



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**FARKLI BOYAR MADDELERİN ÖZEL HAZIRLANMIŞ  
ADSORBANLAR ÜZERİNDE ADSORPSİYON  
KİNETİĞİNİN VE TERMODİNAMİĞİNİN İNCELENMESİ**

**Yük. Kim. Selcan KARAKUŞ**

**Kimya Bölümü**

**Fiziksel Kimya Anabilim Dalı**

**Danışman**

**Prof. Dr. Ayşe Z. AROĞUZ**

**Nisan, 2011**

**İSTANBUL**



**İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DOKTORA TEZİ**

**FARKLI BOYAR MADDELERİN ÖZEL HAZIRLANMIŞ  
ADSORBANLAR ÜZERİNDE ADSORPSİYON  
KİNETİĞİNİN VE TERMODİNAMİĞİNİN İNCELENMESİ**

**Yük. Kim. Selcan KARAKUŞ**

**Kimya Bölümü**

**Fiziksel Kimya Anabilim Dalı**

**Danışman**

**Prof. Dr. Ayşe Z. AROĞUZ**

**Nisan, 2011**

**İSTANBUL**

Bu çalışma 13/5/ 2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından .....kimya.....  
Anabilim Dalı FİZİKSEL...KİMYA programında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Prof. Dr. Ayşe Zehra AROĞUZ  
2. Ağu

Danışman Adı (Danışman)  
İstanbul Üniversitesi  
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. F. Serpil GÖKSEL  
Gökse

Jüri Adı  
Üniversite : İSTANBUL  
Fakülte : MÜHENDİSLİK

Prof. Dr. Gözen BEREKET  
Gözen

Jüri Adı  
Üniversite : OSMANGAZİ UNIV.  
Fakülte

Prof. Dr. Ayben KARSLIOĞLU  
Ayben

Jüri Adı  
Üniversite : İSTANBUL  
Fakülte : MÜHENDİSLİK

Prof. Dr. Sermin GENELTEKİN

Sermin

Jüri Adı  
Üniversite : KÜLTÜR UNIV.  
Fakülte

Bu alışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin 4377 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

## **ÖNSÖZ**

Lisans ve yüksek lisans öğrenimim sırasında ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocam Prof. Dr. Ayşe Zehra AROĞUZ'a en içten dileklerimle teşekkür ederim.

Bu çalışma boyunca desteklerini esirgemeyen ailem, eşim Erbil KARAKUŞ ve ağabeyim Elvan KARAKUŞ'a, çalışma arkadaşım dostum Yasemin KİŞMİR'e ve Anıl ASMAZ'a, çalışmamın uygulama kısmını destekleyen İstanbul Üniversitesi'ne teşekkürü borç bilirim.

**Nisan, 2011**

**Selcan KARAKUŞ**

<b>ÖNSÖZ</b>	<b>i</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b>	<b>vi</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b>	<b>xvii</b>
<b>SEMBOL LİSTESİ</b>	<b>xix</b>
<b>ÖZET</b>	<b>xxi</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>xxii</b>
<b>1. GİRİŞ</b>	<b>1</b>
<b>2. GENEL KISIMLAR</b>	<b>3</b>
<b>2.1. ADSORPSİYON</b>	<b>3</b>
<b>2.1.1. Adsorpsiyon Tanımı</b>	<b>3</b>
<b>2.1.2. Adsorpsiyona Etki Eden Faktörler</b>	<b>6</b>
2.1.2.1. Adsorbentin Yüzey Alanı	6
2.1.2.2. Adsorbentin Tanecik Boyutu	6
2.1.2.3. Adsorbentin Çözünürlüğü	7
2.1.2.4. Adsorbentin Molekül Büyüklüğü	7
2.1.2.5. Karıştırma Hızı	7
2.1.2.6. Çözelti pH'ı	8
2.1.2.6. Sıcaklık	8
<b>2.1.3. Adsorpsiyon Termodinamiği</b>	<b>8</b>
<b>2.1.4. Adsorpsiyon Kinetiği</b>	<b>9</b>
2.1.4.1. Yalancı Birinci Derece Kinetik Model	10
2.1.4.2. Yalancı İkinci Derece Kinetik Model	11
2.1.4.3. Partikül İçi Diffüzyon	11
<b>2.1.5. Adsorpsiyon İzotermi (Eş Sıcaklık Eğrisi)</b>	<b>12</b>
2.1.5.1. Langmuir Modeli	14
2.1.5.2. Freundlich Modeli	14
2.1.5.3. Temkin Modeli	14
2.1.5.4. Redlich – Peterson Modeli	18
2.1.5.5. Brunauer-Emmett-Teller (BET) İzotermi	19
2.1.5.6. Çok Bileşenli Langmuir İzotermi	20
<b>2.2. BOYAR MADDE</b>	<b>20</b>
<b>2.2.1. Çözünürlüğe göre boyar maddeler</b>	<b>21</b>
2.2.1.1. Suda çözünen boyar maddeler	21
2.2.1.2. Suda çözünmeyen boyar maddeler	22

<b>2.2.2.Boyama özelliklerine göre boyarmaddeler .....</b>	<b>22</b>
2.2.2.1.Bazik boyar maddeler .....	23
2.2.2.2.Asit boyar maddeler .....	23
2.2.2.3.Direkt boyar maddeler .....	23
2.2.2.4.Mordan boyar maddeler .....	23
2.2.2.5.Küpe boyar maddeler .....	24
2.2.2.6.İnkişaf boyar maddeler.....	24
2.2.2.7.Metal-Kompleks boyar maddeler.....	24
2.2.2.8.Dispers boyar maddeler .....	24
2.2.2.9.Pigment boyar maddeler .....	25
2.2.2.10.Reaktif boyar maddeler.....	25
<b>2.2.3.Kimyasal yapılarına göre boyar maddeler .....</b>	<b>25</b>
2.2.3.1.Azo boyar maddeleri.....	25
2.2.3.2.Nitro ve Nitrozo boyar maddeleri .....	26
2.2.3.3.Arilmetin boyar maddeleri .....	26
2.2.3.4. Karbonil boyar maddeleri .....	26
2.2.3.5.Kükürt boyar maddeleri .....	26
<b>2.3. ALG .....</b>	<b>27</b>
<b>2.3.1.Alglerin Tarihte Kullanımı.....</b>	<b>28</b>
<b>2.3.2.Alglerin Kullanım Alanları .....</b>	<b>29</b>
2.3.2.1.Gübre .....	29
2.3.2.2.Gıda ve İlaç.....	29
2.3.2.3.Hayvan Yemi .....	29
2.3.2.4.Atık Suların Arıtılmasında .....	30
2.3.2.5. Alkol Endüstrisinde .....	30
2.3.2.6.Kozmetik Endüstrisinde.....	30
2.3.2.7.Kağıt Endüstrisinde.....	30
2.3.2.8.Boya Endüstrisinde .....	30
2.3.2.9.Tekstil Endüstrisinde .....	31
<b>2.3.3.Alglerin Sınıflandırılması .....</b>	<b>31</b>
2.3.3.1.Mavi-yeşil algler .....	33
2.3.3.2.Kırmızı algler .....	33
2.3.3.3.Kahverengi algler.....	33
2.3.3.4.Yeşil algler.....	38
<b>2.4. BENTONİT .....</b>	<b>39</b>
<b>2.4.1. Kil Mineralleri ve Yapıları.....</b>	<b>39</b>
<b>2.4.2. Montmorillonit Minerali.....</b>	<b>42</b>
<b>2.4.3. Bentonit .....</b>	<b>42</b>

2.4.3.1. Bentonitin Özellikleri.....	43
2.4.3.2. Organobentonit .....	44
<b>3. MALZEME VE YÖNTEM.....</b>	<b>47</b>
<b>3.1.MALZEME .....</b>	<b>47</b>
<b>3.1.1. Boyar Maddeler.....</b>	<b>47</b>
<b>3.1.2.Kullanılan Saf Adsorbentler .....</b>	<b>48</b>
<b>3.1.3. Çalışmada Kullanılan Kimyasallar .....</b>	<b>50</b>
<b>3.1.4. Çalışmada Kullanılan Deney Ekipmanları .....</b>	<b>51</b>
<b>3.2.KULLANILAN SAF ADSORBENTLERİN MODİFİKASYONU .....</b>	<b>53</b>
<b>3.2.1.Kilin Modifikasyonu .....</b>	<b>53</b>
<b>3.2.2.Alglerin Modifikasyonu .....</b>	<b>53</b>
<b>3.3.KULLANILAN ADSORBENTLERİN HAZIRLANMASI.....</b>	<b>54</b>
<b>3.3.1. Alg / Kil Karışımının Elde Edilmesi .....</b>	<b>54</b>
<b>3.4.KULLANILAN BOYAR MADDE ÇÖZELTİLERİNİN HAZIRLANIŞI.....</b>	<b>55</b>
<b>4. BULGULAR .....</b>	<b>58</b>
<b>4.1.KULLANILAN SAF ADSORBENTLERİN ŞİŞME ÖZELLİĞİ .....</b>	<b>58</b>
<b>4.1.1.Kahverengi Algin Şişme Özelliği .....</b>	<b>58</b>
<b>4.1.2.Yeşil Algin Şişme Özelliği .....</b>	<b>59</b>
<b>4.2. KONGO KIRMIZISININ ADSORPSİYONU.....</b>	<b>62</b>
<b>4.2.1. Farklı Adsorbentler Üzerinde Kongo Kırmızısının Derişim Etkisi.....</b>	<b>61</b>
4.2.1.1. Yeşil Alg Üzerinde Kongo Kırmızısının Derişim Etkisi: .....	61
4.2.1.2. Kahverengi Alg Üzerinde Kongo Kırmızısının Derişim Etkisi: .....	61
4.2.1.3. Saf Bentonit Üzerinde Kongo Kırmızısının Derişim Etkisi: .....	62
4.2.1.4. Modifiye Bentonit Üzerinde Kongo Kırmızısının Derişim Etkisi: .....	63
4.2.1.5. KA/MB Üzerinde Kongo Kırmızısının Derişim Etkisi: .....	63
<b>4.2.2. Farklı Adsorbentler Üzerinde Kongo Kırmızısının Adsorpsiyon Kinetiği .....</b>	<b>64</b>
4.2.2.1. Yeşil Alg Üzerinde Kongo Kırmızısının Yalancı 1. Derece Adsorpsiyon Kinetiği: .....	64
4.2.2.2.Kahverengi Alg Üzerinde Kongo Kırmızısının Yalancı 1. Derece Adsorpsiyon.....	65
Kinetiği:	
4.2.2.3. Saf Bentonit Üzerinde Kongo Kırmızısının Yalancı 1. Derece.....	66
Adsorpsiyon Kinetiği:	
4.2.2.4.Modifiye Bentonit Üzerinde Kongo Kırmızısının Yalancı 1. Derece.....	66
Adsorpsiyon Kinetiği:	
4.2.2.5.KA/MB Üzerinde Kongo Kırmızısının Yalancı 1. Derece Adsorpsiyon Kinetiği: .....	67



**4.2.3. Farklı Adsorbentler Üzerinde Kongo Kırmızısının.....69**

**Adsorpsiyon İzotermi**

- 4.2.3.1. Yeşil Alg Üzerinde Kongo Kırmızısının Adsorpsiyon İzotermi: ..... 69  
4.2.3.2. Kahverengi Alg Üzerinde Kongo Kırmızısının Adsorpsiyon İzotermi: ..... 71  
4.2.3.3. Saf Bentonit Üzerinde Kongo Kırmızısının Adsorpsiyon İzotermi: ..... 72  
4.2.3.4. Modifiye Bentonit Üzerinde Kongo Kırmızısının Adsorpsiyon İzotermi: ..... 73  
4.2.3.5. KA/MB Üzerinde Kongo Kırmızısının Adsorpsiyon İzotermi: ..... 75

**4.2.4. Farklı Adsorbentler Üzerinde Kongo Kırmızısının.....78**

**Adsorpsiyon Termodinamiği**

- 4.2.4.1. Yeşil Alg Üzerinde Kongo Kırmızısının Adsorpsiyon Termodinamiği: ..... 78  
4.2.4.2. Kahverengi Alg Üzerinde Kongo Kırmızısının Adsorpsiyon Termodinamiği: ..... 80  
4.2.4.3. Saf Bentonit Üzerinde Kongo Kırmızısının Adsorpsiyon Termodinamiği: ..... 81  
4.2.4.4. Modifiye Bentonit Üzerinde Kongo Kırmızısının Adsorpsiyon Termodinamiği: ..... 83  
4.2.4.5. KA/MB Üzerinde Kongo Kırmızısının Adsorpsiyon Termodinamiği: ..... 84

**4.3. METİL MAVİSİNİN ADSORPSİYONU .....88**

**4.3.1. Farklı Adsorbentler Üzerinde Metil Mavisinin Derişim Etkisi.....88**

- 4.3.1.1. Yeşil Alg Üzerinde Metil Mavisinin Derişim Etkisi: ..... 88  
4.3.1.2. Kahverengi Alg Üzerinde Metil Mavisinin Derişim Etkisi: ..... 88  
4.3.1.3. Saf Bentonit Üzerinde Metil Mavisinin Derişim Etkisi: ..... 89  
4.3.1.4. Modifiye Bentonit Üzerinde Metil Mavisinin Derişim Etkisi: ..... 90  
4.3.1.5. KA/MB Üzerinde Metil Mavisinin Derişim Etkisi: ..... 90

**4.3.2. Farklı Adsorbentler Üzerinde Metil Mavisinin Adsorpsiyon Kinetiği.....91**

- 4.3.2.1. Yeşil Alg Üzerinde Metil Mavisinin Yalancı 1. Derece Adsorpsiyon Kinetiği: ..... 92  
4.3.2.2. Kahverengi Alg Üzerinde Metil Mavisinin Yalancı 2. Derece.....92  
Adsorpsiyon Kinetiği:  
4.3.2.3. Saf Bentonit Üzerinde Metil Mavisinin Yalancı 2. Derece Adsorpsiyon Kinetiği: ..... 93  
4.3.2.4. Modifiye Bentonit Üzerinde Metil Mavisinin Yalancı 1. Derece.....93  
Adsorpsiyon Kinetiği:  
4.3.2.5. KA/MB Üzerinde Metil Mavisinin Yalancı 2. Derece Adsorpsiyon Kinetiği: ..... 94

**4.3.3. Farklı Adsorbentler Üzerinde Metil Mavisinin Adsorpsiyon İzotermi.....97**

- 4.3.3.1. Yeşil Alg Üzerinde Metil Mavisinin Adsorpsiyon İzotermi: ..... 97  
4.3.3.2. Kahverengi Alg Üzerinde Metil Mavisinin Adsorpsiyon İzotermi: ..... 98  
4.3.3.3. Saf Bentonit Üzerinde Metil Mavisinin Adsorpsiyon İzotermi: ..... 100  
4.3.3.4. Modifiye Bentonit Üzerinde Metil Mavisinin Adsorpsiyon İzotermi: ..... 101  
4.3.3.5. KA/MB Üzerinde Metil Mavisinin Adsorpsiyon İzotermi: ..... 103

**4.3.4. Farklı Adsorbentler Üzerinde Metil Mavisinin.....106**

**Adsorpsiyon Termodinamiği**

- 4.3.4.1. Yeşil Alg Üzerinde Metil Mavisinin Adsorpsiyon Termodinamiği: ..... 106

4.3.4.2. Kahverengi Alg Üzerinde Metil Mavisinin Adsorpsiyon Termodinamiği: .....	108
4.3.4.3. Saf Bentonit Üzerinde Metil Mavisinin Adsorpsiyon Termodinamiği: .....	109
4.3.4.4. Modifiye Bentonit Üzerinde Metil Mavisinin Adsorpsiyon Termodinamiği: .....	111
4.3.4.5.KA/MB Üzerinde Metil Mavisinin Adsorpsiyon Termodinamiği: .....	112
<b>4.4. METİL VIOLENTİN ADSORPSİYONU.....</b>	<b>116</b>
<b>4.4.1. Farklı Adsorbentler Üzerinde Metil Violentın Derişim Etkisi.....</b>	<b>115</b>
4.4.1.1. Yeşil Alg Üzerinde Metil Violentın Derişim Etkisi: .....	115
4.4.1.2. Kahverengi Alg Üzerinde Metil Violentın Derişim Etkisi: .....	116
4.4.1.3. Saf Bentonit Üzerinde Metil Violentın Derişim Etkisi: .....	117
4.4.1.4. Modifiye Bentonit Üzerinde Metil Violentın Derişim Etkisi: .....	117
4.4.1.5. KA/MB Üzerinde Metil Violentın Derişim Etkisi: .....	118
<b>4.4.2. Farklı Adsorbentler Üzerinde Metil Violentın Adsorpsiyon Kinetiği.....</b>	<b>118</b>
4.4.2.1. Yeşil Alg Üzerinde Metil Violentın I. Derece Adsorpsiyon Kinetiği: .....	119
4.4.2.2. Kahverengi Alg Üzerinde Metil Violentın I. Derece Adsorpsiyon Kinetiği: .....	119
4.4.2.3.Saf Bentonit Üzerinde Metil Violentın I. Derece Adsorpsiyon Kinetiği: .....	120
4.4.2.4.Modifiye Bentonit Üzerinde Metil Violentın I. Derece Adsorpsiyon Kinetiği: .....	120
4.4.2.5.KA/MB Üzerinde Metil Violentın I. Derece Adsorpsiyon Kinetiği: .....	121
<b>4.4.3. Farklı Adsorbentler Üzerinde Metil Violentın Adsorpsiyon İzotermi .....</b>	<b>123</b>
4.4.3.1. Yeşil Alg Üzerinde Metil Violentın Adsorpsiyon İzotermi: .....	123
4.4.3.2. Kahverengi Alg Üzerinde Metil Violentın Adsorpsiyon İzotermi: .....	124
4.4.3.3. Saf Bentonit Üzerinde Metil Violentın Adsorpsiyon İzotermi: .....	126
4.4.3.4.Modifiye Bentonit Üzerinde Metil Violentın Adsorpsiyon İzotermi: .....	127
4.4.3.5.KA/MB Üzerinde Metil Violentın Adsorpsiyon İzotermi: .....	129
<b>4.4.4. Farklı Adsorbentler Üzerinde Metil Violentın.....</b>	<b>132</b>
<b>Adsorpsiyon Termodinamiği</b>	
4.4.4.1. Yeşil Alg Üzerinde Metil Violentın Adsorpsiyon Termodinamiği: .....	132
4.4.4.2. Kahverengi Alg Üzerinde Metil Violentın Adsorpsiyon Termodinamiği: .....	133
4.4.4.3. Saf Bentonit Üzerinde Metil Violentın Adsorpsiyon Termodinamiği: .....	135
4.4.4.4. Modifiye Bentonit Üzerinde Metil Violentın Adsorpsiyon Termodinamiği: .....	136
4.4.4.5.KA/MB Üzerinde Metil Violentın Adsorpsiyon Termodinamiği: .....	138
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....</b>	<b>155</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>167</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>177</b>

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1: Adsorplanan ve adsorplayan katı .....	3
Şekil 2.2: Adsorpsiyon mekanizması .....	3
Şekil 2.3: Başlıca adsorpsiyon eş –sıcaklık eğrileri.....	13
Şekil 2.4: Langmuir izoterm modeli .....	14
Şekil 2.5: Langmuir izoterm grafiği .....	15
Şekil 2.6: Freundlich izoterm grafiği.....	17
Şekil 2.7: Temkin izoterm grafiği.....	18
Şekil 2.8: Brunauer-Emmett-Teller (BET) izoterm modeli.....	19
Şekil 2.9: Alglerin yapılarındaki pigmentine göre sınıflandırılması .....	32
Şekil 2.10: Bazı kahverengi alg türleri .....	35
Şekil 2.11: 1,4-D-mannuronik asit ve 1,4-L-guluronik asit doğrusal polimerleri .....	36
Şekil 2.12: Alginat blokları.....	37
Şekil 2.13: Bazı yeşil alg türleri .....	38
Şekil 2.14: Kil boyutları ve yüzey alanları .....	39
Şekil 2.15: a) Tetrahedral birim, b) Silikat tabakası.....	40
Şekil 2.16: a) Oktahedral birim, b) Alümina tabakası .....	40
Şekil 2.17: Montmorillonit minerali .....	42
Şekil 2.18: Montmorillonitin yapısı.....	45
Şekil 2.19: Alkil amonyum tuzları ile sentezlenmiş organobentonitin yapısı, .....	45
a) kil yüzeyi b) Alkil amonyum tuzları ile modifiye edilmiş kil yüzeyi	
Şekil 2.20: Organobentonitin hidrofobik organik kirletici ile etkileşimi .....	45
Şekil 2.21: Kil ve hidrofobik organik kirleticilerin etkileşmesi .....	46
Şekil 2.22: Adsorptif bentonit.....	46
Şekil 2.23: Organofilik bentonit .....	46
Şekil 3.1: Kongo Kırmızısı boyar maddesinin açık formülü.....	47
Şekil 3.2: Metil Mavisi boyar maddesinin açık formülü .....	47
Şekil 3.3: Metil Violent boyar maddesinin açık formülü .....	48
Şekil 3.4: (a) Saf öğütülmemiş kahverengi alg (Laminaria japonica) .....	49
ve (b) Saf öğütülmemiş yeşil alg ( Ulva rotundata)	
Şekil 3.5: Saf bentonit .....	49

<b>Şekil 3.6:</b> Epiklorohidrin kimyasal formülü .....	50
<b>Şekil 3.7:</b> (a) Santrifüj (H 1650 model) ve (b) Sonikatör (Bandelin model).....	51
<b>Şekil 3.8:</b> El yapımı su banyoları.....	51
<b>Şekil 3.9:</b> FTIR, SEM ve UV-Spektrofotometre .....	52
<b>Şekil 3.10:</b> Alg / Modifiye Bentonit Elde Edilmesi.....	54
<b>Şekil 3.11:</b> Kongo Kırmızısı standart çözeltinin derişim (M) / .....	55
absorbans grafiği ( $R^2=0,997$ )	
<b>Şekil 3.12:</b> Metil Mavisi standart çözeltinin derişim (M) / .....	56
absorbans grafiği ( $R^2=0,997$ )	
<b>Şekil 3.13:</b> Metil Violent standart çözeltinin derişim (M) / .....	57
absorbans grafiği ( $R^2=0,999$ )	
<b>Şekil 4.1:</b> Kahverengi algin farklı pH (3,5,7,8 ve 10) su ortamında.....	59
zamana karşı şişme oranı (%)	
<b>Şekil 4.2:</b> Yeşil algin farklı pH (3,5,7,8 ve 10) su ortamında.....	60
zamana karşı şişme oranı (%)	
<b>Şekil 4.3:</b> Yeşil alg üzerinde Kongo Kırmızısının değişik .....	61
derişimlerde % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (30°C)	
<b>Şekil 4.4:</b> Kahverengi alg üzerinde Kongo Kırmızısının değişik .....	62
derişimlerde % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (30°C)	
<b>Şekil 4.5:</b> Saf bentonit üzerinde Kongo Kırmızısının değişik .....	62
derişimlerde % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (30°C)	
<b>Şekil 4.6:</b> Modifiye bentonit üzerinde Kongo Kırmızısının değişik.....	63
derişimlerde % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (30°C)	
<b>Şekil 4.7:</b> KA/MB üzerinde Kongo Kırmızısının değişik .....	64
derişimlerde % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (30°C)	
<b>Şekil 4.8:</b> Kongo Kırmızısı çözeltisinin yeşil alg üzerindeki adsorpsiyonun .....	65
yalancı 1. derece kinetiği (30°C)	
<b>Şekil 4.9:</b> Kongo Kırmızısı çözeltisinin kahverengi alg üzerindeki .....	65
adsorpsiyonun yalancı 1. derece kinetiği (30°C)	
<b>Şekil 4.10:</b> Kongo Kırmızısı çözeltisinin saf bentonit üzerindeki.....	66
adsorpsiyonun yalancı 1. derece kinetiği (30°C)	

<b>Şekil 4.11:</b> Kongo Kırmızısı çözeltilisinin modifiye bentonit üzerindeki	66
yalancı 1. derece kinetiği (30°C)	
<b>Şekil 4.12:</b> Kongo Kırmızısı çözeltilisinin KA/MB üzerindeki adsorpsiyonun	67
yalancı 1. derece kinetiği (30°C)	
<b>Şekil 4.13:</b> Kongo Kırmızısı çözeltilisinin yeşil alg üzerindeki	69
adsorpsiyonun Freundlich izotermi (30°C)	
<b>Şekil 4.14:</b> Kongo Kırmızısı çözeltilisinin yeşil alg üzerindeki	70
adsorpsiyonun Langmuir izotermi (30°C)	
<b>Şekil 4.15:</b> Kongo Kırmızısı çözeltilisinin yeşil alg üzerindeki	70
adsorpsiyonun Temkin izotermi (30°C)	
<b>Şekil 4.16:</b> Kongo Kırmızısı çözeltilisinin kahverengi alg üzerindeki	71
adsorpsiyonun Freundlich izotermi (30°C)	
<b>Şekil 4.17:</b> Kongo Kırmızısı çözeltilisinin kahverengi alg üzerindeki	71
adsorpsiyonun Langmuir izotermi (30°C)	
<b>Şekil 4.18:</b> Kongo Kırmızısı çözeltilisinin kahverengi alg üzerindeki	72
adsorpsiyonun Temkin izotermi (30°C)	
<b>Şekil 4.19:</b> Kongo Kırmızısı çözeltilisinin saf bentonit üzerindeki	72
adsorpsiyonun Freundlich izotermi (30°C)	
<b>Şekil 4.20:</b> Kongo Kırmızısı çözeltilisinin saf bentonit üzerindeki	73
adsorpsiyonun Langmuir izotermi (30°C)	
<b>Şekil 4.21:</b> Kongo Kırmızısı çözeltilisinin saf bentonit üzerindeki	73
adsorpsiyonun Temkin izotermi (30°C)	
<b>Şekil 4.22:</b> Kongo Kırmızısı çözeltilisinin modifiye bentonit üzerindeki	74
adsorpsiyonun Freundlich izotermi (30°C)	
<b>Şekil 4.23:</b> Kongo Kırmızısı çözeltilisinin modifiye bentonit üzerindeki	74
adsorpsiyonun Langmuir izotermi (30°C)	
<b>Şekil 4.24:</b> Kongo Kırmızısı çözeltilisinin modifiye bentonit üzerindeki	75
adsorpsiyonun Temkin izotermi (30°C)	
<b>Şekil 4.25:</b> Kongo Kırmızısı çözeltilisinin KA/MB üzerindeki	75
adsorpsiyonun Freundlich izotermi (30°C)	
<b>Şekil 4.26:</b> Kongo Kırmızısı çözeltilisinin KA/MB üzerindeki	76
adsorpsiyonun Langmuir izotermi (30°C)	

<b>Şekil 4.27:</b> Kongo Kırmızısı çözeltisinin KA/MB üzerindeki adsorpsiyonun Temkin izotermi (30°C)	76
<b>Şekil 4.28:</b> Yeşil alg üzerinde Kongo Kırmızısının değişik sıcaklıklarda % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (1,43 x10 <sup>-5</sup> M)	78
<b>Şekil 4.29:</b> Yeşil alg üzerinde Kongo Kırmızısının adsorpsiyonunun Van't Hoff grafiği	79
<b>Şekil 4.30:</b> Yeşil alg üzerinde Kongo Kırmızısının adsorpsiyonunun Arrhenius grafiği	79
<b>Şekil 4.31:</b> Kahverengi alg üzerinde Kongo Kırmızısının değişik sıcaklıklarda % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (1,43 x10 <sup>-5</sup> M)	80
<b>Şekil 4.32:</b> Kahverengi alg üzerinde Kongo Kırmızısının adsorpsiyonunun Van't Hoff grafiği	80
<b>Şekil 4.33:</b> Kahverengi alg üzerinde Kongo Kırmızısının adsorpsiyonunun Arrhenius grafiği	81
<b>Şekil 4.34:</b> Saf bentonit üzerinde Kongo Kırmızısının değişik sıcaklıklarda % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (1,43 x10 <sup>-5</sup> M)	81
<b>Şekil 4.35:</b> Saf bentonit üzerinde Kongo Kırmızısının adsorpsiyonunun Van't Hoff grafiği	82
<b>Şekil 4.36:</b> Saf bentonit üzerinde Kongo Kırmızısının adsorpsiyonunun Arrhenius grafiği	82
<b>Şekil 4.37:</b> Modifiye bentonit üzerinde Kongo Kırmızısının değişik sıcaklıklarda % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (1,43 x10 <sup>-5</sup> M)	83
<b>Şekil 4.38:</b> Modifiye bentonit üzerinde Kongo Kırmızısının adsorpsiyonunun Van't Hoff grafiği	83
<b>Şekil 4.39:</b> Modifiye bentonit üzerinde Kongo Kırmızısının adsorpsiyonunun Arrhenius grafiği	84
<b>Şekil 4.40:</b> KA/MB üzerinde Kongo Kırmızısının değişik sıcaklıklarda % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (1,43 x10 <sup>-5</sup> M)	84
<b>Şekil 4.41:</b> KA/MB üzerinde Kongo Kırmızısının adsorpsiyonunun Van't Hoff grafiği	85
<b>Şekil 4.42:</b> KA/MB üzerinde Kongo Kırmızısının adsorpsiyonunun Arrhenius grafiği	85

<b>Şekil 4.43:</b> Farklı adsorbentlerin üzerinde Kongo Kırmızısı 30 °C’de ..... 87 1,43x10 <sup>-5</sup> M derişimde % adsorpsiyonu	87
<b>Şekil 4.44:</b> Yeşil alg üzerinde Metil Mavisinin değişik derişimlerde ..... 88 % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (30°C)	88
<b>Şekil 4.45:</b> Kahverengi alg üzerinde Metil Mavisinin değişik ..... 89 derişimlerde % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (30°C)	89
<b>Şekil 4.46:</b> Saf bentonit üzerinde Metil Mavisinin değişik ..... 89 derişimlerde % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (30°C)	89
<b>Şekil 4.47:</b> Modifiye bentonit üzerinde Metil Mavisinin değişik ..... 90 derişimlerde % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (30°C)	90
<b>Şekil 4.48:</b> KA/MB üzerinde Metil Mavisinin değişik derişimlerde ..... 91 % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (30°C)	91
<b>Şekil 4.49:</b> Metil Mavisi çözeltilsinin yeşil alg üzerindeki ..... 92 adsorpsiyonun yalancı 1. derece kinetiği (30°C)	92
<b>Şekil 4.50:</b> Metil Mavisi çözeltilsinin kahverengi alg üzerindeki ..... 92 adsorpsiyonun yalancı 2. derece kinetiği (30°C)	92
<b>Şekil 4.51:</b> Metil Mavisi çözeltilsinin saf bentonit üzerindeki ..... 93 adsorpsiyonun yalancı 2. derece kinetiği (30°C)	93
<b>Şekil 4.52:</b> Metil Mavisi çözeltilsinin modifiye bentonit üzerindeki ..... 93 adsorpsiyonun yalancı 1. derece kinetiği (30°C)	93
<b>Şekil 4.53:</b> Metil Mavisi çözeltilsinin KA/MB üzerindeki adsorpsiyonun ..... 94 yalancı 2. derece kinetiği (30°C)	94
<b>Şekil 4.54:</b> Metil Mavisi çözeltilsinin yeşil alg üzerindeki adsorpsiyonun ..... 97 Freundlich izotermi (30°C)	97
<b>Şekil 4.55:</b> Metil Mavisi çözeltilsinin yeşil alg üzerindeki adsorpsiyonun ..... 98 Langmuir izotermi (30°C)	98
<b>Şekil 4.56:</b> Metil Mavisi çözeltilsinin yeşil alg üzerindeki adsorpsiyonun ..... 98 Temkin izotermi (30°C)	98
<b>Şekil 4.57:</b> Metil Mavisi çözeltilsinin kahverengi alg üzerindeki ..... 99 adsorpsiyonun Freundlich izotermi (30°C)	99

<b>Şekil 4.58:</b> Metil Mavisi çözeltisinin kahverengi alg üzerindeki adsorpsiyonun Langmuir izotermi (30°C)	99
<b>Şekil 4.59:</b> Metil Mavisi çözeltisinin kahverengi alg üzerindeki adsorpsiyonun Temkin izotermi (30°C)	100
<b>Şekil 4.60:</b> Metil Mavisi çözeltisinin saf bentonit üzerindeki adsorpsiyonun Freundlich izotermi (30°C)	100
<b>Şekil 4.61:</b> Metil Mavisi çözeltisinin saf bentonit üzerindeki adsorpsiyonun Langmuir izotermi (30°C)	101
<b>Şekil 4.62:</b> Metil Mavisi çözeltisinin saf bentonit üzerindeki adsorpsiyonun Temkin izotermi (30°C)	101
<b>Şekil 4.63:</b> Metil Mavisi çözeltisinin modifiye bentonit üzerindeki adsorpsiyonun Freundlich izotermi (30°C)	102
<b>Şekil 4.64:</b> Metil Mavisi çözeltisinin modifiye bentonit üzerindeki adsorpsiyonun Langmuir izotermi (30°C)	102
<b>Şekil 4.65:</b> Metil Mavisi çözeltisinin modifiye bentonit üzerindeki adsorpsiyonun Temkin izotermi (30°C)	103
<b>Şekil 4.66:</b> Metil Mavisi çözeltisinin KA/MB üzerindeki adsorpsiyonun Freundlich izotermi (30°C)	103
<b>Şekil 4.67:</b> Metil Mavisi çözeltisinin KA/MB üzerindeki adsorpsiyonun Langmuir izotermi (30°C)	104
<b>Şekil 4.68:</b> Metil Mavisi çözeltisinin KA/MB üzerindeki adsorpsiyonun Temkin izotermi (30°C)	104
<b>Şekil 4.69:</b> Yeşil alg üzerinde Metil Mavisinin değişik sıcaklıklarda % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (2,5x10 <sup>-4</sup> M)	106
<b>Şekil 4.70:</b> Yeşil alg üzerinde Metil Mavisinin adsorpsiyonunun Van't Hoff grafiği	107
<b>Şekil 4.71:</b> Yeşil alg üzerinde Metil Mavisinin adsorpsiyonunun Arrhenius grafiği	107
<b>Şekil 4.72:</b> Kahverengi alg üzerinde Metil Mavisinin değişik sıcaklıklarda % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (2,5x10 <sup>-4</sup> M)	108
<b>Şekil 4.73:</b> Kahverengi alg üzerinde Metil Mavisinin adsorpsiyonunun Van't Hoff grafiği	108



<b>Şekil 4.74:</b> Kahverengi alg üzerinde Metil Mavisinin adsorpsiyonunun Arrhenius grafiği	109
<b>Şekil 4.75:</b> Saf bentonit üzerinde Metil Mavisinin değişik sıcaklıklarda % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi ( $2,5 \times 10^{-4}$ M)	109
<b>Şekil 4.76:</b> Saf bentonit üzerinde Metil Mavisinin adsorpsiyonunun Van't Hoff grafiği	110
<b>Şekil 4.77:</b> Saf bentonit üzerinde Metil Mavisinin adsorpsiyonunun Arrhenius grafiği	110
<b>Şekil 4.78:</b> Modifiye bentonit üzerinde Metil Mavisinin değişik sıcaklıklarda % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi ( $2,5 \times 10^{-4}$ M)	111
<b>Şekil 4.79:</b> Modifiye bentonit üzerinde Metil Mavisinin adsorpsiyonunun Van't Hoff grafiği	111
<b>Şekil 4.80:</b> Modifiye bentonit üzerinde Metil Mavisinin adsorpsiyonunun Arrhenius grafiği	112
<b>Şekil 4.81:</b> KA/MB üzerinde Metil Mavisinin değişik sıcaklıklarda % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi ( $2,5 \times 10^{-4}$ M)	112
<b>Şekil 4.82:</b> KA/MB üzerinde Metil Mavisinin adsorpsiyonunun Van't Hoff grafiği	113
<b>Şekil 4.83:</b> KA/MB üzerinde Metil Mavisinin adsorpsiyonunun Arrhenius grafiği ....	113
<b>Şekil 4.84:</b> Farklı adsorbentlerin üzerinde Metil Mavisinin $30^{\circ}\text{C}$ 'de $2,5 \cdot 10^{-4}$ M derişimde % adsorpsiyonu	115
<b>Şekil 4.85:</b> Yeşil alg üzerinde Metil Violentin değişik derişimlerde % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi ( $30^{\circ}\text{C}$ )	116
<b>Şekil 4.86:</b> Kahverengi alg üzerinde Metil Violentin değişik derişimlerde % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi ( $30^{\circ}\text{C}$ )	116
<b>Şekil 4.87:</b> Saf bentonit üzerinde Metil Violentin değişik derişimlerde % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi ( $30^{\circ}\text{C}$ )	117
<b>Şekil 4.88:</b> Modifiye bentonit üzerinde Metil Violentin değişik derişimlerde % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi ( $30^{\circ}\text{C}$ )	117
<b>Şekil 4.89:</b> KA/MB üzerinde Metil Violentin değişik derişimlerde % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi ( $30^{\circ}\text{C}$ )	118

<b>Şekil 4.90:</b> Metil Violent çözeltisinin yeşil alg üzerindeki adsorpsiyonun .....	119
yalancı 1. derece kinetiği (30°C)	
<b>Şekil 4.91:</b> Metil Violent çözeltisinin kahverengi alg üzerindeki adsorpsiyonun .....	119
yalancı 1. derece kinetiği (30°C)	
<b>Şekil 4.92:</b> Metil Violent çözeltisinin saf bentonit üzerindeki adsorpsiyonun .....	120
yalancı 1. derece kinetiği (30°C)	
<b>Şekil 4.93:</b> Metil Violent çözeltisinin modifiye bentonit üzerindeki .....	120
adsorpsiyonun yalancı 1. derece kinetiği (30°C)	
<b>Şekil 4.94:</b> Metil Violent çözeltisinin KA/MB üzerindeki adsorpsiyonun .....	121
yalancı 1. derece kinetiği (30°C)	
<b>Şekil 4.95:</b> Metil Violent çözeltisinin yeşil alg üzerindeki adsorpsiyonun .....	123
Freundlich izotermi (30°C)	
<b>Şekil 4.96:</b> Metil Violent çözeltisinin yeşil alg üzerindeki adsorpsiyonun .....	124
Langmuir izotermi (30°C)	
<b>Şekil 4.97:</b> Metil Violent çözeltisinin yeşil alg üzerindeki adsorpsiyonun .....	124
Temkin izotermi (30°C)	
<b>Şekil 4.98:</b> Metil Violent çözeltisinin kahverengi alg üzerindeki .....	125
adsorpsiyonun Freundlich izotermi (30°C)	
<b>Şekil 4.99:</b> Metil Violent çözeltisinin kahverengi alg üzerindeki .....	125
adsorpsiyonun Langmuir izotermi (30°C)	
<b>Şekil 4.100:</b> Metil Violent çözeltisinin kahverengi alg üzerindeki .....	126
adsorpsiyonun Temkin izotermi (30°C)	
<b>Şekil 4.101:</b> Metil Violent çözeltisinin saf bentonit üzerindeki .....	126
adsorpsiyonun Freundlich izotermi (30°C)	
<b>Şekil 4.102:</b> Metil Violent çözeltisinin saf bentonit üzerindeki adsorpsiyonun .....	127
Langmuir izotermi (30°C)	
<b>Şekil 4.103:</b> Metil Violent çözeltisinin saf bentonit üzerindeki adsorpsiyonun .....	127
Temkin izotermi (30°C)	
<b>Şekil 4.104:</b> Metil Violent çözeltisinin modifiye bentonit üzerindeki .....	128
adsorpsiyonun Freundlich izotermi (30°C)	
<b>Şekil 4.105:</b> Metil Violent çözeltisinin modifiye bentonit üzerindeki .....	128
adsorpsiyonun Langmuir izotermi (30°C)	

<b>Şekil 4.106:</b> Metil Violent çözeltisinin modifiye bentonit üzerindeki .....	129
adsorpsiyonun Temkin izotermi (30°C)	
<b>Şekil 4.107:</b> Metil Violent çözeltisinin KA/MB üzerindeki adsorpsiyonun.....	129
Freundlich izotermi (30°C)	
<b>Şekil 4.108:</b> Metil Violent çözeltisinin KA/MB üzerindeki adsorpsiyonun.....	130
Langmuir izotermi (30°C)	
<b>Şekil 4.109:</b> Metil Violent çözeltisinin KA/MB üzerindeki adsorpsiyonun.....	130
Temkin izotermi (30°C)	
<b>Şekil 4.110:</b> Yeşil alg üzerinde Metil Violentin değişik.....	132
sıcaklıklarda % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (5,08x10 <sup>-5</sup> M)	
<b>Şekil 4.111:</b> Yeşil alg üzerinde Metil Violentin adsorpsiyonunun.....	132
Van't Hoff grafiği	
<b>Şekil 4.112 :</b> Yeşil alg üzerinde Metil Violentin adsorpsiyonunun.....	133
Arrhenius grafiği	
<b>Şekil 4.113 :</b> Kahverengi alg üzerinde Metil Violentin değişik .....	133
sıcaklıklarda % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (5,08x10 <sup>-5</sup> M)	
<b>Şekil 4.114:</b> Kahverengi alg üzerinde Metil Violentin adsorpsiyonunun.....	134
Van't Hoff grafiği	
<b>Şekil 4.115:</b> Kahverengi alg üzerinde Metil Violentin adsorpsiyonunun.....	134
Arrhenius grafiği	
<b>Şekil 4.116:</b> Saf bentonit üzerinde Metil Violentin değişik .....	135
sıcaklıklarda % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (5,08x10 <sup>-5</sup> M)	
<b>Şekil 4.117:</b> Saf bentonit üzerinde Metil Violentin adsorpsiyonunun.....	135
Van't Hoff grafiği	
<b>Şekil 4.118:</b> Saf bentonit üzerinde Metil Violentin adsorpsiyonunun.....	136
Arrhenius grafiği	
<b>Şekil 4.119 :</b> Modifiye bentonit üzerinde Metil Violentin değişik.....	136
sıcaklıklarda % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (5,08x10 <sup>-5</sup> M)	
<b>Şekil 4.120:</b> Modifiye bentonit üzerinde Metil Violentin adsorpsiyonunun .....	137
Van't Hoff grafiği	
<b>Şekil 4.121:</b> Modifiye bentonit üzerinde Metil Violentin adsorpsiyonunun .....	137
Arrhenius grafiği	

<b>Şekil 4.122:</b> KA/MB üzerinde Metil Violentin değişik sıcaklıklarda ..... 138 % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi ( $5,08 \times 10^{-5}$ M)	138
<b>Şekil 4.123:</b> KA/MB üzerinde Metil Violentin adsorpsiyonunun ..... 138 Van't Hoff grafiği	138
<b>Şekil 4.124:</b> KA/MB üzerinde Metil Violentin adsorpsiyonunun ..... 139 Arrhenius grafiği	139
<b>Şekil 4.125:</b> Farklı adsorbentlerin üzerinde Metil Violentin $30^{\circ}\text{C}$ 'de ..... 141 $5,08 \cdot 10^{-5}$ M derişimde % adsorpsiyonu	141
<b>Şekil 4.126:</b> Kahverengi Algin FTIR Spektrumu ..... 142	142
<b>Şekil 4.127:</b> Kahverengi Alg / Metil Mavisi ( $2,5 \times 10^{-4}$ M ve $30^{\circ}\text{C}$ ) ..... 143 FTIR Spektrumu	143
<b>Şekil 4.128:</b> Yeşil Alg FTIR Spektrumu ..... 144	144
<b>Şekil 4.129:</b> Yeşil Alg / Metil Mavisi ( $2,5 \times 10^{-4}$ M ve $30^{\circ}\text{C}$ ) FTIR Spektrumu ..... 145	145
<b>Şekil 4.130:</b> KA/MB FTIR Spektrumu..... 146	146
<b>Şekil 4.131:</b> KA/MB / Metil Mavisi ( $2,5 \times 10^{-4}$ M ve $30^{\circ}\text{C}$ ) FTIR Spektrumu ..... 147	147
<b>Şekil 4.132:</b> KA/MB / Metil Violentin ( $5,08 \times 10^{-5}$ M ve $30^{\circ}\text{C}$ ) FTIR Spektrumu..... 148	148
<b>Şekil 4.133:</b> Kahverengi Alg (1500x ve 5000 x) SEM mikrograftları ..... 149	149
<b>Şekil 4.134:</b> Kahverengi Alg / Metil Mavisi ( $2,5 \times 10^{-4}$ M ve $30^{\circ}\text{C}$ ) ..... 149 (a) (50x) ve (b) (750x) SEM mikrograftları	149
<b>Şekil 4.135:</b> Kahverengi Alg / Metil Mavisi ( $2,5 \times 10^{-4}$ M ve $30^{\circ}\text{C}$ ) ..... 150 (250x), (500x) ve (750x) SEM mikrograftları	150
<b>Şekil 4.136:</b> Yeşil Alg (a) (50x), (b) (750x), (c) (1500x) ve ..... 151 (d) (3000x) SEM mikrograftları	151
<b>Şekil 4.137:</b> Yeşil Alg / Metil Mavisi ( $2,5 \times 10^{-4}$ M ve $30^{\circ}\text{C}$ ) (a) (50x), ..... 152 (b) (1500x) ve (c) (5000x) SEM mikrograftları	152
<b>Şekil 4.138:</b> KA / MB (a) (50x), (b) (1500x), (c) (3000x) ve..... 153 (d) ( 5000x) SEM mikrograftları	153
<b>Şekil 4.139:</b> KA / MB /Metil Mavisi ( $2,5 \times 10^{-4}$ M ve $30^{\circ}\text{C}$ ) (a) (50x), ..... 154 (b) (750x), (c) (3000x) ve (d) (5000x) SEM mikrograftları	154

## TABLO LİSTESİ

<b>Tablo 2.1:</b> Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyonun karşılaştırılması.....	5
<b>Tablo 2.2:</b> Mikro, mezo ve makro gözenek tiplerine uygun ..... adsorpsiyon izoterm tipleri ve örnekleri	14
<b>Tablo 2.3:</b> $R_L$ değerleri ve izoterm tipleri .....	16
<b>Tablo 2.4:</b> Yapılarına göre kromojen gruplar.....	26
<b>Tablo 2.5:</b> Bazı boyar madde sınıfları, uygulama metotları ve kimyasal tipler .....	27
<b>Tablo 2.6:</b> Bazı kil minerali türleri.....	41
<b>Tablo 2.7:</b> Bentonitlerin özelliklerine göre kullanım alanları .....	44
<b>Tablo 3.1:</b> Boyar maddelerin fiziksel özellikleri.....	48
<b>Tablo 3.2:</b> Bentonitin fiziksel özellikleri.....	50
<b>Tablo 4.1:</b> Kahverengi ve yeşil algin farklı pH (3,5,7,8 ve 10) ..... su ortamında şişme oranı (%)	60
<b>Tablo 4.2:</b> Kongo Kırmızısının farklı adsorbentlerin üzerinde ..... adsorpsiyon kinetik hesaplamaları	68
<b>Tablo 4.3:</b> Kongo Kırmızısı farklı adsorbentlerin üzerinde adsorpsiyon izotermi ....	77
<b>Tablo 4.4:</b> Kongo Kırmızısının farklı adsorbentlerin..... üzerinde termodinamik hesaplamaları	86
<b>Tablo 4.5:</b> Metil Mavisinin farklı adsorbentlerin üzerinde ..... adsorpsiyon kinetik hesaplamaları	95
<b>Tablo 4.6:</b> Metil Mavisinin farklı adsorbentlerin üzerinde ..... adsorpsiyon kinetik hesaplamaları	96
<b>Tablo 4.7:</b> Metil Mavisinin farklı adsorbentlerin üzerinde adsorpsiyon izotermi ...	105
<b>Tablo 4.8:</b> Metil Mavisinin farklı adsorbentlerin üzerinde ..... termodinamik hesaplamaları	114
<b>Tablo 4.9:</b> Metil Violentin farklı adsorbentlerin üzerinde ..... adsorpsiyon kinetik hesaplamaları	122
<b>Tablo 4.10:</b> Metil Violentin farklı adsorbentlerin üzerinde adsorpsiyon izotermi ..	131

<b>Tablo 4.11:</b> Metil Violentin farklı adsorbentlerin üzerinde .....	140
termodinamik hesaplamaları	
<b>Tablo 5.1:</b> Kahverengi alg, yeşil alg ve KA/MB ikili karışımının.....	164
adsorpsiyon öncesi ve sonrası FTIR dalga sayıları ve fonksiyonel grupları	
<b>Tablo 5.2:</b> Yeşil alg adsorpsiyon öncesi ve sonrası FTIR dalga sayıları .....	164
ve fonksiyonel grupları	

## SEMBOL LİSTESİ

$\Delta H^{\circ}$	: Entalpi değişimi ( j mol <sup>-1</sup> )
$\Delta G^{\circ}$	: Gibbs serbest enerjisi ( j mol <sup>-1</sup> )
$\Delta S^{\circ}$	: Standart entropi değişimi ( j mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )
$K_c$	: Adsorpsiyon denge sabiti
$r_{ads}$	: Adsorpsiyon hızı
$q$	: Birim adsorbant kütlesi tarafından adsorplanan boyar madde (mgg <sup>-1</sup> )
$q_e$	: Denge, birim adsorbent kütlesi tarafından adsorplanan madde (mgg <sup>-1</sup> )
$q_t$	: t anında, adsorbentin birim kütlesi başına adsorplanan miktarı (mgg <sup>-1</sup> )
$q_{max}$	: Yüzeyde, adsorbentin birim kütlesi başına adsorplanan miktarı (mgg <sup>-1</sup> )
$C$	: Adsorplanmadan kalan boyar madde derişimi ( M )
$C_0$	: Boyar maddenin başlangıç derişimi ( M )
$C_e$	: Denge, adsorplanan çözeltide kalan adsorplanan madde ( M )
$x_0$	: Adsorbentin çözeltideki derişimi ( g )
$k_1$	: Birinci derece adsorpsiyon hız sabiti ( dak <sup>-1</sup> )
$k_2$	: İkinci derece adsorpsiyon sabiti ( g mg <sup>-1</sup> dak <sup>-1</sup> )
$k_{id}$	: Partikül içi diffüzyon sabiti
$K$	: Hız Sabiti
$A$	: Frekans Faktörü
$E_a$	: Aktivasyon enerjisi ( J mol <sup>-1</sup> )
$K_L$	: Langmuir izotermi sabiti ( L g <sup>-1</sup> )
$k_a$	: Adsorpsiyon sabiti
$k_d$	: Desorpsiyon sabiti
$K_F$	: Adsorpsiyon kapasitesi( L g <sup>-1</sup> )
$1/n$	: Adsorpsiyon şiddeti
$K_T$	: Temkin izoterm sabiti
$H_1$	: İlk tabakanın entalpisi ( J mol <sup>-1</sup> )
$H_L$	: İkinci ve sonraki tabakaların entalpisi ( J mol <sup>-1</sup> )

<b>Q<sub>1</sub><sup>0</sup></b>	: Birinci boyar maddenin Langmuir adsorpsiyon sabiti ( mg g <sup>-1</sup> )
<b>b<sub>1</sub></b>	: Birinci boyar maddenin Langmuir adsorpsiyon sabiti ( L mg <sup>-1</sup> )
<b>b<sub>11</sub></b>	: İkinci boyar maddenin Langmuir adsorpsiyon sabiti ( L mg <sup>-1</sup> )
<b>W<sub>s</sub></b>	: Şişmiş Adsorbentin Tartımı ( g )
<b>W<sub>d</sub></b>	: Kuru Adsorbentin Tartımı ( g )
<b>SEM</b>	: Taramalı Elektron Mikroskobu
<b>FTIR</b>	: Fourier Transform Infrared Spektrometresi
<b>UV</b>	: Ultra Viole
<b>YA</b>	:Yeşil Alg
<b>KA</b>	:Kahverengi Alg
<b>SB</b>	:Saf Bentonit
<b>MB</b>	:Modifiye Bentonit
<b>KA/MB</b>	: Kahverengi Alg/ Modifiye Bentonit



## ÖZET

### FARKLI BOYAR MADDELERİN ÖZEL HAZIRLANMIŞ ADSORBANLAR ÜZERİNDE ADSORPSİYON KİNETİĞİNİN VE TERMODİNAMIĞININ İNCELENMESİ

Bu çalışmada; özel hazırlanmış adsorbentler üzerinde üç farklı boyar maddenin Kongo Kırmızısı, Metil Mavisi ve Metil Violent adsorpsiyon kinetiği ve termodinamiği incelenmiştir. Adsorbent olarak; kahverengi alg (*Laminaria Japonica*), yeşil alg (*Ulva Rotundata*), bentonit (Reşadiye, Tokat) ve modifiye bentonit kullanılmıştır. Adsorpsiyon özelliklerini arttırmak için bentonit modifiye edilmiştir. Ayrıca; hazırlanan Kahverengi Alg/Modifiye Bentonit (1/1) ikili karışımı üzerinde üç farklı boyar maddenin adsorpsiyonu dört farklı sıcaklıklarda ( 20°C, 30°C, 40°C ve 50°C) ve dört farklı derişimde (Kongo Kırmızısı (1,43.10<sup>-5</sup>M, 1,71.10<sup>-5</sup>M, 2,28.10<sup>-5</sup>M ve 2,57.10<sup>-5</sup> M), Metil Mavisi (1,0x10<sup>-4</sup> M,1,25x10<sup>-4</sup>M, 1,9x10<sup>-4</sup>M ve 2,5x10<sup>-4</sup> M), Metil Violent (1,0x10<sup>-5</sup>M, 2,3x10<sup>-5</sup>M, 4,1x10<sup>-5</sup>M ve 5,1x10<sup>-5</sup>M) incelenmiştir. Freundlich, Langmuir ve Temkin izotermi adsorpsiyon verilerine uygulanmıştır. Adsorpsiyon mekanizmasını incelemek için; yalancı birinci dereceden kinetik model ve yalancı ikinci dereceden kinetik model uygulanmıştır. Ayrıca termodinamik parametreler, serbest enerji ( $\Delta G^\circ$ ), entalpi ( $\Delta H^\circ$ ) ve entropi değişimi ( $\Delta S^\circ$ ) hesaplanmıştır. Negatif serbest enerji değeri ( $\Delta G^\circ$ ) boyar maddenin adsorbent üzerinde sıvı-katı yüzeyinde adsorpsiyonun kendiliğinden olduğunu gösterir.

**Anahtar Kelimeler:** Kahverengi alg, Yeşil alg, Kahverengi Alg /Modifiye Bentonit, kinetik model, izoterm.

## SUMMARY

### INVESTIGATION OF ADSORPTION KINETIC AND THERMODYNAMIC OF DIFFERENT DYES ON SPECIAL PREPARED ADSORBENTS

In this work, the adsorption kinetic and thermodynamic of three different dyes, Congo Red, Methyl Blue and Methyl Violet on the natural and specially prepared adsorbents have been investigated. Brown algae (*Laminaria japonica*), green algae (*Ulva Rotundata*), bentonite (Reşadiye, Tokat) and modified bentonite were used as adsorbents. Bentonite was modified to improve its adsorption features. The adsorption of three dyes on the binary adsorbent of brown algae/modified bentonite has been studied at four different temperatures, (20°C, 30°C, 40°C, 50°C) and four different concentrations of dye; Congo Red ( $1,43 \cdot 10^{-5}$  M,  $1,71 \cdot 10^{-5}$  M,  $2,28 \cdot 10^{-5}$  M ve  $2,57 \cdot 10^{-5}$  M), Methy Blue ( $1,0 \cdot 10^{-4}$  M,  $1,25 \cdot 10^{-4}$  M,  $1,9 \cdot 10^{-4}$  M ve  $2,5 \cdot 10^{-4}$  M), Methyl Violet ( $1,0 \cdot 10^{-5}$  M,  $2,3 \cdot 10^{-5}$  M,  $4,1 \cdot 10^{-5}$  M ve  $5,1 \cdot 10^{-5}$  M). Freundlich, Langmuir and Temkin's models applied to the experimental data related to adsorption isotherms. The adsorption mechanism of these dyes on different adsorbents has been investigated using 1.order, 2. order kinetic models. The various thermodynamic parameters such as entalpy of sorption ( $\Delta H^\circ$ ), free energy change ( $\Delta G^\circ$ ), and entropy change ( $\Delta S^\circ$ ) were estimated. The negative value of free energy change ( $\Delta G^\circ$ ) shows the randomness at the solid liquid interface during the adsorption of dyes onto adsorbent.

**Keywords:** Brown algae, Green algae, Brown Algae /Modified Bentonite, kinetic model, isotherm.

## 1. GİRİŞ

Günümüzde; çevre kirliliği doğaya bırakılan farklı kaynaklı endüstriyel atıklardan oluşan kirliliklerin çoğalmasına paralel olarak artmıştır ve oldukça ciddi çevre problemlerine sebep olmaktadır. Çevre Kanunu' nun 2872 sayılı 2/c maddesine göre; çevre kirliliği; “Çevrede meydana gelen ve canlıların sağlığını, çevresel değerleri ve ekolojik dengeyi bozabilecek her türlü olumsuz etki” olarak ifade edilir [1]. Çevre kirliliğinin hava kirliliği, su kirliliği, toprak kirliliği, gürültü ve görüntü kirliliği gibi birçok çeşidi bulunmaktadır. Bunlardan, su kirliliği çevre kirliliğinin büyük kısmını oluşturmaktadır. Endüstrileşmenin artması tekstil, deri, kağıt, gıda ve kozmetik gibi birçok endüstri dalında kullanılan boyar madde, organik madde, ağır metal ve çözülmüş tuzların tüketimindeki artışa yol açmıştır. Bunun sonucunda atık sularda oluşan ve giderilmesi zor olan boyar maddeler ile renk değişimleri çevreye ve dolayısıyla canlıya zarar vermektedir.

Boyar madde içeren atıksuların doğrudan doğruya hidrosfere verilmesi deşarj ortamını toksit ve estetik olarak kirlettiği gibi bazen geriye dönüşümü mümkün olmayan tahribata da yol açmaktadır. Boyar madde atıkları alıcı ortama verildiğinde bu ortamda yaşayan canlı türlerini yok etmekte veya genetik olarak etkilemektedir [2].

Atık sularda bulunan boyar maddeler alıcı ortamlardaki ışık geçirgenliğini azaltarak bitkilerin fotosentez yapmasını engeller ve sulardaki oksijen üretimini azaltır.

Atık su arıtımı, suların çeşitli kullanımlar sonucu atık su haline gelerek kaybettikleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerinin bir kısmını veya tamamını tekrar kazanabilme yöntemidir. Atık su arıtımı genel olarak;

- kimyasal,
- fizikokimyasal,

- elektrokimyasal,
- mikrobiyolojik,
- enzimatik ve
- ileri oksidasyon yöntemi olmak üzere beş gruba ayrılır.

Endüstriyel kaynaklı atık sulardan renk giderilmesinde kullanılan bu yöntemlerden en etkin olanları, ozon, ultrafiltrasyon, anaerobik biyoteknoloji, kimyasal indirgeme, flokülasyon, koagülasyon, membran prosesler ve adsorpsiyondur [3]. Bu yöntemler arasında, adsorpsiyon işlemi maliyeti düşük ve verimi yüksek olduğu için çok ilgi görmektedir.

Adsorpsiyon yönteminde bilim insanları çok çeşitli adsorbentler üzerinde çalışmaktadırlar. Bu adsorbentlerin ekonomik ve kolay ulaşılabilir olmaları, doğaya zarar vermemeleri, adsorpsiyon kapasitelerinin yüksek olması gibi özellikler taşımaları gerekir. Killer, en yaygın olarak kullanılan adsorbentlerdir. Özellikle ağır metallerin [4-6], pestisitlerin [7-8] ve boyar madde [9-11] kirleticilerinin sulu ortamdan giderilmesinde kullanılırlar. Son yıllarda karbon nanotüpler (CNT) yeni bir adsorbent grubu olarak ortaya çıkmışlardır [12]. Doğal adsorbent olarak ayrıca zeytin çekirdeği [13], tarım atıkları [14], fındık kabuğu [15] v.b. gibi adsorbentlerde kullanılmaktadırlar.

