

T.C.  
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
KİMYA ANABİLİM DALI

**BAZI BOYAR MADDELERİN (ALİZARİN RED S VE METİLEN KIRMIZISI)  
AKTİF KARBON VE SİLİKAJEL ÜZERİNDEKİ ÇÖZELTİDEN  
ADSORPSİYONUNUN VE KİNETİĞİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: İbrahim GÖZETEN  
DANIŞMAN: Yrd. Doç. Dr. Ali SAVRAN

VAN-2011

T.C.  
YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
KİMYA ANABİLİM DALI

**BAZI BOYAR MADDELERİN (ALİZARİN RED S VE METİLEN KIRMIZISI)  
AKTİF KARBON VE SİLİKAJEL ÜZERİNDEKİ ÇÖZELTİDEN  
ADSORPSİYONUNUN VE KİNETİĞİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HAZIRLAYAN: İbrahim GÖZETEN  
DANIŞMAN: Yrd. Doç. Dr. Ali SAVRAN

VAN-2011

## KABUL VE ONAY SAYFASI

Kimya Anabilim Dalı'da Yrd. Doç. Dr. Ali SAVRAN danışmanlığında, İbrahim GÖZETEN tarafından hazırlanan "**Bazı boyar maddelerin (Alizarin red S ve Metil kırmızısı) aktif karbon ve silikajel üzerindeki çözüldürden adsorpsiyonunun ve kinetiğinin incelenmesi**" isimli bu çalışma, Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ve Fen Bilimleri Enstitüsü Yönergesinin ilgili hükümleri gereğince 09/02/2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile başarılı bulunmuş Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Yrd.Doç.Dr.Yaşar GENL

İmza:

Üye: Yard.Doç. Dr.Salih ALKAN

İmza:

Üye: Yard.Doç.Dr.Ali SAVRAN

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun.16/02/2001 tarih ve 2011/14-x sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza:  
Enstitü Müdürü

## ÖZET

### BAZI BOYAR MADDELERİN (ALİZARİN RED S VE METİLEN KIRMIZISI) AKTİF KARBON VE SİLİKAJEL ÜZERİNDEKİ ÇÖZELTİDEN ADSORPSİYONUNUN VE KİNETİĞİNİN İNCELENMESİ

GÖZETEN, İbrahim

Yüksek Lisans Tezi, Kimya Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Ali SAVRAN

Ocak 2011, 138 Sayfa

Bu çalışmada, alizarin red S ve metil kırmızısı çözeltilerinin silikajel ve ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon ve yüzeyi  $ZnCl_2$  ile aktive edilen aktif karbon üzerindeki adsorpsiyonu incelenmiştir.

Farklı pH'larda (2, 3, 4, 7, 10) 20 mg adsorbanlar ile çalışmalar yapılmıştır. Deneysel veriler Langmuir, Freundlich, Dubinin-Radushkevich-Kaganer (DKR) , Temkin ve Brunauer-Emmett-Teller (BET) denklemleri kullanılarak analiz edilmiş ve bu denklemlerin sabitleri belirlenmiştir. 20 ppm'lik boya çözeltilerinin Langergren yalancı birinci derece ve yalancı ikinci derece hız denklemine uygunluğu denenmiştir.

Termodinamik parametrelerden adsorpsiyon entalpisi ( $\Delta H^\circ$ ), Gibbs serbest entalpisi ( $\Delta G^\circ$ ) ve adsorpsiyon entropisi ( $\Delta S^\circ$ ) değerleri hesaplanmıştır.

Sonuç olarak, alizarin red S ve metilen kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyon mekanizmasının fiziksel ve bazı mekanizmaların kendiliğinden olduğu belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Aktif Karbon, Silikajel, İzoterm, Kinetik, boyar madde, Alizarin Red S ve Metilen Kırmızısı.

## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF KINETIC AND ADSORPTION FROM SOLUTION OF SOME DYESTUFF (ALİZARİN RED S VE METHYL RED) ON ACTIVE CARBON AND SILICA GEL

GÖZETEN, İbrahim

Msc, Chemistry Science

Supervisor: Asist. Prof Dr. Ali SAVRAN

January 2011, 138 Pages

In this study, the adsorption of alizarin red S and methyl red on the silica gel, active carbon and chemical activation with zinc chloride obtained walnut shell were investigated.

The experiments were made with 20 mg adsorbents at different pH (2, 3, 4, 7, 10). The experimental data were analyzed using Langmuir, Freundlich, Dubinin-Radushkevich-Kaganer (DKR) , Temkin ve Brunauer-Emmett-Teller (BET) isotherm equations and the constants of these equations were determined. The suitability of Langergren pseudo-first-order and pseudo-second-order rate equations were tested for dye solutions (20 ppm).

Thermodynamic parameter such as change of free energy, enthalpy and entropy of adsorption were calculated.

As a result, it was found the adsorption of alizarin red S and methyl red solutions controlled by physical mechanisms and some of them were spontaneously.

**Anahtar Kelimeler:** Aktive carbon, Silica gel, Isotherm, Kinetic, Dyestuff , Alizarin Red S ve Methyl red.

## ÖN SÖZ

Tecrübelerini, bilgilerini, maddi-manevi desteğini benden esirgemeyen, yüksek lisans programı boyunca beni yönlendiren, bütün imkanları sağlayan sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Ali SAVRAN' a sonsuz teşekkür ederim.

Çalışmalarında maddi-manevi desteklerini esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Mehmet TUNÇ' a sonsuz teşekkür ederim.

Çalışmalarında bana destek veren değerli hocalarım; Yard. Doç. Dr. Salih ALKAN' a , Yard. Doç. Dr. Aycan GÜR' e ve Yard. Doç. Dr. Adnan YILDIZ' a sonsuz teşekkür ederim.

Çalışmalarında desteklerini esirgemeyen sayın okul müdürüm Mehmet GÜNEŞ'e , tez yazım aşamasında yaptıkları yardım ve katkılarından dolayı arkadaşım; Mehmet Salih NAS' a, Yusuf AKYOL' a, Ali BELİKIRIK' a ve Adem KORKMAZ' a sonsuz teşekkür ederim.

Tez çalışmalarım süresince her konuda desteklerini esirgemeyen ve her zaman dertlerime ortak olan değerli eşim ve çocuklarıma en içten sevgilerimi sunarım.

İbrahim GÖZETEN

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
ÖN SÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xviii
SİMGELER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
1.1. Adsorpsiyon	2
1.1.1. Adsorpsiyon oluşum mekanizması	2
1.1.2. Adsorpsiyon türleri	3
1.1.2.1. Fiziksel adsorpsiyon	3
1.1.2.2. Kimyasal adsorpsiyon	4
1.1.2.3. İyonik adsorpsiyon	4
1.1.3. Adsorpsiyonu etkileyen faktörler	5
1.1.3.1. pH	5
1.1.3.2. Sıcaklık	5
1.1.3.3. Adsorban özellikleri	5
1.1.3.4. Adsorbat ve çözücü özellikleri	6
1.1.3.5. Polarite	6
1.1.3.6. Adsorban maddeler	6
1.1.4. Adsorpsiyonun Kullanıldığı Prosesler	9
1.1.5. Adsorpsiyon Termodinamiği	10
1.1.6. Adsorplayıcılarda Gözeneklilik	11
1.1.7. Adsorpsiyon Kinetiği	12
1.1.8. Adsorpsiyon İzotermi ve Denklemleri	13
1.2. Aktif Karbon ve Özellikleri	21

1.2.1. Aktif Karbonun Tarihçesi	21
1.2.2. Aktif Karbonun Genel Özellikleri	23
1.2.2.1. Molekül ve kristal yapısı	24
1.2.3. Yüzey alanı	26
1.2.4. Gözenek büyüklüğü (Porozite)	26
1.2.5. Kimyasal özellikleri	28
1.2.6. Aktif karbon formları	29
1.2.6.1. Toz aktif karbon	29
1.2.6.2. Granül aktif karbon	30
1.2.6.3. Küresel aktif karbon	30
1.2.7 Aktif Karbon Eldesi	31
1.2.7.1. Piroliz	31
1.2.7.2. Aktivasyon	31
1.2.8. Aktif Karbonun Kullanım Alanları	32
1.3. Silikajel	32
1.3.1. Silikajelin Kullanım Alanları	33
1.3.2. Silikajel Özellikleri	34
1.4. Boyar Maddeler	35
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	37
3. MATERYAL ve YÖNTEM	53
3.1. Materyal	53
3.1.1. Kullanılan Araç ve Gereçler	53
3.1.2. Kullanılan Kimyasal Maddeler	56
3.1.3. Adsorban Maddeler	57
3.2. Yöntem	57
3.2.1. Katyon Değiştirme Kapasitesi	58
4. BULGULAR	59
4.1. Çalışma Grafikleri	59
4.2. Aktif Karbonların IR Spektrumları	60
4.3. Lagergren Grafikleri ve Parametreleri	62



4.4. Yalancı İkinci Dereceden Hız Denklemiyle İlgili Grafikler ve Kinetik Parametreler	66
4.5. Langmuir İzotermleri ve Parametreleri	70
4.6. Freundlich İzotermleri ve Parametreleri	79
4.7. Dubinin- Kagener - Radushkevich (DKR) İzotermleri ve Parametreleri	88
4.8. Temkin İzotermleri ve Parametreleri	98
4.9. Brunauer, Emmett ve Teller (BET) İzoterm ve Parametreleri	107
4.10. Termodinamik Parametreler	116
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	121
KAYNAKÇA	131
ÖZ GEÇMİŞ	138

## ŞEKİLLERİN DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Adsorpsiyon izoterm tipleri	17
Şekil 1.2. Grafit kristallerinin yapısı	24
Şekil 1.3. Grafit ve aktif karbonun yapısı	25
Şekil 1.4. Aktif karbonun TEM ile alınan gözenek yapısı	27
Şekil 1.5. Şematik olarak aktif karbon modeli	27
Şekil 1.6. Aktif karbon yapısındaki fonksiyonel gruplar	29
Şekil 1.7. Silikajelin Yapısı (Beyaz Silikajel)	34
Şekil 4.1. Alizarin red S'nin standart grafiği.	59
Şekil 4.2. Metil red'in standart grafiği.	59
Şekil 4.3. Ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbonun FTIR Spektrumu	60
Şekil 4.4. ZnCl <sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbonun FTIR Spektrumu.	61
Şekil 4.5. Silikajel üzerinde 20 ppm alizarin red S çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili Lagergren yalancı birinci derece denkleminin grafiği (25 °C).	62
Şekil 4.6. Ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde 20 ppm alizarin red S çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili Lagergren yalancı birinci derece denkleminin grafiği (25 °C sıcaklığı).	63
Şekil 4.7. ZnCl <sub>2</sub> ' le muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde 20 ppm alizarin red S çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili Lagergren yalancı birinci derece denkleminin grafiği (25 °C)	63
Şekil 4.8. Silikajel üzerinde 20 ppm metil kırmızısı çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili Lagergren yalancı birinci derece denkleminin grafiği (25 °C).	64

Şekil 4.9. Ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde 20 ppm metil kırmızısı çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili Lagergren yalancı birinci derece denkleminin grafiği (25 °C).	65
Şekil 4.10. ZnCl <sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde 20 ppm metil kırmızısı çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili Lagergren yalancı birinci derece denkleminin grafiği (25 °C).	65
Şekil 4.11. Silikajel üzerinde 20 ppm alizarin red S çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili yalancı ikinci derece denkleminin grafiği (25 °C).	66
Şekil 4.12. Ceviz kabuğundan elde edilen aktif kömür üzerinde 20 ppm alizarin red S çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili yalancı ikinci derece denkleminin grafiği (25 °C).	67
Şekil 4.13. ZnCl <sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif kömür üzerinde 20 ppm alizarin red S çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili yalancı ikinci derece denkleminin grafiği (25 °C).	67
Şekil 4.14. Silikajel üzerinde 20 ppm metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili yalancı ikinci derece denkleminin grafiği (25 °C).	68
Şekil 4.15. Ceviz kabuğundan elde edilen aktif kömür üzerinde 20 ppm metil kırmızısı çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili yalancı ikinci derece denkleminin grafiği (25 °C).	69
Şekil 4.16. ZnCl <sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif kömür üzerinde 20 ppm metil kırmızısı çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili yalancı ikinci derece denkleminin grafiği (25 °C).	69
Şekil 4.17. 40° C sıcaklıkta silikajel üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izotermi.	71
Şekil 4.18. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izotermi(25	71

°C).	
Şekil 4.19. 40 °C sıcaklıkta ceviz kabuğundan elde edilen aktif kömür üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izotermi.	72
Şekil 4.20. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izotermleri(25 °C).	73
Şekil 4.21. 40 °C sıcaklıkta ZnCl <sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif kömür üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izotermi.	74
Şekil 4.22. Çeşitli pH' larda ZnCl <sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izotermleri(25 °C).	74
Şekil 4.23. 40 °C sıcaklıkta silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izotermi.	75
Şekil 4.24. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izotermleri(25 °C).	76
Şekil 4.25. 40 °C sıcaklıkta ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izotermi.	77
Şekil 4.26. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izotermleri(25 °C).	77
Şekil 4.27. 40 °C sıcaklıkta ZnCl <sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izotermi.	78
Şekil 4.28. Çeşitli pH' larda ZnCl <sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir	79

izotermeleri(25 °C).	
Şekil 4.29. 40 °C sıcaklıkta silikajel üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich izotermi.	80
Şekil 4.30. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich izotermeleri(25 °C).	80
Şekil 4.31. 40 °C sıcaklıkta ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich izotermi.	81
Şekil 4.32. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich izotermeleri(25 °C).	82
Şekil 4.33. 40 °C sıcaklıkta ZnCl <sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilmiş aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich izotermi.	83
Şekil 4.34. Çeşitli pH' larda ZnCl <sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif kömür üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich izotermeleri(25 °C).	83
Şekil 4.35. 40 °C sıcaklıkta silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich izotermi.	84
Şekil 4.36. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich izotermeleri(25 °C).	85
Şekil 4.37. 40 °C sıcaklıkta ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonuyla ilgili Freundlich izotermi.	86
Şekil 4.38. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich izotermeleri(25 °C).	86

Şekil 4.39. 40 °C sıcaklıkta ZnCl <sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich izotermi.	87
Şekil 4.40. Çeşitli pH' larda ZnCl <sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich izotermleri(25 °C).	88
Şekil 4.41. 40 °C sıcaklıkta silikajel üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin- Kagner - Radushkevich (DKR) izotermi.	89
Şekil 4.42. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin- Kagner - Radushkevich (DKR) izotermleri(25 °C).	89
Şekil 4.43. 40 °C sıcaklıkta ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin- Kagner - Radushkevich (DKR) izotermi.	90
Şekil 4.44. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin- Kagner - Radushkevich (DKR) izotermleri(25 °C).	91
Şekil 4.45.40 °C sıcaklıkta ZnCl <sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerindeki üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonuyla ilgili Dubinin- Kagner - Radushkevich (DKR) izotermi.	92
Şekil 4.46. Çeşitli pH' larda ZnCl <sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin- Kagner - Radushkevich (DKR) izotermleri(25 °C).	92
Şekil 4.47. 40 °C sıcaklıkta silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin- Kagner - Radushkevich (DKR) izotermi.	93

Şekil 4.48. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin- Kagner - Radushkevich (DKR) izotermi(25 °C).	94
Şekil 4.49. 40 °C sıcaklıkta ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin- Kagner - Radushkevich (DKR) izotermi.	95
Şekil 4.50. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin- Kagner - Radushkevich (DKR) izotermi(25 °C).	95
Şekil 4.51. 40 °C sıcaklıkta ZnCl <sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğu üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin- Kagner - Radushkevich (DKR) izotermi.	96
Şekil 4.52. Çeşitli pH' larda ZnCl <sub>2</sub> ile muamele edilmiş aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin- Kagner - Radushkevich (DKR) izotermi(25 °C).	97
Şekil 4.53. 40 °C sıcaklıkta silikajel üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonuyla ilgili Temkin izotermi.	98
Şekil 4.54. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin izotermi (25 °C).	98
Şekil 4.55. 40 °C sıcaklıkta ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin izotermi.	99
Şekil 4.56. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin izotermi(25 °C).	100
Şekil 4.57. 40 °C sıcaklıkta ZnCl <sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilmiş aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltiden adsorpsiyonu ile ilgili Temkin izotermi.	101
Şekil 4.58. Çeşitli pH' larda ZnCl <sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz	101

kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin izotermleri(25 °C).	
Şekil 4.59. 40 °C sıcaklıkta silikajel üzerinde metil kırmızı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin izotermi.	102
Şekil 4.60. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin izotermleri(25 °C).	103
Şekil 4.61. 40 °C sıcaklıkta ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin izotermi.	104
Şekil 4.62. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin izotermleri(25 °C).	104
Şekil 4.63. 40 °C sıcaklıkta ZnCl <sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin izotermi.	105
Şekil 4.64. Çeşitli pH' larda ZnCl <sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin izotermleri(25 °C).	106
Şekil 4.65. 40 °C sıcaklıkta silikajel üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izotermi.	107
Şekil 4.66. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izotermleri (25 °C).	108
Şekil 4.67. 40 °C sıcaklıkta ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izotermi.	109



Şekil 4.68. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izotermi (25 °C).	109
Şekil 4.69. 40 °C sıcaklıkta ZnCl <sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izoterminin.	110
Şekil 4.70. Çeşitli pH' larda ZnCl <sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izotermi (25 °C).	111
Şekil 4.71. 40 °C sıcaklıkta silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izoterminin.	112
Şekil 4.72. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izotermi (25 °C).	112
Şekil 4.73. 40 °C sıcaklıkta ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izoterminin.	113
Şekil 4.74. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izotermi (25 °C).	114
Şekil 4.75. 40 °C sıcaklıkta ZnCl <sub>2</sub> ile ilgili muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izoterminin.	115
Şekil 4.76. Çeşitli pH' larda ZnCl <sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı	115

çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izotermi (25 °C).

- Şekil 4.77. Silikajelle alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonuyla ilgili  $\ln K_c-1/T$  grafiği. 117
- Şekil 4.78. Ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbonla alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonuyla ilgili  $\ln K_c-1/T$  grafiği. 117
- Şekil 4.79.  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonuyla ilgili  $\ln K_c-1/T$  grafiği. 118
- Şekil 4.80. Silikajelle metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonuyla ilgili  $\ln K_c-1/T$  grafiği. 119
- Şekil 4.81. Ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbonla metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonuyla ilgili  $\ln K_c-1/T$  grafiği. 119
- Şekil 4.82.  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonuyla ilgili  $\ln K_c-1/T$  grafiği. 120

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. Fiziksel ve Kimyasal Adsorpsiyonun Karşılaştırılması	4
Çizelge 1.2. Aktif karbonun gözenek ve yüzey alanı	26
Çizelge 1.3. Tipik bir aktif karbondaki gözenek boyutları.	28
Çizelge 3.1. Killerin katyon değiştirme kapasitesi değerleri	58
Çizelge 4.1. Silikajel, ceviz kabuğu ve $ZnCl_2$ ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde 20 ppm alizarin red S çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili Lagergren yalancı birinci derece denkleminin kinetik parametreleri (25 °C).	64
Çizelge 4.2. Silikajel, ceviz kabuğu ve $ZnCl_2$ ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif kömür üzerinde 20 ppm metil kırmızısı çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili Lagergren yalancı birinci derece denkleminin kinetik parametreleri (25 °C).	66
Çizelge 4.3. Silikajel, ceviz kabuğu ve $ZnCl_2$ ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde 20 ppm alizarin red S çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili yalancı ikinci derece denkleminin kinetik parametreleri (25 °C ).	68
Çizelge 4.4. Silikajel, ceviz kabuğu ve $ZnCl_2$ ile muamele edilmiş ceviz kabuğu üzerinde 20 ppm metil kırmızısı çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili yalancı ikinci derece denkleminin kinetik parametreleri (25 °C).	70
Çizelge 4.5. $R_L$ (dağılma) sabiti değerleri ve izoterm tipleri	70
Çizelge 4.6. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izoterm parametreleri.	72
Çizelge 4.7. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif kömür üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izoterm parametreleri.	73

Çizelge 4.8. Çeşitli pH' larda ZnCl <sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izoterm parametreleri.	75
Çizelge 4.9. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izoterm parametreleri.	76
Çizelge 4.10. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izoterm parametreleri.	78
Çizelge 4.11. Çeşitli pH' larda ZnCl <sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izoterm parametreleri	79
Çizelge 4.12. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich izoterm parametreleri.	81
Çizelge 4.13. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğu üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich izoterm parametreleri.	82
Çizelge 4.14. Çeşitli pH' larda ZnCl <sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbonun üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich izoterm parametreleri.	84
Çizelge 4.15. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich izoterm parametreleri.	85
Çizelge 4.16. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich parametreleri.	87
Çizelge 4.17. Çeşitli pH' larda ZnCl <sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz	88

kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich parametreleri	
Çizelge 4.18.Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin- Kagener- Radushkevich (DKR) parametreleri.	90
Çizelge 4.19. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin-Kagener - Radushkevich (DKR) parametreleri.	91
Çizelge 4.20. Çeşitli pH' larda ZnCl <sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonuyla ilgili Dubinin- Kagener - Radushkevich (DKR) parametreleri.	93
Çizelge 4.21. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin- Kagener - Radushkevich (DKR) parametreleri.	94
Çizelge 4.22. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin- Kagener-Radushkevich (DKR) parametreleri.	96
Çizelge 4.23. Çeşitli pH' larda ZnCl <sub>2</sub> ile muamele edilmiş aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin- Kagener - Radushkevich (DKR) parametreleri.	97
Çizelge 4.24. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin parametreleri.	99
Çizelge 4.25. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin parametreleri.	100
Çizelge 4.26. Çeşitli pH' larda ZnCl <sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilenaktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin parametreleri.	102

Çizelge 4.27. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin parametreleri.	103
Çizelge 4.28. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin parametreleri.	105
Çizelge 4.29.Çeşitli pH' larda $ZnCl_2$ ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin parametreleri.	106
Çizelge 4.30. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izoterm parametreleri.	108
Çizelge 4.31. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izoterm parametreleri.	110
Çizelge 4.32. Çeşitli pH' larda $ZnCl_2$ ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izoterm parametreleri.	111
Çizelge 4.33. Çeşitli pH' larda silikajelle üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izotermi parametreleri.	113
Çizelge 4.34. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izoterm parametreleri.	114
Çizelge 4.35. Çeşitli pH' larda $ZnCl_2$ ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izoterm parametreleri.	116
Çizelge 4.36. Silikajel, ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon ve $ZnCl_2$ ile muamele edilmiş aktif karbon üzerinde alizarin red	118

S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili termodinamik parametreler.

Çizelge 4.37. Silikajel, ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon ve  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili termodinamik parametreler.

120

## SİMGELER DİZİNİ

- $\Delta G^\circ$  Serbest entalpi değişimi (kJ/mol)
- $\Delta H^\circ$  Entalpi değişimi (kJ/mol)
- $\Delta S^\circ$  Entropi değişimi (kJ/mol K)
- $\beta$  Absorbantın bir molü başına adsorpsiyon ortalama serbest enerjisi ile ilgili bir sabit( $\text{mol}^2/\text{J}^2$ )
- $\theta$  Adsorplayıcının örtülü yüzey kesri
- $\varepsilon$  Polonyi potansiyeli (J/mol)
- A Toplam yüzey
- B Adsorplayıcıya bağlı bir sabiti
- $C_0$  Çözeltideki adsorplanan maddenin doğunluk konsantrasyonu (mol/L)
- $C_e$  Adsorplanan maddenin çözeltideki denge konsantrasyonu (mol/L)
- E Ortalama serbest enerji (kJ/mol)
- $E_1$  Adsorpsiyon ısısı
- $E_L$  Yoğunlaşma ısısı
- g Entropi faktörü
- $K_L$  Adsorpsiyon denge sabiti (L/mol)
- $k_f$  Freundlich izotermi sabiti (mol/g)
- n Freundlich izotermi sabiti (birimsiz)
- $q_e$  Denge de adsorplayıcı yüzeyinde tutunan madde miktarı (mol/g)
- $q_m$  Tek tabaka kapasitesi ya da doğunluk kapasitesi (mol/g)
- P Adsorpsiyon denge basıncını



- R Gaz sabiti (8.314 J/mol K)
- $R_L$  Ayırma faktörü veya denge ile ilgili parametre
- T Mutlak sıcaklık (Kelvin)
- V Adsorplayıcının birim kütlesinde adsorplanmış gazın (N.Ş.A.) hacmini
- $V_{mi}$  Özgül mikrogözenek hacmini

## 1. GİRİŞ

Tekstil endüstrisinde kullanılan boyar madde ve yardımcı kimyasallardan pek çoğu atıksu arıtım tesislerinde işlem boyunca değişmeden kalırlar. Boyar maddeler kısmi olarak parçalandıklarında bile oluşan ürünler daha toksik olabilir. Kumaş boyama işlemleri tekstil endüstrisinin atıksularının ana kaynağını oluşturmaktadır. Bu atıksular yüksek renk, askıda katı madde ve çözülmüş organikler içermektedir. Boya dışındaki kirleticilerin çoğu kimyasal ve fiziksel metotlarla giderilebilmektedir (Chern ve Huang, 1998; Al-Degs, ve ark, 2000; Yoo ve ark, 2001). Son birkaç yıldan bu yana tekstil atıksularının arıtılmasına sadece toksik özelliğinden dolayı değil aynı zamanda bulanıklık gibi özelliklerinden dolayı büyük önem verilmektedir (ICI Watercare, 1991).

İçinde farklı organik ve inorganik bazlı kimyasal ve boyar maddelerin bulunması nedeniyle tekstil atıksularının arıtılması zor ve pahalıdır. Boyanacak tekstil ürünlerinin özelliğine bağlı olarak farklı tipte boyar maddeler kullanılmaktadır. Asidik, bazik, dispers, azo, pigment, reaktif, vb. olarak sınıflandırılan bu maddeler farklı kimyasal yapıya sahiptirler (Işık ve ark., 2001). Boyar maddelerdeki yapısal farklılık bu maddelerin giderimini zorlaştırmakta ve çoğu zaman farklı arıtma yöntemlerinin aynı süreçte uygulanmasını zorunlu kılmaktadır (Correia ve ark., 1994). Adsorpsiyon hızla özellikle organik içerikli atıksuların giderilmesinde, önemli bir metod haline gelmekte ve endüstriyel proseslerde ayırma ve arıtma amacıyla kullanılmaktadır.

Endüstriyel atıksulardaki renkli ve renksiz organik kirleticilerin giderilmesinde uygun adsorbanların kullanılması adsorpsiyon prosesinin önemli bir uygulaması olarak dikkat çekmektedir (Al-Qudah, 2000). Aktif karbon ve reçineler konsantre atıksulardan kimyasal atıkların giderilmesinde en iyi adsorban olarak ortaya çıkmasına rağmen pahalı ve geri yıkama ihtiyacı gibi dezavantajları da mevcuttur (McKay, 1981; McKay, 1982; Blum ve ark., 1993; Meshko ve ark., 2001). Bununla birlikte araştırmacılar daha ekonomik adsorbanlarla da çalışmalar yapmıştır. Şeker kamışı/vinyl sülfon ve klorotriazine reaktif boyalar (Juang ve ark., 1997), doğal kil/bazik ve asidik boyalar (El-Geundi,

1991), ay çiçeği/ bazik boyalar (Sun ve 13Xu, 1997), sepiyolit/Rhodamine (Arbeloa ve ark., 1997), uçucu kül/azo boya (Al- Qudah, 2000), montmorillonit ve sepiyolit/ metilgreen (Rytwo ve ark., 2000), doğal zeolit/ bazik boya (Meshko ve ark., 2001) yapılan çalışmalardan bazılarıdır. Bunların yanında atık portakal kabuğu (Namasivayam ve ark., 1996), mısır koçanı (Nassar ve El-Geundi, 1991), hurma salkımı (Nassar ve ark., 1995; Nassar, 1999), ve sucul bitkiler (Low ve ark., 1993) atıksulardan çeşitli boyaların giderimi için kullanılan adsorbanlardır.

Sucul bitkilerin canlı veya cansız, boyar maddeleri ve ağır metalleri adsorpladığı uzun zamandır bilinmekte ve bundan dolayı da son yıllarda sucul bitkilerin bu tür kirleticilerin uzaklaştırılmasında biosorbent olarak kullanımı önem kazanmış durumdadır. Bu çalışmada, aktif kömür ve silikajel adsorban olarak kullanım olanağı araştırılmıştır.

## **1.1.Adsorpsiyon**

Adsorpsiyon, iki faz arasındaki yüzeyde veya ara yüzeyde belirli bileşenlerin tutunduğu proses olarak tanımlanır. Bu fazlar, sıvı-sıvı, sıvı-katı, gaz-sıvı, gaz-katı olabilir. Adsorplayıcı faz, adsorban olarak adlandırılırken, adsorplanan faz ise adsorbat olarak adlandırılmaktadır (Noll ve ark., 1992).

Katı yüzeyinde gerçekleşen adsorpsiyon, hem sıvı hem de gaz ortamlardaki kirleticileri giderebilmeleri bakımından büyük bir çevresel öneme sahiptirler. Yüksek oranda saflaştırma sağlamasından dolayı adsorpsiyon prosesi arıtımın en son basamağında sıklıkla kullanılmaktadır.

### **1.1.1. Adsorpsiyonun oluşum mekanizması**

Adsorpsiyon, katı yüzeyi ile çözücüde çözülmüş gaz ya da çözünen maddenin teması ile gerçekleşmektedir. Katı yüzeyinde bulunan bir atom veya molekül dengelenmemiş kuvvetlerin etkisi altında bulunmaktadır. Molekülü içe çeken kuvvet

dışa çeken kuvvetten daha büyük olmaktadır. Bu nedenle molekülü aşağı doğru çeken kuvvet yüzeyi küçültme eğilimi göstermektedir. Çözücüde çözülmüş veya gaz halindeki moleküller katı yüzeyindeki atomların doyurulmamış kuvvetleri tarafından katı yüzeyine doğru çekilmektedir ve böylece dengelenmemiş yüzey kuvvetleri gaz veya çözülmüş moleküller tarafından dengelenmektedir. Yani katı maddenin yüzey gerilimi gaz moleküllerinin adsorpsiyonu ile küçültülmüş olmaktadır. Bu olay sistemin yüzey enerjisini azaltmaktadır. Yüzey enerjisini azaltma kendiliğinden gerçekleşen bir olaydır. Adsorpsiyon olayı ile sistemin serbest enerjisinde bir azalma olmaktadır dolayısıyla adsorpsiyon kendiliğinden olan bir olaydır (Özer, 2004).

### **1.1.2. Adsorpsiyon türleri**

Adsorpsiyonun temel mekanizması ayrılacak maddenin katıya duyduğu ilgiye bağlıdır. Sulu sistemlerde her iki özelliğin bir kombinasyonu önem taşır. Bu özellikleri etkileyen tüm faktörler, bu arada çözünürlük adsorpsiyon için önem taşır. Bir sıvı katı sistemde çözülmüş katı faz yüzeyine adsorpsiyon sırasında, katı ve sıvı fazdaki maddelerin derişimleri arasındaki oran adsorpsiyon verimi açısından önem taşır.

Adsorpsiyon, fiziksel, kimyasal ve iyonik adsorpsiyon olmak üzere üçe ayrılır;

#### **1.1.2.1. Fiziksel adsorpsiyon**

Adsorplanan madde ve katı molekülleri arasında moleküller arası çekim kuvvetlerinin sonucu kendiliğinden oluşan bir olaydır. Fiziksel adsorpsiyonun oluşabilmesi için düşük sıcaklık aralığı yeterlidir. Van der Waals kuvvetleri adsorplanan madde ile adsorplayıcı arasındaki bağı sağlar ve bu bağlar zayıf ve tersinirdir. Adsorpsiyon çok tabakalı ve adsorbanın geri kazanımı kolaydır. Adsorpsiyonun aktivasyon enerjisi düşüktür (2-5 MJ/mol).

### 1.1.2.2. Kimyasal adsorpsiyon

Adsorplayan ve adsorplanan madde arasında kimyasal bağlanma olur. Kimyasal bağın uzunluğu değişebilir ve genel anlamda bilinen kimyasal bileşenler oluşmayabilir. Kimyasal adsorpsiyondaki yapışma kuvveti fiziksel adsorpsiyondan daha büyüktür. Adsorpsiyon tek tabakalı ve tersinmezdir. Adsorplanan maddenin desorpsiyonunda bir değişim geçirdiği düşünülmektedir. Adsorpsiyon sırasında açığa çıkan ısı kimyasal reaksiyon ısı düzeyindedir ve aktivasyon enerjisi büyüktür (10-50 MJ/mol). Bu nedenle yüksek sıcaklıklarda kimyasal adsorpsiyon daha hızlı gerçekleşir.

Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon arasındaki farklar Çizelge 1.1.'de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Fiziksel ve Kimyasal Adsorpsiyonun Karşılaştırılması (Özer, 2004)

<b>Parametre Kimyasal</b>	<b>Fiziksel Adsorpsiyon</b>	<b>Adsorpsiyon</b>
Adsorban	Bütün Katılar	Bazı Katılar
Adsorbat	Kritik Sıcaklığın Altındaki Bütün Gazlar	Kimyasal Olarak Reaktif Bazı Gazlar
Sıcaklık Aralığı	Düşük Sıcaklıklar	Yüksek Sıcaklıklar
Adsorpsiyon Isısı	Düşük	Yüksek
Aktivasyon Enerjisi	Düşük	Non-aktif : Düşük Aktifleşmiş:Yüksek
Yüzey Örtme	Çok Tabakalı	Tek Tabakalı
Tersinirlik	Yüksek Oranda Tersinir	Sıcaklıkla Tersinmez
Önemi	Gözenek Boyutu ve Yüzey Alanı Tayini	Aktif Merkez Alan Tayini Yüzey Reaksiyon Kinetiklerinin Tanımlanması

### 1.1.2.3. İyonik adsorpsiyon

Seçimli olarak bir iyonun katı yüzeyine tutulmasında elektrostatik çekim kuvvetlerinin etken olması ile açıklanır. Belirli katılar ve elektrolit bir çözelti arasındaki

iyonların tersinir değişimine iyon değişimi adı verilir. İyon değişimi olayı adsorpsiyondan daha kompleks olsa da, genel teknikler ve elde edilen sonuçlar çok benzerdir (Noll ve ark., 1992; Weber, 1972).

### **1.1.3. Adsorpsiyonu etkileyen faktörler**

Adsorpsiyonu etkileyen faktörler alt başlıklar halinde verilmiştir (Özer, 1994).

#### **1.1.3.1. pH**

Ortamın pH'sı birkaç nedenden dolayı adsorpsiyonun büyüklüğünü etkileyebilir; Hidronyum ( $H_3O^+$ ) ve Hidroksit ( $OH^-$ ) iyonları kuvvetle adsorplandıklarından, diğer iyonların adsorpsiyonu çözeltinin pH'sından etkilenir. Ayrıca asidik ve bazik bileşiklerin iyonlaşma derecesi, adsorpsiyonu etkiler. Genellikle sulu çözeltilerden organik elektrolitlerin adsorpsiyonunun pH azaldıkça arttığı bilinmektedir.

#### **1.1.3.2. Sıcaklık**

Adsorpsiyon işlemi genelde ekzotermiktir ve azalan sıcaklık ile adsorpsiyon kapasitesi artar. Genellikle açığa çıkan ısı miktarları fiziksel adsorpsiyonda yoğunlaşma veya kristallenme enerjisi mertebesinde, kimyasal adsorpsiyonda ise kimyasal reaksiyon enerjisi mertebesinde olduğu bilinmektedir.

#### **1.1.3.3. Adsorban özellikleri**

Adsorpsiyonun büyüklüğü, toplam yüzey alanının adsorpsiyon için uygun olan kısım olarak tanımlanan özgül yüzey alanı ile orantılıdır. Gözenekli veya parçacıklı bir

yapının sonucu olarak tanımlanan özgül yüzey alanı ile orantılıdır. Gözenekli veya parçacıklı bir yapının sonucu olarak adsorbanın geniş bir yüzey alanına sahip olması tercih edilir.

#### **1.1.3.4. Adsorbat ve çözücü özellikleri**

Genellikle hidrofobik (suda az çözünebilen) yapıdaki adsorbanlarda, çözünenin sudaki çözünürlüğü ile adsorpsiyon arasında ters ilişki vardır. Çözünürlük arttıkça çözücü-çözünen bağı kuvvetlenir, adsorpsiyon derecesi düşer. İnorganik bileşikler hidrofilik (suda çözünebilen) yapılarından dolayı az adsorplanır, hidrofobik maddeler tercihi olarak adsorplanır.

#### **1.1.3.5. Polarite**

Adsorpsiyonda polaritenin etkisini açıklayan genel kural polar bir çözünenin daha polar olan bir adsorbani tercih edeceğidir. Yani, polar maddeler polar olmayan bir çözücüden daha çok adsorplanacaktır.

#### **1.1.3.6. Adsorban maddeler**

Su arıtımında adsorpsiyon teknikleri için çeşitli kimyasal maddeler kullanılmaktadır. Silikajel, gözenek boyutları büyük reçineler; bazik gözenek boyutları büyük iyon değiştirici reçineler, aktif silika ve aktif karbon en çok bilinen adsorban maddelerdir.

Boksit (Hidratlaşmış  $Al_2O_3$ ); petrol fraksiyonlarının süzülmesinde, özellikle gazların dehidratasyonunda kullanılmaktadır. Hidrate alüminanın doğal olarak oluşan formunda sıcaklığın 230 0C'den 815 0C'ye çıkartılmasıyla adsorpsiyon kapasitesi artmaktadır. Ayrıca petrol ürünlerinin ve kurutma gazlarının renk gideriminde

kullanılmaktadır.

Aktifleştirilmiş killeri; bentonit ve diğeri killerdir. Asitle ( $H_2SO_4$  veya  $HCl$ ) ile aktifleştirilmedikleri zaman adsorplayıcı özellikleri yoktur.  $H_2SO_4$  veya  $HCl$  ile aktifleştirildikten sonra yıkanır, kurutulur ve ince toz halinde bir yapı kazanarak özellikle petrol ürünlerinin renk gideriminde kullanılır.

Alümina; sert bir yapıya sahiptir. Aktifleştirilen Hidrate Alüminyum Oksitini, yapısındaki nemin ısıtılarak uzaklaştırılması ile oluşmaktadır. Gözenekli yapılu ürünü granüler veya toz halinde kullanılmaktadır.

Kemik kömürü; 600-900  $^{\circ}C$ 'de kurutulmuş kömürden elde edilmektedir. Şekerin arıtılmasında, çözümlerden külün giderilmesinde kullanılmaktadır.

Renk gidericiler; organik veya anorganik maddelerin giderilmesinde, saflaştırılmasında, şeker, bitkisel ve hayvansal yağların saflaştırılmasında kullanılmaktadır.

Gaz adsorban karbon; hindistan cevizi kabukları, meyve kabukları, kömür, linyit ve odunun karbonizasyonu ile elde edilmektedir. Sıcak hava veya alum ile işleme tabi tutularak kısmi oksidasyon prosesi ile aktifleştirilmek zorundadır. Granül veya pelet formunda kullanılmaktadır. Gaz karışımlarından çözücü buharlarının geri kazanımı, endüstriyel kokuların,  $CO_2$  ve diğeri endüstriyel gazların giderilmesinde, gaz maskelerinde ve hidrokarbonların fraksiyonlandırılmasında kullanılmaktadır.

Moleküler aktif karbon; özel olarak yapılmaktadır. 5-5,5 A0'luk (A0=10-10m) açık gözenekli yapıdadır. Bu gözenekler parafin hidrokarbonları geçirebilir fakat büyük molekül çaplı izoparafinleri geçirmemektedir. Asetilen bileşenleri, alkoller, organik asitler, ketonlar, aldehidleri ayırmada kullanılmaktadır.

Sentetik polimerik adsorbanlar (reçineler); 0,5 mm çapında gözenekli küresel taneciklerdir. Her bir tanecik 10-4 mm çapındaki mikro küreciklerin bir araya gelmesi ile oluşmaktadır (Özer, 2004).

Silikajel; sodyum silikat çözeltisinin asitle işlenmesi ile çöktürülen jelden elde edilen çok gözenekli, sert ve granüler bir maddedir. Hava ve diğeri gazların dehidratasyonunda, hidrokarbonların fraksiyonlanmasında kullanılmaktadır.

Moleküler elekler; gözenekli, sentetik zeolit kristalleri, gümüş alümina silikatlarıdır. Uniform gözenekli oldukları ve diğeri adsorbanlardan farklıdır. Farklı



zeolitler, 3-10 A0 por boyutuna sahiptirler. Zeolitler, kurutma, hidrokarbonların ayrılması ve bir çok uygulamalarda kullanılmaktadır.

Aktifleştirilmiş karbon; odun, meyve kabukları ve kömürün termal bozundurulması ile elde edilen mikrokristalin yapısında bir maddedir. Ortalama gözenek çapı, 10-60 A0 yüzey alanı 300-1200 m<sup>2</sup>/g'dır. Organik maddelerin adsorpsiyonunda kullanılmaktadır (Özer, 2004).

### **Adsorban madde olarak silikajel ve özellikleri**

Endüstride birçok kurutma operasyonunda adsorbent olarak silika jeller kullanılmaktadır. Uzun kullanım ömrü, ucuz oluşu, yüksek aşınma direnci ve düşük rejenarasyon enerjisi ihtiyacı silika jelin en önemli avantajlarındanır.

**Beyaz Silikajel** en yaygın kullanılan ve en ekonomik silika jel tipidir. Yapısı 1-3 mm ve 3-5 mm boyutlarında boncuk şeklindedir.

### **Asorban madde olarak aktif karbon ve özellikleri**

Aktif karbonlar, yüksek gözenekliliğe ve iyi bir adsorban olması özellikleri ile endüstride ve günlük hayatımızda, çevre kirliliğini kontrol, ağartma, koku giderme gibi çeşitli amaçlarla sıklıkla kullanılırlar. Ticari olarak aktif karbonlar, odun, turba, linyit, kömür, mangal kömürü, kemik, hindistan cevizi kabuğu, pirinç kabuğu, fındık kabuğu ve yağ ürünlerinden elde edilen karbonların çeşitli işlemlerden geçirilerek aktive edilmesiyle elde edilirler.

#### 1.1.4. Adsorpsiyonun kullanıldığı prosesler

Yüksek oranda saflaştırma sağlamasından dolayı adsorpsiyon prosesi arıtımın en son basamağında sıklıkla kullanılmaktadır (Noll ve ark., 1992). Adsorpsiyonun kullanıldığı prosesler, aşağıda maddeler halinde verilmiştir (Özer, 2004).

- Gazların gazlardan ayrılması,
- Buharların gazlardan ayrılması,
- Sıvıların renginin giderilmesi ve saydamlaştırılması,
- Suyun sertliğinin giderilmesi,
- Sıvılarda çözülmüş gazların ve kolloidal taneciklerin ayrılması,
- Tıpta sıvılarda çözülmüş olan zehirli maddelerin ayrılması,
- Fraksiyonlama işlemlerinde kullanılır.

#### Adsorpsiyon prensipleri

Adsorpsiyon iki faz arasındaki yüzey ve ara yüzeyde belirli bir bileşenin konsantrasyonundaki artış olarak tanımlanabilen bir yüzey olayıdır. Herhangi bir katı veya sıvıda yüzeydeki atomlar, yüzey düzlemine normal dengersiz çekim kuvvetlerine tabidir. Adsorpsiyon temelleri tartışılırken, yalnız bağıl olarak zayıf moleküler arası kuvvetler gerektiren fiziksel adsorpsiyon ve esas itibarıyla adsorplanan molekül ve adsorplayıcı yüzeyi arasında kimyasal bir bağ oluşumunu gerektiren kimyasal adsorpsiyon arasında ayırım yapmak yararlıdır. Bu fark kavramsal olarak yararlı ise de, çoğu durumlarda bu iki olay birlikte gerçekleşir ve belirli bir sistemi açık bir biçimde sınıflandırmak her zaman mümkün değildir.

3 Fiziksel adsorpsiyon aşağıdaki kriterlerden birine veya daha fazlasına göre kimyasal adsorpsiyondan ayırt edilebilir (Levine, 1995):

1. Fiziksel adsorpsiyon elektronların paylaşımını ve transferini gerektirmez ve böylece etkileşen türlerin özelliği korunur. Etkileşmeler tamamen tersinirdir, aynı sıcaklıkta desorpsiyon gerçekleşebilir, ancak bu işlem difüzyon etkileri sebebiyle yavaş olabilir. Kimyasal adsorpsiyon kimyasal bağlanmayı gerektirir ve tersinmezdir.

2. Fiziksel adsorpsiyonda yer spesifik değildir; adsorplanan moleküller bütün yüzeyi kaplamada serbesttirler. Bu, katı adsorplayıcıların yüzey alanı ölçümlerini mümkün kılar. Aksine, kimyasal adsorpsiyonda yer spesifiktir, kemisorplanmış moleküller belirli yerlerde sabittirler.

3. Fiziksel adsorpsiyonun ısısı kimyasal adsorpsiyon ısısına göre düşüktür; bununla birlikte, adsorpsiyon ısısı kesin bir kriter değildir. Fiziksel adsorpsiyonun üst sınırı çok dar gözenekli adsorplayıcılar üzerindeki adsorpsiyon için 20 kcal/mol kadar olabilir. Kimyasal adsorpsiyon ısısı 100 kcal/mol' den daha büyük olabilir. Bundan dolayı, yalnız çok yüksek veya çok düşük adsorpsiyon ısıları bu tip adsorpsiyon işlemi için bir kriter olarak kullanılabilir.

Kimyasal adsorpsiyon başlıca kimyasal bağların değerine yaklaşan, yüksek adsorpsiyon ısılarına götüren, büyük etkileşim potansiyelleri ile karakterize edilir. Bu gerçek, diğer spektroskopik, elektron spin rezonans ve magnetik duyarlık ölçümleri ile birleştirilmiş, kimyasal adsorpsiyonun elektronların transferini, adsorplanan ve katı yüzeyi arasında gerçek kimyasal bağlanmanın oluşumunu gerektirdiğini doğrulamaktadır. Çünkü kimyasal adsorpsiyon kimyasal bağlanmayı gerektirir, çoğu kez yüksek sıcaklıklarda meydana gelir ve genellikle aktivasyon enerjisi ile ilişkilidir. Ayrıca, adsorplanmış moleküller, belirli yerlerde yerleşmişlerdir ve bundan dolayı, yüzeyin her tarafına dağılmada serbest değillerdir.

### 1.1.5. Adsorpsiyon termodinamiği

Adsorpsiyonda adsorplanan, birikim ile daha düzenli hale geçtiği için entropi azalır.

Adsorpsiyonun kendiliğinden olabilmesi için...

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ \quad (1.1)$$

$\Delta G^\circ$ : Serbest entalpi değişimi (kJ/mol)

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

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

Belirli bir sıcaklıkta yapılan adsorpsiyon işleminin Gibbs serbest enerjisini bulmak için:

$$\Delta G^{\circ} = -RT \ln K_L \quad (1.2)$$

Eşitliğinden faydalanılır.

T: Mutlak sıcaklık (Kelvin)

R: Gaz sabiti (8.314 J/mol K)

$K_L$ : Adsorpsiyon denge sabiti (adsorpsiyon enerjisi ile ilgili)

$$\ln K_L = -\frac{\Delta G^{\circ}}{RT} = -\frac{\Delta H^{\circ}}{RT} + \frac{\Delta S^{\circ}}{R} \quad (1.3)$$

$\Delta H^{\circ}$ 'ın pozitif değerleri adsorpsiyonun endotermik,  $\Delta G^{\circ}$ 'nin negatif değerleri adsorpsiyonun kendiliğinden olduğunu göstermektedir. Diğer bir deyişle adsorpsiyon işleminin uygulanabilirliği entalpi ve Gibbs serbest enerjisinin negatif olması ile anlaşılabilir.

### 1.1.6. Adsorplayıcılarda gözeneklilik

**Gözeneklilik** 1 g katı içindeki boşlukların toplam hacminin adsorplananın görünür hacmine oranına denir. Gözenek hacmi ve gözeneklilik değişik yöntemlerle belirlenebilmektedir. Bu yöntemlerden bazıları; sıvı ile doyurma yöntemi, He-Hg yöntemi, Dubinin hacim dolma kuramı, kaynama noktası yükselmesi yöntemi, donma noktası düşmesi yöntemi ve kılcal yoğunlaşma yöntemi olarak sıralanabilir (Grangusit ve Amero, 1948).

Adsorplayıcılar içindeki boşluklara gözenek denir. Moleküler elek adı verilen sentetik zeolitlerde gözenek büyüklükleri birbirine çok yakındır. Fakat çeşitli adsorplayıcılarda gözenekler farklı boyutlara sahiptirler. Sınırlar kesin olmamakla beraber boyutlarına göre gözenekler üçe ayrılır:

1.Mikro (çok küçük) gözenekler: Bunların yarıçapları 15 Å'dan daha küçüktür. Bu tür gözenekleri içeren adsorplayıcılarda adsorpsiyon bir tabaka oluşumu şeklinde değil bir hacim doldurma şeklindedir.

2.Yarı mikro (küçük) gözenekler: Bu gözeneklerin yarıçapı 15-150 Å arasındadır. Bu adsorplayıcılarda gözeneklerin iç yüzeyleri önce tek tabaka sonra çok tabakalı olarak kaplanır. Sonra da küçük gözeneklerden büyüklere doğru kılcak yoğunlaşma olur. 3. Makro (büyük) gözenekler: Yarıçapları 150 Å'dan büyük olan gözeneklerdir. Yalnız bu tür gözenekleri içeren adsorplayıcıların yüzey alanları çok küçüktür.

### 1.1.7. Adsorpsiyon kinetiği

Katı-sıvı faz sistemlerinde gerçekleştirilen adsorpsiyon proseslerinde katı faz konsantrasyonuna dayandırılan 1. mertebeden adsorpsiyon hız ifadesi ilk olarak Lagergren tarafından türetilmiştir. Katı faz konsantrasyonu esas alınarak adsorpsiyon proses için Lagergren pseude birinci mertebeden hız ifadesi aşağıdaki şekilde yazılmaktadır.

$$\log(q_e - q_t) = \log q_m - \frac{k_1 t}{2,303} \quad (1.4)$$

$q_e$ : Denge meydana geldiği zaman adsorbe edilen madde miktarı (mg/g)

$q_t$ : t zamanında birim adsorban üzerine adsorplanan adsorbat miktarı (mg/g)

t: zaman (dakika)

$k_1$  : Lagergren adsorpsiyon hız sabiti (dakika<sup>-1</sup>)

pseude ikinci mertebeden hız ifadesine de uygulanmıştır. İkinci mertebeden hız ifadesi

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t \quad (1.5)$$

şeklinde yazılabilir.

$k_2$ : Pseude ikinci dereceden adsorpsiyon hız sabiti (g/mg.dakika)

$q_e$  : Denge meydana geldiği zaman adsorbe edilen madde miktarı (mg/g)

$q_t$  : Herhangi bir zamandaki adsorbe edilmiş olan madde miktarı (mg/g)

t: zaman (dakika)

### 1.1.8. Adsorpsiyon izotermi ve denklemleri

Adsorpsiyon işlemini daha etkin ve az maliyetli bir hale getirmek için birçok araştırmacı ucuz ve yenilenebilir adsorbanlar bulmaya çalışmaktadırlar. Maliyet azalımı ve etkinlik için öngörülen yollardan biri adsorpsiyonun doğasının anlaşılmasıdır (Ho ve McKay,1999).

Adsorpsiyon, adsorban yüzeyinde biriken madde konsantrasyonu ve çözeltide kalan madde konsantrasyonu arasında bir denge oluşuncaya kadar devam eder. Gazlar için konsantrasyon genellikle mol yüzdesi veya kısmi basınç olarak verilir. Çözeltiler içinse konsantrasyon kütle birimleri olarak verilir (mg/l, ppm v.s.).

