

**T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI**

**BAZI BİTKİSEL ATIKLARDAN AKTİF KARBON
ELDESİ VE YÜZEY ÖZELLİKLERİ**

DOKTORA TEZİ

Aydın TÜRKYILMAZ

Balıkesir, Aralık -2011

T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI

**BAZI BİTKİSEL ATIKLARDAN AKTİF KARBON
ELDESİ VE YÜZEY ÖZELLİKLERİ**

DOKTORA TEZİ

Aydın TÜRKYILMAZ

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Mehmet DOĞAN

Sınav Tarihi : 29/12/2011

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Mahir ALKAN (BAÜ)

Prof. Dr. Mehmet DOĞAN (BAÜ)

Doç. Dr. Mustafa İMAMOĞLU (SAÜ)

Doç. Dr. Özkan DEMİRBAŞ(BAÜ)

Doç.Dr. İlkay ŞİŞMAN (SAÜ)

Balıkesir, Aralık -2011

Enstitü Yönetim Kurulunun tarih sayılı
oturumunun nolu kararı ile Mezun
olmuştur.

“Bu çalışma Balıkesir Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından BAP 2008/28 kodlu proje ile desteklenmiştir.”

ÖZET

BAZI BİTKİSEL ATIKLARDAN AKTİF KARBON ELDESİ VE YÜZEY ÖZELLİKLERİ

Aydın TÜRKYILMAZ

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı

(Doktora Tezi/Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet DOĞAN)

Balıkesir, 2011

Bu çalışma iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, bitkisel materyallerden kimyasal metod ile aktif karbonlar sentezlenmiş, ikinci aşama da ise sentezlenen aktif karbonların yüzey özellikleri incelenmiştir. Aktif karbonlar, Antep fıstığı kabuğu, nar kabuğu ve zeytin çekirdeğinin H_3PO_4 , H_2SO_4 ve $ZnCl_2$ ile aktivasyonu ile sentezlenmiştir. Sentezlenen aktif karbonların en yüksek yüzey alanları için optimum H_3PO_4 , H_2SO_4 ve $ZnCl_2$ konsantrasyonları BET yüzey alanı ölçümleri ile belirlendi. Belirlenen optimum H_3PO_4 , H_2SO_4 ve $ZnCl_2$ konsantrasyonları ile hazırlanan aktif karbonların optimum karbonizasyon sıcaklığının belirlenmesi için de aynı metotla farklı sıcaklıklarda (300, 400, 500, 600, 700, 800 °C'de) BET yüzey alanı ölçülerek optimum karbonizasyon sıcaklıkları belirlendi. Aktif karbonlar, BET yüzey alanı, gözenek hacimleri, gözenek boyut dağılımları ölçülerek karakterize edildi. Fizikokimyasal özellikleri ise, FTIR-ATR ve SEM fotoğrafları ile belirlendi. Aktif karbonların elektrokimyasal özelliklerinin daha iyi anlaşılabilmesi için, pH'nın bir fonksiyonu olarak zeta potansiyeli ölçüldü. Metilen mavisinin sulu çözeltilerden aktif karbon yüzeyine adsorpsiyonunun pH, iyon şiddeti ve sıcaklığa bağlılığı incelenmiştir ve araştırmamız göstermiştir ki, artan sıcaklık, pH ve iyon şiddeti ile aktif karbon yüzeyine metilen mavisi adsorpsiyonu artmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Aktif karbon/ Antep fıstığı kabuğu/ nar kabuğu/ zeytin çekirdeği/ zeta potansiyeli/ adsorpsiyon.

ABSTRACT

PREPARATION OF ACTIVATED CARBONS FROM SOME PLANT WASTES AND THEIR SURFACE PROPERTIES

Aydın TÜRKYILMAZ

Balıkesir University, Institute of Science, Department of Chemistry

(PhD Thesis/Supervisor: Prof. Dr. Mehmet DOĞAN)

Balıkesir, 2011

This study was carried out in two stages. In the first stage, the activated carbons from plant materials were synthesized by chemical method and then investigated their surface properties. The activated carbons were prepared from pomegranate peel, olive seed and pistachio shell with H_3PO_4 , H_2SO_4 and $ZnCl_2$ activation. The optimum H_3PO_4 , H_2SO_4 and $ZnCl_2$ concentrations for the activated carbons having the highest surface area were determined from BET surface area measurements and then repeated the same experiments for optimum activation temperatures at 300, 400, 500, 600, 700 and 800 °C. The characterization of activated carbons synthesized was made using BET surface area, FTIR-ATR and SEM images; and their electrokinetic properties by zeta metre instrument. Zeta potential of activated carbon suspensions were measured as a function of pH for better understanding of the electrical properties of activated carbon. The adsorption of methylene blue on activated carbons from aqueous solutions were studied in different pHs, ion strengths and temperatures and, from the results, we found that methylene blue adsorption increased with increase in pH, temperature and ion strength.

KEYWORDS: Activated carbon/ pomegranate peel/ olive seed and pistachio shell/ zeta potential/ adsorption.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET, ANAHTAR SÖZCÜKLER	i
ABSTRACT, KEY WORDS	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SEMBOL LİSTESİ	ix
ŞEKİL LİSTESİ	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xviii
ÖNSÖZ	xxii
1. GİRİŞ	1
1.1 Aktif Karbon	2
1.2 Aktif Karbon Üretiminde Kullanılan Ham Materyaller	5
1.3. Aktif Karbon Türleri	7
1.3.1 Toz Aktif Karbonlar	7
1.3.2 Granüler	7
1.3.3 Pellet	7
1.4. Aktif Karbonların Uygulama Alanları	8
1.4.1 Gaz Fazı Uygulamaları	8
1.4.2 Sıvı Faz Uygulamaları	9
1.5 Aktif Karbon Üretimi	9
1.5.1 Fiziksel Aktivasyon	10
1.5.2 Kimyasal Aktivasyon	10
1.5.2.1 Kimyasal Aktivasyon İşlemini Etkileyen Faktörler	11
1.5.2.2 Karbonizasyon	12
1.6 Aktif Karbonların Karakteristik Özellikleri	12
1.6.1 Yüzey Alanı	12
1.6.2 Por boyutu ve Hacmi	12
1.7 Zeta Potansiyeli	13
1.7.1 Potansiyel Tayin Eden İyonlar	14

1.7.2 Sıfır Yük Noktası	15
1.8 Elektriksel Çift Tabaka	15
1.9 Adsorpsiyon	17
1.9.1 Fiziksel ve Kimyasal Adsorpsiyon	17
1.10 Adsorpsiyon İzotermi	18
1.10.1 Freundlich İzotermi	19
1.10.2 Langmuir İzotermi	19
1.11 Literatür Özeti	22
1.12 Çalışmanın Amacı	24
2. MATERYAL VE METOT	27
2.1 Materyal	27
2.2 Metod	27
2.2.1 Aktif Karbon Sentezi	27
2.2.2 Örneklerin Karakterizasyon	29
2.2.2.1 BET Yüzey Alanı ve Gözenek Boyutu Dağılımı	29
2.2.2.2 Elementel Analiz	30
2.2.2.3 Yoğunluk	30
2.2.2.4 FTIR-ATR Analizi	30
2.2.2.5 SEM	31
2.2.3 Elektrokinetik Ölçümler	31
2.2.4 Adsorpsiyon Deneyleri	31
3. BULGULAR	33
3.1 Sentezlenen Aktif Karbonların Karakterizasyonu	33
3.1.1 BET Yüzey Alanı	33
3.1.1.1 Antep Fıstığı Kabuğu	33
3.1.1.1.1 H ₂ SO ₄ ile Aktifleştirilmiş Antep Fıstığı Kabuğu	36
3.1.1.1.2 H ₃ PO ₄ ile Aktifleştirilmiş Antep Fıstığı Kabuğu	36
3.1.1.1.3 ZnCl ₂ ile Aktifleştirilmiş Antep Fıstığı Kabuğu	38
3.1.1.2 Nar Kabuğu	40
3.1.1.2.1 H ₂ SO ₄ ile Aktifleştirilmiş Nar Kabuğu	40

3.1.1.2.2 H ₃ PO ₄ ile Aktifleştirilmiş Nar Kabuğu	42
3.1.1.2.3 ZnCl ₂ ile Aktifleştirilmiş Nar Kabuğu	44
3.1.1.3 Zeytin Çekirdeği	46
3.1.1.3.1 H ₂ SO ₄ ile Aktifleştirilmiş Zeytin Çekirdeği	46
3.1.1.3.2 H ₃ PO ₄ ile Aktifleştirilmiş Zeytin Çekirdeği	48
3.1.1.3.3 ZnCl ₂ ile Aktifleştirilmiş Zeytin Çekirdeği	50
3.1.2 Gözenek Boyutu Dağılımı	52
3.1.3 Yoğunluk	53
3.1.4 Elementel Analiz	54
3.1.5 FTIR-ATR Analizi	54
3.1.5.1 Antep Fıstığı Kabuğu	54
3.1.5.2 Nar Kabuğu	55
3.1.5.3 Zeytin Çekirdeği	56
3.1.6 SEM Analizleri	58
3.1.6.1 Antep Fıstığı Kabuğu	58
3.1.6.2 Nar Kabuğu	60
3.1.6.3 Zeytin Çekirdeği	63
3.2 Elektrokinetik Ölçümler	65
3.2.1 Antep Fıstığı Kabuğu	65
3.2.1.1 Katı/Sıvı Oranının Etkisi	65
3.2.1.2 Denge pH'sının Etkisi	67
3.2.2 Nar Kabuğu	68
3.2.2.1 Denge pH'sının Etkisi	68
3.2.3 Zeytin Çekirdeği	70
3.2.3.1 Denge pH'sının Etkisi	70
3.3 Aktif Karbon Yüzeyinde Metilen Mavisi Adsorpsiyonu	72
3.3.1 Antep Fıstığı Kabuğu	72
3.3.1.1 H ₂ SO ₄ ile Aktifleştirilmiş Antep Fıstığı Kabuğu	72
3.3.1.1.1 Sıcaklığın Etkisi	72
3.3.1.1.2 pH'nın Etkisi	75
3.3.1.1.3 İyon Şiddetinin Etkisi	77
3.3.1.2 H ₃ PO ₄ ile Aktifleştirilmiş Antep Fıstığı Kabuğu	79
3.3.1.2.1 Sıcaklığın Etkisi	79

3.3.1.2.2 pH'nın Etkisi	81
3.3.1.2.3 İyon Şiddetinin Etkisi	83
3.3.1.3 ZnCl ₂ ile Aktifleştirilmiş Antep Fıstığı Kabuğu	85
3.3.1.3.1 Sıcaklığın Etkisi	85
3.3.1.3.2 pH'nın Etkisi	87
3.3.1.3.3 İyon Şiddetinin Etkisi	89
3.3.2 Nar Kabuğu	91
3.3.2.1 H ₂ SO ₄ ile Aktifleştirilmiş Nar Kabuğu	91
3.3.2.1.1 Sıcaklığın Etkisi	91
3.3.2.1.2 pH'nın Etkisi	93
3.3.2.1.3 İyon Şiddetinin Etkisi	95
3.3.2.2 H ₃ PO ₄ ile Aktifleştirilmiş Nar Kabuğu	97
3.3.2.2.1 Sıcaklığın Etkisi	97
3.3.2.2.2 pH'nın Etkisi	99
3.3.2.2.3 İyon Şiddetinin Etkisi	101
3.3.2.3 ZnCl ₂ ile Aktifleştirilmiş Nar Kabuğu	103
3.3.2.3.1 Sıcaklığın Etkisi	103
3.3.2.3.2 pH'nın Etkisi	105
3.3.2.3.3 İyon Şiddetinin Etkisi	107
3.3.3 Zeytin Çekirdeği	109
3.3.3.1 H ₂ SO ₄ ile Aktifleştirilmiş Zeytin Çekirdeği	109
3.3.3.1.1 Sıcaklığın Etkisi	109
3.3.3.1.2 pH'nın Etkisi	111
3.3.3.1.3 İyon Şiddetinin Etkisi	113
3.3.3.2 H ₃ PO ₄ ile Aktifleştirilmiş Zeytin Çekirdeği	115
3.3.3.2.1 Sıcaklığın Etkisi	115
3.3.3.2.2 pH'nın Etkisi	117
3.3.3.2.3 İyon Şiddetinin Etkisi	119
3.3.3.3 ZnCl ₂ ile Aktifleştirilmiş Zeytin Çekirdeği	121
3.3.3.3.1 Sıcaklığın Etkisi	121
3.3.3.3.2 pH'nın Etkisi	123
3.3.3.3.3 İyon Şiddetinin Etkisi	125

4. SONUÇ VE TARTIŞMA	127
4.1 Bitkisel Materyallerden Aktif Karbon Sentezi ve Karakterizasyonu	127
4.1.1 Ham ve Aktive Edilen Bitkisel Materyallerin Yüzey Alanları	127
4.1.1.1 Antep Fıstığı Kabuğunun Yüzey Alanları	127
4.1.1.1.1 H ₂ SO ₄ ile aktifleştirilmiş Antep Fıstığı Kabuğu	127
4.1.1.1.2 H ₃ PO ₄ ile aktifleştirilmiş Antep Fıstığı Kabuğu	128
4.1.1.1.3 ZnCl ₂ ile aktifleştirilmiş Antep Fıstığı Kabuğu	129
4.1.1.2 Nar Kabuğu	130
4.1.1.2.1 H ₂ SO ₄ ile Aktifleştirilmiş Nar Kabuğu	130
4.1.1.2.2 H ₃ PO ₄ ile Aktifleştirilmiş Nar Kabuğu	131
4.1.1.2.3 ZnCl ₂ ile Aktifleştirilmiş Nar Kabuğu	131
4.1.1.3 Zeytin Çekirdeği	131
4.1.1.3.1 H ₂ SO ₄ ile Aktifleştirilmiş Zeytin Çekirdeği	131
4.1.1.3.2 H ₃ PO ₄ ile Aktifleştirilmiş Zeytin Çekirdeği	132
4.1.1.3.3 ZnCl ₂ ile Aktifleştirilmiş Zeytin Çekirdeği	132
4.1.2 Gözenek boyut dağılımı	135
4.1.4 Yoğunluk	135
4.1.4 Elementel Analiz	135
4.1.5 FTIR-ATR Analizi	136
4.1.5.1 Antep Fıstığı Kabuğunun FTIR-ATR Analizleri	136
4.1.5.2 Nar Kabuğu	137
4.1.5.3 Zeytin Çekirdeği	138
4.1.6 SEM Analizleri	138
4.1.6.1 Antep fıstığı kabuğu	138
4.1.6.1.1 Antep fıstığı kabuğunun SEM Fotoğrafları	138
4.1.6.1.2 Nar kabuğunun SEM Fotoğrafları	139
4.1.6.1.3 Zeytin çekirdeğinin SEM Fotoğrafları	139
4.2 Elektrokinetik Özellikler	140
4.2.1 Antep Fıstığı Kabuğu	140
4.2.1.1 Katı/Sıvı Oranının Etkisi	140
4.2.1.2 Denge pH'sının Etkisi	140
4.2.2 Nar Kabuğu	141
4.2.2.1 Denge pH'sının Etkisi	141

4.2.3 Zeytin Çekirdeği	142
4.2.3.1 Denge pH'sının Etkisi	142
4.3 Sentezlenen Aktif Karbonların Yüzeyinde Metilen Mavisi Adsorpsiyonu	143
4.3.1 Antep Fıstığı Kabuğu	143
4.3.1.1.1 Sıcaklığın Etkisi	143
4.3.1.1.2 pH'nın Etkisi	143
4.3.1.1.3 İyon Şiddetinin Etkisi	144
4.3.3 Nar Kabuğu	145
4.3.3.1.1 Sıcaklığın Etkisi	145
4.3.3.1.2 pH'nın Etkisi	146
4.3.3.1.3 İyon Şiddetinin Etkisi	146
4.3.3 Zeytin Çekirdeği	147
4.3.3.1.1 Sıcaklığın Etkisi	147
4.3.3.1.2 pH'nın Etkisi	147
4.3.3.1.3 İyon Şiddetinin Etkisi	148
4.3 Adsorpsiyon İzotermi	148
4.3.1 Freundlich İzotermi	149
4.3.2 Langmuir İzotermi	149
4.4 Adsorpsiyon Isısı	169
4.6 Sonuçlar	175
KAYNAKLAR	177

SEMBOL LİSTESİ

<u>Simge</u>	<u>Tanımı</u>	<u>Birimi</u>
<u>Adı</u>		
pH_{pzc}	Sıfır yük noktası	---
pH_{iep}	İzoelektrik nokta	---
Ψ_0	Yüzey potansiyeli	mV
ζ	Zeta potansiyeli	mV
A	Adsorbentin yüzey alanı	m ² /g
T	Mutlak sıcaklık	K
e	Elektronun yükü	C
n	Freundlich sabiti	---
K_F	Freundlich sabiti	mol/g
C_0	Adsorbat çözeltisinin başlangıç konsantrasyonu	M
C_e	Adsorbatın denge konsantrasyonu	M
q_e	Adsorbentin gramı başına adsorplanan adsorbatın mol sayısı	mol/g
k_a	Adsorpsiyon hız sabiti	---
k_d	Desorpsiyon hız sabiti	---
θ	Adsorbat tarafından adsorbent yüzeyinin kaplanan kesri	---
K	Adsorpsiyon denge sabiti	g/mol
q_m	Adsorbentin tek tabaka kapasitesi	mol/g
R_L	Boyutsuz ayırma faktörü yada denge parametresi	---
R_g	Gaz sabiti	J/mol K
ΔH	Adsorpsiyon ısısı	kJ/mol
V	Sulu çözeltinin hacmi	L
W	Adsorbentin kütlesi	g
q_0	Adsorbentin gramı başına başlangıçtaki adsorbatın konsantrasyonu	mol/g
N_A	Avagadro sabiti	Molekül/mol

ϵ_0	Boşluğun geçirgenliği	---
ϵ	Ortamın geçirgenliği	---
c_i	i iyonik türünün konsantrasyonu	M
z_i	i iyonik türünün değeri	M
R^2	Korelasyon katsayısı	---

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil Numarası</u>	<u>Adı</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1	Aktif karbonun gözenek yapısı	5
Şekil 1.2	Stern'e göre pozitif bir oksit yüzeyi için elektriksel çift tabaka modeli	16
Şekil 2.1	Paslanmaz çelik reaktör	28
Şekil 2.2	Metilen mavisinin yapısı	29
Şekil 3.1	H ₂ SO ₄ ile aktifleştirilmiş Antep fıstığı kabuğunun yüzey alanının konsantrasyon ile değişimi	35
Şekil 3.2	H ₂ SO ₄ ile aktifleştirilmiş Antep fıstığı kabuğunun yüzey alanının kalsinasyon sıcaklığı ile değişimi	36
Şekil 3.3	H ₃ PO ₄ ile aktifleştirilmiş Antep fıstığı kabuğunun yüzey alanının konsantrasyon ile değişimi	37
Şekil 3.4	H ₃ PO ₄ ile aktifleştirilmiş Antep fıstığı kabuğunun yüzey alanının kalsinasyon sıcaklığı ile değişimi	38
Şekil 3.5	ZnCl ₂ ile aktifleştirilmiş Antep fıstığı kabuğunun yüzey alanının konsantrasyon ile değişimi	39
Şekil 3.6	ZnCl ₂ ile aktifleştirilmiş Antep fıstığı kabuğunun yüzey alanının kalsinasyon sıcaklığı ile değişimi	40
Şekil 3.7	H ₂ SO ₄ ile aktifleştirilmiş nar kabuğunun yüzey alanının konsantrasyon ile değişimi	41
Şekil 3.8	H ₂ SO ₄ ile aktifleştirilmiş nar kabuğunun yüzey alanının kalsinasyon sıcaklığı ile değişimi	42
Şekil 3.9	H ₃ PO ₄ ile aktifleştirilmiş nar kabuğunun yüzey alanının konsantrasyon ile değişimi	43
Şekil 3.10	H ₃ PO ₄ ile aktifleştirilmiş nar kabuğunun yüzey alanının kalsinasyon sıcaklığı ile değişimi	44
Şekil 3.11	ZnCl ₂ ile aktifleştirilmiş nar kabuğunun yüzey alanının konsantrasyon ile değişimi	45
Şekil 3.12	ZnCl ₂ ile aktifleştirilmiş nar kabuğunun yüzey alanının kalsinasyon sıcaklığı ile değişimi	46

Şekil 3.13	H ₂ SO ₄ ile aktifleştirilmiş zeytin çekirdeğinin yüzey alanının konsantrasyon ile değişimi	47
Şekil 3.14	H ₂ SO ₄ ile aktifleştirilmiş zeytin çekirdeğinin yüzey alanının kalsinasyon sıcaklığı ile değişimi	48
Şekil 3.15	H ₃ PO ₄ ile aktifleştirilmiş zeytin çekirdeğinin yüzey alanının konsantrasyon ile değişimi	49
Şekil 3.16	H ₃ PO ₄ ile aktifleştirilmiş zeytin çekirdeğinin yüzey alanının kalsinasyon sıcaklığı ile değişimi	50
Şekil 3.17	ZnCl ₂ ile aktifleştirilmiş zeytin çekirdeğinin yüzey alanının konsantrasyon ile değişimi	51
Şekil 3.18	ZnCl ₂ ile aktifleştirilmiş zeytin çekirdeğinin yüzey alanının kalsinasyon sıcaklığı ile değişimi	52
Şekil 3.19	Antep fıstığı kabuğu ve sentezlenen aktif karbon örneklerinin FTIR-ATR spektrumları	55
Şekil 3.20	Nar kabuğu ve sentezlenen aktif karbon örneklerinin FTIR-ATR spektrumları	56
Şekil 3.21	Zeytin çekirdeği ve sentezlenen aktif karbon örneklerinin FTIR-ATR spektrumları	57
Şekil 3.22	Ham Antep fıstığı kabuğunun SEM görüntüsü	58
Şekil 3.23	Antep fıstığı kabuğunun H ₃ PO ₄ ile aktivasyonundan sentezlenen aktif karbonun SEM görüntüsü	59
Şekil 3.24	Antep fıstığı kabuğunun H ₂ SO ₄ ile aktivasyonundan sentezlenen aktif karbonun SEM görüntüsü	59
Şekil 3.25	Antep fıstığı kabuğunun ZnCl ₂ ile aktivasyonundan sentezlenen aktif karbonun SEM görüntüsü	60
Şekil 3.26	Nar kabuğunun SEM görüntüsü	61
Şekil 3.27	Nar kabuğunun H ₂ SO ₄ aktivasyonu ile sentezlenen aktif karbonun SEM görüntüsü	61
Şekil 3.28	Nar kabuğundan H ₃ PO ₄ aktivasyonu ile sentezlenen aktif karbonun SEM görüntüsü	62
Şekil 3.29	Nar kabuğundan ZnCl ₂ aktivasyonu ile sentezlenen aktif karbonun SEM görüntüsü	62
Şekil 3.30	Ham zeytin çekirdeğinin SEM görüntüsü	63

Şekil 3.31	Zeytin çekirdeğinin H ₂ SO ₄ aktivasyonu ile sentezlenen aktif karbonun SEM görüntüsü	64
Şekil 3.32	Zeytin çekirdeğinin H ₃ PO ₄ aktivasyonu ile sentezlenen aktif karbonun SEM görüntüsü	64
Şekil 3.33	Zeytin çekirdeğinin ZnCl ₂ aktivasyonu ile sentezlenen aktif karbonun SEM görüntüsü	65
Şekil 3.34	1 M H ₂ SO ₄ ile 800 °C'de aktifleştirilmiş Antep fıstığı kabuğunun zeta potansiyelinin katı/sıvı oranı ile değişimi	66
Şekil 3.35	Sulu aktif karbon süspansiyonlarının zeta potansiyelinin denge pH'sı ile değişimi	68
Şekil 3.36	Sulu aktif karbon süspansiyonlarının zeta potansiyelinin denge pH'sı ile değişimi	70
Şekil 3.37	Sulu aktif karbon süspansiyonlarının zeta potansiyelinin denge pH'sı ile değişimi	72
Şekil 3.38	Sulu çözeltilerden H ₂ SO ₄ yöntemi ile Antep fıstığı kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimi	73
Şekil 3.39	Sulu çözeltilerden H ₂ SO ₄ yöntemi ile Antep fıstığı kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun pH ile değişimi	75
Şekil 3.40	Sulu çözeltilerden H ₂ SO ₄ yöntemi ile Antep fıstığı kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimi	77
Şekil 3.41	Sulu çözeltilerden H ₃ PO ₄ yöntemi ile Antep fıstığı kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimi	79
Şekil 3.42	Sulu çözeltilerden H ₃ PO ₄ yöntemi ile Antep fıstığı kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun pH ile değişimi	81
Şekil 3.43	Sulu çözeltilerden H ₃ PO ₄ yöntemi ile Antep fıstığı kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimi	83

Şekil 3.44	Sulu çözeltilerden $ZnCl_2$ yöntemi ile Antep fıstığı kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimi	85
Şekil 3.45	Sulu çözeltilerden $ZnCl_2$ yöntemi ile Antep fıstığı kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun pH ile değişimi	87
Şekil 3.46	Sulu çözeltilerden $ZnCl_2$ yöntemi ile Antep fıstığı kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimi	89
Şekil 3.47	Sulu çözeltilerden H_2SO_4 yöntemi ile nar kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimi	91
Şekil 3.48	Sulu çözeltilerden H_2SO_4 yöntemi ile nar kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun pH ile değişimi	93
Şekil 3.49	Sulu çözeltilerden H_2SO_4 yöntemi ile nar kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimi	95
Şekil 3.50	Sulu çözeltilerden H_3PO_4 yöntemi ile nar kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimi	97
Şekil 3.51	Sulu çözeltilerden H_3PO_4 yöntemi ile nar kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun pH ile değişimi	99
Şekil 3.52	Sulu çözeltilerden H_3PO_4 yöntemi ile nar kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimi	101
Şekil 3.53	Sulu çözeltilerden $ZnCl_2$ yöntemi ile nar kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimi	103
Şekil 3.54	Sulu çözeltilerden $ZnCl_2$ yöntemi ile nar kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun pH ile değişimi	105

Şekil 3.55	Sulu çözeltilerden $ZnCl_2$ yöntemi ile nar kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimi	107
Şekil 3.56	Sulu çözeltilerden H_2SO_4 yöntemi ile zeytin çekirdeğinden sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimi	109
Şekil 3.57	Sulu çözeltilerden H_2SO_4 yöntemi ile zeytin çekirdeğinden sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun pH ile değişimi	111
Şekil 3.58	Sulu çözeltilerden H_2SO_4 yöntemi ile zeytin çekirdeğinden sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimi	113
Şekil 3.59	Sulu çözeltilerden H_3PO_4 yöntemi ile zeytin çekirdeğinden sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimi	115
Şekil 3.60	Sulu çözeltilerden H_3PO_4 yöntemi ile zeytin çekirdeğinden sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun pH ile değişimi	117
Şekil 3.61	Sulu çözeltilerden H_3PO_4 yöntemi ile zeytin çekirdeğinden sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimi	119
Şekil 3.62	Sulu çözeltilerden $ZnCl_2$ ile aktifleştirilen zeytin çekirdeğinden sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimi	121
Şekil 3.63	Sulu çözeltilerden $ZnCl_2$ yöntemi ile zeytin çekirdeğinden sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun pH ile değişimi	123
Şekil 3.64	Sulu çözeltilerden $ZnCl_2$ yöntemi ile zeytin çekirdeğinden sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimi	125
Şekil 4.1	Şekil 3.38'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi	155
Şekil 4.2	Şekil 3.39'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi	156
Şekil 4.3	Şekil 3.40'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi	156

Şekil 4.4	Şekil 3.41'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi	157
Şekil 4.5	Şekil 3.41'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi	157
Şekil 4.6	Şekil 3.42'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi	158
Şekil 4.7	Şekil 3.43'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi	159
Şekil 4.8	Şekil 3.44'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi	159
Şekil 4.9	Şekil 3.45'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi	159
Şekil 4.10	Şekil 3.46'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi	160
Şekil 4.11	Şekil 3.47'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi	160
Şekil 4.12	Şekil 3.48'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi	161
Şekil 4.13	Şekil 3.49'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi	161
Şekil 4.14	Şekil 3.50'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi	162
Şekil 4.15	Şekil 3.51'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi	162
Şekil 4.16	Şekil 3.52'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi	163
Şekil 4.17	Şekil 3.53'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi	163
Şekil 4.18	Şekil 3.54'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi	164
Şekil 4.19	Şekil 3.56'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi	164
Şekil 4.20	Şekil 3.57'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi	165
Şekil 4.21	Şekil 3.58'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi	165
Şekil 4.22	Şekil 3.59'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi	166
Şekil 4.23	Şekil 3.60'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi	166
Şekil 4.24	Şekil 3.61'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi	167
Şekil 4.25	Şekil 3.62'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi	167
Şekil 4.26	Şekil 3.63'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi	168
Şekil 4.27	Şekil 3.64'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi	168
Şekil 4.28	H ₂ SO ₄ aktivasyonlu Antep fıstık kabuğu yüzeyinde metilen mavisini adsorpsiyonu için $-\ln C_e$ 'nin $1/T$ 'ye karşı eğrisi	170
Şekil 4.29	H ₃ PO ₄ aktivasyonlu Antep fıstık kabuğu yüzeyinde metilen mavisini adsorpsiyonu için $-\ln C_e$ 'nin $1/T$ 'ye karşı eğrisi	171
Şekil 4.30	ZnCl ₂ aktivasyonlu Antep fıstık kabuğu yüzeyinde metilen mavisini adsorpsiyonu için $-\ln C_e$ 'nin $1/T$ 'ye karşı eğrisi	171
Şekil 4.31	H ₂ SO ₄ aktivasyonlu nar kabuğu yüzeyinde metilen mavisini adsorpsiyonu için $-\ln C_e$ 'nin $1/T$ 'ye karşı eğrisi	172

Şekil 4.32	H ₃ PO ₄ aktivasyonlu nar kabuğu yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonu için $-\ln C_e$ 'nin $1/T$ 'ye karşı eğrisi	172
Şekil 4.33	ZnCl ₂ aktivasyonlu nar kabuğu yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonu için $-\ln C_e$ 'nin $1/T$ 'ye karşı eğrisi	173
Şekil 4.34	H ₂ SO ₄ aktivasyonlu zeytin çekirdeği yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonu için $-\ln C_e$ 'nin $1/T$ 'ye karşı eğrisi	173
Şekil 4.35	H ₃ PO ₄ aktivasyonlu zeytin çekirdeği yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonu için $-\ln C_e$ 'nin $1/T$ 'ye karşı eğrisi	174
Şekil 4.36	ZnCl ₂ aktivasyonlu zeytin çekirdeği yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonu için $-\ln C_e$ 'nin $1/T$ 'ye karşı eğrisi	174

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge Numarası</u>	<u>Adı</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1	Aktif karbon üretiminde kullanılan hammaddeler	6
Çizelge 3.1	Farklı H ₂ SO ₄ konsantrasyonlarında ve sıcaklıklarda Antep fıstığı kabuğundan sentezlenen aktif karbonların yüzey alanları	34
Çizelge 3.2	Farklı H ₃ PO ₄ konsantrasyonlarında ve sıcaklıklarda Antep fıstığı kabuğundan sentezlenen aktif karbonların yüzey alanları	37
Çizelge 3.3	Farklı ZnCl ₂ konsantrasyonlarında ve sıcaklıklarda Antep fıstığı kabuğundan sentezlenen aktif karbonların yüzey alanları	39
Çizelge 3.4	Farklı H ₂ SO ₄ konsantrasyonlarında ve sıcaklıklarda nar kabuğundan sentezlenen aktif karbonların yüzey alanları	41
Çizelge 3.5	Farklı H ₃ PO ₄ konsantrasyonlarında ve sıcaklıklarda nar kabuğundan sentezlenen aktif karbonların yüzey alanları	43
Çizelge 3.6	Farklı ZnCl ₂ konsantrasyonlarında ve sıcaklıklarda nar kabuğundan sentezlenen aktif karbonların yüzey alanları	45
Çizelge 3.7	Farklı H ₂ SO ₄ konsantrasyonlarında ve sıcaklıklarda zeytin çekirdeğinden sentezlenen aktif karbonların yüzey alanları	47
Çizelge 3.8	Farklı H ₃ PO ₄ konsantrasyonlarında ve sıcaklıklarda zeytin çekirdeğinden sentezlenen aktif karbonların yüzey alanları	49
Çizelge 3.9	Farklı ZnCl ₂ konsantrasyonlarında ve sıcaklıklarda zeytin çekirdeğinden sentezlenen aktif karbonların yüzey alanları	51
Çizelge 3.10	Farklı ham örnekler kullanılarak farklı yöntemlerle sentezlenen aktif karbonların BET yüzey alanları, gözenek hacmi ve yoğunlukları	53
Çizelge 3.11	Antep fıstığı kabuğunun ve farklı yöntemlerle sentezlenen	54

	aktif karbon örneklerinin elementel analiz sonuçları	
Çizelge 3.12	Antep fıstığı kabuğundan H ₂ SO ₄ yöntemi ile sentezlenen aktif karbon örneğinin zeta potansiyeli değerinin katı/sıvı oranı ile değişimine ait deneysel veriler	66
Çizelge 3.13	Antep fıstığı kabuğundan farklı yöntemlerle sentezlenen aktif karbonların zeta potansiyelinin denge pH'sı ile değişimine ait deneysel veriler	67
Çizelge 3.14	Nar kabuğundan farklı yöntemlerle sentezlenen aktif karbonların zeta potansiyelinin denge pH'sı ile değişimine ait deneysel veriler	69
Çizelge 3.15	Zeytin çekirdeğinden farklı yöntemlerle sentezlenen aktif karbonların zeta potansiyelinin denge pH'sı ile değişimine ait deneysel veriler	71
Çizelge 3.16	Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimine ait deneysel veriler	73
Çizelge 3.17	Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonunun pH ile değişimine ait deneysel veriler	76
Çizelge 3.18	Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimine ait deneysel veriler	78
Çizelge 3.19	Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimine ait deneysel veriler	80
Çizelge 3.20	Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun pH ile değişimine ait deneysel veriler	82
Çizelge 3.21	Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimine ait deneysel veriler	84
Çizelge 3.22	Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimine ait deneysel veriler	86
Çizelge 3.23	Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonunun pH ile değişimine ait deneysel veriler	88
Çizelge 3.24	Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimine ait deneysel veriler	90
Çizelge 3.25	Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonunun	92

	sıcaklıkla değişimine ait deneysel veriler	
Çizelge 3.26	Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonunun pH ile değişimine ait deneysel veriler	94
Çizelge 3.27	Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimine ait deneysel veriler	96
Çizelge 3.28	Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimine ait deneysel veriler	98
Çizelge 3.29	Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun pH ile değişimine ait deneysel veriler	100
Çizelge 3.30	Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimine ait deneysel veriler	102
Çizelge 3.31	Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimine ait deneysel veriler	104
Çizelge 3.32	Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonunun pH ile değişimine ait deneysel veriler	106
Çizelge 3.33	Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimine ait deneysel veriler	108
Çizelge 3.34	Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimine ait deneysel veriler	110
Çizelge 3.35	Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonunun pH ile değişimine ait deneysel veriler	112
Çizelge 3.36	Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimine ait deneysel veriler	114
Çizelge 3.37	Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimine ait deneysel veriler	116
Çizelge 3.38	Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun pH ile değişimine ait deneysel veriler	118
Çizelge 3.39	Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimine ait deneysel veriler	120
Çizelge 3.40	Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimine ait deneysel veriler	122

Çizelge 3.41	Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonunun pH ile değişimine ait deneysel veriler	124
Çizelge 3.42	Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimine ait deneysel veriler	126
Çizelge 4.1	Farklı kaynaklardan farklı yöntemler kullanılarak sentezlenen aktif karbon örneklerinin BET yüzey alanları, gözenek hacimleri ve yoğunlukları	134
Çizelge 4.2	Literatürdeki bazı örneklerin yüzey alanları	134
Çizelge 4.3	Antep fıstığı kabuğunun FTIR-ATR spektrum bandları	137
Çizelge 4.4	H ₂ SO ₄ aktivasyonlu Antep fıstığı kabuğunun Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm sabitleri	150
Çizelge 4.5	H ₃ PO ₄ aktivasyonlu Antep fıstığı kabuğunun Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm sabitleri	150
Çizelge 4.6	ZnCl ₂ aktivasyonlu Antep fıstığı kabuğunun Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm sabitleri	151
Çizelge 4.7	H ₂ SO ₄ aktivasyonlu nar kabuğunun Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm sabitleri	151
Çizelge 4.8	H ₃ PO ₄ aktivasyonlu nar kabuğunun Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm sabitleri	152
Çizelge 4.9	ZnCl ₂ aktivasyonlu nar kabuğunun Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm sabitleri	152
Çizelge 4.10	H ₂ SO ₄ aktivasyonlu zeytin çekirdeğinin Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm sabitleri	153
Çizelge 4.11	H ₃ PO ₄ aktivasyonlu zeytin çekirdeğinin Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm sabitleri	153
Çizelge 4.12	ZnCl ₂ aktivasyonlu zeytin çekirdeğinin Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm sabitleri	154
Çizelge 4.13	Aktif karbonların entalpi sabitleri	169

ÖNSÖZ

Üniversiteye başladığım ilk yıldan itibaren danışmanım olan ve her zaman kişiliği, çalışma azmi, başarısı, yardım severliğinden dolayı örnek aldığım çok değerli danışmanım Prof. Dr. Mehmet Doğan'a; çalışmalarım sırasında engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım rektörümüz sayın hocam Prof. Dr. Mahir Aklan'a, tezimin izlemelerine katılıp olumlu görüş ve önerilerini esirgemeyen bilgi ve deneyimlerini paylaşan Doç. Dr. Mustafa İmamoğlu'na en içten dileklerle teşekkür eder, saygı ve sevgilerimi sunarım.

Deneylemim esnasında yardımını esirgemeyen Arş görevlisi Dr. Yasemin Özdemir Turhan'a, imkanlarından yararlandığım Balıkesir Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü'ne, teşekkürlerimi sunarım.

Beni büyütüp okutan ve eğitim hayatım boyunca benden hiçbir şeyi esirgemeyen sevgili anne ve babama sonsuz minnet ve teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ayrıca çalışmalarım esnasında bana göstermiş olduğu sabrı ve anlayışından dolayı sevgili eşim Yasemin'e teşekkür ederim.

Balıkesir, 2011

Aydın TÜRKYILMAZ

1. GİRİŞ

Dünya genelinde artan endüstri ve sanayi üretimi, yanında birçok olumsuz faktörü de beraberinde getirmiştir. Bu olumsuz faktörlerden en önemlisi; fabrikaların çevreye verdikleri zarardır. Bu zarar sadece sanayi gazlarının havaya karışarak havayı kirletmesi ile sınırlı olmayıp, aynı zamanda üretimden sonra atıkların su kaynaklarına bırakılması ile de çevreye büyük zararlar verilmektedir. Bu atıklar doğanın tek başına baş edebileceği kadar basit sorunlar değildir, öyle ki, doğanın bunları tek başına temizlemesi yüz yılları almaktadır. İşte bu noktada bu atıkların temizlenmesi için bilim adamlarına büyük işler düşmektedir. Bu noktada alınması gereken önlemlerden biri, sanayi atıklarının doğaya bırakılmadan bertaraf edilmesinin yollarının bulunmasıdır. Çünkü; doğaya bırakıldıktan sonra bunların temizlenmesi hem ekonomik açıdan hem de insan gücü açısından pek çok zorluğu yanında getirmektedir. Kirliliklerin giderilmesi için bilim adamları tarafından birçok metod ve materyal geliştirilmiştir. Bu metodlardan bir tanesi de adsorpsiyon metodudur. Adsorpsiyon hem doğayı kirletici gazların, hem de sulu ortamdaki kirleticilerin temizlenmesinde en çok başvurulan bir metodur. Adsorbent olarak eski zamanlarda kömürden elde edilen aktif karbonlar kullanılmaktaydı. Ancak aktif karbonun kömürden elde edilmesi çok maliyetli olduğu için alternatif aktif karbon elde etme metodları üzerinde ki çalışmalar sonucunda bitkisel materyallerden aktif karbon elde etme metodları geliştirilmiştir. Bu yöntemle hem atık bitkisel materyaller ekonomiye kazandırılmakta, hem de aktif karbon elde etme maliyeti düşürülmektedir. Günümüzde bitkisel materyallerden sentezlenen aktif karbonlar, kömürden elde edilen aktif karbonlara göre ekonomikselle olarak daha fazla tercih edilmektedir. Ayrıca bu tarımsal ürünlerden elde edilen aktif karbonların yüzey alanlarının yüksek olması, aktif karbonların üretilmesinde ham materyal olarak kullanılmasında etkili bir faktör olmuştur[1].

1.1 Aktif Karbon

Aktif karbon yüzey alanı son derece genişletilmiş olan bir amorf karbon zinciridir. 1 gram karbonun yüzey alanı yaklaşık olarak 300–2000 m² arasında olabilmektedir. Bu kadar az miktar katı maddenin yüzey alanındaki genişliğin sebebi gözenekli bir yapının teşekkül etmesidir[2].

Aktif karbonun adsorban özelliği ilk çağdan beri bilinmektedir. Hippocrates kötü kokuların odun kömürü tozu kullanılarak giderilebileceğini önermiştir. Endüstriyel amaçlı aktif karbon kullanımı 18.yy sonlarında İsveçli Kimyager Karl Wilhelm Scheele tarafından gazların odun kömürü kullanılarak adsorbe edilmesi ile başlatılmıştır. On beş yıl sonra ise Rus akademisyen Lovits'in organik madde içeren tartarik asit çözeltisinin rengini gidermek için odun kömürü kullandığını görmekteyiz[3]. Sanayi uygulaması 1794 yılında İngiltere'de şeker sanayisinde renk giderici olarak kullanılması ile başlamıştır[3].

Aktif karbonlar hem fiziksel hem de kimyasal metodlarla elde edilebilir. Fiziksel metod da ham materyalin karbonizasyonu buhar, CO₂ veya havanın oksidasyon ajanı olarak kullanılarak gazlaştırmanın sağlanması; kimyasal metotta ise, ham materyalin çeşitli kimyasallarla muamele edildikten sonra ısıtılması ile aktif karbon elde edilir[4]. Fiziksel ya da kimyasal yöntemlerle hazırlanan aktif karbonlar, renk, tat, koku giderici olarak kullanıldığı gibi organik ve organik olmayan kirliliklerin giderilmesinde de kullanılmaktadır[3]. Her katı potansiyel adsorbandır. Aktif karbonun yüzey yapısı çok uzun zamandan beri yoğun ilgi görmüş bir konu olmuş, yapısı hakkında detaylı bilgiler edinilmiş, yüzey fonksiyonel grupların karakterizasyonu için IRS (Internal Reflectance Spectroscopy) tekniğini kullanarak farklı aktivasyon koşulları altında aktif karbon üzerinde oluşan fonksiyonel grupların karakterizasyonu hakkında detaylı incelemelerde bulunmuştur. Ayrıca, doğada bilinen en iyi çözücü olan suların temizlenmesi ve arıtılması işlemlerinde de kullanılabilirler. Su, doğal halinde pek çok çözünmüş madde, katı parçacık ve canlı organizma içerir. Suyu karışan maddeler, suların kimyasal,

fiziksel ve biyolojik özelliklerini değiştirirler ki, bu olay su kirliliği olarak adlandırılmaktadır. Bu olaylar ekosistemin etkilenmesine, dengelerin bozulmasına ve giderek doğadaki tüm suların sahip oldukları özümleme ve kendi kendini temizleme kapasitesinin de azalmasına veya yok olmasına yol açabilmektedir[5].

Molekül ve Kimyasal Yapısı

Doğada bulunan karbonun 3 izotopu (^{11}C , ^{12}C , ^{13}C) olmasının yanın da bir de üç allotropu vardır (elmas, grafit, kömür). Elmasta, her karbon atomu komşu dört atoma bağlı iken; grafitte üç atoma bağlıdır. Grafit, tabaka yapısında moleküllerden meydana gelmektedir. Tabakalar arası uzaklık 3,4 Å'dur. Her karbon atomunun üç elektronu tabaka üzerinde bağ yapmakta kullanılırken dördüncü elektron serbestçe hareket edebilecek durumdadır. Grafit yumuşak bir maddedir, bunun nedeni, karbon atomları arasında zayıf bir bağın bulunması ve tabakaların birbiri üzerinden kolayca kayabilmesidir[6].

Aktif karbonun yapısı, grafitteki gibi tabakalar halinde olup tabakalar arası uzaklık 3,0-3,5 Å kadardır. Bu tabakalar hegzagonal düzlemler şeklinde mikro kristallerden ibarettir. Ancak düzlemler grafitteki gibi düzenli olmayıp gelişigüzel yönelmiştir. Bu düzensiz yapıdan dolayı oluşan boşluklar adsorpsiyon olaylarında büyük bir öneme sahip olan gözenekleri meydana getirmektedir[7]. Aktif karbonların gözeneklilik yapısına bağlı olarak adsorplama özellikleri artar. Aktif karbonların adsorplama kapasitesini kimyasal yapısı da etkiler. Aktif karbonlar iki tip safsızlık içermektedirler. Bunlardan ilki aktif karbona kimyasal olarak bağlanmış olan elementlerdir. Başlangıç maddelerinden türeyen ve tamamlanmamış karbonizasyon sonucu olarak aktif karbonun yapısında kalan veya aktivasyon esnasında yüzeye kimyasal olarak bağlanan oksijen ve hidrojen bu safsızlıklardandır. İkincisi ise ürünün organik kısmı olmayan, inorganik bileşenler içeren kül kısmıdır[8]. Aktif karbonun tanecik boyutlarının dağılımı önemlidir. Adsorplama kapasitesi tanecik boyutu ile ters orantılıdır. Yani küçük tanecikler daha hızlı adsorplama kapasitesine sahiptir[9]. Aktif

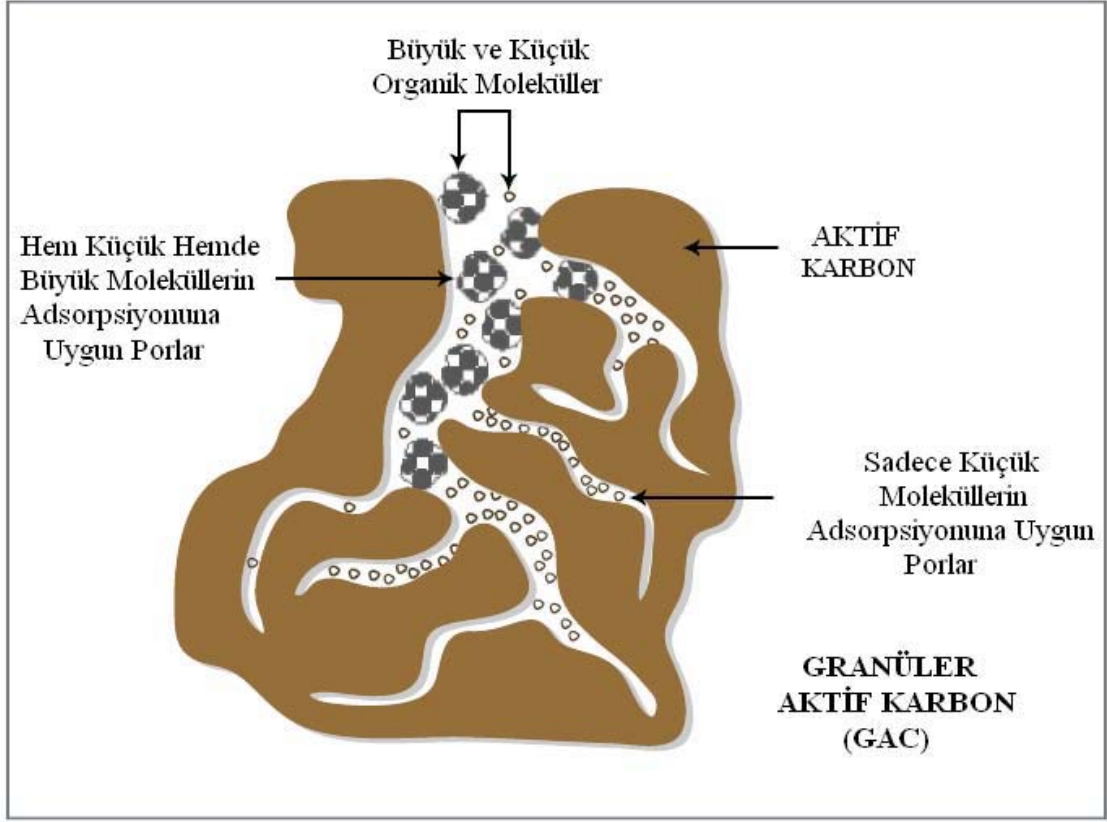
karbondaki gözenek boyut dağılımı ve toplam gözenek hacmi büyük ölçüde piroliz ve aktivasyon şartlarına göre değişmektedir[10].

Mikro gözenekler, çapları genel olarak 18-20 Å ve daha küçük olan gözeneklerdir. Mikro gözenekler karbonun toplam yüzey alanının yaklaşık %95'ini oluşturur. Mikro gözenekler adsorpsiyon işlemlerinde büyük öneme sahiptir. Şekil 1.1'de aktif karbonun genel yapısı verilmektedir. Kapiler kondenzasyonun meydana geldiği gözenekler mezo gözenek gruplarını oluşturur. Bu gözeneklerin çapları 20-500 Å arasında değişmekte ve toplam yüzey alanının ancak %5'ni oluşturmaktadır. Çapları 500 Å'dan büyük olan gözenekler kapiler kondenzasyonla doldurulamayacak kadar büyük olup makro gözenek olarak isimlendirilmiştir. Makro gözenekler büyük boşluklara sahip olduklarından difüzyonu kolaylaştırır ve adsorplanacak maddenin, karbonun mezo ve mikro gözeneklerine ulaşmasını sağlar. Bununla beraber, granüle aktif karbonların mukavemetini azaltır[10].

Aktif karbonun yapısı, paralel hegzagonal yığınlar, tabakalar ve yaygın olarak çapraz bağlı ve tetrahedral bağlı karbon atomlarından oluşur. Karbon matrisi, birçok heteroatomu (oksijen, hidrojen ve diğerleri), yapısında tek atom veya fonksiyonel gruplar halinde bulundurur. Oksijen, karbon matrisinde baskın heteroatomdur ve fonksiyonel gruplar, örneğin; karbonil, karboksilik, fenol, enoller, laktonlar, ve kinonları barındırdığı varsayılır[11].

The International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), adsorbanlar için gözenek büyüklüğünü yarıçaplarına göre üçe ayırmıştır. Bunlar;

- 1) Makro gözenekler ($r > 50 \text{ nm}$)
- 2) Mezo gözenekler ($2 < r < 50 \text{ nm}$)
- 3) Mikro gözenekler ($r < 2 \text{ nm}$)
 - a) Süper- mikro gözenekler ($1 < r < 2 \text{ nm}$)
 - b) Ultra- mikro gözenekler ($r < 0.5 \text{ nm}$)[10].



Şekil 1.1 Aktif karbonun gözenek yapısı[8]

1.2 Aktif Karbon Üretiminde Kullanılan Ham Materyaller

Aktif karbonlar, kömür[12] ve selülozik maddeler[13] gibi çeşitli materyallerden hazırlanır. Aktif karbonların hazırlanması için tarımsal ürünlerde çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu tarımsal ürünler arzu edilen kullanım için oldukça ucuzdur. Ayrıca bu tarımsal ürünlerden elde edilen aktif karbonların yüzey alanlarının yüksek olması aktif karbonların üretilmesinde ham materyal olarak seçilmesinde oldukça etkili bir faktör olmuştur[14]. Kullanılacak hammaddeye göre elde edilen aktif karbonun özellikleri değişmektedir. Hammaddenin uçucu madde içeriği ve yoğunluğu, elde edilen aktif karbonun özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Odun ve lignin gibi düşük yoğunluklu maddeler yüksek uçucu madde içermektedir. Bunlardan üretilen aktif karbon, düşük yoğunluklu ve büyük gözenek hacimli olması nedeniyle, gaz

adsorpsiyonu için uygun olmaktadır. Karbonizasyon sürecinde daha az karbon kaybı görülür[15]. Ancak, meyve kabuklarından elde edilen aktif karbonlar yüksek yoğunluğa ve uçucu madde içeriğine sahiptir.

Aktif karbon üretiminde kullanılacak ham materyaller, aktif karbonun kullanılması amaçlanan alana, prosesin yapısına, adsorplanması istenen maddenin özelliklerine ve maliyete göre seçilmektedir[16]. Aktif karbon olarak seçilecek ham maddenin karbon içeriğinin yüksek olması, safsızlık içermemesi, ucuz olması büyük bir önem arz etmektedir. Aktif karbon üretiminde kullanılan bazı materyaller aşağıdaki tabloda verilmiştir[8].

Çizelge 1.1 Aktif karbon üretiminde kullanılan hammaddeler:

Mısır koçanı ve mısır sapı	İçki imalathanesi atığı
Hindistan cevizi kabuğu	Kemik
Pirinç kabuğu	Kösele atığı
Fındık kabuğu	Deniz yosunu
Çiğit kabuğu	Şeker kamışı
Meyve özü atığı	Karbonhidrat
Testere talaşı	Kauçuk atığı
Kahve çekirdeği	Mısır şekeri
Meyve çekirdeği	Petrol
Lignin	Turba
Kömür	Tahıl
Odun	Linyit
Balık	Kan
Grafit	Meles

Literatürde yukarıdaki tabloda verildiği gibi aktif karbon elde etme metodlarında çok çeşitli materyaller kullanılmaktadır. Bu materyallerin seçiminde önemli olan

etkenlerin başında, kullanılacak olan materyalin miktarının çok olması, ucuz olması, kolay elde edilebiliyor olması, aktif karbon elde ettikten sonra yüzey alanının büyük olması, adsorpsiyon uygulamalarına uygun olması vs. gerekir.

1.3 Aktif Karbon Türleri

Fiziksel veya kimyasal aktivasyonla uygun hammaddelerden üretilen aktif karbonlar üç türde hazırlanır. Bunlar; toz, granüler ve pellettir [17,18].

1.3.1 Toz Aktif Karbonlar

Genel olarak tanecik boyutu 0,18 mm'den küçük olan, öğütülmüş, uygulama alanı daha çok gaz ve sıvı fazlı ortamlar olan adsorbenttir. Atık suların temizlenmesi işleminde sıkça kullanılırlar. Toz aktif karbonlar muamele edilmesi istenen su içerisine yeterli miktarda katılarak istenmeyen kötü koku, tat ve rengin giderilmesini sağlar. Uygulaması da oldukça kolaydır. Reaksiyon ortamına eklenip mekanik karıştırıcı ile homojen karışım sağlanarak adsorpsiyon gerçekleştirilir.

1.3.2 Granüler

Tanecik boyutu 0,2-5 mm arasında, düzensiz şekilli olan aktif karbonlardır. Toz aktif karbona göre daha büyük tanecik boyutuna sahiptirler. Granüler aktif karbonlar, gaz ve sıvı adsorpsiyon uygulamalarında tercih edilir.

1.3.3 Pellet

Tanecik boyutu 0,8-5 mm arasında olan, basınç uygulanarak pellet haline getirilen silindirik yapılı aktif karbonlardır. Pellet aktif karbonlar gaz fazı uygulamalarında genel olarak gazların saflaştırılmasında kullanılır.

1.4. Aktif Karbonların Uygulama Alanları

Geniş iç gözenek yapısı ve büyük yüzey alanına sahip olmasından dolayı yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip aktif karbonlar gıda, ilaç, kimya, petrol, nükleer enerji ve otomobil sektörü gibi endüstrinin birçok alanında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Aktif karbonların kimyasal doğası, onun adsorptif, elektrokimyasal, katalitik ve diğer özelliklerini önemli bir biçimde etkilemektedir. Genel olarak, asidik yüzeyli aktif karbonlar, bazik gaz adsorpsiyonlarında kullanılırken, bazik yüzeyli aktif karbonlar ise asidik gaz adsorpsiyonları için uygun olmaktadır[19].

1.4.1 Gaz Fazı Uygulamaları

Aktif karbonlar adsorben olarak, hava kirliliği kontrolünde, özellikle sanayi baca gazları, sigara filtrelerinde, geniş mikroporları ve büyük yüzey alanlarından dolayı gaz saflaştırılması, ayrılmasında ve koku gideriminde katalitik olarak kullanılır. Trafiğin yoğun olduğu yerlerde kapalı alanlarda SO_x , NO_x gazlarının tutulmasında da kullanılmaktadır. Havanın temizlenmesi için, 10 ppm'in altındaki kirlilik konsantrasyonlarında levha şeklindeki karbon fiberler kullanılmaktadır. Bu filtrelerle uzun süre çalışılabilmektedir. Fakat rejenarasyonu pahalıdır. Hava kirlilik kontrolü, kirlilik konsantrasyonu arttıkça farklı adımlarla gerçekleştirilir. Etkinliğini kaybeden karbonlar buhar, hava veya toksik olmayan gazlarla rejene edilebilmektedir. Bu iki uygulama farklı gözenekli yapıya sahip karbonları gerektirmektedir. Mikro gözenekliği yüksek karbonlar, yaşam alanlarındaki düşük kirlilik konsantrasyonuna sahip havanın temizlenmesi için uygundur. Atmosferdeki kirliliğin kontrol için kullanılan aktif karbonlarda 10-150 ppm arasında değişen konsantrasyonlarda yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip karbonlar kullanılmalıdır. Bu karbonların gözenek yarıçaplarını belirlemek zordur. Fakat, mezo ve süpermezo gözenek dağılımı tercih edilmektedir[15].

1.4.2 Sıvı Faz Uygulamaları

Sıvı faz uygulaması özellikle atık su arıtma ve içme suyu arıtma tesislerinde kullanılmaktadır. İçme sularında fenoller hoş olmayan tada ve kokuya sebep olup biyolojik proseslerde istenmeyen negatif etkiye sebep olmaktadır. Yine içme suyu dezenfeksiyonunda kullanılan klor gazı yüzey sularında bulunan organik maddelerle reaksiyona girip kanserojen bileşenlere dönüşmektedir. Burada da aktif karbonlar yüzey sularındaki bu organik maddelerin adsorpsiyonunda kullanılmaktadır. Metilen mavisi adsorpsiyonu, sıvı faz uygulamalarında adsorpsiyon kapasitesini belirlemede önemli yer tutmaktadır. Sulu çözeltilerde metilen mavisi gideriminde H_3PO_4 ile aktive edilmiş aktif karbonlar (200-400 mg/g) önemli bir yer tutmaktadır[19]. Aktif karbonlar fenollerin, fenolik bileşiklerin, ağır metallerin, boyaların, metal iyonların ve cıvanın sulu çözeltilerden gideriminde de kullanılmaktadır.

1.5 Aktif Karbon Üretimi

Eskiden aktif karbonlar odun, lignin gibi maddelerden elde edilirken günümüzde teknolojinin gelişmesi ve buna paralel olarak gıda üretimi ve diğer üretim alanlarında ortaya çıkan atıkların çevre ve dolayısıyla insan sağlığına verdiği zararlar göz önüne alındığında bu atıkların hem çevreye olan zararlarının azaltılması hem de ülke ekonomilerine kazandırılması için bitkisel materyallerden aktif karbon üretimi büyük önem kazanmıştır. Bu amaçla atık ham bitkisel materyaller aktif karbona dönüştürülürken çeşitli aşamalardan geçirilirler. Bu aşamalarda amaç bitkisel materyalde var olan karbon iskeletinin ortaya çıkarılması ve eğer varsa ham materyalin yapısındaki diğer karbon içermeyen yapıların karbon iskeletinden uzaklaştırılmasıdır. Bir diğer aşama ise, porozitesinin yükseltilmesidir. Bu amaçlar doğrultusunda ham materyal önce aktivasyon işlemine daha sonrada karbonizasyon işlemine tabi tutulur. Aktivasyon işleminde yapı parçalanarak karbon iskeletinin ortaya çıkması sağlanıp, daha sonra karbonizasyon ile porların genişletilmesi gerçekleştirilir. Aktivasyon işlemi iki şekilde gerçekleştirilmektedir:

1.5.1 Fiziksel Aktivasyon

Fiziksel aktivasyon iki basamakta gerçekleşir. Bu basamaklar karbonlu materyalin karbonizasyonu ve devamında, uygun oksidasyon gazı içinde (örneğin; CO₂, buhar, hava veya bunların karışımı ile) sıcaklığın artırılması ile aktivasyonunun sağlanmasıdır. Fiziksel aktivasyonda genellikle temiz olması, kolay elde edilebilmesi, 800 °C'de yavaş reaksiyon vermesinden ve kolay kontrol edilebilmesinden dolayı CO₂ tercih edilir. Bu metotta, pirinç kabuğu, mısır koçanı, meşe ağacı, mısır kabuğu, kamış, fındık, yerfıstığı, badem kabukları ham materyal olarak tercih edilir. Karbonizasyon sıcaklığı, 400-850 °C ve bazen 1000 °C'ye ulaşır ve aktivasyon sıcaklığı, 600-900 °C arasındadır. Fiziksel aktivasyon ile elde edilen aktif karbonlar, adsorbent olarak veya filtrelerde fazla tercih edilmezler[19].

1.5.2 Kimyasal Aktivasyon

Kimyasal aktivasyonda temel prensip ham materyalin aktivasyon ajanları ile muamele edilerek; yapının bozundurulması esasına dayanmaktadır. Literatüre baktığımızda en çok karşımıza çıkan aktivasyon ajanları; MgCl₂, CaCl₂, H₃PO₄, H₂SO₄, ZnCl₂, KOH ve K₂CO₃'dür. Lignoselülozik materyaller örneğin, zeytin ve şeftali çekirdeğinin fosforik asit, çinkoklorür ve potasyumhidroksit gibi aktivasyon ajanları ile granüler aktif karbonlar elde edilebilir. Makalelere göre, potasyum hidroksit sadece mikroporların genişlemesini sağlar; çinko klorür, buna ilave olarak küçük mezoporlar oluşturur ve fosforik asit, daha homojen por dağılımı sağlar. Birçok çalışmada, şeftali çekirdeğinin çinkoklorür ile aktivasyonu sonucunda elde edilen aktif karbonun yüzey alanını ve mikropor dağılımını etkileyen en önemli faktörün, ham maddeye emdirilen çinko miktarı olduğu rapor edilmiştir. İlave olarak karbonlu ürünün CO₂ içinde kısmen gazlaştırmanın yüzey alanı ve poroziteyi önemli oranda arttırdığı rapor edilmiştir[8]. Kimyasal aktivasyonda, belirli miktardaki ham madde, belirli miktarda aktivasyon ajanı ile mekanik karıştırıcıda belirli bir süre karıştırılarak ham maddenin aktivasyon ajanını tamamen emmesi sağlanır. Daha sonra aktivasyon ajanı ile tamamen doyurulmuş örnek

400-1000 °C'de inert ortamda karbonizasyona tabii tutulur. Kimyasal aktivasyonun fiziksel aktivasyona göre bazı üstünlükleri vardır; örneğin, kimyasal yolla aktifleştirilmiş karbonlar, fiziksel yolla aktifleştirilmiş karbonlardan daha az hidrofobiktir, bazik grupların içeriği daha düşüktür, aktivasyon işlemi için tek bir basamak yeterlidir, aktivasyon ajanlarının kullanılıp yapıdaki selülozik kısımlar ortaya çıktığından dolayı daha düşük karbonizasyon sıcaklığı ile karbonizasyon gerçekleştirilebilir.

1.5.2.1 Kimyasal Aktivasyon İşlemini Etkileyen Faktörler[20]:

1. **Karbonizasyon süresi:** Genel olarak 15 ile 120 dakika arasında değişmektedir. Karbonizasyon süresi ısıtma hızına göre değişim göstermektedir.
2. **Karbonizasyon sıcaklığı:** Genel olarak 673-1073 K arasında olup kullanılan ham maddeye göre değişmektedir. Sıcaklık, kullanılacak aktive edici maddeye göre ayarlanmalıdır. Çünkü düşük sıcaklıklarda bazı kimyasal maddeler, nüfuz ettikleri ham maddeden ayrılamamaktadır. Karbonizasyon sıcaklığı, yüzey alanı ve gözenek hacmini etkilemektedir.
3. **Aktive edici maddenin oranı:** Aktive edici madde, ağırlık bazında, ham maddenin 4 katı değerine kadar kullanılmaktadır. Aktivasyon sürecindeki kütle kaybı, kullanılan aktive edici madde oranına bağlı olarak artmaktadır.
4. **Ham maddenin tane boyutu:** Tane boyutu, elde edilecek aktif karbonun gözenek hacmini etkilemektedir. Küçük tanecik boyutu ile çalışıldığında yüzey alanı ve gözenek hacmi daha büyük olan aktif karbonlar elde edilmektedir.
5. **Ham madde ve aktive edici maddenin karıştırılma yöntemi:** Genel olarak iki çeşit karıştırma yöntemi kullanılmaktadır: fiziksel ve impregnasyon. Yapılan çalışmalar, impregnasyon yönteminin, fiziksel karıştırma yönteminden daha etkili olduğunu göstermiştir. Çünkü bu yöntemde, aktive edici madde karbonlu tanecik içerisinde daha iyi bir dağılım göstermektedir.

