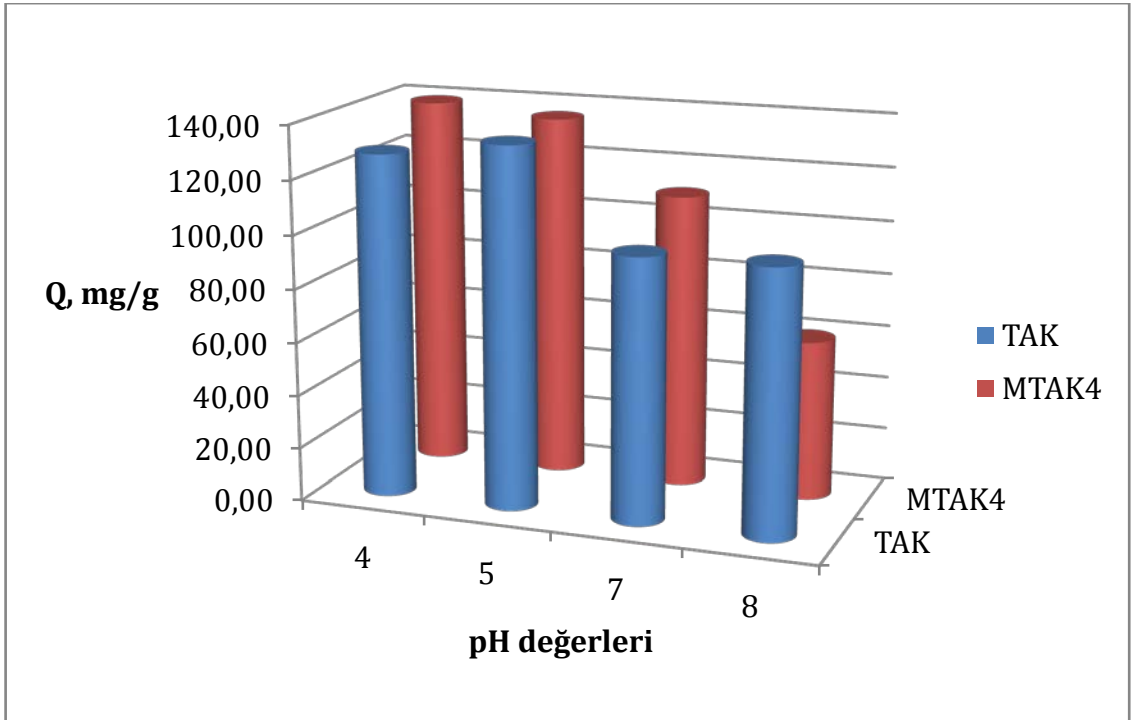
Şekil 7.38 Farklı pH'larda 25 °C'de TAK ve MTAK4 numunelerinin Langmuir izoterm modeline göre maksimum adsorpsiyon kapasitelerinin karşılaştırılması



Şekil 7.39 Farklı pH'larda 30 °C'de TAK ve MTAK4 numunelerinin Langmuir izoterm modeline göre maksimum adsorpsiyon kapasitelerinin karşılaştırılması



Şekil 3.40 Farklı pH'larda 35 °C'de TAK ve MTAK4 numunelerinin Langmuir izoterm modeline göre maksimum adsorpsiyon kapasitelerinin karşılaştırılması



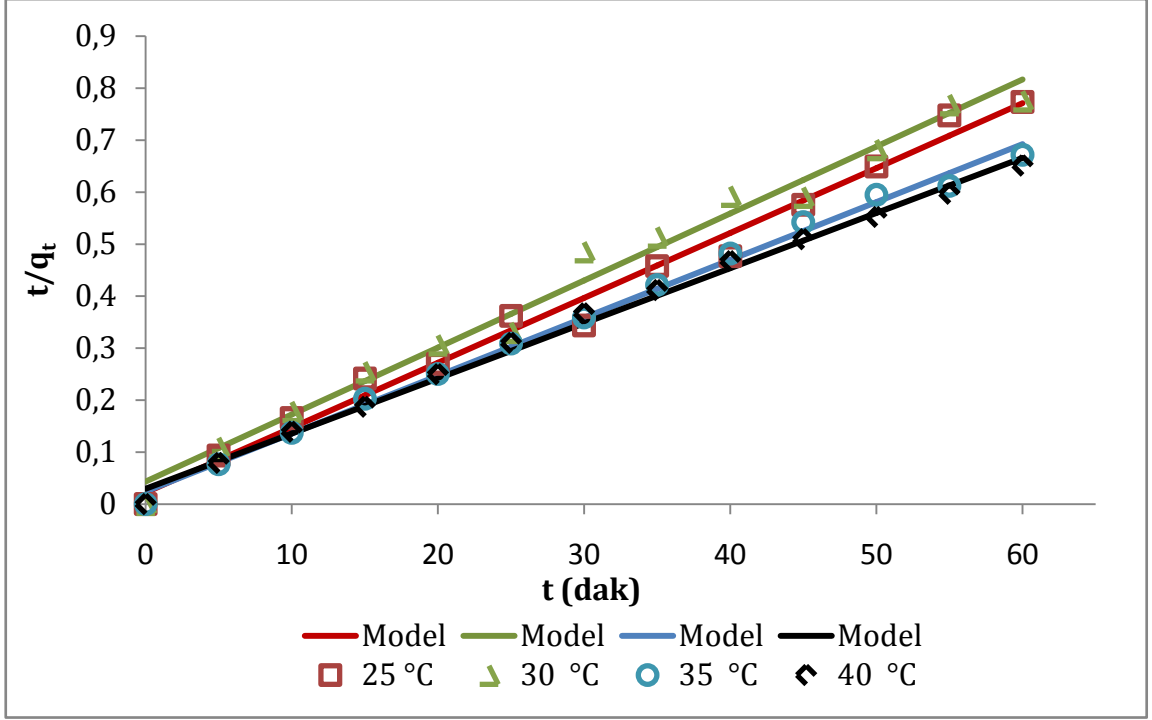
Şekil 3.41 Farklı pH'larda 40 °C'de TAK ve MTAK4 numunelerinin Langmuir izoterm modeline göre maksimum adsorpsiyon kapasitelerinin karşılaştırılması

FT-IR analizi ile yüzey grupları bakımından benzer özelliklere sahip olduğu görülen TAK ve MTAK4 örneklerinin adsorpsiyon davranışlarının çözelti pH'ına göre benzer değişiklikler göstermesine neden olmuştur. İki aktif karbon örneğinde de BSA'nın yüksüz olduğu pH ~4.7 civarında yüksek adsorpsiyon değerlerine ulaşılmıştır. İzoelektrik noktasının üstünde (pH 7-8) düşük adsorpsiyon kapasitelerine ulaşılmasının nedeninin, izoelektrik noktanın üstünde eksi (-) yüklü olan BSA ve eksi (-) yük bakımından zengin olan aktif karbon yüzeyi ile arasında meydana gelen elektrostatik itmeye bağlanabilir. Bu durum literatürdeki benzer örneklerle de desteklenmektedir [32].

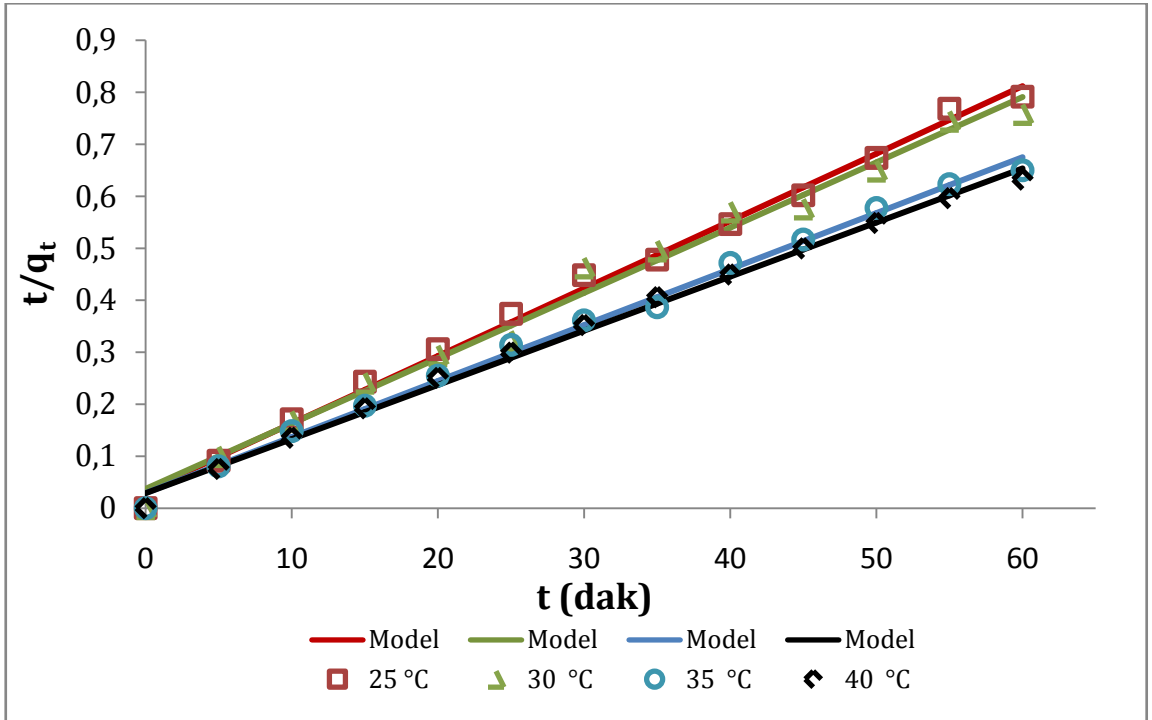
Hem TAK hem MTAK4 örnekleri ile gerçekleştirilen adsorpsiyon işlemlerinde adsorpsiyon kapasitelerinin genel olarak sıcaklık artışıyla arttığı görülmüştür. En yüksek adsorpsiyon kapasitesi TAK örneği için pH 5 ve 40 °C'de 134.77 mg/g, MTAK4 örneği için pH 4 ve 40 °C'de 139.37 mg/g olarak bulunmuştur.