Matematiksel olarak bu denge, adsorpsiyon izotermi ile açıklanmaktadır. Zaman içerisinde Jaeger ve Erdös tarafından oluşturulan genel bir formülden yola çıkarak birçok araştırmacı, farklı izoterm denklemleri ortaya koymuşlardır. En genel kullanım izotermi Freundlich ve Langmuir denklemleridir (Ng ve ark., 2003; Aksu ve ark., 1999).

#### a) Freundlich izotermi

Freundlich eşitliği orta basınç veya konsantrasyon aralığında geçerli olan bir denklemdir. Yüksek basınç ve konsantrasyonlarda yanlış sonuçlar veren bu denklem

$$V=k.P^n \quad (1.6)$$

bağıntısı ile verilir. Burada; V, adsorplayıcının birim kütlesinde adsorplanmış gazın (N.Ş.A.) hacmini; P, adsorpsiyon denge basıncını; k ve n sabitleri göstermektedir. Düşük sıcaklıklarda n sabiti 1'e yaklaşır. Bu durumda adsorplanan miktar denge basıncıyla orantılı olarak artar. Yüksek sıcaklıklarda ise n değeri 1'den küçük olduğundan adsorplananın miktarının artışı basıncın artışından daha küçük hızla olur.

Freundlich denkleminin doğrusal hali,

$$\log V = \log k + n \cdot \log P \quad (1.7)$$

şeklinde yazılır. Bu denklemde  $\log V$ - $\log P$  doğrusunun eğiminden  $n$  ve kaymadan da  $\log k$  bulunur.

Freundlich eşitliğinin çözeltilere uygulanması ise aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$q_e = k_f C_e^n \quad (1.8)$$

Burada;

$q_e$ : Denge de adsorplayıcı yüzeyinde tutunan madde miktarı (mol/g)

$C_e$ : Adsorplanan maddenin çözeltideki denge konsantrasyonu (mol/L)

$k_f$ : Freundlich izotermi sabiti (mol/L)

$n$ : Freundlich izotermi sabiti (birimsiz)

göstermektedir.

Freundlich denkleminin her iki tarafının  $\ln$  alınır;

$$\ln(q_e) = \ln(k_f) + (1/n) \ln C_e \quad (1.9)$$

Böylece,  $\ln(q_e)$ ' e karşı  $\ln C_e$  grafiğe çizildiğinde, bir doğru elde ediliyorsa adsorpsiyon Freundlich izotermine uyuyor demektir. Burada  $n$  ve  $k_f$  sabitleri doğrunun eğimi ve eksenin kesim noktalarından belirlenir.

## **b) Langmuir izotermi**

Langmuir izoterm için yapılan kabuller aşağıda verilmiştir:

1. Yüzeyde adsorplanan moleküller tek tabaka halinde adsorplanırlar, adsorpsiyon monomolekülerdir.
2. Adsorpsiyonda yüzeyin her tarafı örtülmez, yer yer örtülmeler olur.
3. Yüzeyin her tarafında adsorpsiyon enerjisi aynıdır.
4. Yüzeyde tutunan moleküller arasında etkileşme yoktur.

Bu varsayımlardan yola çıkarak Langmuir adsorpsiyon denklemi şu şekilde açıklanır.

(Sarıkaya ve Aybar, 1978; Langmuir, 1961; 1917). Adsorplayıcının örtülü yüzey kesri  $\theta$ , örtülmemiş yüzey kesri  $(1 - \theta)$  ve toplam yüzey  $A$  ise;

$$\text{Adsorpsiyon hızı} = k_1 \cdot (1 - \theta) \cdot A \cdot P$$

$$\text{Desorpsiyon hızı} = k_2 \cdot \theta \cdot A$$

şeklindedir. Adsorpsiyon dengesi kurulduğunda bu iki hızın birbirine eşit olduğundan

$$k_1 \cdot (1 - \theta) \cdot A \cdot P = k_2 \cdot \theta \cdot A$$

şeklinde yazılır ve buradan örtülü yüzey kesri bulunur.

$$\theta = \frac{k_1 \cdot P}{k_2 + k_1 \cdot P} \quad (1.10)$$

Eğer  $k_1/k_2 = k$  şeklinde alırsak

$$\theta = \frac{k \cdot P}{1 + k \cdot P} \quad (1.11)$$

bağıntısı elde edilir. Adsorplayıcının örtülü yüzey kesri,  $\theta$  ve birim kütlede katı yüzeyinin monomoleküler olarak örtülmesi için gerekli gazın hacmi,  $V_m$  ise birim kütlede adsorplanan gazın toplam hacmi;

$$V = V_m \cdot \theta = \frac{V_m \cdot k \cdot P}{1 + k \cdot P} \quad (1.12)$$

şeklinde yazılır. Buna Langmuir adsorpsiyon denklemi denir. Langmuir adsorpsiyon izotermi  $\theta = 1$  olduğu zaman adsorplanan gaz hacmi  $V = V_m$  olur (Eggers ve ark., 1964). (1.10) denkleminde bunun sağlanması ancak yüksek basınçlarda söz konusudur. Yüksek basınçlarda  $k \cdot P$  yanında 1 sayısı ihmal edilirse  $V = V_m$  olur ki bu da sabittir. Çok düşük basınçlarda 1 sayısı yanında  $k \cdot P$  değeri ihmal edilirse (1.10) denklemi

$$V = V_m \cdot k \cdot P \quad (1.13)$$

şekline dönüşür. Burada  $V_m \cdot k$  sabittir. (1.10) denkleminin her iki tarafı  $P$ ' ye bölünürse Langmuir denklemi

$$V/P = \frac{V_m \cdot k}{1 + k \cdot P}$$

veya

$$P/V = \frac{1}{V_m \cdot k} + \frac{1}{V_m} \cdot P \quad (1.14)$$

şeklinde olur.  $P$ ' ye karşı  $P/V$  grafiğe geçirilirse elde edilen doğrunun eğiminden  $V_m$ , kaymadan  $k$  bulunur.  $V_m$  sıcaklığa bağlı değildir. Fakat  $k$  sıcaklığa bağlıdır. Çünkü  $k = g \exp(\Delta H/RT)$ ' dir. Burada;  $g$ , entropi faktörü;  $\Delta H$ , adsorpsiyon entalpisi;  $R$ , ideal gaz sabiti ve  $T$ , mutlak sıcaklıktır. Langmuir denklemi basit kabuller üzerine kurulmuştur. Aslında katı yüzeyleri tek düze olmayan bir yapıya sahiptirler. Adsorpsiyonda önce en aktif merkezlerde adsorplama olur ve bu yüzden  $\Delta H$  büyüktür. Yüzey örtüldükçe daha az aktif merkezlerde adsorplama başlar ve adsorpsiyon daha az ekzotermik olur. Buna karşın çok sayıda deneysel adsorpsiyon izotermi Langmuir denklemine uymaktadır.



Langmuir izoterminin çözeltilerde uygulaması aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$q_e = \frac{K_L q_m C_e}{1 + K_L C_e} \quad (1.15)$$

Burada;

$K_L$ : Adsorpsiyon denge sabiti

$q_m$ : Tek tabaka kapasitesi ya da doyum kapasitesi (mol/g)

$C_e$ : Adsorpsiyon tamamlandıktan sonra çözeltide kalan madde konsantrasyonu (mol/L)

$q_e$  : Denge adsorpsiyon yüzeyinde tutunan madde miktarı (mol/g)

göstermektedir. Yukarıdaki eşitlik şu şekilde düzenlenebilir;

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1 + K_L C_e}{K_L q_m C_e} \quad (1.16)$$

veya

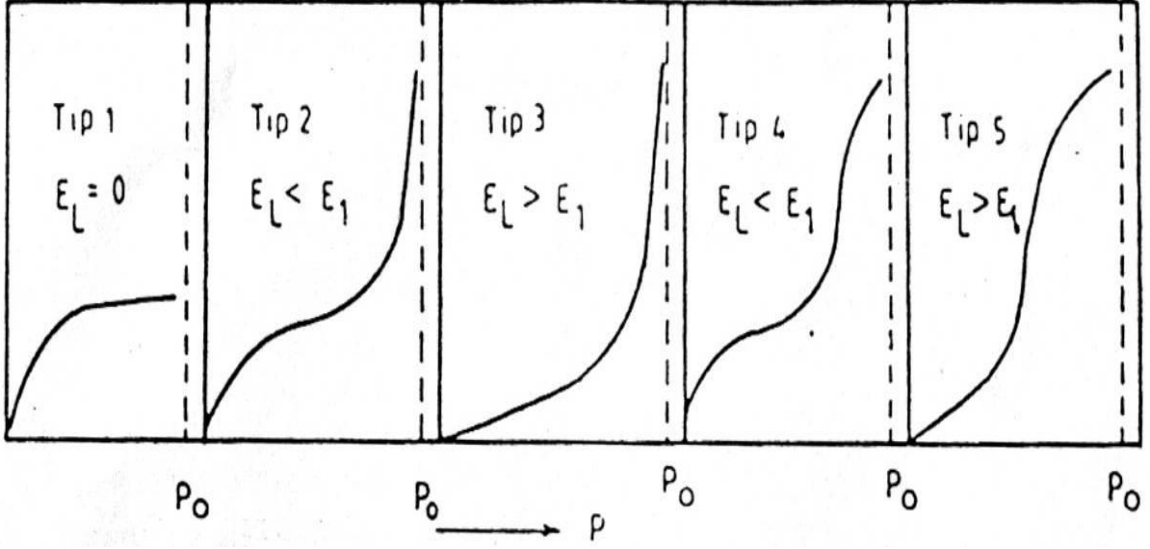
$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{K_L q_m C_e} \quad (1.17)$$

Sonuç olarak,  $1/q_e - 1/C_e$  grafiği çizildiğinde bir doğru elde ediliyorsa, adsorpsiyon olayı Langmuir izotermine uyuyor anlamına gelir.  $K_L$  ve  $q_m$  sabitleri sırasıyla doğrunun eğimi ve eksen kesim noktasından yararlanarak hesaplanır.  $K_L$  sabitinden yararlanarak,  $R_L$  ayırma faktörü veya denge ile ilgili parametre  $R_L = 1 / (1 + K_L C_0)$  formülü ile hesaplanabilir.

### c) Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izotermi

Fiziksel adsorpsiyon genellikle çok tabakalı olur. Adsorpsiyon yüzeyi ile adsorplananın molekülleri arasındaki etkileşmeye bağlı olarak Şekil 1.1' de görüldüğü gibi beş çeşit adsorpsiyon izotermine rastlanmaktadır (Girifiths ve Thomas, 1978; Brunauer ve ark., 1938).

Burada;  $E_1$ , birinci tabaka için adsorpsiyon ısısı,  $E_L$ , adsorplananın yoğunlaşma ısısını,  $P_0$  ise adsorplananın doyum buhar basıncını göstermektedir.



Şekil 1.1. Adsorpsiyon izoterm tipleri.

Tip 1 izotermi tek tabakalı fiziksel veya kimyasal adsorpsiyonu göstermektedir. Yoğunlaşma ısısı sıfırdır. Adsorplanan miktar, basınçla orantılı olarak hızla artmakta ve doygunluk basıncında sabit bir değere ulaşmaktadır. Bu izoterm Langmuir denklemine uymaktadır.

Tip 2 izotermi çok tabakalı fiziksel adsorpsiyonu göstermektedir ve sık sık rastlanılan bir izotermdir. Böyle izotermlerde birinci dönüm noktası yüzeyin tek tabaka halinde adsorplandığını gösterir. Birinci tabakanın adsorpsiyon ısısı, yoğunlaşma ısısından büyüktür. İkinci, üçüncü ve daha sonraki tabakalar için adsorpsiyon ısısı, yoğunlaşma ısısına eşittir.

Tip 3 izotermde birinci tabakanın adsorpsiyon ısısı yoğunlaşma ısısından azdır. Yani adsorplananla adsorplayıcı arasındaki kuvvet çok azdır, çok az rastlanan bir izotermdir.

Tip 4 izotermi gözenekli katılarda kılcal yoğunlaşmayı gösterir. En büyük adsorpsiyon sınırına toplam gözenekler dolduğunda ulaşılır.

Tip 5 izotermi de Tip 3' deki gibi adsorpsiyon ısısı birinci tabakada çok küçüktür. Düşük basınçlarda adsorplanan miktar çok azdır. (Adam, 1941)

Fiziksel adsorpsiyonda etkin olan kuvvetlerin yoğunlaşmada etkin olan kuvvetlerle aynı (yani Van der Waals kuvvetleri) olması nedeniyle fiziksel

adsorpsiyonun çok tabakalı olması doğaldır. Birinci tabakada açığa çıkan ısı ( $E_L$ ) yoğunlaşma ısısına eşittir. Onun için birinci tabakadan sonra gelen adsorpsiyon tabakalarında moleküllerin davranışları sıvılardakinin aynı olmalıdır. Belli bir tabakada yerleşmiş moleküller arasında herhangi bir etkileşme yoktur. Yüzeyle direkt etkileştiği için birinci tabakadaki moleküllerin enerjisi diğer tabakalarındakinden farklıdır. İşte bütün bunları dikkate alarak yukarıdaki izotermi açıklayabilecek bir denklem Brunauer, Emmett ve Teller tarafından türetilmiştir (Longchambon, 1937; Grim, 1968). B.E.T denklemi,

$$P/V.(P_o-P) = 1/(V_m.C) + (C-1)/(V_m.C).P/P_o \quad (1.18)$$

şeklinde verilmektedir. Burada;  $V_m$ , tek tabaka kapasitesi (yüzey monomoleküler kaplandığında tutulan gazın N.Ş.A. hacmi);  $V$  adsorplanan gazın N.Ş.A' daki hacmi;  $P/P_o$ , bağıl basınç (denge basıncının doygun basınca oranı).

$$C = g. \exp(\Delta H/RT) \text{ veya } c = \exp(E_1 - E_2 / RT)$$

$g$  = Entropi faktörü

göstermektedir. (1.16) denkleminde  $P/P_o$  bağıl basıncına karşı  $P/V(P_o-P)$  değerleri grafiğe geçirilirse bir doğru elde edilir. Doğrunun eğiminden  $(C-1) / V_m.C$  ve kaymadan da  $1 / V_m.C$  değerleri bulunur. Bulunan bu iki denklemin çözümünden  $V_m$  ve  $C$  değerleri bulunmuş olur. Adsorplayıcı üzerinde belli sayıda tabaka oluşmuşsa şu denklem geçerli olur.

$$V = (V_m.C.x/1-x).(1-(n+1).x^n + n.x^{n+1}) / (1+(C-1).x-C.x^{n+1}) \quad (1.19)$$

Burada  $x = P/P_o$ ' dur,  $n$  ise birbirine paralel olduğu kabul edilen yüzeylere sahip olan kapilerin yüzeylerinde oluşan maksimum tabaka sayısıdır.

$n=1$  için (1.19) denklemi,

$$P/V = (P_o/V_m.C) + (1/V_m).P \quad (1.20)$$

denklemine dönüşür ki bu da daha önce gördüğümüz Langmuir denklemidir.

Çok tabakalı adsorpsiyon genellikle adsorplananın kaynama noktasına yakın olan sıcaklıklarda meydana gelir.(1.16) bağıntısı  $0.05 < P/P_o < 0.35$  aralığında uygun sonuçlar vermektedir. Bir adsorpsiyonda  $C < 2$  ise adsorplananın yoğunlaşma ısısı, adsorpsiyon ısısından büyüktür. Böyle adsorpsiyon izotermi Tip 3 ve Tip 5'dir.  $> 2$  ise o zaman adsorplanan, adsorplayan arasındaki çekim kuvvetleri adsorplananın

molekülleri arasındaki çekim kuvvetinden büyüktür. Tip 2 bu tür adsorpsiyon izotermini göstermektedir.

BET denklemi çözeltiler için aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir;

$$q_e = \frac{kC_e q_m}{(C_0 - C_e)[1 + (k - 1)C_e / C_0]} \quad (1.21)$$

Burada;

k: Çözelti ve adsorplayıcı yüzeyi arasındaki enerji etkileşimini ifade eden sabit

C<sub>e</sub>: Adsorplanan maddenin çözeltideki denge konsantrasyonu (mol/L)

q<sub>m</sub>: Tek tabaka kapasitesi (mol/g)

C<sub>0</sub>: Çözeltideki adsorplanan maddenin doyum konsantrasyonu (mol/L)

q<sub>e</sub>: Denge de adsorplayıcı yüzeyinde tutunan madde miktarı (mol/g)

k=g.exp (ΔH/RT) veya k=exp (E<sub>1</sub>-E<sub>L</sub>)/RT

q: entropi faktörü, E<sub>1</sub>:adsorpsiyon ısı ve E<sub>L</sub>: yoğunlaşma ısıdır.

Denklem lineer formda yeniden düzenlenirse;

$$\frac{C_e}{[(C_0 - C_e)q_e]} = \frac{1}{kq_m} + \frac{k - 1}{kq_m} \cdot \frac{C_e}{C_0} \quad (1.22)$$

şeklini alır. Buradan hareketle C<sub>e</sub>/C<sub>0</sub> - C<sub>e</sub>/[(C<sub>0</sub> - C<sub>e</sub>)q<sub>e</sub>] grafiği çizildiğinde eğimi (k-1)/kq<sub>m</sub> olan ve kesim noktası 1/kq<sub>m</sub> olan bir doğru elde edilir.

Bir adsorpsiyonun hangi izotermle daha iyi açıklandığının bulunması için deneysel olarak elde edilen veriler tüm izoterm denklemlerine uygulanıp grafiğe dökülür. Verilerin doğrusal bir grafik oluşturduğu (korelasyon katsayısının uygun değerde olduğu) izoterm çeşidi o adsorpsiyon için en uygun olanıdır. Ama bir veya daha fazla izoterm de uygun olabilmektedir.

#### d) Polonyi denklemi

Basıncı P denge basıncına eşit olan, buhar fazının basıncı P<sup>o</sup> olan adsorplanmış faza bir mol maddenin tersinir olarak aktarımı sırasındaki serbest entalpi değişimine eşit olan maksimum iş, Polonyi tarafından adsorpsiyon potansiyeli olarak tanımlanmış ve

$$\varepsilon = W = \Delta G = RT \ln (P/P_o) \quad (1.23)$$

şeklinde gösterilmiştir. Buhar yerine gazların adsorpsiyonu olduğunda  $P^0$  yerine  $PkT^2$ , yani kritik basınç ile sıcaklığın karesinin çarpımı alınmaktadır. Basınçlar yerine derişimler alınarak aynı eşitlik çözümlenerek adsorpsiyon içinde kullanılabilir. Adsorplanan ve adsorplayıcı değişmedikçe Polonyi potansiyeli sıcaklıkla değişmemektedir.

### e) Dubinin, Radushkevich, Kagener (DKR) denklemi

Dubinin ve Radushkevich, Polonyi karakteristik eğrisinin mikrogözenek hacimlerinin adsorpsiyon potansiyeline göre değişimini veren bir Gauss dağılımı olduğunu ileri sürmüşler ve bu eğrinin denklemini

$$V = V_m \exp(-k\varepsilon^2 / \beta^2) = V_m \exp[-(k/\beta^2) R^2 T^2 \ln^2(P^0/P)] \quad (1.24)$$

şeklinde yazmışlardır. Bu denklemin logaritması alınıp basitleştirmeler yapıldıktan sonra aşağıdaki eşitliklere geçilmiştir

$$\ln V = \ln V_m - (B/\beta) T^2 \ln^2(P^0/P) \quad (1.25)$$

$$\ln V = \ln V_m - D \ln^2(P^0/P) \quad (1.26)$$

Buradaki  $B = kR^2$  adsorplayıcıya bağlı bir sabiti,  $\beta$  adsorplanan maddeye bağlı bir sabiti,  $V_m$  ise özgül mikrogözenek hacmini göstermektedir.

DKR eşitliği çözümler için aşağıdaki şekilde gibidir.

$$\ln q_e = \ln q_m - \beta \varepsilon^2 \quad (1.27)$$

$$E = 1/(2\beta)^{1/2} \quad (1.28)$$

E: ortalama serbest enerji (kJ/mol)

$q_e$ : Dengede adsorplayıcı yüzeyinde tutunan madde miktarı (mol/g)

$q_m$ : Adsorpsiyon kapasitesi (mol/g)

$\beta$ : Absorbantın bir molü başına adsorpsiyon ortalama serbest enerjisi ile ilgili bir sabit ( $\text{mol}^2/\text{J}^2$ )

$$\varepsilon = RT \ln(1 + 1/C_e) \quad (1.29)$$

$C_e$ : Adsorplanan maddenin çözümlenmiş dengedeki konsantrasyonu (mol/L)

Bu eşitliğe göre  $\ln q_e - \varepsilon^2$  grafiğe geçirilirse eğimden  $\beta$  değeri, eksenin kesim noktalarından da  $q_m$  değeri hesaplanabilir.

### f) Temkin denklemi

$$q_e = B \ln A + B \ln C_e \quad (1.30)$$

$q_e - \ln C_e$  grafiğe geçirilirse kaymanın  $B \ln A$  eşitliğinden  $A$  değeri, eğimden  $B$  değeri hesaplanabilir.

## 1.2. Aktif Karbon ve Özellikleri

Aktif karbonlar, yüksek gözenekliliğe ve iyi bir adsorban olması özellikleri ile endüstride ve günlük hayatımızda, çevre kirliliğini kontrol, ağartma, koku giderme gibi çeşitli amaçlarla sıklıkla kullanılırlar. Ticari olarak aktif karbonlar, odun, turba, linyit, kömür, mangal kömürü, kemik, hindistan cevizi kabuğu, pirinç kabuğu, fındık kabuğu ve yağ ürünlerinden elde edilen karbonların çeşitli işlemlerden geçirilerek aktive edilmesiyle elde edilirler.

### 1.2.1. Aktif karbonun tarihçesi

Eski çağlarda karbon sadece yakıt olarak değil, farklı amaçlar için de kullanılmıştır. Mısır papirüslerinde karbonun tıbbi amaçlarla kullanıldığına rastlanmıştır (MÖ 1500). Hipokrates zamanında odun "char"ları çeşitli hastalıklar için kullanılmıştır. Eski Hintliler içme sularını kok kömüründen geçirip filtre etmişlerdir. Japonya'da MS 13. yüzyılda Kashiwara Jingu, Nara'da inşaa edilmiş eski bir türbenin içerisinde kok kömürü filtresi kullanılan bir kuyu bulunmuştur.

1773 'te, Scheele tarafından aktif karbonun gaz adsorpsiyon özelliği keşfedilmiştir. 1785'te Lowitz, odun kömürünün bir çok sıvıları renk giderme özelliği olduğunu gözlemlemiştir. 1808' de, şeker pancarı ve şeker kamışı endüstrilerinde hammaddesi kemik olan aktif karbon kullanılarak ağartma işlemi gerçekleştirilmiştir.

İlk uygulamalarda, toz halindeki kemik charları, bir kullanımdan sonra atılmaktaydı, fakat daha sonra bu kullanılan karbonların rejenere edilerek tekrar kullanılabilceği saptanmıştır. 1828 yılında granül halindeki kemik charları geliştirilmiş ve o zamana kadar kullanılan proseslere adapte edilmiştir. Sonraki yıllarda bu prosesler geliştirilmiştir. Günümüzde şeker kamışı endüstrisinde renk giderme işleminde halen aktif karbon kullanılmaktadır.

19. Yüzyılda, farklı hammaddelerden, ağartma özelliğine sahip aktif karbonların üretimi konusunda çalışmalar yapılmıştır. 1822' de, Bussy, kemik charlarının kandaki potas ile birlikte ısıtılması durumunda ağartma gücünün 30 kat arttığını tespit etmiştir. Laboratuvarda hazırlanan kan charları modem anlamdaki aktif karbonun ilk örnekleridir.

Eski Avrupa' da odun kömürü ve daha sonra; kok kömürü, şeker pancarını rafine etmek kullanılmıştır. Bu işlem Napolyon zamanında kıtaya karşı ambargo nedeni ile Fransa'da başlatılmıştır.

Klorür çözeltilisinden altının adsorplanmasında aktif karbon kullanımı ilk olarak 1847 yılında gerçekleşmiştir. Davis bu fikirden yola çıkarak 1880 yılında klorürlü boğma liköründen altının alınması işleminde odun kok kömürünü kullanmıştır. Bu yöntem, Avustralya'da yaygın olarak kullanılmaktadır.

1865 'te Hunter, hindistan cevizi charlarının gaz adsorpsiyon kapasitesinin oldukça yüksek olduğunu saptamıştır. Hindistan cevizi charlarının o zamana kadar geliştirilen charlara göre daha iyi özelliklere sahip olduğu belirlenmiştir.

Stenhouse 1856' da, un, katran ve magnezyum karbonat karışımını ısıtarak ağartıcı char; Lee 1863 'te, turbayı, hava ve buhar ile ısıtarak, koku giderici özelliğe sahip aktif karbon hazırlamışlardır. Fakat bu ürünlerin ticari boyutta üretimleri olmamıştır. 1894 yılında Johnson, siyanat çözeltilisinden altın eldesinde odun kok kömürünün kullanılması patentini almıştır.

1900 ve 1901' de Ostrejko, modern ticari aktif karbonun patentini almıştır. Bu proste, bitkisel kaynaklı maddeler metal klorürlerle karıştırılıp uygun sıcaklıkta karbonize edilmiştir. Yapılan bir diğer çalışmada, bitkisel odun CO<sub>2</sub> gaz atmosferinde yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılarak aktive edilmiştir. İlk ticari toz aktif karbon, Eponit, 1909'da Ostrejko'un patenti kullanılarak odun ile hazırlanmıştır. Norit, 1911 yılında

şeker endüstrisinde kullanılan aktif karbonu Hollanda'da üretmiştir. Amerika'da ilk aktif karbon üretimi soda hamuru (pulp) üretiminde açığa çıkan atık ürün olan siyah külün değerlendirilmesi amacıyla yapılan çalışmalarla gerçekleştirilmiştir. Siyah kül fabrikalarda pigment olarak kullanılmaktaydı. Fabrikadaki bir çalışan tesadüfen siyah külün ağartma özelliğini fark etmiştir. Günümüzde bu ürün "Filtchar" olarak bilinmektedir. Bu ürünün özelliklerinin her parti üretimi esnasında değişiklik göstermesi, istikrarlı bir ürün kalitesi göstermemesi nedeniyle bu ürünün pazarlanmasında güçlüklerle karşılaşmıştır. Geliştirilen Sudan III metodu ile filtchar'ın özellikleri eskiye göre daha iyi karakterize edilmeye ve tüketim için daha üniform özellikler gösteren aktif karbonlar üretilmeye başlanmıştır.

1915'te 1. Dünya Savaşı sırasında Almanlar klor gazını silah olarak kullanmışlardır. Bu gaz insanların nefes almalarını engelleyip, boğulmalarına sebep olmaktadır. Rüzgarla dağılan bu gazı karşı her iki taraf da korunma yolunu bilmiyordu. Bu durum, zaman zaman Alman askerlerinin de ölmesine neden olmaktadır. Almanların bu gazı karşı korunmak için aktif karbon içeren gaz maskeleri kullanmaya başlaması, aktif karbonun ilk olarak savunma amaçlı kullanımını gündeme getirmiştir.

Aktif karbonun en önemli uygulama alanı sudan tat, koku, renk verici ve istenmeyen organik kirliliklerin uzaklaştırılması işlemidir. Birçok ecza ve kimya ürünlerinin saflaştırılmasında gaz faz uygulaması olarak karşımıza çıkmaktadır. Son yıllarda aktif karbonun hidrometalurji alanında altın, gümüş ve molibdenin geri kazanımındaki uygulamaları giderek artmaktadır. Günümüzde aktif karbonlar doğrudan veya dolaylı yollarla da olsa gündelik hayatımızın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir.

Aktif karbonun, dünyadaki çevresel uygulama ve su temizleme alanlarındaki kullanımını, yıllık 300 milyon kg olup, bu değer her yıl %7 oranında artış göstermektedir.

### **1.2.2. Aktif karbonun genel özellikleri**

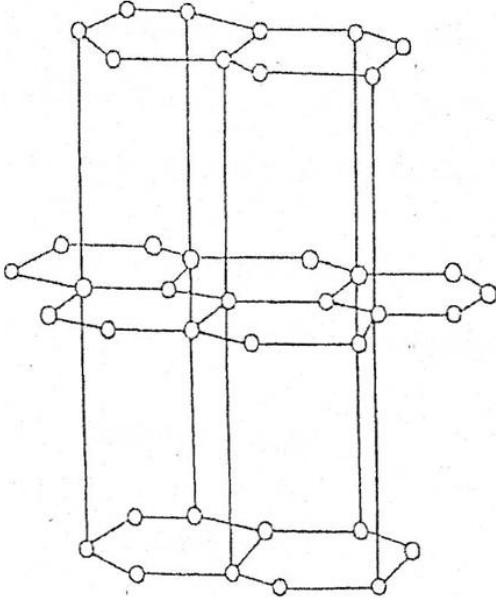
Aktif karbon, büyük kristal formu ve oldukça geniş iç gözenek yapısı ile karbonlu adsorbanlar ailesini tanımlamada kullanılan genel bir terimdir. Aktif



karbonlar, insan sağlığına zararsız, kullanışlı ürünlerdir. Aktif karbonun hem endüstride hem de güncel hayatta pek çok uygulamada yer almasını sağlayan fiziksel ve kimyasal özellikler bulunmaktadır.

### 1.2.2.1. Molekül ve kristal yapısı

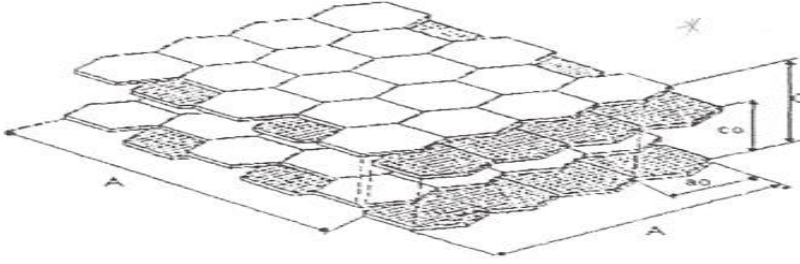
Karbonun molekül ve kristal yapısını anlamak için bu maddenin yüzey kimyasını anlamak gerekmektedir. Aktif karbonla, karbon siyahı arasındaki fark karbon siyahının daha küçük iç yüzey alanına sahip olmasıdır. Aktif karbon yapısı hakkındaki birçok veri karbon siyahından elde edilmektedir. Karbon siyahı ve aktif karbonun temel birim yapısı saf grafitin yapısına benzemektedir. Karbon siyahı, boyama amacıyla kullanılan bir çeşit renk pigmentidir. Grafit kristalleri (Şekil 1.1) birleşik altıgen tabakalar halinde birbirlerine 3.354 Å uzaklıkta zayıf Van der Waals kuvvetleri ile bağlanmaktadır.



Şekil 1.2. Grafit kristallerinin yapısı.

Karbon-karbon bağları arasındaki uzaklık  $1.415 \text{ \AA}$ 'dur. Karbonun üç elektronu komşu atomlarla düzenli kovalent bağlar yapmakta, geriye kalan bir elektron bağ ise yapılar arasında salınmaktadır. Bu durum karbon atomları arasında çifte bağ oluşumunu sağlamaktadır. Bu, grafit için baskın yapıdır. Aktif karbonun yapısı grafitten biraz farklıdır. Karbonizasyon işlemi süresince, bir çok aromatik çekirdek (grafitteki benzer) oluşmaktadır. X-ışını ile yapılan incelemeler, bu yapıların altıgen olarak, bağlanmış karbon atomlarını içeren mikrokristalin yapısında olduğunu göstermektedir. Düzlemlerin yarıçapı  $150 \text{ \AA}$ 'dur. Mikrokristaller arasındaki uzaklık  $20-50 \text{ \AA}$ 'dur.

Hazırlama metodundan ve safsızlıkların olmasından dolayı mikrokristalin yapıda bazı boşluklar oluşmaktadır. Hazırlama işlemi veya hammaddenin doğasından dolayı, düzlemin kenarındaki halka yapılar heterosiklidir. Heterosiklik gruplar, adsorpsiyon, desorpsiyon özelliklerini ve komşu düzlemin uzaklığını etkilemektedir.



Şekil 1.3. Grafit ve aktif karbonun yapısı.

Aktif karbonun yapısı, grafitte göre düzensizdir. Aktivasyon işlemi süresince kristallerin yüzeylerindeki karbon bağlarının düzenli dizilişi bozulmaktadır. Yapının gelişimi karbonizasyon ve aktivasyon sıcaklıklarının bir fonksiyonudur. Hegzagonal karbon halkaları, bazı molekül kırılmasına uğramış, rast gele sıralanmış, biri diğeriyle doğrudan ilişkili grafit kristallerden oluşmaktadır. Bütün yapı bundan dolayı çok düzensizdir ve çoğunlukla 'turbo ince tabakalı' olarak belirtilebilmektedir. Aktif karbonlardaki yüksek mertebeden yapısal bozukluklar nedeniyle, düzlemsel katmanların. köşelerindeki karbon atomları için birçok reaksiyon olasılığı vardır. Sonuç olarak, genellikle kırık grafitik halka sistemlerinin kenarlarında mevzilenmiş oksijen içeren organik fonksiyonel gruplar karbonun yüzeyinde bulunmaktadır .

### 1.2.3. Yüzey alanı

Aktif karbonun en önemli fiziksel özelliği yüzey alanıdır. Su arıtımında kullanılan aktif karbon taneciklerinin iç yüzey alanının en az 1000 m<sup>2</sup>/g olması istenmektedir. Kirlilik oluşturan maddeler, aktif karbonun yüzeyinde tutulacağından, yüzey alanının büyüklüğü kirliliklerin giderilmesinde oldukça etkili bir faktördür. Prensip olarak, yüzey alanı ne kadar büyükse, adsorpsiyon merkezlerinin sayısının da o kadar büyük olduğu düşünülür. Literatürde bulunan aktif karbonun yüzey alanı ve gözenek sistemi ile ilgili sayısal değerler aşağıda verilmiştir.

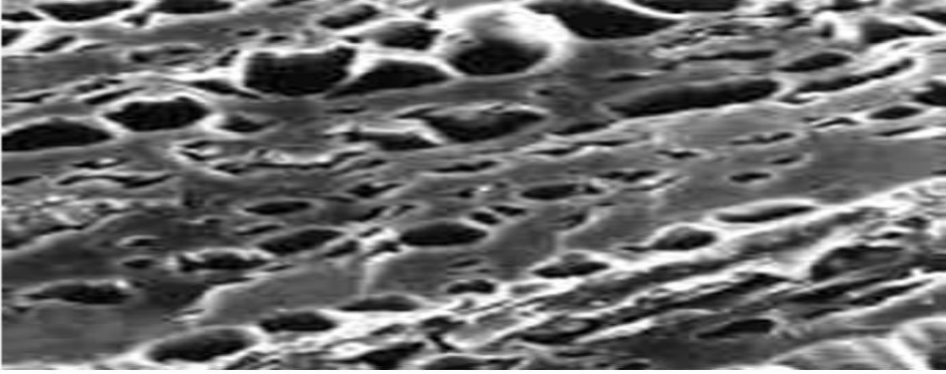
Çizelde 1.2. Aktif karbonun gözenek ve yüzey alanı

Yüzey alanı	400-1600 m <sup>2</sup> /g (BET N <sub>2</sub> )
Gözenek hacmi	>30 m <sup>3</sup> /100g
Gözenek genişliği	0,3 nm-1000 nm

### 1.2.4. Gözenek büyüklüğü (Porozite)

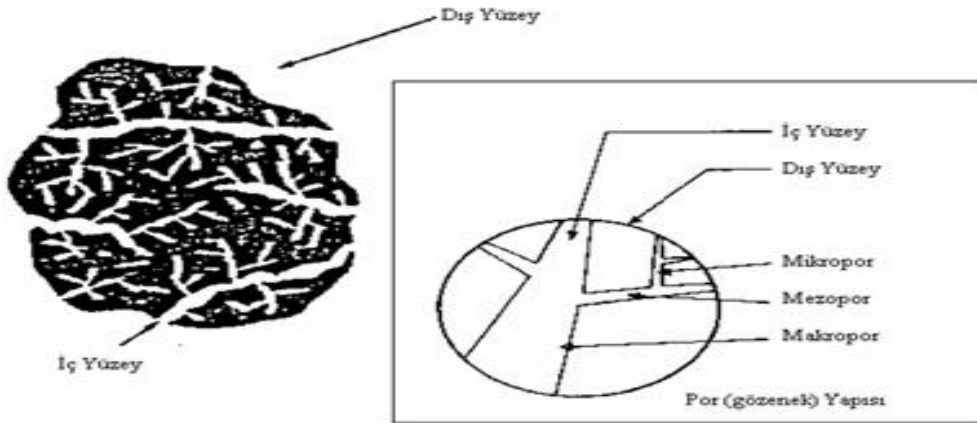
Aktif karbonun uygulama alanlarında tercih edilmesinde etkili olan diğer bir parametre de gözenek büyüklüğüdür. Aktif karbon oluşumu sırasında; karbonizasyon sıcaklığının artması ile öncelikle H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CH<sub>3</sub>OH gibi küçük moleküller uzaklaşmaktadır ve bu sırada çıkan küçük moleküllerin yerine mikroporlar oluşmaktadır. Gaz halinde uzaklaşan maddeler ise katı faz içinde artan basınçları nedeniyle mikrokanallar açarlar. Bu esnada çapraz bağlı selülozik ana yapı asla erimez.

Sıcaklık artışı ile selüloz yapısı karbon yapısına dönüştüğünden karbon olmayan atomların sistematik olarak uzaklaştırılmasıyla selülozik yapı termodinamik olarak daha kararlı grafitik yapıya dönüşür. Fakat bu proses mükemmellikten uzaktır ve karbon yapısı ilk şekillendiğinde birçok hata içermektedir. Oluşan karbon yapısı tabakasal değildir ve bu yüzden paralelliği yoktur. Bundan dolayı aktif karbon yapısı hala modellenememiştir.



Şekil 1.4. Aktif karbonun TEM ile alınan gözenek yapısı.

Adsorpsiyon ve desorpsiyon için önemli olan aktif karbon gözenek sistemi, Şekil 1.5' de şematik olarak görülmektedir.



Şekil 1.5. Şematik olarak aktif karbon modeli.

Gözenek yapısı, yani adsorbanın gözenekleri başlıca üç sınıfa ayrılır; makro gözenek, mezo gözenek (geçiş gözenekleri) ve mikro gözenek.

Çizelge 1.3. Tipik bir aktif karbondaki gözenek boyutları

	Mikro gözenek	Mezo gözenek	Makro gözenek
Çap (Å)	< 20	20 -500	> 500
Gözenek hacmi (cm <sup>3</sup> /g)	0,15-0,5	0,02-0,1	0,2-0,5
Yüzey alanı (m <sup>2</sup> /g)	100-1000	10-100	0,5-2

Yüksek sıcaklıklarda oksidasyon gazları ile gerçekleştirilen, aktivasyon sürecinde iki aşama gözlenmektedir. Birincisi makro gözenekler, mikrokristalitin kenar gruplarının kütle azalımı (burn off) ile oluşmaktadır. İkincisi, mikro gözenekler, mikrokristalit düzlemin kütle azalımı ile oluşmaktadır.

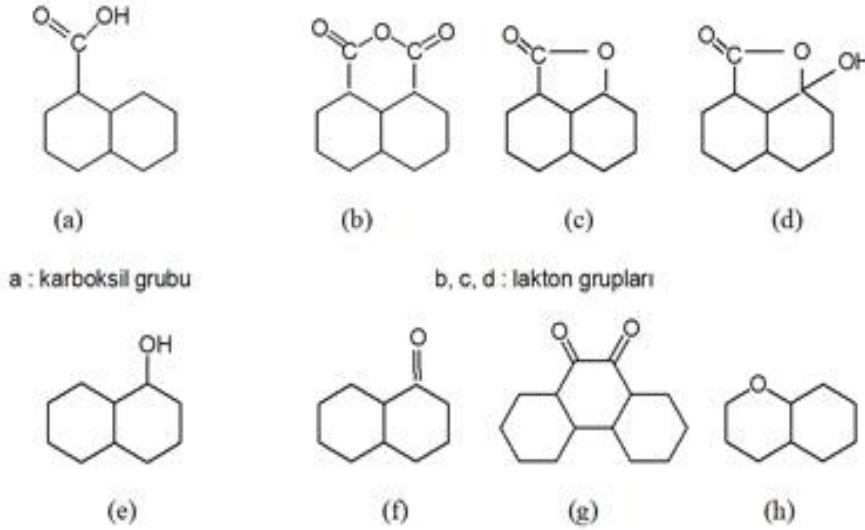
Aktif karbondaki makro gözeneklerin, büyük moleküllerin adsorpsiyonu dışında önemli bir görevi yoktur. Adsorpsiyonun gerçekleşmesi için karbon tanelerinin içlerine doğru moleküllerin ilerleyebileceği arterlerdir. Mezo gözenekler ise orta büyüklükteki moleküllerin adsorpsiyonunda rol oynamaktadırlar. Mikro gözenekler ise genellikle toplam yüzey alanının en az %95'ini oluşturmaktadır.

Genellikle aktif karbonlarda her üç tip gözenek yapısı bulunmaktadır. Bu bir kuraldır. Makro gözenekler dış yüzeye doğrudan açılmaktadır. Mezo gözenekler, makro gözeneklerin; mikro gözenekler de mezo gözeneklerin birer dalıdır.

### 1.2.5. Kimyasal özellikleri

Aktif karbonun adsorplama kapasitesi sadece por yapısı ile değil, ayrıca yüzeyin kimyasal doğasıyla da tanımlanmaktadır. Aktif karbonun yapısındaki grafit kristalitlerinin kenar bölgelerinde, oksijen içerikli doymamış karbon grupları bağlıdır. Bu gruplar hem önemli reaksiyon merkezleri görevi yapmakta ve hem de aktif karbonu polar kılmaktadır. Bu yüzey oksitleri arasında en sık rastlananlar, karboksil grupları, fenolik gruplar, lakton halkaları, kinon türünden yapı taşları, siklik peroksitler ve

karboksilik asit anhidritleridir. Aktif karbondaki bulunan başlıca fonksiyonel gruplar şekil 1.6'da gösterilmiştir.



Şekil 1.6. Aktif karbon yapısındaki fonksiyonel gruplar.

### 1.2.6. Aktif karbon formları

Atık su işlemleri için günümüzde kullanılan en iyi aktif karbonlar çeşitli kömürlerden ve doğal materyallerden elde edilir. Bunlar; taş kömürü, mangal kömürü, turba, linyit, odun, kemik, hindistan cevizi, fındık, pirinç kabuğu, meyve çekirdekleri ve yağ ürünleridir. Bu materyallerden elde edilen aktif karbonlar genellikle sert ve yoğundur. Suda bozunmadan uzun süre kullanılabilirler. Aktif karbonlar değişik özelliklere sahip şekillerde üretilebilirler.

#### 1.2.6.1. Toz aktif karbon

100 µm'den daha küçük tane boyutuna sahip aktif karbonlardır. Ortalama yarı çap 15-25 µm aralığındadır. Bu tip aktif karbonun geniş yüze yalancı ve küçük difüzyon

mesafesi vardır. Çözelti fazı adsorpsiyonu için kullanılmaktadır. Kullanımı oldukça kolaydır. Karbon, çözeltiye eklenir, karıştırılır, kısa bir süre temas ettirilir (5-30 dak.) ve filtrasyonla ayrılır. Bu gruba giren aktif karbonlar, tıbbi amaçlar ve renk giderme için kullanılmaktadır.

#### **1.2.6.2. Granül aktif karbon**

Toz aktif karbona göre daha büyük tanecik boyutu ve daha küçük dış yüzey alanına sahiptir. Gaz ve sıvı adsorpsiyonu uygulamalarında tercih edilmektedir. Difüzyon hızı yüksektir. Karbon granüllerinin boyutu önemlidir. Adsorplanacak gaz aktif karbon yatağından geçirilir. Parçacık boyutu küçükse, yatak boyunca basınç düşüşü görülür ve gaz, karbon parçacıklarını sürükler. Parçacıkların boyutu, kullanılan yatağın yüksekliğine bağlı olarak seçilir. Yüksekliğin fazla olması, granüllerin de boyutunu artırır. Bu tip aktif karbonlar, suların saflaştırılmasında, renk giderme ve akış sistemlerinin bileşenlerinin ayırımında kullanılmaktadır.

#### **1.2.6.3. Küresel aktif karbon**

Katran, naftalin ve tetralin içerisinde eritilerek küreler elde edilmektedir. Bu küreler çözücü ile temas ettirilmekte ve naftalin ekstrakte edilmektedir. Bu şekilde gözenek yapısı oluşturulmaktadır. Bu gözenekli küreler ağırlıkça % 30 oksijen içeren oksidasyon gazlarının varlığında 373-673 K arasındaki bir sıcaklığa ısıtılmaktadır. Katran küreler, oksijenin % 10'unu kimyasal olarak adsorblar. Okside küreler, amonyak ile 423-973 K sıcaklıkları arasında ısıtılır. Daha sonra CO<sub>2</sub> veya buharla aktive edilir. Bu karbonların yüksek mekanik dayanıklılığı vardır ve SO<sub>2</sub> , NO<sub>2</sub> adsorpsiyon kapasitesi çok yüksektir.

### **1.2.7. Aktif karbon eldesi**

Aktif karbonların üretimi karbonlu malzemelerin pirolizi ve aktivasyonuna dayanır.

#### **1.2.7.1. Piroliz**

Piroliz, organik maddelerin oksijensiz ortamda ısıtılarak termal olarak parçalanması işlemine verilen isimdir. Piroliz işleminde, genellikle organik maddelerin 800°C'nin altındaki sıcaklıklarda sistemden N<sub>2</sub> veya He gibi inert gazların geçirilmesi ile aktif karbon elde edilmektedir. Elde edilecek ürünün miktar ve kalitesine ısıtma hızı, son sıcaklık, son sıcaklıkta bekleme süresi, hammaddenin yapısı ve tane boyutu etki etmektedir. Piroliz işlemi sonucunda kok (katı madde), sıvı ürün (su ve organik kimyasallar) ve gazlar oluşmaktadır.

#### **1.2.7.2. Aktivasyon**

Bu işlemin amacı, organize olmamış karbonu uzaklaştırmak, mikro gözenek yapı gelişimini ve miktarını artırmak ile yeni gözenekler oluşturmaktır. İki çeşit aktivasyon tekniği vardır. Bunlar; kimyasal ve gaz aktivasyonudur.

#### **Kimyasal aktivasyon**

Bu işlem ile aktif karbon, genellikle turba ve odun kaynaklı lignosellülozik malzemelere çinko klorür, fosforik asit gibi kimyasal maddelerin emdirilmesi ve malzemelerin 500–800°C sıcaklıklarda piroliz edilmesiyle elde edilmektedir. Kimyasal aktivasyonla elde edilen aktif karbonlar genellikle oldukça açık bir gözenek yapısı gösterirler ve daha çok büyük moleküllerin adsorpsiyonu için uygundur.



## **Fiziksel aktivasyon**

Genellikle kömür ve meyve artıklarından aktif karbon üretilmesi fiziksel aktivasyon işlemi ile gerçekleştirilmektedir. Bu işlem yaklaşık 800-1100°C'lerde buhar, karbon dioksit, hava veya bu gazların karışımından oluşan uygun okside edici bir gaz varlığında gerçekleştirilir.

### **1.2.8. Aktif karbonun kullanım alanları**

Halen dünyanın pek çok kent suyu arıtım tesisleri, tat, koku, renk ve toksinlerden arındırılmasında aktif karbon kullanmaktadırlar. Hava kirliliğine neden olan uçucu organik maddelerin uzaklaştırılmasında kullanılabilen gibi inorganik kirlenmeler için de kullanılabilir. Aktif karbon ev kullanımında, istenmeyen kokulardan kurtulmak için, endüstriyel alanda ise, birçok üretim işleminden geri kazanılması gerekli çözümlerin arıtımında güvenle kullanılmaktadır. Ayrıca geniş kapsamlı eğlence komplekslerinin, otel ve tatil köylerinin içme ve kullanma sularının filtrasyonunda, şişeleme ve dolun tesislerinin kaynak ve kuyu sularının temizlenmesinde her çapta sanayi ve endüstri tesisinin ihtiyaç duyduğu iyi kalitedeki proses suyunun temininde güvenle kullanılabilir.

### **1.3. Silikajel**

Yüksek kapasiteli sentetik absorbanlardandır. Kuru ortam istenilen her noktada kullanılan rutubeti yüksek verimlilikle bünyesinde tutan malzemelerdir. Mikroskopik olarak incelendiğinde, mikro düzeyde gözeneklerden (porlar) ve kılcal bir ağ sisteminden oluşmaktadır. Bu özelliğine bağlı olarak yüksek yüzey alanına sahip granül/boncuk formundaki inert malzemelerdir. Fiziksel absorpsiyon yöntemi ile rutubeti ve por yapısından girebilecek molekül çapına sahip gaz moleküllerini kendine çeker ve mikro gözeneklerde yoğunlaştırarak tutar.

Beyaz renkli silikajellerin yanısıra, görsel kontrol imkanı tanıyan mavi ve turuncu indikatörlü silikajeller de bulunmaktadır.

Rutubet ve rutubetten kaynaklanan korozyon benzeri problemlerin gideriminde, etkin ve yaygın kullanılan bir üründür. Kullanıldığı ortamda her şartta yüksek kuruluk sağlamaktadır.

Amorf/Boncuk tipi silikajel içerikli olan nem alıcı paketler, sadece yüksek rutubet adsorbsiyonu ile değil aynı zamanda farklı ortamlardaki etkinliği ile de tercih edilip güvenle kullanılmaktadır. Özel dizayn edilen yüksek nefes alabilir ve dayanıklı özelliğe sahip DMF FREE ( Dimetil Fumarete içermeyen ) nonwoven ambalaj yapısı ile her tür uygulamada başarılı ve güvenli kullanım sağlamaktadır. %80 relatif rutubette 25 °C de, ağırlığının %35 inden fazla rutubet adsorbe edebilmektedir.

### **1.3.1. Silikajelin kullanım alanları**

Endüstriyel hava kurutma sistemlerinde (sülfonasyon tesis kolonları, kurutma sistemleri.vs),

Trafolarında,

İstenmeyen gazların uzaklaştırılmasında,

Rutubet istenmeyen her tür ortamda,

İlaçlarda,

Gıda ürünlerinin korunmasında,

Elektronik Malzemelerin korunmasında,

Hassas birçok malzemenin kuru ve güvenli saklanması.

İhraç edilen Tekstil ürünlerinin ambalajında ( küflenme ve mantarlaşmaya engel olarak ( DMF FREE- mantar üretmeyi engeller )

Silindirik / prizmatik kapalı , çelik konstrüksüyon yapıların, iç hacimlerinin korozyon korumasında..

### 1.3.2. Silikajelin özellikleri

**Görünüm :**Granüle, Mavi, Beyaz, Şeffaf, Boncuk/ Amorf  $\text{SiO}_2 \times \text{H}_2\text{O}$

#### Fiziksel özellikleri

Tane büyüklüğü yaklaşık 1-3 mm şeffaf boncuk biçimindedir.

Yoğunluk ortalama 0,8 gr/cm<sup>3</sup> (görünür yoğunluk 720 gr/litre)

Spesifik yüzey ortalama 700-800 m<sup>2</sup>/Kg.

Spesifik heat ortalama 0,25 Kcal/Kg°C

Isı geçirgenliği ortalama 0,17 Kcal/m<sup>2</sup>h°C

Por çapı ortalama 21 Å

Por hacmi ortalama 0,35 Ml/gr

#### Kimyasal terkibi

$\text{SiO}_2$ : % 98,2

$\text{Al}_2\text{O}_3$ : % 0,7

$\text{NaO}_2$ : % 0,3



Şekil 1.7. Silikajelin Yapısı (Beyaz Silikajel).

#### 1.4. Boyar Maddeler

1856'da İngiltere'de William Henry Perkin adında genç bir kimya öğrencisi, bir bitkiden elde edilen kinini laboratuvarında kimyasal maddelerden biresimlemeye uğraşıyordu. Bunu başaramadı ama ilk yapay ya da sentetik boyarmaddeyi üretti. Anilin moru diye bilinen bu açık pembemsi mor renkli boyarmaddeyi kömür katranından ayrılan anilinden elde etmişti. Oysa eskiden bu rengi yalnızca çivit verebiliyordu.