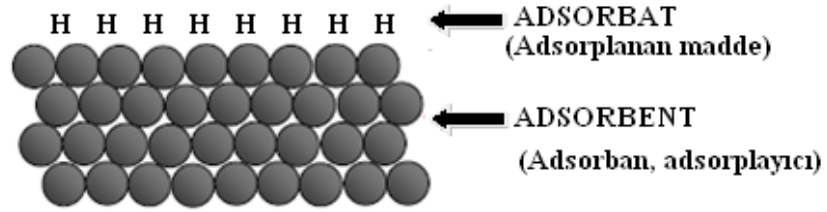
Bu çalışmanın amacı; doğal ve ekonomik adsorbentler hazırlayarak adsorpsiyon yöntemi ile çeşitli boyar maddelerin sulu çözeltilerinden giderilmesidir. Boyar madde olarak Kongo Kırmızısı, Metil Mavisi ve Metil Violent seçilmiştir. Bu çalışmada hazırlanan doğal adsorbentler; doğal kil, kahverengi alg, yeşil alg ve alg/kil karışımlarıdır. Kil olarak kullanılan bentonitin kimyasal yöntemlerle modifiye edilerek adsorpsiyon kapasitesi arttırılmıştır. Doğada çok bulunan ve ekonomik değeri olmayan kahverengi ve yeşil algler adsorbent madde olarak seçilmiştir. Hazırlanan adsorbentlerin Fourier Transform Infrared Spektroskopisinde (FTIR) spektrumları alınarak boyar madde adsorpsiyonundan önceki ve sonraki durumları ile kilin modifiye olmuş ve olmamış halleri incelenerek yapısal analizleri yapılmıştır. Aynı örneklerin Taramalı Elektron Mikroskopu ( SEM ) resimleri karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Hazırlanan adsorbentlerin adsorpsiyon kapasiteleri, doğal kil ve alglerin adsorpsiyon kapasiteleri ile karşılaştırılmıştır.

## 2. GENEL KISIMLAR

### 2.1. ADSORPSİYON

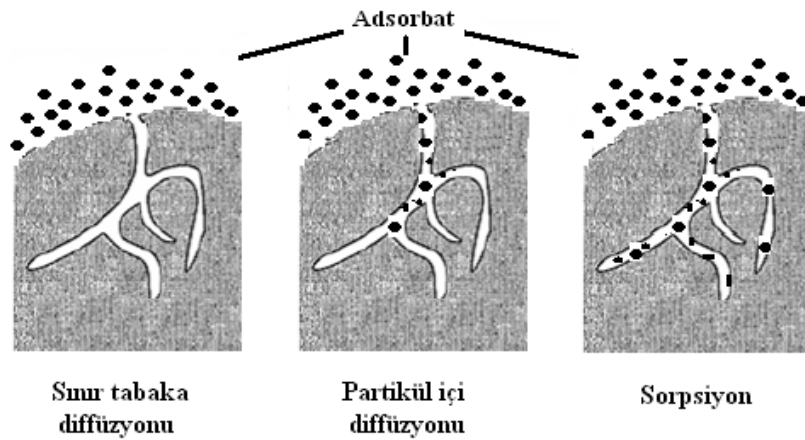
#### 2.1.1. Adsorpsiyon Tanımı

Geleneksel yöntemlerle arıtılması zor, zehir, renk ve koku kirliliğine sebep olan kimyasalların adsorplayıcı bir katı madde (adsorbent) yüzeyinde kimyasal ve fiziksel bağlarla tutunması olayına “adsorpsiyon” denir. Bir gaz veya buharın katı madde ile etkileştiğinde gaz moleküllerinin katı maddenin içerisine girmesi olayına “absorpsiyon (soğurma)”, katı yüzey üzerinde tutunması olayına ise “adsorpsiyon (yüzeye tutunma)” denir [16]. Adsorplanan maddeye “adsorbat veya adsorplanan madde”, adsorplayan katı maddeye ise “adsorban, adsorbent veya adsorplayıcı” denir ( Şekil 2.1 ).



Şekil 2.1: Adsorplanan ve adsorplayan katı

Adsorpsiyon ve absorpsiyon olayının ikisi birlikte meydana gelirse “*sorpsiyon*” olayı gerçekleşmiş olur. Şekil 2.2’ de adsorpsiyon mekanizması şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Adsorpsiyon mekanizması

Endüstride yaygın olarak kullanılan adsorbentler; mineral grubu adsorbentler (kil minerali, zeolit, metal oksit ve inorganik nanokompozit), karbon grubu adsorbentler ve kompozit, biokompozit, sentetik polimer gibi adsorbentlerdir Adsorpsiyon yönteminde en çok kullanılan adsorbentler aktif karbon, uçucu kül, meyve atıkları, ağaç kabuğu, kil, mısır koçanı, fıstık, fındık kabukları, pirinç kabuğu, pamuk atıkları, alg ve polimer nanokompozitlerdir [17].

1777 yılında Fontana kalsine edilmiş odun kömürünün çeşitli gazları kendi hacminin birkaç katı kadarını adsorpladığı öne sürmüştür [18]. Sheele, odun kömürünün ısıtıldığında gaz çıkardığını ve soğutulduğu zaman tekrar adsorpladığını deneysel olarak ispat etmiştir [19]. 1814'te Saussure, katının bir adsorpsiyon gücüne sahip olduğunu ve bu gücün katının yüzey alanına bağlı olduğunu öne sürmüştür. 1843 yılında Miteschelic, odun kömürünün adsorpsiyonunda gözeneklerin büyüdüğünü açıklamıştır. 1881 yılında Kayser, adsorpsiyon terimini kullanmıştır. Kayser'e göre adsorpsiyon serbest yüzeylerde gazların yoğunlaşması olarak açıklamıştır. 1909 yılında adsorpsiyon ve absorpsiyon terimini içine alan sorpsiyon terimini ilk defa McBrain tarafından kullanılmıştır [20-22].

Genel olarak, üç tip adsorpsiyon olayı vardır:

- Fiziksel Adsorpsiyon
- Kimyasal Adsorpsiyon
- İyon Değişimi

Fiziksel Adsorpsiyon, genellikle geri dönüşümlüdür yani tersinirdir. Moleküller arasında bulunan düşük çekim gücüne sahip olan Van der Waals bağından kaynaklanmaktadır. Katı yüzeyinde adsorbe olan moleküller belirli bir yere bağlanmamıştır ve yüzey üzerinde hareketli konumdadır. Fiziksel adsorpsiyonda adsorbat, adsorbentin yüzeyinde gevşek bir tabaka oluşturur.

Kimyasal Adsorpsiyon, çok nadir olarak geri dönüşümlüdür. Kimyasal bileşiklerin oluşumu gibi daha kuvvetli güçlerin etkisiyle meydana gelmektedir. Çoğunlukla

kimyasal adsorpsiyon olayında; adsorbat yüzeyi üzerinde bir molekül kalınlığında bir tabaka oluşturur, moleküller, yüzey üzerinde hareket etmezler. Adsorbent yüzeyinin tamamı bu mono moleküler tabaka ile kaplandığında, adsorbentin adsorplama kapasitesi tamamlanmış olur. Adsorbe olan maddenin ortamdaki uzaklaştırılması için adsorbentin yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılması gerekir Tablo 2.1’de fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir [23,24].

Tablo 2.1: Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyonun karşılaştırılması

<i>Fiziksel Adsorpsiyon</i>	<i>Kimyasal Adsorpsiyon</i>
Yüzey yoğunlaşması olarak bilinir.	Yüzey tepkimesi olarak bilinir.
Adsorbent olarak tüm katı maddeler kullanılır.	Adsorbent olarak spesifik katı maddeler kullanılır.
Adsorplanan olarak kritik sıcaklık altında çözünmüş katı, sıvı ve gaz kullanılır.	Adsorplanan olarak çözünmüş katı ve bazı reaktif maddeler kullanılır.
Sıcaklıkla ters orantılıdır.	Sıcaklıkla doğru orantılıdır.
Adsorpsiyon ısısı düşüktür. Adsorpsiyon ısısı gazların yoğunlaşma ısıları ile aynı büyüklüktedir. Literatürlere göre; aktivasyon enerjisi 5 kJ/mol ile 40 kJ/mol arasındaysa adsorpsiyon fiziksel adsorpsiyon olarak yorumlanır.	Adsorpsiyon ısısı yüksektir. Adsorpsiyon ısısı tepkime ısısı ile aynı büyüklüktedir. Literatürlere göre; aktivasyon enerjisi 40 kJ/mol ile 800 kJ/mol arasında ise adsorpsiyonun kimyasal adsorpsiyon olduğu kabul edilir.
Adsorpsiyon genellikle hızlıdır.	Adsorpsiyon hızını aktifleşme hızı belirler.
Yüksek geri dönüşüm sağlanır.	Geri dönüşüm yapılamaz.
Bağ kuvvetleri moleküller arasındadır.	Bağ kuvvetleri moleküller içindedir.
Genellikle ekzotermiktir.	Genellikle endotermiktir.
Tek veya çok moleküllu olabilir.	Tek moleküllüdür.

Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon olayının her ikisinin de gerçekleştiği durumda ilk olarak fiziksel adsorpsiyon meydana gelir. Sonuç olarak, sırasıyla gaz önce fiziksel sonra da katı ile kimyasal tepkimeye girerek kimyasal olarak adsorplanır [25].

İyon Değişimi; değişim (exchange) adsorpsiyonu, adsorbat ile yüzey arasındaki elektriksel çekim ile meydana gelmektedir. Fakat iyon değişimi olayı bu sınıfa dahil edilir. İyon değişimi olayında elektriksel olarak zıt yüklere sahip olan adsorbat ile adsorbent yüzeyinin birbirlerini çekmesiyle meydana gelmektedir. Bu olayın esası; elektrik yükü fazla olan iyonlar ve küçük çaplı iyonların daha iyi adsorbe olmasıyla açıklanır. Tüm bu adsorpsiyon çeşitlerine rağmen, bir adsorpsiyon işlemini tek bir adsorpsiyon çeşidi ile açıklamak mümkün değildir [23].

### **2.1.2.Adsorpsiyona Etki Eden Faktörler**

Adsorbentin yüzey alanı, tanecik boyutu, adsorpsiyon sıcaklığı, pH, adsorbatın çözünürlüğü, molekül büyüklüğü, karıştırma hızı gibi çeşitli faktörler adsorpsiyona etki etmektedir.

#### *2.1.2.1. Adsorbentin Yüzey Alanı*

Bir adsorpsiyon işleminde adsorbentin spesifik yüzey alanı, adsorpsiyon yüzdesini etkilemektedir. Adsorbentin toplam yüzey alanının adsorpsiyonda kullanılabilir kısmına “spesifik yüzey alanı” denir. Belli kütledeki katı adsorbentin adsorpsiyon yüzdesi, katı adsorbentin birim yüzey ağırlığı ve gözenekli olması ile artar. Böylece adsorpsiyon olayında adsorbentin yüzey alanı arttıkça adsorplanan madde miktarı da artmaktadır.

#### *2.1.2.2. Adsorbentin Tanecik Boyutu*

Adsorpsiyon olayında, adsorbentin tanecik boyutu adsorpsiyon hızını etkilediği için çok önemlidir. Adsorpsiyon hızı, partikül boyutu küçüldükçe artmaktadır.



### 2.1.2.3. Adsorbatın Çözünürlüğü

Genellikle; bir maddenin adsorpsiyon yüzdesiyle bu maddenin adsorpsiyonunun gerçekleştiği ortamdaki çözünürlüğü arasında ters orantı vardır. Adsorbatın çözünürlüğü ne kadar fazla ise adsorbent çözelti arasındaki bağ o kadar güçlü ve adsorpsiyon yüzdesi de o kadar az olur. Ayrıca; adsorpsiyon olayında adsorbatın çözünürlüğü adsorpsiyon dengesini kontrol eder.

Atık sularındaki bileşiklerin büyük bir kısmı iyonik ortamda olup, yüklü türler için adsorpsiyonun minimum ve nötr türler için ise maksimum değere ulaştığı bilinmektedir. Kompleks bileşikler için iyonlaşma etkisi çok önemli değildir. Örneğin; polar olmayan bir çözelti içerisinde bulunan polar olan bir madde polar bir adsorbent tarafından daha iyi adsorplanır.

### 2.1.2.4. Adsorbentin Moleküllü Büyüklüğü

Adsorbent boyutuna bağlı olarak mikro, mezo veya makro gözenekli yapılara sahip olabilir.

- 20Å° altında mikro gözenekli
- 20-200 Å° arasında mezo gözenekli
- 200 Å° üzerinde makro gözenekli

Mikro porların adsorbent içerisinde fazla yer tutması, yüzey alanının büyük olmasını sağlamaktadır. Böylece küçük moleküller kolay adsorbe edilir. Ayrıca adsorbentte makro porların geniş hacimde bulunması, hacimce büyük moleküllerin tutulması için uygundur. Geniş boyutlu maddelerin gözenek boyutunun adsorbatın küçük gözeneklere hızlı geçişini sağladığı kabul edilmektedir.

### 2.1.2.5. Karıştırma Hızı

Ortamın karıştırma hızına bağlı olarak adsorpsiyon hızı etkilenmektedir. Sistem karıştırma hızına bağlı olarak film difüzyonu veya gözenek difüzyonu ile kontrol edilmektedir. Düşük karıştırma hız seviyelerinde partikül etrafındaki sıvı film kalınlığı artar ve film difüzyonu hızı adsorpsiyonu sınırlar. Fakat sistemde uygun bir karışım

gerçekleşirse, film diffüzyon hızı, hızı sınırlandıran etmen olan gözenek diffüzyon noktasına ilerler.

#### 2.1.2.6. Çözelti pH'ı

Adsorpsiyonu etkileyen en önemli etmenlerden biri de pH'dır. Hidrojen ( $H^+$ ) ve hidroksil ( $OH^-$ ) iyonları güçlü bir şekilde adsorbe olduklarından dolayı diğer iyonların adsorpsiyonu çözeltinin pH'ından etkilenmektedir. Adsorpsiyon olayında katyonik iyonların farklı pH'larda adsorblanması ancak spesifik pH değerlerinde olurken, anyonik iyonların adsorpsiyonu ise ancak düşük pH değerlerinde meydana gelir. Çoğunlukla bazı organik kirleticilerin sulu çözeltilerdeki adsorpsiyonu azalan pH ile ters orantılı olarak artış gösterir [23-26].

#### 2.1.2.7. Sıcaklık

Adsorpsiyon reaksiyonları için sıcaklık önemli bir parametre olup adsorpsiyon hızını etkilemektedir. Adsorpsiyonun sıcaklığa bağlılığı endotermik veya ekzotermik olarak gerçekleşir. Genellikle, adsorpsiyon prosesinde sıcaklık arttığında reaksiyon hızının arttığı düşünülmektedir.

### 2.1.3. Adsorpsiyon Termodinamiği

Sabit basınç altında gerçekleştirilen bir tepkimenin adsorpladığı ısıya "entalpi değişimi" ( $\Delta H^\circ$ ) denir. Standart entalpi değişimi, adsorpsiyon prosesinde girenlerin ve ürünlerin standart koşullardaki entalpilerine bağlıdır. Standart entalpi değişiminin ( $\Delta H^\circ$ ) pozitif olması durumunda adsorpsiyon prosesi ısı adsorpluyor demektir ve endotermik bir prosestir. Standart entalpi değişiminin ( $\Delta H^\circ$ ) negatif olması durumunda ise adsorpsiyon prosesi ısı veriyor demektir ve ekzotermik bir prosestir.

Adsorpsiyonun standart molar Gibbs serbest enerjisi ( $\Delta G^\circ$ ), eşitlik 2.1 ile ifade edilir. Sabit sıcaklık ve standart koşullar altında, bir adsorpsiyon prosesinde standart entropi değişimi  $\Delta S^\circ$  eşitlik 2.2 ile hesaplanır.

$$\Delta G^0 = -RT \ln K_c \quad (2.1)$$

$$\Delta G^0 = \Delta H^0 - T\Delta S^0 \quad (2.2)$$

Burada  $K_c$ , ( $M_{ads}/ C_e$ ) oranı olan adsorpsiyon denge sabitidir.

$\Delta G^0 < 0$  değerlerinde prosesin mümkün olduğunu ve adsorpsiyonun doğal olarak kendiliğinden meydana geldiği düşünülmektedir.

$\Delta H^0$  ve  $\Delta S^0$  değerleri Van't Hoff eşitliği ile bulunur.

$$\ln K_c = -\frac{\Delta H_{ads}^0}{R} \left(\frac{1}{T}\right) + \frac{\Delta S_{ads}^0}{R} \quad (2.3)$$

Farklı sıcaklıkta gerçekleştirilen adsorpsiyon prosesinde; denge sabiti değerleri  $\ln K_c$  ile  $1/T$  arasında çizilen grafikten elde edilen doğrunun eğiminden  $\Delta H_{ads}^0$  ve kesim noktasından ise  $\Delta S_{ads}^0$  hesaplanır.

#### 2.1.4. Adsorpsiyon Kinetiği

Adsorpsiyon hızı, birim adsorbent miktarı tarafından adsorplanan boyar madde miktarının ( $q$ ) zamana karşı çizilen grafiğinde elde edilen doğrunun eğimidir.

$$r_{ads} = \Delta q / \Delta t \quad (2.4)$$

Burada;

$r_{ads}$ : Adsorpsiyon hızı (  $mg g^{-1} dak^{-1}$  )

$q$ : Birim adsorbent kütlesi tarafından adsorplanan boyar madde miktarı (  $mg g^{-1}$  )

$t$ : Zaman ( dak. )

Buradan;

$$q = (C_0 - C) / x_0 \quad (2.5)$$

$C_0$ : Boyar maddenin başlangıç derişimi ( mg L<sup>-1</sup> )

$C$ : Herhangi bir anda adsorpsiyon ortamında adsorplanmadan kalan boyar madde derişimi ( mg L<sup>-1</sup> )

$x_0$ : Adsorbentin çözeltideki derişimi ( g L<sup>-1</sup> )

Yalancı birinci ve ikinci derece kinetik modellerinden yararlanılarak, tüm adsorpsiyon basamaklarını içeren adsorpsiyon hız sabitleri hesaplanabilir. Bir çözeltide mevcut olan adsorbatın adsorbent tarafından adsorplanması dört temel aşamadan oluşur.

1. aşama; gaz veya sıvı fazda olan adsorbat moleküllerinin adsorbenti kaplayan bir film tabakasına diffüzlenmesidir.
2. aşama; film tabakasına gelen adsorbatın, adsorbentin gözeneklerine diffüzyonudur.
3. aşama; adsorbatın, adsorbentin gözenek boşluklarında hareketi olurken adsorpsiyon meydana geleceği yüzeylere diffüzlenmesidir (tanecik içi diffüzyon ).
4. aşama; adsorbatın, adsorbentin gözenek yüzeyinde tutulması ( sorpsiyon ) olayıdır.

Eğer; adsorbat faz hareketsizse 1. aşama en yavaş ve hızı belirleyen basamaktır. Fakat akışkan hareket ettirilirse, yüzey tabakasının kalınlığı azalacağından hız da artar. 4. aşama çok hızlı aşamadır ve ölçülemez. Hızı tayin eden basamaklar 2. ve 3. aşamalardır. 2.aşamada adsorpsiyon olayının ilk birkaç dakikasında ve 3.aşamadaysa adsorpsiyon prosesinde geri kalan kısmında olduğu için 3.aşama hızı doğrudan etkiler [18].

#### 2.1.4.1. Yalancı Birinci Derece Kinetik Model

Yalancı birinci derece kinetik modeli Lagergren tarafından katı/sıvı sistemlerin adsorpsiyonu için verilmiş olup formülü şu şekildedir.

$$\frac{dq}{dt} = k_1(q_e - q_t) \quad (2.6)$$

$k_1$ : birinci derece adsorpsiyon hız sabiti ( dak<sup>-1</sup> )

$t=0$  anında  $q_t=0$

$t=t$  anında  $q_t=q_t$  sınır koşulları uygulanılarak ( 2.6 ) nolu eşitliğin integrali alındığında (2.7) nolu eşitlik ile bulunur.

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (2.7)$$

$\ln (q_e - q_t)$ ' ya karşı  $t$  grafiği çizildiğinde eğimden  $k_1$  ve kesim noktasından  $q_e$  bulunabilir.

#### 2.1.4.2. Yalancı İkinci Derece Kinetik Model

İkinci derece kinetik modelin esası; katı fazın adsorpsiyon kapasitesine dayanır.

$$\frac{dq}{dt} = k_1 (q_e - q_t)^2 \quad (2.8)$$

$k_2$  ikinci derece adsorpsiyon sabiti (  $g \text{ mg}^{-1} \text{ dak}^{-1}$  )

$t=0$  da  $q_t=0$  olur

$t=t$  de  $q_t= q_t$  sınır koşulları uygulanıp (2.8 ) nolu eşitlik integrali alınır [27];

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

McKay ve Ho'ya göre (2.8 ) nolu eşitliğin lineerleştirilmiş hali ise;

$$\frac{t}{q} = \frac{1}{h} + \frac{t}{q_e} \quad (2.10)$$

$h = k_2 q_e^2$  olup burada  $h$  ( $mg \text{ g}^{-1} \text{ dak}^{-1}$ ) başlangıç sorpsiyon hızını verir.

$t/q'$  e karşı  $t$  grafiği çizilirse eğim ve kesim noktalarından  $q_e$  ve  $k_2$  hesaplanır [28].

#### 2.1.4.3. Partikül İçi Diffüzyon

Adsorpsiyon işleminde partikül içi diffüzyon kinetik modeli ilk olarak Weber ve Morris tarafından açıklanmıştır [29].

$$q_t = k_{id} t^{1/2} + I \quad (2.11)$$

$k_{id}$  : partikül içi diffüzyon sabiti.

$q_t$ 'ye karşı  $t^{1/2}$  grafiği çizilirse eğimden  $k_{id}$  adsorpsiyon sabiti bulunur.

I adsorpsiyon sınır tabakasının kalınlığını verir. I büyüdükçe bu tabakanın etkisi artar. Bu değer,  $q_t$  ile  $t^{1/2}$  arasında çizilen grafiğin başlangıç noktasından uzaklığıdır. Adsorpsiyonun başlangıç ve sonuç adımlarında kütle transfer hızı arasında farkı gösterir. Doğrunun (0,0) noktasından sapması por diffüzyonun hız kontrol adımı olmadığını gösterir. Por diffüzyonu birden fazla doğrusal adımdan oluşabilir. 2 adımlı por diffüzyonunda birinci adım bulk diffüzyonu, ikinci doğrusal adım partikül içi diffüzyonudur. Her adımda ayrı hız sabitleri (  $k_{id1}$ ,  $k_{id2}$ .. ) hesaplanabilir. Eğer birinci adımdaki doğru başlangıç noktasından geçiyorsa partikül diffüzyon hızı belirleyen adım olur [27, 30].

### 2.1.5. Adsorpsiyon İzotermi (Eş Sıcaklık Eğrisi)

Adsorpsiyon olayı, çözelti fazında bulunan adsorplanan madde derişimi ile katı yüzeye tutulan yani adsorplanan madde derişimi arasında dinamik bir denge kurulmasına kadar devam eder. Adsorpsiyon dengesini belirlemek için sabit sıcaklıkta dengedeki çözeltilde kalan madde derişimine karşı, adsorbentin birim ağırlığında adsorplanan madde miktarı arasında çizilen eğriye “adsorpsiyon izotermi” denir. Adsorpsiyon ısısı, kalorimetre cihazı ile Arrhenius eşitliği kullanarak doğrudan hesaplanabilir. Aktivasyon enerjisi, aşağıdaki kinetik hız bağıntısından bulunabilir [31].

$$\ln k_{ads} = \ln A - \frac{E_a}{RT} \quad (2.12)$$

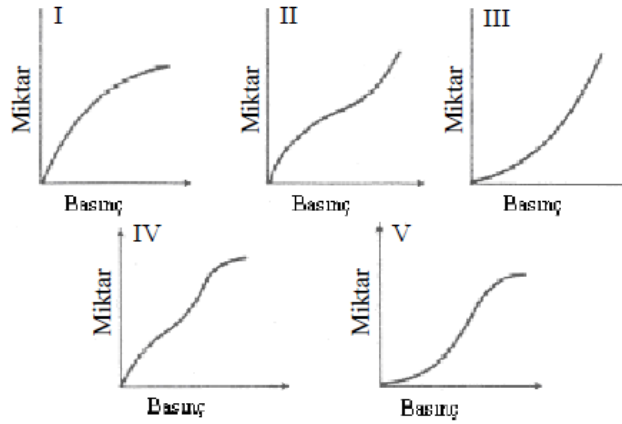
$k_{ads}$ : Hız Sabiti

A: Frekans Faktörü

$E_a$ : Aktivasyon enerjisi

Hız sabiti  $\ln k_{ads}$  ile  $1/T$  arasında çizilen grafiğin eğiminden  $E_a$  ve kesim noktasından A aktivasyon frekansı hesaplanabilmektedir.

Gaz-katı sistemlerinin adsorpsiyon eş-sıcaklık eğrisi Şekil 2.3’de gösterildiği gibi beş ana sınıftan oluşmaktadır.



Şekil 2.3: Başlıca adsorpsiyon eş –sıcaklık eğrileri

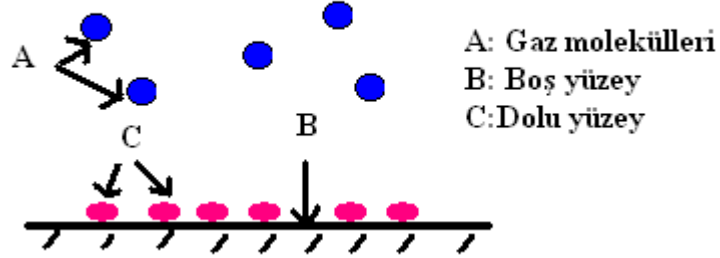
I. tip adsorpsiyon eş sıcaklık eğrisi; monomoleküler, yani tek tabakalı olan kimyasal adsorpsiyon izoterm eğrisidir. Bu eğri mikrogözenekli katılardaki adsorpsiyon izoterm eğrisine benzemektedir. II. tip adsorpsiyon eş sıcaklık eğrisi birinci tabakanın adsorpsiyon ısısı yoğunlaşma ısısından daha fazla olan adsorpsiyon izotermidir. Bu eğrinin ilk kısmında izotermin tek tabakalı dönüşüm noktasından, sonra ise çok tabakalı adsorpsiyon şeklinde tamamlanmaktadır. III. tip adsorpsiyon eş sıcaklık eğrisi; birinci tabakanın adsorpsiyon ısısı yoğunlaşma ısısında daha az olan adsorpsiyon izotermidir. Bu eğri adsorplama kapasitesi fazla olan katılardaki adsorpsiyon izotermine benzemektedir. IV. tip adsorpsiyon eş sıcaklık eğrisi; birinci tabakanın adsorpsiyon ısısı yoğunlaşma ısısında daha fazla olan adsorpsiyon izotermidir. Bu eğrinin ilk kısmında izotermin tek tabakalı, ikinci kısımda yani dönüşüm noktasından sonra ise çok tabakalı adsorpsiyon şeklinde ve üçüncü kısmında ise kılcak yoğunlaşma şeklinde meydana gelmektedir. V. tip adsorpsiyon eş sıcaklık eğrisi; birinci tabakanın adsorpsiyon ısısı yoğunlaşma ısısından daha az olan adsorpsiyon izotermidir. Bu eğrinin ilk kısmında izoterm tek tabakalı veya çok tabakalı olabilir, dönüşüm noktasından sonra ise kılcak yoğunlaşma meydana gelmektedir. Adsorplama kapasitesi az olan maddeler ile mezogözenek içeren katılardaki adsorpsiyon izotermi bu eğriye benzemektedir. Tablo 2.2’de mikro, mezo ve makro gözenek tiplerine uygun adsorpsiyon izoterm tipleri ve örnekleri görülmektedir [27,32].

Tablo 2.2: Mikro, mezo ve makro gözenek tiplerine uygun adsorpsiyon izoterm tipleri ve örnekleri

	<i>Mikro Gözenek (&lt;2nm)</i>	<i>Mezo Gözenek (2-50nm)</i>	<i>Makro Gözenek (&gt;50nm)</i>
<i>Güçlü Etkileşim</i>	I.Tip Aktif karbon, zeolit	IV. Tip Jel, zeolit	II.Tip Kil, pigment
<i>Zayıf Etkileşim</i>		V.Tip Kömürün üzerine su ads.	III.Tip Silika jel üzerine brom ads.

#### 2.1.5.1. Langmuir Modeli:

Langmuir modeline göre; adsorbent yüzeyinde sabit sayıda aktif adsorpsiyon merkezi bulunur, bu merkezlerin hepsi aynı enerji düzeyine sahiptirler ve adsorplanan bileşenler adsorbent maddenin yüzeyinde doymun tek bir tabaka meydana getirirler. Buna tek tabakalı (monolayer) adsorpsiyon denir.



Şekil 2.4: Langmuir izoterm modeli

Langmuir'e göre adsorpsiyon dengesi dinamik dengedir ve yüzeye tutulmuş moleküller birbirleriyle etkileşim göstermektedir. Buna göre herhangi bir molekül yüzeye çarptığında yoğunlaşır, buharlaşmadan önce belli bir süre geçmesi gerekir. Bu gecikme de moleküllerin yüzey katmanında yoğunlaşmasına neden olur. Bu olaya da adsorpsiyon denir. Ayrıca, moleküller arasındaki ikinci katta yer alan kuvvetlerin kristal yüzeyinde ve moleküllerin ilk katında bulunan kuvvetlerden daha az olduğu öne



sürülmüştür. Langmuir modeline göre; birim adsorbent tarafından adsorplanan madde miktarı Formül 2.13 ile bulunur.

$$q_e = \frac{q_t K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (2.13)$$

Burada;

$q_e$ : dengede, birim adsorbent kütlesi tarafından adsorplanan madde miktarı (  $\text{mg g}^{-1}$  )

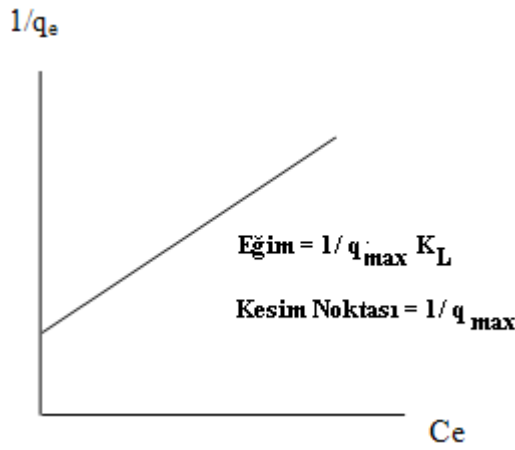
$C_e$ : Dengede, adsorplanan çözültide kalan adsorplanan madde derişimi (  $\text{mg L}^{-1}$  )

$K_L$ : Adsorpsiyon entalpisi ile ilgili adsorbentin adsorbentle ilgisi ve aralarındaki bağın kuvvetli olduğunu gösteren sabit. (  $\text{L g}^{-1}$  )

$q_{\max}$ : Yüzeyde tam bir tek tabaka oluşturmak için, adsorbentin birim kütlesi başına adsorplanan miktarı (  $\text{mg g}^{-1}$  )

Langmuir eşitliği formül (2.14)'de verilmiştir

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_{\max}} + \frac{1}{q_{\max} K_L} \cdot \frac{1}{C_e} \quad (2.14)$$

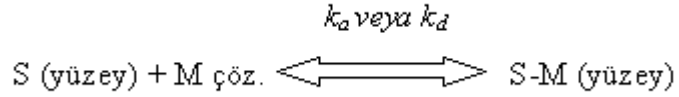


$C_e / q_e$  ' e karşı  $C_e$  grafiğinin eğimi  $1/q_{\max}$  ve y ekseninin kesim noktası  $1/K_L q_{\max}$  verir.

Adsorpsiyon çok az, yani  $K_L C_e \ll 1$  ise, dengede birim adsorbent başına adsorplanan madde miktarı, çözültide adsorplanan madde miktarı ile orantılıdır.

$$q_e = q_{\max} K_L C_e \quad (2.15)$$

Adsorpsiyon fazla olduğunda ise  $K_L C_e \gg 1$  olur. Denge de birim adsorbent başına adsorplanan madde miktarı ( $q_{\max}$ ) sabit kalır ve  $q_e$  olur. Bu model seyreltik çözeltilerdeki adsorpsiyonda iyi sonuç vermektedir.



( $k_a$  ve  $k_d$  sırasıyla adsorpsiyon ve desorpsiyon sabitleridir.)

$R_L$ , adsorpsiyon izoterminin tipi hakkında bilgi verir.  $R_L$  birimsizdir ve aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$R_L = \frac{1}{(1 + K_L C_0)} \quad (2.16)$$

$K_L$ : Langmuir İzotermi sabiti ( $L \text{ mol}^{-1}$ )

$C_0$ : başlangıç derişimi ( $\text{mol L}^{-1}$ )

Tablo 2.3:  $R_L$  değerleri ve izoterm tipleri

$R_L$ Değerleri	İzoterm Tipi
$R_L > 1$	Elverişli Olmayan
$R_L = 1$	Lineer
$0 < R_L < 1$	Adsorpsiyon kendiliğinden
$R_L = 0$	Tersinmez

Langmuir modeli homojen yüzeyler üzerinde adsorpsiyona uygulanır ve aşağıdaki varsayımlara dayanır;

- Adsorplanan moleküller arasında herhangi bir etkileşim yoktur.
- Adsorpsiyon tersinirdir.
- Adsorplayıcı yüzeyi homojendir ve adsorpsiyon enerjisi sabittir.

- Katı yüzeyine adsorplanan moleküller tek tabaka şeklindedir [27, 33].

#### 2.1.5.2. Freundlich İzotermi:

1906'da Freundlich tarafından ortaya atılan izoterme göre; bir adsorbentin yüzeyi üzerinde bulunan adsorpsiyon bölgeleri heterojen olup formül (2.17) ile ifade edilir.

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (2.17)$$

ile ifade edilir.

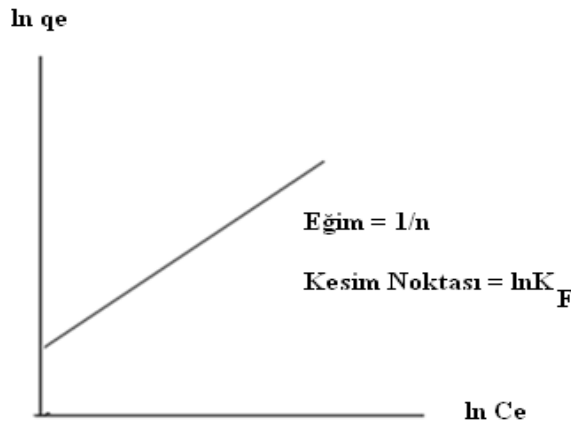
$q_e$ : 1 g adsorban tarafından adsorplanan madde miktarı ( mol g<sup>-1</sup> )

$K_F$  (Adsorpsiyon kapasitesi) ve  $1/n$  (Adsorpsiyon şiddeti) Freundlich izoterm sabitleri.

$C_e$ : Denge de çözeltideki adsorbanın derişimi ( mol L<sup>-1</sup> )

(2.17) denkleminin her iki tarafının tabii logaritması alındığında ;

$$\ln q_e = \ln K_F + 1/n \ln C_e \quad (2.18)$$



Şekil 2.6: Freundlich izoterm grafiği

$K_F$  : Adsorpsiyon kapasitesi ( L/g)

$1/n$  : Adsorpsiyon şiddeti olup 1'den büyük katsayı şeklinde doğrusal bir denklem olur [27,34].

#### 2.1.5.3. Temkin İzotermi

Tabaka içindeki tüm moleküllerin adsorpsiyon ısısı esas alınarak oluşturulmuş olup, adsorbatların etkileşimlerinden dolayı lineer olarak azalır. Temkin izotermi ifade eden eşitlik aşağıda verilmiştir.

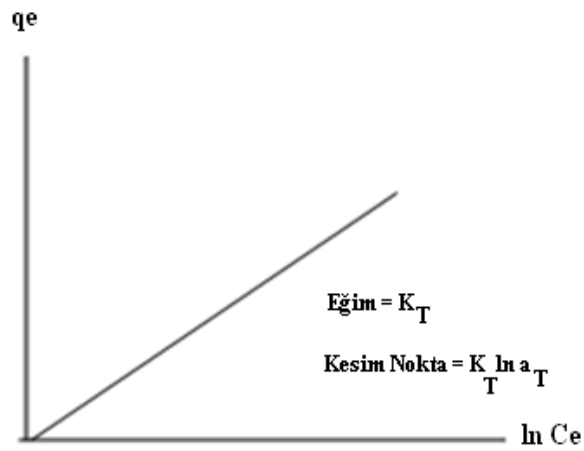
$$q_e = K_T \ln a_T + K_T \ln C_e \quad (2.19)$$

ile ifade edilir.  $q_e$  değerleri,  $\ln C_e$ 'ye karşı grafiğe geçirildiğinde elde edilen doğrudan  $a_T$  ve  $K_T$  sabitleri bulunur [35].

$q_e$ : 1 g adsorban tarafından adsorplanan madde miktarı (  $\text{mg g}^{-1}$  )

$K_T$ : Temkin izoterm sabiti (  $\text{L g}^{-1}$  )

$C_e$ : Denge de çözeltideki adsorbanın derişimi (  $\text{g L}^{-1}$  )



Şekil 2.7: Temkin izoterm grafiğı

#### 2.1.5.4. Redlich – Peterson Modeli

Redlich – Peterson izotermine göre; adsorpsiyon dengesini diğer modellerle uyum sağlamadığı durumlar için geliştirilmiştir. Üç farklı parametre içeren bir modeldir. Bu eşitlik genel olarak;

$$q_e = \frac{K_{RP} C_e}{1 + a_{RP} C_e^\beta} \quad (2.20)$$

$K_{RP}$  ve  $a_{RP}$  Redlich – Peterson sabitleri olup birimleri sırasıyla (  $\text{L g}^{-1}$  ) ve (  $\text{L}^\beta/\text{mg}^\beta$  ) dir.

$\beta = 1$  olduğu zaman

$$q_e = \frac{K_{RP} C_e}{1 + a_{RP} C_e} \quad (2.21)$$

$\beta=0$  olduğu zaman

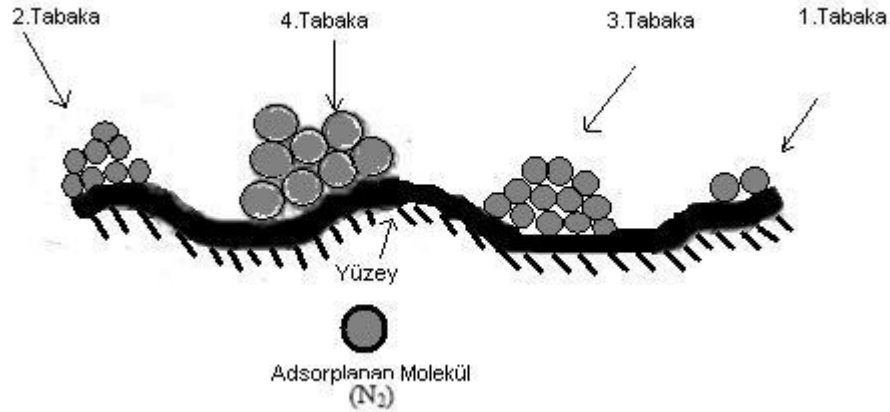
$$q_e = \frac{K_{RP} C_e}{1 + a_{RP}} \quad (2.22)$$

şeklinde yazılabilir [36].

#### 2.1.5.5. Brunauer-Emmett-Teller (BET) İzotermi

BET izotermi özellikle çok tabakalı adsorpsiyonu açıklar. BET izotermine göre;

- i) Katının yüzeyi tek moleküllü bir tabaka ile kaplanmadan önce yüzeyde çok moleküllü tabakalar meydana gelir.
- ii) Oluşan her bir tabaka için bir denge gerçekleşir.
- iii) İlk tabaka dışında bağ enerjisinden sorumlu kuvvetler gazın sıvılaşmasındaki kuvvetlerle aynıdır.



Şekil 2.8: Brunauer-Emmett-Teller (BET) izoterm modeli

Brunauer-Emmett-Teller (BET) izotermi eşitliğine göre;

$$\frac{P}{V(P_0 - P)} = \frac{1}{V_m C} + \frac{C - 1}{V_m C} \frac{P}{P_0} \quad (2.23)$$

V: belirli bir P basıncında ve T sıcaklığında adsorplanmış olan gazın standart koşullara göre hesaplanmış hacmi,

$P_0$ : belirli bir T sıcaklığında sıvının doymuş buhar basıncı,

$V_m$ : yüzey tek tabaka kapasitesi ve

$$C = \exp(H_1 - H_L) / RT \quad (2.24)$$

olup belirli bir sıcaklıkta sabittir.

$H_1$ : ilk tabakanın entalpisi

$H_L$  : ikinci ve sonraki tabakaların entalpisidir ve

$$H_1 - H_L = \Delta H_{ads} \quad (2.25)$$

şeklinde yazılabilir. Yukarıdaki denklem vasıtasıyla  $V_m$  ve adsorbentin yüzey alanı ve özgül yüzey alanı hesaplanabilir [32].

### 2.1.5.6. Çok Bileşenli Langmuir İzotermi

İki bileşenli sistemlerde adsorpsiyon dengesinin matematiksel ifadesi, çok bileşenli sistemler için oluşturulmuş olan eşitliklerin iki bileşenli sistemlere indirgenmiş hali olarak oluşturulmaktadır [17].

$$q_{e1} = \frac{Q_1^0 b_1 C_{e1}}{1 + b_1 C_{e1} + b_{11} C_{e1}} \quad (2.26)$$

$q_{e1}$ : dengede birinci boyar maddenin, birim adsorbent kütle başına adsorplanan miktarı ( $\text{mg g}^{-1}$ )

$C_{e1}$ : dengede birinci boyar maddenin, adsorplanmadan çözeltide kalan derişimi ( $\text{mg L}^{-1}$ )

$Q_1^0$ : birinci boyar maddenin Langmuir adsorpsiyon sabiti ( $\text{mg g}^{-1}$ )

$b_1$ : birinci boyar maddenin Langmuir adsorpsiyon sabiti ( $\text{L mg}^{-1}$ )

$b_{11}$  : ikinci boyar maddenin Langmuir adsorpsiyon sabiti ( $\text{L mg}^{-1}$ )

## 2.2. BOYAR MADDE

Cisimleri renkli hale getirmek için kullanılan organik maddelere “boyar madde” denir. Boyar maddeler çözelti veya süspansiyon şeklinde kullanılırlar. Cismin yüzeyi ile kimyasal etkileşmeye girerler. Kazıma, silme veya yıkamayla renksiz duruma gelmezler [15,22,37].

Genel olarak boyar maddeler 4 temel özelliklere göre sınıflandırılırlar. Bunlar:

- Çözünürlük
- Boyama özellikleri
- Kimyasal yapı
- Kullanım alanları

### 2.2.1. Çözünürlüğe göre boyar maddeler

Boyar maddeler çözünürlüklerine göre iki sınıfa ayrılırlar.

- a) Suda çözünen boyar maddeler
- b) Suda çözünmeyen boyar maddeler

#### 2.2.1.1. Suda çözünen boyar maddeler

Boyar madde bünyesinde en az bir tane tuz oluşturabilen grup bulunur. Boyar maddelerin oluşumu esnasında kullanılan başlatıcılar eğer suda çözünen grup içermiyorsa, bu grup boyar madde moleküllerine daha sonraki safhalarda ilave edilerek çözünürlük özelliği kazandırılabilir. Başlatıcıların iyonik gruba sahip olmaları tercih edilen yöntemdir [15,22,37].

Sahip oldukları tuz oluşturabilme yapısına göre

- Anyonik suda çözülen boyar madde
- Katyonik suda çözülen boyar madde
- Zwitter iyon karakterli suda çözülen boyar madde olarak üçe ayrılırlar.

*Anyonik Suda Çözünen Boyar maddeler:* Suda çözünebilen grup olarak en çok sülfonik (-SO<sub>3</sub><sup>-</sup>) kısmen de karboksilik (-COO<sup>-</sup>) asitlerin sodyum tuzlarına sahiptirler. Asit ve direkt boyar maddeler anyonik suda çözünen boyar maddelerdir.

*Katyonik Suda Çözünen Boyar maddeler:* Suda çözünebilen katyonik boyar maddeler kağıt, modifiye edilmiş naylon ve poliestere uygulanır. Moleküldeki çözünürlüğü bazik grup sağlar. Tıpta antiseptik olarak kullanılırlar.

*Zwitter İyon Karakterli Boyar maddeler:* Zwitter iyon karakterli boyar maddeler yapılarında hem asit hem de bazik grup bulundurlar. Ayrıca iç tuz meydana getirirler.

### 2.2.1.2.Suda çözünmeyen boyar maddeler

Tekstil başta olmak üzere pek çok sahada kullanılan suda çözünmeyen boyar maddeleri farklı gruplara ayırabiliriz. Bunlar; substratta ve organik çözücülerde çözünen, çözünürlüğü geçici olan boyar maddelerdir.

*Substratta çözünen boyar maddeler:* Genellikle elyaf üzerine uygulanan boyar maddelerdir. Suda çok ince süspansiyonlar halinde dağıtılarak kullanılırlar.

*Organik çözücüde çözünen boyar maddeler:* Bütün organik çözücülerde çözünebilen bu boyar maddeler çözücü olarak bilinmektedirler. Petrol ve matbaa mürekkebi renklendirilmesinde kullanılırlar.

*Polikondensasyon boyar maddeleri:* Elyaf üzerine uygulanırken veya uygulama işlemi bittikten sonra birbirlerine veya diğer moleküllerle birleşip büyük moleküller meydana getiren boyar maddelerdir.

*Geçici çözünürlüğü olan boyar maddeler:* Farklı indirgenme maddeleri ile suda çözünebilme özelliği olan hale getirildikten sonra elyafa uygulanırlar. Daha sonra elyaf içindeyken tekrardan yükseltgenerek suda çözünmeyen forma gelirler.

*Elyaf içinde meydana getirilen boyar maddeler:* Elyaf içinde kimyasal bir reaksiyonla iki ayrı bileşenden oluşturulan boyar maddelere denir. Suda çözünmeyen pigmentler de denilebilir. Azoik boyar maddeler ve ftalosiyaninler bu sınıfa girerler.

### 2.2.2.Boyama özelliklerine göre boyar maddeler

Boyama özelliklerine göre boyar maddeler için önemli olan boyama işleminin hangi yöntemle yapıldığıdır. Dolayısıyla bu yöntemler şu şekilde sınıflandırılabilir [15,22,37].

- Bazik boyar maddeler
- Asit boyar maddeler



- Direkt boyar maddeler
- Mordan boyar maddeler
- Küpe boyar maddeler
- İnkışaf boyar maddeler
- Metal-Kompleks boyar maddeler
- Dispers boyar maddeler
- Pigment boyar maddeler
- Reaktif boyar maddeler

#### 2.2.2.1. Bazik boyar maddeler

Katyonik grubu renkli kısımda taşıyan bazik boyar maddeler organik bazların hidrürleri şeklinde olurlar. Bazik özelliklerinden dolayı anyonik grup içeren liflere bağlanırlar. Genellikle poliakrilanitril kısmen yün ve pamuk elyafın bazik boyar maddesinde kullanılırlar.

#### 2.2.2.2. Asit boyar maddeler

Genel olarak şu formülle ifade edilirler:  $Bm-SO_3-Na^+$

Burada Bm; boyar maddeyi göstermektedir. Asit boyar maddeler yapılarında, birden fazla sülfonik grubu ( $-SO_3$ ) veya karboksil asit ( $-COOH$ ) grubu bulundurlar. Yün ipek, poliamid, kağıt, deri ve besin gibi maddelerin boyanmasında kullanılırlar. Asit boyalarında hazırlanan bu boyar maddeler organik asit tuzları olarak da bilinirler.

#### 2.2.2.3. Direkt boyar maddeler

Genellikle sülfonik asitlerin bazen de karboksilli asitlerin sodyum tuzlarıdır. Renkli kısmı anyon şeklindedir. Elyafın iç misellerinde hiçbir kimyasal bağ oluşmadan depo edilirler. Sulu çözeltilerde zwitter iyon şeklinde bulunan bu boyar maddelerin suya dayanımları sınırlıdır.

#### 2.2.2.4. Mordan boyar maddeler

Mordan boyar maddeler asidik veya bazik fonksiyonel gruplar içerirler. Hayvansal / bitkisel elyaf ile kararsız yapı oluştururlar. Bu yüzden hem elyaf hem de boyar maddeye

karşı aynı kimyasal ilgiyi gösteren mordan, başlangıçta elyafa yerleştirilir, sonra elyafı boyar madde suda çözünmeyen bileşik vermek üzere reaksiyona sokulur. Bu şekilde boyar maddelerin elyaf üzerinde kalması sağlanır.

#### *2.2.2.5.Küpe boyar maddeler*

Karboksil grubu içerdiklerinden dolayı suda çözünmeyen küpe boyar maddeler yalnızca indirgenme ile suda çözünür hale getirilerek boyama işleminde kullanılırlar. Sodyum hidroksil, sodyumhidrosülfit ve sodyumsülfat gibi bir indirgen ilave edilmesiyle suda çözünebilir bileşiklere dönüşürler. Oksidasyon işlemine maruz bırakıldıklarında tekrardan suda çözünmez olurlar. Bu işlem için hava kullanılır ve küpe boyar maddeler selüloz, protein ve elyaf boyanmasında tercih edilirler.

#### *2.2.2.6.İnkişaf boyar maddeler*

Azoik boyar maddeler olarak bilinen inkişaf boyar maddeler ftalosiyenin boyar maddeleri ile aynı sınıftandır. Elyafa yatkınlığı fazla olan bileşen ile işleme tabi tutulur, sonra farklı bir bileşenle reaksiyona sokularak suda çözünmeyen boyar maddeye dönüşebilirler.

#### *2.2.2.7.Metal-Kompleks boyar maddeler*

Bazı azo boyar maddeleri ile metal iyonların kompleks oluşturmasıyla meydana gelirler. Metal-Kompleks boyar maddelerin metal katyonu olarak Co, K<sub>r</sub>,Ni gibi iyonlar tercih edilir. Yün, poliamid, pamuk ve deri boyanmasında kullanılırlar.

#### *2.2.2.8.Dispers boyar maddeler*

Suyun içinde bulunan eser miktarda çözünebilirler. Bu yüzden sudaki dispersiyonları halinde boyama işlemi esnasında hidrofolik elyaf üzerine diffüzyonu ile gerçekleşir. Özellikle poliester elyafın boyanmasında kullanılır.

### 2.2.2.9.Pigment boyar maddeler

Tekstilde elyaf, anorganik ve organik pigmentlerle boyanabilir. Kimyasal bağ ve adsorpsiyon yapmayan pigment boyar maddeleri için bağlayıcı madde sentetik reçineler ile elyaf üzerine bağlanarak boyama işleminde kullanılırlar.

### 2.2.2.10.Reaktif boyar maddeler

Selüloz ile kimyasal reaksiyona girerek kovalent bağ oluşturduklarından dolayı yıkamaya karşı dayanıklıdır. Soğuk çözeltilerde bile boyama yapabildiklerinden enerjiden tasarruf etmeyi sağlarlar. Küçük molekülü olan reaktif boyar maddelerinin diffüzyon hızları büyüktür. Böylece boyama işlemleri kısa sürede gerçekleşir.

## 2.2.3.Kimyasal yapılarına göre boyar maddeler

Boyar maddeler yapılarına göre sınıflandırılırken, molekülün temel yapısı, kromojen ve renk verici özellikleri dikkate alınır.

Kimyasal yapılarına göre boyar maddeler çeşitli şekillerde gruplanırlar.

- Azo boyar maddeleri
- Nitro ve nitrozo boyar maddeleri
- Arilmetin boyar maddeleri
- Karbonil boyar maddeleri
- Kükürt boyar maddeleri

### 2.2.3.1.Azo boyar maddeleri

Azo boyar maddelerinin yapısında bulunan kromofor grup ile karakterize edilirler. Bu gruptaki azot atomları  $sp^2$  hibritleşmesiyle karbon atomlarına bağlanırlar. Azo gruplarına bağlanan karbon atomlarından biri aromatik (benzen, naftalen ve türevleri) veya heterosiklik halka, diğeri ise alifatik zincire bağlanarak bir grup oluştururlar. Böylece; molekülde en az bir aril grup bulunur. Doğal boyar maddelerin hiçbirinde azo grubu bulunmaz. Molekülde bulunan azo grubuna göre mono-, dis-, tris-, tetrakis- azo

boyar maddeleri olarak adlandırılırlar. Üç ve daha fazla sayıda azo grubu içeren azo boyar maddelerine “ poliazo boyar maddesi” de denilir.

#### 2.2.3.2. Nitro ve Nitrozo boyar maddeleri

Yapılarında nitro veya nitrozo grubu taşıyan ve bununla beraber  $-OH$ ,  $-NR_2$  gibi elektron verici grup bulunduran boyar maddelere denir.

#### 2.2.3.3. Arilmetin boyar maddeleri

Arilmetin boyar maddelerinin genel formülleri  $Ar-X-Ar$  ( X:  $-CH_2$  ve  $-NH_2$  ) şeklinde gösterilir.

#### 2.2.3.4. Karbonil boyar maddeleri

Molekül yapısında konjuge çift bağlar ve bunlara konjuge halde en az iki karbonil grup içeren bileşiklere denir.

#### 2.2.3.5. Kükürt boyar maddeleri

Aromatik aminlerin ve fenollerin; kükürt ve sodyum sülfür veya sodyum polisülfür ile reaksiyonu sonucu oluşan, suda çözünmeyen renkli organik bileşiklere denir.

Tablo 2.4 ve 2.5’de boyanın yapılarına göre kromojen grupları ile boyanın sınıflandırılması ve uygulama metotları verilmiştir.

Tablo 2.4: Yapılarına göre kromojen gruplar

<i>Yapıdaki Kimyasal Grup</i>	<i>Bağlar</i>
Azo	$N=N$
Nitro	$-NO_2$
Nitrozo	$-NO$
Etilen	$=C=C=$
Karbonil	$=CO$
Kükürt	$=C=S$
Karbon-Azot	$=C=NH$

Tablo 2.5: Bazı boyar madde sınıfları, uygulama metotları ve kimyasal tipler

<i>Sınıf</i>	<i>Kimyasal Tipler</i>	<i>Uygulandığı Materyal</i>	<i>Uygulama Metodu</i>
Bazik	Diazokarbosiyanin, siyanin, azo, azin, oksazin,	Kâğıt, poliakrolonitril, poliester ve mürekkep	Asidik boya havuzları
Asit	Yarı metali azo, azin, nitro ve nitrozo	Naylon, kâğıt, ipek, mürekkep ve deri	Asidik boya havuzları
Direkt	Azo, ftalosiyenin, oksazin	Kâğıt, pamuk, deri ve naylon	Alkalin havuzları
Mordan	Azo, antrakinon	Yün, deri ve kürk ve pamuk	Cr tuzları bağlanma şelat şeklinde
Dispers	Azo, antrokinon, sitiril, nitro ve benzodifuranon	Poliester, poliamid, asetat, akrilik plastik	Çok küçük süspanse partikül yüksek sıcaklık basınç veya düşük sıcaklıkta taşıyıcı olarak
Pigmentler	Azo ve bazik	Boyama boyaları ve mürekkep	Lif üzerine reçine ile yazma
Reaktif	Azo, antrakinon, ftalosiyenin, formazan	İpek, pamuk, yün, ve naylon	Boyadaki reaktif kısım fonksiyonel grupla life uygulama

### 2.3. ALG

Deniz çevreleri, tuzlu su, nemli ağaç gövdeleri, kayalıklar, kızgın çöllerde dahil bir çok çeşitli ortamda, yumuşak katmanlar veya öbekler oluşturularak büyüyen bitki benzeri canlılara deniz yosunu veya alg denir. Yapılarında kök, gövde ve yaprak organlar farklılaşmamış halde bulunur ve klorofil içeren çiçeksiz sporlu bitkilerdir. Günümüzde alg; tıp, eczacılık, gıda, kozmetik ve tarım olmak üzere birçok alanda kullanılmaktadır

[38]. Halk arasında yosun olarak bilinmekte olan alg eski çağlardan beri insan ve hayvan için besin olarak kullanılmaktadır [39].

Deniz alglerin boyut, ağırlık ve şekil vb. gibi fiziksel özelliklerinde büyük farklılaşmalar gösterir. Birkaç mikrondan yaklaşık 40-50 metreye kadar değişebilen boylara ve birkaç mikrogramdan tonlarca ağırlıklara kadar değişebilen ağırlıklara sahip olabilirler. Yapıları, çok basit yapıdan yüksek bitkilerdekine benzer gelişmiş yapıya kadar büyük farklılıklar gösterir [40].

Protein kaynağı olan algler, canlılar için gerekli birçok aminoasit çeşidine de sahiptir. Uzakdoğu ülkelerinde özellikle Japonya’da hazır besin maddesi olarak “Asaksanori, Suschi, Amanori, Tjintiow, Kanten, Kombu” gibi isimler altında tüketilmekte, ayrıca çay olarak içilmektedir. Ülkemizde Ulva, Porphyra, Gelidium, Rhodymenia, Laurencia, Polysiphonia adlı algler bulunmaktadır [40].

### **2.3.1. Alglerin Tarihte Kullanımı**

İlk olarak M.Ö. 2700 yıllarında Çin asıllı Shen-Nung “Materia Medica” adlı eserinde alglere yer vermiştir. Shen-Nung’e göre, Yunanlı Dioscorides algleri ilk olarak ilaç yapımında kullanmıştır. Eski çağlardan beri; Romalılar ve Mısırlılar kozmetikte, Uzak Doğu ise gıdada, Avrupa’da ise gübre olarak kullanıldığı bilinmektedir [41].

Milattan sonra deniz alglerini tıp ve gıdada besin olarak Çin, Japonya ve Kore gibi Uzak Doğu ülkeleri kullanmıştır. 17.y.y.’da Fransa’da cam yapımında deniz algleri kullanılmıştır [42]. Batı Avrupa’da deniz alglerinden inorganik madde üretilirken, Japonya’da alglerden polisakkarit üretimine başlanılmıştır. Ekonomik amaçlı en sık kullanılan algler; kahverengi algler (Phaeophyta, Fucophyta), kırmızı algler (Rhodophyta) ve yeşil alglerdir (Chlorophyta) [43].

### 2.3.2. Alglerin Kullanım Alanları

#### 2.3.2.1. Gübre

Dünyanın birçok sahil yöresindeki algler fosfor, potasyum ve bazı elementlerin varlığından dolayı gübre olarak kullanılırlar [44].

#### 2.3.2.2. Gıda ve İlaç

Phaeophyceae ve Rhodophyceae gibi algler; karbonhidrat, protein, vitamin ve mineral içerdiklerinden dolayı besin kaynağı olarak kullanılmaktadırlar. Bu gruba giren algler aşağıdaki özelliklere sahiptir.

- Bağımsızlık sistemini güçlendirir, bazı bakterileri yok eder ve sindirim sistemini destekler.
- Kanserle karşı koruyucu ve anti tümör etkiye sahiptir.
- Düzenli kilo kaybına yardımcı olur.
- Zararlı maddelerin (serbest radikal, hava kirliliği, sigara, alkol v.b. gibi) etkisine karşı kısmi koruyuculuk sağlar.
- Yaşlılığı geciktirir.
- Radyasyon ve civa-kurşun gibi toksit metallerin etkilerinden vücudun korunmasına ve giderilmesine yardımcı olur.
- Bazı algler demir, bakır, manganez, çinko bakımından zengin kaynaklardır.
- Düşük kalorili ve tok tutucu yiyeceklerin yapımında kullanılır.
- Yağ ve mum içeren çözeltilerde akıcılık kazandırmak için tabletlerde ise ayrıştırma maddesi ve dolgu maddesi olarak kullanılır.
- Tabletlerin üzerine kaplama ile antibiyotik, hormon ve vitamin gibi maddelerin içilebilir hale getirilmesi için kullanılır.