1.5.2.2 Karbonizasyon

Karbonizasyonda esas amaç, ham materyalin aktivasyon ajanları ile muamelesinden sonra ortaya çıkan karbon iskeleti dışındaki karbon içermeyen yapının inert bir ortamda uygulanan sıcaklık ile uzaklaştırılmasıdır. Uygulanan sıcaklıkla ham materyalden uzaklaşan yapıların başında su gelmektedir. Daha sonra kullanılan ham maddeye bağlı olarak, CO₂, CO, azot'ta yapıdan ayrılmaktadır.

1.6 Aktif Karbonların Karakteristik Özellikleri

1.6.1 Yüzey Alanı

Aktif karbonların yüzey alanları çok önemlidir. Çünkü, diğer karakteristik özellikleri gibi yüzey alanı, kömürün kömürleşme davranışını ve reaktivitesini çok güçlü bir şekilde etkilemektedir. 400 °C'nin üzerindeki piroliz sıcaklıklarında yüksek yüzey alanlı aktif karbonlar elde edilmektedir[21-22]. Ancak, piroliz sıcaklığının çok yüksek olması ve ham materyalin aktivasyon ajanının içinde uzun süre tutulması yüzey alanının düşmesine sebep olmaktadır. Piroliz sıcaklığının etkisi ile mikropor yüzdesi artar ve mikropor yüzdesindeki artışa paralel olarak yüzey alanı da aynı oranda artış gösterir. Ancak piroliz sıcaklığının, belli bir değeri geçmesinden sonra da mikropor hacminin azalmasına ve makropor hacminin artmasına sebep olduğu da gözlemlenmiştir. Bu olay mikropor duvarlarının göçmesinden kaynaklanmaktadır. Mikropor duvarlarının göçerek makroporlara dönüşümündeki kritik piroliz sıcaklığı, aktif karbon eldesinde kullanılacak ham maddenin yapısına göre değişmektedir.

1.6.2 Por boyutu ve Hacmi

Aktif karbonların adsorptif özelliklerinin belirlenmesinde mikropor, mezopor ve makroporların hem boyutu hem de aktif karbon içindeki dağılımı önemlidir. Çünkü, mikro gözenekler iç yüzeyin önemli bir kısmını teşkil ederler. Makro gözenekler ise

adsorpsiyon için nispeten önemli olmamakla birlikte, ancak mikro gözeneklere doğru difüzyonun hızlı olması için iletici olarak gereklidirler. Makro gözenekler molekülün aktif karbon içine girmesini, mezo gözenekler daha iç bölgeler doğru taşınmasını sağlarken mikro gözenekler ise adsorpsiyon olayı için kullanılırlar. Adsorpsiyon için gözenek yapısı, toplam iç yüzeyden daha önemli bir parametredir. Gözeneklerin büyüklükleri, uzaklaştırılacak olan kirliliklerin tanecik çaplarına uygun olmalıdır. Çünkü, karbon ve adsorplanan moleküller arasındaki çekim kuvveti, adsorplanacak molekülün büyüklüğü, gözenek büyüklüğüne yakın olan moleküller arasında daha kuvvetlidir. Literatüre baktığımızda aktif karbonların yüzey alanı ve porların oluşumunda, aktivasyon sıcaklığı ve aktivasyon ajanının konsantrasyonu etkili olmaktadır. Örneğin, Uçar ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada KOH'in sadece mikro gözenek genişlemesine; $ZnCl_2$ 'nin küçük mezo gözeneklerin gelişmesine ve H_3PO_4 'ün ise daha heterojen gözenek dağılımına sebep olduğu belirlenmiştir[23]. Alhamad ve arkadaşları, artan karbonizasyon sıcaklığı ile yüzey ve gözenek hacminin azaldığını ve kullanılan aktivasyon ajanı oranının artışı ile de gözenek hacminin arttığını göstermişlerdir[24].

1.7 Zeta Potansiyeli

Zeta potansiyeli koloidal süspansiyonların anlaşılmasına ve kontrol edilmesine yardım eder[25]. Negatif yüklü bir tanecik ve onun çevresindeki pozitif yüklü iyon atmosferi difüz tabakaya karşı bir elektriksel potansiyel üretir. Bu potansiyel yüzey de en yüksektir ve yüzeyden uzaklaştıkça devamlı olarak azalarak difüz tabakanın dışında sifira yaklaşır. Yüzeyden uzaklaşıldıkça zeta potansiyel Stern tabakasında doğrusal ve daha sonra difüz tabaka da üstel olarak azalarak sifira yaklaşır [26]. Katı yüzeyindeki yüzey potansiyeli ölçülememesine rağmen, yüzey ve çözelti arasındaki potansiyel farkı yani zeta potansiyelini belirlemek mümkündür[27]. Katı yüzeyinin ölçülebilen potansiyeli yada Shear düzlemindeki potansiyel *zeta potansiyeli* yada *elektrokinetik potansiyel* olarak adlandırılır[27-28]. Zeta potansiyeli Shear düzlemindeki elektriksel potansiyeldir. Zeta potansiyeli daima yüzey potansiyelinden küçüktür[27].

Zeta potansiyelinin sıfır olduğu noktadaki pH, *izoelektrik pH* (pH_{iep}) olarak tanımlanır[27]. Zeta potansiyeli değerinin belirlenmesinin en önemli nedeni tanecik etrafındaki difüz çift tabakanın başlangıcındaki büyüklüğünü belirlemektir. Zeta potansiyeli, kolloidal sistemlerin bir çok önemli özelliklerinin anlaşılmasını, kontrol edilmesini ve tanecikler üzerindeki elektriksel yükün yada potansiyelin belirlenmesini sağlar. Potansiyel dağılımı tanecikler arasındaki etkileşim enerjisini tayin eder ve bir çok durumda taneciklerin kararlılığından ve kolloidal sistemlerin akış özelliklerinden sorumludur. Aynı zamanda kolloidal sistemlerin sedimantasyon ve mineral filizlerinin flotasyon davranışlarını zeta potansiyeli ile ilişkilendirmek olasıdır. Zeta potansiyelinin ölçümü dispersiyon ve agregat proseslerinin anlaşılması için çok önemlidir. Zeta potansiyelinin büyüklüğü agregat oluşumunu önleyerek kolloidal süspansiyonları kararlı kılar[29].

Küçük tanelerin oluşturduğu süspansiyon sistemleri elektrokinetik ölçümler ile anlaşılır ve kontrol edilebilir. Örneğin; zeta potansiyeli değerleri ± 15 mV'dan yüksek olan taneler dispersiyon (dağılma) özelliği, ± 15 mV'un altındaki yüklerde ise aglomogerasyon yani çökelme özelliği gösterirler[28].

1.7.1 Potansiyel Tayin Eden İyonlar

Yüzey elektrik yükünü tayin eden ve değiştiren iyonlara *potansiyel tayin eden iyonlar* denir[27,30]. Potansiyel tayin eden iyonlar; minerali oluşturan iyonlar, H^+ ve OH^- iyonları, mineral yüzeyindeki iyonlar ile çözünmeyen tuzlar oluşturan kollektör (toplayıcı) iyonlar veya mineral yüzeyindeki iyonlar ile kompleks iyonlar oluşturabilen iyonlar olabilir[30].

1.7.2 Sıfır Yük Noktası

Bir oksit üzerindeki yüzey yükü, potansiyel belirleyici iyonların oksit yüzeyi üzerindeki adsorpsiyon yoğunluğu ile belirlenir[18]. Yüzey yükünün sıfır olduğu noktada potansiyel belirleyici iyonun aktifliği, mineralin *sıfır yük noktası* olarak adlandırılır ve bu noktadaki pH, elektrolit konsantrasyonundan bağımsızdır. Sıfır yük noktası değerinin altındaki pH'lar da katının yüzeyi pozitif işaretli, bunun üstündeki pH'larda ise yüzey negatif işaretlidir[27,28].

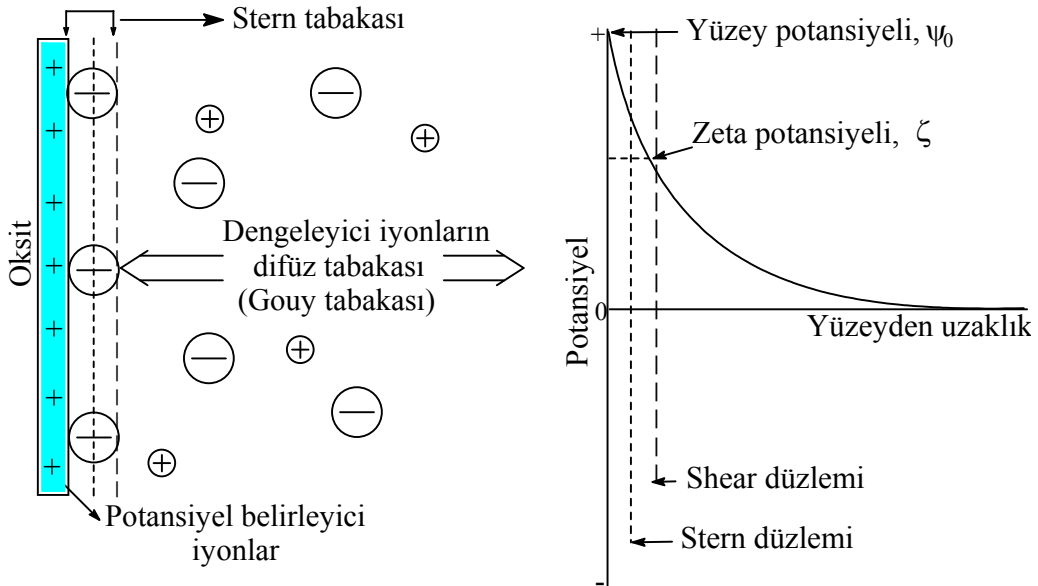
1.8 Elektriksel Çift Tabaka

Elektriksel çift tabaka modeli, yüklü bir kolloidin çevresindeki iyonik atmosferi anlamak ve elektriksel itme kuvvetlerinin nasıl meydana geldiğini açıklamak için kullanılır[26]. Katı madde kırılıp suya konulduğu zaman, su içinde başka iyonlar bulunmasa bile, katı maddeden suya geçen iyonlar ve suyu meydana getiren H^+ ve OH^- iyonları nedeni ile katı madde yüzeyi pozitif veya negatif işaretli bir elektrik yükü kazanır ve bunu çevreleyen su, çeşitli iyonları içeren bir çözelti durumunu alır. Bu durumda, Coulomb kanununa göre, mineral yüzeyi ile zıt işaretli iyonlar mineral yüzeyi tarafından çekilirler. Böylece çözelti içindeki iyonların bazılarının konsantrasyonu katı yüzeyi civarında artarken, bazılarının ki ise azalır[27].

Su veya bir çözelti içine konulan katı madde yüzeyinin elektriksel bir yük kazanması, potansiyel tayin eden iyonlar dolayısı ile meydana gelmektedir. Yüzeyle zıt işaretli iyonlar, yüzey yakınında toplanarak, yüzey elektrik yükünü dengelemeye çalışacaklardır. Yüzey yakınında, yani katı-sıvı ara yüzeyinde toplanan bu iyonlara *dengeleyici iyonlar (counter ions)* adı verilir[27] (Şekil 1.2). Dengeleyici iyonların, yüzey civarında artan konsantrasyonları, yüzeyden uzaklaştıkça azalarak, çözeltinin normal konsantrasyonuna erişir. Dengeleyici iyonların yüzeye toplanması ile mineral yüzeyi potansiyeli (ψ_0) yüzeyden uzaklaştıkça azalır. Kimyasal dengeye erişildiğinde,

katı yüzeyindeki elektrik yükü (σ_0) difüz tabakadaki iyonların meydana getirdiği elektrik yükü (σ_d) ile dengelenmiş olacaktır. Yani mineral yüzeyi potansiyeli (ψ_0) sıfıra inecektir. Bu durum, bir kondansatörün zıt elektrik yüklü levhalarına benzetilerek, *elektriksel çift tabaka* adını almıştır[27] (Şekil 1.2).

Stern modeline göre, dengeleyici iyonlar mineral yüzeyine kendi boyutları veya hidrasyon kütesinin müsaade edeceği kadar yaklaşabilir. Yüzeye komşu dengeleyici iyonların yük merkezi boyunca geçen düzlem *Stern düzlemi* olarak tanımlanır. Stern düzlemi katı yüzeyine hemen hemen bir molekül kalınlığı mesafede olduğu düşünülen hayali bir düzlemdir. Burada bulunan dengeleyici iyonlar, yüzey potansiyelini doğrusal olarak azaltırlar. Stern tabakasına komşu olan tabaka, dengeleyici iyonların difüz tabakası olup buna yaygın olarak *Gouy tabakası* denilmekle beraber *Difüz*, *Gouy-Chapman* veya *Shear tabakası* da denilmektedir. Gouy tabakasında potansiyel azalışı doğrusal değildir. Daha uzun mesafede azalarak sıfıra düşer; yani iyon konsantrasyonu yüzeyden uzaklaştıkça azalarak, çözeltinin normal konsantrasyonuna erişir[27,28] (Şekil 1.2).



Şekil 1.2 Stern'e göre pozitif bir oksit yüzeyi için elektriksel çift tabaka modeli

1.9 Adsorpsiyon

Adsorpsiyon, bir maddenin diğerk bir madde yüzeyinde veya iki faz arasındaki ara yüzeyde konsantrasyonunun artması ya da bir başka ifadeyle moleküllerin, temas ettikleri yüzeydeki çekme kuvvetlerine bağılı olarak o yüzeyle birleşmesi olarak tanımlanır. Proses, fazlardan birindeki bir maddenin (çözeltideki molekül) diğerk fazdaki maddenin (katı faz) yüzeyinde tutunarak ayrılması şeklindedir. Bu şekliyle absorpsiyondan ayrılır. Bir çok fiziksel, kimyasal ve biyolojik sistemlerde adsorpsiyon olayı tercih edilmekte ve özellikle endüstriyel uygulamalarda su ve atık suların arıtılmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Adsorbat molekülü adsorbent yüzeyine zayıf veya kuvvetli bir şekilde tutunabilir. Bu durumda fiziksel yada kimyasal adsorpsiyondan söz edilir[31].

1.9.1 Fiziksel ve Kimyasal Adsorpsiyon

Adsorbent yüzeyinde adsorbatın tutunması fiziksel ve kimyasal etkileşimlerle meydana gelir. Bu iki tip etkileşim arasındaki farklar aşağıda sıralanmıştır[31]:

- Fiziksel adsorpsiyonda, adsorbat ve adsorban molekülleri arasında zayıf Van der Waals kuvvetleri etkili olup bu iki molekül arasında herhangi bir elektron alış verışı veya elektron paylaşımı söz konusu değildir. Buna karşılık, kimyasal adsorpsiyonda, adsorban ve adsorbat molekülleri arasında karşılıklı elektron alış verışı veya paylaşımı söz konusu olduğundan fiziksel adsorpsiyondaki bağlara göre daha kuvvetli olan kimyasal bağlar oluşmaktadır.
- Fiziksel adsorpsiyon tamamen tersinirdir ve adsorplanan moleküllerin adsorban yüzeyinden ayrılması yani desorpsiyonu söz konusudur. Kimyasal adsorpsiyon ise tersinmezdir.
- Fiziksel adsorpsiyonda adsorbe olan molekül katı yüzeyine bağlanmamış olup, yüzey üzerinde hareketli bir konumdadır. Fakat kimyasal adsorpsiyon, kimyasal

bağların oluşumunu içerdiğinden adsorbat molekülleri yüzey üzerinde hareket etmezler.

- Fiziksel adsorpsiyonda, adsorpsiyon ısı 40 kcal/mol'den daha düşük iken bu değer kimyasal adsorpsiyonda 40 kcal/mol'den daha büyüktür.
- Fiziksel adsorpsiyon çok tabakalı olabilirken, kimyasal adsorpsiyon, tek tabaka ile sınırlıdır. İlk tabakayı takip eden tabakalardaki tutunmalar, ancak fiziksel adsorpsiyon yolu ile oluşabilir.
- Fiziksel adsorpsiyonun meydana gelmesi için ekstra bir aktivasyon enerjisi gerekmezken, kimyasal adsorpsiyonda gerekir.
- Fiziksel adsorpsiyonun hızı artan sıcaklık ile hızlı bir şekilde azalırken, kimyasal adsorpsiyonda adsorpsiyon hızı sıcaklık arttıkça artmaktadır.

1.10 Adsorpsiyon İzotermi

Adsorpsiyon işlemini daha etkin ve az maliyetli bir hale getirmek için bir çok araştırmacı ucuz ve yenilenebilir adsorbanlar bulmaya çalışmaktadırlar. Maliyet azalımı ve etkinlik için öngörülen yollardan biri adsorpsiyonun doğasının anlaşılmasıdır[32]. Adsorpsiyon, adsorban yüzeyinde biriken madde konsantrasyonu ve çözeltide kalan madde konsantrasyonu arasında bir denge oluşuncaya kadar devam eder. Adsorpsiyon izotermi, sabit sıcaklıkta bilinen miktardaki bir adsorbent ile farklı konsantrasyonlarda adsorbat (adsorbe olan madde) çözeltilerini dengeye ulaştırarak elde edilir. Deney sonunda çözeltideki adsorbat konsantrasyonları adsorbent fazındaki adsorbat konsantrasyonlarına karşı grafik edilir. Gazlar için konsantrasyon genellikle mol yüzdesi veya kısmi basınç olarak verilir. Çözeltiler için ise konsantrasyon kütle birimleri olarak verilir (mg/L, ppm v.s.). Katı adsorbantın birim kütlesi başına adsorplanmış adsorbatın mol sayısı, adsorbatın sıvı fazdaki adsorpsiyondan önce ve sonraki konsantrasyonlarından hesaplanabilir. Matematiksel olarak bu adsorpsiyon dengesi,

adsorpsiyon izotermi ile açıklanmaktadır. Uygulamada en çok karşılaşılan izotermiler Freundlich ve Langmuir izotermidir. Freundlich ve Langmuir izotermilerinin her ikisi de atık sulardan adsorpsiyon verilerini analiz etmede kullanılmaktadır[31].

1.10.1 Freundlich İzotermi

Çözeltiden adsorpsiyon için kullanılan fakat gazların adsorpsiyonu için de başarılı bir şekilde kullanılan bir izotermdir. İlk kez 1907 yılında H. Freundlich tarafından verilmiştir. Freundlich izotermine göre bir adsorbent yüzeyinde bulunan adsorpsiyon noktaları heterojendir. Dengeye adsorbent gramı başına adsorplanan adsorbent miktarı, q_e (mol/g) ve adsorbent konsantrasyonu, C_e (mol/L) ile verirse Freundlich eşitliği aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (1.1)$$

Burada K_F ve n , Freundlich sabitleridir. Bu sabitler yukarıdaki eşitliğin her iki tarafının doğal logaritmasının alınması ile tayin edilebilir[33].

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (1.2)$$

$\ln q_e$ 'nin $\ln C_e$ 'ye karşı eğrisi, düz bir doğru verecektir ve doğrunun eğiminden $1/n$ ve kaymasından da K_F bulunabilir.

1.10.2 Langmuir İzotermi

Langmuir izotermi adsorbent yüzeyinde adsorpsiyon olayı için aktif merkezlerin olduğunu ve her aktif noktanın sadece bir molekül adsorplayabileceğini kabul eder. Böylece adsorbent yüzeyinde meydana gelen adsorbent tabakası bir molekül kalınlığındadır. Ayrıca adsorbent yüzeyindeki tüm aktif noktaların adsorbent

moleküllerine karşı aynı ilgiye sahip olduğunu ve adsorplanmış adsorbat molekülleri arasında herhangi bir etkileşimin olmadığını kabul eder. Langmuir izotermi, katı yüzeyindeki aktif noktalarda meydana gelen adsorpsiyon olayının fiziksel yada kimyasal adsorpsiyon olup olmadığını diğer izotermelere göre daha iyi açıklamaktadır. Langmuir izoterminde adsorpsiyon olayı, adsorbatın başlangıç konsantrasyonu ile doğrusal olarak artar. Maksimum doygunluk konsantrasyonunda yüzey adsorbatın tek tabakası ile kaplanmakta ve yüzeye adsorbe olmuş adsorbat molekülleri hareketsiz kalmaktadır. Langmuir izoterminde adsorpsiyon enerjisi sabittir. Çözeltideki moleküllerin dinamik dengede olduğu farz edilirse aşağıdaki reaksiyon yazılabilir:



Burada k_a ve k_d , sırasıyla adsorpsiyon ve desorpsiyon için hız sabitleridir.

Adsorpsiyonda birbirine ters iki olay düşünülebilir. Adsorpsiyon hızı adsorbat konsantrasyonu ve yüzey üzerinde bulunan örtülmemiş adsorpsiyon noktaları ile doğru orantılıdır. Desorpsiyon hızı ise, yüzeydeki adsorplanmış molekül sayısı ile doğru orantılıdır. Adsorbentin alanı A ve adsorbat tarafından kaplanan kesir θ ile gösterilirse, adsorpsiyondan dolayı yüzey örtülmesinin değişim hızı, adsorbat tarafından kaplanmamış kesir $(1-\theta)$ ve çözeltinin konsantrasyonu (C_e) ile orantılı olacaktır.

$$\frac{d\theta}{dt} = k_a(1-\theta)C_e \quad (1.4)$$

Desorpsiyondan dolayı değişim hızı adsorplanmış kesir (θ) ile orantılı olacağından,

$$\frac{d\theta}{dt} = k_d\theta \quad (1.5)$$

yazılabilir. (1.5) eşitliğine göre, desorpsiyon hızı konsantrasyondan bağımsız, fakat θ 'ya bağlıdır. Dinamik dengede bu iki olayın hızı birbirine eşit olacağından:

$$k_a C_e (1 - \theta) = k_d \theta \quad (1.6)$$

yazılabilir. Burada C_e , çözeltinin denge konsantrasyonudur. Bu eşitlikte

$$K = k_a / k_d \quad (1.7)$$

yazılır ve düzenlenirse,

$$\theta = \frac{KC_e}{1 + KC_e} \quad (1.8)$$

elde edilir. Burada K , adsorpsiyon denge sabitidir. Adsorplayıcının birim kütlesi başına adsorplanan miktar:

$$q_e = q_m \theta \quad (1.9)$$

ile verilir. θ 'nın değeri yerine yazılır ve düzenlenirse

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K} + \frac{C_e}{q_m} \quad (1.10)$$

elde edilir. Burada q_m , adsorbentin tek tabaka kapasitesidir (mol/g). Sonuç olarak adsorpsiyon olayı Langmuir izotermine uyuyorsa C_e/q_e 'nin C_e 'ye karşı grafiği, eğimi $1/q_m$ ve kayımı $1/q_m K$ olan düz bir doğru verecektir[31,33,34]. Özellikle tek tabakalı adsorpsiyonun meydana geldiği heterojen adsorpsiyon sistemlerinde bu izoterm denge durumunu net olarak açıklayamaz[35].

Bir adsorpsiyon prosesinin hangi adsorpsiyon izotermi ile daha iyi açıklanabileceğinin belirlenebilmesi için deneysel olarak elde edilen verilerin tüm izoterm denklemlerine uygulanması gerekir. Verilerin doğrusal bir grafik oluşturduğu izoterm çeşidi o adsorpsiyon için en uygun izotermdir. Ama bazı durumlarda bir veya daha fazla izoterm de uygun olabilmektedir.

1.11 Literatür Özeti

Abdel ve arkadaşları bitkisel materyallerden hazırlanan karbonun yüzey ve adsorpsiyon özelliklerini[9]; Hayashi ve arkadaşları, kimyasal yol ile K_2CO_3 'ün aktivasyon ajanı olarak kullanılmasıyla çeşitli fındıklardan aktif karbon hazırlanmasını[1]; Zabaniotou ve arkadaşları, iki basamaklı işleme zeytin çekirdeklerinden aktif karbon hazırlanmasını[4]; Kula ve arkadaşları, zeytin çekirdeğinin $ZnCl_2$ ile aktivasyonundan aktif karbon eldesi ve sulu çözeltilerden Cd (II) iyonlarının giderimini[36]; Hameed ve arkadaşları, hintkamışı talaşından elde edilen aktif karbon üzerine methylene blue adsorpsiyonunu[37]; Yavuz ve arkadaşları, H_3PO_4 ile aktifleştirilmiş zeytin çekirdeklerinin por yapıları üzerine hazırlama şartlarının etkisini[38]; Amin, nar kabuğundan elde edilen aktif karbonu kullanarak sulu çözeltilerden direct-blue-106 boyasının giderimini, adsorpsiyon dengesini ve kinetiğini[16]; Karagöz ve arkadaşları, sülfürik asit aktivasyonu ile bitkisel materyallerden aktif karbon eldesini ve sentezlenen aktif karbonların methylene blue adsorpsiyonunda kullanılmasını[39]; Koutcheiko ve arkadaşları, tavuk gübresinin termokimyasal dönüşümü ile elde edilen aktif karbonların hazırlanması ve karakterizasyonunu[40]; Kopac ve arkadaşı, hidrojen sorpsiyonu için Zonguldak kömürlerinden fiziksel ve kimyasal aktivasyon ile aktif karbon hazırlanmasını[41]; Cui ve arkadaşları, civa tutunması için tavuk atığı ve kömürden aktif karbon hazırlanmasını[11]; Guo ve arkadaşları, kisilan, selüloz ve kraft ligninin H_3PO_4 ile aktifleştirilmesiyle sentezlenen karbonların fiziksel ve kimyasal özelliklerini[42]; Stavropoulos ve arkadaşları, zeytin çekirdeği atığından aktif karbon eldesi ve karakterizasyonunu[43]; Kazemipour ve arkadaşları, ceviz kabuğu, fındık kabuğu, badem kabuğu, Antep fıstığı kabuğu ve kayısı çekirdeğinden elde edilen karbonlarla

endüstriyel atık sulardan kurşun, kadmiyum, çinko ve bakır giderimini[15]; Altenor ve arkadaşları, Kabe samanı kökünden kimyasal aktivasyon ile elde edilen aktif karbon üzerine fenol ve methylene blue adsorpsiyonunu[12]; Amuda ve arkadaşları, modifiye edilmiş Hindistan cevizi kabuğu aktif karbonunu kullanarak endüstriyel atık sulardan ağır metal giderimini[13]; Lua ve arkadaşları, Antep fıstığı kabuğunun potasyum hidroksit aktivasyonundan elde ettikleri aktif karbonların yapısal ve kimyasal özellikleri üzerine aktivasyon sıcaklığının etkisini[14]; Ioannidou ve arkadaşı, tarımsal atıkların başlangıç maddesi olarak kullanılmasıyla aktif karbon üretimini[19]; Seredych ve arkadaşları, karbonların yüzey fonksiyonel gruplarını ve onların kimyasal karakteri, yoğunluğu ve elektrokimyasal güç ile iyonlara ulaşabilirliğini[44]; Amaya ve arkadaşlarının bitkisel materyallerden aktif karbon briketleri çalışmasını[45]; Rozada ve arkadaşları, H₂SO₄ ve ZnCl₂ kullanarak atık yağ ve atık tekerlek lastiğinden aktif karbon eldesini ve optimizasyonunu[46]; Uçar ve arkadaşları, ZnCl₂ aktivasyonu ile nar çekirdeğinden aktif karbon eldesini ve karakterizasyonunu[23]; Budinova ve arkadaşları, antibiyotik atıklarından kimyasal aktivasyon ajanı olarak K₂CO₃ kullanılarak sentezlenen aktif karbonların kullanılmasıyla sulu çözeltilerden Hg (II) giderimini[17]; Alhamed ve arkadaşları, hurma çekirdeklerinin ZnCl₂ aktivasyonu ile elde ettikleri aktif karbonları kullanarak dizel yakıtlardan sülfür giderimini[18]; Deng ve arkadaşları, pamuk sapından kimyasal aktivasyonun mikrodalga ile gerçekleştirilmesiyle elde edilen aktif karbonların karakterizasyonunu ve sulu çözeltilerden methylene blue giderimi uygulamalarını[47]; Sun ve arkadaşları, KOH kullanarak kimyasal aktivasyonla elde edilen aktif karbonların katalitik performanslarını[48]; Tay ve arkadaşları, atık bitkisel materyallerden kimyasal aktivasyon ajanı olarak KOH ve K₂CO₃'ü kullanarak elde ettikleri aktif karbonların karakterizasyonunu[49]; Wu ve arkadaşları, karpit ve karbonların zeta potansiyellerini [50]; Girgis ve arkadaşları, hurma çekirdeğinin kimyasal aktivasyon ajanı olarak H₃PO₄ kullanılmasıyla sentezledikleri aktif karbonlarda por gelişimini[51]; Teker ve arkadaşları, pirinç kabuğundan elde edilmiş aktif karbon üzerine Cu(II) ve Cd(II)'nin adsorpsiyonunu[52]; Aci ve arkadaşları, şeker küspesinden hazırladıkları aktif karbon üzerine metilen mavisi adsorpsiyonunu[53]; İmamoğlu ve arkadaşları, fındık kabuğundan sentezledikleri aktif karbon üzerine sulu çözeltilerden adsorpsiyon ile bakır ve kurşun giderimini[54]; Kobya ve arkadaşları,

kayısı çekirdeğinden elde ettikleri aktif karbon üzerine sulu çözeltilerden ağır metal adsorpsiyonu[55]; Ekinci ve arkadaşları, bitkisel materyal ve kömürden elde ettikleri aktif karbon ile sulu çözeltilerden civa giderimini[56]; Yavuz ve arkadaşları, fosforik asit ile aktive edilmiş zeytin çekirdeğinin yapısı üzerine hazırlama şartlarının etkisini[57]; Demiral ve arkadaşları, fiziksel aktivasyon ile zeytin küspesinden aktif karbon elde edilmesini[58]; Duranoğlu ve arkadaşları, akrilonitril divinilbenzen kopolimer temelli ve kayısı çekirdeği temelli aktif karbon üzerine krom(VI) adsorpsiyonunu[59]; Dolaş ve arkadaşları, yeni bir metodla büyük yüzey alanlı aktif karbon üretimi, Antep fıstığı kabuğundan elde edilen aktif karbonun gözenek dağılımı üzerine ve yüzey alanı üzerine tuzun etkisini[60]; Dural ve arkadaşları, *Posidonia oceanica* (L.)'nın ölü yapraklarından elde edilen aktif üzerine metilen mavisi adsorpsiyonu ve kinetiğini[61]; Okutucu ve arkadaşları, Antep fıstığı kabuğundan, mantar öldüren yağ ve aktif karbon elde edilmesini[62]; Kantarlı ve arkadaşları, deri talaşı atıklarından aktif karbon eldesi ve toksik materyallerin giderimini[63] incelediler.

1.12 Çalışmanın Amacı

Ülkemizin bir tarım ülkesi olması ve tarıma dayalı sanayinin hammaddelerini üreterek ihracat gelirlerimizde önemli bir yer tutması, su ve toprak kaynaklarımızın korunması gerekliliğini daha fazla arttırmaktadır. Su kirliliği, endüstriyel atıkların arıtılmadan su ortamlarına boşaltılması, tarımda kullanılan verim artırıcı doğal ve yapay maddelerin sularla taşınması gibi nedenlerle gerçekleşir. Su kirliliğini oluşturan etmenlerin başında sanayi atık suları gelmektedir. Canlılığın kaynağı sayılabilecek toprağın yapısına katılan ve doğal olmayan maddeler toprak kirliliğine neden olur. Topraktan bitkilere geçen kirletici maddeler, besin zinciri yoluyla insana kadar ulaşır. Son 40 yılda sanayinin gelişmesi bir çok problemleri de beraberinde getirmektedir. Gıda, tekstil, kağıt ve selüloz, petrol, kömür madenleri, sentetik/kauçuk, metal sanayi gibi çeşitli sanayi kuruluşlarının çevreye bırakmış olduğu atık maddeler çevre temizliği için önemli problemler oluşturmaktadır. Sanayi kuruluşları tarafından çevreye atılan metal iyonları çok çeşitli yollarla çeşitli canlı türlerinin yaşamını riske sokmaktadır. Ayrıca toksik organik atıkların metaller ile birleşerek veya başka bileşiklere dönüşerek daha

toksik hale geçmeleri canlı yaşam için önemli sorunlar yaratmaktadır. Bu nedenle tarım, hayvancılık ve içme suyu olarak kullanılacak suların ağır metal kirliliğini dünyaca kabul edilen limite indirmek gerekmektedir. Kirlenmiş çevreyi temizlemek oldukça pahalı ve kompleks tesisleri gerektirdiğinden su, toprak ve havanın kirlenmesini önleyici tedbirlerin alınmasına çalışmak daha da önem kazanmaktadır. Sulu ortamdan atıkların giderimi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. İşte tam bu noktada aktif karbonun önemi ortaya çıkmaktadır. Daha öncede belirttiğimiz gibi aktif karbon elde edilmesinde birçok farklı materyal ham madde olarak kullanılmaktadır. Bu materyallerin seçiminde ise önemli olan etmen, ham madde olarak kullanılan materyalin o ülkedeki miktarıdır. Ülkemizin tarım ülkesi olması bizleri ham materyal seçimi için tarımsal atıklara yönlendirmektedir. Dünya üretiminde ilk sıralarda olduğumuz zeytin, Antep fıstığı ve narın, tüketiminden sonra çekirdek ve kabuklarının bu şekilde değerlendirilerek ülke ekonomisine kazandırılması önem kazanmaktadır. Genel olarak bu meyvelerimizin atıkları ülkemizde ısınma amaçlı yakıt olarak kullanılmaktadır. Eğer bu atıklar endüstrinin birçok alanında farklı amaçlarla kullanılan aktif karbon eldesin de değerlendirilirse hem ülke ekonomisine, hem de çevreye çok büyük katkı sağlayacaktır.

Bu nedenle, yukarıda bahsedilen aktif karbonun sayısız özellikleri dikkate alınarak nar kabuğu, Antep fıstığı kabuğu ve zeytin çekirdeğinden kimyasal aktivasyon ile aktif karbon sentezlenerek yüzey özellikleri incelenmiştir. Karakterizasyon için, yüzey alanı tayinini BET yüzey alanı tayin cihazı ve SEM, yüzey özelliklerini, Fourier transform infrared spektrumu (FTIR), UV-Visible spektrofotometre, örneklerin zeta potansiyelleri ise, zetametre kullanılarak incelenmiştir. Adsorpsiyon prosesinde, adsorberde bulunan adsorbat ve adsorbentün özelliklerinin bilinmesi çok önemlidir. Eğer adsorbentün yüzey özellikleri bilinirse adsorbent-adsorbat arasındaki olaylar daha kolay bir şekilde açıklanabilir. Bu nedenle bu çalışmada önce aktif karbon süspansiyonlarının elektrokinetik özellikleri pH'nın bir fonksiyonu olarak incelenmiştir. Daha sonra metilen mavisinin aktif karbon yüzeyine adsorpsiyonu araştırılmıştır. Adsorpsiyon deneyleri i) MM ve aktif karbon arasındaki etkileşimleri, ii) adsorpsiyon izoterminin şeklini ve derecesini (tek tabaka ya da çok tabaka), iii) sıcaklık, iyon şiddeti ve pH gibi çevre faktörlerinin etkilerini açıklayabilecek şekilde tasarlanmıştır. Yapılan literatür araştırmalarında bu tür adsorbentlerin çok sınırlı olarak kullanıldığı görülmüştür. Elde

edilecek verilerle bu alandaki boşluğun gerek bilimsel ve gerekse teknolojik açıdan doldurulacağı düşünülmektedir.

2. MATERYAL ve METOD

2.1 Materyal

Deneyleerde kullanılan bitkisel materyaller (Antep fıstığı kabuğu, nar kabuğu ve zeytin çekirdeği) yaş olarak temin edilmiştir. Yaş bitkisel materyaller 3-4 defa distile su ile yıkandıktan sonra 110 °C etüvde 3 gün kurutulmuştur. Kurutulan örnekler Retsch PM100 model bilyalı değirmende öğütölmüş ve Retsch AS200 marka 75 µm'lik elekten elenmiştir. Kimyasal aktivasyon sonucu sentezlenen aktif karbonlar, elektrokinetik ve adsorpsiyon deneylelerinde kullanılmıştır. Öğütölmüş bitkisel materyaller şekil 2.1'de gösterilen paslanmaz çelik reaktörde piroliz edilmiştir. Örneklerin aktivasyonu için ZnCl₂, H₃PO₄ ve H₂SO₄; adsorpsiyon için şekil 2.2'de yapısı gösterilen, moleköl ağırlığı 373,9 g/mol olan metilen mavisi; pH ayarlaması için HCl ve NaOH kullanılmış olup bütün kimyasallar analitik saflıkta ve Merk'tir. Örneklerin tartımları, Denver model terazi; pH ölçümleri, Orion 920A pH metre; ve UV/VIS ölçümleri, PerkinElmer Lambda 25 UV/VIS spektrofotometre kullanılarak gerçekteştirilmiştir.

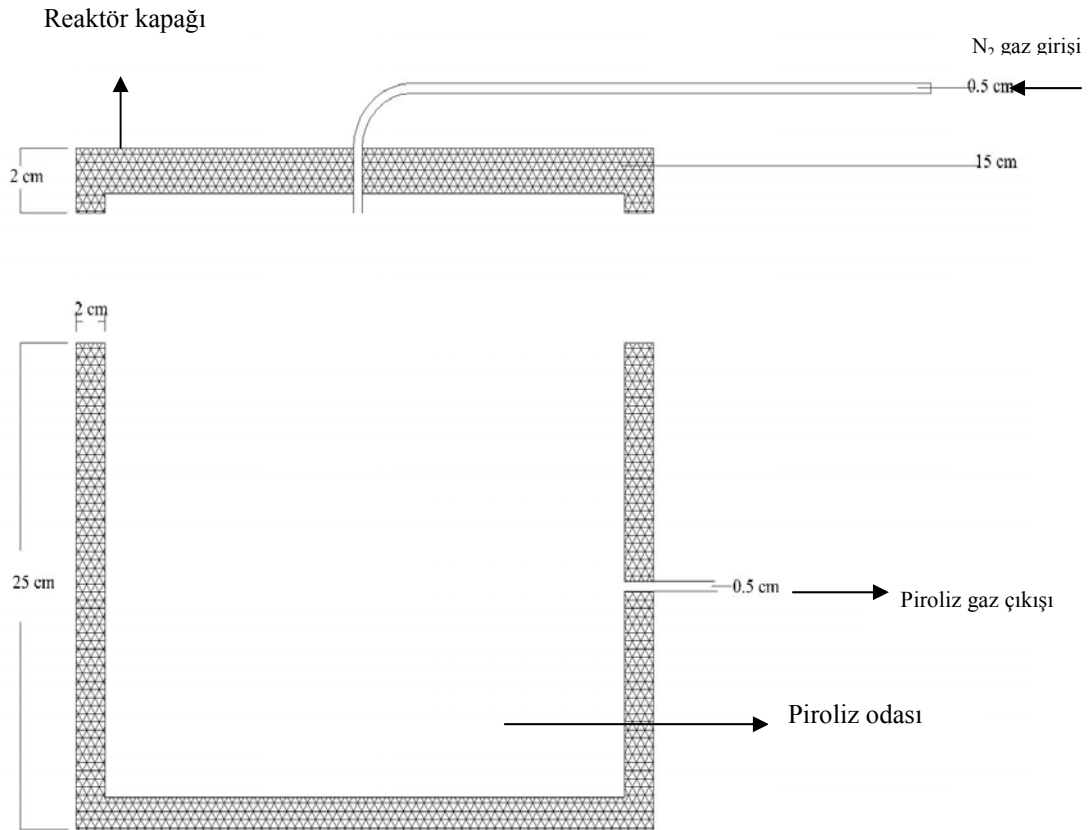
2.2 Metod

2.2.1 Aktif Karbon Sentezi

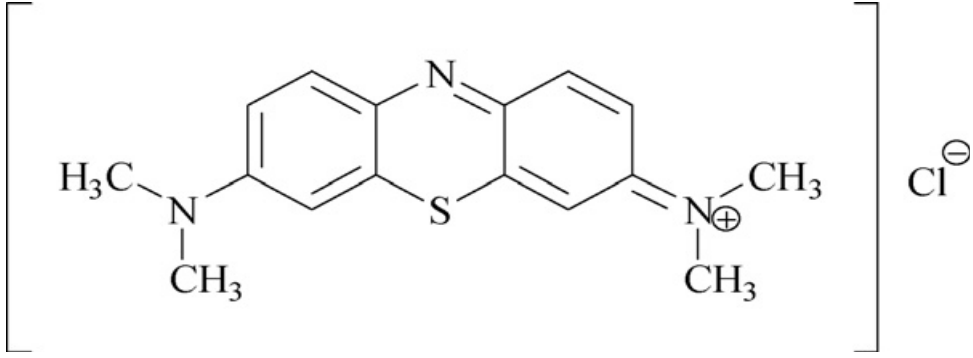
Deneyleerde kullanılan aktif karbonlar, Antep fıstığı kabuğu, nar kabuğu ve zeytin çekirdeğinin H₂SO₄, H₃PO₄ ve ZnCl₂ kimyasalları kullanılarak aktive edilmesiyle sentezlenmiştir. Bu aktivasyon işlemlerine ait prosedürler aşağıda verilmektedir.

Kurutulup, öğütölüp ve 0-75 µm'den elenen 100'er gramlık Antep fıstığı kabuğu, nar kabuğu ve zeytin çekirdeği örnekleri, 0,1 M, 0,5 M, 1 M ve 5 M'lık H₂SO₄, H₃PO₄ ve ZnCl₂ çözeltilerinin 200 mL'si ile ıslatılarak 1 gün süre ile oda sıcaklığında bekletilmiştir. Daha sonra aktivasyon ajanı ile ıslatılmış bitkisel

materyaller 110 °C’de etüvde 1 gün kurutulmuştur. Kurutulan örnekler, derişimin optimizasyonu için Şekil 2.1’de ki paslanmaz çelik kapalı reaktör kabında 800 °C’de, 10 psi’lık sabit N₂ azot akışı altında 2 saat piroliz edildikten sonra örnekler yine 10 psi’lık sabit N₂ azot akışı altında soğumaya bırakılmıştır. Soğutulan örnekler, reaktörden çıkarılarak H₂SO₄ ve H₃PO₄’ün aşırısının nötralleşmesi için 1 M’lık NaOH çözeltisi ile ve aşırı klorür iyonlarının giderilmesi için de 0,5 M’lık HCl çözeltileri ile yıkama işlemine tabii tutulmuşlardır. Daha sonra örnekler ılık distile su ile 3-4 defa yıkanarak 110 °C’de etüvde 1 gün kurutulmuştur. Kurutulan örnekler öğütücüde tekrar öğütölüp elekten elenerek tanecik boyutu 0-50 µm’ye getirilmiştir. Örneklerin BET yüzey alanı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. En büyük yüzey alanına sahip örnek için aynı işlemler piroliz sıcaklığının optimize edilmesi için 10 °C/dk’lık sıcaklık artış hızında 300, 400, 500, 600, 700 ve 800 °C’de gerçekleştirilmiştir. Daha sonra optimize olmuş derişim ve sıcaklıkta hazırlanan aktif karbonlar, elektrokinetik ve adsorpsiyon deneylerinde kullanılmıştır.



Şekil 2.1 Paslanmaz çelik reaktör



Şekil 2.2 Metilen mavisinin yapısı[47]

2.2.2 Örneklerin Karakterizasyon

Antep fıstığı kabuğu, nar kabuğu, zeytin çekirdeği ve bu materyallerin H₂SO₄, H₃PO₄ ve ZnCl₂ bileşiklerinin aktivasyonu ile sentezlenen aktif karbon örneklerinin karakterizasyonu BET yüzey alanı tayin cihazı, piknometre, elementel analiz ve SEM cihazları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.2.2.1 BET Yüzey Alanı ve Gözenek Boyutu Dağılımı

Örneklerin BET yüzey alanı ölçümleri ve gözenek boyutu analizleri yapılmadan önce örnekler 250 °C'de 24 saat degaz edilmiştir. Degaz edilen örneklerin yüzey alanı ölçümleri ve gözenek boyutu dağılımları sıvı azot ortamında (77 K) saf azot gazının adsorbent olarak kullanılmasıyla Quantachrome Nova 2200e serisi cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2.2.2.2 Elementel Analiz

Örneklerin elementel analizleri Leco-CHNS-932 marka elementel analiz cihazı ile yapılmıştır.

2.2.2.3 Yoğunluk

Yoğunluk belirlemede piknometre yöntemi kullanılmıştır. 110 °C'de kurutulan örnekler 10 mL'lik piknometreye konmuştur. Üzerine toluen konularak karıştırıldıktan sonra, işaret çizgisine kadar toluenle tamamlanmıştır. Tartım değerleri yardımı ile yoğunluk hesaplanmıştır. Hesaplamalar aşağıdaki formüle göre yapılmıştır[28].

Piknometre ağırlığı: W_p

Örneğin ağırlığı: $W_ö$

(Piknometre+Örnek+Sıvı): W_t

Saf sıvının yoğunluğu: d_s

Saf sıvının hacmi: V_s

$$\text{Örneğin hacmi} = V_s - \frac{W_t - (W_p + W_ö)}{d_s} \quad (2.1)$$

$$\text{Örneğin yoğunluğu} = \frac{W_ö}{V_s - \frac{W_t - (W_p + W_ö)}{d_s}} \quad (2.2)$$

2.2.2.4 FTIR-ATR Analizi

Örneklerin FTIR-ATR spektrumları, PerkinElmer Spektrum 100 modeli FTIR-ATR cihazı kullanılarak 650-4000 cm^{-1} dalga boyu arasında alınmıştır.

2.2.2.5 SEM

Ham ve aktive edilmiş örneklerin SEM görüntüleri, Zeiss marka SUPRA 50 VP mikroskobu kullanılarak alınmıştır.

2.2.3 Elektrokinetik Ölçümler

Zeta potansiyeli ölçümleri, 25 ± 1 °C’de mikro işlem donanımlı bir Zeta Metre 3.0 cihazı ile yapılmıştır. Cihaz, voltaj ve tane hızını dikkate alarak taneciklerin elektroforetik mobilitelerini otomatik olarak hesaplamakta ve bunu Smoluchowski denklemine göre zeta potansiyeline dönüştürmektedir:

$$\zeta = \frac{4V\pi}{D} \cdot EM \quad (2.3)$$

Burada; ζ , zeta potansiyeli (mV); D, dielektrik sabiti; V, süspansiyon sıvısının vizkozitesi (poise); ve EM, elektroforetik mobilitedir.

Ölçümler için 50 mL’inde 0,05 g aktif karbon örneği içeren süspansiyon 24 saat karıştırılarak şartlandırıldı. Süspansiyon iri taneciklerin dibe çökmesi için 1 dakika dinlendirildikten sonra ölçüm yapıldı. Hazırlanan süspansiyonlar ile 10 ölçüm yapılmış ve bu ölçümlerin ortalamaları alınmıştır. pH’nın etkisinin incelendiği deneyler hariç tüm zeta potansiyeli ölçümleri süspansiyonun tabii pH’sında yapıldı. Süspansiyonun pH’sı seyreltik HCl ve NaOH çözeltisi ile ayarlandı. Tüm çözeltiler bidestile su kullanılarak hazırlandı[79].

2.2.4 Adsorpsiyon Deneyleri

Adsorpsiyon deneyleri belli konsantrasyondaki 50 mL sulu metilen mavisi çözeltisinin H_2SO_4 ile aktifleştirilmiş Antep fıstığı kabuğu, nar kabuğu, zeytin çekirdeği ve H_3PO_4 ile aktifleştirilmiş zeytin çekirdeği örnekleri için 0,1 g aktif karbonun ve diğer örnekler için 0,05 g aktif karbon örneğinin kullanılmasıyla farklı

pH, iyon şiddeti ve sıcaklıklarda 24 saat 100 mL'lik polietilen kaplarda çalkalanması ile gerçekleştirilmiştir. Ön denemeler aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonunun 24 saatte dengeye eriştiğini göstermiştir. Çalkalayıcı inkübatör ile sıcaklık sabit tutulmuştur. Deneylerde metilen mavisinin, 1×10^{-2} ve 1×10^{-3} mol/L'lik stok çözeltileri kullanılmıştır. Çözeltinin pH'sı, kombine elektrot ile donatılmış Orion 920A pH metre kullanılarak NaOH ve HCl çözeltileri ile ve iyonik şiddeti, NaCl ile ayarlanmıştır. pH-metre her ölçümden önce kalibre edilmiştir. Adsorpsiyon periyodu sonunda çözelti 3500 rpm'de 15 dakika santrifüj edilmiş ve çözelti fazından pipet ile 10 mL'lik tüplere alınan örnekler değişik oranlarda distile su ile seyreltikten sonra çözeltideki metilen mavisinin konsantrasyonu PerkinElmer Lambda 25 UV/VIS spektrofotometre kullanılarak 663 nm dalga boyunda belirlenmiştir. Her seri deney için metilen mavisinin adsorplanmış miktarı, adsorpsiyondan önce ve sonraki çözeltideki konsantrasyonlarından hesaplandı. Metilen mavisi içermeyen körler, deneylerin her bir serisi için kullanıldı. Aktif karbonun gram miktarı başına adsorplanmış metilen mavisinin miktarı aşağıdaki denklemden hesaplanmıştır.

$$q_e = (C_0 - C_e) \frac{V}{W} \quad (2.4)$$

Burada q_e , dengede aktif karbon yüzeyinde adsorplanmış metilen mavisinin miktarı (mol/g); C_0 ve C_e , sırasıyla adsorpsiyondan önce ve sonra çözeltideki metilen mavisi miktarı (mol/L); V , çözeltinin hacmi (L) ve W , aktif karbonun gram miktarıdır[28,77].

3. BULGULAR

Aşağıda farklı başlangıç maddelerinden çıkılarak sentezlenen aktif karbonların karakterizasyonuna, elektrokinetik ve adsorpsiyon özelliklerine ait deneysel sonuçlar verilmektedir.

3.1 Sentezlenen Aktif Karbonların Karakterizasyonu

Deneylerde aktif karbon sentezi için Antep fıstığı kabuğu, nar kabuğu ve zeytin çekirdeği ham materyal olarak kullanıldı ve bu materyallerden sentezlenen aktif karbon örnekleri, BET yüzey alanı, elementel analiz, SEM ve FTIR-ATR cihazları kullanılarak karakterize edildi. Ayrıca sentezlenen örneklerin yoğunlukları ise piknometre yöntemine göre belirlendi.

3.1.1 BET Yüzey Alanı

Farklı ham maddelerden farklı yöntemlerle sentezlenen aktif karbon örnekleri konsantrasyon ve sıcaklıklara göre optimize edildikten sonra en yüksek BET yüzey alanlı örnekler, adsorpsiyon deneylerinde kullanıldı.

3.1.1.1 Antep Fıstığı Kabuğu

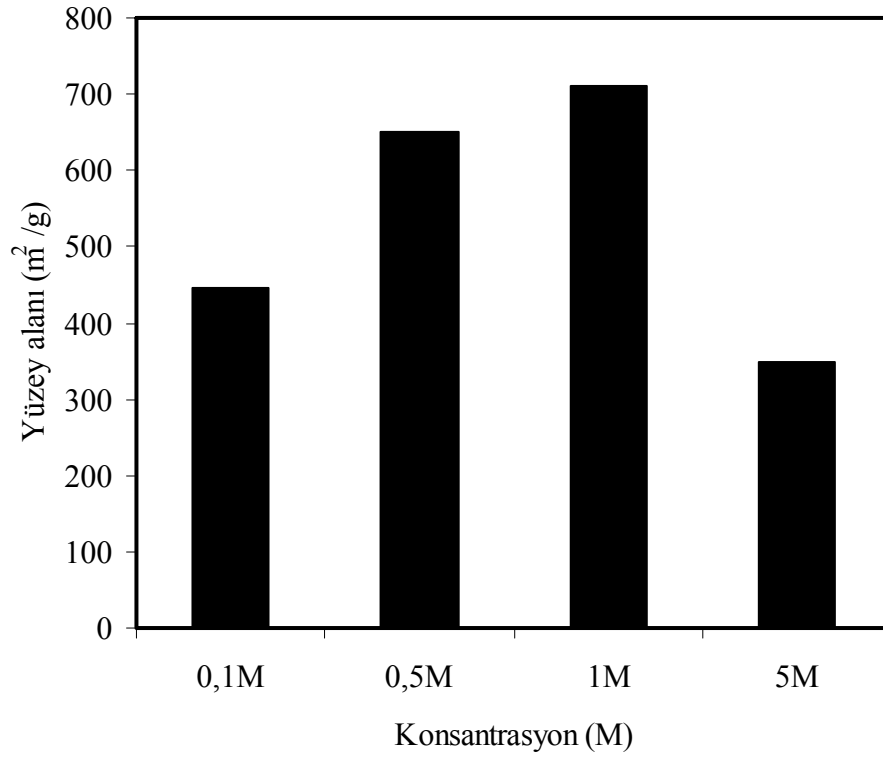
Antep fıstığı kabuğu 0,1, 0,5, 1 ve 5 M'lık H_2SO_4 , H_3PO_4 ve $ZnCl_2$ ile 300, 400, 500, 600, 700 ve 800 $^{\circ}C$ 'de piroliz edildi. Elde edilen sonuçlar, yüzey alanı (m^2/g)-konsantrasyon (M) ve yüzey alanı (m^2/g)-kalsinasyon sıcaklığı ($^{\circ}C$) şeklinde grafik edildi.

3.1.1.1.1 H₂SO₄ ile Aktifleştirilmiş Antep Fıstığı Kabuğu

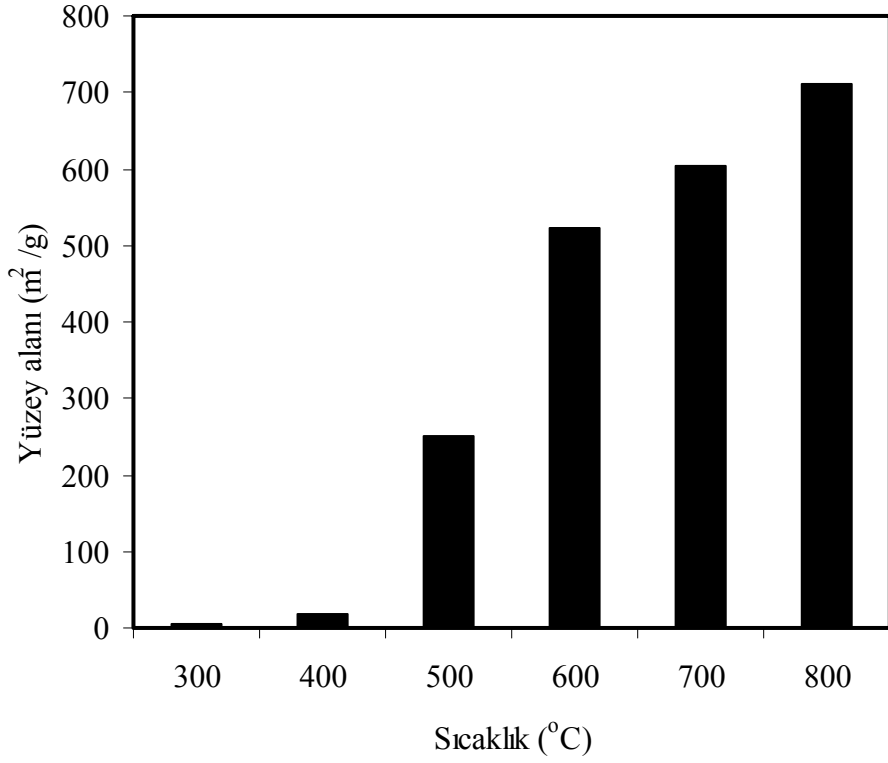
0,1 M, 0,5 M, 1 M ve 5 M'lık H₂SO₄ çözeltileri kullanılarak Antep fıstığı kabuğu 800 °C'de piroliz edildi. BET yüzey alanı ölçümlerinden en yüksek yüzey alanlı örnek, 1 M H₂SO₄ ile aktifleştirilmiş örnek olarak belirlendi. Optimizasyon için daha sonra Antep fıstığı 1 M H₂SO₄ kullanılarak 300, 400, 500, 600, 700 ve 800 °C'de piroliz edildi. Buradan da en yüksek yüzey alanlı örnek 800 °C'de piroliz edilen örnek olarak belirlendi ve adsorpsiyon çalışmalarında 1 M H₂SO₄ ile 800 °C'de piroliz edilen örnek kullanıldı. BET yüzey alanı ölçümlerinden elde edilen sonuçlar, Çizelge 3.1'de verilerek sırasıyla Şekil 3.1 ve 3.2'de grafik edilmiştir.

Çizelge 3.1 Farklı H₂SO₄ konsantrasyonlarında ve sıcaklıklarda Antep fıstığı kabuğundan sentezlenen aktif karbonların yüzey alanları

Konsantrasyon (M)	Yüzey alanı (m ² /g)	Sıcaklık (°C)	Yüzey alanı (m ² /g)
0,1	445	300	5
0,5	650	400	18
1,0	710	500	250
5,0	350	600	523
---	---	700	605
---	---	800	710



Şekil 3.1 H₂SO₄ ile aktifleştirilmiş Antep fıstığı kabuğunun yüzey alanının konsantrasyon ile değişimi



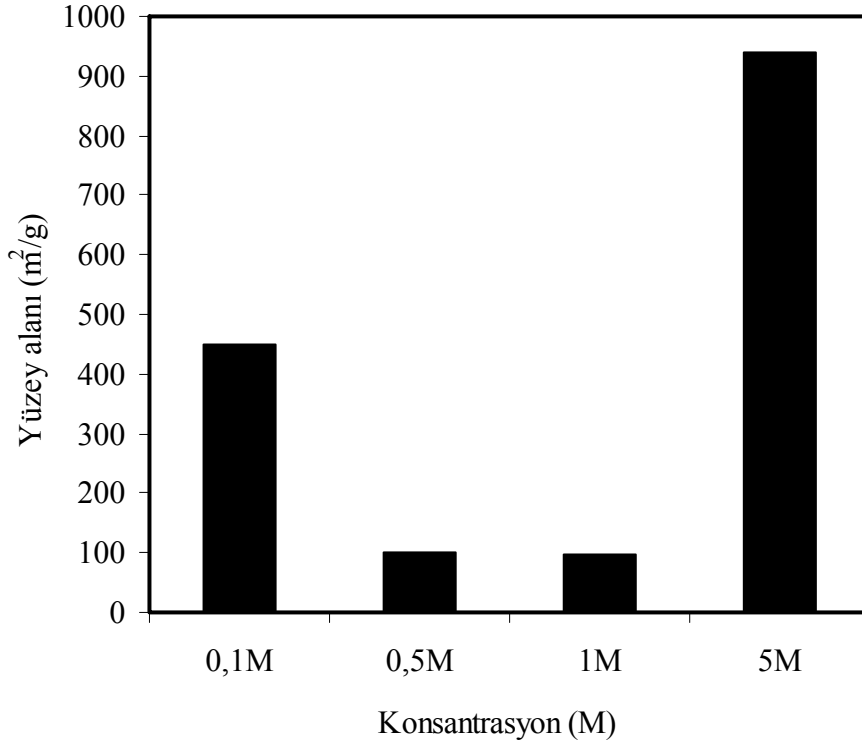
Şekil 3.2 H₂SO₄ ile aktifleştirilmiş Antep fıstığı kabuğunun yüzey alanının kalsinasyon sıcaklığı ile değişimi

3.1.1.1.2 H₃PO₄ ile Aktifleştirilmiş Antep Fıstığı Kabuğu

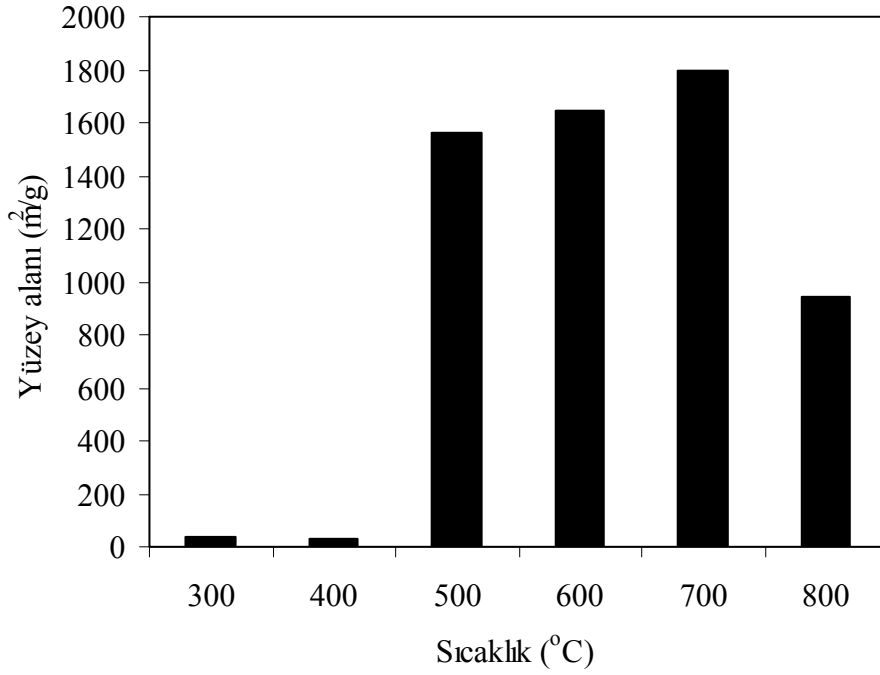
0,1 M, 0,5 M, 1 M ve 5 M'lık H₃PO₄ çözeltileri kullanılarak Antep fıstığı kabuğu 800 °C'de piroliz edildi. BET yüzey alanı ölçümlerinden en yüksek yüzey alanlı örnek, 5 M H₃PO₄ ile aktifleştirilmiş örnek olarak belirlendi. Optimizasyon için daha sonra 5 M H₃PO₄ kullanılarak Antep fıstığı kabuğu 300, 400, 500, 600, 700 ve 800 °C'de piroliz edildi. BET yüzey alanı ölçümlerinden elde edilen sonuçlar Çizelge 3.2'de verilerek sırasıyla Şekil 3.3 ve 3.4'de grafik edilmiştir.

Çizelge 3.2 Farklı H₃PO₄ konsantrasyonlarında ve sıcaklıklarda Antep fıstığı kabuğundan sentezlenen aktif karbonların yüzey alanları

Konsantrasyon (M)	Yüzey alanı (m ² /g)	Sıcaklık (°C)	Yüzey alanı (m ² /g)
0,1	450	300	35
0,5	100	400	32
1,0	97	500	1564
5,0	940	600	1643
---	---	700	1800
---	---	800	940



Şekil 3.3 H₃PO₄ ile aktifleştirilmiş Antep fıstığı kabuğunun yüzey alanının konsantrasyon ile değişimi



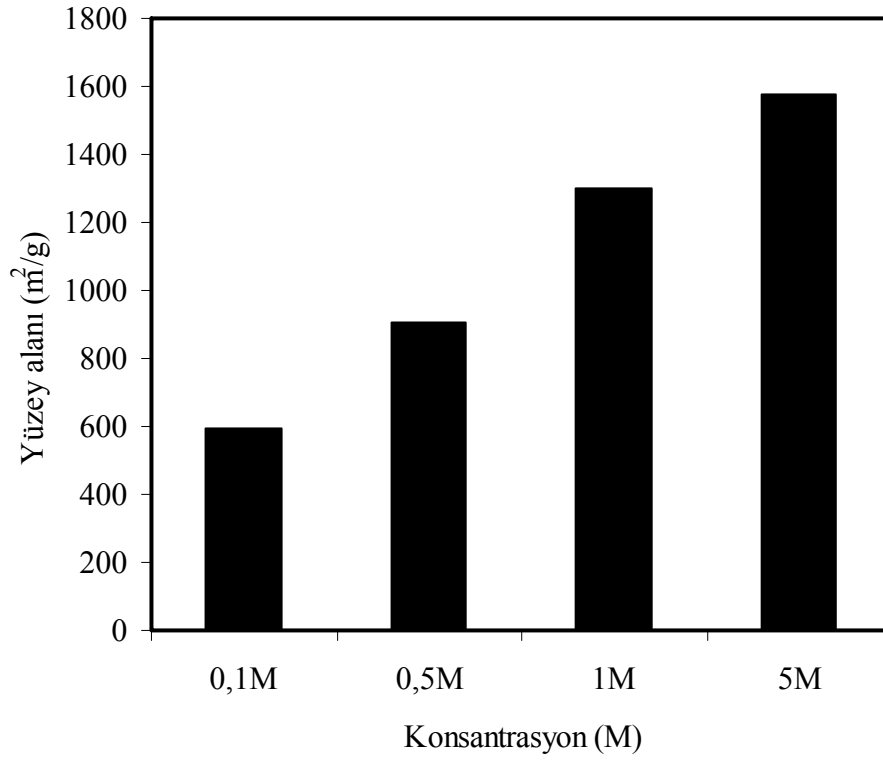
Şekil 3.4 H₃PO₄ ile aktifleştirilmiş Antep fıstığı kabuğunun yüzey alanının kalsinasyon sıcaklığı ile değişimi

3.1.1.1.3 ZnCl₂ ile Aktifleştirilmiş Antep Fıstığı Kabuğu

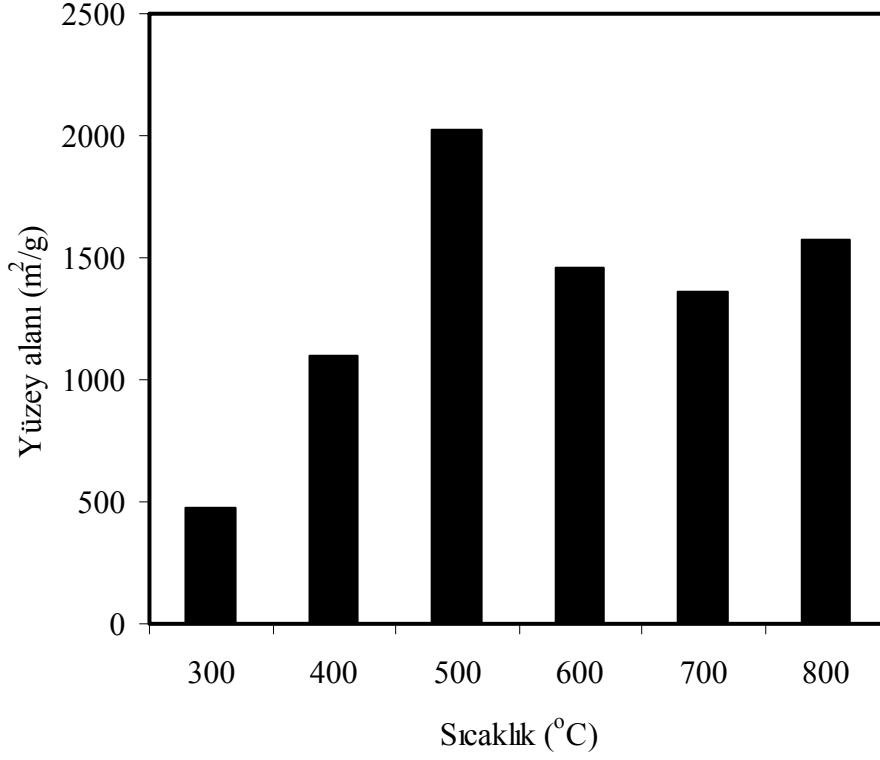
0,1 M, 0,5 M, 1 M ve 5 M'lık ZnCl₂ çözeltileri kullanılarak Antep fıstığı kabuğu 800 °C'de piroliz edildi. BET yüzey alanı ölçümlerinden en yüksek yüzey alanlı örnek, 5 M ZnCl₂ ile aktifleştirilmiş örnek olarak belirlendi. Optimizasyon için daha sonra 5 M ZnCl₂ kullanılarak Antep fıstığı kabuğu 300, 400, 500, 600, 700 ve 800 °C'de piroliz edildi. BET yüzey alanı ölçümlerinden elde edilen sonuçlar, Çizelge 3.3'de verilerek sırasıyla Şekil 3.5 ve 3.6'da grafik edilmiştir.