Bunun önemli bir buluş olduğunu fark eden Perkin yeni boyarmaddeler üretmek için çalışmaya başladı. Perkin ve bazı Alman kimyacılar birbirlerinden ayrı olarak yürüttükleri çalışmalar sonunda kömür katranından alizarin (kökboyası) elde etmeyi başardılar. Dokuma sanayisinden gelen büyük talebi karşılamak için boyarmadde üretiminde kullanılacak yeni makineler yapıldı. Boyarmadde üretiminin bir sanayi dalı haline gelmesiyle de 10 yıl içinde bir düzine kadar yapay boyarmadde üretildi. Bugün bazı doğu ülkelerinde yapay boyarmaddeler de kullanılmakla birlikte, geleneksel boyama yöntemlerinde pek büyük bir değişiklik olmamıştır. Oysa bütün öbür ülkelerdeki küçük boyama atölyelerinin yerini, milyonlarca metre kumaşı her renk ve desende boyayabilen modern makinelerle donatılmış büyük fabrikalar almıştır. Bugün her biri başka bir ürünü boyamak için kullanılan ve her rengin bütün tonlarını verebilen 3.000'den çok yapay boyarmadde vardır. Bu boyarmaddeler mordan gerektirmediği için genellikle doğrudan boyama yöntemi uygulanır. Bu yöntemde boyarmadde çok az miktardaki sıcak suda eritilir, içindeki katı parçacıkları ayırmak için süzülür ve istenen renk tonunu elde etmek için belli ölçüde sularındılır.

Malakit yeşili, Bismarck kahverengisi, metilen mavisi ve metil moru gibi bazı boyarmaddelerle ipek ve yün doğrudan boyanabilir. Bu boyarmaddeler ayrıca hasır, rafya, sepetlik söğüt, tanenli maddelerle sepileneş deri ve selülozdan elde edilen reyonu (yapay ipeği) boyamak için de kullanılır.

Bazı kükürt bileşikleri pamuk ve keten dokumaların boyanmasında iyi sonuç verir. Bu kükürtlü boyarmaddelerin rengi havanın etkisiyle daha da güzelleşir, solmaz ve yıkamayla ağarmaz. Akrilik, dakron ve orlon gibi yapay elyaf genellikle, tek tek bütün liflerin dokusuna işleyen ve lifin ayrılmaz bir parçası durumuna gelen dağılımlı

boyarmaddelerle boyanır. Yalnız bu boyama işleminin yüksek sıcaklık ve basınç altında yapılması gerekir. Bu yapay lifler kimyasal maddelerden insan eliyle hazırlarıdığı için, daha üretim aşamasında hamur halindeki çözeltinin içine boyarmadde katarak önce hammaddeyi boyayıp sonra iplik (elyaf) haline getirme olanağı da vardır.

Yapay boyarmaddeler ve pigmentler dokuma sanayisi dışında başka maddelerin renklendirilmesinde de kullanılır. Süt ürünleri, şekerlemeler, gazoz, meyve suyu gibi alkolsüz içecekler, likörler, mürekkep ve baskı boyalan, deri, yer döşemesi olarak kullanılan mantarlı muşamba (linolyum), yağlıboyalar, kâğıt, plastik ve kauçuk, boyarmaddelerle renklendirilen ürünlerin yalnızca birkaçıdır.

## 2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Wartelle ve Marshall (2001), yedi farklı kaynaktan temin edilen sert kabuklu meyvelerin kabuklarından CO<sub>2</sub> aktivasyonu ile aktif karbon üretmişlerdir. Üretilen aktif karbonların bir kısmı hava ile okside edilmiş, bir kısmı ise oksidasyon yapılmadan kullanılmıştır. Bu karbonların her ikisinin yüzey alanı gibi fiziksel pH gibi kimyasal ve organik madde tutma gücü gibi adsorplayıcı güçleri üzerine çalışmalar yapılmıştır. Aktif karbonun adsorplayıcı materyal olarak kullanılması aktivasyon işlemine, gözenek boyut dağılımına ve bu maddelerin yüzey özelliklerine bağlı olduğu belirlenmiştir.(Krupa ve Cannon ,1996).

Mas Haris ve Sathasivam (2009), muz köklerinde bulunan lifleri kullanarak sulu çözeltiden bir mono azo boya olan metil red'in uzaklaştırılmasını incelemişlerdir. Bu çalışmada pH, adsorbent miktarı, adsorpsiyon temas süresi, adsorplanan madde derişimi ve karıştırma hızı gibi parametrelerin etkileri belirlenmiştir. Sonuç olarak, denge verilerinin Freundlich ve Langmuir izotermine uyduğu saptanmıştır. Adsorbanın adsorplama kapasiteleri ve kinetik ölçüler sonucu adsorpsiyon olaylarındaki hız sabitleri belirlenmiştir. Ofomaja (2006), Palmiye ağacının çekirdeğinden adsorbent madde yapıp metilen mavisinin sulu çözeltilerden uzaklaştırılmasıyla ilgili olayın mekanizma ve kinetiğini incelemiştir. Kinetik deneyler Batch tekniğiyle yapılmış ve pH ve boyanın başlangıç derişimleri değiştirilerek işlemler yapılmıştır. Kinetik verilerin ilk 5 dakikada yalancı I. dereceden reaksiyona uyduğu, yalancı II. dereceden reaksiyonlara ise tamamen uyduğu belirlenmiştir.

Namasivayam ve Kavitha (2002), Hindistan cevizinden yararlanarak yaptıkları karbonların kongo red maddesini adsorplama kapasitelerini karıştırma zamanı, boya konsantrasyonu, adsorbent miktarı , pH ve sıcaklık gibi parametreleri değiştirerek incelemişlerdir. Adsorpsiyon denge verilerinin Langmuir ve freunlich izotermine, adsorpsiyonun kinetiğinin ise ikinci derece hız denklemine uyduğu belirtilmiştir. Adsorbentin kapasitesi 6,7 mg/g olarak saptanmıştır. Asidik pH' larda adsorpsiyonun daha iyi olduğu görülmüştür.

Wu ve ark. (2001), çeşitli sıcaklıklarda aktive (830,860,890 °C) aktive edilerek hazırlanan karbonların gözenek yapısını ve fiziksel özelliklerini incelemişlerdir. İki ticari boya fenil ve 3-klorofenol'in aktif karbon üzerinde adsorpsiyonuyla ilgili hız ve denge verileri 30 °C'de belirlenmiştir. Elde edilen bütün adsorpsiyon verilerinin Langmuir izotermine uyduğu gözlenmiştir. Adsorpsiyon işlemlerinin hangi kinetik hız denkleminde uyduğu saptanmıştır.

İqbal ve Ashid (2007), aktif kömür kullanarak sulu çözeltilerden endüstriyel olarak önem arzeden bromo fenol mavisi, Alizarin red S, metil mavisi, metilen mavisi, erio chrome black T, malahit yeşili, fenol kırmızısı ve metil menekşesi boya ların adsorpsiyonu araştırmışlardır. Bu boya ların adsorpsiyonuna karıştırma süresi, pH ve sıcaklığın etkisi de incelenmiştir. İncelemeler sonucu pH ve sıcaklık artı kça boya ların adsorpsiyonunun azaldığı gözlenmiştir. Farklı sıcaklıklarda edilen adsorpsiyon izoterm leri L- tipi olarak bulunmuştur. Adsorpsiyon verilerinin BET, Freundlich ve Langmuir izoterm lere uyduğu belirlenmiş ve çeşitli parametreler hesaplanmıştır. Langmuir denkleminde saptanan k değeri kullanarak  $\ln k - 1/T$  grafiğinden yararlanılarak  $\Delta G$ ,  $\Delta H$ ,  $\Delta S$  gibi termodinamik parametreler hesaplanmıştır. Hesaplanan adsorpsiyon ısı s ve serbest enerji değ erlerinden adsorpsiyonun düşük sıcaklıklarda daha iyi olduğu ve adsorpsiyon işleminin ise kimyasal adsorpsiyon olduğu saptanmıştır.

Yengeç kabuklarından yararlanılarak elde edilen kimyasal olarak çapraz bağı ve iyonik formda olan citozan, anyonik boya ların adsorpsiyonunda adsordan madde olarak kullanılmıştır. Chiou ve ark. (2004), tarafından yapılan bu çalışmada 8 farklı anyonik boya nın sulu çözeltilerden adsorpsiyonu incelenmiştir. Kıyas materyali olarak ticari aktif karbonun kullanıldığı çalışmalarda adsorpsiyon kapasitelerinin pH 3-4 arasında 1911-2498 g/kg değ erleri arasında değ iştiği gözlenmiştir. Bu değ erlerin ticari aktif karbona göre 2.7 – 27,4 kat fazla olduğu bulunmuştur. Deneysel verilerin Langmuir modeline çok iyi uyduğu gözlenmiştir. ( $R^2 > 0.9893$ ). Farklı başlangıç boya derişimleri kullanılarak yapılan incelemelerde yalancı birinci ve yalancı ikinci dereceden modeller değ erlendirilmiştir ve verilerin yalancı ikinci dereceden hız denkleminde uyduğu saptanmıştır. Adsorpsiyon kapasitesinin çözeltilerin pH' s ve adsorbent miktarı artı kça azaldığı gözlenmiştir. 30 °C' de asidik ortamda anyonik boya ların çözeltilerden adsorpsiyonuyla ilgili serbest entalpi değ işimi de ( $\Delta G$ ) belirlenmiştir.

Juang ve ark. (1997), sulu çözeltilerden vinil surfone ve klorotriazin reaktif boyalarının uzaklaştırmasında citozanı kullanma olasılığını incelemişlerdir. Deneysel farklı boyut ve miktarda citozan ve farklı derişimlerde boyalar alınarak yapılmıştır. Citozanın adsorpsiyon kapasitesinin incelenen boyalar için son derece yüksek olduğu gözlenmiştir. Adsorpsiyon denge verilerinin 50-500 g/m<sup>3</sup> derişim aralıklarında Redlich-Peterson denklemine uyduğu gözlenmiştir. Chitin ve toz halindeki aktif karbon gibi adsorbanlarla citozanın adsorpsiyon kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Adsorplanan madde miktarı dikkate alınarak adsorpsiyon işlemini açıklamak için iki hız parametresi belirlenmiştir. Bu parametreler kuru citozanın partikül boyutu ve miktarıyla korelasyon içindedir.

Juang ve ark. (1997), pahalı olmayan anorganik asitlerle aktive edilen kil kullanarak sulu çözeltilerden 6 farklı boyanın adsorpsiyonunu araştırmışlardır. Kullanılan adsorban maddenin bu çalışmada kullanılan bazik boya türü için yüksek adsorplama kapasitesine sahip olduğu, dipers ve reaktif boyalar için ise düşük adsorplama kapasitesine sahip olduğu belirlenmiştir. Verilerin 50-500mg/dm<sup>3</sup> aralığında Langmuir denklemine uyduğu gözlenmiştir. Adsorpsiyona sıcaklığın etkisi ve buna bağlı olarak termodinamik veriler tayin edilmiştir. Sonuç olarak aktifleştirilmiş killerin diğer adsorbent maddelerle karşılaştırıldığında daha etkili madde olduğu görülmüştür.

Cestari ve ark. (2006), amino propil – silika (Sil-NH<sub>2</sub>) kullanarak pH 4 de sulu çözeltilerden sarı ve kırmızı boyaların adsorpsiyonunu incelemişlerdir. Adsorpsiyon verilerinden, anyonik surfaktantın etkisiyle ilgili yeni veriler elde edilmiştir. Sıcaklık artışıyla (Sil-NH<sub>2</sub>) yüzeyine kırmızı boyanın adsorpsiyonu artarken sarı boyanın adsorpsiyonunun azaldığı gözlenmiştir. Yüzey aktifleştirici madde kullanılarak yapılan işlemlerde sıcaklıkla adsorpsiyonun arttığı saptanmıştır. Tek istisnai durum sarı boya için 55 °C'dir. Bu sıcaklıkta önemli bir önemli bir değişim gözlenmemiştir. Anyonik boya ile yüzey aktifleştirici madde içeren adsorbanın etkileşiminde etkin olan durumun boyaların yapısında bulunan sulfonat grupları olduğu görünmüştür. Boyaların katı fazla etkileşimiyle ilgili verilerin Avrami kinetik modeline uyduğu bulunmuştur. Bu modele göre temas süresi ve sıcaklık değiştiğinde ikiden dörde değişen kinetik bölgeler belirlenmiştir. Elde edilen k ve n gibi Avrami sabitlerinden amino propil –silikadaki adsorpsiyonun hem yüzeyde hemde iç kısımlarda olduğu çıkarılmıştır.



Meshko ve ark. (2001), doğal zeolit ve tanecikli aktif karbon kullanılarak sulu çözeltilerden bazı boyaların adsorpsiyonunu karıştırıcısı bir Batch adsorplayıcısı kullanarak belirlenmişlerdir. Adsorbentin kütlesi, karıştırma zamanı ve boyanın başlangıç derişimi incelenmiştir. Adsorpsiyon verileri Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermi kullanılarak değerlendirilmiştir. Kinetik incelemelerde için dış kütle transfer direnci ile birlikte homojen difüzyon modeli birlikte değerlendirilmiştir. Adsorbentin kütlesi ve başlangıç derişimine katı difüzyon katsayısının bağılılığı basit bir ampirik denklemle verilmiştir.

Na-ve Al- montmorillonit üzerine tek değerli anyonik boyalardan alizarinatın adsorpsiyonu kil süspansiyonlarına boya ilave edilerek yapılmıştır. Lepstein ve Yariv, (2003). Boya kil süspansiyonlarının kurutulmuş numunelerinin spektrumları incelenmiştir. Na- montmorillonitin 100 gramı 5 mmol alizarinat boyasını adsorbe ederken Al- montmorillonitin 100 gramının 10 mmol boya adsorbe ettiği belirlenmiştir. Bu killerle etkileşim sonucu maksimum adsorpsiyon kapasiteleri saptanmıştır. Al-montmorillonit-boya süspansiyonun spektrumları 488-504 nm aralığında absorpsiyon bandı verirken kurutulmuş Al- montmorillonitte spektrumlar 415- 455nm aralığında gözlenmiştir. Kil-alizarinat yapılarının spektrum incelemeleri boyanın Al-montmorillonit tabakalarının içine yerleştiğini ortaya koymuştur. Bu kilde alizarinatın  $Al^{+3}$  iyonu ile koordinasyon bileşimi oluşturduğu bulunmuştur.

Wu ve ark. (2004), orta büyüklükte gözenek içeren silika ve hibrid jeller üzerinde alizarin red S ve fenol kırmızısı boyalarının adsorpsiyonunu incelemişlerdir. Mezopor jel olarak adlandırılan hibrid jeller tetraetoksi-silan, metil-trietoksi-silan, vinil tri etoksi-silan, propiltrioksi-silan ve feniltrioksi-silandan elde edilmişlerdir. Deneysel sonuçlar elde edilen hibrid jellerin adsorpsiyon kapasitelerinin saf silika jelden daha yüksek olduğunu ortaya koymaktadır ve bu kapasiteler jel yüzeyinin hidrofobikliğiyle artmaktadır. Bu durumdan yararlanarak organik boyalar ile jel yüzeyleri arasındaki hidrofobik etkileşimlerin adsorpsiyonda etkin olduğu sonucu çıkarılmıştır. Çalışmalarda elde edilen deneysel verilerin Langmuir ve Toth izoterm modellerine uygun olup olmadığı denenmiştir.

İki hidrojinin etkileştirilmesiyle elde edilen kerojellerin metil oranj, alizarin red S, brillant mavisi ve fenol kırmızısı gibi dört farklı organik boyayı adsorpsiyonu Wu ve

ark. (2004), tarafından incelenmiştir. Elde edilen kerojellerin adsorpsiyon kapasitesine etki eden faktörleri anlayabilmek için çözeltilerin pH' sı, kerojellerin yapısal özellikleri ve hidrofobluğu değiştirilmiştir. İki farklı adsorban karıştırılarak hidrofobluk kontrol edilirken, jellerin yapıları setiltrimetilamonyumbromürle değiştirilmiştir. Araştırmalardan organik /anorganik hidrid kerojel oranları arttıkça adsorpsiyon kapasitesinin arttığı belirlenmiştir. Bu çalışmaların hepsinde pH arttıkça kerojel yüzeyi ile boya arasında elektrostatik itmeden dolayı adsorpsiyonun azaldığı belirlenmiştir. Araştırmalardan hidrofobik yüzeyler ile gözenek boyutu /hacim oranı arttıkça adsorpsiyon kapasitesinin de arttığı saptanmıştır.

Kadirvelu ve ark.(2003), zirai toprak atıkları, pamuk , hindistan cevizi, mısır ve muzun bazı kısımlarından elde ettikleri aktif karbonları sulu çözeltilerden boya ve ağır metal adsorpsiyonu için kullanmışlardır. Ağır metal ve boyaların çok kısa zamanda önemli oranlarda adsorbe oldukları saptanmıştır. Deneysel sonuçlardan sulardan kirlilikleri uzaklaştırmak için bu çalışmada kullanılan aktif karbonlarının çok etkili olduğu görülmüştür.

Mohan ve ark. (2002), atık sulardan boya uzaklaştırmak için mevcut olan maliyetli metotların yerine maliyeti düşük adsorbanları kullanmıştır. Adsorban madde olarak termal güç fabrikasında oluşan uçucu küller kullanılmış ve bunlar düşük maliyeti adsorbana dönüştürülmüştür. Adsorpsiyon incelemeleri farklı sıcaklık, tanecik büyüklüğü, pH ve adsorbent miktarlarıyla yapılmıştır. İncelemelerden adsorpsiyonun sıcaklıkla artışı ve dolayısıyla olayın endotermik olduğu saptanmıştır. Beklenildiği gibi adsorpsiyon tanecik boyutuyla ters orantılı olarak değişmektedir. Adsorpsiyonla ilgili bütün verilerin Langmuir ve Freundlich izotermine uyduğu belirlenmiştir. Boya uçucu kil sisteminde adsorpsiyon için serbest enerjisi, entalpi ve entropi gibi termodinamik parametreler belirlenmiştir.  $\Delta G$  değerlerindeki negatiflik olayın kendiliğinden olduğunu,  $\Delta H$  değerlerinin pozitif olması olayın endotermik olduğunu göstermektedir. Boyalarını adsorpsiyonunun I. derece hız denklemlerine uyduğu saptanmıştır. Araştırmalardan düşük maliyetli adsorban maddenin adsorplama kapasitesinin diğer adsorbanların kapasiteleri ile karşılaştırılabilecek derecede yüksek olduğu belirlenmiştir.

Alkan ve ark.(2004), büyük gözeneklere sahip sepioliti adsorpsiyon işlemlerinde kullanmışlardır. Yüksek iyon kapasitesi, yüksek yüzey alanı ve ucuz maliyeti nedeniyle kullanılan sepiolit atık sulardan renkli tekstil boyalarını uzaklaştırmak için uygun mineral olup olmadığı asid red 57 boyasını adsorpsiyonunu inceleyerek denemişlerdir. Bu amaç için asid red 57 ile sepiolitin sulu çözeltileri pH, iyonik şiddet ve sıcaklığın fonksiyonu olarak incelenmiştir. Denge zamanının 1 saat olarak belirlendiği çalışmalarda adsorpsiyon miktarının pH 3-9 aralığında ve sıcaklık 25 -55 aralığında azaldığı gözlenmiştir. İyonik şiddet 0-0.5 aralığında değişirken adsorpsiyonun arttığı görülmüştür. Sepiolit – asid red 57 adsorpsiyonunun Langmuir ve Freundlich modellerine uygun olduğu belirtilmekle beraber, Langmuir modelinin daha iyi bir uyum gösterdiği vurgulanmıştır. Sepiolitin 105 °C deki yüzey alanı 342 m<sup>2</sup>/g, 200 °C ise 357 m<sup>2</sup>/g olduğu ve ısı ile ağırlık kaybının yaklaşık % 21,49 olduğu belirlenmiştir. Sıcaklıkla yüzey alanındaki artış kilin kristal yapısının ve tıkalı kanallarının deformasyonu ile açıklanmıştır. Farklı sıcaklıklarda elde edilen adsorpsiyon verilerinden yararlanarak Gibbs enerjisi adsorpsiyon ısısı ve entropisi gibi bazı termodinamik nicelikler hesaplanmıştır. Boyanın sepiolitle adsorpsiyonunun fiziksel olduğu termodinamik verilerden belirlenmiştir. Sepiolitin adsorpsiyon kapasitesi maliyetli diğer adsorbanlarla karşılaştırılmıştır.

Yao ve ark.(2010), yiyecek işleme endüstrisinin atıklarından olan kestane kabukları üzerinde Cu(II) iyonlarının adsorpsiyonunu incelemişlerdir. Kinetik, termodinamik ve adsorpsiyonla ilgili denge verileri değerlendirilmiştir. Denge verilerinin Langmuir ve Redlich-Peterson izotermine uyduğu belirlenmiştir. Kestane kabuğunun Cu(II) adsorpsiyonundaki kapasitesi Langmuir denkleme göre 12,56 mg/g olarak 293 K’de belirlenmiştir. Kinetik verilerin yalancı II. derece denkleme uyduğu belirlenmiştir. Gibbs serbest enerjisi değerlerinden adsorpsiyonun kendiliğinden olduğu, entalpi değerlerinden ise adsorpsiyonun ekzotermik olduğu görülmüştür. Kestane kabuklarının sulu çözeltilerden Cu(II) uzaklaştırmak için kullanılacak bir adsorbent olduğu bulunmuştur.

Jaikumau ve Ramamurthi (2009), Batch metoduyla bira endüstrisi atıklarını kullanarak asid green biosorpsiyonunu pH, sıcaklık, boya konsantrasyonu biosorbent miktarı ve temas süresinin fonksiyon olarak incelemiştir. İncelemelerde

adsorpsiyonun en yüksek olduğu sıcaklık 303 K, pH 3, başlangıç derişimi 90 mg/L , biosorbent miktarı 0,200 g ve temas süresi 75 dakika olarak belirlenmiştir. Biosorpsiyon dengesini açıklamak için Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon modelleri kullanılmış ve bu izotermelerin sabitleri değerlendirilmiştir. Denge verilerinin Langmuir izotermine uyduğu belirlenmiştir. Yalancı I. derece ve II. derece kinetik denklemleri deneysel verilere uygulanmıştır ve sonuçlar yalancı ikinci derece hız denklemlerine daha iyi uygunluk göstermiştir. Biosorpsiyon hız sabitlerinin değerlerinin artan derişimle orantılı olduğu görülmüştür.

Pirillo ve ark. (2009), goethite, cogoethite ve magnetite olarak adlandırılan üç farklı adsorbent üzerinde iki boyanın pH'nın fonksiyonu olarak adsorpsiyonu incelemiştir. Goethite ve cogoethite maddelerinde anyonik bir adsorpsiyon gözlenmiştir. Manyetite yapılan adsorpsiyonda pH ile bir derişim görülmemiştir. Deneysel sonuçlara göre önerilen yüzey kompleksleri FTIR spektroskopisi ve moleküler mekanik hesaplarından bulunan değerlerle uyum içindedir. Alizarin ve Eriochrome Blue Black R boyaalarının adsorpsiyonunda en iyi adsorbentin goethite olduğu saptanmıştır. Cogoethite bulunan farklı katyonlar adsorpsiyona katkı sağlamamıştır. Düşük pH' lardan goethite ve cogoethite benzer adsorplama gücü gösterirken daha yüksek pH' larda özellikle Eriochrome Blue Black R adsorpsiyonun arttığı gözlenmiştir. Magnetite de pH ile adsorsiyonda artış gözlenmiştir. Ancak boyaaların magnetite adsorbe olmak için az ilgili oldukları görülmüştür. Bu çalışmada kullanılan demir oksit türü üç adsorben üzerinde boya adsorbe olurken elektrostatik bir etkileşim olduğu ortaya konulmuştur.

Hameed ve ark. (2008), Hindistan cevizi artıklarını kullanarak sulu çözeltilerden metilen mavisini uzaklaştırmayı denemiştir. Batch metodunun kullanıldığı deneyler 30 °C de yapılmış ve pH ile başlangıçtaki boya derişimleri deriştirilerek sonuçlar bulunmuştur. Düşük maliyetli bir adsorban madde olan bu adsorbanın denge sonuçlarının Langmuir , Freundlich ve Temkin adsorpsiyon modellerine uygunluğu araştırılmıştır. Sonuçların en iyi Langmuir izotermine uyduğu ve adsorpsiyon işlemindeki tek tabaka kapasitesinin 70,92 mg/g (30 °C) olduğu saptanmıştır. Farklı derişimlerde elde edilen kinetik veriler yalancı I. Derece, yalancı II. derece ve

partiküller arası dağılım denklemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Deneysel verilerin en iyi yalancı II. Derece kinetik modeline uyduğu gözlenmiştir.

Guezguez ve ark. (2009), Akdenizde yaygın olarak bulunan çiçekli bitkilerden *Posidonia oceanica* boyaları uzaklaştırmak için biosorbent olarak kullanmışlardır. Sulu çözeltilerden asit yellow 59 boyasını uzaklaştırmak için bu biosorbentin toz ve tanecikli olmak üzere iki ticari aktif karbonla adsorpsiyon bakımından karşılaştırmaları yapılmıştır. Her üç adsorbent için pH, konsantrasyon, temas zamanı ve başlangıç boya konsantrasyonları değiştirilerek adsorpsiyonlar incelenmiştir. Bu üç materyal içinde maksimum adsorpsiyon gözlemlendiği pH, 2-3 arası olarak saptanmıştır. 20, 50 ve 100 mg/L başlangıç boya derişimlerinde yapılan kinetik çalışmalar bütün materyaller için yalancı II. derece modele uygun olarak adsorpsiyon olduğunu ortaya koymaktadır. Denge zamanları biosorbent için 10, toz halindeki aktif karbon için 400 dakika ve tanecikli aktif karbon için 600 dakika olarak belirlenmiştir. Denge verileri bütün materyaller için Freundlich izotermine uygunluk göstermektedir. En iyi adsorpsiyon toz halindeki aktif karbondadır. Biosorbent ikinci sırada yer almaktadır. Bu sonuçlar biosorbentin etkili bir adsorbent olduğunu ve ucuz olması nedeniyle alternatif olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Tsai ve ark.(2004), asit boyaların adsorpsiyonu için adsorbent madde olarak aktive edilmiş ağartılmış toprağı kullanmışlardır . Sulu çözeltilerde yapılan çalışmalar 25 °C ve üç farklı kil boyutunda yapılmıştır. Adsorpsiyon hızı başlangıçtaki boya derişimlerinden saptanmıştır. Yalancı II. derece hız modeli deneysel verilere uygun şekilde dengedeki adsorpsiyon kapasitesini, denge derişimini ve adsorpsiyon hız sabitini bulmak için kullanılmıştır. Aktive edilmiş ağartılmış toprağın asit boyalarını adsorplama kapasitesi asit oranj 51 > asit mavisi > asit oranj 10 sırasında; boyaların moleköl ağırlığı boyutlarına uygun şekilde değıştiğı ortaya konulmuştur. Kilin birim ağırlığı başına uzaklaşan boya miktarları yaklaşık olarak asit oranjı 51'de %24 Asit blue 9'da ve asit oranj 10' da %3 olarak saptanmıştır. Ayrıca asit oranj 51'in adsorpsiyon kinetiğinin yalancı ikinci derece hız denkleminde uygun bir şekilde açıklanabileceğı ortaya konulmuştur. Adsorpsiyon izotermeleri incelendiğinde Langmuir izotermelerinin Freundlich izotermelerinden daha iyi adsorpsiyon olayını açıklamaya uygun olduğu belirlenmiştir.

Tsai ve ark.(2001), şeker kamışı atıklarını 500<sup>0</sup>C' de 0-5 saat ZnCl<sub>2</sub> ile kimyasal aktivasyon işlemine tabi tutarak aktif karbonlar hazırlamışlardır. Bu adsorbanların Langmuir yüzey alanı ve toplam pore(gözenek) hacmi bu maddelerin ortalama gözenek çapını tahmin için kullanmıştır. Adsorpsiyonda kullanılan adsorbanların kapasiteleri 20 ve 40 <sup>0</sup>C lerde ölçülmüştür. Adsorpsiyon olayının genel adsorpsiyon denklemlerine uyduğu belirlenmiştir. Bu çalışmadan kullanılan adsorbentlerin fiziksel özelliklerinin izoterm bağlantılarından elde edilenlerle uyumlu olduğu gözlenmiştir.

Namasivayan ve Sangeetha (2006), Hindistan cevizi atıklarında aktif karbon üretmiştir. Bu maddeyi ZnCl<sub>2</sub> aktive etmiş ve zehirli anyonlar, ağır metaller, organik birleşikler ve boyaların sudan uzaklaştırmasında bu adsorbanları kullanmışlardır. Bu çalışmada nitrat, tüyosiyonat, selenit, sülfat, molibdat, fosfat gibi anorganik iyonlar ve nikel, civa gibi ağır metaller incelenmiştir. Rezorsinol, 4-nitrofenol, catechol, bisfenol, 2-aminofenol, o-krezol, fenol ve 2-klorofenol gibi organik maddeler, asit brilant blue, asit violet, metilen mavisi, rodamin B, kongo kırmızısı gibi boyaların adsorpsiyonları araştırılmıştır. Bütün adsorplanan maddeler için maksimum adsorpsiyon 20 mg/Llik çözeltilerde gözlenmiştir. Sonuçlar hindistan ceviz atıklarının ZnCl<sub>2</sub> ile aktive edilmesiyle elde edilen adsorbanların sudan toksit maddelerin uzaklaştırılmasında etkili olduğunu göstermiştir.

Crini (2006), sulu çözeltilerden kendiliğinden biyolojik olarak bozulup kolayca uzaklaşmayan kirliliklerin uzaklaştırılması için adsorpsiyon teknikleri kullanmıştır. Suda kolayca bozulmayan en önemli maddelerden biri boyalar olduğundan bunların sulardan uzaklaştırılması için aktif karbon üzerinde adsorpsiyon ve biyolojik işlemi aynı anda uygulamıştır. Bu amaçla ticari aktif karbonlar tercih edilmesine rağmen bunların maliyetleri oldukça yüksektir. Bu yüzden alternatif olarak alışılmışın dışında bir adsorbent incelenmiştir. Genellikle doğal materyaller, zirai ve endüstriyel atıklardan elde edilen maddeler ve biosorbentler iyi bilinen ve pahalı olmayan adsorban maddelerdir. Bu çalışmada bu tür adsorban maddelerin bir listesi ve bazı boyaları adsorlama miktarları verilmiştir. Bu çalışma bu materyallerin özelliklerini, avantaj ve dezavantajlarını belirtmiştir. Belli boyaların adsorpsiyonunda pahalı olmayan materyallerin kullanımıyla ilgili yaklaşık 210 literatür incelenmiştir. Bu incelemeler

sonucunda citozanın çevresel ve saflaştırma amacıyla takdim edilen önemli adsorbentlerden biri olduğu ortaya konulmuştur.

Özaçar ve Şengil (2002), Türkiye ve Dünyada büyük rezervelere sahip aluniti kalsine ederek boya adsorpsiyonunla kullanmışlardır. Kalsine alunitin adsorpsiyon kapasitesini karşılaştırmak için tanecikli aktif atomlar kullanılmıştır. Asit blue 40, asit yellow 17 boyalarının sulu çözeltilerden kalsine alunit tarafından adsorpsiyonu, farklı kalsinasyon sıcaklıkları, farklı pH, zaman, tanecik boyutu, karıştırma zamanı ve farklı boya derişimlerinde incelenmiştir. Adsorpsiyonun Langmuir ve Freundlich izotermine uyduğu saptanmıştır. Adsorpsiyonun I. dereceden adsorpsiyon hız denkleminde uyduğu belirlenmiş olup hız sabitleri Asit Blue 40 için  $7,65 \times 10^{-2}$  Asit yellow 17 sabitleri Asit Yellow 17 için  $5,74 \times 10^{-2} \text{ min}^{-1}$  olarak belirlenmiştir. Tanecikli aktif karbon için aynı sabit sırasıyla  $8,41 \times 10^{-2}$  ve  $10,04 \times 10^{-2} \text{ min}^{-1}$  olarak bulunmuştur. Dengedeki sistemlerde kalsine alunit için maksimum adsorpsiyon kapasitesi Asit blue 40 ve Asit yellow 17 için sırasıyla 212,8 mg boya/g ve 151,5 mg boya/g belirlenirken, tanecikli aktif karbonun adsorpsiyonu için belirlenen değerler 57,47 mg boya/g ve 133,3 mg boya/g olarak saptanmıştır. Tanecikli aktif karbonların karşılaştırıldığında gözlemlendiği gibi asit boyalarını uzaklaştırmak için kalsine alunit son derece etkili adsorban maddedir.

Walker ve ark. (2003), sulu çözeltilerden reaktif boyalardan uzaklaştırmak için kömürleştirilmiş dolomiti kullanmışlardır. Boyayı uzaklaştırmak için karıştırma hızı , boyanın başlangıç derişimi, adsorban maddenin kütlesi, sıvı hacmi oranlarının etkisi ampirik dış kütle transfer ve tanecikler arası difüzyon modelleri kullanılarak matematiksel olarak açıklanan deneysel verilerle belirlenmiştir. Deneysel veriler boya uzaklaşma hızının hem dış kütle transfer hemde tanecikler arası difüzyon modellerine bağlı olarak hareket ettiğini göstermektedir.

Wang ve ark.(2004), kalsiyummontrorillonit kilindeki katyonu Titan ile değiştirmişler ve bazik green S ve bazik violet 10 boyaların bu kille adsorpsiyon dengesini ve kinetiğini ve bazik boyaların adsorpsiyonunu değişen iyonun etkisini incelemek için, araştırmışlardır. İyon değişim işleriyle montrorillonitin gözenek yapısındaki değişim ve boya adsorpsiyonu arasındaki ilişki de araştırılmıştır. Adsorpsiyon esnasında montrorillonitin gözenek yapısı ve yüzeyindeki değişimler XRD

ve azot adsorpsiyonu analizleri temel alınarak aydınlatılmıştır.Boya adsorpsiyonundan sonraki montrorillonitlerin BET yüzey alanlarındaki azalış yüzeydeki düzgün olmayan kısımların kapanması ve bazı gözeneklere azot molekülü girerek onu inhibe etmesi ile yorumlanmıştır. Bu amaçla adsorpsiyondan önce ve sonraki ortalama gözenek boyutlar incelenmiştir.

Deirylo-Marczewska (1999), aktif karbonlu seyreltik sulu çözeltilerden zayıf organik elektrolitleri uzaklaştırmak için kullanılan adsorpsiyon işleriyle ilgili genel bir modeli incelemiştir. İncelemelerden adsorpsiyon dengesi üzerine adsorbent yüzey heterojenitesi, pH ve iyonik kuvvet tarafından oluşturulan yüzey yükü, adsorbe fazlar arasındaki etkileşimlerin dikkate alındığı yaklaşımlar ortaya konulmuştur. Bu yaklaşımlar çok geniş bir pH ve derişim aralığında benzoik ve salisilik asidin adsorpsiyonuyla ilgili deneysel verilerle tanımlanmıştır.

Malik (2004) yerel bir fabrikadan aldıkları talaşları kullanarak etkili bir adsorbent yapmıştır. Bu adsorbent tekstil boyalarının atıklarını içeren sulardan boya uzaklaştırmak için kullanılmıştır. Deneysel veriler Langmuir ve Freundlich adsorsiyonun modelleriyle analiz edilmiştir ve verilerin Langmuir modeline iyi olduğu saptanmıştır. Adsorpsiyon hızının yalancı II. derece hız bağlantısıyla iyi bir korelasyon içinde olduğu bulunmuştur. Talaşlardan elde edilen adsorbanın kapasitesi Langmuir denkleminde ve yalancı II. derece hız bağlantısından 300 mg boya/g üzerinde şeklinde bulunmuştur. Adsorpsiyon işleminde en ideal PH 3 ve alındaki değerler olarak belirlenmiştir. Sonuçlar yerel bir birimden alınan talaşlardan elde edilen adsorbanın ticari aktif karbona göre ucuz olması sebebiyle atık sulardan boyaların uzaklaştırmasında alternatif olarak kullanılabileceğini ortaya koymuştur.

Robinson ve ark.(2002), boya uzaklaştırma için daha önce denenmemiş arpa kabuğu ve mısır koçanı gibi biosorbentleri kullanmışlardır. Boya adsorpsiyonu için daha maliyetli işlemlere alternatif olarak kullanılma durumunun araştırıldığı çalışmada deneyde 10,20,30,40,50,100,150 ve 200 mg/L' lik boya derişimlerinde beş farklı tekstil boyasının suni olarak karıştırılmasıyla yapılmıştır. Başlangıçtaki boya derişiminin, biosorbent partikül boyutunu ve, biosorbent miktarının adsorpsiyona etkisi incelenmiştir. İncelemelerden 1gram mısır püskülünün ( $\leq 600 \mu m$ ) 48 saat içinde boyanın %92 sini uzaklaştırdığı saptanmıştır. 1x4 mm boyutundaki arpa kabuğunun 1



gramının diğer adsorbanın kapasitesinde adsorpsiyon yapma açısından uygun ağırlık ve partikül boyutu olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak arpa kabuğu ve mısır püskülünün çözeltilerinden tekstil boyası adsorpsiyonunda kullanılabilecek etkili bir biosorbent olduğu ifade edilmiştir.

Faria ve ark. (2004), farklı tür boyaların uzaklaştırmalarında aktif karbonun yüzeydeki kimyasal gruplarına etkisini araştırmışlardır. Bu amaçla alınan aktif karbon yüzey özellikleri farklı adsorbanlar oluşturmak için bir takım ön işlemlerden geçirilmiştir. 6M HNO<sub>3</sub> ve 10M H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> ile muamele ile okside edilme ve H<sub>2</sub> veya N<sub>2</sub>' li ortamda 700 °C ısıtma işlemi bu ön işlemlerdir. Isıtma işlemleriyle bazik materyal diğer işlemlerde asidik materyal elde edilmiştir. Elde edilen materyallerin spesifik mikro gözenek hacmi ve mezopor yüzey alanları 77 K'de N<sub>2</sub> adsorpsiyon işlemlerinden belirlenmiştir. Yüzey kimyası, sıcaklık programlı desorpsiyon işlemiyle yüzey yükünün sıfır olduğu pH saptanarak karakterize edilmiştir. Bu işlemlerde adsorbanın asitlik ve bazikliği de dikkate alınmıştır. Elementel analizlerde yapılmıştır. Yüzeyleri değişime uğramış adsorbanların asidik, bazik ve reaktif boyaların adsorpsiyonuyla ilgili denge izotermi belirlenmiş ve sonuçlar yüzey kimyası açısından tartışılmıştır. Genellikle adsorpsiyon verilerine Langmuir modelinin en iyi uyduğu belirlenmiştir. Sonuçlar aktif karbonun yüzeyinin yapısının boya adsorpsiyonunda önemli bir rol oynadığını göstermiştir. 700 °C de H<sub>2</sub> ortamda termal işleme tabii tutularak elde edilen bazik numunenin üç boyanın hepsi içinde en iyi adsorpsiyon özelliği gösteren madde olduğu görülmüştür.

Hameed ve Aziz (2007), aktive edilen palmiye küllerinin üzerinde sulu çözeltilerden asit green 25 boyasının uzaklaştırılmasını incelemiştir. Deneyler temas zamanı, başlangıç konsantrasyonu (50-600 mg/L), pH (2-12) ve sıcaklığın (30-50 °C) fonksiyonu olarak yapılmıştır. Boyanın bu adsorban üzerinde tutulmasıyla ilgili denge verileri Langmuir ve Freundlich modelleriyle incelenmiş ve sonuçların Freundlich modeline daha iyi uyduğu belirlenmiştir. Asit green 25 maddesinin adsorpsiyonuyla ilgili adsorban maddenin adsorplama kapasitesi 30,40 ve 50 °C'ler için sırasıyla 123,4, 156,3 ve 181,8mg/g olarak bulunmuştur. Adsorpsiyon verileri yalancı I.derece, yalancı II.derece ve intra partikül difüzyon kinetik denklemleri kullanılarak incelenmiş ve adsorpsiyonun kinetiğini açıklamak için en iyi bağıntının yalancı II.derece kinetik

denklemini olduğu saptanmıştır. İzotermeler serbest enerji, entalpi, entropi gibi termodinamik parametrelerin eldesinde kullanılmıştır. Entalpi değerleri 26,64 KJ/mol olarak saptanmıştır. Bu durum olayın endotermik bir işlem olduğunu gösterir. İncelemeler sonucu elde edilen veriler sulu çözeltilerden asit green 25 boyasının adsorpsiyonu için aktive edilmiş palmye küllerinin kullanılmasının uygun olduğunu göstermiştir.

Özaçar ve Şengil (2005), tekstil endüstrisinde kullanılan metal kompleks boyalarının neden olduğu problemleri ortadan kaldırmak için çam talaşını kullanmışlardır. Bu adsorban ile metal kompleks boyalarının adsorpsiyonuna başlangıçtaki boya konsantrasyonunun , temas zamanının , adsorbanın miktarının, pH ve tanecik boyutunun etkisi araştırılmıştır. Metal kompleks boyaların adsorpsiyonu asidik pH'larda daha uygun yürümüştür. Adsorpsiyon işleminde dengeye ulaşmak için belirlenen süre 120 dakikadır. Deneysel veriler Langmuir , Freunlich ve Temkin izoterm denklemleriyle analiz edilmiştir. ve en uygun sonuçlar Langmuir izotermine elde edilmiştir. Tek tabaka kapasitesi metal kompleks mavi ve metal kompleks sarı boyaları için sırasıyla 280,3 ve 398,8 mg boya/g olarak bulunmuştur. Sonuçlar sulu çözeltilerden metal kompleks boyaların uzaklaştırılmasında çam talaşının ucuzluğundan dolayı ticari aktif karbona alternatif olarak kullanılabilceğini göstermiştir.

Krysztafkiewicz ve ark. (2002), modifiye silika yüzeyleri üzerinde çeşitli organik boyaların adsorpsiyonunu araştırmışlardır. Bu amaçla, etilen glikollü ortamda CO<sub>2</sub> kullanılarak sodyum metasilikat çözeltisinden çöktürülerek hazırlanan EG-Silika kullanılmıştır. Boya ile etkileşimin olabilmesi için, silika yüzeyleri amino fonksiyonel grubuyla silan bağları kullanılarak modifiye edilmiştir. Adsorpsiyon işleminin olmasını sağlayan mekanizmalar tartışılmıştır. Morfoloji ve mikro yapılarla ilgili incelemeler SEM (scanning elektron mikroskobu) kullanılarak yapılmıştır. Tanecik boyut dağılımı hareketli ışık dağıtım tekniği kullanılarak incelenmiştir. SEM ile elde edilen veriler ve tanecik boyut dağılımları EG-silikanın son derece düzgün dağılımlı bir adsorpsiyon yaptığını göstermiştir.

Van Roosmalen ve Mol (1979), saydam silika aerojel tabakalarının hidrasyonu ve dehidrasyonunu infrared spektroskopisi ve termogravimetri ile incelemişlerdir. 875

K'de gazlarından arındırılmış silikajelin hidrasyonu ile ilgili aşağıdaki mekanizmalar ortaya konulmuştur:

1) Vicinal silanol çiftlerine hidrojenle bağlı ısı su fiziksel olarak adsorbe olmuştur. 2) Su yığınları yüzeydeki siloksanları hidroliz ederek daha fazla vicinal yapı oluşturmuştur. 3) Bu yeni hidroksil grupları üzerinde de sular adsorbe olmuştur. İzole edilmiş yüzeylerdeki silonoller su buharı adsorpsiyonunu zorlaştırmıştır.

Ferrero (2007), Batch adsorpsiyon tekniği kullanarak yere dökülen fındık kabukları üzerinde metilen mavisi (1000 mg/L'ye kadar), asit mavisi 25 (500mg/L'ye kadar) maddelerinin çözümlerden adsorpsiyonunu incelemişler ve boya uzaklaştırmasında düşük maliyetli adsorbent olarak kullanabilme potansiyelini tespit için çeşitli odun türlerinin talaşlarıyla yapılan adsorpsiyonla karşılaştırma yapmışlardır. Adsorpsiyon kinetiği Lagergren modeline göre incelenmiştir. Denge verileri Langmuir modeliyle açıklanmış ve her iki boya için fındık kabuğuyla yapılan adsorpsiyon işlemindeki kapasitelerin odun talaşlarıyla yapılan ile bulunandan daha yüksek olduğu saptanmıştır. Metilen mavisinin sabit yataklı (Fixed bed) adsorpsiyonu fındık kabuklarında yapılmıştır ve kırık eğrilerden yatak derinliklerindeki değişim akış oranı ve etkili derişim belirlenmiştir. Veriler Bohart-Adams modeline göre araştırılmış ve fındık kabuklarındaki sütunların performansı yatak derinliği servis zamanı (BDST) yaklaşımıyla belirlenmeye çalışılmıştır.

Kim ve ark. (2001), ham madde olarak ceviz kabuklarını kullanarak kimyasal aktivasyonla tanecikli aktif karbon elde etmeye çalışmışlardır. Ceviz kabuğunun termal özellikleri TG/DTA ile incelenmiştir. Üretilen aktif karbonların adsorpsiyon kapasiteleri titrasyon metodu kullanılarak değerlendirilmiştir. 400 °C üzerine çıkıldığında termal bozulmanın başladığı ve adsorpsiyon kapasitesinin azaldığı gözlenmiştir. 375 °C'de bir saatten daha fazla aktivasyon yapıldığında aktif karbonun mikro gözenek yapısının tahrip olduğu belirlenmiştir. Aktif karbonun adsorpsiyon kapasitesinin belirlemek için titrasyonla saptanan iyodin değeri, aktivasyon sıcaklığı arttıkça ve derişimle artmaktadır. ZnCl<sub>2</sub> ile aktivasyon CaCl<sub>2</sub> aktivasyonu ile kıyaslanmıştır. Ceviz kabuğu ZnCl<sub>2</sub> ile aktive edildiğinde etkinliğinde artış olmuştur. Aktifleştirilen adsorbantın adsorpsiyon işlemlerinde kullanılıp kullanılmayacağı suni olarak hazırlanan bakır çözeltileriyle denenmiştir. Adsorpsiyonun Freundlich izotermine uyduğu

gözlenmiştir. Adsorpsiyonun termodinamiği deneysel sonuçları dikkate alınarak tartışılmıştır. Üretilen aktif karbonun kapasitesi ticari aktif karbonla karşılaştırılmış ve Hindistan cevizi kabuklarından yapılabildiğine göre iyi bir kapasite gösterdiği saptanmıştır.

Kambarova ve Sarymsakov (2008), aktif kömür üretiminde ham madde olarak kullanmak için yararlandıkları ceviz kabuklarının birleşimlerinin analizlerini yapmışlardır. Ceviz kabuklarının birleşiminin aktif kömür üretiminde kullanılan Birch ağacının birleşimine benzer olduğu gözlemlenmiştir. Kuru ve öğütülmüş ceviz kabukları gaz akışı altında karbonizasyon işlemine tabii tutulmuştur. Karbonizasyon işlemi ürünlerin miktarı arttıkça elde edilen aktif kömürün adsorpsiyon kapasitesinin arttığı belirlenmiştir.

Altun ve Pehlivan (2007), sulu çözeltilerden  $\text{Cu}^{+2}$  iyonu adsorpsiyonu için ceviz, fındık ve badem kabuğu gibi düşük maliyetli adsorbanları kullanarak farklı şartlar altında incelemeler yapmışlardır. Bu adsorbanlar üzerinde  $\text{Cu}^{+2}$  iyonunun adsorpsiyonunu etkileyen parametreler: başlangıçtaki metal iyon derişimi, adsorbent miktarı, temas süresi ve çözeltinin pH'ıdır. Başlangıç konsantrasyonu olarak 0,005-0,05 mmol/ml, pH için 2-9 aralığı, temas süresi için 10-240 dakika arası ve adsorbent miktarı için 0,1-1gr arasındaki değerler alınmıştır. En yüksek adsorpsiyon kapasitesi ceviz kabuğunda gözlenmiştir. Her üç adsorbentle  $\text{Cu}^{+2}$  adsorpsiyonunun pH'ı ya bağlı olduğu görülmüştür. Kabuklar üzerinde metal iyonunun adsorpsiyonundaki en büyük değişimler pH 5,5-7 aralığındadır. Bu üç adsorban için optimum pH 6, denge zamanı ise 120 dakika olarak bulunmuştur. Metal iyonunun adsorpsiyonunun Langmuir ve Freundlich izotermine uyduğu gözlenmiştir. Langmuir izoterminden saptanan adsorpsiyon kapasiteleri ceviz, fındık ve badem kabukları için sırasıyla 6,74, 6,65 ve 3,62 mg/g'dır. Deneysel sonuçlar çelatlama olduğunu ve metal iyonunun değişim yoluyla adsorplandığını göstermiştir. En yüksek  $\text{Cu}^{+2}$  iyonunun uzaklaştırıldığı başlangıç derişimi  $110^{-3}$  mol/L olup bu oran %75'in üzerinde olarak belirlenmiştir.