7.3.4 Kinetik Çalışmaların Sonuçlarının Değerlendirilmesi

TAK ve MTAK4 ile gerçekleştirilen kinetik çalışmalardan elde edilen verilerin modelleme aşaması için Yalancı 1. Derece, Yalancı 2. Derece, Elovich ve Parçacık İçi Difüzyon kinetik modelleri kullanılmıştır. Elde edilen veriler, grafik ve çizelgeler yardımıyla sunulmuştur. Şekil 7.42-45'te adsorpsiyon işlemini en uygun şekilde modelleyen Yalancı 2. Derece kinetik modeli ile elde edilen grafikler gösterilmiştir. Diğer modellere ilişkin veriler ise Çizelge 7.8-7.11'de sırası ile verilmiştir.



Şekil 7.42 TAK örnekleriyle pH 5 ve farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen BSA adsorpsiyonu deneylerinin Yalancı İkinci Derece kinetik modellemesi



Şekil 7.43 MTAK4 örnekleriyle pH 5 ve farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen BSA adsorpsiyonu deneylerinin Yalancı İkinci Derece kinetik modellemesi

Çizelge 7.8 ve 7.9'da TAK ve MTAK4 örnekleri ile yapılan pH 5 ve farklı sıcaklıklardaki deneylerin kinetik model verileri incelendiğinde, R^2 katsayısının 1'e en yakın olduğu modelin Yalancı 2. Derece modeli olduğu saptanmıştır.

Bununla birlikte model verileri standart sapma değerleri bakımından incelendiğinde Yalancı 2. Derece modelinin en düşük standart sapma değerine sahip olduğu görülmüştür. Yalancı 1. Derece modeli yüksek R^2 değeri vermesine rağmen standart sapma değerleri Yalancı 2. Derece modelindeki kadar düşük olmadığı için uygun model olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Ayrıca Elovich ve Partikül İçi Difüzyon modelleri, regresyon katsayısı bakımından 1'den oldukça uzak olduğu ve standart sapma değerleri 10 civarında olduğundan uygun model olmadıkları sonucuna ulaşılmıştır.

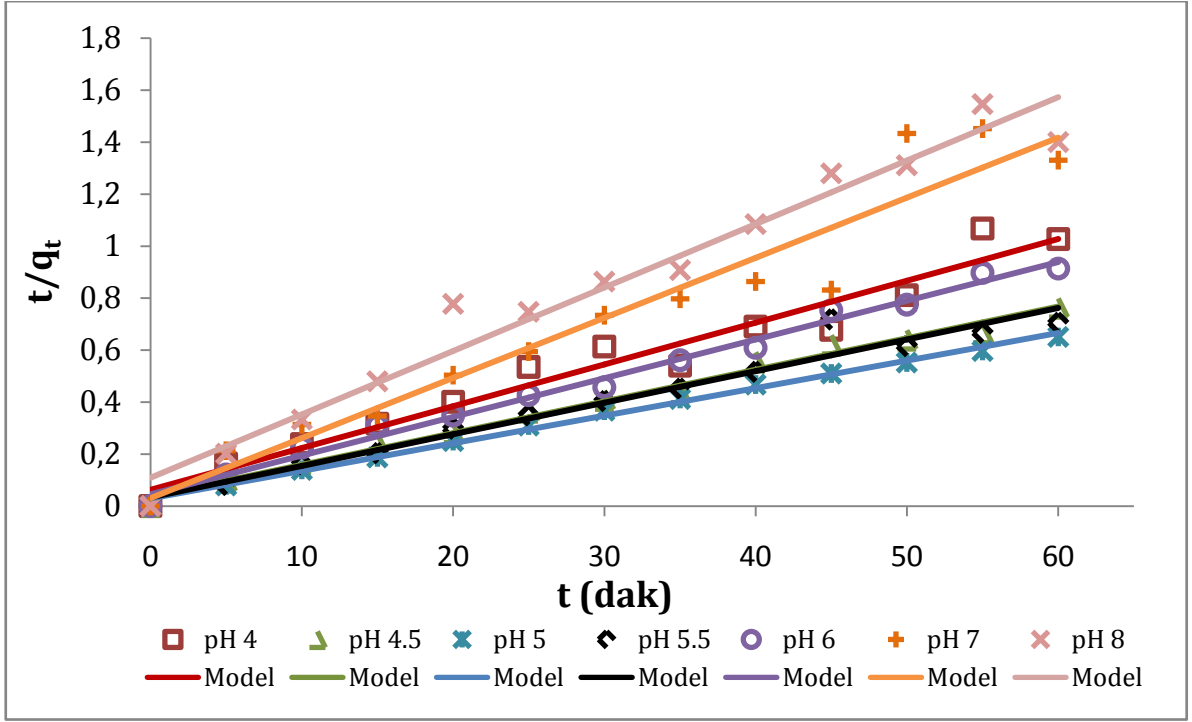
Çizelge 7.10 ve 7.11'de TAK ve MTAK4 örnekleri ile yapılan 40 °C ve farklı pH'lardaki deneylerin de aynı şekilde Yalancı 2. derece modeline uyduğu saptanmıştır. Diğer modellerin R^2 katsayıları ve standart sapma modelleri bakımından incelendiğinde uygun olmadıkları görülmüştür.

Çizelge 7.8 TAK örnekleriyle pH 5 ve farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen BSA adsorpsiyonu deneylerinin kinetik model parametreleri

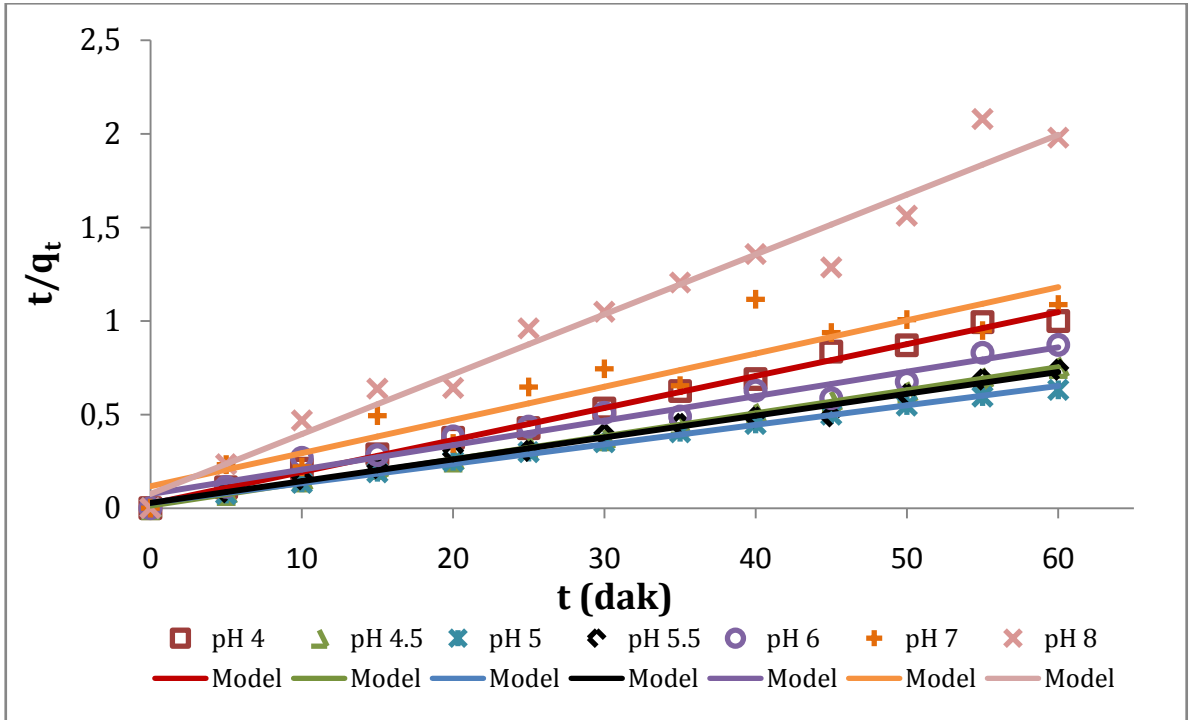
Yalancı 1. Derece				Yalancı 2. Derece			Elovich				Partikül İçi Difüzyon			
T (°C)	k_1 (1/dak)	R^2	σ	k_2 (g/mg.dak)	R^2	σ	α (mg g ⁻¹ dak)	β (g mg ⁻¹)	R^2	σ	k_i (mg g ⁻¹ dak ⁻²)	C_i (mg g ⁻¹)	R^2	σ
25	0.1780	0.9662	5.9986	0.007049	0.9937	0.0287	9.4005E+14	0.5085	0.9280	8.6661	8.3831	25.0144	0.8432	12.3238
30	0.1663	0.9716	5.0766	0.003824	0.9927	0.0318	7.4448E+14	0.5549	0.9215	8.3377	8.1057	20.5265	0.8887	9.8437
35	0.2641	0.9856	4.1337	0.005098	0.9978	0.0150	1.2861E+15	0.4612	0.9749	5.4351	8.7651	30.4490	0.8450	13.0579
40	0.2233	0.9837	4.5692	0.003794	0.9976	0.0148	1.1466E+15	0.4490	0.9621	6.9312	9.4272	28.8283	0.8732	12.3885

Çizelge 7.9 MTAK4 örnekleriyle pH 5 ve farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen BSA adsorpsiyonu deneylerinin kinetik model parametreleri