Çizelge 3.3 Farklı $ZnCl_2$ konsantrasyonlarında ve sıcaklıklarda Antep fıstığı kabuğundan sentezlenen aktif karbonların yüzey alanları

Konsantrasyon (M)	Yüzey alanı (m^2/g)	Sıcaklık (0C)	Yüzey alanı (m^2/g)
0,1	593	300	475
0,5	903	400	1096
1,0	1300	500	2022
5,0	1576	600	1460
---	---	700	1357
---	---	800	1576



Şekil 3.5 $ZnCl_2$ ile aktifleştirilmiş Antep fıstığı kabuğunun yüzey alanının konsantrasyon ile değişimi



Şekil 3.6 ZnCl₂ ile aktifleştirilmiş Antep fıstığı kabuğunun yüzey alanının kalsinasyon sıcaklığı ile değişimi

3.1.1.2 Nar Kabuğu

Nar kabuğu 0,1, 0,5, 1 ve 5 M'lık H₂SO₄, H₃PO₄ ve ZnCl₂ ile 300, 400, 500, 600, 700 ve 800 °C'de piroliz edildi. Elde edilen sonuçlar, yüzey alanı (m²/g)-konsantrasyon (M) ve yüzey alanı (m²/g)-kalsinasyon sıcaklığı (°C) şeklinde grafik edildi.

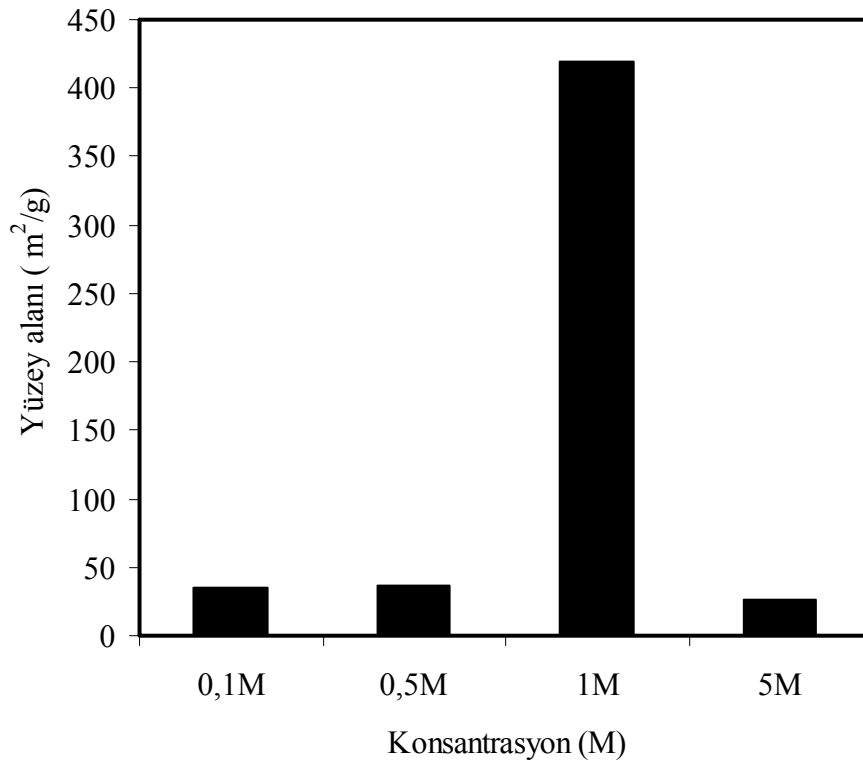
3.1.1.2.1 H₂SO₄ ile Aktifleştirilmiş Nar Kabuğu

0,1, 0,5, 1 ve 5 M'lık H₂SO₄ çözeltileri kullanılarak nar kabuğu 800 °C'de piroliz edildi. BET yüzey alanı ölçümlerinden en yüksek yüzey alanlı örnek, 1 M H₂SO₄ ile aktifleştirilmiş örnek olarak belirlendi. Optimizasyon için daha sonra nar kabuğu 1 M H₂SO₄ kullanılarak 300, 400, 500, 600, 700 ve 800 °C'de piroliz edildi. Buradan da en yüksek yüzey alanlı örnek 800 °C'de piroliz edilen örnek olarak belirlendi ve adsorpsiyon çalışmalarında 1 M H₂SO₄ ile 800 °C'de piroliz edilen

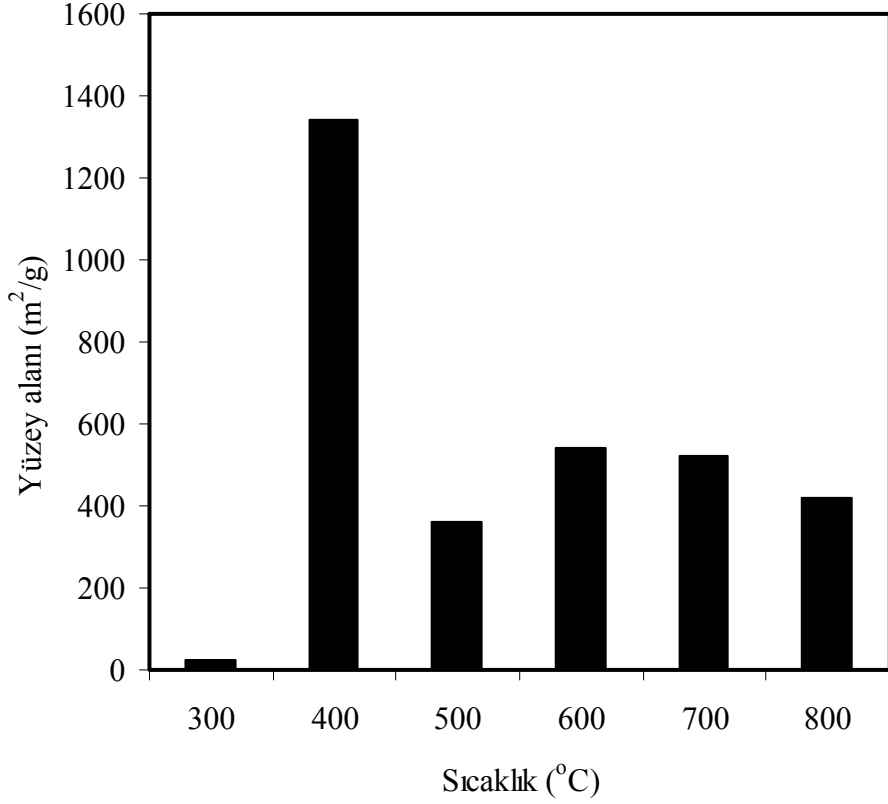
örnek kullanıldı. BET yüzey alanı ölçümlerinden elde edilen sonuçlar, Çizelge 3.4’de verilerek sırasıyla Şekil 3.7 ve 3.8’de grafik edilmiştir.

Çizelge 3.4 Farklı H₂SO₄ konsantrasyonlarında ve sıcaklıklarda nar kabuğundan sentezlenen aktif karbonların yüzey alanları

Konsantrasyon (M)	Yüzey alanı (m ² /g)	Sıcaklık (°C)	Yüzey alanı (m ² /g)
0,1	35	300	26
0,5	36	400	1340
1,0	420	500	360
5,0	26	600	540
---	---	700	520
---	---	800	420



Şekil 3.7 H₂SO₄ ile aktifleştirilmiş nar kabuğunun yüzey alanının konsantrasyon ile değişimi



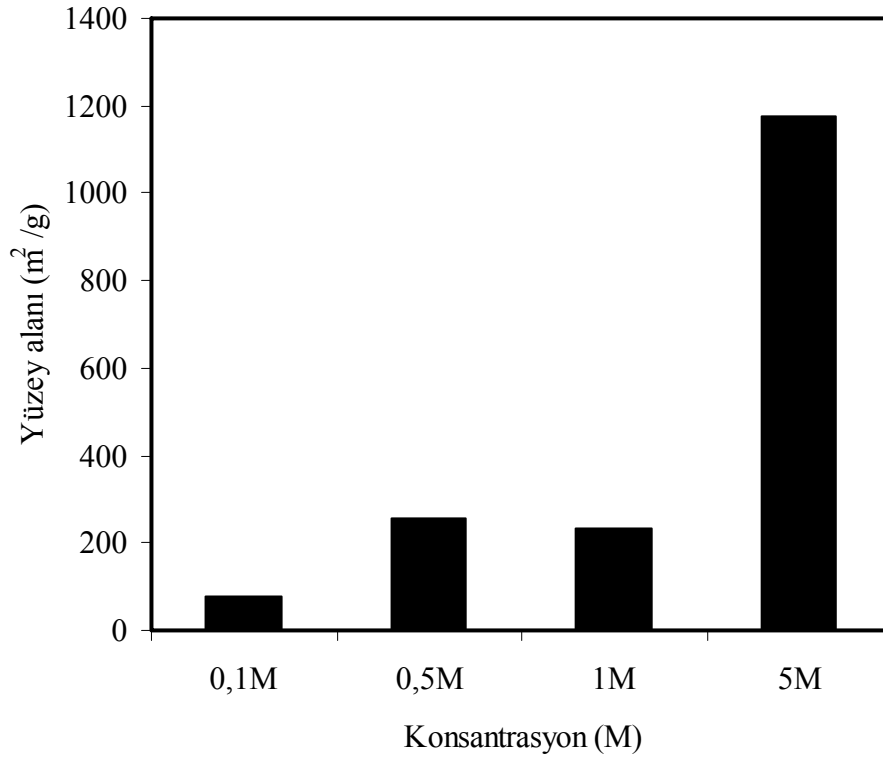
Şekil 3.8 H₂SO₄ ile aktifleştirilmiş nar kabuğunun yüzey alanının kalsinasyon sıcaklığı ile değişimi

3.1.1.2.2 H₃PO₄ ile Aktifleştirilmiş Nar Kabuğu

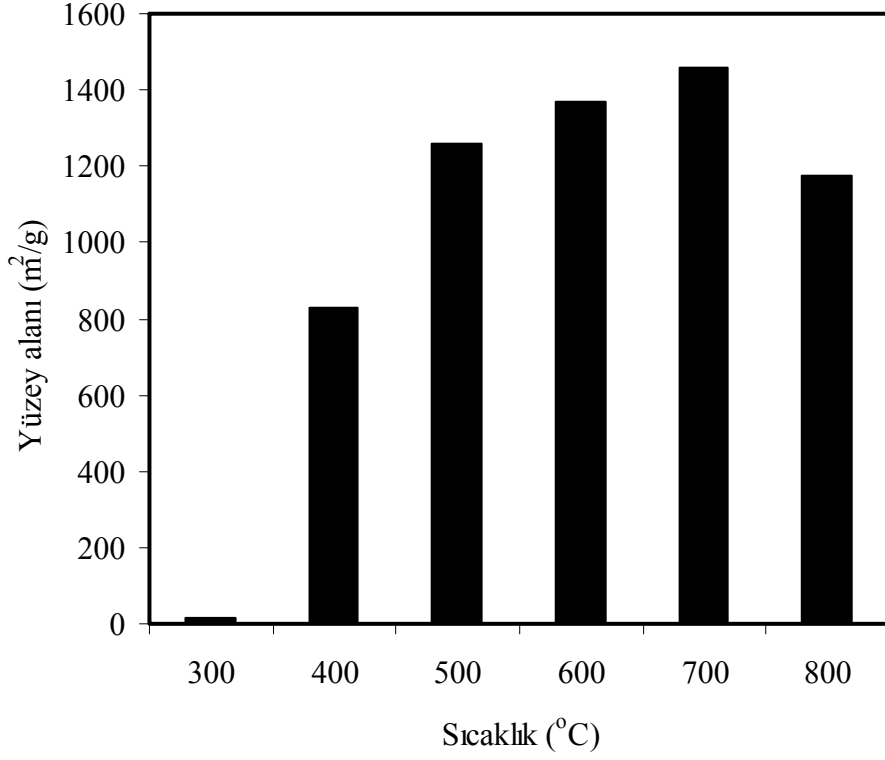
0,1, 0,5, 1 ve 5 M'lık H₃PO₄ çözeltileri kullanılarak nar kabuğu, 800 °C'de piroliz edildi. BET yüzey alanı ölçümlerinden en yüksek yüzey alanlı örnek, 5 M H₃PO₄ ile aktifleştirilmiş örnek olarak belirlendi. Optimizasyon için daha sonra 5 M H₃PO₄ kullanılarak nar kabuğu 300, 400, 500, 600, 700 ve 800 °C'de piroliz edildi. BET yüzey alanı ölçümlerinden elde edilen sonuçlar, Çizelge 3.5'de verilerek sırasıyla Şekil 3.9 ve 3.10'de grafik edilmiştir.

Çizelge 3.5 Farklı H_3PO_4 konsantrasyonlarında ve sıcaklıklarda nar kabuğundan sentezlenen aktif karbonların yüzey alanları

Konsantrasyon (M)	Yüzey alanı (m^2/g)	Sıcaklık (0C)	Yüzey alanı (m^2/g)
0,1	76	300	17
0,5	255	400	827
1,0	233	500	1257
5,0	1175	600	1369
---	---	700	1457
---	---	800	1175



Şekil 3.9 H_3PO_4 ile aktifleştirilmiş nar kabuğunun yüzey alanının konsantrasyon ile değişimi



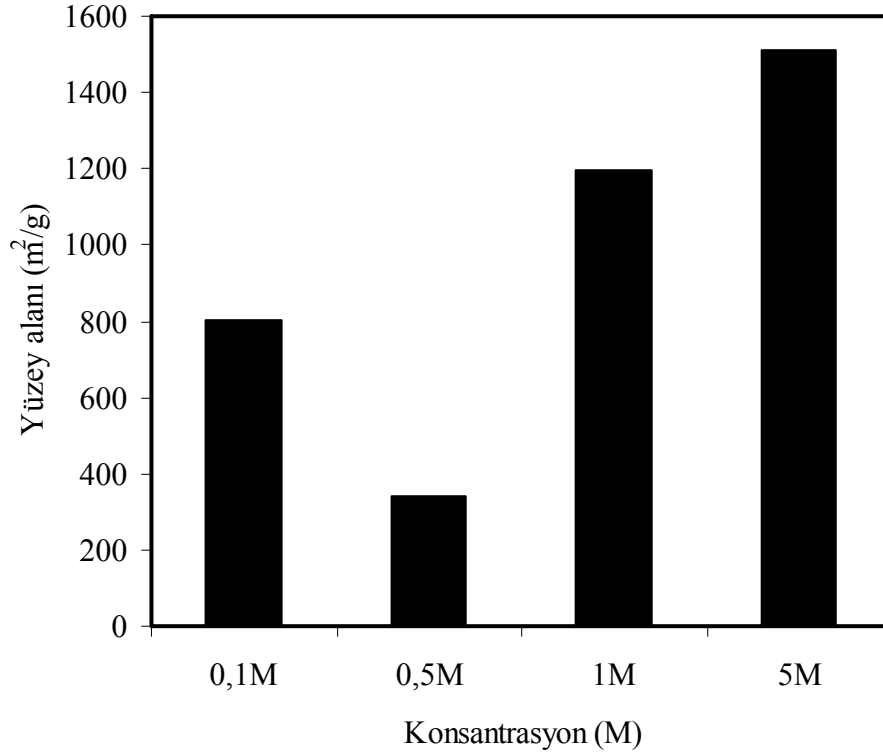
Şekil 3.10 H₃PO₄ ile aktifleştirilmiş nar kabuğunun yüzey alanının kalsinasyon sıcaklığı ile değişimi

3.1.1.2.3 ZnCl₂ ile Aktifleştirilmiş Nar Kabuğu

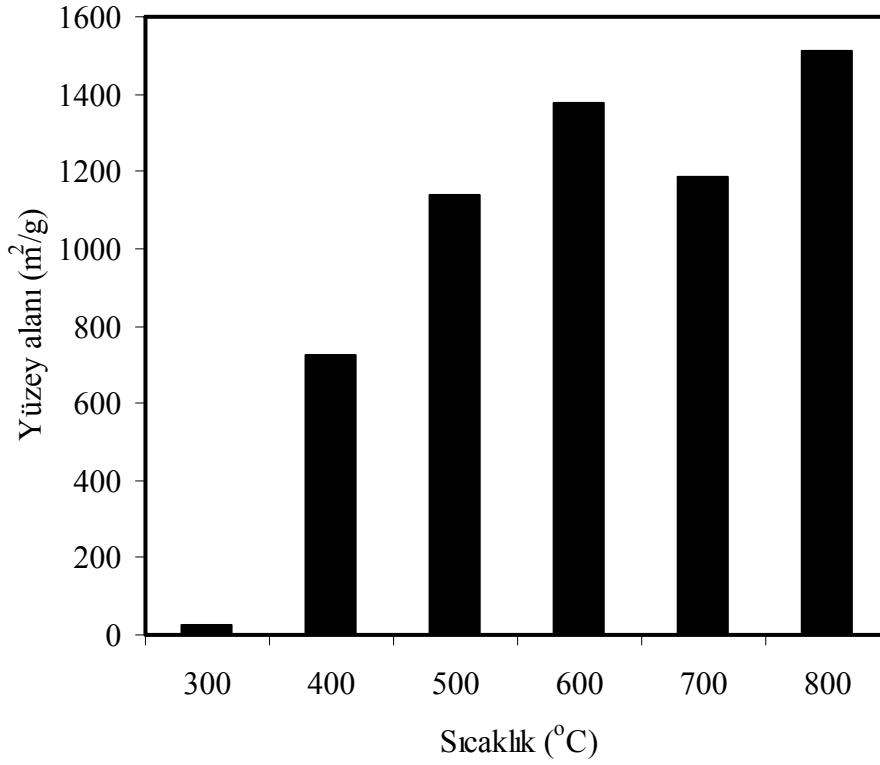
0,1, 0,5, 1 ve 5 M'lık ZnCl₂ çözeltileri kullanılarak nar kabuğu, 800 °C'de piroliz edildi. BET yüzey alanı ölçümlerinden en yüksek yüzey alanlı örnek, 5 M ZnCl₂ ile aktifleştirilmiş örnek olarak belirlendi. Optimizasyon için daha sonra 5 M ZnCl₂ kullanılarak nar kabuğu 300, 400, 500, 600, 700 ve 800 °C'de piroliz edildi. BET yüzey alanı ölçümlerinden elde edilen sonuçlar, Çizelge 3.6'da verilerek sırasıyla Şekil 3.11 ve 3.12'de grafik edilmiştir.

Çizelge 3.6 Farklı ZnCl₂ konsantrasyonlarında ve sıcaklıklarda nar kabuğundan sentezlenen aktif karbonların yüzey alanları

Konsantrasyon (M)	Yüzey alanı (m ² /g)	Sıcaklık (°C)	Yüzey alanı (m ² /g)
0,1	801	300	28
0,5	339	400	726
1,0	1196	500	1137
5,0	1512	600	1377
---	---	700	1188
---	---	800	1512



Şekil 3.11 ZnCl₂ ile aktifleştirilmiş nar kabuğunun yüzey alanının konsantrasyon ile değişimi



Şekil 3.12 ZnCl₂ ile aktifleştirilmiş nar kabuğunun yüzey alanının kalsinasyon sıcaklığı ile değişimi

3.1.1.3 Zeytin Çekirdeği

Zeytin çekirdeği 0,1, 0,5, 1 ve 5 M'lık H₂SO₄, H₃PO₄ ve ZnCl₂ ile 300, 400, 500, 600, 700 ve 800 °C'de piroliz edildi. Elde edilen sonuçlar, yüzey alanı (m²/g)-konsantrasyon (M) ve yüzey alanı (m²/g)-kalsinasyon sıcaklığı (°C) şeklinde grafik edildi.

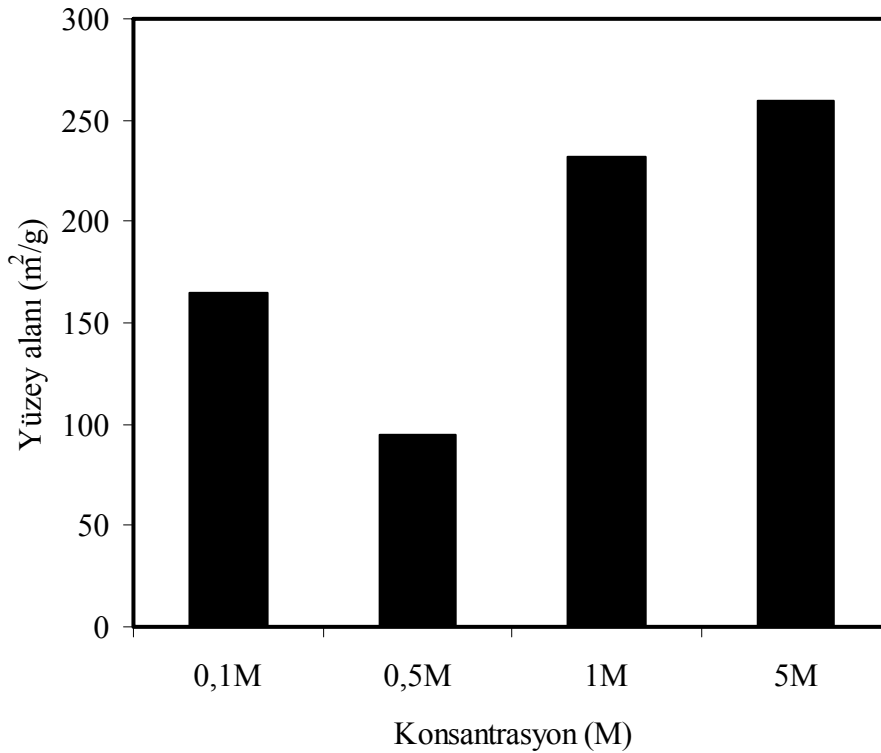
3.1.1.3.1 H₂SO₄ ile Aktifleştirilmiş Zeytin Çekirdeği

0,1, 0,5, 1 ve 5 M'lık H₂SO₄ çözeltileri kullanılarak zeytin çekirdeği 800 °C'de piroliz edildi. BET yüzey alanı ölçümlerinden en yüksek yüzey alanlı örnek, 1 M H₂SO₄ ile aktifleştirilmiş örnek olarak belirlendi. Optimizasyon için daha sonra zeytin çekirdeği 1 M H₂SO₄ kullanılarak 300, 400, 500, 600, 700 ve 800 °C'de piroliz edildi. Buradan da en yüksek yüzey alanlı örnek, 800 °C'de piroliz edilen örnek olarak belirlendi ve adsorpsiyon çalışmalarında 1 M H₂SO₄ ile 800 °C'de

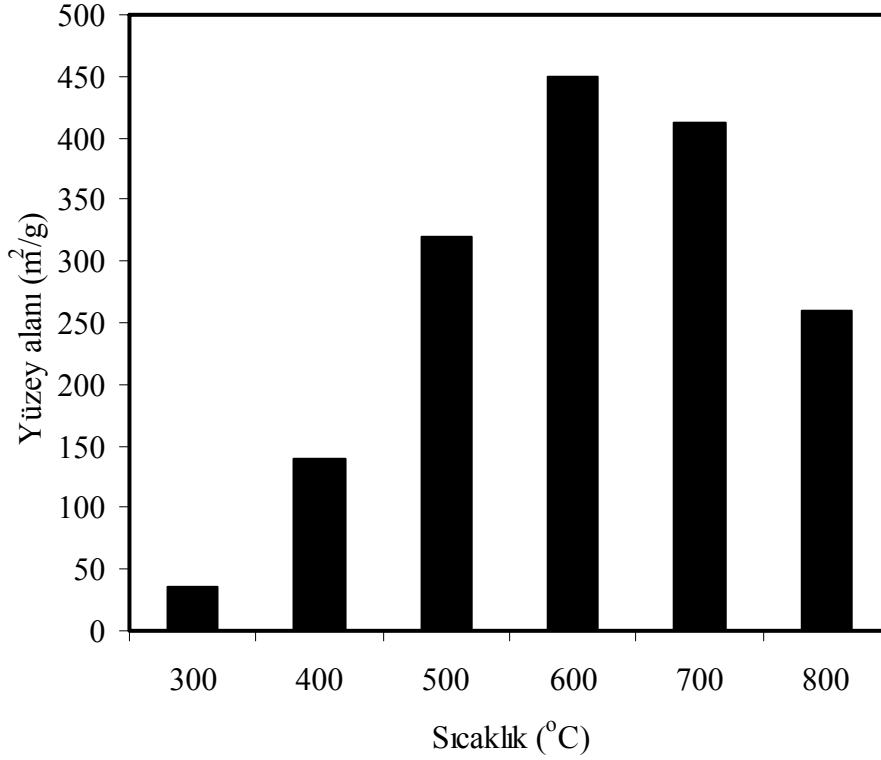
piroliz edilen örnek kullanıldı. BET yüzey alanı ölçümlerinden elde edilen sonuçlar, Çizelge 3.7’de verilerek sırasıyla Şekil 3.13 ve 3.14’de grafik edilmiştir.

Çizelge 3.7 Farklı H₂SO₄ konsantrasyonlarında ve sıcaklıklarda zeytin çekirdeğinden sentezlenen aktif karbonların yüzey alanları

Konsantrasyon (M)	Yüzey alanı (m ² /g)	Sıcaklık (°C)	Yüzey alanı (m ² /g)
0,1	165	300	35
0,5	95	400	140
1,0	232	500	320
5,0	260	600	450
---	---	700	412
---	---	800	260



Şekil 3.13 H₂SO₄ ile aktive edilmiş zeytin çekirdeğinin yüzey alanının konsantrasyon ile değişimi



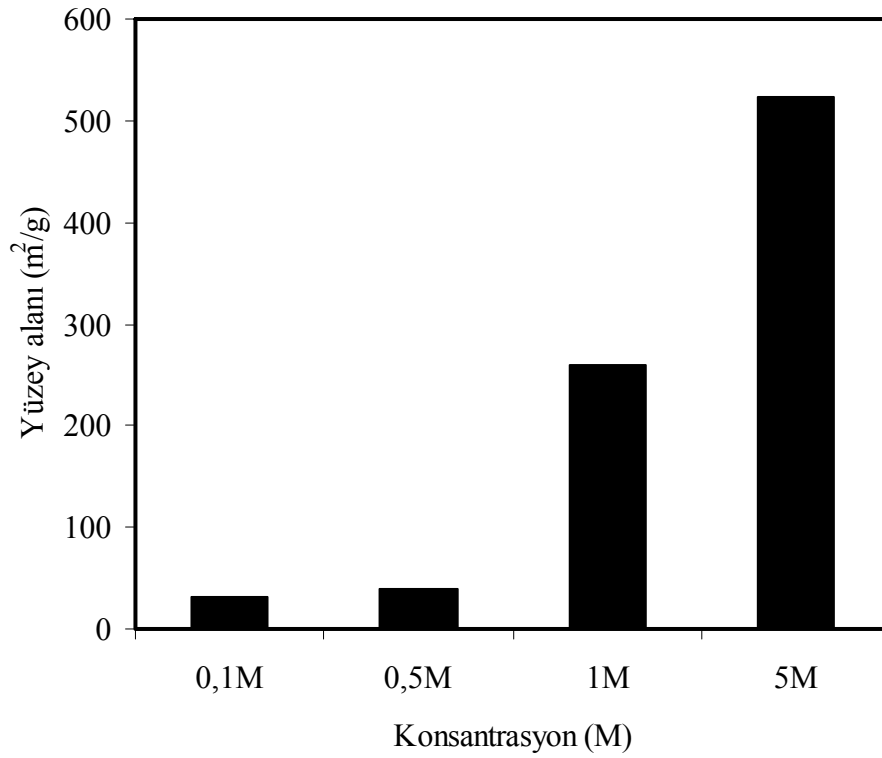
Şekil 3.14 H₂SO₄ ile aktifleştirilmiş zeytin çekirdeğinin yüzey alanının kalsinasyon sıcaklığı ile değişimi

3.1.1.3.2 H₃PO₄ ile Aktifleştirilmiş Zeytin Çekirdeği

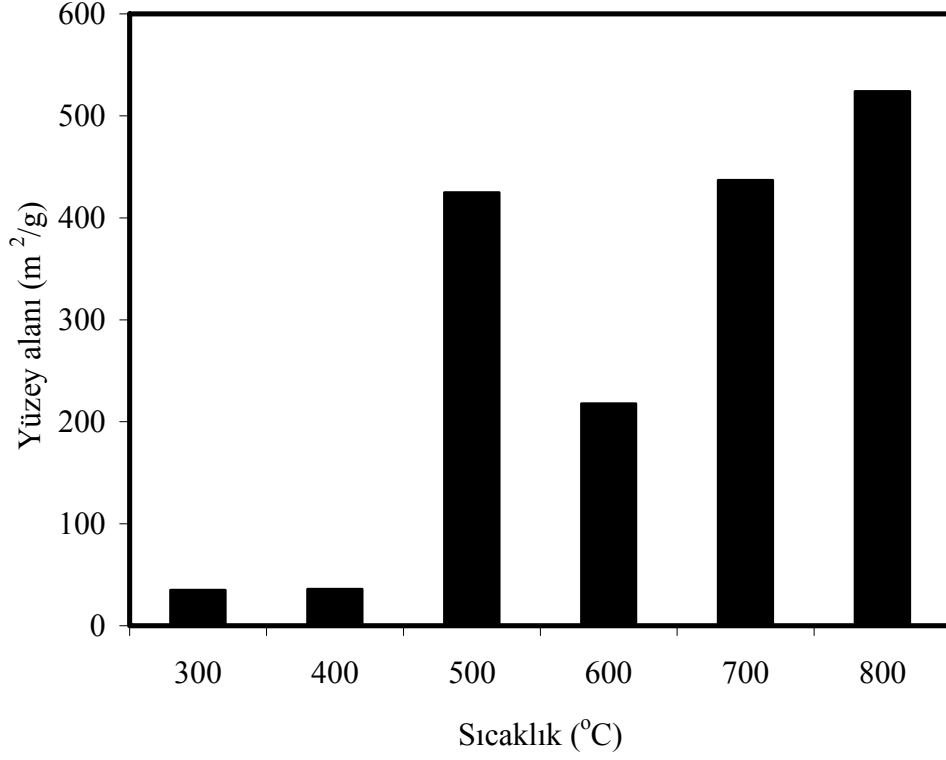
0,1, 0,5, 1 ve 5 M'lık H₃PO₄ çözeltileri kullanılarak zeytin çekirdeği 800 °C'de piroliz edildi. BET yüzey alanı ölçümlerinden en yüksek yüzey alanlı örnek, 5 M H₃PO₄ ile aktifleştirilmiş örnek olarak belirlendi. Optimizasyon için daha sonra 5 M H₃PO₄ kullanılarak zeytin çekirdeği 300, 400, 500, 600, 700 ve 800 °C'de piroliz edildi. BET yüzey alanı ölçümlerinden elde edilen sonuçlar, Çizelge 3.8'de verilerek sırasıyla Şekil 3.15 ve 3.16'da grafik edilmiştir.

Çizelge 3.8 Farklı H₃PO₄ konsantrasyonlarında ve sıcaklıklarda zeytin çekirdeğinden sentezlenen aktif karbonların yüzey alanları

Konsantrasyon (M)	Yüzey alanı (m ² /g)	Sıcaklık (°C)	Yüzey alanı (m ² /g)
0,1	32	300	35
0,5	39	400	36
1,0	260	500	425
5,0	524	600	218
---	---	700	437
---	---	800	524



Şekil 3.15 H₃PO₄ ile aktifleştirilmiş zeytin çekirdeğinin yüzey alanının konsantrasyon ile değişimi



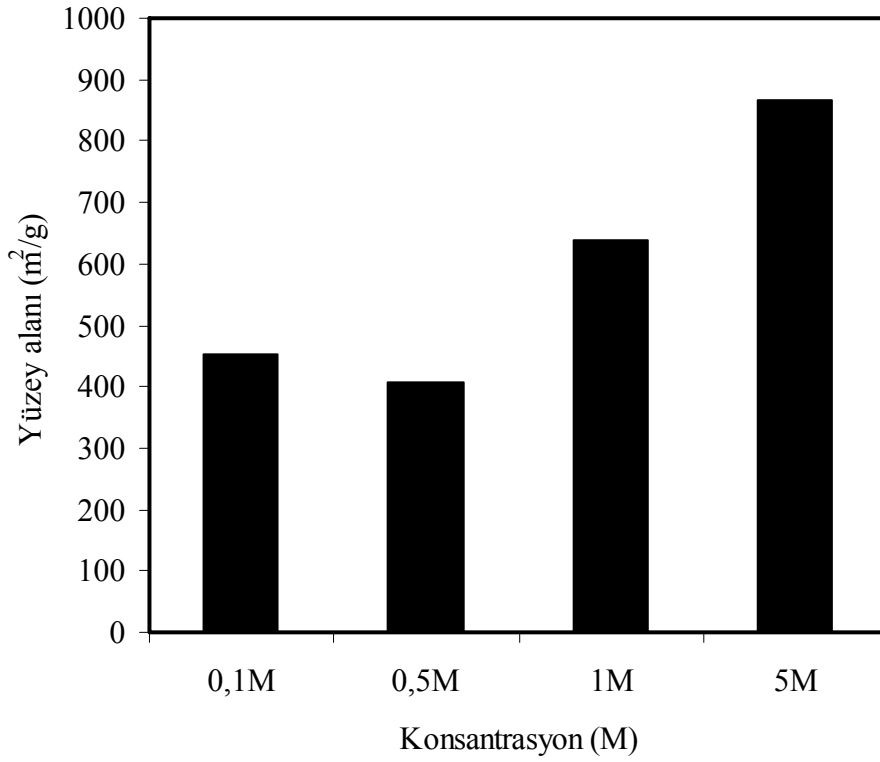
Şekil 3.16 H₃PO₄ ile aktifleştirilmiş zeytin çekirdeğinin yüzey alanının kalsinasyon sıcaklığı ile değişimi

3.1.1.3.3 ZnCl₂ ile Aktifleştirilmiş Zeytin Çekirdeği

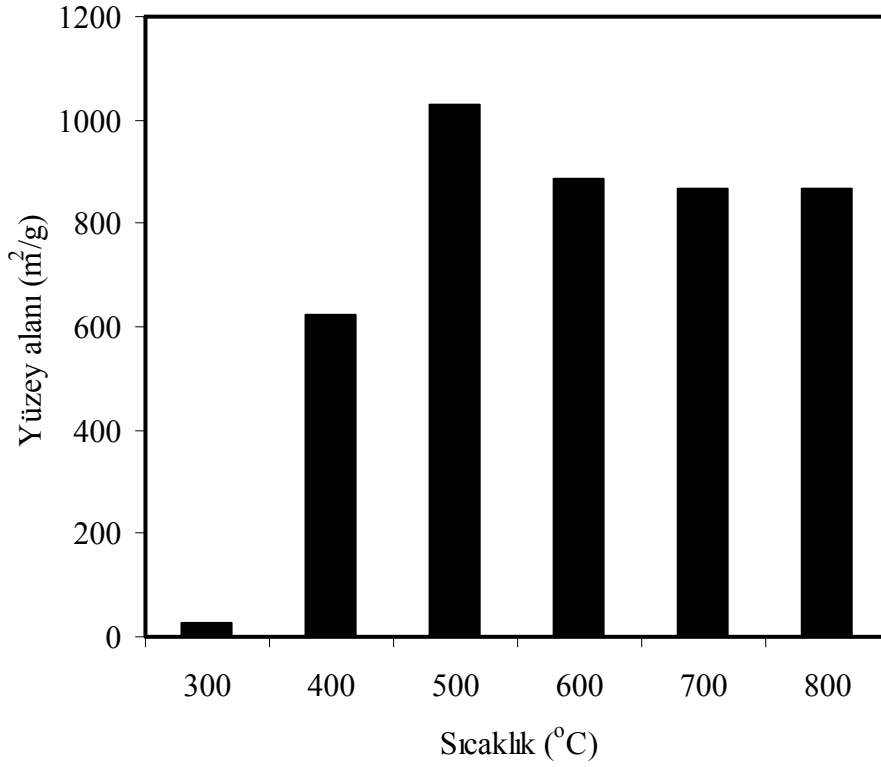
0,1, 0,5, 1 ve 5 M'lık ZnCl₂ çözeltileri kullanılarak zeytin çekirdeği, 800 °C'de piroliz edildi. BET yüzey alanı ölçümlerinden en yüksek yüzey alanlı örnek, 5 M ZnCl₂ ile aktifleştirilmiş örnek olarak belirlendi. Optimizasyon için daha sonra 5 M ZnCl₂ kullanılarak zeytin çekirdeği 300, 400, 500, 600, 700 ve 800 °C'de piroliz edildi. BET yüzey alanı ölçümlerinden elde edilen sonuçlar, Çizelge 3.9'de verilerek sırasıyla Şekil 3.17 ve 3.18'de grafik edilmiştir.

Çizelge 3.9 Farklı ZnCl₂ konsantrasyonlarında ve sıcaklıklarda zeytin çekirdeğinden sentezlenen aktif karbonların yüzey alanları

Konsantrasyon (M)	Yüzey alanı (m ² /g)	Sıcaklık (°C)	Yüzey alanı (m ² /g)
0,1	453	300	26
0,5	408	400	625
1,0	637	500	1031
5,0	866	600	886
---	---	700	867
---	---	800	866



Şekil 3.17 ZnCl₂ ile aktifleştirilmiş zeytin çekirdeğinin yüzey alanının konsantrasyon ile değişimi



Şekil 3.18 ZnCl₂ ile aktifleştirilmiş zeytin çekirdeğinin yüzey alanının kalsinasyon sıcaklığı ile değişimi

3.1.2 Gözenek Boyutu Dağılımı

Farklı ham örnekler kullanılarak farklı yöntemlerle optimize edilen aktif karbon örneklerinin gözenek boyutu dağılımı BET yüzey alanı cihazı kullanılarak DFT dV(r) metodu ile toplam gözenek hacmi ve t-plot metodu ile de mikro gözenek hacmi belirlendi ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3.10'da verildi.

Çizelge 3.10. Farklı ham örnekler kullanılarak farklı yöntemlerle sentezlenen aktif karbonların BET yüzey alanları, gözenek hacmi ve yoğunlukları

Örnek	BET yüzey alanı (m ² /g)	Mikro gözenek hacmi (cc/g)	Mezo gözenek hacmi (cc/g)	DFT toplam gözenek hacmi (cc/g)	Yoğunluk (g/cm ³)
H ₂ SO ₄ - AF	710	0,268	0,059	0,327	0,15
H ₃ PO ₄ -AF	1800	0,497	0,745	1,242	0,19
ZnCl ₂ -AF	2022	0,513	0,834	1,347	0,10
H ₂ SO ₄ - NK	1340	---	0,045	0,045	0,16
H ₃ PO ₄ -NK	1457	---	2,709	2,709	0,21
ZnCl ₂ -NK	1512	---	1,390	1,390	0,16
H ₂ SO ₄ -ZÇ	450	0,159	0,080	0,239	0,29
H ₃ PO ₄ -ZÇ	524	0,019	0,342	0,361	0,26
ZnCl ₂ -ZÇ	1031	0,279	0,259	0,538	0,20

3.1.3 Yoğunluk

Yoğunluk belirlemede piknometre yöntemi kullanılmıştır. 110 °C’de kurutulan ham örnekler 10 mL’lik piknometreye kondu. Üzerine toluen konularak karıştırıldıktan sonra, işaret çizgisine kadar tamamlandı. Tartım değerleri yardımı ile yoğunluk hesaplandı. Hesaplamalar aşağıdaki formüle göre yapıldı[80]. Sonuçlar, Çizelge 3.10’da verildi.

Piknometre ağırlığı: W_p

Aktif karbonun ağırlığı: $W_ö$

(Piknometre + Aktif karbon + Sıvı) : W_t

Saf sıvının yoğunluğu : d_s

Piknometrenin hacmi : V_p

$$\text{Aktif karbonun hacmi} = V_p - \frac{W_t - (W_p + W_ö)}{d_s} \quad (3.1)$$

$$\text{Aktif karbonun yoğunluğu} = \frac{W_{\delta}}{V_p - \frac{W_t - (W_p + W_{\delta})}{d_s}} \quad (3.2)$$

3.1.4 Elementel Analiz

Farklı ham örnekler kullanılarak ve farklı yöntemlerle sentezlenen aktif karbon örneklerinin elementel analiz sonuçları, Çizelge 3.11' de % bileşim cinsinden verilmiştir.

Çizelge 3.11. Antep fıstığı kabuğunun ve farklı yöntemlerle sentezlenen aktif karbon örneklerinin elementel analiz sonuçları

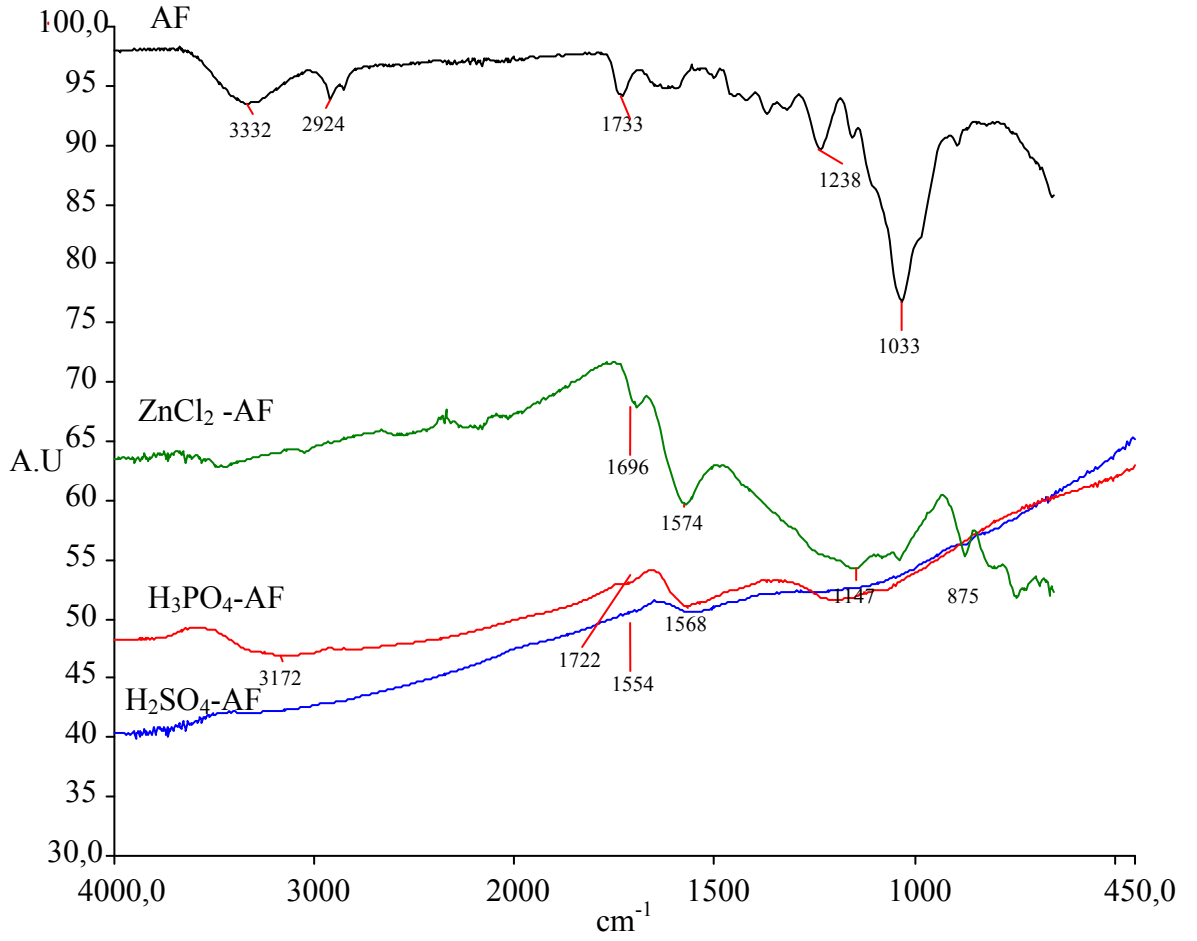
Bitkisel Materyal	% C	% H	% N	%S	%O*
Fıstık Kabuğu	45,16	6,31	0,47	0,14	47,92
1M H ₂ SO ₄ -FK	76,22	2,09	0,43	0,35	20,91
5M H ₃ PO ₄ -FK	55,93	2,92	0,87	0,14	40,15
5M ZnCl ₂ -FK	67,35	2,05	0,97	0,23	29,40
Nar Kabuğu	42.85	5.14	0.79	0.13	51.10
1M H ₂ SO ₄ -NK	59.35	2.80	1.23	1.13	35.49
5M H ₃ PO ₄ -NK	56.65	2.39	1.48	0.15	39.32
5M ZnCl ₂ -NK	82.84	1.30	1.73	0.17	13.96
Zeytin çekirdeği	50.13	7.13	0.91	0.44	41.38
5M H ₂ SO ₄ -ZÇ	55.61	2.19	1.05	1.51	39.63
5M H ₃ PO ₄ -ZÇ	38.87	2.46	0.72	0.05	57.90
5M ZnCl ₂ -ZÇ	54.95	2.03	0.78	0.09	42.15

O* : Farktan bulunmuştur.

3.1.5 FTIR-ATR Analizi

3.1.5.1 Antep Fıstığı Kabuğu

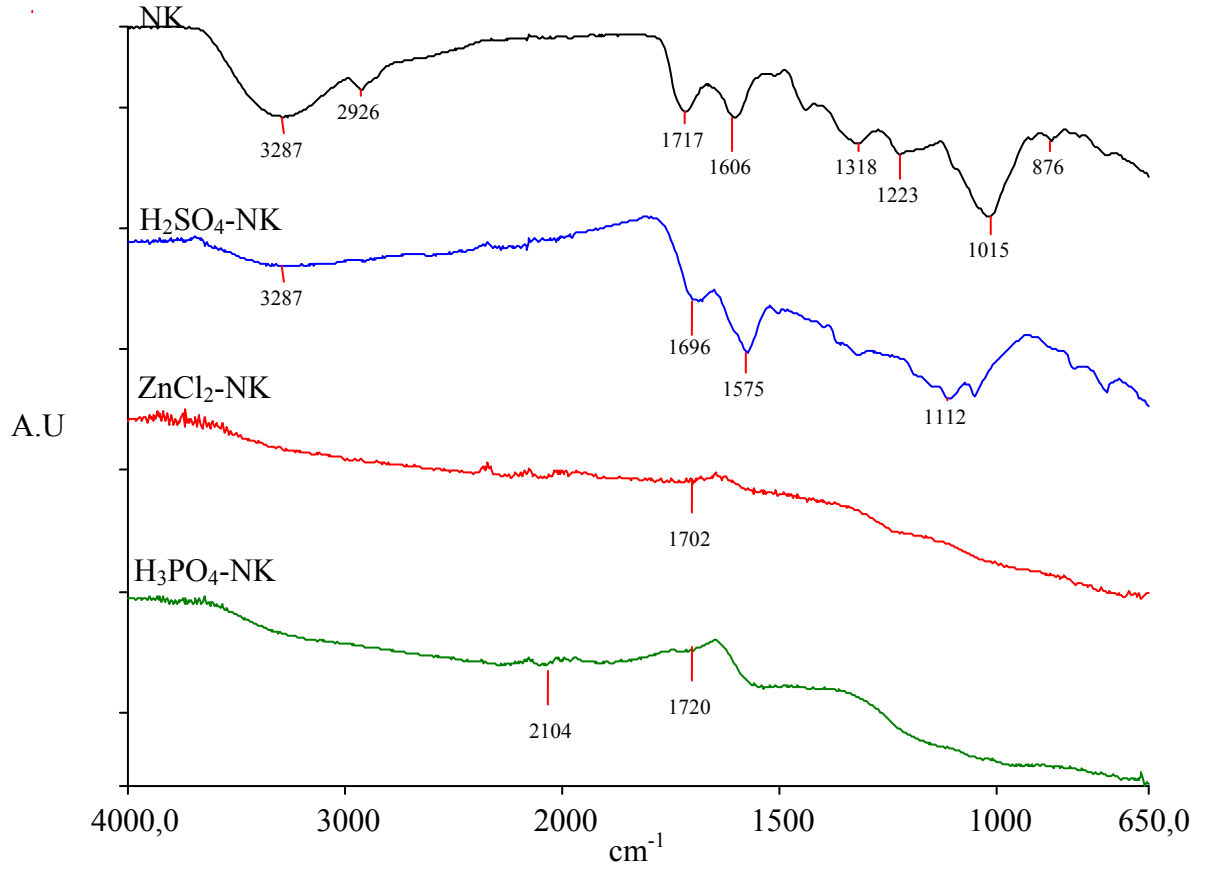
Antep fıstığı kabuğu ve Antep fıstığı kabuğundan farklı yöntemlerle sentezlenerek optimize edilen örneklerin FTIR-ATR spektrumları Şekil 3.19'da verilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi farklı yöntemlerle sentezlenerek optimize edilen örneklerin FTIR-ATR spektrumlarında önemli değişikliklerin meydana geldiği görülmektedir. Spektrumlar incelendiğinde yüksek sıcaklıklara çıkıldığında ham örneğin yapısında bulunan fonksiyonel grupların sıcaklığın etkisi ile yapıdan bir çoğunun uzaklaştığı gözükmemektedir.



Şekil 3.19 Antep fıstığı kabuğu ve sentezlenen aktif karbon örneklerinin FTIR-ATR spektrumları

3.1.5.2 Nar Kabuğu

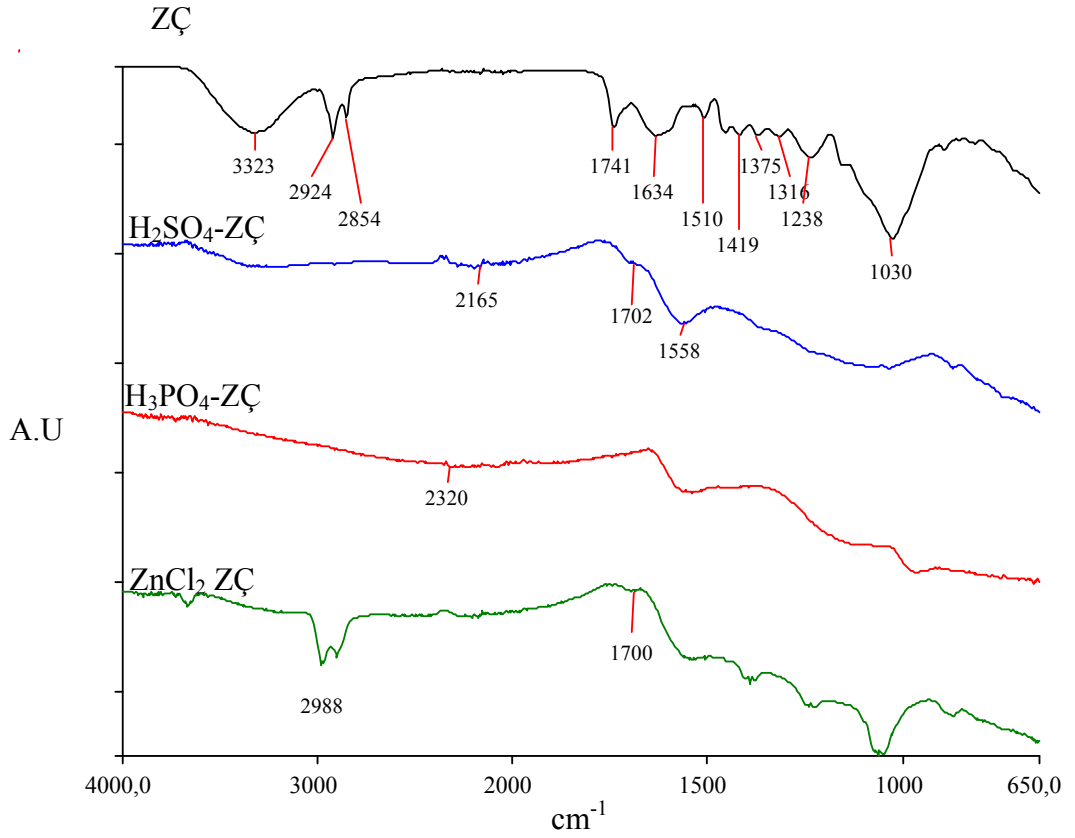
Nar kabuğu ve nar kabuğundan farklı yöntemlerle sentezlenerek optimize edilen örneklerin FTIR-ATR spektrumları Şekil 3.20’de verilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi farklı yöntemlerle sentezlenerek optimize edilen örneklerin FTIR-ATR spektrumlarında önemli değişikliklerin meydana geldiği görülmektedir. Spektrumlar incelendiğinde yüksek sıcaklıklara çıkıldığında ham örneğin yapısında bulunan fonksiyonel grupların sıcaklığın etkisi ile yapıdan bir çoğunun uzaklaştığı gözükmemektedir.



Şekil 3.20 Nar kabuğu ve sentezlenen aktif karbon örneklerinin FTIR-ATR spektrumları

3.1.5.3 Zeytin Çekirdeği

Zeytin çekirdeği ve zeytin çekirdeğinden farklı yöntemlerle sentezlenerek optimize edilen örneklerin FTIR-ATR spektrumları, Şekil 3.21’de verilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi farklı yöntemlerle sentezlenerek optimize edilen örneklerin FTIR-ATR spektrumlarında önemli değişikliklerin meydana geldiği görülmektedir. Spektrumlar incelendiğinde yüksek sıcaklıklara çıkıldığında ham örneğin yapısında bulunan fonksiyonel grupların sıcaklığın etkisi ile yapıdan uzaklaştığı ve yapıda sadece elementel karbonun kaldığı gözükmemektedir.

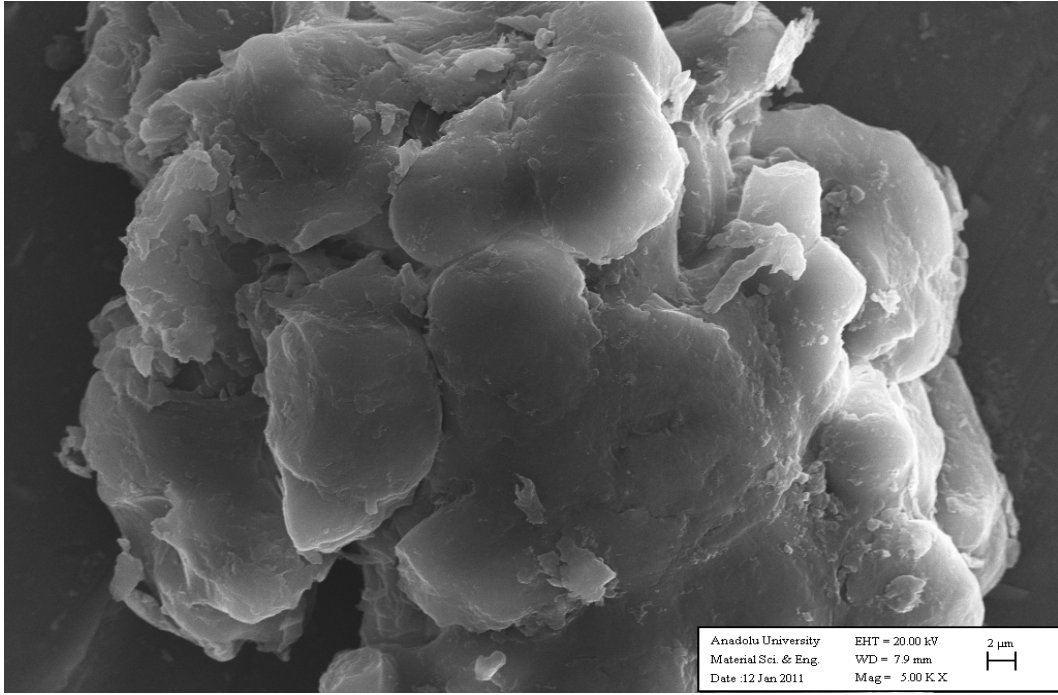


Şekil 3.21 Zeytin çekirdeği ve sentezlenen aktif karbon örneklerinin FTIR-ATR spektrumları

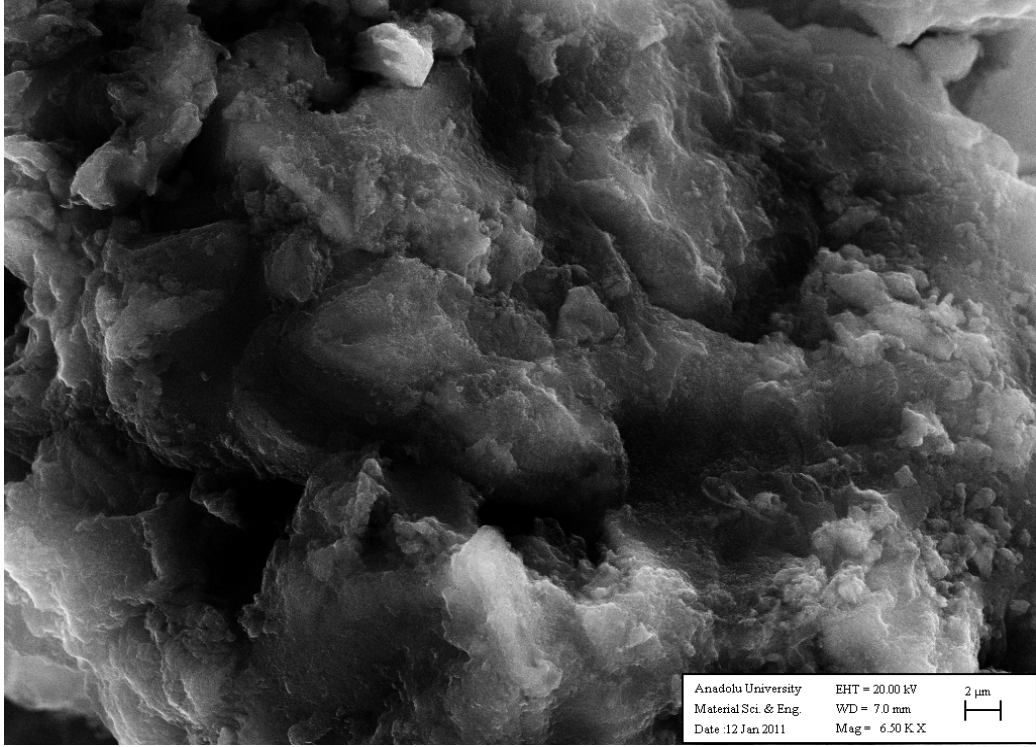
3.1.6 SEM Analizleri

3.1.6.1 Antep Fıstığı Kabuğu

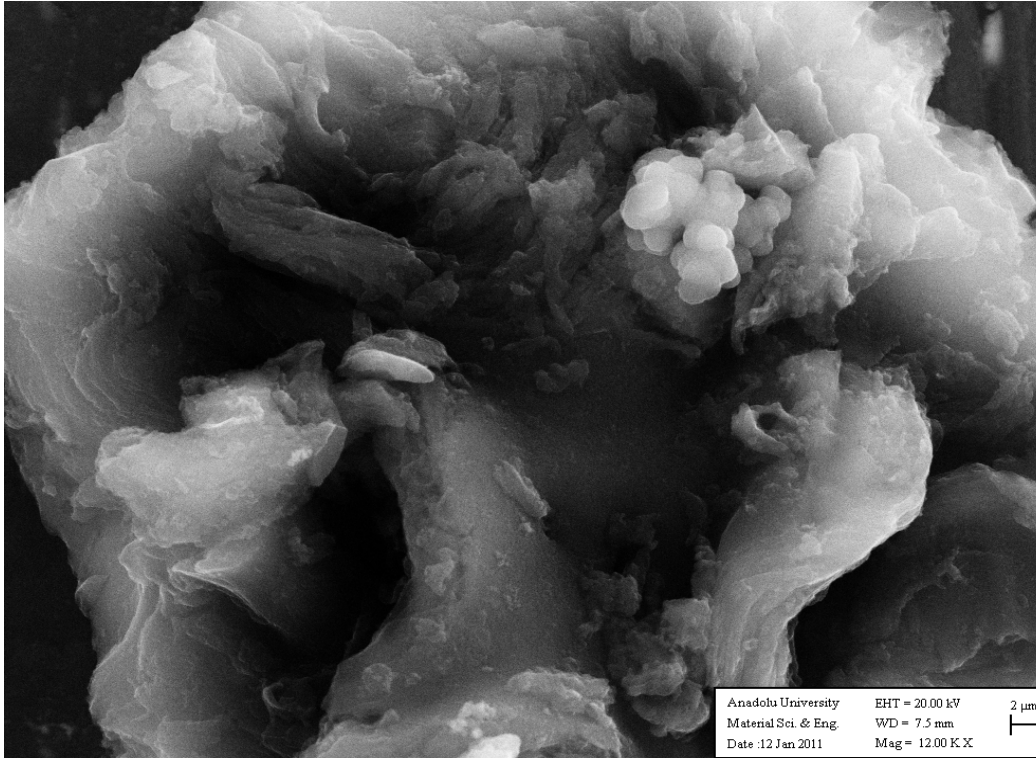
Antep fıstığı kabuğunun ve farklı yöntemlerle sentezlenen aktif karbon örneklerinin SEM görüntüleri, Şekil 3.22-3.25' de verilmektedir.