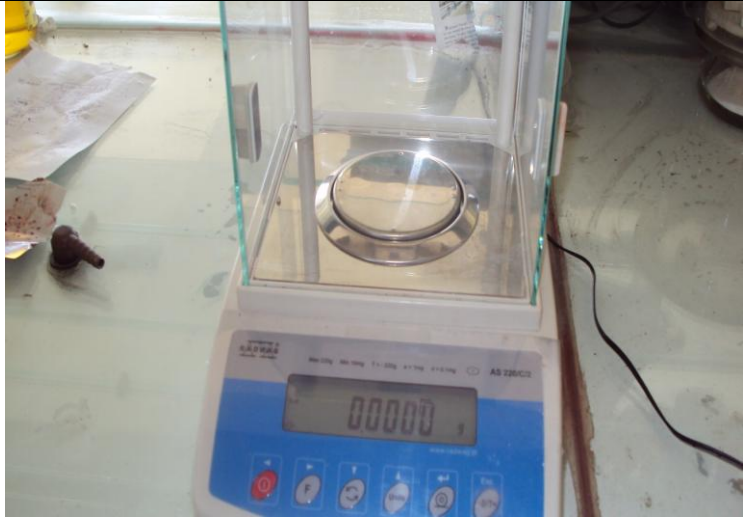
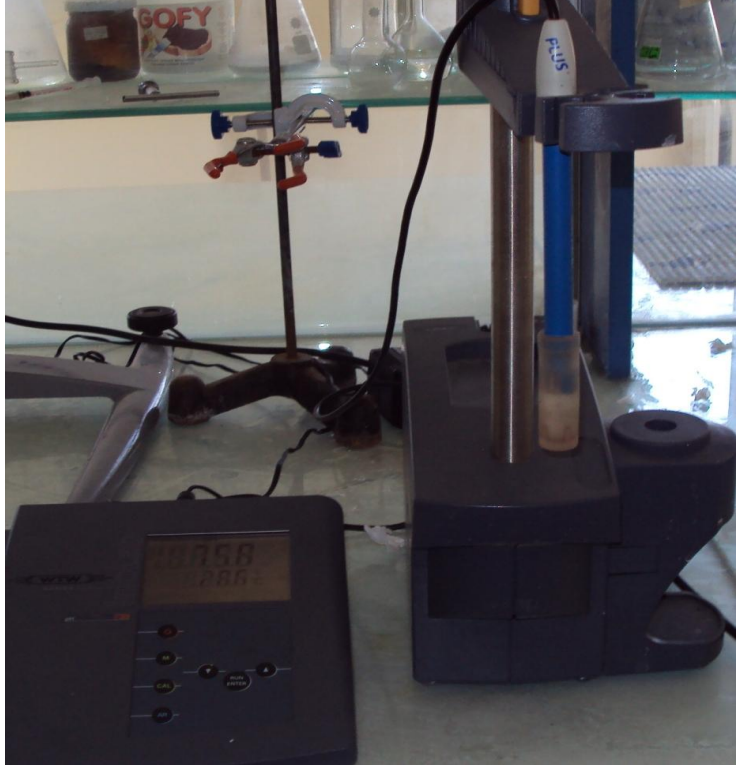
Nowicki ve ark. (2010), ceviz kabuğundan aktif karbon elde etme teknolojisini açıklamışlardır. Isıtma durumu ve sıcaklık gibi aktivasyon metotlarının yüzey özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Elde edilen aktif karbonlar elementel analiz ve düşük sıcaklıkta azot adsorpsiyonu ile karakterize edilmiştir. Ayrıca yüzeyde bulunan oksijen grublarının sayısı tespit edilmiştir. Elde edilen aktif karbonların adsorpsiyon özellikleri

nemsiz şartlarda azot oksit adsorpsiyonu ve iyodin adsorpsiyonuyla belirlenmiştir. Elde edilen son ürünlerdeki mikro gözenekli aktif karbonun yüzey alanı 2305 m<sup>2</sup>/gr ve gözenek hacmi 1,15 cm<sup>3</sup>/g olarak bulunmuştur. Ayrıca yüzeyin asit-baz karakteri gösterebildiği belirlenmiştir. İncelemeler yüzeyde bulunan oksitlerin tipinde etkin olanın sıcaklık ve aktivasyon metodu olduğu saptanmıştır. 66 mg NO<sub>2</sub> /gr ulaşan azot oksit kapasitesiyle bu çalışmada elde edilen ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbonların uygun adsorban olduğu ortaya konulmuştur.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. MATERYAL

##### 3.1.1. Kullanılan araç ve gereçler




<p>1. Elektronik Terazi (Radwag)</p>	
<p>3. pH metre (Jeway)</p>	

4. Santrifuj (Hettich)



5. Etüv (Philip Harris)



<p>6. Süzgeç Kağıdı (Mavi Band)</p>	
<p>8. Fırın</p>	
<p>9. UV spektroskopisi (Hitachi)</p>	



10. Cam malzemeler  
(pipet, balon joje,  
mezür, erlen, beher ve  
huniler)



11. Karıştırıcı (Velp  
Scientifica)



### 3.1.2. Kullanılan kimyasal maddeler

1. Alizarin Red S (Sigma)
2. Metilen Red (Sigma)
3. NaOH Çözeltisi (0,1 N)
4. HNO<sub>3</sub> çözeltisi (0.1 N)

### 3.1.3. Adsorban maddeler

1. Ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon
2.  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş aktif karbon
3. Silikajel (Merck)

### 3.2. Yöntem

Bu çalışmada Van'ın Bahçesaray ilçesinden alınan ceviz kabuklarından aktif karbon elde edilmiştir. Adsorban olarak kullanılan maddelerden birinde ceviz kabuğu hiçbir kimyasal işleme tabii tutulmadan inert ortamda ( $N_2$ ) 450 °C'de 1 saat ışıllama maruz bırakılmıştır. Adsorban olarak kullanılan ikinci maddede ceviz kabukları  $ZnCl_2$  kullanılarak aktive edilmiştir. Bu işlem  $ZnCl_2$  çözeltileriyle ceviz kabuğunun inert ortamda 450 °C'de 1 saat ısıtılmasıyla yapılmıştır.  $ZnCl_2$  ile aktive edilen aktif karbon olarak isimlendirilen bu adsorban süzüntünü pH'sı nötr oluncaya ve  $Cl^-$  iyonları içermeyene kadar suyla yıkanmıştır. Kurutularak kullanıma hazır hale getirilmiştir.

Her iki yöntemle elde edilen adsorbanlar ayrı ayrı agat havanda öğütülüp 400 mesh (0.038 mm) elekten geçirilmiştir. Silikajel de aynı boyuttaki elekten geçirildi. Elde edilen adsorbanlar desikatörde muhafaza edilmiştir.

Adsorban madde üzerinde adsorbe edilecek maddeler alizarin red S ve metil kırmızısıdır. Bu maddelerin saf sudaki 10, 20, 30, 40 ve 50 ppm'lik çözeltileri hazırlandı. Adsorbat olarak hazırlanan bu çözeltilerin pH'ları 2, 3, 4, 7 ve 10 olarak ayarlandı ve her bir konsantrasyondan alınan 10'ar ml'lik numuneler 0.02 g olarak tartılan adsorbanlar üzerine konularak denge kurulana dek karıştırıldı. Tayinler maksimum absorbans veren dalga boyları dikkate alınarak spektrofotometrede yapıldı. Bu işlemler kullanılan iki adsorban maddenin aynı derişim ve pH'sındaki çözeltilerinde 25 °C sıcaklıkta yapıldı. Sıcaklıkla adsorsiyonun değişimini belirlemek amacıyla pH 7 ve 40 °C'de her üç adsorban madde için denemeler yapıldı.

### 3.2.1. Katyon değiştirme kapasitesi

Belirlenmesi: Bu yöntem metilen mavisinin tanecikler üzerinde adsorpsiyonuna dayanmaktadır. Bu amaçla kapalı formülü  $C_6H_{18}ClN_3S$  ve  $M.A= 319.87$  g/mol olan metilen mavisinin suyla 100 ppm lik çözeltisi hazırlandı. 30 mg silikajel, ceviz kabuğu ve  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğu örnekleri 50 ml saf su ile homojen bir şekilde karıştırıldı. Süspansiyonun pH' sı  $HNO_3$  eklenerek 2.5-3.8 arasına ayarlandı. Bu süspansiyonun üzerine 100 ppm lik metilen mavisi çözeltisinden 0.1' er ml eklenerek karıştırıldı. Cam bir çubuk yardımıyla süzgeç kağıdına süspansiyondan bir damla damlatıldı. Açık mavi hale arandı. Harcanan metilen mavisi kullanılarak aşağıdaki formüle göre katyon değiştirme kapasiteleri hesaplandı.

$$KDK=E.V/W(\text{meq}/100\text{g}) \quad (3.31)$$

V: Harcanan metilen mavisi miktarı

E: Metilen mavisinin derişimi

W: Alınan kil miktarı, g

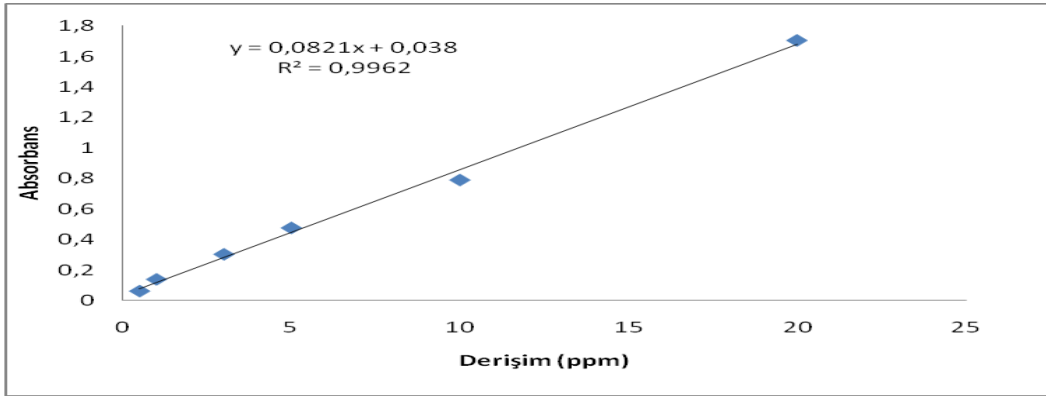
Çizelge 3.1. Killerin katyon değiştirme kapasitesi değerleri

Kullanılan kil KDK (meq/ 100g)	KDK (meq/ 100g)
Silikajel	1.67
Aktif karbon	1.67
$ZnCl_2$ 'li aktif karbon	2.50

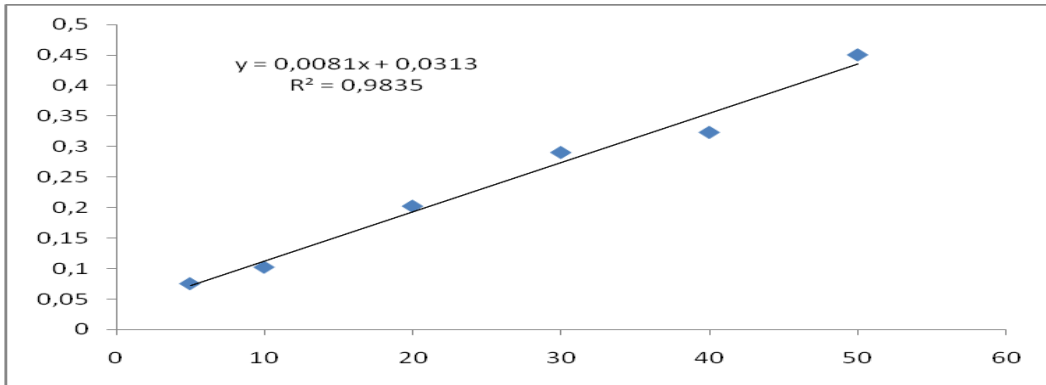
## 4. BULGULAR

### 4.1. Çalışma grafikleri

Alizarin red S ve metil red 'in farklı konsantrasyonlardaki çözeltileri hazırlanarak UV spektrofotometresi ile absorbans değerleri bulunmuş ve elde edilen değerlerden standart grafikler çizilmiştir. Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de gösterilen standart grafikler ve elde edilen doğru denklemlerinden yararlanarak çözeltilerde adsorpsiyondan sonra kalan madde miktarları belirlenmiştir. Başlangıç derişiminden bu değerler çıkarılarak adsorbe olan madde miktarları belirlenmiştir.

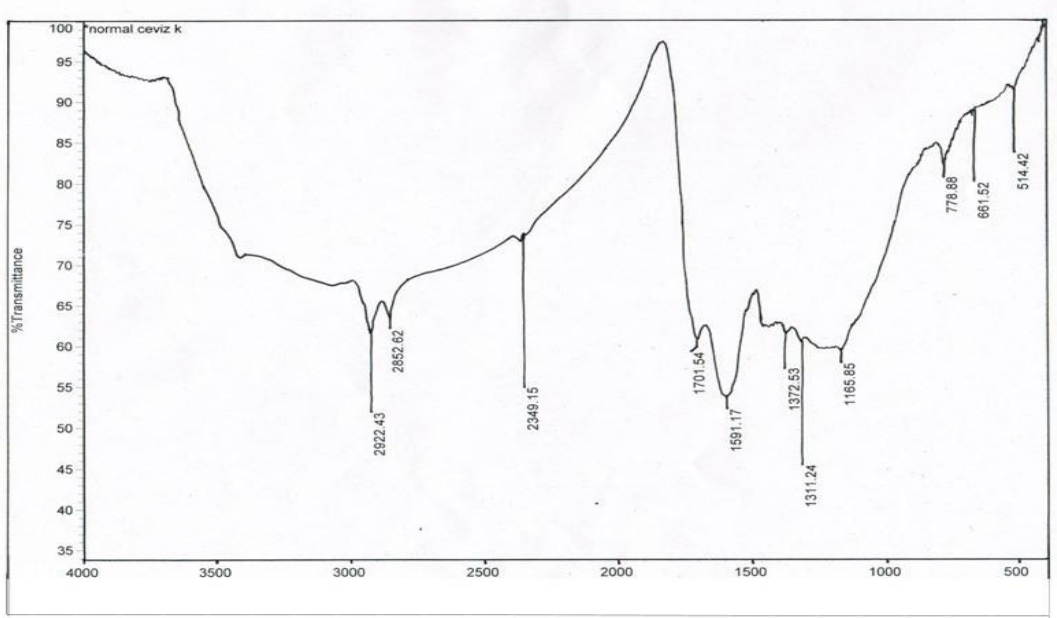


Şekil 4.1. Alizarin red S'nin standart grafiği.



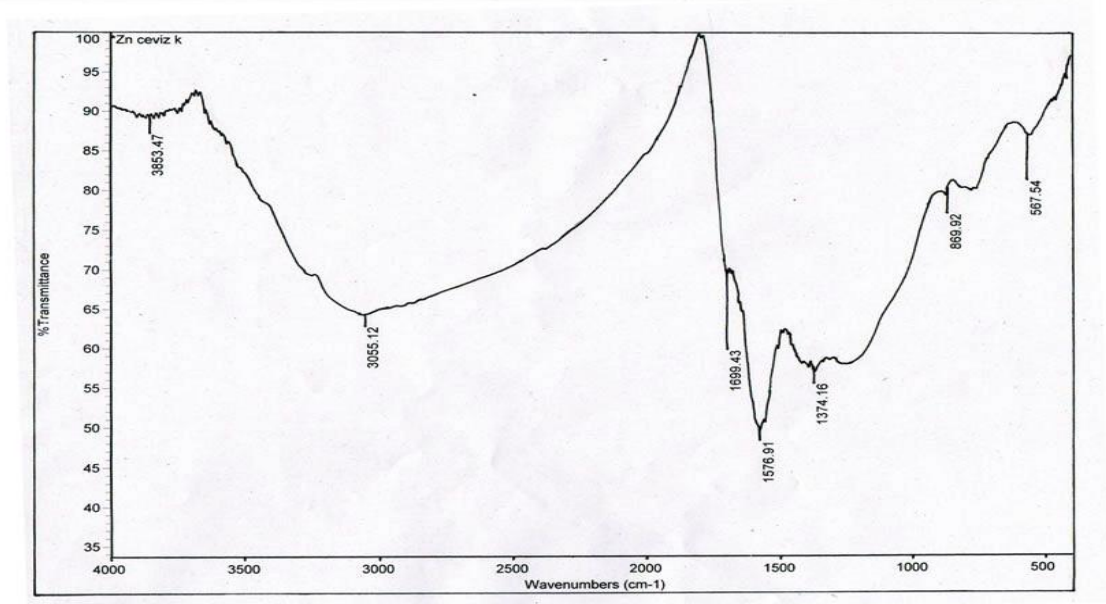
Şekil 4.2. Metil red'in standart grafiği.

## 4.2. Aktif Karbonların IR Spektrumları



Şekil 4.3. Ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbonun FTIR Spektrumu.

Ceviz kabuğundan elde edilen ve hiçbir işleme tabii tutulmamış aktif karbonun FTIR spektrumları incelendiğinde adsorbanın yüzeyinde çeşitli fonksiyonel grupların bulunduğu görülmektedir. 3500  $\text{cm}^{-1}$  civarında gözlenen geniş pik adsorbe su veya hidroksil gruplarından ileri gelmektedir. 2922.43 ve 2852.62  $\text{cm}^{-1}$  'deki bandlar metil ve metilen gruplarının C-H gerilme titreşimleriyle ilgilidir. 1701.54  $\text{cm}^{-1}$  gözlenen band karbonil gruplarının (C=O) gerilmelerinden kaynaklanır. 1591.17  $\text{cm}^{-1}$ 'deki band C=C çift bağının gerilmesinden ileri gelmektedir. 1372.53  $\text{cm}^{-1}$  'deki band O-H bağlarının bükülmesinden(bending) ileri gelmektedir. 1311.24  $\text{cm}^{-1}$ 'deki band C-C ve C-O bağlarının gerilmelerine aittir. 1165.85  $\text{cm}^{-1}$ 'deki band C-O antisimetrik gerilmelerine aittir. 778.88, 661.52 ve 514.42  $\text{cm}^{-1}$ 'deki bandlar C-H ve O-H bağlarının düzlem dışı bükülmelerine ait olabileceği düşünülmektedir. Elde edilen bandlardan ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbonun karbonil, ester, alkol ve eter grupları içerebileceği ortaya konulabilir.



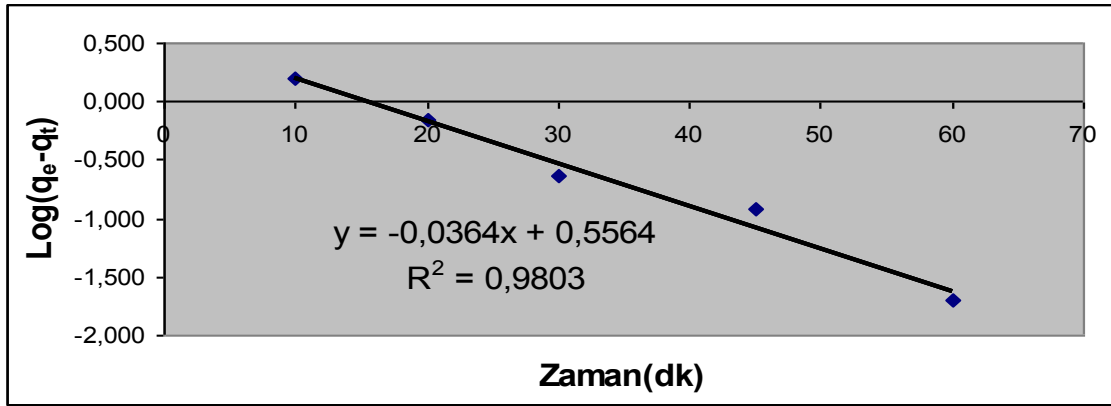
Şekil 4.4. ZnCl<sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbonun FTIR Spektrumu.

Ceviz kabuğundan elde edilen ve ZnCl<sub>2</sub> ile aktive edilen adsorbantın FTIR spektrumları incelendiğinde 2922.43 ve 2852.62 cm<sup>-1</sup> 'deki bandların kaybolduğu gözlenmektedir. Bazı bandların titreşim şiddetlerinde değişimler gözlenmiştir. 3055.12 cm<sup>-1</sup>'de gözlenen zayıf band doymu karbonların C-H gerilimine aittir. metil ve metilen gruplarının C-H gerilme titreşimleriyle ilgilidir. 1701.54 cm<sup>-1</sup> gözlenen karbonil gruplarının (C=O) gerilmelerinden kaynaklanan bandın. Yeri 1699.43 cm<sup>-1</sup>'e kaymış ve şiddeti değişmiştir. 1591.17 cm<sup>-1</sup>'deki C=C çift bağının gerilmesinden ileri gelen bandın yeri 1576.91 cm<sup>-1</sup>'e, 1372.53 cm<sup>-1</sup> 'deki O-H bağlarının bükülmesinden(bending) ileri gelen band ise 1374.16 cm<sup>-1</sup>'e kaymıştır. Bazı çok zayıf olan bandların kaybolduğu, bazılarının ortaya çıktığı spektrum ZnCl<sub>2</sub>'nin aktivasyon işleminde ortaya koyduğu etkiyi göstermektedir.

### 4.3. Lagergren Grafikleri ve Parametreleri

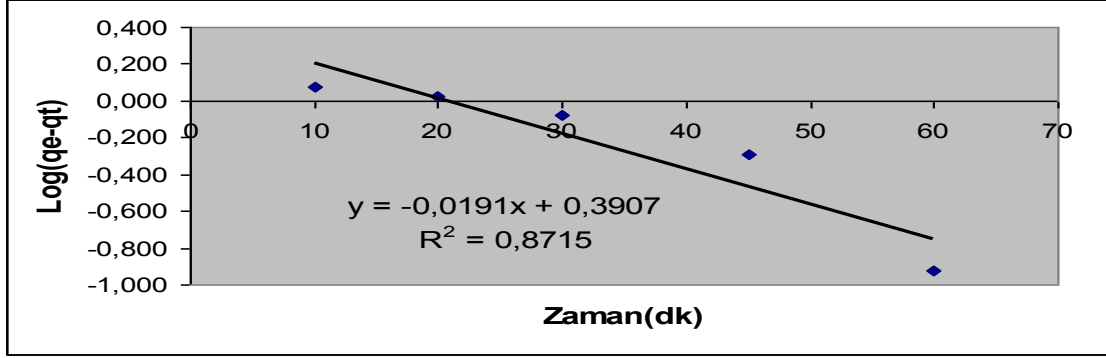
Silikajel, ceviz kabuğu ve  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğu üzerinde alizarin red S ve metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonunun incelendiği bu çalışmada öncelikle kinetik parametreler saptanmıştır. Denge zamanına kadar geçen sürede adsorpsiyonun durumuna bakılarak yapılan incelemeler sonucunda elde edilen veriler grafiğe alınmıştır. Bu grafiklerden Lagergren yalancı birinci derece hız denklemi olan  $\log(q_e - q_t) = \log q_m - \frac{k_1 t}{2,303}$  dikkate alınarak çizilen  $\log(q_e - q_t) - t$  grafiğinin eğim ve kaymasından yararlanarak  $k_1$  ve  $q_m$  değerleri belirlenmiştir.

Şekil 4.5’ de silikajel üzerinde 20 ppm alizarin red S çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili Lagergren yalancı birinci derece hız denkleminin grafiği verilmektedir. Bu grafiğe ait kinetik parametreler çizelge 4.1’ de verilmiştir.



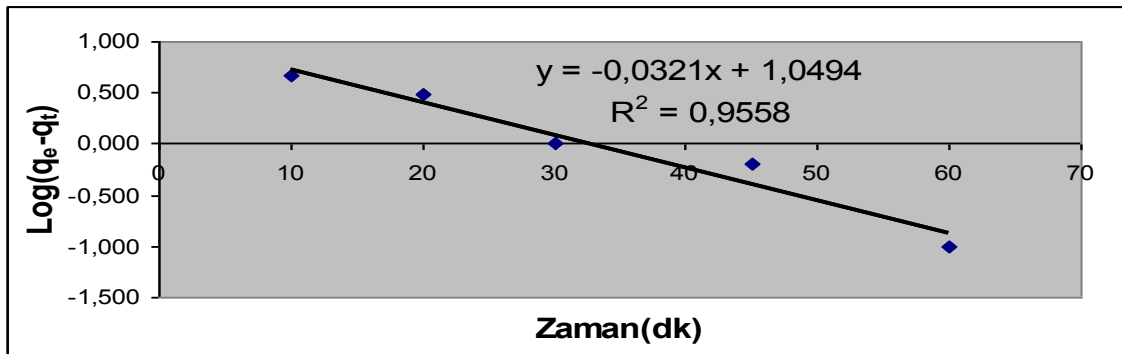
Şekil 4.5. Silikajel üzerinde 20 ppm alizarin red S çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili Lagergren yalancı birinci derece denkleminin grafiği (25 °C).

Şekil 4.6' da ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde 20 ppm alizarin red S çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili Lagergren yalancı birinci derece hız denkleminin grafiği verilmektedir. Bu grafiğe ait kinetik parametreler çizelge 4.1' de verilmiştir.



Şekil 4.6. Ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde 20 ppm alizarin red S çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili Lagergren yalancı birinci derece denkleminin grafiği (25 °C sıcaklığı).

Şekil 4.7' de ZnCl<sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde 20 ppm alizarin red S çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili Lagergren yalancı birinci derece hız denkleminin grafiği verilmektedir. Bu grafiğe ait kinetik parametreler çizelge 4.1' de verilmiştir.



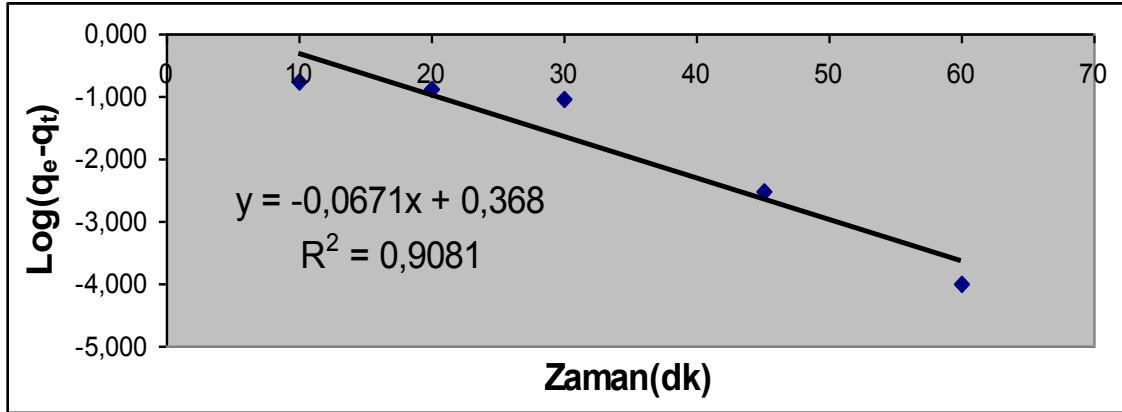
Şekil 4.7. ZnCl<sub>2</sub>' le muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde 20 ppm alizarin red S çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili Lagergren yalancı birinci derece denkleminin grafiği (25 °C).



Çizelge 4.1. Silikajel, ceviz kabuğu ve  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde 20 ppm alizarin red S çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili Lagergren yalancı birinci derece denkleminin kinetik parametreleri (25 °C).

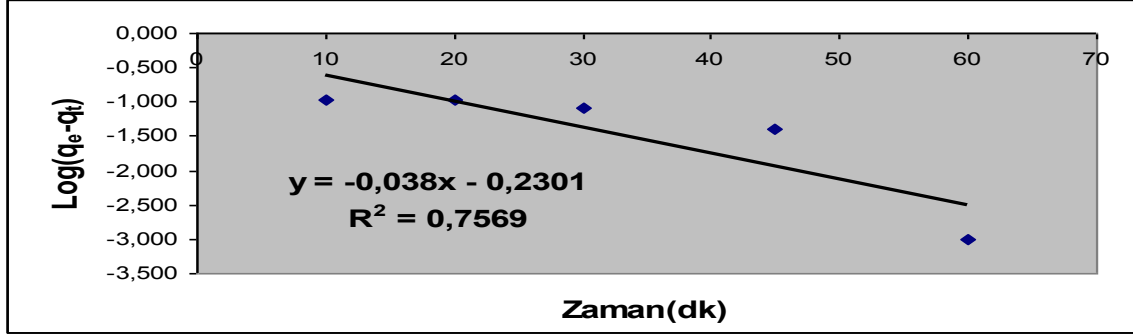
Kullanılan Kil	$q_m(mg\ g^{-1})$	$k_1(dk^{-1})$	$R^2$	DENKLEM
Silikajel	3.6008	0.0838	0.9803	$y=-0.0364x+0.5564$
Aktif karbon	2.4440	0.0431	0.8715	$y=-0.0191x+0.3907$
$ZnCl_2$ 'li aktif karbon	11.2047	0.0074	0.9558	$y=-0.0321x+1.0494$

Şekil 4.8' de silikajel üzerinde 20 ppm metil kırmızısı çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili Lagergren yalancı birinci derece hız denkleminin grafiği verilmektedir. Bu grafiğe ait kinetik parametreler çizelge 4.2' de verilmiştir.



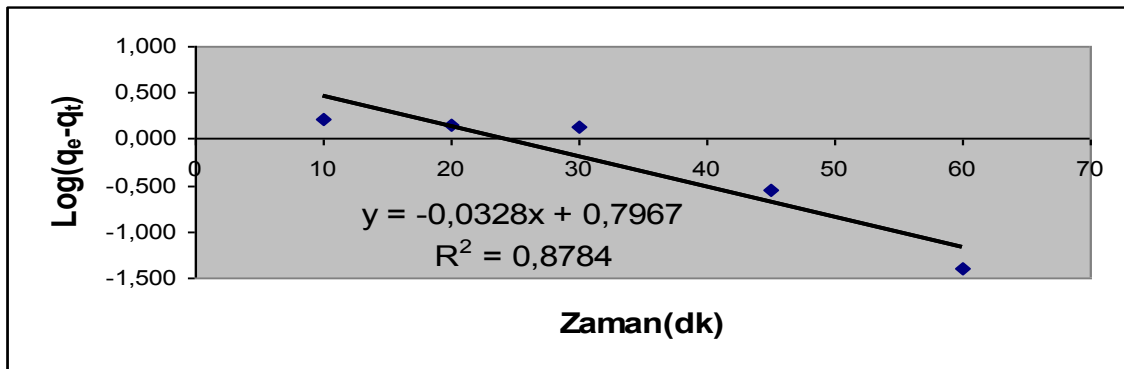
Şekil 4.8. Silikajel üzerinde 20 ppm metil kırmızısı çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili Lagergren yalancı birinci derece denkleminin grafiği (25 °C).

Şekil 4.9’ da ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde 20 ppm metil kırmızısı çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili Lagergren yalancı birinci derece hız denkleminin grafiği verilmektedir. Bu grafiğe ait kinetik parametreler çizelge 4.2’ de verilmiştir.



Şekil 4.9. Ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde 20 ppm metil kırmızısı çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili Lagergren yalancı birinci derece denkleminin grafiği (25 °C).

Şekil 4.10’da  $\text{ZnCl}_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde 20 ppm metil kırmızısı çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili Lagergren yalancı birinci derece hız denkleminin grafiği verilmektedir. Bu grafiğe ait kinetik parametreler çizelge 4.2’ de verilmiştir.



Şekil 4.10.  $\text{ZnCl}_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde 20 ppm metil kırmızısı çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili Lagergren yalancı birinci derece denkleminin grafiği (25 °C).

Çizelge 4.2. Silikajel, ceviz kabuğu ve  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif kömür üzerinde 20 ppm metil kırmızısı çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili Lagergren yalancı birinci derece denkleminin kinetik parametreleri (25 °C)

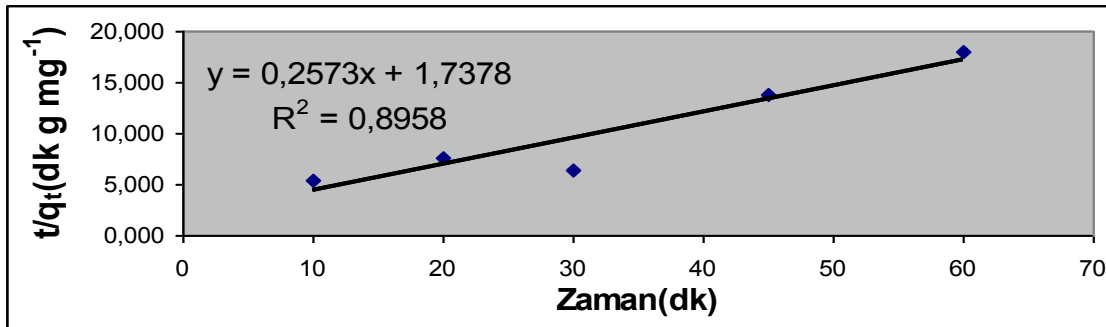
Kullanılan Kil	$q_e$ (mg g <sup>-1</sup> )	$K_2$ (dk <sup>-1</sup> )	$R^2$	DENKLEM
Silikajel	2.3334	0.1545	0.9081	$y=-0.0671x+0.368$
Aktif karbon	0.5887	0.0875	0.7569	$y=-0.038x-0.2301$
$ZnCl_2$ 'li aktif karbon	6.2628	0.0755	0.8784	$y=-0.0328x+0.7967$

#### 4.4. Yalancı İkinci Dereceden Hız Denklemiyle İlgili Grafikler ve Kinetik Parametreler

$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{K_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t$  denklemiyle verilen yalancı ikinci dereceden hız denklemiyle

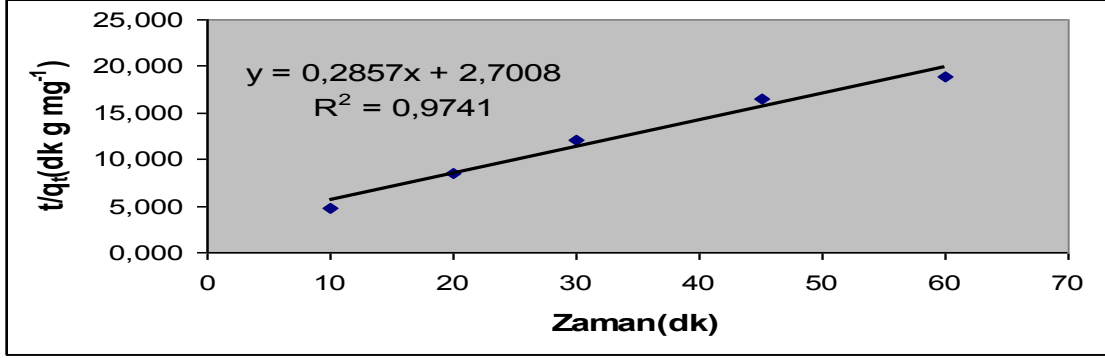
ilgili kinetik parametreler saptanırken öncelikle  $\frac{t}{q_t}$  ile  $t$  grafikleri çizilmiştir. Bu grafiklerin eğim ve kaymasından  $q_e$  ve  $K_2$  belirlenmiştir.

Silikajel ile etkileştirilen 20 ppm alizarin red S çözeltisinin adsorpsiyonuyla ilgili verilerin yalancı ikinci dereceden hız denklemine göre grafiği şekil 4.11'de verilmiştir. Bununla ilgili kinetik parametreler ise çizelge 4.3' de bulunmaktadır.



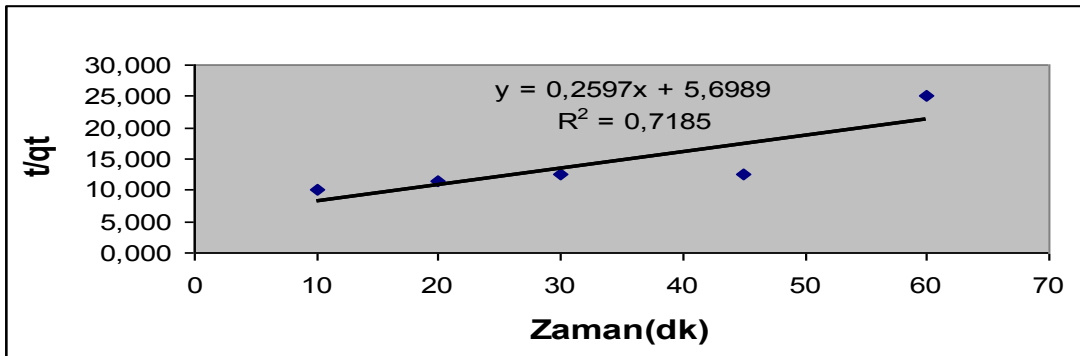
Şekil 4.11. Silikajel üzerinde 20 ppm alizarin red S çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili yalancı ikinci derece denkleminin grafiği (25 °C).

Ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde 20 ppm alizarin red S çözeltisinin adsorpsiyonuyla ilgili verilerin yalancı ikinci dereceden hız denklemine göre grafiği şekil 4.12’ de verilmiştir. Bununla ilgili kinetik parametreler ise çizelge 4.3’de bulunmaktadır.



Şekil 4.12. Ceviz kabuğundan elde edilen aktif kömür üzerinde 20 ppm alizarin red S çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili yalancı ikinci derece denkleminin grafiği (25 °C).

ZnCl<sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif kömür ile etkileştirilen 20 ppm alizarin red S çözeltisinin adsorpsiyonuyla ilgili verilerin yalancı ikinci dereceden hız denklemine göre grafiği şekil 4.13’de verilmiştir. Bununla ilgili kinetik parametreler ise çizelge 4.3’ de bulunmaktadır.

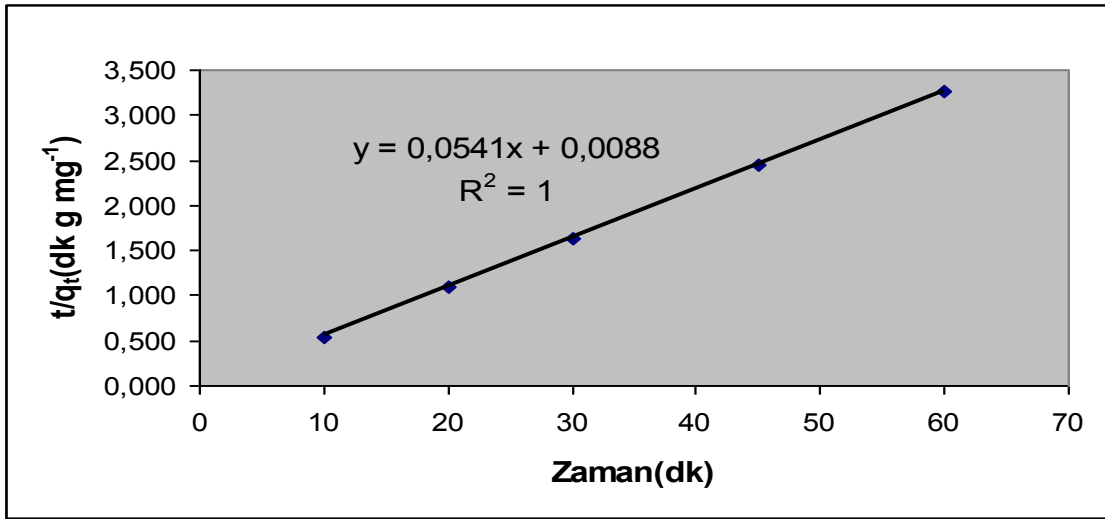


Şekil 4.13. ZnCl<sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif kömür üzerinde 20 ppm alizarin red S çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili yalancı ikinci derece denkleminin grafiği (25 °C).

Çizelge 4.3. Silikajel, ceviz kabuğu ve  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde 20 ppm alizarin red S çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili yalancı ikinci derece denkleminin kinetik parametreleri (25 °C)

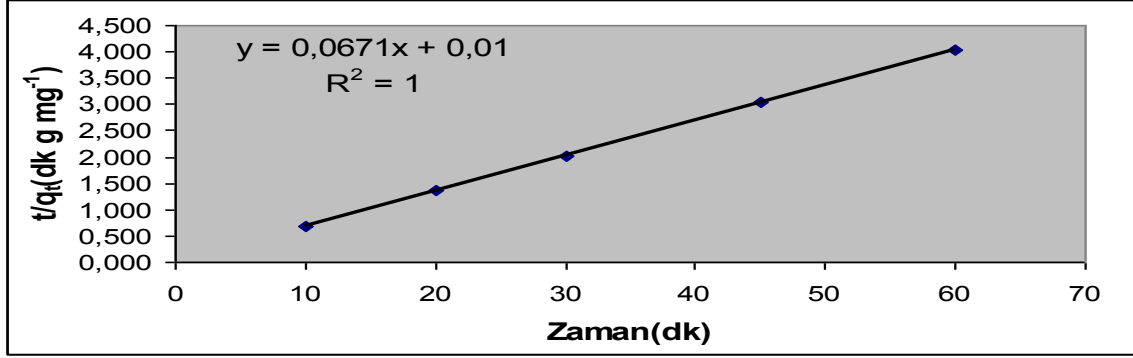
Kullanılan Kil	$q_e$ (mg g <sup>-1</sup> )	$K_2$ (g mg <sup>-1</sup> dk <sup>-1</sup> )	$R^2$	DENKLEM
Silikajel	3.8865	0.0381	0.8958	$y=0.2573x+1.7378$
Aktif karbon	3.5001	0.0302	0.9741	$y=0.2857x+2.7008$
$ZnCl_2$ li aktif karbon	3.8506	0.0118	0.7185	$y=0.2597x+5.6989$

Silikajel ile etkileştirilen 20 ppm metil kırmızısı çözeltisinin adsorpsiyonuyla ilgili verilerin yalancı ikinci dereceden hız denklemine göre grafiği şekil 4.14’de verilmiştir. Bununla ilgili kinetik parametreler ise çizelge 4.4’ de bulunmaktadır.



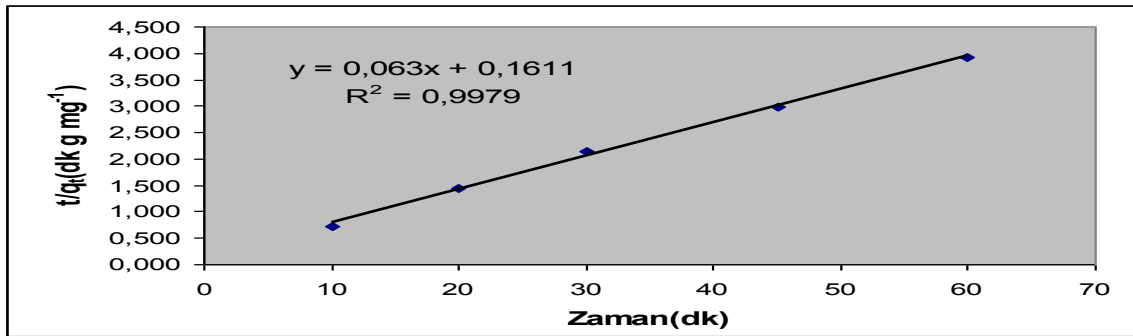
Şekil 4.14. Silikajel üzerinde 20 ppm metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili yalancı ikinci derece denkleminin grafiği (25 °C).

Ceviz kabuğundan elde edilen aktif kömürle etkileştirilen 20 ppm metil kırmızısı çözeltisinin adsorpsiyonuyla ilgili verilerin yalancı ikinci dereceden hız denkleminin göre grafiği şekil 4.15' de verilmiştir. Bununla ilgili kinetik parametreler ise çizelge 4.4' de bulunmaktadır.



Şekil 4.15. Ceviz kabuğundan elde edilen aktif kömür üzerinde 20 ppm metil kırmızısı çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili yalancı ikinci derece denkleminin grafiği (25 °C).

ZnCl<sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif kömür ile etkileştirilen 20 ppm metil kırmızısı çözeltisinin adsorpsiyonuyla ilgili verilerin yalancı ikinci dereceden hız denkleminin göre grafiği şekil 4.16' da verilmiştir. Bununla ilgili kinetik parametreler ise çizelge 4.4' de bulunmaktadır.



Şekil 4.16. ZnCl<sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif kömür üzerinde 20 ppm metil kırmızısı çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili yalancı ikinci derece denkleminin grafiği (25 °C).

Çizelge 4.4. Silikajel, ceviz kabuğu ve  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğu üzerinde 20 ppm metil kırmızısı çözeltisinin adsorpsiyonu ile ilgili yalancı ikinci derece denkleminin kinetik parametreleri (25 °C)

Kullanılan Kil	$q_e$ (mg g <sup>-1</sup> )	$K_2$ (g mg <sup>-1</sup> dk <sup>-1</sup> )	$R^2$	DENKLEM
Silikajel	18.4843	0.0333	1.0000	$y=0.0541x+0.009$
Aktif karbon	14.9031	0.4502	1.0000	$y=0.0671x+0.01$
$ZnCl_2$ li aktif karbon	15.8730	0.0246	0.9979	$y=0.063x+0.1611$

Bu veriler dikkate alınarak değerlendirildiğinde kullanılan üç adsorbanda tutulan 20 ppm'lik alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu için Lagergren yalancı birinci derece denkleminin daha uygun sonuçlar verdiği belirlenmiştir. 20 ppm metil kırmızısı çözeltisinin adsorpsiyonuyla ilgili en uygun veriler ise yalancı ikinci derece hız denkleminde saptanmıştır. Bu sonuçlara korelasyon katsayılarına bakılarak ulaşılmıştır.

#### 4.5. Langmuir İzotermi ve Parametreleri

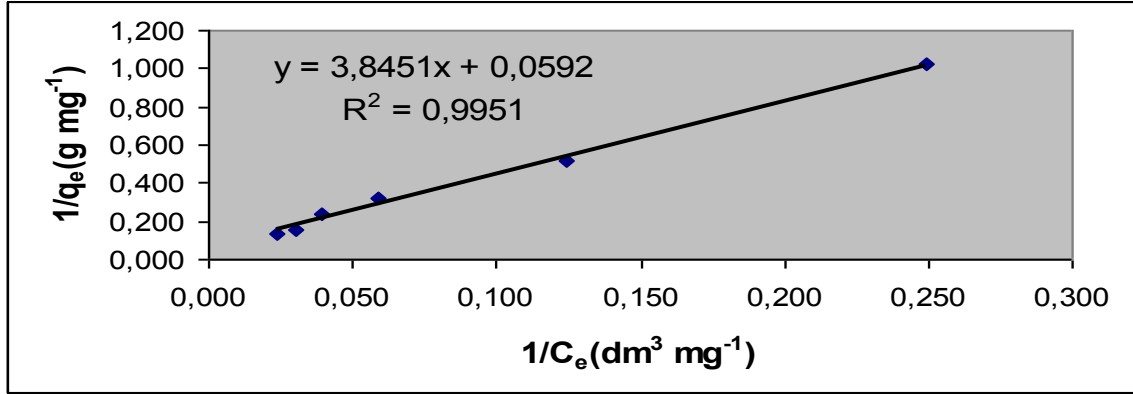
Langmuir izotermi ile ilgili parametreler hesaplanırken  $\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_{max}} + \frac{1}{q_{max} K_L} \cdot \frac{1}{C_e}$  denkleminden yararlanarak  $\frac{1}{q_e}$  ile  $\frac{1}{C_e}$  grafikleri çizilmiştir. Çizilen grafiklerin kaymalarından  $q_{max}$ , eğimlerinden  $K_L$  değerleri belirlenmiştir.

$R_L$  değeri ise  $R_L = \frac{1}{1 + K_L C_0}$  denkleminde hesaplanmıştır.

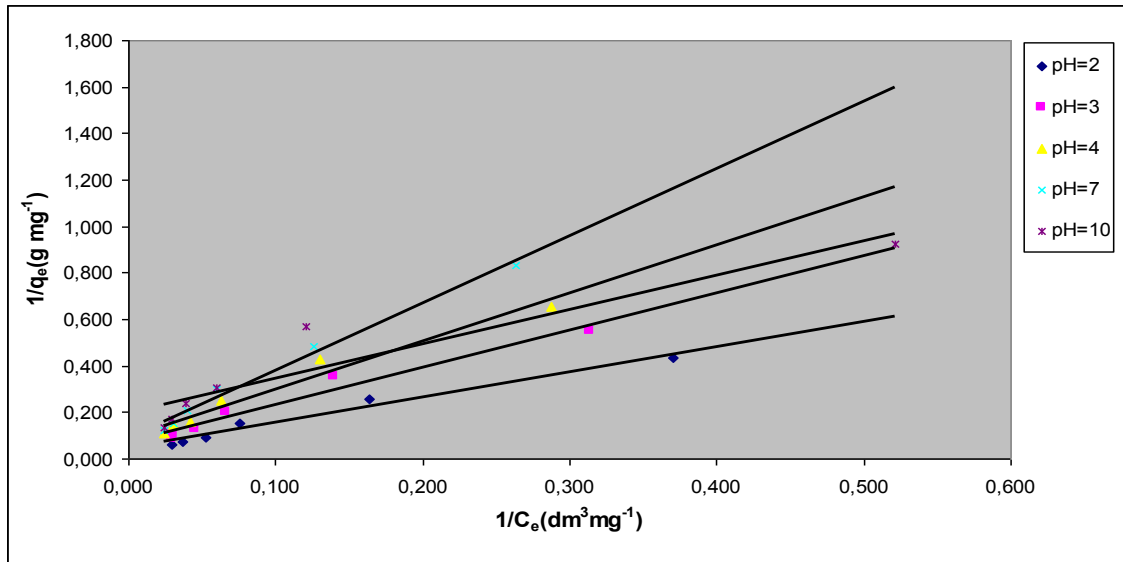
Çizelge 4.5.  $R_L$  (dağılma) sabiti değerleri ve izoterm tipleri

$R_L$	(Dağılma Sabiti) İzoterm Tipi
$R_L > 1$	Uygun Olmayan
$R_L = 1$	Lineer
$0 < R_L < 1$	Uygun
$R_L = 0$	Tersinmez

Alizarin red S çözeltilerinin silikajel üzerinde 40 °C'deki adsorpsiyonu ile ilgili izoterm şekil 4.17'de verilmiştir. Oda sıcaklığında ve çeşitli pH' larda alizarin red S çözeltilerinin silikajel üzerinde adsorpsiyonuyla ilgili grafik ise şekil 4.18'de verilmiştir. Bunlarla ilgili parametreler ise çizelge 4.6' da verilmiştir.



Şekil 4.17. 40 °C sıcaklıkta silikajel üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izotermini.



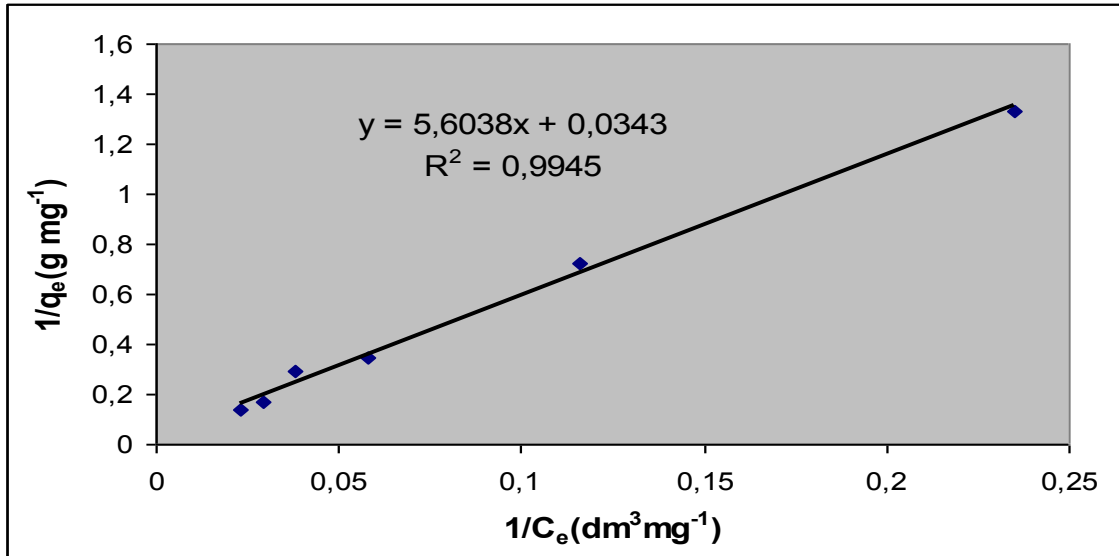
Şekil 4.18. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izotermi(25 °C).



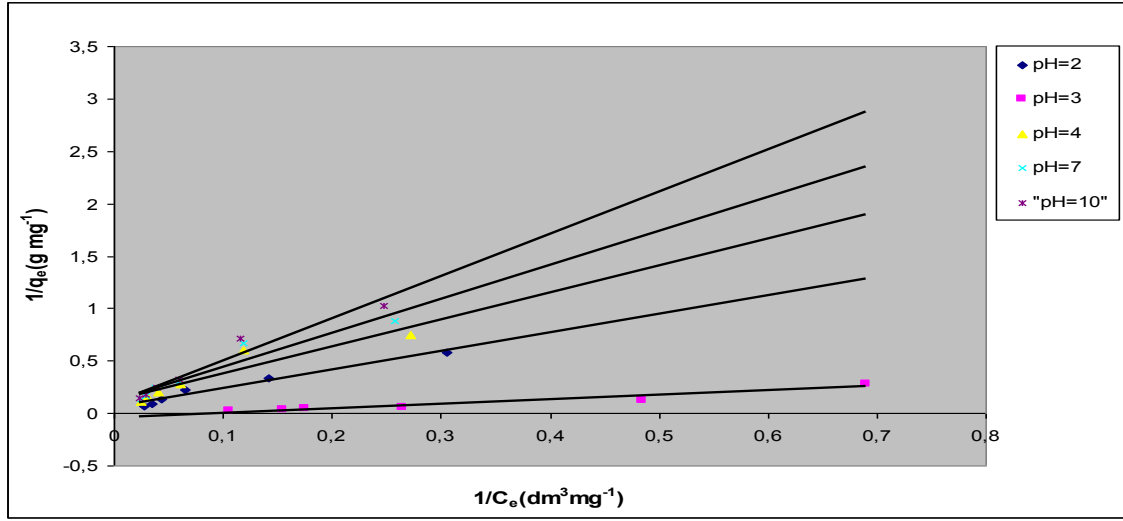
Çizelge 4.6. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izoterm parametreleri

T(°C)	pH	$q_{max}$ (mg g <sup>-1</sup> )	$K_L$ (dm <sup>3</sup> mg <sup>-1</sup> )	$R_L$	$R^2$	DENKLEM
40	7	16.8919	0.0154	0.5650	0,9951	$y=3.8451x+0.0592$
25	2	21.0970	0.0437	0.3145	0,9794	$y=1.085x+0.0474$
25	3	13.9860	0.0446	0.3094	0,9617	$y=1.6016x+0.0715$
25	4	10.7181	0.3028	0.3072	0,9668	$y=2.0685x+0.0933$
25	7	11.3895	0.1321	0.3978	0,989	$y=2.8994x+0.0878$
25	10	5.1256	0.0061	0.1315	0,8843	$y=1.4764x+0.1951$

Alizarin red S çözeltilerinin ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde 40 °C'deki adsorpsiyonuyla ilgili izoterm şekil 4.19'da verilmiştir. Oda sıcaklığında ve çeşitli pH' larda hesaplanan alizarin red S çözeltilerinin aktif kömür üzerinde adsorpsiyonuyla ilgili grafik ise şekil 4.20'de verilmiştir. Bunlarla ilgili parametreler ise çizelge 4.7' de verilmiştir.