Yalancı 1. Derece				Yalancı 2. Derece			Elovich				Partikül İçi Difüzyon			
T (°C)	k_1 (1/dak)	R^2	σ	k_2 (g mg ⁻¹ dak ⁻¹)	R^2	σ	α (mg g ⁻¹ dak)	β (g mg ⁻¹)	R^2	σ	k_i (mg g ⁻¹ dak ⁻²)	C_i (mg g ⁻¹)	R^2	σ
25	0.2358	0.9757	4.5804	0.005054	0.9975	0.0186	9.7317E+14	0.5452	0.9638	5.5739	7.7089	24.0726	0.8685	10.3576
30	0.1874	0.9739	4.9770	0.004218	0.9941	0.0278	8.5977E+14	0.5341	0.9373	7.6453	8.1707	22.7917	0.8769	10.5424
35	0.2009	0.9797	5.0747	0.003943	0.9974	0.0157	1.0697E+15	0.4548	0.9542	7.5709	9.4514	27.6067	0.8794	12.0425
40	0.2322	0.9810	5.0075	0.003743	0.9980	0.0135	1.188E+15	0.4490	0.9653	6.7349	9.5775	29.5406	0.8737	12.5541



Şekil 7.44 TAK örnekleriyle 40 °C'de ve farklı pH'larda gerçekleştirilen BSA adsorpsiyonu deneylerine ait verilerin Yalancı İkinci Derece kinetik modellemesi



Şekil 7.45 MTAK4 örnekleriyle 40 °C'de ve farklı pH'larda gerçekleştirilen BSA adsorpsiyonu deneylerine ait verilerin Yalancı İkinci Derece kinetik modellemesi

Çizelge 7.10 TAK örnekleriyle 40 ve farklı pH'larda gerçekleştirilen BSA adsorpsiyonu deneylerinin kinetik model parametreleri

pH	Yalancı 1. Derece			Yalancı 2. Derece			Elovich				Partikül İçi Difüzyon			
	k_1 (dak^{-1})	R^2	σ	k_2 (g/mg.dak)	R^2	σ	α ($\text{mg g}^{-1}\text{dak}$)	β (g mg^{-1})	R^2	σ	k_i ($\text{mg g}^{-1}\text{dak}^{-2}$)	C_i (mg g^{-1})	R^2	σ
4	0.1183	0.9522	5.5917	0.00413	0.9787	0.0684	4.3E+14	0.7003	0.8556	9.4456	6.9797	13.0134	0.8976	8.0669
4.5	0.1875	0.9716	5.3086	0.00401	0.9944	0.0261	8.82E+14	0.5197	0.9414	7.5706	8.4328	23.2429	0.8845	10.4724
5	0.2233	0.9837	4.5692	0.00379	0.9976	0.0148	1.15E+15	0.4490	0.9621	6.9312	9.4272	28.8283	0.8732	12.3885
5.5	0.2823	0.9527	6.8984	0.00443	0.9810	0.0488	1.16E+15	0.5099	0.9487	7.1749	8.0062	27.1544	0.8303	12.6508
6	0.1447	0.9740	4.2680	0.00487	0.9948	0.0309	6.15E+14	0.6352	0.9171	7.5148	7.1777	17.3614	0.8964	8.3524
7	0.1538	0.9378	4.8705	0.01739	0.9671	0.1236	4.43E+14	0.9142	0.8562	7.2486	4.8070	13.0101	0.8067	8.2916
8	0.1766	0.9357	3.9330	0.00548	0.9829	0.0929	3.74E+14	1.0855	0.9071	4.6951	4.2349	10.0204	0.8939	4.9982

Çizelge 7.11 MTAK4 örnekleriyle 40 ve farklı pH'larda gerçekleştirilen BSA adsorpsiyonu deneylerinin kinetik model parametreleri

pH	Yalancı 1. Derece			Yalancı 2. Derece			Elovich				Partikül İçi Difüzyon			
	k_1 (dak ⁻¹)	R ²	σ	k_2 (g/mg.dak)	R ²	σ	α (mg g ⁻¹ dak)	β (g mg ⁻¹)	R ²	σ	k_i (mg g ⁻¹ dak ⁻²)	C_i (mg g ⁻¹)	R ²	σ
4	0.2765	0.9861	2.7174	0.01243	0.9973	0.02540	9.53E+14	0.6859	0.9767	3.5281	5.6615	21.7833	0.8132	9.5382
4.5	0.3171	0.9867	3.6804	0.01076	0.9992	0.00950	1.42E+15	0.4913	0.9840	4.0434	7.7403	31.3738	0.8023	13.5555
5	0.2322	0.9810	5.0075	0.00374	0.9980	0.01350	1.19E+15	0.4408	0.9653	6.7349	9.5775	29.5406	0.8737	12.5541
5.5	0.2021	0.9650	6.1423	0.00484	0.9941	0.02580	1.01E+15	0.4865	0.9428	7.9798	8.8038	25.9937	0.8657	11.9833
6	0.0970	0.9401	7.2573	0.00226	0.9824	0.05050	4.62E+14	0.6049	0.8524	11.1356	8.4124	13.2766	0.9299	7.8332
7	0.1338	0.8638	8.6977	0.00268	0.9409	0.12970	3.57E+14	0.8199	0.7757	10.8938	6.0377	10.7000	0.8233	9.7983
8	0.1714	0.9410	3.0856	0.01335	0.9836	0.11900	3.41E+14	1.3268	0.9073	3.8342	3.2977	9.1181	0.8512	4.7872

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, ticari toz aktif karbon (TAK) ile bu ticari karbonun kimyasal ve ısıl işlemlere tabi tutulmasıyla elde edilen modifiye aktif karbonun (MTAK4) bovine serum albüminin (BSA) adsorpsiyonuna ait adsorpsiyon karakteristikleri incelenmiştir.

TAK'ın modifikasyon işleminden elde edilen sonuçlar:

1. TAK numunesi, önce Na_2CO_3 ile kimyasal muamele ve daha sonra mikrodalga tekniği ile ısıl işleme tabi tutulma ve takiben HCl ile kimyasal muamele sonucu modifiye işlemine tabi tutulmuştur. BET yüzey alanı $1572 \text{ m}^2/\text{g}$ olan TAK modifiye edildikten sonra yüzey alanı $2492 \text{ m}^2/\text{g}$ 'a (MTAK4 için) yükselttilerek %59'luk bir artış sağlanmıştır.
2. Özellikle mezoporlardan kaynaklanan yüzey alanı ise $1014 \text{ m}^2/\text{g}$ iken, modifikasyon sonucu $1653 \text{ m}^2/\text{g}$ 'a çıkarılarak %63'lük bir artış elde edilmiştir.

Adsorpsiyon izotermelerini elde etmek amacıyla pH 4, 5, 7 ve 8'de ve 25, 30, 35 ve 40 °C'de gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar:

1. TAK ve MTAK4 ile gerçekleştirilen deneylerde adsorpsiyon kapasitesinin sıcaklık yükseldikçe arttığı gözlemlenmiştir.
2. pH 7 ve pH 8'de gerçekleştirilen deneylerde adsorpsiyon kapasitesinin düşük seviyelerde olduğu bulunmuştur.
3. TAK ile gerçekleştirilen adsorpsiyon deneylerinden elde edilen veriler Langmuir izoterm modeline uygunluk göstermiş ve sonuç olarak BSA'nın izoelektrik noktası olan pH 4.7'ye yakın olan koşullarda yüksek adsorpsiyon kapasitesine ulaşılmıştır. Maksimum adsorpsiyon kapasitesi ise pH 5 ve 40 °C'de 134.77 mg/g olarak bulunmuştur.

4. MTAK4 ile gerçekleştirilen adsorpsiyon deneylerinden elde edilen veriler ise TAK'da olduğu gibi Langmuir izoterm modeline uygunluk göstermiştir. Maksimum adsorpsiyon kapasitesi pH 4 ve 40 °C'de 139.37 mg/g olarak bulunmuştur.

Adsorpsiyon kinetiğinin incelenmesi amacıyla pH 4, 4.5, 5, 5.5, 6, 7 ve 8'de ve 25, 30, 35 ve 40 °C'de gerçekleştirilen deneylerden elde edilen sonuçlar:

1. Adsorpsiyon kinetiğinin incelenmesi amacıyla Yalancı 1. Derece, Yalancı 2. Derece, Elovich ve Partikül İçi Difüzyon kinetik modelleri incelenmiştir. Zamana karşılık elde edilen verilere uygunluk incelendiğinde, Yalancı 2. Derece modelinin en yüksek regresyon katsayısı ve en düşük standart sapma verileri ile en uygun model olduğu tespit edilmiştir.

Öneriler:

BSA'nın aktif karbon üzerine adsorpsiyonuna yönelik olarak yapılacak çalışmalarda;

- BSA çözeltilisine eklenebilecek farklı iyonlarla, BSA'nın adsorpsiyon kapasitesinin nasıl değiştiği gözlemlenebilir.
- Farklı aktivasyon teknikleri kullanılarak özel yüzey gruplarına sahip aktif karbonlar üretilerek BSA'nın seçici olarak yüzeye adsorbe edilmesi sağlanabilir.
- Aktivasyon işlemi ile BSA'nın geçmesine izin verecek mezoporların yoğun olduğu yüksek yüzey alanına sahip aktif karbon üretilerek, BSA'nın adsorpsiyon kapasitesi artırılmaya çalışılabilir.
- BSA'nın beraber bulunma ihtimali olan proteinlerle yarışmalı olarak adsorpsiyonu sağlayabilecek aktif karbon/modifiye aktif karbon üretimi incelenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Smith, J.M., (1981). Chemical Engineering Kinetics, 3. Baskı, McGraw-Hill International, New York.
- [2] Gülbayır, D.D., (2008). Şeftali Çekirdeği ve Polimer Esaslı Aktif Karbon ile Sulu Çözeltilerden Krom(IV) Giderimi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] Gündoğdu, A., (2010). Fabrika Çay Artıklarından Aktif Karbon Üretimi, Karakretizasyonu ve Adsorpsiyon Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [4] Aytaş, B., (2008). Farklı Adsorbanlar ile Sulu Çözeltilerden Klorofenol Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [5] Richardson, F. J., Harker, H. J., ve Backhurst, R. J., (2002). Coulson and Richardson's Chemical Engineering Particle Technology and Separation Processes, Butterworth-Heinemann, Oxford.
- [6] Avcı, A.Ö., (2008). Kayısı Çekirdeğinden Üretilen Aktif Karbon ile Sulu Çözeltilerden Krom(VI) Giderimi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [7] Bozgeyik, K., (2006). Titanyum Dioksit Üzerine Bovine Serum Albumin Adsorpsiyonu, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak.
- [8] Kabak, H., (2008). Kullanılan Bazı Tıbbi İlaçların Canlı Aktif Çamur Kütlesi Tarafından Adsorpsiyonunun İncelenmesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [9] Beyhan, M., (2003). Atık Çamurlar ve Doğal Malzemeler ile Sulardan Florür İyonu Giderilmesinin Araştırılması, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [10] Foo, K.Y., and Hameed, B.H, (2010). "Insights into the modeling of adsorption isotherm systems", Chemical Engineering Journal , 156:2-10.