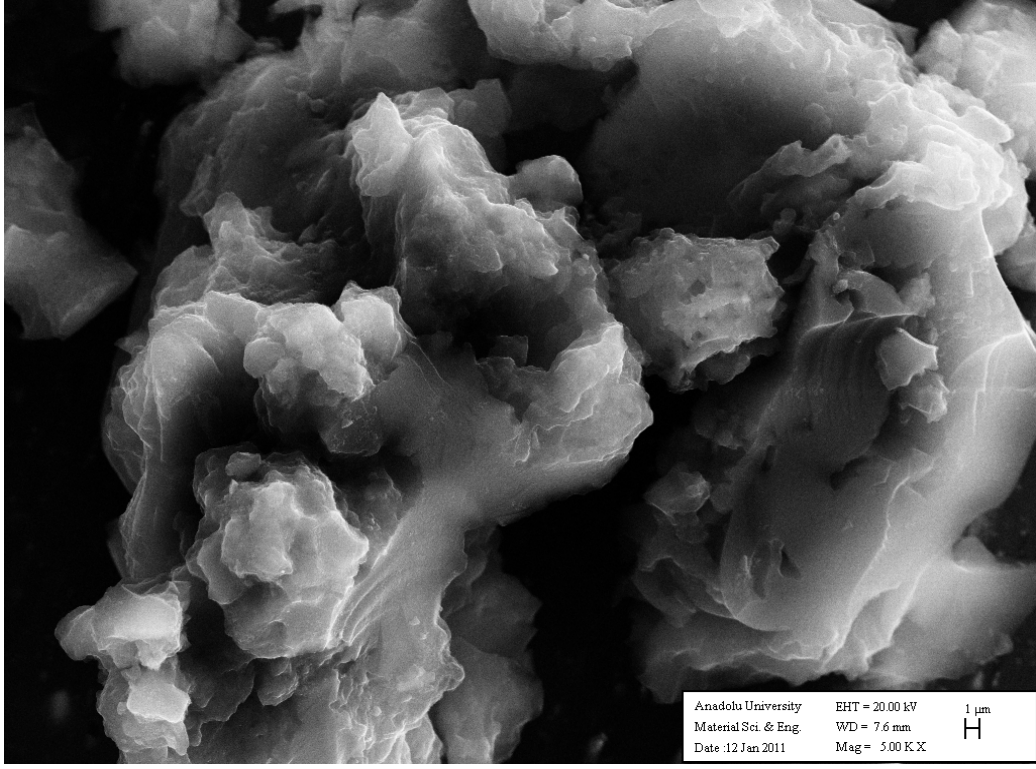
Şekil 3.22 Ham Antep fıstığı kabuğunun SEM görüntüsü



Şekil 3.23 Antep fıstığı kabuğunun H_3PO_4 ile aktivasyonundan sentezlenen aktif karbonun SEM görüntüsü



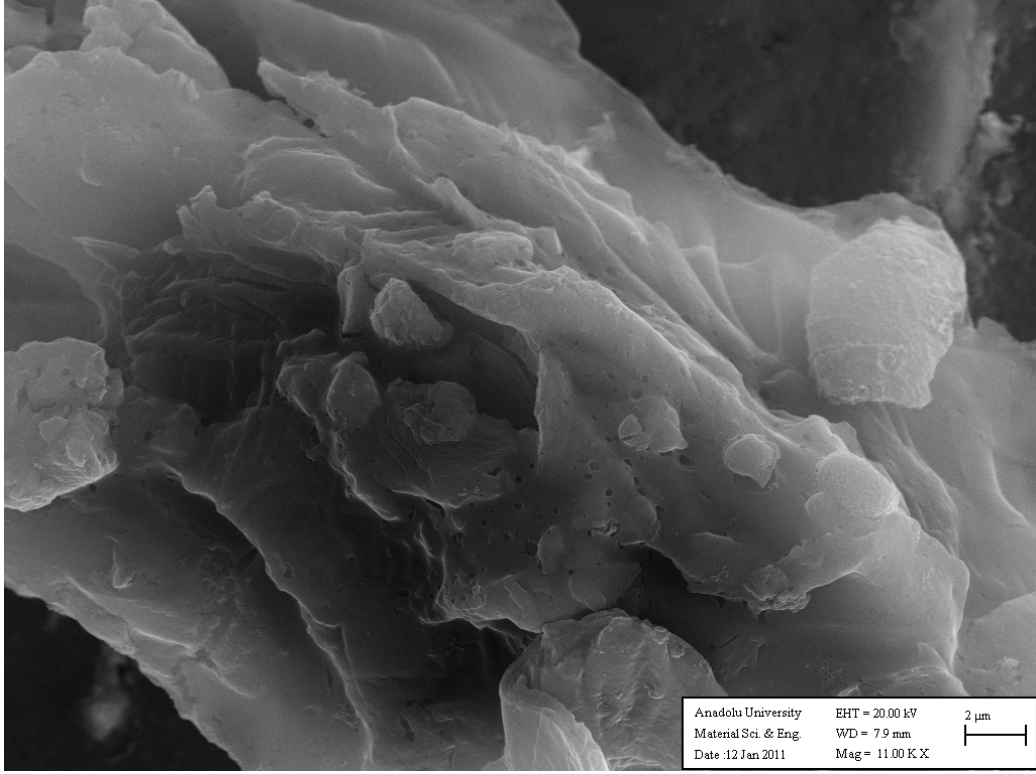
Şekil 3.24 Antep fıstığı kabuğunun H_2SO_4 ile aktivasyonundan sentezlenen aktif karbonun SEM görüntüsü



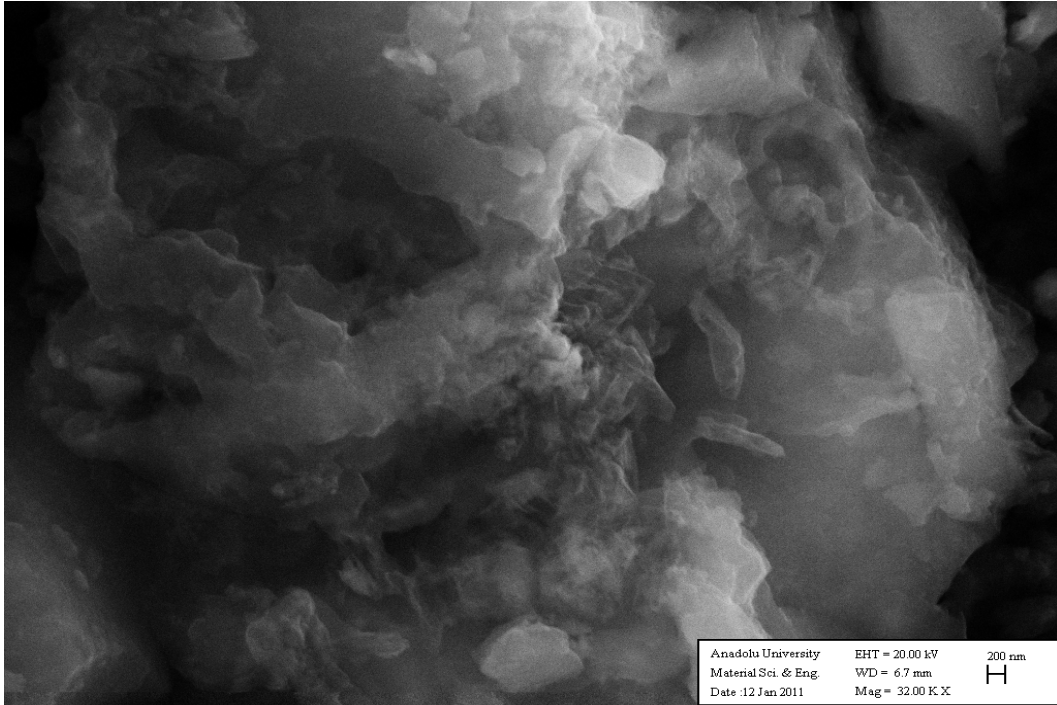
Şekil 3.25 Antep fıstığı kabuğunun $ZnCl_2$ ile aktivasyonundan sentezlenen aktif karbonun SEM görüntüsü

3.1.6.2 Nar Kabuğu

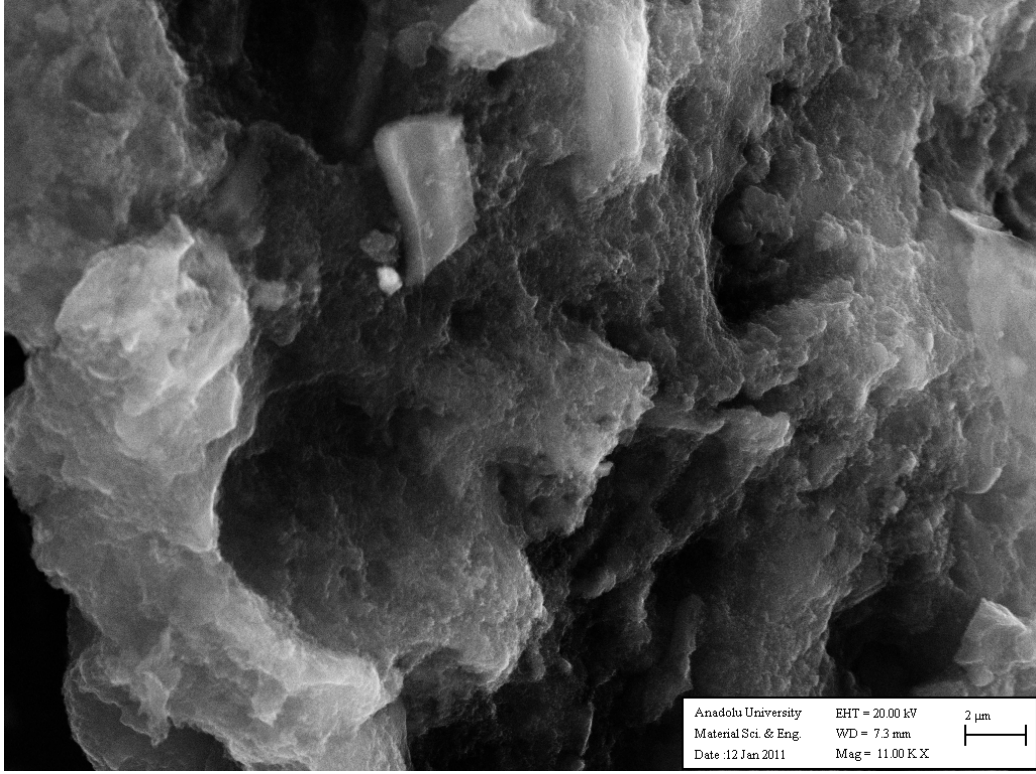
Nar kabuğunun ve farklı yöntemlerle sentezlenen aktif karbon örneklerinin SEM görüntüleri, Şekil 3.26-3.29' da verilmektedir.



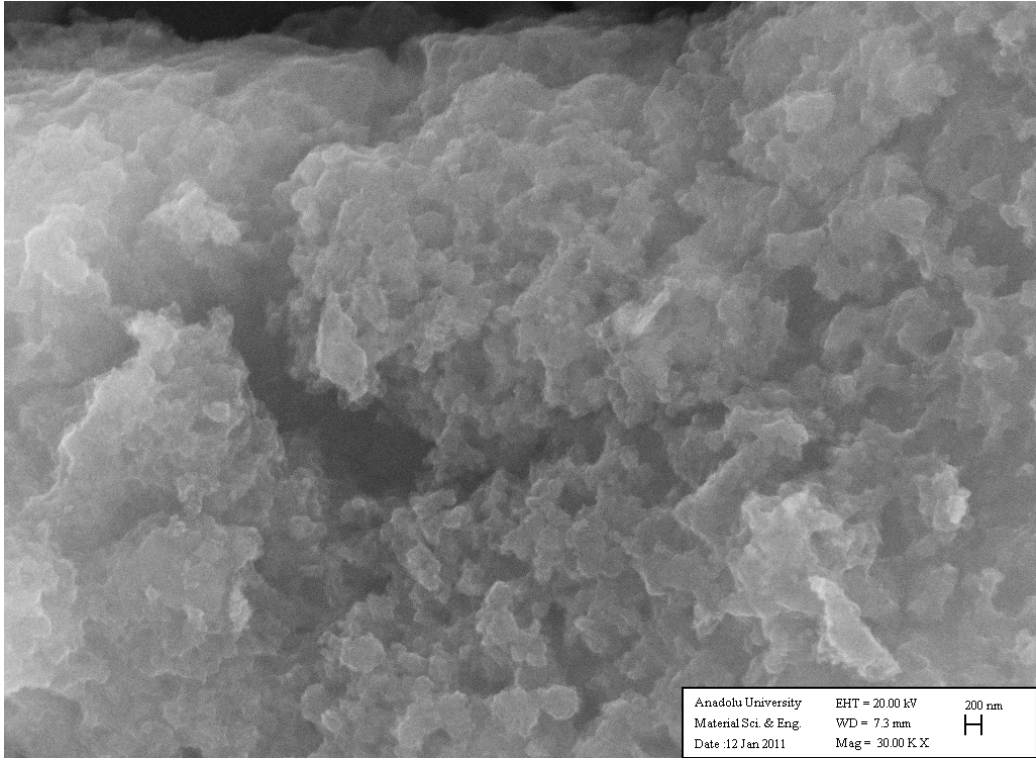
Şekil 3.26 Nar kabuğunun SEM görüntüsü



Şekil 3.27 Nar kabuğunun H₂SO₄ aktivasyonu ile sentezlenen aktif karbonun SEM görüntüsü



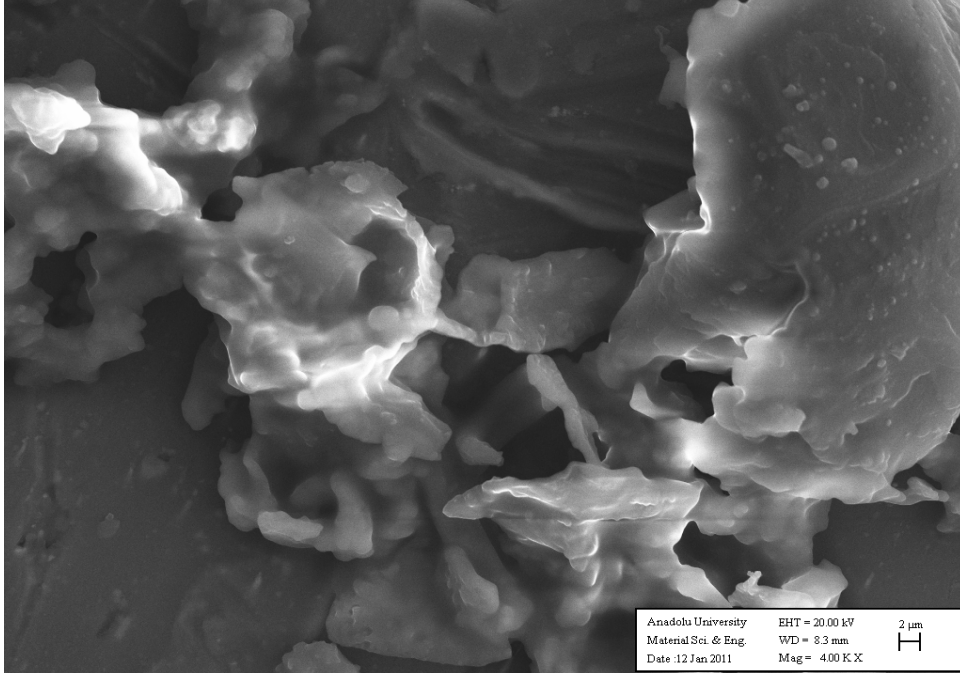
Şekil 3.28 Nar kabuğundan H_3PO_4 aktivasyonu ile sentezlenen aktif karbonun SEM görüntüsü



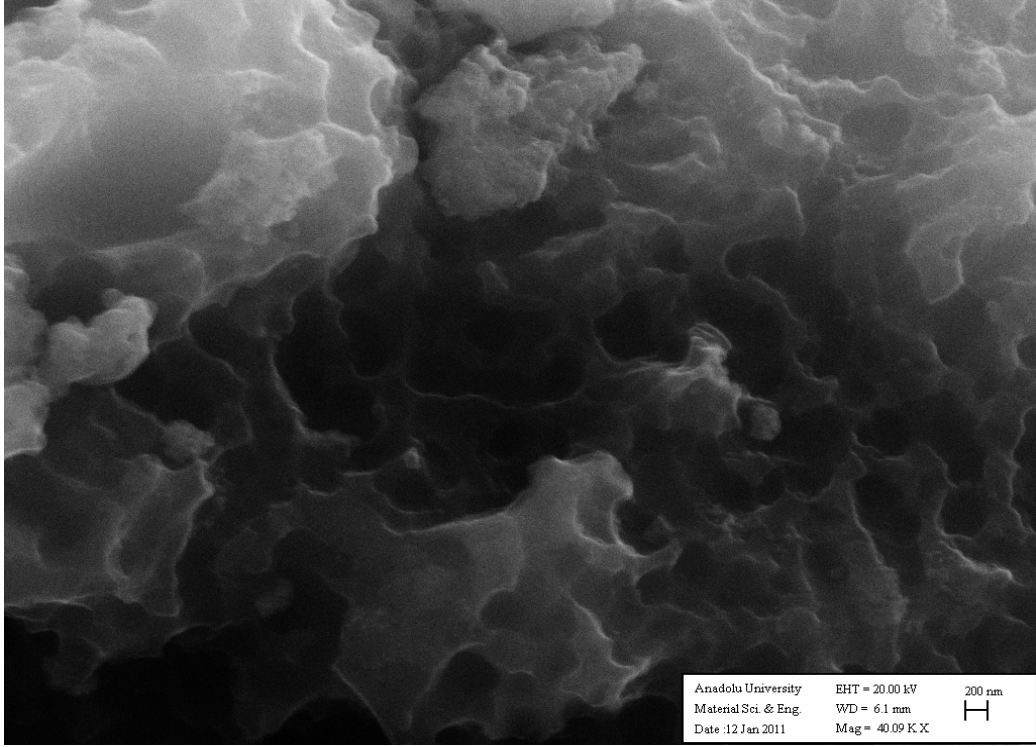
Şekil 3.29 Nar kabuğundan $ZnCl_2$ aktivasyonu ile sentezlenen aktif karbonun SEM görüntüsü

3.1.6.3 Zeytin Çekirdeği

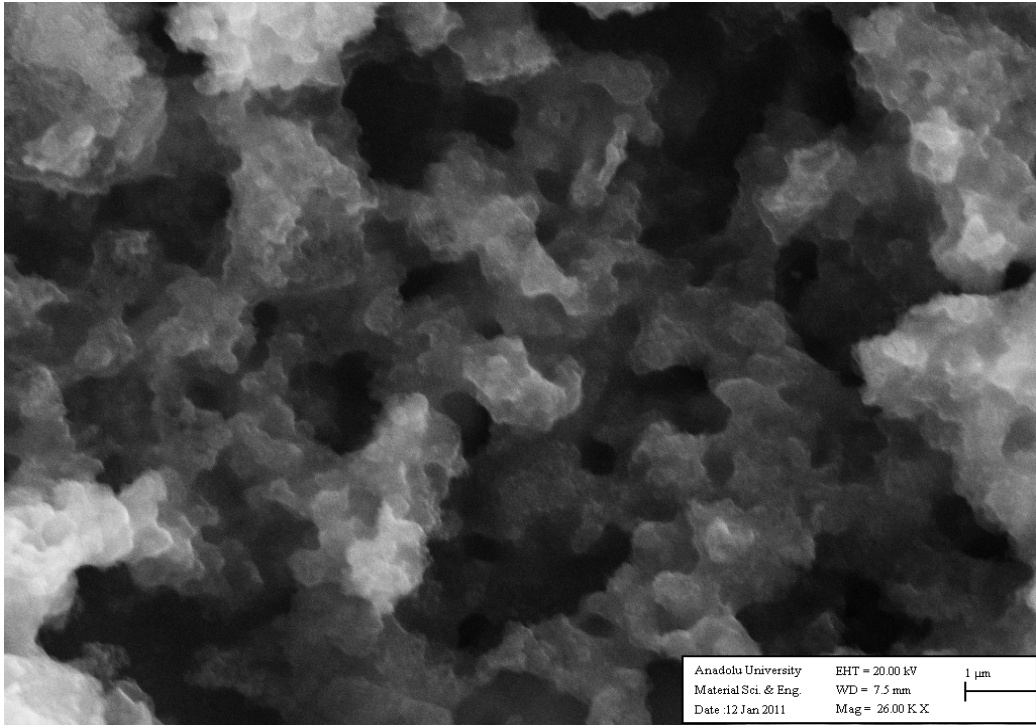
Zeytin çekirdeği ve farklı yöntemlerle sentezlenen aktif karbon örneklerinin SEM görüntüleri, Şekil 3.30-3.33' de verilmektedir.



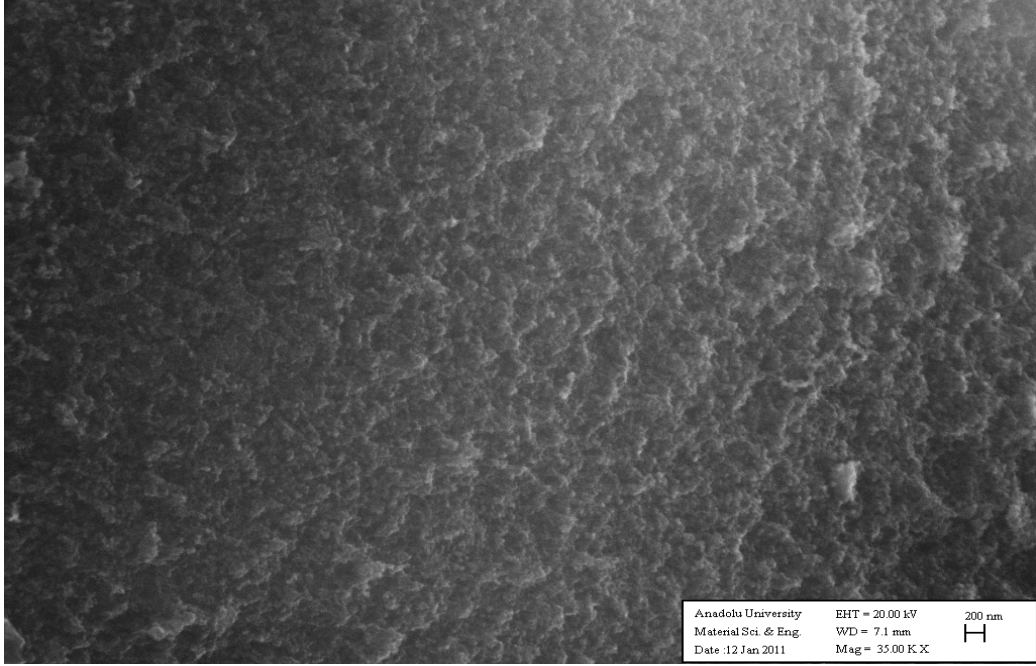
Şekil 3.30 Ham zeytin çekirdeğinin SEM görüntüsü



Şekil 3.31 Zeytin çekirdeğinin H_2SO_4 aktivasyonu ile sentezlenen aktif karbonun SEM görüntüsü



Şekil 3.32 Zeytin çekirdeğinin H_3PO_4 aktivasyonu ile sentezlenen aktif karbonun SEM görüntüsü



Şekil 3.33 Zeytin çekirdeğinin $ZnCl_2$ aktivasyonu ile sentezlenen aktif karbonun SEM görüntüsü

3.2 Elektrokinetik Ölçümler

Sentezlenen aktif karbon örneklerinin zeta potansiyeli, katı/sıvı oranının ve süspansiyon denge pH'sının bir fonksiyonu olarak incelendi.

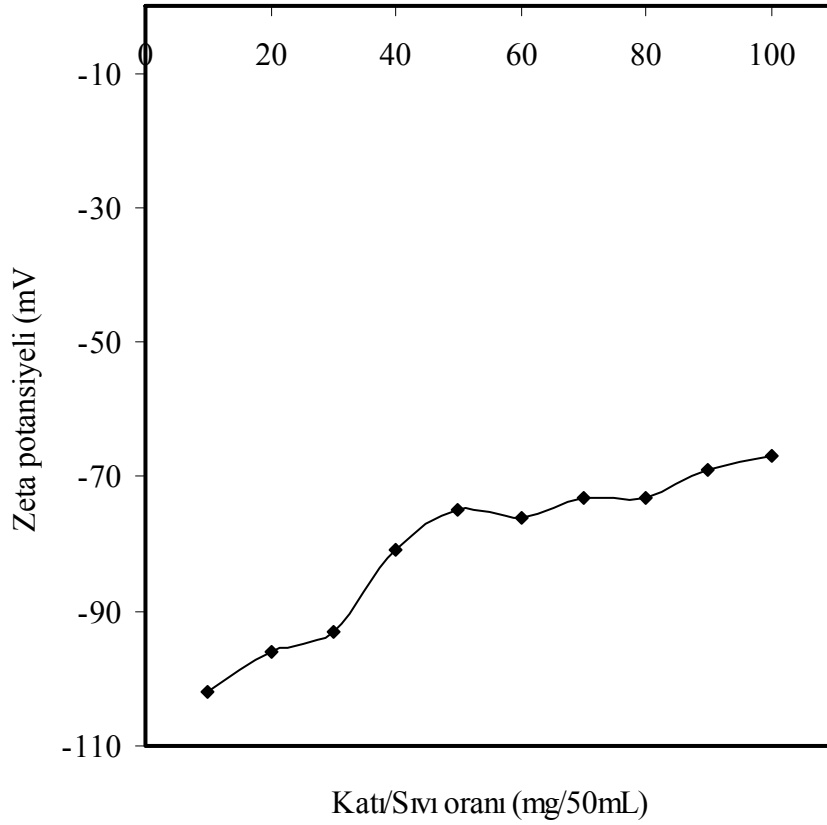
3.2.1 Antep Fıstığı Kabuğu

3.2.1.1 Katı/Sıvı Oranının Etkisi

H_2SO_4 ile Antep fıstığı kabuğundan sentezlenerek optimize edilen örneklerin zeta potansiyelleri katı/sıvı oranının (10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 ve 100 mg/50 mL) bir fonksiyonu olarak ölçüldü ve elde edilen sonuçlar Çizelge 3.12'de verilerek Şekil 3.34'da grafik edilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi aktif karbonun zeta potansiyeli değeri katı/sıvı oranı ile önemli bir şekilde değişmemektedir. Bu nedenle sentezlenen tüm aktif karbon örnekleri için zeta potansiyeli ölçümlerinde katı/sıvı oranı, 0,05 g/50 mL seçildi.

Çizelge 3.12 Antep fıstığı kabuğundan H₂SO₄ yöntemi ile sentezlenen aktif karbon örneğinin zeta potansiyeli değerinin katı/sıvı oranı ile değişimine ait deneysel veriler

Katı/sıvı oranı (mg/50 mL)	H ₂ SO ₄ ile aktifleştirilmiş örnek
10	-102
20	-96
30	-93
40	-81
50	-75
60	-76
70	-73
80	-73
90	-69
100	-67



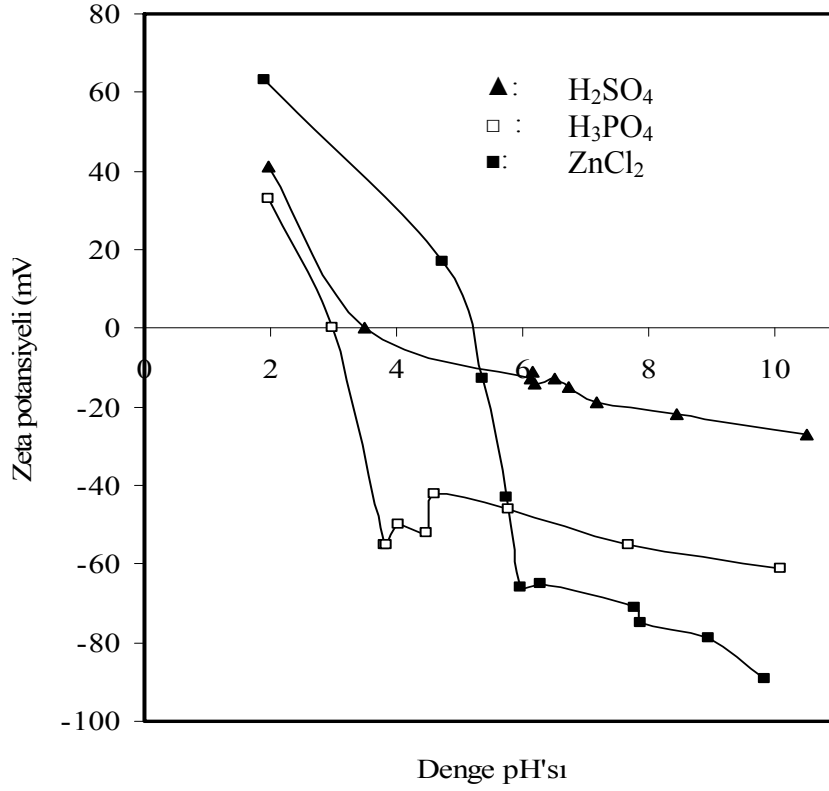
Şekil 3.34 1 M H₂SO₄ ile 800 °C’de aktifleştirilmiş Antep fıstığı kabuğunun zeta potansiyelinin katı/sıvı oranı ile değişimi

3.2.1.2 Denge pH'sının Etkisi

50 mL'sinde 0,05 g aktif karbon içeren süspansiyonun zeta potansiyeli denge pH'sının bir fonksiyonu olarak ölçüldü ve elde edilen deneysel veriler, Çizelge 3.13'da verilerek Şekil 3.35'de grafik edilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi Antep fıstığı kabuğundan H₂SO₄ ve H₃PO₄ ile sentezlenmiş aktif karbonların yaklaşık pH 3 civarında, ZnCl₂ ile sentezlenmiş aktif karbonun ise pH 5 civarında izoelektrik noktaya sahip oldukları görülmektedir.

Çizelge 3.13 Antep fıstığı kabuğundan farklı yöntemlerle sentezlenen aktif karbonların zeta potansiyelinin denge pH'sı ile değişimine ait deneysel veriler

H ₂ SO ₄		H ₃ PO ₄		ZnCl ₂	
Denge pH'sı	ZP (mV)	Denge pH'sı	ZP (mV)	Denge pH'sı	ZP (mV)
1,96	41	1,97	33	1,90	63
3,50	0	3,00	0	4,75	17
6,12	-13	3,83	-55	5,36	-13
6,18	-11	3,84	-55	5,76	-43
6,21	-14	4,04	-50	5,97	-66
6,52	-13	4,48	-52	6,30	-65
6,73	-15	4,60	-42	7,79	-71
7,17	-19	5,80	-46	7,90	-75
8,46	-22	7,70	-55	8,98	-79
10,51	-27	10,12	-61	9,85	-89



Şekil 3.35 Sulu aktif karbon süspansiyonlarının zeta potansiyelinin denge pH'sı ile değişimi

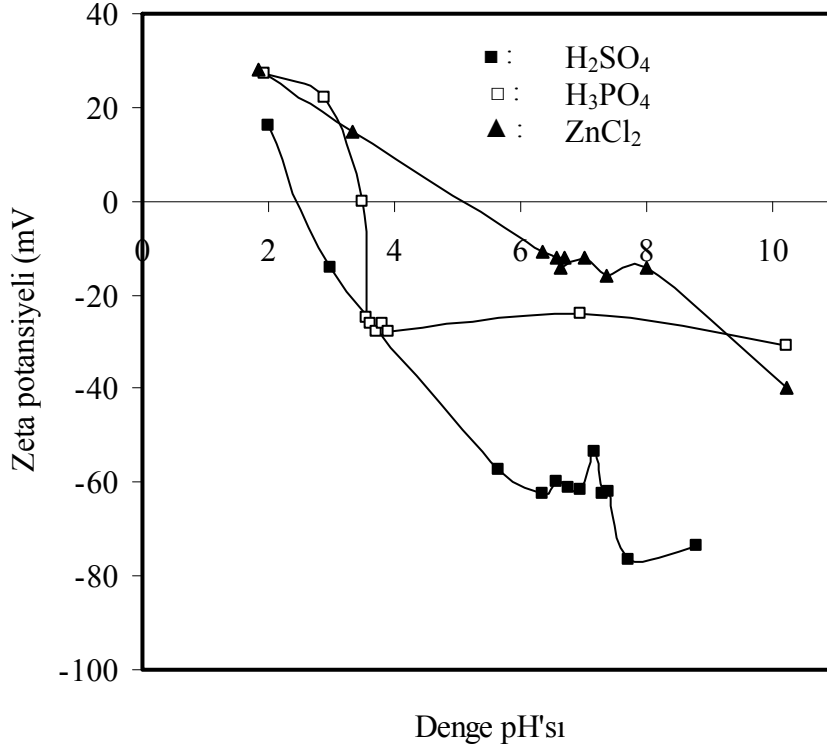
3.2.2 Nar Kabuğu

3.2.2.1 Denge pH'sının Etkisi

50 mL'sinde 0,05 g aktif karbon içeren süspansiyonun zeta potansiyeli denge pH'sının bir fonksiyonu olarak ölçüldü ve elde edilen deneysel veriler Çizelge 3.14'de verilerek Şekil 3.36'da grafik edilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi nar kabuğundan H₂SO₄ ile sentezlenmiş aktif karbonun yaklaşık pH 2,50 civarında, H₃PO₄ ile sentezlenmiş aktif karbonun pH 3,48 ve ZnCl₂ ile sentezlenen aktif karbonun ise yaklaşık pH 6 civarında izoelektrik noktaya sahip oldukları görülmektedir.

Çizelge 3.14 Nar kabuğundan farklı yöntemlerle sentezlenen aktif karbonların zeta potansiyelinin denge pH'sı ile değişimine ait deneysel veriler

H₂SO₄		H₃PO₄		ZnCl₂	
Denge pH'sı	ZP (mV)	Denge pH'sı	ZP (mV)	Denge pH'sı	ZP (mV)
2	16	1,94	27	1,85	28
2,97	-15	2,90	22	3,32	15
6,55	-60	3,48	0	6,34	-11
6,75	-61	3,54	-25	6,55	-12
6,94	-62	3,60	-26	6,69	-12
7,18	-53	3,70	-28	6,64	-14
7,30	-63	3,80	-26	6,99	-12
7,40	-62	3,90	-28	7,34	-16
7,70	-77	6,93	-24	8,00	-14
8,78	-74	10,21	-31	10,20	-40



Şekil 3.36 Sulu aktif karbon süspansiyonlarının zeta potansiyelinin denge pH'sı ile değişimi

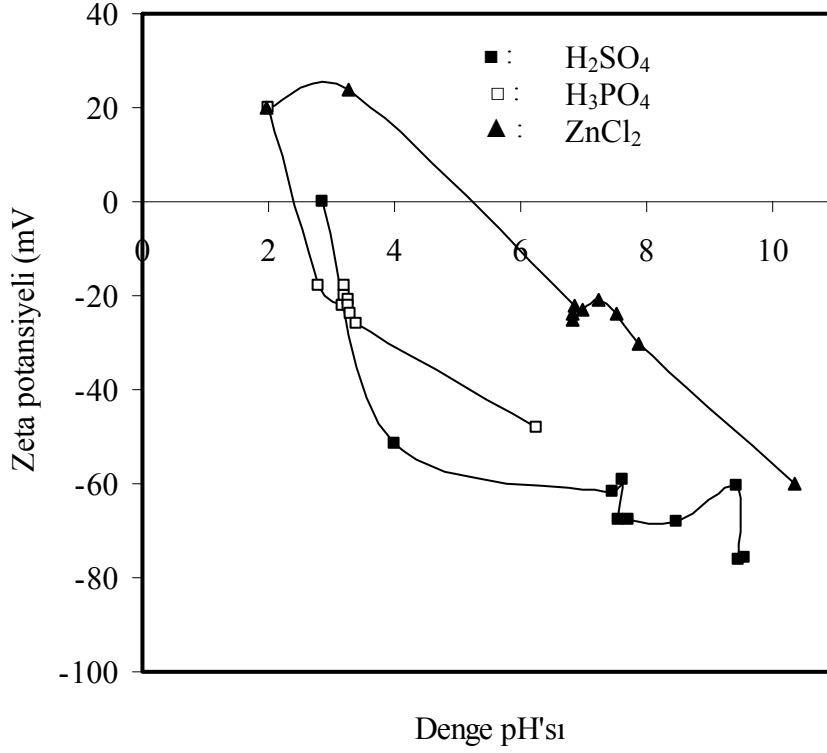
3.2.3 Zeytin Çekirdeği

3.2.3.1 Denge pH'sının Etkisi

50 mL'sinde 0,05 g aktif karbon içeren süspansiyonun zeta potansiyeli denge pH'sının bir fonksiyonu olarak ölçüldü ve elde edilen deneysel veriler Çizelge 3.15'de verilerek Şekil 3.37'de grafik edilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi zeytin çekirdeğinden H₂SO₄ aktivasyonu ile sentezlenmiş aktif karbonların pH 2,86, H₃PO₄ aktivasyonu ile sentezlenmiş aktif karbonların yaklaşık pH 2,50 ve ZnCl₂ aktivasyonu ile sentezlenmiş aktif karbonun ise pH 6 civarında izoelektrik noktaya sahip oldukları görülmektedir.

Çizelge 3.15 Zeytin çekirdeğinden farklı yöntemlerle sentezlenen aktif karbonların zeta potansiyelinin denge pH'sı ile değişimine ait deneysel veriler

H₂SO₄		H₃PO₄		ZnCl₂	
Denge pH'sı	ZP (mV)	Denge pH'sı	ZP (mV)	Denge pH'sı	ZP (mV)
2,86	0	2,0	20	1,96	20
4,0	-52	2,80	-18	3,27	24
7,46	-66	3,17	-22	6,85	-22
7,60	-59	3,20	-20	6,83	-24
7,53	-68	3,20	-18	6,82	-25
7,69	-68	3,25	-21	6,98	-23
8,47	-68	3,25	-22	7,24	-21
9,40	-61	3,30	-24	7,51	-24
9,45	-76	3,40	-26	7,87	-30
9,55	-76	6,25	-48	10,33	-60



Şekil 3.37 Sulu aktif karbon süspansiyonlarının zeta potansiyelinin denge pH'sı ile değişimi

3.3 Aktif Karbon Yüzeyinde Metilen Mavisinin Adsorpsiyonu

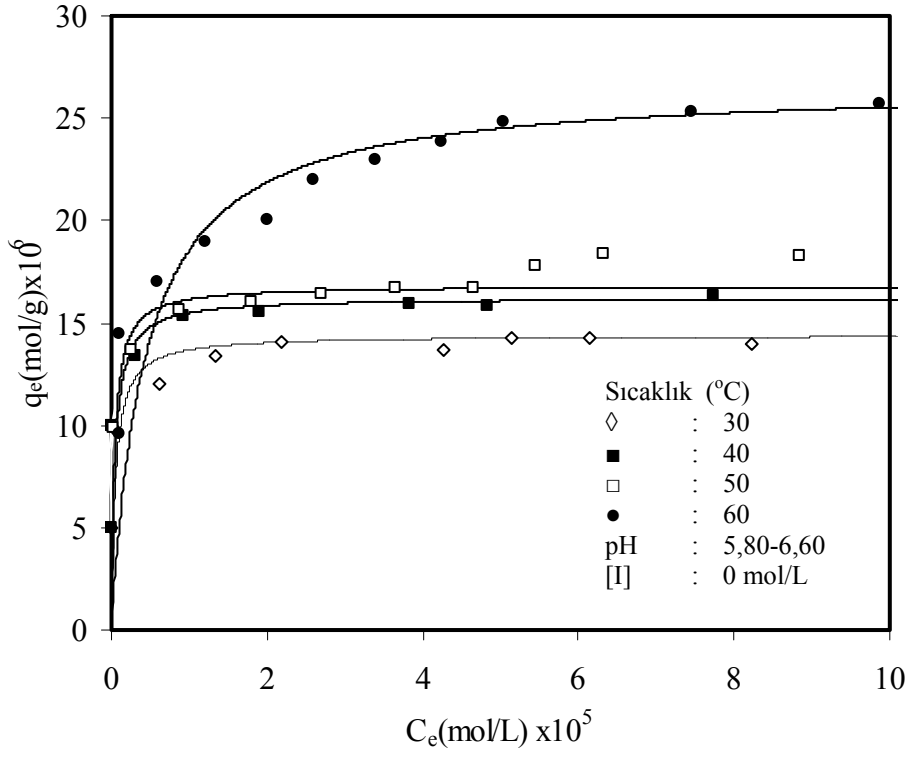
3.3.1 Antep Fıstığı Kabuğu

3.3.1.1 H₂SO₄ ile Aktifleştirilmiş Antep Fıstığı Kabuğu

Sulu çözeltilerden Antep fıstığı kabuğundan H₂SO₄ yöntemi ile sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonu sıcaklık, pH ve iyon şiddetinin fonksiyonları olarak incelendi.

3.3.1.1.1 Sıcaklığın Etkisi

Aktif karbon yüzeyine sulu çözeltilerden metilen mavisinin adsorpsiyonu çözeltinin doğal pH'sında 30, 40, 50 ve 60 °C'de incelendi. Elde edilen deneysel veriler Çizelge 3.16'de verilerek Şekil 3.38'de grafik edildi. Sıcaklığın artması ile sulu çözeltilerden aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun arttığı bulundu.



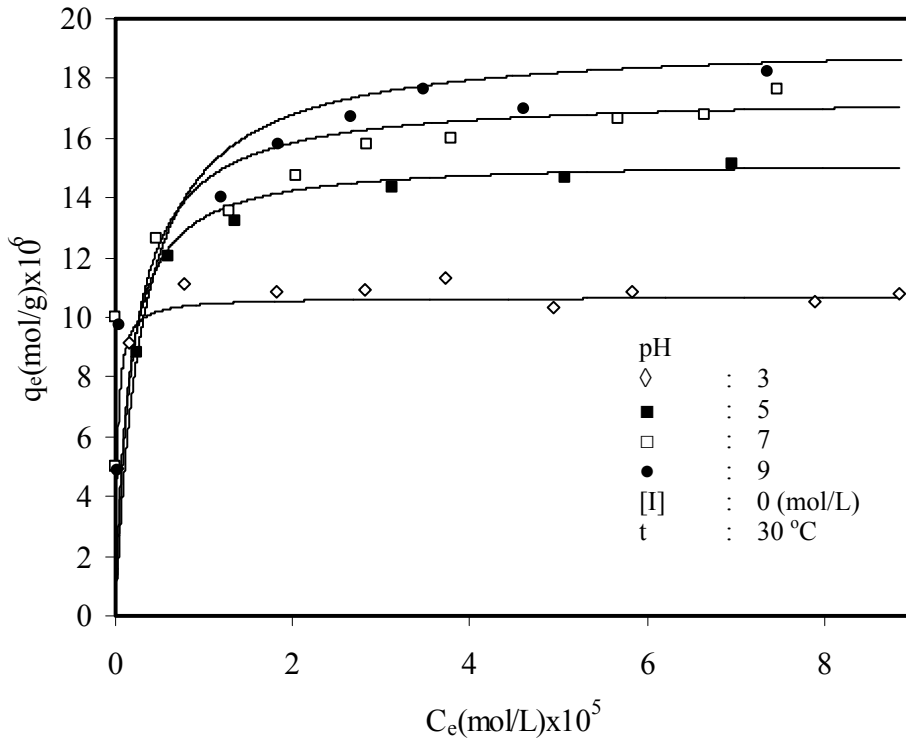
Şekil 3.38 Sulu çözeltilerden H_2SO_4 yöntemi ile Antep fıstığı kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimi

Çizelge 3.16 Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimine ait deneysel veriler (pH: 5,80-6,60, [I]: 0 mol/L)

C_0 (mol/L) $\times 10^5$	t ($^{\circ}$ C)	C_e (mol/L) $\times 10^5$	q_e (mol/g) $\times 10^6$	C_e/q_e (g/L) $\times 10^2$	
1	30	0,00	5,00	0,00	
2		0,03	9,87	0,30	
3		0,60	12,00	5,00	
4		1,33	13,40	10,00	
5		2,18	14,10	15,50	
7		4,27	13,70	31,20	
8		5,15	14,30	36,10	
9		6,14	14,30	43,00	
11		8,21	14,00	59,00	
1		40	0,00	5,00	0,00
2			0,00	10,0	0,00
3	0,31		13,40	2,34	
4	0,93		15,40	6,02	
5	1,89		15,50	12,20	
7	3,82		15,90	24,10	
8	4,83		15,80	31,00	
11	7,74		16,30	48,00	
1	50	0,00	5,00	0,00	
2		0,02	9,89	2,30	
3		0,26	13,70	19,00	
4		0,87	15,70	55,00	
5		1,79	16,00	111,00	
6		2,71	16,40	165,00	
7		3,66	16,70	219,00	
8		4,65	16,80	277,00	
9		5,45	17,80	307,00	
10		6,33	18,40	345,00	
12,5		8,85	18,30	484,00	
1		60	0,01	4,94	2,50
2	0,09		9,54	9,50	
3	0,11		14,50	7,50	
4	0,59		17,00	34,60	
5	1,20		19,00	63,10	
6	2,00		20,00	100,00	
7	2,60		22,00	118,00	
8	3,40		23,00	148,00	
9	4,23		23,90	177,00	
10	5,03		24,80	203,00	
12,5	7,44		25,30	294,00	
15	9,86		25,70	384,00	

3.3.1.1.2 pH'nın Etkisi

Aktif karbon yüzeyine sulu çözeltilerden metilen mavisinin adsorpsiyonu 30 °C'de pH 3-9 aralığında değişen çeşitli başlangıç metilen mavisi konsantrasyonlarında incelendi. Elde edilen deneysel veriler Çizelge 3.17'da verilerek Şekil 3.39'da grafik edildi. Şekilden görüldüğü gibi çözeltilerin artan başlangıç pH değerleri ile aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun arttığı bulundu.



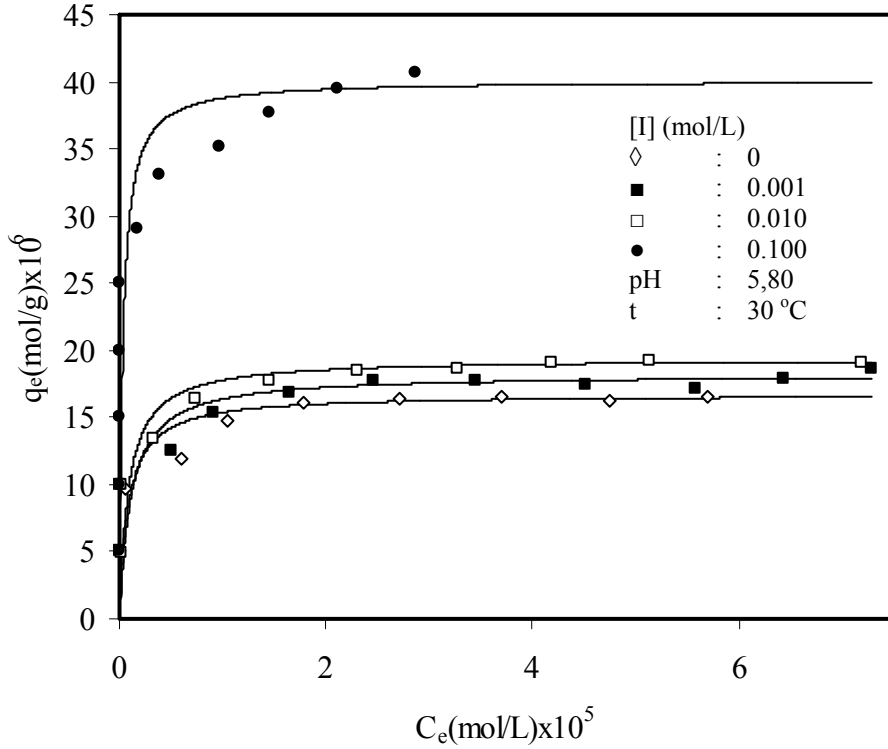
Şekil 3.39 Sulu çözeltilerden H₂SO₄ yöntemi ile Antep fıstığı kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun pH ile değişimi

Çizelge 3.17 Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonunun pH ile değişimine ait deneysel veriler ([I]: 0 mol/L, t: 30 °C)

C_o (mol/L) $\times 10^5$	pH	C_e (mol/L) $\times 10^5$	q_e (mol/g) $\times 10^6$	C_e/q_e (g/L) $\times 10^1$
1	3	0,00	4,91	0,35
2		0,16	9,17	1,80
3		0,78	11,10	6,97
4		1,83	10,90	16,80
5		2,82	10,90	25,80
6		3,73	11,30	32,90
7		4,94	10,30	47,90
8		5,82	10,80	53,50
10		7,89	10,50	74,80
11		8,85	10,70	82,20
<hr/>				
1	5	0,00	4,99	0,03
2		0,23	8,83	2,65
3		0,59	12,00	4,92
4		1,36	13,10	10,30
6		3,13	14,40	21,80
8		5,07	14,70	34,50
10		6,97	15,20	46,00
<hr/>				
1	7	0,00	4,84	49,90
2		0,00	9,53	99,90
3		0,47	11,70	126,50
4		1,29	13,30	135,70
5		2,05	14,40	147,70
6		2,84	15,80	157,90
7		3,80	16,60	160,00
9		5,67	16,30	166,00
10		6,64	16,20	167,80
11		7,48	16,30	176,00
<hr/>				
1	9	0,02	4,89	0,43
2		0,05	9,76	0,49
4		1,19	14,00	8,50
5		1,84	15,80	11,60
6		2,66	16,70	16,00
7		3,48	17,60	19,70
8		4,61	17,00	27,10
11		7,36	18,20	40,40

3.3.1.1.3 İyon Şiddetinin Etkisi

Sulu çözeltilerden aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonuna iyon şiddetinin etkisi 30 °C’de ve çözeltinin tabii pH’sında incelendi. Deneyleerde NaCl’nin konsantrasyonu 0, 1×10^{-3} , 1×10^{-2} ve 1×10^{-1} mol/L olarak seçildi. Çizelge 3.18’de, sulu çözeltilerden aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonuna iyon şiddetinin etkisi için elde edilmiş deneysel veriler verilmektedir. Şekil 3.40’den görüldüğü gibi artan iyon şiddeti ile aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun arttığı bulundu.



Şekil 3.40 Sulu çözeltilerden H₂SO₄ yöntemi ile Antep fıstığı kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimi

Çizelge 3.18 Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimine ait deneysel veriler (pH: 5,80-6,60, t: 30 °C)

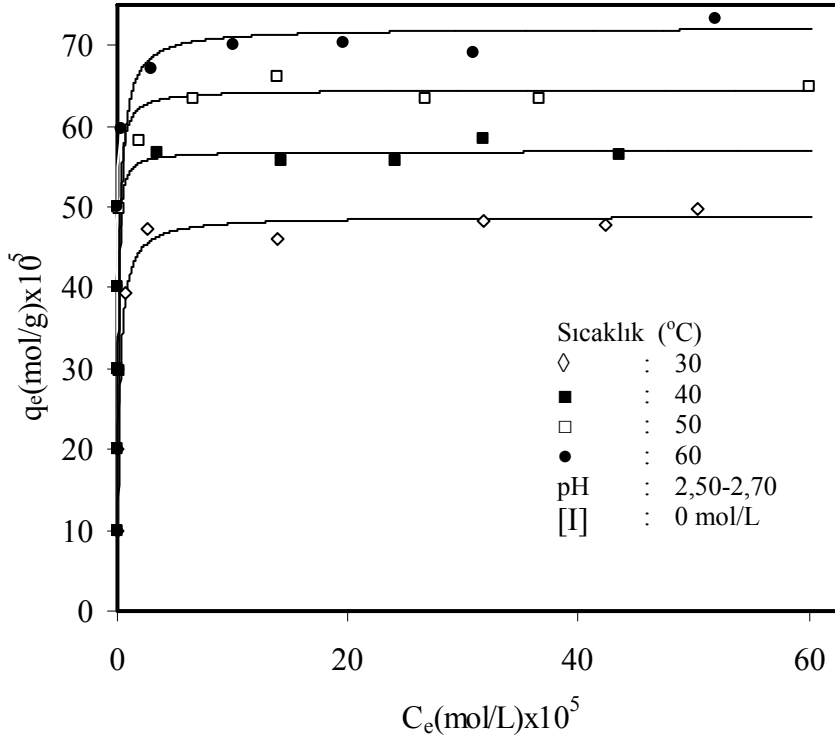
C_o (mol/L) $\times 10^5$	[I] (mol/L)	C_e (mol/L) $\times 10^5$	q_e (mol/g) $\times 10^6$	C_e/q_e (g/L) $\times 10^2$
1		0,00	5,00	0,00
2		0,03	9,80	0,30
3		0,60	12,00	5,00
4		1,33	13,40	10,00
5	---	2,18	14,10	15,50
7		4,27	13,70	31,20
8		5,15	14,30	36,10
9		6,14	14,30	43,00
11		8,21	14,00	59,00
1		0,00	5,00	0,00
2		0,00	10,00	0,00
3		0,00	15,00	0,00
4		0,00	20,00	0,00
5		0,00	25,00	0,00
6	0.100	0,18	29,10	6,00
7		0,40	33,00	12,00
8		0,97	35,10	27,60
9		1,45	37,80	38,40
10		2,10	39,50	53,30
11		2,87	40,60	70,80
1		0,01	4,90	2,00
2		0,01	9,90	1,20
3		0,33	13,40	24,40
4		0,73	16,30	45,00
5		1,46	17,70	82,30
6	0.010	2,30	18,50	124,00
7		3,27	18,60	175,00
8		4,19	19,10	220,00
9		5,14	19,30	267,00
11		7,18	19,10	376,00
1		0,00	5,00	0,00
2		0,00	10,00	0,00
3		0,49	12,50	39,00
4		0,92	15,40	59,00
5		1,64	16,80	98,00
6	0.001	2,46	17,70	139,00
7		3,45	17,80	194,00
8		4,52	17,40	260,00
9		5,58	17,10	327,00
10		6,42	17,90	360,00
11		7,28	18,60	392,00

3.3.1.2 H₃PO₄ ile Aktifleştirilmiş Antep Fıstığı Kabuğu

Sulu çözeltilerden Antep fıstığı kabuğundan H₂SO₄ yöntemi ile sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonu sıcaklık, pH ve iyon şiddetinin fonksiyonları olarak incelendi.

3.3.1.2.1 Sıcaklığın Etkisi

Aktif karbon yüzeyine sulu çözeltilerden metilen mavisinin adsorpsiyonu çözeltinin doğal pH'sında 30, 40, 50 ve 60 °C'de incelendi. Elde edilen deneysel veriler Çizelge 3.19'de verilerek Şekil 3.41'de grafik edildi. Sıcaklığın artması ile sulu çözeltilerden aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun arttığı bulundu.



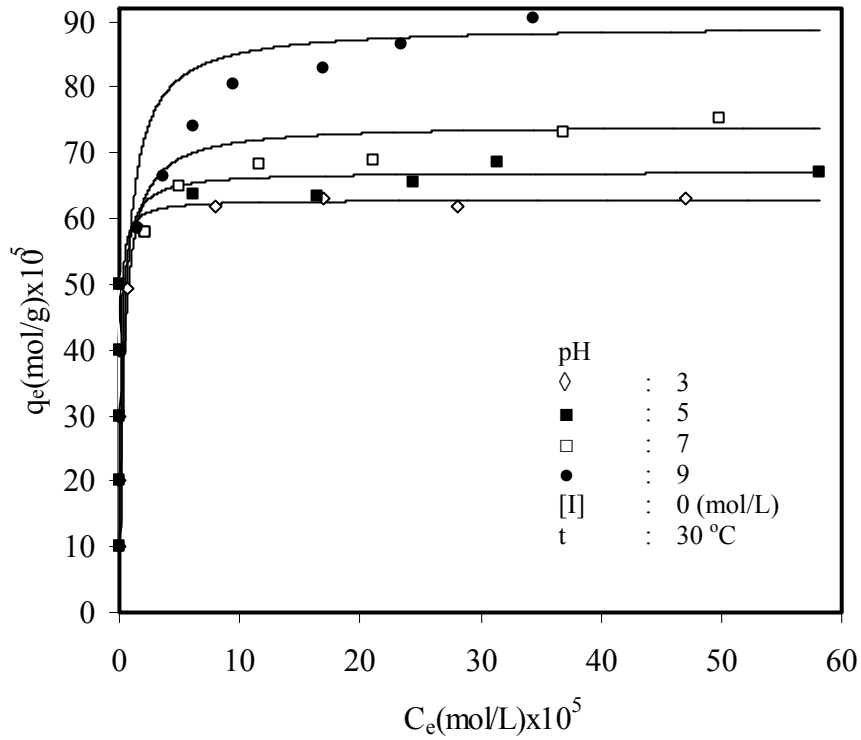
Şekil 3.41 Sulu çözeltilerden H₃PO₄ yöntemi ile Antep fıstığı kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimi

Çizelge 3.19 Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimine ait deneysel veriler (pH: 2,70-2,50, [I]: 0 mol/L)

C_o (mol/L) $\times 10^4$	t ($^{\circ}$ C)	C_e (mol/L) $\times 10^5$	q_e (mol/g) $\times 10^5$	C_e/q_e (g/L) $\times 10^1$
1	30	0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,75	39,30	0,20
5		2,64	47,30	0,56
6		13,90	46,00	3,03
8		31,70	48,30	6,56
9		42,30	47,60	8,88
10		50,30	49,70	10,00
1		40	0,00	10,00
2	0,00		20,00	0,00
3	0,18		30,00	0,06
4	0,00		40,00	0,00
5	0,08		50,00	0,01
6	3,39		56,60	0,60
7	14,20		56,00	2,54
8	24,20		55,80	4,33
9	31,70		58,30	5,43
10	43,60		56,40	7,72
1	50	0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,00	40,00	0,00
5		0,18	50,00	0,03
6		1,89	58,10	0,32
7		6,62	63,30	1,04
8		13,90	66,10	2,09
9		26,70	63,30	4,22
10		36,60	63,40	5,76
12,5	60,10	64,90	9,27	
1	60	0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,00	40,00	0,00
5		0,00	50,00	0,00
6		0,43	60,00	0,07
7		2,92	67,10	0,43
8		10,00	69,90	1,44
9		19,60	70,40	2,78
10		30,90	69,10	4,47
12,5	51,90	73,10	7,01	

3.3.1.2.2 pH'nın Etkisi

Aktif karbon yüzeyine sulu çözeltilerden metilen mavisinin adsorpsiyonu 30 °C'de pH 3-9 aralığında değişen çeşitli başlangıç metilen mavisi konsantrasyonlarında incelendi. Elde edilen deneysel veriler Çizelge 3.20'da verilerek Şekil 3.42'de grafik edildi. Şekilden görüldüğü gibi çözeltilerin artan başlangıç pH değerleri ile aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun arttığı bulundu.



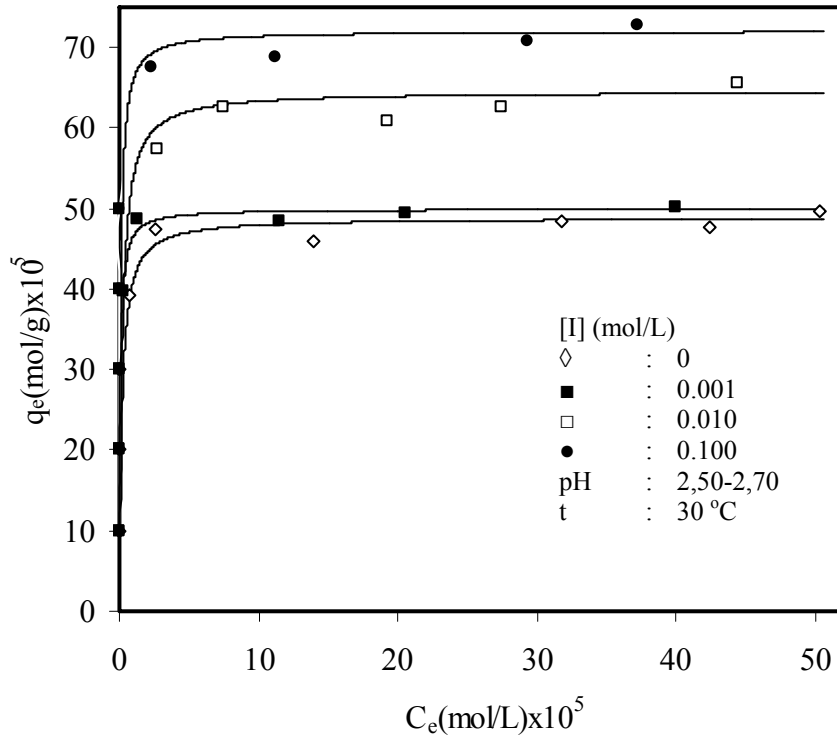
Şekil 3.42 Sulu çözeltilerden H₃PO₄ yöntemi ile Antep fıstığı kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun pH ile değişimi

Çizelge 3.20 Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun pH ile değişimine ait deneysel veriler ([I]: 0 mol/L, t: 30 °C)

C_o (mol/L) $\times 10^4$	pH	C_e (mol/L) $\times 10^5$	q_e (mol/g) $\times 10^5$	C_e/q_e (g/L) $\times 10^2$
1	3	0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,07	39,90	0,18
5		0,73	49,30	1,47
6		1,63	58,30	2,80
7		8,01	62,00	12,90
8		16,90	63,10	26,80
10		28,10	62,00	45,40
11		47,00	63,00	74,60
1		5	0,00	10,00
2	0,00		20,00	0,00
3	0,01		30,00	0,04
4	0,01		40,00	0,04
5	0,02		50,00	0,03
6	2,14		57,90	3,70
7	6,22		63,80	9,80
8	16,50		63,50	26,10
9	24,40		65,60	37,20
10	31,50		68,50	45,90
12,5	58,10		66,90	86,80
1	7	0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,01	30,00	0,04
4		0,01	40,00	0,04
5		0,02	50,00	0,03
6		2,14	57,90	3,70
7		5,01	65,00	7,70
8		11,60	68,30	17,10
9		21,10	68,80	30,70
11		36,80	73,20	50,30
12,5		49,90	75,10	66,30
1	9	0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,01
4		0,00	40,00	0,02
5		0,00	50,00	0,00
6		1,49	58,50	2,53
7		3,63	66,30	5,50
8		6,11	73,90	8,30
9		9,50	80,50	11,80
10		17,00	83,00	20,40
11		23,40	86,60	27,10
12,5	34,40	90,60	38,00	

3.3.1.2.3 İyon Şiddetinin Etkisi

Sulu çözeltilerden aktif karbon yüzeyine iyon şiddetinin etkisi 30 °C ve çözeltinin tabii pH'sında incelendi. Deneylerde NaCl'nin konsantrasyonu 0, 1×10^{-3} , 1×10^{-2} ve 1×10^{-1} mol/L olarak alındı. Çizelge 3.21, aktif karbon yüzeyine sulu çözeltilerden metilen mavisinin adsorpsiyonuna iyon şiddetinin etkisine ait deneysel verileri göstermektedir. Şekil 3.43'den görüldüğü gibi artan iyon şiddeti ile aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun arttığı bulundu.



Şekil 3.43 Sulu çözeltilerden H_3PO_4 yöntemi ile Antep fıstığı kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimi

Çizelge 3.21 Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimine ait deneysel veriler (pH: 2,50-2,70 t: 30 °C)

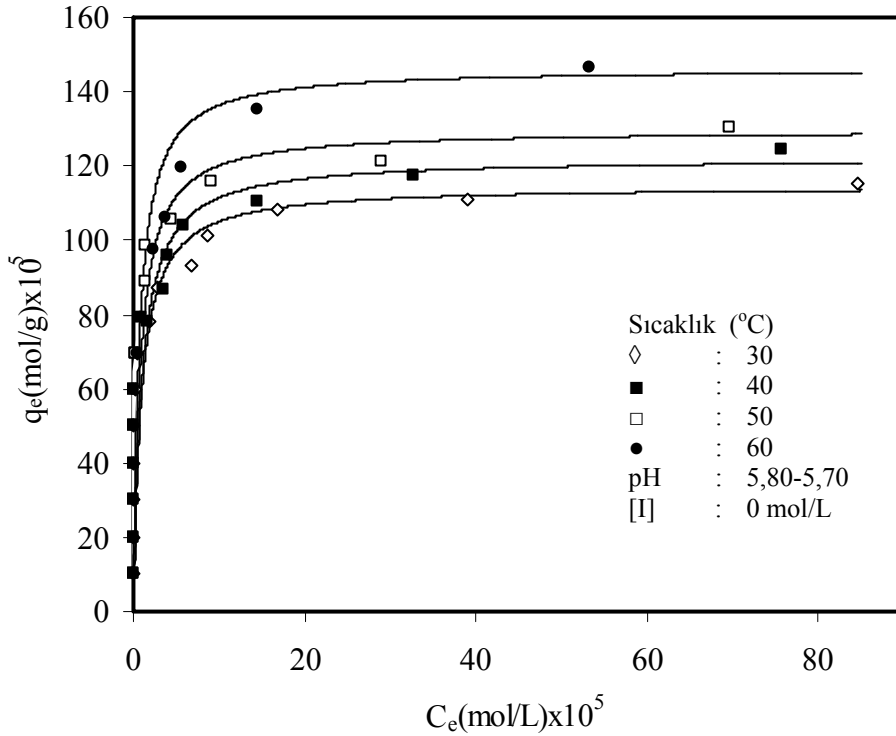
C_o (mol/L) $\times 10^5$	[I] (mol/L)	C_e (mol/L) $\times 10^5$	q_e (mol/g) $\times 10^5$	C_e/q_e (g/L) $\times 10^1$
1		0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,75	39,30	0,19
5	---	2,64	47,40	0,56
6		14,00	46,00	0,30
8		31,70	48,30	6,56
9		42,30	47,70	8,89
10		50,30	49,70	10,10
1		0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,02	40,00	0,00
5	0,100	0,01	50,00	0,00
7		2,36	67,60	0,34
8		11,20	68,80	1,63
10		29,30	70,70	4,15
11		37,20	72,80	5,10
1		0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,00	40,00	0,00
5		0,00	50,00	0,00
6	0,010	2,66	57,30	0,46
7		7,50	62,50	1,20
8		19,30	60,70	3,17
9		27,50	62,50	4,40
11		44,40	65,60	6,78
1		0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,26	40,00	0,06
5	0,001	1,28	48,70	0,26
6		11,50	48,50	2,37
7		20,60	49,50	4,16
9		39,90	50,00	8,00

3.3.1.3 ZnCl₂ ile Aktifleştirilmiş Antep Fıstığı Kabuğu

Sulu çözeltilerden Antep fıstığı kabuğundan ZnCl₂ yöntemi ile sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonu sıcaklık, pH ve iyon şiddetinin fonksiyonları olarak incelendi.