#### 2.3.2.3. Hayvan Yemi

- Phaeophyceae, Rhodophyceae ve bazı yeşil algler hayvan yemi üretiminde kullanılır.

- Planktonik algler, Protozoa, Crustacea, balıklar ve diğer sucul canlılar için en büyük besin kaynağıdır.

#### 2.3.2.4. Atık Suların Arıtılmasında

- Evsel ve endüstriyel atıklar, çözülmüş veya askıdaki organik ve inorganik bileşikleri içerir. Bu atıkların giderilmesinde oksijenli bir ortama ihtiyaç vardır ve bu oksijenlendirme bazı algler tarafından sağlanır.
- Temizlenmesi güç olan azot ve fosfor gibi bileşikleri bazı algler tarafından kullanılarak temizleme işlemi yapılır.

#### 2.3.2.5. Alkol Endüstrisinde

- Bira ve şarap için berraklaştırıcı olarak,
- Kokteyl karışımlarının çökmesini engellemek için stabilizatör olarak kullanılır.

#### 2.3.2.6. Kozmetik Endüstrisinde

- Alginat; losyon, cilt temizleme ürünlerinde, saç spreyi ve boyalarında, cilt kremlerinde,
- Sabunlarda köpük artırıcı olarak ,
- Diş macunu yapımında,
- Bozulmayan, çabuk sertleşen diş kalıbı yapımında,
- Şampuanların içinde temizleyici olarak kullanılır.

#### 2.3.2.7. Kağıt Endüstrisinde

- Kağıtların yüzeylerini cilalamakta ve su sızdırma ile mürekkep dağılımını önlemek amaçlı,
- Dolgu materyali olarak özellikle parşömen kağıdı üretiminde kullanılır.

#### 2.3.2.8. Boya Endüstrisinde

- Emülsiyonu sabitleştirmek ve fazla akıcılığı durdurmak için,
- Pigmentlerin fazla zarar görmesini önlemek, boya zenginleştirici ve çözücü olarak kullanılır.



### 2.3.2.9. Tekstil Endüstrisinde

- Desen basımından önce katılaştırıcı olarak kullanılır.
- Özel püskürtme yöntemiyle ipeğe benzeyen yapay iplik üretiminde kullanılır.
- Doğal kauçuğa ilave edilerek kauçuğun yumuşaklık ve akıcılık kazanmasını sağlar.

### 2.3.3. Alglerin Sınıflandırılması

Algler yapılarına, şekillerine, üreme şekilleri ve pigment maddelerine göre sınıflandırılır.

Algler yapılarına göre;

Ökaryotik (gelişmiş hücre tipi) ve Prokaryotik (basit yapılu hücre tipi) olmak üzere iki büyük gruba ayrılırlar.

*Algler şekillerine göre;*

- İpliksi
- Yapraksı
- Şeritsi
- Tüpsü
- Makroskobik veya mikroskobik yapıya sahip olabilirler.

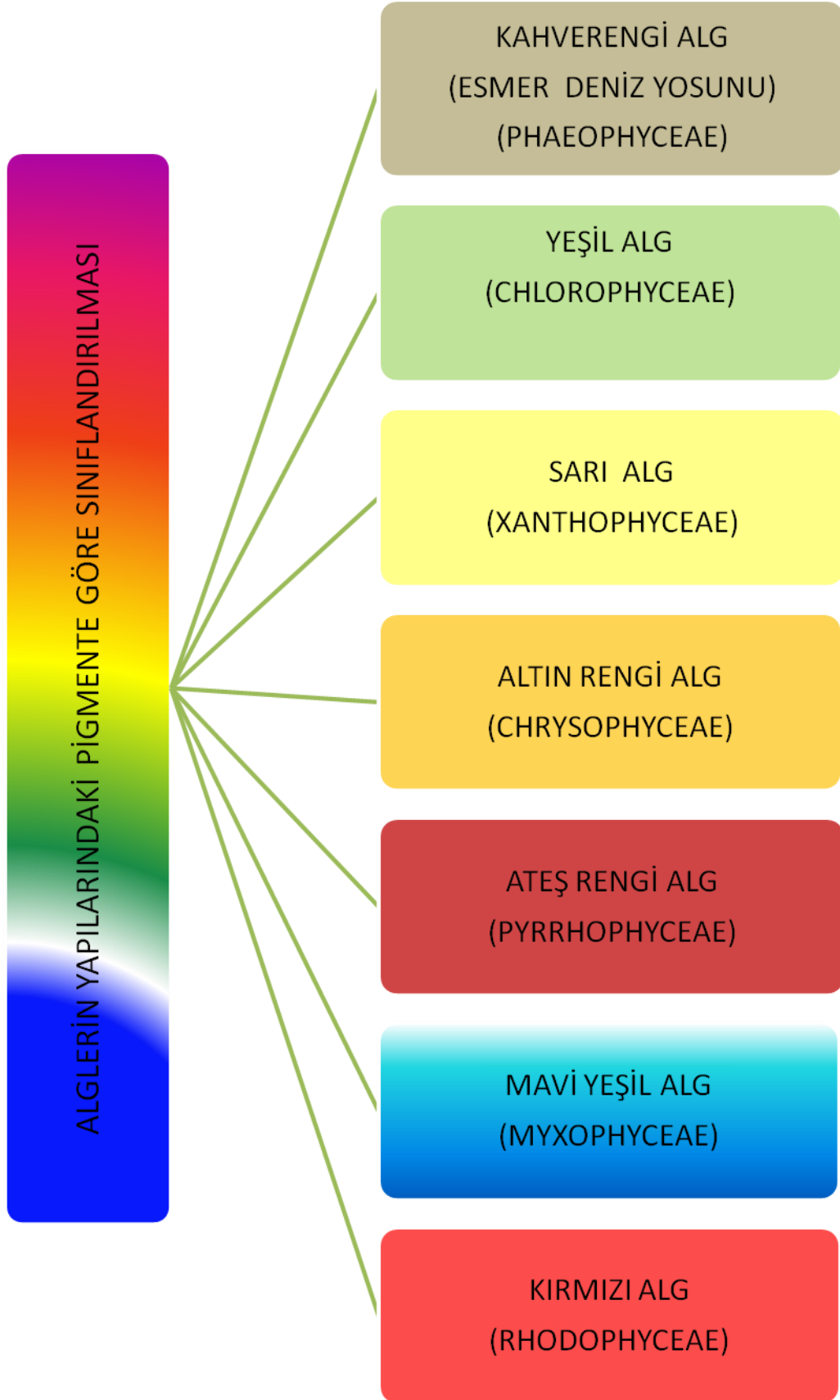
*Algler üreme şekillerine göre;*

- Vejetatif üreme,
- Eşeyli
- Eşeysiz olmak üzere üç şekilde ürerler [45].

*Algler yapılarındaki pigment maddelerine göre;*

- Kahverengi alg (Esmer deniz yosunları): Phaeophyta
- Yeşil alg: Chlorophyta
- Sarı alg: Xanthopyceae
- Ateş rengi alg: Pyrrhophyceae
- Altın rengi alg: Chrysophyceae
- Mavi-yeşil alg: Cyanophyta ve
- Kırmızı alg: Rhodophyceae [40].

Şekil 2.9'da alglerin yapılarındaki pigmente göre sınıflandırılması görülmektedir.



Şekil 2.9: Alglerin yapılarındaki pigmentine göre sınıflandırılması

### 2.3.3.1.Mavi-yeşil algler

Okyanus ve tatlı sularda bulunmaktadır. Ekonomiktirler. Ülkemizde *Gloeocapsa crepidinum*, *Entophysalis granulosa* gibi türleri bulunmaktadır [40].

### 2.3.3.2.Kırmızı algler

Tropikal ve ılık sularda bulunmaktadır. Pahalıdır. Agar ve agaroid üretiminin ham maddesini oluşturmaktadır [46,47].

### 2.3.3.3.Kahverengi algler

Sahillerde, soğuk ve ılıman sularda bulunmaktadırlar [48]. Derimsi bir sapla kayalara veya zemine tutunurlar. Üzeri hava kesecikleri ile bezenmiş, uzun, yassı, sert organlara sahiptirler ve keseciklerin yardımıyla su yüzeyine yakın bulunurlar [49].

#### *Kahverengi Alglerin Genel Özellikleri*

Esmer su yosunu olarak bilinen en büyük deniz algi olan kahverengi algler Phaeophyceae sınıfından olup 30 metreye ulaşabilen boylarıyla, oldukça iri yapılı alglerdir. Tropikal denizlerdeki bazı türleri ise mikroskobik boylara ulaşır. Sahillerde, soğuk, ılıman sularda ve tropikal denizlerde de yaşayabilirler. 1500 türe sahip olan bu alglerden sadece 3 türü tatlı sularda yaşarlar. Kahverengi algler; karmaşık bir morfolojiye ve gelişmiş anatomik yapıya sahiptirler. Birçok kahverengi alg türü alginik asit elde etmek için veya besin kaynağı olarak doğrudan kullanılmaktadırlar [43]. Atlas Okyanusu'nun kıyı kesimlerinde yaşayan kahverengi alglerin boyu 15 m'ye ulaşırken Büyük Okyanus'ta yaşayan bazı türlerinin boyu 65 m'yi aşar [49].

Kahverengi alglerin çok eski dönemlere ait fosilleri vardır. Kahverengi alglerin tallusları basit yapılı veya dallanan iplik veya şerit şeklinde olabilir. Hücrelerinin içinde bir tane çekirdek vardır ve nukleusları belirlidir. Hücre zarları, selüloz ve pektinden oluşmaktadır. Kahverengi algler, klorofil –a ve klorofil –c'ye sahiptirler. Yapılarında nişasta, manitol (manik asit alkolü), laminarin (bir polisakkarit), algin (musilajli bir madde), selüloz ve yağ depolarlar. Kök, gövde ve yaprak gibi yapıların oluşumuna ek olarak, ileri yapılı bazı türlerde meristem benzeri dokulaşma ve özelleşmiş bazı hücreler görülür. Renkleri, fukoksantin pigmenti tarafından oluşturulur [50].

### *Kahverengi Alglerin Kimyasal Özellikleri*

Deniz alglerinin yapısında; monosakkarit, polisakkaritler, protein, aminosit, yağ, yağ asitleri, vitaminler, mineraller, polialkol, bromlu bileşikler, sülfatlı ve bromlu aromatik bileşikler, brom ve iyot bulundurlar [43].

Kahverengi algler, fotosentez ürünü olarak nişastanın dışında mannitol (manik asit alkolü), laminarin (bir polisakkarit), algin (musilajlı bir madde) ve yağ üretirler.

Kahverengi alg türü olan *Laminaria*'nın yapısında bulunan protein, mannitol, Laminarin, fukoidin, alginik asit, selüloz, yağ ve külden dolayı çok sayıda sanayi kollarında ve tıpta kullanılır.

*Laminaria japonica*, doğrudan Uzak Doğu ülkelerinde besin olarak kullanılır. Fucales ve Laminariales türlerinde alginik asit miktarı mevsimsel koşullara bağlı olarak değişir. Bu türlerde alginik asit miktarı ilkbaharda minimum, kış aylarında ise maksimum olarak tespit edilmiştir. Ayrıca alginik asit miktarı habitat, derinlik ve akıntı gibi faktörler tarafından etkilenmektedir.

### *Kahverengi Algler (Phaeophyta) Sınıflandırılması*

Kahverengi alg sınıfının 240 kadar cinsi ve 1500'den fazla türü bilinmektedir. Bu sınıfın; Laminariales, Sphacelariales, Cutleriales, Dalgotales, Ectocarpales ve Fucales olmak üzere 6 takımı vardır. Şekil 2.10'da kahverengi alglerin bazı türleri görülmektedir.



Dictyota



Fucus



Sargassum

Şekil 2.10: Bazı kahverengi alg türleri

#### *Kahverengi Alg Polisakkaritleri*

Esmer deniz yosunlarında karbonhidratlar başlıca; mannitol, laminarin, alginik asit, fukoidin ve selülozdan oluşmaktadır. Kahverengi alg polisakkaritleri türe, büyüme koşullarına ve çevresel faktörlere bağlı olarak miktarları değişir. Alg polisakkaritleri, sülfat grubu içeren ve içermeyen olmak üzere iki gruba ayrılır.

#### *Sülfat gurubu içerenler*

*Agar:* Bazı alglerin hücre duvarlarında bulunan, jelimsi bir özelliğe sahip olan polisakkarittir. Gıda endüstrisinde yaygın olarak sertleştirmek amacıyla kullanılırlar.

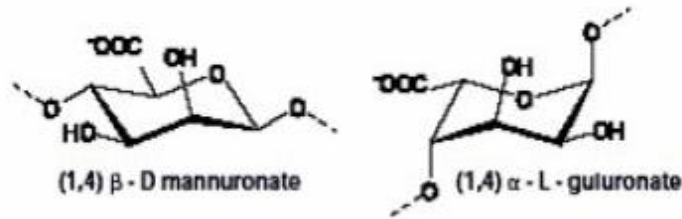
*Karragenan:* Karragenan kozmetik, tekstil, boya ve tıpta kullanılan bir polisakkarittir.

*Fukoidan:* Fukoidin, L-fukoz sülfat olup alglerin hücre ara sularında bulunur ve algin bulunduğu derinliğe bağlı olarak değişme gösterir.

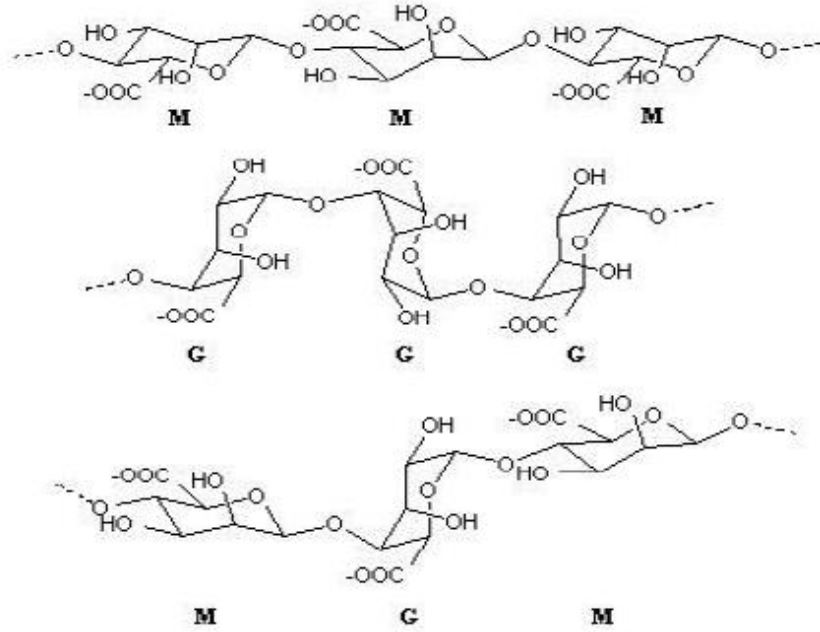
*Sülfat grubu içermeyenler*

*Laminarin:* Bitkilerde fotosentez ürünü olarak üretilen nişastanın yerine kahverengi alglerde laminarin üretilir. Seyreltik asitlerle hidrolize edilebilir ve bazı enzimler sayesinde D-glikoz ürün olarak elde edilir [43].

*Aljinik Asit:* Kahverengi deniz alginin (*Laminaria*, *Macrocystis*) hücre duvarından elde edilir. Aljinatların üretiminde kullanılan deniz algleri günde ortalama 60 cm uzarlar ve yıl içinde birkaç kez hasat edilebilirler. Kaliforniya, Avustralya, Yeni Zelanda ve Afrika kıyılarında bulunur. Algler, su yüzeyinin yaklaşık 100 cm altından kesilerek toplanır ve temizlendikten sonra aljinik asitin alınabilmesi için sıcak alkali ortamda bekletilir. Alkali ortamdan çıkarılan ürün, yıkanıp süzöldükten sonra  $\text{CaCl}_2$  ile çöktürülür. Ürün olarak sodyum, kalsiyum, potasyum ve amonyum aljinatlar elde edilir ve bunlar başlıca aljinik asit tuzlarıdır. Kalsiyum aljinat ( $\text{C}_6\text{H}_7\text{Ca}_{1/2}\text{O}_6$ )<sub>n</sub>, amonyum aljinat ( $\text{C}_6\text{H}_7\text{O}_6\text{NH}_4$ )<sub>n</sub>, potasyum aljinat ( $\text{C}_6\text{H}_7\text{KO}_6$ )<sub>n</sub> ve sodyum aljinat ( $\text{C}_6\text{H}_7\text{NaO}_6$ )<sub>n</sub> gibi az çözünebilir polisakkarit yapılarıdır ve molekül ağırlıkları yüksektir. Aljinat çözeltilerinin akışkanlığı; molekül ağırlığına, ortam sıcaklığına, iyon yoğunluğuna ve metal iyonlarına bağlıdır. Alginatlar, 1,4-D-mannuronik asit ve 1,4-L-guluronik asit doğrusal polimerleri içermektedir.



Şekil 2.11: 1,4-D-mannuronik asit ve 1,4-L-guluronik asit doğrusal polimerleri



Şekil 2.12: Alginat blokları

Aljinatların tamamı jel oluşturamazlar, ama soğuk suda, kalsiyum iyonlarından dolayı jel oluşturabilmektedirler ve ısıya dayanıklıdır. Birçok endüstri dalında yaygın olarak kullanılmaktadır.

- Kıvam arttırıcı özelliğinden dolayı dondurma, puding, reçel, meyve sularında ve şerbetlerde kullanılırlar.
- Et ve balığı dondurma işlemi esnasında oluşan yanıkları engellemek amacıyla kullanılırlar.
- Deterjan, sabun ve kozmetik ürünlerinin içeriklerinde; kıvam ayarlayıcı olarak kullanılırlar.
- Tıpta, sıvı ilaçların kıvamlarını korumada, ilaçların kaplanmasında kullanılırlar.
- Boya endüstrisinde, özellikle su ile kullanılan boyaların hazırlanmasında, film oluşturma, yapıştırma, emülsiyon oluşturma, boya pigmentlerini koruma ve akıcılık karakterini ayarlayabilme bakımından aljinatlar boyacılıkta çok kıymetli bir hammaddedir. Boyacılıkta kullanılan kazein, jelatin, soya fasulyesi, mum litopon, kaolen, titanyum dioksit gibi maddelerle birlikte rahatlıkla kullanılırlar.
- Tekstilde yanmaz özellikte kumaş üretiminde aljinatlar kullanılırlar [51].

#### 2.3.3.4.Yeşil algler:

Okyanuslarda, tatlı sularda ve tropikal sularda bol miktarda bulunmaktadır. Yeşil algler; ekonomik açıdan ucuz olduğu için nüfusu kalabalık olan Uzak Doğu ülkelerinde gıda maddesi olarak değerlendirilmektedir [46]. Yeşil algler; şekil ve büyüklük bakımından birbirlerinden çok farklılık göstermektedirler. Tek başına veya koloni halinde yaşayabilmektedirler [47].

*Yeşil Alglerin Genel Özellikleri:* Yeşil algler, kıyılarımızda sığ ve kayalık alanlarda azot ve fosfor gibi elementlerin bol olduğu yerlerde bulunan bir deniz algidir. Genelde; tuzlu ve acı sularda çoğunlukla dörtlü ve sekizli koloniler halinde yaşarlar. Yeşil alg, sap şeklindeki kısa bir ayağa ve zemine tutunan geniş üst kısmına sahiptir. Tek hücreli, ipliksi, şeritsi ve elsi tallusa sahiptir. Yapılarında klorofil a ve klorofil b, karotin, lutein ve ksantofil içerirler. Çoğunlukla ototrof yaşamakla beraber, mantarlarla birlikte liken oluşturan türleri bulunmaktadır [52]. Yeşil alglerin % 25'ini Ulva türleri oluşturduğu saptanmıştır. Özellikle B vitamini bakımından çok zengin türlerdir ve denizden toplanmış tallusları tüketilebilmektedir. Yem yapımında, gübre olarak tarımda, jel olarak kâğıt yapımında cilt bakım ürünleri olarak kozmetikte kullanılmaktadır. Yeşil algler, yağ miktarı bakımından oldukça fakirdir.

*Yeşil Alglerin Sınıflandırılması:* Yeşil algler genel olarak; Chlamydomonas, Chlorogonium, Phacotus, Pyraminonas, Pyrobotrys ve Volvox sınıflandırılır [53].



Şekil 2.13: Bazı yeşil alg türleri



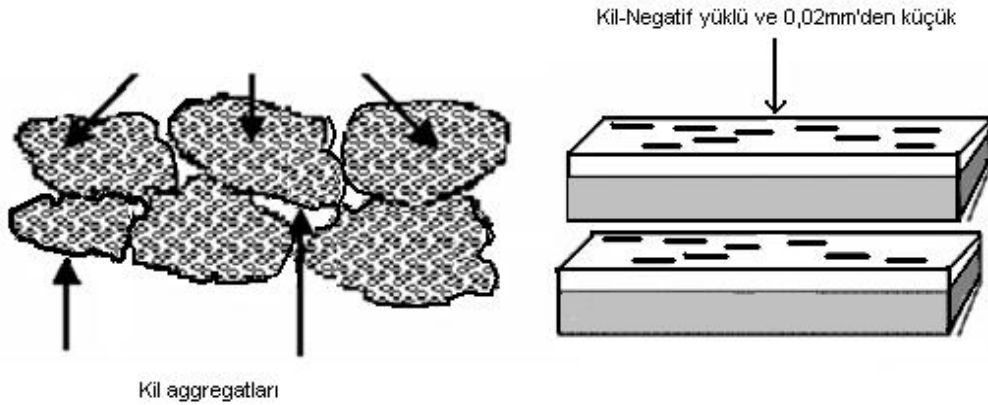
## 2.4. BENTONİT

### 2.4.1. Kil Mineralleri ve Yapıları

Kil, kristal yapıları birbirinden farklı birkaç mineralin oluşturduğu bir karışımın genel ismidir. Bu tanım şu şekilde formüle edilebilir;

KİL = Ana kil minerali + Diğer kil mineralleri + Eser organik maddeler

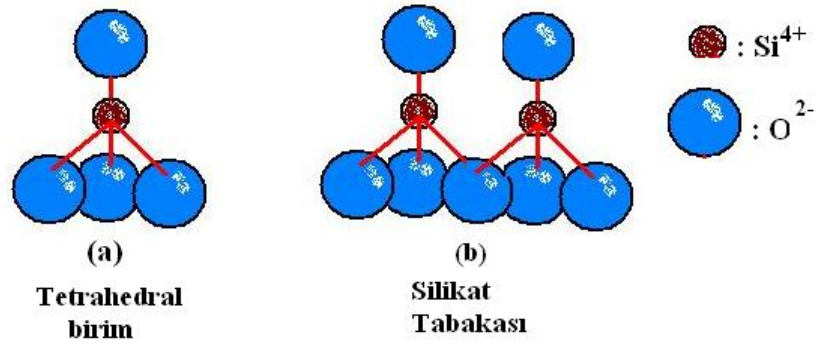
Kil tanecik büyüklüğü 2  $\mu$ 'dan küçük olanların çoğunlukta olduğu, ısıtıldığında plastik, pişirildiğinde sürekli sert kalan hidrate alüminyum silikatların oluşturduğu karışımlardır.



Şekil 2.14: Kil boyutları ve yüzey alanları

Killer tabakalı yapıda minerallerdir. Kil minerallerinin tabakaları tetrahedral birim ve oktahedral birim olmak üzere iki değişik yapı biriminin birleşmesinden oluşmaktadır.

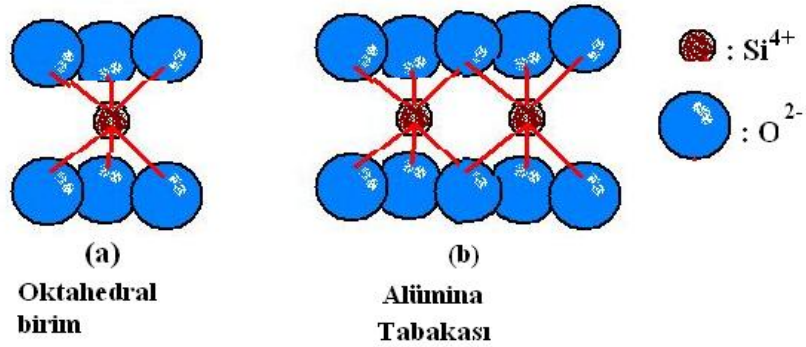
*Tetrahedral birim:* Geometrik şekli düzgün dört yüzlü, merkezde silisyum atomu, köşelerde ise merkez atomundan eşit uzaklıkta oksijen ya da hidroksil iyonlarının yer almasıyla oluşan birimdir.



Şekil 2.15: a) Tetrahedral birim, b) Silikat tabakası

Tetrahedral dizilim sonucunda oksijen atomlarının ortasında  $0.55 \text{ \AA}$  çapında bir boşluk oluşur. Çapı  $0.5 \text{ \AA}$  olan Si atomu için bu boşluk çok uygun bir büyüklüktedir. Tetrahedral oksijenlerinin diğer tetrahedral birimler tarafından paylaşılmasından silikat yapıları oluşur [54].

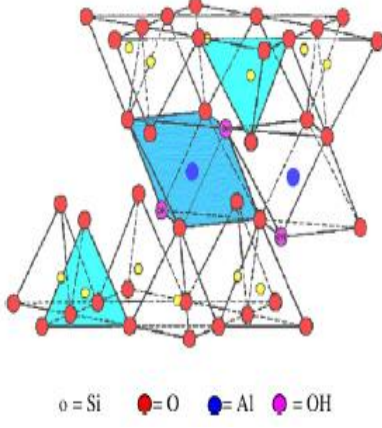
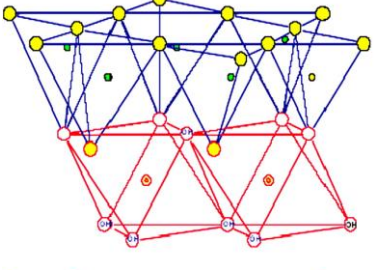
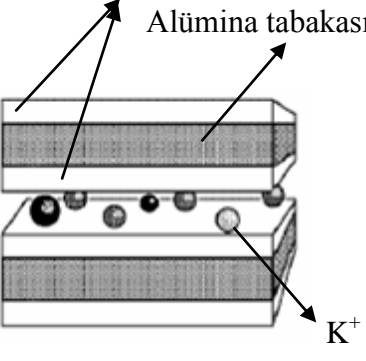
*Oktahedral birim:* Geometrik şekli düzgün sekiz yüzlü, merkezde alüminyum iyonları, köşelerde ise oksijen ya da hidroksil iyonları bulunan yapı birimidir. Oktahedrallerin diğer oktahedral birimler tarafından paylaşılması sonucu alümina tabakaları oluşur.



Şekil 2.16: a) Oktahedral birim, b) Alümina tabakası

İki silisyum tetrahedralin arasına bir alüminyum oktahedralinin girmesi sonucu montmorillonit minerali birim katmanı oluşur ve bu yapı kısaca TOT şeklinde simgelenir. Çok sayıda montmorillonit birim katmanlarının üst üste yerleşmesi sonucunda ise montmorillonit tanecikleri oluşur. Killer, belirli yapısal özelliklerine göre (Tablo 2.6) çeşitli sınıflara ayrılmışlardır [55].

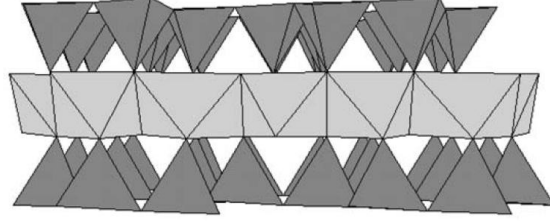
Tablo 2.6: Bazı kil minerali türleri

	<i>KİL TÜRLERİ</i>	<i>YAPISI</i>
BENTONİT	 <p>o = Si   ● = O   ● = Al   ● = OH</p>	<p>Na-Bentonit tanecikleri oldukça küçük ve çoğunlukla tek kristal tabakası şeklinde bulunur. Kalınlığı ise; yaklaşık olarak 1 nm'dir.</p> <p>Ca-Bentonit tanecikleri Na- Bentonit taneciklerine göre daha büyük ve 8-10 kristal tabakası şeklindedir ve kalınlığı ise yaklaşık olarak 20-30 nm'dir.</p> <p>Na- Bentonit, Ca- Bentonit göre daha iyi şişer.</p>
KAOLİN	 <p>● = O   ○ = Shared O   ● = Si   ● = Al</p>	<p>Kaolin tanecikleri 1µm çapında ve 0, 1µm kalınlığındadır.</p> <p>Seramik yapımında kullanılır ve çok az şişer.</p>
İLİTE	<p>Silikat tabakası</p>  <p>Alümina tabakası</p> <p>K<sup>+</sup></p>	<p>İki silika ve arasında alümina tabakasında oluşur. Ayrıca tabakalar arasında K<sup>+</sup> katyonu bulunur. Genellikle 10 nm boyutundadır. Çok az şişer.</p>

### 2.4.2. Montmorillonit Minerali

İki Si tetrahedralinin arasına Al oktahedralinin girmesiyle oluşan üç tabakalı bir mineraldir. Birim hücreler birbirlerini Van der Waals bağlarıyla tutarlar. Bu bağların çok zayıf olması sonucu kolay ayrılabilir ve elde sabun gibi kaygan bir his bırakırlar.

Montmorillonit içeren killer yüksek plastiklik özelliği taşır. Montmorillonit mineralinin diğer önemli bir özelliği de su ile şişmesidir. Şişme, suyun tabakalar arasında adsorplanmasından ileri gelir. Montmorillonit grubu mineralleri, 0.05µm'den daha küçük tane büyüklüğüne sahiptir [56].



Şekil 2.17: Montmorillonit minerali

### 2.4.3. Bentonit

Bentonit, montmorillonitten izomorfik iyon değişimi ile türemiş olan hektorit, nontronit ve saponit gibi mineralleri içeren bir kil çeşididir. Yüksek plastiklik özelliği taşıyan bentonit kuvvetli kolloidal yapıdadır. Temel minerali sodyum montmorillonit olan killere sodyum bentonit, kalsiyum montmorillonit olan killere ise kalsiyum bentonit denir. Ara bentonitin yapısında da sodyum bentonit ve kalsiyum bentonit karışımı bulundurulur. Bentonitler; asit, baz, tuz ve çeşitli organik maddelerle modifiye edildiğinde özellikleri gelişir.

Bentonit organik maddelerle modifiye edildiklerinde tabakalar arasına büyük organik moleküller girmekte; katmanlar arasındaki uzaklık artmakta ve bentonitin adsorplama ve reolojik özellikleri büyük ölçüde değişmektedir [56].

### 2.4.3.1. Bentonitin Özellikleri

#### *Adsorplama Özelliği*

Bentonit kil minerali yüksek yüzey alanına sahiptir ( $\approx 800 \text{ m}^2/\text{g}$ ). Yüzey alanının büyük kısmını mikro ve mezo gözenek duvarları oluşturmaktadır. Bu özelliğinden dolayı adsorplama kapasitesi oldukça yüksektir.

#### *Kasyon Değişim Kapasitesi (KDK)*

Kil minerallerinin katmanları arasında  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  gibi katyonlar bulunmaktadır. Bunlar inorganik ve organik katyonlarla yer değiştirme özelliğine sahiptir. İnorganik katyonlara “değişebilen katyonlar” denir. Kil minerallerinin 100 gramındaki değişebilir inorganik katyonların milieşdeğer molar kütle sayısına “katyon değişim kapasitesi” denir.

#### *Şişme Özelliği*

Bentoniti diğer kil minerallerinden ayıran en önemli özellik şişme özelliğidir. Bentonitin bünyesindeki fiziksel su, kilin fiziksel ve kimyasal özeliğini kontrol eden en önemli faktördür. Şişme esnasında, bentonitin bünyesindeki fiziksel suyu alarak kristal yapısının genişler. Bentonit yaklaşık olarak kendi kütlelerinin beş katı kadar suyu bünyesine alır ve bu suyu 100-150 °C gibi düşük sıcaklıklarda kaybeder. Bentonit, kurutulduğu zaman ilk haline geri döner.

#### *Plastiklik Özelliği*

Kilin su içeriğindeki değişimi ile kazandığı bir özelliktir. Kildeki suyun azalması kilin katılaşması, kildeki suyun artması ise kile akıcılık özelliği kazandırır.

#### *Reolojik Özelliği*

Bentonit viskozite, akma noktası gibi reolojik özelliğe sahiptir. Bu özellik kilin su içeriği ile değişir. Bentonitlerin birçok kullanımının temelinde, katkı maddelerinin eklenmesi ile viskozite özelliklerindeki değişim meydana gelmektedir [56].

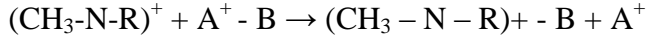
Tablo 2.7: Bentonitlerin özelliklerine göre kullanım alanları

<i>Özellikler</i>	<i>Kullanım Alanları</i>
Adsorplama Özelliği	Sıvı yağ Ağartmada, Kağıt ve Kozmetik Endüstrisinde
Katyon Değişirme Kapasitesi	Seramik ve Yapıştırıcı
Şişme	İnşaat Endüstrisinde
Plastiklik	Seramik ve Boya Endüstrisinde
Reolojik	Gübre Yapımı

#### 2.4.3.2. Organobentonit

Doğal bentonitin yapısındaki değişebilir inorganik katyonların su ile hidrasyonu sonucu, bentonitin yüzeyi hidrofilik (su sever) özellik gösterir.

Bentonitin adsorplama kapasitesini arttırmak amacıyla organobentonit sentezlenmektedir. Doğal bentonitin yapısındaki değişebilir inorganik katyonlar iyon değişim tepkimeleri ile organik katyon ile yer değiştiğinde yüzey, hidrofilikten organofiliğe dönüşür. Bu işlemde alkil amonyum tuzları kullanılmaktadır.

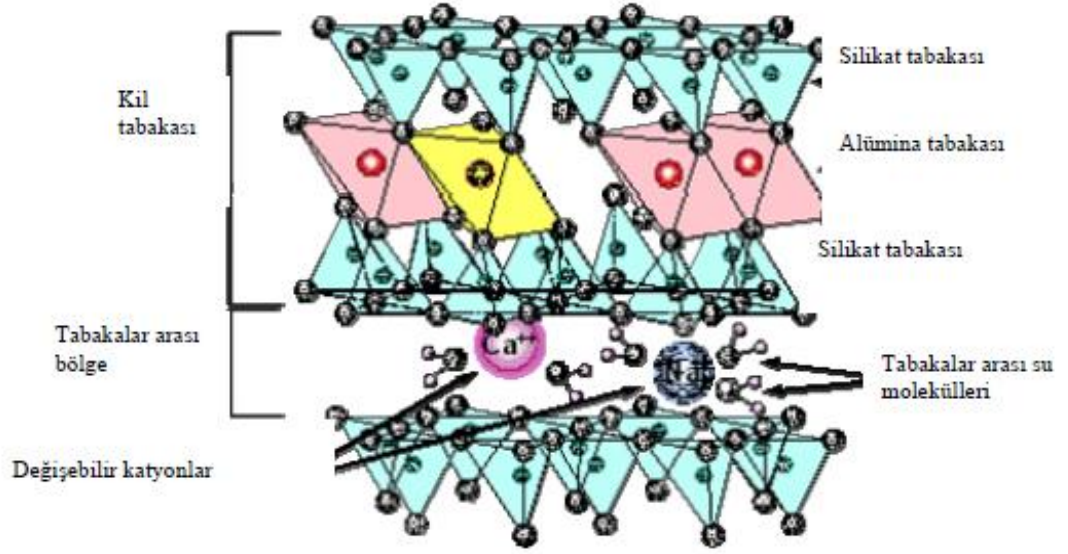


Burada;

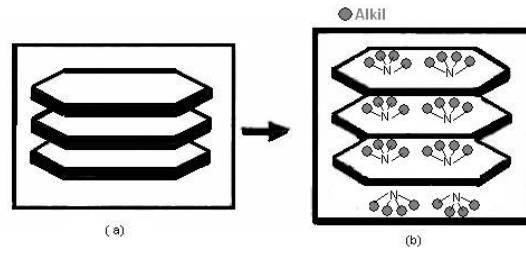
$\text{A}^+$  : Değişebilir inorganik katyonlar

R : Alkil grup

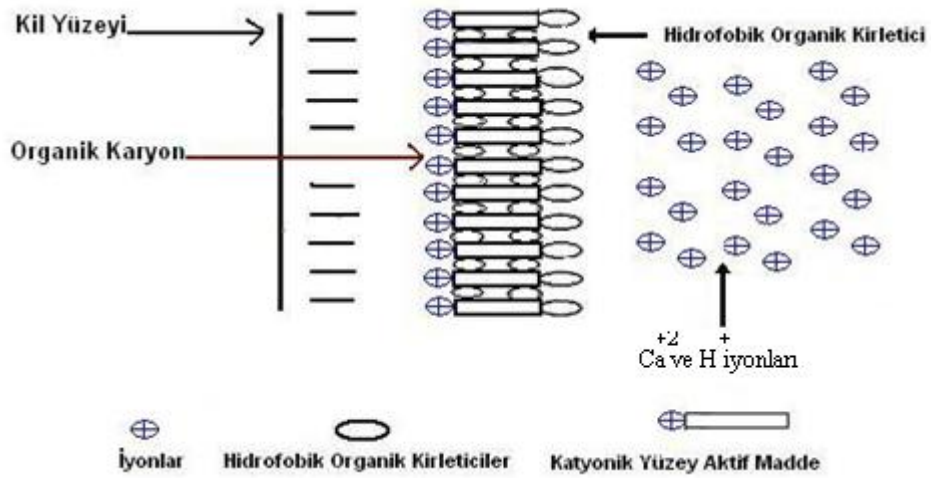
Organobentonit sentezi esnasında organik katyonun bentonit tabakaları arasındaki yerleşimi, katyonun boyutuna ve kilin katyon değişim kapasitesine bağlı olarak değişmektedir. İyon değişiminden sonra, bentonit minerallerinin tabakaları arasındaki değişebilir katyonlar yerine büyük organik katyonlar geçer ve tabakaları arası uzaklık artar. Böylece; organik katyonlar bentonit yüzeyine organofilik (hidrofilik=su sevmez) özellik kazandırır. Bundan dolayı organobentonitler, doğal bentonitlere göre atık sudaki organik kirleticilerin adsorpsiyonunda daha verimlidir [56,57].



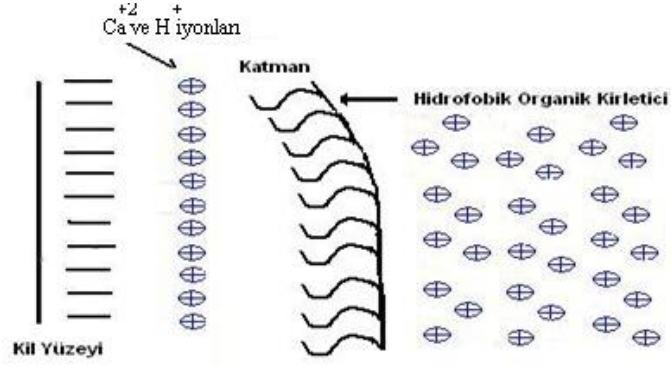
Şekil 2.18: Montmorillonitin yapısı



Şekil 2.19: Alkil amonyum tuzları ile sentezlenmiş organobentonitin yapısı, a) kil yüzeyi b) Alkil amonyum tuzları ile modifiye edilmiş kil yüzeyi



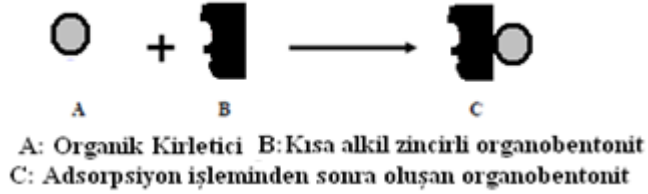
Şekil 2.20: Organobentonitin hidroforbik organik kirteticiler ile etkileşimi



Şekil 2.21: Kil ve hidrofobik organik kirlenicilerin etkileşmesi

*Organobentonit Türleri:* Organobentonit; yapılarındaki organik katyonların moleküler yapısına bağlı olarak adsorptif bentonit ve organofilik bentonit olmak üzere iki grupta incelenir.

*Adsorptif bentonit:* Organobentonit, kısa zincirli alkil grubuna sahip organik katyon içerirler. Adsorptif bentonitlerde adsorpsiyon mekanizması yüzey adsorpsiyonu şeklindedir. Kısa alkil zincirli organik katyon (BTEA-B, TMA-B, vb.) bentonit yüzeyine apolar özellik kazandırarak adsorplanacak moleküllerin yüzeye tutunmasını sağlar.



Şekil 2.22: Adsorptif bentonit

*Organofilik bentonit:* Organobentonit, uzun zincirli organik katyona sahiptirler. Adsorplama mekanizması, dağılım prosesi şeklindedir. Organik katyon, organik faz yaratarak adsorplanacak moleküllerin bu faz içinde dağılımını sağlar [56,57].



Şekil 2.23: Organofilik bentonit

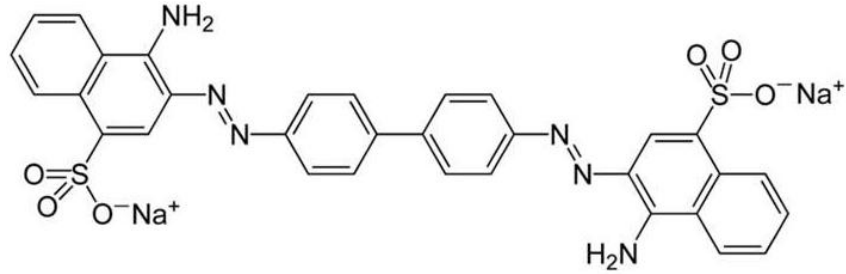


### 3. MALZEME VE YÖNTEM

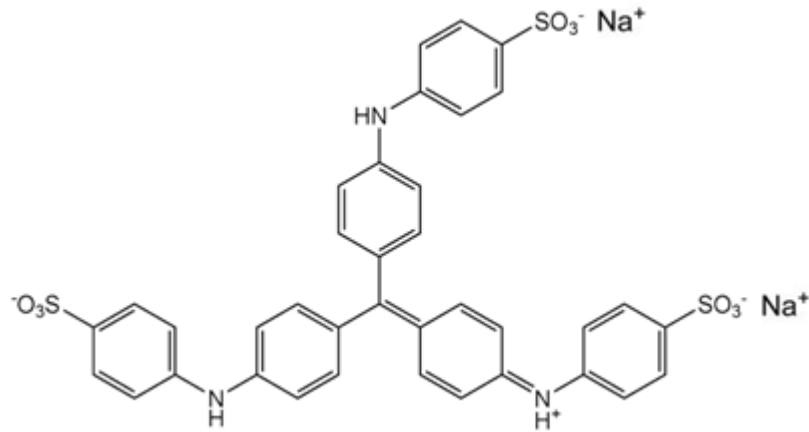
#### 3.1.MALZEME

##### 3.1.1. Boyar Maddeler

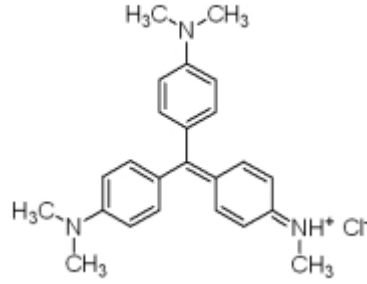
Bu tez çalışmasında; Kongo Kırmızısı, Metil Mavi ve Metil Violent boyar maddeleri kullanılmış olup her üç boyar madde de MERCK firmasından temin edilmiştir. Boyar maddelerin kimyasal formülleri Şekil 3.1-Şekil 3.3’de gösterilmiştir. Bu boyar maddelere ait fiziksel özellikler Tablo 3.1 ‘de belirtilmiştir [58-60].



Şekil 3.1: Kongo Kırmızısı boyar maddesinin açık formülü



Şekil 3.2: Metil Mavisi boyar maddesinin açık formülü



Şekil 3.3: Metil Violent boyar maddesinin açık formülü

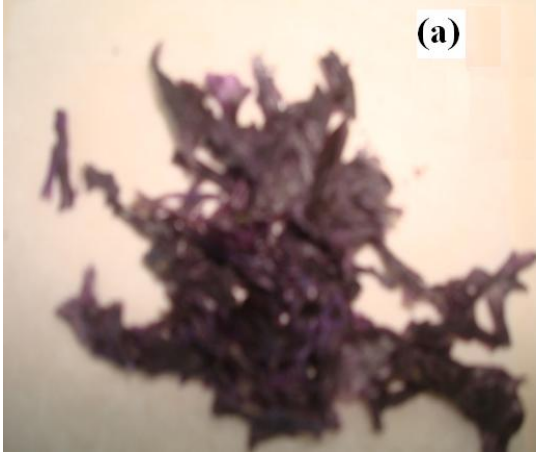
Tablo 3.1: Boyar maddelerin fiziksel özellikleri

Boyar Madde:	Kongo Kırmızısı	Metil Mavisi	Metil Violent
Mol kütlesi (g/mol)	696,67	799,81	393,95
Moleküler formülü	C <sub>32</sub> H <sub>22</sub> N <sub>6</sub> Na <sub>2</sub> O <sub>6</sub> S <sub>2</sub>	C <sub>37</sub> H <sub>27</sub> N <sub>3</sub> Na <sub>2</sub> O <sub>9</sub> S <sub>3</sub>	C <sub>25</sub> H <sub>30</sub> ClN <sub>3</sub>
λ <sub>max</sub> (nm)	500	660	584
Firma Adı	Merck 101340 (C.I. 22120)	Merck 1.16316 (C.I. 42780)	Merck 1.15945 (C.I. 42535)
Bilimsel ismi	Congo Red	Methyl Blue	Metil Violent
Diğer İsimler	Direct red, Cotton red	Brilliant cotton blue, Helvetia blue, Acid blue 93	Basic violent 1

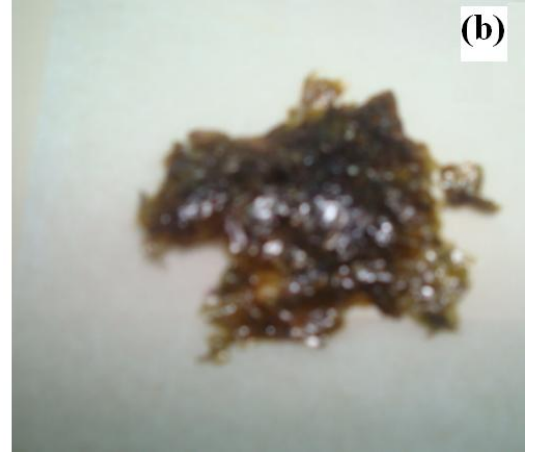
### 3.1.2. Kullanılan Saf Adsorbentler

*Kahverengi Alg:* Laminaria japonica ailesine mensup olup kahverengi alg sınıfındadır ve Pekin, Çin'den temin edilmiştir. Temin edilen kahverengi alg yıkandıktan sonra oda sıcaklığında kurutulup desikatörde kullanılmak üzere saklanmıştır. Kullanılmadan önce kahverengi alg 110 °C'lik etüvde sabit tartıma getirilmiştir. Daha sonra istenilen miktarlarda tartılmışlardır.

*Yeşil Alg:* Ulva rotundata ailesine mensup olup yeşil alg sınıfındadır. Pekin, Çin'den temin edilmiştir. Toplanan yeşil alg yıkandıktan sonra oda sıcaklığında kurutulup desikatörde kullanılmak üzere saklanmıştır. Kullanılmadan önce yeşil alg 110°C'lik etüvde sabit tartıma getirilmiştir. Daha sonra istenilen miktarlarda tartılmışlardır.



(a) Saf öğütülmemiş kahverengi alg



(b)Saf öğütülmemiş yeşil alg

Şekil 3.4: (a) Saf öğütülmemiş kahverengi alg (*Laminaria japonica*) ve (b) Saf öğütülmemiş yeşil alg (*Ulva rotundata*)

*Saf bentonit*: Reşadiye bölgesi Tokat' dan temin edilmiştir. Fiziksel özellikleri Tablo 3.2'de verilmiştir. Kullanılan bentonit 200 mesh'lik elekten elenmiştir.



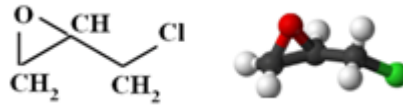
Şekil 3.5: Saf bentonit

Tablo 3.2: Bentonitin fiziksel özellikleri

Bileşimleri	(%)
SiO <sub>2</sub>	61,28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,79
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,01
CaO	4,54
Na <sub>2</sub> O	2,70
K <sub>2</sub> O	1,24
MgO	2,10
Nem	8,0

### 3.1.3. Çalışmada Kullanılan Kimyasallar

*Epiklorohidrin*: Merck firması tarafından (8.03296) temin edilmiştir. C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>ClO kimyasal formülüne sahip olan epiklorohidrinin molekül ağırlığı 92,52 g/mol 'dür. Çalışmada çapraz bağlayıcı olarak kullanılmıştır.



Şekil 3.6: Epiklorohidrin kimyasal formülü

*Dimetil sulfoksit (DMSO)*: Merck firması tarafından (8.02912.2500) temin edilmiştir. Kimyasal formülü; (CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>SO olan bileşik sülfoksitlerin ilk örneği olan dimetilsülfoksittir. 189 °C'de kaynayan bir sıvıdır. Alglerin modifikasyonunda kullanılmıştır.

*Setil Trimetilammonyum Bromür (CTAB)*: Merck firması (102342) tarafından temin edilmiştir. Kimyasal formülü C<sub>19</sub>H<sub>42</sub>BrN ve lineer formülü CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>15</sub>N(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>Br olan beyaz renkli bir maddedir. Kaynama noktası 100°C' den küçük ve erime noktası 0°C' den büyüktür. Katkı malzemesi olarak antiseptik ve katalizör olarak kullanılabilir.

AgNO<sub>3</sub> Merck (101510), NaOH Merck (106467), %70 Propanol Merck (137040) ve HCl Merck (100317) firması tarafından temin edilmiştir.

### 3.1.4. Çalışmada Kullanılan Deney Ekipmanları

*Santrifüj*: 16500 devir/dakika hıza ulaşabilen Xiang Yi Cent. Ins. Co. Ltd. marka santrifüj (H 1650 model) kullanılmıştır. 12 adet 2 ml tüp kapasitelidir. Adsorpsiyon çalışmalarında belirli zaman aralıklarında alınan örnekler 5 dakika 10000 rpm'de santrifüj edildikten sonra UV-Spektrofotometresinde ölçümler alınmıştır. Bu cihaz, 4377 nolu BAP tarafından doktora tez projemden temin edilmiştir (Şekil 3.7).

*Sonikatör ( Homojenizatör)*: Homojen karışımlar elde etmek için Bandelin marka sonikatör kullanılmıştır. Bu cihaz, 4377 nolu BAP tarafından doktora tez projemden temin edilmiştir (Şekil 3.7).



(a) Santrifüj (H 1650 model)



(b) Sonikatör (Bandelin model)

Şekil 3.7: (a) Santrifüj (H 1650 model) ve (b) Sonikatör (Bandelin model)

*Su banyosu*: Biyosorpsiyon deney çalışmalarının sabit sıcaklıkta kalması için 50 ml'lik beherlerin yerleşebileceği boyutta 10 beher alabilme kapasiteli, +20°C – +90 °C sıcaklık aralığında çalışabilen su banyoları bu tez çalışması için özel olarak yaptırılmıştır.



Şekil 3.8: El yapımı su banyoları

*Spektrofotometre:* UV-Spektrofotometre PG T 80 + model UV –Visible ayarlanabilir spektrofotometre kullanılmıştır.

*Taramalı Elektron Mikroskobu:* Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) ( Jeol JSM 6335F) model kullanılmıştır.



Şekil 3.9: FTIR, SEM ve UV-Spektrofotometre

*Fourier Transform Infrared Spektrometresi:* Fourier Transform Infrared Spektrofotometresi (FTIR) Perkin Elmer Model kullanılmıştır.

*Hassas Terazî:* Hava akımlarına karşı özel cam paravanlarla korunan RADWAG marka (AS 220 /C/2) hassas terazî kullanılmıştır. Terazî 0,0001-220 gr arasında ölçüm yapabilme özelliğine sahiptir.

*Vakumlu etüv:* Vakum pompasına (Rocker 400) sahip Nüve marka vakumlu etüv kurutma işlemleri için kullanılmıştır.

*pH metre:* Hazırlanacak çözeltilerin pH'ını ölçmek ve ayarlamak amacıyla CHEBIOS marka laboratuvar tipi pH metre kullanılmıştır.

## 3.2.KULLANILAN SAF ADSORBENTLERİN MODİFİKASYONU

### 3.2.1.Kilin Modifikasyonu

Reşadiye bölgesinden elde edilen bentonit önce modifikasyon işlemine tabi tutulmuştur. Organofillik bentonit kili iyon değiştirme yöntemi ile hazırlanmıştır. Buna göre oda sıcaklığında 10 g bentonit 1000 ml. destile suya katıldı. Karışım 1 gün manyetik karıştırıcı ile oda sıcaklığında karıştırılarak kil süspansiyonu elde edildi. 200 ml sıcak suda 4 g setil trimetilammonyum bromür (CTAB) çözeltisi kil süspansiyonuna eklendi. Karıştırma işlemine 1 gün daha devam edildi. Daha sonra kil süzülerek süzüntüde Br<sup>-</sup> iyonları kalmayınca kadar destile su ile yıkandı. Süzüntüde Br<sup>-</sup> iyonları 0,1N AgNO<sub>3</sub> çözeltisi ile kontrol edildi. Elde edilen çökelek 110 °C' de vakumda sabit tartıma gelene kadar kurutuldu. Oluşan ürün havanda dövülerek 200 meshlik elekten elendi. Elde edilen modifiye bentonit daha sonra kullanılmak üzere desikatörde saklandı [61].

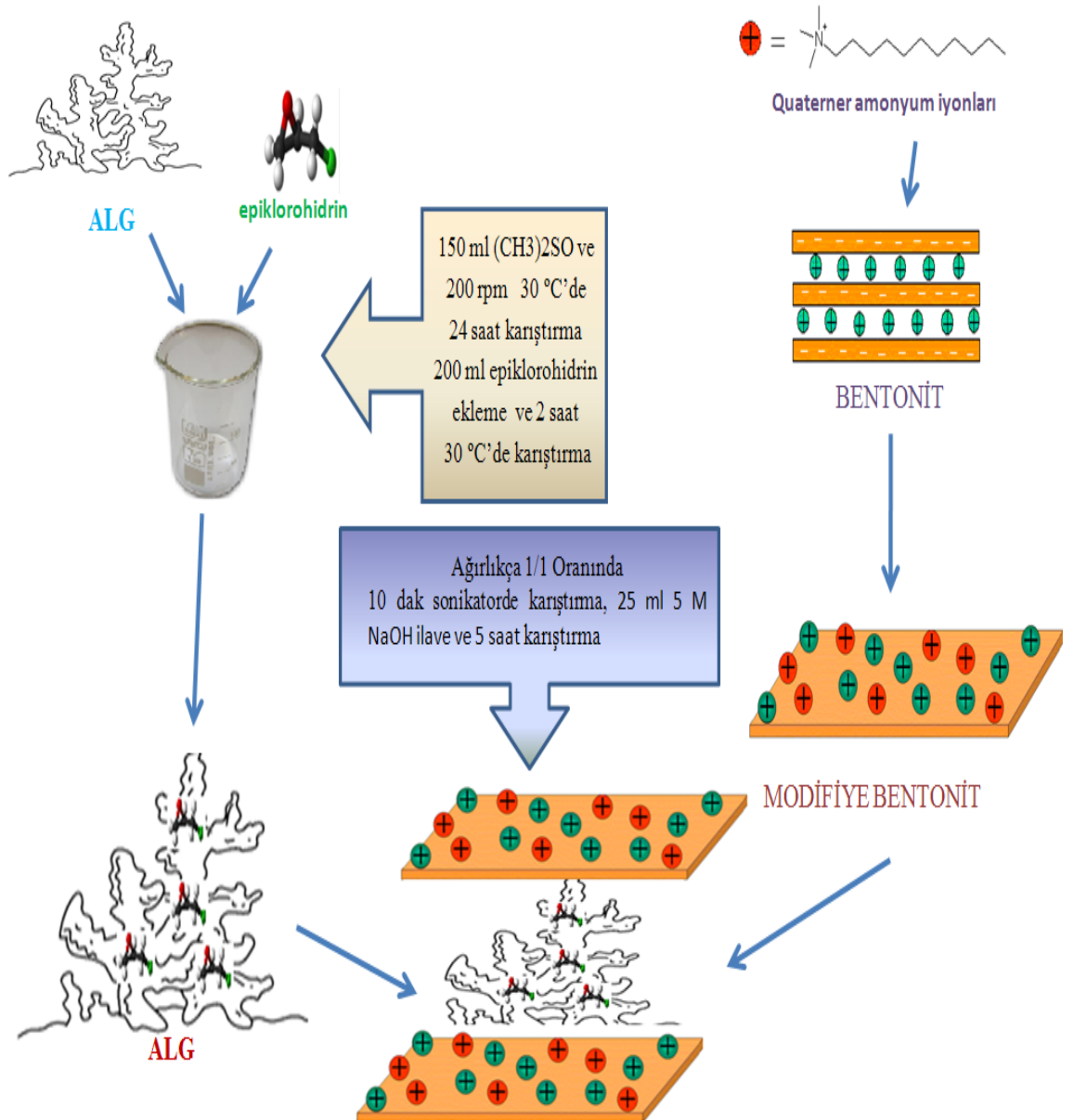
### 3.2.2.Alglerin Modifikasyonu

10 gram kurutulmuş saf alg üzerine 150 ml dimetilsulfoksit ilave edilerek 200 rpm ve 30 °C'de 24 saat karıştırıldı. Sonra 20 ml epikorohidrin eklendi ve 2 saat 50 °C'de karıştırıldı. 25 ml 5 M sodyum hidroksit çözeltisi eklendi ve karıştırma işlemine 5 saat daha devam edildi. Oda sıcaklığına gelene kadar soğutuldu ve filtre edildi. Katı kalıntı % 70 propanol çözeltiyle nötral olana kadar yıkandı ve süzüldü. Vakumda sabit tartıma gelene kadar kurutuldu. Havanda dövülerek 200 meshlik elekten elendi ve daha sonra kullanılmak üzere desikatörde saklandı [62].

### 3.3.KULLANILAN ADSORBENTLERİN HAZIRLANMASI

#### 3.3.1. Alg / Kil Karışımının Elde Edilmesi

Alg / Kil karışımının elde edilmesi şematik olarak Şekil 3.10' da gösterilmektedir.