- [11] Savcı, S., (2010). Veteriner ve Beşeri Amaçlı Kullanılan Bazı Farmasötiklerin Canlı Aktif Çamur Tarafından Adsorpsiyonunun İncelenmesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- [12] Orbak, İ., (2009). Aktif Karbon ile Bazı Çevre Kirleticisi Unsurların Giderilmesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [13] Ekingen, İ., (2012). Protein Adsorpsiyonu, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [14] Ramachandran, P., Vairamuthu, R., ve Ponnusamy, S., (2011). "Adsorption Isotherms, Kinetics, Thermodynamics and Desorption Studies of Orange 16 on Activated Carbon Derived from Ananas Comosus(L.) Carbon", Journal of Engineering and Applied Sciences, 6:15-26.
- [15] Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., ve Walter, P., (2008). Molecular Biology of the Cell, 5. Baskı, Garland Science, New York.
- [16] Peptid Bağı ile Bağlı 2 aminoasidin ilüstrasyonu, <http://chemwiki.ucdavis.edu>, 01 Nisan 2013.
- [17] Nelson, D. N., ve Cox, M. M., (2004). Lehninger Principles of Biochemistry 4. Baskı, W. H. Freeman & Company.
- [18] Petsko, G. A., ve Ringe, D., (2003). Protein Structure and Function, New Science Press.
- [19] Schaller, J., Garber, S., Kämpfer, U., Lejon, S., ve Trachsel, C., (2008). Human Blood Plasma Proteins. Structure and Function, John Wiley & Sons, Chichester.
- [20] Craig, W. Y., Ledue, T. B., ve Ritchie, R. F., Plasma Proteins: Clinical Utility and Interpretations, Foundation for Blood Research.
- [21] Theodore Peters, J., (1996). All About Albumin, Academic Press, San Diego.
- [22] Edri, E., ve Regev, O., (2008). "pH Effects On BSA-Dispersed Carbon Nanotubes Studied by Spectroscopy-Enhanced Composition Evaluation Techniques", Analytic Chemistry , 80: 4049–4054.
- [23] Nakhanishi, K., Sakiyama, T., ve Imamura, K., (2001). "On the Adsorption of Proteins on Solid Surfaces, a Common but Very Complicated Phenomenon, Journal of Biosciences and Bioengineering", 93:233 - 244.
- [24] Parks, G. A., ve Bruyn, P. L., (1962). "The zero point of charge of Oxides", The Journal of Physical Chemistry, 66:966 - 973.
- [25] Türkyılmaz, A., (2011). Bazı Bitkisel Atıklardan Aktif Karbon Eldesi ve Yüzey Özellikleri. Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir.
- [26] Cheremisinoff, P. N., ve Ellerbusch, F., (1978). Carbon Adsorption Handbook, Ann Arbor Science Publishers, New York.
- [27] Patrick, J. W., (1995). Porosity in Carbons: Characterization and Applications, John Wiley & Sons.



- [28] Yapsaklı, K., (2008). Application of Biological Activated Carbon in Drinking Water Treatment, Doktora Tezi, Institute of Environmental Sciences, Bogaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- [29] Marsh, H., ve Rodriguez-Reinoso, F., (2005). Activated Carbon. Elsevier.
- [30] Jiang, X., Huang, L., ve Liu, X., (2013). "Silica-coated magnetic nanoparticles loaded with Cu(II):preparation and application to the purification of bovine serum albumin", *Microchimica Acta* , 180:219–226.
- [31] Kamran, S., Asadi, M., ve Absalan, G., (2012). "Adsorption of acidic, basic, and neutral proteins from aqueous samples using Fe₃O₄ magnetic nanoparticles modified with an ionic liquid", *Microchim Acta*, 180:41-48.
- [32] Song, L., Yang, K., Jiang, W., Du, P., ve Xing, B., (2012). "Adsorption of bovine serum albumin on nano and bulk oxide particles in deionized water", *Colloids and Surfaces: Biointerfaces*, 94:341 – 346.
- [33] Dizge, N., ve Tansel, B., (2011). "Multiparametric investigation of competitive and noncompetitive sorption characteristics of SMP fractions (carbohydrate and protein) on activated carbon", *Journal of Hazardous Materials*, 185:996-1004.
- [34] Mavropoulos, E., Kede, M. F., Rocha, N. C., Costa, A. M., Tosi, A., ve Prado da Silva, M. H., (2011). "BSA Attachment on Apatite Surface Modified with Zn²⁺ and Sr²⁺", *Bioceramics Development and Applications*, 1.
- [35] Liang, H. F., ve Wang, Z. C., (2010). "Adsorption of bovine serum albumin on functionalized silica-coated magnetic MnFe₂O₄ nanoparticles", *Materials Chemistry and Physics*, 124:964–969.
- [36] Ravindran, A., Singh, A., Raichur, A. M., Chandrasekaran, N., ve Mukherjee, A., (2010). "Studies on interaction of colloidal Ag nanoparticles with Bovine Serum Albumin (BSA)", *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 76:32-37.
- [37] Sezões, F., Carrott, L. R., Mourão, P. A., ve Carrot, P. J., (2010). "Adsorption of Bovine Serum Albumin onto Mesocellular Silica Foams with Differently Sized Cells and Windows", *Adsorption Science & Technology*, 28:777 - 790.
- [38] Srisuwan, Y., Srihanam, P., ve Baimark, Y., (2009). "Preparation of Silk Fibroin Microspheres and Its Application to Protein Adsorption", *Journal of Macromolecular Science*, 46:521-525.
- [39] Kopac, 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: Physicochemical and Engineering Aspects*, 322: 19 – 28.
- [40] Xu, D. P., Yoon, S. H., Mochida, I., Qiao, W. M., Wang, Y. G., ve Ling, L. C. (2008). "Synthesis of mesoporous carbon and its adsorption property to biomolecules", *Microporous and Mesoporous Materials*, 115:461 – 468.
- [41] Li, W., ve Li, S., (2007). "A study on the adsorption of bovine serum albumin onto electrostatic microspheres: Role of surface groups", *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 294:159 - 164.

- [42] Qiao, S. Z., Zhang, H., Zhou, X., Budihartono, S., ve Lu, G. Q., (2007). "Bovine serum albumin adsorption in large pore amine functionalized mesoporous silica", 5th International Mesoporous Materials, 5-6 August 2006, Shanghai
- [43] Sekaran, G., Mariappan, M., ve Raghavan, K. V., (1996). "Adsorption of Bovine Serum Albumin from Salt Solution onto Activated Carbon", *Bioprocess Engineering*, 15:165-169.
- [44] Sigal, V. L., ve Osadchii, P. V. (1987). "Relationship between the surface properties of activated carbons for hemisorption and their adsorption of globular proteins", *Khimiko-farmatsevticheskii Zhurnal*, 21:647-651.
- [45] Wu, R.-Y. A., (1982). *Adsorption of Proteins onto Activated Carbon and Phenolic Resin*. Doctoral Thesis Graduate School, Purdue University, West Lafayette.
- [46] Jiang, L., Ma, F., ve Liang, G. (2010). "Preparation of Activated Carbon from Corn Cob by NaClO₃ Activation Using Microwave Radiation", *Advanced Management Science*, 9-11 July 2010. Chengdu.
- [47] Aktif Karbon Analizlerinde Kullanılan Cihaz Resimleri, <http://www.mam.gov.tr>, 15 Mart 2013
- [48] Lowry, O. H., Rosebrough, J. N., Farr, A. L., ve Randall, R. J. (1951). "Protein Measurements with The Folin Phenol Reagent", *Journal of Biological Chemistry*, 193:265-275.
- [49] Guo, Y., ve Bustin, R. M., (1998). "FTIR Spectroscopy and Reflectance of Modern Charcoals and Fungal Decayed Woods: Implications for Studies of Inertinite in Coals", *International Journal of Coal Geology*, 37:29-53.
- [50] Shen, W., Li, Z., ve Liu, Y. (2008). "Surface Chemical Functional Groups Modification of Porous Carbon", *Chemical Engineering*, 1:27-40.
- [51] Maarof, H. I., Hameed, B. H., ve Ahmad, A. L, (2004). "Adsorption Isotherms for Phenol Onto Activated Carbon", *Asean Journal of Chemical Engineering*, 4:70-76.
- [52] Brunauer, S., Emmett, P. H., ve Teller, E., (1938). "Adsorption of Gases in Multimolecular Layers", *Journal of the American Chemical Society*, 60:309-319.
- [53] BSA'nın Ürün Spesifikasyonları, <http://www.sigmaaldrich.com>, 29 Mart 2013.
- [54] Ebadi, A., ve Mohammadzadeh, J. S., (2009). "What is the correct form of BET isotherm for modeling liquid phase adsorption?", *Adsorption*, 15:65-73.
- [55] Bilir, M. H. (2009). *Yer Fıstığı Kabuğundan Üretilen Poliüretan Tipi Köpük ile Safranin ve Remazol Brilliant Blue R'nin Adsorpsiyonunun İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Kilis.

TİCARİ AKTİF KARBONUN SPESİFİKASYONLARI

Çizelge EK-A.1’de deneylerde kullanılan ticari aktif karbonun spesifikasyonlarını belirten döküman sunulmuştur.