3.3.1.3.1 Sıcaklığın Etkisi

Aktif karbon yüzeyine sulu çözeltilerden metilen mavisinin adsorpsiyonu çözeltinin doğal pH'sında 30, 40, 50 ve 60 °C'de incelendi. Elde edilen deneysel veriler, Çizelge 3.22'de verilerek Şekil 3.44'de grafik edildi. Şekilden görüldüğü gibi sıcaklığın artması ile sulu çözeltilerden aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun arttığı bulundu.



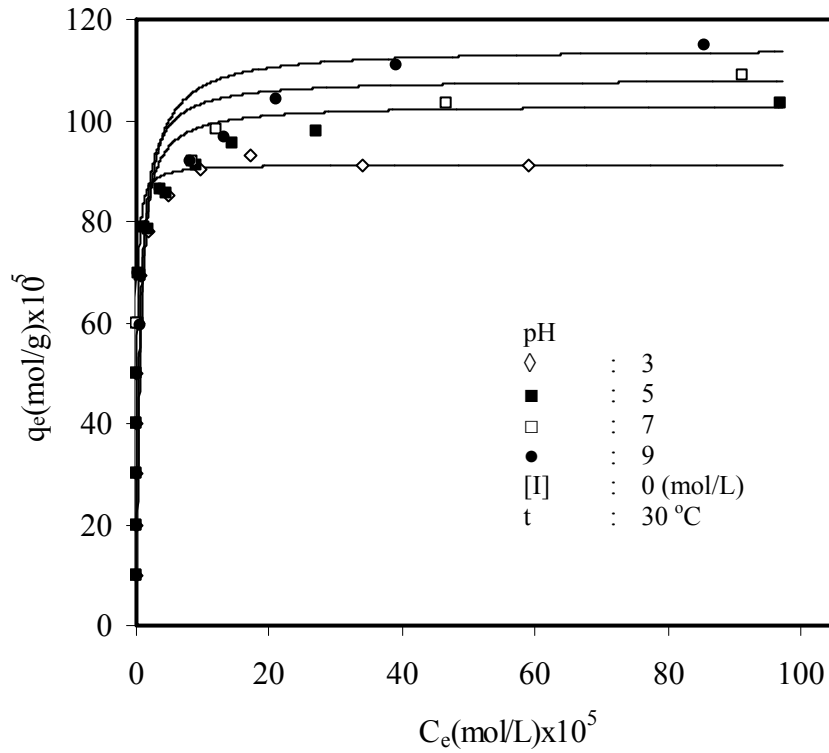
Şekil 3.44 Sulu çözeltilerden ZnCl₂ yöntemi ile Antep fıstığı kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimi

Çizelge 3.22 Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimine ait deneysel veriler (pH: 5,80-5,70, [I]: 0 mol/L)

C_o (mol/L) $\times 10^4$	t ($^{\circ}\text{C}$)	C_e (mol/L) $\times 10^5$	q_e (mol/g) $\times 10^5$	C_e/q_e (g/L) $\times 10^2$
1	30	0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,02
3		0,20	30,00	0,07
4		0,05	40,00	0,13
5		0,08	50,00	0,16
6		0,15	59,80	0,25
7		0,51	69,50	0,74
8		1,83	78,20	2,33
9		2,77	87,20	3,20
10		6,76	93,20	7,25
11		8,75	101,2	8,64
12,5		16,80	108,2	15,50
15	38,90	111,0	35,00	
20	84,70	115,3	73,50	
1	40	0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,00	40,00	0,00
5		0,03	50,00	0,07
6		0,11	59,90	0,20
7		0,32	69,70	0,46
8		1,64	78,40	2,10
9		3,45	86,50	4,00
10		3,95	96,1	4,10
11		5,91	104,1	5,70
12,5		14,50	110,4	13,10
15	32,70	117,3	27,90	
20	75,60	124,4	60,80	
1	50	0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,00	40,00	0,00
5		0,03	50,00	0,05
6		0,08	59,90	0,13
7		0,27	69,70	0,40
8		0,95	79,00	1,20
9		1,29	88,70	1,50
10		1,51	98,50	1,54
11		4,39	105,6	4,15
12,5		9,14	115,8	7,90
15	29,00	121,0	24,00	
20	69,60	130,4	53,40	
1	60	0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,00	40,00	0,00
5		0,01	50,00	0,02
6		0,06	59,90	0,10
7		0,45	69,50	0,65
8		0,87	79,10	1,10
10		2,23	98,00	2,30
11		3,71	106,3	3,50
12,5		5,56	119,4	4,70
15		14,50	135,5	10,70
20	53,20	146,8	36,30	

3.3.1.3.2 pH'nın Etkisi

Aktif karbon yüzeyine sulu çözeltilerden metilen mavisinin adsorpsiyonu 30 °C'de pH 3-9 aralığında değişen çeşitli başlangıç metilen mavisi konsantrasyonlarında incelendi. Elde edilen deneysel veriler, Çizelge 3.23'de verilerek Şekil 3.45'de grafik edildi. Şekil 3.45'den görüldüğü gibi çözeltilerin artan başlangıç pH değerleri ile aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun arttığı bulundu.



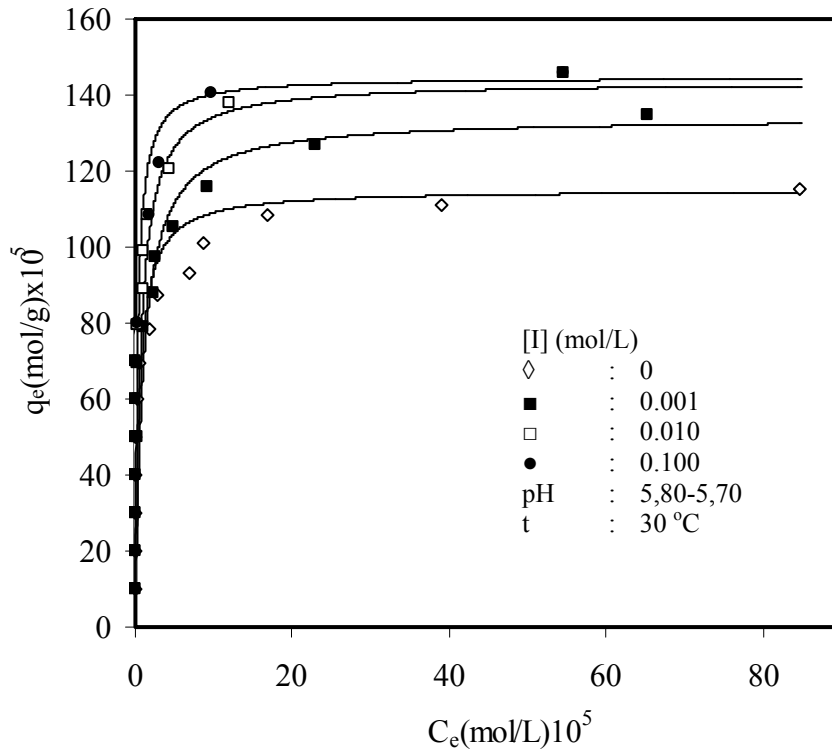
Şekil 3.45 Sulu çözeltilerden ZnCl₂ yöntemi ile Antep fıstığı kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun pH ile değişimi

Çizelge 3.23 Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonunun pH ile değişimine ait deneysel veriler ([I]: 0 mol/L, t: 30 °C)

$C_o(\text{mol/L}) \times 10^4$	pH	$C_e(\text{mol/L}) \times 10^5$	$q_e(\text{mol/g}) \times 10^5$	$C_e/q_e(\text{g/L}) \times 10^2$	
1	3	0,00	10,00	0,00	
2		0,00	20,00	0,00	
3		0,04	30,00	0,12	
4		0,06	40,00	0,15	
5		0,09	50,00	0,20	
6		0,18	59,80	0,31	
7		0,57	69,40	0,82	
8		1,81	78,20	2,32	
9		4,72	85,30	5,52	
10		9,55	90,40	11,00	
11		17,00	93,00	18,30	
12,5		34,00	91,00	37,40	
15		58,90	91,10	65,00	
1		5	0,00	10,00	0,00
2			0,00	20,00	0,00
3	0,00		30,00	0,00	
4	0,02		40,00	0,05	
5	0,05		50,00	0,10	
6	0,16		59,80	0,30	
7	0,50		70,00	0,71	
8	1,70		78,30	2,15	
9	4,63		85,40	5,42	
10	8,93		91,00	9,80	
11	14,40		95,60	15,10	
12,5	27,00		98,00	28,00	
20	96,80		103,2	93,80	
1	7		0,00	10,00	0,00
2			0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00	
4		0,02	40,00	0,04	
5		0,04	50,00	0,08	
6		0,13	59,90	0,22	
7		0,43	69,60	0,61	
8		1,19	78,80	1,51	
9		3,47	86,50	4,01	
10		8,30	91,80	9,02	
11		11,90	98,00	12,10	
15		46,50	103,40	45,00	
20		91,00	108,90	83,60	
1		9	0,00	10,00	0,00
2			0,00	20,00	0,00
3	0,00		30,00	0,03	
4	0,02		40,00	0,05	
5	0,04		50,00	0,09	
6	0,47		59,50	0,80	
7	0,37		69,60	0,53	
8	1,23		78,80	1,57	
9	3,58		86,40	4,14	
10	8,17		91,80	8,90	
11	13,20		96,80	13,60	
12,5	20,90		104,00	20,00	
15	39,20		110,80	35,40	
20	85,30		114,70	74,40	

3.3.1.3.3 İyon Şiddetinin Etkisi

Sulu çözeltilerden aktif karbon yüzeyine iyon şiddetinin etkisi 30 °C ve çözeltinin tabii pH'sında incelendi. Deneylerde NaCl'nin konsantrasyonu 0, 1×10^{-3} , 1×10^{-2} ve 1×10^{-1} mol/L olarak seçildi. Çizelge 3.24'de, aktif karbon yüzeyine sulu çözeltilerden metilen mavisinin adsorpsiyonuna iyon şiddetinin etkisi için elde edilmiş deneysel veriler verilmektedir. Şekil 3.46'dan görüldüğü gibi artan iyon şiddeti ile aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun arttığı bulundu



Şekil 3.46 Sulu çözeltilerden $ZnCl_2$ yöntemi ile Antep fıstığı kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimi

Çizelge 3.24 Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimine ait deneysel veriler (pH: 5,80-5,70, t: 30 °C)

C_o (mol/L) $\times 10^4$	[I] (mol/L)	C_e (mol/L) $\times 10^5$	q_e (mol/g) $\times 10^5$	C_e/q_e (g/L) $\times 10^2$
1		0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,02
3		0,20	30,00	0,07
4		0,05	40,00	0,13
5		0,08	50,00	0,16
6		0,15	59,80	0,25
7	0	0,51	69,50	0,74
8		1,83	78,20	2,33
9		2,77	87,20	3,20
10		6,76	93,20	7,25
11		8,75	101,20	8,64
12,5		16,80	108,20	15,50
15		29,00	111,00	35,00
20		84,70	115,30	73,50
1		0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,01	40,00	0,03
5		0,01	50,00	0,03
6	0,100	0,02	60,00	0,02
7		0,07	69,90	0,03
8		0,21	79,80	0,10
11		1,75	108,20	1,62
12,5		3,02	122,00	2,50
15		9,70	140,30	6,90
20		54,50	145,50	37,40
1		0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,01
4		0,06	40,00	0,14
5		0,01	50,00	0,02
6		0,03	60,00	0,05
7	0,010	0,09	70,00	0,13
8		0,35	79,60	0,44
9		1,04	88,90	1,17
10		1,10	98,90	1,11
11		1,50	108,50	1,36
12,5		4,30	121,00	3,55
15		12,10	137,80	8,78
20		54,50	145,50	37,40
1		0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,00	40,00	0,00
5		0,15	49,80	0,30
7		0,35	69,60	0,50
8	0,001	1,11	79,00	1,40
9		2,35	87,70	2,70
10		2,65	97,30	2,70
11		4,91	105,00	4,70
12,5		9,18	116,00	7,90
15		23,00	127,00	18,10
20		65,30	134,60	48,50

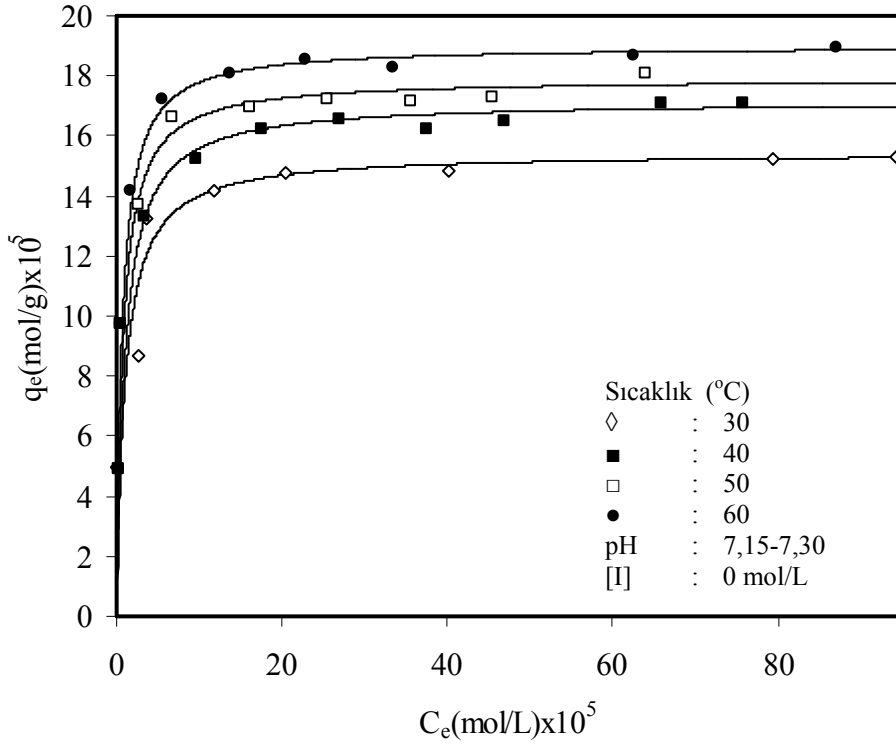
3.3.2 Nar Kabuğu

3.3.2.1 H₂SO₄ ile Aktifleştirilmiş Nar Kabuğu

Sulu çözeltilerden nar kabuğundan H₂SO₄ yöntemi ile sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonu, sıcaklık, pH ve iyon şiddetinin fonksiyonu olarak incelendi.

3.3.2.1.1 Sıcaklığın Etkisi

Aktif karbon yüzeyine sulu çözeltilerden metilen mavisinin adsorpsiyonu çözeltinin doğal pH'sında 30, 40, 50 ve 60 °C'de incelendi. Elde edilen deneysel veriler, Çizelge 3.25'de verilerek şekil 3.47'de grafik edildi. Sıcaklığın artması ile sulu çözeltilerden aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun arttığı bulundu.



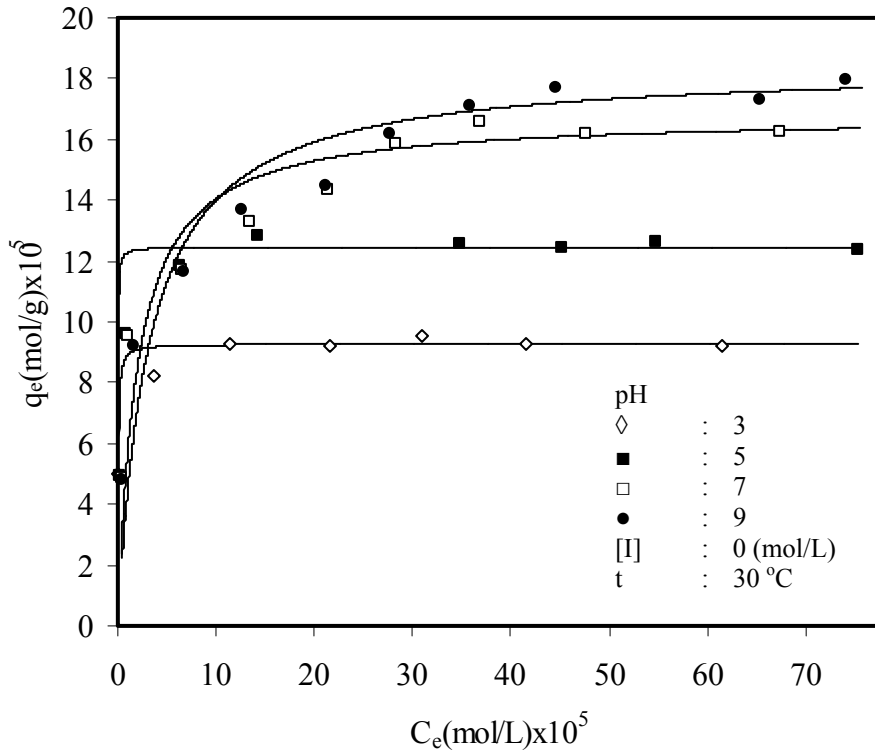
şekil 3.47 Sulu çözeltilerden H₂SO₄ yöntemi ile nar kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimi

Çizelge 3.25 Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimine ait deneysel veriler (pH: 7,15-7,30, [I]: 0 mol/L)

C_0 (mol/L) $\times 10^4$	t ($^{\circ}$ C)	C_e (mol/L) $\times 10^5$	q_e (mol/g) $\times 10^5$	C_e/q_e (g/L)
1	30	0,08	4,96	0,02
2		2,64	8,68	0,30
3		3,55	13,20	0,27
4		11,60	14,10	0,82
5		20,50	14,70	1,39
7		40,30	14,90	2,71
11		79,50	15,30	5,20
12,5		94,40	15,30	6,17
1	40	0,25	4,88	0,05
2		0,55	9,73	0,06
3		3,33	13,30	0,30
4		9,59	15,20	0,63
5		17,60	16,20	1,08
6		26,90	16,50	1,63
7		37,50	16,20	2,31
8		47,00	16,50	2,85
10	65,90	17,10	3,86	
11	75,90	17,10	4,45	
1	50	0,15	4,93	0,03
2		0,48	9,76	0,05
3		2,53	13,70	0,18
4		6,80	16,60	0,41
5		16,20	16,90	0,96
6		25,60	17,20	1,49
7		35,70	17,20	2,08
8		45,50	17,30	2,64
10	63,90	18,10	3,54	
1	60	0,21	4,89	0,04
2		0,58	9,71	0,06
3		1,72	14,10	0,12
4		5,51	17,20	0,32
5		13,80	18,10	0,76
6		22,90	18,50	1,24
7		33,50	18,20	1,84
10		62,60	18,70	3,35
12,5	87,10	18,90	4,60	

3.3.2.1.2 pH'nın Etkisi

Aktif karbon yüzeyine sulu çözeltilerden metilen mavisinin adsorpsiyonu 30 °C'de pH 3-9 aralığında değişen çeşitli başlangıç metilen mavisi konsantrasyonlarında incelendi. Elde edilen deneysel veriler, Çizelge 3.26'de verilerek Şekil 3.48'de grafik edildi. Şekilden görüldüğü gibi çözeltilerin artan başlangıç pH değerleri ile aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun arttığı bulundu.



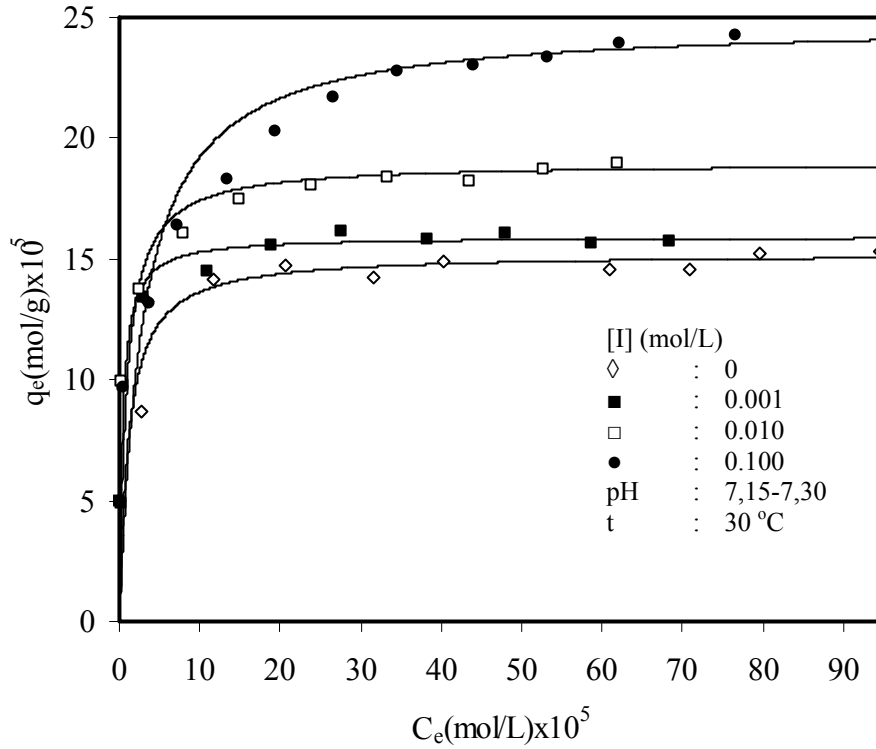
Şekil 3.48 Sulu çözeltilerden H₂SO₄ yöntemi ile nar kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun pH ile değişimi

Çizelge 3.26 Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonunun pH ile değişimine ait deneysel veriler ([I]: 0 mol/L, t: 30 °C)

$C_o(\text{mol/L}) \times 10^4$	pH	$C_e(\text{mol/L}) \times 10^5$	$q_e(\text{mol/g}) \times 10^5$	$C_e/q_e(\text{g/L}) \times 10^1$
1		0,00	4,98	0,06
2		4,00	8,20	4,36
3		11,00	9,30	12,30
4	3	22,00	9,21	23,40
5		31,00	9,50	32,60
6		41,00	9,28	44,70
8		62,00	9,22	66,80
1		0,00	4,95	0,22
2		1,00	9,62	0,78
3		6,00	11,80	5,40
4	5	14,00	12,80	11,20
6		35,00	12,60	27,80
7		45,00	12,40	36,40
8		55,00	12,60	43,30
10		75,00	12,40	61,00
1		0,00	4,84	0,67
2		1,00	9,53	0,99
3		7,00	11,70	5,60
4		13,00	13,30	10,10
5	7	21,00	14,40	14,80
6		28,00	15,80	17,90
7		37,00	16,60	22,20
8		48,00	16,20	29,40
10		67,00	16,30	41,40
1		0,00	4,78	0,91
2		2,00	9,18	1,79
3		7,00	11,60	5,74
4		13,00	13,70	9,18
5	9	21,00	14,50	14,60
6		28,00	16,20	17,10
7		36,00	17,10	21,00
8		45,00	17,70	25,20
10		65,00	17,30	37,70
11		74,00	17,90	41,30

3.3.2.1.3 İyon Şiddetinin Etkisi

Sulu çözeltilerden aktif karbon yüzeyine iyon şiddetinin etkisi 30 °C'de ve çözeltinin tabii pH'sında incelendi. Deneylerde NaCl'nin konsantrasyonu 0, 1×10^{-3} , 1×10^{-2} ve 1×10^{-1} mol/L olarak alındı. Çizelge 3.27, sulu çözeltilerden aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonuna iyon şiddetinin etkisi için elde edilmiş deneysel veriler verilmektedir. Şekil 3.49'dan görüldüğü gibi artan iyon şiddeti ile aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun arttığı bulundu.



Şekil 3.49 Sulu çözeltilerden H₂SO₄ yöntemi ile nar kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimi

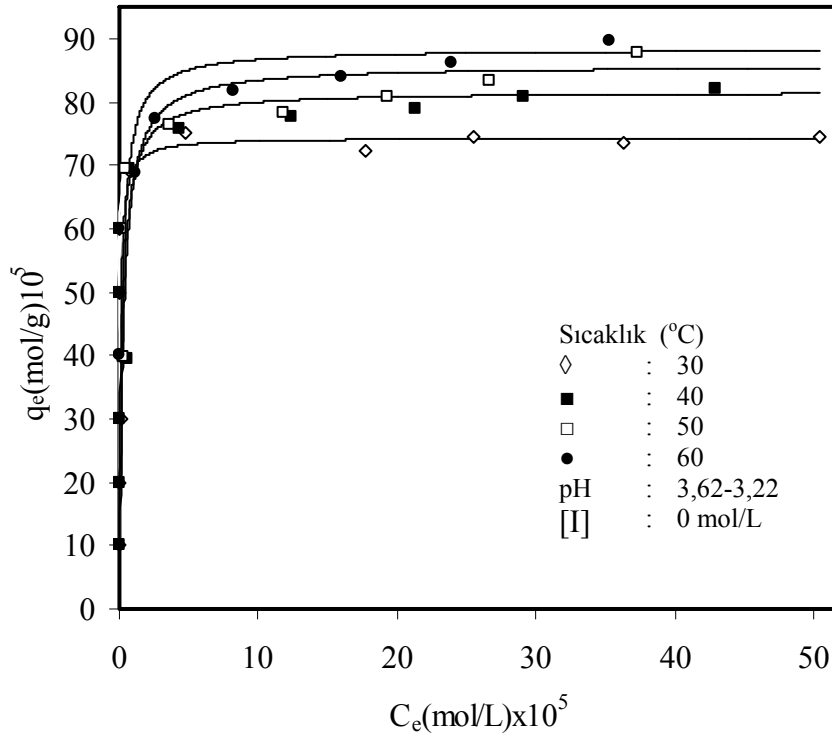
Çizelge 3.27 Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimine ait deneysel veriler (pH: 7,15-7,30 t: 30 °C)

C_o (mol/L) $\times 10^4$	[I] (mol/L)	C_e (mol/L) $\times 10^5$	q_e (mol/g) $\times 10^5$	C_e/q_e (g/L) $\times 10^1$
1		0,08	4,96	0,16
2		2,64	8,67	3,05
3		3,55	13,20	2,68
4		11,70	14,10	8,24
5		20,50	14,70	13,90
6	---	31,50	14,30	22,10
7		40,30	14,90	27,10
9		60,90	14,50	41,80
10		70,90	14,50	48,70
11		79,50	15,30	52,10
12,5		94,40	15,30	61,70
1		0,06	4,97	0,12
2		0,61	9,69	0,63
3		3,70	13,10	2,81
4		7,26	16,40	4,43
5		13,30	18,30	7,27
6	0,100	19,50	20,30	9,62
7		26,60	21,70	12,30
8		34,50	22,70	15,20
9		43,90	23,00	19,10
10		53,30	23,40	22,80
11		62,10	23,90	25,90
12,5		76,50	24,20	31,60
1		0,08	4,96	0,16
2		0,21	9,89	0,22
3		2,55	13,70	1,86
4		7,92	16,00	4,94
5	0,010	15,00	17,50	8,60
6		23,80	18,10	13,20
7		33,20	18,40	18,00
8		43,60	18,20	24,00
9		52,60	18,70	28,10
10		62,00	19,00	32,60
1		0,23	4,88	0,48
2		0,47	9,76	0,48
3		3,11	13,40	2,31
4		11,00	14,50	7,62
5	0,001	18,90	15,50	12,20
6		27,60	16,20	17,10
7		38,30	15,80	24,20
8		47,90	16,00	29,80
9		58,70	15,70	37,50
10		68,50	15,70	43,50

3.3.2.2 H₃PO₄ ile Aktifleştirilmiş Nar Kabuğu

3.3.2.2.1 Sıcaklığın Etkisi

Aktif karbon yüzeyine sulu çözeltilerden metilen mavisinin adsorpsiyonu çözeltinin doğal pH'sında 30, 40, 50 ve 60 °C'de incelendi. Elde edilen deneysel veriler, Çizelge 3.28'de verilerek Şekil 3.50'de grafik edildi. Sıcaklığın artması ile sulu çözeltilerden aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun arttığı bulundu.



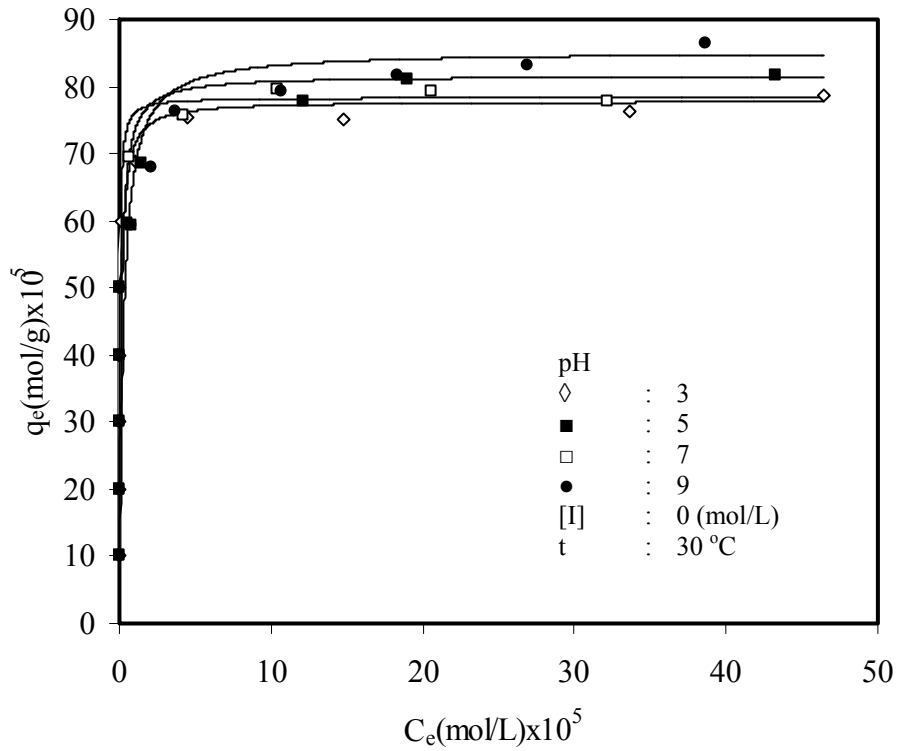
Şekil 3.50 Sulu çözeltilerden H₃PO₄ yöntemi ile nar kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimi

Çizelge 3.28 Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimine ait deneysel veriler (pH: 3,62-3,22, [I]: 0 mol/L)

C_o (mol/L) $\times 10^4$	t ($^{\circ}$ C)	C_e (mol/L) $\times 10^5$	q_e (mol/g) $\times 10^5$	C_e/q_e (g/L) $\times 10^2$
1	30	0,00	10,00	0,00
2		0,01	20,00	0,00
3		0,08	29,90	0,20
4		0,11	40,00	0,20
5		0,00	50,00	0,00
6		0,05	60,00	0,08
7		0,77	69,20	1,00
8		4,78	75,20	6,35
9		17,70	72,30	24,00
10		25,50	74,50	34,20
11		36,30	73,70	49,30
12,5		50,40	74,60	67,50
1	40	0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,56	39,40	1,40
5		0,00	50,00	0,01
6		0,04	60,00	0,06
7		0,71	69,30	1,01
8		4,26	75,70	5,60
9		12,40	77,60	15,90
10		21,30	78,80	27,00
11		29,20	80,80	36,10
12,5		42,90	82,10	52,30
1	50	0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,05	30,00	0,17
4		0,35	39,70	0,88
5		0,00	50,00	0,01
6		0,16	59,80	0,27
7		0,46	69,50	0,66
8		3,65	76,40	4,77
9		11,80	78,20	15,10
10		19,30	80,70	24,00
11		26,70	83,30	32,00
12,5		37,30	87,70	42,50
1	60	0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,00	40,00	0,00
5		0,00	50,00	0,00
6		0,02	60,00	0,03
7		1,19	68,80	1,70
8		2,55	77,50	3,30
9		8,24	81,80	10,00
10		16,10	83,90	19,10
11		23,90	86,10	27,80
12,5		35,30	89,70	39,30

3.3.2.2.2 pH'nın Etkisi

Aktif karbon yüzeyine sulu çözeltilerden metilen mavisinin adsorpsiyonu 30 °C'de pH 3-9 aralığında değişen çeşitli başlangıç metilen mavisi konsantrasyonlarında incelendi. Elde edilen deneysel veriler, Çizelge 3.29'de verilerek Şekil 3.51'de grafik edildi. Şekilden görüldüğü gibi çözeltilerin artan başlangıç pH değerleri ile aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun arttığı bulundu.



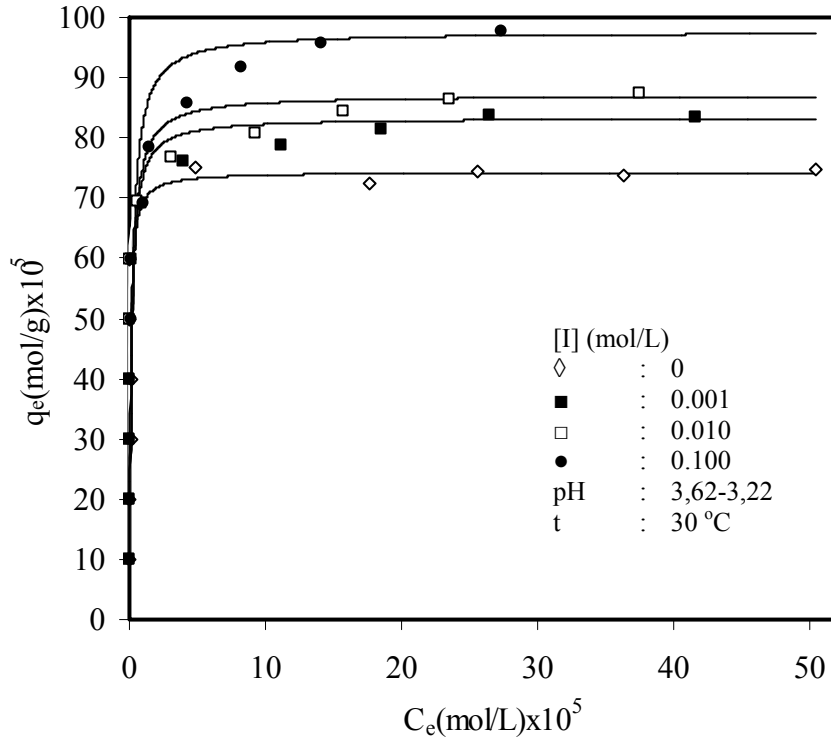
Şekil 3.51 Sulu çözeltilerden H₃PO₄ yöntemi ile nar kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun pH ile değişimi

Çizelge 3.29 Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun pH ile değişimine ait deneysel veriler ([I]: 0 mol/L, t: 30 °C)

C_o (mol/L) $\times 10^4$	pH	C_e (mol/L) $\times 10^5$	q_e (mol/g) $\times 10^5$	C_o/q_e (g/L) $\times 10^2$
1		0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,00	40,00	0,00
5		0,02	50,00	0,04
6	3	0,08	60,00	0,10
7		1,03	69,00	1,50
8		4,55	75,50	6,02
9		14,80	75,20	19,70
11		33,60	76,40	44,00
12,5		46,40	78,60	59,00
1		0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,00	40,00	0,00
6	5	0,02	50,00	0,03
7		0,47	59,50	0,80
9		1,39	68,60	2,02
10		12,10	77,90	15,50
12,5		43,30	82,00	53,00
1		0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,00	40,00	0,00
5		0,06	50,00	0,10
6	7	0,74	59,30	1,20
7		0,68	69,30	0,09
8		4,18	75,80	5,50
9		10,40	79,60	13,10
10		20,60	79,40	25,90
11		32,30	77,80	41,50
1		0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,00	40,00	0,00
5		0,00	50,00	0,00
6	9	0,74	59,30	1,20
7		2,14	67,90	3,10
8		3,72	76,30	4,90
9		10,60	79,30	13,40
10		18,40	81,60	22,50
11		26,90	83,10	32,40
12,5		38,70	86,30	44,80

3.3.2.2.3 İyon Şiddetinin Etkisi

Sulu çözeltilerden aktif karbon yüzeyine iyon şiddetinin etkisi 30 °C ve çözeltinin tabii pH'sında incelendi. Deneylerde NaCl'nin konsantrasyonu 0, 1×10^{-3} , 1×10^{-2} ve 1×10^{-1} mol/L olarak seçildi. Çizelge 3.30, aktif karbon yüzeyine sulu çözeltilerden metilen mavisinin adsorpsiyonuna iyon şiddetinin etkisine ait deneysel verileri göstermektedir. Şekil 3.52'den görüldüğü gibi artan iyon şiddeti ile aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun arttığı bulundu.



Şekil 3.52 Sulu çözeltilerden H_3PO_4 yöntemi ile nar kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimi

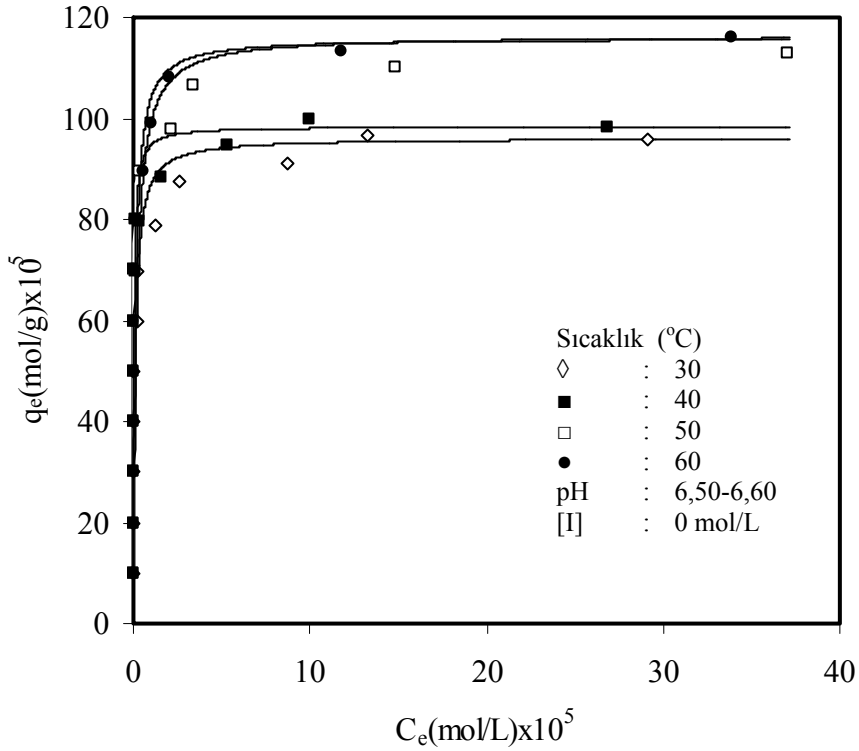
Çizelge 3.30 Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimine ait deneysel veriler (pH: 3,62-3,22, t: 30 °C)

C_o (mol/L) x10 ⁴	[I] (mol/L)	C_e (mol/L)x10 ⁵	q_e (mol/g)x10 ⁵	C_e/q_e (g/L)x10 ²
1		0,00	10,00	0,00
2		0,01	20,00	0,00
3		0,08	29,90	0,20
4		0,11	39,80	0,20
5		0,00	50,00	0,00
6		0,05	60,00	0,08
7	---	0,77	69,20	1,00
8		4,78	75,20	6,35
9		17,70	72,30	24,00
10		25,50	74,50	34,20
11		36,30	73,70	49,30
12,5		50,40	74,60	67,50
1		0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,00	40,00	0,00
5		0,09	49,90	0,20
6	0,100	0,10	59,90	0,20
7		1,03	68,90	1,50
8		1,45	78,50	1,84
9		4,26	85,70	5,00
10		8,23	91,80	9,00
11		14,20	95,80	14,70
12,5		27,30	97,70	27,90
1		0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,00	40,00	0,00
5		0,00	50,00	0,00
6	0,010	0,05	60,00	0,08
7		0,62	69,40	0,90
8		3,12	76,80	4,10
9		9,33	80,70	11,60
10		15,70	84,30	18,70
11		23,50	86,50	27,20
12,5		37,50	87,50	42,80
1		0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,00	40,00	0,00
5		0,03	50,00	0,00
6	0,001	0,13	59,80	0,08
7		0,86	69,10	0,90
8		3,99	76,00	4,10
9		11,10	78,90	11,60
10		18,50	81,50	18,70
11		26,40	83,60	27,20
12,5		41,60	83,40	42,80

3.3.2.3 ZnCl₂ ile Aktifleştirilmiş Nar Kabuğu

3.3.2.3.1 Sıcaklığın Etkisi

Aktif karbon yüzeyine sulu çözeltilerden metilen mavisinin adsorpsiyonu çözeltinin doğal pH'sında 30, 40, 50 ve 60 °C'de incelendi. Elde edilen deneysel veriler, Çizelge 3.31'de verilerek Şekil 3.53'de grafik edildi. Şekilden görüldüğü gibi sıcaklığın artması ile sulu çözeltilerden aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun arttığı bulundu.



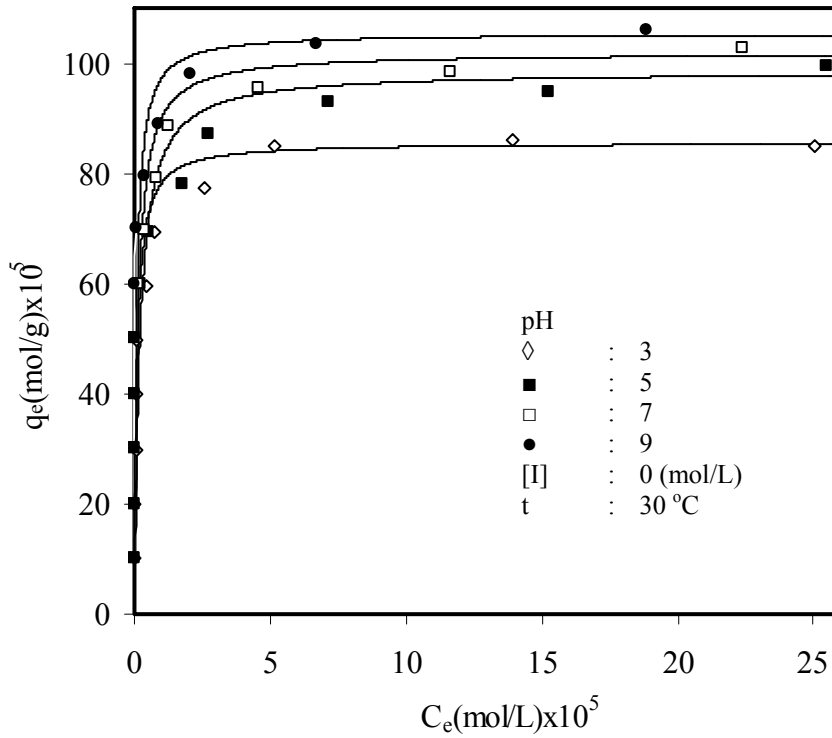
Şekil 3.53 Sulu çözeltilerden ZnCl₂ yöntemi ile nar kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimi

Çizelge 3.31 Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimine ait deneysel veriler (pH: 6,50-6,60, [I]: 0 mol/L)

$C_o(\text{mol/L}) \times 10^4$	$t(^{\circ}\text{C})$	$C_e(\text{mol/L}) \times 10^5$	$q_e(\text{mol/g}) \times 10^5$	$C_e/q_e(\text{g/L}) \times 10^2$
1	30	0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,00	40,00	0,01
5		0,01	50,00	0,02
6		0,26	59,70	0,40
7		0,21	69,70	0,30
8		1,23	78,70	1,56
9		2,57	87,40	2,94
10		8,73	91,30	9,57
11		13,30	96,70	13,70
12,5		29,10	95,90	30,30
1	40	0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,00	40,00	0,00
5		0,00	50,00	0,00
6		0,01	60,00	0,02
7		0,10	70,00	0,10
8		0,37	79,60	0,50
9		1,62	88,40	1,83
10		5,28	94,70	5,60
11		10,00	100,00	10,00
12,5		26,80	98,20	27,30
1	50	0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,00	40,00	0,00
5		0,00	50,00	0,00
6		0,00	60,00	0,00
7		0,00	70,00	0,00
8		0,12	80,00	0,07
9		0,61	89,40	0,40
10		0,97	99,00	2,20
11		2,06	108,00	3,20
12,5		11,80	113,00	13,40
15	33,90	116,00	32,80	
1	60	0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,00	40,00	0,00
5		0,00	50,00	0,00
6		0,00	60,00	0,00
7		0,00	70,00	0,00
8		1,12	79,80	0,15
9		0,61	89,40	0,68
10		0,96	99,00	0,97
11		2,06	108,00	1,91
12,5		11,70	113,00	10,40
15	33,80	116,00	29,20	

3.3.2.3.2 pH'nın Etkisi

Aktif karbon yüzeyine sulu çözeltilerden metilen mavisinin adsorpsiyonu 30 °C'de pH 3-9 aralığında değişen çeşitli başlangıç metilen mavisi konsantrasyonlarında incelendi. Elde edilen deneysel veriler Çizelge 3.32'de verilerek Şekil 3.54'de grafik edildi. Şekil 3.54'den görüldüğü gibi çözeltilerin artan başlangıç pH değerleri ile aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun arttığı bulundu.



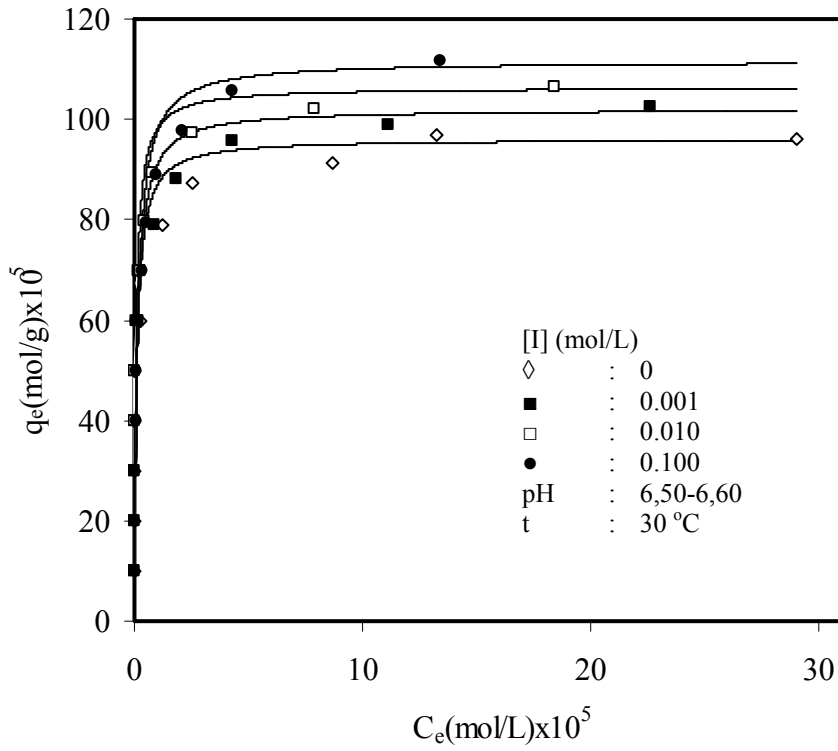
Şekil 3.54 Sulu çözeltilerden $ZnCl_2$ yöntemi ile nar kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun pH ile değişimi

Çizelge 3.32 Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonunun pH ile değişimine ait deneysel veriler ([I]: 0 mol/L, t: 30 °C)

C_o (mol/L) x10 ⁴	pH	C_e (mol/L)x10 ⁵	q_e (mol/g)x10 ⁵	C_e/q_e (g/L)x10 ²
1		0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,07	30,00	0,20
4		0,08	40,00	0,20
5		0,11	49,90	0,20
6	3	0,43	59,60	0,70
7		0,71	69,30	1,00
8		2,60	77,40	3,40
9		5,14	84,90	6,00
10		13,90	86,10	16,10
11		25,10	85,00	39,40
1		0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,02	40,00	0,00
6		0,21	50,00	0,03
7	5	0,54	60,00	0,30
8		1,77	69,50	0,80
9		2,76	78,20	2,00
10		7,12	87,20	3,20
11		15,30	94,70	16,10
12,5		25,50	99,50	25,60
1		0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,00	40,00	0,00
5		0,01	50,00	0,03
6		0,17	59,80	0,30
7	7	0,40	69,60	0,60
8		0,80	79,10	1,00
9		1,24	88,80	1,00
10		4,60	95,40	4,80
11		11,60	98,30	11,80
12,5		22,40	103,00	22,00
1		0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,00	40,00	0,00
5		0,00	50,00	0,01
6		0,01	60,00	0,02
7		0,05	70,00	0,07
8		0,37	79,60	0,50
9	9	0,91	89,10	1,00
10		2,03	98,00	2,10
11		6,70	103,00	6,50
12,5		18,84	106,00	17,80

3.3.2.3.3 İyon Şiddetinin Etkisi

Sulu çözeltilerden aktif karbon yüzeyine iyon şiddetinin etkisi 30 °C ve çözeltinin tabii pH'sında incelendi. Deneylerde NaCl'nin konsantrasyonu 0, 1×10^{-3} , 1×10^{-2} ve 1×10^{-1} mol/L olarak seçildi. Çizelge 3.33, aktif karbon yüzeyine sulu çözeltilerden metilen mavisinin adsorpsiyonuna iyon şiddetinin etkisi için elde edilmiş deneysel veriler verilmektedir. Şekil 3.55'den görüldüğü gibi artan iyon şiddeti ile aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun arttığı bulundu



Şekil 3.55 Sulu çözeltilerden $ZnCl_2$ yöntemi ile nar kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimi

Çizelge 3.33 Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimine ait deneysel veriler (pH: 6,50-6,60, t: 30 °C)

C_o (mol/L) $\times 10^4$	[I] (mol/L)	C_e (mol/L) $\times 10^5$	q_e (mol/g) $\times 10^5$	C_e/q_e (g/L) $\times 10^2$
1		0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,00	40,00	0,01
5		0,01	50,00	0,02
6	---	0,26	59,70	0,40
7		0,21	69,70	0,30
8		1,23	78,70	1,56
9		2,57	87,40	2,94
10		8,73	91,30	9,57
11		13,30	96,70	13,70
12,5		29,10	95,90	30,30
1		0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,03	30,00	0,10
4		0,05	40,00	0,10
5		0,07	50,00	0,13
6	0,100	0,09	59,90	0,20
7		0,36	69,90	0,50
8		0,50	79,50	0,60
9		2,15	89,00	1,10
10		0,94	97,90	2,20
11		4,34	105,00	4,10
12,5		13,40	112,00	12,00
1		0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,00	40,00	0,00
5		0,04	50,00	0,08
6	0,010	0,07	60,00	0,10
7		0,26	69,70	0,40
8		0,46	79,50	0,60
9		0,80	89,20	0,90
10		2,54	97,50	2,61
11		7,88	102,00	7,71
12,5		18,40	106,00	17,30
1		0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,01
3		0,00	30,00	0,03
4		0,01	40,00	0,03
5		0,01	50,00	0,02
6	0,001	0,18	59,80	0,30
7		0,15	69,80	0,20
8		0,91	79,10	1,10
9		1,84	88,10	2,10
10		4,26	95,70	4,40
11		11,20	98,80	11,30
12,5		22,70	102,00	22,20

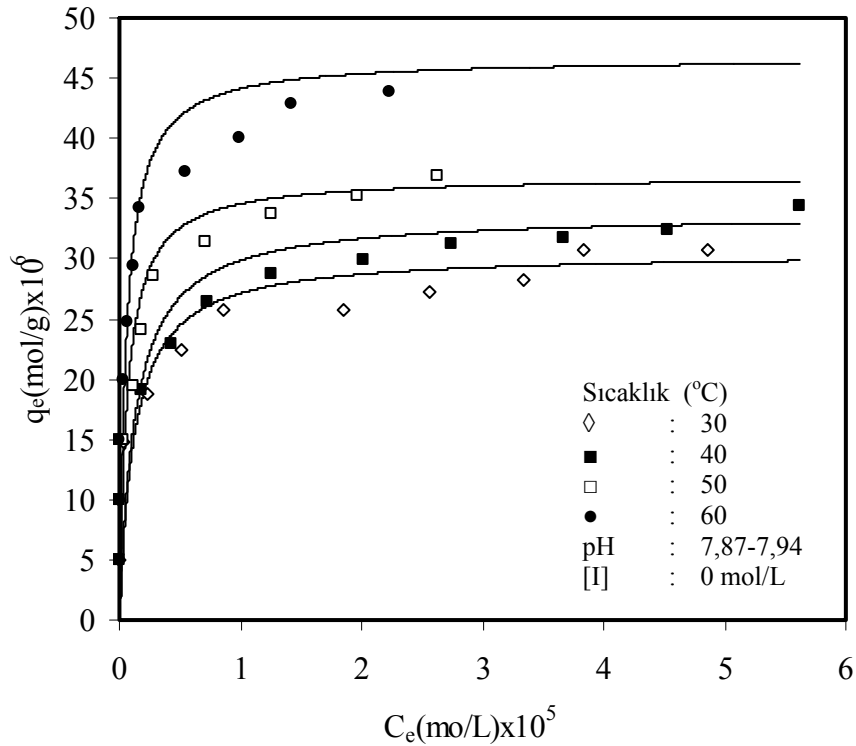
3.3.3 Zeytin Çekirdeği

3.3.3.1 H₂SO₄ ile Aktifleştirilmiş Zeytin Çekirdeği

Sulu çözeltilerden zeytin çekirdeğinden H₂SO₄ yöntemi ile sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonu, sıcaklık, pH ve iyon şiddetinin fonksiyonları olarak incelendi.

3.3.3.1.1 Sıcaklığın Etkisi

Aktif karbon yüzeyine sulu çözeltilerden metilen mavisinin adsorpsiyonu çözeltinin doğal pH'sında 30, 40, 50 ve 60 °C'de incelendi. Elde edilen deneysel veriler, Çizelge 3.34'de veriler Şekil 3.56'da grafik edildi. Sıcaklığın artması ile sulu çözeltilerden aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun arttığı bulundu.



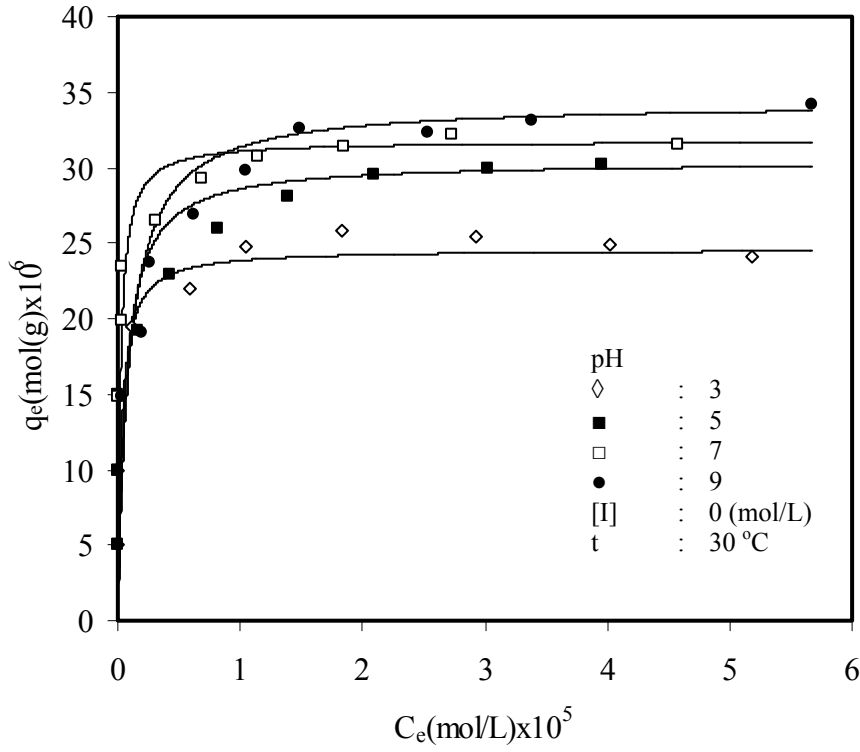
Şekil 3.56 Sulu çözeltilerden H₂SO₄ yöntemi ile zeytin çekirdeğinden sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimi

Çizelge 3.34 Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimine ait deneysel veriler (pH: 7,87-7,94, [I]: 0 mol/L)

C_o (mol/L) $\times 10^5$	t ($^{\circ}$ C)	C_e (mol/L) $\times 10^5$	q_e (mol/g) $\times 10^6$	C_e/q_e (g/L) $\times 10^1$
1		0,00	5,00	0,00
2		0,00	10,00	0,00
3		0,03	14,90	0,20
4		0,02	18,80	1,27
5		0,52	22,40	2,31
6	30	0,86	25,70	3,33
7		1,85	25,80	7,16
8		2,56	27,20	9,40
9		3,34	28,30	11,80
10		3,84	31,00	12,50
11		4,86	31,00	15,80
<hr/>				
1		0,00	5,00	0,00
2		0,00	10,00	0,00
3		0,00	15,00	0,00
4		0,18	19,10	1,00
5		0,43	22,80	1,89
6	40	0,72	26,40	2,74
7		1,26	28,70	4,40
8		2,00	30,00	6,71
9		2,75	31,30	8,80
10		3,67	31,70	11,60
11		4,52	32,40	14,00
12,5		5,62	34,40	16,30
<hr/>				
1		0,00	5,00	0,00
2		0,00	10,00	0,00
3		0,03	15,00	0,17
4		0,12	19,40	0,61
5		0,19	24,10	0,78
6	50	0,28	28,60	1,00
7		0,71	31,40	2,27
8		1,26	33,70	3,75
9		1,97	35,10	5,61
10		2,62	36,90	7,11
<hr/>				
1		0,00	5,00	0,00
2		0,00	10,00	0,00
3		0,00	15,00	0,00
4		0,03	20,00	0,15
5		0,06	24,70	0,27
6	60	0,11	29,40	0,37
7		0,16	34,20	0,47
8		0,54	37,30	1,46
9		1,00	40,00	2,48
10		1,42	43,00	3,33
12,5		2,22	43,90	5,07

3.3.3.1.2 pH'nın Etkisi

Aktif karbon yüzeyine sulu çözeltilerden metilen mavisinin adsorpsiyonu 30 °C'de pH 3-9 aralığında değişen çeşitli başlangıç metilen mavisi konsantrasyonlarında incelendi. Elde edilen deneysel veriler, Çizelge 3.35'de verilerek Şekil 3.57'de grafik edildi. Şekilden görüldüğü gibi çözeltilerin artan başlangıç pH değerleri ile aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun arttığı bulundu.



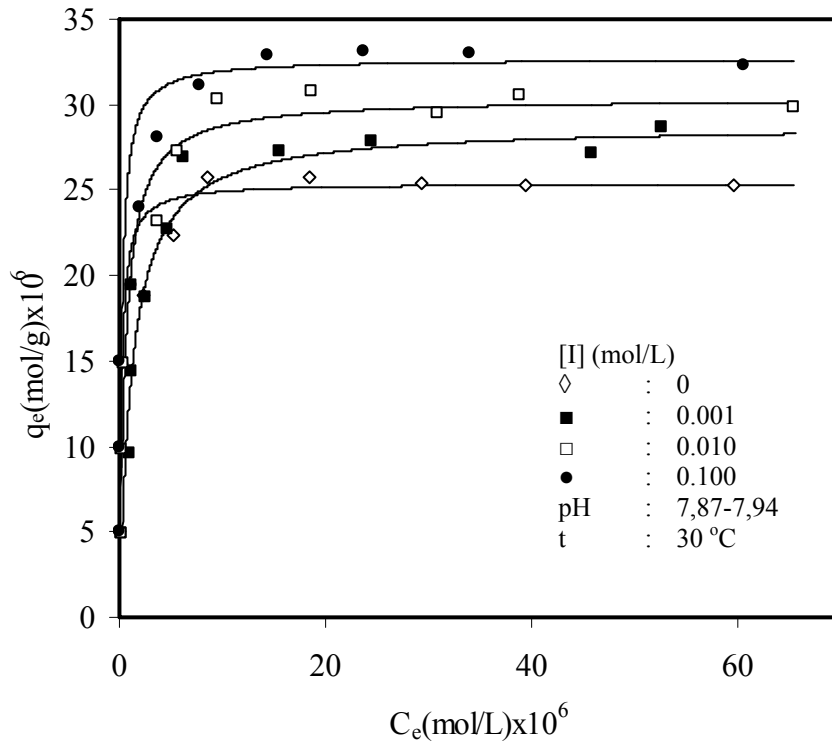
Şekil 3.57 Sulu çözeltilerden H₂SO₄ yöntemi ile zeytin çekirdeğinden sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun pH ile değişimi

Çizelge 3.35 Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonunun pH ile değişimine ait deneysel veriler ([I]: 0 mol/L, t: 30 °C)

C_o (mol/L) $\times 10^5$	pH	C_e (mol/L) $\times 10^5$	q_e (mol/g) $\times 10^6$	C_e/q_e (g/L) $\times 10^1$
1		0,00	5,00	0,00
2		0,00	10,00	0,00
3		0,00	15,00	0,00
4		0,12	19,40	0,61
5	3	0,59	22,00	2,67
6		1,05	24,80	4,24
7		1,83	25,90	7,05
8		2,92	25,40	11,50
9		4,02	24,90	16,20
10		5,17	24,10	21,40
<hr/>				
1		0,00	5,00	0,00
2		0,00	10,00	0,00
3		0,00	15,00	0,00
4		0,16	19,20	0,83
5	5	0,43	22,90	1,86
6		0,82	25,90	3,14
7		1,39	28,00	5,00
8		2,10	29,50	7,11
9		3,02	29,90	10,10
10		3,96	30,20	13,10
<hr/>				
1		0,00	5,00	0,00
2		0,00	10,00	0,00
3		0,00	14,80	0,00
4		0,03	19,80	0,15
5		0,04	23,50	0,17
6	7	0,31	26,60	1,17
7		0,69	29,30	2,35
8		1,14	30,70	3,71
9		1,85	31,30	5,90
11		2,73	32,10	8,50
12,5		4,57	31,50	14,50
<hr/>				
1		0,00	5,00	0,00
2		0,00	10,00	0,00
3		0,03	14,80	0,20
4		0,19	19,00	1,00
5		0,27	23,70	1,12
6	9	0,63	26,90	2,34
7		1,05	29,80	3,51
8		1,49	32,60	4,56
9		2,54	32,30	8,87
10		3,39	33,00	10,30
12,5		5,67	34,20	16,60

3.3.3.1.3 İyon Şiddetinin Etkisi

Sulu çözeltilerden aktif karbon yüzeyine iyon şiddetinin etkisi 30 °C’de ve çözeltinin tabii pH’sında incelendi. Deneylerde NaCl’nin konsantrasyonu 0, 1×10^{-3} , 1×10^{-2} ve 1×10^{-1} mol/L olarak seçildi. Çizelge 3.36, sulu çözeltilerden aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonuna iyon şiddetinin etkisi için elde edilmiş deneysel verileri göstermektedir. Şekil 3.58’den görüldüğü gibi artan iyon şiddeti ile aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun arttığı bulundu.