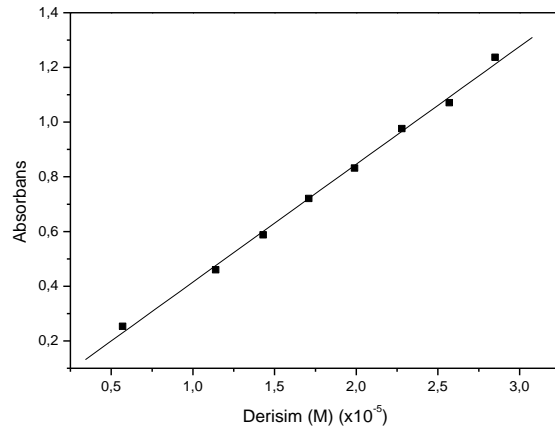
Şekil 3.10: Alg / Modifiye Bentonit Elde Edilmesi



Alg / Modifiye Bentonit hazırlanışı : 10 gram kurutulmuş saf alg üzerine 150 ml dimetilsulfoksit ilave edilerek 200 rpm'de 30 °C'de 24 saat karıştırıldı. Sonra 20 ml epikorohidrin eklendi ve 2 saat 50 °C'de karıştırıldı. Ağırlıkça (1/1) oranında olacak şekilde sabit tartımlı bentonit ilave edilerek 10 dakika sonikatorde karıştırıldı. 25 ml 5 M sodyum hidroksit çözeltisi eklendi ve 5 saat karıştırıldı. Oda sıcaklığına gelene kadar soğutuldu ve filtre edildi. Katı kalıntı % 70 propanol çözeltiyle nötral olana kadar yıkandı ve süzüldü. Vakumda sabit tartıma gelene kadar kurutuldu. Havanda dövüldü. 200 meshlik elekten elendikten sonra kullanılmak üzere desikatörde bekletildi [62].

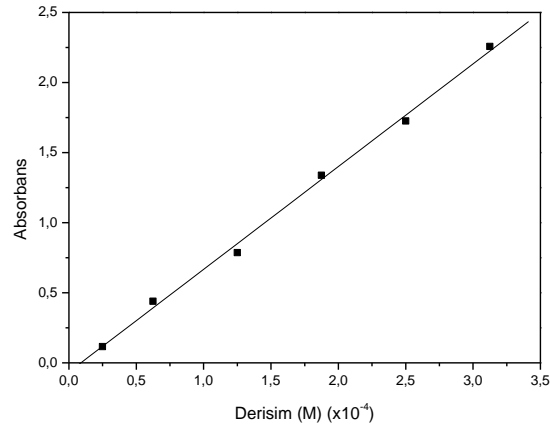
### 3.4.KULLANILAN BOYAR MADDE ÇÖZELTİLERİNİN HAZIRLANIŞI

*Kongo Kırmızısı Çözeltisi:* UV spektrofotometrede Kongo Kırmızısının maksimum absorbansı 500 nm olarak bulunmuştur. Kongo Kırmızısının farklı derişimlerde hazırlanan çözeltilerinin 500 nm dalga boyunda absorbans değerleri ölçülerek standart eğri grafiği oluşturulmuştur (Şekil 3.11). Bu grafikten yararlanılarak Kongo Kırmızısının adsorbent üzerindeki adsorpsiyonunu incelemek için  $1,43 \cdot 10^{-5}M$ ,  $1,71 \cdot 10^{-5}M$ ,  $2,28 \cdot 10^{-5}M$  ve  $2,57 \cdot 10^{-5}M$  olmak üzere dört ayrı derişimde sudaki çözeltileri hazırlanmıştır.



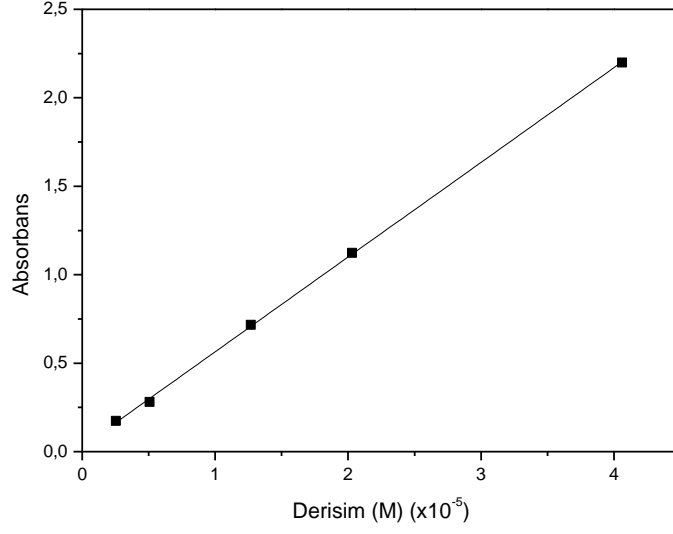
Şekil 3.11:Kongo Kırmızısı standart çözeltinin derişim (M)/absorbans grafiği( $R^2=0,997$ )

*Metil Mavisi Çözeltileri:* UV spektrofotometrede; Metil Mavisinin maksimum absorbansının 660 nm olduğu görülmüştür. Metil Mavisinin farklı derişimlerde hazırlanan çözeltilerinin 660 nm dalga boyunda absorbans değerleri ölçülerek standart eğri grafiği oluşturulmuştur (Şekil 3.12). Metil Mavisinin adsorbent üzerindeki adsorpsiyonunu incelemek için boyar maddenin; standart eğri grafiğinden yararlanılarak  $1,0 \times 10^{-4}M$ ,  $1,25 \times 10^{-4}M$ ,  $1,9 \times 10^{-4}M$  ve  $2,5 \times 10^{-4}M$  olmak üzere dört ayrı derişimde sudaki çözeltileri hazırlanmıştır.



Şekil 3.12: Metil Mavisi standart çözeltilinin derişim (M) / absorbans grafiği ( $R^2=0,997$ )

*Metil Violent Çözeltileri:* UV spektrofotometrede; Metil Violent 584 nm de maksimum adsorplandığı görülmüştür. Metil Violentin farklı derişimlerde hazırlanan çözeltilerinin 584 nm dalga boyunda absorbans değerleri ölçülerek standart eğri grafiği oluşturulmuştur (Şekil 3.13). Metil Violentin standart eğri grafiği görülmektedir. Bu boyar maddenin; standart eğri grafiğinden yararlanılarak  $1,0 \times 10^{-5}M$ ,  $2,3 \times 10^{-5}M$ ,  $4,1 \times 10^{-5}M$  ve  $5,1 \times 10^{-5}M$  olmak üzere dört ayrı derişimde sudaki çözeltileri hazırlanmıştır.



Şekil 3.13: Metil Violent standart çözeltinin derişim (M) / absorbans grafiği ( $R^2=0,999$ )

Bu çalışmada kullanılan üç farklı boyar maddenin adsorpsiyon kinetiği ve termodinamiği incelenmiştir. Adsorbent olarak; doğal maddeler seçilmiş olup bunlar kahverengi alg (*Laminaria Japonica*), yeşil alg (*Ulva Rotundata*), bentonit (Reşadiye, Tokat), modifiye bentonit ve kahverengi alg / modifiye bentonit ikili karışımlarıdır. Hazırlanan adsorbentler üzerinde Kongo Kırmızısı, Metil Mavi ve Metil Violent adsorpsiyonu dört farklı derişimlerde ve dört farklı sıcaklıklarda (20°C, 30°C, 40°C ve 50 °C) incelenmiştir.

## 4.BULGULAR

### 4.1.KULLANILAN SAF ADSORBENTLERİN ŞİŞME ÖZELLİĞİ

Kahverengi alg ve yeşil alg adsorbent olarak kullanılmadan önce şişme deneyleri yapılmıştır. Saf adsorbentlerin şişme oranı aşağıda verilen bağıntı ile hesaplanmıştır [63,64].

$$\text{Şişme Oranı (\%)} = \frac{W_s - W_d}{W_d} \cdot 100 \quad (4.1)$$

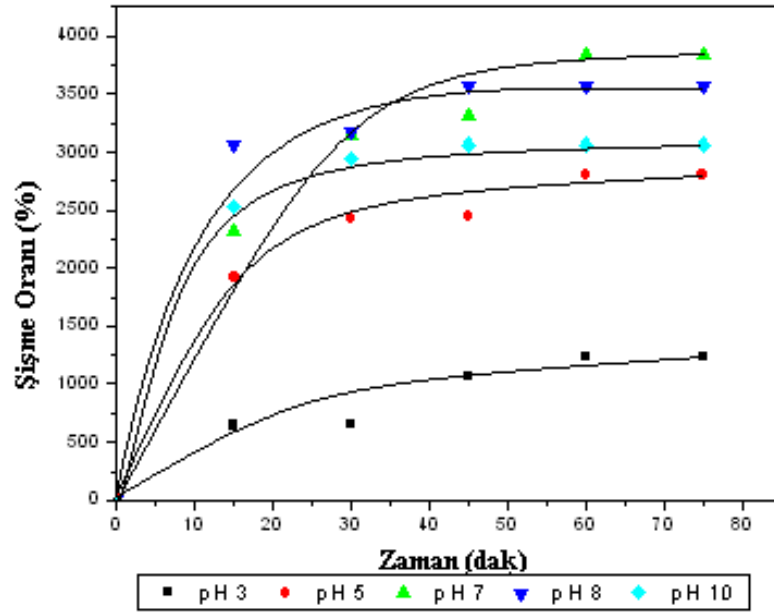
$W_s$ : Şişmiş Adsorbentin Tartımı (g)

$W_d$ : Kuru Adsorbentin Tartımı (g)

Algler önce 110 °C'lik etüvde sabit tartıma getirilmiştir. Daha sonra her birinden 0,1 g alınarak 50 ml değişik pH (3, 5, 7, 8 ve 10) su ortamında şişme deneyleri incelenmiştir.

#### 4.1.1.Kahverengi Algin Şişme Özelliği

Sabit tartıma getirilmiş olan kuru kahverengi algden 0,1 gram alınarak oda sıcaklığında 50 ml pH'ı farklı (3, 5, 7, 8 ve 10) su ortamında belirli zaman aralıklarında şişme oranları incelenmiştir. Kahverengi algin şişme sonuçları Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



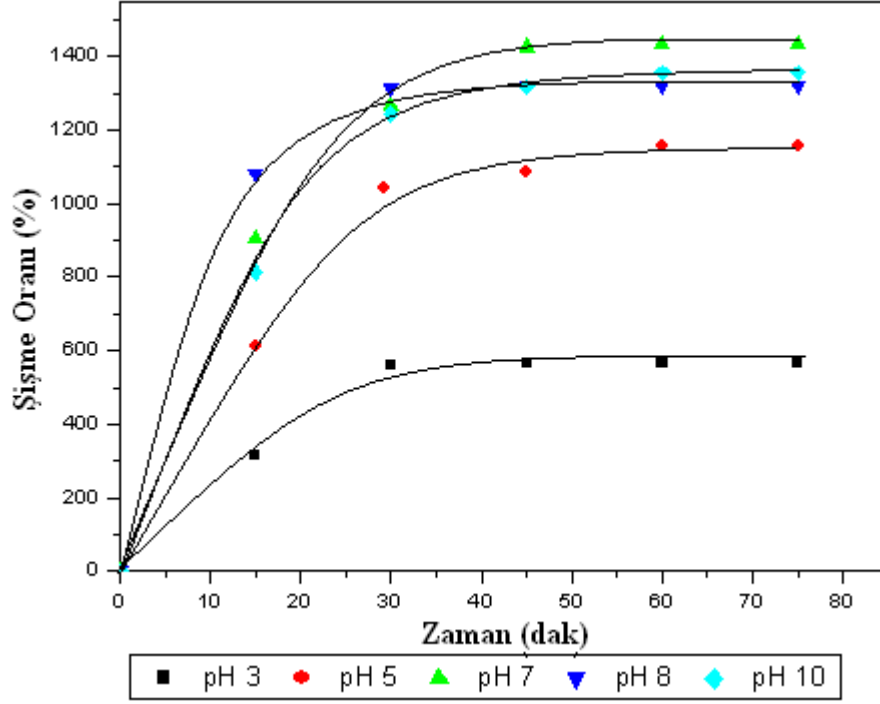
Şekil 4.1: Kahverengi algin farklı pH (3,5,7,8 ve 10) su ortamında zamana karşı şişme oranı (%)

Kahverengi algin farklı pH'lardaki (3, 5, 7, 8 ve 10) su ortamında zamana karşı şişme oranı (%) grafiği Şekil 4.1'de verilmiştir. Kahverengi alg için 75 dakikada pH 7'de şişme oranı (%) maksimum değere ulaşmıştır. 60 dakikada suda şişme oranı (%), kahverengi alg için 3842 misli olarak tespit edilmiştir.

Daha uzun beklemelerde alglerin suda dağıldıkları gözlenmiştir. Kahverengi algin farklı pH (3, 5, 7, 8 ve 10) su ortamında şişme oranı (%) değerleri Tablo 4.1'de verilmiştir.

#### 4.1.2. Yeşil Algin Şişme Özelliği

Sabit tartımda kurutulmuş olan kuru yeşil algden 0,1 gram alınarak oda sıcaklığında 50 ml farklı pH'lardaki (3, 5, 7, 8 ve 10) su ortamında belirli zaman aralıklarında şişme oranları incelenmiştir. Yeşil algin değişik pH'lardaki çözeltilerde şişme oranlarının zamana göre değişimi Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2: Yeşil algin farklı pH (3,5,7,8 ve 10) su ortamında zamana karşı şişme oranı(%)

Yeşil alg için 60 dakikada pH 7'de şişme oranı (%) maksimum değere ulaşmıştır. 75 dakikada suda şişme oranı (%), 1435 misli olarak tespit edilmiştir. Daha uzun beklemelelerde alglerin suda dağıldıkları gözlenmiştir. Yeşil algin farklı pH (3, 5, 7, 8 ve 10) su ortamında zaman karşı şişme oranı (%) grafiği Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1: Kahverengi ve yeşil algin farklı pH (3,5,7,8 ve 10) su ortamında şişme oranı (%)

pH	Kahverengi Algin	Yeşil Algin
	Şişme Oranı (%)	Şişme Oranı (%)
3	1242	569
5	2802	1157
7	3842	1435
8	3572	1319
10	3067	1357

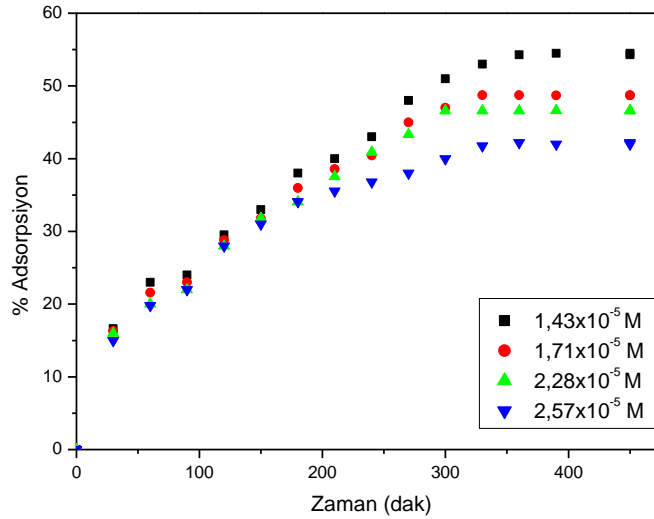
## 4.2. KONGO KIRMIZISININ ADSORPSİYONU

Yeşil alg, kahverengi alg, saf bentonit, modifiye bentonit ve kahverengi alg / modifiye bentonit (KA/MB) üzerinde Kongo Kırmızısının adsorpsiyonu 30°C’de dört farklı derişimlerde ( $1,43 \times 10^{-5} M$ ,  $1,71 \times 10^{-5} M$ ,  $2,28 \times 10^{-5} M$  ve  $2,57 \times 10^{-5} M$ ) incelenmiştir. Bu adsorbentlerin 30°C’de % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi Şekil 4.3-4.7’ de verilmiştir.

### 4.2.1. Farklı Adsorbentler Üzerinde Kongo Kırmızısının Derişim Etkisi

#### 4.2.1.1. Yeşil Alg Üzerinde Kongo Kırmızısının Derişim Etkisi:

Adsorbent olarak kullanılan yeşil algden 0,1 g alınarak üzerine Kongo Kırmızısının her bir derişimden 50’şer ml konulmuş ve UV-Spektrofotometrede adsorpsiyonu takip edilmiştir. Yüzde adsorpsiyon grafiği Şekil 4.3’de gösterilmiştir.



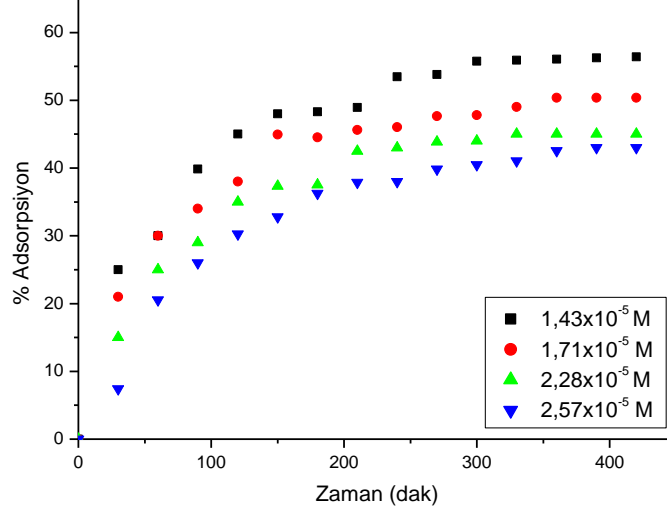
Şekil 4.3: Yeşil alg üzerinde Kongo Kırmızısının değişik derişimlerde % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (30°C)

Şekil 4.3’e göre hemen hemen tüm derişimlerde adsorpsiyon dengeye gelme süresi 390 dakika olduğu görülmüştür.

#### 4.2.1.2. Kahverengi Alg Üzerinde Kongo Kırmızısının Derişim Etkisi:

Adsorbent olarak kullanılan 0,1 g kahverengi alg üzerinde Kongo Kırmızısının her bir derişimden 50’şer ml konulmuş ve UV-Spektrofotometrede boyar madde adsorpsiyonu

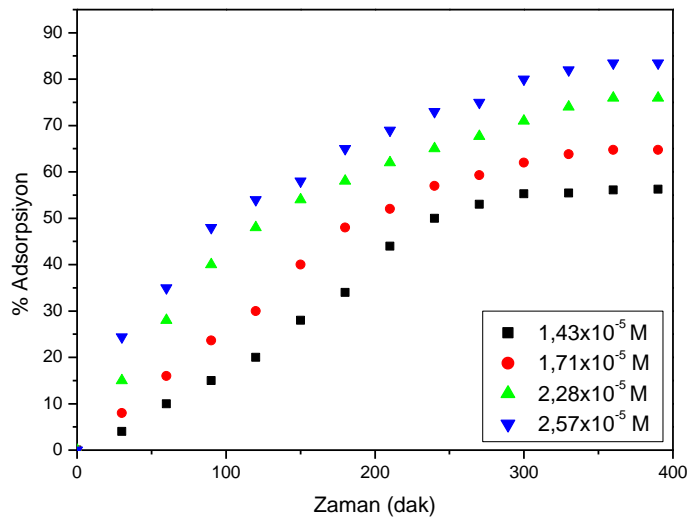
takip edilmiştir. Kongo Kırmızısının kahverengi alg üzerinde yüzde adsorpsiyon grafiği Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4: Kahverengi alg üzerinde Kongo Kırmızısının değişik derişimlerde % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (30°C)

#### 4.2.1.3. Saf Bentonit Üzerinde Kongo Kırmızısının Derişim Etkisi:

Saf bentonitten 0,1 g alınarak üzerine Kongo Kırmızısının her bir derişimden 50'şer ml konulmuş ve UV-Spektrofotometrede adsorpsiyonu takip edilmiştir. Kongo Kırmızısı saf bentonit üzerinde yüzde adsorpsiyon grafiği Şekil 4.5'de gösterilmiştir.

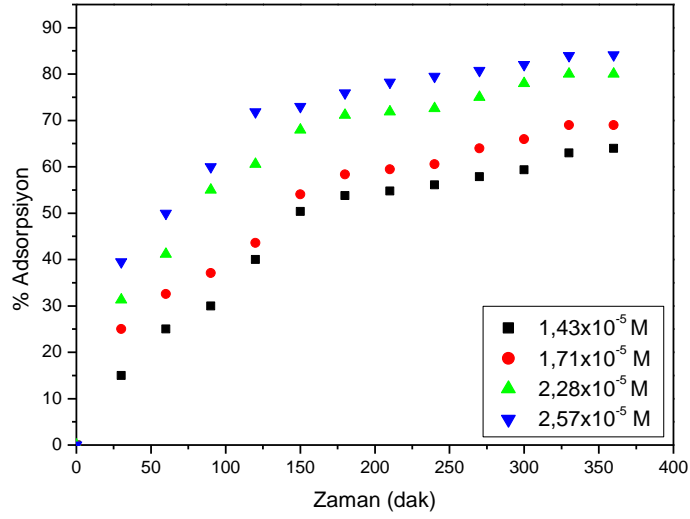


Şekil 4.5: Saf bentonit üzerinde Kongo Kırmızısının değişik derişimlerde % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (30°C)



#### 4.2.1.4. Modifiye Bentonit Üzerinde Kongo Kırmızısının Derişim Etkisi:

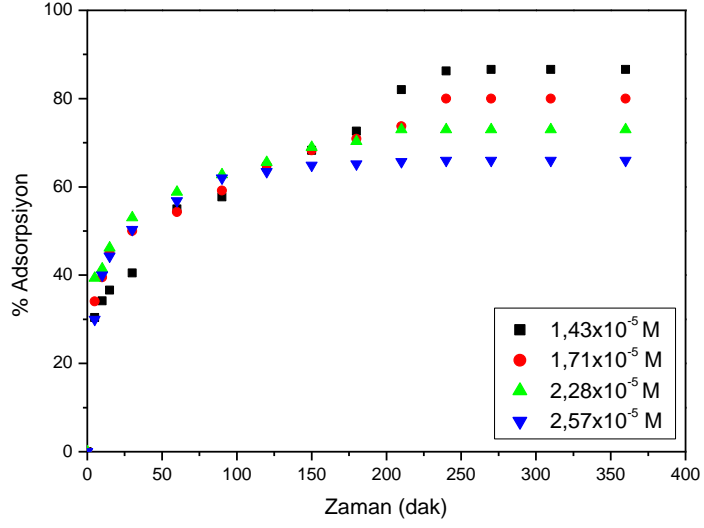
Modifiye bentonitten 0,1 g alınarak üzerine Kongo Kırmızısının her bir derişimden 50'şer ml konulmuş ve UV-Spektrofotometrede adsorpsiyonu takip edilmiştir. Kongo Kırmızısı modifiye bentonit üzerinde yüzde adsorpsiyon grafiğı Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.6: Modifiye bentonit üzerinde Kongo Kırmızısının değışik derişimlerde % adsorpsiyonunun zamana göre değışimi (30°C)

#### 4.2.1.5. KA/MB Üzerinde Kongo Kırmızısının Derişim Etkisi:

KA/MB 0,1 g alınarak üzerine Kongo Kırmızısının her bir derişimden 50'şer ml konulmuş ve UV-Spektrofotometrede adsorpsiyonu takip edilmiştir. Kongo Kırmızısı KA/MB üzerinde yüzde adsorpsiyon grafiğı Şekil 4.7'de gösterilmiştir.

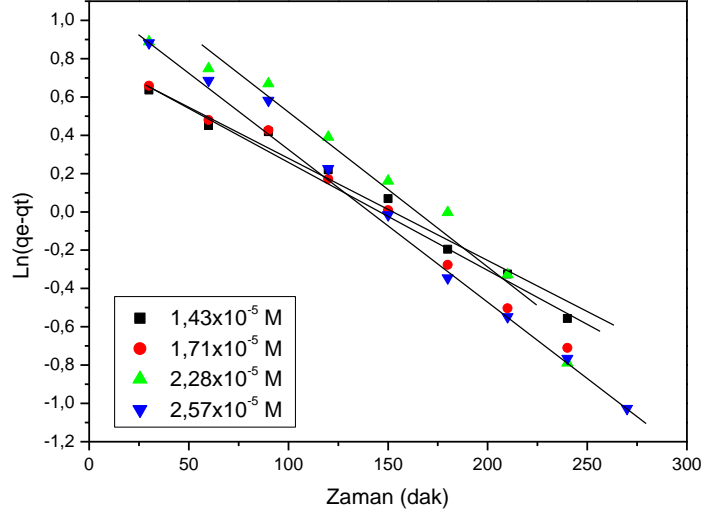


Şekil 4.7: KA/MB üzerinde Kongo Kırmızısının değişik derişimlerde % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (30°C)

#### 4.2.2. Farklı Adsorbentler Üzerinde Kongo Kırmızısının Adsorpsiyon Kinetiği

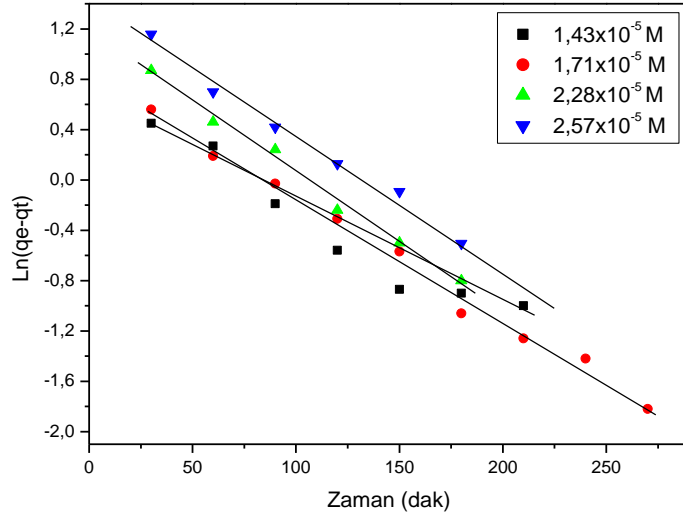
Yeşil alg, kahverengi alg, saf bentonit, modifiye bentonit ve KA/MB üzerinde Kongo Kırmızısının adsorpsiyon kinetiği 30°C'de dört farklı derişimde ( $1,43 \times 10^{-5} \text{M}$ ,  $1,71 \times 10^{-5} \text{M}$ ,  $2,28 \times 10^{-5} \text{M}$  ve  $2,57 \times 10^{-5} \text{M}$ ) incelenmiştir. Her bir adsorbent için sırasıyla formül 2.7 ve 2.10'da belirtilen yalancı birinci derece kinetik model ve yalancı ikinci dereceden kinetik model uygulanmıştır. Adsorpsiyonun kinetik modele uygunluğu korelasyon katsayıları ile takip edilmiştir. Buna göre; yalancı birinci dereceden kinetik model için; t'nin  $\ln(q_e - q_t)$ 'ye karşı çizilen grafiğinden elde edilen doğrunun eğim ve kesim noktalarından  $k_1$  ve  $q_e$  hesaplanmıştır. Yalancı ikinci dereceden kinetik model için; t'nin  $t/q_t$ 'ye karşı çizilen grafiğinden elde edilen doğrunun eğim ve kesim noktalarından  $k_2$  ve  $q_e$  hesaplanmıştır. Her bir adsorbent için elde edilen sonuçlar Tablo 4.2'de verilmiştir.

4.2.2.1. Yeşil Alg Üzerinde Kongo Kırmızısının Yalancı 1. Derece Adsorpsiyon Kinetiği: Şekil 4.8' de adsorpsiyonun yalancı birinci derece kinetiğini göstermektedir.  $R^2$  değerlerine göre yalancı birinci derece kinetiğine uygunluğu görülmektedir.



Şekil 4.8: Kongo Kırmızısı çözeltisinin yeşil alg üzerindeki adsorpsiyonun yalancı 1. derece kinetiği (30°C)

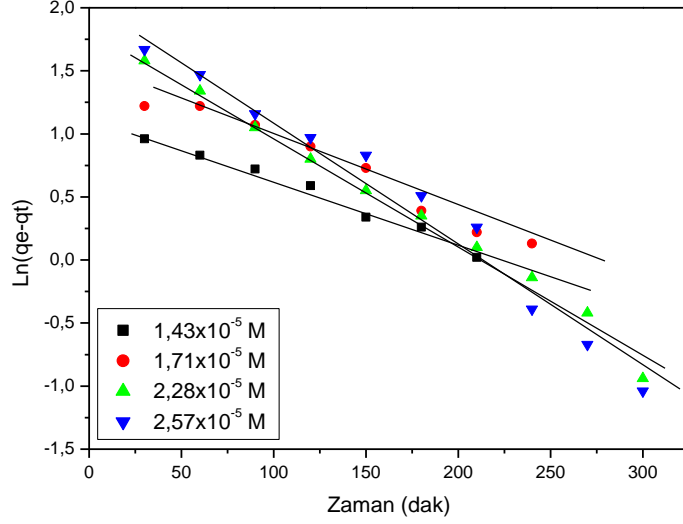
#### 4.2.2.2. Kahverengi Alg Üzerinde Kongo Kırmızısının Yalancı 1. Derece Adsorpsiyon Kinetiği:



Şekil 4.9: Kongo Kırmızısı çözeltisinin kahverengi alg üzerindeki adsorpsiyonun yalancı 1. derece kinetiği (30°C)

Şekil 4.9'da adsorpsiyonun yalancı birinci derece kinetiğini göstermektedir.  $R^2$  değerlerine göre yalancı birinci derece kinetiğine uygunluğu görülmektedir.

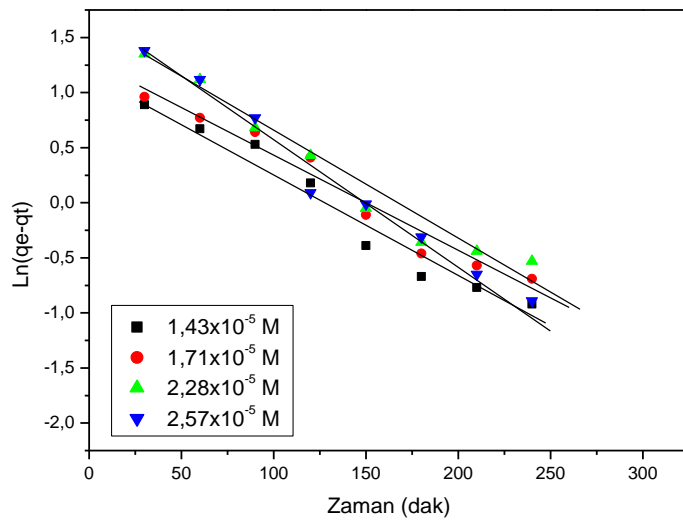
4.2.2.3. *Saf Bentonit Üzerinde Kongo Kırmızısının Yalancı 1. Derece Adsorpsiyon Kinetiği:*



Şekil 4.10: Kongo Kırmızısı çözeltisinin saf bentonit üzerindeki adsorpsiyonun yalancı 1. derece kinetiği (30°C)

Şekil 4.10'da adsorpsiyonun yalancı birinci derece kinetiğini göstermektedir. R<sup>2</sup> değerlerine göre yalancı birinci derece kinetiğine uygunluğu görülmektedir.

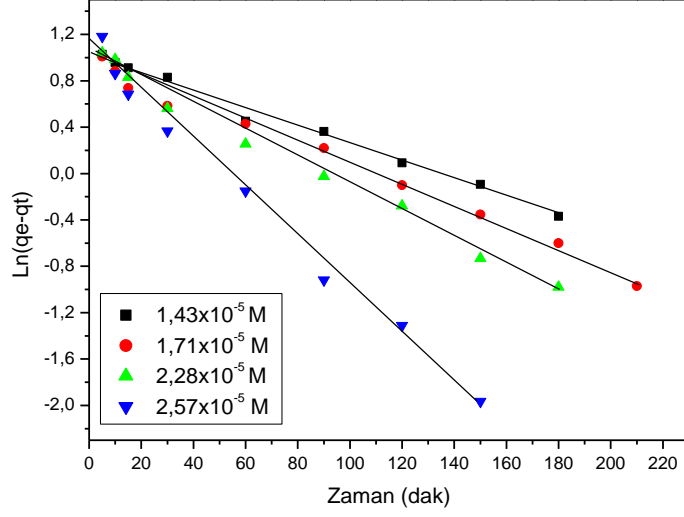
4.2.2.4. *Modifiye Bentonit Üzerinde Kongo Kırmızısının Yalancı 1. Derece Adsorpsiyon Kinetiği:*



Şekil 4.11: Kongo Kırmızısı çözeltisinin modifiye bentonit üzerindeki adsorpsiyonun yalancı 1. derece kinetiği (30°C)

Şekil 4.11’de adsorpsiyonun yalancı birinci derece kinetiğini göstermektedir.  $R^2$  değerlerine göre yalancı birinci derece kinetiğine uygunluğu görülmektedir.

#### 4.2.2.5.KA/MB Üzerinde Kongo Kırmızısının Yalancı 1. Derece Adsorpsiyon Kinetiği:



Şekil 4.12: Kongo Kırmızısı çözeltisinin KA/MB üzerindeki adsorpsiyonun yalancı 1. derece kinetiği (30°C)

Şekil 4.12’de adsorpsiyonun yalancı birinci derece kinetiğini göstermektedir.  $R^2$  değerlerine göre yalancı birinci derece kinetiğine uygunluğu görülmektedir.

Tablo 4.2: Kongo Kırmızısının farklı adsorbentlerin üzerinde adsorpsiyon kinetik hesaplamaları

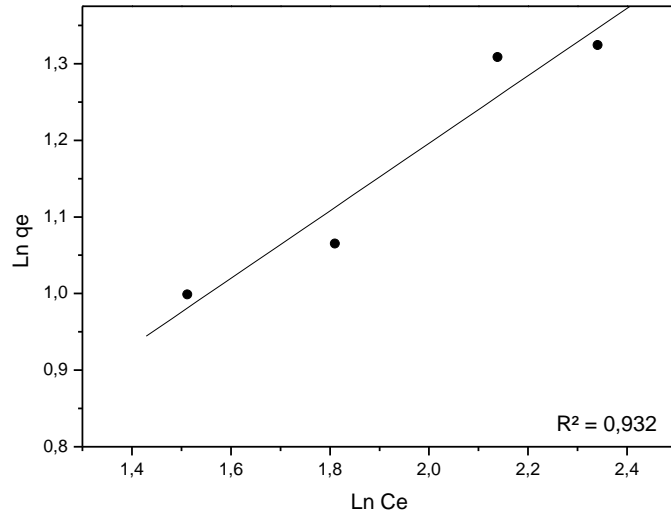
Adsor.	Cx10 <sup>-5</sup> M	Adsorp. Max (%)	q <sub>e</sub> (mg.g <sup>-1</sup> ) (deneysel)	Yalancı Birinci Derece Kinetik Model		
				q <sub>e</sub> (mg.g <sup>-1</sup> ) (hesap)	k <sub>1</sub> x10 <sup>-3</sup> (dak <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
YA	1,43	54,5	2,72	2,34	5,6	0,982
	1,71	48,7	2,90	2,53	6,7	0,984
	2,28	46,6	3,70	3,32	7,7	0,959
	2,57	42,0	3,76	3,51	8,2	0,993
KA	1,43	56,4	2,81	1,92	8,8	0,935
	1,71	50,4	3,00	2,30	9,8	0,993
	2,28	45,0	3,57	3,23	1,1	0,993
	2,57	43,0	3,85	4,30	1,2	0,987
SB	1,43	56,2	2,80	3,16	5,2	0,983
	1,71	64,8	3,86	4,60	5,9	0,964
	2,28	75,9	6,03	6,46	8,7	0,990
	2,57	83,5	7,48	8,40	10,0	0,972
MB	1,43	64,0	3,19	3,42	9,6	0,967
	1,71	69,0	4,11	4,00	9,7	0,967
	2,28	80,0	6,35	4,93	9,8	0,964
	2,57	84,1	7,53	5,44	11,1	0,981
KA/MB	1,43	86,6	4,31	2,81	7,7	0,991
	1,71	80,0	4,77	2,60	8,9	0,991
	2,28	72,9	5,79	2,77	11,3	0,990
	2,57	66,0	5,91	2,94	2,06	0,990

### 4.2.3. Farklı Adsorbentler Üzerinde Kongo Kırmızısının Adsorpsiyon İzotermi

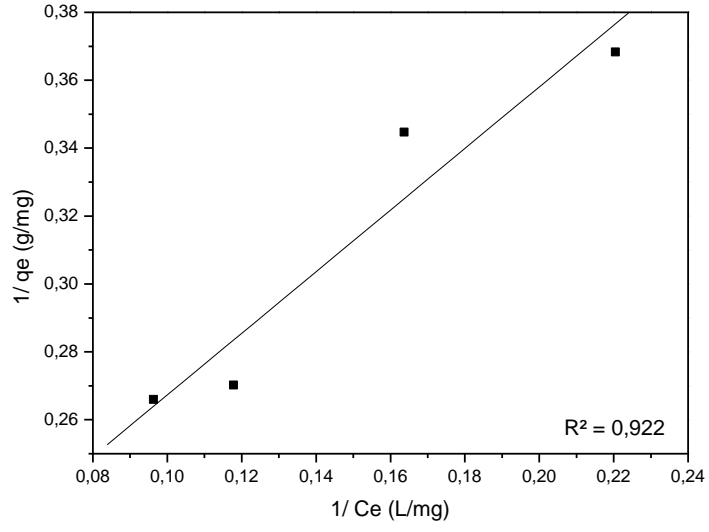
Yeşil alg, kahverengi alg, saf bentonit, modifiye bentonit ve KA/MB üzerinde Kongo Kırmızısının adsorpsiyonundan elde edilen verilere Freundlich, Langmuir ve Temkin adsorpsiyon izoterm modelleri uygulanmıştır.

#### 4.2.3.1. Yeşil Alg Üzerinde Kongo Kırmızısının Adsorpsiyon İzotermi:

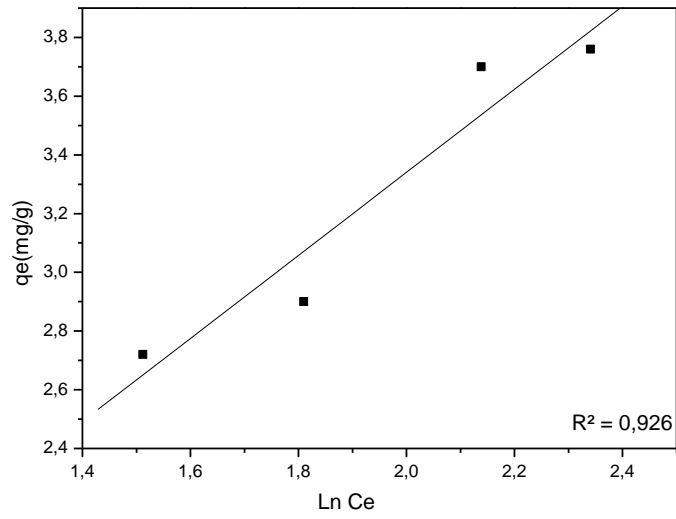
Yeşil alg üzerinde 30°C’de Kongo Kırmızısının adsorpsiyonunun için çizilen Freundlich, Langmuir ve Temkin izotermi sırasıyla Şekil 4.13- 4.15’de verilmektedir. Bu grafiklerin eğim ve kesim noktalarından izoterm parametreleri ve ayrıca korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.13: Kongo Kırmızısı çözeltisinin yeşil alg üzerindeki adsorpsiyonun Freundlich izotermi (30°C)



Şekil 4.14: Kongo Kırmızısı çözeltisinin yeşil alg üzerindeki adsorpsiyonun Langmuir izotermi (30°C)

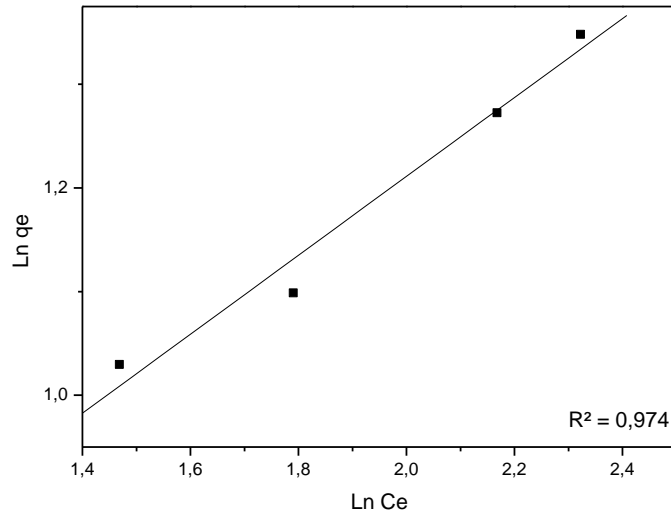


Şekil 4.15: Kongo Kırmızısı çözeltisinin yeşil alg üzerindeki adsorpsiyonun Temkin izotermi (30°C)

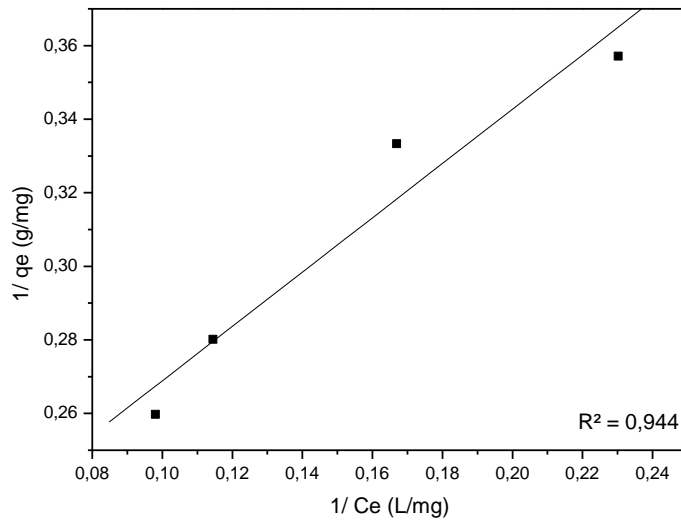


#### 4.2.3.2. Kahverengi Alg Üzerinde Kongo Kırmızısının Adsorpsiyon İzotermi:

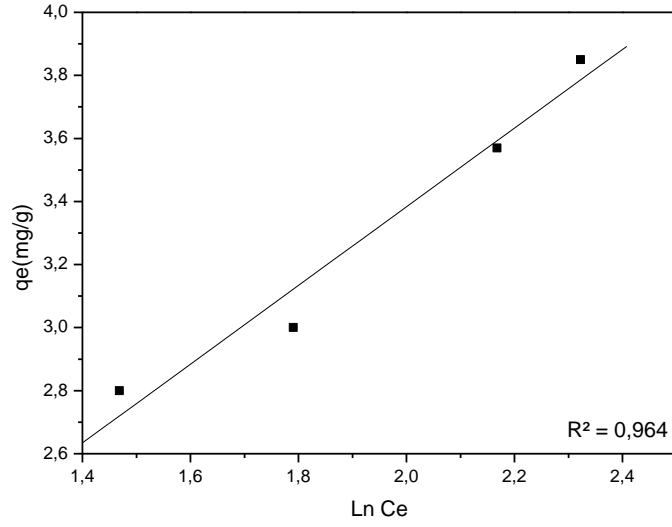
Kahverengi alg üzerinde 30°C'de Kongo Kırmızısının adsorpsiyonun için çizilen Freundlich, Langmuir ve Temkin izotermi sırasıyla Şekil 4.16- 4.18'de verilmektedir. Bu grafiklerin eğim ve kesim noktalarından izoterm parametreleri ve ayrıca korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.16: Kongo Kırmızısı çözeltisinin kahverengi alg üzerindeki adsorpsiyonun Freundlich izotermi (30°C)



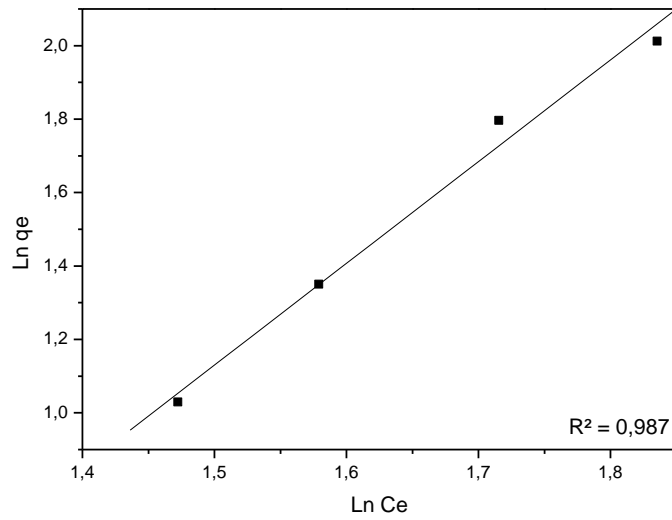
Şekil 4.17: Kongo Kırmızısı çözeltisinin kahverengi alg üzerindeki adsorpsiyonun Langmuir izotermi (30°C)



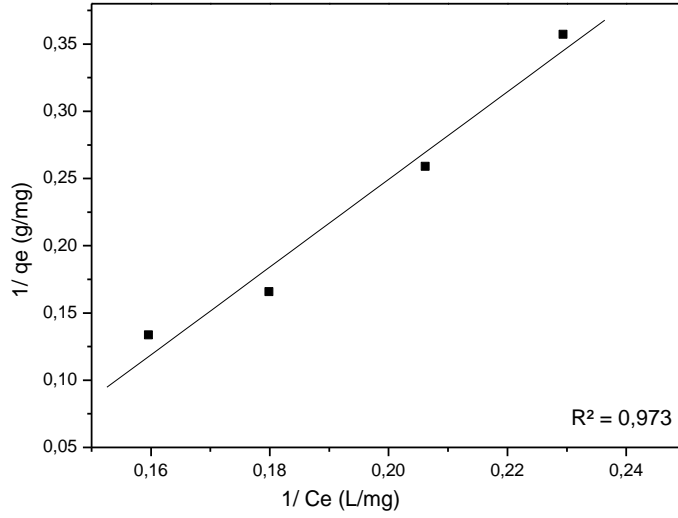
Şekil 4.18: Kongo Kırmızısı çözeltisinin kahverengi alg üzerindeki adsorpsiyonun Temkin izotermi (30°C)

#### 4.2.3.3. Saf Bentonit Üzerinde Kongo Kırmızısının Adsorpsiyon İzotermi:

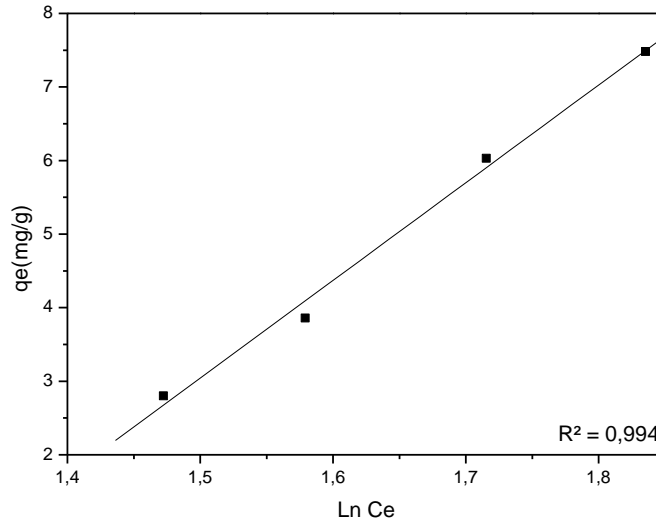
Saf bentonit üzerinde 30°C'de Kongo Kırmızısının adsorpsiyonunun için çizilen Freundlich, Langmuir ve Temkin izotermi sırasıyla Şekil 4.19- 4.21'de verilmektedir. Bu grafiklerin eğim ve kesim noktalarından izoterm parametreleri ve ayrıca korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.19: Kongo Kırmızısı çözeltisinin saf bentonit üzerindeki adsorpsiyonun Freundlich izotermi (30°C)



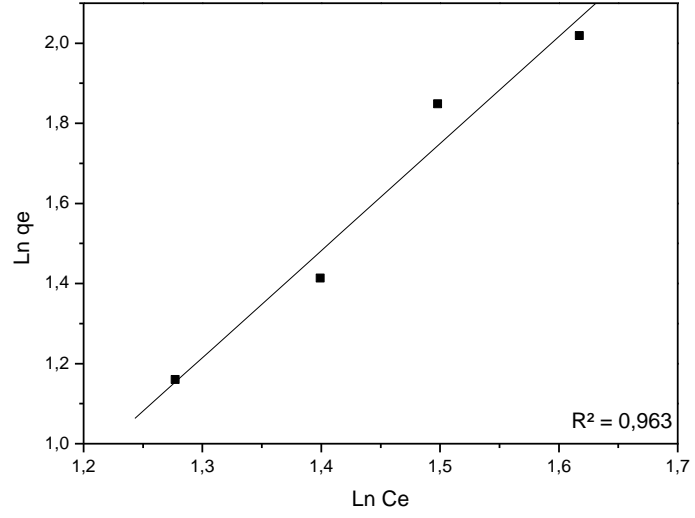
Şekil 4.20: Kongo Kırmızısı çözeltisinin saf bentonit üzerindeki adsorpsiyonun Langmuir izotermi (30°C)



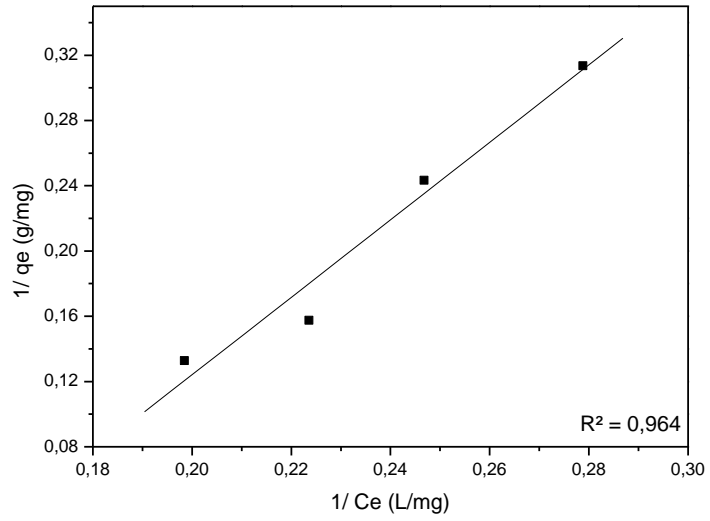
Şekil 4.21: Kongo Kırmızısı çözeltisinin saf bentonit üzerindeki adsorpsiyonun Temkin izotermi (30°C)

#### 4.2.3.4. Modifiye Bentonit Üzerinde Kongo Kırmızısının Adsorpsiyon İzotermi:

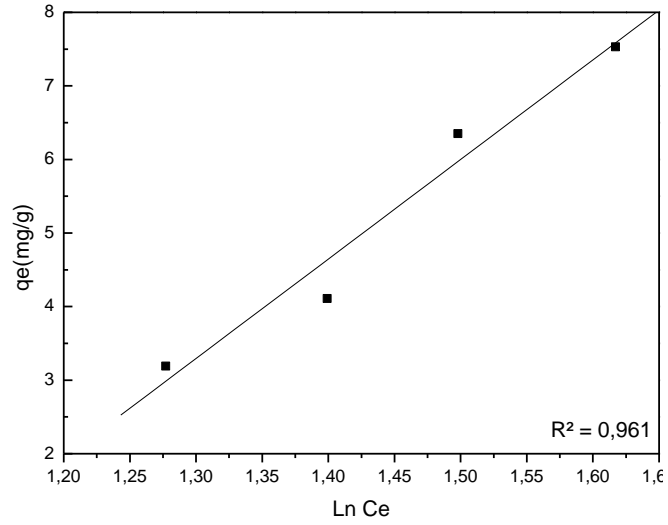
Modifiye bentonit üzerinde 30°C'de Kongo Kırmızısının adsorpsiyonun için çizilen Freundlich, Langmuir ve Temkin izotermi sırasıyla Şekil 4.22- 4.24'de verilmektedir. Bu grafiklerin eğim ve kesim noktalarından izoterm parametreleri ve ayrıca korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.22: Kongo Kırmızısı çözeltisinin modifiye bentonit üzerindeki adsorpsiyonun Freundlich izotermi (30°C)



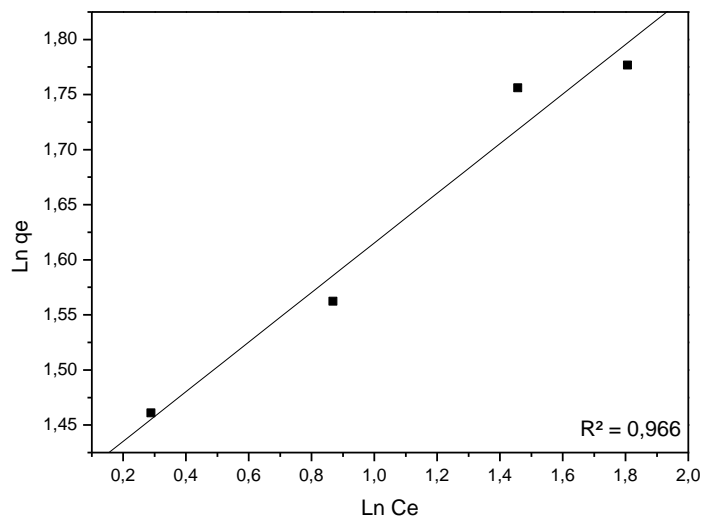
Şekil 4.23: Kongo Kırmızısı çözeltisinin modifiye bentonit üzerindeki adsorpsiyonun Langmuir izotermi (30°C)



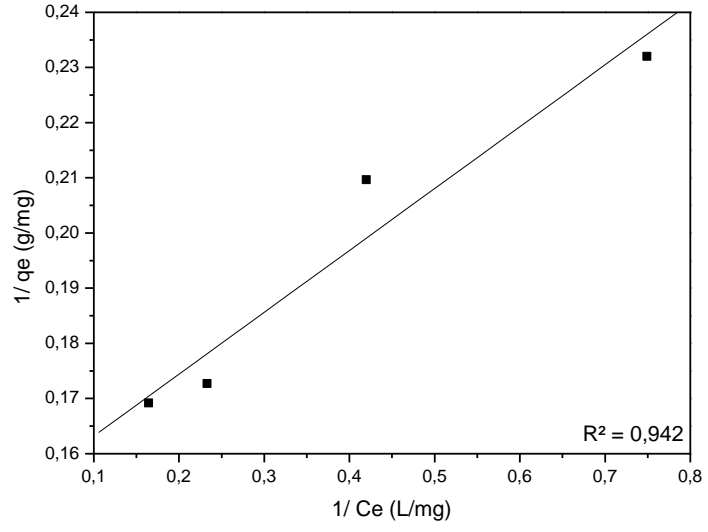
Şekil 4.24: Kongo Kırmızısı çözeltisinin modifiye bentonit üzerindeki adsorpsiyonun Temkin izotermi (30°C)

#### 4.2.3.5. KA/MB Üzerinde Kongo Kırmızısının Adsorpsiyon İzotermi:

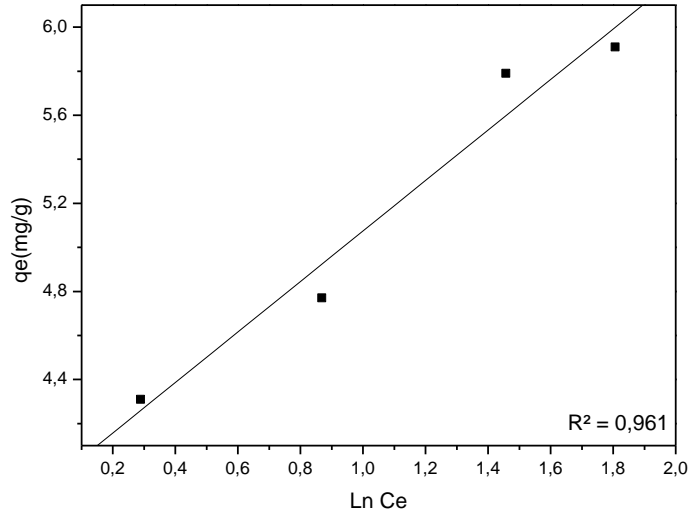
KA/MB üzerinde 30°C'de Kongo Kırmızısının adsorpsiyonun için çizilen Freundlich, Langmuir ve Temkin izotermi sırasıyla Şekil 4.25- 4.27'de verilmektedir. Bu grafiklerin eğim ve kesim noktalarından izoterm parametreleri ve ayrıca korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 4.3'de verilmiştir.



Şekil 4.25: Kongo Kırmızısı çözeltisinin KA/MB üzerindeki adsorpsiyonun Freundlich izotermi (30°C)



Şekil 4.26: Kongo Kırmızısı çözeltisinin KA/MB üzerindeki adsorpsiyonun Langmuir izotermi (30°C)



Şekil 4.27: Kongo Kırmızısı çözeltisinin KA/MB üzerindeki adsorpsiyonun Temkin izotermi (30°C)

Tablo 4.3: Kongo Kırmızısı farklı adsorbentlerin üzerinde adsorpsiyon izotermi

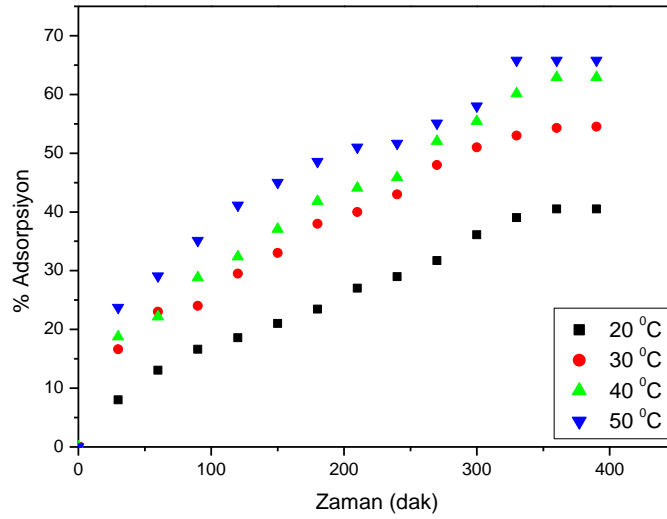
Adsorbent	Freundlich İzotermi			Langmuir İzotermi				Temkin İzotermi		
	n	$K_F$ (L g <sup>-1</sup> )	$R^2$	$q_{max}$ (mg g <sup>-1</sup> )	$K_L$ (L g <sup>-1</sup> )	$R_L$	$R^2$	$a_T$ (L g <sup>-1</sup> )	$K_T$	$R^2$
YA	3,18	1,55	0,932	5,66	0,19	0,22	0,922	1,42	1,42	0,926
KA	2,62	1,57	0,974	5,13	0,26	0,17	0,943	2,03	1,25	0,964
SB	0,36	0,05	0,987	2,48	0,12	0,31	0,973	0,28	13,28	0,994
MB	0,37	0,10	0,963	2,85	0,15	0,27	0,964	0,35	13,53	0,961
KA/MB	4,44	4,02	0,966	8,92	0,74	0,11	0,942	30,79	1,15	0,961

RL değeri 0-1 arasında olduğu için adsorpsiyon işlemi kendiliğinden gerçekleşir.

#### 4.2.4. Farklı Adsorbentler Üzerinde Kongo Kırmızısının Adsorpsiyon Termodinamiği

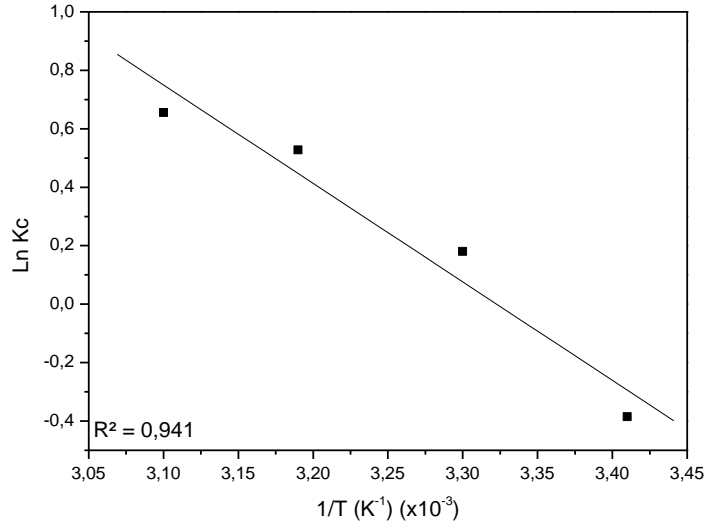
Yeşil alg, kahverengi alg, saf bentonit, modifiye bentonit ve KA/MB üzerinde Kongo Kırmızısının adsorpsiyonu  $1,43 \times 10^{-5}$  M'da dört farklı sıcaklıkta (20°C, 30°C, 40°C ve 50 °C) incelenmiştir.