Şekil 4.19. 40 °C sıcaklıkta ceviz kabuğundan elde edilen aktif kömür üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izotermi.

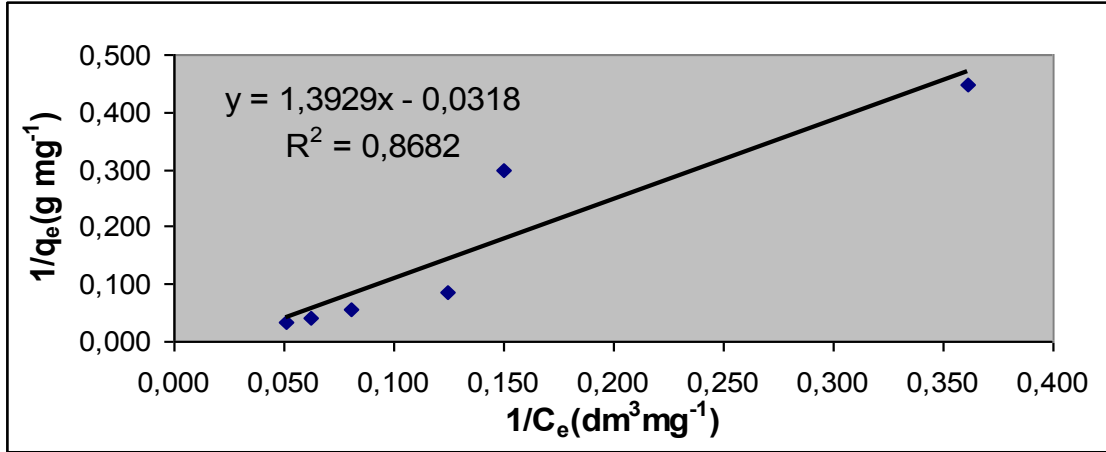


Şekil 4.20. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izotermleri(25 °C).

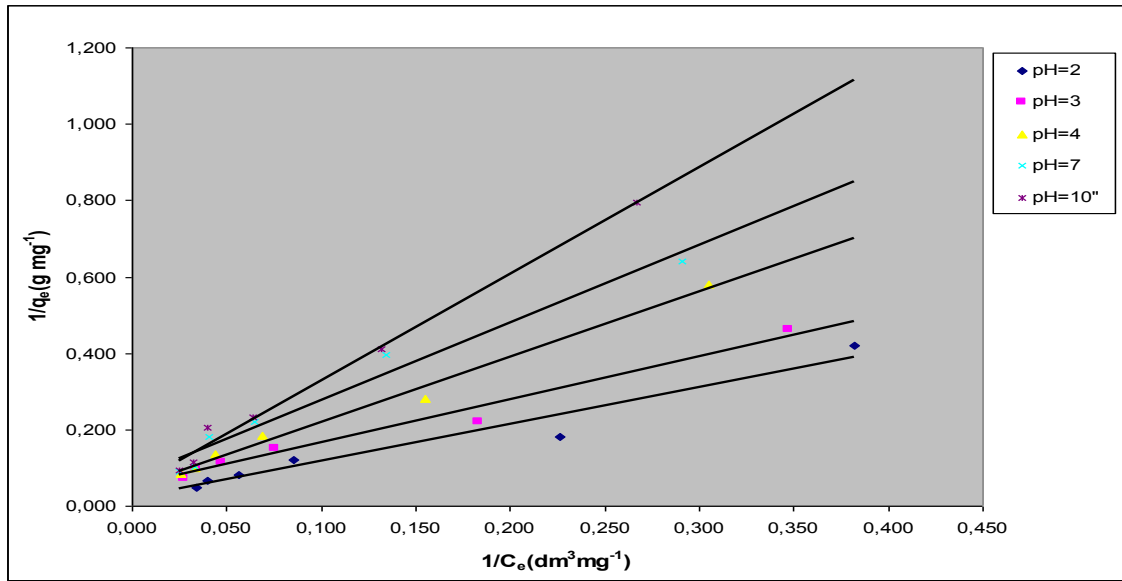
Çizelge 4.7. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif kömür üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izoterm parametreleri

T(°C)	pH	$q_{max}$ (mg g <sup>-1</sup> )	$K_L$ (dm <sup>3</sup> mg <sup>-1</sup> )	$R_L$	$R^2$	DENKLEM
40	7	29.1545	0.0061	0.7663	0.9945	$y=5.6038x+0.0343$
25	2	18.0505	0.0311	0.3914	0.9724	$y=1.7772x+0.0554$
25	3	9.9502	0.0450	0.3077	0.9448	$y=2.2355x+0.1005$
25	4	8.5910	0.0451	0.3072	0.8792	$y=2.5814x+0.1164$
25	7	8.5970	0.03619	0.3559	0.9164	$y=3.2328x+0.0117$
25	10	10.6044	0.0234	0.4608	0.9501	$y=4.0256x+0.0943$

Alizarin red S çözeltilerinin ZnCl<sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilmiş aktif kömür üzerinde 40 °C'deki adsorpsiyonuyla ilgili izoterm şekil 4.21'de verilmiştir. Oda sıcaklığında ve çeşitli pH' larda hesaplanan alizarin red S çözeltilerinin ZnCl<sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde adsorpsiyonuyla ilgili grafik ise şekil 4.22'de verilmiştir. Bunlarla ilgili parametreler ise çizelge 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.21. 40 °C sıcaklıkta  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif kömür üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izotermi.

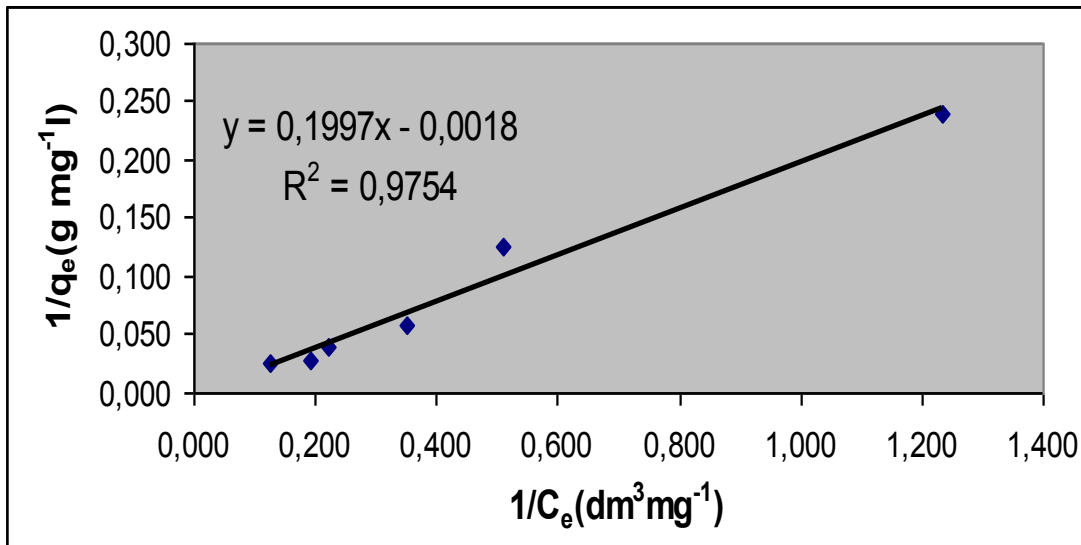


Şekil 4.22. Çeşitli pH' larda  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izotermi (25 °C).

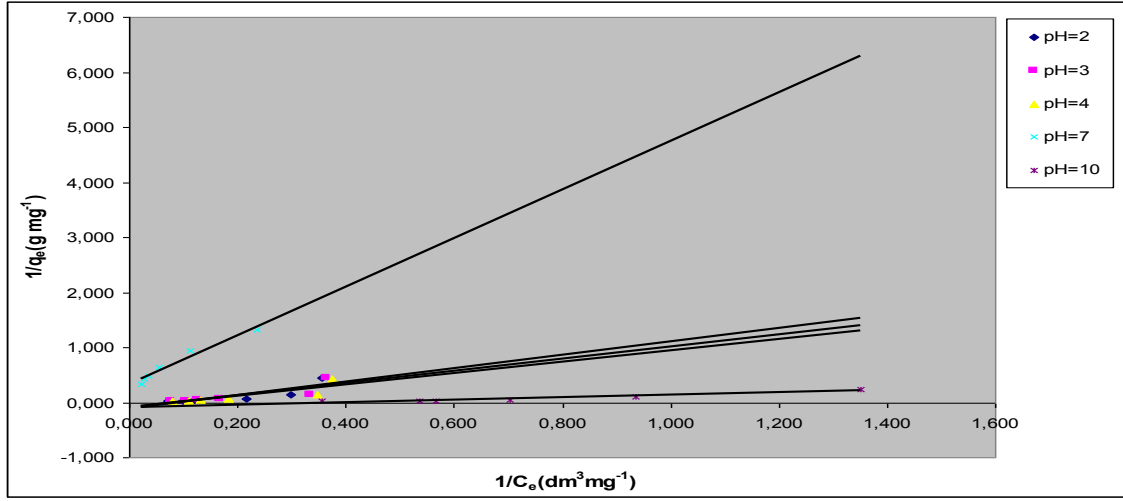
Çizelge 4.8.Çeşitli pH' larda  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izoterm parametreleri

T(°C)	pH	$q_{max}$ (mg g <sup>-1</sup> )	$K_L$ (dm <sup>3</sup> mg <sup>-1</sup> )	$R_L$	$R^2$	DENKLEM
40	7	-31.4465	-0.0228	-7.1429	0.8682	$y=1.3929x-0.0318$
25	2	51.2821	0.0201	0.4988	0.9498	$y=0.9718x+0.0195$
25	3	19.2308	0.0459	0.3035	0.9792	$y=1.1333x+0.052$
25	4	21.0084	0.0278	0.4184	0.9897	$y=1.7124x+0.0476$
25	7	1.3812	0.3558	0.0532	0.9710	$y=2.0347x+0.724$
25	10	21.0084	0.0170	0.5404	0.9908	$y=2.7991x+0.0476$

Metil kırmızısı çözeltilerinin silikajel üzerinde 40 °C adsorpsiyonuyla ilgili izoterm şekil 4.23'de verilmiştir. Oda sıcaklığında ve çeşitli pH' larda hesaplanan metil kırmızısı çözeltilerinin silikajel üzerinde adsorpsiyonuyla ilgili grafik ise şekil 4.24'de verilmiştir. Bunlarla ilgili parametreler ise çizelge 4.9' da verilmiştir.



Şekil 4.23. 40 °C sıcaklıkta silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izotermi.

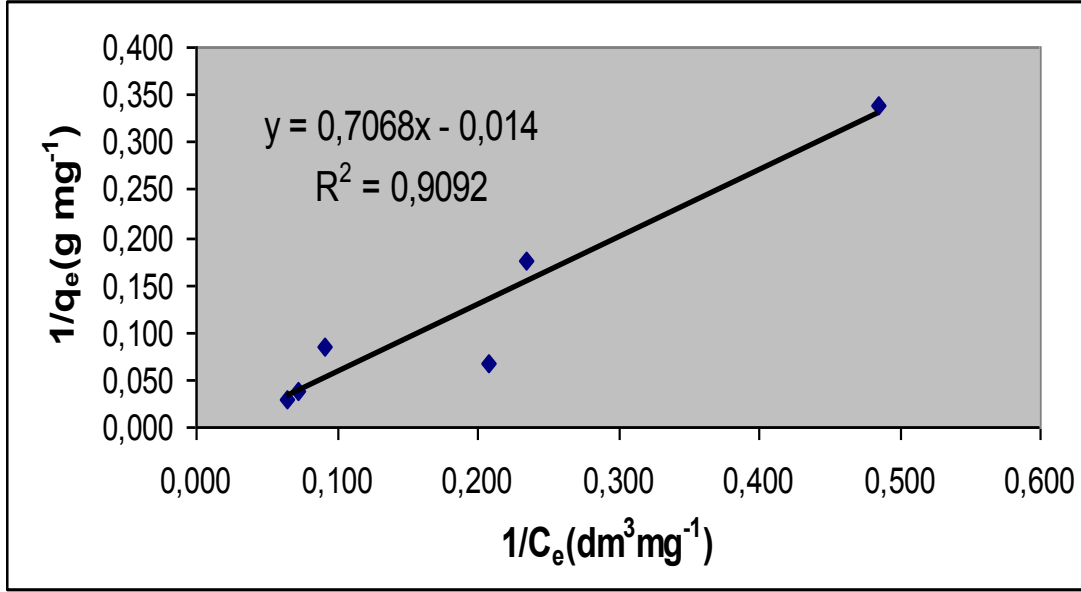


Şekil 4.24. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izotermi (25 °C).

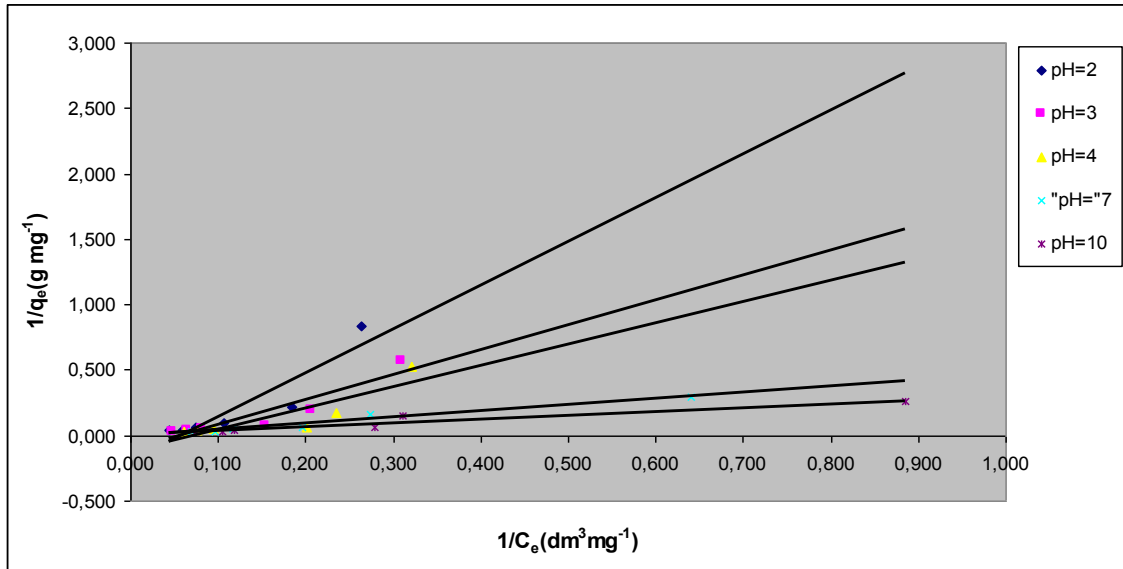
Çizelge 4.9. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izoterm parametreleri

T(°C)	pH	$q_{max}$ (mg g <sup>-1</sup> )	$K_L$ (dm <sup>3</sup> mg <sup>-1</sup> )	$R_L$	$R^2$	DENKLEM
40	7	-55.5556	-0.0090	1.8182	0.9754	y=0.1997x-0.018
25	2	-9.6154	-0.0854	-0.3058	0.7264	y=1.2179x-0.104
25	3	-11.4811	-0.0795	-0.3361	0.7136	y=1.096x-0.0871
25	4	-11.7371	-0.0831	-0.3170	0.7008	y=1.0257x-0.0852
25	7	-14.6413	-0.3152	-0.0678	0.9563	y=0.2167x-0.0683
25	10	-11.4548	-0.3858	-0.0547	0,9516	y=0.2263x+0.0873

Metil kırmızısı çözeltilerinin ceviz kabuğundan elde edilen aktif kömür üzerinde 40 °C'deki adsorpsiyonuyla ilgili izoterm şekil 4.25'de verilmiştir. Oda sıcaklığında ve çeşitli pH' larda hesaplanan metil kırmızısı çözeltilerinin ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde adsorpsiyonuyla ilgili grafik ise şekil 4.26'da verilmiştir. Bunlarla ilgili parametreler ise çizelge 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.25. 40 °C sıcaklıkta ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izotermi.

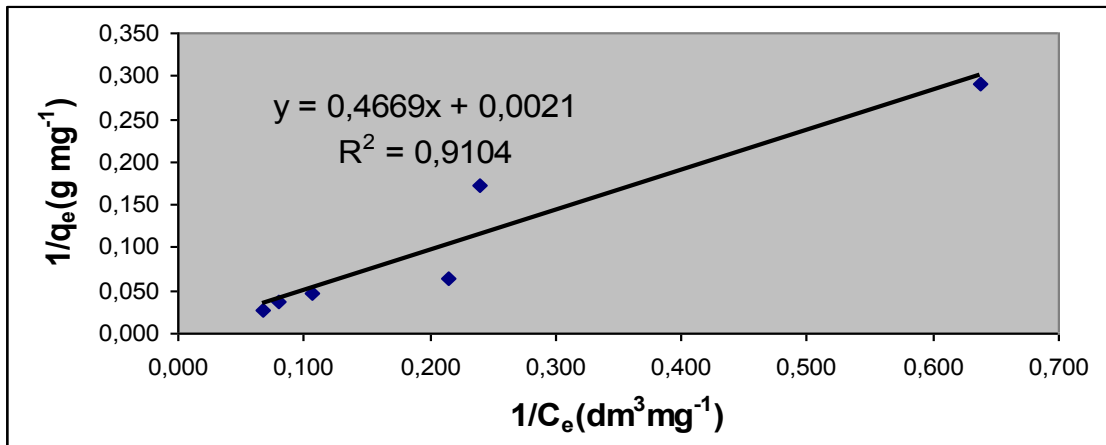


Şekil 4.26. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izotermleri (25 °C).

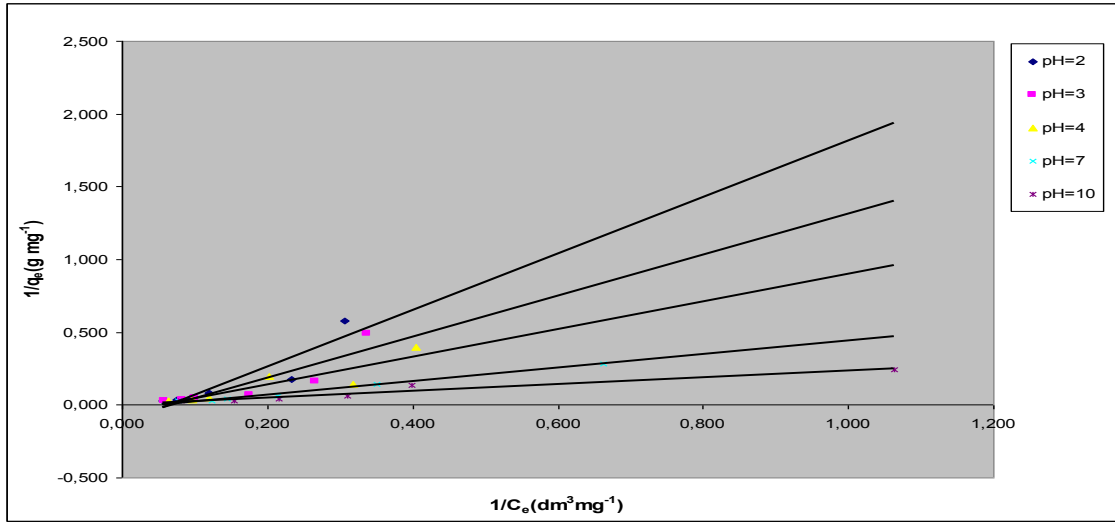
Çizelge 4.10. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izoterm parametreleri

T(°C)	pH	$q_{\max}$ (mg g <sup>-1</sup> )	$K_L$ (dm <sup>3</sup> mg <sup>-1</sup> )	$R_L$	$R^2$	DENKLEM
40	7	-71.286	-0.0198	100.00	0.9092	$y=0.7068x-0.014$
25	2	-5.1948	-0.0576	-0.5319	0.8421	$y=3.3417x-0.1925$
25	3	-8.9047	-0.0589	-0.0500	0.8539	$y=1.9048x-0.1123$
25	4	-8.4602	-0.0729	-0.0378	0.7840	$y=1.6212x-0.1182$
25	7	-172.4138	0.0122	0.6211	0.9691	$y=0.4744x-0.0058$
25	10	90.0900	0.0388	0.3401	0.9191	$y=0.2861x+0.0111$

Metil kırmızısı çözeltilerinin ZnCl<sub>2</sub> ile muamele edilmiş aktif karbon üzerinde 40 °C'deki adsorpsiyonu ile ilgili izoterm şekil 4.27'de verilmiştir. Oda sıcaklığında ve çeşitli pH' larda hesaplanan metil kırmızısı çözeltilerinin ZnCl<sub>2</sub> ile aktiveleştirilen aktif kömür üzerinde adsorpsiyonuyla ilgili grafik ise şekil 4.28'de verilmiştir. Bunlarla ilgili parametreler ise çizelge 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.27. 40 °C sıcaklıkta ZnCl<sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izotermi.



Şekil 4.28. Çeşitli pH' larda  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izotermi (25 °C).

Çizelge 4.11.Çeşitli pH' larda  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Langmuir izoterm parametreleri

T(°C)	pH	$q_{max}$ (mg g <sup>-1</sup> )	$K_L$ (dm <sup>3</sup> mg <sup>-1</sup> )	$R_L$	$R^2$	DENKLEM
40	7	476.1905	0.0045	0.8163	0.9104	$y=0.4669x+0.0211$
25	2	-7.8989	-0.0652	-0.443	0.8340	$y=1.9407x-0.1266$
25	3	-10.0300	-0.0707	-0.394	0.7834	$y=1.4105x-0.0997$
25	4	-20.5339	-0.0514	-0.637	0.8180	$y=0.9469x-0.0487$
25	7	-45.6621	-0.0475	-0.728	0.9933	$y=0.4607x-0.0219$
25	10	384.6154	0.0111	0.6431	0.9462	$y=0.2345x+0.0026$

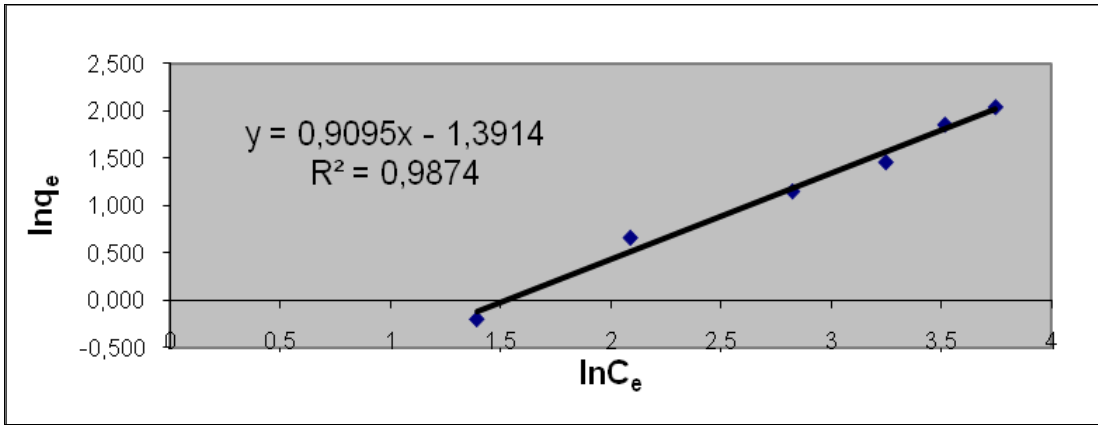
#### 4.6. Freundlich İzotermi ve Parametreleri

Freundlich izotermi ile ilgili parametreler hesaplanırken  $\ln q_e = \ln k_f + \frac{1}{n}(\ln C_e)$  denklemden yararlanarak  $\ln q_e$ -  $\ln C_e$  grafikleri çizilmiştir.

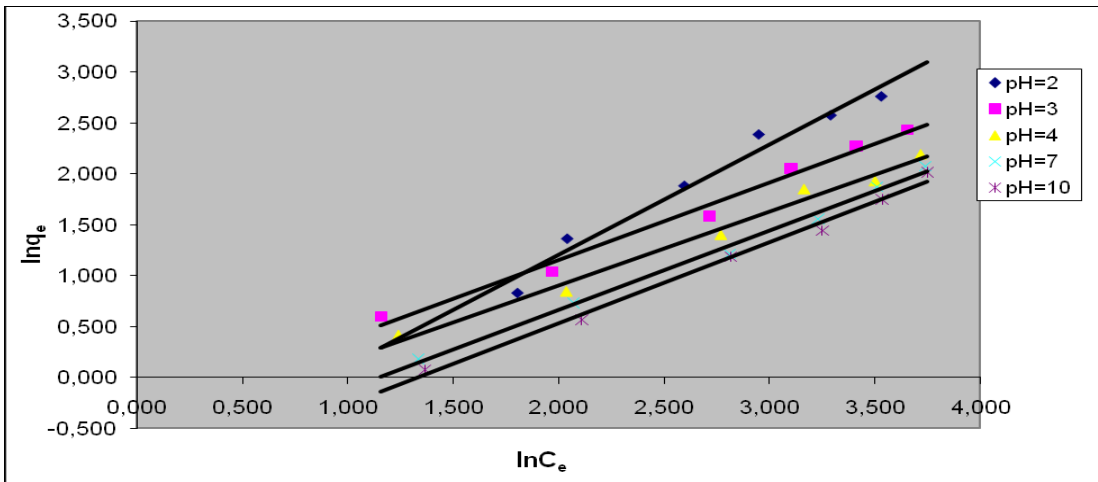


Çizilen grafiklerin eğimlerinden  $n$  değerleri, kaymalarından da  $q_e$  değerleri hesaplanmıştır.

Alizarin red S çözeltilerinin silikajel üzerinde 40 °C'deki adsorpsiyonu ile ilgili izoterm şekil 4.29'da verilmiştir. Oda sıcaklığında ve çeşitli pH' larda hesaplanan alizarin red S çözeltilerinin silikajelle adsorpsiyonuyla ilgili grafik ise şekil 4.30'da verilmiştir. Bunlarla ilgili parametreler ise çizelge 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.29. 40 °C sıcaklıkta silikajel üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich izotermi.

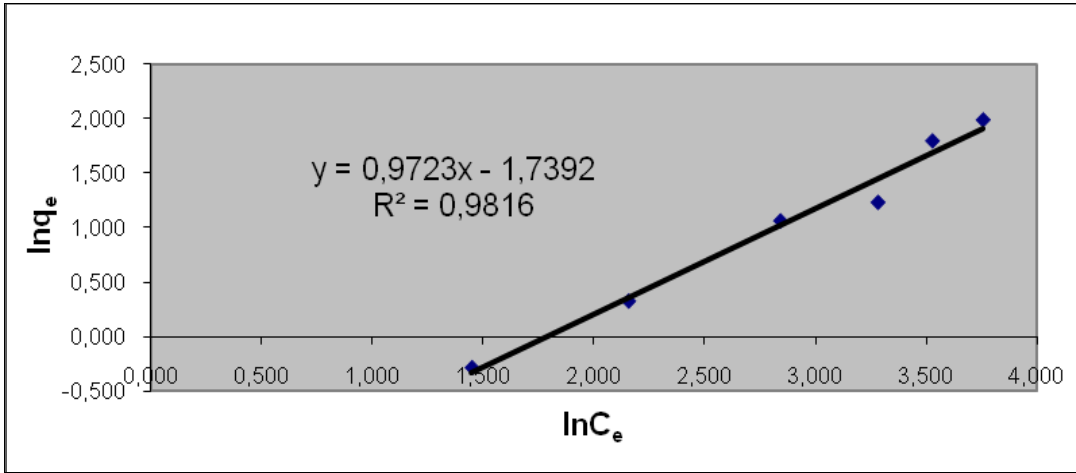


Şekil 4.30. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich izotermi (25 °C).

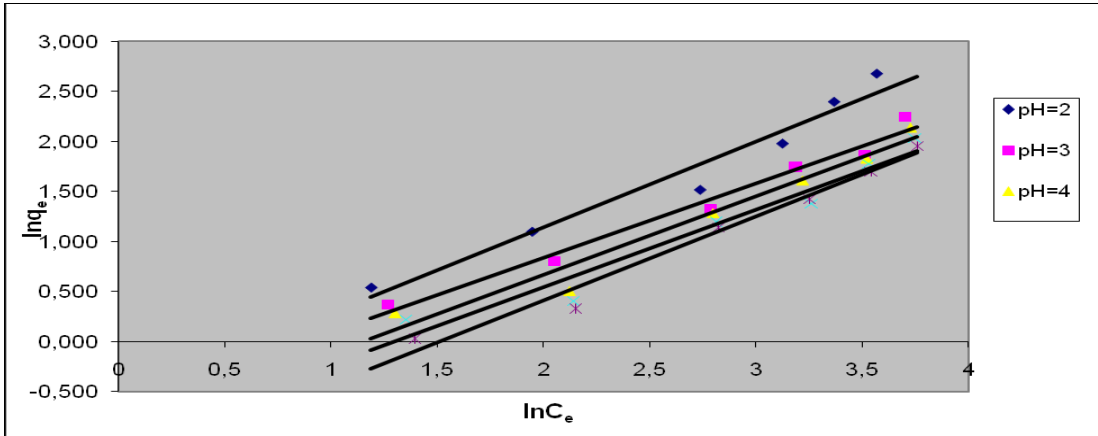
Çizelge 4.12. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich izoterm parametreleri

T(°C)	pH	$k_f(\text{dm}^3 \text{g}^{-1})$	n	$R^2$	DENKLEM
40	7	0.2487	1.0995	0.9874	$y=0.9095x-1.3914$
25	2	0.3831	0.9232	0.9733	$y=1.0832x-0.9594$
25	3	0.5910	1.3127	0.9869	$y=0.7618x-0.3695$
25	4	0.5815	1.3826	0.9869	$y=0.7233x-0.5421$
25	7	0.4119	1.2880	0.9935	$y=0.7764x-0.8869$
25	10	0.3437	1.2517	0.9921	$y=0.7989x-1.0679$

40 °C'deki adsorpsiyonuyla ilgili izoterm şekil 4.31'de verilmiştir. Oda sıcaklığında ve çeşitli pH' larda hesaplanan alizarin red S çözeltilerinin ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde adsorpsiyonuyla ilgili grafik ise şekil 4.32'de verilmiştir. Bunlarla ilgili parametreler ise çizelge 4.13'de verilmiştir. Alizarin red S çözeltilerinin ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde



Şekil 4.31. 40 °C sıcaklıkta ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich izotermi.

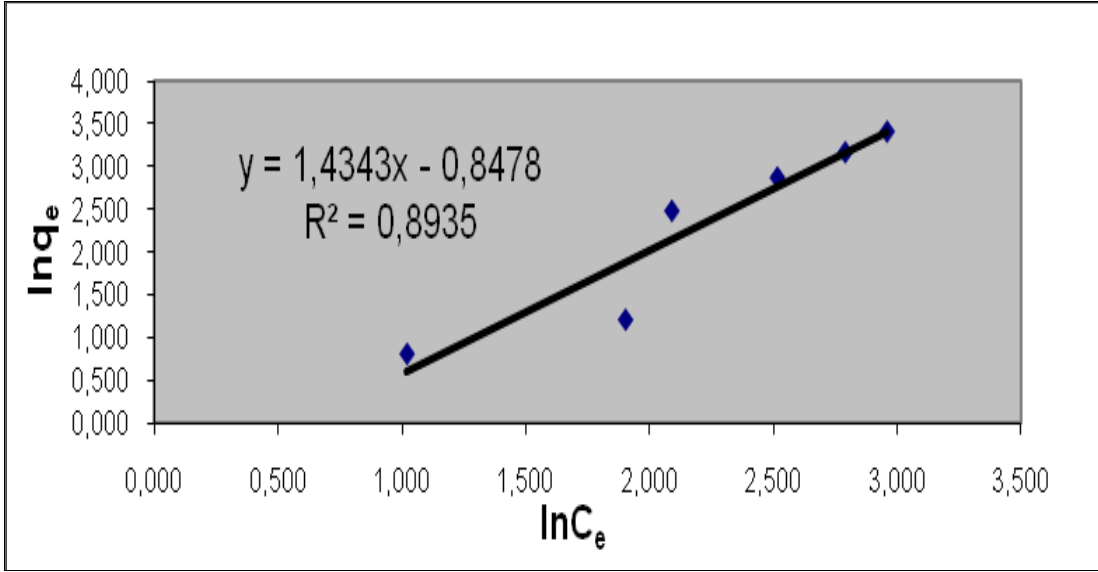


Şekil 4.32. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich izotermi(25 °C).

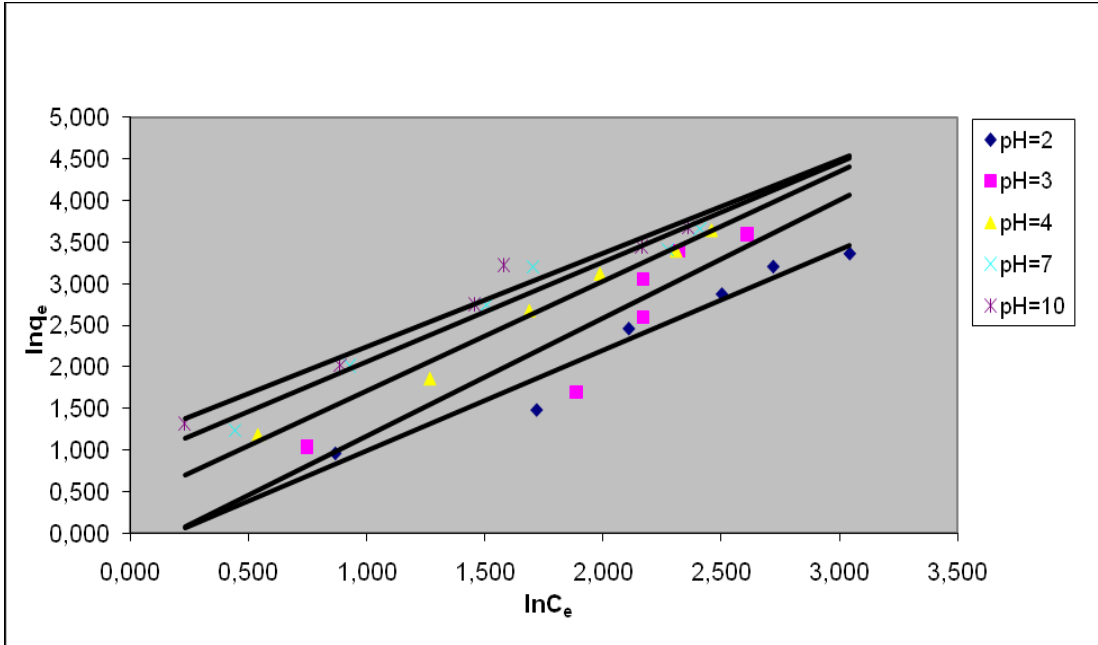
Çizelge 4.13. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğu üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich izoterm parametreleri

T(°C)	pH	$k_f(\text{dm}^3 \text{g}^{-1})$	n	$R^2$	DENKLEM
40	7	1.1757	1.0285	0.9816	$y=0.9723x-1.7392$
25	2	0.5609	1.1651	0.9589	$y=0.8583x-0.5782$
25	3	0.5199	1.3441	0.9791	$y=0.744x-0.654$
25	4	0.4030	1.2721	0.9606	$y=0.7861x-0.9089$
25	7	0.3644	1.2890	0.9495	$y=0.7758x-1.0096$
25	10	0.2809	1.1925	0.9771	$y=0.8386x-1.2698$

Alizarin red S çözeltilerinin  $\text{ZnCl}_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde 40 °C'de adsorpsiyonuyla ilgili izoterm şekil 33'de verilmiştir. Oda sıcaklığında ve çeşitli pH' larda hesaplanan alizarin red S çözeltilerinin  $\text{ZnCl}_2$  ile muamele edilmiş aktif karbon üzerinde adsorpsiyonuyla ilgili grafik ise şekil 34'de verilmiştir. Bunlarla ilgili parametreler ise çizelge 4.14'de verilmiştir.



Şekil 4.33. 40 °C sıcaklıkta  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilmiş aktif karbon üzerinde üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich izotermi.

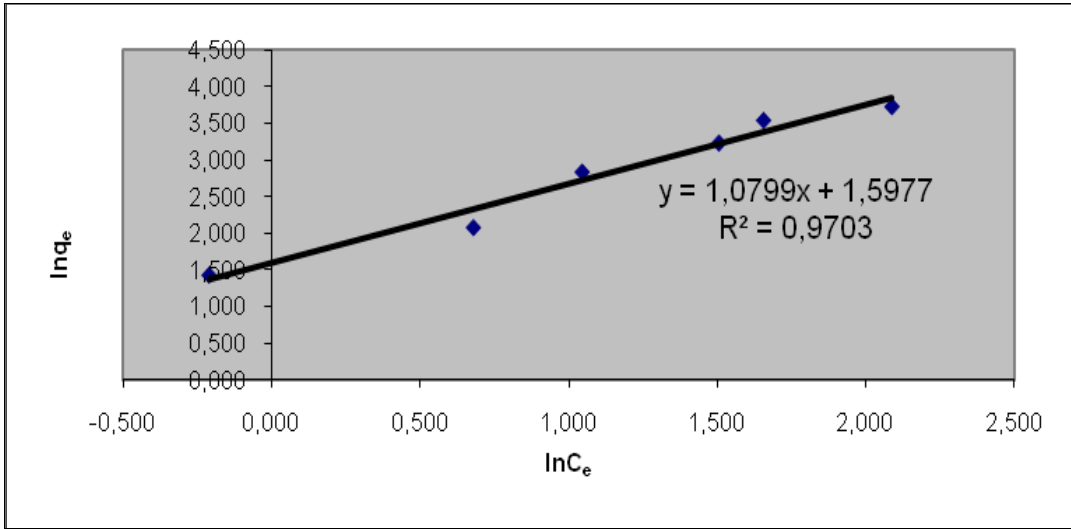


Şekil 4.34. Çeşitli pH' larda  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif kömür üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich izotermi (25 °C).

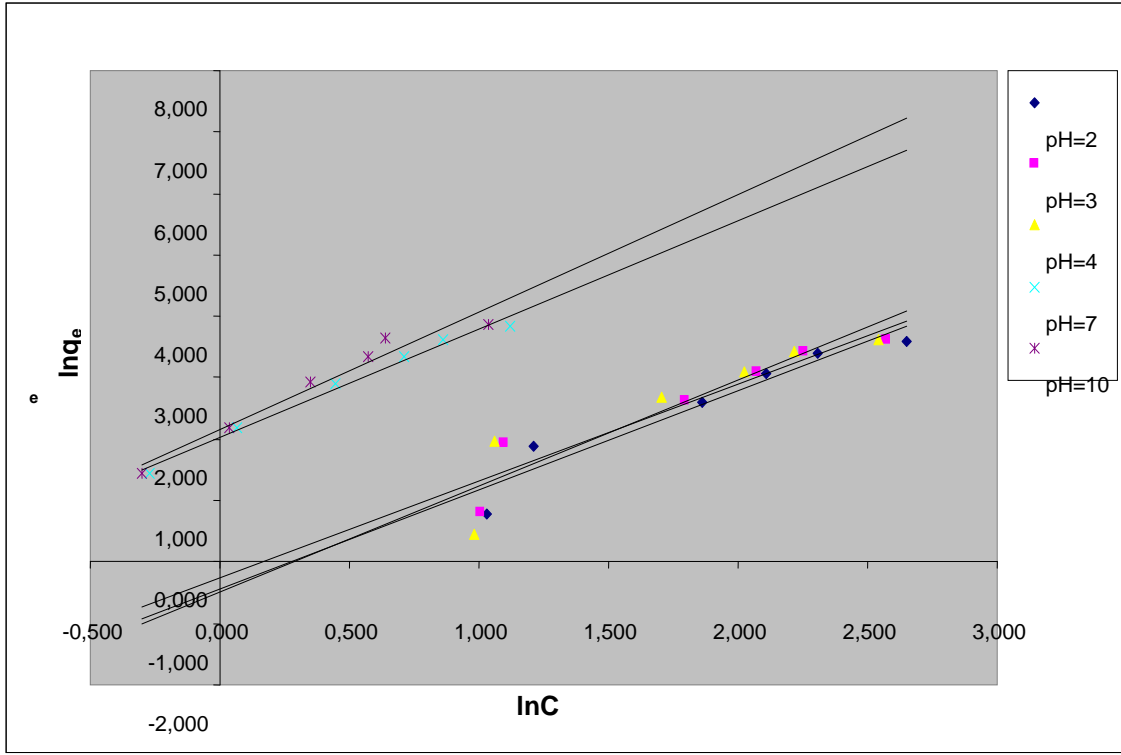
Çizelge 4.14. Çeşitli pH' larda  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbonun alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich izoterm parametreleri

T(°C)	pH	$k_f(dm^3 g^{-1})$	n	$R^2$	DENKLEM
40	7	0.4284	0.6972	0.8935	$y=1.4343x-0.8478$
25	2	1.3102	1.2674	0.9557	$y=0.789x+0.2702$
25	3	1.6000	1.6926	0.8362	$y=0.5908x+0.47$
25	4	0.7652	1.3392	0.9857	$y=0.7467x-0.2676$
25	7	0.5285	1.2416	0.9628	$y=0.8054x-0.6377$
25	10	0.4040	1.1644	0.9658	$y=0.8588x-0.9064$

Metil kırmızısı çözeltilerinin silikajelle üzerinde 40 °C'deki adsorpsiyonuyla ilgili izoterm şekil 4.35' de verilmiştir. Oda sıcaklığında ve çeşitli pH' larda hesaplanan metil kırmızısı çözeltilerinin silikajel üzerinde adsorpsiyonuyla ilgili grafik ise şekil 4.36' de verilmiştir. Bunlarla ilgili parametreler ise çizelge 4.14'de verilmiştir.



Şekil 4.35. 40 °C sıcaklıkta silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich izotermi.

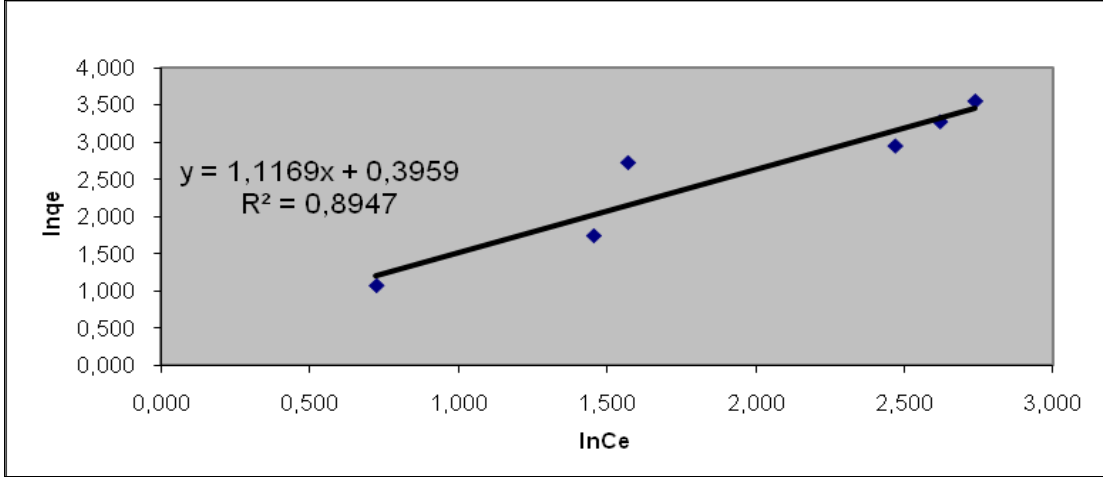


Şekil 4.36. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich izotermi (25 °C).

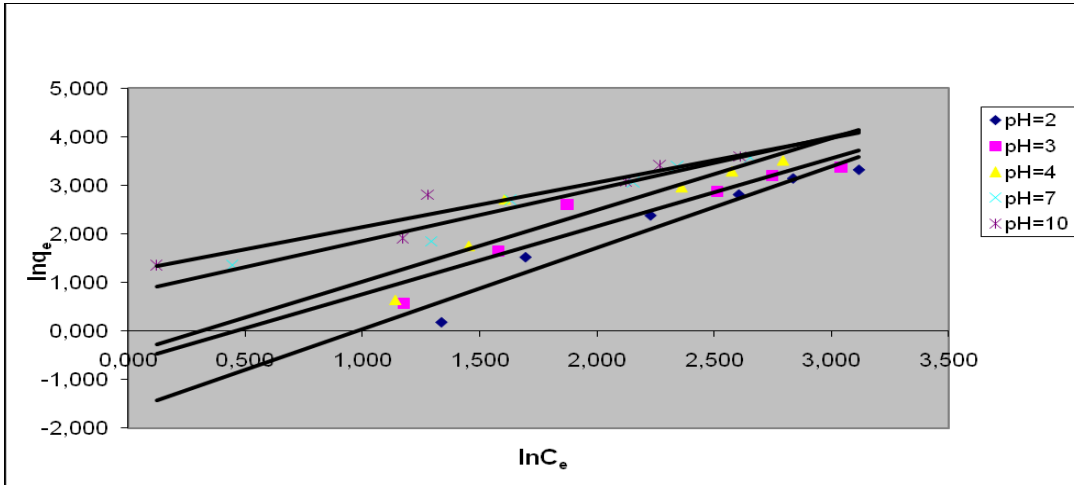
Çizelge 4.15. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich izoterm parametreleri

T(°C)	pH	$k_f(\text{dm}^3 \text{g}^{-1})$	n	$R^2$	DENKLEM
40	7	4.9416	0.9260	0.9703	$y=1.0799x+1.5977$
25	2	0.6417	0.6202	0.9232	$y=1.6125x-0.4436$
25	3	0.7745	0.6333	0.8994	$y=1.5789x-0.2551$
25	4	0.6179	0.5806	0.8412	$y=1.7224x-0.4814$
25	7	7.6255	0.5667	0.9873	$y=1.7645x+2.0315$
25	10	0.1156	0.5235	0.9555	$y=1.9110x+2.1574$

Metil kırmızısı çözeltilerinin ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde 40 °C'deki adsorpsiyonuyla izoterm şekil 4.37'de verilmiştir. Oda sıcaklığında ve çeşitli pH' larda metil kırmızısı çözeltilerinin ceviz kabuğundan elde edilen aktif kömür üzerinde adsorpsiyonuyla ilgili grafik ise şekil 4.38'de verilmiştir. Bunlarla ilgili parametreler ise çizelge 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.37. 40 °C sıcaklıkta ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonuyla ilgili Freundlich izotermi.

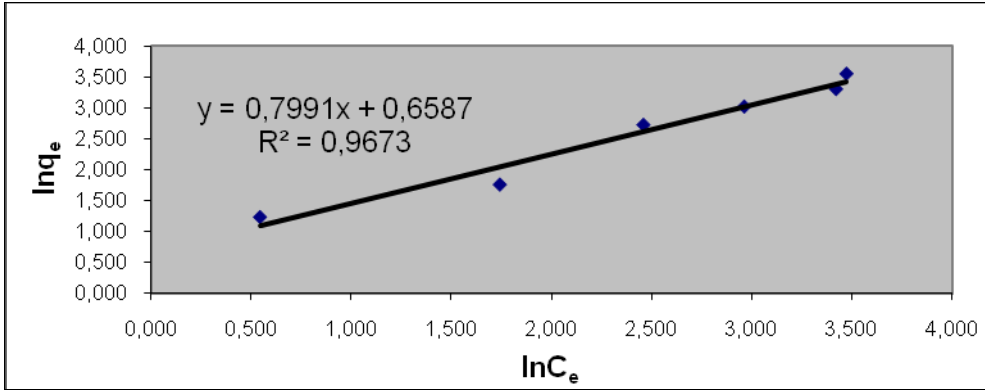


Şekil 4.38. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich izotermi (25 °C).

Çizelge 4.16.Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich parametreleri.

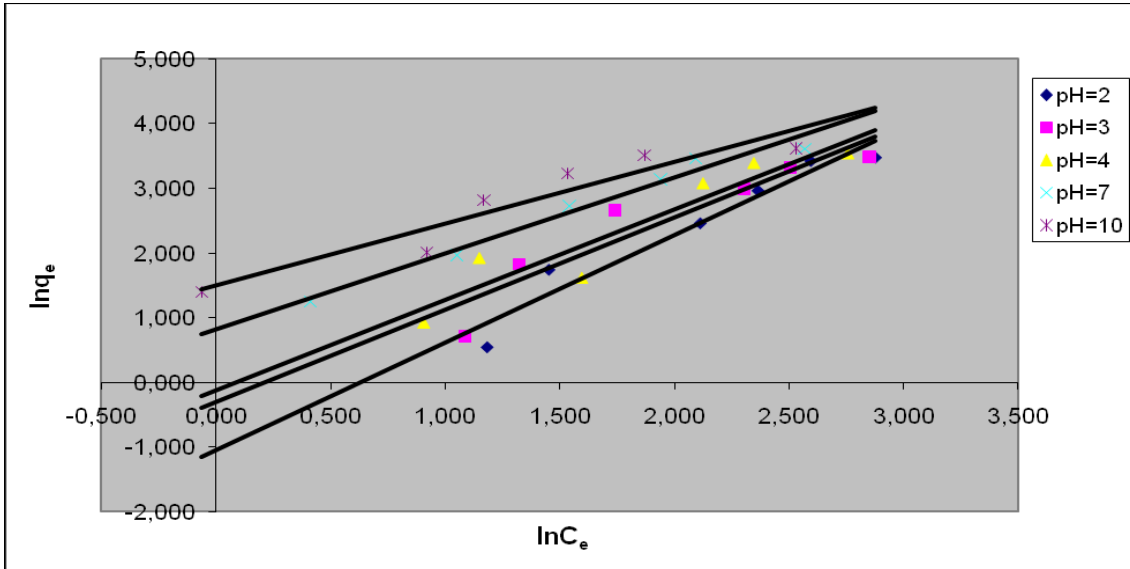
T(°C)	pH	$k_f(\text{dm}^3 \text{g}^{-1})$	n	$R^2$	DENKLEM
40	7	1.4850	0.8953	0.8947	$y=1.1169x+0.3959$
25	2	0.1948	0.5974	0.9384	$y=1.6739x-1.6356$
25	3	0.5311	0.7168	0.8882	$y=1.395x-0.6328$
25	4	0.6398	0.6802	0.8291	$y=1.4702x-0.4465$
25	7	2.1745	0.9334	0.9602	$y=1.0714x+0.7768$
25	10	3.4038	1.0884	0.9141	$y=0.9188x+1.2249$

Metil kırmızısı çözeltilerinin  $\text{ZnCl}_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde  $40^\circ\text{C}$ 'deki adsorpsiyonuyla ilgili izoterm şekil 4.39'da verilmiştir. Oda sıcaklığında ve çeşitli pH' larda hesaplanan metil kırmızısı çözeltilerinin  $\text{ZnCl}_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde adsorpsiyonuyla ilgili grafik ise şekil 4.40' da verilmiştir. Bunlarla ilgili parametreler ise çizelge 4.17' de verilmiştir.



Şekil 4.39.  $40^\circ\text{C}$  sıcaklıkta  $\text{ZnCl}_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich izotermi.





Şekil 4.40. Çeşitli pH' larda  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich izotermeleri (25 °C).