Şekil 3.58 Sulu çözeltilerden H₂SO₄ yöntemi ile zeytin çekirdeğinden sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimi

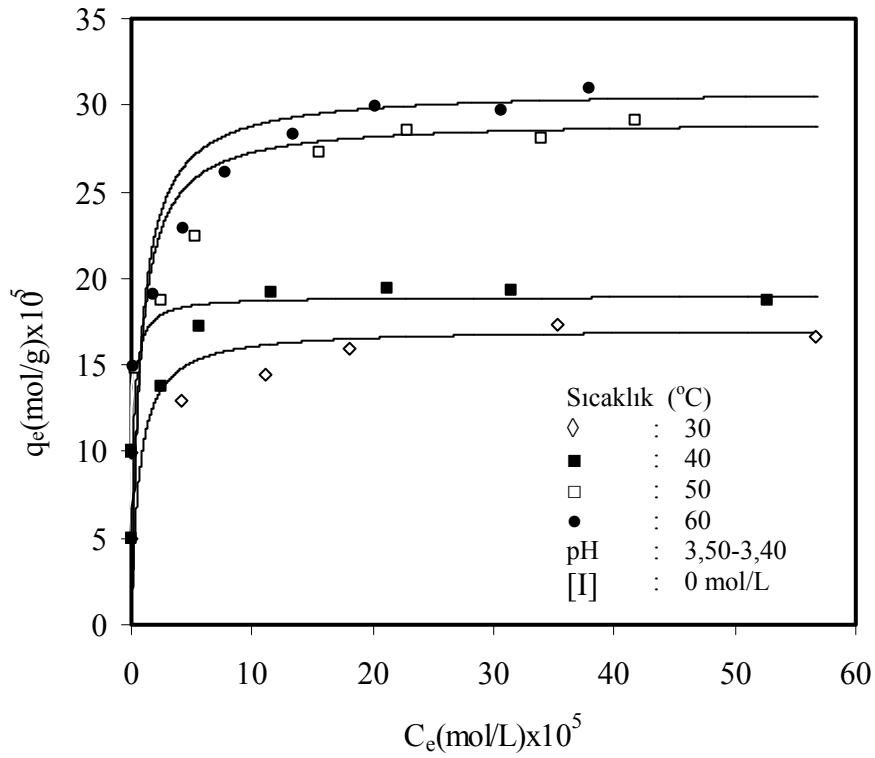
Çizelge 3.36 Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimine ait deneysel veriler (pH: 7,87-7,94 t: 30 °C)

C_0 (mol/L) $\times 10^5$	[I] (mol/L)	C_e (mol/L) $\times 10^6$	q_e (mol/g) $\times 10^6$	C_e/q_e (g/L) $\times 10^1$
1		0,00	5,00	0,00
2		0,00	10,00	0,00
3		0,29	14,90	0,20
4		2,40	18,80	1,30
5	---	5,20	22,40	2,31
6		8,60	25,70	3,33
7		18,50	25,80	7,20
8		29,20	25,40	11,50
9		39,40	25,30	16,00
11		59,50	25,20	23,60
1		0,00	5,00	0,00
2		0,00	10,00	0,00
3		0,00	15,00	0,00
4		1,18	19,40	0,61
5		1,93	24,00	0,80
6	0,100	3,74	28,10	1,32
7		7,75	31,10	2,50
8		14,30	32,90	4,34
9		23,60	33,20	7,12
10		34,00	33,00	10,30
12,5		60,50	32,30	18,70
1		0,23	4,89	0,50
2		0,27	9,87	0,27
3		0,38	14,80	0,25
4		1,18	19,40	0,61
5		3,74	23,20	1,61
6	0,010	5,55	27,20	2,00
7		9,42	30,30	3,11
8		18,50	30,70	6,00
9		31,00	29,50	10,50
10		38,80	30,60	13,00
12,5		65,30	29,80	21,90
1		0,00	4,87	0,54
2		0,26	9,56	0,94
3		0,90	14,40	0,83
4		1,20	18,70	1,36
5		2,55	22,70	2,04
6	0,001	4,63	26,90	2,30
7		6,20	27,20	5,71
8		15,60	28,00	8,74
10		45,70	27,10	16,80
11		52,60	28,70	18,30

3.3.3.2 H₃PO₄ ile Aktifleştirilmiş Zeytin Çekirdeği

3.3.3.2.1 Sıcaklığın Etkisi

Aktif karbon yüzeyine sulu çözeltilerden metilen mavisinin adsorpsiyonu çözeltinin doğal pH'sında 30, 40, 50 ve 60 °C'de incelendi. Elde edilen deneysel veriler, Çizelge 3.37'da verilerle Şekil 3.59'da grafik edildi. Sıcaklığın artması ile sulu çözeltilerden aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun arttığı bulundu.



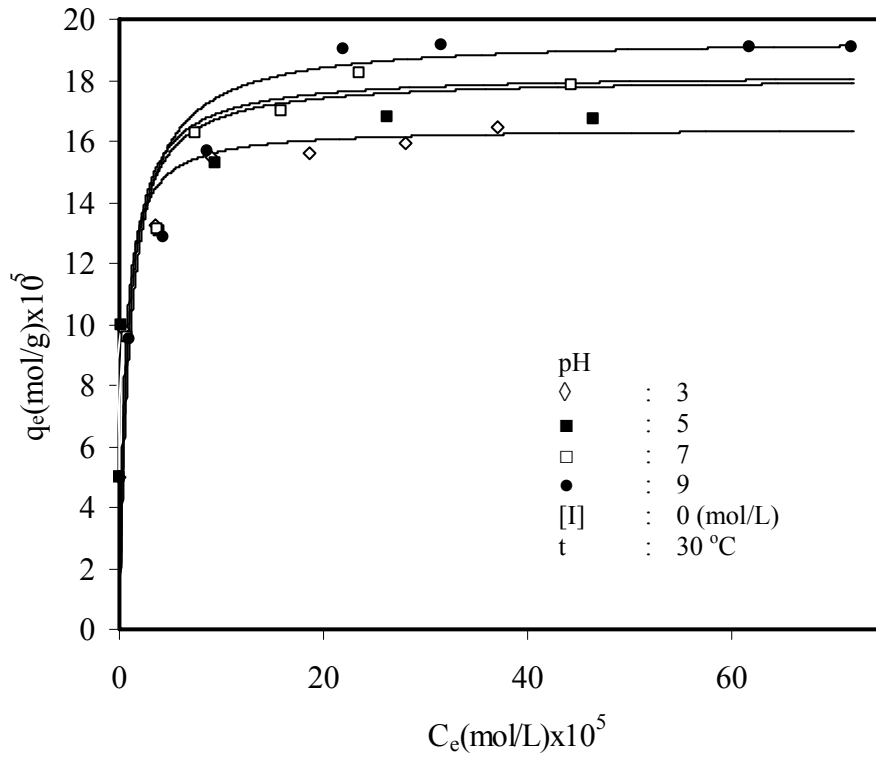
Şekil 3.59 Sulu çözeltilerden H₃PO₄ yöntemi ile zeytin çekirdeğinden sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimi

Çizelge 3.37 Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimine ait deneysel veriler (pH: 3,50-3,40, [I]: 0 mol/L)

C_o (mol/L) $\times 10^4$	t ($^{\circ}$ C)	C_e (mol/L) $\times 10^5$	q_e (mol/g) $\times 10^5$	C_e/q_e (g/L) $\times 10^1$
1		0,00	5,00	0,01
2		0,04	10,00	0,04
3		4,10	13,00	3,13
4	30	11,10	14,50	7,70
5		18,10	16,00	11,40
7		35,20	17,40	20,30
9		56,80	16,60	34,20
1		0,00	5,00	0,00
2		0,02	10,00	0,01
3		2,50	13,70	1,82
4	40	5,63	17,20	3,30
5		11,50	19,20	6,00
6		21,20	19,40	10,90
7		31,40	19,30	16,30
9		52,70	18,70	28,20
1		0,00	5,00	0,00
2		0,00	10,00	0,00
3		0,40	14,80	0,30
4		2,50	18,80	1,33
5	50	5,23	22,40	2,33
7		15,50	27,20	5,70
8		22,80	28,60	8,00
9		34,00	28,00	12,10
10		41,70	29,10	14,30
1		0,00	5,00	0,00
2		0,00	10,00	0,00
3		0,13	15,00	0,08
4		1,85	19,10	1,00
5		4,25	23,00	1,90
6	60	7,82	26,10	3,00
7		13,40	28,30	4,74
8		20,20	30,00	6,80
9		30,70	29,70	10,30
10		38,00	31,00	12,20

3.3.3.2.2 pH'nın Etkisi

Aktif karbon yüzeyine sulu çözeltilerden metilen mavisinin adsorpsiyonu 30 °C'de pH 3-9 aralığında değişen çeşitli başlangıç metilen mavisi konsantrasyonlarında incelendi. Elde edilen deneysel veriler, Çizelge 3.38'de verilerek Şekil 3.60'da grafik edildi. Şekilden görüldüğü gibi çözeltilerin artan başlangıç pH değerleri ile aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun arttığı bulundu.



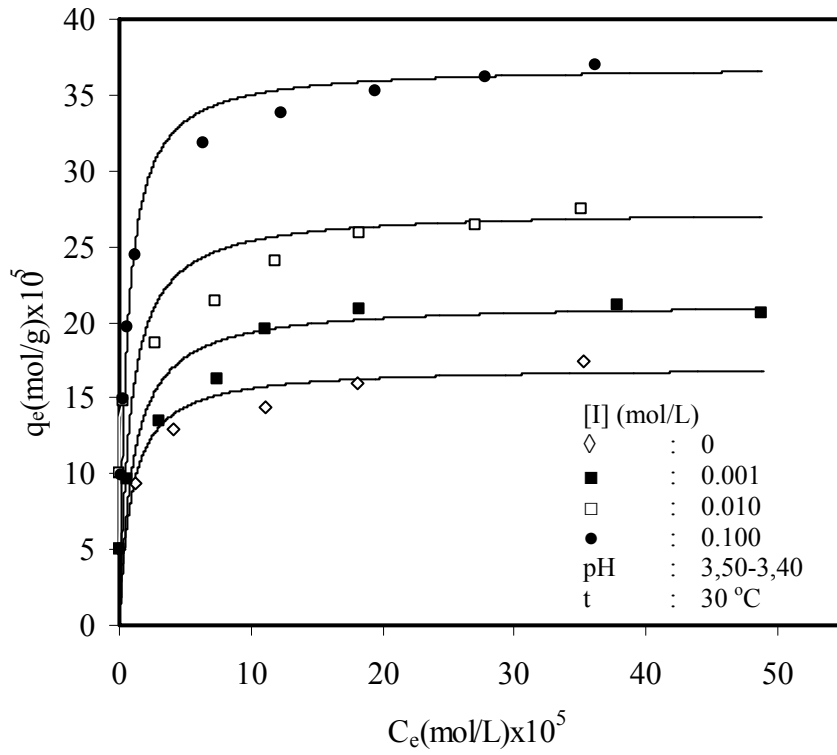
Şekil 3.60 Sulu çözeltilerden H₃PO₄ yöntemi ile zeytin çekirdeğinden sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun pH ile değişimi

Çizelge 3.38 Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun pH ile değişimine ait deneysel veriler ([I]: 0 mol/L, t: 30 °C)

C_0 (mol/L) $\times 10^4$	pH	C_e (mol/L) $\times 10^5$	q_e (mol/g) $\times 10^5$	C_e/q_e (g/L) $\times 10^1$
1		0,00	5,00	0,02
2		0,35	9,82	0,40
3		3,53	13,20	0,30
4	3	9,10	15,50	5,90
5		18,70	15,60	12,00
6		28,10	16,00	17,70
7		37,00	16,50	22,50
1		0,07	5,00	0,14
2		0,13	9,93	0,13
3	5	3,90	13,00	3,00
4		9,50	15,30	6,20
6		26,40	16,80	15,70
8		46,60	16,70	27,90
1		0,01	5,00	0,02
2		0,85	9,60	0,90
3		3,75	13,10	2,90
4	7	7,50	16,20	4,61
5		16,00	17,00	9,40
6		23,60	18,20	13,00
8		44,30	17,90	24,80
1		0,02	5,00	0,03
2		1,00	9,51	1,03
3		4,31	12,80	3,35
4	9	8,61	15,70	5,50
6		22,00	19,00	11,60
7		31,70	19,10	16,60
10		61,90	19,00	32,50
11		72,00	19,00	37,70

3.3.3.2.3 İyon Şiddetinin Etkisi

Sulu çözeltilerden aktif karbon yüzeyine iyon şiddetinin etkisi 30 °C ve çözeltinin tabii pH'sında incelendi. Deneylerde NaCl'nin konsantrasyonu 0, 1×10^{-3} , 1×10^{-2} ve 1×10^{-1} mol/L olarak alındı. Çizelge 3.39, aktif karbon yüzeyine sulu çözeltilerden metilen mavisinin adsorpsiyonuna iyon şiddetinin etkisine ait deneysel verileri göstermektedir. Şekil 3.61'den görüldüğü gibi artan iyon şiddeti ile aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun arttığı bulundu.



Şekil 3.61 Sulu çözeltilerden H_3PO_4 yöntemi ile zeytin çekirdeğinden sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimi

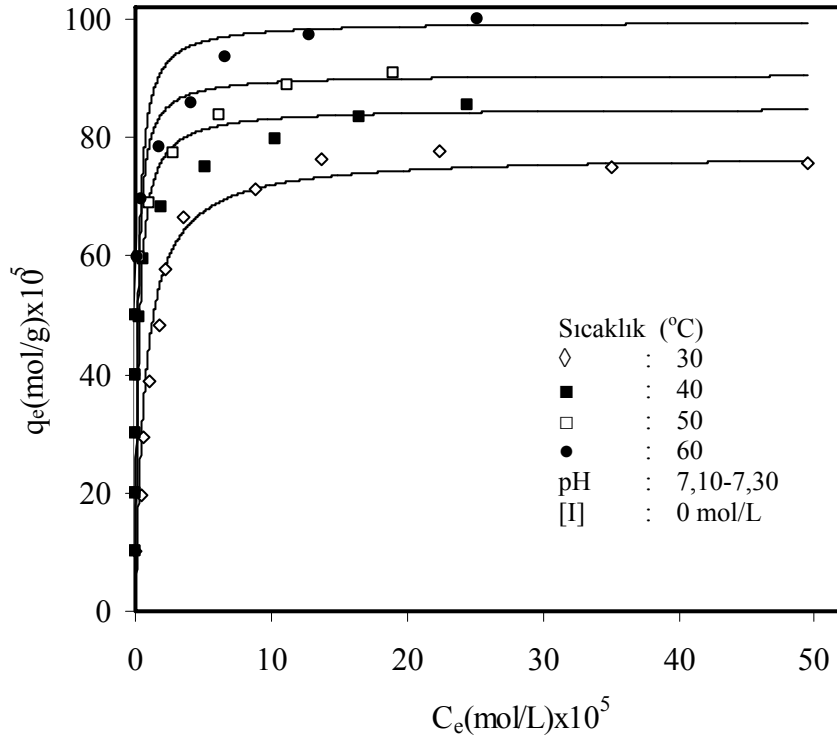
Çizelge 3.39 Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimine ait deneysel veriler (pH :3,50-3,40 t: 30 °C)

$C_o(\text{mol/L}) \times 10^4$	[I] (mol/L)	$C_e(\text{mol/L}) \times 10^5$	$q_e(\text{mol/g}) \times 10^5$	$C_e/q_e(\text{g/L}) \times 10^1$
1		0,00	5,00	0,02
2		1,19	9,40	1,27
3		4,07	13,00	3,13
4	---	11,10	14,50	7,70
5		18,10	16,00	11,40
7		35,20	17,40	20,30
1		0,00	5,00	0,00
2		0,10	10,00	0,09
3		0,23	14,90	0,16
4		0,68	19,70	0,34
5	0,100	1,21	24,40	0,50
7		6,40	31,80	2,01
8		12,30	33,80	3,64
9		19,50	35,30	5,53
10		27,80	36,10	7,70
11		36,10	37,00	10,00
1		0,00	5,00	0,00
2		0,02	10,00	0,02
3		0,36	14,80	0,24
4		2,66	18,70	1,42
5	0,010	7,26	21,40	3,40
6		11,90	24,10	5,00
7		18,20	26,00	7,02
8		27,10	26,40	10,30
9		35,10	27,50	13,00
1		0,05	5,00	0,09
2		0,62	10,00	0,64
3		3,00	13,50	2,21
4		7,50	16,30	4,60
5	0,001	11,00	19,50	5,70
6		18,20	21,00	8,74
8		37,80	21,10	17,90
9		48,70	20,60	23,60

3.3.3.3 ZnCl₂ ile Aktifleştirilmiş Zeytin Çekirdeği

3.3.3.3.1 Sıcaklığın Etkisi

Aktif karbon yüzeyine sulu çözeltilerden metilen mavisinin adsorpsiyonu çözeltinin doğal pH'sında 30, 40, 50 ve 60 °C'de incelendi. Elde edilen deneysel veriler, Çizelge 3.40'da verilerek Şekil 3.62'de grafik edildi. Şekilden görüldüğü gibi sıcaklığın artması ile sulu çözeltilerden aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun arttığı bulundu.



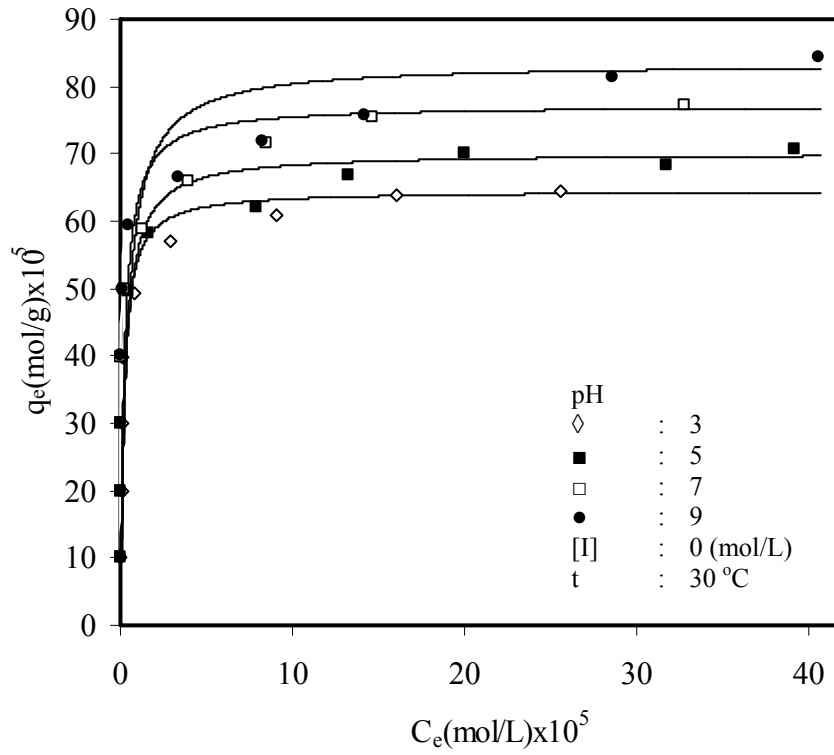
Şekil 3.62 Sulu çözeltilerden ZnCl₂ ile aktifleştirilen zeytin çekirdeğinden sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimi

Çizelge 3.40 Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun sıcaklıkla değişimine ait deneysel veriler (pH: 7,10-7,30, [I]: 0 mol/L)

C_o (mol/L) $\times 10^4$	t ($^{\circ}$ C)	C_e (mol/L) $\times 10^5$	q_e (mol/g) $\times 10^5$	C_e/q_e (g/L) $\times 10^2$
1	30	0,00	10,00	0,00
2		0,46	19,50	2,30
3		0,64	29,40	2,20
4		1,03	39,00	2,60
5		1,81	48,20	3,80
6		2,26	57,70	4,00
7		3,60	66,40	5,40
8		8,80	71,20	12,30
9		13,70	76,30	18,00
10		22,40	77,60	28,90
11		35,00	75,00	46,80
12,5		49,50	75,50	65,60
1	40	0,00	10,00	0,00
2		0,01	20,00	0,00
3		0,03	30,00	0,01
4		0,05	40,00	0,10
5		0,29	49,70	0,60
6		0,53	59,50	0,90
7		1,94	68,00	2,84
8		5,16	74,80	6,89
9		10,30	80,00	13,00
10		16,50	83,50	19,80
11		24,50	85,50	28,70
1	50	0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,02	40,00	0,05
5		0,06	49,90	0,13
6		0,22	59,80	0,37
7		1,02	69,00	1,48
8		2,78	77,20	3,60
9		6,19	83,80	7,40
10		11,10	88,80	12,60
11		19,00	91,00	21,00
1	60	0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,00	40,00	0,02
5		0,03	50,00	0,06
6		0,16	59,80	0,30
7		0,48	69,50	0,70
8		1,72	78,30	2,20
9		4,10	85,90	4,80
10		6,56	93,40	7,01
11		12,80	97,20	13,20
12,5	25,20	99,80	25,20	

3.3.3.3.2 pH'nın Etkisi

Aktif karbon yüzeyine sulu çözeltilerden metilen mavisinin adsorpsiyonu 30 °C'de pH 3-9 aralığında değişen çeşitli başlangıç metilen mavisi konsantrasyonlarında incelendi. Elde edilen deneysel veriler, Çizelge 3.41'de verilerek Şekil 3.63'de grafik edildi. Şekil 3.63'den görüldüğü gibi çözeltilerin artan başlangıç pH değerleri ile aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun arttığı bulundu.



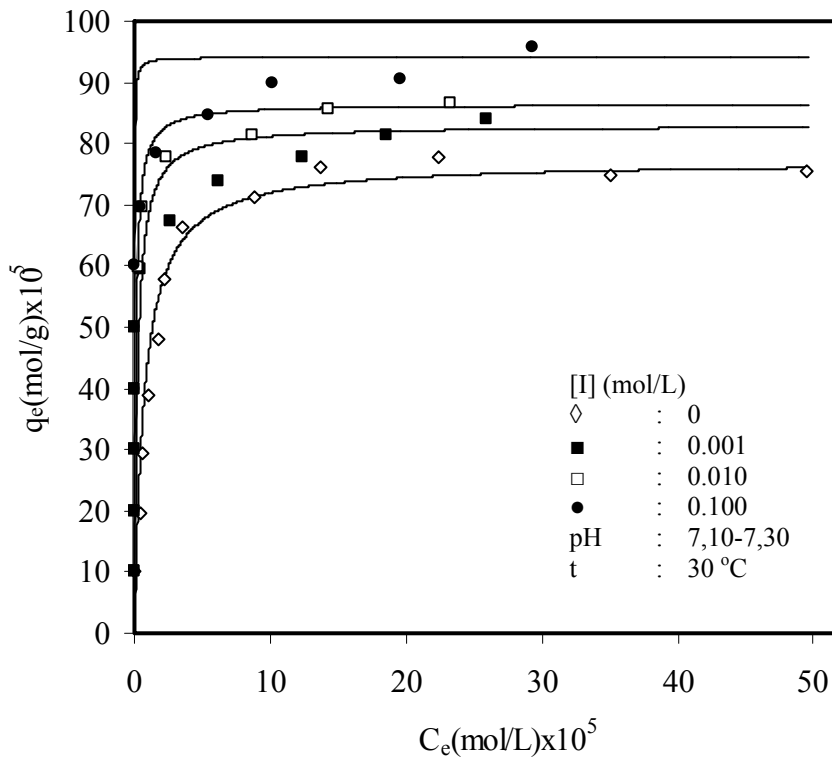
Şekil 3.63 Sulu çözeltilerden $ZnCl_2$ yöntemi ile zeytin çekirdeğinden sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun pH ile değişimi

Çizelge 3.41 Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonunun pH ile değişimine ait deneysel veriler ([I]: 0 mol/L, t: 30 °C)

C_0 (mol/L) $\times 10^4$	pH	C_e (mol/L) $\times 10^5$	q_e (mol/g) $\times 10^5$	C_e/q_e (g/L) $\times 10^2$
1		0,00	10,00	0,00
2		0,07	20,00	0,34
3		0,07	30,00	0,24
4		0,14	39,80	0,34
5	3	0,83	49,20	1,70
6		2,90	57,10	5,01
7		9,10	61,00	15,00
8		16,10	64,00	25,20
9		25,60	64,40	40,00
1		0,00	10,00	0,00
2		0,03	20,00	0,13
3		0,04	30,00	0,13
4		0,10	40,00	0,26
5		0,52	49,50	1,10
6	5	1,65	58,40	2,82
7		7,94	62,10	13,00
8		13,30	66,70	20,00
9		20,00	70,00	28,50
10		31,70	68,30	46,40
11		39,20	70,80	55,40
1		0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,02
3		0,00	30,00	0,02
4		0,05	40,00	0,13
5		0,21	49,80	0,42
6	7	1,27	58,70	2,20
7		4,00	66,00	6,03
8		8,55	71,50	12,00
9		14,60	75,40	19,40
11		32,80	77,20	42,50
1		0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,02
3		0,00	30,00	0,03
4		0,04	40,00	0,10
5		0,14	49,80	0,30
6	9	0,50	59,60	0,80
7		3,40	66,70	5,00
8		8,24	71,80	11,50
9		14,20	76,00	19,00
11		28,60	81,40	35,10
12,5		40,60	84,40	48,10

3.3.3.3.3 İyon Şiddetinin Etkisi

Sulu çözeltilerden aktif karbon yüzeyine iyon şiddetinin etkisi 30 °C ve çözeltinin tabii pH'sında incelendi. Deneylerde NaCl'nin konsantrasyonu 0, 1×10^{-3} , 1×10^{-2} ve 1×10^{-1} mol/L olarak seçildi. Çizelge 3.42'de, aktif karbon yüzeyine sulu çözeltilerden metilen mavisinin adsorpsiyonuna iyon şiddetinin etkisi için elde edilmiş deneysel veriler verilmektedir. Şekil 3.64'den görüldüğü gibi artan iyon şiddeti ile aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonunun arttığı bulundu



Şekil 3.64 Sulu çözeltilerden $ZnCl_2$ yöntemi ile zeytin çekirdeğinden sentezlenen aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimi

Çizelge 3.42 Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonunun iyon şiddeti ile değişimine ait deneysel veriler (pH: 7,10-7,30, t: 30 °C)

C_o (mol/L) $\times 10^4$	[I] (mol/L)	C_e (mol/L) $\times 10^5$	q_e (mol/g) $\times 10^5$	C_e/q_e (g/L) $\times 10^2$
1		0,00	10,00	0,00
2		0,46	19,50	2,30
3		0,64	29,40	2,20
4		1,03	39,00	2,60
5		1,81	48,20	3,80
6		2,26	57,70	4,00
7	---	3,60	66,40	5,40
8		8,80	71,20	12,30
9		13,70	76,30	18,00
10		22,40	77,60	28,90
11		35,00	75,00	46,80
12,5		49,50	75,50	65,60
1		0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,00	40,00	0,00
5		0,04	50,00	0,00
6	0,100	0,00	60,00	0,00
7		0,38	69,60	0,53
8		1,62	78,40	2,10
9		5,45	84,60	6,44
10		10,20	89,80	11,30
11		19,60	90,40	22,00
12,5		29,30	95,70	31,00
1		0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,00
4		0,01	40,00	0,03
5		0,05	50,00	0,10
6	0,010	0,30	59,70	0,50
7		0,55	69,50	0,80
8		2,29	77,70	3,00
9		8,71	81,30	11,00
10		14,30	85,70	16,60
11		23,30	86,70	27,00
1		0,00	10,00	0,00
2		0,00	20,00	0,00
3		0,00	30,00	0,02
4		0,02	40,00	0,05
5		0,06	50,00	0,13
6	0,001	0,39	59,60	0,66
7		2,64	67,40	4,00
8		6,11	74,00	8,30
9		12,40	77,60	16,00
10		18,50	81,50	22,70
11		26,00	84,00	31,00

4. SONUÇ VE TARTIŞMA

4.1 Sentezlenen Aktif karbonların Karakterizasyonu

Antep fıstığı kabuğu, nar kabuğu ve zeytin çekirdeğinden H_2SO_4 , H_3PO_4 ve $ZnCl_2$ yöntemleri ile piroliz edilerek sentezlenen aktif karbonlar, BET yüzey alanı tayin cihazı, piknometre, elementel analiz cihazı, FTIR-ATR ve SEM fotoğrafları kullanılarak karakterize edildi.

4.1.1 BET Yüzey Alanı Ölçümleri

Çevresel kirliliklerin adsorpsiyon yolu ile gideriminde en önemli parametre kullanılacak adsorbentin yüzey alanıdır. Bu nedenle bu çalışmada Antep fıstığı kabuğu, nar kabuğu ve zeytin çekirdeğinden sentezlenen aktif karbonların yüzey alanlarını optimize etmek için yüzey alanına konsantrasyon ve sıcaklığın etkileri incelendi. Farklı bitkisel kaynaklardan sentezlenen en yüksek yüzey alanlı aktif karbon örneklerinin yüzey özelliklerinin belirlenmesinden sonra çevresel atıkların gideriminde kullanılabilirliği araştırıldı. Aşağıda her bir bitkisel materyal için farklı yöntemlere göre sentezlenmiş aktif karbon örneklerinin deneysel verileri verilerek, elde edilen sonuçlar tartışılmaktadır.

4.1.1.1 Antep Fıstığı Kabuğu

4.1.1.1.1 H_2SO_4 ile Aktifleştirilmiş Antep Fıstığı Kabuğu

H_2SO_4 yöntemi ile 0,1, 0,5, 1,0 ve 5 M konsantrasyonlarında Antep fıstığı kabuğunun 800 $^{\circ}C$ 'de piroliz edilmesiyle sentezlenen aktif karbonların yüzey alanları Şekil 3.1'de verilmektedir. Şekil incelendiğinde 1 M H_2SO_4 ile piroliz edilmiş Antep fıstığı kabuğunun en yüksek yüzey alanına sahip olduğu (710 m^2/g) görülmektedir. Daha düşük konsantrasyonlarda gözeneklerin tam olarak açılmamasından dolayı ve daha yüksek konsantrasyonlarda ise gözeneklerin parçalanarak yapının bozulmasından dolayı yüzey alanının azaldığı söylenebilir. Antep fıstığı kabuğundan

H₂SO₄ yöntemi ile sentezlenen aktif karbonların yüzey alanlarına aktivasyon sıcaklığının etkisi, Şekil 3.2’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi 1 M H₂SO₄ konsantrasyonunda 800 °C’de piroliz edilen Antep fıstığı kabuğu en yüksek yüzey alanına (710 m²/g) sahiptir. Daha düşük sıcaklıklarda piroliz ajanının gözeneklere daha iyi nüfuz edememesinden ve aktivasyonun tam olarak gerçekleşmemesinden dolayı BET yüzey alanının daha düşük çıktığı düşünülmektedir. Lua ve arkadaşları, KOH aktivasyonu ile Antep fıstığı kabuğundan yüksek sıcaklıklarda sentezledikleri aktif karbonların porlarının genişlediğini ve sonunda da bazı porlar arasındaki duvarların yıkıldığını bulmuşlardır[14].

4.1.1.1.2 H₃PO₄ ile Aktifleştirilmiş Antep Fıstığı Kabuğu

Şekil 3.3, Antep fıstığı kabuğundan H₃PO₄ yöntemi ile 800 °C’de farklı H₃PO₄ konsantrasyonlarında sentezlenen aktif karbonların yüzey alanlarını göstermektedir. Şekilden görüldüğü gibi aktivasyon ajanının konsantrasyonunun artmasıyla sentezlenen aktif karbonların yüzey alanlarının arttığı gözlenmiştir. En yüksek yüzey alanına sahip aktif karbonun 5 M H₃PO₄ kullanılmasıyla elde edilmiştir (940 m²/g). Literatürde benzer durum Yavuz ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada gözlemlenmiştir[38]. Yavuz ve arkadaşları H₃PO₄ konsantrasyonundaki artışının sadece yüzey alanı artışına değil, aynı zamanda aktif karbonun gözenek hacmi ve gözenek dağılımını da etkilediğini belirtmişlerdir. Şekil 3.4, Antep fıstığı kabuğundan H₃PO₄ yöntemi ile 5 M H₃PO₄ konsantrasyonunda farklı aktivasyon sıcaklıklarında sentezlenen aktif karbonların yüzey alanlarını göstermektedir. Şekil incelendiğinde 5 M H₃PO₄ konsantrasyonunda ve 700 °C’de sentezlenen aktif karbonun en yüksek yüzey alanına sahip olduğu bulunmuştur. Aktivasyon sıcaklığının artmasıyla ise sentezlenen aktif karbonların yüzey alanlarının arttığı görülmektedir. Bunun nedeni artan sıcaklıkla hem aktivasyon ajanının gözeneklere daha iyi nüfuz etmesi ve hem de piroliz olayının yüksek sıcaklıklarda daha iyi gerçekleşmesi olabilir.

4.1.1.1.3 ZnCl₂ ile Aktifleştirilmiş Antep Fıstığı Kabuğu

ZnCl₂ yöntemi ile Antep fıstığı kabuğundan 500 °C'de farklı ZnCl₂ konsantrasyonlarında sentezlenen aktif karbonların yüzey alanları Şekil 3.5'de verilmiştir. ZnCl₂ konsantrasyonu arttıkça sentezlenen aktif karbon örneklerinin BET yüzey alanları artmaktadır. Bunun sebebi; ZnCl₂'nin su tutma kapasitesinin yüksek olmasından dolayı pirolizden önce ham materyal ile emdirme esnasında ham materyalin iç suyunu tutarak pirolizde yapıdaki suyun diğer aktivasyon ajanlarına göre daha fazla yapıdan uzaklaşmasına sebep olarak daha çok gözenek oluşmasını sağlamaktadır. Deneysel sonuçlar en yüksek yüzey alanlı aktif karbon örneğinin 500 °C'de 5 M ZnCl₂ konsantrasyonunda 2022 m²/g olarak elde edildiğini göstermektedir. ZnCl₂ aktivasyonu bitkisel materyalin selülozik yapısını bozarak ve dehidratasyon sonucu karbon iskeletini kömürleştirerek ve yapıyı aromatik bir yapıya dönüştürerek aktif karbonun gözenekli bir yapıya dönüşmesini sağlar[64]. Sonuçlar artan ZnCl₂ konsantrasyonu ile mikro gözenek hacminde artışın olduğunu, dolayısıyla BET yüzey alanının da arttığını göstermektedir. Qian ve arkadaşları, aktif karbon sentezlerinde ZnCl₂'nin hem yeni gözeneklerin oluşmasını hem de var olan gözeneklerin genişlemesini sağladığını, ancak ZnCl₂ konsantrasyonundaki artışın yeni mikro gözeneklerin oluşmasına katkı yapmadığını belirtmişlerdir[65]. Şekil 3.6, sentezlenen aktif karbonların yüzey alanlarına aktivasyon sıcaklığının etkisini göstermektedir. Şekil incelendiğinde 500 °C'ye kadar yüzey alanının arttığı ve 500 °C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ise mevcut gözenek duvarlarının çökmesi ve sinterleşme sonucunda yüzey alanının azaldığı bulunmuştur. Uçar ve arkadaşları, nar çekirdeğinin ZnCl₂ ile aktivasyonunda artan sıcaklıkla BET yüzey alanının azaldığını bulmuşlardır[23]. Alhamad ve arkadaşları hurma çekirdeklerinin ZnCl₂ ile 700 °C'de aktivasyonu sonucunda sentezledikleri aktif karbonlarda sinterleşme etkisinden dolayı büzölmelerin meydana geldiğini ve dolayısıyla gözenek alanı ve gözenek hacminin azalarak karbon yapısının tekrar düzenlendiğini bulmuşlardır[24].

4.1.1.2 Nar Kabuğu

4.1.1.2.1 H₂SO₄ ile Aktifleştirilmiş Nar Kabuğu

Nar kabuğunun H₂SO₄ yöntemi ile 400 °C’de farklı H₂SO₄ konsantrasyonlarında aktivasyonu ile elde edilen aktif karbonların yüzey alanları Şekil 3.7’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi en yüksek yüzey alanlı aktif karbon rneği, 1 M H₂SO₄’n kullanılmasıyla sentezlenmiştir. 1 M’nin altındaki H₂SO₄ konsantrasyonlarında nar kabuğunun yeterince aktifleştirilememesinden ve bu konsantrasyonun üstünde ise nar kabuğunun selülozik yapısının parçalanmasından dolayı sentezlenen aktif karbonların yüzey alanlarının düşük olduğu söylenebilir. Şekil 3.8, 1 M H₂SO₄ konsantrasyonunda nar kabuğundan farklı aktivasyon sıcaklıklarında sentezlenen aktif karbonların yüzey alanlarını göstermektedir. Şekilden 400 °C’ye kadar artan sıcaklıkla sentezlenen aktif karbonların yüzey alanlarının arttığı, bu sıcaklığın üzerindeki sıcaklıklarda azaldığı ve en yüksek yüzey alanının 400 °C’de 1340 m²/g olduğu bulunmuştur

4.1.1.2.2 H₃PO₄ ile Aktifleştirilmiş Nar Kabuğu

Nar kabuğunun 700 °C’de farklı H₃PO₄ konsantrasyonlarında aktivasyonu ile sentezlenen aktif karbonların yüzey alanları, Şekil 3.9’de verilmiştir. Sonuçlar artan H₃PO konsantrasyonu ile sentezlenen örneklerin yüzey alanlarının arttığını, ve 700 °C’de 5 M H₃PO₄ konsantrasyonunda sentezlenen aktif karbonun en yüksek yüzey alanına sahip ve değerinin 1175 m²/g olduğunu göstermiştir. Konsantrasyonun optimizasyonundan sonra yüzey alanına aktivasyon sıcaklığının etkisi araştırılmıştır. 5 M H₃PO₄ konsantrasyonunda nar kabuğunun farklı sıcaklıklarda aktifleştirilmesi ile sentezlenen aktif karbonların yüzey alanları, Şekil 3.10’de verilmiştir. Sonuçlar 700 °C’ye kadar artan sıcaklıkla yüzey alanının arttığını ve daha sonra azaldığını göstermektedir. 5 M H₃PO₄ konsantrasyonunda ve 700 °C’de en yüksek yüzey alanının 1457 m²/g olduğu bulunmuştur. Düşük sıcaklıklarda yüzey alanının daha düşük bulunmasının nedeni gözeneklerin tamamen aılamamasından dolayı olabilir. Guo ve arkadaşları, H₃PO₄’n nar gibi lignoselülozik materyallerde aktivasyon ajanı olarak kullanılması durumunda bitkisel materyalin dehidratasyonunu hızlandırdığını

göstermişlerdir[42]. Dehidratasyonun hızlı olmasıyla birlikte, sıcaklık artışı da karbonizasyon esnasında ham materyalin yapısındaki uçucu yapıların bitkisel materyalin yapısından daha kolay uzaklaşmasına yardımcı olmaktadır. Yapıdan uçucu bileşenlerin ayrılmasıyla, aktif karbonun yapısındaki gözeneklerde yeniden düzenlemelerin olduğu belirtilmektedir.

4.1.1.2.3 ZnCl₂ ile Aktifleştirilmiş Nar Kabuğu

Şekil 3.11, farklı ZnCl₂ konsantrasyonlarında 800 C⁰'de piroliz edilen nar kabuğunun ölçülen yüzey alanlarını göstermektedir. Grafik incelendiğinde 800 C⁰'de artan ZnCl₂ konsantrasyonu ile sentezlenen aktif karbonların yüzey alanlarının arttığı ve 5 M ZnCl₂ konsantrasyonunda ölçülen yüzey alanı değerinin 1512 m²/g olduğu bulunmuştur. ZnCl₂ konsantrasyonunda ki artma selülozik nar kabuğunun yapısını bozarak dehidratasyon sonucu karbon iskeletinin kömürleşmesine ve yapıyı aromatik yapıya dönüştürerek gözeneklerin oluşmasına neden olmaktadır. Nar kabuğundan sentezlenen aktif karbonların yüzey alanlarına aktivasyon sıcaklığının etkisi, Şekil 3.12'de gösterilmişti. Şekilden görüldüğü gibi artan aktivasyon sıcaklığı ile sentezlenen aktif karbonların yüzey alanlarının arttığı ve 5 M ZnCl₂ konsantrasyonunda ve 800 C⁰'de en yüksek yüzey alanı sonucunun elde edildiği görülmektedir.

4.1.1.3 Zeytin Çekirdeği

4.1.1.3.1 H₂SO₄ ile Aktifleştirilmiş Zeytin Çekirdeği

Şekil 3.13'den artan H₂SO₄ konsantrasyonu ile zeytin çekirdeğinden 800 C⁰'de sentezlenen aktif karbonların yüzey alanlarının arttığı ve 260 m²/g'lık en yüksek yüzey alanı değerine 5 M H₂SO₄ konsantrasyonunda ulaşılmıştır. H₂SO₄, yapıdaki bağların kırılmasını kolaylaştırarak dehidratasyona ve eliminasyona sebep olmaktadır. Bu da yapıdaki su, metanol ve diğer uçucuların uzaklaşmasını sağlayarak aromatikleşme ve daha güçlü çapraz bağlı yapıların oluşmasını teşvik etmektedir. Diğer bir ifade ile H₂SO₄, ham materyalde var olan birçok alifatik ve aromatik türün bağlarını kırarak uçucu bileşenlerin uçmasına yardımcı olmaktadır[66]. Yüzey alanına aktivasyon sıcaklığının etkisi ise Şekil 3.14'de verilmiştir. Sonuçlar 600

$^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar artan aktivasyon sıcaklığı ile sentezlenen aktif karbon örneklerinin yüzey alanlarının arttığını ve daha fazla sıcaklık artışının yüzey alanında azalışa neden olduğunu göstermektedir. 600°C 'nin üzerindeki sıcaklıklarda yüzey alanının azalması aktif karbonun gözenek duvarlarının yapısının bozulmasının sonucu olabilir. Sonuçlar topluca değerlendirildiğinde $450\text{ m}^2/\text{g}$ 'lik en yüksek yüzey alanı değerine 600°C 'de ve $5\text{ M H}_2\text{SO}_4$ konsantrasyonunda ulaşılmıştır.

4.1.1.3.2 H_3PO_4 ile Aktifleştirilmiş Zeytin Çekirdeği

Zeytin çekirdeğinin farklı H_3PO_4 konsantrasyonlarında aktivasyondan sentezlenen aktif karbonların yüzey alanları Şekil 3.15'de verilmişti. Sonuçlar artan H_3PO_4 konsantrasyonu ile yüzey alanının arttığını ve sentezlenen aktif karbonlar içerisinde en yüksek yüzey alanın $5\text{ M H}_3\text{PO}_4$ konsantrasyonunda $524\text{ m}^2/\text{g}$ olarak ölçüldüğünü göstermektedir. Piroliz sıcaklığının etkisini gösteren Şekil 3.16 incelendiğinde ise artan sıcaklıkla yüzey alanının arttığı ve en yüksek yüzey alanın 800°C piroliz edilen örnek için elde edildiği bulunmuştur. Yukarıdaki sonuçlar birlikte incelendiğinde zeytin çekirdeğinden H_3PO_4 yöntemi ile sentezlenen aktif karbonların yüzey alanlarının hem asit aktivasyonu ve hem de piroliz sıcaklığı ile arttığı ve en yüksek yüzey alanına 800°C 'de $5\text{ M H}_3\text{PO}_4$ konsantrasyonunda ulaşıldığı söylenebilir.

4.1.1.3.3 ZnCl_2 ile Aktifleştirilmiş Zeytin Çekirdeği

Şekil 3.17, farklı ZnCl_2 konsantrasyonlarında 500°C 'de zeytin çekirdeğinden sentezlenen aktif karbonların yüzey alanlarını göstermektedir. Sonuçlar atan ZnCl_2 konsantrasyonu ile sentezlenen örneklerin yüzey alanlarının arttığını ve en yüksek yüzey alanı değerine 5 M ZnCl_2 konsantrasyonunda ulaşıldığını göstermektedir. ZnCl_2 aktivasyonu, selülozik materyalin yapısının bozulmasına ve karbonizasyon ürününde dehidratasyona sebep olarak karbon iskeletinin kömürleşmesine ve aromatikleşmeyi sağlayarak gözeneklerin oluşmasını sağlamaktadır[64]. Ayrıca aktivasyonda kullanılan ZnCl_2 'nin miktarının sentezlenen aktif karbonun verimini doğrudan etkilediği de gösterilmiştir. Qian ve arkadaşları, karbonizasyonda aktivasyon ajanı olarak ZnCl_2 kullanılmadan elde edilen aktif karbonun verimini

%36 ve $ZnCl_2$ kullanılarak sentezlenen aktif karbonun verimini ise %47,5 olarak bulmuşlardır. Bunun nedeninin $ZnCl_2$ 'yi aktivasyon ajanı olarak kullanmadıklarında aktif karbonun yapısındaki karbonların çoğunun yapıdan CO , CO_2 ve CH_4 şeklinde uzaklaştığını ve $ZnCl_2$ 'yi aktivasyon ajanı olarak kullandıklarında ise, aktif karbonun yapısından uzaklaşan bileşiklerin C-bileşiği değil H_2O ve H_2 olduğunu belirtmişlerdir[65]. Şekil 3.18, 5 M $ZnCl_2$ konsantrasyonunda sentezlenen aktif karbonların piroliz sıcaklığı ile yüzey alanlarının değişim grafiğini göstermektedir. Grafikten artan piroliz sıcaklığı ile sentezlenen aktif karbonların yüzey alanlarının arttığı ve 500 °C'de en büyük değerine ulaştığı bulunmuştur. Ancak, yapıdaki C'nun yanarak CO_2 , CO ve CH_4 'e dönüşerek yapıdan uzaklaşmasıyla 500 °C'nin üzerindeki sıcaklıklar da yüzey alanının azaldığı bulunmuştur.

Çizelge 4.1'den görüldüğü gibi, farklı bitkisel kaynaklardan farklı yöntemlerle elde edilen BET yüzey alanı sonuçları kıyaslandığında; $ZnCl_2$ yöntemi ile sentezlenen aktif karbonların BET yüzey alanı değerlerinin H_2SO_4 ve H_3PO_4 yöntemleri ile sentezlenen aktif karbonların BET yüzey alanı ölçümlerinden daha büyük olduğu ve en yüksek yüzey alanı değerine, Antep fıstığı kabuğundan $ZnCl_2$ yöntemi ile sentezlenen aktif karbon örneği için elde edildiği söylenebilir.

Çizelge 4.2, literatürde farklı yöntemlerle farklı kaynaklardan sentezlenen aktif karbonların BET yüzey alanı sonuçlarını göstermektedir. Çalışmamızda aktivasyon ajanı derişiminin ve sıcaklığın optimize edilmesi ile atık bitkisel materyallerden aktif karbon etme şartlarına bir standart getirmeye çalışarak literatürden farklı bir yol izledik ve sonuçlarımızı bu değerler ile karşılaştırdığımızda sentezlenen aktif karbonların yüzey alanlarının genelde daha yüksek olduğu ve çevresel atıklardan kirliliklerin gideriminde kullanılabileceği söylenebilir.

Çizelge 4.1 Farklı kaynaklardan farklı yöntemler kullanılarak sentezlenen aktif karbon örneklerinin BET yüzey alanları, gözenek hacimleri ve yoğunlukları

Örnek	BET yüzey alanı (m ² /g)	Mikro gözenek hacmi (cc/g)	Mezo gözenek hacmi (cc/g)	DFT toplam gözenek hacmi (cc/g)	Yoğunluk (g/cm ³)
H ₂ SO ₄ - AF	710	0,268	0,059	0,327	0,15
H ₃ PO ₄ -AF	1800	0,497	0,745	1,242	0,19
ZnCl ₂ -AF	2022	0,513	0,834	1,347	0,10
H ₂ SO ₄ -NK	1340	---	0,045	0,045	0,16
H ₃ PO ₄ -NK	1457	---	2,709	2,709	0,21
ZnCl ₂ -NK	1512	---	1,390	1,390	0,16
H ₂ SO ₄ -ZÇ	450	0,159	0,080	0,239	0,29
H ₃ PO ₄ -ZÇ	524	0,019	0,342	0,361	0,26
ZnCl ₂ -ZÇ	1031	0,279	0,259	0,538	0,20

Çizelge 4.2 Literatürdeki bazı örneklerin yüzey alanları[67]

Bitkisel materyal	Aktivasyon şartları	S _{BET} (m ² /g)	V _{mik} (cm ³ /g)	V _{toplam} (cm ³ /g)
Palmye kabuğu	H ₂ SO ₄ , 30 wt%	1014	--	--
Odun	H ₃ PO ₄ , 50 wt%	761	0,297	0,618
Odun	H ₃ PO ₄ , 50 wt%	1910	0,582	2,126
Kayıısı çekirdeği	H ₃ PO ₄ , 75 wt%	728	0,301	0,327
Kayıısı çekirdeği	H ₃ PO ₄	1387	--	0,954
Kayıısı çekirdeği	ZnCl ₂	728	0,310	0,358
Ceviz kabuğu	ZnCl ₂	1718	0,723	--
Odun	KOH (derişik)	1589	0,564	--
Şeftali çekirdeği	H ₃ PO ₄ (8M)	--	0,520	0,530
Lignin	ZnCl ₂	724	0,377	--

4.1.2 Gözenek Boyutu Dağılımı

Farklı örnekler kullanılarak farklı aktivasyon yöntemleri ile optimize edilen aktif karbon örneklerinin gözenek boyutu dağılımı, Çizelge 3.9'da verilmiştir. Çizelge incelendiğinde, BET yüzey alanı büyüklüğü ile mikro gözenek hacminin doğru orantılı olduğu ve kullanılan aktivasyon ajanlar içerisinde en yüksek BET yüzey alanını sağlayan ajanın da $ZnCl_2$ olduğu gözükmektedir. Dolayısıyla $ZnCl_2$ aktivasyonu ile hazırlanan örneklerin mikro ve mezo gözenek hacimleri de en büyüktür.

4.1.3 Yoğunluk

Yoğunluk belirlenmesinde piknometre yöntemi kullanılmıştır. Aktif karbonların yoğunluk ölçüm sonuçları Çizelge 3.9'da verilmektedir. Aktif karbonların elde edilmesinde kullanılan aktivasyon ajanların yoğunluk üzerine önemli bir etkiye sahip olmadığı, tüm örneklerde yoğunlukların genellikle 0,095-0,29 g/cm^3 arasında değiştiği ve literatürle hemen hemen paralellik gösterdiği bulunmuştur.

4.1.4 Elementel Analiz

Elementel analiz sonuçlarını gösteren Çizelge 3.10 incelendiğinde, bitkisel materyallerin kalsinasyonu esnasında sıcaklık artışı ile yapıdaki C yüzdesinde artış olduğu, bazı örneklerde H ve O'nin yüksek sıcaklıklara çıkıldıkça yapıdan H_2O olarak uzaklaşması ile yüzdelerinde azalma olduğu görülmektedir. O yüzdesinin arttığı örnekte ise aktivasyon ajanı olarak kullanılan H_3PO_4 'teki O'nun yapıya katıldığı düşünülmektedir.

4.1.5 FTIR-ATR Analizi

4.1.5.1 Antep Fıstığı Kabuğunun FTIR-ATR Analizleri

FTIR-ATR spektroskopisi ile aktif karbonların karboksilik asit, laktonik asit, fenolik asit gibi yüzey fonksiyonel grupları; ve bu yüzey fonksiyonel gruplarına karşılık gelen dalga boyu aralıkları belirlenir. Antep fıstığı kabuğunun ve farklı yöntemlerle sentezlenen aktif karbon örneklerinin FTIR-ATR spektrumları Şekil 3.19'da verilmiştir. Çizelge 4.3, Antep fıstığı kabuğunun FTIR-ATR spektrumuna ait band değerlerini göstermektedir. Aktif karbon örneklerinin FTIR-ATR spektrumunda ki 3300-3500 cm^{-1} aralığındaki geniş band, molekül içi ve moleküller arası hidrojen bağlı O-H gerilme titreşimi bandı olup, selülozik yapıdaki Antep fıstığında çok miktardaki -OH gruplarının varlığını göstermektedir. 2924 cm^{-1} 'deki band, tersiyer C-H asimetrik ve simetrik gerilme titreşimi bandına; 1733 cm^{-1} 'deki pik, karbonil gruplarının C=O titreşim bandına; 2000 cm^{-1} civarındaki pikler C-N ve C-O gerilme titreşimi bandlarına; ve 1033 cm^{-1} 'deki kuvvetli pik, alifatik >CH-OH gruplarına karşılık gelir. Antep fıstığı kabuğunun 800 °C'de H_2SO_4 ve 700 °C'de H_3PO_4 ile aktivasyonundan sentezlenen aktif karbonların Şekil 3.19'daki FTIR-ATR spektrumunda, Antep fıstığı kabuğunda bulunun piklerinin büyük bir çoğunluğunun kaybolduğu gözükmemektedir. Antep fıstığı kabuğunda bulunan 1733 cm^{-1} 'deki karbonil piki, H_3PO_4 -AF'de H_3PO_4 'ün etkisiyle hem şiddeti azalmış hem de 1722 cm^{-1} 'ye kaymıştır. Yine ZnCl_2 -AF'de de aynı şekilde ZnCl_2 'nin etkisi ile yine ham materyaldeki karbonil pikinin şiddeti azalarak 1696 cm^{-1} 'e kaymıştır. 1568 cm^{-1} 'de ki pik, aromatik (C=C) titreşim pikine aittir. Örneklerin yüksek sıcaklıkta piroliz edilmesi, yapıdaki fonksiyonel grupların, uçucu CO_2 ve CO'a dönüşerek yapıdan ayrılmasına ve sonuçta, aktif karbonun yapısında elementel karbonların kalmasına neden olmaktadır. Fonksiyonel grupların yüksek sıcaklıklarda CO ve CO_2 'de dönüşerek yapıdan ayrılmasının aktif karbonun yüzey asidikliğinin düşmesine ve yüzey bazikliğinin artmasına sebep olduğu söylenebilir. Benzer durum Kalavathy ve arkadaşlarının kauçuk ağacından H_3PO_4 yöntemi ile sentezledikleri ve sulu çözeltilerden Ni ve Zn gideriminde kullandıkları aktif karbon örneklerinde gözlemlenmiştir[68]. Bu çalışmada FTIR-ATR spektrumundan aktif karbonun yapısında genelde elementel karbonun kaldığı belirlenmiştir. Çünkü, elementel analiz

sonuçlarından diğer elementlerin miktarının azaldığı görülmektedir. Lua ve arkadaşları, Antep fıstığı kabuğundan KOH aktivasyonu ile sentezledikleri aktif karbonların kimyasal ve yapısal özellikleri üzerine sıcaklığın etkisini araştırmışlardır. Yukarıdaki sonuçlara benzer olarak sıcaklık artışı ile yapıdaki fonksiyonel gruplara ait piklerin kaybolduğunu gözlemlemişlerdir[14]. Antep fıstığı kabuğunun 500 °C'de ZnCl₂ ile aktivasyonundan sentezlenen aktif karbonun FTIR-ATR spektrumunda ki 1574 cm⁻¹'deki bandı, aromatik gruptaki (C=C) titreşiminden ve 875 cm⁻¹'deki bandı ise benzen halkasındaki (C-H) titreşiminden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.3 Antep fıstığı kabuğunun FTIR-ATR spektrum bandları

Band numarası (cm ⁻¹)	Değeri
3334	Hidroksil grubundaki (O-H) titreşimi
2924	Alken, alkil gruplarındaki (C-H) titreşimi
1733	Karbonil grubundaki (C=O) titreşimi
1504, 1422, 1568	Aromatik gruptaki (C=C) titreşimi
1372	Karboksilat grubundaki (C-O) titreşimi
897, 875	Benzen halkasındaki (C-H) titreşimi

4.1.5.2 Nar Kabuğu

Nar kabuğu ve sentezlenen aktif karbon örneklerinin FTIR-ATR spektrumları, Şekil 3.20'de verilmiştir. Nar kabuğunun FTIR-ATR spektrumundaki 3287 cm⁻¹'deki piki, hidroksil ve amino süstitüte grupları; 1015 cm⁻¹'deki piki, –OH piklerini; 1470 ve 1365 cm⁻¹ aralığındaki pikleri ise C-N piklerini göstermektedir. Elementel analiz sonuçları göz önünde bulundurulduğunda nar kabuğunda her iki fonksiyonel grubun bulunduğu söylenebilir. Yine 2926 cm⁻¹'deki pik, tersiyer C-H asimetric ve simetric gerilme titreşim bandına; 1717 cm⁻¹'deki pik, karbonil gruplarının titreşim bandına; ve 1223 cm⁻¹ civarındaki pikler ise C-N ve C-O gerilme titreşimi bantlarına aittir. Aktivasyonun yüksek sıcaklıklarda gerçekleşmesinden dolayı nar kabuğunun yapısı bozularak fonksiyonel grupların uçucu bileşiklere dönüşmesinden dolayı aktif karbon sentezinden sonra bu bandların büyük çoğunluğunun kaybolduğu belirlenmiştir.

4.1.5.3 Zeytin Çekirdeği

Şekil 3.21, zeytin çekirdeği ve sentezlenen aktif karbon örneklerinin FTIR-ATR spektrumlarını göstermektedir. Spektrumdaki 3323 cm^{-1} 'deki pikin, $-\text{OH}$ ya da C-N gruplarının titreşim bandlarına ait olduğu ve yine $1470\text{-}1375\text{ cm}^{-1}$ ve $1200\text{-}950\text{ cm}^{-1}$ aralığındaki piklerin ise bu iki fonksiyonel grubun piklerini destekleyici nitelikte olduğu görülmektedir. Yine 2924 ve 2854 cm^{-1} 'deki pikler, tersiyer C-H asimetrik ve simetrik gerilme titreşim bandlarına; 1741 cm^{-1} 'deki pik, karbonil gruplarının titreşim bandına; ve 1238 cm^{-1} civarındaki pikler ise C-N ve C-O gerilme titreşimi bantlarına aittir. Aktivasyonun yüksek sıcaklıklarda gerçekleşmesinden dolayı zeytin çekirdeğinin yapısı bozularak fonksiyonel grupların uçucu bileşiklere dönüşmesinden dolayı aktif karbon sentezinden sonra bu bandların büyük çoğunluğunun kaybolduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak farklı yöntemlerle farklı kaynaklardan sentezlenerek optimize edilen aktif karbon örneklerinin FTIR-ATR spektrumlarında fonksiyonel gruplara ait piklerin büyük çoğunluğunun gözden kaybolduğu belirlenmiştir. Piroliz sonucunda fonksiyonel grupların yapıdan uzaklaşması ile kömürleşme olayı gerçekleşmekte ve karbon içeriği artmaktadır. Bu sonucu, elementel analiz sonuçları desteklemektedir.

4.1.6 SEM Analizleri

SEM fotoğrafları, yüzeyin fiziksel morfolojisi hakkında önemli bilgiler vermektedir. Ham materyale uygulanan kimyasal aktivasyon işlemi öncesi ve sonrası yüzeyde meydana gelen değişmeler, oluşan mikro ve mezo gözenekler SEM fotoğraflarında görülebilmektedir.

4.1.6.1 Antep Fıstığı Kabuğu SEM Fotoğrafları

Antep fıstığı kabuğu ve Antep fıstığı kabuğundan H_2SO_4 , H_3PO_4 ve ZnCl_2 yöntemleri ile sentezlenen aktif karbonların SEM fotoğrafları, Şekil 3.22-3.25'de verilmiştir. Antep fıstığı kabuğunun pirolizinden sonra yüzey morfolojisinde önemli

değişikliklerin meydana geldiği görülmektedir. Ham materyalin yüzeyinde hiç gözenek yokken, pirolizden sonra aktif karbonun gözenekli bir yapıya büründüğü, ancak yüzeydeki gözeneklerin gelişigüzel dağıldığı SEM fotoğraflarından görülmektedir. Fotoğraflar incelendiğinde aktif karbonun yüzeyinde oluşan gözenekli yapının, ham materyalin yapısına, kullanılan aktivasyon ajanına ve aktivasyon şartlarına göre değişiklik gösterdiği söylenebilir. Antep fıstığı kabuğunun H_3PO_4 ve $ZnCl_2$ ile aktivasyonundan sentezlenen aktif karbonların H_2SO_4 ile sentezlenen aktif karbona göre daha fazla gözenekli yapıya sahip olduğu belirlenmiştir.

4.1.6.1.2 Nar Kabuğunun SEM Fotoğrafları

Nar kabuğu ve nar kabuğundan H_2SO_4 , H_3PO_4 ve $ZnCl_2$ yöntemleri ile sentezlenen aktif karbonların SEM fotoğrafları, Şekil 3.26-3.29'da görülmektedir. Nar kabuğundan H_2SO_4 yöntemi ile sentezlenen aktif karbonun SEM fotoğrafından, yüzeyde aglomerasyonun olduğu, ancak H_3PO_4 yöntemi ile sentezlenen örnekte ise aglemegarasyonun azaldığı, ve $ZnCl_2$ yöntemi ile sentezlenen örnekte ise diğerlerine nispeten aglomerasyonun olmadığı ve oluşan gözeneklerin daha düzenli ve daha fazla olduğu söylenebilir. Elde edilen BET yüzey alanı sonuçları da bu sonucu desteklemektedir.

4.1.6.1.3 Zeytin Çekirdeğinin SEM Fotoğrafları

Şekil 3.30-3.33'de gösterilen zeytin çekirdeği ve zeytin çekirdeğinden H_2SO_4 , H_3PO_4 ve $ZnCl_2$ yöntemleri ile sentezlenen aktif karbonların SEM fotoğrafları incelendiğinde H_2SO_4 yöntemi ile sentezlenen aktif karbonun gözeneklerinin H_3PO_4 ve $ZnCl_2$ yöntemleri ile sentezlenen aktif karbonların yüzeyindeki gözeneklerden daha büyük olduğu ifade edilebilir. $ZnCl_2$ ile piroliz edilen zeytin çekirdeğinin SEM fotoğrafı incelendiğinde, aktif karbonun yüzeyinde diğer örneklere oranla nispeten daha küçük ancak hem daha düzenli hem de daha fazla sayıda gözenek oluştuğu görülmektedir. Ayrıca, $ZnCl_2$ ve H_3PO_4 yöntemleri ile sentezlenen örneklerin SEM fotoğraflarında oluşan boşlukların, karbonizasyon sırasında $ZnCl_2$ ve H_3PO_4 'ün buharlaşmasından sonra oluştuğu düşünülmektedir.

4.2 Elektrokinetik Özellikler

Sulu çözeltilerden aktif karbon yüzeyine metilen mavisinin adsorpsiyonunu incelemeden önce sentezlenen aktif karbonların sulu ortamlardaki elektrokinetik özelliklerini incelemek adsorpsiyon mekanizmalarının açıklanabilmesi için önemli bir parametre olacaktır.

4.2.1 Antep Fıstığı Kabuğu

4.2.1.1 Katı/Sıvı Oranının Etkisi

Zeta potansiyelinin çözeltideki katı konsantrasyonu ile değişmesi, çözeltideki katı konsantrasyonunun yüzey yükünün oluşumunu yöneten önemli bir parametre olduğunu göstermektedir. Bu, katı-sıvı ara yüzeyinde oluşmuş iyonik türlerin artan katı konsantrasyonu ile arttığını ve yetersiz katı konsantrasyonunun kullanılması durumunda zeta potansiyeli ölçümlerinin yorumlanmasında hatalara yol açabileceği anlamına gelir[69]. Antep fıstığı kabuğunun H_2SO_4 , H_3PO_4 ve $ZnCl_2$ ile aktivasyonundan sentezlenen aktif karbonların zeta potansiyelinin katı konsantrasyonu ile değişimi, Şekil 3.34'de verilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi Antep fıstığı kabuğunun değişik aktivasyon ajanları ile aktivasyonu sonucu elde edilen aktif karbonların zeta potansiyeli üzerine katı konsantrasyonunun önemli bir etkisinin olmadığı söylenebilir. Bu nedenle zeta potansiyeli ölçümlerinde katı-sıvı oranı 50 mg/50 mL'de sabit tutulmuştur.

4.2.1.2 Denge pH'sının Etkisi

Antep fıstığı kabuğunun H_2SO_4 , H_3PO_4 ve $ZnCl_2$ ile aktivasyonundan elde edilen aktif karbon süspansiyonlarının denge pH'sının zeta potansiyeli ile değişimi Şekil 3.35'de verilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi Antep fıstığı kabuğunun H_2SO_4 ve H_3PO_4 ile aktivasyonundan elde edilen aktif karbon süspansiyonlarının artan denge pH'sı ile zeta potansiyelinin değeri azalmakta ve yaklaşık pH 3 civarında bir izoelektrik nokta sergilemektedir. Bunun sebebi ise, selülozik yapıları bitkisel materyallerden elde edilen aktif karbonların yüzey fonksiyonel gruplarının

çoğunlukla karboksilik asitlerden oluşmasıdır. Bu fonksiyonel grupların aktif karbonun yüzeyindeki yoğunluğundan dolayı aktif karbonların izoelektrik noktasını asidik bölgeye çektiği düşünülmektedir. Dolayısıyla pH 3 civarında çıkan izoelektrik nokta bu durum ile izah edilebilir. İzoelektrik nokta, taneciklerin sıfır zeta potansiyeline sahip oldukları pH olarak tanımlanabilir. Bir aktif karbonun izoelektrik noktası katı-su arayüzeyinde H^+ ve OH^- iyonlarının adsorpsiyonunu temsil eder. Aynı zamanda izoelektrik nokta yüzeyde herhangi bir yükün olmadığı ve toplam pozitif yükün toplam negatif yüke eşit olduğu anlamına da gelir[70]. Süspansiyonun denge pH'sı daha fazla arttırıldığında zeta potansiyelinin değeri pozitiften negatife dönüşmektedir. Düşük pH değerlerinde aktif karbon süspansiyonları pozitif yüklü iken yüksek pH değerlerinde aktif karbon süspansiyonları negatif yüklüdür. Şekil 3.35'de Antep fıstığı kabuğunun $ZnCl_2$ ile aktivasyonundan sentezlenen aktif karbonun ise yaklaşık pH 5 civarında izoelektrik noktaya sahip olduğu görülmektedir. $ZnCl_2$ aktivasyonu ile izoelektrik noktanın pH 5'e kayması, sentezlenen aktif karbonun elementel analiz sonucundan görüleceği gibi % H miktarındaki azalmadan dolayı olabileceği düşünülmektedir. H miktarının azalması sonucu Şekil 3.19 FTIR-ATR analiz sonuçları incelendiğinde H miktarının azalması, ham bitkisel materyaldeki karbonil pikinde $ZnCl_2$ aktivasyonlu örneğe göre hem şiddetinin azalmasına hem de bu pikin kaymasına sebep olduğu ve dolayısıyla yüzey asidikliğinin düşmesine sebep olduğu düşünülmektedir. Bu düşüncemizi, $ZnCl_2$ aktivasyonu Antep fıstığı kabuğunun izoelektrik noktasının pH 5'e kayması da desteklemektedir.