##### 4.2.4.1. Yeşil Alg Üzerinde Kongo Kırmızısının Adsorpsiyon Termodinamiği:

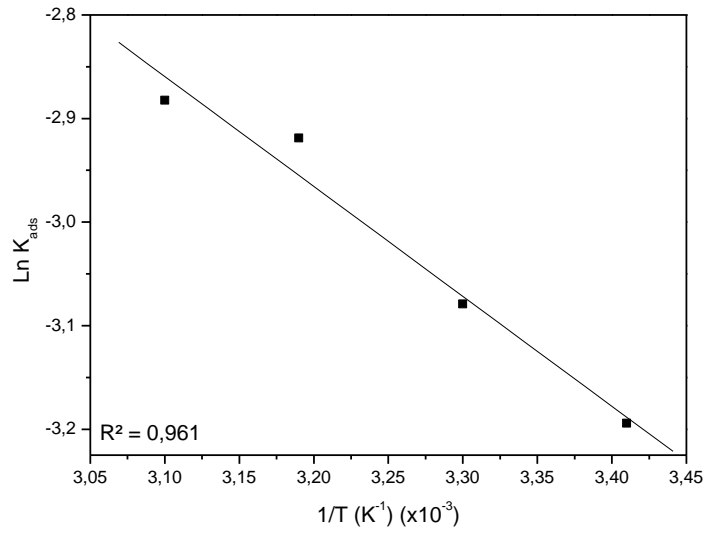


Şekil 4.28: Yeşil alg üzerinde Kongo Kırmızısının değişik sıcaklıklarda % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi ( $1,43 \times 10^{-5}$  M)





Şekil 4.29: Yeşil alg üzerinde Kongo Kırmızısının adsorpsiyonunun Van't Hoff grafiği

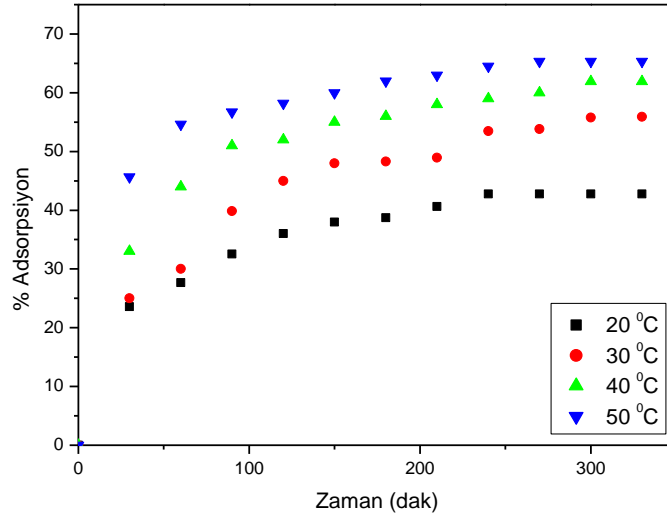


Şekil 4.30: Yeşil alg üzerinde Kongo Kırmızısının adsorpsiyonunun Arrhenius grafiği

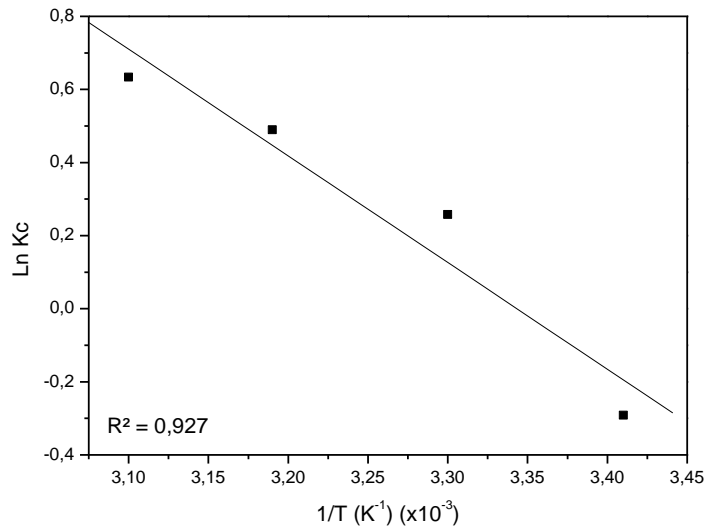
Bu çalışmada; yeşil alg üzerinde Kongo Kırmızısının aktivasyon enerjisi ( $E_a$ )  $\ln k_{ads} - 1/T$  grafiği çizilerek bulunmuştur. Aktivasyon enerjisi Şekil 4.30'da görülen grafiğin eğiminden hesaplanmıştır. Genel olarak grafiğin lineer çıkması durumunda aktivasyon enerjisi 5 kJ/mol ile 40 kJ/mol arasında olması adsorpsiyonun fiziksel adsorpsiyon olduğunu gösterir. Eğer aktivasyon enerjisi 40 kJ/mol ile 800 kJ/mol arasında ise adsorpsiyonun kimyasal adsorpsiyon olduğu kabul edilir. Buna göre; Kongo

Kırmızısının yeşil alg üzerindeki adsorpsiyon aktivasyon enerjisi 8,7 kJ/mol olduğundan fiziksel adsorpsiyon olarak gözlenmiştir [65].

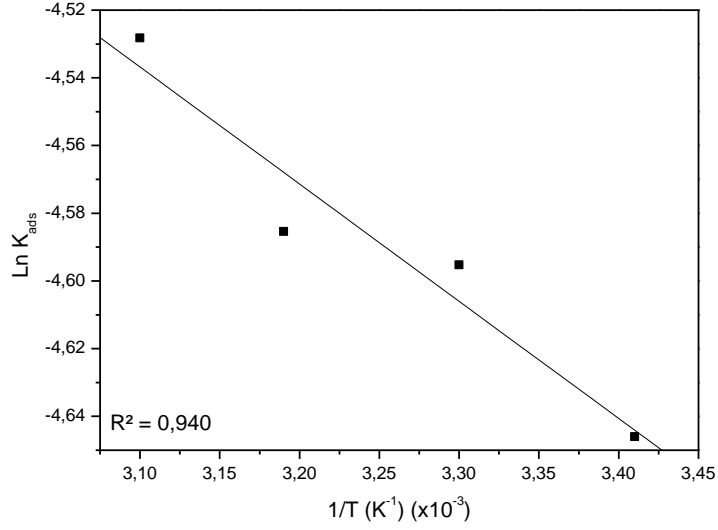
#### 4.2.4.2. Kahverengi Alg Üzerinde Kongo Kırmızısının Adsorpsiyon Termodinamiği:



Şekil 4.31: Kahverengi alg üzerinde Kongo Kırmızısının değişik sıcaklıklarda % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi ( $1,43 \times 10^{-5}$  M)



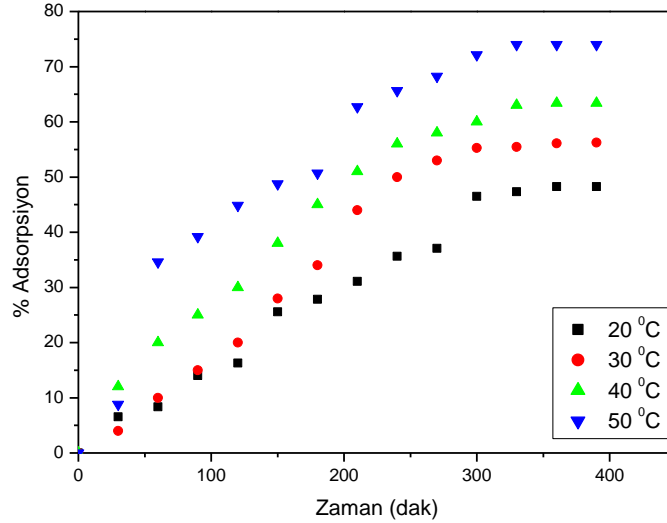
Şekil 4.32: Kahverengi alg üzerinde Kongo Kırmızısının adsorpsiyonunun Van't Hoff grafiği



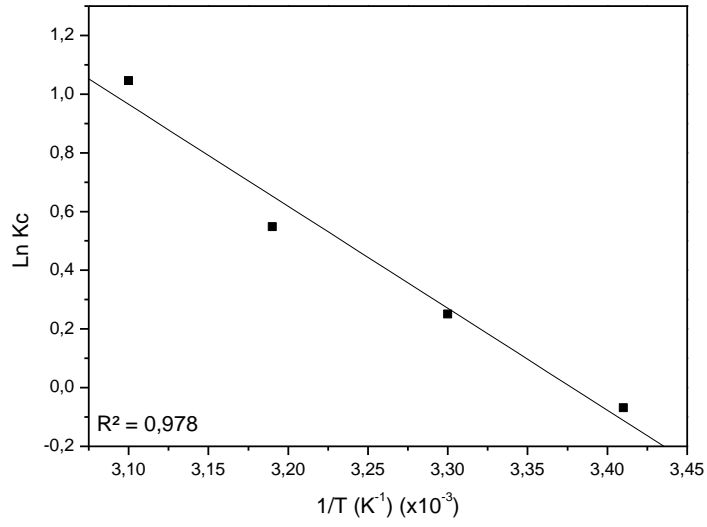
Şekil 4.33: Kahverengi alg üzerinde Kongo Kırmızısının adsorpsiyonunun Arrhenius grafiği

Bu çalışmada; kahverengi alg üzerinde Kongo Kırmızısının aktivasyon enerjisi ( $E_a$ )  $\ln k_{ads} - 1/T$  grafiği çizilerek bulunmuştur. Aktivasyon enerjisi Şekil 4.33'de görülen grafiğin eğiminden hesaplanmıştır. Buna göre; Kongo Kırmızısının kahverengi alg üzerindeki adsorpsiyon aktivasyon enerjisi 2,9 kJ/mol olduğundan fiziksel adsorpsiyon olarak gözlenmiştir.

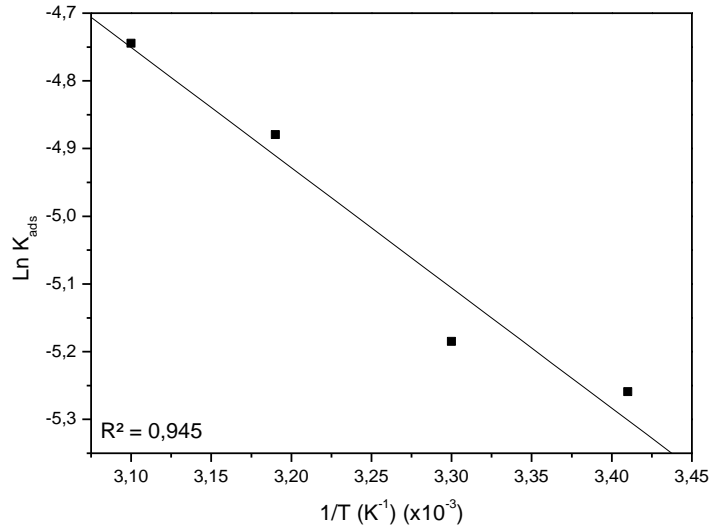
#### 4.2.4.3. Saf Bentonit Üzerinde Kongo Kırmızısının Adsorpsiyon Termodinamiği:



Şekil 4.34: Saf bentonit üzerinde Kongo Kırmızısının değişik sıcaklıklarda % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi ( $1,43 \times 10^{-5}$  M)



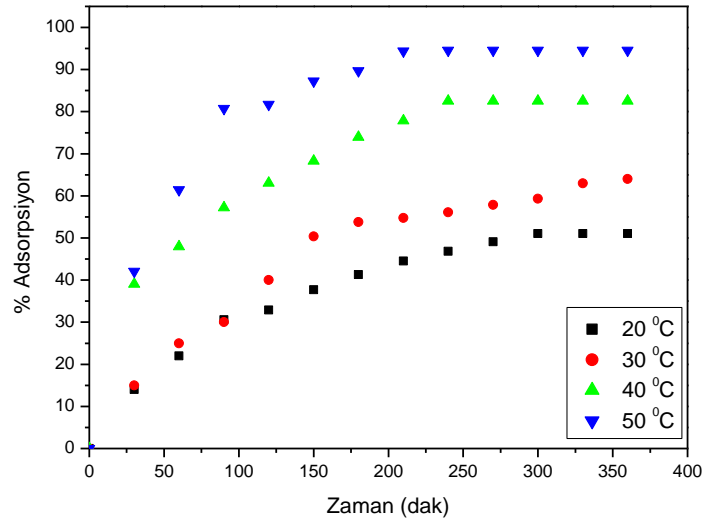
Şekil 4.35: Saf bentonit üzerinde Kongo Kırmızısının adsorpsiyonunun Van't Hoff grafiği



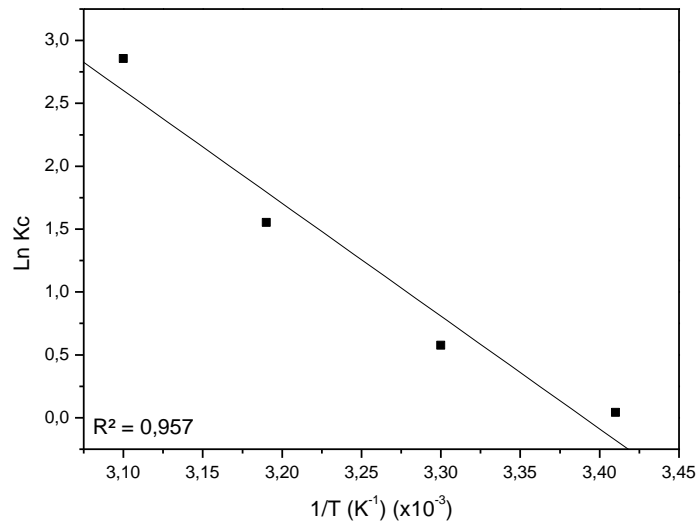
Şekil 4.36: Saf bentonit üzerinde Kongo Kırmızısının adsorpsiyonunun Arrhenius grafiği

Bu çalışmada; saf bentonit üzerinde Kongo Kırmızısının aktivasyon enerjisi ( $E_a$ )  $\ln K_{ads}$ -  $1/T$  grafiği çizilerek bulunmuştur. Aktivasyon enerjisi Şekil 4.36'da görülen grafiğin eğiminden hesaplanmıştır. Buna göre; Kongo Kırmızısının saf bentonit üzerindeki adsorpsiyon aktivasyon enerjisi 14,5 kJ/mol olduğundan fiziksel adsorpsiyon olarak gözlenmiştir.

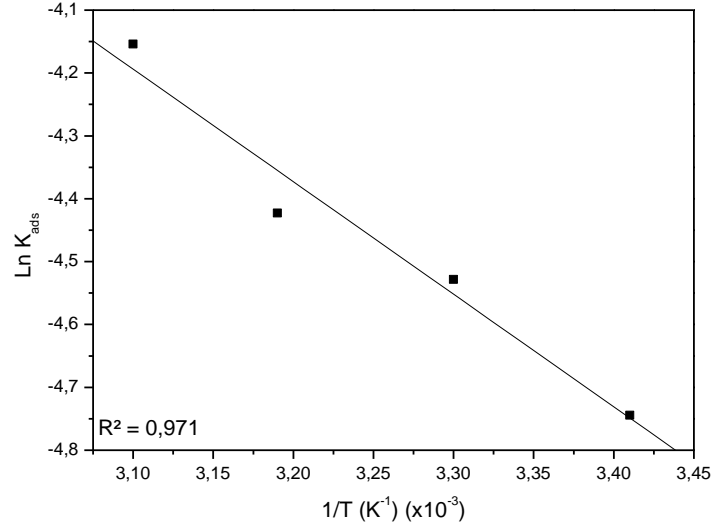
#### 4.2.4.4. Modifiye Bentonit Üzerinde Kongo Kırmızısının Adsorpsiyon Termodinamiği:



Şekil 4.37: Modifiye bentonit üzerinde Kongo Kırmızısının değişik sıcaklıklarda % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi ( $1,43 \times 10^{-5}$  M)



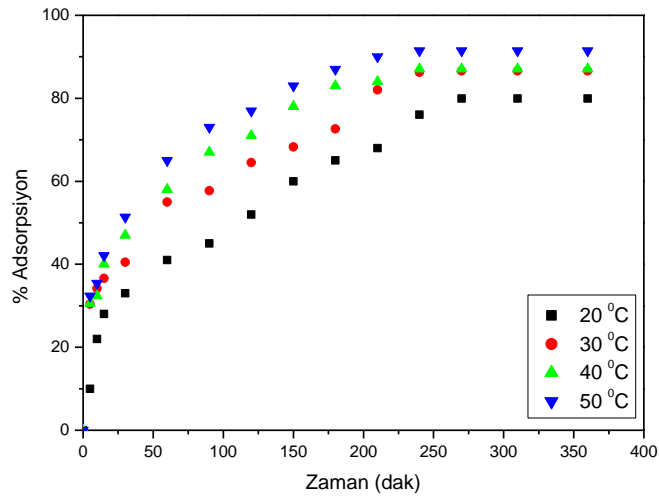
Şekil 4.38: Modifiye bentonit üzerinde Kongo Kırmızısının adsorpsiyonunun Van't Hoff grafiği



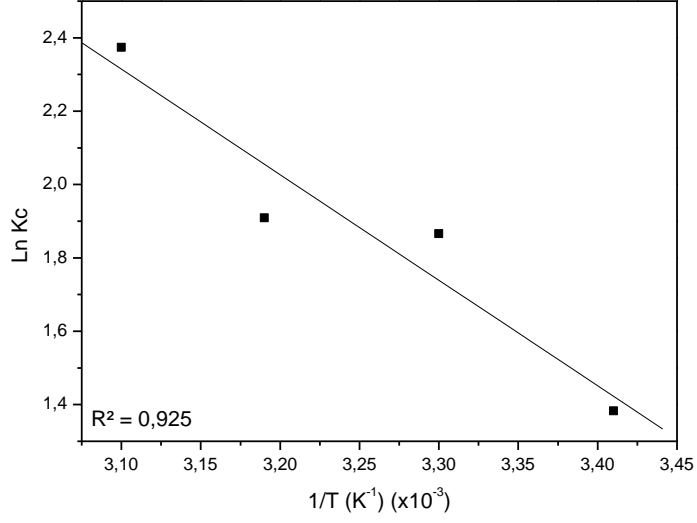
Şekil 4.39: Modifiye bentonit üzerinde Kongo Kırmızısının adsorpsiyonunun Arrhenius grafiği

Bu çalışmada; modifiye bentonit üzerinde Kongo Kırmızısının aktivasyon enerjisi ( $E_a$ )  $\ln k_{ads} - 1/T$  grafiği çizilerek bulunmuştur. Aktivasyon enerjisi Şekil 4.39'da görülen grafiğin eğiminden hesaplanmıştır. Buna göre; Kongo Kırmızısının modifiye bentonit üzerindeki adsorpsiyon aktivasyon enerjisi 14,7 kJ/mol olduğundan fiziksel adsorpsiyon olarak gözlenmiştir.

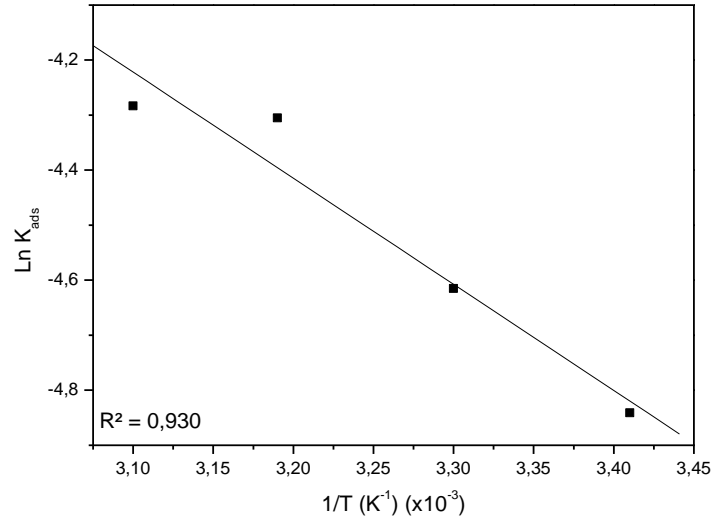
#### 4.2.4.5. KA/MB Üzerinde Kongo Kırmızısının Adsorpsiyon Termodinamiği:



Şekil 4.40: KA/MB üzerinde Kongo Kırmızısının değişik sıcaklıklarda % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi ( $1,43 \times 10^{-5}$  M)



Şekil 4.41: KA/MB üzerinde Kongo Kırmızısının adsorpsiyonunun Van't Hoff grafiği



Şekil 4.42: KA/MB üzerinde Kongo Kırmızısının adsorpsiyonunun Arrhenius grafiği

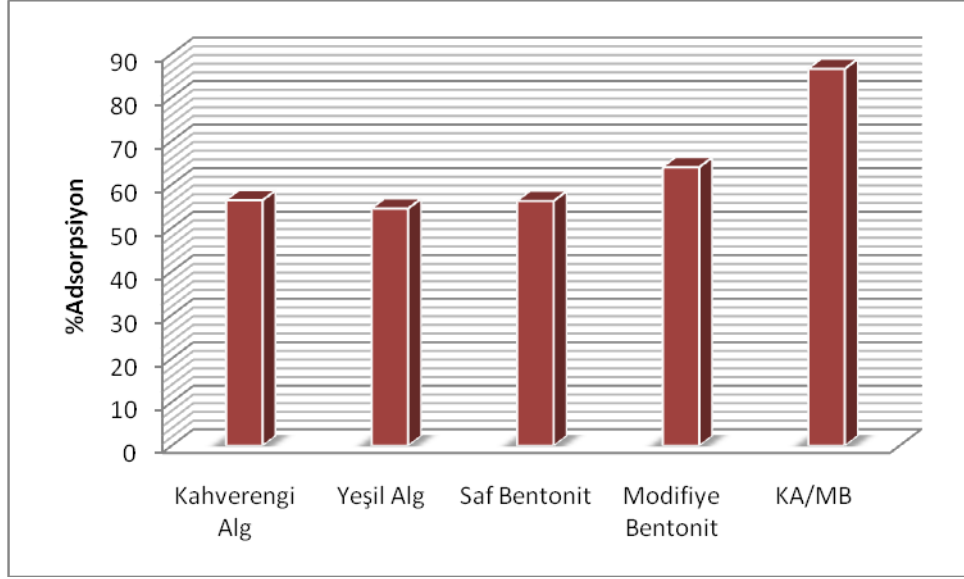
Bu çalışmada; KA/MB üzerinde Kongo Kırmızısının aktivasyon enerjisi ( $E_a$ )  $\ln K_{ads} - 1/T$  grafiği çizilerek bulunmuştur. Aktivasyon enerjisi Şekil 4.42'de görülen grafiğin eğiminden hesaplanmıştır. Buna göre; Kongo Kırmızısının KA/MB üzerindeki adsorpsiyon aktivasyon enerjisi 15,7 kJ/mol olduğundan fiziksel adsorpsiyon olarak gözlenmiştir.

Tablo 4.4: Kongo Kırmızısının farklı adsorbentlerin üzerinde termodinamik hesaplamaları

Sıcaklık (K)	Adsorbent	Adsorp. Max (%)	Denge Sabiti $K_c$	Gibbs Enerji- $\Delta G^\circ$ (J/mol)	Adsorpsiyon Isısı $\Delta H^\circ$ (J/mol) (293 K-323K)	Adsorpsiyon Entropisi $\Delta S^\circ$ (J/mol) (293K-323K)
293	YA	40,5	0,68	-986	27499	91,4
	KA	42,8	0,75	710	23860	79,8
	SB	48,3	0,93	168	28549	96,5
	MB	51	1,04	-101	73675	250
	KA/MB	79,9	3,99	-3369	23717	92,8
303	YA	48,7	1,2	-1373		
	KA	56,4	1,29	-649		
	SB	56,2	1,29	-632		
	MB	64	1,78	-1449		
	KA/MB	86,6	6,46	-4701		
313	YA	62,9	1,7	-1637		
	KA	62	1,63	-1274		
	SB	63,4	1,73	-1428		
	MB	82,5	4,73	-4042		
	KA/MB	87,1	6,75	-4968		
323	YA	65,8	1,93	-1768		
	KA	65,3	1,88	-1702		
	SB	74	2,85	-2809		
	MB	94,6	17,38	-7668		
	KA/MB	91,5	10,74	-6374		

Kahverengi alg, yeşil alg, saf bentonit, modifiye bentonit ve KA/MB üzerinde Kongo Kırmızısının termodinamiksel hesaplamaları Tablo 4.4 'de verilmiştir.





Şekil 4.43: Farklı adsorbentlerin üzerinde Kongo Kırmızısı 30 °C’de  $1,43 \times 10^{-5}$  M derişimde % adsorpsiyonu

Şekil 4.43’te bu çalışmada kullanılan her bir adsorbent üzerinde Kongo Kırmızısının % adsorpsiyon değerlerinin karşılaştırılması gösterilmiştir.

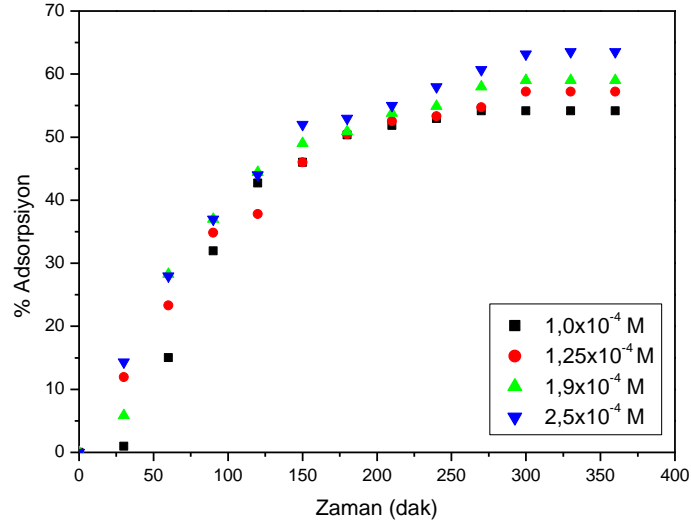
### 4.3. METİL MAVİSİNİN ADSORPSİYONU

Yeşil alg, kahverengi alg, saf bentonit, modifiye bentonit ve KA/MB üzerinde Metil Mavisinin adsorpsiyonu 30°C’de dört farklı derişimlerde ( $1,0 \times 10^{-4} \text{M}$ ,  $1,25 \times 10^{-4} \text{M}$ ,  $1,9 \times 10^{-4} \text{M}$  ve  $2,5 \times 10^{-4} \text{M}$ ) incelenmiştir. Ayrıca bu adsorbentlerin 30°C’de % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi Şekil 4.44-4.48’da verilmiştir.

#### 4.3.1. Farklı Adsorbentler Üzerinde Metil Mavisinin Derişim Etkisi

##### 4.3.1.1. Yeşil Alg Üzerinde Metil Mavisinin Derişim Etkisi:

Adsorbent olarak kullanılan yeşil algden 0,1 g alınarak üzerine Metil Mavisinin her bir derişimden 50’şer ml konulmuş ve UV-Spektrofotometrede takip edilmiştir. Yüzde adsorpsiyon grafiği Şekil 4.44’de gösterilmiştir.

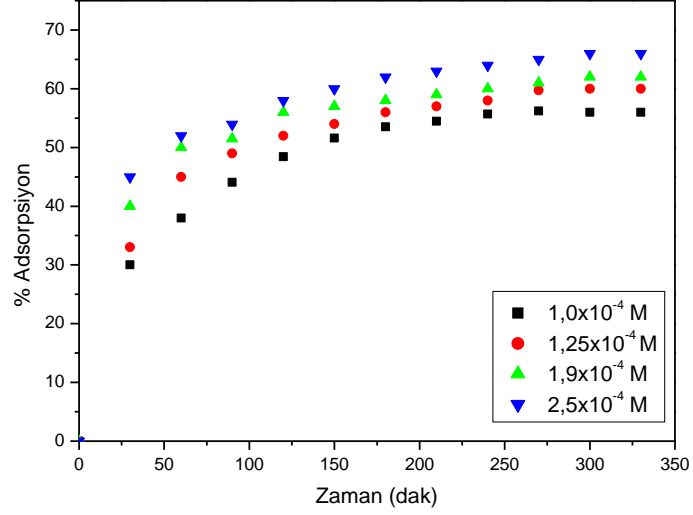


Şekil 4.44: Yeşil alg üzerinde Metil Mavisinin değişik derişimlerde % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (30°C)

##### 4.3.1.2. Kahverengi Alg Üzerinde Metil Mavisinin Derişim Etkisi:

Adsorbent olarak kullanılan 0,1 g kahverengi alg üzerinde Metil Mavisinin her bir derişimden 50’şer ml konulmuş ve UV-Spektrofotometrede boyar madde adsorpsiyonu

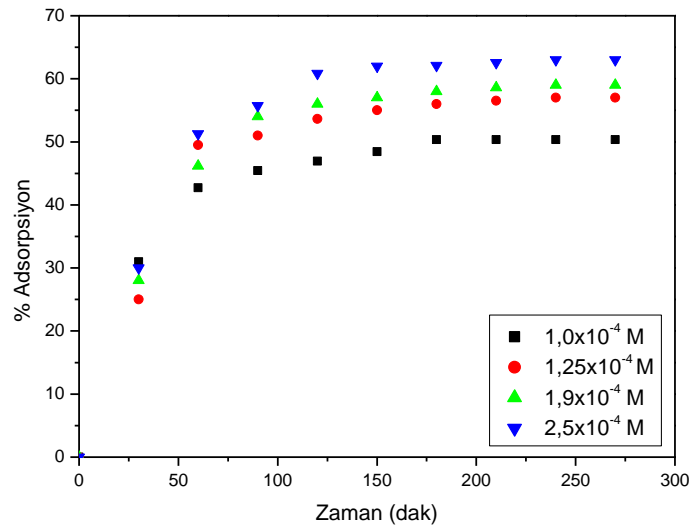
takip edilmiştir. Metil Mavisinin kahverengi alg üzerinde yüzde adsorpsiyon grafiği Şekil 4.45’de gösterilmiştir.



Şekil 4.45: Kahverengi alg üzerinde Metil Mavisinin değişik derişimlerde % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (30°C)

#### 4.3.1.3. Saf Bentonit Üzerinde Metil Mavisinin Derişim Etkisi:

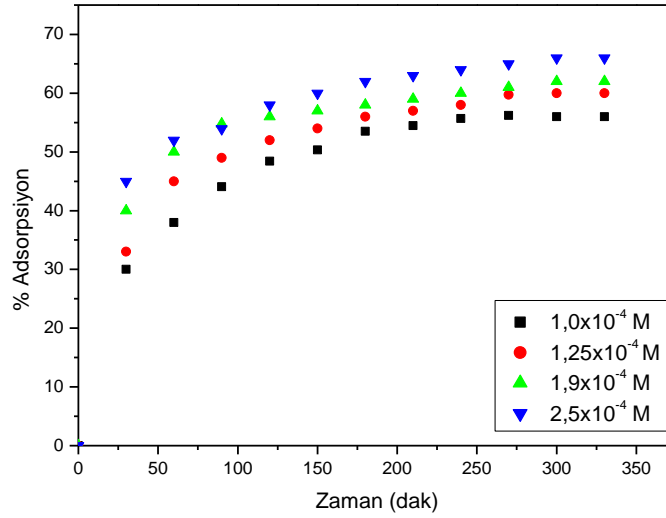
Saf bentonitten 0,1 g alınarak üzerine Metil Mavisinin her bir derişimden 50’şer ml konulmuş ve UV-Spektrofotometrede adsorpsiyonu takip edilmiştir. Metil Mavisinin saf bentonit üzerinde yüzde adsorpsiyon grafiği Şekil 4.47’de gösterilmiştir.



Şekil 4.46: Saf bentonit üzerinde Metil Mavisinin değişik derişimlerde % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (30°C)

#### 4.3.1.4. Modifiye Bentonit Üzerinde Metil Mavisinin Derişim Etkisi:

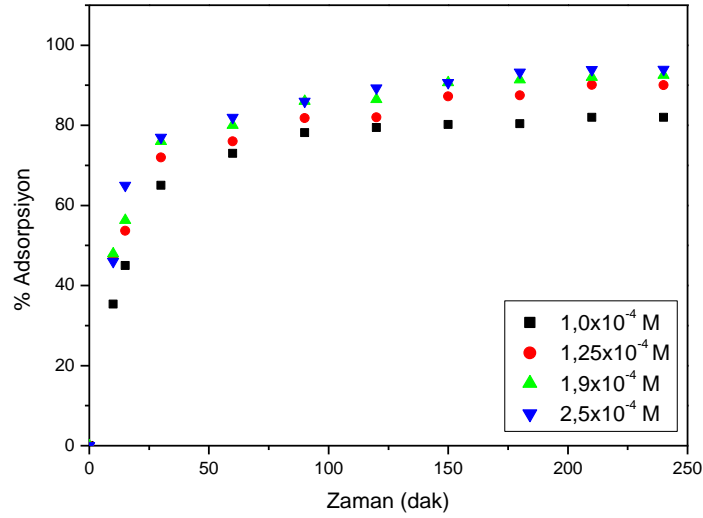
Modifiye bentonitten 0,1 g alınarak üzerine Metil Mavisinin her bir derişimden 50'şer ml konulmuş ve UV-Spektrofotometrede adsorpsiyonu takip edilmiştir. Metil Mavisinin modifiye bentonit üzerinde yüzde adsorpsiyon grafiği Şekil 4.47'de gösterilmiştir.



Şekil 4.47: Modifiye bentonit üzerinde Metil Mavisinin değişik derişimlerde % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (30°C)

#### 4.3.1.5. KA/MB Üzerinde Metil Mavisinin Derişim Etkisi:

KA/MB 0,1 g alınarak üzerine Metil Mavisinin her bir derişimden 50'şer ml konulmuş ve UV-Spektrofotometrede adsorpsiyonu takip edilmiştir. Metil Mavisinin KA/MB üzerinde yüzde adsorpsiyon grafiği Şekil 4.48'de gösterilmiştir.

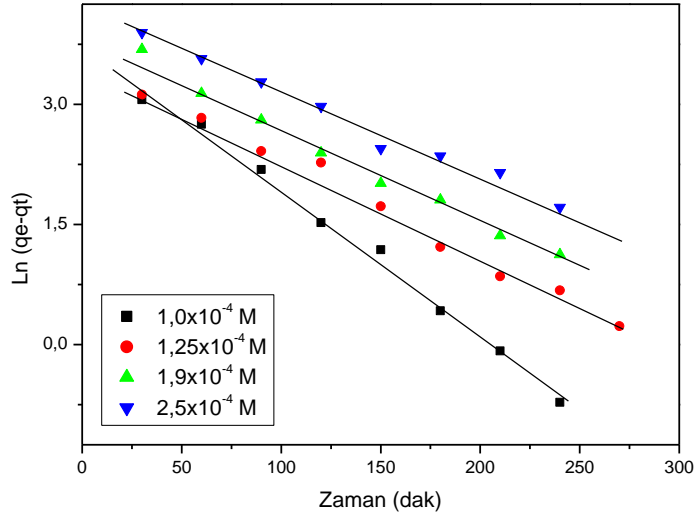


Şekil 4.48: KA/MB üzerinde Metil Mavisinin değişik derişimlerde % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (30°C)

#### 4.3.2. Farklı Adsorbentler Üzerinde Metil Mavisinin Adsorpsiyon Kinetiği

Yeşil alg, kahverengi alg, saf bentonit, modifiye bentonit ve KA/MB üzerinde Metil Mavisinin adsorpsiyon kinetiği 30°C'de dört farklı derişimde ( $1,0 \times 10^{-4} \text{M}$ ,  $1,25 \times 10^{-4} \text{M}$ ,  $1,9 \times 10^{-4} \text{M}$  ve  $2,5 \times 10^{-4} \text{M}$ ) incelenmiştir. Her bir adsorbent için sırasıyla formül 2.7 ve 2.10'da belirtilen yalancı birinci derece kinetik model ve yalancı ikinci dereceden kinetik model uygulanmıştır. Adsorpsiyonun kinetik modele uygunluğu korelasyon katsayıları ile takip edilmiştir. Buna göre; yalancı birinci dereceden kinetik model için;  $t$ 'nin  $\ln (q_e - q_t)$ 'ye karşı çizilen grafiğinden elde edilen doğrunun eğim ve kesim noktalarından  $k_1$  ve  $q_e$  hesaplanmıştır. Yalancı ikinci dereceden kinetik model için;  $t$ 'nin  $t/q_t$ 'ye karşı çizilen grafiğinden elde edilen doğrunun eğim ve kesim noktalarından  $k_2$  ve  $q_e$  hesaplanmıştır. Her bir adsorbent için elde edilen sonuçlar Tablo 4.5 ve Tablo 4.6'da verilmiştir.

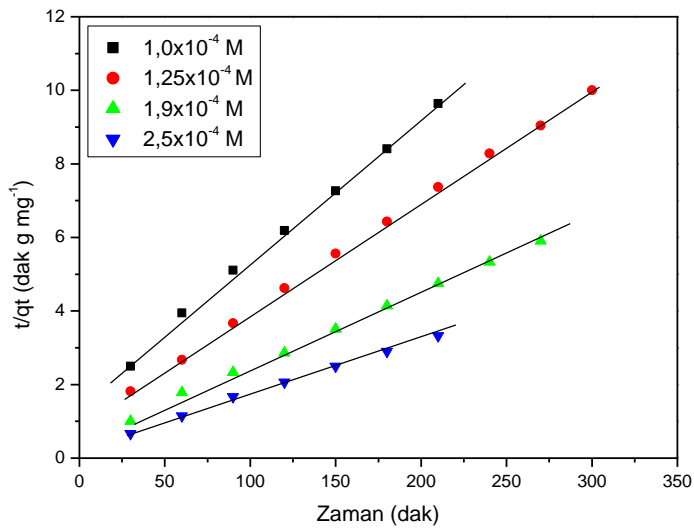
#### 4.3.2.1. Yeşil Alg Üzerinde Metil Mavisinin Yalancı 1. Derece Adsorpsiyon Kinetiği:



Şekil 4.49: Metil Mavisi çözeltisinin yeşil alg üzerindeki adsorpsiyonun yalancı 1. derece kinetiği (30°C)

Şekil 4.49'da adsorpsiyonun yalancı birinci derece kinetiğini göstermektedir. R<sup>2</sup> değerlerine göre adsorpsiyonu yalancı birinci derece kinetiğine uygunluğu görülmektedir.

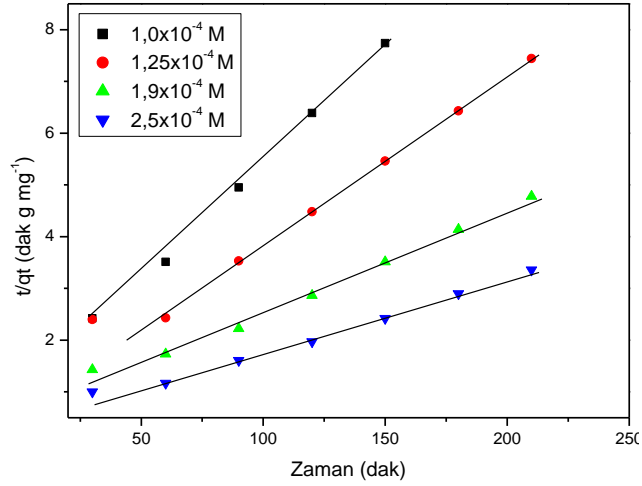
#### 4.3.2.2. Kahverengi Alg Üzerinde Metil Mavisinin Yalancı 2. Derece Adsorpsiyon Kinetiği:



Şekil 4.50: Metil Mavisi çözeltisinin kahverengi alg üzerindeki adsorpsiyonun yalancı 2. derece kinetiği (30°C)

Şekil 4.50 kahverengi alg üzerinde Metil Mavisi adsorpsiyonunun  $R^2$  değerlerine göre yalancı ikinci derece kinetiğine uyduğunu göstermektedir.

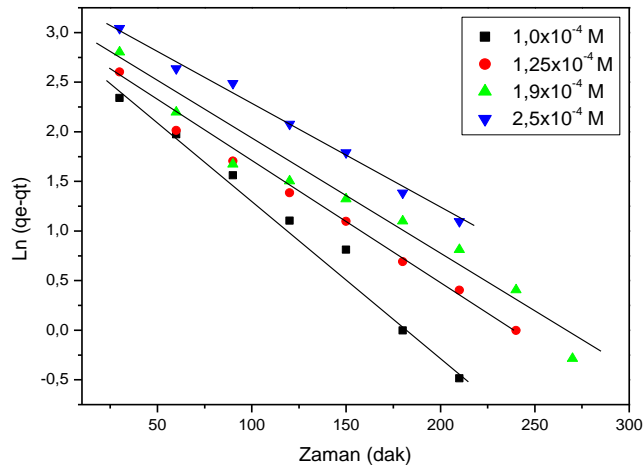
#### 4.3.2.3.Saf Bentonit Üzerinde Metil Mavisinin Yalancı 2. Derece Adsorpsiyon Kinetiği:



Şekil 4.51: Metil Mavisi çözeltisinin saf bentonit üzerindeki adsorpsiyonunun yalancı 2. derece kinetiği (30°C)

Şekil 4.51 kahverengi alg üzerinde Metil Mavisi adsorpsiyonunun  $R^2$  değerlerine göre yalancı ikinci derece kinetiğine uyduğunu göstermektedir.

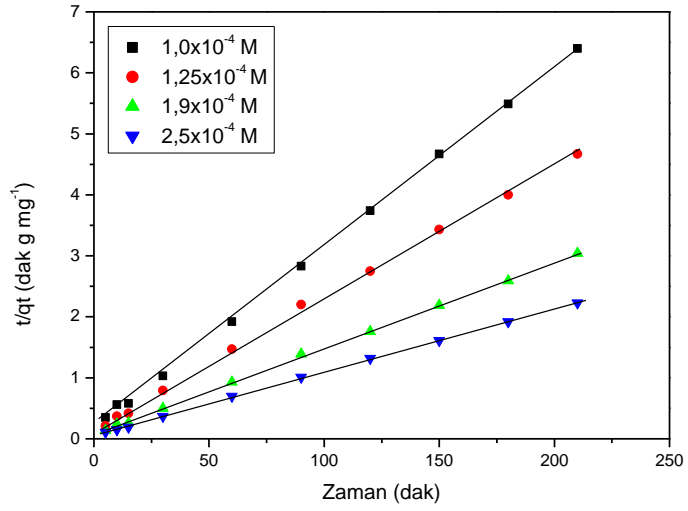
#### 4.3.2.4.Modifiye Bentonit Üzerinde Metil Mavisinin Yalancı 1. Derece Adsorpsiyon Kinetiği:



Şekil 4.52: Metil Mavisi çözeltisinin modifiye bentonit üzerindeki adsorpsiyonunun yalancı 1. derece kinetiği (30°C)

Şekil 4.52 saf bentonit üzerinde Metil Mavisinin adsorpsiyonun yalancı birinci derece kinetiğini göstermektedir.  $R^2$  değerlerine göre yalancı birinci derece kinetiğine uygunluğu görülmektedir.

#### 4.3.2.5.KA/MB Üzerinde Metil Mavisinin Yalancı 2. Derece Adsorpsiyon Kinetiği:



Şekil 4.53: Metil Mavisi çözeltisinin KA/MB üzerindeki adsorpsiyonun yalancı 2. derece kinetiği (30°C)

Şekil 4.53 adsorpsiyonun yalancı ikinci derece kinetiğini göstermektedir.  $R^2$  değerlerine göre yalancı ikinci derece kinetiğine uygunluğu görülmektedir.



Tablo 4.5: Metil Mavisinin farklı adsorbentlerin üzerinde adsorpsiyon kinetik hesaplamaları

Adsorp.	Cx10 <sup>-4</sup> M	Adsorp. Max (%)	q <sub>e</sub> (mg.g <sup>-1</sup> ) (deneysel)	Yalancı Birinci Derece Kinetik Model			Yalancı İkinci Derece Kinetiği
				q <sub>e</sub> (mg.g <sup>-1</sup> ) (hesap)	k <sub>1</sub> x10 <sup>-3</sup> (dak <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup>
YA	1,0	54,2	21,66	43,22	18,3	0,994	0,667
	1,25	57,2	28,61	35,00	12,3	0,991	0,949
	1,9	59,0	44,24	49,76	12,0	0,991	0,990
	2,5	63,6	63,54	65,00	10,2	0,986	0,978
MB	1,0	53,1	21,23	22,26	7,3	0,955	0,733
	1,25	60,0	29,99	33,24	9,0	0,980	0,559
	1,9	63,0	47,24	48,96	10,3	0,991	0,739
	2,5	65,0	65,01	73,31	12,5	0,990	0,801

Tablo 4.6: Metil Mavisinin farklı adsorbentlerin üzerinde adsorpsiyon kinetik hesaplamaları

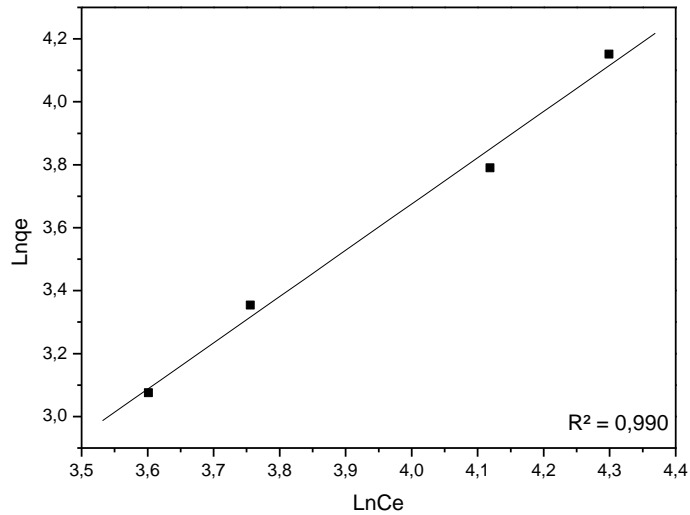
Adsorp.	$C \times 10^{-4} \text{ M}$	Adsorp. Max (%)	$q_e \text{ (mg.g}^{-1}\text{)}$ (deneysel)	Yalancı İkinci Derece Kinetik Model			Yalancı Birinci Derece Kinetiği
				$q_e \text{ (mg.g}^{-1}\text{)}$ (hesap)	$k_2 \times 10^{-4}$ ( $\text{g mg}^{-1}\text{dak}^{-1}$ )	$R^2$	$R^2$
KA	1,0	56,0	22,39	25,84	9,94	0,998	0,995
	1,25	60,0	29,99	32,36	9,92	1	0,993
	1,9	62,0	46,49	49,50	9,51	0,999	0,980
	2,5	66,0	65,98	68,03	9,01	0,999	0,994
SB	1,0	50,4	20,14	22,17	21,47	0,998	0,969
	1,25	57,0	28,49	33,56	8,70	0,980	0,969
	1,9	59,0	44,24	52,08	5,71	0,990	0,986
	2,5	63,0	62,99	74,07	4,11	0,989	0,969
KA/MB	1,0	82,0	32,79	33,78	48,68	0,995	0,893
	1,25	90,0	44,99	46,30	32,79	0,999	0,916
	1,9	92,5	68,98	70,92	25,07	1	0,819
	2,5	94,0	93,98	96,15	10,01	1	0,896

### 4.3.3. Farklı Adsorbentler Üzerinde Metil Mavisinin Adsorpsiyon İzotermi

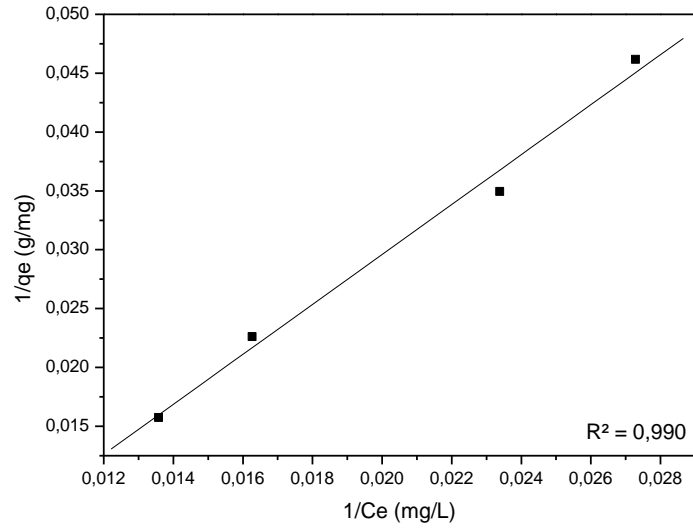
Yeşil alg, kahverengi alg, saf bentonit, modifiye bentonit ve KA/MB üzerinde Metil Mavisinin adsorpsiyonundan elde edilen verilere Freundlich, Langmuir ve Temkin adsorpsiyon izoterm modelleri uygulanmıştır.

#### 4.3.3.1. Yeşil Alg Üzerinde Metil Mavisinin Adsorpsiyon İzotermi:

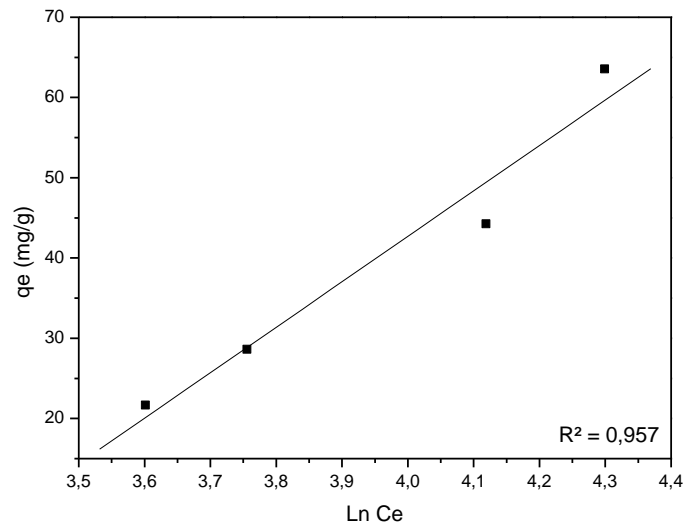
Yeşil alg üzerinde 30°C’de Metil Mavisinin adsorpsiyonun için çizilen Freundlich, Langmuir ve Temkin izotermi sırasıyla Şekil 4.54- 4.56’da verilmektedir. Bu grafiklerin eğim ve kesim noktalarından izoterm parametreleri ve ayrıca korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.54: Metil Mavisi çözeltilisinin yeşil alg üzerindeki adsorpsiyonun Freundlich izotermi (30°C)



Şekil 4.55: Metil Mavisi çözeltisinin yeşil alg üzerindeki adsorpsiyonun Langmuir izotermi (30°C)

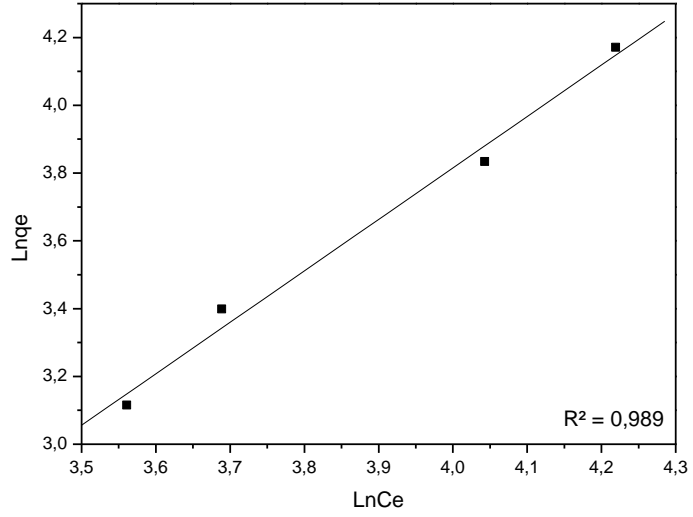


Şekil 4.56: Metil Mavisi çözeltisinin yeşil alg üzerindeki adsorpsiyonun Temkin izotermi (30°C)

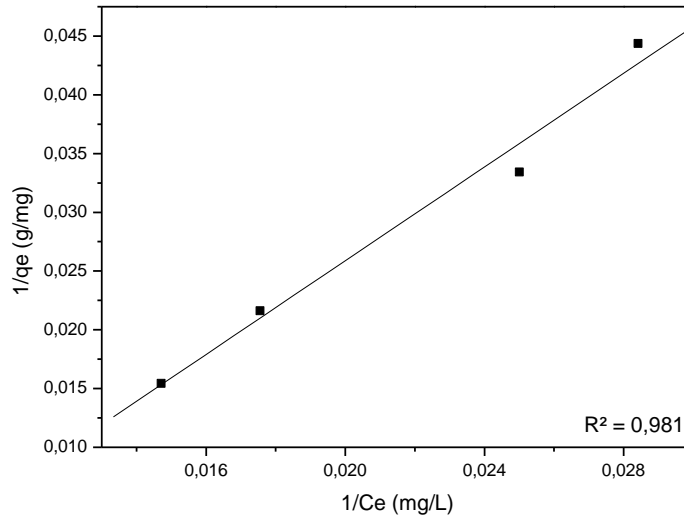
#### 4.3.3.2. Kahverengi Alg Üzerinde Metil Mavisinin Adsorpsiyon İzotermi:

Kahverengi alg üzerinde 30°C’de Metil Mavisinin adsorpsiyonu için çizilen Freundlich, Langmuir ve Temkin izotermi sırasıyla Şekil 4.57- 4.59’da verilmektedir.

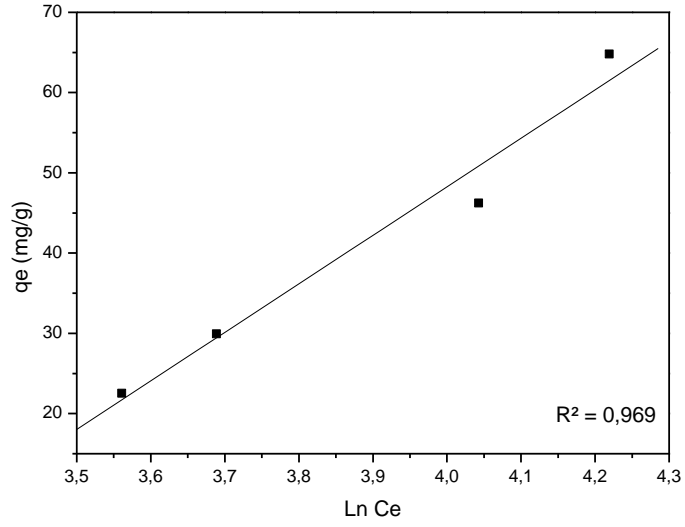
Bu grafiklerin eğim ve kesim noktalarından izoterm parametreleri ve ayrıca korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.57: Metil Mavisi çözeltisinin kahverengi alg üzerindeki adsorpsiyonun Freundlich izotermi (30°C)



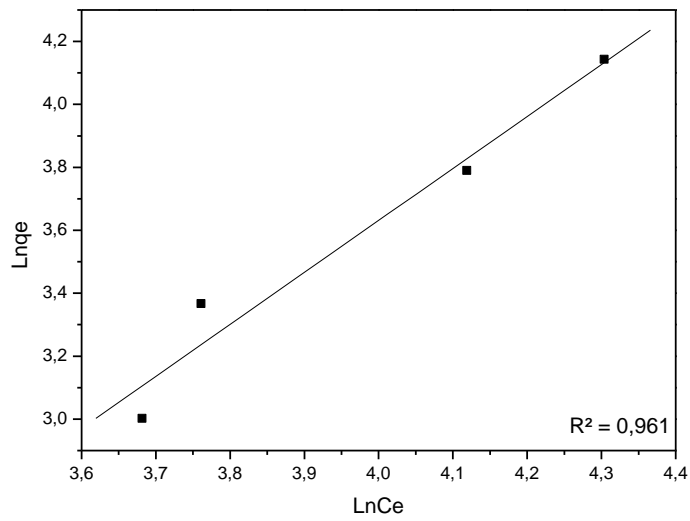
Şekil 4.58: Metil Mavisi çözeltisinin kahverengi alg üzerindeki adsorpsiyonun Langmuir izotermi (30°C)



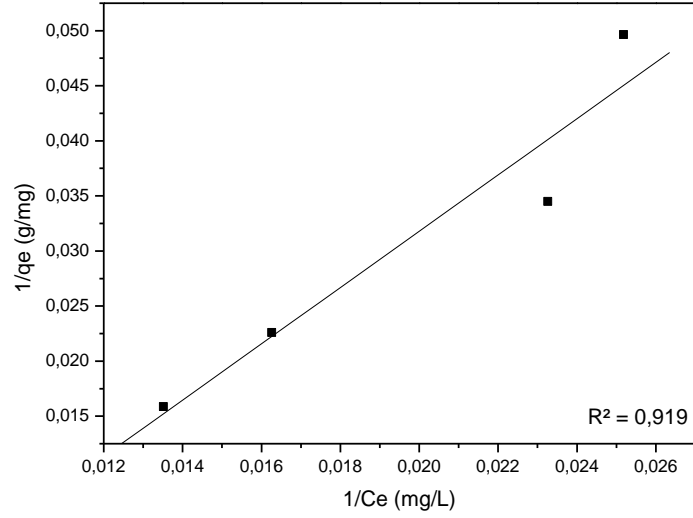
Şekil 4.59: Metil Mavisinin çözeltisinin kahverengi alg üzerindeki adsorpsiyonunun Temkin izotermi (30°C)

#### 4.3.3.3. Saf Bentonit Üzerinde Metil Mavisinin Adsorpsiyon İzotermi:

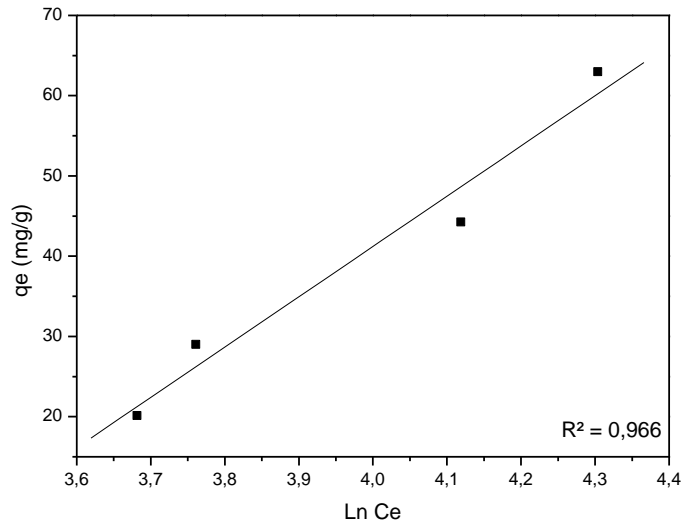
Saf bentonit üzerinde 30°C'de Metil Mavisinin adsorpsiyonunun için çizilen Freundlich, Langmuir ve Temkin izotermi sırasıyla Şekil 4.60- 4.62'de verilmektedir. Bu grafiklerin eğim ve kesim noktalarından izoterm parametreleri ve ayrıca korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.60: Metil Mavisinin çözeltisinin saf bentonit üzerindeki adsorpsiyonunun Freundlich izotermi (30°C)



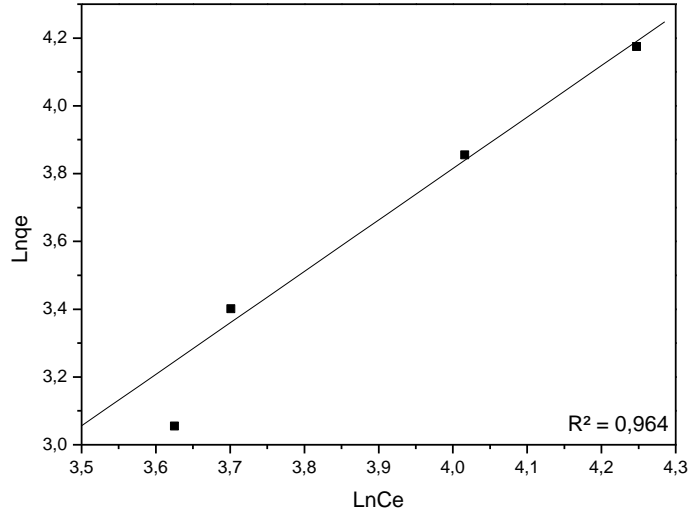
Şekil 4.61: Metil Mavisı çözeltisinin saf bentonit üzerindeki adsorpsiyonun Langmuir izotermi (30°C)



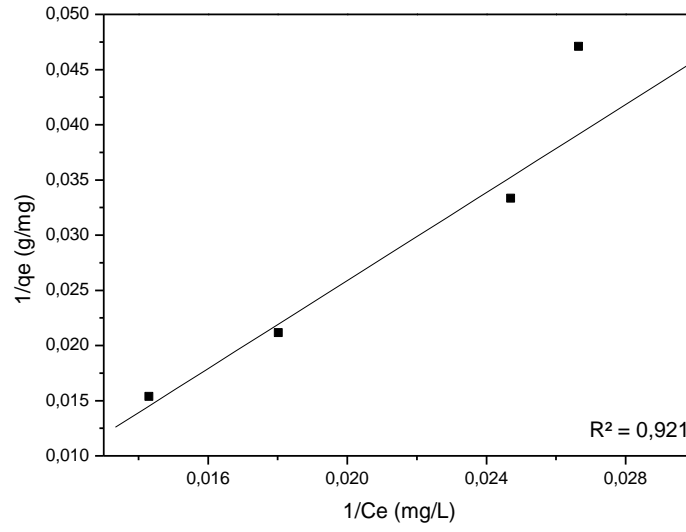
Şekil 4.62: Metil Mavisı çözeltisinin saf bentonit üzerindeki adsorpsiyonun Temkin izotermi (30°C)

#### 4.3.3.4. Modifiye Bentonit Üzerinde Metil Mavisinin Adsorpsiyon İzotermi:

Modifiye bentonit üzerinde 30°C'de Metil Mavisinin adsorpsiyonun için çizilen Freundlich, Langmuir ve Temkin izotermi sırasıyla Şekil 4.63- 4.65'de verilmektedir. Bu grafiklerin eğim ve kesim noktalarından izoterm parametreleri ve ayrıca korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 4.7'de verilmiştir.