Çizelge EK-A.1 Ticari aktif karbonun spesifikasyonları

	Data sheet		
ACTICARBONE CPW			
> NATURE OF PRODUCT			
<p>Powder Form. Produced from marine pine wood by chemical activation with phosphoric acid. Superior level of purity. High decolourization power. This product is very suitable for the treatment of beverages. It complies with monograph' specifications of the International Oenological Codex (new oenological carbon monograph 7/2007) and is categorized as a decolourizer.</p>			
> APPLICATIONS			
<p>Decolourization and purification of agro-food products especially Alcoholic and non-alcoholic beverages: wine, beer, fruit juices,...</p>			
> SPECIFICATIONS			
Method	Control	Value	Unit
019060	MOISTURE CONTENT AS PACKED	≤ 12	%
019061	TOTAL ASHES	≤ 4	%
019160	CECA MOLASSE NUMBER	≥ 350	
019271	PH VALUE AS PACKED	3 - 7	
019281	WINE DECOLORIZATION POWER	≥ 85	
019290	GREATER THAN 40 MICRONS	0 - 35	%
> TYPICAL CHARACTERISTICS ⁽¹⁾			
Method	Control	Value	Unit
019021	APPARENT DENSITY	0.28	g/cm ³
019120	CEFC METHYLENE BLUE NUMBER	18	ml/100mg
019130	CECA IODINE NUMBER	135	cg/g
019250	PERMEABILITY	60	mDa
019296	D50 - LASER GRANULOMETRY	26	µm
019297	D10 - LASER GRANULOMETRY	6	µm
PACKAGING			
PALLET 39 BAGS OF 17.5 KG BIG BAG OF 500 KG			
<p>Activated carbon can be stored more than 2 years in its original packing away from wet conditions and from volatile substances.</p> <p>Other packagings are available on demand. A sample of each lot is kept for 12 months starting from the date of production.</p>			
<small>(1) The given values are indicative</small>		<small>REVISION September 2008 issue 3</small>	
		89 Boulevard National - 92257 La Garenne-Colombes Cedex - France www.cecachemicals.com	
		Page 1/3	

BSA ADSORPSİYONLARINA AİT İZOTERM VERİLERİ

Çizelge EK-B.1 ve EK-B.2’de TAK ve MTAK4 örnekleriyle gerçekleştirilen adsorpsiyon deneylerine ait veriler sunulmuştur.

Çizelge EK-B.1 TAK örnekleri ile gerçekleştirilen deneylerin verileri

Deney Koşulları	Adsorplanan BSA Kütlesi (mg)	Adsorban Miktarı (g)	q_e (mg/g)	C_e (mg/mL)	Langmuir İzotermi q_e (mg/g)	Freundlich İzotermi q_e (mg/g)	Temkin İzotermi q_e (mg/g)
pH 4 - 25 °C	7.95	0.10	79.50	841.00	80.36	81.50	81.22
	12.50	0.15	83.33	750.00	77.16	77.43	77.66
	15.69	0.20	78.45	686.22	74.60	74.41	74.91
	16.50	0.25	66.00	670.00	73.91	73.62	74.16
	29.67	0.50	59.34	406.63	58.85	58.88	58.67
pH 5 - 25 °C	9.98	0.10	99.81	800.37	97.44	98.41	79.68
	13.90	0.15	92.67	722.00	96.45	96.70	76.48
	18.40	0.20	92.00	632.00	95.06	94.53	72.35
	24.50	0.25	98.00	510.00	92.48	91.14	65.70
	38.89	0.50	77.78	222.19	78.27	79.12	39.91
pH 7 - 25 °C	6.00	0.10	60.00	880.00	62.63	62.74	82.62
	9.00	0.15	60.00	820.00	61.60	61.53	80.43
	12.90	0.20	64.50	742.00	60.07	59.87	77.33
	15.05	0.25	60.20	699.00	59.12	58.90	75.48
	25.90	0.50	51.80	482.00	52.66	53.19	63.94

Çizelge EK-B.1 Devam

Deney Koşulları	Adsorplanan BSA Kütlesi (mg)	Adsorban Miktarı (g)	q_e (mg/g)	C_e (mg/mL)	Langmuir İzotermi q_e (mg/g)	Freundlich İzotermi q_e (mg/g)	Temkin İzotermi q_e (mg/g)
pH 8 - 25 °C	6.35	0.10	63.50	873.00	63.04	63.18	82.38
	8.50	0.15	56.67	830.00	62.01	62.01	80.81
	12.80	0.20	64.00	744.00	59.72	59.55	77.41
	15.17	0.25	60.68	696.60	58.31	58.12	75.37
	24.96	0.50	49.93	500.72	50.90	51.45	65.13
pH 4 - 30 °C	7.30	0.10	73.00	854.00	78.30	78.82	81.69
	12.15	0.15	81.00	757.00	75.25	75.16	77.95
	14.90	0.20	74.50	702.00	73.28	72.95	75.61
	17.64	0.25	70.55	647.24	71.11	70.65	73.09
	29.17	0.50	58.34	416.64	58.77	59.38	59.42
pH 5 - 30 °C	9.00	0.10	90.00	820.00	99.94	100.81	80.43
	15.40	0.15	102.67	692.00	96.66	96.32	75.17
	19.45	0.20	97.25	611.00	94.05	93.16	71.30
	23.50	0.25	94.00	530.00	90.84	89.67	66.89
	36.17	0.50	72.33	276.70	73.51	75.32	46.72

Çizelge EK-B.1 Devam

Deney Koşulları	Adsorplanan BSA Kütlesi (mg)	Adsorban Miktarı (g)	q_e (mg/g)	C_e (mg/mL)	Langmuir İzotermi q_e (mg/g)	Freundlich İzotermi q_e (mg/g)	Temkin İzotermi q_e (mg/g)
pH 7 - 30 °C	6.03	0.10	60.35	879.31	58.31	58.59	82.60
	8.45	0.15	56.33	831.00	56.98	57.06	80.85
	10.55	0.20	52.75	789.00	55.74	55.69	79.24
	13.90	0.25	55.60	722.00	53.61	53.41	76.48
	23.17	0.50	46.34	536.63	46.39	46.46	67.28
pH 8 - 30 °C	4.50	0.10	45.00	910.00	48.29	48.28	83.66
	7.30	0.15	48.67	854.00	47.49	47.43	81.69
	9.45	0.20	47.25	811.00	46.83	46.76	80.09
	12.30	0.25	49.20	754.00	45.86	45.82	77.83
	20.60	0.50	41.20	588.00	42.36	42.76	70.11
pH 4 - 35 °C	7.45	0.10	74.50	851.00	73.85	74.82	81.58
	11.50	0.15	76.67	770.00	70.84	71.10	78.48
	13.85	0.20	69.25	723.00	68.91	68.86	76.53
	15.34	0.25	61.37	693.15	67.62	67.39	75.22
	27.50	0.50	55.00	450.00	54.27	54.08	61.81

Çizelge EK-B.1 Devam

Deney Koşulları	Adsorplanan BSA Kütlesi (mg)	Adsorban Miktarı (g)	q_e (mg/g)	C_e (mg/mL)	Langmuir İzotermi q_e (mg/g)	Freundlich İzotermi q_e (mg/g)	Temkin İzotermi q_e (mg/g)
pH 5 - 35 °C	11.00	0.10	110.00	780.00	118.99	121.28	78.88
	18.35	0.15	122.33	633.00	117.59	117.77	72.40
	24.00	0.20	120.00	520.00	116.00	114.55	66.30
	28.90	0.25	115.60	422.00	114.01	111.23	59.82
	44.67	0.50	89.34	106.58	89.75	91.64	17.12
pH 7 - 35 °C	7.00	0.10	70.00	860.00	66.42	67.03	81.91
	9.87	0.15	65.77	802.70	64.98	65.20	79.77
	12.00	0.20	60.00	760.00	63.81	63.79	78.07
	15.32	0.25	61.27	693.67	61.81	61.49	75.24
	26.60	0.50	53.19	468.08	52.68	52.52	63.04
pH 8 - 35 °C	4.50	0.10	45.00	910.00	48.94	48.50	83.66
	7.00	0.15	46.67	860.00	47.36	47.15	81.91
	9.25	0.20	46.25	815.00	45.86	45.90	80.24
	13.50	0.25	54.00	730.00	42.85	43.44	76.82
	17.75	0.50	35.50	645.00	39.57	40.84	72.98

Çizelge EK-B.1 Devam

Deney Koşulları	Adsorplanan BSA Kütlesi (mg)	Adsorban Miktarı (g)	q_e (mg/g)	C_e (mg/mL)	Langmuir İzotermi q_e (mg/g)	Freundlich İzotermi q_e (mg/g)	Temkin İzotermi q_e (mg/g)
pH 4 - 40 °C	8.50	0.10	85.00	830.00	80.74	82.21	80.81
	12.50	0.15	83.33	750.00	77.67	78.18	77.66
	14.95	0.20	74.75	701.00	75.58	75.61	75.57
	16.50	0.25	66.00	670.00	74.17	73.93	74.16
	29.67	0.50	59.34	406.63	58.23	57.72	58.67
pH 5 - 40 °C	14.58	0.10	145.84	708.32	128.08	132.64	75.89
	19.67	0.15	131.16	606.53	127.02	129.08	71.07
	23.40	0.20	117.00	532.00	126.00	126.15	67.01
	28.65	0.25	114.60	427.00	124.02	121.38	60.18
	46.08	0.50	92.17	78.34	91.54	90.17	7.57
pH 7 - 40 °C	5.75	0.10	57.50	885.00	63.48	63.50	82.80
	9.65	0.15	64.33	807.00	61.36	61.22	79.94
	12.50	0.20	62.50	750.00	59.65	59.46	77.66
	15.05	0.25	60.20	699.00	57.97	57.82	75.48
	24.50	0.50	49.00	510.00	50.27	51.03	65.70