4.2.2 Nar Kabuğu

4.2.2.1 Denge pH'sının Etkisi

Nar kabuğunun H_2SO_4 , H_3PO_4 ve $ZnCl_2$ ile aktivasyonundan sentezlenen aktif karbon süspansiyonlarının denge pH'sının zeta potansiyeli ile değişimi Şekil 3.36'da verilmektedir. Şekilden nar kabuğunun H_2SO_4 ve H_3PO_4 ile aktivasyonundan sentezlenen aktif karbonlar için sırasıyla yaklaşık pH 2,95 ve 3,48 civarında izoelektrik noktaya sahip oldukları ve artan denge pH'sı ile zeta potansiyel değerlerinin azalmakta olduğu bulundu. Selülozik yapıli bitkisel materyallerden sentezlenen aktif karbonların yüzey fonksiyonel grupları çoğunlukla karboksilik

asitlerden oluşmaktadır. Bu fonksiyonel grupların aktif karbonun yüzeyindeki yoğunluğundan dolayı aktif karbonların izoelektrik noktasının asidik bölgeye çekildiği düşünülmektedir. Altenor ve arkadaşları kabe samanı kökünden H_3PO_4 ve buhar aktivasyonu yöntemleri ile sentezledikleri aktif karbonların izoelektrik noktalarını sırasıyla ~3,9 ve 11,5 civarında olduğunu bulmuşlardır. Bu durumu buhar aktivasyonu yöntemine göre sentezlenen aktif karbonlarda bazik grupların daha fazla bulunmasına dayandırmışlardır. Ayrıca, kimyasal yöntemle sentezlenen aktif karbonların izoelektrik noktasının $pH \approx 3,9$ civarında olmasını yapıda bulunan karboksilik asit, laktonik asit ve karbonil gruplarına dayandırmışlardır[12]. $ZnCl_2$ aktivasyonundan sentezlenen aktif karbonun ise yaklaşık $pH 6$ civarında izoelektrik noktaya sahip olduğu görünmektedir. Benzer sonucu Deng ve arkadaşları, pamuk sapının $ZnCl_2$ ile aktivasyonundan elde ettikleri aktif karbon için ($pH 5,92$) bulmuşlardır[47].

4.2.3 Zeytin Çekirdeği

4.2.3.1 Denge pH'sının Etkisi

Zeytin çekirdeğinin H_2SO_4 , H_3PO_4 ve $ZnCl_2$ ile aktivasyonundan sentezlenen aktif karbon süspansiyonlarının denge pH'sının zeta potansiyeli ile değişimi Şekil 3.37'de verilmektedir. Şekilden nar kabuğunun H_2SO_4 ve H_3PO_4 ile aktivasyonundan sentezlenen aktif karbonlar için sırasıyla yaklaşık $pH 2,8$ ve $3,50$ civarında izoelektrik noktaya sahip oldukları ve artan denge pH'sı ile zeta potansiyel değerlerinin azalmakta olduğu bulundu. $ZnCl_2$ aktivasyonundan sentezlenen aktif karbonun ise yaklaşık $pH 6,80$ civarında izoelektrik noktaya sahip olduğu görünmektedir.

Sonuç olarak farklı bitkisel materyallerden farklı yöntemler kullanılarak sentezlenen aktif karbonların izoelektrik noktalarının farklı bitki türleri için aynı yöntem kullanıldığında yaklaşık aynı izoelektrik nokta değerleri elde edildiği görülmektedir. Örneğin çalışmada kullanılan üç bitki örneği için H_2SO_4 yöntemi ile $pH 2,90-3,50$; H_3PO_4 yöntemi ile $pH 2,80-3,80$; ve $ZnCl_2$ yöntemi ile $pH 5,36-6,80$ aralığında izoelektrik noktalar elde edilmiştir. Bu sonuçlardan, aktif karbon sentezlemek için kullanılan bitkisel materyalin yapısından ziyade, aktivasyon ajanı

olarak kullanılan kimyasal maddenin izoelektrik noktanın belirlenmesinde belirleyici olduğunu söyleyebiliriz.

4.3 Aktif Karbon Yüzeyinde Metilen Mavisini Adsorpsiyonu

Farklı bitkisel atıklardan farklı aktivasyon ajanları kullanılarak sentezlenen aktif karbonlar yüzeyine sulu çözeltilerden metilen mavisinin adsorpsiyonuna çözelti sıcaklığının, çözelti pH'sının ve iyon şiddetinin etkileri araştırılmıştır.

4.3.1 Antep Fıstığı Kabuğu

4.3.1.1 Sıcaklığın Etkisi

Adsorpsiyon reaksiyonlarının sıcaklığa bağlılığını araştırmak, adsorpsiyon olayının entalpi değişimi hakkında önemli bilgiler verir. H_2SO_4 , H_3PO_4 ve $ZnCl_2$ aktivasyon ajanları ile Antep fıstığı kabuğundan sentezlenmiş aktif karbonlar yüzeyinde metilen mavisinin adsorplanmış miktarının sıcaklıkla değişimi sırasıyla Şekil 3.38, 3.41 ve 3.44'de verilmektedir. Şekillerden sıcaklığın artmasıyla (30 °C'den 60 °C'ye) sentezlenen aktif karbon örnekleri yüzeyinde metilen mavisinin adsorplanmış miktarının önemli bir şekilde arttığı bulunmuştur. Ayrıca sıcaklıktaki artış adsorpsiyon reaksiyonunun dengeye erişme hızını da azaltmıştır. Artan sıcaklıkla aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorplanan miktarın artması, adsorpsiyon prosesinin endotermik bir proses olduğunu göstermektedir. Sentezlenen aktif karbonların adsorpsiyon kapasitelerine baktığımızda ise, $ZnCl_2$ ile sentezlene aktif karbonun yüzey alanının daha yüksek olmasından dolayı adsorplama kapasitesinin de daha yüksek olduğu söylenebilir.

4.3.1.2 pH'nın Etkisi

Bitkisel materyallerden elde edilen aktif karbonlar, fonksiyonel grup olarak genelde, karboksilik asit, fenolik asit, laktonik asit grupları ihtiva ederler. Bu gruplar aktif karbonun uç kısımlarında bulunur ve fonksiyonel grupların aktif karbonun yapısındaki miktarı, aktif karbonun asidliğinin veya bazikliğinin göstergesidir. Aktif karbonların adsorpsiyonuna pH'nın etkisi, aktif karbonun yüzeyindeki asidik

veya bazik bileşenlerin iyonizasyon derecesini yöneten parametrelerden biridir[71]. Antep fıstığı kabuğundan farklı aktivasyon ajanları kullanılarak sentezlenen aktif karbonların yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonu, 30 °C'de pH 3, 5, 7 ve 9'da incelenmiştir. Şekil 3.39, 3.42 ve 3.45, sırasıyla H₂SO₄, H₃PO₄ ve ZnCl₂ aktivasyon ajanları ile Antep fıstığı kabuğundan sentezlenmiş aktif karbonlar yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonuna çözelti pH'sının etkisini göstermektedir. Sentezlenen üç aktif karbon için de artan çözelti pH'sı ile metilen mavisinin adsorplanan miktarının arttığı gözlenmiştir. Zeta potansiyeli ölçümlerinden H₂SO₄ ile aktifleştirilmiş Antep fıstığı kabuğundan elde edilen aktif karbonun pH 3,50'de; H₃PO₄ ile aktifleştirilen örneğin, pH 3,00'de ve ZnCl₂ ile aktifleştirilen örneğin ise yaklaşık pH 4,75 civarında bir izoelektrik noktaya sahip olduğu belirtilmiştir. Bu sonuçlara göre aktif karbonlar izoelektrik noktanın altındaki pH'larda pozitif bir zeta potansiyeline ve üstünde negatif bir zeta potansiyeline sahiptirler. Süspansiyonun pH'sının artması çözültideki hidroksil iyonlarının sayısı arttıracak ve yüzey daha negatif hale gelecektir. Bunun sonucunda katyonik metilen mavisinin aktif karbonun yüzeyi ile etkileşimi daha kolay meydana geleceğinden metilen mavisi gideriminin artacağı söylenebilir. Düşük pH değerlerinde aktif karbonun yüzeyindeki aktif noktalarda hidrojen iyonları ile metilen mavisi adsorplanabilmek için birbirleri ile yarışacaklardır. Düşük pH değerlerinde aktif karbonun yüzeyindeki aktif noktalara hidrojen iyonlarının adsorplanabileceği söylenebilir. Yani yüksek proton konsantrasyonlarında aktif karbonun yüzeyindeki aktif noktalarda negatif yük yoğunluğu azalacak ve bunun bir sonucu olarak adsorpsiyon miktarı düşecektir. Sentezlenen aktif karbonların adsorpsiyon kapasitelerine baktığımızda ise, ZnCl₂ ile sentezlene aktif karbonun daha yüksek BET yüzey alanına sahip olmasından dolayı adsorplama kapasitesinin de daha yüksek olduğu söylenebilir.

4.3.1.3 İyon Şiddetinin Etkisi

Çözelti ortamının iyon şiddeti adsorpsiyon prosesinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu çalışmada Antep fıstığı kabuğundan farklı aktivasyon ajanları kullanılarak sentezlenen aktif karbonların yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonuna iyon şiddetinin etkisini incelemek için tuz olarak NaCl ve deneylerdeki konsantrasyonu ise; 0, 1x10⁻³, 1x10⁻² ve 1x10⁻¹ mol/L olarak

seçilmiştir. H_2SO_4 , H_3PO_4 ve $ZnCl_2$ yöntemleri ile Antep fıstığı kabuğundan piroliz edilerek sentezlenen aktif karbonlar yüzeyinde metilen mavisini adsorpsiyonuna iyon şiddetinin etkisi sırasıyla Şekil 3.40, 3.43 ve 3.46'da verilmiştir. Şekillerden artan $NaCl$ konsantrasyonu ile metilen mavisinin aktif karbonlar yüzeyinde adsorplanmış miktarında bir artmanın meydana geldiği söylenebilir. Bu artışın sebebi ise, metilen mavisini büyük hacimli bir molekül olduğundan dolayı aktif karbonun nispeten daha küçük olan aktif bölgelerine girememektedir. Ancak, iyon şiddetinin artışı ile birlikte ortamda konsantrasyonu artan Cl^- iyonları aktif karbonun daha küçük bölgelerine girerek metilen mavisinin aktif karbonun yüzeyinde daha fazla adsorplanmasına yardımcı olduğu düşünülmektedir. Sentezlenen aktif karbonların adsorpsiyon kapasitelerine baktığımızda ise, $ZnCl_2$ ile sentezlene aktif karbonun daha yüksek BET yüzey alanına sahip olmasından dolayı adsorplama kapasitesinin de daha yüksek olduğu söylenebilir.

4.3.3 Nar Kabuğu

4.3.3.1 Sıcaklığın Etkisi

Sıcaklığın adsorpsiyon işlemi üzerinde iki önemli etkisi vardır. Bunlardan birincisi, dış tabaka boyunca ve adsorbentin iç porlarında adsorplanan moleküllerin difüzyon oranını artırması, ikincisi ise, çözelti viskozitesini düşürmesidir. Nar kabuğunun H_2SO_4 , H_3PO_4 ve $ZnCl_2$ ile aktifleştirilmesiyle sentezlenen aktif karbonlar yüzeyinde metilen mavisinin adsorplanmış miktarına sıcaklığın etkisi sırasıyla, Şekil 3.47, 3.50 ve 3.53'de verilmektedir. Adsorplanmış metilen mavisini miktarının sıcaklığın $30\ ^\circ C$ 'den $60\ ^\circ C$ 'ye çıkarılması ile önemli bir şekilde arttığı bulundu. Ayrıca sıcaklıktaki artış adsorpsiyon reaksiyonunun dengeye erişme hızında da bir azalmaya neden olmaktadır. Sentezlenen aktif karbonların adsorpsiyon kapasitelerine baktığımızda ise, $ZnCl_2$ ile sentezlene aktif karbonun daha yüksek BET yüzey alanına sahip olmasından dolayı adsorplama kapasitesinin de daha yüksek olduğu söylenebilir.

4.3.3.2 pH'nın Etkisi

Aktif karbonların yüzey asitliği, katyonik adsorbatların adsorpsiyonuna pH'nın etkisinin incelendiği deneylerde önemlidir. Çözelti pH'sının değişimi ile hem ortamdaki H⁺ ve OH⁻ iyonlarının konsantrasyonu değişecek hem de aktif karbonun yüzey yükünde önemli değişimler meydana gelecektir. Farklı yöntemlerle nar kabuğundan sentezlenen aktif karbonlar yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonu 30 °C'de pH 3, 5, 7 ve 9'da incelenmiştir. Şekil 3.48, 3.51 ve 3.54, sırasıyla H₂SO₄, H₃PO₄ ve ZnCl₂ ile aktifleştirilmiş nar kabuğundan sentezlenen aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonuna çözelti pH'sının etkisini göstermektedir. Şekillerden artan çözelti pH'sı ile adsorplanmış metilen mavisi miktarının arttığı görülmektedir. pH artışı ile birlikte yüzey daha negatif hale geldiği için adsorpsiyon kapasitesi de artmaktadır. Sentezlenen aktif karbonların adsorpsiyon kapasitelerine baktığımızda ise, ZnCl₂ ile sentezlene aktif karbonun % H miktarındaki azalmanın da etkisi ile yüzey negatifliği daha da artarak adsorplama kapasitesinin de daha yüksek olduğu söylenebilir.

4.3.3.1.3 İyon Şiddetinin Etkisi

Adsorpsiyon prosesini etkileyen en önemli parametrelerden birisi de ortamın iyon şiddetidir. Çünkü endüstriyel atık çözeltiler tuz içeriği açısından da azımsanamayacak kadar zengindir. Dolayısıyla iyonik atmosferde adsorbent yüzeyinde adsorbatın adsorpsiyon işleminin nasıl gerçekleşeceğini bilmesi endüstriyel prosesler için çok önemlidir. İyon şiddetinin etkisini incelemek için deneylerde kullanılan NaCl'nin konsantrasyonları 0, 1x10⁻³, 1x10⁻² ve 1x10⁻¹ mol/L olarak seçilmiştir. H₂SO₄, H₃PO₄ ve ZnCl₂ yöntemleri ile nar kabuğundan sentezlenen aktif karbonlar yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonuna iyon şiddetinin etkisi sırasıyla Şekil 3.49, 3.52 ve 3.55'de verilmiştir. Şekillerden artan iyon şiddeti ile aktif karbonların yüzeyinde metilen mavisinin adsorplanan miktarında bir artma gözlenmiştir. Bu artışın sebebi ise, metilen mavisi büyük hacimli bir molekül olduğundan dolayı aktif karbonun nispeten daha küçük olan aktif bölgelerine girememektedir. Ancak, iyon şiddetinin artışı ile birlikte ortamda

konsantrasyonu artan Cl^- iyonları aktif karbonun daha küçük bölgelerine girerek metilen mavisinin aktif karbonun yüzeyinde daha fazla adsorplanmasına yardımcı olduğu düşünülmektedir. Sentezlenen aktif karbonların adsorpsiyon kapasitelerine baktığımızda ise, $ZnCl_2$ ile sentezlene aktif karbonun adsorplama kapasitesinin daha yüksek olduğu söylenebilir.

4.3.3 Zeytin Çekirdeği

4.3.3.1 Sıcaklığın Etkisi

Zeytin çekirdeğinden H_2SO_4 , H_3PO_4 ve $ZnCl_2$ ile aktifleştirilmiş aktif karbonlar yüzeyinde metilen mavisinin adsorplanmış miktarının sıcaklıkla değişim grafikleri sırasıyla, Şekil 3.56, 3.59 ve 3.62’de verilmektedir. Adsorplanmış metilen mavisi miktarının sıcaklığın $30\ ^\circ C$ ’den $60\ ^\circ C$ ’ye çıkarılması ile önemli bir şekilde arttığı bulunmuştur. Ayrıca sıcaklıktaki artış reaksiyonun dengeye erişme hızında da bir azalmaya sebep olmuştur. Sentezlenen aktif karbonların adsorpsiyon kapasitelerine baktığımızda ise, $ZnCl_2$ ile sentezlenen aktif karbonun adsorplama kapasitesinin daha yüksek olduğu söylenebilir.

4.3.3.2 pH’nın Etkisi

Çözelti ortamından metilen mavisi adsorpsiyonunda pH, adsorbentin yüzeyindeki asidik ve bazik grupların iyonlaşma derecesini etkilemektedir. Özellikle aktif karbon gibi yüzeylerinde oksijence zengin fonksiyonel gruplara sahip adsorbentler için metilen mavisi adsorpsiyonunda pH’nın değişimi oldukça önemlidir. Aynı zamanda yüzey yükünün bir göstergesi olan izoelektrik noktada meydana gelen değişim de adsorbentin adsorpsiyon kapasitesinin değişimi hakkında bizlere önemli bilgiler vermektedir. Çözelti pH’sı aktif karbonun izoelektrik noktasından küçükse, aktif karbon pozitif yüzeyle adsorbent olarak, aksine çözelti pH’sı izoelektrik noktadan büyükse, aktif karbon bu kez negatif yüzeyle adsorbent olarak hareket eder. Çözelti pH’sı arttığında aktif karbon yüzeyindeki fonksiyonel gruplar protonlarını salarak daha negatif yüklü hale geçerler, bunun sonucunda yüzey yük yoğunluğu azalacağından metilen mavisinin adsorpsiyonu yüksek pH’larda daha fazla meydana gelir. Zeytin çekirdeğinden H_2SO_4 , H_3PO_4 ve $ZnCl_2$ yöntemleri ile

sentezlenen aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonuna pH'nın etkisi 30 °C'de pH 3, 5, 7 ve 9'da incelendi ve elde edilen sonuçlar sırasıyla Şekil 3.57, 3.60 ve 3.63'de verilmiştir. Şekillerden artan pH ile metilen mavisinin adsorplanan miktarının arttığı bulunmuştur. Sentezlenen aktif karbonların adsorpsiyon kapasitelerine baktığımızda ise, ZnCl₂ ile sentezlenen aktif karbonun adsorplama kapasitesinin daha yüksek olduğu söylenebilir.

4.3.3.1.3 İyon Şiddetinin Etkisi

İyonik atmosferde adsorpsiyon kapasitesinin belirlenmesi önemlidir. Farklı yöntemlerle aktifleştirilmiş zeytin çekirdeğinden elde edilen aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonuna iyon şiddetinin etkisini incelemek için tuz olarak NaCl seçilmiştir. Deneylerde NaCl'nin konsantrasyonu 0, 1x10⁻³, 1x10⁻² ve 1x10⁻¹ mol/L olarak belirlenmiştir. Şekil 3.58, 3.61 ve 3.64, H₂SO₄, H₃PO₄ ve ZnCl₂ yöntemleri ile zeytin çekirdeğinden sentezlenen aktif karbonlar yüzeyinde metilen mavisinin adsorpsiyonuna iyon şiddetinin etkisini göstermektedir. Şekillerden artan iyon şiddeti ile aktif karbon yüzeyinde metilen mavisinin adsorplanan miktarında artış gözlenmiştir. Bu artışın sebebi ise, metilen mavisi büyük hacimli bir molekül olduğundan dolayı aktif karbonun nispeten daha küçük olan aktif bölgelerine girememektedir. Ancak, iyon şiddetinin artışı ile birlikte ortamda konsantrasyonu artan Cl⁻ iyonları aktif karbonun daha küçük bölgelerine girerek metilen mavisinin aktif karbonun yüzeyinde daha fazla adsorplanmasına yardımcı olduğu düşünülmektedir. Sentezlenen aktif karbonların adsorpsiyon kapasitelerine baktığımızda ise, ZnCl₂ ile sentezlene aktif karbonun adsorplama kapasitesinin daha yüksek olduğu söylenebilir.

4.4 Adsorpsiyon İzotermi

Dengede sabit sıcaklıkta adsorbent tarafından adsorplanmış adsorbat miktarı ile çözeltideki adsorbat konsantrasyonu arasındaki ilişki, adsorpsiyon izotermi olarak adlandırılır. Adsorpsiyon izotermi hem teorik ve hem de pratik öneme sahiptirler. Denge adsorpsiyon izotermi, adsorpsiyon sistemlerinin dizaynında esas öneme

sahiptir[38]. Birkaç izoterm eşitliği mevcut olmakla birlikte bu çalışmada deneysel verileri analiz etmek için Freundlich ve Langmuir adsorpsiyon izotermi seçildi.

4.4.1 Freundlich İzotermi

Heterojen yüzeylerde sorpsiyon esaslı deneysel Freundlich izotermi (1.1) ve (1.2) eşitlikleri ile verilmişti. En küçük kareler yöntemine göre hesaplanmış Freundlich izoterm parametreleri ve regrasyon katsayısı değerleri Çizelge 4.1’de verilmektedir. Çizelgeden görüldüğü gibi hesaplanmış R^2 değerleri 0,73-0,94 aralığında değişmektedir.

4.4.2 Langmuir İzotermi

Bir katı yüzeyinde tek tabaka adsorpsiyonu için geçerli olan Langmuir izotermi (1.10) eşitliği ile verilmişti. Adsorpsiyon izoterm verileri, deneysel adsorpsiyon sonuçlarının (1.10) eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilmiş ve sonuçlar Çizelge 4.1’de verilmiştir. Veriler, en küçük kareler metodundan hesaplanmış ve ilgili korelasyon sabitleri de (R^2 değerleri) aynı Çizelge’de verilmektedir. Çizelgeden görüldüğü gibi, R^2 değerlerinin tümünün 0,99’dan daha yüksek olması nedeniyle Langmuir İzotermi’nin, adsorpsiyon prosesini daha iyi temsil ettiği sonucuna varılmıştır. Şekil 3.38-3.64’deki verilerin Langmuir izotermine ait (1.10) eşitliğinde kullanılmasıyla elde edilen doğrular, Şekil 4.1-4.27’de verilmiştir. Langmuir izotermine deneysel verilerle çok iyi uyum göstermesi, aktif karbon yüzeyindeki aktif noktaların homojen dağıldığını göstermektedir. Çünkü Langmuir eşitliği, yüzeyin homojen olduğunu kabul eder[28, 72, 73].

Çizelge 4.4 Antep fıstığı kabuğundan H₂SO₄ yöntemi ile sentezlenmiş aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonu için hesaplanmış Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm sabitleri

Sıcaklık (°C)	[I] (mol/L)	pH	Langmuir izotermi		Freundlich izotermi		R _L
			q _m (mol/g) x 10 ⁺⁵	K (L/mol) x 10 ⁺⁶	R ²	R ²	
30	---	---	1,44	1,90	0,9997	0,94	0,008-0,67
40	---	---	1,62	2,08	0,9997	0,84	0,06-0,13
50	---	---	1,68	2,39	0,9997	0,96	0,04-0,65
60	---	---	2,66	2,28	0,9996	0,91	0,04-0,97
30	0,1000	---	4,00	2,93	0,997	0,98	0,5-0,94
30	0,0100	---	1,94	1,10	0,999	0,84	0,01-0,89
30	0,0010	---	1,82	8,87	0,997	0,74	0,01-0,19
30	---	3	1,67	0,44	0,998	0,73	0,02-0,56
30	---	5	1,53	0,69	0,999	0,97	0,02-0,980
30	---	7	1,74	0,50	0,996	0,83	0,02-0,99
30	---	9	1,93	0,34	0,994	0,89	0,03-0,93

Çizelge 4.5 Antep fıstığı kabuğundan H₃PO₄ yöntemi ile sentezlenmiş aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonu için hesaplanmış Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm sabitleri

Sıcaklık (°C)	[I] (mol/L)	pH	Langmuir izotermi		Freundlich izotermi		R _L
			q _m (mol/g) x 10 ⁺⁴	K (L/mol) x 10 ⁺⁵	R ²	R ²	
30	---	---	4,89	5,24	0,99	0,70	0,003-0,20
40	---	---	5,70	1,95	0,99	0,50	0,001-0,21
50	---	---	6,45	1,40	0,99	0,91	0,001-0,96
60	---	---	7,21	6,30	0,99	0,97	0,003-0,96
30	0,1000	---	7	1,06	0,99	0,86	0,005-0,91
30	0,0100	---	6	4,99	0,99	0,57	0,007-0,07
30	0,0010	---	5	1,33	0,99	0,70	0,001-0,22
30	---	3	6	1,32	0,99	0,95	0,001-0,98
30	---	5	7	6,21	0,99	0,79	0,002-0,93
30	---	7	7	2,64	0,99	0,84	0,007-0,96
30	---	9	9	1,99	0,99	0,87	0,01-0,99

Çizelge 4.6 Antep fıstığı kabuğundan ZnCl₂ yöntemi ile sentezlenmiş aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonu için hesaplanmış Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm sabitleri

Sıcaklık (°C)	[I] (mol/L)	pH	Langmuir izotermi		Freundlich izotermi		R _L
			q _m (mol/g) x 10 ⁺³	K (L/mol) x10 ⁺⁵	R ²	R ²	
30	---	---	1,15	1,09	0,99	0,92	0,01-0,99
40	---	---	1,22	1,03	0,99	0,98	0,01-0,99
50	---	---	1,30	1,24	0,99	0,97	0,01-0,99
60	---	---	1,46	1,36	0,99	0,97	0,01-0,99
30	0,1000	---	1,44	3,14	0,99	0,89	0,005-0,97
30	0,0100	---	1,43	1,45	0,99	0,89	0,01-0,99
30	0,0010	---	1,34	9,94	0,99	0,95	0,04-0,99
30	---	3	0,91	9,94	0,99	0,84	0,001-0,73
30	---	5	1,53	2,31	0,99	0,97	0,04-0,99
30	---	7	1,78	2,15	0,99	0,95	0,005-0,96
30	---	9	1,14	1,41	0,99	0,95	0,008-0,98

Çizelge 4.7 Nar kabuğundan H₂SO₄ yöntemi ile sentezlenmiş aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonu için hesaplanmış Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm sabitleri

Sıcaklık (°C)	[I] (mol/L)	pH	Langmuir izotermi		Freundlich izotermi		R _L
			q _m (mol/g) x 10 ⁺⁴	K (L/mol) x10 ⁺⁵	R ²	R ²	
30	---	---	1,54	0,97	0,99	0,87	0,01-0,92
40	---	---	1,72	0,99	0,99	0,81	0,01-0,80
50	---	---	1,80	0,13	0,99	0,84	0,01-0,84
60	---	---	1,90	0,15	0,99	0,77	0,007-0,76
30	0,1000	---	2,48	0,34	0,99	0,98	0,03-0,98
30	0,0100	---	1,89	0,11	0,99	0,88	0,01-0,91
30	0,0010	---	1,59	0,24	0,99	0,78	0,006-0,64
30	---	3	0,93	22	0,99	0,94	0,007-0,59
30	---	5	1,20	66	0,99	0,90	0,02-0,86
30	---	7	1,67	0,51	0,99	0,90	0,02-0,86
30	---	9	1,84	0,32	0,99	0,94	0,04-0,88

Çizelge 4.8 Nar kabuğundan H₃PO₄ yöntemi ile sentezlenmiş aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonu için hesaplanmış Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm sabitleri

Sıcaklık (°C)	[I] (mol/L)	pH	Langmuir izotermi		Freundlich izotermi		R _L
			q _m (mol/g) x 10 ⁺⁴	K (L/mol) x10 ⁺⁶	R ²	R ²	
30	---	---	7,4	1,34	0,99	0,52	0,001-0,85
40	---	---	8,16	4,71	0,99	0,69	0,05-0,99
50	---	---	8,60	3,53	0,99	0,61	0,07-0,84
60	---	---	8,84	5,14	0,99	0,95	0,05-0,92
30	0,1000	---	9,76	5,39	0,99	0,94	0,006-0,67
30	0,0100	---	8,71	6,37	0,99	0,91	0,004-0,99
30	0,0010	---	8,33	7,50	0,99	0,96	0,003-0,81
30	---	3	7,78	1,07	0,99	0,92	0,002-0,84
30	---	5	8,16	8,75	0,99	0,98	0,002-0,99
30	---	7	7,84	3,19	0,99	0,87	0,00-0,98
30	---	9	8,52	3,78	0,99	0,93	0,006-0,26

Çizelge 4.9 Nar kabuğundan ZnCl₂ yöntemi ile sentezlenmiş aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonu için hesaplanmış Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm sabitleri

Sıcaklık (°C)	[I] (mol/L)	pH	Langmuir izotermi		Freundlich izotermi		R _L
			q _m (mol/g) x 10 ⁺⁴	K (L/mol) x10 ⁺⁵	R ²	R ²	
30	---	---	9,61	9,46	0,99	0,92	0,003-0,97
40	---	---	9,84	2,54	0,99	0,93	0,001-0,94
50	---	---	11,2	5,91	0,99	0,96	0,004-0,74
60	---	---	11,6	8,61	0,99	0,89	0,003-0,48
30	0,1000	---	11,2	6,89	0,99	0,88	0,01-0,83
30	0,0100	---	10,6	11,8	0,99	0,92	0,004-0,68
30	0,0010	---	10,2	8,16	0,99	0,85	0,005-0,97
30	---	3	8,56	10,6	0,99	0,82	0,003-0,57
30	---	5	9,85	5,07	0,99	0,96	0,007-0,99
30	---	7	10,2	7,50	0,99	0,97	0,005-0,99
30	---	9	10,5	11,8	0,99	0,88	0,004-0,97

Çizelge 4.10 Zeytin çekirdeğinden H₂SO₄ yöntemi ile sentezlenmiş aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonu için hesaplanmış Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm sabitleri

Sıcaklık (°C)	[I] (mol/L)	pH	Langmuir izotermi		Freundlich izotermi		R _L
			q _m (mol/g) x 10 ⁺⁵	K (L/mol) x10 ⁺⁵	R ²	R ²	
30	---	---	3,04	8,1	0,99	0,97	0,02-0,81
40	---	---	3,37	7,72	0,99	0,96	0,02-0,41
50	---	---	3,68	15,2	0,99	0,95	0,02-0,72
60	---	---	4,66	17,2	0,99	0,92	0,02-0,66
30	0,1000	---	3,26	44,0	0,99	0,77	0,003-0,16
30	0,0100	---	3,04	17,7	0,99	0,75	0,008-0,71
30	0,0010	---	2,87	8,30	0,99	0,80	0,02-0,82
30	---	3	2,46	31,2	0,99	0,74	0,006-0,21
30	---	5	3,04	15,6	0,99	0,96	0,01-0,28
30	---	7	3,17	44,3	0,99	0,92	0,003-0,43
30	---	9	3,43	10,6	0,99	0,94	0,01-0,76

Çizelge 4.11 Zeytin çekirdeğinden H₃PO₄ yöntemi ile sentezlenmiş aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonu için hesaplanmış Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm sabitleri

Sıcaklık (°C)	[I] (mol/L)	pH	Langmuir izotermi		Freundlich izotermi		R _L
			q _m (mol/g) x 10 ⁺⁴	K (L/mol) x10 ⁺⁵	R ²	R ²	
30	---	---	1,70	1,54	0,99	0,87	0,01-0,98
40	---	---	1,89	6,85	0,99	0,86	0,002-0,93
50	---	---	2,91	1,45	0,99	0,98	0,02-0,98
60	---	---	3,10	1,36	0,99	0,98	0,02-0,99
30	0,1000	---	3,70	1,80	0,99	0,94	0,01-0,86
30	0,0100	---	2,74	1,22	0,99	0,51	0,02-0,97
30	0,0010	---	2,13	9,70	0,99	0,97	0,02-0,96
30	---	3	1,64	2,03	0,99	0,97	0,01-0,98
30	---	5	1,80	1,28	0,99	0,82	0,02-0,91
30	---	7	1,82	1,33	0,99	0,98	0,01-0,98
30	---	9	1,94	91,6	0,99	0,97	0,01-0,98

Çizelge 4.12 Zeytin çekirdeğinden ZnCl₂ yöntemi ile sentezlenmiş aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonu için hesaplanmış Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izoterm sabitleri

Sıcaklık (°C)	[I] (mol/L)	pH	Langmuir izotermi		Freundlich izotermi		R _L
			q _m (mol/g) x 10 ⁺⁴	K (L/mol) x10 ⁺⁵	R ²	R ²	
30	---	---	7,70	1,39	0,99	0,77	0,01-0,60
40	---	---	8,50	4,36	0,99	0,97	0,009-0,99
50	---	---	9,06	6,50	0,99	0,98	0,008-0,89
60	---	---	9,96	5,57	0,99	0,98	0,007-0,96
30	0,1000	---	9,41	6,25	0,99	0,91	0,003-0,97
30	0,0100	---	8,64	9,64	0,99	0,96	0,004-0,91
30	0,0010	---	8,30	4,46	0,99	0,96	0,008-0,98
30	---	3	6,45	5,16	0,99	0,81	0,007-0,74
30	---	5	7,01	3,75	0,99	0,87	0,006-0,91
30	---	7	7,72	4,31	0,99	0,93	0,007-0,98
30	---	9	8,35	2,60	0,99	0,91	0,009-0,98

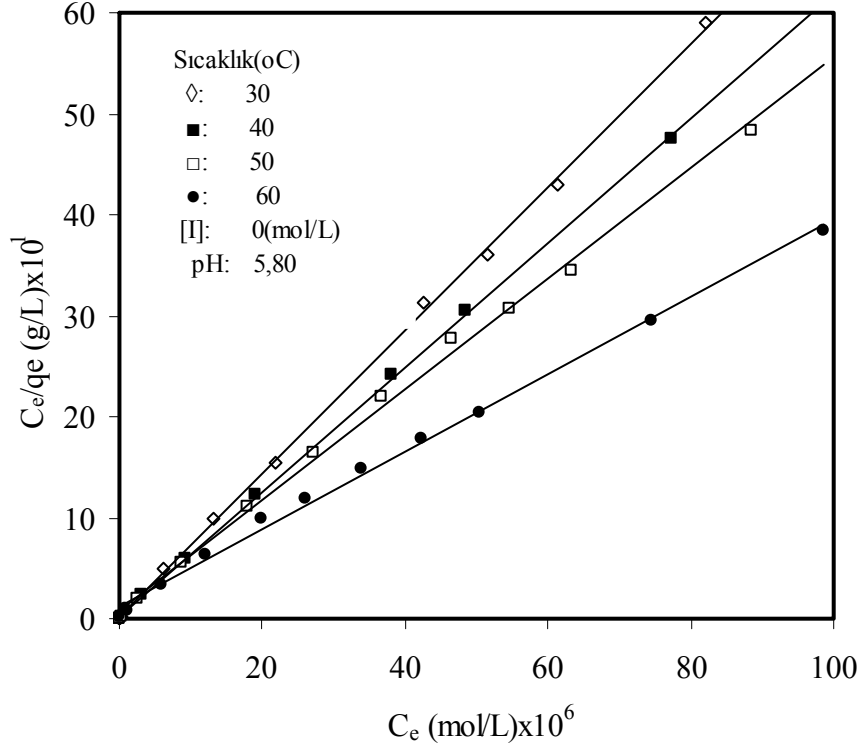
İzotermin şekli, bir adsorpsiyon sisteminin uygun olup olmadığını belirlemek amacıyla kullanılabilir. McKay ve arkadaşları tarafından açıklanan boyutsuz ayırma faktörü yada denge parametresi R_L'e göre Langmuir izoterminin özelliklerini açıklamak mümkündür[78].

$$R_L = \frac{1}{1 + KC_e} \quad (4.9)$$

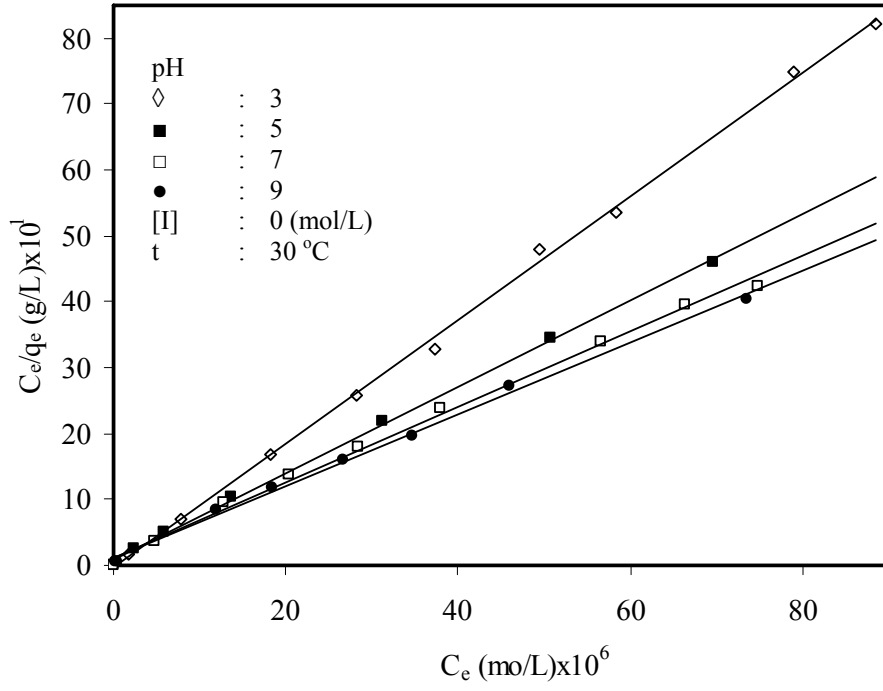
Burada R_L, Langmuir sabiti K'nın bir fonksiyonudur. R_L değerlerine göre, izotermin şekli açıklanabilir.

R _L değeri	Adsorpsiyon tipi
R _L >1,0	Uygun değil
R _L =1,0	Çizgisel
0<R _L <1,0	Uygun
R _L =0	Tersinmez

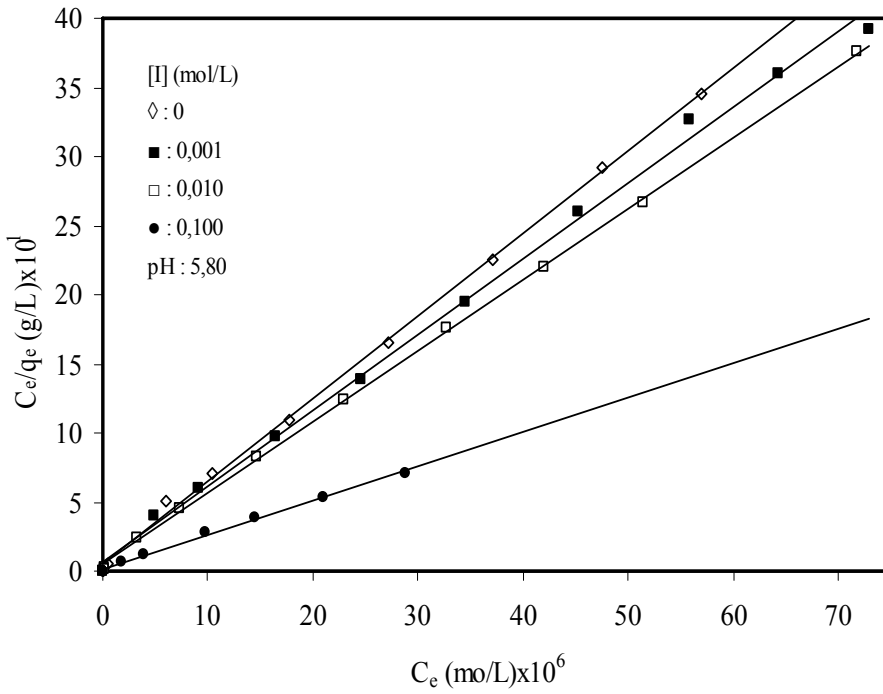
Elde edilen R_L değerleri (Çizelge 4.1-4.9) $0 < R_L < 1,0$ şartını sağladığından metilen mavisi adsorpsiyonu için aktif karbonun uygun bir adsorbent olduğu söylenebilir.



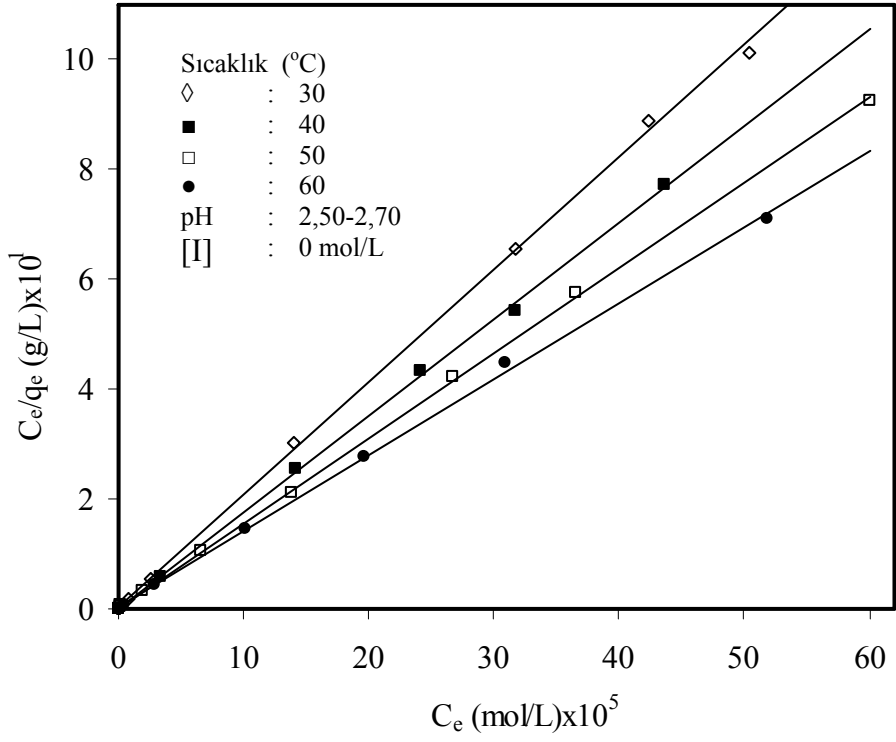
Şekil 4.1 Şekil 3.38'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi



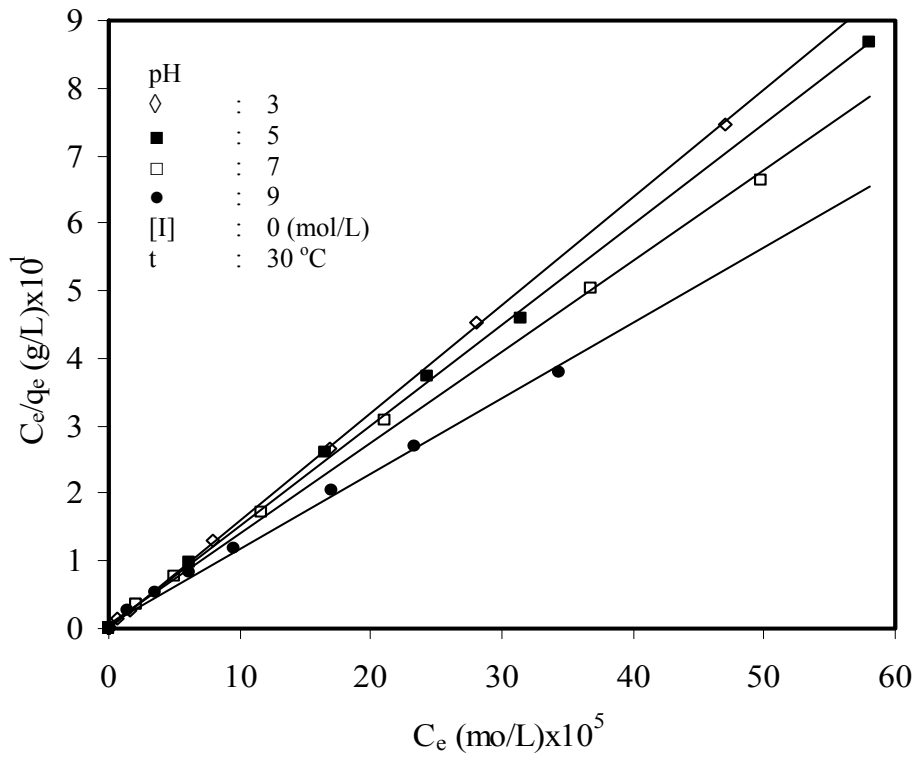
Şekil 4.2 Şekil 3.39'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi



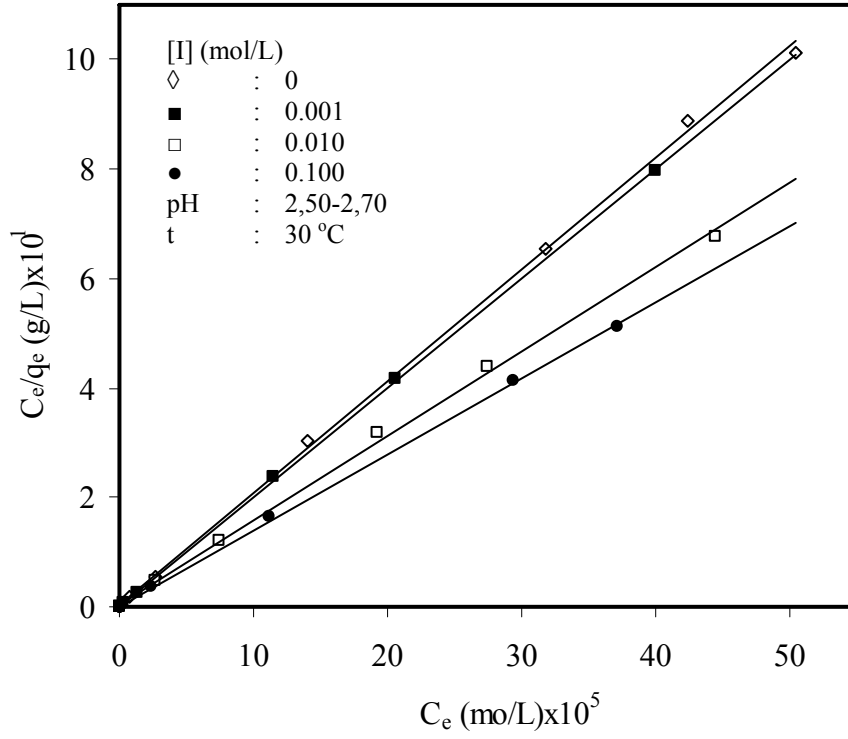
Şekil 4.3 Şekil 3.40'daki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi



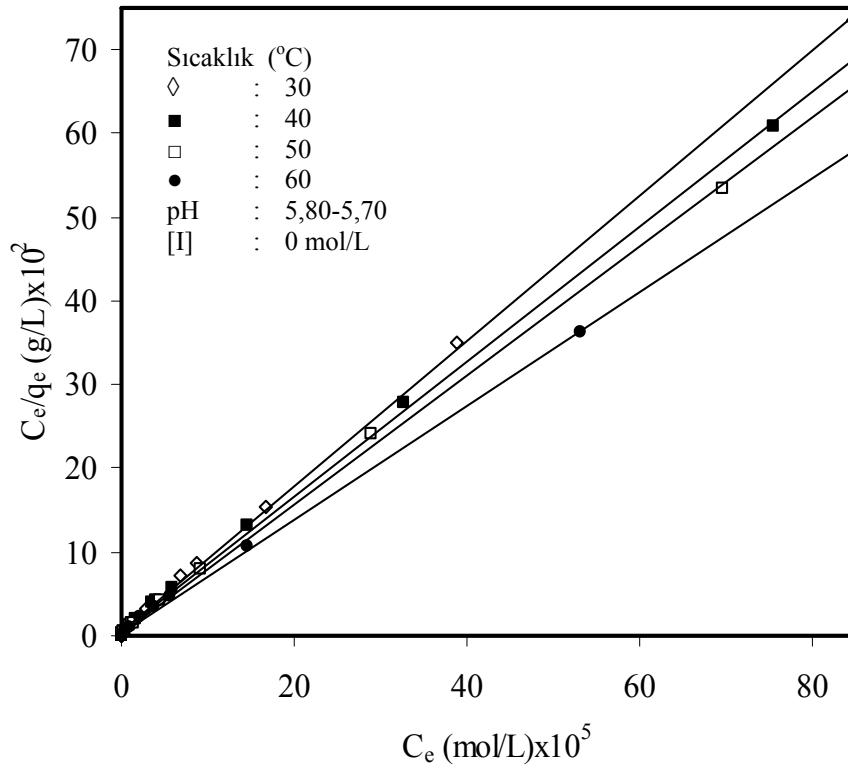
Şekil 4.4 Şekil 3.41'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi



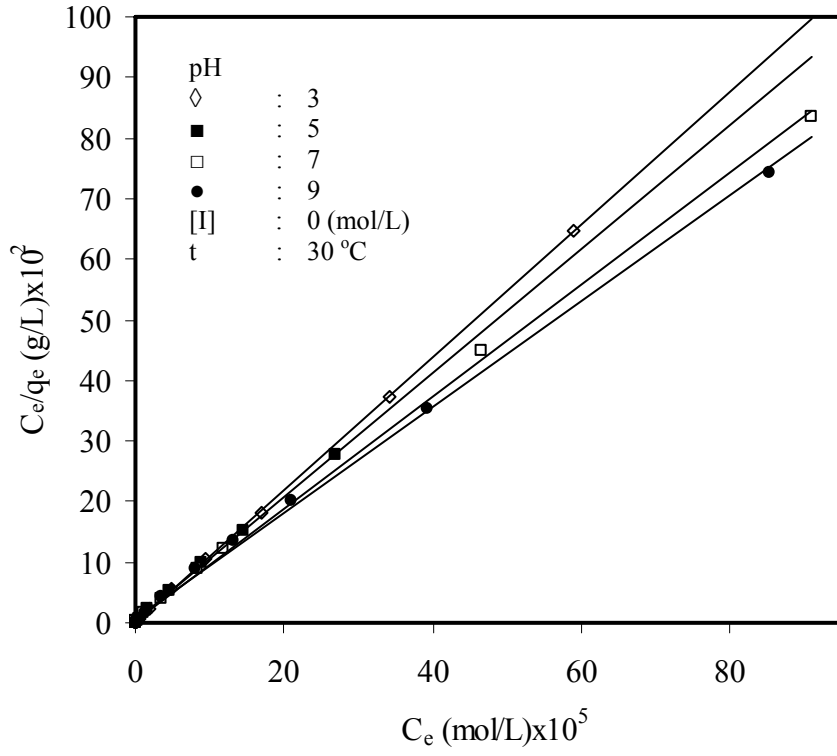
Şekil 4.5 Şekil 3.41'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi



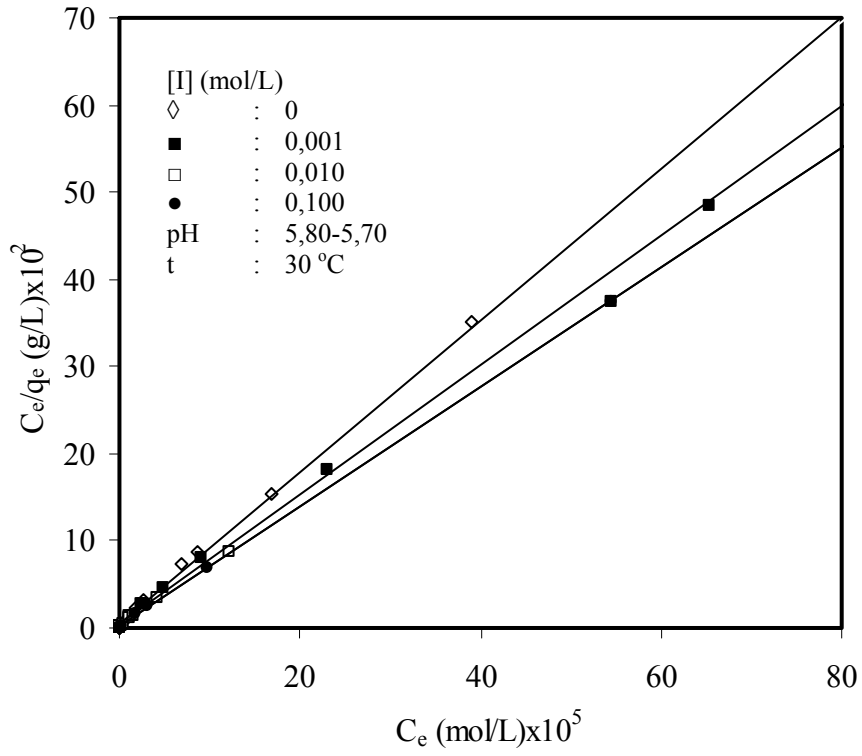
Şekil 4.6 Şekil 3.42'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi



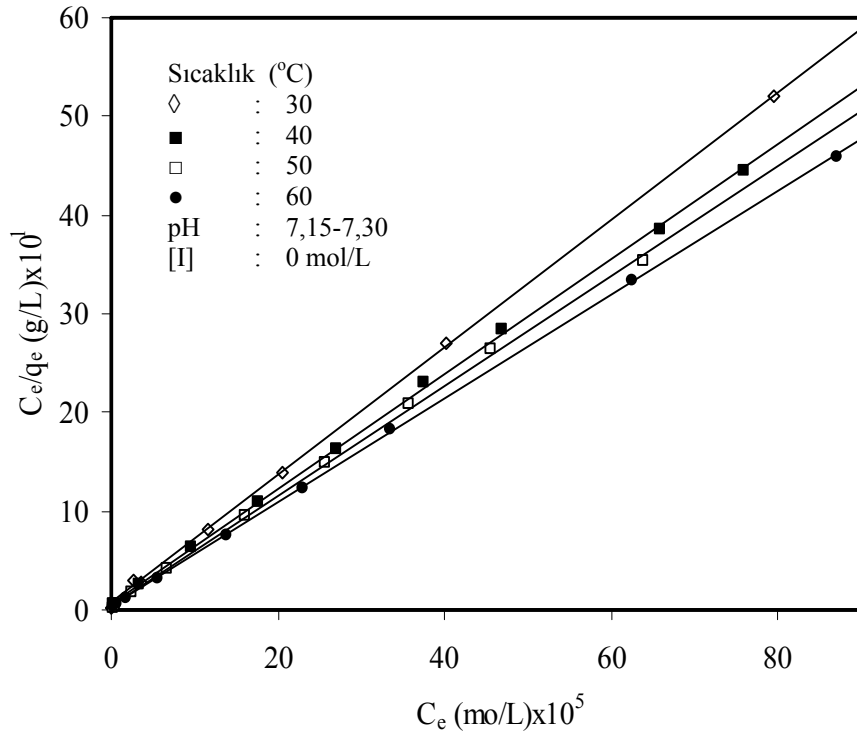
Şekil 4.7 Şekil 3.43'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi



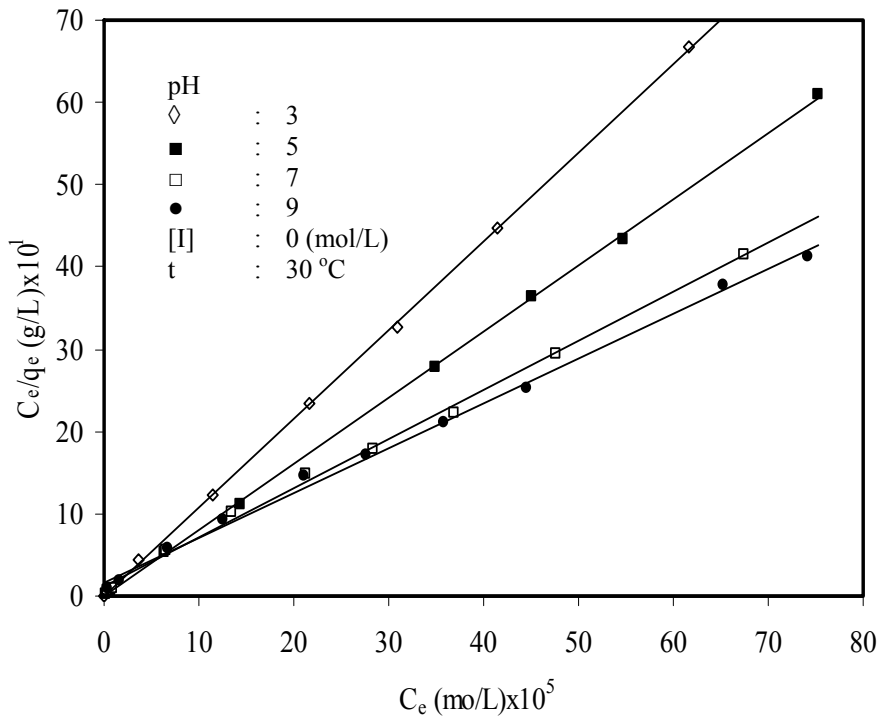
Şekil 4.8 Şekil 3.44'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi



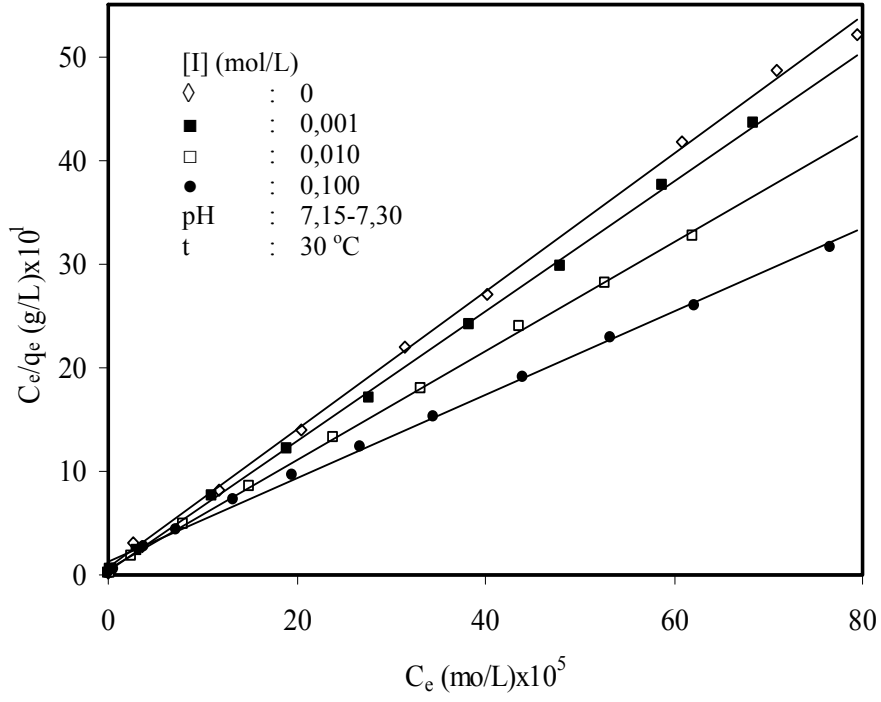
Şekil 4.9 Şekil 3.45'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi



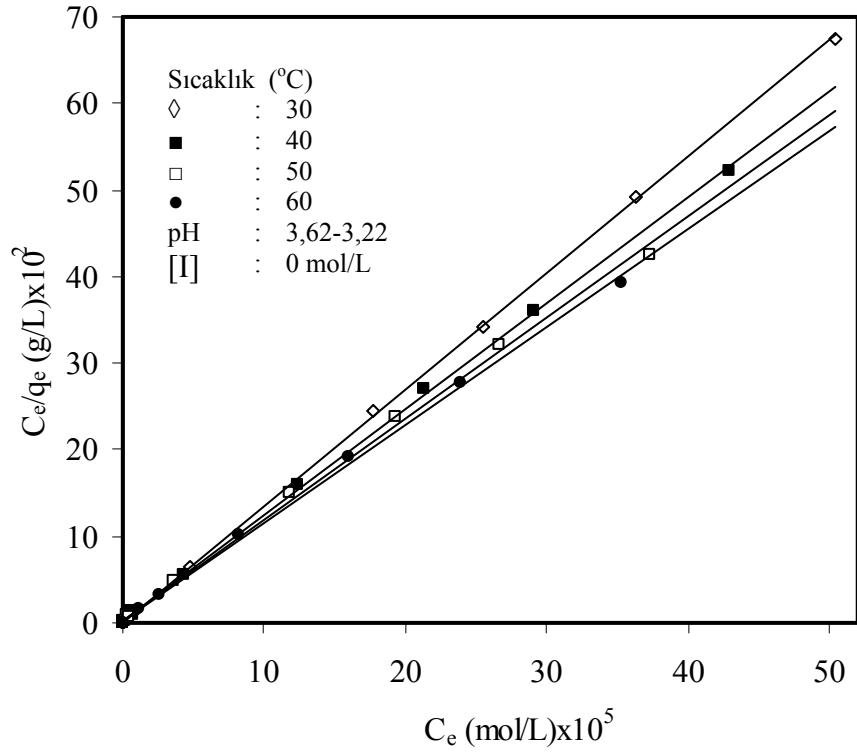
Şekil 4.10 Şekil 3.46'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi



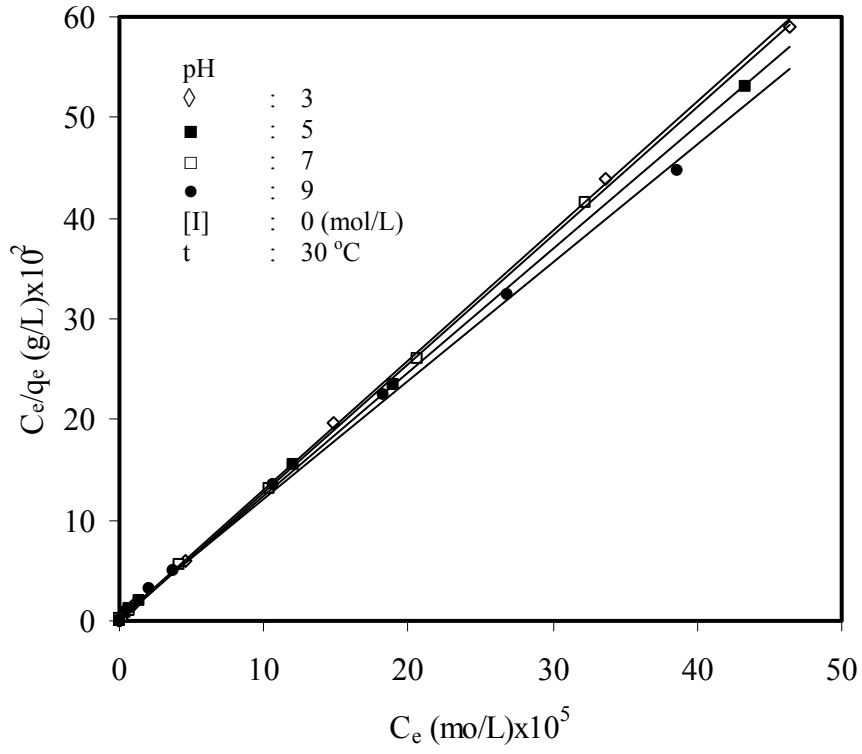
Şekil 4.11 Şekil 3.47'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi



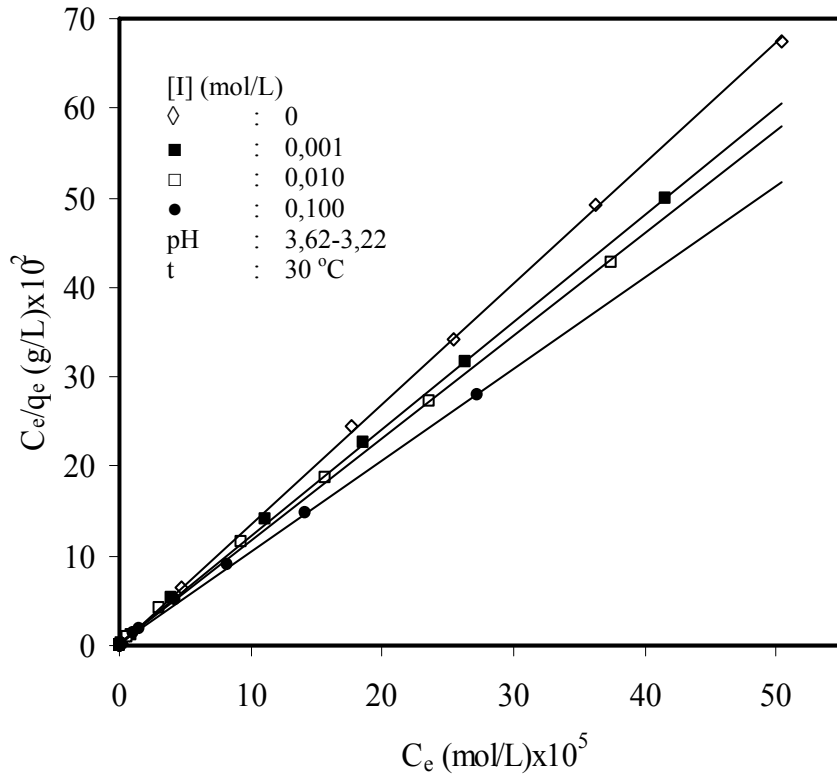
Şekil 4.12 Şekil 3.48'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi