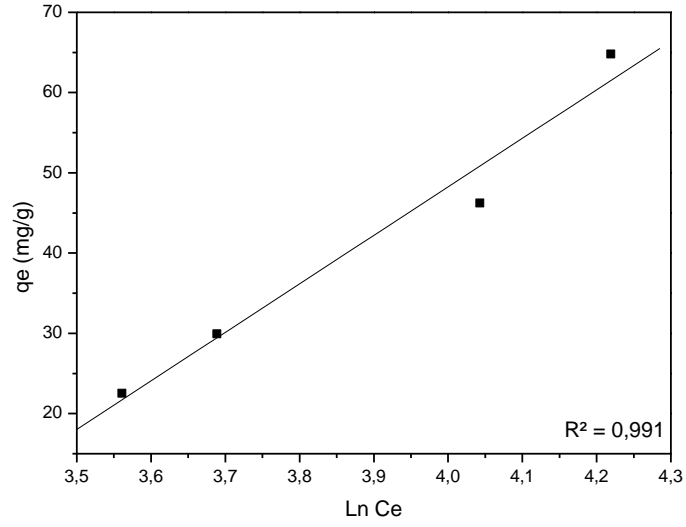


Şekil 4.63: Metil Mavisi çözeltisinin modifiye bentonit üzerindeki adsorpsiyonun Freundlich izotermi (30°C)



Şekil 4.64: Metil Mavisi çözeltisinin modifiye bentonit üzerindeki adsorpsiyonun Langmuir izotermi (30°C)

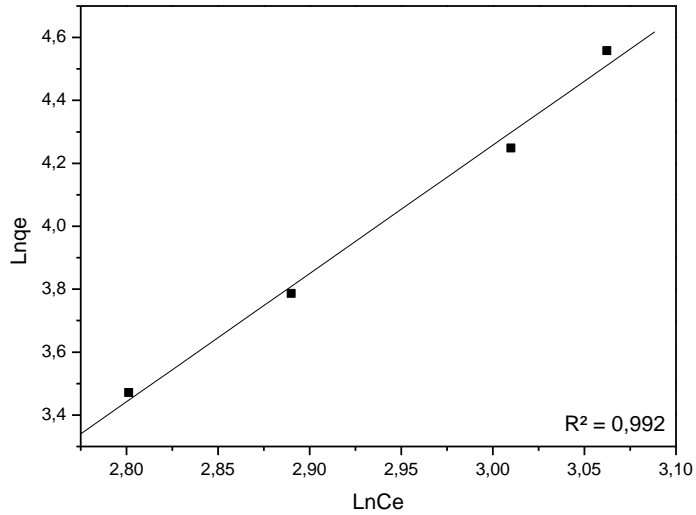




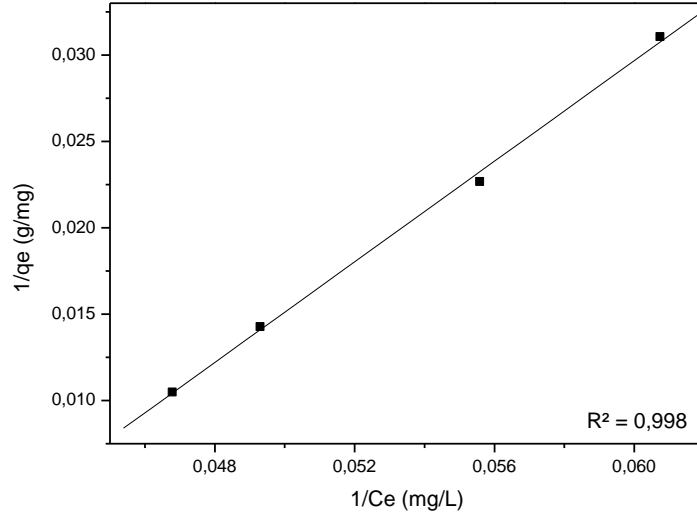
Şekil 4.65: Metil Mavisinin çözeltisinin modifiye bentonit üzerindeki adsorpsiyonunun Temkin izotermi (30°C)

#### 4.3.3.5. KA/MB Üzerinde Metil Mavisinin Adsorpsiyon İzotermi:

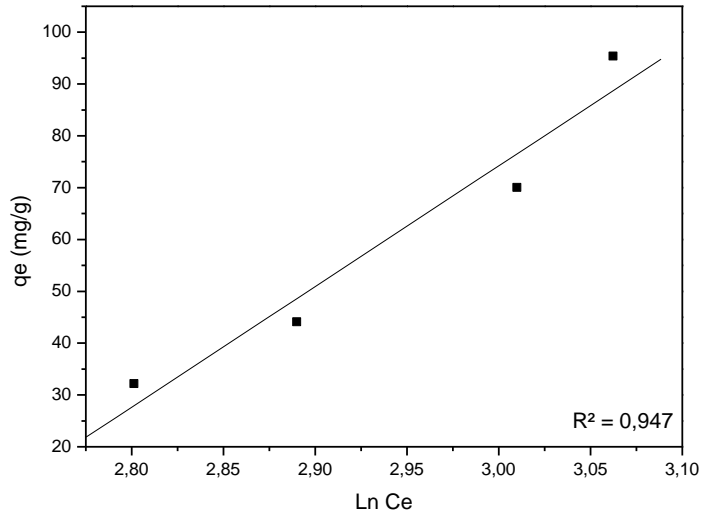
KA/MB üzerinde 30°C'de Metil Mavisinin adsorpsiyonunun için çizilen Freundlich, Langmuir ve Temkin izotermi sırasıyla Şekil 4.66- 4.68'da verilmektedir. Bu grafiklerin eğim ve kesim noktalarından izoterm parametreleri ve ayrıca korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.66: Metil Mavisinin çözeltisinin KA/MB üzerindeki adsorpsiyonunun Freundlich izotermi (30°C)



Şekil 4.67: Metil Mavisi çözeltisinin KA/MB üzerindeki adsorpsiyonun Langmuir izotermi (30°C)



Şekil 4.68: Metil Mavisi çözeltisinin KA/MB üzerindeki adsorpsiyonun Temkin izotermi (30°C)

Tablo 4.7: Metil Mavisinin farklı adsorbentlerin üzerinde adsorpsiyon izotermi

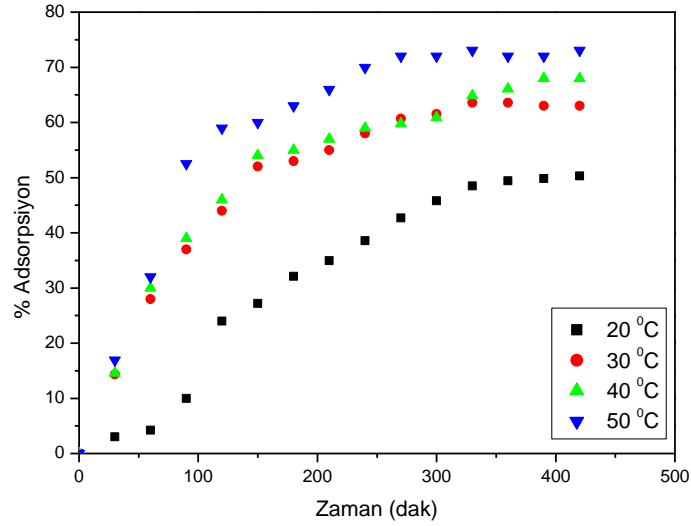
Adsorbent	Freundlich İzotermi			Langmuir İzotermi				Temkin İzotermi		
	n	$K_F$ (L g <sup>-1</sup> )	$R^2$	$q_{max}$ (mg g <sup>-1</sup> )	$K_L$ (L g <sup>-1</sup> )	$R_L$	$R^2$	$a_T$ (L g <sup>-1</sup> )	$K_T$	$R^2$
YA	0,68	9,08	0,990	78,13	0,006	0,45	0,990	0,038	56,63	0,957
KA	0,66	0,1	0,989	71,43	0,007	0,42	0,981	0,041	60,46	0,969
SB	0,61	0,05	0,961	51,81	0,008	0,40	0,919	0,035	62,67	0,966
MB	0,60	0,05	0,964	50,51	0,008	0,37	0,921	0,037	66,93	0,991
KA/MB	0,25	0,0003	0,992	17,33	0,04	0,11	0,998	0,068	232,84	0,947

RL değeri 0-1 arasında olduğu için adsorpsiyon işlemi kendiliğinden gerçekleşir.

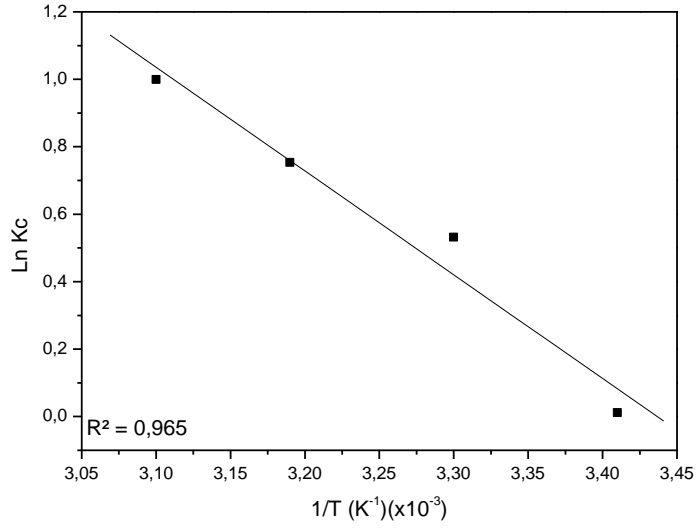
#### 4.3.4. Farklı Adsorbentler Üzerinde Metil Mavisinin Adsorpsiyon Termodinamiği

Yeşil alg, kahverengi alg saf bentonit, modifiye bentonit ve KA/MB üzerinde Metil Mavisinin adsorpsiyonu  $2,5 \times 10^{-4}$  M'da dört farklı sıcaklıkta ( $20^{\circ}\text{C}$ ,  $30^{\circ}\text{C}$ ,  $40^{\circ}\text{C}$  ve  $50^{\circ}\text{C}$ ) incelenmiştir.

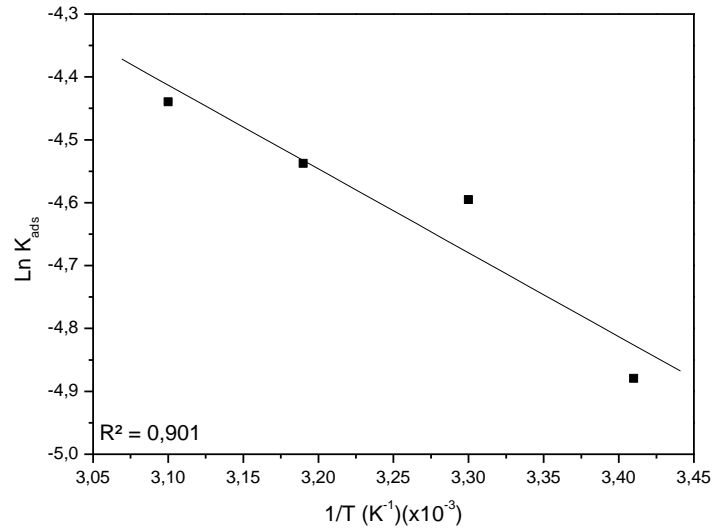
##### 4.3.4.1. Yeşil Alg Üzerinde Metil Mavisinin Adsorpsiyon Termodinamiği:



Şekil 4.69: Yeşil alg üzerinde Metil Mavisinin değişik sıcaklıklarda % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi ( $2,5 \times 10^{-4}$  M)



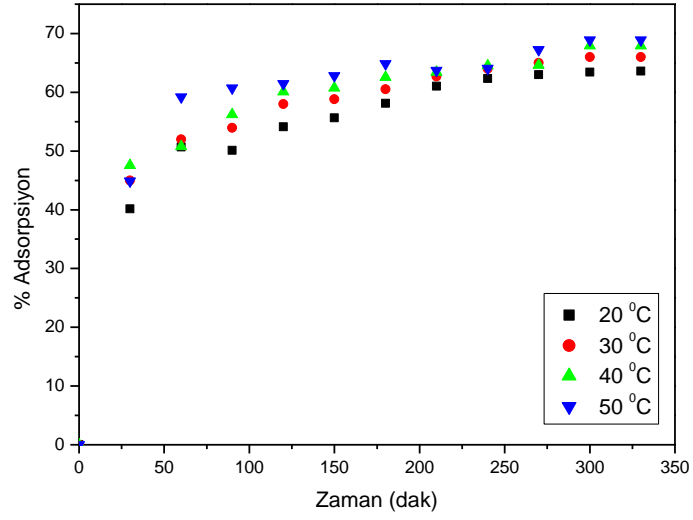
Şekil 4.70: Yeşil alg üzerinde Metil Mavisinin adsorpsiyonunun Van't Hoff grafiği



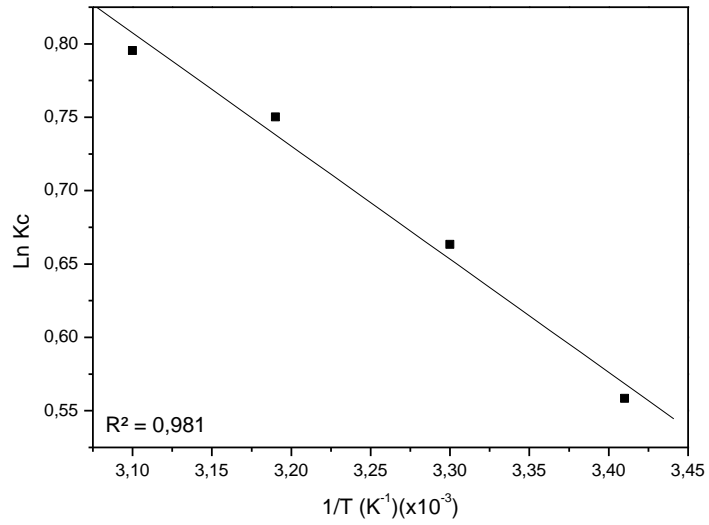
Şekil 4.71: Yeşil alg üzerinde Metil Mavisinin adsorpsiyonunun Arrhenius grafiği

Bu çalışmada; yeşil alg üzerinde Metil Mavisinin aktivasyon enerjisi ( $E_a$ )  $\text{Ln}K_{\text{ads}} - 1/T$  grafiği çizilerek bulunmuştur. Aktivasyon enerjisi Şekil 4.71'de görülen grafiğin eğiminden hesaplanmıştır. Buna göre; Metil Mavisinin yeşil alg üzerindeki adsorpsiyon aktivasyon enerjisi 10,9 kJ/mol olduğundan fiziksel adsorpsiyon olarak gözlenmiştir.

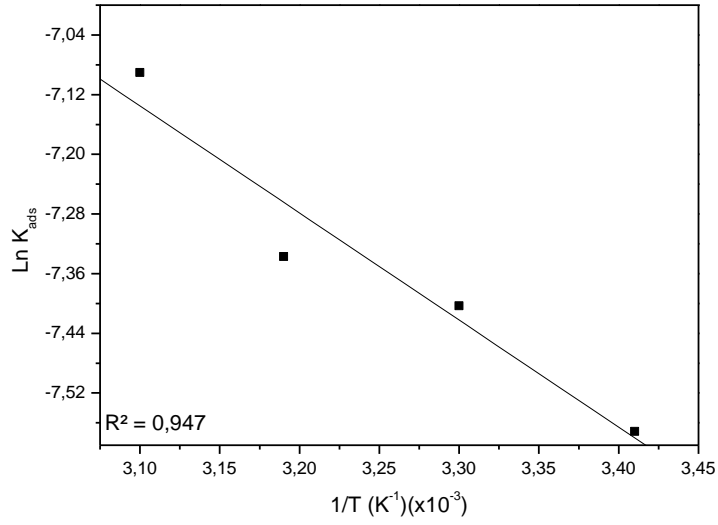
#### 4.3.4.2. Kahverengi Alg Üzerinde Metil Mavisinin Adsorpsiyon Termodinamiği:



Şekil 4.72: Kahverengi alg üzerinde Metil Mavisinin değişik sıcaklıklarda % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (2,5x10<sup>-4</sup> M)



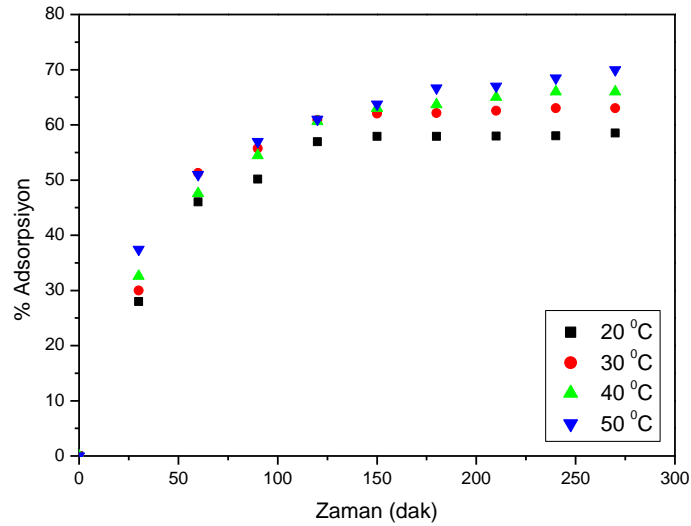
Şekil 4.73: Kahverengi alg üzerinde Metil Mavisinin adsorpsiyonunun Van't Hoff grafiği



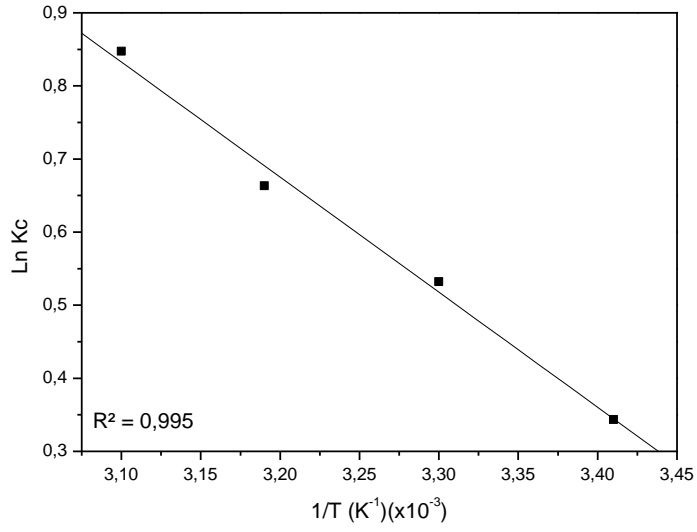
Şekil 4.74: Kahverengi alg üzerinde Metil Mavisinin adsorpsiyonunun Arrhenius grafiği

Bu çalışmada; kahverengi alg üzerinde Metil Mavisinin aktivasyon enerjisi ( $E_a$ )  $\ln K_{ads} - 1/T$  grafiği çizilerek bulunmuştur. Aktivasyon enerjisi Şekil 4.74'de görülen grafiğin eğiminden hesaplanmıştır. Buna göre; Metil Mavisinin kahverengi alg üzerindeki adsorpsiyon aktivasyon enerjisi 11,8 kJ/mol olduğundan fiziksel adsorpsiyon olarak gözlenmiştir.

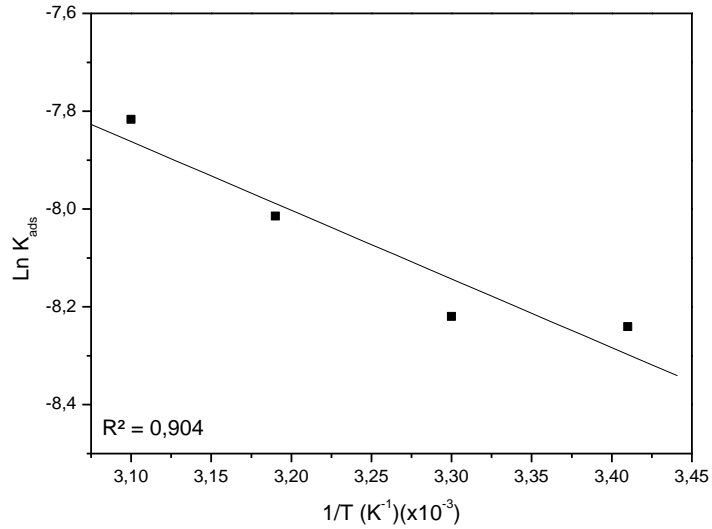
#### 4.3.4.3. Saf Bentonit Üzerinde Metil Mavisinin Adsorpsiyon Termodinamiği:



Şekil 4.75: Saf bentonit üzerinde Metil Mavisinin değişik sıcaklıklarda % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi ( $2,5 \times 10^{-4}$  M)



Şekil 4.76: Saf bentonit üzerinde Metil Mavisinin adsorpsiyonunun Van't Hoff grafiği

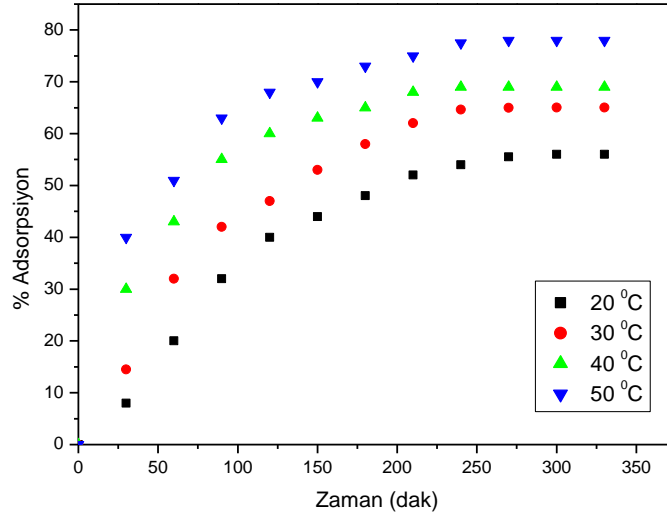


Şekil 4.77: Saf bentonit üzerinde Metil Mavisinin adsorpsiyonunun Arrhenius grafiği

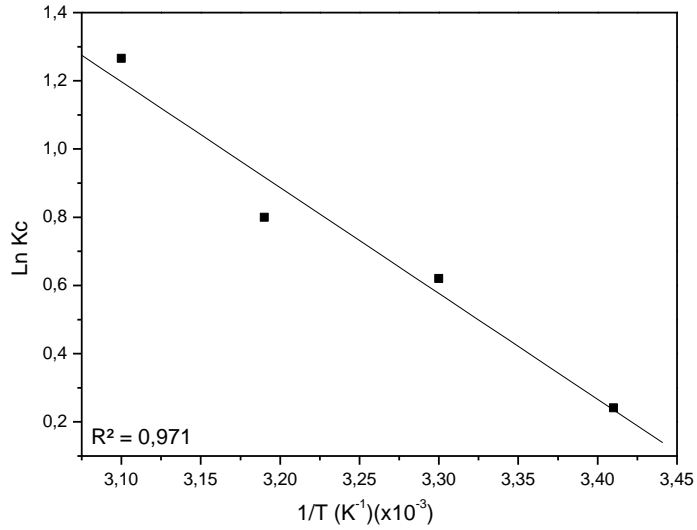
Bu çalışmada; saf bentonit üzerinde Metil Mavisinin aktivasyon enerjisi ( $E_a$ )  $\text{Ln}K_{\text{ads}}-1/T$  grafiği çizilerek bulunmuştur. Aktivasyon enerjisi Şekil 4.77'de görülen grafiğin eğiminden hesaplanmıştır. Buna göre; Metil Mavisinin saf bentonit üzerindeki adsorpsiyon aktivasyon enerjisi 10,4 kJ/mol olduğundan fiziksel adsorpsiyon olarak gözlenmiştir.



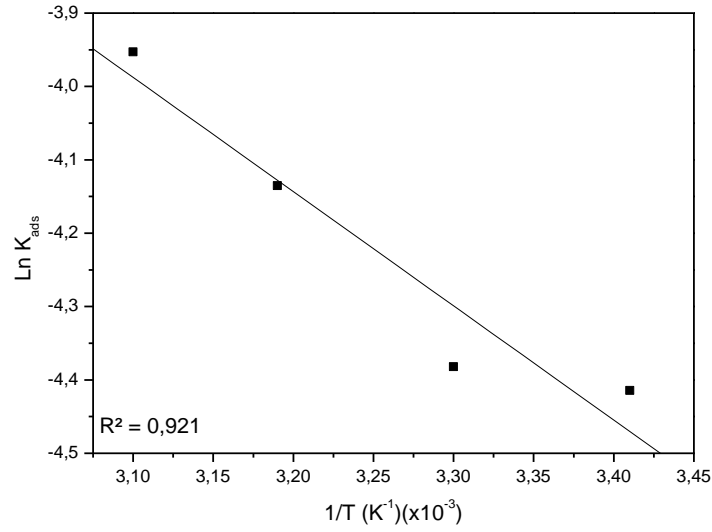
#### 4.3.4.4. Modifiye Bentonit Üzerinde Metil Mavisinin Adsorpsiyon Termodinamiği:



Şekil 4.78: Modifiye bentonit üzerinde Metil Mavisinin değişik sıcaklıklarda % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi ( $2,5 \times 10^{-4}$  M)



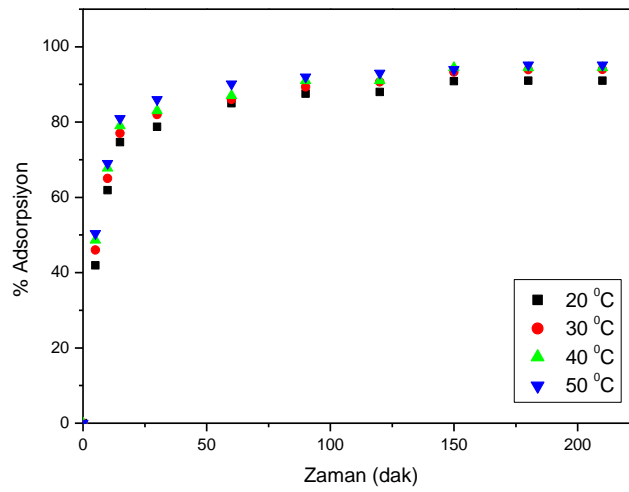
Şekil 4.79: Modifiye bentonit üzerinde Metil Mavisinin adsorpsiyonunun Van't Hoff grafiği



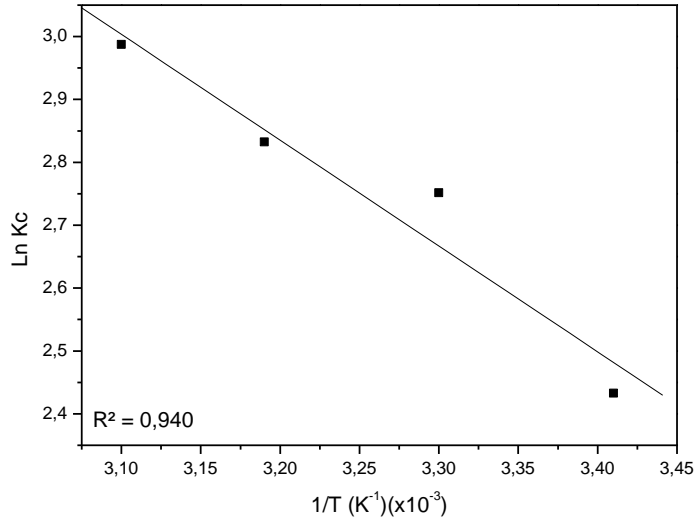
Şekil 4.80: Modifiye bentonit üzerinde Metil Mavisinin adsorpsiyonunun Arrhenius grafiği

Bu çalışmada; modifiye bentonit üzerinde Metil Mavisinin aktivasyon enerjisi ( $E_a$ )  $\ln K_{ads} - 1/T$  grafiği çizilerek bulunmuştur. Aktivasyon enerjisi Şekil 4.80'de görülen grafiğin eğiminden hesaplanmıştır. Buna göre; Metil Mavisinin modifiye bentonit üzerindeki adsorpsiyon aktivasyon enerjisi 12,8 kJ/mol olduğundan fiziksel adsorpsiyon olarak gözlenmiştir.

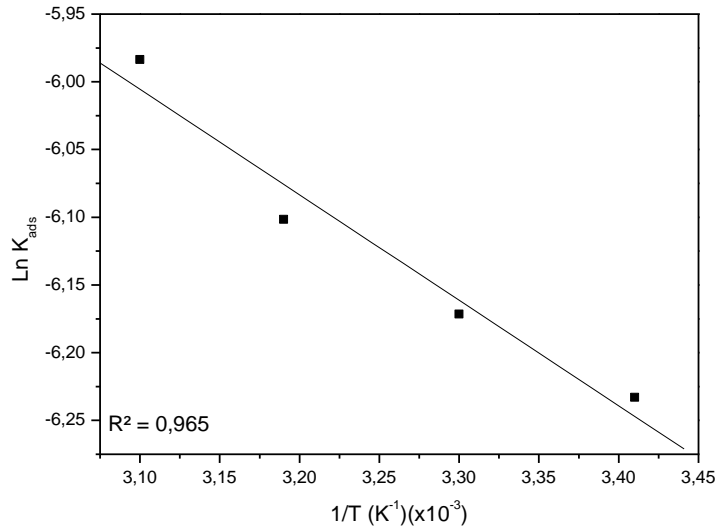
#### 4.3.4.5. KA/MB Üzerinde Metil Mavisinin Adsorpsiyon Termodinamiği:



Şekil 4.81: KA/MB üzerinde Metil Mavisinin değişik sıcaklıklarda % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi ( $2,5 \times 10^{-4}$  M)



Şekil 4.82: KA/MB üzerinde Metil Mavisinin adsorpsiyonunun Van't Hoff grafiği



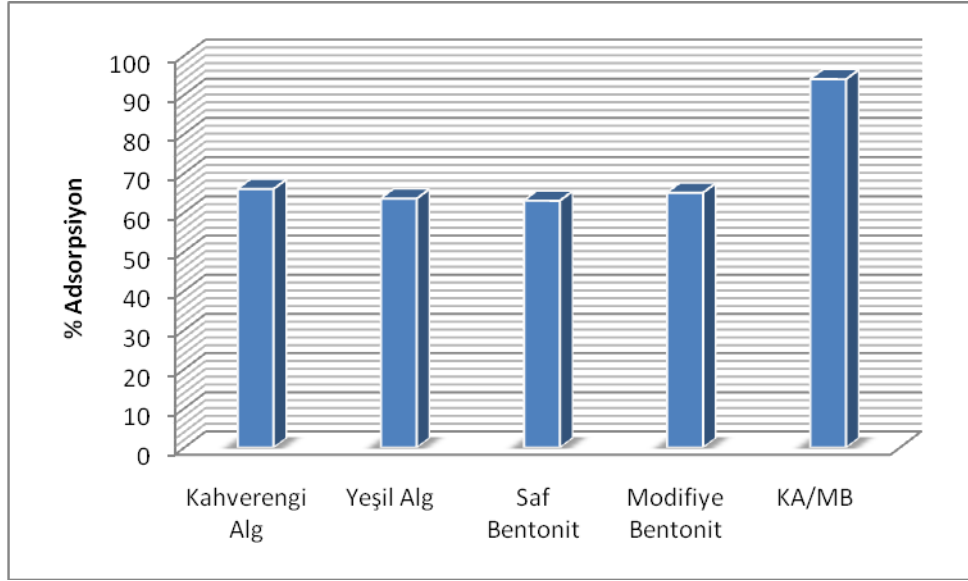
Şekil 4.83: KA/MB üzerinde Metil Mavisinin adsorpsiyonunun Arrhenius grafiği

Bu çalışmada; KA/MB üzerinde Metil Mavisinin aktivasyon enerjisi ( $E_a$ )  $\ln K_{ads} - 1/T$  grafiği çizilerek bulunmuştur. Aktivasyon enerjisi Şekil 4.83'de görülen grafiğin eğiminden hesaplanmıştır. Buna göre; Metil Mavisinin KA/MB üzerindeki adsorpsiyon aktivasyon enerjisi 6,4 kJ/mol olduğundan fiziksel adsorpsiyon olarak gözlenmiştir.

Tablo 4.8: Metil Mavisinin farklı adsorbentlerin üzerinde termodinamik hesaplamaları

Sıcaklık (K)	Adsorbent	Adsorp. Max (%)	Denge Sabiti $K_c$	Gibss Enerji- $\Delta G^\circ$ (J/mol)	Adsorpsiyon Isısı $\Delta H^\circ$ (J/mol) (293 K-323K)	Adsorpsiyon Entropisi $\Delta S^\circ$ (J/mol) (293K-323K)
293	YA	50,3	1,01	-28	25193	86,7
	KA	63,6	1,75	-1360	6303	26,2
	SB	58,5	1,41	-836	9249	4,1
	MB	56	1,27	-588	25540	89,1
	KA/MB	91	11,39	-5927	13801	67,7
303	YA	63	1,7	-1341		
	KA	66	1,94	-1671		
	SB	63	1,7	-1341		
	MB	65	1,86	-1563		
	KA/MB	94	15,67	-6932		
313	YA	68	2,13	-1962		
	KA	67,9	2,12	-1952		
	SB	66	1,94	-1726		
	MB	69	2,23	-2082		
	KA/MB	94,4	16,99	-7371		
323	YA	73,1	2,72	-2685		
	KA	68,9	2,22	-2136		
	SB	70	2,33	-2275		
	MB	78	3,55	-3399		
	KA/MB	95,2	19,83	-8022		

Kahverengi alg, yeşil alg, saf bentonit, modifiye bentonit ve KA/MB üzerinde Metil Mavisinin termodinamik hesaplamaları Tablo 4.8 'de verilmiştir.



Şekil 4.84: Farklı adsorbentlerin üzerinde Metil Mavisi 30 °C’de  $2,5 \cdot 10^{-4}$  M derişimde % adsorpsiyonu

Şekil 4.84’te bu çalışmada kullanılan her bir adsorbent üzerinde Metil Mavisi % adsorpsiyon değerlerinin karşılaştırılması verilmiştir.

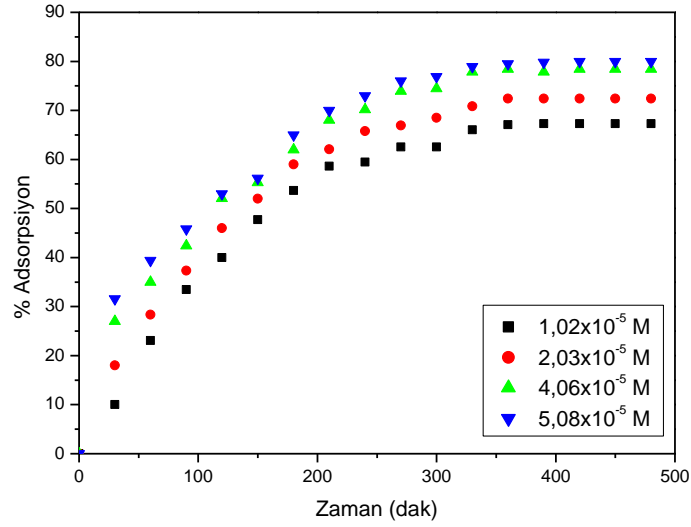
#### 4.4. METİL VIOLENTİN ADSORPSİYONU

Yeşil alg, kahverengi alg, saf bentonit, modifiye bentonit ve KA/MB üzerinde Metil Violentin adsorpsiyonu 30°C’de dört farklı derişimlerde ( $1,02 \cdot 10^{-5}$ M,  $2,3 \cdot 10^{-5}$ M,  $4,06 \cdot 10^{-5}$ M ve  $5,08 \cdot 10^{-5}$ M) incelenmiştir. Bu adsorbentlerin 30°C’de % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi Şekil 4.85-4.88’da verilmiştir.

##### 4.4.1. Farklı Adsorbentler Üzerinde Metil Violentin Derişim Etkisi

###### 4.4.1.1. Yeşil Alg Üzerinde Metil Violentin Derişim Etkisi:

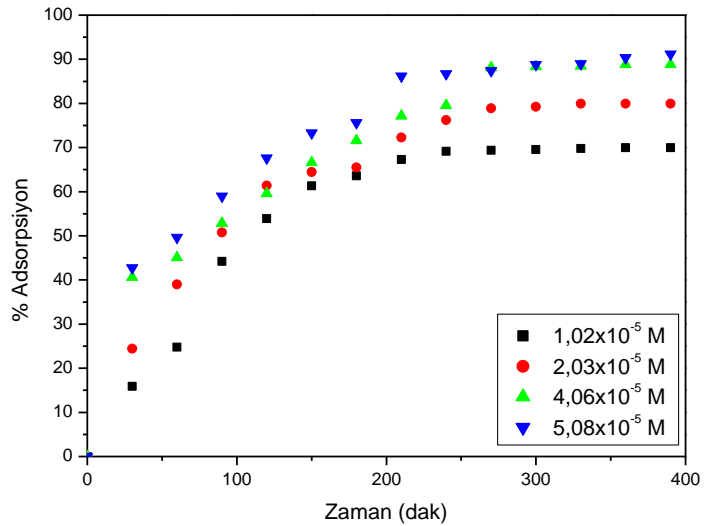
Adsorbent olarak kullanılan yeşil algden 0,1 g alınarak üzerine Metil Violentin her bir derişimden 50’şer ml konulmuş ve UV-Spektrofotometrede adsorpsiyonu takip edilmiştir. Yüzde adsorpsiyon grafiği Şekil 4.85’da gösterilmiştir.



Şekil 4.85: Yeşil alg üzerinde Metil Violent'in değişik derişimlerde % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (30°C)

#### 4.4.1.2. Kahverengi Alg Üzerinde Metil Violent'in Derişim Etkisi:

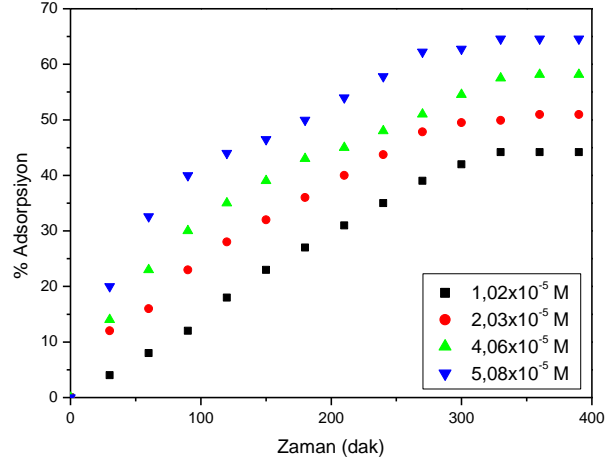
Adsorbent olarak kullanılan 0,1 g kahverengi alg üzerinde Metil Violent'in her bir derişimden 50'şer ml konulmuş ve UV-Spektrofotometrede boyar madde adsorpsiyonu takip edilmiştir. Metil Violent'in kahverengi alg üzerinde yüzde adsorpsiyon grafiği Şekil 4.86'de gösterilmiştir.



Şekil 4.86: Kahverengi alg üzerinde Metil Violent'in değişik derişimlerde % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (30°C)

#### 4.4.1.3. Saf Bentonit Üzerinde Metil Violentin Derişim Etkisi:

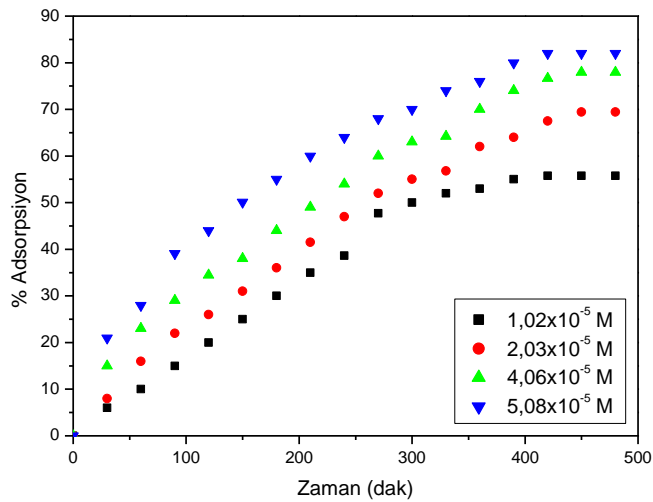
Saf bentonitten 0,1 g alınarak üzerine Metil Violentin her bir derişimden 50'şer ml konulmuş ve UV-Spektrofotometrede adsorpsiyonu takip edilmiştir. Metil Violentin saf bentonit üzerinde yüzde adsorpsiyon grafiği Şekil 4.87'de gösterilmiştir.



Şekil 4.87: Saf bentonit üzerinde Metil Violentin değişik derişimlerde % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (30°C)

#### 4.4.1.4. Modifiye Bentonit Üzerinde Metil Violentin Derişim Etkisi:

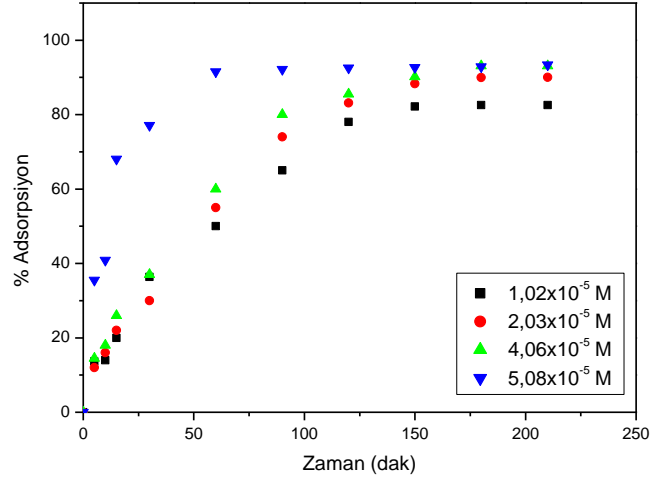
Modifiye bentonitten 0,1 g alınarak üzerine Metil Violentin her bir derişimden 50'şer ml konulmuş ve UV-Spektrofotometrede adsorpsiyonu takip edilmiştir. Metil Violentin modifiye bentonit üzerinde yüzde adsorpsiyon grafiği Şekil 4.88'de gösterilmiştir.



Şekil 4.88: Modifiye bentonit üzerinde Metil Violentin değişik derişimlerde % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (30°C)

#### 4.4.1.5. KA/MB Üzerinde Metil Violentin Derişim Etkisi:

KA/MB 0,1 g alınarak üzerine Metil Violentin her bir derişimden 50'şer ml konulmuş ve UV-Spektrofotometrede adsorpsiyonu takip edilmiştir. Metil Violentin KA/MB üzerinde yüzde adsorpsiyon grafiği Şekil 4. 89'da gösterilmiştir.



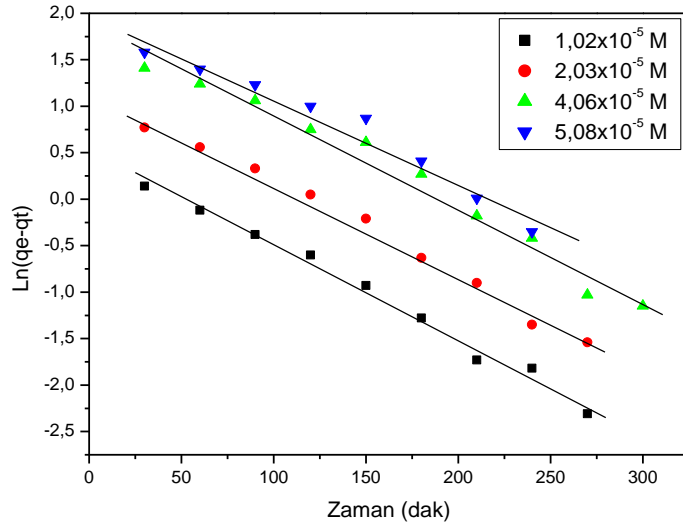
Şekil 4.89: KA/MB üzerinde Metil Violentin değişik derişimlerde % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi (30°C)

#### 4.4.2. Farklı Adsorbentler Üzerinde Metil Violentin Adsorpsiyon Kinetiği

Yeşil alg, kahverengi alg, saf bentonit, modifiye bentonit ve KA/MB üzerinde Metil Violentin adsorpsiyon kinetiği 30°C'de dört farklı derişimde ( $1,02 \times 10^{-5} \text{ M}$ ,  $2,03 \times 10^{-5} \text{ M}$ ,  $4,06 \times 10^{-5} \text{ M}$  ve  $5,08 \times 10^{-5} \text{ M}$ ) incelenmiştir. Her bir adsorbent için sırasıyla formül 2.7 ve 2.10'da belirtilen yalancı birinci derece kinetik model ve yalancı ikinci dereceden kinetik model uygulanmıştır. Adsorpsiyonun kinetik modele uygunluğu korelasyon katsayıları ile takip edilmiştir. Buna göre; yalancı birinci dereceden kinetik model için; t'nin  $\ln (q_e - q_t)$ 'ye karşı çizilen grafiğinden elde edilen doğrunun eğim ve kesim noktalarından  $k_1$  ve  $q_e$  hesaplanmıştır. Yalancı ikinci dereceden kinetik model için; t'nin  $t/q_t$ 'ye karşı çizilen grafiğinden elde edilen doğrunun eğim ve kesim noktalarından  $k_2$  ve  $q_e$  hesaplanmıştır. Her bir adsorbent için elde edilen sonuçlar Tablo 4.9'da verilmiştir.



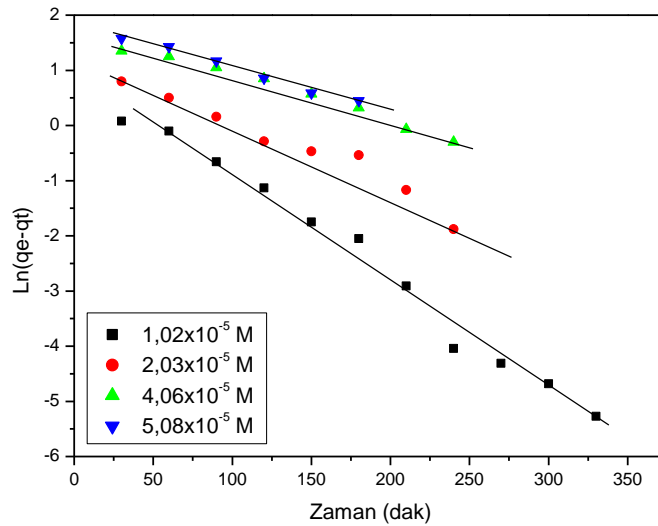
#### 4.4.2.1. Yeşil Alg Üzerinde Metil Violent'in Yalancı 1. Derece Adsorpsiyon Kinetiği:



Şekil 4.90: Metil Violent çözeltisinin yeşil alg üzerindeki adsorpsiyonun yalancı 1. derece kinetiği (30°C)

Şekil 4.90'da adsorpsiyonun yalancı birinci derece kinetiğini göstermektedir.  $R^2$  değerlerine göre yalancı 1. derece kinetiğine uygunluğu görülmektedir (Tablo 4.9).

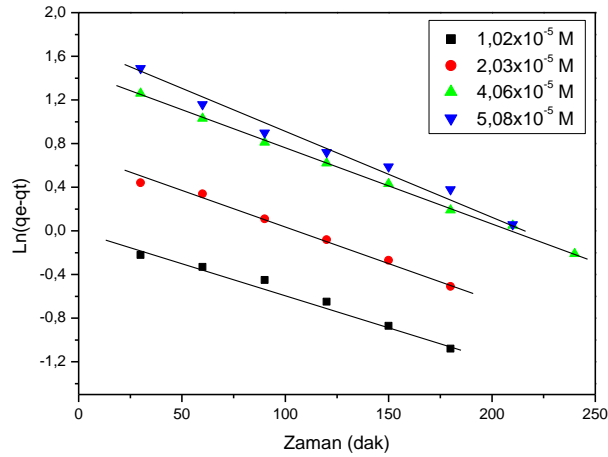
#### 4.4.2.2. Kahverengi Alg Üzerinde Metil Violent'in Yalancı 1. Derece Adsorpsiyon Kinetiği:



Şekil 4.91: Metil Violent çözeltisinin kahverengi alg üzerindeki adsorpsiyonun yalancı 1. derece kinetiği (30°C)

Şekil 4.91’de adsorpsiyonun yalancı birinci derece kinetiğini göstermektedir.  $R^2$  değerlerine göre yalancı 1. derece kinetiğine uygunluğu görülmektedir.

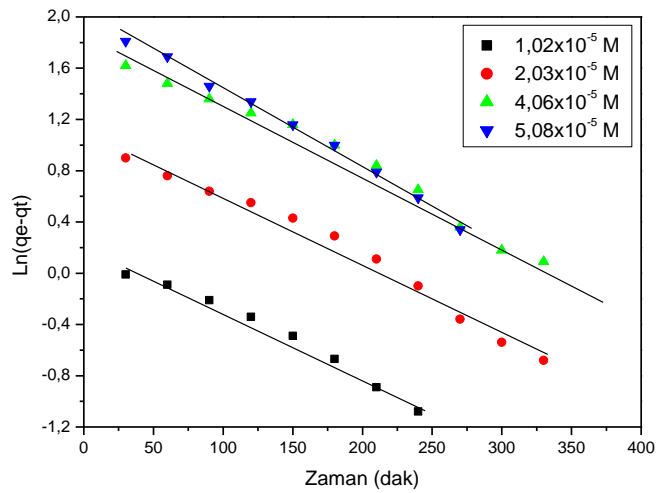
#### 4.4.2.3.Saf Bentonit Üzerinde Metil Violentin Yalancı 1. Derece Adsorpsiyon Kinetiği:



Şekil 4.92: Metil Violent çözeltisinin saf bentonit üzerindeki adsorpsiyonun yalancı 1. derece kinetiği (30°C)

Şekil 4.92 adsorpsiyonun yalancı birinci derece kinetiğini göstermektedir.  $R^2$  değerlerine göre yalancı 1. derece kinetiğine uygunluğu görülmektedir.

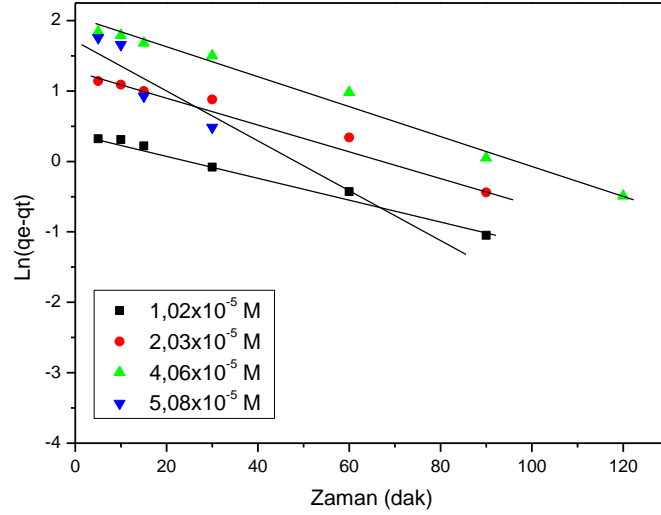
#### 4.4.2.4.Modifiye Bentonit Üzerinde Metil Violentin Yalancı 1. Derece Adsorpsiyon Kinetiği:



Şekil 4.93: Metil Violent çözeltisinin modifiye bentonit üzerindeki adsorpsiyonun yalancı 1. derece kinetiği (30°C)

Şekil 4.93 adsorpsiyonun yalancı birinci derece kinetiğini göstermektedir.  $R^2$  değerlerine göre yalancı 1. derece kinetiğine uygunluğu görülmektedir.

#### 4.4.2.5.KA/MB Üzerinde Metil Violentin Yalancı 1. Derece Adsorpsiyon Kinetiği:



Şekil 4.94: Metil Violent çözeltisinin KA/MB üzerindeki adsorpsiyonun yalancı 1. derece kinetiği (30°C)

Şekil 4.94 adsorpsiyonun yalancı birinci derece kinetiğini göstermektedir.  $R^2$  değerlerine göre yalancı 1. derece kinetiğine uygunluğu görülmektedir.

Tablo 4.9: Metil Violentin farklı adsorbentlerin üzerinde adsorpsiyon kinetik hesaplamaları

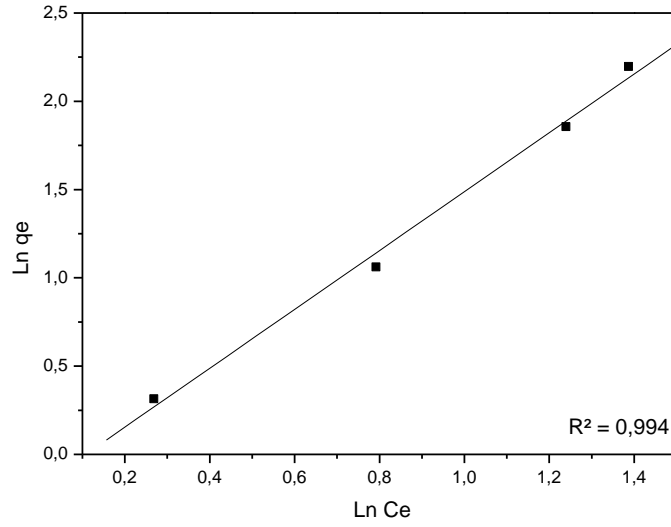
Adsor.	Cx10 <sup>-5</sup> M	Adsorp. Max (%)	q <sub>e</sub> (mg.g <sup>-1</sup> ) (deneysel)	Yalancı Birinci Derece Kinetik Model		
				q <sub>e</sub> (mg.g <sup>-1</sup> ) (hesap)	k <sub>1</sub> x10 <sup>-3</sup> (dak <sup>-1</sup> )	R <sup>2</sup>
YA	1,02	67,3	1,35	1,68	10,2	0,991
	2,03	72,4	2,89	3,29	10,1	0,991
	4,06	78,4	6,27	6,73	10,0	0,976
	5,08	80,0	8,01	7,42	9,2	0,961
KA	1,02	70,0	1,40	2,72	19,1	0,985
	2,03	80,0	3,20	3,07	11,7	0,957
	4,06	89,0	7,10	5,67	8,2	0,980
	5,08	91,3	9,14	6,44	8,1	0,988
SB	1,02	44,2	0,88	1,01	5,8	0,980
	2,03	50,9	2,04	1,98	6,5	0,993
	4,06	58,1	4,65	4,25	6,8	1
	5,08	64,6	6,46	5,17	7,4	0,990
MB	1,02	55,7	1,11	1,25	5,2	0,981
	2,03	69,4	2,78	3,16	5,4	0,981
	4,06	77,9	6,23	6,85	5,8	0,961
	5,08	82,0	8,21	7,64	6,0	0,994
KA/MB	1,02	82,6	1,65	1,56	16,1	0,990
	2,03	90,0	3,60	3,67	18,2	0,974
	4,06	93,1	7,45	7,61	20,8	0,987
	5,08	93,4	9,34	8,39	62,7	0,983

#### 4.4.3. Farklı Adsorbentler Üzerinde Metil Violentın Adsorpsiyon İzotermi

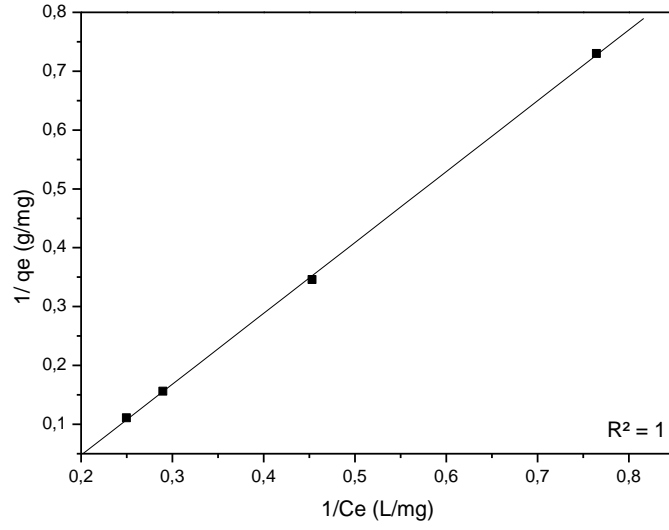
Yeşil alg, kahverengi alg, saf bentonit, modifiye bentonit ve KA/MB üzerinde Metil Violentın adsorpsiyonundan elde edilen verilere Freundlich, Langmuir ve Temkin adsorpsiyon izoterm modelleri uygulanmıştır.