Çizelge 4.17. Çeşitli pH' larda  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Freundlich parametreleri

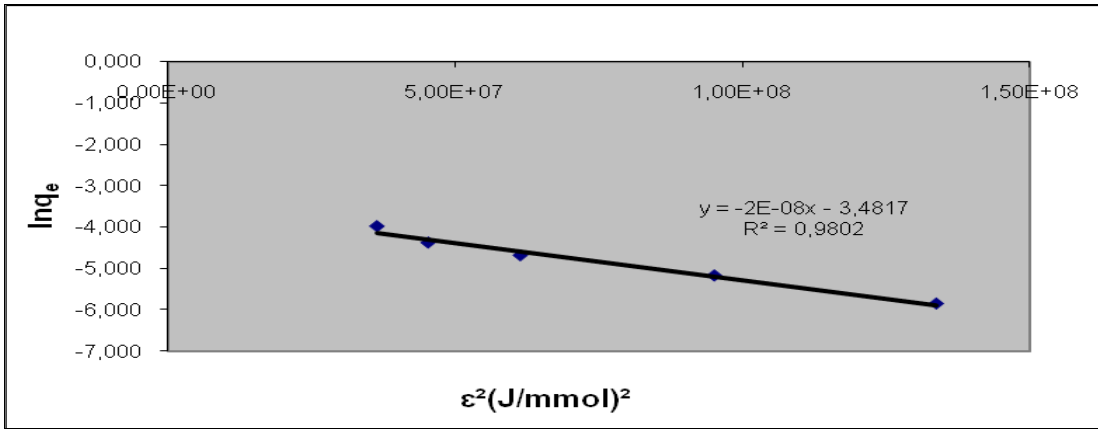
T(°C)	pH	$k_f(dm^3 g^{-1})$	n	$R^2$	DENKLEM
40	7	1.9322	1.2514	0.9673	$y=0.7991x+0.6587$
25	2	0.3512	0.6029	0.9405	$y=1.6586x-1.0463$
25	3	0.7427	0.7031	0.8826	$y=1.4222x-0.2975$
25	4	0.8790	0.7137	0.8910	$y=1.4011x-0.129$
25	7	2.2644	0.8535	0.9745	$y=1.1717x+0.8173$
25	10	4.4884	1.0486	0.9020	$y=0.9537x+1.5015$

#### 4.7. Dubinin- Kagner - Radushkevich (DKR) İzotermeleri ve Parametreleri

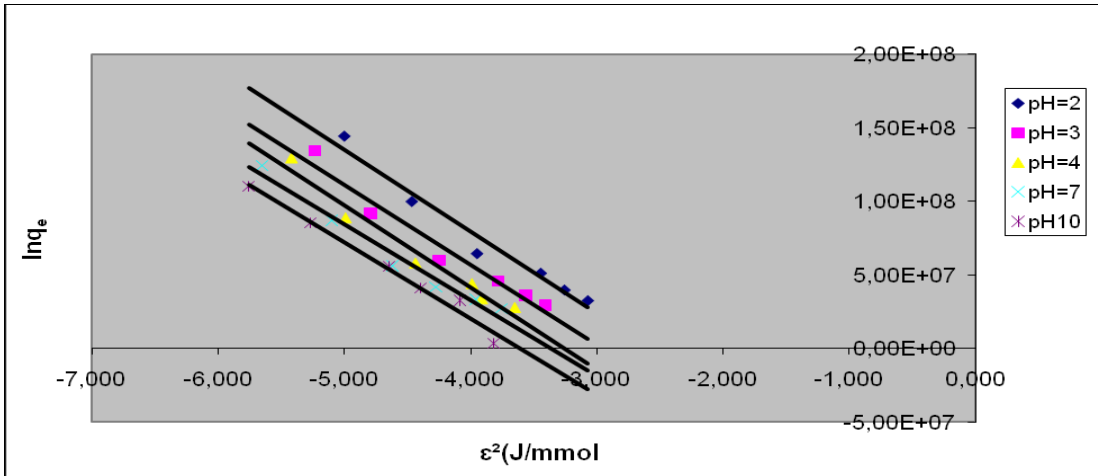
Dubinin- Kagner - Radushkevich (DKR) izotermeleri ile ilgili parametreler hesaplanırken  $\ln q_e = \ln q_m - \beta \epsilon^2$  denklemden yararlanarak  $\ln q_e - \epsilon^2$  grafikleri çizilmiştir

ve bu grafiklerin eğim ve kaymalarından  $\beta$  ve  $q_m$  sabitleri hesaplanmıştır. Denklemnin eğiminden saptanan  $\beta$  değerinden yararlanarak ve  $E=1/(2\beta)^{1/2}$  formülünü kullanarak E değerleri bulunmuştur.  $\varepsilon$  değeri ise  $\varepsilon=RT \ln (1/C_e)$  formülünden belirlenmiştir.

Alizarin red S çözeltilerinin silikajel üzerinde 40 °C'deki adsorpsiyonuyla ilgili izoterm şekil 4.41'de verilmiştir. Oda sıcaklığında ve çeşitli pH' larda hesaplanan alizarin red S çözeltilerinin silikajel üzerinde adsorpsiyonuyla ilgili grafik ise şekil 4.42'de verilmiştir. Bunlarla ilgili parametreler ise çizelge 4.18' de verilmiştir.



Şekil 4.41. 40 °C sıcaklıkta silikajel üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin- Kagener – Radushkevich (DKR) izotermi.

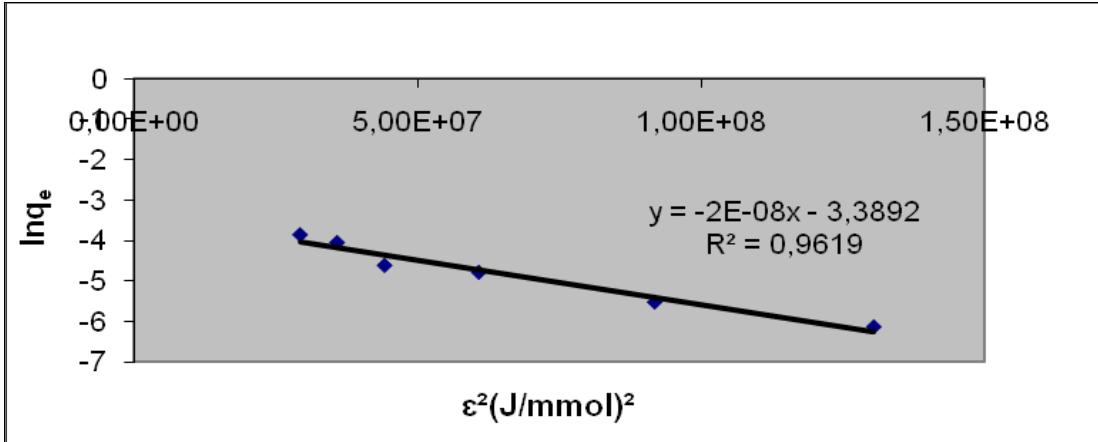


Şekil 4.42. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin- Kagener - Radushkevich (DKR) izotermi (25 °C).

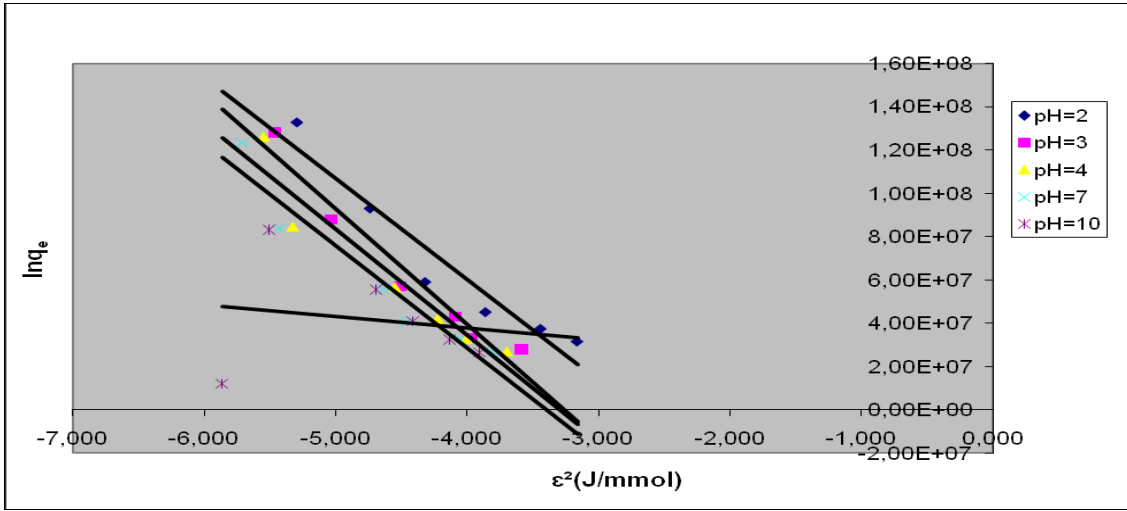
Çizelge 4.18.Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin-Kagener-Radushkevich (DKR) parametreleri

T(°C)	pH	$q_m(\text{mmol g}^{-1})$	$\beta(\text{mmol}^2\text{kJ}^{-2})$	$E(\text{kJ mol}^{-1})$	$R^2$	DENKLEM
40	7	0.0308	$1.80 \cdot 10^{-8}$	5.271	0.9802	$y = -1.80 \cdot 10^{-8}x - 3.48$
25	2	0.0732	$1.74 \cdot 10^{-8}$	5.360	0.9678	$y = -1.74 \cdot 10^{-8}x - 2,62$
25	3	0.0498	$1.77 \cdot 10^{-8}$	5.314	0.9600	$y = -1.77 \cdot 10^{-8}x - 2.99$
25	4	0.0370	$1.74 \cdot 10^{-8}$	5.360	0.9660	$y = -1.74 \cdot 10^{-8}x - 3.30$
25	7	0.0334	$1.89 \cdot 10^{-8}$	5.143	0.9716	$y = -1.89 \cdot 10^{-8}x - 3.40$
25	10	0.0267	$1.90 \cdot 10^{-8}$	5.129	0.9827	$y = -1.90 \cdot 10^{-8}x - 3.62$

Alizarin red S çözeltilerinin ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde 40 °C'deki adsorpsiyonuyla ilgili izoterm şekil 4.43'de verilmiştir. Oda sıcaklığında ve çeşitli pH' larda hesaplanan alizarin red S çözeltilerinin ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde adsorpsiyonuyla ilgili grafik ise şekil 4.44'de verilmiştir. Bunlarla ilgili parametreler ise çizelge 4.19'da verilmiştir.



Şekil 4.43 40 °C sıcaklıkta ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin-Kagener-Radushkevich (DKR) izotermi.

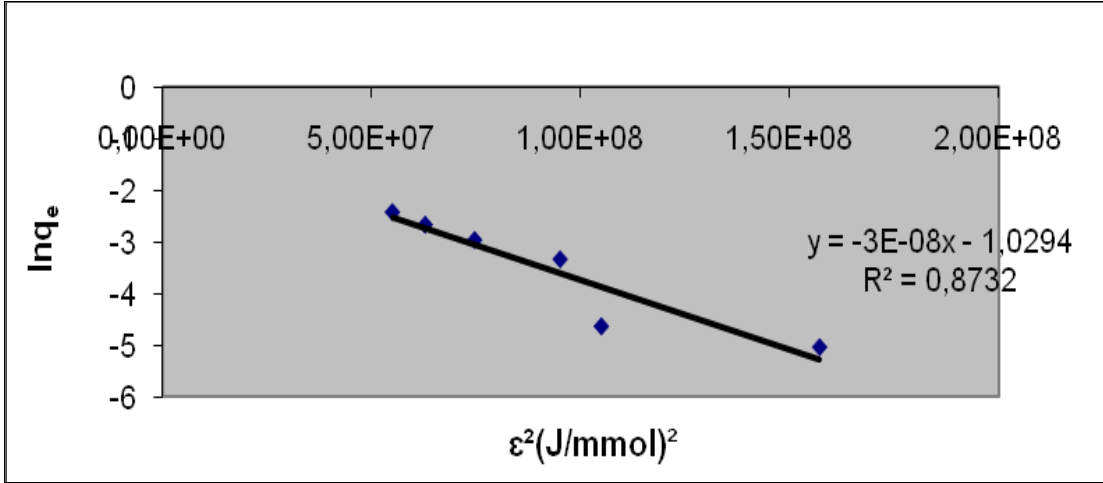


Şekil 4.44. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin- Kaganer-Radushkevich (DKR) izotermi (25 °C).

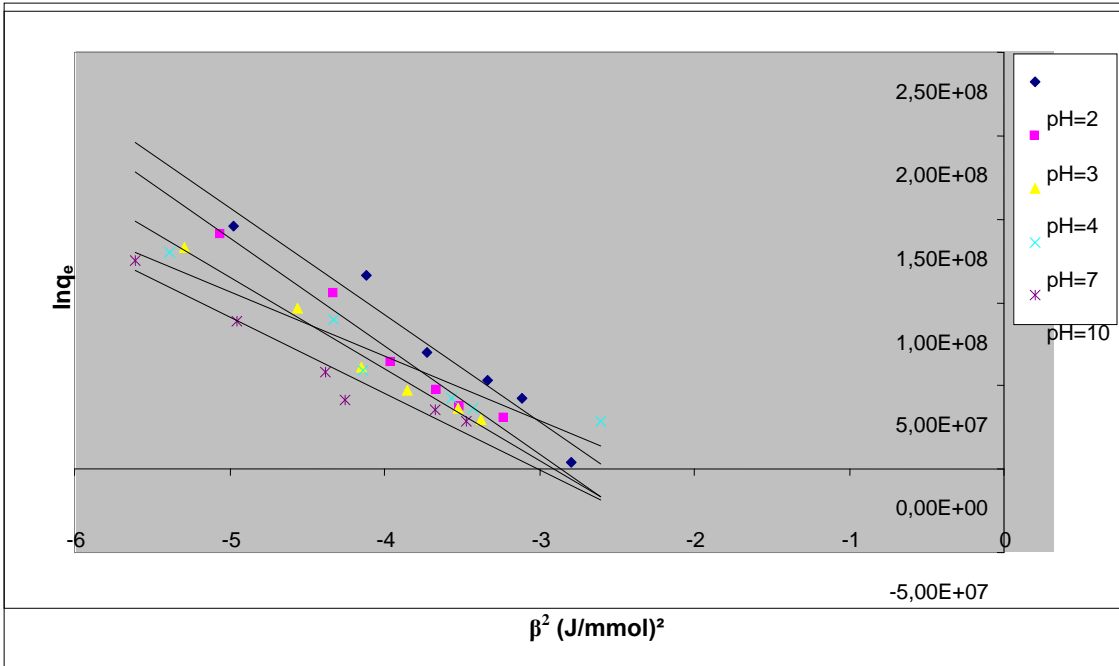
Çizelge 4.19 Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin- Kaganer - Radushkevich (DKR) parametreleri

T(°C)	pH	$q_m(\text{mmol g}^{-1})$	$\beta(\text{mmol}^2\text{kJ}^{-2})$	E(kJ mol <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	DENKLEM
40	7	0.0337	$2.19 \cdot 10^{-8}$	4.778	0.9619	$y = -2.19 \cdot 10^{-8}x - 3.38$
25	2	0.0595	$1.98 \cdot 10^{-8}$	5.025	0.9217	$y = -1.98 \cdot 10^{-8}x - 2.82$
25	3	0.0359	$1.78 \cdot 10^{-8}$	5.299	0.9458	$y = -1.78 \cdot 10^{-8}x - 3.3$
25	4	0.0333	$1.88 \cdot 10^{-8}$	5.157	0.9212	$y = -1.88 \cdot 10^{-8}x - 3.40$
25	7	0.0304	$1.97 \cdot 10^{-8}$	5.037	0.9273	$y = -1.97 \cdot 10^{-8}x - 3.40$
25	10	0.0304	$2.10 \cdot 10^{-8}$	4.879	0.9578	$y = -2.10 \cdot 10^{-8}x - 3.49$

Alizarin red S çözeltilerinin ZnCl<sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde 40 °C'deki adsorpsiyonuyla ilgili izoterm şekil 4.45'de verilmiştir. Oda sıcaklığında ve çeşitli pH' larda hesaplanan alizarin red S çözeltilerinin ZnCl<sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde adsorpsiyonuyla ilgili grafik ise şekil 4.46' da verilmiştir. Bunlarla ilgili parametreler ise çizelge 4.20'de verilmiştir.



Şekil 4.45. 40 °C sıcaklıkta  $\text{ZnCl}_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonuyla ilgili Dubinin- Kagner - Radushkevich (DKR) izotermi.

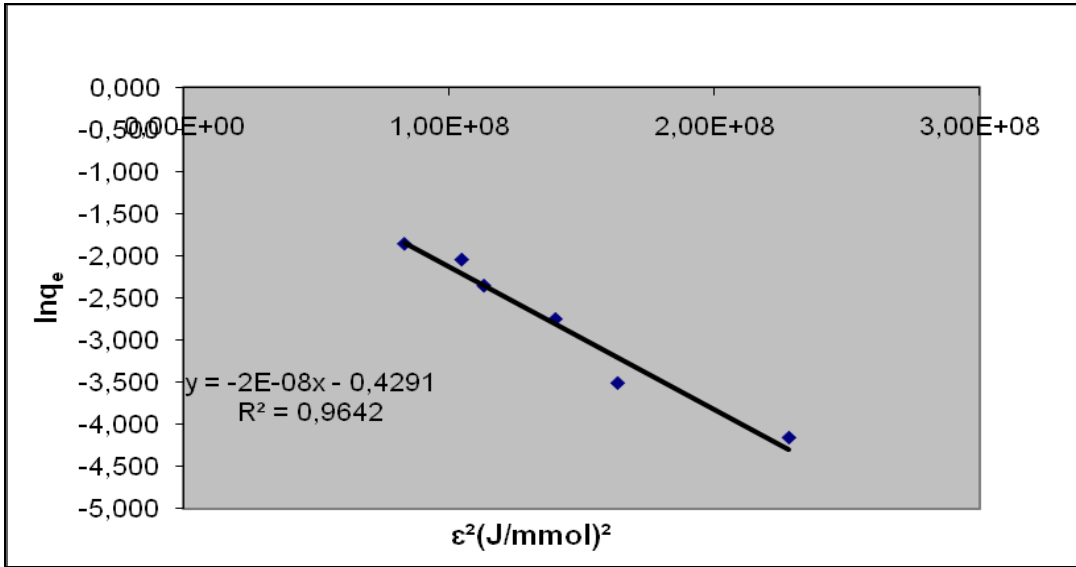


Şekil 4.46. Çeşitli pH' larda  $\text{ZnCl}_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin- Kagner - Radushkevich (DKR) izotermi (25 °C).

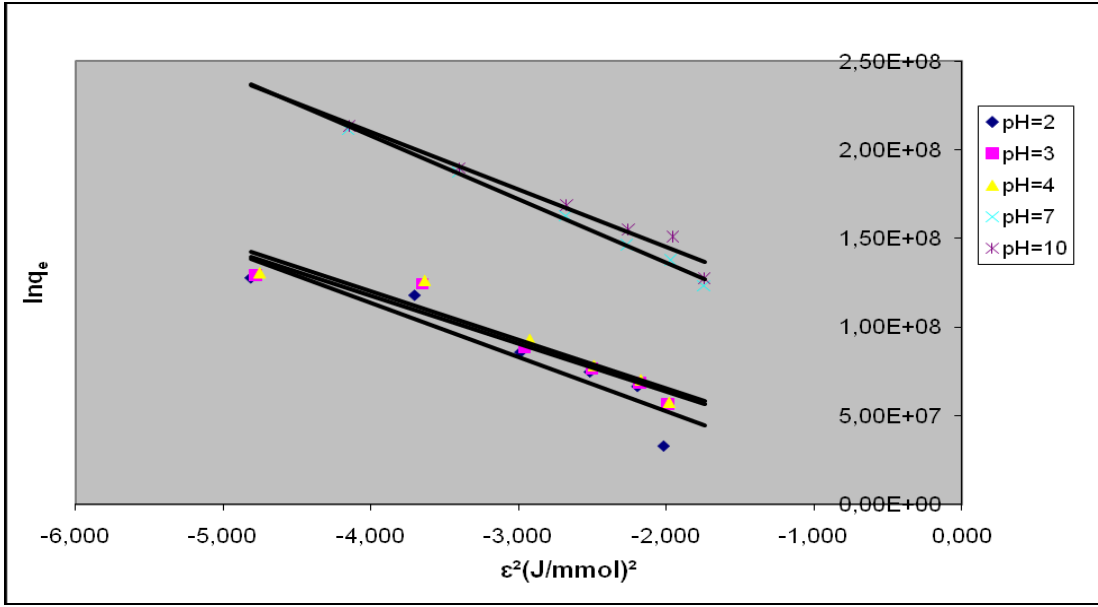
Çizelge 4.20. Çeşitli pH' larda  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonuyla ilgili Dubinin- Kagener - Radushkevich (DKR) parametreleri

T(°C)	pH	$q_m(\text{mmol g}^{-1})$	$\beta(\text{mmol}^2\text{kJ}^{-2})$	E(kJ mol <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	DENKLEM
40	7	0.3572	$2.71 \cdot 10^{-8}$	4.295	0.8732	$y = -2.71 \cdot 10^{-8}x - 1.03$
25	2	0.0741	$1.49 \cdot 10^{-8}$	5.792	0.9584	$y = -1.49 \cdot 10^{-8}x - 2.60$
25	3	0.0554	$1.50 \cdot 10^{-8}$	5.773	0.9740	$y = -1.50 \cdot 10^{-8}x - 2.89$
25	4	0.0546	$1.78 \cdot 10^{-8}$	5.299	0.9844	$y = -1.78 \cdot 10^{-8}x - 2.93$
25	7	0.0898	$2.32 \cdot 10^{-8}$	6.566	0.9011	$y = -2.32 \cdot 10^{-8}x - 2.41$
25	10	0.0459	$2.07 \cdot 10^{-8}$	4.914	0.9482	$y = -2.07 \cdot 10^{-8}x - 3.08$

Metil kırmızısı çözeltilerinin silikajel üzerinde 40 °C'deki adsorpsiyonuyla ilgili izoterm şekil 4.47.'de verilmiştir. Oda sıcaklığında ve çeşitli pH' larda metil kırmızısı çözeltilerinin silikajel üzerinde adsorpsiyonuyla ilgili grafik ise şekil 4.48'de verilmiştir. Bunlarla ilgili parametreler ise çizelge 4.21'de verilmiştir.



Şekil 4.47. 40 °C sıcaklıkta silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin- Kagener - Radushkevich (DKR) izotermi.

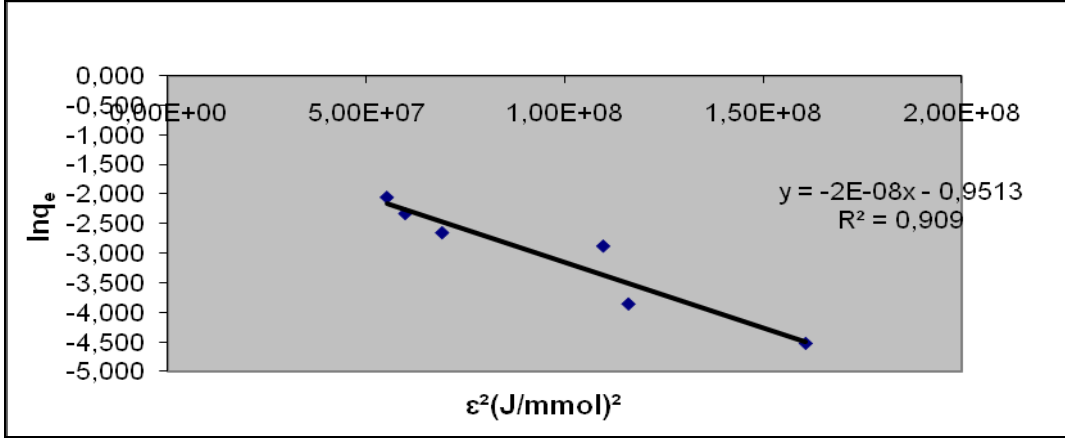


Şekil 4.48. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin- Kaganer–Radushkevich (DKR) izotermi (25 °C).

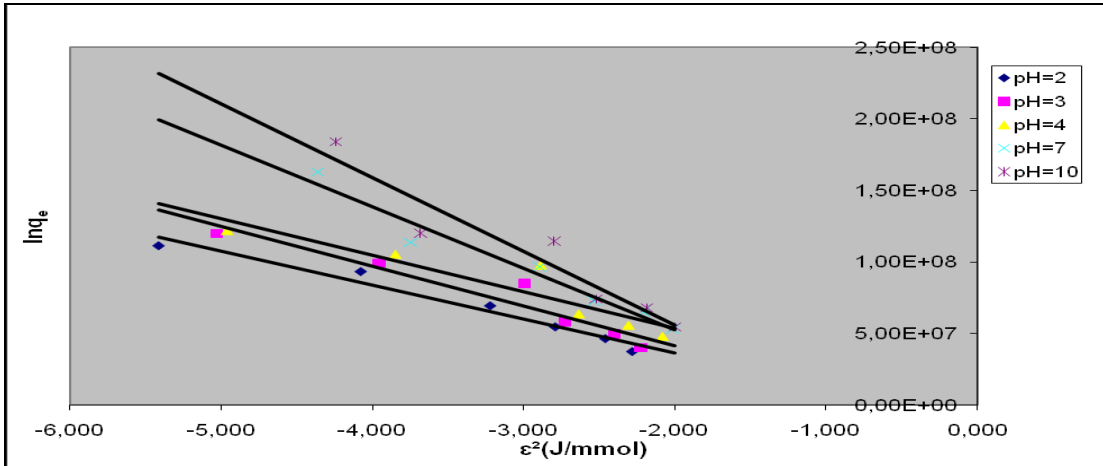
Çizelge 4.21. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin- Kaganer-Radushkevich (DKR) parametreleri

T(°C)	pH	$q_m(\text{mmol g}^{-1})$	$\beta(\text{mmol}^2\text{kJ}^{-2})$	$E(\text{kJ mol}^{-1})$	$R^2$	DENKLEM
40	7	0.6511	$1.69 \cdot 10^{-8}$	5.439	0.9642	$y = -1.69 \cdot 10^{-8}x - 0,42$
25	2	0.5162	$2.82 \cdot 10^{-8}$	4.210	0.8657	$y = -2.82 \cdot 10^{-8}x - 0.66$
25	3	1.0324	$3.36 \cdot 10^{-8}$	3.857	0.9108	$y = -3.36 \cdot 10^{-8}x + 0.03$
25	4	1.0728	$3.30 \cdot 10^{-8}$	3.892	0.9063	$y = -3.30 \cdot 10^{-8}x + 0.07$
25	7	5.9793	$2.78 \cdot 10^{-8}$	4.240	0.9939	$y = -2.78 \cdot 10^{-8}x + 1.78$
25	10	10.0412	$2.99 \cdot 10^{-8}$	4.089	0.9684	$y = -2.99 \cdot 10^{-8}x + 2,31$

Metil kırmızısı çözeltilerinin ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde 40 °C'deki adsorpsiyonuyla ilgili izoterm şekil 4.49'da verilmiştir. Oda sıcaklığında ve çeşitli pH' larda hesaplanan metil kırmızısı çözeltilerinin ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde adsorpsiyonuyla ilgili grafik ise şekil 4.50'de verilmiştir. Bunlarla ilgili parametreler ise çizelge 4.22' de verilmiştir.



Şekil 4.49. 40 °C sıcaklıkta ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin- Kagener Radushkevich (DKR) izotermi.



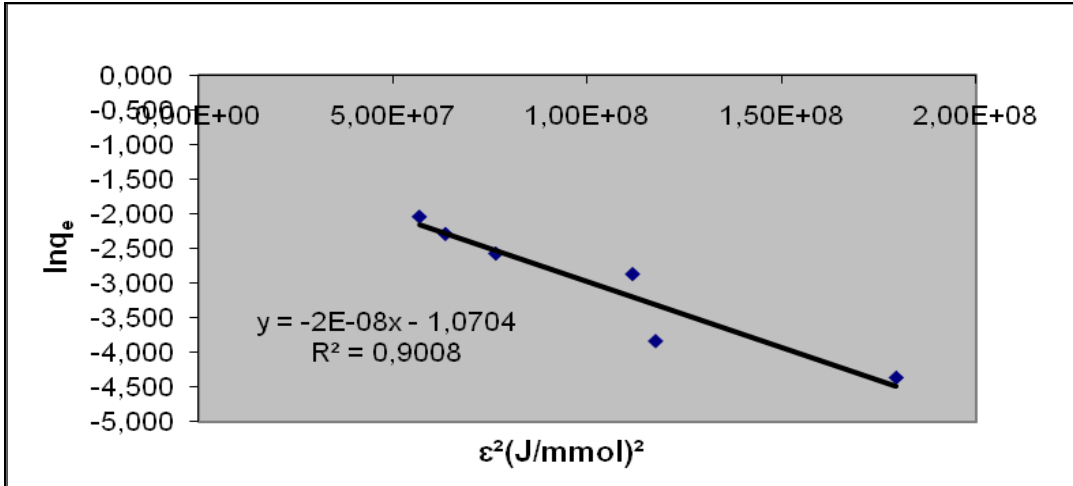
Şekil 4.50. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin- Kagener - Radushkevich (DKR) izotermi (25 °C).



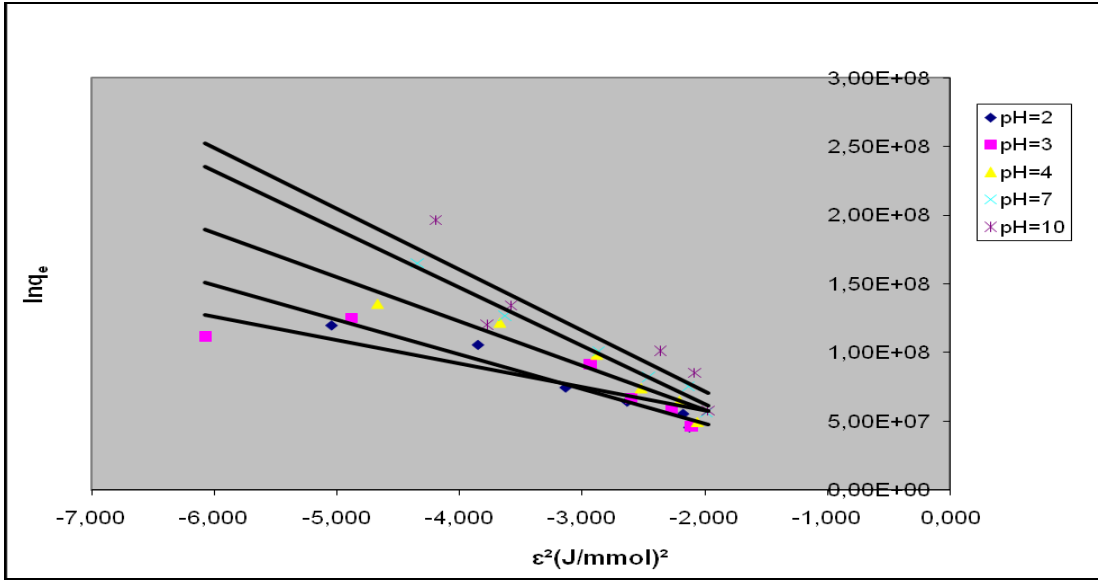
Çizelge 4.22. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin- Kagener - Radushkevich (DKR) parametreleri

T(°C)	pH	$q_m(\text{mmol g}^{-1})$	$\beta(\text{mmol}^2\text{kJ}^{-2})$	$E(\text{kJ mol}^{-1})$	$R^2$	DENKLEM
40	7	0.3862	$2.20 \cdot 10^{-8}$	4.767	0.9090	$y = -2.20 \cdot 10^{-8}x - 0.95$
25	2	0.5698	$4.08 \cdot 10^{-8}$	3.500	0.9648	$y = -4.08 \cdot 10^{-8}x - 0.56$
25	3	0.4868	$3.32 \cdot 10^{-8}$	3.880	0.9215	$y = -3.32 \cdot 10^{-8}x - 0.72$
25	4	0.6948	$3.35 \cdot 10^{-8}$	3.863	0.8553	$y = -3.35 \cdot 10^{-8}x - 0.36$
25	7	0.4230	$2.23 \cdot 10^{-8}$	4.735	0.9594	$y = -2.23 \cdot 10^{-8}x - 0.86$
25	10	0.3335	$1.76 \cdot 10^{-8}$	5.330	0.9076	$y = -1.76 \cdot 10^{-8}x - 1.09$

Metil kırmızısı çözeltilerinin  $\text{ZnCl}_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde  $40^\circ\text{C}$ 'deki adsorpsiyonuyla ilgili izoterm şekil 4.51'de verilmiştir. Oda sıcaklığında ve çeşitli pH' larda hesaplanan metil kırmızısı çözeltilerinin  $\text{ZnCl}_2$  ile muamele aktif karbon üzerinde adsorpsiyonuyla ilgili grafik ise şekil 4.52' de verilmiştir. Bunlarla ilgili parametreler ise çizelge 4.23'de verilmiştir.



Şekil 4.51.  $40^\circ\text{C}$  sıcaklıkta  $\text{ZnCl}_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğu üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin- Kagener-Radushkevich (DKR) izotermi.



Şekil 4.52. Çeşitli pH' larda  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin- Kaganer-Radushkevich (DKR) izotermleri (25 °C).

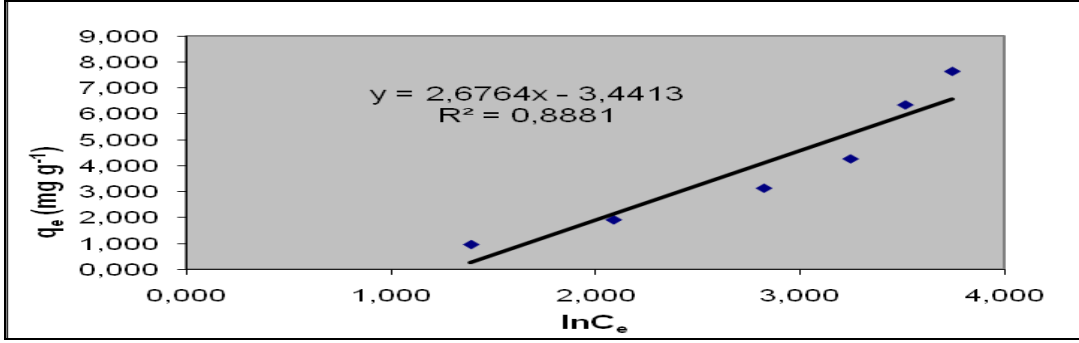
Çizelge 4.23. Çeşitli pH' larda  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Dubinin- Kaganer-Radushkevich (DKR) parametreleri

T(°C)	pH	$q_m(\text{mmol g}^{-1})$	$\beta(\text{mmol}^2\text{kJ}^{-2})$	E(kJ mol <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	DENKLEM
40	7	0.3429	$1.90 \cdot 10^{-8}$	5.129	0.9008	$y = -1.90 \cdot 10^{-8}x - 1.07$
25	2	0.7891	$3.78 \cdot 10^{-8}$	3.636	0.9556	$y = -3.78 \cdot 10^{-8}x - 0.236$
25	3	0.3683	$3.24 \cdot 10^{-8}$	3.928	0.9244	$y = -3.24 \cdot 10^{-8}x - 0.40$
25	4	0.6594	$2.84 \cdot 10^{-8}$	4.181	0.9247	$y = -2.86 \cdot 10^{-8}x - 0.41$
25	7	0.5713	$2.32 \cdot 10^{-8}$	4.642	0.9848	$y = -2.32 \cdot 10^{-8}x - 0,55$
25	10	0.4660	$1.78 \cdot 10^{-8}$	5.299	0.9188	$y = -1.78 \cdot 10^{-8}x - 0,76$

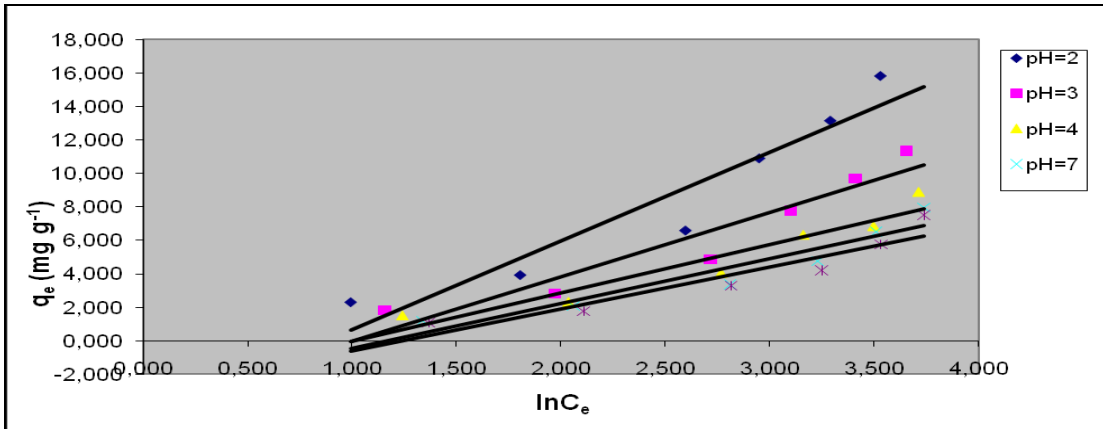
#### 4.8. Temkin İzotermi ve Parametreleri

Temkin izotermi ile ilgili parametreler hesaplanırken  $q_e = B \ln A + B \ln C_e$  denklemden yararlanarak  $q_e - \ln C_e$  grafiği çizilmiş grafiğin eğim ve kaymasından A ve B sabitlerinin değerleri belirlenmiştir.

Alizarin red S çözeltilerinin silikajel üzerinde 40 °C'deki adsorpsiyonuyla ilgili izoterm şekil 4.53'de verilmiştir. Oda sıcaklığında ve çeşitli pH' larda hesaplanan Alizarin red S çözeltilerinin silikajel üzerinde adsorpsiyonuyla ilgili grafik ise şekil 4.54'de verilmiştir. Bunlarla ilgili parametreler ise çizelge 4.24'de verilmiştir.



Şekil 4.53. 40 °C sıcaklıkta silikajel üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonuyla ilgili Temkin izotermi.

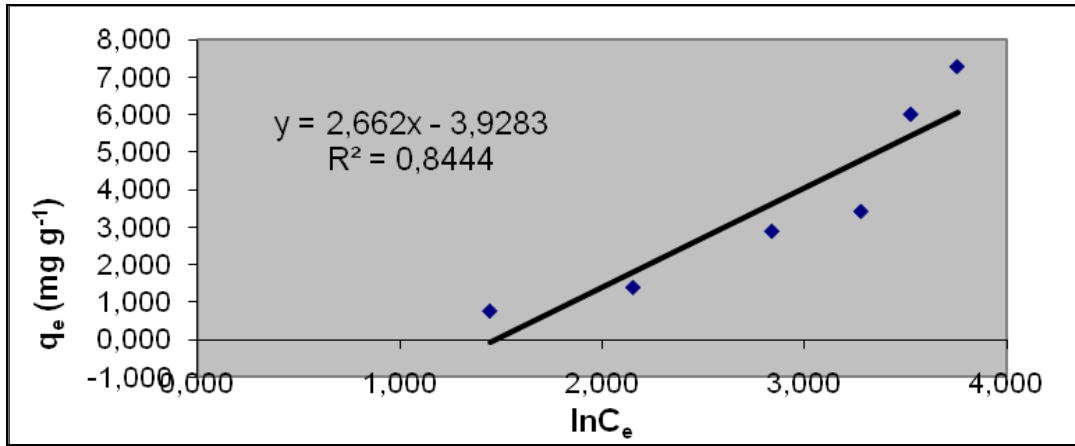


Şekil 4.54. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin izotermi (25 °C).

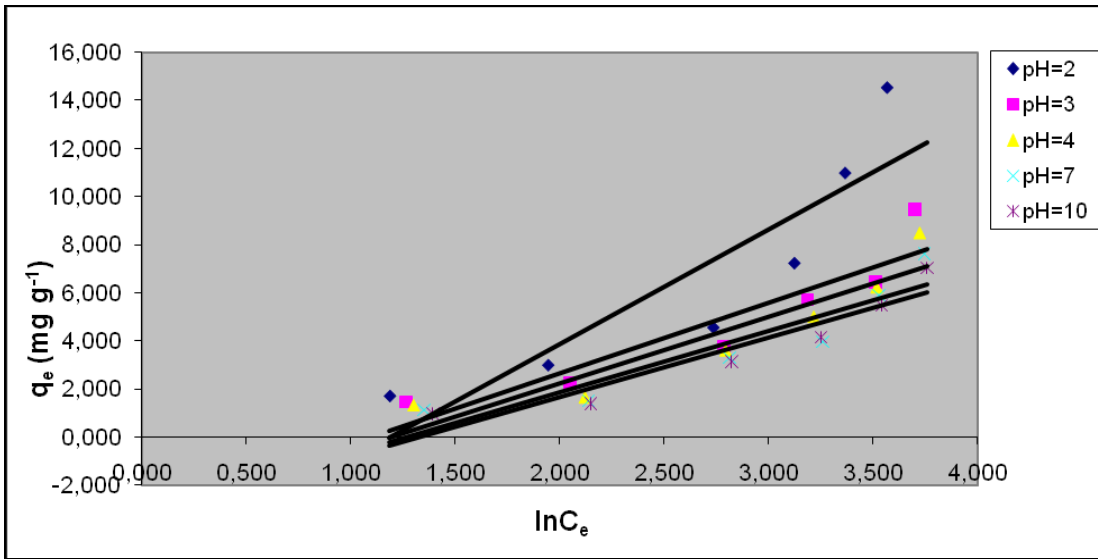
Çizelge 4.24. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin parametreleri

T(°C)	pH	A(dm <sup>3</sup> mg <sup>-1</sup> )	B	R <sup>2</sup>	DENKLEM
40	7	0.2764	2.6764	0.8881	y=2.6764x-3.4413
25	2	0.4198	5.2854	0.9063	y=5.2854x-4.5873
25	3	0.3648	3.8532	0.9068	y=3.8532x-3.8861
25	4	0.3651	2.8947	0.9139	y=2.8947x-2.9163
25	7	0.3113	2.6752	0.8950	y=2.6752x-3.1222
25	10	0.3984	2.5033	0.8839	y=2.5033x-3.0831

Alizarin red S çözeltilerinin ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde 40 °C'deki adsorpsiyonuyla izoterm şekil 4.55' de verilmiştir. Oda sıcaklığında ve çeşitli pH' lardaki alizarin red S çözeltilerinin ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerindeki adsorpsiyonuyla ilgili grafik ise şekil 4.56'da verilmiştir. Bunlarla ilgili parametreler ise çizelge 4.25'de verilmiştir.



Şekil 4.55. 40 °C sıcaklıkta ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin izotermi.

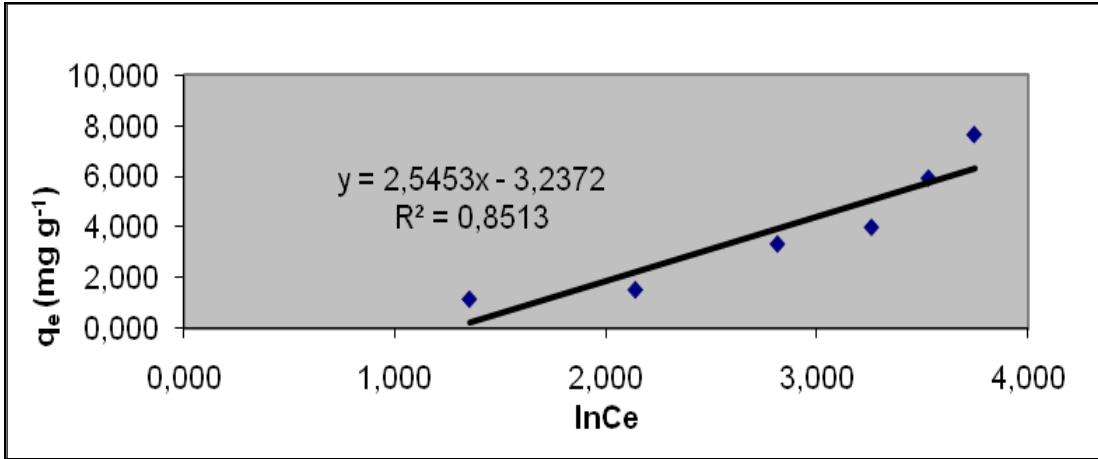


Şekil 4.56. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin izotermi (25 °C).

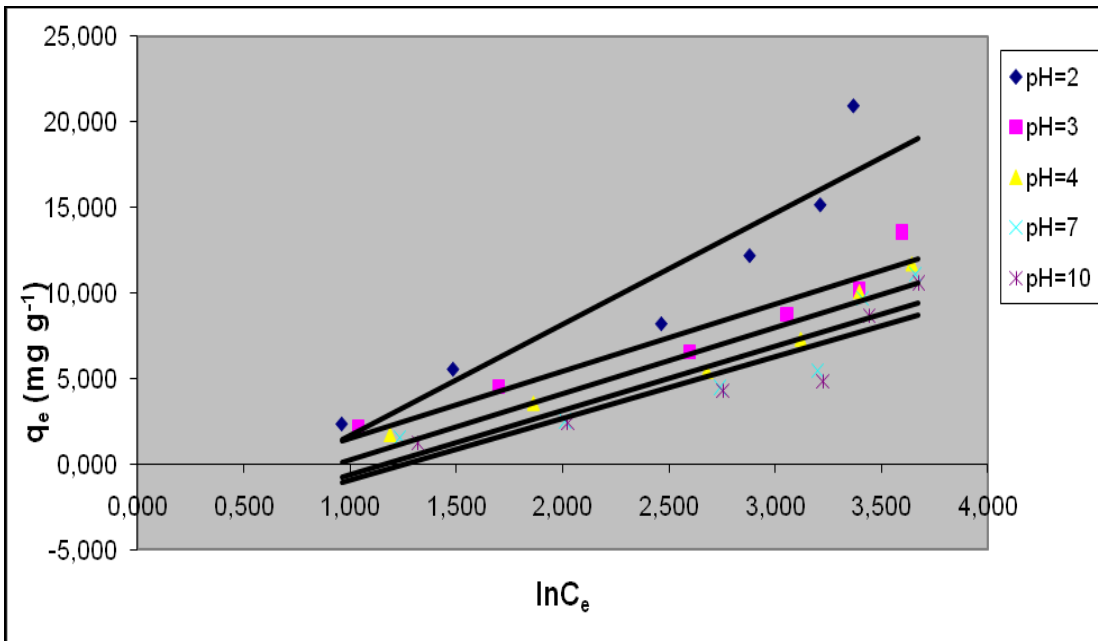
Çizelge 4.25. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin parametreleri

T(°C)	pH	A(mg g <sup>-1</sup> )	B	R <sup>2</sup>	DENKLEM
40	7	0.2286	2.6620	0.8440	y=2.662x-3.9283
25	2	0.3823	4.7761	0.7899	y=4.7761x-5.6846
25	3	0.3329	2.9349	0.8524	y=2.9349x-3.2274
25	4	0.3011	2.7808	0.8643	y=2.7808x-3.3377
25	7	0.2803	2.5453	0.8513	y=2.5453x-3.2372
25	10	0.2659	2.4674	0.8979	y=2.4674x-3.2683

Alizarin red S çözeltilerinin ZnCl<sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde 40 °C'deki adsorpsiyonuyla ilgili izoterm şekil 4.57'de verilmiştir. Oda sıcaklığında ve çeşitli pH' lardaki alizarin red S çözeltilerinin ZnCl<sub>2</sub> ile muamele aktif karbon üzerindeki adsorpsiyonuyla ilgili grafik ise şekil 4.58'de verilmiştir. Bunlarla ilgili parametreler ise çizelge 4.26'da verilmiştir.



Şekil 4.57. 40 °C sıcaklıkta  $\text{ZnCl}_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilmiş aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltiden adsorpsiyonu ile ilgili Temkin izotermi.

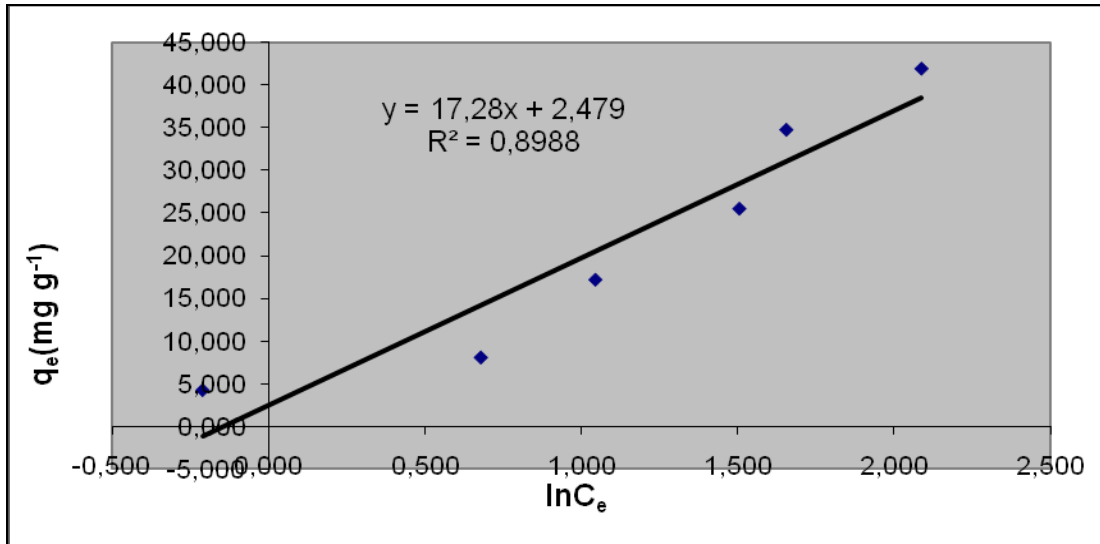


Şekil 4.58. Çeşitli pH' larda  $\text{ZnCl}_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin izotermi (25 °C).

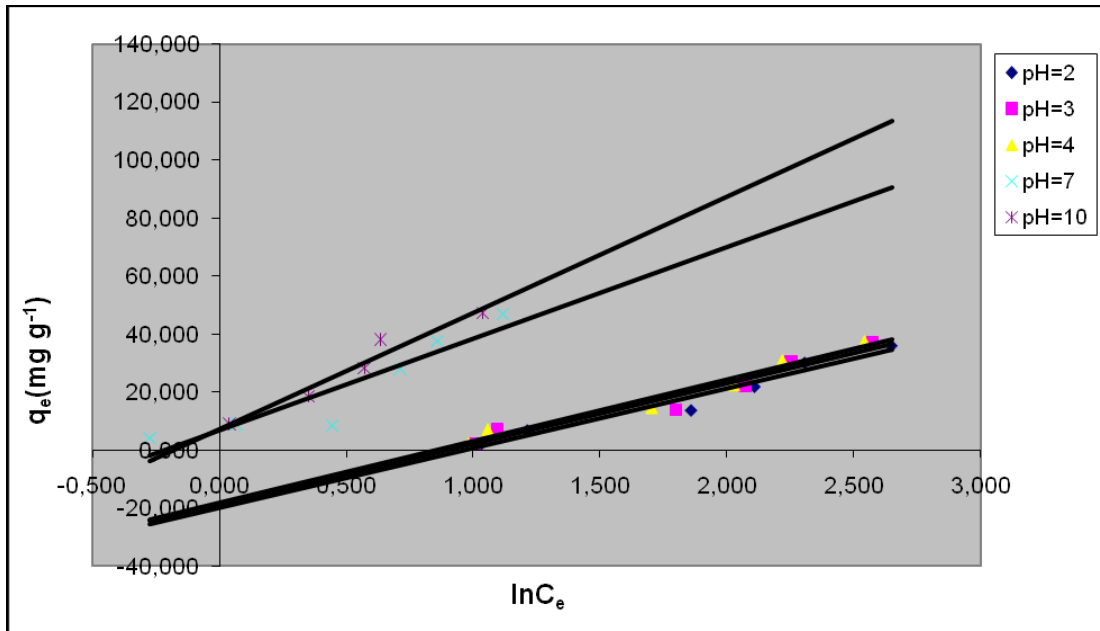
Çizelge 4.26. Çeşitli pH' larda  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin parametreleri

T(°C)	pH	A(mg g <sup>-1</sup> )	B	R <sup>2</sup>	DENKLEM
40	7	0.3043	14.6590	0.8426	y=14.659x-17.44
25	2	0.4761	6.5107	0.8735	y=6.5107x-4.8325
25	3	0.5443	3.9079	0.9232	y=3.9079x-2.3773
25	4	0.3929	3.8710	0.9252	y=3.8710x-3.6166
25	7	0.3135	3.7589	0.8186	y=3.7589x-4.3602
25	10	0.2851	3.6082	0.8231	y=3.6082x-4.5275

Metil kırmızısı çözeltilerinin silikajel üzerinde 40 °C'deki adsorpsiyonu ile ilgili izoterm şekil 4.59'da verilmiştir. Oda sıcaklığında ve çeşitli pH' larda hazırlanan metil kırmızısı çözeltilerinin silikajel üzerinde adsorpsiyonuyla ilgili grafik ise şekil 4.60'da verilmiştir. Bunlarla ilgili parametreler ise çizelge 4.27' de verilmiştir.