Çizelge EK-B.1 Devam

Deney Koşulları	Adsorplanan BSA Kütlesi (mg)	Adsorban Miktarı (g)	q_e (mg/g)	C_e (mg/mL)	Langmuir İzotermi q_e (mg/g)	Freundlich İzotermi q_e (mg/g)	Temkin İzotermi q_e (mg/g)
pH 8 - 40 ⁰ C	5.55	0.10	55.50	889.00	54.33	54.43	82.94
	7.45	0.15	49.67	851.00	53.25	53.26	81.58
	10.50	0.20	52.50	790.00	51.41	51.32	79.28
	13.00	0.25	52.00	740.00	49.79	49.67	77.25
	21.43	0.50	42.87	571.33	43.41	43.65	69.22

Çizelge EK-B.2 MTAK4 örnekleri ile gerçekleştirilen deneylerin verileri

Deney Koşulları	Adsorplanan BSA Kütlesi (mg)	Adsorban Miktarı (g)	q_e (mg/g)	C_e (mg/mL)	Langmuir İzotermi q_e (mg/g)	Freundlich İzotermi q_e (mg/g)	Temkin İzotermi q_e (mg/g)
pH 4 - 25 °C	7.90	0.10	79.00	842.00	76.45	77.29	76.98
	11.15	0.15	74.33	777.00	74.10	74.37	74.42
	14.45	0.20	72.25	711.00	71.47	71.26	71.59
	16.50	0.25	66.00	670.00	69.68	69.26	69.70
	28.41	0.50	56.82	431.78	56.24	56.08	55.71
pH 5 - 25 °C	10.55	0.10	105.50	789.00	101.35	102.61	74.91
	13.50	0.15	90.00	730.00	99.89	100.41	72.43
	20.50	0.20	102.50	590.00	95.53	94.61	65.65
	23.50	0.25	94.00	530.00	93.13	91.82	62.24
	36.90	0.50	73.80	261.99	74.35	75.43	39.80
pH 7 - 25 °C	7.65	0.10	76.48	847.04	70.91	71.79	77.17
	10.00	0.15	66.67	800.00	69.53	70.02	75.35
	14.25	0.20	71.25	715.00	66.76	66.67	71.77
	15.00	0.25	60.00	700.00	66.23	66.05	71.10
	27.60	0.50	55.20	448.04	54.55	54.35	56.89

Çizelge EK-B.2 Devam

Deney Koşulları	Adsorplanan BSA Kütlesi (mg)	Adsorban Miktarı (g)	q_e (mg/g)	C_e (mg/mL)	Langmuir İzotermi q_e (mg/g)	Freundlich İzotermi q_e (mg/g)	Temkin İzotermi q_e (mg/g)
pH 8 - 25 °C	5.05	0.10	50.50	899.00	51.55	51.57	79.06
	7.55	0.15	50.33	849.00	50.28	50.22	77.24
	9.50	0.20	47.50	810.00	49.23	49.14	75.74
	12.80	0.25	51.20	744.00	47.33	47.24	73.04
	20.60	0.50	41.20	588.00	42.03	42.36	65.54
pH 4 - 30 °C	9.50	0.10	95.00	810.00	84.35	85.49	75.74
	11.50	0.15	76.67	770.00	82.90	83.59	74.13
	15.10	0.20	75.50	698.00	80.01	80.01	71.01
	19.50	0.25	78.00	610.00	75.94	75.34	66.71
	30.79	0.50	61.57	384.29	61.38	61.31	52.00
pH 5 - 30 °C	10.50	0.10	105.00	790.00	108.78	109.82	74.95
	15.50	0.15	103.33	690.00	106.82	106.67	70.64
	20.95	0.20	104.75	581.00	104.03	102.80	65.16
	27.00	0.25	108.00	460.00	99.70	97.77	57.73
	39.57	0.50	79.14	208.62	80.35	82.49	32.55

Çizelge EK-B.2 Devam

Deney Koşulları	Adsorplanan BSA Kütlesi (mg)	Adsorban Miktarı (g)	q_e (mg/g)	C_e (mg/mL)	Langmuir İzotermi q_e (mg/g)	Freundlich İzotermi q_e (mg/g)	Temkin İzotermi q_e (mg/g)
pH 7 - 30 °C	6.28	0.10	62.78	874.43	64.83	65.03	78.18
	9.80	0.15	65.33	804.00	63.93	63.90	75.51
	12.48	0.20	62.40	750.42	63.16	62.98	73.31
	16.00	0.25	64.00	680.00	61.99	61.70	70.17
	27.82	0.50	55.63	443.66	56.09	56.43	56.58
pH 8 - 30 °C	5.25	0.10	52.50	895.00	53.62	53.70	78.92
	8.00	0.15	53.33	840.00	52.86	52.83	76.90
	10.15	0.20	50.75	797.00	52.21	52.12	75.23
	13.50	0.25	54.00	730.00	51.09	50.95	72.43
	23.11	0.50	46.22	537.83	46.81	47.08	62.71
pH 4 - 35 °C	6.50	0.10	65.00	870.00	66.84	67.42	78.02
	10.50	0.15	70.00	790.00	63.60	63.72	74.95
	12.50	0.20	62.50	750.00	61.85	61.81	73.29
	14.00	0.25	56.00	720.00	60.49	60.35	71.99
	24.70	0.50	49.40	506.00	49.05	49.09	60.76

Çizelge EK-B.2 Devam

Deney Koşulları	Adsorplanan BSA Kütlesi (mg)	Adsorban Miktarı (g)	q_e (mg/g)	C_e (mg/mL)	Langmuir İzotermi q_e (mg/g)	Freundlich İzotermi q_e (mg/g)	Temkin İzotermi q_e (mg/g)
pH 5 - 35 °C	12.00	0.10	120.00	760.00	124.67	127.53	73.72
	19.00	0.15	126.67	620.00	123.58	124.12	67.23
	24.50	0.20	122.50	510.00	122.33	120.93	61.01
	30.50	0.25	122.00	390.00	120.22	116.68	52.47
	46.17	0.50	92.34	76.64	92.49	93.92	0.66
pH 7 - 35 °C	6.50	0.10	65.00	870.00	65.79	65.98	78.02
	9.05	0.15	60.33	819.00	64.34	64.34	76.10
	13.72	0.20	68.58	725.70	61.37	61.18	72.24
	14.95	0.25	59.80	701.00	60.51	60.31	71.14
	25.36	0.50	50.73	492.74	51.51	52.08	59.92
pH 8 - 35 °C	4.50	0.10	45.00	910.00	50.10	50.03	79.45
	7.60	0.15	50.67	848.00	48.49	48.41	77.20
	10.05	0.20	50.25	799.00	47.13	47.08	75.31
	12.00	0.25	48.00	760.00	45.98	45.99	73.72
	19.72	0.50	39.43	605.69	40.80	41.36	66.49

Çizelge EK-B.2 Devam

Deney Koşulları	Adsorplanan BSA Kütlesi (mg)	Adsorban Miktarı (g)	q_e (mg/g)	C_e (mg/mL)	Langmuir İzotermi q_e (mg/g)	Freundlich İzotermi q_e (mg/g)	Temkin İzotermi q_e (mg/g)
pH 4 - 40 °C	9.00	0.10	90.00	820.00	84.82	85.62	76.14
	11.45	0.15	76.33	771.00	82.76	83.09	74.17
	16.00	0.20	80.00	680.00	78.49	78.16	70.17
	19.00	0.25	76.00	620.00	75.31	74.72	67.23
	30.01	0.50	60.02	399.83	60.10	60.34	53.26
pH 5 - 40 °C	14.00	0.10	140.00	720.00	126.67	130.48	71.99
	18.50	0.15	123.33	630.00	125.44	127.15	67.74
	23.00	0.20	115.00	540.00	123.83	123.41	62.83
	29.90	0.25	119.60	402.00	120.14	116.55	53.44
	44.90	0.50	89.80	102.00	89.46	89.37	9.76
pH 7 - 40 °C	7.05	0.10	70.50	859.00	72.93	73.31	77.61
	10.50	0.15	70.00	790.00	70.83	70.84	74.95
	15.05	0.20	75.25	699.00	67.68	67.39	71.05
	16.00	0.25	64.00	680.00	66.95	66.64	70.17
	27.58	0.50	55.16	448.37	55.65	56.22	56.91

Çizelge EK-B.2 Devam

Deney Koşulları	Adsorplanan BSA Kütlesi (mg)	Adsorban Miktarı (g)	q_e (mg/g)	C_e (mg/mL)	Langmuir İzotermi q_e (mg/g)	Freundlich İzotermi q_e (mg/g)	Temkin İzotermi q_e (mg/g)
pH 8 - 40 ⁰ C	4.16	0.10	41.60	916.80	47.31	47.40	79.69
	7.60	0.15	50.67	848.00	46.51	46.55	77.20
	9.90	0.20	49.50	802.00	45.92	45.96	75.43
	11.55	0.25	46.20	769.00	45.47	45.52	74.09
	20.50	0.50	41.00	590.00	42.36	42.82	65.65

ADSORPSİYON KİNETİĞİ DENEYLERİNE AİT VERİLER

Çizelge EK-C.1 ve EK-C.2'de TAK ve MTAK4 örnekleriyle gerçekleştirilen adsorpsiyon kinetiği deneylerine ait veriler sunulmuştur.