##### 4.4.3.1. Yeşil Alg Üzerinde Metil Violentın Adsorpsiyon İzotermi:

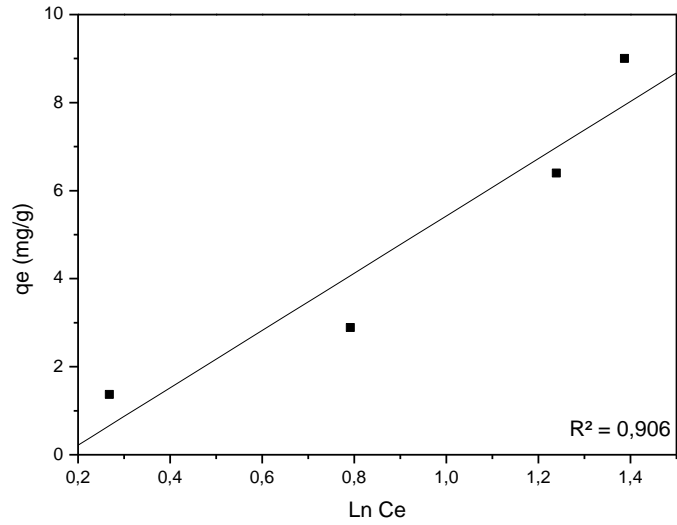
Yeşil alg üzerinde 30°C'de Metil Violentın adsorpsiyon izotermi; Freundlich, Langmuir ve Temkin izotermi sırasıyla Şekil 4.95- 4.97'de verilmektedir. Bu grafiklerin eğim ve kesim noktalarından izoterm parametreleri ve ayrıca korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.95: Metil Violent çözeltisinin yeşil alg üzerindeki adsorpsiyonun Freundlich izotermi (30°C)



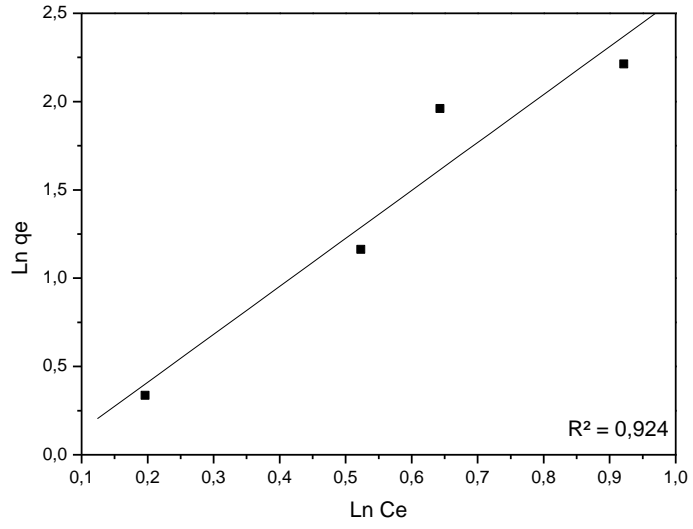
Şekil 4.96: Metil Violent çözeltisinin yeşil alg üzerindeki adsorpsiyonun Langmuir izotermi (30°C)



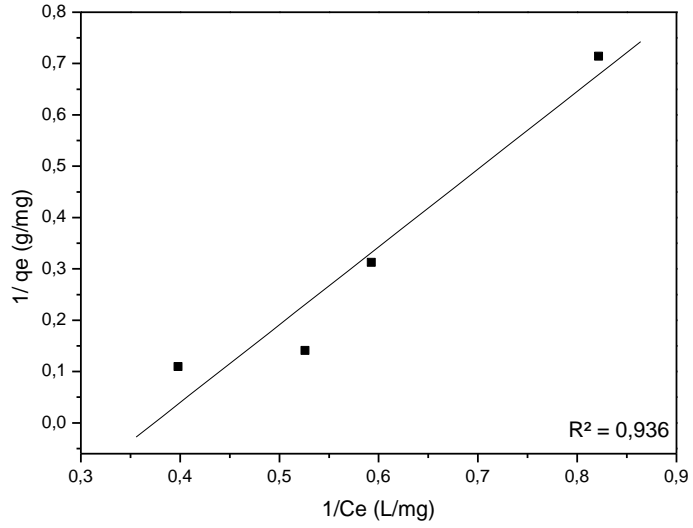
Şekil 4.97: Metil Violent çözeltisinin yeşil alg üzerindeki adsorpsiyonun Temkin izotermi (30°C)

#### 4.4.3.2. Kahverengi Alg Üzerinde Metil Violent'in Adsorpsiyon İzotermi:

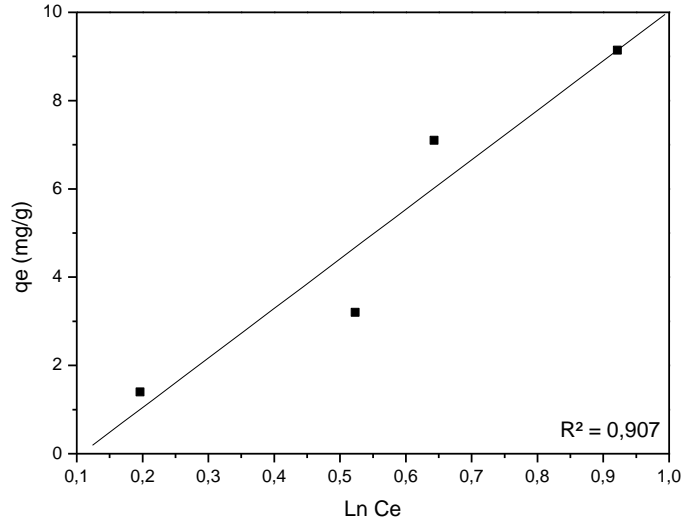
Kahverengi alg üzerinde 30°C'de Metil Violent adsorpsiyonu için çizilen Freundlich, Langmuir ve Temkin izotermi sırasıyla Şekil 4.98- 4.100'de verilmektedir. Bu grafiklerin eğim ve kesim noktalarından izoterm parametreleri ve ayrıca korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.98: Metil Violent çözeltisinin kahverengi alg üzerindeki adsorpsiyonun Freundlich izotermi (30°C)



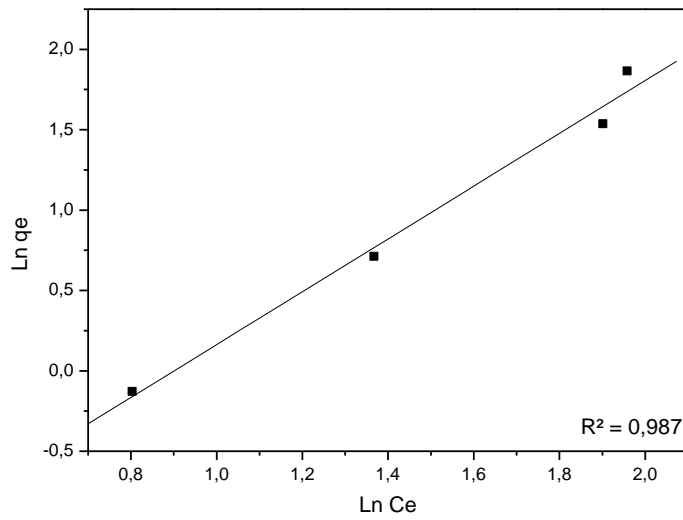
Şekil 4.99: Metil Violent çözeltisinin kahverengi alg üzerindeki adsorpsiyonun Langmuir izotermi (30°C)



Şekil 4.100: Metil Violent çözeltisinin kahverengi alg üzerindeki adsorpsiyonun Temkin izotermi (30°C)

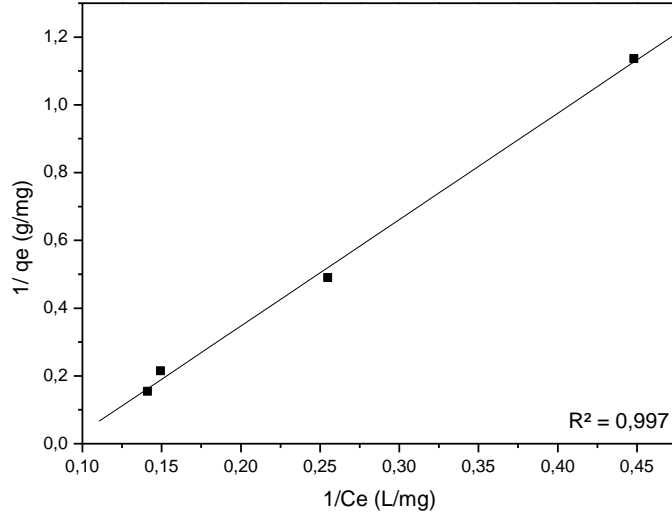
#### 4.4.3.3. Saf Bentonit Üzerinde Metil Violentin Adsorpsiyon İzotermi:

Saf bentonit üzerinde 30°C’de Metil Violentin adsorpsiyonu için çizilen Freundlich, Langmuir ve Temkin izotermi sırasıyla Şekil 4.101- 4.103’de verilmektedir. Bu grafiklerin eğim ve kesim noktalarından izoterm parametreleri ve ayrıca korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 4.10’da verilmiştir.

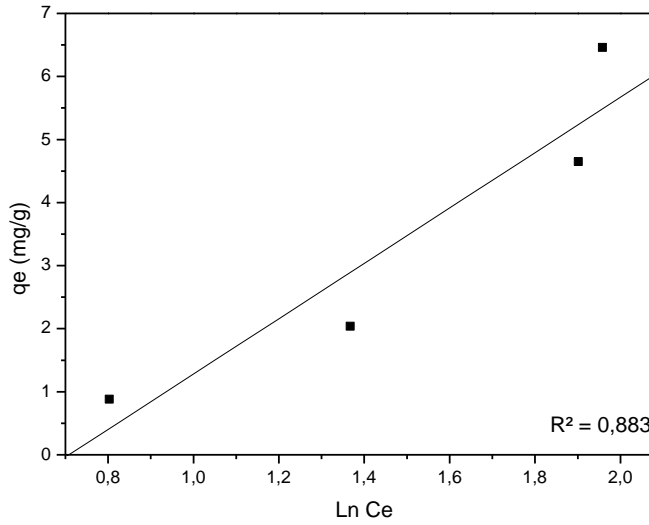


Şekil 4.101: Metil Violent çözeltisinin saf bentonit üzerindeki adsorpsiyonun Freundlich izotermi (30°C)





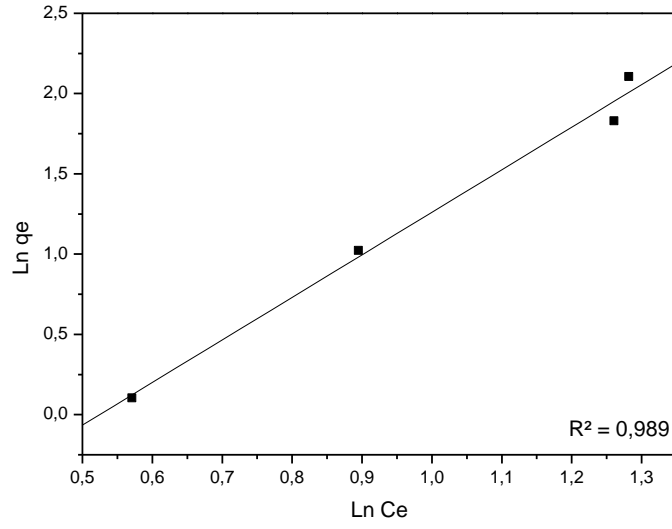
Şekil 4.102: Metil Violent çözeltisinin saf bentonit üzerindeki adsorpsiyonun Langmuir izotermi (30°C)



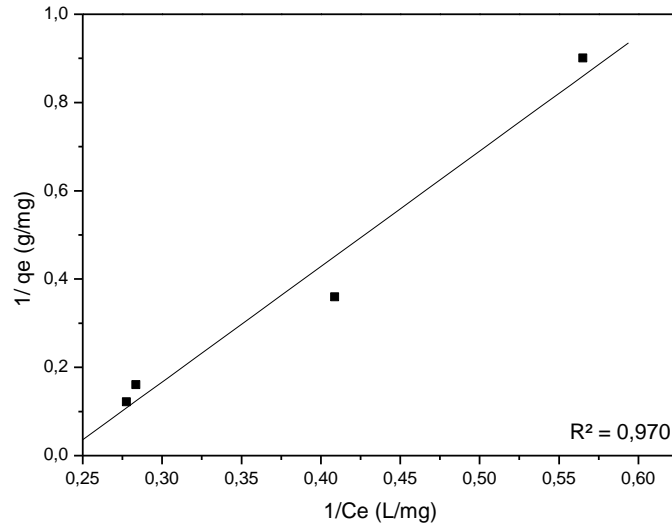
Şekil 4.103: Metil Violent çözeltisinin saf bentonit üzerindeki adsorpsiyonun Temkin izotermi (30°C)

#### 4.4.3.4. Modifiye Bentonit Üzerinde Metil Violent'in Adsorpsiyon İzotermi:

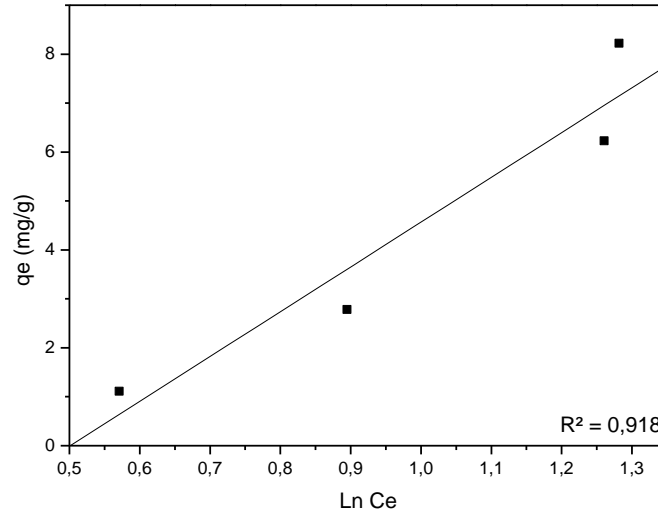
Modifiye bentonit üzerinde 30°C'de Metil Violent'in adsorpsiyonu için çizilen Freundlich, Langmuir ve Temkin izotermi sırasıyla Şekil 4.104- 4.106'da verilmektedir. Bu grafiklerin eğim ve kesim noktalarından izoterm parametreleri ve ayrıca korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.104: Metil Violent çözeltisinin modifiye bentonit üzerindeki adsorpsiyonun Freundlich izotermi (30°C)



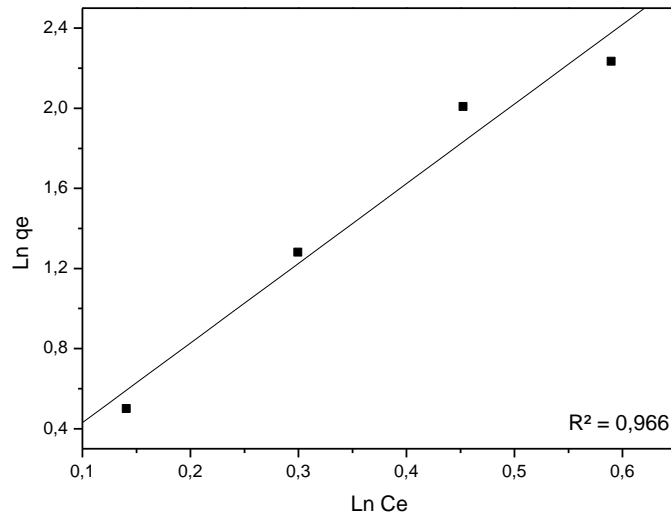
Şekil 4.105: Metil Violent çözeltisinin modifiye bentonit üzerindeki adsorpsiyonun Langmuir izotermi (30°C)



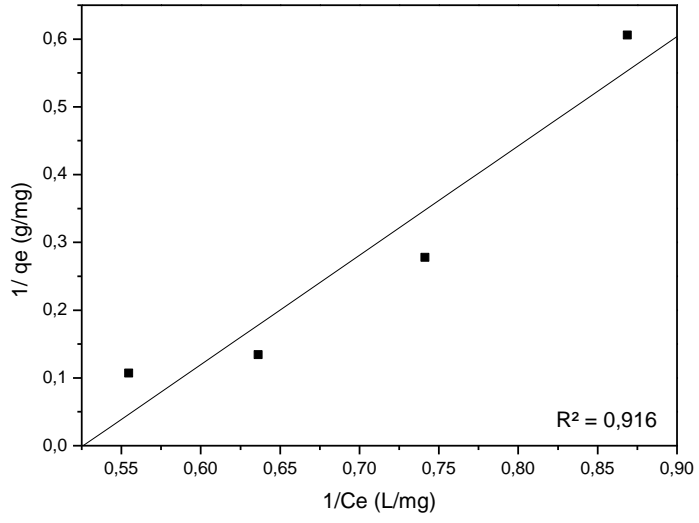
Şekil 4.106: Metil Violent çözeltisinin modifiye bentonit üzerindeki adsorpsiyonun Temkin izotermi (30°C)

#### 4.4.3.5.KA/MB Üzerinde Metil Violentin Adsorpsiyon İzotermi:

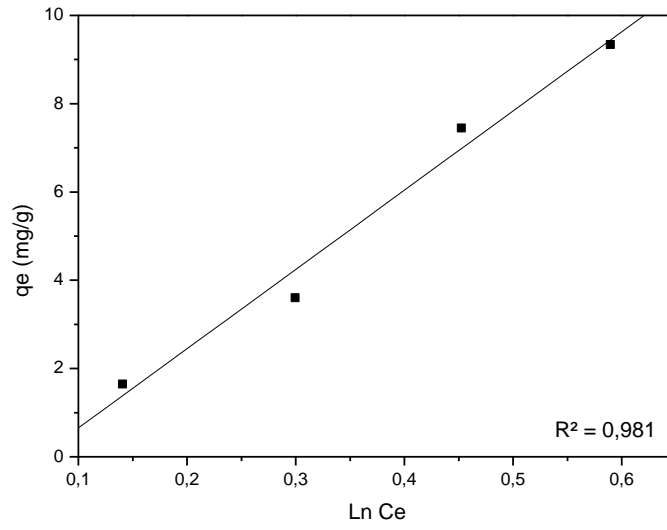
KA/MB üzerinde 30°C'de Metil Violentin adsorpsiyonu için çizilen Freundlich, Langmuir ve Temkin izotermi sırasıyla Şekil 4.107- 4.109'da verilmektedir. Bu grafiklerin eğim ve kesim noktalarından izoterm parametreleri ve ayrıca korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 4.10'da verilmiştir.



Şekil 4.107: Metil Violent çözeltisinin KA/MB üzerindeki adsorpsiyonun Freundlich izotermi (30°C)



Şekil 4.108: Metil Violent çözeltisinin KA/MB üzerindeki adsorpsiyonun Langmuir izotermi (30°C)



Şekil 4.109: Metil Violent çözeltisinin KA/MB üzerindeki adsorpsiyonun Temkin izotermi (30°C)

Tablo 4.10: Metil Violentin farklı adsorbentlerin üzerinde adsorpsiyon izotermi

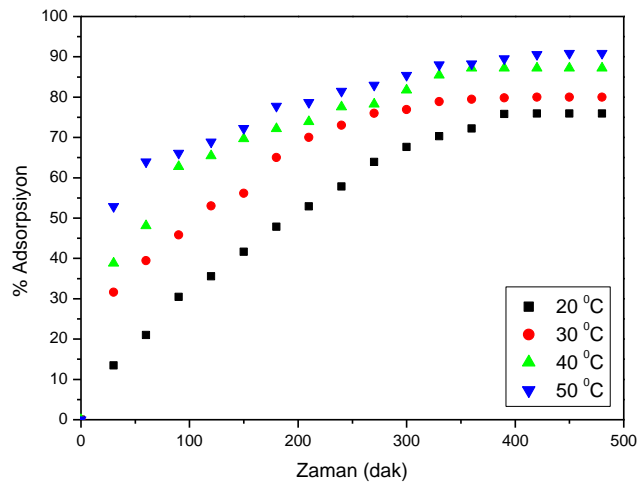
Adsorbent	Freundlich İzotermi			Langmuir İzotermi				Temkin İzotermi		
	n	$K_F$ (L g <sup>-1</sup> )	$R^2$	$q_{max}$ (mg g <sup>-1</sup> )	$K_L$ (L g <sup>-1</sup> )	$R_L$	$R^2$	$a_T$ (L g <sup>-1</sup> )	$K_T$	$R^2$
YA	0,60	0,84	0,994	0,83	1,00	0,05	1	0,84	6,51	0,906
KA	0,31	0,79	0,943	1,38	0,43	0,10	0,950	0,89	13,29	0,909
SB	0,60	0,23	0,987	3,56	0,09	0,36	0,997	0,49	4,39	0,883
MB	0,38	0,25	0,989	1,62	0,24	0,17	0,970	0,61	9,15	0,918
KA/MB	0,25	1,03	0,966	1,18	0,53	0,04	0,916	0,93	17,96	0,981

RL değeri 0-1 arasında olduğu için adsorpsiyon işlemi kendiliğinden gerçekleşir.

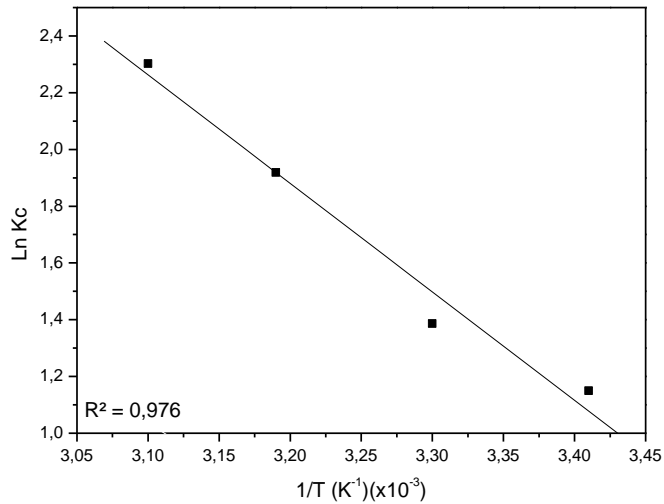
#### 4.4.4. Farklı Adsorbentler Üzerinde Metil Violentin Adsorpsiyon Termodinamiği

Yeşil alg, kahverengi alg, saf bentonit, modifiye bentonit ve KA/MB üzerinde Metil Violentin adsorpsiyonu  $5,08 \times 10^{-5}$  M'da dört farklı sıcaklıkta ( $20^{\circ}\text{C}$ ,  $30^{\circ}\text{C}$ ,  $40^{\circ}\text{C}$  ve  $50^{\circ}\text{C}$ ) incelenmiştir. Metil Violentin ( $5,08 \times 10^{-5}$  M) derişiminin değişik sıcaklıkta yeşil alg, kahverengi alg, saf bentonit, modifiye bentonit ve KA/MB üzerinde % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi hesaplanmıştır.

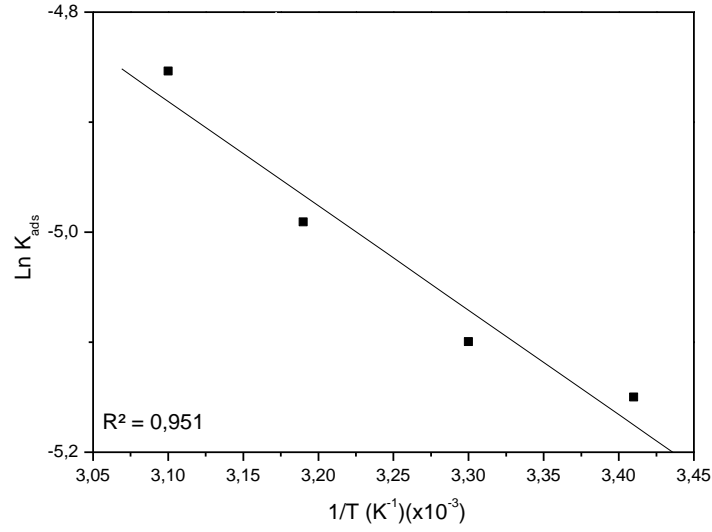
##### 4.4.4.1. Yeşil Alg Üzerinde Metil Violentin Adsorpsiyon Termodinamiği:



Şekil 4.110: Yeşil alg üzerinde Metil Violentin değişik sıcaklıklarda % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi ( $5,08 \times 10^{-5}$  M)



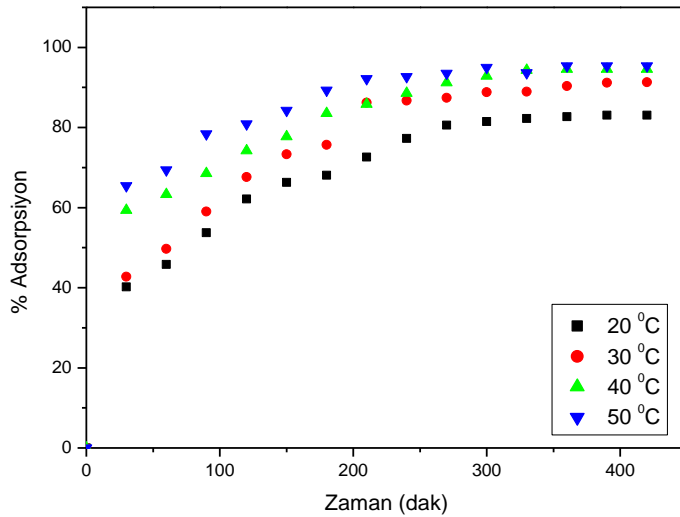
Şekil 4.111: Yeşil alg üzerinde Metil Violentin adsorpsiyonunun Van't Hoff grafiği



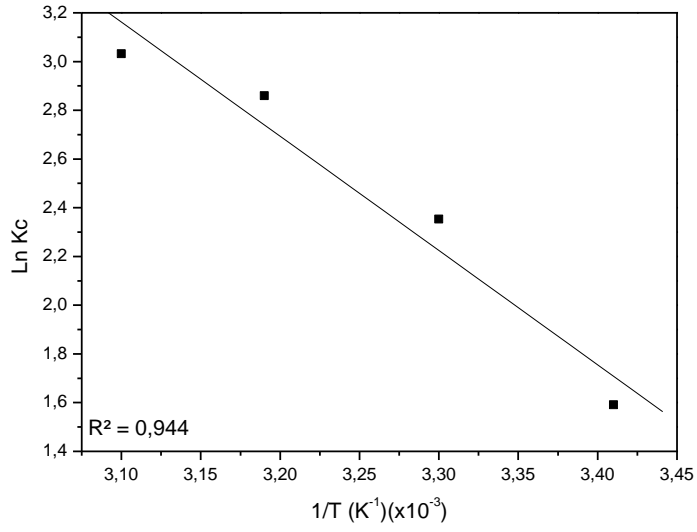
Şekil 4.112 : Yeşil alg üzerinde Metil Violentin adsorpsiyonunun Arrhenius grafiği

Bu çalışmada; yeşil alg üzerinde Metil Violentin aktivasyon enerjisi ( $E_a$ )  $\text{Ln}K_{\text{ads}} - 1/T$  grafiği çizilerek bulunmuştur. Aktivasyon enerjisi Şekil 4.112’de görülen grafiğin eğiminden hesaplanmıştır. Buna göre; Metil Violentin yeşil alg üzerindeki adsorpsiyon aktivasyon enerjisi 7,8 kJ/mol olduğundan fiziksel adsorpsiyon olarak gözlenmiştir.

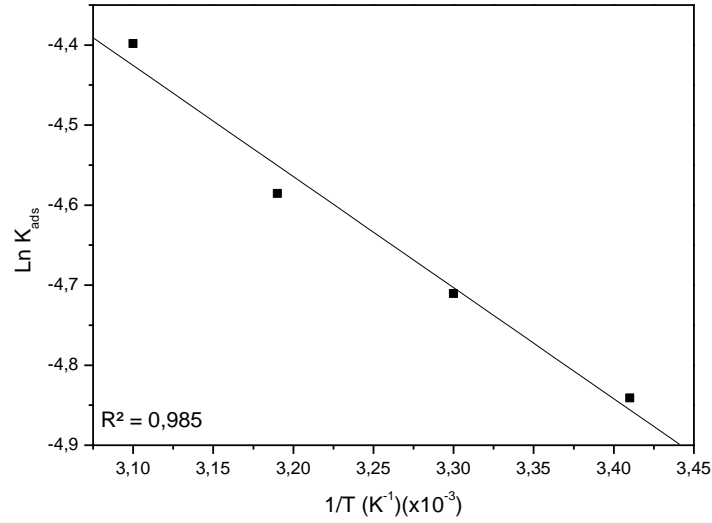
#### 4.4.4.2. Kahverengi Alg Üzerinde Metil Violentin Adsorpsiyon Termodinamiği:



Şekil 4.113 : Kahverengi alg üzerinde Metil Violentin değişik sıcaklıklarda % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi ( $5,08 \times 10^{-5}$  M)



Şekil 4.114: Kahverengi alg üzerinde Metil Violentin adsorpsiyonunun Van't Hoff grafiği

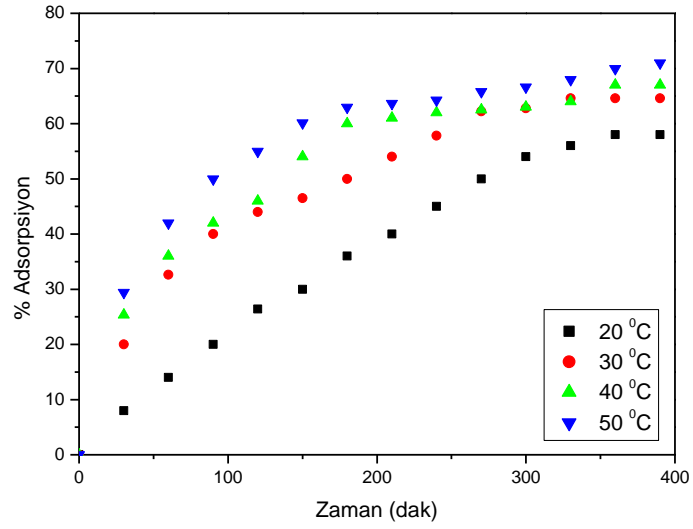


Şekil 4.115: Kahverengi alg üzerinde Metil Violentin adsorpsiyonunun Arrhenius grafiği

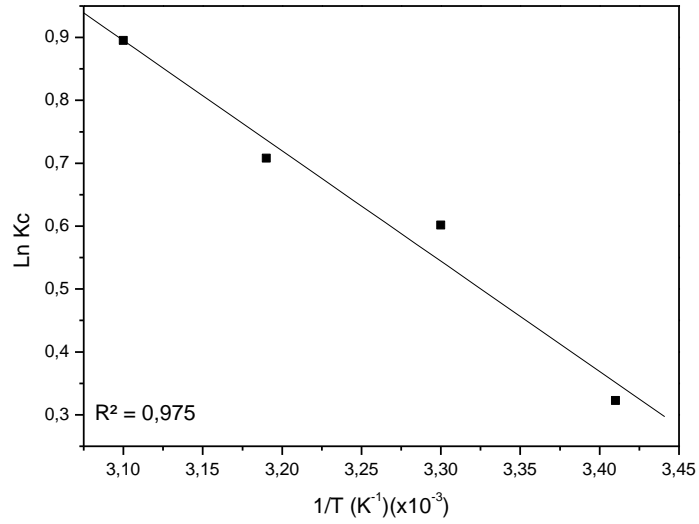
Bu çalışmada; kahverengi alg üzerinde Metil Violentin aktivasyon enerjisi ( $E_a$ )  $\text{Ln}K_{\text{ads}}-1/T$  grafiği çizilerek bulunmuştur. Aktivasyon enerjisi Şekil 4.115'de görülen grafiğin eğiminden hesaplanmıştır. Buna göre; Metil Violentin kahverengi üzerindeki adsorpsiyon aktivasyon enerjisi 11,4 kJ/mol olduğundan fiziksel adsorpsiyon olarak gözlenmiştir.



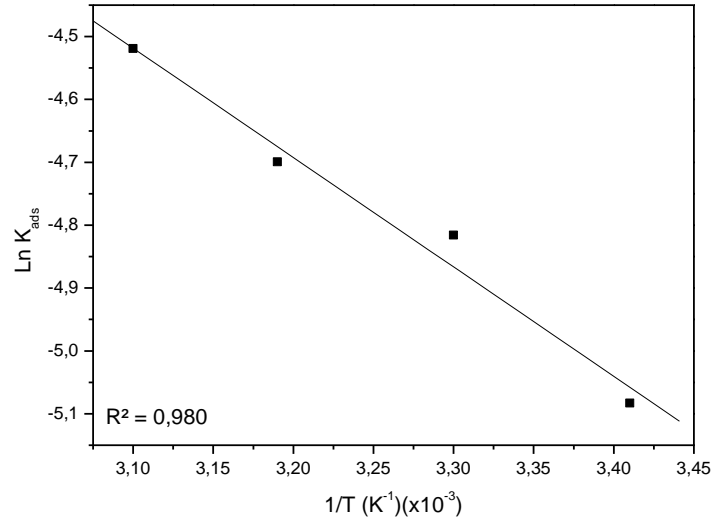
#### 4.4.4.3. Saf Bentonit Üzerinde Metil Violentin Adsorpsiyon Termodinamiği:



Şekil 4.116: Saf bentonit üzerinde Metil Violentin değişik sıcaklıklarda % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi ( $5,08 \times 10^{-5}$  M)



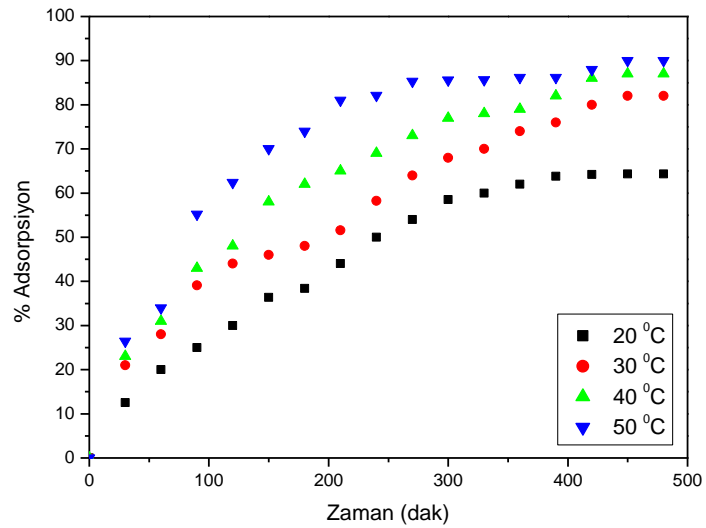
Şekil 4.117: Saf bentonit üzerinde Metil Violentin adsorpsiyonunun Van't Hoff grafiği



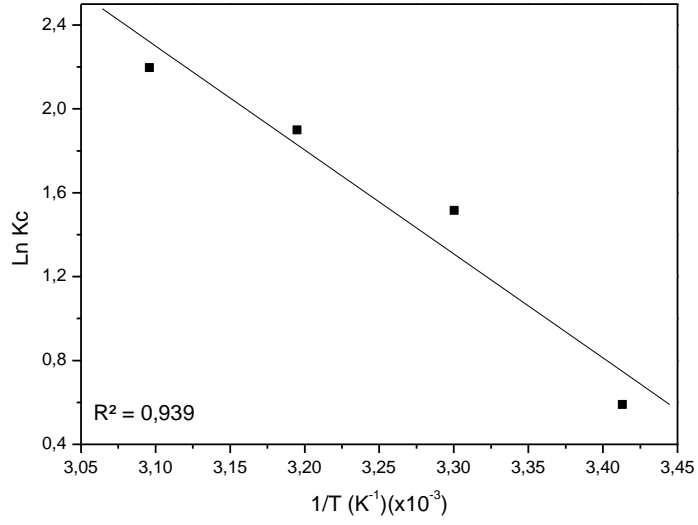
Şekil 4.118: Saf bentonit üzerinde Metil Violentin adsorpsiyonunun Arrhenius grafiği

Bu çalışmada; saf bentonit üzerinde Metil Violentin aktivasyon enerjisi ( $E_a$ )  $\text{Ln}k_{\text{ads}} - 1/T$  grafiği çizilerek bulunmuştur. Aktivasyon enerjisi Şekil 4.118'de görülen grafiğin eğiminden hesaplanmıştır. Buna göre; Metil Violentin saf bentonit üzerindeki adsorpsiyon aktivasyon enerjisi 14,3 kJ/mol olduğundan fiziksel adsorpsiyon olarak gözlenmiştir.

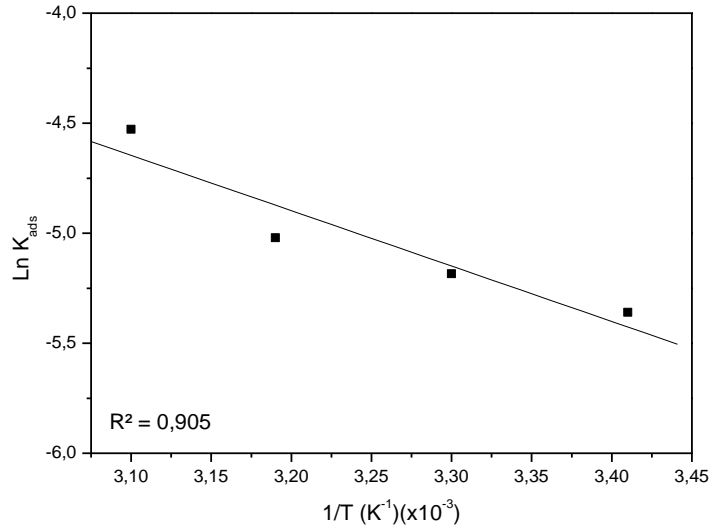
#### 4.4.4.4. Modifiye Bentonit Üzerinde Metil Violentin Adsorpsiyon Termodinamiği:



Şekil 4.119 : Modifiye bentonit üzerinde Metil Violentin değişik sıcaklıklarda % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi ( $5,08 \times 10^{-5}$  M)



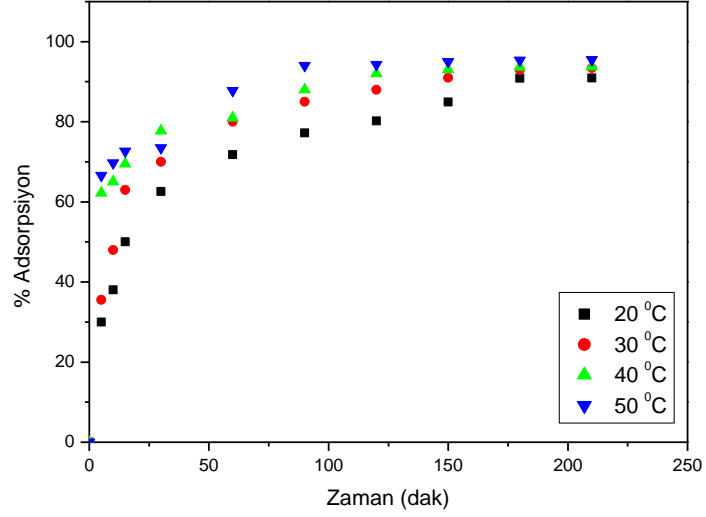
Şekil 4.120: Modifiye bentonit üzerinde Metil Violentin adsorpsiyonunun Van't Hoff grafiği



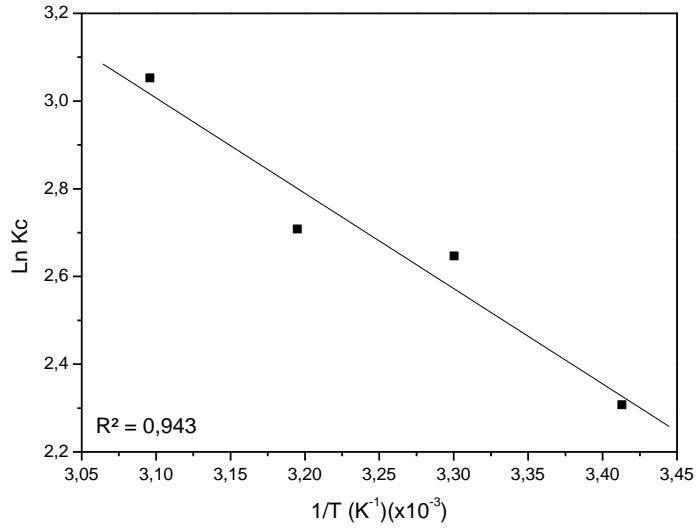
Şekil 4.121: Modifiye bentonit üzerinde Metil Violentin adsorpsiyonunun Arrhenius grafiği

Bu çalışmada; modifiye bentonit üzerinde Metil Violentin aktivasyon enerjisi ( $E_a$ )  $\ln K_{ads}$ -  $1/T$  grafiği çizilerek bulunmuştur. Aktivasyon enerjisi Şekil 4.121'de görülen grafiğin eğiminden hesaplanmıştır. Buna göre; Metil Violentin modifiye bentonit üzerindeki adsorpsiyon aktivasyon enerjisi 20,8 kJ/mol olduğundan fiziksel adsorpsiyon olarak gözlenmiştir.

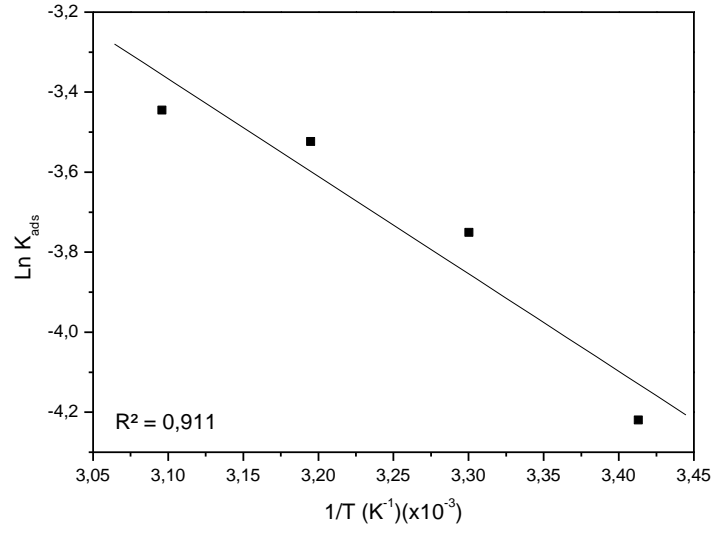
#### 4.4.4.5. KA/MB Üzerinde Metil Violentin Adsorpsiyon Termodinamiği:



Şekil 4.122: KA/MB üzerinde Metil Violentin değişik sıcaklıklarda % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi ( $5,08 \times 10^{-5}$  M)



Şekil 4.123: KA/MB üzerinde Metil Violentin adsorpsiyonunun Van't Hoff grafiği



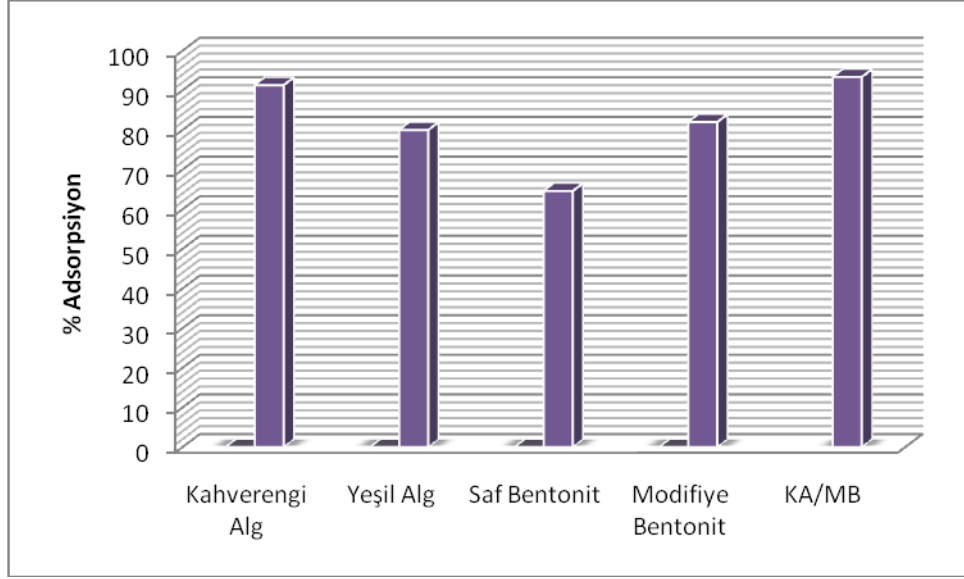
Şekil 4. 124: KA/MB üzerinde Metil Violentin adsorpsiyonunun Arrhenius grafiği

Bu çalışmada; KA/MB üzerinde Metil Violentin aktivasyon enerjisi ( $E_a$ )  $\ln K_{ads} - 1/T$  grafiği çizilerek bulunmuştur. Aktivasyon enerjisi Şekil 4.124'de görülen grafiğin eğiminden hesaplanmıştır. Buna göre; Metil Violentin KA/MB üzerindeki adsorpsiyon aktivasyon enerjisi 20,3 kJ/mol olduğundan fiziksel adsorpsiyon olarak gözlenmiştir.

Tablo 4.11: Metil Violentin farklı adsorbentlerin üzerinde termodinamik hesaplamaları

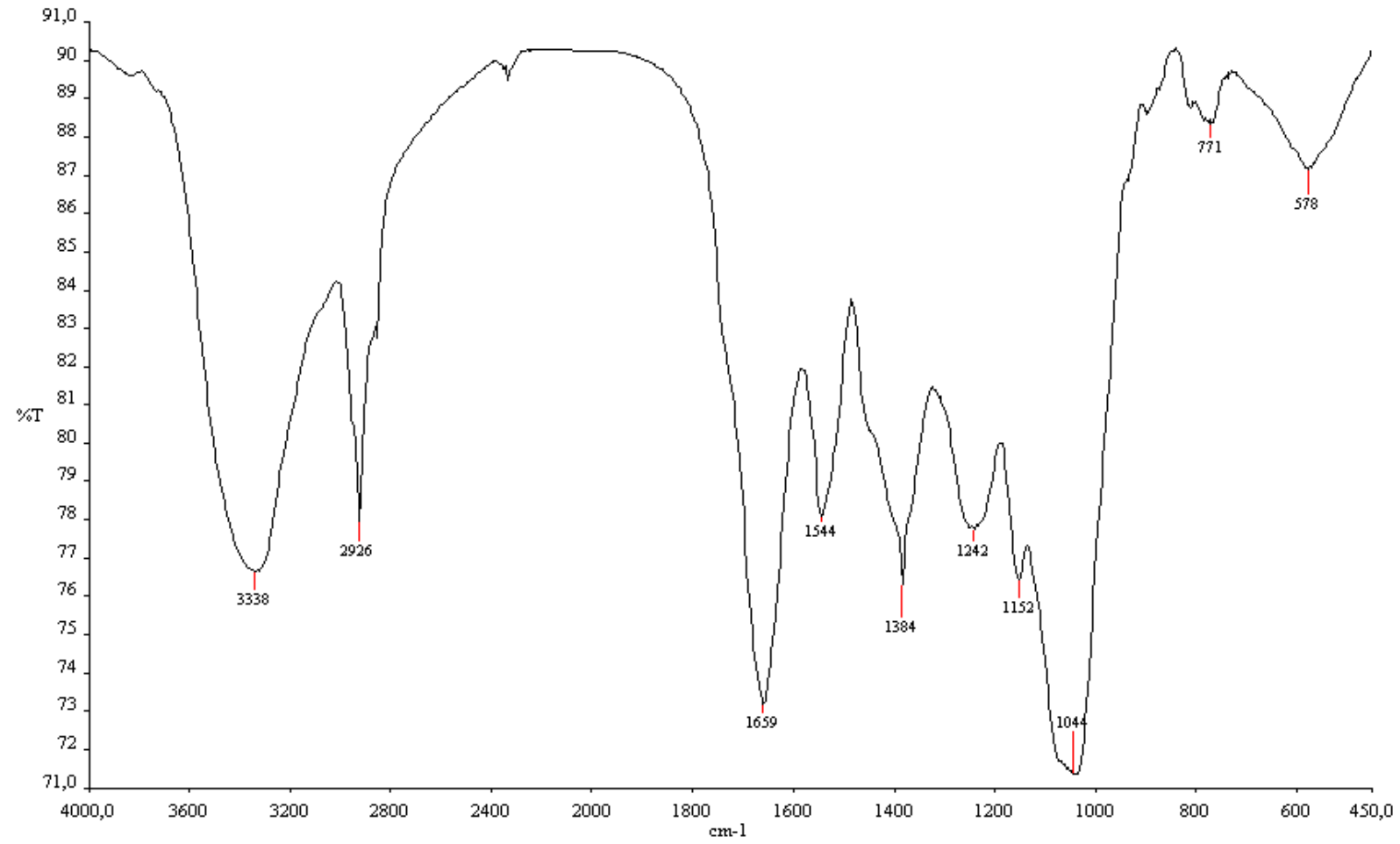
Sıcaklık (K)	Adsorbent	Adsorp. Max (%)	Denge Sabiti $K_c$	Gibss Enerji- $\Delta G^\circ$ (J/mol)	Adsorpsiyon Isısı $\Delta H^\circ$ (J/mol) (293 K-323K)	Adsorpsiyon Entropisi $\Delta S^\circ$ (J/mol) (293K-323K)
293	YA	75,9	3,16	-2799	31316	115,9
	KA	83,1	4,91	-3875	38283	144,9
	SB	58	1,38	-786	14395	52,1
	MB	64,4	1,81	-1439	41242	146,9
	KA/MB	90,9	10,05	-5621	18062	169,8
303	YA	80	4	-3492		
	KA	91,3	10,52	-5928		
	SB	64,6	1,82	-1515		
	MB	82	4,56	-3820		
	KA/MB	93,4	14,11	-6667		
313	YA	87,2	6,81	-4993		
	KA	94,6	17,45	-7441		
	SB	67	2,03	-1843		
	MB	87	6,69	-4945		
	KA/MB	93,8	15	-7047		
323	YA	90,9	10	-6184		
	KA	95,4	20,75	-8142		
	SB	71	2,45	-2405		
	MB	90	9	-5901		
	KA/MB	95,5	21,17	-8198		

Kahverengi alg, yeşil alg, saf bentonit, modifiye bentonit ve KA/MB üzerinde Metil Violentin termodinamik hesaplamaları Tablo 4.11 'de verilmiştir.



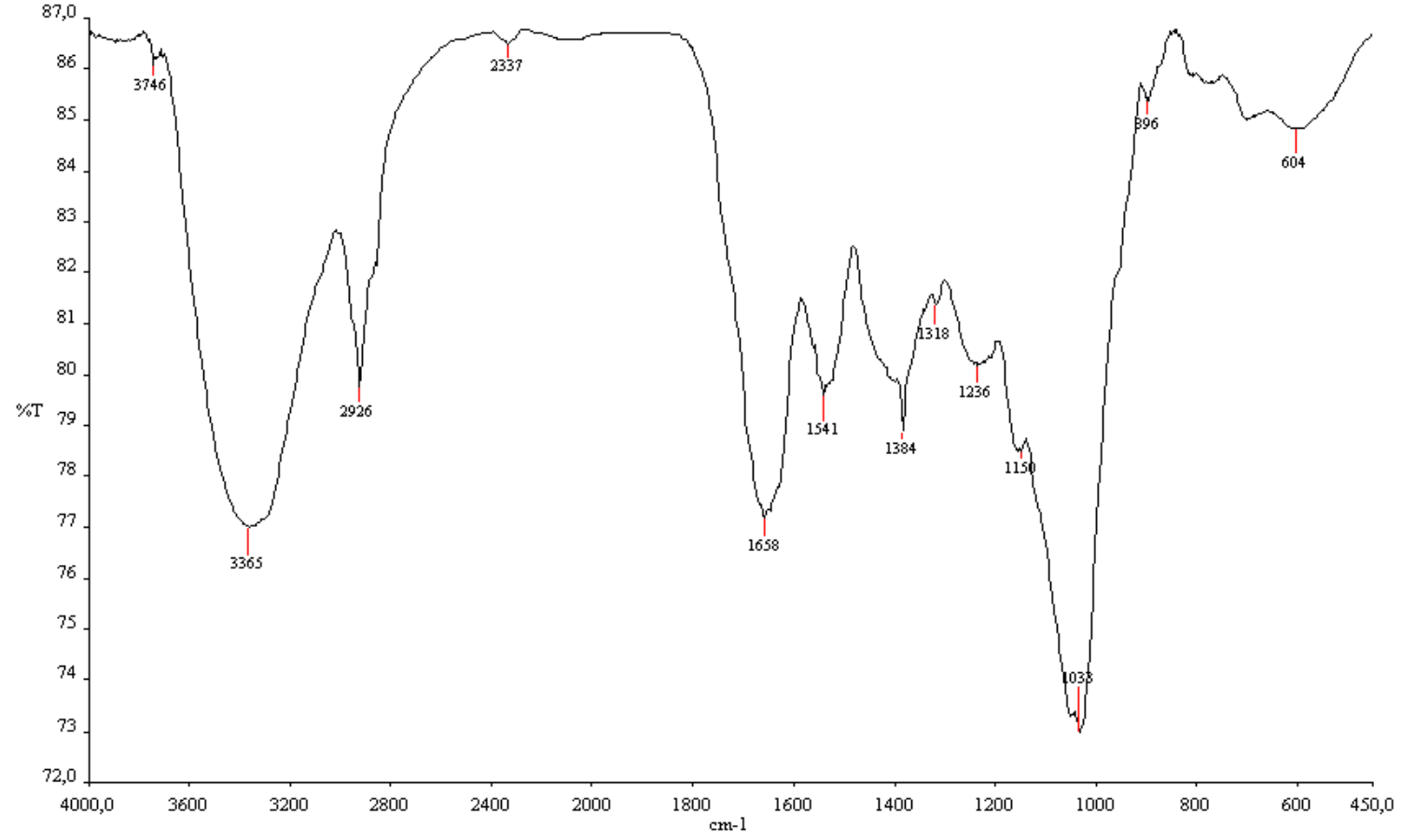
Şekil 4.125: Farklı adsorbentlerin üzerinde Metil Violentin 30 °C’de  $5,08 \cdot 10^{-5}$  M derişimde % adsorpsiyonu

Bu çalışmada kullanılan her bir adsorbent üzerinde Metil Violentin % adsorpsiyon değerleri Şekil 4.125’te karşılaştırılmalı olarak gösterilmiştir.