Şekil 4.59. 40 °C sıcaklıkta silikajel üzerinde metil kırmızı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin izotermi.



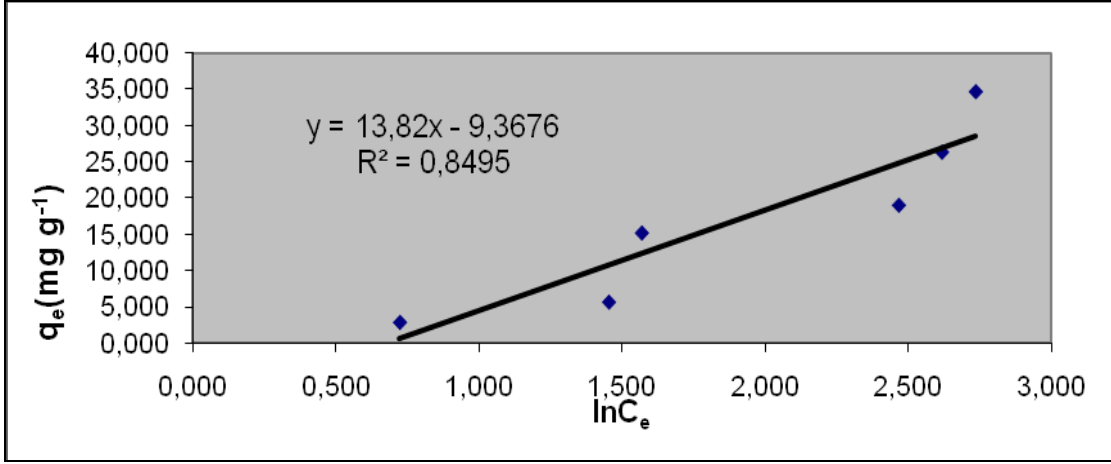
Şekil 4.60. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin izotermi (25 °C).

Çizelge 4.27. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin parametreleri

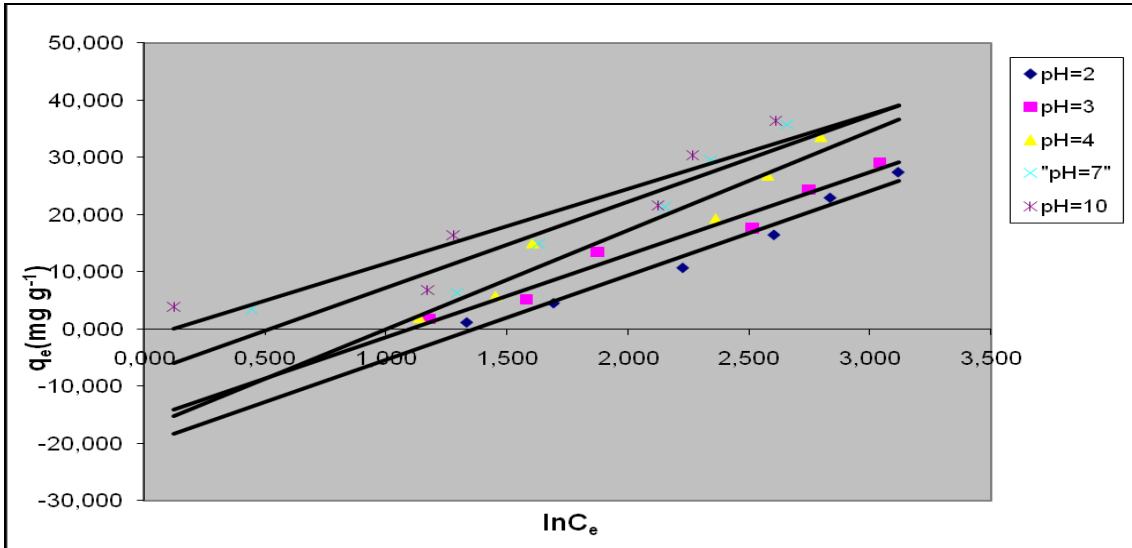
T(°C)	pH	A(mg g <sup>-1</sup> )	B	R <sup>2</sup>	DENKLEM
40	7	1.1543	17.2800	0.8988	y=17.280x-2.479
25	2	0.3798	20.5160	0.9586	y=20.516x-19.864
25	3	0.4079	20.7940	0.9494	y=20.794x-18.64
25	4	0.4257	21.2030	0.9652	y=21.203x-18.11
25	7	1.2456	31.5920	0.8536	y=31.592x+6.9364
25	10	1.1911	40.2160	0.9541	y=40.216x+7.034



Metil kırmızısı çözeltilerinin ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde 40 °C'deki adsorpsiyonuyla ilgili izoterm şekil 4.61'de verilmiştir. Oda sıcaklığında ve çeşitli pH' larda hazırlanan metil kırmızısı çözeltilerinin ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerindeki adsorpsiyonuyla ilgili grafik ise şekil 4.62'de verilmiştir. Bunlarla ilgili parametreler ise çizelge 4.28'de verilmiştir.



Şekil 4.61. 40 °C sıcaklıkta ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin izotermi.

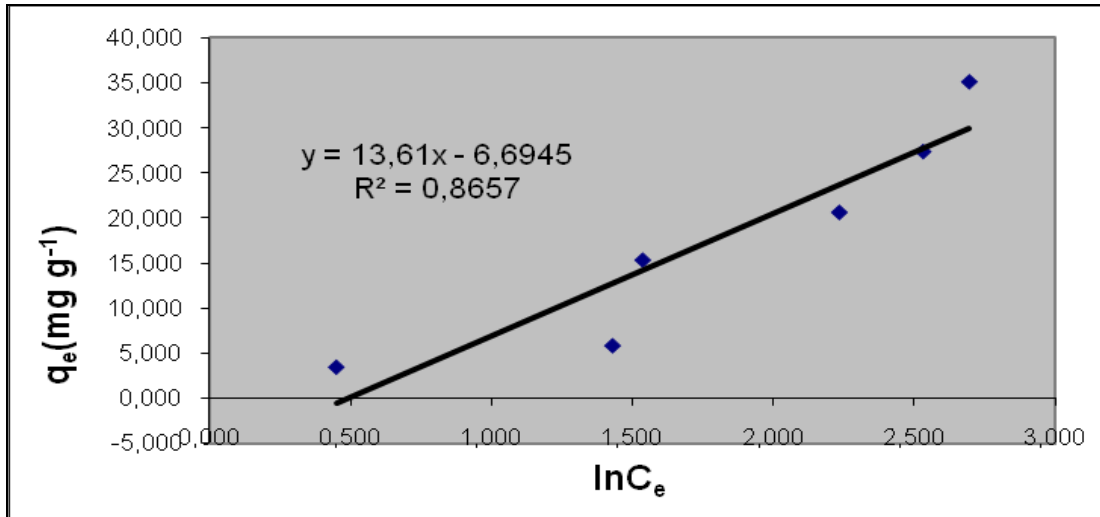


Şekil 4.62. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin izotermi (25 °C).

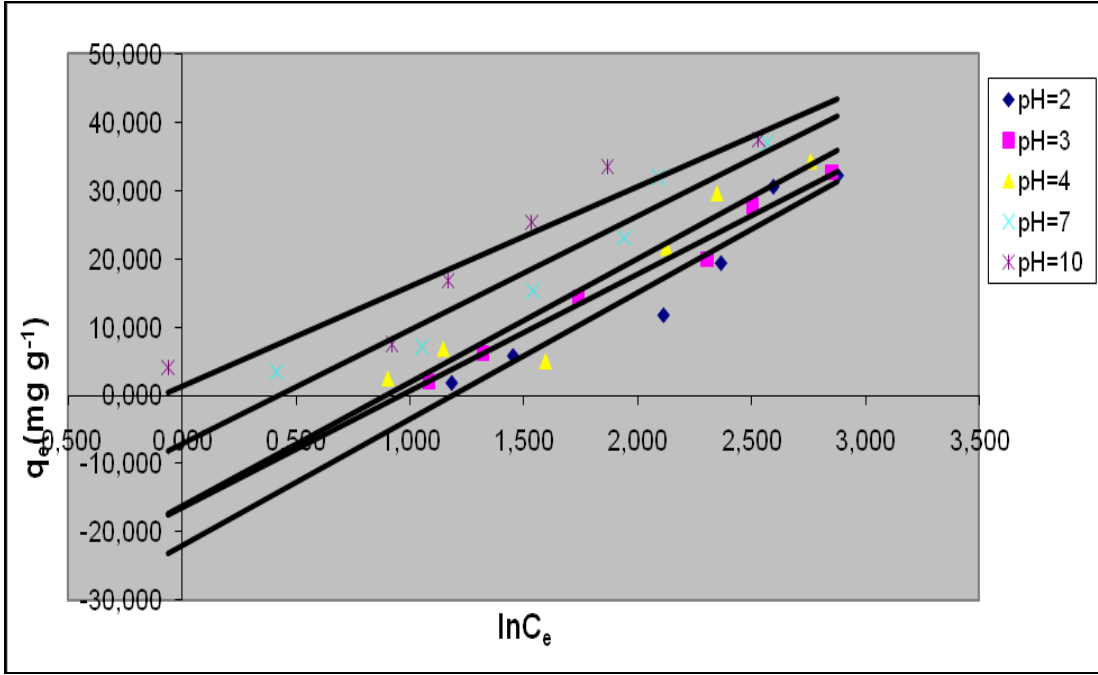
Çizelge 4.28. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin parametreleri

T(°C)	pH	A(mg g <sup>-1</sup> )	B	R <sup>2</sup>	DENKLEM
40	7	0.5077	13.820	0.8495	y=13.82x-9.3676
25	2	0.2556	14.788	0.9736	y=14.788x-20.176
25	3	0.3333	14.436	0.9682	y=14.436x-15.86
25	4	0.3667	17.342	0.9320	y=17.342x-17.395
25	7	0.5955	15.031	0.9014	y=15.031x-7.7925
25	10	0.8858	13.046	0.8712	y=13.046x+1.582

Metil kırmızısı çözeltilerinin ZnCl<sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilmiş aktif karbon üzerinde 40 °C'deki adsorpsiyonuyla ilgili izoterm şekil 4.63'de verilmiştir. Oda sıcaklığında ve çeşitli pH' larda hazırlanan metil kırmızısı çözeltilerinin ZnCl<sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde adsorpsiyonuyla ilgili grafik ise şekil 4.64'de verilmiştir. Bunlarla ilgili parametreler ise çizelge 4.29' da verilmiştir.



Şekil 4.63. 40 °C sıcaklıkta ZnCl<sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin izotermi.



Şekil 4.64. Çeşitli pH' larda  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin izotermi (25 °C).

Çizelge 4.29.Çeşitli pH' larda  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Temkin parametreleri

T(°C)	pH	A(mg g <sup>-1</sup> )	B	R <sup>2</sup>	DENKLEM
40	7	0.6115	13.6100	0.8657	y=13.61x-6.6945
25	2	0.2432	15.5590	0.9249	y=15.559x-22.065
25	3	0.3825	17.0480	0.9836	y=17.048x-16.382
25	4	0.4093	18.1000	0.9140	y=18.1x-16.168
25	7	0.0145	16.6870	0.9348	y=16.687x-7.061
25	10	1.0969	14.6340	0.8970	y=14.634x+1.3538

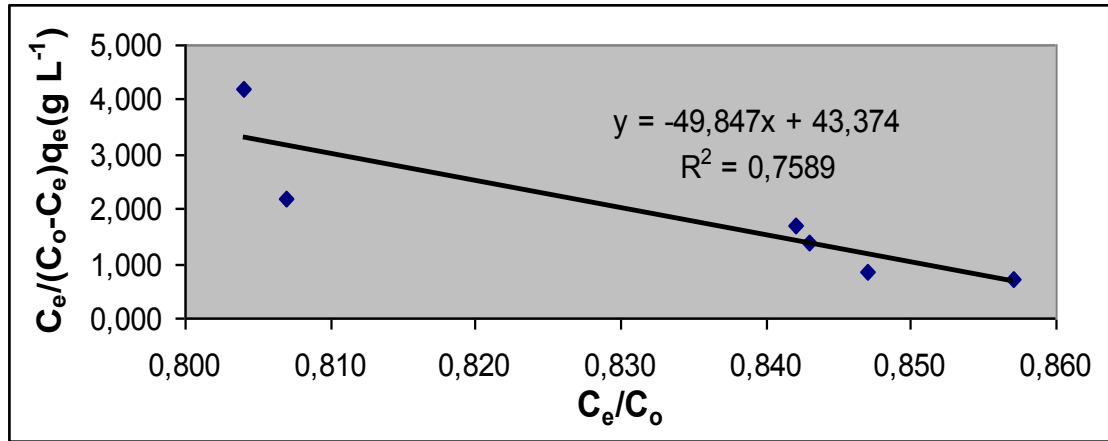
#### 4.9. Brunauer, Emmett ve Teller (BET) İzoterm ve Parametreleri

Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izotermiyle ilgili parametreler hesaplanırken  $\frac{C_e}{[(C_0 - C_e)q_e]} = \frac{1}{kq_m} + \frac{k-1}{kq_m} \cdot \frac{C_e}{C_0}$  denklemden yararlanarak  $\frac{C_e}{(C_0 - C_e)q_e} -$

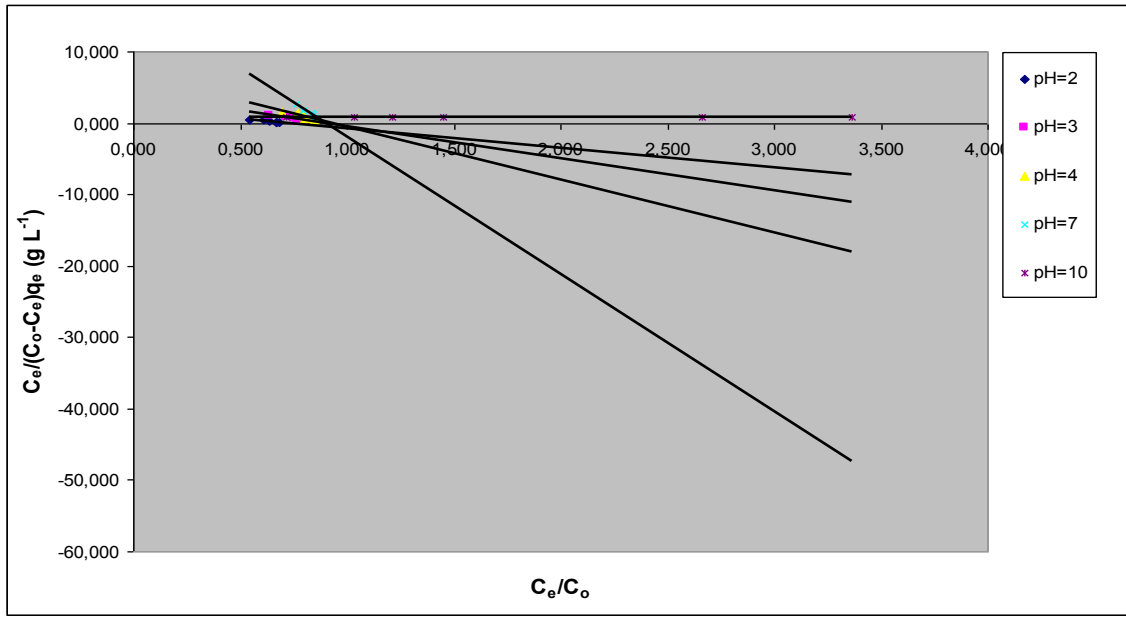
$\frac{C_e}{C_0}$  grafiği çizilmiş ve grafiğin kayması  $\frac{1}{kq_e}$  ve eğimi  $\frac{k-1}{kq_e}$  eşitlenerek k ve  $q_e$

sabitleri hesaplanmıştır.

Alizarin red S çözeltilerinin silikajel üzerinde 40 °C'deki adsorpsiyonuyla ilgili izoterm şekil 4.65'de verilmiştir. Oda sıcaklığında ve çeşitli pH' larda hazırlanan alizarin red S çözeltilerinin silikajel üzerinde adsorpsiyonuyla ilgili grafik ise şekil 4.66'da verilmiştir. Bunlarla ilgili parametreler ise çizelge 4.30'da verilmiştir.



Şekil 4.65. 40 °C sıcaklıkta silikajel üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izotermi.

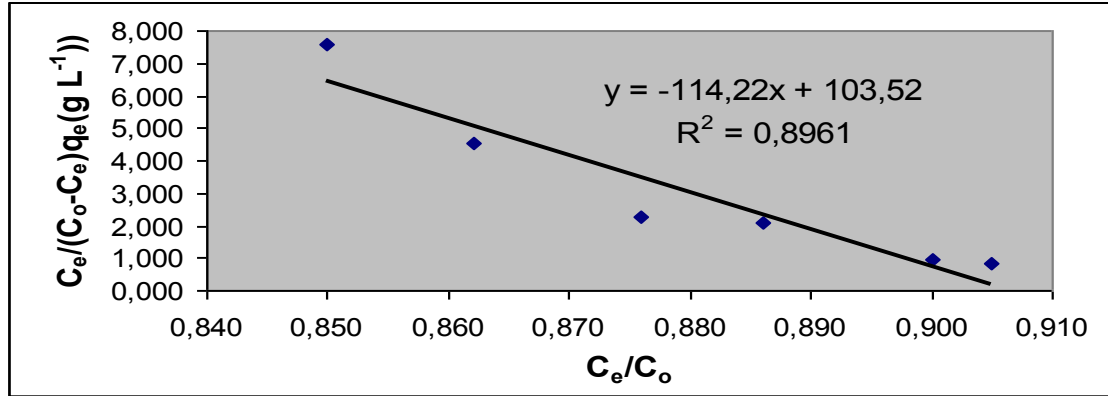


Şekil 4.66. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izotermi (25 °C).

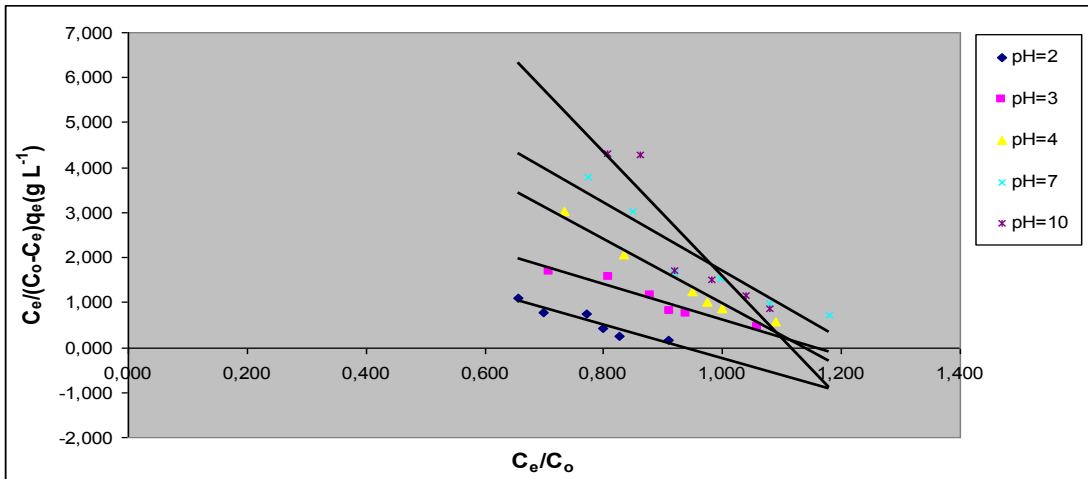
Çizelge 4.30. Çeşitli pH' larda silikajel üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izoterm parametreleri

T(°C)	pH	$q_m$ (mg g <sup>-1</sup> )	$k$ (L mg <sup>-1</sup> )	$R^2$	DENKLEM
40	7	-0.1532	-0.1508	0.7589	$y=-49.847x+43.374$
25	2	-1.3782	-0.3580	0.9585	$y=-2.7524x+2.0268$
25	3	-1.7780	-0.1459	0.8070	$y=-4.4694x+3.9003$
25	4	-1.6555	-0.0894	0.8316	$y=-7.359x+6.7551$
25	7	0.0581	0.9989	0.9544	$y=-19.241x+17.223$
25	10	1.1432	0.9113	0.8950	$y=-0.0372x+0.9113$

Alizarin red S çözeltilerinin ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde 40 °C'deki adsorpsiyonuyla ilgili izoterm şekil 4.67'de verilmiştir. Oda sıcaklığında ve çeşitli pH' larda hesaplanan alizarin red S çözeltilerinin ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerindeki adsorpsiyonuyla ilgili grafik ise şekil 4.68'de verilmiştir. Bunlarla ilgili parametreler ise çizelge 4.31'de verilmiştir.



Şekil 4.67. 40 °C sıcaklıkta ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izotermi.

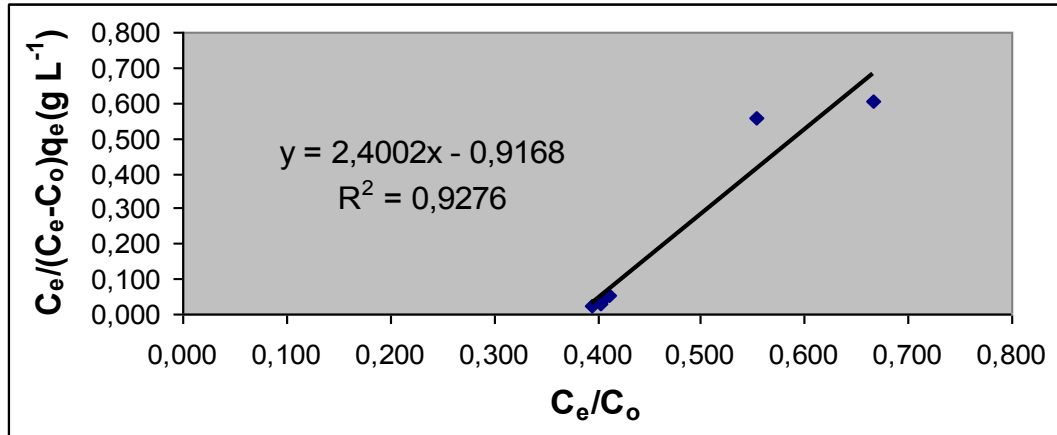


Şekil 4.68. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izotermi (25 °C).

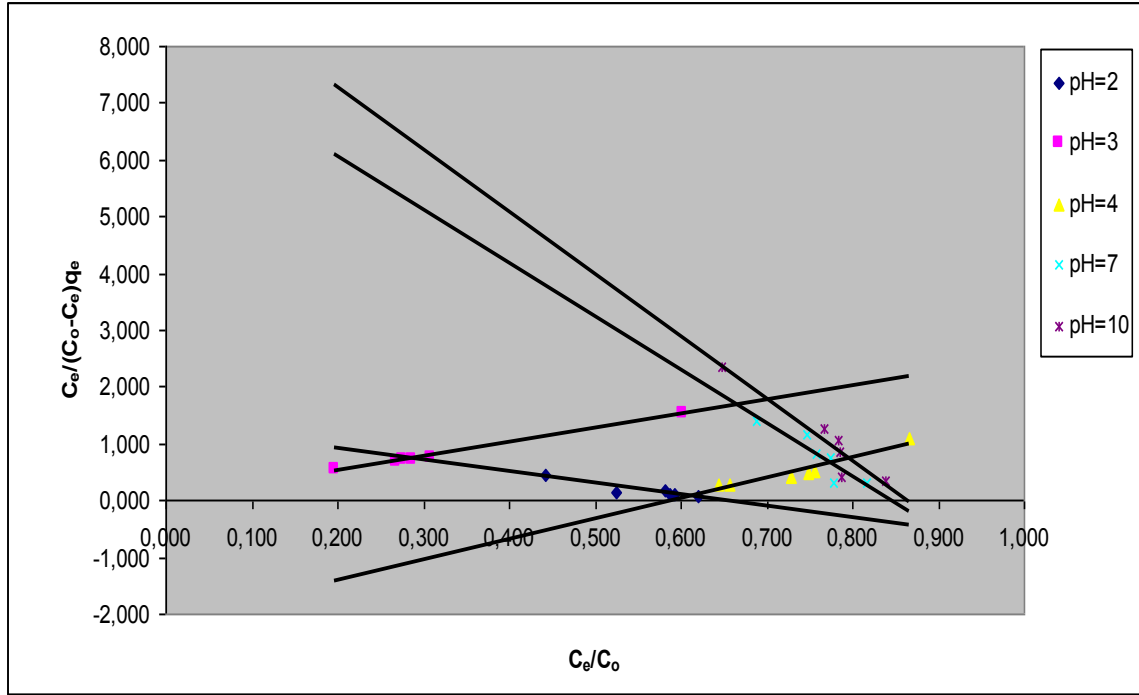
Çizelge 4.31. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izoterm parametreleri

T(°C)	pH	$q_m$ (mg g <sup>-1</sup> )	k (L mg <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	DENKLEM
40	7	-0.0899	-0.1079	0.8961	$y=-114.22x+103.52$
25	2	3.9018	0.0733	0.8926	$y=-3.7525x+3.4963$
25	3	1.6376	0.1341	0.9263	$y=-3.9434x+4.5543$
25	4	1.0336	0.1192	0.9697	$y=-7.1469x+8.1137$
25	7	-0.0595	1.8167	0.8888	$y=-7.5622x-9.2608$
25	10	0.6284	0.1036	0.8535	$y=-13.77x+15.366$

Alizarin red S çözeltilerinin ZnCl<sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde 40 °C'deki adsorpsiyonuyla ilgili izoterm şekil 4.69'da verilmiştir. Oda sıcaklığında ve çeşitli pH' larda hesaplanan alizarin red S çözeltilerinin ZnCl<sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilmiş aktif karbon üzerindeki adsorpsiyonuyla ilgili grafik ise şekil4.70'de verilmiştir. Bunlarla ilgili parametreler ise çizelge 4.32' de verilmiştir.



Şekil 4.69. 40 °C sıcaklıkta ZnCl<sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izotermi.



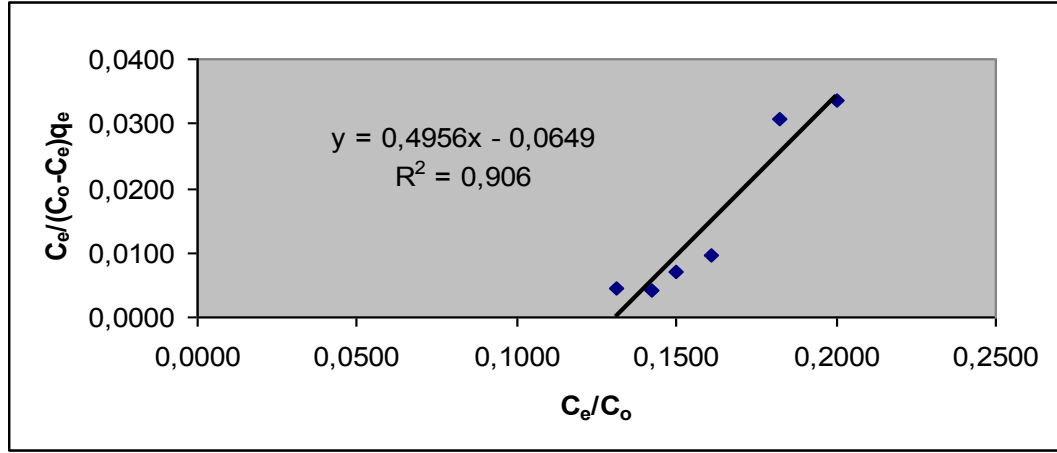
Şekil 4.70. Çeşitli pH' larda  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izotermi (25 °C).

Çizelge 4.32. Çeşitli pH' larda  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izoterm parametreleri

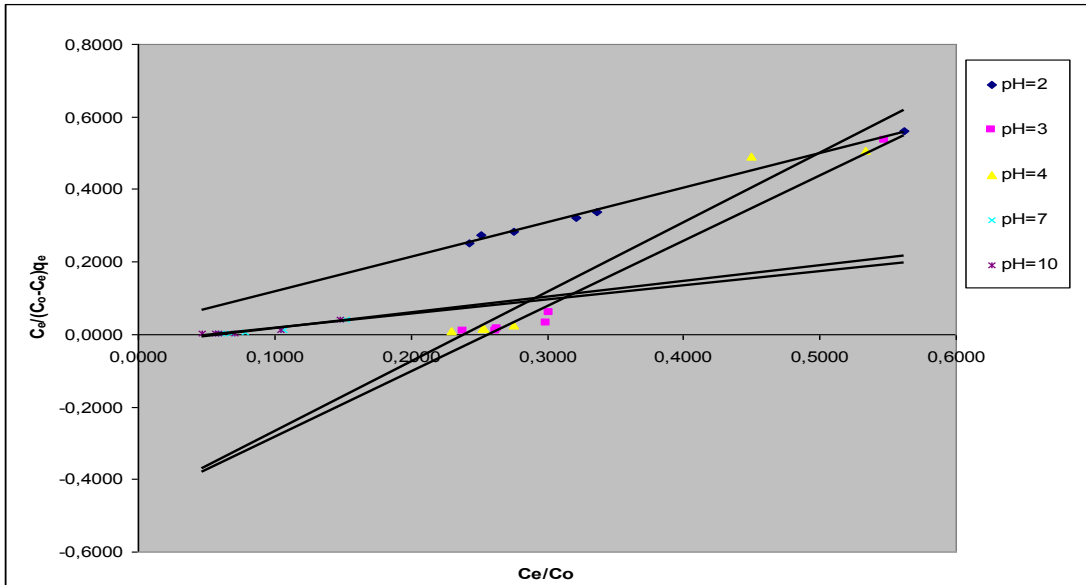
T(°C)	pH	$q_m$ (mg g <sup>-1</sup> )	k (L mg <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	DENKLEM
40	7	0.6741	-1.6184	0.9276	$y=2.4002x-0.9168$
25	2	-1.3808	-0.5494	0.8511	$y=-2.0424x+1.3182$
25	3	0.4179	16.7350	0.9906	$y=2.5201x+0.143$
25	4	0.6738	-0.6952	0.9085	$y=3.6192x-2.135$
25	7	-0.6871	-0.1831	0.8250	$y=-9.4047x+7.9476$
25	10	-0.6733	-0.1568	0.9096	$y=-10.96x+9.4748$



Metil kırmızısı çözeltilerinin silikajel üzerinde 40 °C’deki adsorpsiyonuyla ilgili izoterm şekil 4.71’de verilmiştir. Oda sıcaklığında ve çeşitli pH’ larda hesaplanan metil kırmızısı çözeltilerinin silikajelle adsorpsiyonuyla ilgili grafik ise şekil 4.72’de verilmiştir. Bunlarla ilgili parametreler ise çizelge 4.33’ de verilmiştir.



Şekil 4.71. 40 °C sıcaklıkta silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izotermi.

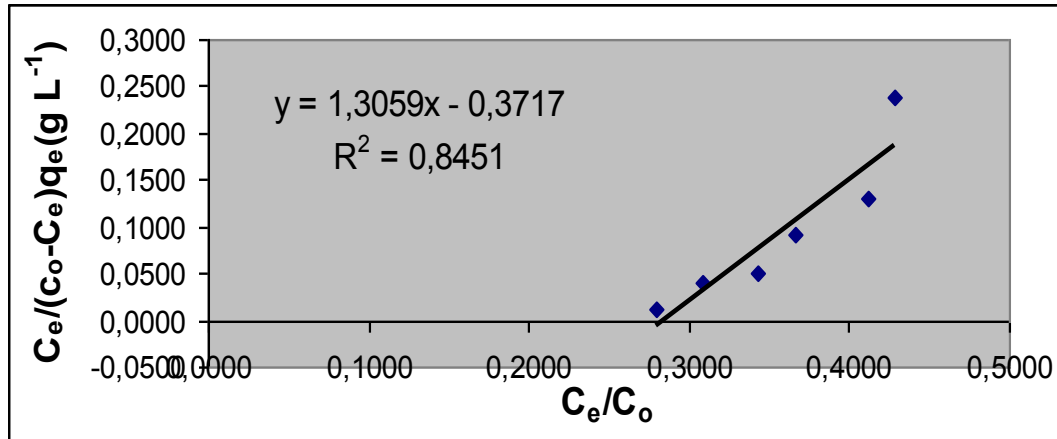


Şekil 4.72. Çeşitli pH’ larda silikajel üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izotermi (25 °C).

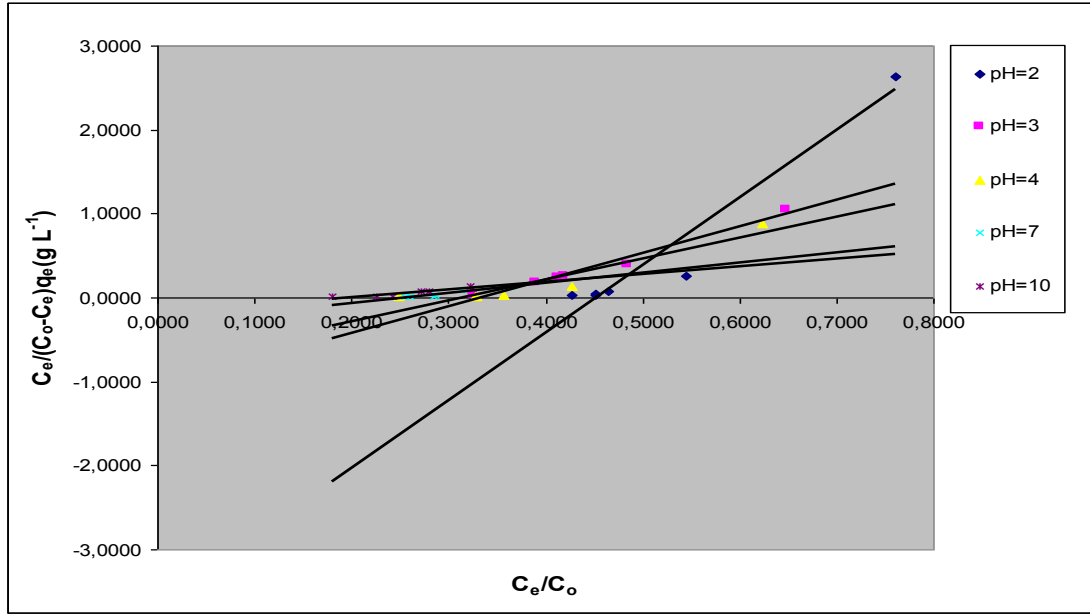
Çizelge 4.33. Çeşitli pH' larda silikajelle üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izotermi parametreleri

T(°C)	pH	$q_m$ (mg g <sup>-1</sup> )	k (L mg <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	DENKLEM
40	7	2.3218	-6.6364	0.9060	$y=0.4956x-0.0649$
25	2	48.3092	0.9798	0.9953	$y=-0.9564x+0.0211$
25	3	7.4683	-2.8837	0.9796	$y=1.8032x-0.4643$
25	4	0.6849	-3.1605	0.9549	$y=1.9188x-0.4612$
25	7	-2.4728	15.1461	0.9491	$y=-0.4311x-0.0267$
25	10	2.7012	-17.4623	0.9332	$y=0.3914x-0.0212$

Metil kırmızısı çözeltilerinin ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde 40 °C'deki adsorpsiyonuyla ilgili izoterm şekil 4.73'de verilmiştir. Oda sıcaklığında ve çeşitli pH' larda hesaplanan metil kırmızısı çözeltilerinin ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde adsorpsiyonuyla ilgili grafik ise şekil 4.74'de verilmiştir. Bunlarla ilgili parametreler ise çizelge 4.34'de verilmiştir.



Şekil 4.73. 40 °C sıcaklıkta ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izotermi.

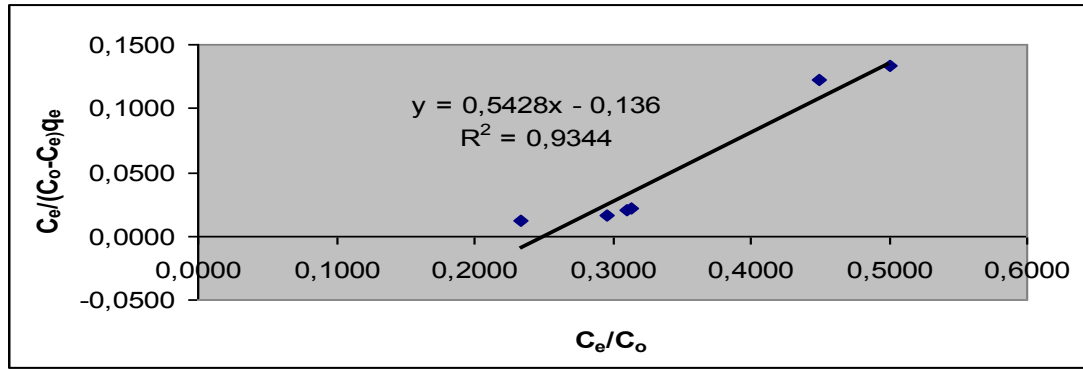


Şekil 4.74. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izotermi (25 °C).

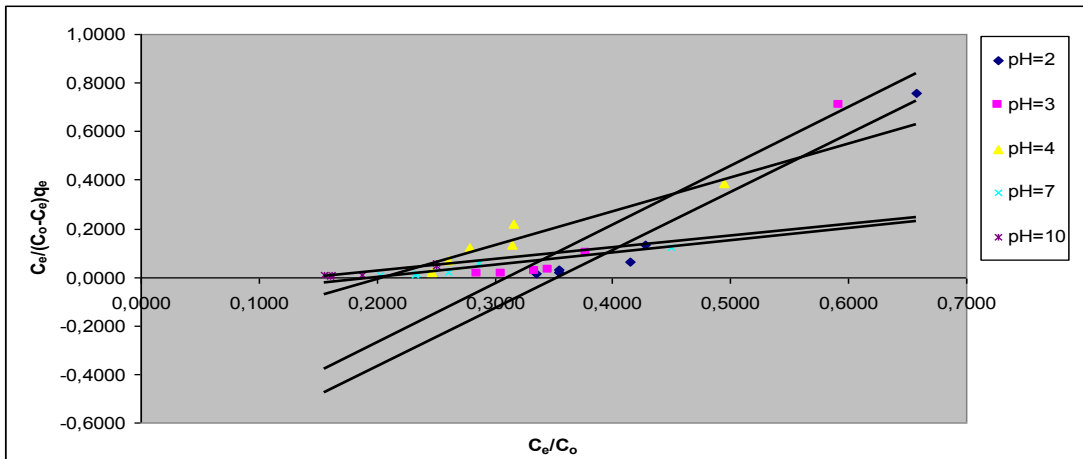
Çizelge 4.34. Çeşitli pH' larda ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izoterm parametreleri

T(°C)	pH	q <sub>m</sub> (mg g <sup>-1</sup> )	k (L mg <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	DENKLEM
40	7	1.0704	-2.5133	0.8451	y=1.3059x-0.3717
25	2	0.1350	-11.5674	0.9427	y=-8.0494x-3.6405
25	3	0.4733	-2.0093	0.9797	y=3.1643x-1.0515
25	4	0.5810	-2.2059	0.8795	y=2.4916x-0.7772
25	7	1.1080	-2.9263	0.9122	y=1.2109x-0.3084
25	10	1.0848	-4.0956	0.8528	y=0.9218x-0.1809

Metil kırmızısı çözeltilerinin  $ZnCl_2$  ile ilgili muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerindeki  $40\text{ }^\circ\text{C}$ 'deki adsorpsiyonuyla ilgili izoterm şekil 4.75'de verilmiştir. Oda sıcaklığında ve çeşitli pH' larda hesaplanan metil kırmızısı çözeltilerinin  $ZnCl_2$  ile ilgili muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerindeki adsorpsiyonuyla ilgili grafik ise şekil 4.76' da verilmiştir. Bunlarla ilgili parametreler ise çizelge 4.35'de verilmiştir.



Şekil 4.75.  $40\text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklıkta  $ZnCl_2$  ile ilgili muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izotermi.



Şekil 4.76. Çeşitli pH' larda  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izotermi (25  $^\circ\text{C}$ ).

Çizelge 4.35. Çeşitli pH' larda ZnCl<sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili Brunauer, Emmett ve Teller (BET) izoterm parametreleri

T(°C)	pH	q <sub>m</sub> (mg g <sup>-1</sup> )	k (L mg <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	DENKLEM
40	7	2.4582	-2.9911	0.9344	y=0.5428x-0.136
25	2	0.6463	-1.8257	0.9650	y=2.3948x-0.8475
25	3	0.5993	-2.2044	0.9576	y=2.4257x-0.757
25	4	0.9061	-3.8564	0.9222	y=1.3899x-0.2862
25	7	2.4919	-3.9733	0.9632	y=0.5023x-0.101
25	10	2.4516	-5.7695	0.9310	y=0.4786x-0.0707

#### 4.10. Termodinamik Parametreler

Silikajel,ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon ve ZnCl<sub>2</sub> ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde alizarin red S ve metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonuyla ilgili  $\Delta G^\circ$ ,  $\Delta S^\circ$  ve  $\Delta H^\circ$  gibi termodinamik parametreler belirlenmiştir. Bu parametrelerden  $\Delta G^\circ$ ,

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_c \quad (4.32)$$

formülünden hesaplanmıştır. Burada kullanılan  $K_c$  değeri  $K_c = \frac{q_e}{c_e}$  eşitliğinden

belirlenmiştir. İncelemenin yapıldığı her sıcaklık için  $\Delta G^\circ$  değerleri bu formülden yararlanarak hesaplanmıştır.

$$\ln K_c = \frac{\Delta S^\circ}{R} - \frac{\Delta H^\circ}{RT} \quad (4.33)$$

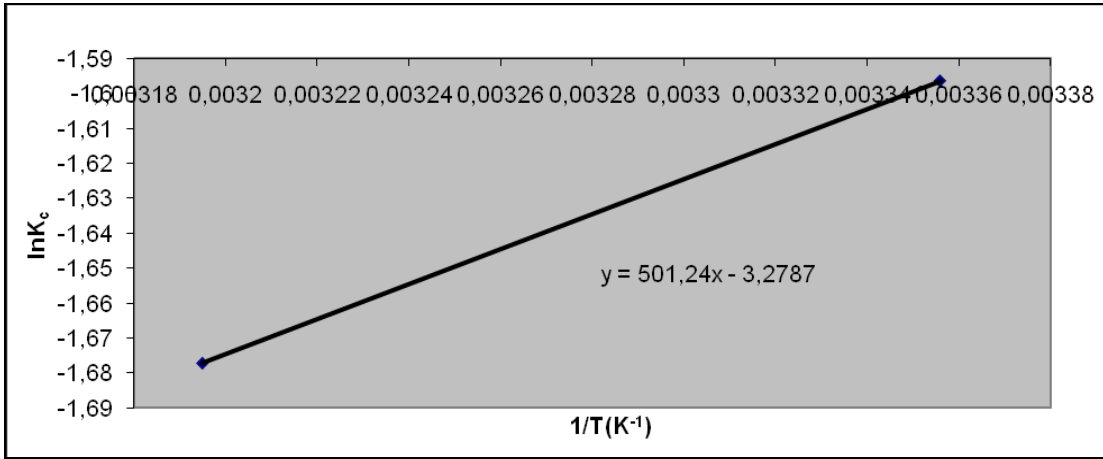
denkleminde yararlanarak  $\ln K_c - \frac{1}{T}$  grafiği çizilip, grafiğin kaymasından  $\Delta S^\circ$  değeri,

eğiminden  $\Delta H^\circ$  değeri hesaplanmıştır.

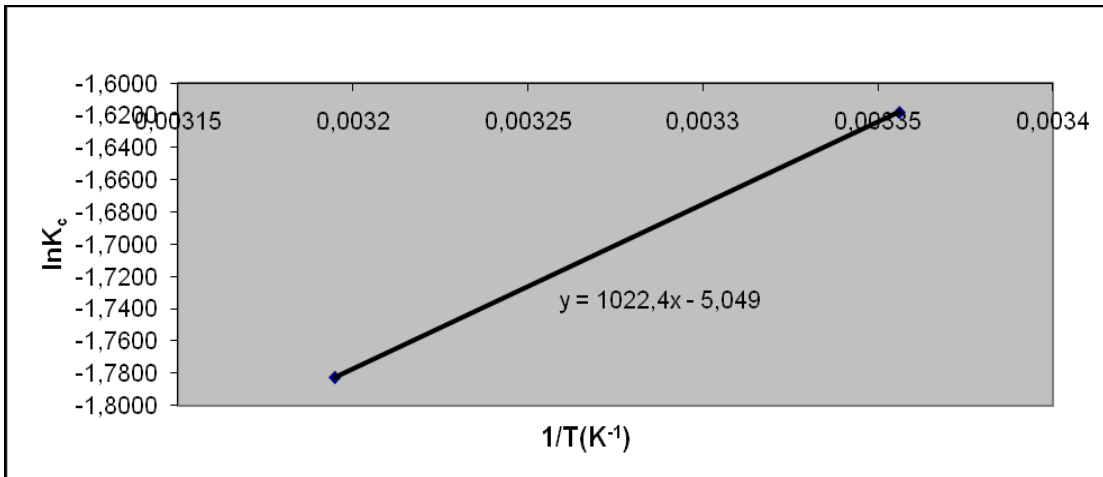
$\Delta H^\circ$ 'ın pozitif değerleri adsorpsiyonun endotermik,  $\Delta G^\circ$ 'nin negatif değerleri adsorpsiyonun kendiliğinden olduğunu göstermektedir. Diğer bir değişle adsorpsiyon

işleminin uygulanabilirliği entalpi ve Gibbs serbest enerjisinin negatif olması ile anlaşılabilir.

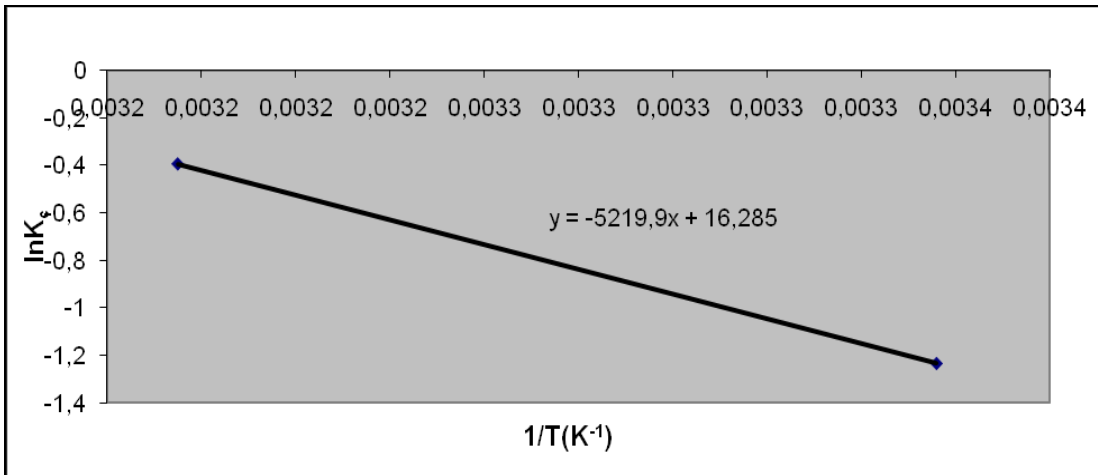
Silikajel ve ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbonlar üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonuyla ilgili termodinamik parametrelerin belirlenmesinde kullanılan  $\ln K_c - 1/T$  grafikleri şekil 4.77, 4.78 ve 4.79’da verilmiştir. Termodinamik parametrelerin sonuçları ise çizelge 4.36’da verilmiştir.



Şekil 4.77. Silikajelle alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonuyla ilgili  $\ln K_c - 1/T$  grafiği.



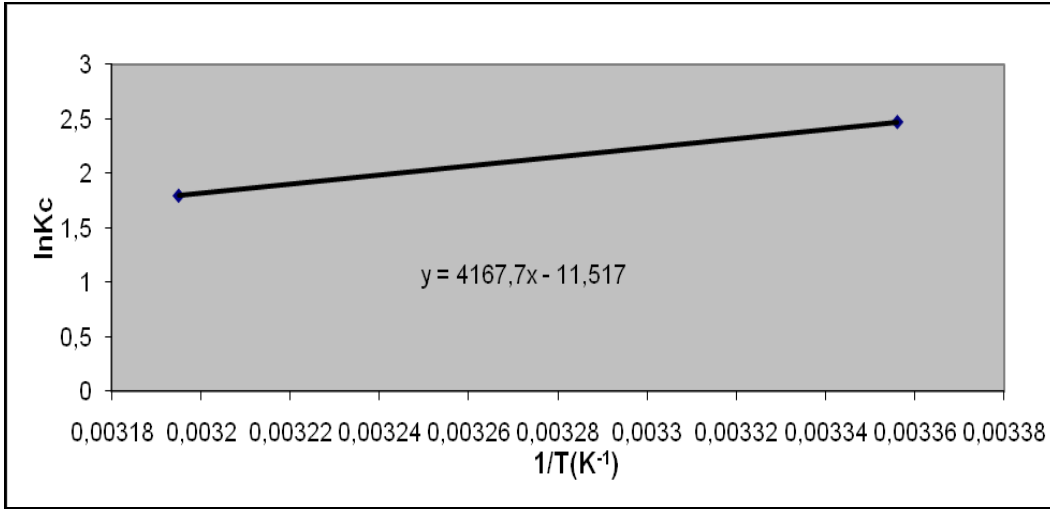
Şekil 4.78. Ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbonla alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonuyla ilgili  $\ln K_c - 1/T$  grafiği.



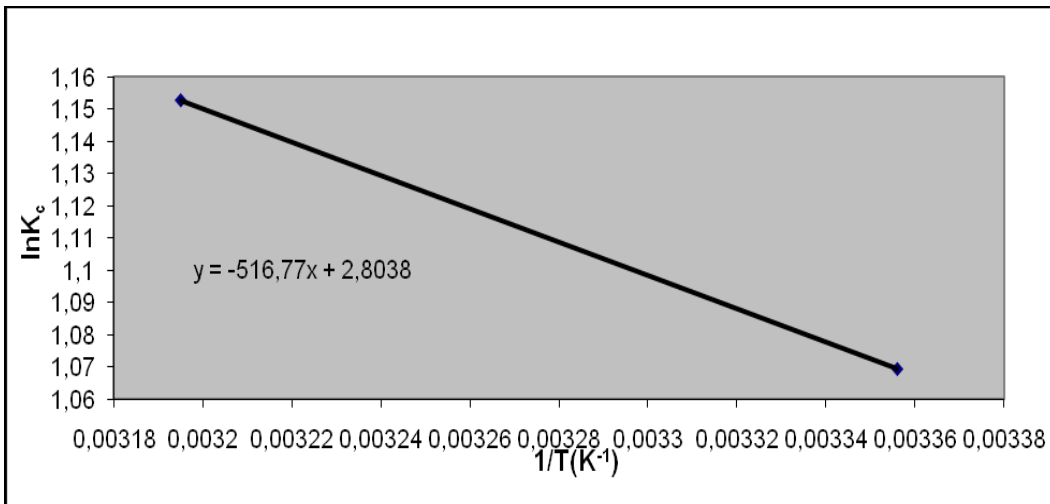
Şekil 4.79.  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonuyla ilgili  $\ln K_c - 1/T$  grafiği.