Çizelge EK-C.1 TAK ile pH 5 ve farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen kinetik adsorpsiyon çalışmalarına ait deneysel veriler ve model verileri

Deney Koşulları	t (dak)	q_e (mg/g)	Yalancı 1. Derece q_e (mg/g)	Yalancı 2. Derece q_e (mg/g)	Elovich q_e (mg/g)	Partikül İçi Difüzyon q_e (mg/g)
25 °C	0	0.00	0.00	0.00	-1.45	25.01
	5	53.63	45.43	59.16	69.63	43.76
	10	60.47	64.09	68.06	71.00	51.52
	15	62.19	71.75	71.65	71.79	57.48
	20	74.17	74.90	73.59	72.36	62.50
	25	69.03	76.19	74.81	72.80	66.93
	30	87.29	76.73	75.65	73.16	70.93
	35	76.45	76.94	76.25	73.46	74.61
	40	83.87	77.03	76.71	73.72	78.03
	45	78.16	77.07	77.08	73.95	81.25
	50	77.02	77.09	77.37	74.16	84.29
	55	73.60	77.09	77.61	74.35	87.18
	60	77.59	77.09	77.81	74.52	89.95
30 °C	0	0.00	0.00	0.00	-1.59	20.53
	5	45.59	39.99	46.36	63.55	38.65
	10	55.98	57.40	58.04	64.80	46.16
	15	58.86	64.99	63.37	65.53	51.92
	20	65.21	68.29	66.41	66.04	56.78
	25	75.60	69.73	68.39	66.45	61.05
	30	61.75	70.35	69.77	66.77	64.92
	35	68.10	70.63	70.79	67.05	68.48
	40	67.52	70.75	71.57	67.29	71.79
	45	76.18	70.80	72.20	67.51	74.90
	50	73.29	70.82	72.70	67.70	77.84
	55	71.56	70.83	73.12	67.87	80.64
	60	77.33	70.83	73.48	68.02	83.31

Çizelge EK-C.1 Devam

Deney Koşulları	t (dak)	q_e (mg/g)	Yalancı 1. Derece q_e (mg/g)	Yalancı 2. Derece q_e (mg/g)	Elovich q_e (mg/g)	Partikül İçi Difüzyon q_e (mg/g)
35 °C	0	0.00	0.00	0.00	-1.13	30.45
	5	65.17	61.01	62.52	77.24	50.05
	10	73.05	77.30	73.73	78.74	58.17
	15	74.10	81.65	78.41	79.62	64.40
	20	79.88	82.81	80.98	80.25	69.65
	25	80.93	83.12	82.61	80.73	74.27
	30	83.56	83.20	83.73	81.13	78.46
	35	83.04	83.22	84.55	81.46	82.30
	40	83.04	83.23	85.18	81.75	85.88
	45	83.04	83.23	85.67	82.01	89.25
	50	84.09	83.23	86.07	82.23	92.43
	55	89.87	83.23	86.40	82.44	95.45
	60	89.34	83.23	86.67	82.63	98.34
40 °C	0	0.00	0.00	0.00	-1.48	28.83
	5	63.09	57.85	60.49	79.03	49.91
	10	71.87	76.79	73.70	80.57	58.64
	15	80.10	83.00	79.49	81.47	65.34
	20	80.10	85.03	82.74	82.11	70.99
	25	80.65	85.69	84.82	82.61	75.96
	30	81.74	85.91	86.27	83.02	80.46
	35	85.03	85.98	87.33	83.36	84.60
	40	85.58	86.01	88.14	83.66	88.45
	45	88.33	86.01	88.79	83.92	92.07
	50	90.52	86.02	89.31	84.15	95.49
	55	92.17	86.02	89.74	84.37	98.74
	60	92.17	86.02	90.10	84.56	101.85

Çizelge EK-C.2 MTAK4 ile pH 5 ve farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen kinetik adsorpsiyon çalışmalarına ait deneysel veriler ve model verileri

Deney Koşulları	t (dak)	q_e (mg/g)	Yalancı 1. Derece q_e (mg/g)	Yalancı 2. Derece q_e (mg/g)	Elovich q_e (mg/g)	Partikül İçi Difüzyon q_e (mg/g)
25 °C	0	0.00	0.00	0.00	-0.91	20.21
	5	36.82	35.59	45.73	51.78	33.44
	10	44.38	48.95	51.28	52.79	38.92
	15	56.99	53.97	53.44	53.38	43.12
	20	58.50	55.85	54.59	53.80	46.66
	25	62.03	56.56	55.31	54.13	49.79
	30	55.98	56.82	55.79	54.39	52.61
	35	51.44	56.92	56.15	54.62	55.20
	40	53.46	56.96	56.41	54.81	57.62
	45	56.49	56.97	56.62	54.98	59.89
	50	60.02	56.98	56.79	55.14	62.03
	55	54.47	56.98	56.93	55.28	64.07
	60	59.01	56.98	57.05	55.40	66.03
30 °C	0	0.00	0.00	0.00	-1.46	22.79
	5	49.93	44.42	49.91	66.23	41.06
	10	59.49	61.82	61.36	67.52	48.63
	15	62.14	68.64	66.44	68.28	54.44
	20	67.98	71.31	69.31	68.82	59.33
	25	77.54	72.36	71.15	69.24	63.65
	30	64.80	72.77	72.44	69.58	67.54
	35	70.64	72.93	73.38	69.87	71.13
	40	70.11	72.99	74.11	70.12	74.47
	45	78.08	73.02	74.68	70.34	77.60
	50	77.01	73.03	75.15	70.54	80.57
	55	73.83	73.03	75.54	70.72	83.39
	60	79.14	73.03	75.86	70.88	86.08

Çizelge EK-C.2 Devam

Deney Koşulları	t (dak)	q_e (mg/g)	Yalancı 1. Derece q_e (mg/g)	Yalancı 2. Derece q_e (mg/g)	Elovich q_e (mg/g)	Partikül İçi Difüzyon q_e (mg/g)
35 °C	0	0.00	0.00	0.00	-1.58	27.61
	5	62.33	54.11	60.10	77.89	48.74
	10	67.52	73.93	72.99	79.41	57.49
	15	76.18	81.19	78.61	80.30	64.21
	20	78.49	83.85	81.75	80.94	69.87
	25	79.64	84.82	83.77	81.43	74.86
	30	83.10	85.18	85.16	81.83	79.37
	35	90.61	85.31	86.19	82.17	83.52
	40	84.83	85.36	86.98	82.46	87.38
	45	87.14	85.37	87.60	82.72	91.01
	50	86.57	85.38	88.10	82.95	94.44
	55	88.30	85.38	88.52	83.16	97.70
	60	92.34	85.38	88.87	83.35	100.82
40 °C	0	0.00	0.00	0.00	-1.47	29.54
	5	66.20	60.05	61.73	80.55	50.96
	10	73.80	78.85	75.16	82.12	59.83
	15	78.14	84.74	81.04	83.04	66.63
	20	79.77	86.59	84.34	83.69	72.37
	25	83.57	87.16	86.45	84.20	77.43
	30	85.20	87.35	87.91	84.61	82.00
	35	86.28	87.40	88.99	84.96	86.20
	40	89.00	87.42	89.82	85.26	90.11
	45	90.08	87.43	90.47	85.53	93.79
	50	91.17	87.43	91.00	85.77	97.26
	55	92.25	87.43	91.44	85.99	100.57
	60	94.96	87.43	91.81	86.18	103.73

Çizelge EK-C.3 TAK ile 40 °C ve farklı pH'larda gerçekleştirilen kinetik adsorpsiyon çalışmalarına ait deneysel veriler ve model verileri

Deney Koşulları	t (dak)	q_e (mg/g)	Yalancı 1. Derece q_e (mg/g)	Yalancı 2. Derece q_e (mg/g)	Elovich q_e (mg/g)	Partikül İçi Difüzyon q_e (mg/g)
pH 4	0	0.00	0.00	0.00	-1.71	13.01
	5	30.27	25.87	34.97	49.90	28.62
	10	41.96	40.19	44.76	50.89	35.09
	15	47.27	48.12	49.38	51.47	40.05
	20	49.93	52.50	52.06	51.88	44.23
	25	46.74	54.93	53.81	52.20	47.91
	30	48.86	56.28	55.04	52.46	51.24
	35	64.80	57.02	55.96	52.68	54.31
	40	57.89	57.43	56.67	52.87	57.16
	45	66.39	57.66	57.23	53.04	59.83
	50	61.61	57.79	57.69	53.19	62.37
	55	51.52	57.86	58.07	53.33	64.78
	60	58.42	57.89	58.40	53.45	67.08
	pH 4.5	0	0.00	0.00	0.00	-1.50
5		53.29	45.64	51.05	68.06	42.10
10		60.02	63.51	62.95	69.39	49.91
15		62.09	70.51	68.26	70.17	55.90
20		71.40	73.24	71.26	70.73	60.96
25		68.81	74.32	73.19	71.16	65.41
30		73.47	74.74	74.54	71.51	69.43
35		80.71	74.90	75.53	71.80	73.13
40		71.92	74.97	76.29	72.06	76.58
45		72.43	74.99	76.90	72.29	79.81
50		78.13	75.00	77.39	72.49	82.87
55		82.78	75.00	77.79	72.67	85.78
60		78.64	75.01	78.13	72.84	88.56

Çizelge EK-C.3 Devam

Deney Koşulları	t (dak)	q_e (mg/g)	Yalancı 1. Derece q_e (mg/g)	Yalancı 2. Derece q_e (mg/g)	Elovich q_e (mg/g)	Partikül İçi Difüzyon q_e (mg/g)
pH 5	0	0.00	0.00	0.00	-1.48	28.83
	5	63.09	57.85	60.49	79.03	49.91
	10	71.87	76.79	73.70	80.57	58.64
	15	80.10	83.00	79.49	81.47	65.34
	20	80.10	85.03	82.74	82.11	70.99
	25	80.65	85.69	84.82	82.61	75.96
	30	81.74	85.91	86.27	83.02	80.46
	35	85.03	85.98	87.33	83.36	84.60
	40	85.58	86.01	88.14	83.66	88.45
	45	88.33	86.01	88.79	83.92	92.07
	50	90.52	86.02	89.31	84.15	95.49
	55	92.17	86.02	89.74	84.37	98.74
	60	92.17	86.02	90.10	84.56	101.85
pH 5.5	0	0.00	0.00	0.00	-1.03	27.15
	5	61.43	56.73	53.18	69.87	45.06
	10	62.07	70.56	64.62	71.23	52.47
	15	73.59	73.93	69.61	72.03	58.16
	20	67.19	74.75	72.41	72.59	62.96
	25	71.67	74.95	74.19	73.03	67.19
	30	74.23	75.00	75.44	73.39	71.01
	35	77.43	75.01	76.35	73.69	74.52
	40	77.43	75.02	77.05	73.95	77.79
	45	62.71	75.02	77.60	74.18	80.86
	50	81.26	75.02	78.05	74.39	83.77
	55	82.54	75.02	78.42	74.57	86.53
	60	85.10	75.02	78.73	74.75	89.17