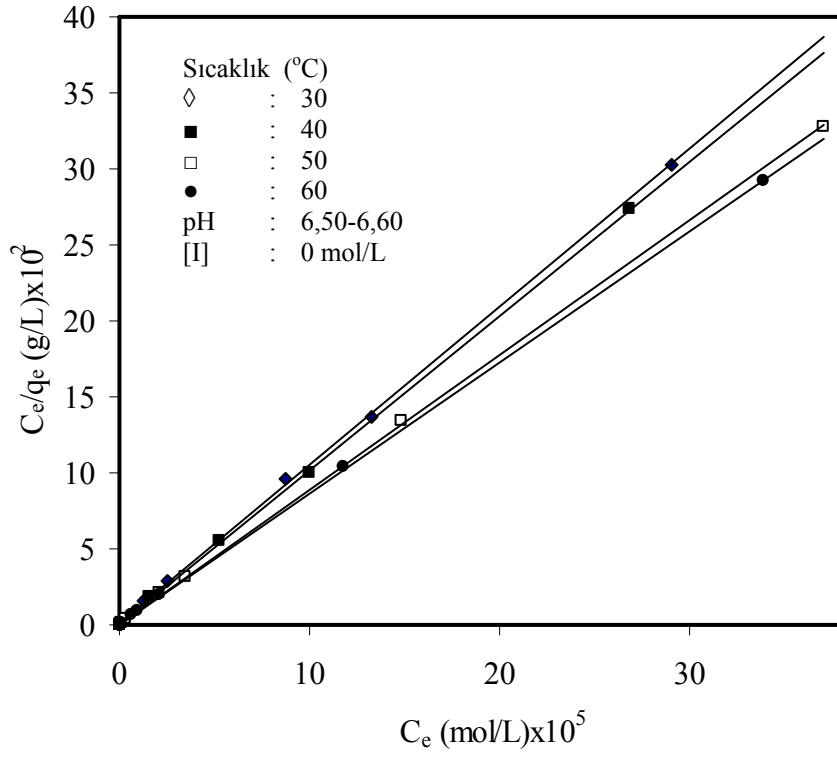
Şekil 4.13 Şekil 3.49'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi



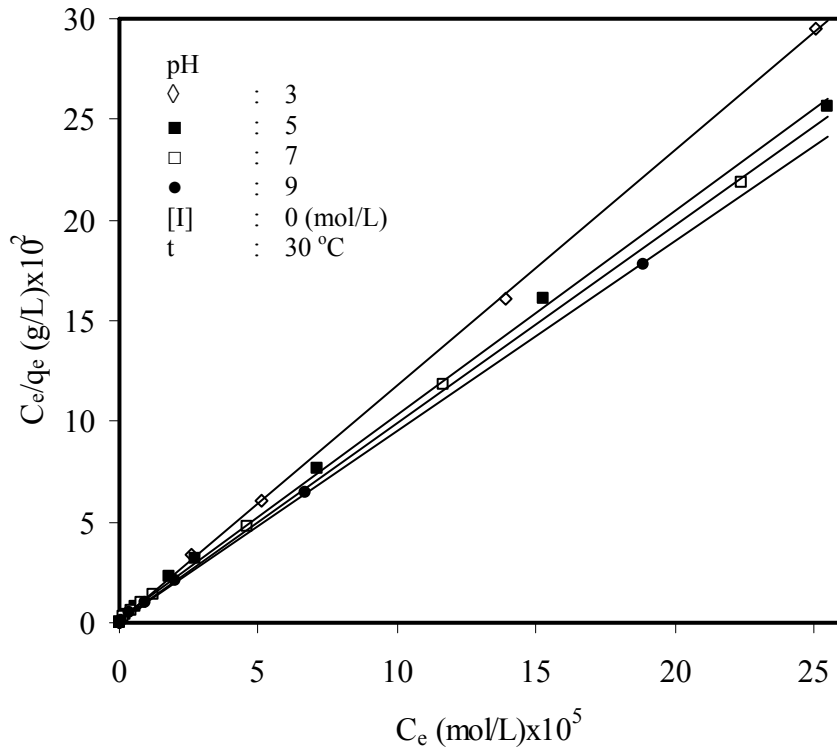
Şekil 4.14 Şekil 3.50'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi



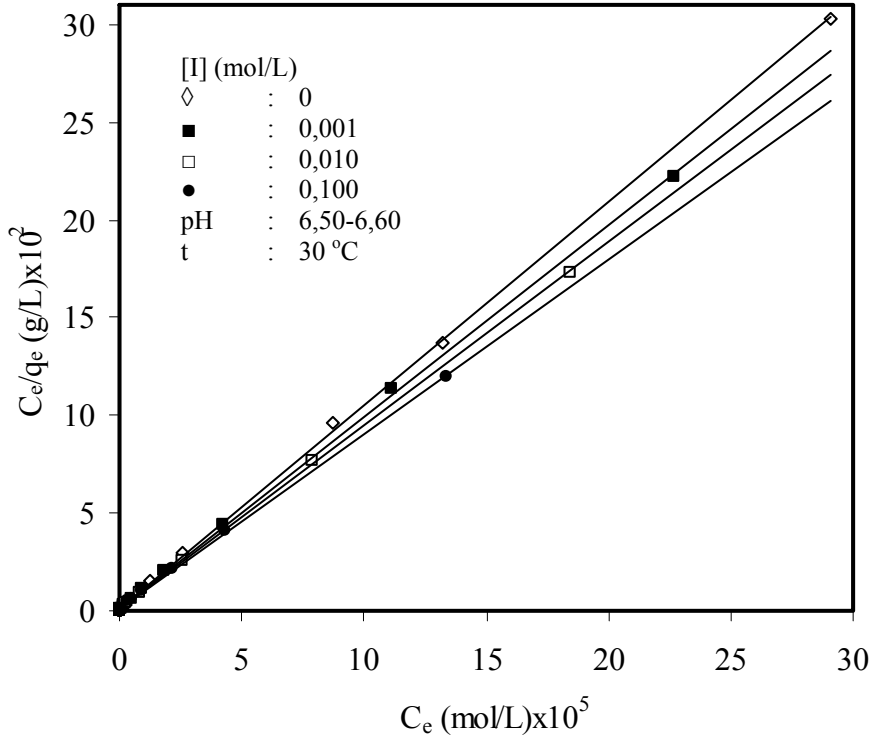
Şekil 4.15 Şekil 3.51'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi



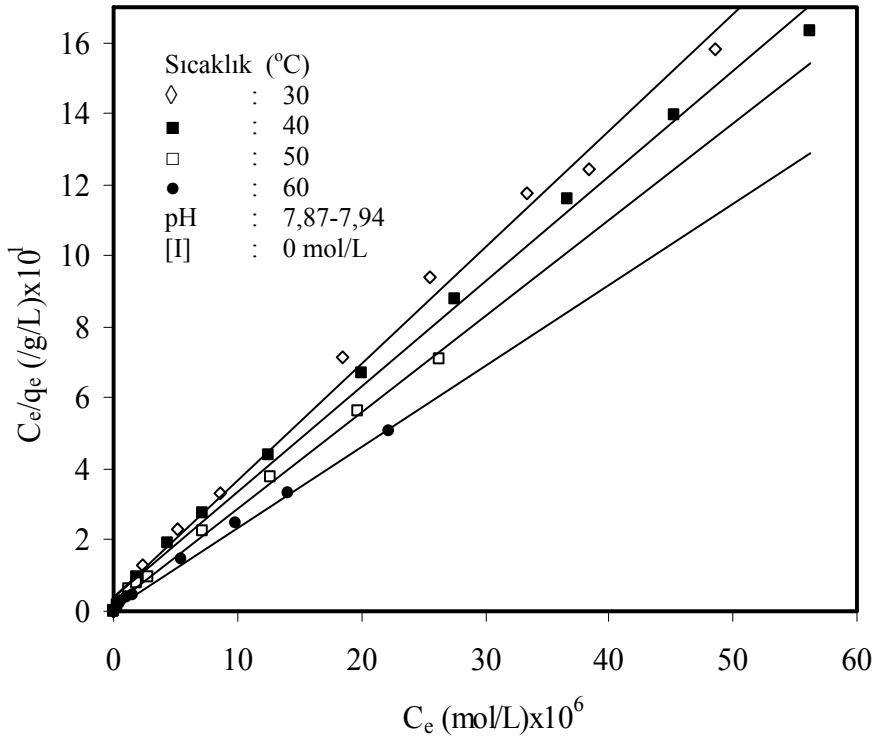
Şekil 4.16 Şekil 3.52'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi



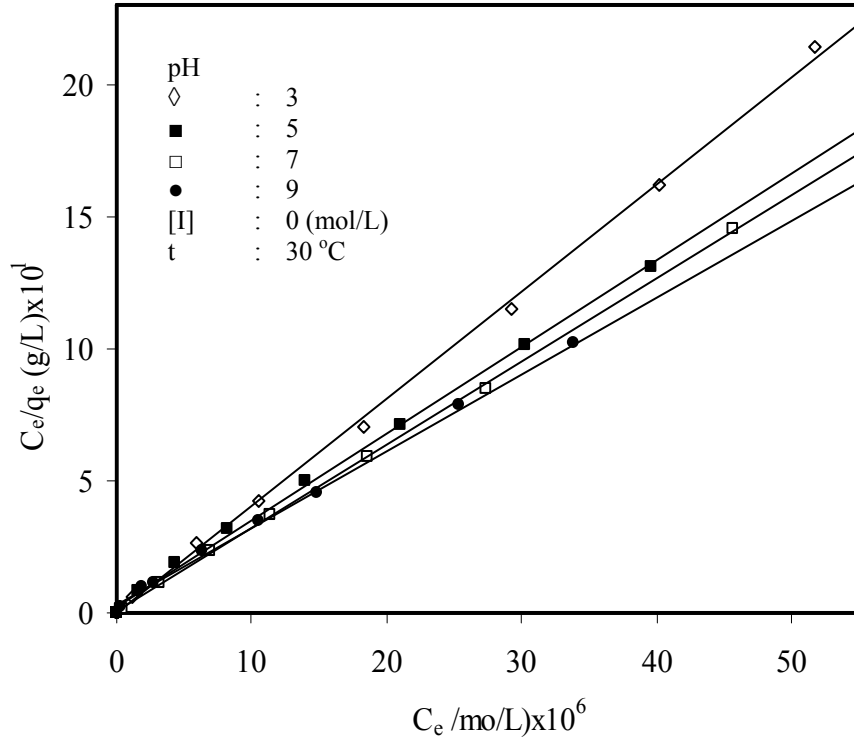
Şekil 4.17 Şekil 3.53'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi



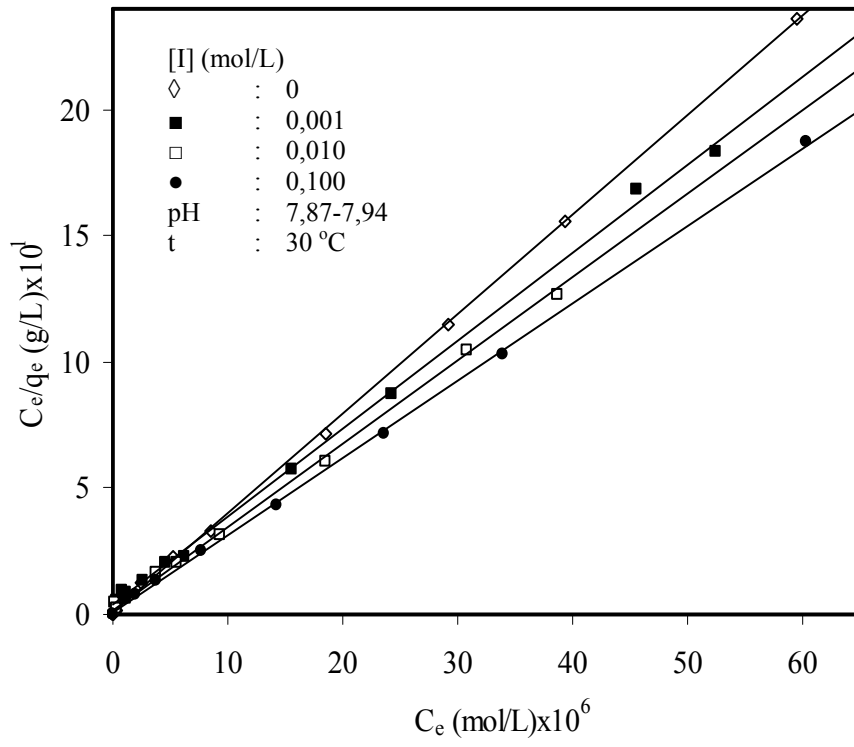
Şekil 4.18 Şekil 3.54'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi



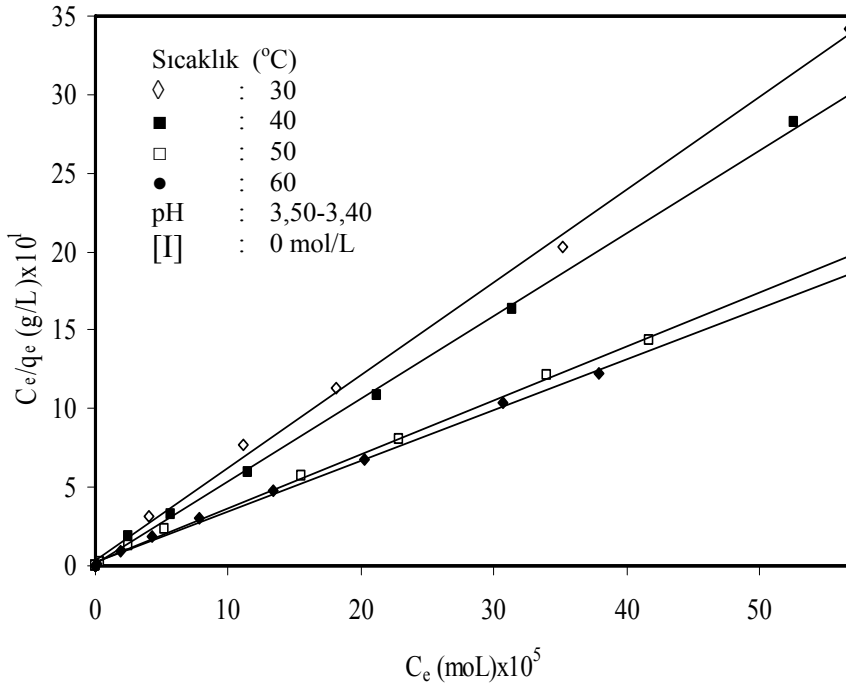
Şekil 4.19 Şekil 3.56'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi



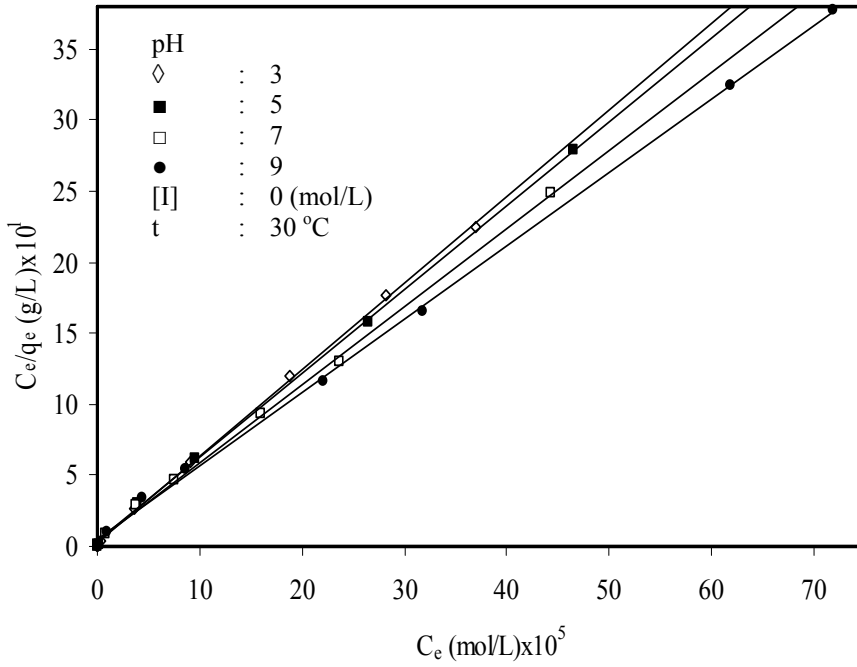
Şekil 4.20 Şekil 3.57'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi



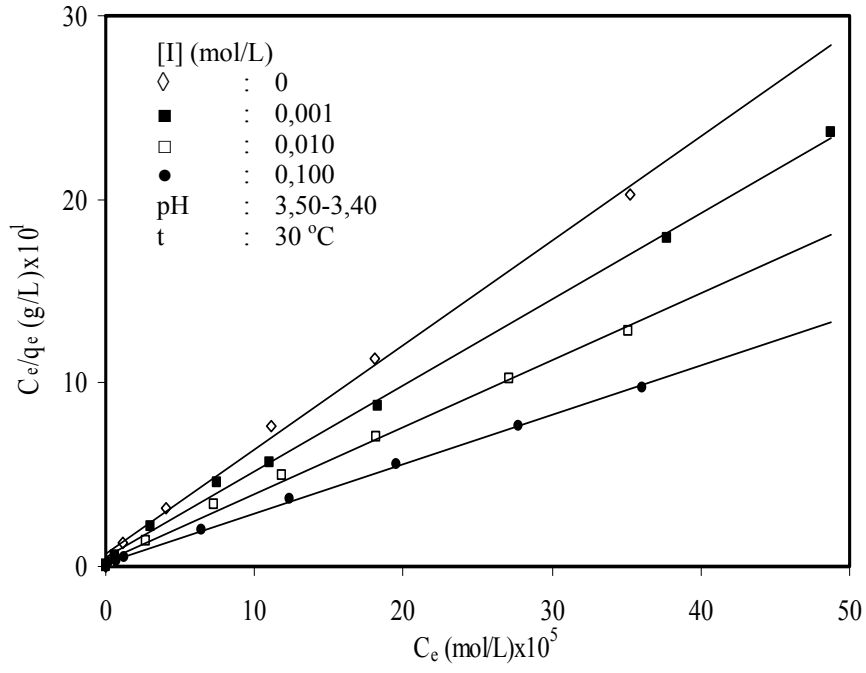
Şekil 4.21 Şekil 3.58'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi



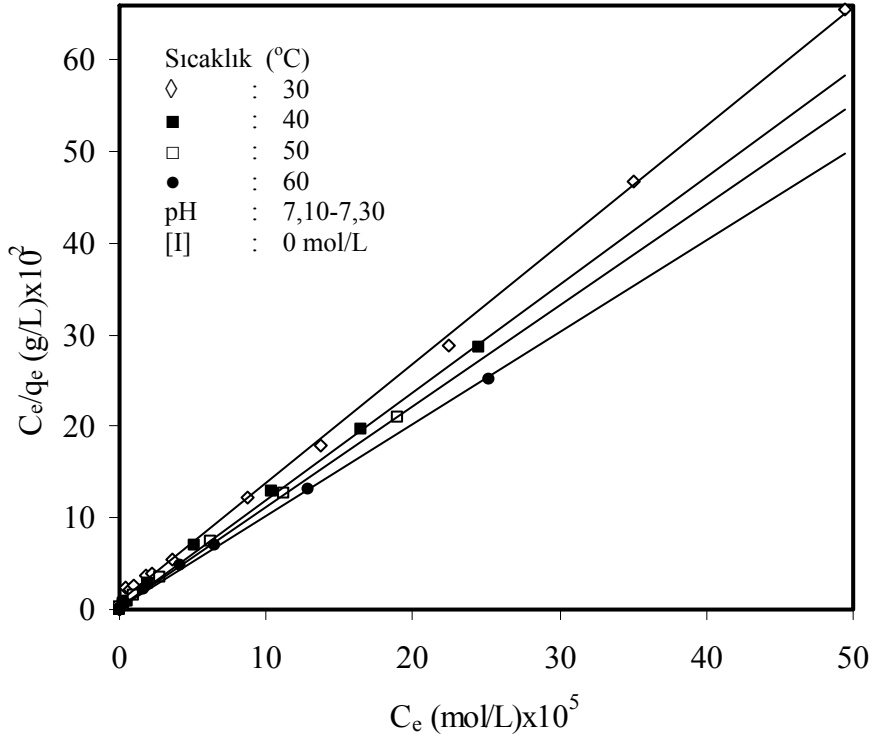
Şekil 4.22 Şekil 3.59'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi



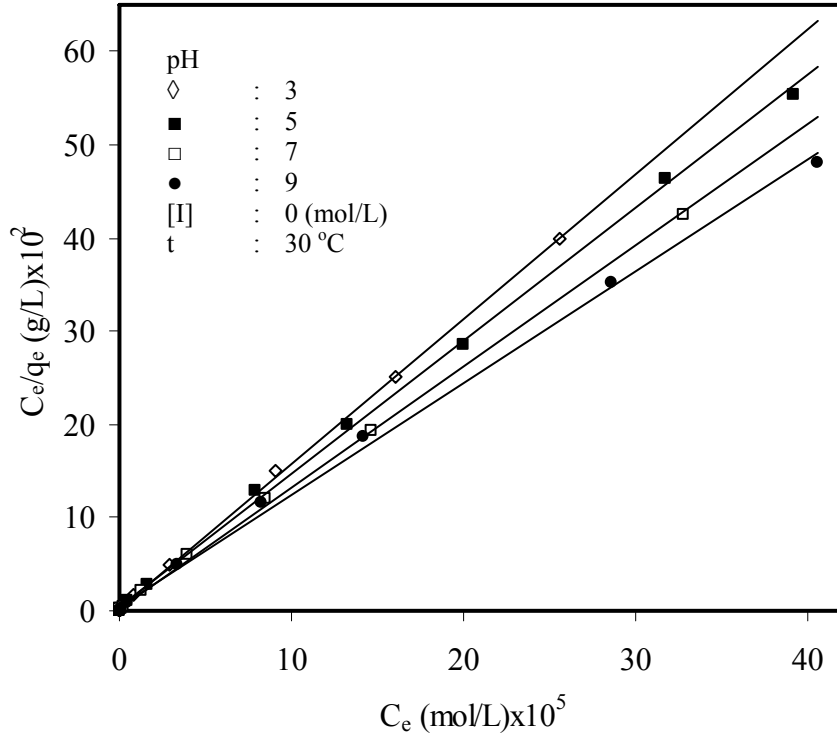
Şekil 4.23 Şekil 3.60'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi



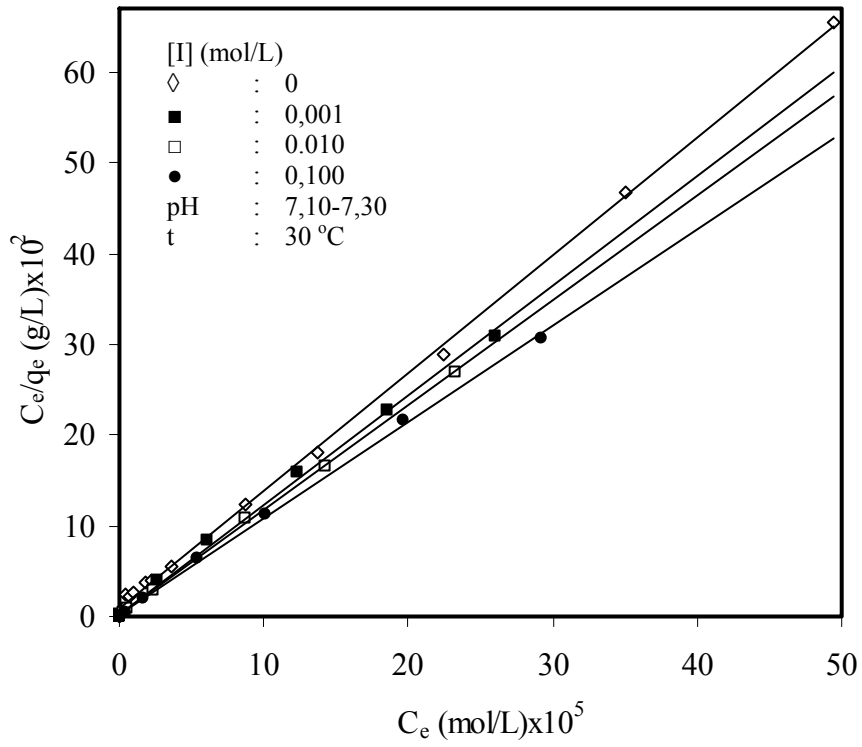
Şekil 4.24 Şekil 3.61'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi



Şekil 4.25 Şekil 3.62'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi



Şekil 4.26 Şekil 3.63'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi



Şekil 4.27 Şekil 3.64'deki verilere ait Langmuir adsorpsiyon izotermi

4.4 Adsorpsiyon Isısı

Çeşitli sıcaklıklardaki adsorpsiyon verilerinden, örtülme kesrinin ($\theta=q_e/q_m$) bir fonksiyonu olarak izosterik adsorpsiyon ısısı (ΔH), aşağıdaki eşitlikten belirlenebilir[74]:

$$\frac{\Delta H^0}{R_g} = \left[\frac{\partial(\ln C_e)}{\partial(1/T)} \right]_{\theta=0.5} \quad (4.10)$$

Burada R_g , gaz sabitidir.

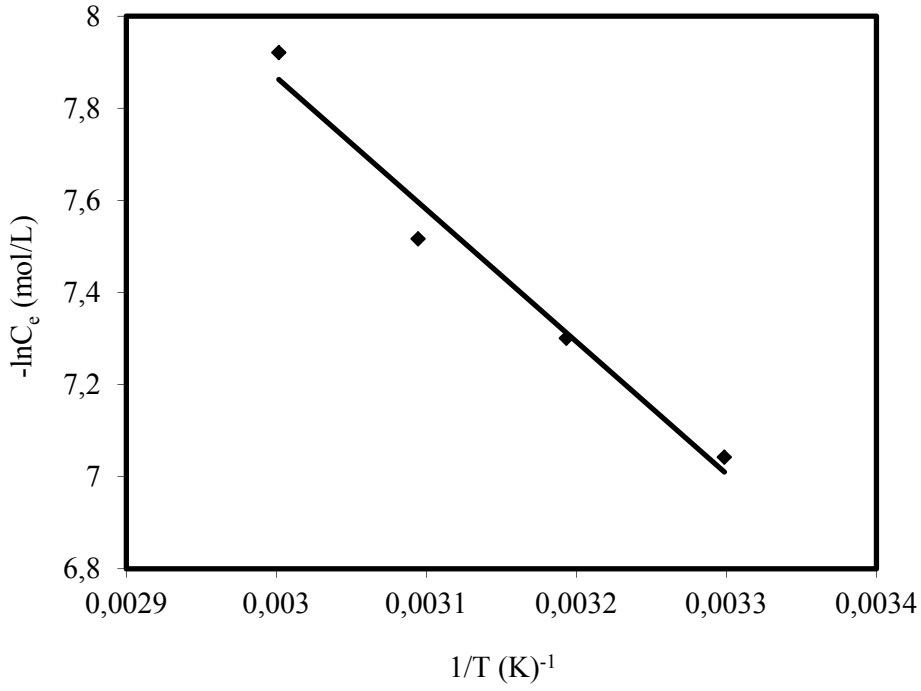
Langmuir eşitliğinden 0.5'lik yüzey örtülme kesrinde C_e 'nin değeri $1/K$ 'ya eşittir. Şekil 4.28-4.36'dan görüldüğü gibi, ΔH^0 'ın değerleri $-\ln C_e$ 'nin $1/T$ 'ye karşı grafiğinden hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4.10'da verilmiştir[75, 76].

Çizelge 4.13 Aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonu için hesaplanmış entalpi sabitleri

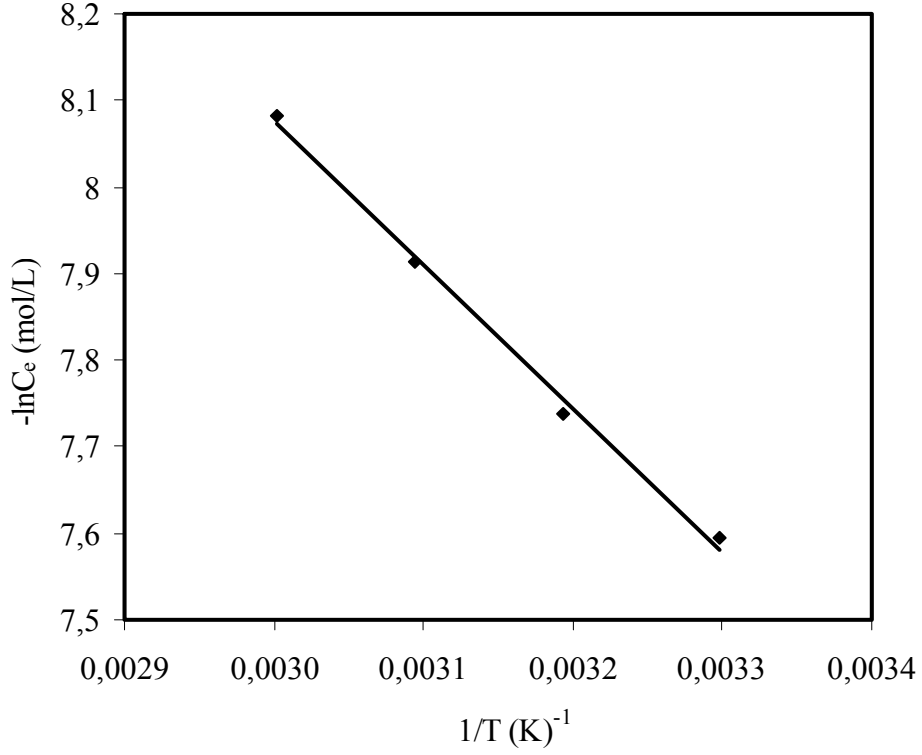
Adsorbentler	ΔH^0 (kJ/mol)
1M H ₂ SO ₄ -fıstık kabuğu	13,90
5M H ₃ PO ₄ -fıstık kabuğu	13,72
5M ZnCl ₂ -fıstık kabuğu	25,57
1M H ₂ SO ₄ -nar kabuğu	74,70
5M H ₃ PO ₄ -nar kabuğu	11,30
5M ZnCl ₂ -nar kabuğu	27,68
5M H ₂ SO ₄ -zeytin çekirdeği	33,69
5M H ₃ PO ₄ -zeytin çekirdeği	12,06
5M ZnCl ₂ -zeytin çekirdeği	27,43

Fiziksel adsorpsiyonda, adsorpsiyon ısısı 40 kcal/mol'den daha düşük iken bu değer kimyasal adsorpsiyonda 40 kcal/mol'den daha büyüktür. Dolayısıyla,

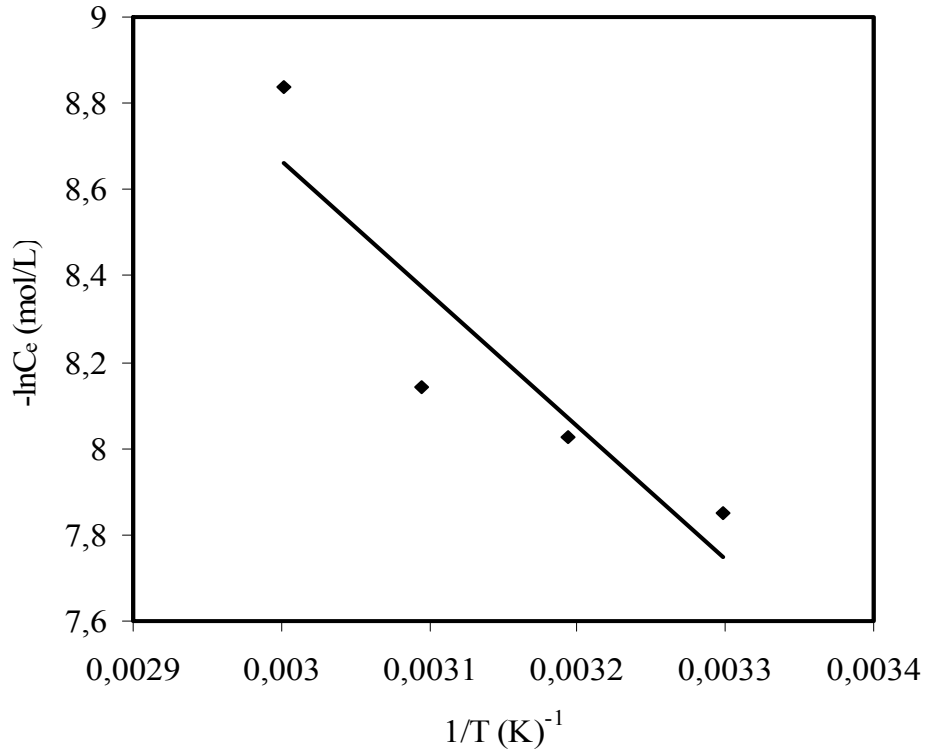
Çizelge 4.13 deki adsorbentlerin entalpi sabitleri incelendiğinde, 1 M H₂SO₄ ile aktive edilen nar kabuğunun metilen mavisi adsorpsiyonu için kimyasal adsorpsiyon geçerli iken, diğer adsorbentler için metilen mavisinin adsorpsiyonunun fiziksel adsorpsiyon ile gerçekleştiğini söyleyebiliriz.



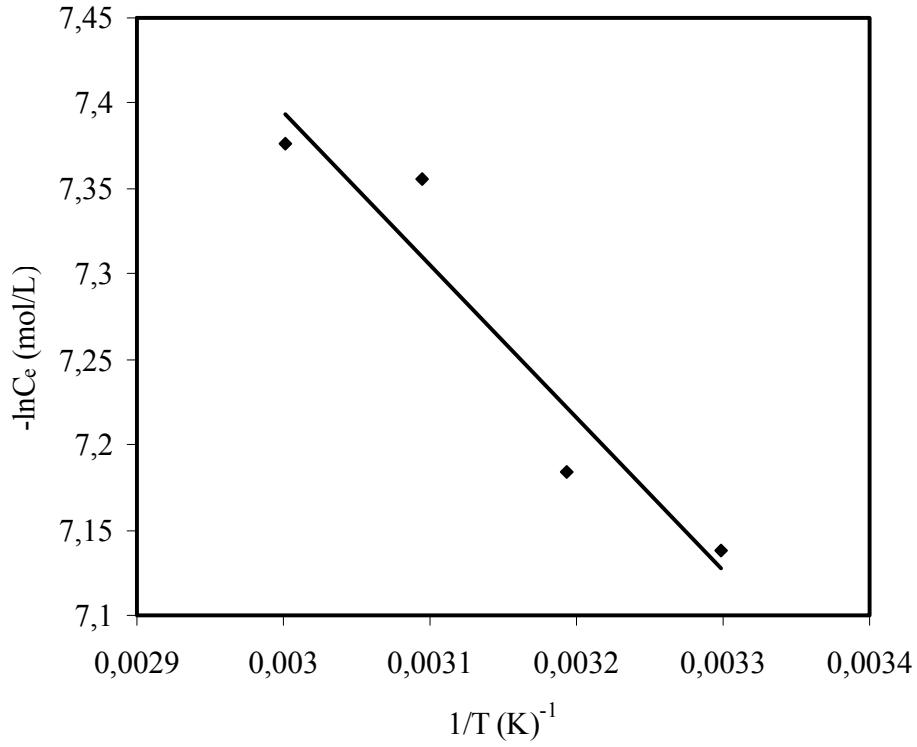
Şekil 4.28 Antep fıstığı kabuğundan H₂SO₄ aktivasyonu ile sentezlenmiş aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonu için $-\ln C_e$ 'nin $1/T$ 'ye karşı eğrisi



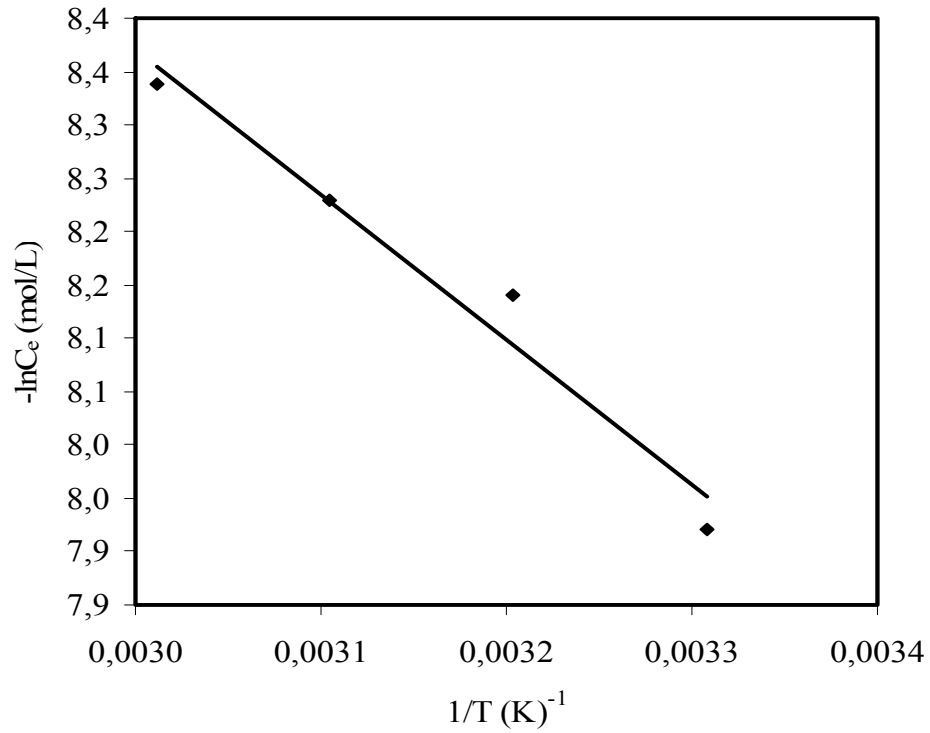
Şekil 4.29 Antep fıstığı kabuğundan H₃PO₄ aktivasyonu ile sentezlenmiş aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonu için $-\ln C_e$ 'nin $1/T$ 'ye karşı eğrisi



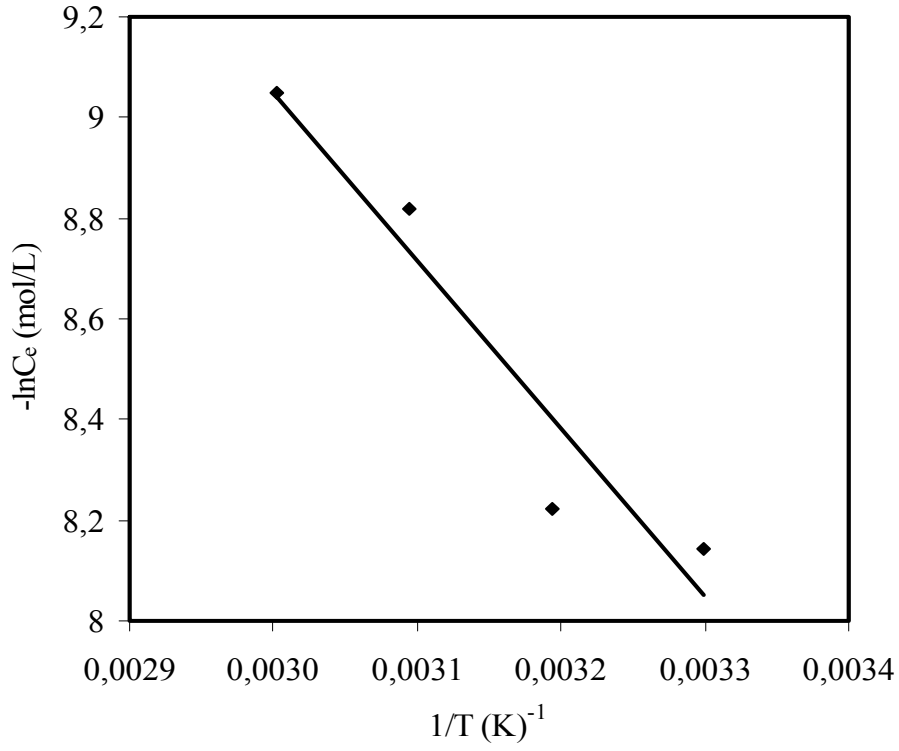
Şekil 4.30 Antep fıstığı kabuğundan ZnCl₂ aktivasyonu ile sentezlenmiş aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonu için $-\ln C_e$ 'nin $1/T$ 'ye karşı eğrisi



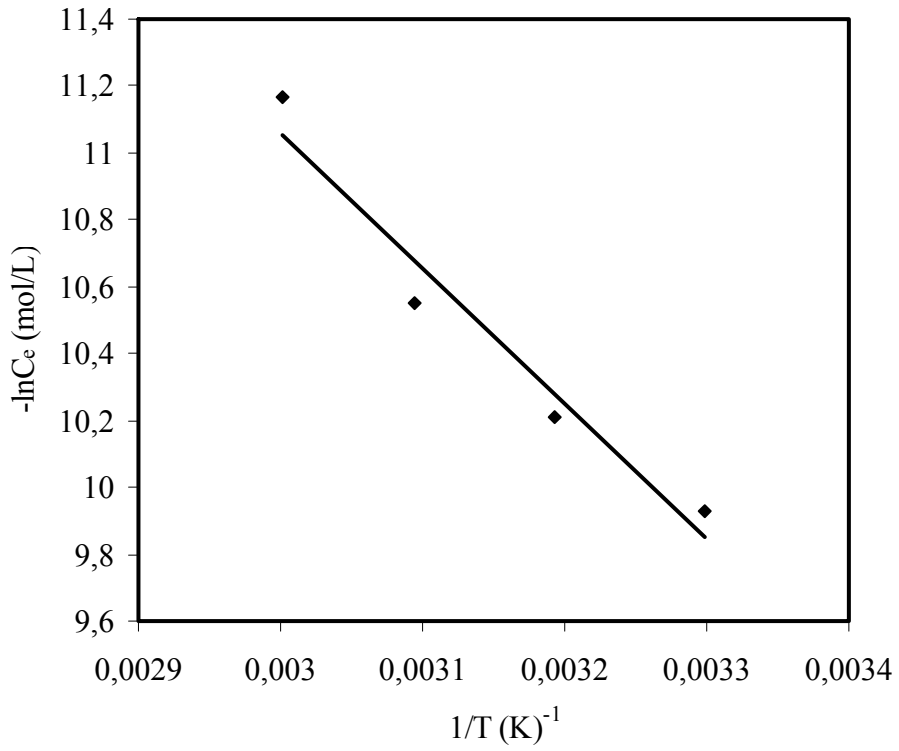
Şekil 4.31 Nar kabuğundan H₂SO₄ aktivasyonu ile sentezlenmiş aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonu için $-\ln C_e$ 'nin $1/T$ 'ye karşı eğrisi



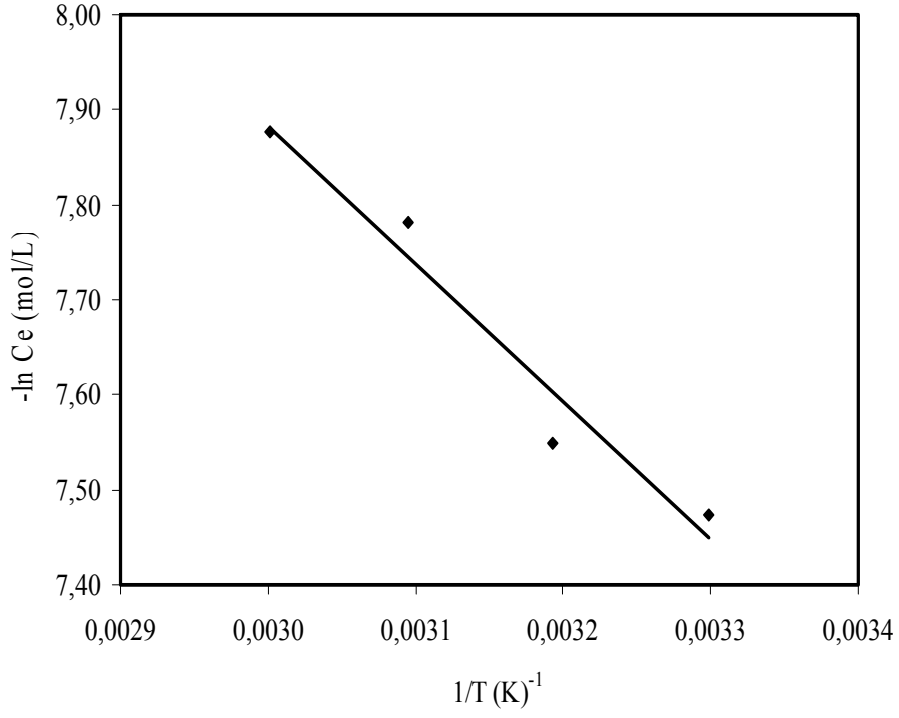
Şekil 4.32 Nar kabuğundan H₃PO₄ aktivasyonu ile sentezlenmiş aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonu için $-\ln C_e$ 'nin $1/T$ 'ye karşı eğrisi



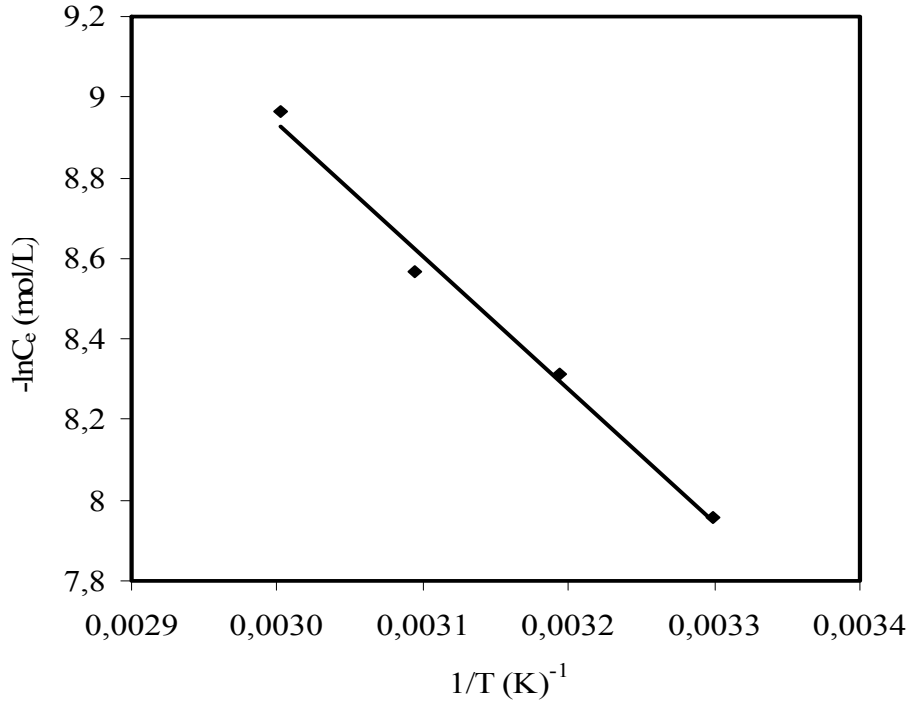
Şekil 4.33 Nar kabuğundan ZnCl₂ aktivasyonu ile sentezlenmiş aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonu için $-\ln C_e$ 'nin $1/T$ 'ye karşı eğrisi



Şekil 4.34 Zeytin çekirdeğinden H₂SO₄ aktivasyonu ile sentezlenmiş aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonu için $-\ln C_e$ 'nin $1/T$ 'ye karşı eğrisi



Şekil 4.35 Zeytin çekirdeğinden H_3PO_4 aktivasyonu ile sentezlenmiş aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonu için $-\ln C_e$ 'nin $1/T$ 'ye karşı eğrisi



Şekil 4.36 Zeytin çekirdeğinden ZnCl_2 aktivasyonu ile sentezlenmiş aktif karbon yüzeyinde metilen mavisi adsorpsiyonu için $-\ln C_e$ 'nin $1/T$ 'ye karşı eğrisi

4.6 Sonuçlar

Bu çalışmada elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmektedir:

1. H_2SO_4 , H_3PO_4 ve $ZnCl_2$ yöntemleriyle Antep fıstığı, nar kabuğu ve zeytin çekirdeğinden sentezlenen aktif karbonların en yüksek yüzey alanı sergiledikleri optimum koşulların birbirinden farklı olduğu bulundu. Antep fıstığı için en yüksek yüzey alanı 5 M $ZnCl_2$ ile 500 $^{\circ}C$ 'de 2022 m^2/g ; nar kabuğu için 5 M $ZnCl_2$ ile 800 $^{\circ}C$ 'de 1512 m^2/g ; ve zeytin çekirdeği için 5 M $ZnCl_2$ ile 500 $^{\circ}C$ 'de 1031 m^2/g olarak belirlendi. Sonuçlar bitkisel ham maddelerin en iyi $ZnCl_2$ ile aktifleştiğini göstermektedir. Ayrıca;
2. FTIR spektrumlarından artan aktivasyon sıcaklığı ile bitkisel materyallerin yapısındaki fonksiyonel grupların uzaklaştığı ve sadece zayıf şiddete sahip piklerin kaldığı,
3. BET yüzey alanı büyüklüğü ile mikro gözenek hacmi arasında doğru orantının olduğu ve artan mikro gözenek hacmi ile adsorbatın adsorplama kapasitesinin arttığı,
4. Aktif karbonun zeta potansiyeli üzerine katı konsantrasyonunun önemli bir etkisinin olmadığı,
5. Aktif karbonların izoelektrik noktalarının sentezlenen yönteme göre değiştiği, ancak aktif karbon kaynağına bağlı olmadığı,
6. Aktif karbonların yüzeyinde adsorplanmış metilen mavisinin miktarının artan pH, iyonik şiddet ve sıcaklıkla arttığı,
7. Deneysel sonuçların Langmuir adsorpsiyon izotermi ile oldukça iyi bir uyum sergilediği,

8. Adsorpsiyon ısısı değerleri adsorbent ile adsorbat arasındaki etkileşimlerin fiziksel etkileşimler olduğunu,
9. Boyutsuz ayırma faktörü (R_L), aktif karbonun sulu çözeltilerden metilen mavisi giderimi için kullanılabileceğini göstermiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Hayashi, J., Horikawa, T., Takeda, I., Muroyama, K., and Ani, N.F., "Preparing activated carbon from various nutshells by chemical activation with K_2CO_3 ", *Carbon*, **40**, (2002) 2381.
- [2] Gülensoy, H., Şengil, A., "Aktif Karbon ve Üretimi", Sakarya Devlet Mühendis ve Mimarlık Akademisi Dergisi, Sayı:MMA-11, Sakarya, (1981) 77- 90.
- [3] Küçükgül, E.Y., "Ticari Aktif Karbon Üretimi ve Özelliklerinin Belirlenmesi", DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, Ekim, **6;3**, (2004) 41-56.
- [4] Zabaniotou, A., Stavropoulos, G., Skoulou, V., "Activated carbon from olive in a two-stage process : Industrial improvement" *Bioresource Technology* **99**, (2008) 320.
- [5] Akkurt, F., Alıcılar, A., ve Şendil, O., Sularda Bulunan Nitratın Adsorpsiyon yoluyla Uzaklaştırılması, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. **17;4**, 2002 83-91.
- [6] Demir, M., Demirci, Ş., Usanmaz, A., Anorganik Kimya ve Uygulaması, 4. baskı, Milli Eğitim Basım Evi İstanbul, (1997).
- [7] Muhammet Şaban Tanyıldız., Şekerpancarı Küşpesinden aktif karbon elde edilmesi, karakterizasyonu ve Cu (II) iyonlarının adsorpsiyonunda kullanılması, Yüksek lisans tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (1999).
- [8] Sarıcı-Özdemir, Ç., Çeşitli Polimerik Temelli Atıklardan Yüksek Yüzey Alanlı Aktif Karbon Eldesi, Karakterizasyonu ve Uygulama Alanları , Doktora Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , (2008).
- [9] Abdel-Nasser, A., El-Hendawy, "Surface and adsorptive properties of carbons prepared from biomass" *Applied Surface Science* **252**, (2005) 287.
- [10] Patrick, J.W., "Porosity in Carbons", *Edward Arnold, London*, (1995).
- [11] Cui, H., Cao, Y., Pan, W.P., "Preparation of activated carbon for mercury capture from chicken waste and coal", *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, **8**, (2007) 319.
- [12] Altenor, S., Carene, B., Emmanuel, E., Lambert, J., "Adsorption studies of methylene blue and phenol onto vetiver roots activated carbon prepared by chemical activation", *Journal of Hazardous Materials*, **165**, (2009) 1029.

- [13] Amuda, O.S., Giwa, A.A., Bello, I.A., "Removal of heavy metal from industrial wastewater using modified activated coconut shell carbon", *Biochemical Engineering Journal*, article in press, (2007).
- [14] Lua, A.C., Yang, T., "Effect of activation temperature on the textural and chemical properties of potassium hydroxide activated carbon prepared from pistachio-nut shell", *Journal of Colloid and Interface Science*, **274**, (2004) 594.
- [15] Kazemipour, M., Ansari, M., Tajrobehkar, S., Majdzadeh, M., Kermani, H.R., "Removal of lead, cadmium, zinc, and copper from industrial wastewater by carbon developed from walnut, hazelnut, almond, pistachio shell, and apricot Stone", *Journal of Hazardous Materials* article in pres, (2007).
- [16] Amin, N.K., "Removel of direct blue-106 dye from aqueous solution using new activated catbons developed from pomegranate peel: Adsorption equilibrium and kinetics", *Journal of Hazardous Materials*, **165**, (2009) 52.
- [17] Budinova, T., Petrov, N., Para, J., Baloutzov, V., "Use of an activated carbon from antibiotic waste for removal of Hg(II) from aqueous solution", *Journal of Environmental Management*, **88**, (2008) 165.
- [18] Alhamed, Y.A. ,Bamufleh, H.S., "Sulfur removal from model diesel fuel granular activated carbon from dates stones activated by ZnCl₂", *Fuel*, **88**, (2009) 87.
- [19] Ioannidou, O., Zabaniotou, A., "Agricultural residues as precursors for activated carbon production-A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **11**, (2007) 1966.
- [20] İlkün Orbak, Tunçbilek linyitinden kimyasal aktivasyon yöntemi ile aktif karbon üretimi, Yüksek lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2002).
- [21] Tsai, W.T., Chang, C.Y., Lee, S.L., "Preparation and characterization of activated carbon from corn cob", *Carbon*, **35**, (1997) 1198.
- [22] Tsai, W.T., Chang, C.Y., Lee, S.L., "A low cost adsorbent from agricultural waste corn cob by zinc chloride activation", *Bioresource Technol*, **64**, (1998) 211.
- [23] Uçar, S., Erdem, M., Karagöz, S., "Preparation and characterization of activated carbon produced from pomegranate seeds by ZnCl₂ activation", *Applied Surface Science*, **255**, (2009) 8890.
- [24] Alhamed, Y.A. ,Bamufleh, H.S., "Sulfur removal from model diesel fuel granular activated carbon from dates stones activated by ZnCl₂", *Fuel*, **88**,

(2009) 87.

- [25] Gülgönül, İ., Bor minerallerinin flotasyonunda şlamın etki mekanizması, Yüksek lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (1995).
- [26] Ananonymous., Everything you want to know about coagulation and flocculation., 1-37, Zeta-Meter, Inc., USA, (1993).
- [27] Kelly, E.G., and Spottiswood, D.J., in “Introduction to Mineral Processing” p.95. Wiley, New York, (1982).
- [28] Doğan, M., Sulu ortamda perlitin yüzey yükünün ve adsorpsiyon özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, (2001).
- [29] Hunter, R.J., “Introduction to Modern Colloid Science”, Oxford University Press, New York, (1999).
- [30] Atak, S., Flotasyon ilkeleri ve uygulaması, İstanbul Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Sayı: 101, İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul, (1974).
- [31] Beyhan, M., Atık çamurlar ve doğal malzemeler ile sulardan florür iyonu gideriminin araştırılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, (2003).
- [32] Ho, Y.S., McKay, G., *Process Biochem.*, **34**, (1999) 451.
- [33] Rubin, A.J., and Mercan, D.L., in “Adsorption of inorganic solid-liquid interfaces” (M.A. anderson and A.J. Rubin, Eds.), Ann Arbor, MI. y(1981) 295-348.
- [34] House, J.E., Principles of chemical kinetics, Wm. C. Brown Publishers, Dubuque, USA., (1997) 117.
- [35] Doğan, M., Alkan, M., and Onganer, Y., *Water, Air and Soil Pollution*, **120**, (2000) 229.
- [36] Kula, İ., Uğurlu, M., Karaoğlu, H., Çelik, A., “Adsorption of Cd(II) ions from aqueous solutions using activated carbon prepared from olive stone by ZnCl₂ activation”, *Bioresource Technology*, **99**, (2008) 492.
- [37] Hameed, B.H., Ahmad, A.L., Latif, K.N.A., “Adsorption of basic dye (methylene Blue) onto activated carbon prepared from rattan sawdust” *Dyes and Pigments*, **75**, (2007) 143.
- [38] Yavuz, R., Akyıldız, H., Karatepe, N., Çetinkaya, E., “Influence of preparation conditions on porous structures of olive Stone activated by

- H₃PO₄’, *Fuel Processing Technology*, **91**, (2010) 80.
- [39] Karagöz, S., Tay, T., Uçar, S., Erdem, M., ‘‘Activated carbons from waste biomass by sulfuric acid activation and their use on methylene blue adsorption’’, *Bioresource Technology*, **99**, (2008) 6214.
- [40] Koutchheiko, S., Monreal, C.M., Kodama, H., McCracken, T., Kotlyar, L., ‘‘Preparation and characterization of activated carbon derived from the thermo-chemical conversion of chicken manure’’, *Bioresource Technology*, **98**, (2007) 2459.
- [41] Kopaç, T., Toprak, A., ‘‘Preparation of activated carbon from Zonguldak region coals by physical and chemical activations for hydrogen sorption’’, *International Journal of Hydrogen Energy*, **32**, (2007) 5005.
- [42] Guo, Y., Rockstraw, D.A., ‘‘Physical and chemical properties of carbons synthesized from xylan, cellulose and Kraft lignin by H₃PO₄ activation’’, *Carbon*, **44**, (2006) 1464.
- [43] Stavropoulos, G.G., Zabaniotou, A.A., ‘‘Preparation and characterization of activated carbons from olive-seed waste residue’’, *Microporous and Mesoporous Materials*, **82**, (2005) 79.
- [44] Seredych, M., Jurcakova, D.H., Lu, G.Q., Bandosz, T.J., ‘‘Surface functional groups of carbon and the effects of their chemical character, density and accessibility to ions on electrochemical performance’’, *Carbon*, **46**, (2008) 1475.
- [45] Amaya, A., Medero, N., Tancredi, N., Silva, H., Deiana, C., ‘‘Activated carbon briquettes from biomass materials’’, *Bioresource Technology*, **98**, (2007) 1635.
- [46] Rozada, F., Otero, M., Garcia, A.I., ‘‘Activated carbons from sewage sludge and discarded tyres: Production and optimization’’, *Journal of Hazardous Materials*, **B124**, (2005) 181.
- [47] Deng, H., Yang, L., Tao, G., Dai, J., ‘‘Preparation and characterization of activated carbon from cotton stalk by microwave assisted chemical activation-Application in methylene blue adsorption from aqueous solution’’, *Journal of Hazardous Materials*, article in Pres, (2009).
- [48] Sun, R.Q., Sun, L.B., Chun, Y., Xu, Q.H., ‘‘Catalytic performance of porous carbons obtained by chemical activation’’, *Carbon*, **46**, (2008) 1757.
- [49] Tay, T., Uçar, S., Karagöz, S., ‘‘Preparation and characterization of activated carbon from waste biomass’’, *Journal of Hazardous Materials*, **165**, (2009) 481.
- [50] Wu, S.F., Yanagisawa, K., Nishizawa, T., ‘‘Zeta Potential on carbons and

- carbides”, *Carbon*, **39**, (2001) 1537.
- [51] Girgis, B.S., Nasser,A., El-Hendawy, “Porosity development in activated carbons obtained from date pits under chemical activation with phosphoric acid”, *Microporous and Mesoporous Materials*, **52**, (2002) 105.
- [52] Teker, M., İmamoğlu, M., ve Saltabaş, Ö., “Adsorption of copper and cadmium ions by activated carbon from rice hulls,” *Turkish Journal of Chemistry.*, **23**, (1999) 185.
- [53] Aci, F., Nebioglu, M., Arslan, M., Imamoglu, M., Zengin, M. And Küçükislamoglu, M., “Preparation of Activated Carbon From Sugar Beet Molasses and Adsorption of Methylene Blue”, *Fresenius Environmental Bulletin*, **17 (8A)**, (2008) 997.
- [54] Imamoglu, M. and Tekir, O., “Removal of copper (II) and lead (II) ions from aqueous solutions by adsorption on activated carbon from a new precursor hazelnut husks,” *Desalination*,**228 (1-3)**, (2008) 108.
- [55] Kobya, M., Demirbas, E., Senturk, E., Ince, M., “Adsorption of heavy metal ions from aqueous solutions by activated carbon prepared from apricot Stone,” *Bioresource Technology.*, **96**, (2005)1518.
- [56] Ekinci, E., Budinova, T., Yardim, F., Petrov, N., Razvigorova, M., Minkova, V., “Removal of mercury ion from aqueous solution by activated carbons obtained from biomass and coals” *Fuel Processing Technology* **77–78**, (2002) 437.
- [57] Yavuz, R., Akyıldız, H., Karatepe, N., Çetinkaya, E., “Influence of preparation conditions on structures of olive Stone activated by H₃PO₄,” *Fuel Processing Technology* **91**, (2010) 80.
- [58] Demiral, H.,Demiral, İ., Karabacakoglu, B., Tümsek, B., “ Production of activated carbon from olive bagasse by physical activation” *Chemical engineering research and design* **89**, (2011) 206.
- [59] Duranoğlu, D., Trochimczuk, A.W., Beker, Ü., “ A comparison study of peach stone and acrylonitrile-divinylbenzene copolymer based activated carbons as chromium(VI) sorbents” *Chemical Engineering Journal* **165**, (2010)56.
- [60] Dolas, H., Sahin, Ö., Saka, C., Demir, H., “ A new method on producing high surface area activated carbon: The effect of salt on the surface area and the pore size distribution of activated carbon prepared from pistachio shell” *Chemical Engineering Journal* **166**, (2011) 191.
- [61] Dural, M,U., Cavas, L., Papageorgiou, S,K., Katsaros, F,K., “ Methylene blue adsorption on activated carbon prepared from Posidonia oceanica (L.) dead leaves: Kinetics and equilibrium studies” *Chemical Engineering Journal* **168**, (2011) 77.

- [62] Okutucu, Ç., Duman, G., Uçar, S., Yasa, İ., Yanık, J., “ Production of fungicidal oil and activated carbon from pistachio shell” *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* **91**, (2011) 140.
- [63] Kantarlı, İ.C., Yanık, J., “ Activated carbon from leather shaving wastes and its application in removal of toxic materials” *Journal of Hazardous Materials* **179**, (2010) 348.
- [64] Hsu, L.Y., Teng, H., “Influence of different chemical reagents on the preparation of activated carbons from bitumious coal”, *Fuel Processing Technology*, **64**, (2000) 155.
- [65] Qian, Q., Machida, M., Tatsumoto, H, “Preparation of activated carbon from cattle-manure compost by zinc chloride activation”, *Bioresource Technology*, **98**, (2007) 353.
- [66] Gerçel, Ö., Özcan, A., Özcan, S.A., Gerçel, H.F, “Preparation of activated carbon from a renewable bio-plant of *Euphorbia rigida* by H₂SO₄ activation and its adsorption behavior in aqueous solutions”, *Applied Surface Science*, **253**, (2007) 4843.
- [67] Mohamed, A.R., Mohammadi, M., Darzi, G.N., ‘Preparation of carbon molecular sieve from lignocellulosic biomass: A review’’, Article in press *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, (2010).
- [68] Kalavathy, H., Karthik, B., Miranda, L.R., “ Removal and recovery of Ni and Zn from aqueous solution using activated carbon from *Hevea brasiliensis*: Batch and column studies’’, *Colloids and Surface B: Biointerfaces*, **78**, (2010) 291.
- [69] Alkan, M., Demirbaş, Ö., and Doğan, M., *Journal of Colloid and Interface Science*, **281**, (2005) 240.
- [70] Dobias, B., “in: K.A. Matis (Ed.), *Flotation Science and Technology*’’, Dekker, New York, pp. (1995) 207.
- [71] Yiacoumi, S., and Tien, C., *Journal of Colloid and Interface Science*, **175**, (1995) 347.
- [72] McKay, G., Otterburn, M.S., and Aga, A.J., *Water, Air and Soil Pollution*, **24**, (1985) 307.
- [73] González-Pradas, E., Villafranca-Sánchez, M., Valverde-García, A., and Socias-Viciana, M., *J. Chem. Tech. Biotechnol*, **42**, (1988) 105.
- [74] González-Pradas, E., Villafranca-Sánchez, M., Socias-Viciana, M., del-Rey-Bueno, F., and García-Rodríguez, A., *J. Chem. Tech. Biotechnol*, **39**, (1987) 19.

- [75] Gürses, A., Bayrakçeken, S., and Gülaboğlu, M.Ş., *Colloids and Surfaces*, **64**, (1992) 7.
- [76] Attard, G., and Barnes, C., *Surfaces*. 1-36, Oxford Science Publications, England, Oxford, (1998).
- [77] Doğan, M., and Alkan, M., *Journal of Colloid and Interface Science*, **243**, (2001) 280.
- [78] McKay, G., and., Poots, V.J.P., *J. Chem. Tech. Biotechnol*, **30**, (1980) 279.
- [79] Doğan, M; Alkan, M; and Çakır, Ü; *Journal of Colloid and Interface Science*, **192**, (1997) 118.
- [80] Doğan, M., Cumaovası perlitinin bazı fizikokimyasal özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, (1997).