Çizelge 4.36. Silikajel, ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon ve  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş aktif karbon üzerinde alizarin red S çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili termodinamik parametreler

Adsorban	T(°C)	$\Delta H^\circ$ (kJ mol <sup>-1</sup> )	$\Delta S^\circ$ (J K <sup>-1</sup> mol <sup>-1</sup> )	$\Delta G^\circ$ (kJ mol <sup>-1</sup> )	DENKLEM
Silikajel	25	-4.167	-27.259	3.9554	$y=501.24x-3.2787$
	40			4.3645	
Aktif karbon	25	-8.4999	-41.977	4.0089	$y=1022.36x-5.049$
	40			4.6388	
$ZnCl_2$ 'li aktif karbon	25	43.397	+135.389	3.0558	$y=-5.219x+16.285$
	40			1.0227	

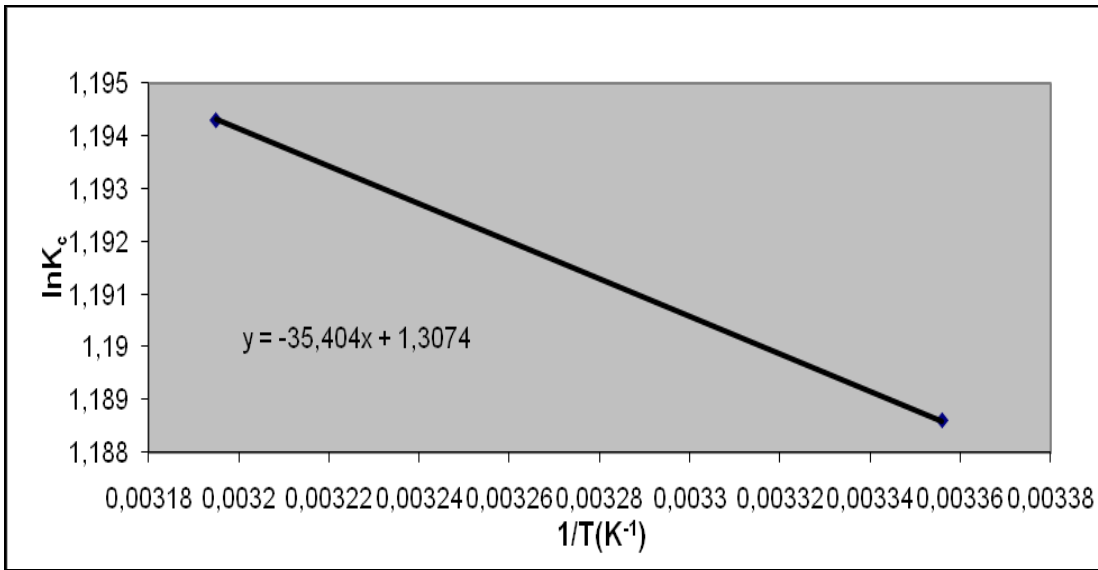


Şekil 4.80. Silikajelle metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonuyla ilgili  $\ln K_c$ - $1/T$  grafiği.



Şekil 4.81. Ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbonla metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonuyla ilgili  $\ln K_c$ - $1/T$  grafiği.





Şekil 4.82.  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş ceviz kabuğundan elde edilen metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonuyla ilgili  $\ln K_c - 1/T$  grafiği.

Çizelge 4.37. Silikajel, ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon ve  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş aktif karbon üzerinde metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu ile ilgili termodinamik parametreler

Adsorban	T(°C)	$\Delta H^\circ$ (KJ mol <sup>-1</sup> )	$\Delta S^\circ$ (J K <sup>-1</sup> mol <sup>-1</sup> )	$\Delta G^\circ$ (kJ mol <sup>-1</sup> )	DENKLEM
Silikajel	25	-34.650	-95.7523	-6.4271	$y=4167.7x-11.517$
	40			-4.4567	
Aktif karbon	25	4.2964	23.3125	-2.6498	$y=-516.77x+2.804$
	40			-2.9997	
$ZnCl_2$ 'li aktif karbon	25	-0.2943	10.8663	-2.9448	$y=-35.404x+1.307$
	40			-3.1079	

## 5.TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu çalışmada ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon, yüzeyi  $ZnCl_2$  ile aktifleştirilen aktif karbon ve silikajel üzerinde alizarin red S ve metil kırmızısı çözeltilerinin adsorpsiyonu incelenmiştir. Kullanılan adsorbanların katyon değişim kapasiteleri meq/100 g adsorban olarak silikajel ve ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon için 1.67, diğer adsorban için ise 2.50 olarak saptanmıştır.

Çizelge 4.1’de verilen Lagergren yalancı birinci dereceden hız denkleminin sabitleri incelendiğinde 20 ppm’lik alizarin red S çözeltisinin adsorbanlardaki adsorpsiyonunda oldukça yüksek  $R^2$  değerleri gözlenmiştir. Hız denklemiyle ilgili verilerde en yüksek  $R^2$  değeri silikajelde (0,9803) en düşük  $R^2$  değeri ise aktif karbonda (0,8715) gözlenmiştir. Adsorban maddenin adsorplama gücünün bir ölçüsü olan  $q_e$  değeri için en büyük değer  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş aktif kömür için (11,2047 mg/g) elde edilmiştir. En büyük  $k_1$  değeri silikajel üzerinde adsorpsiyonda (0,0838  $dk^{-1}$ ) elde edilmiştir.

Çizelge 4.2’ de verilen değerler incelendiğinde metil kırmızısının silikajelde adsorpsiyonuyla ilgili en büyük  $R^2$  değeri silikajelde (0,9081) en küçük  $R^2$  değeri ise (0.7569) ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbonda gözlenmiştir. Aynı çizelgeden en yüksek adsorplama miktarının  $ZnCl_2$ ’li aktif kömürde (6.2628 mg/g) olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.3’deki veriler incelendiğinde en yüksek  $R^2$  değerinin ceviz kabuğundan elde edilen aktif kömürde en büyük (0.9741),  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş aktif kömürde ise en küçük (0.7185) olduğu görülmektedir. Adsorbanın birim miktarında tutulan madde miktarının ölçüsü olan  $q_e$  değerinin en büyük olduğu adsorban ise  $ZnCl_2$  ile aktive edilen aktif kömürdür(3.8506mg  $g^{-1}$  ). Bu denklemle ilgili en büyük hız sabiti ( $K_2$ ) silikajelle yapılan adsorpsiyon için belirlenmiştir(0.0381  $g\ mg^{-1}\ dk^{-1}$ ).

Çizelge 4.4’ deki veriler incelendiğinde  $R^2$  değerlerinin son derece yüksek olduğu gözlenmektedir(1-0.9979 arası). Tablodaki verilerden en yüksek adsorplama kapasitesini silikajelle etkileştirilen 20 ppm’lik metil kırmızısı çözeltisi için elde edildiği görülmektedir(18.4843  $mg\ g^{-1}$ ). Reaksiyonun gerçekleşme hızıyla ilgili bilgi

veren  $K_2$  değerinin en yüksek olduğu ceviz kabuğundan elde edilen adsorban için bulunmuştur.

Bu veriler dikkate alınarak değerlendirildiğinde kullanılan u adsorbanda tutulan 20 ppm'lik alizarin red S ozeltilerinin adsorpsiyonu için Lagergren yalancı birinci derece denkleminin daha uygun sonuçlar verdiği belirlenmiştir. 20 ppm metil kırmızısı ozeltisinin adsorpsiyonuyla ilgili en uygun veriler ise yalancı ikinci derece hız denkleminde saptanmıştır. Bu sonuçlara korelasyon katsayılarına bakılarak ulaşılmıştır.

Çizelge 4.6 incelendiğinde gözlenen yüksek  $R^2$  değerleri (0.8843-0.9951 arası) silikajel üzerinde alizarin red S ozeltilerinin adsorpsiyonun Langmuir izotermine uygun olduğunu göstermiştir. Silikajelin maksimum adsorplama kapasitesini gösteren  $q_{max}$  değerinin en yüksek olduğu şartlar pH 2 ve 25 °C olarak saptanmıştır(21.0970 mg  $g^{-1}$ ). Boyutsuz  $R_L$  katsayısı silikajelle adsorsiyonun 50 ppm başlangıç derişimine göre hesaplanmış ve değerlerin 0.1315-0.5650 arasında değiştiği gözlenmiştir. Verilerin 0-1 arasında olması bu adsorpsiyonun Langmuir izotermine uyduğunun bir göstergesidir.

Çizelge 4.7 incelendiğinde alizarin red S ozeltilerinin ceviz kabuğundan elde edilen aktif karbon üzerinde adsorpsiyonuyla ilgili maksimum adsorpsiyon değeri 40 °C ve pH 7'de ( $q_{max}= 29.1545$  mg  $g^{-1}$ ) elde edilmiştir. Yüksek  $R^2$  değerleri (0.8792-0.9945 arası) ve  $R_L$  değerleri (0.3072-0.7663 arası) adsorpsiyon işleminin Langmuir izotermine uyduğunun bir göstergesidir.

Çizelge 4.8' deki veriler incelendiğinde adsorsiyon için oldukca yüksek  $R^2$  değerleri elde edildiği görülmektedir. 40 °C ve pH 7'de yapılan adsorpsiyon hariç ( $R^2=0.8682$ ) elde edilen değerler 0.9498-0.9908 arasında değişmektedir. Maksimum adsorpsiyonun pH 2'de ve 25 °C'de olduğu  $q_{max}$  değerinden anlaşılmaktadır. İlk sıradaki veri hariç  $R_L$  değerlerinde adsorpsiyonun Langmuir izotermine uygun olduğunu teyit eder mahiyette olduğu gözlenmiştir. 40 °C'deki adsorpsiyon için elde edilen negatif kaymalı denklemden dolayı izoterm sabitleriyle ilgili sağlıklı veriler elde edilememiştir. Dolayısıyla bu kısımla ilgili olayı aydınlatmakta model yetersiz kalmıştır.

Çizelge 4.9 incelendiğinde  $R^2$  değerlerinin 0.7008-0.9754 aralığında değiştiği görülmektedir. Bu değerlere göre verilerin Langmuir izotermine uyduğu söylenebilir. Ancak doğru denklemlerinin kaymalarının negatif olması, bu izotermle ilgili sabitleri

hesaplama imkânını ortadan kaldırmıştır. Dolayısıyla sonuçlar adsorpsiyon prosesinin açıklanmasında modelin yetersiz kaldığını göstermiştir.

Çizelge 4.10 incelendiğinde  $R^2$  değerlerinin 0.7840-0.9691 aralığında değiştiği görülmektedir. Bu değerlere göre verilerin Langmuir izotermine uyduğu söylenebilir. Ancak doğru denklemlerinin kaymalarının pH 10'da saptanan değer hariç negatif olması, bu izotermle ilgili sabitleri hesaplama imkânını ortadan kaldırmıştır. Dolayısıyla metil kırmızısının aktif karbon üzerinde adsorpsiyonuyla ilgili verilerin çoğunun açıklanmasında Langmuir modelinin yetersiz kaldığı görülmüştür.

Çizelge 4.11 incelendiğinde  $R^2$  değerlerinin 0.7834-0.9933 aralığında değiştiği görülmektedir. Bu değerlere göre verilerin Langmuir izotermine uyduğu söylenebilir. Ancak doğru denklemlerinin kaymalarının pH 10'da ve pH 7'de 40 °C saptanan değerleri hariç negatif olması, bu izotermle ilgili sabitleri hesaplama imkânını ortadan kaldırmıştır. Dolayısıyla metil kırmızısının  $ZnCl_2$  ile muamele edilmiş aktif karbon üzerinde adsorpsiyonuyla ilgili verilerin çoğunun açıklanmasında Langmuir modelinin yetersiz kaldığı görülmüştür.

Çizelge 4.12 incelendiğinde  $R^2$  değerlerinin 0.9733-0.9921 aralığında değiştiği görülmektedir. Bu son derece yüksek değerler adsorpsiyon işleminin Freundlich denkleminde uyduğunu göstermektedir. Adsorpsiyon katsayısı veya dağılım katsayısı olarak adlandırılan ve dengedeki adsorpsiyon olayı için tutulan madde miktarının göstergesi olan  $k_f$  ve doğru denkleminin eğiminden bulunan ve adsorpsiyonun şiddetinin veya yüzey heterojenliğinin bir ölçüsü olan  $n$  değerleri incelendiğinde daha aydınlatıcı veriler ortaya konulabilmektedir.  $n$  sabiti değerlerinin 1'den büyük olması silikajelin alizarin red S 'yi etkin bir şekilde adsorpladığının temel bir göstergesidir.  $n$  sabitinin birden büyük olması adsorpsiyonun heterojen bir sistem olduğunu ve tersinir olduğunu gösterir. Verilerden adsorpsiyonun tek tabalı olmadığı sonucu da çıkarılabilir.

Çizelge 4.13 incelendiğinde  $R^2$  değerlerinin 0.9495-0.9816 aralığında değiştiği görülmektedir. Heterojen yüzeyler üzerinde adsorpsiyonu da temel alan ve tek tabakalı adsorpsiyonla sınırlandırılmayan Freundlich denkleminde yüzey heterojenliği ve adsorbanın alizarin red S'ye ilgisi hakkında fikir veren  $n$  değerlerinin hepsinin 1'den büyük olması adsorpsiyonun heterojen olduğunu ve adsorbenti adsorbana ilgisi olduğunu gösterir.

Çizelge 4.14 incelendiğinde  $R^2$  değerlerinin 0.8362-0.9857 aralığında değiştiği görülmektedir. Adsorbenti adsorbe olan maddeye ilgisinin bir ölçütü olan  $n$  değerleri 40 °C’de saptanan değer hariç (0.6972) 1’den büyüktür(1.1644-1.6926 arası). Bu veriler  $ZnCl_2$  ile aktive edilen adsorbente alizarin red S’nin ilgisi olduğunu gösterir. Adsorbentin adsorplama kapasitesi hakkında bilgi veren  $k_f$  değerlerinin en büyük olduğu şartlar pH 3 ve 25 °C olarak saptanmıştır.

Çizelge 4.15 incelendiğinde  $R^2$  değerlerinin 0.8412-0.9873 aralığında değiştiği görülmektedir. Bu veriler olayın Freundlich izotermine uygun olduğunu göstergesidir. Metil kırmızısı çözeltilerinin silikajel üzerinde adsorpsiyonuyla ilgili olarak saptanan  $n$  değerlerini hepsinin 0-1 arasında değiştiği görülmektedir. Bu veriler adsobanın metil kırmızısına adsorbe etmede ilgisinin az olduğuna dair gösterge oluşturmaktadır.  $k_f$  sabiti için en büyük değer 25 °C ve pH 7’de  $7.6255 \text{ dm}^3/\text{g}$  olarak saptanmıştır.

Çizelge 4.16 incelendiğinde  $R^2$  değerlerinin 0.8291-0.9602 aralığında değiştiği görülmektedir. Yüksek  $R^2$  değerleri adsorpsiyon prosesinin Freundlich izotermine uyduğunun bir göstergesidir. 25 °C ve pH 10 değerinde saptanan  $n=1.0884$  değeri hariç diğer  $n$  değerleri 0-1 arasında değişmektedir. Adsorpsiyon olayında dağılım katsayısı olarak adlandırılan ve denge derişimini  $1 \text{ g dm}^{-3}$  olduğu anda adsorbe olan boya miktarını gösteren  $k_f$  değerleri adsorpsiyon kapasitesinin de bir ölçüsüdür. Maksimu  $k_f$  değeri 25 °C ve pH 10’da elde edilmiştir( $3.4038 \text{ dm}^3 \text{ g}^{-1}$ ).

Çizelge 4.17 incelendiğinde  $R^2$  değerlerinin 0.8826-0.9745 aralığında değiştiği görülmektedir. Yüksek  $R^2$  değerleri adsorpsiyon prosesinin Freundlich izotermine uyduğunun bir göstergesidir. 25 °C ve pH 10 değerinde saptanan  $n=1.0486$  ve 40 °C ve pH 7’de saptanan  $n=1.2514$  değerleri hariç diğer  $n$  değerleri 0-1 arasındadır. Bu durum metil kırmızısı çözeltilisinin adsorbana ilgisinin fazla olmadığını göstergesidir. Ayrıca tek tabakaya uygun bir Adsorpsiyon olduğu ve yüzeyde heterojenliğin fazla olmadığı anlamını içermektedir. Adsorbentin Adsorpsiyon kapasitesinin bir ölçüsü olan  $k_f$  değerinin maksimumu 25 °C ve pH 10’da elde edilmiş olan  $4.4884 \text{ dm}^3 \text{ g}^{-1}$  değeridir.

Çizelge 4.18 incelendiğinde  $R^2$  değerlerinin 0.9600-0.9827 aralığıda değiştiği görülmektedir. Son derece yüksek olan bu değerler olayın DKR izotermine uyduğunun bir göstergesidir. Teorik doyma kapasitesi olarak da isimlendirilen ve adsorbentin adsorplama kapasitesini gösteren  $q_m$  değeri için en yüksek değer 25 °C ve pH 2’de

saptanan veri olup, değeri  $0.0732 \text{ mmol g}^{-1}$  dir. Adsorbatın molu başına adsorbe olan maddenin ortalama serbest enerjisiyle ilgili bir sabit olan  $\beta$  değerleri  $1.74 \times 10^{-8} - 1.90 \times 10^{-8} \text{ mmol}^2 \text{ kJ}^{-2}$  aralığında değişmektedir.  $\beta$  sabitinden yararlanarak bulunan E ile simgelenen ortalama serbest enerji değerleri  $5.129 - 5.360 \text{ kJ mol}^{-1}$  aralığında değişmektedir. Bu değerlerin 8'den küçük çıkması olayın fiziksel bir adsorpsiyon olduğunu ve van der Waals bağlarının adsorpsiyonda etkin olduğunu göstergesidir.

Çizelge 4.19 incelendiğinde  $R^2$  değerlerinin  $0.9212 - 0.9619$  aralığında değiştiği görülmektedir. Son derece yüksek olan bu değerler olayın DKR izotermine uyduğunun bir göstergesidir. Teorik doyma kapasitesi olarak da isimlendirilen ve adsorbentin adsorplama kapasitesini gösteren  $q_m$  değeri için en yüksek değer  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  ve pH 2'de saptanan veri olup, değeri  $0.0595 \text{ mmol g}^{-1}$  dir. Adsorbatın molu başına adsorbe olan maddenin ortalama serbest enerjisiyle ilgili bir sabit olan  $\beta$  değerleri  $1.78 \times 10^{-8} - 2.19 \times 10^{-8} \text{ mmol}^2 \text{ kJ}^{-2}$  aralığında değişmektedir.  $\beta$  sabitinden yararlanarak bulunan E ile simgelenen ortalama serbest enerji değerleri  $4.778 - 5.299 \text{ kJ mol}^{-1}$  aralığında değişmektedir. Bu değerlerin 8'den küçük çıkması olayın fiziksel bir adsorpsiyon olduğunu ve van der Waals bağlarının adsorpsiyonda etkin olduğunu göstergesidir.

Çizelge 4.20 incelendiğinde  $R^2$  değerlerinin  $0.8732 - 0.9844$  aralığında değiştiği görülmektedir. Son derece yüksek olan bu değerler olayın DKR izotermine uyduğunun bir göstergesidir. Teorik doyma kapasitesi olarak da isimlendirilen ve adsorbentin adsorplama kapasitesini gösteren  $q_m$  değeri için en yüksek değer  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  ve pH 7'de saptanan veri olup, değeri  $0.0898 \text{ mmol g}^{-1}$  dir. Adsorbatın molu başına adsorbe olan maddenin ortalama serbest enerjisiyle ilgili bir sabit olan  $\beta$  değerleri  $1.49 \times 10^{-8} - 2.71 \times 10^{-8} \text{ mmol}^2 \text{ kJ}^{-2}$  aralığında değişmektedir.  $\beta$  sabitinden yararlanarak bulunan E ile simgelenen ortalama serbest enerji değerleri  $4.295 - 5.792 \text{ kJ mol}^{-1}$  aralığında değişmektedir. Bu değerlerin 8'den küçük çıkması olayın fiziksel bir adsorpsiyon olduğunu ve van der Waals bağlarının adsorpsiyonda etkin olduğunu göstergesidir.

Metil kırmızısının sulu çözeltilerinin silikajel üzerinde adsorpsiyonuyla ilgili verilerin bulunduğu çizelge 4.21 incelendiğinde  $R^2$  değerlerinin  $0.8657 - 0.9939$  aralığında değiştiği görülmektedir. Son derece yüksek olan bu değerler olayın DKR izotermine uyduğunun bir göstergesidir. Teorik doyma kapasitesi olarak da isimlendirilen ve adsorbentin adsorplama kapasitesini gösteren  $q_m$  değeri için en yüksek

değer 25 °C ve pH 10'da saptanan veri olup, değeri 10.0412 mmol g<sup>-1</sup>'dir. Adsorbatın molu başına adsorbe olan maddenin ortalama serbest enerjisiyle ilgili bir sabit olan  $\beta$  değerleri 1.69x10<sup>-8</sup>-3.36x10<sup>-8</sup> mmol<sup>2</sup> kJ<sup>-2</sup> aralığında değişmektedir.  $\beta$  sabitinden yararlanarak bulunan E ile simgelenen ortalama serbest enerji değerleri 3.857-5.439 kJ mol<sup>-1</sup> aralığında değişmektedir. Bu değerlerin 8'den küçük çıkması olayın fiziksel bir adsorpsiyon olduğunu ve van der Waals bağlarının adsorpsiyonda etkin olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.22 incelendiğinde R<sup>2</sup> değerlerinin 0.8553-0.9648 aralığında değiştiği görülmektedir. Son derece yüksek olan bu değerler olayın DKR izotermine uyduğunun bir göstergesidir. Teorik doyma kapasitesi olarak da isimlendirilen ve adsorbentin adsorplama kapasitesini gösteren q<sub>m</sub> değeri için en yüksek değer 25 °C ve pH 4'de saptanan veri olup, değeri 0.6948 mmol g<sup>-1</sup>'dir. Adsorbatın molu başına adsorbe olan maddenin ortalama serbest enerjisiyle ilgili bir sabit olan  $\beta$  değerleri 1.76x10<sup>-8</sup>-4.08x10<sup>-8</sup> mmol<sup>2</sup> kJ<sup>-2</sup> aralığında değişmektedir.  $\beta$  sabitinden yararlanarak bulunan E ile simgelenen ortalama serbest enerji değerleri 4.500-5.330 kJ mol<sup>-1</sup> aralığında değişmektedir. Bu değerlerin 8'den küçük çıkması olayın fiziksel bir adsorpsiyon olduğunu ve van der Waals bağlarının adsorpsiyonda etkin olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.23 incelendiğinde R<sup>2</sup> değerlerinin 0.9008-0.9848 aralığında değiştiği görülmektedir. Son derece yüksek olan bu değerler olayın DKR izotermine uyduğunun bir göstergesidir. Teorik doyma kapasitesi olarak da isimlendirilen ve adsorbentin adsorplama kapasitesini gösteren q<sub>m</sub> değeri için en yüksek değer 25 °C ve pH 2'de saptanan veri olup, değeri 0.7891 mmol g<sup>-1</sup>'dir. Adsorbatın molu başına adsorbe olan maddenin ortalama serbest enerjisiyle ilgili bir sabit olan  $\beta$  değerleri 1.78x10<sup>-8</sup>-3.78x10<sup>-8</sup> mmol<sup>2</sup> kJ<sup>-2</sup> aralığında değişmektedir.  $\beta$  sabitinden yararlanarak bulunan E ile simgelenen ortalama serbest enerji değerleri 3.636-5.299 kJ mol<sup>-1</sup> aralığında değişmektedir. Bu değerlerin 8'den küçük çıkması olayın fiziksel bir adsorpsiyon olduğunu ve van der Waals bağlarının adsorpsiyonda etkin olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.24 incelendiğinde R<sup>2</sup> değerlerinin 0.8839-0.9139 aralığında değiştiği görülmektedir. Korelasyon katsayısı için saptanan bu değerler adsorpsiyonun Temkin izotermine uyduğunun göstergesidir. Bu izotermde adsorpsiyon dengesine bağlı bir sabit olan A değerleri 0.2764-0.4198 aralığındadır. Maksimum A değeri pH 2 ve 25

$^{\circ}\text{C}$ 'de elde edilmiştir. Bu şartlar adsorbanın maksimum performans gösterdiği değerlerdir. Adsorpsiyon ısıyla ilgili değer olan ve  $RT/b$  değerine eşit olan B sabitinin 2.5033-5.2854 aralığında değiştiği görülmektedir. Adsorpsiyon ısısının maksimum olduğu değer de yine  $25^{\circ}\text{C}$  ve pH 2'de olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.25 incelendiğinde  $R^2$  değerlerinin 0.7899-0.8979 aralığında değiştiği görülmektedir. Korelasyon katsayısı için saptanan bu değerler, silikajel üzerinde bu maddenin adsorpsiyonunda elde edilen değerlerden küçük olsa da adsorpsiyonun Temkin izotermine uyduğunun belirtmemiz için yeterlidir. Bu izotermde adsorpsiyon dengesine bağlı bir sabit olan A değerleri 0.2286-0.3823 aralığındadır. Maksimum A değeri pH 2 ve  $25^{\circ}\text{C}$ 'de elde edilmiştir. Bu şartlar adsorbanın maksimum performans gösterdiği değerlerdir. Adsorpsiyon ısıyla ilgili değer olan ve  $RT/b$  değerine eşit olan B sabitinin 2.4674-4.7749 aralığında değiştiği görülmektedir. Adsorpsiyon ısısının maksimum olduğu değer de yine  $25^{\circ}\text{C}$  ve pH 2'de olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.26 incelendiğinde  $R^2$  değerlerinin 0.8139-0.9252 aralığında değiştiği görülmektedir. Korelasyon katsayısı için saptanan bu değerler adsorpsiyonun Temkin izotermine uyduğunun göstergesidir. Bu izotermde adsorpsiyon dengesine bağlı bir sabit olan A değerleri 0.2851-0.5443 aralığındadır. Maksimum A değeri pH 3 ve  $25^{\circ}\text{C}$ 'de elde edilmiştir. Bu şartlar adsorbanın maksimum performans gösterdiği değerlerdir. Adsorpsiyon ısıyla ilgili değer olan ve  $RT/b$  değerine eşit olan B sabitinin 3.6082-14.6590 aralığında değiştiği görülmektedir. Adsorpsiyon ısısının maksimum olduğu değer de yine  $40^{\circ}\text{C}$  ve pH 7'de olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.27 incelendiğinde  $R^2$  değerlerinin 0.8536-0.9652 aralığında değiştiği görülmektedir. Korelasyon katsayısı için saptanan bu değerler adsorpsiyonun Temkin izotermine uyduğunun göstergesidir. Bu izotermde adsorpsiyon dengesine bağlı bir sabit olan A değerleri 0.3798-1.1911 aralığındadır. Maksimum A değeri pH 10 ve  $25^{\circ}\text{C}$ 'de elde edilmiştir. Bu şartlar adsorbanın maksimum performans gösterdiği değerlerdir. Adsorpsiyon ısıyla ilgili değer olan ve  $RT/b$  değerine eşit olan B sabitinin 17.2800-40.2160 aralığında değiştiği görülmektedir. Adsorpsiyon ısısının maksimum olduğu değer de yine  $25^{\circ}\text{C}$  ve pH 10'da olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.28 incelendiğinde  $R^2$  değerlerinin 0.8495-0.9682 aralığında değiştiği görülmektedir. Korelasyon katsayısı için saptanan bu değerler adsorpsiyonun Temkin



izotermine uyduğunun göstergesidir. Bu izotermde adsorpsiyon dengesine bağı bir sabit olan A değerleri 0.2556-0.8858 aralığındadır. Maksimum A değeri pH 10 ve 25 °C'de elde edilmiştir. Bu şartlar adsorbanın maksimum performans gösterdiği değerlerdir. Adsorpsiyon ısısıyla ilgili değer olan ve  $RT/b$  değerine eşit olan B sabitinin 13.046-17.346 aralığında değiştiği gürmektedir. Adsorpsiyon ısısının maksimum olduğu değerin de yine 25 °C ve pH 4'de olduğu gürmektedir.

Çizelge 4.29 incelendiğinde  $R^2$  değerlerinin 0.8657-0.9836 aralığında değiştiği gürmektedir. Korelasyon katsayısı için saptanan bu değerler adsorpsiyonun Temkin izotermine uyduğunun göstergesidir. Bu izotermde adsorpsiyon dengesine bağı bir sabit olan A değerleri 0.2432-1.0969 aralığındadır. Maksimum A değeri pH 10 ve 25 °C'de elde edilmiştir. Bu şartlar adsorbanın maksimum performans gösterdiği değerlerdir. Adsorpsiyon ısısıyla ilgili değer olan ve  $RT/b$  değerine eşit olan B sabitinin 13.6100-18.1000 aralığında değiştiği gürmektedir. Adsorpsiyon ısısının maksimum olduğu değerin de yine 25 °C ve pH 4'de olduğu gürmektedir.

Çizelge 4.30 incelendiğinde  $R^2$  değerlerinin 0.7589-0.9585 aralığında değiştiği gürmektedir. Korelasyon katsayısı için saptanan bu değerler adsorpsiyonun BET izotermine uyduğunun göstergesi olarak kabul edilebilir. Bu izotermde tek tabaka halinde adsorbe olan madde miktarını gösteren  $q_m$  ve yüzeydeki adsorpsiyon enerjisiyle ilgili olan k sabiti değerleri negatif ve pozitif değerler almakta olduğu gürmektedir. Elde edilen negatif sabitler adsorpsiyon işlemini açıklamak için BET denkleminin yetersiz olduğunun gösterir.

Çizelge 4.31 incelendiğinde  $R^2$  değerlerinin 0.8535-0.9697 aralığında değiştiği gürmektedir. Korelasyon katsayısı için saptanan bu değerler adsorpsiyonun BET izotermine uyduğunun göstergesi olarak kabul edilebilir. Bu izotermde tek tabaka halinde adsorbe olan madde miktarını gösteren  $q_m$  değeri için maksimum veri pH 2 ve 25 °C'de elde edilmiştir. Yüzeydeki adsorpsiyon enerjisiyle ilgili olan k sabiti değerlerinin maksimum olduğu şartlar ise 25 °C ve pH 7 olduğu gürmektedir. BET denkleminin sabitleri için saptanan negatif değerler adsorpsiyon işlemini açıklamak için izotermin yetersiz kaldığı noktaları göstermektedir.

Çizelge 4.32 incelendiğinde  $R^2$  değerlerinin 0.8250-0.9906 aralığında değiştiği gürmektedir. Korelasyon katsayısı için saptanan bu değerler adsorpsiyonun BET

izotermine uyduğunun göstergesi olarak kabul edilebilir. Bu izotermde tek tabaka halinde adsorbe olan madde miktarını gösteren  $q_m$  değeri için maksimum veri pH 4 ve 25 °C'de elde edilmiştir. Yüzeydeki adsorpsiyon enerjisiyle ilgili olan k sabiti değerlerinin maksimum olduğu şartlar ise 25 °C ve pH 3 olduğu görülmektedir. BET denkleminin sabitleri için saptanan negatif değerler adsorpsiyon işlemini açıklamak için izotermin yetersiz kaldığı noktaları göstermektedir.

Çizelge 4.33 incelendiğinde  $R^2$  değerlerinin 0.9060-0.9796 aralığında değiştiği görülmektedir. Korelasyon katsayısı için saptanan bu değerler adsorpsiyonun BET izotermine uyduğunun göstergesi olarak kabul edilebilir. Bu izotermde tek tabaka halinde adsorbe olan madde miktarını gösteren  $q_m$  değeri için maksimum veri pH 2 ve 25 °C'de elde edilmiştir. Yüzeydeki adsorpsiyon enerjisiyle ilgili olan k sabiti değerlerinin maksimum olduğu şartlar ise 25 °C ve pH 7 olduğu görülmektedir. BET denkleminin sabitleri için saptanan negatif değerler adsorpsiyon işlemini açıklamak için izotermin yetersiz kaldığı noktaları göstermektedir.

Çizelge 4.34 incelendiğinde  $R^2$  değerlerinin 0.8451-0.9797 aralığında değiştiği görülmektedir. Korelasyon katsayısı için saptanan bu değerler adsorpsiyonun BET izotermine uyduğunun göstergesi olarak kabul edilebilir. Bu izotermde tek tabaka halinde adsorbe olan madde miktarını gösteren  $q_m$  değeri için maksimum veri pH 7 ve 25 °C'de elde edilmiştir. Yüzeydeki adsorpsiyon enerjisiyle ilgili olan k sabiti değerlerinin hepsinin negatif olduğu görülmektedir. BET denkleminin sabitleri için saptanan negatif değerler adsorpsiyon işlemini açıklamak için izotermin yetersiz kaldığı noktaları göstermektedir.

Çizelge 4.35 incelendiğinde  $R^2$  değerlerinin 0.9310-0.9650 aralığında değiştiği görülmektedir. Korelasyon katsayısı için saptanan bu değerler adsorpsiyonun BET izotermine uyduğunun göstergesi olarak kabul edilebilir. Bu izotermde tek tabaka halinde adsorbe olan madde miktarını gösteren  $q_m$  değeri için maksimum veri pH 7 ve 25 °C'de elde edilmiştir. Yüzeydeki adsorpsiyon enerjisiyle ilgili olan k sabiti değerlerinin hepsinin negatif olduğu görülmektedir. BET denkleminin sabitleri için saptanan negatif değerler adsorpsiyon işlemini açıklamak için izotermin yetersiz kaldığı noktaları göstermektedir.

Çizelge 4.36 incelendiğinde serbest entalpi değerlerinin pozitif olduğu gözlenmektedir. Bu adsorpsiyon işleminin anlık (spontane) bir işlem olmadığını sistemin enerji kazanarak yürüyebileceğini(endotermik) gösterir. Sıcaklık artışıyla enerji ihtiyacı  $ZnCl_2$ 'li aktif karbon hariç artmaktadır. Adsorpsiyon entalpisi için belirlenen negatif değerler adsorpsiyonun zayıf çekim kuvvetleriyle yürüyen fiziksel bir adsorpsiyon olduğunu gösterir. Entropi değişimi için saptanan negatif değerler adsorpsiyonun serbestlik derecesinde azalış olduğunu gösterir.

Çizelge 4.37 incelendiğinde serbest entalpi değerlerinin pozitif olduğu gözlenmektedir. Bu adsorpsiyon işleminin anlık (spontane) bir işlem olduğunu, sistemin dışarıya enerji vererek yürüdüğünü(ekzotermik) gösterir. Sıcaklık artışıyla verilen enerji miktarı  $ZnCl_2$ 'li aktif karbon hariç artmaktadır. Adsorpsiyon entalpisi için belirlenen negatif değerler adsorpsiyonun zayıf çekim kuvvetleriyle yürüyen fiziksel bir adsorpsiyon olduğunu gösterir. Entalpi değişim değerlerinin küçük olması adsorban ile adsorplana madde arasındaki bağların zayıf olduğunu gösterir. Entropi değişimi için saptanan negatif değerler adsorpsiyonun serbestlik derecesinde azalış olduğunu gösterir.

## KAYNAKÇA

- Adam, N.K., 1941. *The Physics and Chemistry of Surface*. 3rd Edition, Oxford.246-254.
- Aksu,Z., Çalık, A., Dursun, A.,Y., Demircan, Z., 1999. Biosorption of iron (III)-cyanide complex anions to *Rhizopus arrhizus*. *Application of Adsorption Isotherms, Proses Biochem.34*: 483-491.
- Al-Degs, Y., Khraisheh, M.A.M., Allen, S.J., Ahmad, M.N., 2000. Effect of Carbon Surface Chemistry on the Removal of Reactive Dyes From Textile Effluent. *Water Research*, **34** (3):927-935.
- Alkan, M., Demirbaş, Ö., Çelikçapa, S., Doğan, M., 2004.“ Sorption of asid red 57 from aqueous solution onto sepiolite. “ *J. Hazard. Mat., B 116*: 135-145
- Altun, T., Pehlivan, E., 2007.“Removal of copper (II) ions from aqueous solutions by walnut- Hazalnut and almond-shells. *Clean* . **35**(6) : 601-606.
- Al-Qudah, Z., 2000. Adsorption of Dyes Using Shale Oil Ash. *Water Research*, **34** (3): 4295-4303.
- Arbeloa, F.L., Arbeloa, T.L., Arbeloa, I.L., 1997. Spectroscopy of Rhodamine 6G Adsorbed on Sepiolite Aqueous Suspensions. *J. Colloid Interface Sci*, **187**:1:105-112.
- Blum, D.J.W., Suffet, I.H., Duguet, J.P. 1993. Estimating The Activated Carbon Adsorption of Organic Chemicals In Water. *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, **23**:121-136.
- Brunauer, S., Emmett, P.H., Teller, E., 1938. Polieters and their complexes with amine salts. *J. Am. Chem. Soc.*, **60**:309.
- Bozdoğan, İ.,1990. *Bazı Bentonit Türü Killerin Teknolojik Karakteristiklerinin Belirlenmesi* . (Doktora tezi). Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü , Ankara.
- Cestari, A.R., Vicira, E.F.S., Vicira, G.S., Almolda, L.E., 2006. “ The removal of anionic dyes from aqueou solutions in the presence of anionic surfactant using aminopropyl silica. A kinetic study.” *J. Hazard. Mater.* **138** :133-141.

- Chern, J.M., Huang, S.N., 1998. Study of Nonlinear Wave Propagation Theory.1. Dye Adsorption By Activated Carbon. *Industrial Chemical Reasch*, **37**:253-257.
- Chiou, MS., Ho. PY., Li. HY., 2004.“ Adsorption of anionic dyes in acid solutions using chemically cross- Linlad chitosan beads “ *Dyes pigments* **60**: 69-84
- Crini, G.,2006.“ Non –conventional low-cost adsorbents for dye removal: *Areview. Bioresource Tech.* **97** : 1061-1085.
- Correia, V.M., Stephenson, T., Judd, S.J., 1994. Characterization of Textile Wastewaters-a review, *Environmental Technology*, **15** :917-929.
- Derylo-Marczewska, A., 1993“ Analysis of the adsorption equilibrium for the system dilute aqueous solution of dissociating organic substance activated carbon “ *Langmuir.* **9** : 2344-2350.
- Eggers, D.F., Gregory, N.W., Halsey, G.D., Robinovitch, B.S., 1964. *Physical Chemistry*. John Wiley and Sons Inc. New York, London.157-163.
- El-Geundi, M.S., 1991. Color Removal From Textile Effluents By Adsorption Techniques. *Water Research*, **25**:3:271-273.
- Epstein, M., Yariv, S., 2003“Visible spectroscopy study of adsorption of alizarinate by Al- montmorillonite in aqueous suspensions and in solid state “ *J. Coll. Int. Sci.* **263** :377-385.
- Faria, P.C.L., Orfao, J.J.M., Pereira, M.F.R., 2004.“ Adsorption of anionic and cationic dye on activated carbons with different *surface chemistries.*” *Water Research* **38** :2043 -2052.
- Ferrero, F., “ Dye removal low cost adsorbents: Hazelnut shells in comparison with wood sawdust. *J. Hazardous Mat.*, **142**: 144-152 (2007).
- Girifits P.J.F., Thomas, J.D.R., 1978. *Calculation in Advanced Physical Chemistry*. Sec. Edition , Edward Arnold Ltd. London. 119-127.
- Granguist, W.T., Amero, R.C., 1948. Low Temperature Nitrogen Adsorption Studies on Attapulgate. *J.Am. Chem. Soc.*,**70**: 3265-3270.
- Grim, R.E., 1962. *Applied Clay Mineralogy*. Mc Graw- Hill, New York. 31-117.
- Grim, R.E., 1968. *Clay Mineralogy.*, 2nd ed. McGraw-Hill, New York.

- Guezguez, I., Dridi-Dhaouadi, B., Mhenni, F., 2009. " Sorption of yellow 59 on posidonia oceanica, a non –conventional biosorbent : comparison with activated carbon" *Ind. Crops.products* **29** : 197-204.
- Hameed, B.H., Mahmoud, D.K., Ahmad, A.L., 2008. " Equilibrium modeling and kinetic studies on the adsorption of basic dye by low-cost adsorbent: coconut (cocos nucifera) bunch waste." *J.Hazard. Mat.*, **158**: 65-72
- Hameed, B.H., Aziz A.A A.N., 2007. " Isotherms , kinetics and thermodynamics of acid dye adsorption on activated palm ash" *Chem. Engineering J.* **133** : 195-203.
- Ho, Y.S., McKay, G., 1999. Pseudo-second order model for sorption processes. *ProcessBiochem.*, **34**: 451-465.
- Ici Watercare, 1991. *Color In The Textile Effluent Environmental Brief No.1* Introduction To The Environmental Brief, ICI Colors Textile Dyes Technology Group.
- Işık, M., Sponza, D., 2001. Tekstil Atıksularının Oluşumu, Karakterizasyonu, Arıtım Yöntemleri. *IV. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi*, 5-8 Ekim, Bodrum.
- Iqbal, M.J., Ashid, M.N., 2007. "Adsorption of dyes from aqueous solution on activated charcoal." *J. Hazard. Mat. B* **139** :57-66.
- Jaikumar, V., Ramamurth, V., 2009. " Effect of biosorption parametres kinetics isotherm and thermodynamic for for acid green dye biosorption from aqueous solution by brewery waste. " *Int. J. Chem.* **1** . (1) : 1-12.
- Juang, R.S.,WU, F.C., Tseng, R.L., 1997. "The ability of activated clay fort the adsorption of dyes from aqueous solutions. " *Environ.Tech.* **18**:525-531.
- Juang, R.S., Tseng, R.L., Wu, F.C., Lee, S.H., 1997. " Adsorption behavior of reactive dyes from aqueous solutions on chitosan." *J. Chem. Tech. Biotechnol* **70**:391-399
- Juang, R.S., Tseng, R.L., WU, F.C., Lee, S.H., 1997. Adsorption behaviour of Reactive Dyes From Aqueous Solutions on Chitosan. *J. Chem. Tech. Biotechnol.*,**70**:391-399.
- Kadirvelu, K., Kavipriya, M., Karthika, C., Radhika, M., Vennilamani. N., Pattabhi, S., 2003. Utilization of various agricultural wastes for activated carbon preparation

- and application for the removal of dyes and metal ions from aqueous solutions “*Bioresource Tech.* **87**: 129-132.
- Kambarova, G.B., Sarymsakov, S.H., 2008. “Preparation of activated charcoal from walnut shells. “*Solid Fuel Chem.* **42** : 183-186.
- Kim, J.W., Sohn, M.H., Kim, D.S., Sohn, S.M., Kwon, Y.S., 2001. “Production of granular activated carbon from waste walnut shell and its adsorption characteristics for Cu<sup>+2</sup> ion. “*J.Hazardous Materials B*.**85**:301-315
- Krupa, N.E., Cannon, F.S.,1996. “GAC: Pore structure versus dye adsorption.” *J Am. Water Works Assoc.* **88**:94-108.
- Krysztafkiewicz, A., Binkowski, S., Jesionowski, T., 2002. “Adsorption of dyes on silica surface. “*Applies surface Sci.***199**: 31-39.
- Levine, I.N., 1995. *Physical Chemistry*. 4th ed., International Editions, McGraw-Hill, Inc.,pp.363-368.
- Loughnan, F.C., 1969. *Chemical Weathering of the Silicate Minerals*. Elsewhere, New York. 39- 53.
- Longchambon, H., 1937. Sur Certaines Carateristifue de la Sepiolite d’ Ampadrava et la de
- Loughnan, F.C., 1969. *Chemical Weathering of the Silicate Minerals*. Elsewhere, New York. 39- 53.
- Fomule des Sepiolites. *Bull. Franc.Mineral*, **60**: 232-276.
- Low, K.S., Lee, C.K., Heng, L.L., 1993. Sorption of Basic Dyes By Hydrilla verticillata, *Environmental Technology*, **14**:115-124.
- Malik, P.K., 2004. “Dye removal from waste water using activated carbon developed from low dust : adsorption equilibrium and kinetics. *J.Hazard. Materials B* **113**:81-88.
- Mas Haris, M.R.H., Sathasivam, K., 2009. “The femoval of methyl red from aqucouse, solutions using banana pseudo stem fibers.” *Am. J. APPL. Sci.* **6**(9): 1690–1700.
- Mckay, G., 1981. Design Models For Adsorption System In Wastewater Treatment. *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, **31**: 717-772.
- Mckay, G., 1982. Adsorption of Dyestuffs From Aqueous Solutions With

- Activated Carbon I : Equilibrium and Batch Contact-Time Studies. *J. Chem.Tech. Biotechnol.*, **32**: 759-731.
- Meshko, V., Markovska, L., Mincheva, M., Rodrigues, A.E., 2001. Adsorption of Basic Dyes On Granular Activated Carbon and Natural Zeolite. *Water Research*, **35** (14): 3357-3366.
- Meshko, V., Markovska, L., Mincheva, M., Rodrigues, A.E., 2001. " Adsorption of basic dyes on granular activated carbon and natural zeolite" *Wat. Res* **35**(14):3357-3366.
- Mohan, D., Singh, K.P., Singh, G., Kumar, K., 2002. "Removal of dyes from waste water using flyash, a low cost Adsorbent." *Ind. Eng. Chem. Res.* **41**:3688-3695.
- Namasivayam, C., Sangeetha, D., 2006. " Recycline of agricultural solid waste, coir pith : Removal anions , heavy metals , organic and dyes from water by adsorption onto ZnCl<sub>2</sub> activated coir pith carbon " *J.Hazard materials. B.* **135** : 449-452.
- Namasivayam, C., Kavitha, D., 2002. " Removal of congo red from water by adsorption onto activated carbon prepared from coir pith , an agricultural solid waste " *Dyes pigments* **54**:47-58.
- Nassar, M.M., El-Geundi, M.S., 1991. Comparative Cost of Colour Removal From Textile Effluents Using Natural Adsorbents. *J. Chem. Tech.Biotechnol.*, **50**:257-264.
- Nassar, M.M., Hamoda, M.F., Radwan, G.H., 1995. Adsorption Equilibria of Basic Dyestuff Onto Palm-Fruit Bunch Particles. *Water Science Technology*, **32**: 27-32.
- Nassar, M.M., 1999. Intraparticle Diffusion of Basic Red and Basic Yellow Dyes On Palm Fruit Bunch. *Water Science Technology*, **40**:133-139.
- Navasivayam, C., Muniasamy, N., Gayathri, K., Rani, M., Ranganathan, K., 1996. Removal of Dyes From Aqueous Solutions by Cellulosic Waste Orange Peel. *Bioresource Techonology*, **57**:37-43.
- Ng, J.C.Y., Cheung, W.H., McKay, G., 2003. Equilibrium studies for the sorption of lead from effluents using chitosan. *Chemosphere*, **52**: 1021-1030.
- Noll, K.E., Gounaris, V., Hou, W., 1992. Adsorption Techonology For Air and Water Pollution Control. *Lewis Publishers Inc, Michigan*, 347s.



- Nowicki, P., Pietrzak, R., Wachowska, H., 2001. " Sorption properties of active carbons obtained from walnut shell by chemical and physical activation . " *catalysis Today* **150**:107–14.
- Ofomaja, A.E., 2007." Kinetics and mechanism of methylene blue sorption onto palm kernel fibre *Proc. Biochem.* **42**:16-24.
- Özacar, M., Şengil, İ.A., 2005. " Adsorption of metal complex dyes from aqueous solutions by pine sawdust ." *Biosource Tech.* **96**: 791-795.
- Özacar, M., Şengil, İ.A., 2002."Adsorption of acid dyes from aqueous solutions by calcined alunite and granular activated carbon " *Adsorption* **8**:301-308.
- Özer, A.,1994. *Atıksulardaki Ağır Metal İyonlarının Rhizopus arrhizus ve Schizomeris leibleinii kütle adsorpsiyonununun farklı reaktör tiplerinde incelenmesi*, Doktora Tezi, F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, 269s.
- Özer, A., 2004. Mersin Üniversitesi Fen- Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, *Adsorpsiyon Kinetikleri Ders Notları*.
- Pirillo, S., Ferreira, M.L., Rueda, E.H., 2009. " The effect of pH in the adsorption of alizarin and eriochrome blue black R onto iron oxides " *J.Hazard. Mat.* **168** :168 -178
- Robinson, T., Chandran, B., Nigam, P., 2002."Removal of dyes from an artificial textile dye effluent by two agricultural waste residues , corncob and barley husk " *Environment. Inter.* **28** : 29-33.
- Rytwo, G., Nir, S., Chepsin, M., Margulies, L., 2000. Adsorption and Interactions of Methyl Gren With Montmorillonite and Sepiolite. *J Colloid and Interface Sci*, **222**: 12-19.
- Sarıkaya, Y., Aybar, S., 1978. *Communicationus*. Fac. Sci. Uni., Ankara.33-39.
- Langmuir, I.J. *American Chemistry Society*. 38-2267 (1961).
- Sung, G., X.U, X., 1997. Sunflower Stalks As Adsorbents For Color Removal FromTextile Wastewater. *Ind. Eng. Chem. Res.*, **36**:808-812.F
- Tsai, W.T., Chang, C.Y., Ing, C.H., Chang, C.H., 2004. " Adsorption of of acid dyes from aqueous solution on activated bleaching earth. " *J. Call. Int.Sci* **275**:72-78.

- Tsai, W.T., Chang, C.Y., Lin, Mc., Chien, Sf., Sun, H.F., Hsieh, M.F., 2001. “ Adsorption of acid dye onto activated carbons prepared from agricultural waste bagasse by ZnCl<sub>2</sub> activation *Chemosphere* **45**:51-58.
- Van Roosmalen, A.J., Mol, J.C., 1979. “An Infrared study of the silica gel surface. 2. Hydration and dehydration. *J. Physical Chemistry* **83**(19):2485-2488 (1979).
- Walker, G.M., Hansen, L., Hanna, J.A., Allen, S.J., 2003. “ Kinetics of a reactive dye adsorption onto dolomitic sorbents. “ *Water Resource* **37** . 2081-2089.
- Wang, C.C., Juang, L.C., Tsu, T.C., Lee, C.K., Huang, F.C., 2004. “ Adsorption of basic dyes onto montmorillonite” *J. Colloid Interface Sci.* **273**: 80-86.
- Wartelle, L.H., Marshall, W.E., 2001. “ Nutshell as granular activated carbons: Physical, chemical and adsorptive properties.” *J Chem. Tech. Biotech.* **76**: 451-455.
- Weber, J.R.1972. *Physicochemical Processes For Water Quality Control*. Wiley-Interscience, USA.
- Wu, F.C., Tseng, R.C., Juang, R.S., 2001. “ Adsorption of dyes and phenols from water on the activated carbons prepared from corncob wastes.” *Environ. Tech.***22**:205-213.
- Wu, Z., Ahn, I.K., Lee, C.H., Kim, J.H., Shul, Y.G., Lee, K., 2004. “Enhancing the organic dye adsorption on porous xerogels.” *Coll suff. A.***240**: 157-164.
- Wu, Z., Joo, H., Ahn, I.S., Haam, S., Kim, J.H., Lee, K., 2004. “Organic dye adsorption on mesoporous hybrid gels” *Chem. Eng. J.* **102**:277-282.
- Yau, Z.Y., Qi, J.H., Wang, L.H., 2010. “Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies on the biosorption of Cu (II) onto chesnut shell “ *J. Hazard. Mat.* **174**:137-143.
- Yoo, E.S., Libra, J., Adrian, L., 2001. Mechanism of Decolorization of Azo Dyes In Anaerobic Mixed Culture. *J. Environ. Engrg* **127**(9): 844-849.

## **ÖZ GEÇMİŞ**

1972 Şanlıurfa-Siverek doğumlu, ilköğretim ve orta öğretimi Siverek'te tamamladı. 1994 yılında Dicle Üniversitesi Eğitim Fakültesi Kimya bölümünü kazandı ve 1998 yılında adı geçen fakülteden mezun oldu. 1999 yılında Bitlis-Hizan-Ekinli Köyüne sınıf öğretmeni olarak atandı.. 2007-2008 eğitim öğretim yılının bahar döneminde Fen Bilimleri Enstitüsünde yüksek lisans öğrencisi olarak kaydoldu. Hala Muş-Merkez Taşoluk Yatılı İlköğretim Bölge Okulunda görev yapmaktadır.