Çizelge EK-C.3 Devam

Deney Koşulları	t (dak)	q_e (mg/g)	Yalancı 1. Derece q_e (mg/g)	Yalancı 2. Derece q_e (mg/g)	Elovich q_e (mg/g)	Partikül İçi Difüzyon q_e (mg/g)
pH 6	0	0.00	0.00	0.00	-1.48	17.36
	5	41.24	32.25	41.70	55.43	33.41
	10	44.50	47.89	51.46	56.52	40.06
	15	48.30	55.48	55.81	57.16	45.16
	20	57.52	59.16	58.28	57.61	49.46
	25	58.61	60.94	59.86	57.96	53.25
	30	65.66	61.81	60.97	58.25	56.68
	35	62.41	62.23	61.79	58.49	59.83
	40	65.66	62.43	62.41	58.70	62.76
	45	59.69	62.53	62.91	58.89	65.51
	50	64.58	62.58	63.31	59.05	68.12
	55	61.32	62.60	63.64	59.20	70.59
	60	65.66	62.61	63.92	59.34	72.96
pH 7	0	0.00	0.00	0.00	-0.99	13.01
	5	23.45	23.30	34.18	38.55	23.76
	10	31.87	34.10	38.19	39.31	28.21
	15	43.30	39.10	39.75	39.76	31.63
	20	39.69	41.42	40.57	40.07	34.51
	25	42.10	42.50	41.09	40.31	37.05
	30	40.90	43.00	41.43	40.51	39.34
	35	43.90	43.23	41.69	40.68	41.45
	40	46.31	43.33	41.88	40.83	43.41
	45	54.13	43.38	42.03	40.96	45.26
	50	34.88	43.41	42.15	41.07	47.00
	55	37.89	43.42	42.25	41.18	48.66
	60	45.10	43.42	42.33	41.27	50.25

Çizelge EK-C.3 Devam

Deney Koşulları	t (dak)	q_e (mg/g)	Yalancı 1. Derece q_e (mg/g)	Yalancı 2. Derece q_e (mg/g)	Elovich q_e (mg/g)	Partikül İçi Difüzyon q_e (mg/g)
pH 8	0	0.00	0.00	0.00	-0.83	10.02
	5	24.86	21.08	21.67	32.47	19.49
	10	30.01	29.80	28.34	33.11	23.41
	15	31.29	33.41	31.59	33.48	26.42
	20	25.72	34.90	33.51	33.75	28.96
	25	33.44	35.52	34.78	33.95	31.19
	30	34.72	35.77	35.68	34.12	33.22
	35	38.58	35.88	36.35	34.26	35.07
	40	36.87	35.92	36.87	34.39	36.80
	45	35.15	35.94	37.28	34.50	38.43
	50	38.15	35.95	37.62	34.59	39.97
	55	35.58	35.95	37.91	34.68	41.43
	60	42.87	35.95	38.14	34.76	42.82

Çizelge EK-C.4 MTAK4 ile 40 °C ve farklı pH'larda gerçekleştirilen kinetik adsorpsiyon çalışmalarına ait deneysel veriler ve model verileri

Deney Koşulları	t (dak)	q _e (mg/g)	Yalancı 1. Derece q _e (mg/g)	Yalancı 2. Derece q _e (mg/g)	Elovich q _e (mg/g)	Partikül İçi Difüzyon q _e (mg/g)
pH 4	0	0.00	0.00	0.00	-0.62	21.78
	5	45.01	41.93	45.97	52.08	34.44
	10	47.60	52.46	51.53	53.09	39.69
	15	52.26	55.10	53.69	53.68	43.71
	20	53.29	55.76	54.84	54.10	47.10
	25	58.46	55.93	55.55	54.42	50.09
	30	56.40	55.97	56.04	54.69	52.79
	35	55.88	55.98	56.39	54.92	55.28
	40	57.95	55.98	56.66	55.11	57.59
	45	53.81	55.98	56.86	55.28	59.76
	50	57.43	55.98	57.03	55.44	61.82
	55	55.36	55.98	57.17	55.57	63.77
	60	60.02	55.98	57.29	55.70	65.64
pH 4.5	0	0.00	0.00	0.00	-0.73	31.37
	5	65.66	61.87	66.06	72.85	48.68
	10	67.51	74.55	72.84	74.26	55.85
	15	69.82	77.14	75.43	75.08	61.35
	20	78.60	77.67	76.79	75.67	65.99
	25	75.83	77.78	77.63	76.12	70.08
	30	81.38	77.80	78.20	76.49	73.77
	35	78.60	77.81	78.61	76.81	77.17
	40	79.06	77.81	78.92	77.08	80.33
	45	78.60	77.81	79.17	77.32	83.30
	50	80.45	77.81	79.37	77.53	86.11
	55	79.06	77.81	79.53	77.73	88.78
	60	79.53	77.81	79.66	77.90	91.33

Çizelge EK-C.4 Devam

Deney Koşulları	t (dak)	q _e (mg/g)	Yalancı 1. Derece q _e (mg/g)	Yalancı 2. Derece q _e (mg/g)	Elovich q _e (mg/g)	Partikül İçi Difüzyon q _e (mg/g)
pH 5	0	0.00	0.00	0.00	-1.47	29.54
	5	66.20	60.05	61.73	80.55	50.96
	10	73.80	78.85	75.16	82.12	59.83
	15	78.14	84.74	81.04	83.04	66.63
	20	79.77	86.59	84.34	83.69	72.37
	25	83.57	87.16	86.45	84.20	77.43
	30	85.20	87.35	87.91	84.61	82.00
	35	86.28	87.40	88.99	84.96	86.20
	40	89.00	87.42	89.82	85.26	90.11
	45	90.08	87.43	90.47	85.53	93.79
	50	91.17	87.43	91.00	85.77	97.26
	55	92.25	87.43	91.44	85.99	100.57
	60	94.96	87.43	91.81	86.18	103.73
pH 5.5	0	0.00	0.00	0.00	-1.47	25.99
	5	58.38	50.76	57.89	72.84	45.68
	10	64.81	69.23	69.13	74.27	53.83
	15	70.06	75.96	73.91	75.10	60.09
	20	67.14	78.40	76.55	75.69	65.37
	25	81.74	79.30	78.24	76.15	70.01
	30	76.48	79.62	79.40	76.52	74.21
	35	77.65	79.74	80.25	76.84	78.08
	40	82.32	79.78	80.90	77.12	81.67
	45	91.66	79.80	81.42	77.36	85.05
	50	82.32	79.80	81.83	77.57	88.25
	55	79.99	79.80	82.17	77.77	91.28
	60	81.15	79.80	82.46	77.95	94.19

Çizelge EK-C.4 Devam

Deney Koşulları	t (dak)	q_e (mg/g)	Yalancı 1. Derece q_e (mg/g)	Yalancı 2. Derece q_e (mg/g)	Elovich q_e (mg/g)	Partikül İçi Difüzyon q_e (mg/g)
pH 6	0	0.00	0.00	0.00	-2.11	13.28
	5	43.46	26.45	35.50	57.65	32.09
	10	37.25	42.73	48.50	58.80	39.88
	15	52.77	52.76	55.24	59.47	45.86
	20	52.26	58.93	59.36	59.95	50.90
	25	57.43	62.73	62.15	60.32	55.34
	30	58.98	65.07	64.15	60.62	59.35
	35	71.40	66.51	65.67	60.87	63.04
	40	63.64	67.40	66.85	61.09	66.48
	45	76.57	67.94	67.80	61.29	69.71
	50	73.99	68.28	68.58	61.46	72.76
	55	66.23	68.49	69.23	61.62	75.66
	60	68.81	68.61	69.79	61.76	78.44
pH 7	0	0.00	0.00	0.00	-1.50	10.70
	5	21.51	23.78	24.29	42.59	24.20
	10	45.23	35.97	33.96	43.44	29.79
	15	30.34	42.20	39.15	43.93	34.08
	20	57.92	45.40	42.40	44.28	37.70
	25	38.61	47.04	44.61	44.55	40.89
	30	40.27	47.87	46.22	44.78	43.77
	35	53.51	48.30	47.45	44.97	46.42
	40	35.86	48.52	48.41	45.13	48.89
	45	47.99	48.64	49.18	45.27	51.20
	50	49.65	48.69	49.82	45.40	53.39
	55	57.92	48.72	50.36	45.52	55.48
	60	55.16	48.74	50.81	45.62	57.47

Çizelge EK-C.4 Devam

Deney Koşulları	t (dak)	q_e (mg/g)	Yalancı 1. Derece q_e (mg/g)	Yalancı 2. Derece q_e (mg/g)	Elovich q_e (mg/g)	Partikül İçi Difüzyon q_e (mg/g)
pH 8	0	0.00	0.00	0.00	-0.60	9.12
	5	21.34	17.03	21.15	26.65	16.49
	10	21.34	24.25	25.24	27.17	19.55
	15	23.48	27.32	26.98	27.47	21.89
	20	31.16	28.62	27.94	27.69	23.87
	25	26.04	29.17	28.55	27.86	25.61
	30	28.60	29.41	28.97	28.00	27.18
	35	29.03	29.51	29.28	28.11	28.63
	40	29.45	29.55	29.51	28.21	29.97
	45	35.00	29.57	29.70	28.30	31.24
	50	32.01	29.58	29.85	28.38	32.44
	55	26.46	29.58	29.98	28.45	33.57
	60	30.31	29.58	30.08	28.52	34.66

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mehmet Berat TAŞKIN
Doğum Tarihi ve Yeri : 13.04.1987
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : berattaskin@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Kimya Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	-
Lisans	Kimya Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2009
Lise	Fen Bilimleri	Zonguldak Atatürk Anadolu Lisesi	2005