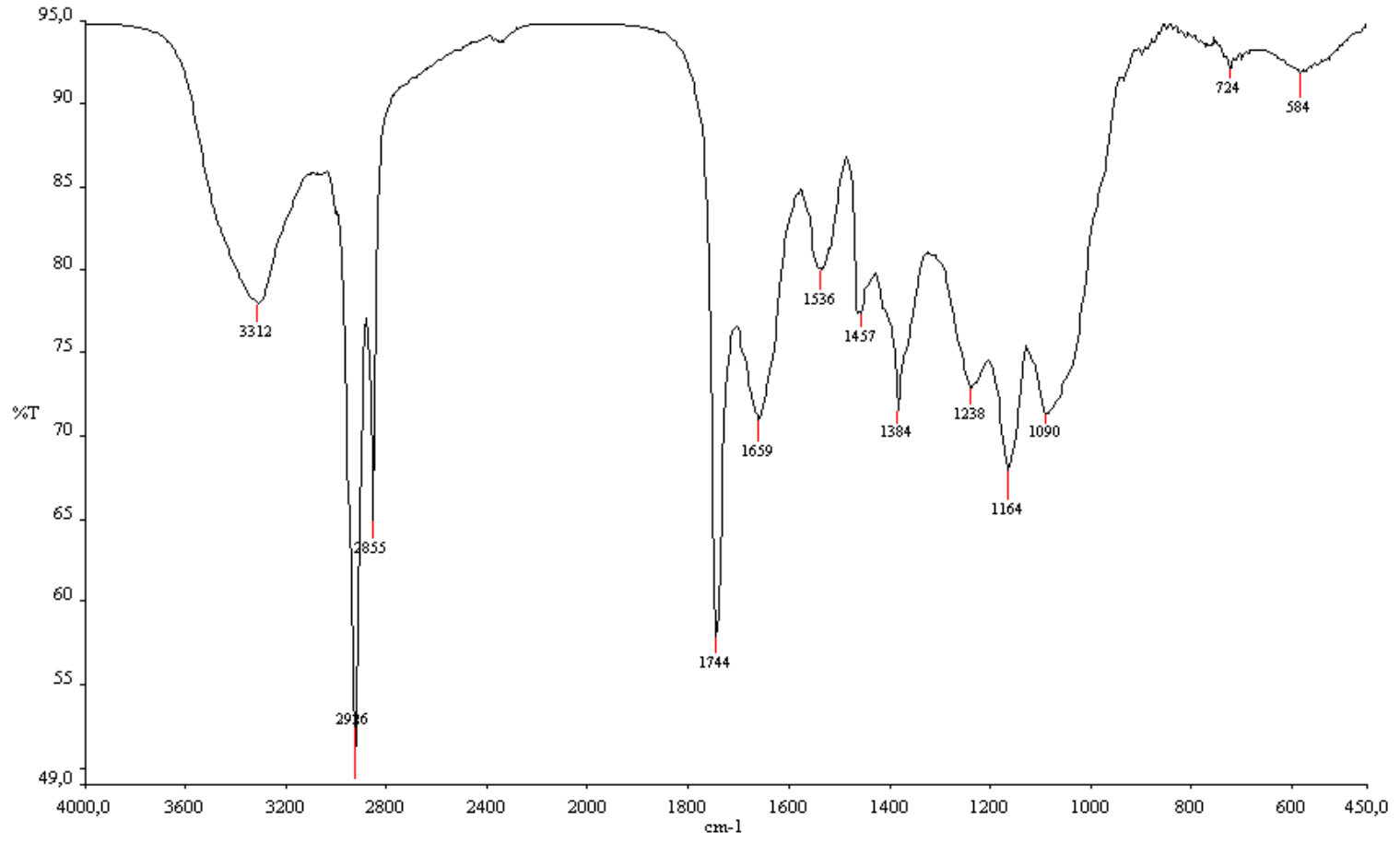


Şekil 4.126: Kahverengi Algin FTIR Spektrumu

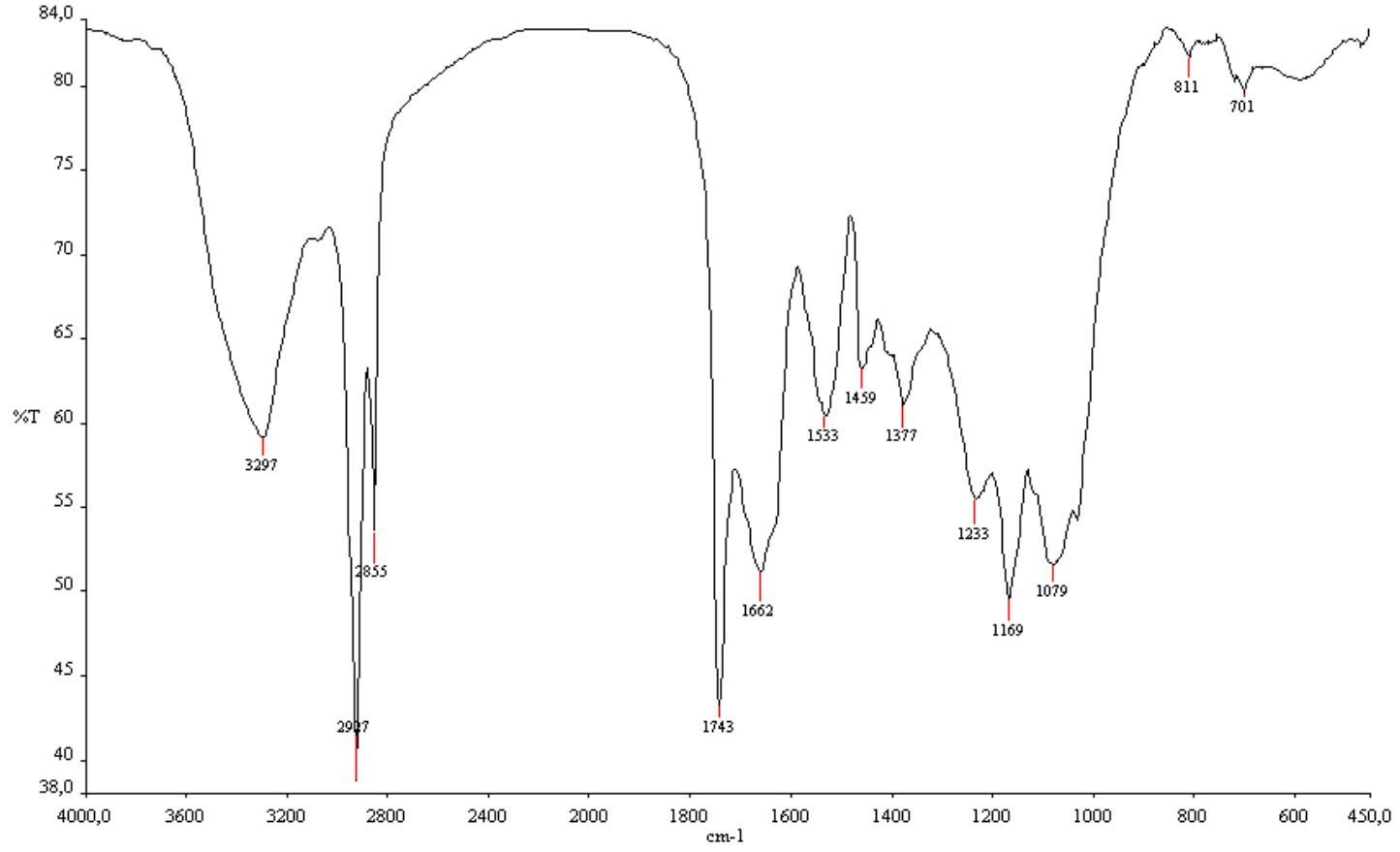




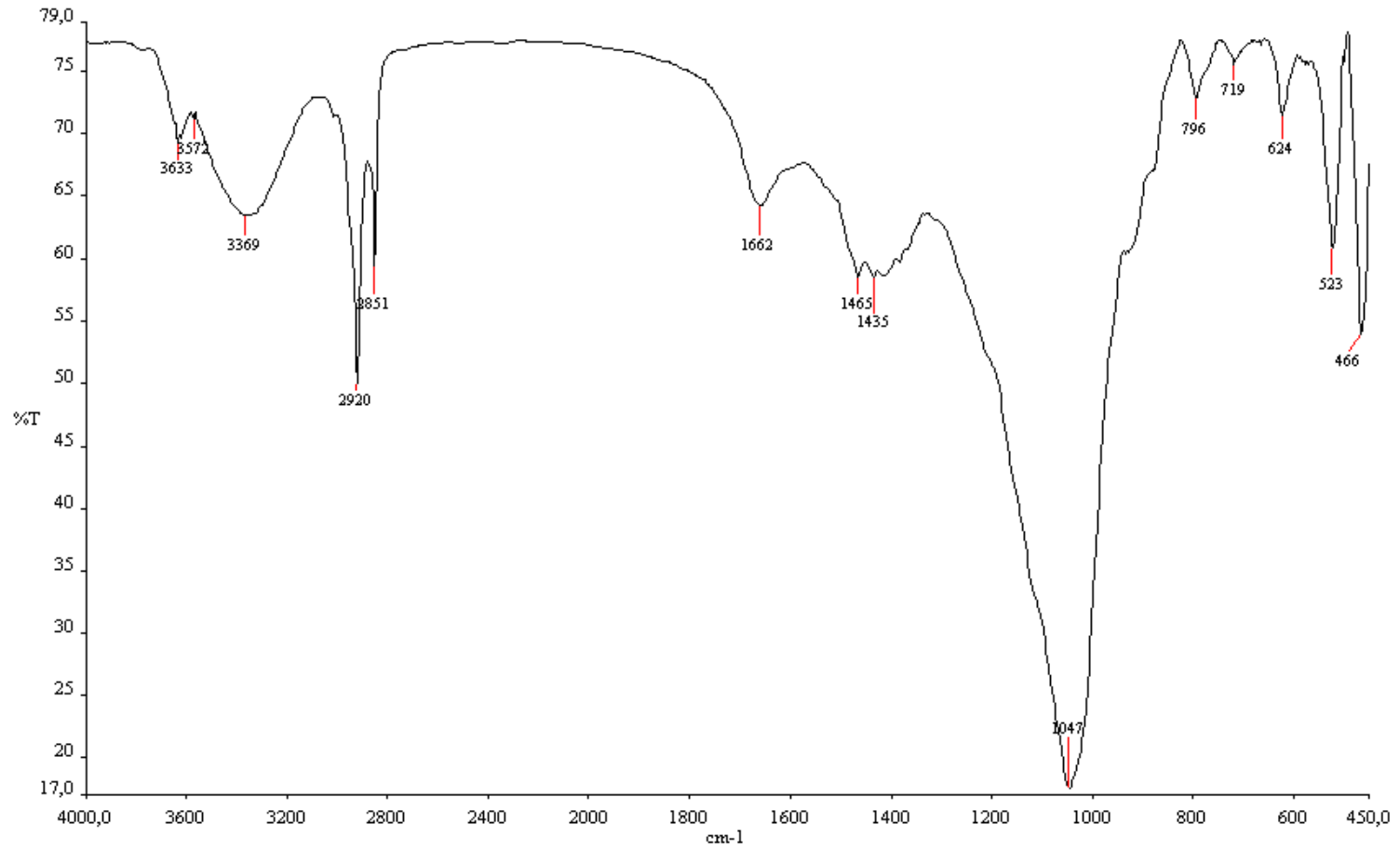
Şekil 4.127: Kahverengi Alg / Metil Mavisi ( $2,5 \times 10^{-4}$  M ve  $30^{\circ}\text{C}$ ) FTIR Spektrumu



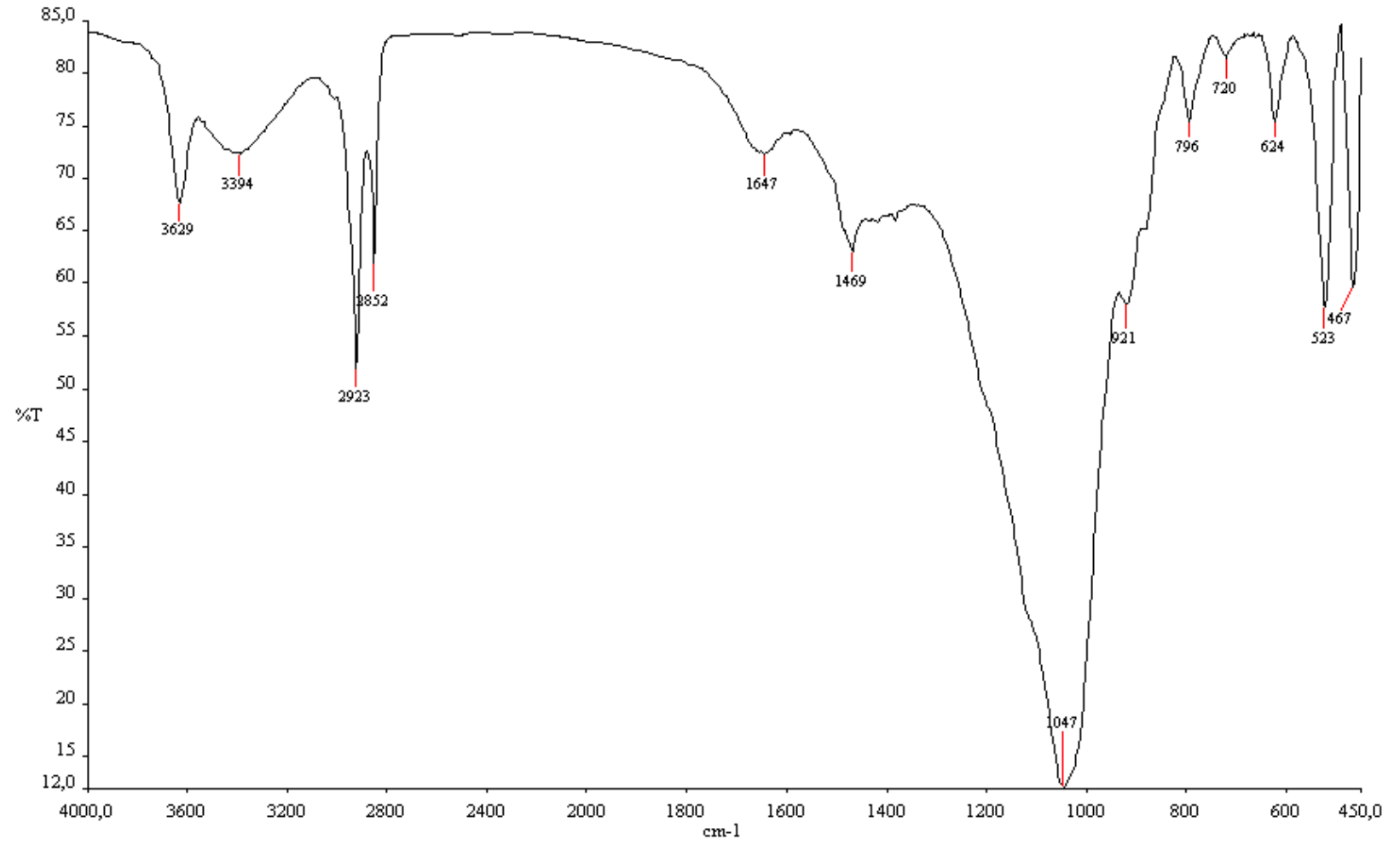
Şekil 4.128: Yeşil Alg FTIR Spektrumu



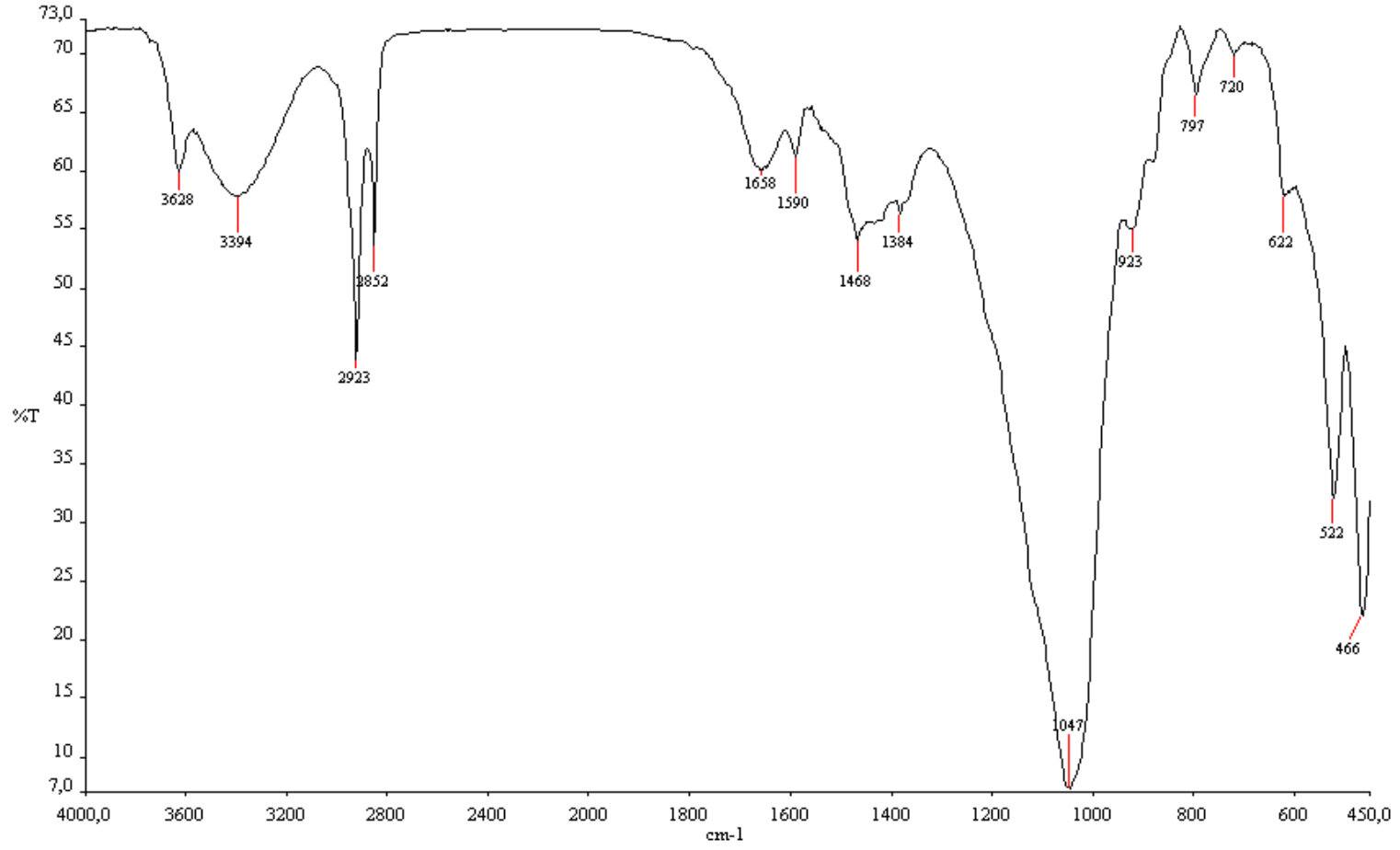
Şekil 4.129: Yeşil Alg / Metil Mavisi ( $2,5 \times 10^{-4}$  M ve  $30^{\circ}\text{C}$ ) FTIR Spektrumu



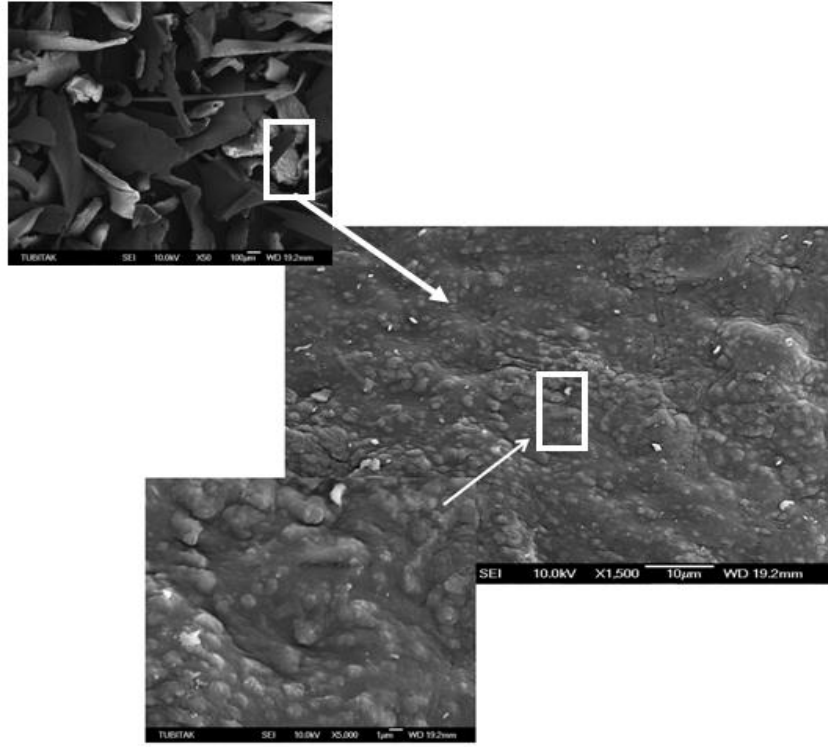
Şekil 4.130: KA/MB FTIR Spektrumu



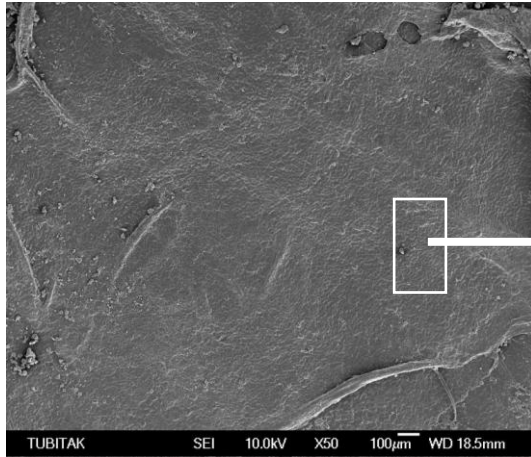
Şekil 4.131: KA/MB / Metil Mavisi ( $2,5 \times 10^{-4}$  M ve  $30^\circ\text{C}$ ) FTIR Spektrumu



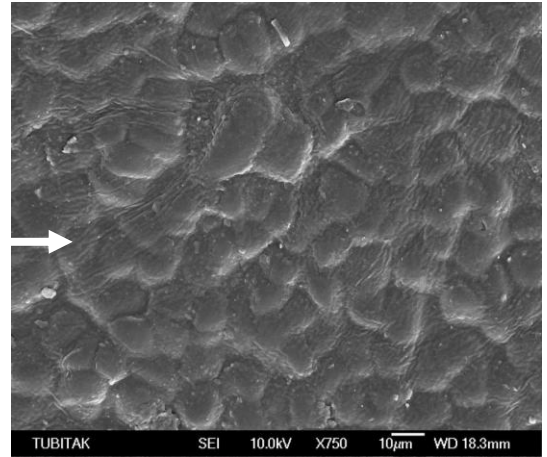
Şekil 4.132: KA/MB / Metil Violentin ( $5,08 \times 10^{-5}$  M ve  $30^{\circ}\text{C}$ ) FTIR Spektrumu



Şekil 4.133: Kahverengi Alg (1500x ve 5000 x) SEM mikrograftları

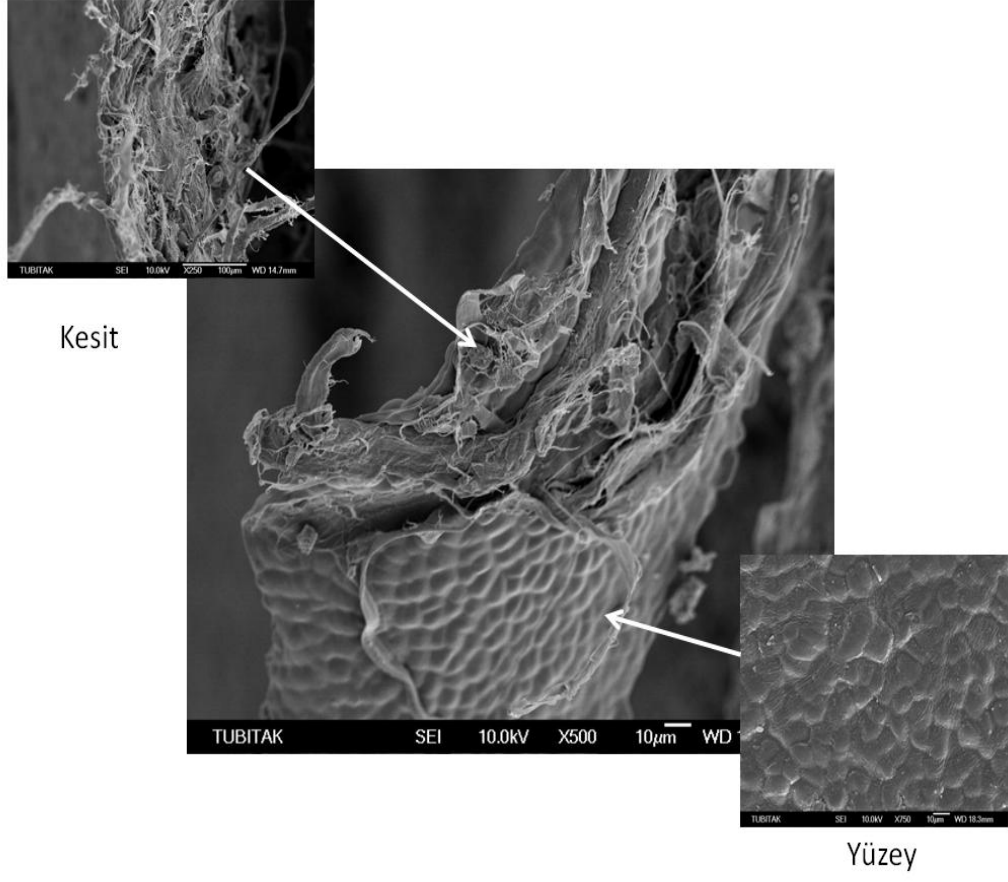


(a)



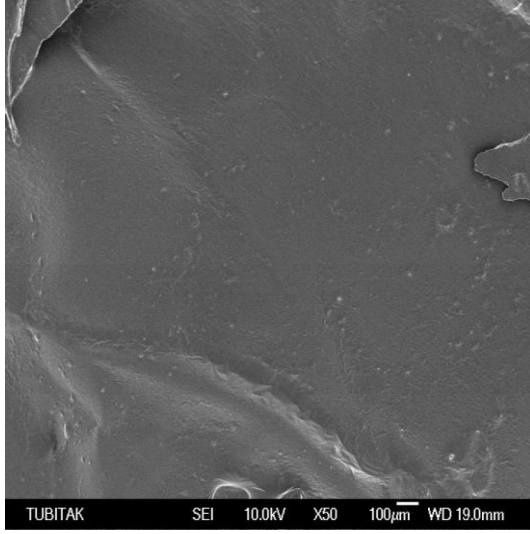
(b)

Şekil 4.134: Kahverengi Alg / Metil Mavisi ( $2,5 \times 10^{-4}$  M ve  $30^{\circ}\text{C}$ ) (a) (50x) ve (b) (750x) SEM mikrograftları

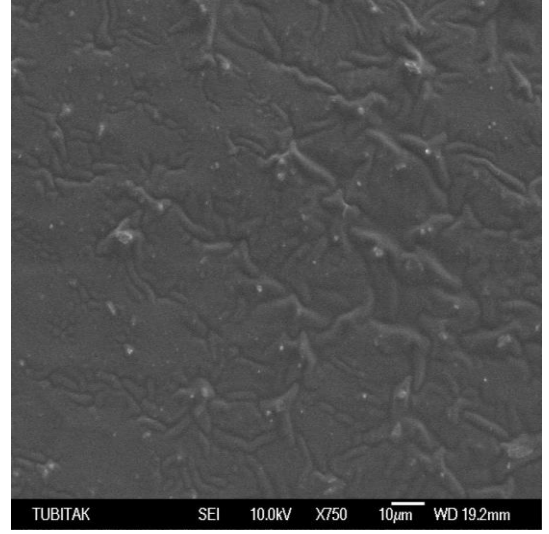


Şekil 4.135: Kahverengi Alg / Metil Mavisi ( $2,5 \times 10^{-4}$  M ve  $30^{\circ}\text{C}$ ) (250x), (500x) ve (750x) SEM mikrograftarı

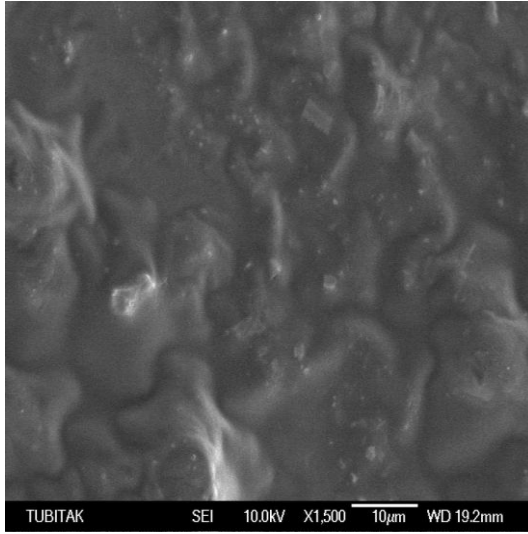




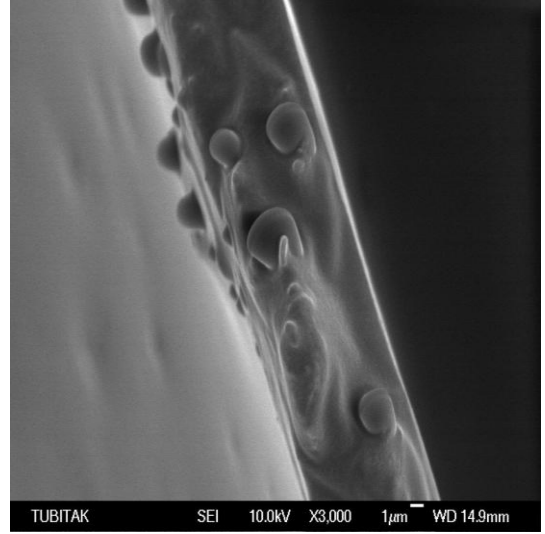
(a)



(b)

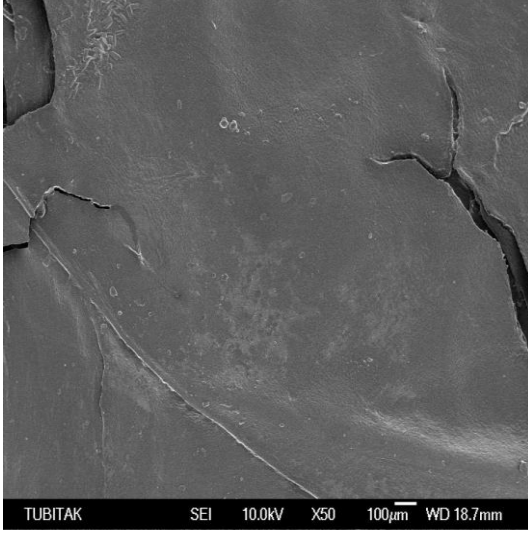


(c)

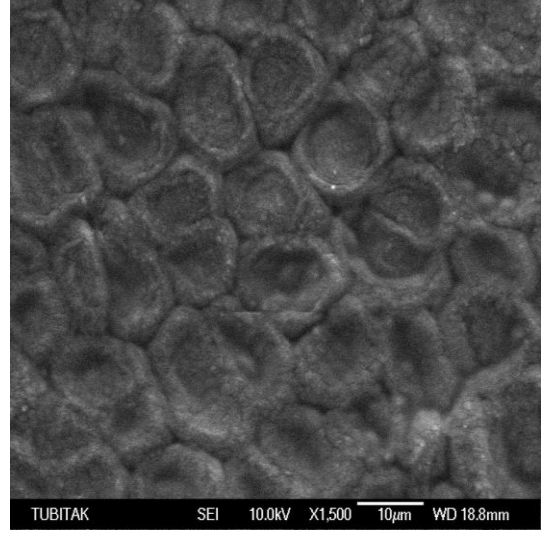


(d)

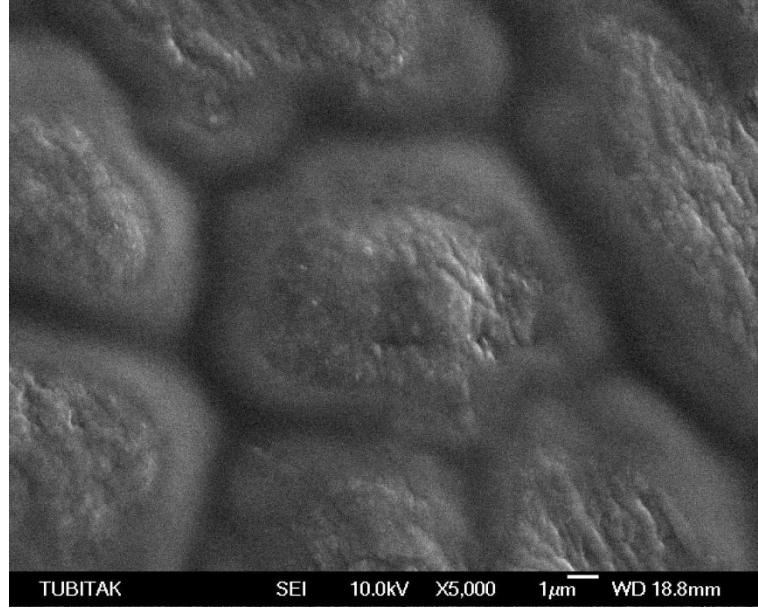
Şekil 4.136: Yeşil Alg (a) (50x), (b) (750x), (c) (1500x) ve (d) (3000x) SEM mikrograftları



(a)

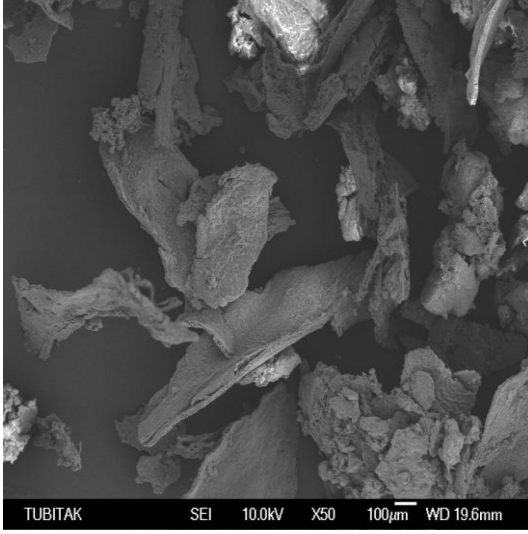


(b)

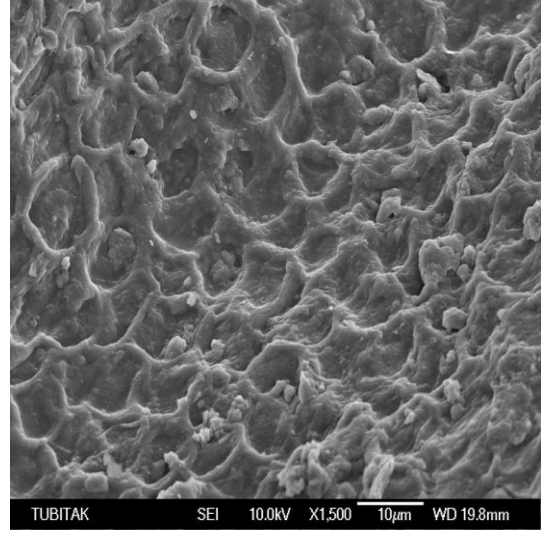


(c)

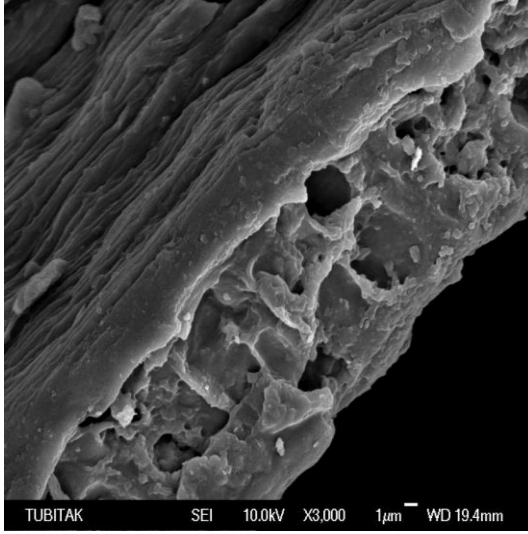
Şekil 4.137: Yeşil Alg / Metil Mavisi ( $2,5 \times 10^{-4}$  M ve  $30^{\circ}\text{C}$ ) (a) (50x), (b) (1500x) ve (c) (5000x) SEM mikrograftları



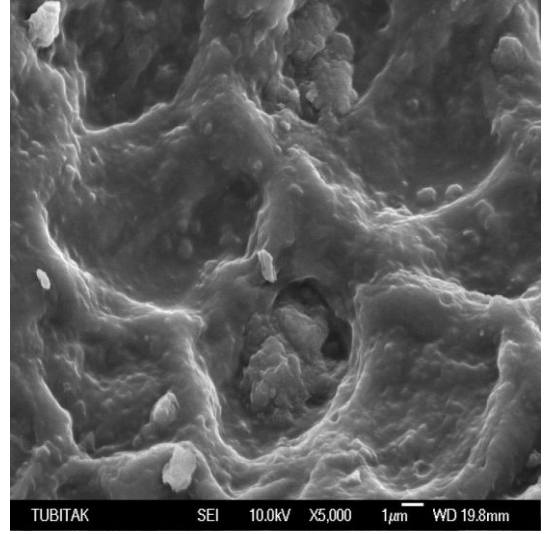
( a )



( b )

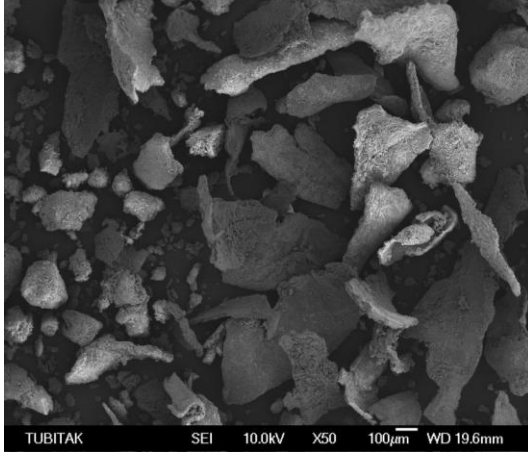


( c )

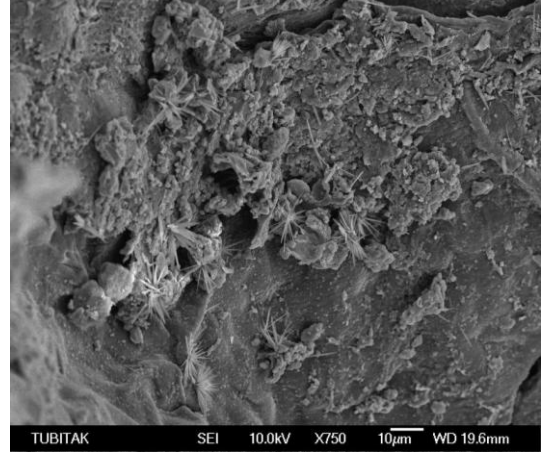


( d )

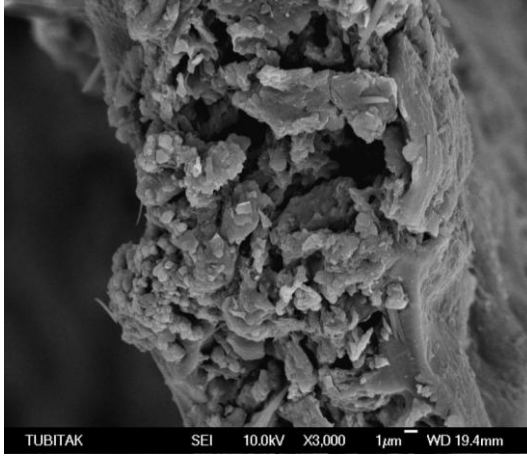
Şekil 4.138: KA / MB (a) (50x), (b) (1500x), (c) (3000x) ve (d) ( 5000x) SEM mikrograftları



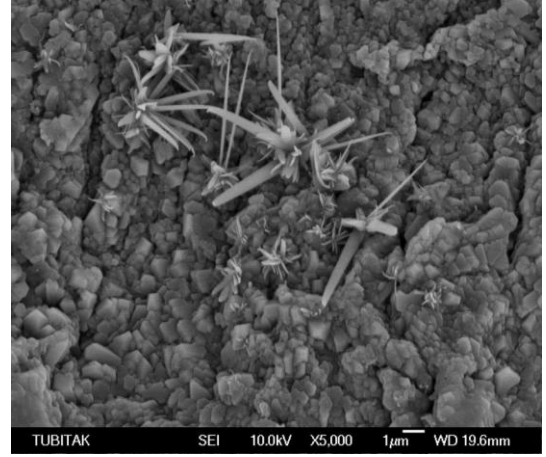
( a )



( b )



( c )



( d )

Şekil 4.139: KA / MB /Metil Mavisi ( $2,5 \times 10^{-4}$  M ve  $30^{\circ}\text{C}$ ) (a) (50x), (b) (750x), (c) (3000x) ve (d) (5000x) SEM mikrografları

## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Farklı boyar maddelerin özel hazırlanmış adsorbanlar üzerinde adsorpsiyonun incelenmesi konulu tez çalışmasında kullanılan boyar maddeler Kongo Kırmızısı, Metil Mavisi ve Metil Violent olup her biri için ayrı ayrı standart eğri grafikleri oluşturulmuştur. Elde edilen grafiklerin  $R^2$  değerleri yaklaşık 0,99 olarak bulunmuştur. Bu da korelasyonun yüksek olduğunu göstermektedir. Çalışmada kullanılan adsorbentlerin değişik pH'larda oda sıcaklığında şişme deneyleri yapılmıştır. % Şişme oranları karşılaştırıldığında kahverengi algin, yeşil alge göre daha fazla şiştiği bulunmuştur. Her iki alg için şişme miktarları pH 7'de 60 dakikada en yüksek değere ulaşmıştır. Sonuçlar Tablo 4.1'de verilmiştir. Buna göre; pH 7' de kahverengi algin su ortamında şişme oranı % 3842 olup yeşil alge göre ( %1435) 2,7 misli daha fazla şişme özelliği göstermiştir. Ncibi ve arkadaşlarının (2009) yaptığı çalışmalarda Metilen Mavinin Akdeniz yeşil algi üzerindeki adsorpsiyon kinetiğinde elde edilen sonuçlar maksimum adsorpsiyon kapasitesinin pH 6 ile 10 arasında olduğunu göstermiştir [66].

Hazırlanan her bir adsorbent üzerinde üç farklı boyar maddenin adsorpsiyonu incelendiğinde en iyi adsorpsiyonun KA/MB üzerinde Metil Mavisi adsorpsiyonunda gözlenmiştir (Tablo 4.6). Metil Mavi derişiminin  $2,5 \times 10^{-4}$  M olduğunda % adsorpsiyon % 94'e ulaşmıştır.

Tüm adsorpsiyon çalışmalarında boyar maddelerin kahverengi alg üzerinde % adsorpsiyonun, yeşil alg üzerindeki adsorpsiyona kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. Saf bentonit ve modifiye edilmiş bentonit üzerinde adsorpsiyon yüzdeleri karşılaştırıldığı zaman modifiye edilmiş bentonit üzerinde adsorpsiyonun tüm boyar maddeler için daha iyi sonuç verdiği görülmüştür ve modifikasyonun kil üzerinde pozitif katkısının olduğu anlaşılmıştır (Şekil 4.43, Şekil 4.84 ve Şekil 4.125).

Cengiz ve arkadaşlarının ( 2009 ) yaptığı çalışmalarda; deniz alginin üzerine Metil Mavisi adsorpsiyonunun 90 dakikada dengeye eriştiği ve deney sonuçlarının yalancı ikinci derece kinetik modele uyduğu görülmüştür [67].

Vijayaraghavan ve arkadaşlarının (2008) kahverengi deniz algin üzerine yapılan adsorpsiyon çalışmalarında çeşitli boyar maddelerin adsorpsiyon kinetiği incelenmiştir. Bu çalışmada kahverengi alg üzerinde 50 – 200 mg/L değişen derişimlerde Reactive Black 5'in adsorpsiyonunun üç saatte dengeye ulaştığı bulunmuştur. Ayrıca adsorpsiyondan elde edilen verilere göre yalancı ikinci derece kinetik modele uyduğu gözlenmiştir [68,69].

Aravindhan ve arkadaşlarının (2007) yeşil deniz algin üzerine yapılan adsorpsiyon çalışmalarında çeşitli boyarmaddelerin adsorpsiyon kinetiği incelenmiştir. Buna göre; yeşil deniz alginin üzerinde bazık sarı boyar maddesinin adsorpsiyonundan elde edilen verilere göre yalancı ikinci derece kinetik modele uyduğu ispatlanmıştır [70].

Bu çalışmada; Kongo Kırmızısı, Metil Mavisı ve Metil Violentin hazırlanan adsorbentler üzerindeki adsorpsiyonu üç grup altında incelenmiştir. Kongo Kırmızısının 500 nm dalga boyunda ölçülen absorbans değerlerine göre çizilen standart eğriden (Şekil 3.11) yararlanılarak dört farklı derişimde ( $1,43 \cdot 10^{-5} M$ ,  $1,71 \cdot 10^{-5} M$ ,  $2,28 \cdot 10^{-5} M$  ve  $2,57 \cdot 10^{-5} M$ ) sudaki çözeltileri hazırlanmıştır.

Kongo Kırmızısının yeşil alg, kahverengi alg, saf bentonit, modifiye bentonit ve KA/MB üzerinde değişik derişimlerde % adsorpsiyonun zamana göre değişimi 30 °C'de incelendiğinde (Şekil 4.3- 4.7) tüm derişimlerde adsorpsiyonun dengeye ulaşma zamanı 270 ile 390 dakika arasında olduğu görülmüştür. Kahverengi alg üzerinde adsorpsiyon dengeye gelme süresi 360 dakika iken, KA/MB üzerinde daha kısa sürede (270 dakikada) dengeye geldiği görülmüştür. Kahverengi alg, yeşil alg ve KA/MB üzerinde yüzde adsorpsiyon değerinin derişim azaldıkça arttığı gözlenmiştir. Derişim  $2,57 \cdot 10^{-5} M$ 'dan  $1,43 \cdot 10^{-5} M$ ' a gidildikçe yeşil alg üzerinde % adsorpsiyon % 42'den % 54,5'e (Şekil 4.3), kahverengi alg için % 43,0'den % 56,4'e (Şekil 4.4), KA/MB % 66'dan % 86,6'a (Şekil 4.7) olarak değişmiştir. Bentonit ve modifiye bentonitte % adsorpsiyon derişimle artmaktadır. Bentonitte %83,5'e (Şekil 4.5), modifiye bentonitte % 84,1'e (Şekil 4.6) ulaşmaktadır.

Yeşil alg, kahverengi alg, saf bentonit, modifiye bentonit ve KA/MB üzerinde Kongo Kırmızısının kinetik hesaplamaları Tablo 4.2' de verilmiştir. Ayrıca; Şekil 4.43'de farklı adsorbentler üzerinde Kongo Kırmızısı 30°C'de  $1,43 \times 10^{-5}$  M derişimde % adsorpsiyonu gösterilmiştir. Şekil 4.43'de görüldüğü üzere; KA/MB en yüksek adsorplama kapasitesine sahiptir (%86,6). Kahverengi alg aynı sıcaklık ve derişim koşullarında yeşil alg göre daha iyi adsorplayabilmektedir.

Kongo Kırmızısının tüm adsorbentler üzerindeki adsorpsiyonuna yalancı birinci ve ikinci derece adsorpsiyon kinetiği uygulanmış olup korelasyon katsayıları incelendiğinde adsorpsiyonun yalancı birinci dereceden kinetik modele uyduğu görülmüştür (Tablo 4.2).

Yalancı birinci derece kinetik model denkleminde (Formül 2.7) t'nin  $\ln(q_e - qt)$  'ye karşı çizilen doğrunun eğim ve kesim noktalarından  $k_1$  ve  $q_e$  hesaplanmıştır. Ayrıca (2.10) eşitliğine göre yalancı ikinci derece kinetik model deneysel verilere uygulanmıştır. Ancak t ile t/qt arasında çizilen grafikten elde edilen doğruların korelasyon katsayılarının ( $R^2$  değeri) düşük oluşu adsorpsiyonun yalancı ikinci derece kinetik modele uymadığını göstermiştir. Yalancı birinci derece kinetik model için korelasyon katsayısının 0,99'dan daha büyük olması sebebiyle yeşil alg, kahverengi alg, saf bentonit, modifiye bentonit ve KA/MB üzerinde Kongo Kırmızısı adsorpsiyon prosesi için bu kinetik eşitliğinin uygulanabilirliğini göstermektedir. Yalancı birinci derece kinetik modele göre hesaplanan  $q_e$  değerlerinin deneysel olarak bulunan  $q_e$  değerleri ile uyum içinde olduğu Tablo 4.2' de görülmektedir.

Kongo Kırmızısının modifiye bentonit üzerinde adsorpsiyon kapasitesi yüksek derişimlerde yani 15,9 mg/L derişim ve 17,9 mg/L derişim için sırasıyla 6,35 ve 7,35 mg/g olarak bulunmuş olup bu değer Lian ve arkadaşlarının (2009) yaptığı benzer çalışmayla karşılaştırıldığında oldukça iyi sonuç verdiği görülmüştür. Lian ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, başlangıç derişimi 50 mg/L Kongo Kırmızısı çözeltisinin Ca-bentonit üzerinde adsorpsiyon kapasitesi 23,25 mg/g olarak bulunmuştur [71].

Bu çalışmada; algler üzerinde Kongo Kırmızısının adsorpsiyon kapasitesi, yalancı birinci derece kinetik modelden hesaplanan adsorpsiyon kapasitesi değerleri ile uyumlu olduğu görülmüştür (Tablo 4.2).

Farklı adsorbentler üzerinde Kongo Kırmızısının adsorpsiyon izotermi incelemek amacıyla Freundlich, Langmuir ve Temkin adsorpsiyon izoterm modelleri uygulanarak bu izotermle ilgili grafikler çizilmiştir (Şekil 4.13 - 4.27) ve izoterm sabitleri Tablo 4.3’ de gösterilmiştir. Tablo 4.3’de görüldüğü gibi; yeşil alg için her üç izotermde korelasyon katsayıları birbirine yakın olmakla birlikte Freundlich izotermine ait  $R^2$  değeri diğerlerine göre biraz daha yüksektir ( $R^2= 0,932$ ). Tablo 4.3’ de kahverengi alg üzerinde Kongo Kırmızısının adsorpsiyonunun en iyi Freundlich izotermine uyduğu görülmektedir ( $R^2= 0,974$ ). Saf bentonitin üzerinde Kongo Kırmızısının adsorpsiyonunda Freundlich izotermi ( $R^2= 0,987$ ) ve Temkin izotermi ( $R^2= 0,994$ ) uygunluğu görülmektedir. Modifiye bentonit üzerinde elde edilen adsorpsiyon verilerinin adsorpsiyon izotermi uygulandığı zaman her üç izotermi uyduğu gözlenmiştir. Freundlich ve Temkin izotermi KA/MB adsorbentine uymaktadır ( $R^2= 0,966$  ve  $0,961$ ).

Langmuir adsorpsiyon izotermine göre; adsorbent yüzeyinin homojen bir yapıya sahip olduğu ve yüzeyin tek tabaka gibi davrandığı kabul edilir. Ayrıca; adsorplanmış moleküller kendi aralarında etkileşmediği varsayımına dayanır. Freundlich izoterm modeline göre ise; boyar madde derişimi artışı ile birlikte yüzeyin heterojen bir yapıya sahip olduğunu kabul edilir [72].

Kongo Kırmızısının  $1,43 \times 10^{-5}$  M boyar madde çözeltisinin tüm adsorbentler üzerindeki adsorpsiyonunda sıcaklığın  $20^{\circ}C$ ’den  $50^{\circ}C$ ’ye yükselmesiyle elde edilen verilere bakıldığında adsorpsiyon yüzdesinin sıcaklıkla arttığı görülmektedir (Şekil 4.28 - 4.42). Adsorpsiyon prosesinde, sıcaklığın etkisi termodinamik fonksiyonların hesaplanmasında önemlidir. Tablo 4.4’ den görüldüğü gibi sistem, en düşük enerjiye ve en yüksek entropiye ulaşma eğilimindedir.  $\Delta G^{\circ}$  değerinin negatif olduğu durumlarda ( $\Delta G^{\circ} < 0$ ) kullanılan adsorbentler üzerinde Kongo Kırmızısı adsorpsiyonunun kendiliğinden meydana geldiğini gösterir.  $\Delta H^{\circ}$ ’ın pozitif olması ( $\Delta H^{\circ} > 0$ ) adsorpsiyon prosesinin endotermik olmasıyla açıklanır. Tüm adsorbentler üzerinde adsorpsiyon aktivasyon



enerjisi Arrhenius eşitliğinden hesaplanmıştır. Kongo Kırmızısının belirtilen adsorbentler üzerinde adsorpsiyonun fiziksel adsorpsiyon olduğu gözlenmiştir. Bu çalışmada ilk 200 dakikaya kadar tüm sıcaklıklarda (20°C, 30°C, 40°C ve 50 °C) adsorpsiyon hızı ve miktarında fazla bir değişiklik gözlenmemiştir. 200 dakikadan sonra sıcaklık arttıkça adsorpsiyon hızında ve miktarında artış görülmüştür. Çolak ve arkadaşlarının (2009), *Paenibacillus macerans* biokütlesi üzerinde yaptıkları adsorpsiyon çalışmalarında çeşitli boyar maddelerin (Acid Blue 225 (AB 225) ve Acid Blue 062 (AB 062)) adsorpsiyon kinetiği incelenmiştir. Entropi, entalpi ve Gibbs serbest enerji gibi termodinamik parametreler hesaplandığında adsorpsiyonun kendiliğinden gerçekleştiğini bulunmuştur [73].

Metil Mavisinin 660 nm dalga boyunda ölçülen absorbans değerlerine göre çizilen standart eğriden (Şekil 3.12) yararlanılarak dört farklı derişimde ( $1,0 \times 10^{-4}$  M,  $1,25 \times 10^{-4}$  M,  $1,9 \times 10^{-4}$  M ve  $2,5 \times 10^{-4}$  M) sudaki çözeltileri hazırlanmıştır.

Metil Mavisinin değişik derişimlerde % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi 30 °C'de incelendiğinde (Şekil 4.44-4.48) tüm derişimlerde adsorpsiyonun dengeye ulaşma zamanı yeşil alg, kahverengi alg ve modifiye bentonit için 300 dakika olduğu görülmüştür. Saf bentonit üzerinde adsorpsiyon dengeye gelme süresi 240 dakika iken KA/MB üzerinde daha kısa sürede (210 dakikada) dengeye geldiği görülmüştür. Kahverengi alg, yeşil alg, saf bentonit, modifiye bentonit ve KA/MB üzerinde % adsorpsiyon değerinin boyar madde derişimi arttıkça arttığı gözlenmiştir. Derişim  $1,0 \times 10^{-4}$  M'dan  $2,5 \times 10^{-4}$  M'a gidildikçe yeşil alg üzerinde % adsorpsiyonu % 54,2'den % 63,6'e (Şekil 4.44) kahverengi alg için % 56'den % 66'e (Şekil 4.45) KA/MB % 82'dan % 94'e (Şekil 4.48) olarak değişmiştir. Bentonitte % 50,4'den % 63'e (Şekil 4.46) ve modifiye bentonitte % 53,1'den % 65'e (Şekil 4.47) ulaşmaktadır.

Metil Mavisinin tüm adsorbentler üzerindeki adsorpsiyonuna birinci ve ikinci derece adsorpsiyon kinetiği uygulanmış olup korelasyon katsayıları incelendiğinde adsorpsiyonun yeşil alg ve modifiye bentonit için yalancı birinci dereceden kinetik modele uyduğu, kahverengi alg, saf bentonit ve KA/MB için yalancı ikinci dereceden kinetik modele uyduğu görülmüştür (Tablo 4.5- Tablo 4.6).

Yalancı birinci derece kinetik model (Formül 2.7) Metil Mavisinin adsorpsiyon verilerine uygulanmıştır. Yalancı birinci derece kinetik model için korelasyon katsayısının 0,99'dan daha büyük olması sebebiyle yeşil alg ve modifiye bentonit üzerinde Metil Mavisinin adsorpsiyon prosesi için bu kinetik eşitliğinin uygulanabilirliğini göstermektedir. Yalancı birinci derece kinetik modele göre hesaplanan  $q_e$  değerlerinin deneysel olarak bulunan  $q_e$  değerleri ile uyum içinde olduğu Tablo 4.5' de görülebilmektedir. Tablo 4.6' dan görüldüğü üzere; ikinci derece kinetik model için korelasyon katsayısının 0,99'dan daha büyük olması kahverengi alg, saf bentonit ve KA/MB üzerinde Metil Mavisinin adsorpsiyon prosesi için bu kinetik eşitliğinin uygulanabilirliğini göstermektedir.

Yeşil alg, kahverengi alg, saf bentonit, modifiye bentonit ve KA/MB üzerinde Metil Mavisinin kinetik hesaplamaları Tablo 4.5- Tablo 4.6'da verilmiştir. Ayrıca; Şekil 4.84'de farklı adsorbentlerin Metil Mavisini üzerinde 30°C'de  $2,5 \times 10^{-4}$  M derişimde % adsorpsiyonu gösterilmiştir. Şekil 4.84'de görüldüğü üzere; KA/MB en yüksek adsorplama kapasitesine sahiptir.

Metil Mavisinin KA/MB üzerinde adsorpsiyon kapasitesi yüksek derişimlerde yani  $1,9 \times 10^{-4}$  M derişim (15 mg/L) ve  $2,5 \times 10^{-4}$  M (20 mg/L) derişim için sırasıyla 70,92 mg/g, 96,15 mg/g olarak bulunmuştur.

Bhattacharyya ve arkadaşları (2005), yaptıkları çalışmalarda, adsorbent olarak doğal Azadirachta indica yaprakları kullanarak Metilen Mavisini boyar maddesinin sulu ortamdan uzaklaştırılması üzerine çalışmışlardır. 25 mg/L Metilen Mavisini boyar maddesinin çözeltisi içerisinde, 2 g Azadirachta indica yaprağı kullanarak % adsorpsiyonun % 93 olduğunu göstermişlerdir [74].

Farklı adsorbentler üzerinde Metil Mavisinin adsorpsiyon izotermi incelendiğinde Tablo 4.7'de görüldüğü gibi; yeşil alg üzerinde Metil Mavisinin adsorpsiyonunun en iyi Freundlich ve Langmuir izotermine uyduğu görülmektedir ( $R^2= 0,990$ ). Kahverengi alg üzerinde Metil Mavisinin adsorpsiyonunun en iyi Freundlich ( $R^2= 0,989$ ) ve Langmuir ( $R^2= 0,981$ ) izotermine uyduğu görülmektedir. Saf bentonit kullanıldığında Freundlich izotermi ( $R^2= 0,961$ ) ve Temkin izotermi ( $R^2= 0,966$ ) uygunluğu

görülmektedir. Modifiye bentonit üzerinde elde edilen adsorpsiyon verilerinin adsorpsiyon izotermi uygulandığı zaman Temkin izotermi ( $R^2= 0,991$ ) uygunluğu görülmüştür. KA/MB kullanıldığında Freundlich izotermi ( $R^2= 0,992$ ) ve Langmuir izotermi ( $R^2= 0,998$ ) uygunluğu görülmektedir. Gallagher ve arkadaşları (1997), yaptıkları çalışmada *Rhizopus oryzae* biyokütle üzerinde Remazol Brilliant Red adsorpsiyonunu incelemişlerdir ve adsorpsiyonun %87'ye kadar çıktığını ve adsorpsiyonun bu çalışmada olduğu gibi hem Freundlich hem de Langmuir izoterm modeline uyduğunu göstermişlerdir [75].

Metil Mavisinin  $2,5 \times 10^{-4}$  M boyar madde çözeltisinin tüm adsorbentler üzerindeki adsorpsiyonunda sıcaklığın  $20$  °C'den  $50$  °C'ye artışıyla elde edilen verilere bakıldığında adsorpsiyon yüzdesinin sıcaklıkla arttığı görülmektedir (Şekil 4.69-Şekil 4.83 ). Tablo 4.8' de görüldüğü gibi sistem en düşük enerjiye ve en yüksek entropiye ulaşma eğilimindedir.  $\Delta G^\circ$  değerinin negatif olması (  $\Delta G^\circ < 0$  ) kullanılan adsorbentler üzerinde Metil Mavisinin adsorpsiyonun kendiliğinden meydana geldiğini gösterir.  $\Delta H^\circ$ 'ın pozitif olması (  $\Delta H^\circ > 0$  ) adsorpsiyon prosesinin endotermik olmasıyla açıklanır. Alzaydien ve arkadaşları (2009) yaptıkları çalışmalarda; ekonomik doğal Jordanian Tripoli adsorbenti üzerinde Metilen Mavisi adsorpsiyon kinetiğini incelemişlerdir ve adsorpsiyonun kendiliğinden meydana geldiğini gösteren negatif Gibbs serbest enerjisi değerini  $-8,14$  kJ/mol olarak bulmuşlardır [76].

Metil Mavisinin belirtilen adsorbentler üzerinde adsorpsiyonun fiziksel adsorpsiyon olduğu gözlenmiştir.

Metil Violentin  $584$  nm dalga boyunda ölçülen absorbans değerlerine göre çizilen standart eğriden (Şekil 3.13) yararlanılarak dört farklı derişimde ( $1,0 \times 10^{-5}$  M,  $2,3 \times 10^{-5}$  M,  $4,1 \times 10^{-5}$  M ve  $5,1 \times 10^{-5}$  M) sudaki çözeltileri hazırlanmıştır.

Metil Violentin bu adsorbentler üzerinde değişik derişimlerde % adsorpsiyonunun zamana göre değişimi  $30$  °C'de incelendiğinde (Şekil 4.85- Şekil 4.88) tüm derişimlerde adsorpsiyonun dengeye ulaşma zamanı yeşil alg ve kahverengi alg için  $390$  dakika olduğu görülmüştür. Saf bentonit üzerinde adsorpsiyon dengeye gelme süresi  $360$  dakika, modifiye bentonit  $420$  dakika iken, KA/MB üzerinde daha kısa sürede ( $180$  dakikada) dengeye geldiği görülmüştür. Kahverengi alg, yeşil alg, saf bentonit,

modifiye bentonit ve KA/MB üzerinde yüzde adsorpsiyon değerinin derişim arttıkça arttığı gözlenmiştir. Derişim  $1,02 \times 10^{-5}$  M'dan  $5,08 \times 10^{-5}$  M'a gidildikçe yeşil alg üzerinde % adsorpsiyonu % 67,3'den % 80'e (Şekil 4.85) kahverengi alg için % 70'den % 91,3'e (Şekil 4.86) KA/MB % 82,6'dan % 93,4'e (Şekil 4.89) olarak değişmiştir. Bentonitte % 44,2'den % 64,6'e (Şekil 4.87) ve modifiye bentonitte % 55,7'den % 82'e (Şekil 4.88) ulaşmaktadır.

Tüm adsorbentler üzerinde Metil Violentin kinetik hesaplamaları Tablo 4.9'da verilmiştir. Ayrıca; Şekil 4.125'de farklı adsorbentler üzerinde  $30^\circ\text{C}$ 'de Metil Violentin  $5,08 \times 10^{-5}$  M derişimde % adsorpsiyonu gösterilmiştir. Şekil 4.125'de görüldüğü üzere; KA/MB en yüksek adsorplama kapasitesine sahiptir. Modifiye bentonit aynı sıcaklık ve derişim koşullarında saf bentonite göre daha iyi adsorplayabilmektedir.

Metil Violentin tüm adsorbentler üzerindeki adsorpsiyonuna yalancı birinci ve ikinci derece adsorpsiyon kinetiği uygulanmış olup korelasyon katsayıları incelendiğinde adsorpsiyonun tüm adsorbentler için yalancı birinci dereceden kinetik modele uyduğu görülmüştür.

Yalancı birinci derece kinetik model için korelasyon katsayısının 0,99'a yakın olması sebebiyle tüm adsorbentler üzerinde Metil Violentin adsorpsiyon prosesi için bu kinetik eşitliğinin uygulanabilirliğini göstermektedir. Yalancı birinci derece kinetik modele göre hesaplanan  $q_e$  değerlerinin deneysel olarak bulunan  $q_e$  değerleri ile uyum içinde olduğu Tablo 4.9'da görülmektedir.

Metil Violentin KA/MB üzerinde adsorpsiyon kapasitesi yüksek derişimlerde yani  $4,06 \times 10^{-5}$  M (73,9 mg/L) derişim ve  $5,08 \times 10^{-5}$  M (98,5 mg/L) derişim için sırasıyla 7,45 mg/g, 9,34 mg/g olarak bulunmuştur. Azizian ve arkadaşları (2009), yaptıkları çalışmalarda, aktif karbonı adsorbent olarak kullanıp Metil Violent boyar maddesinin sulu ortamdan uzaklaştırılması üzerine çalışmışlardır ve adsorplama kapasitesini 95 mg/g bulmuşlardır [77].

Tablo 4.10'da görüldüğü gibi; yeşil alg üzerinde Metil Violentin adsorpsiyonunun en iyi Freundlich ( $R^2 = 0,994$ ) ve Langmuir izotermine ( $R^2 = 1$ ) uyduğu görülmektedir.

Kahverengi alg ( $R^2= 0,950$ ) ve saf bentonit için ( $R^2= 0,997$ ) Langmuir izotermi uygunluğu görülmektedir. Modifiye bentonit üzerinde elde edilen adsorpsiyon verilerinin adsorpsiyon izotermi uygulandığı zaman Freundlich izotermi ( $R^2= 0,989$ ), KA/MB için Freundlich izotermi ( $R^2= 0,966$ ) ve Temkin izotermi ( $R^2= 0,981$ ) uygunluğu görülmektedir. Azizan ve arkadaşları (2009), yaptıkları çalışmalarda aktif karbon üzerinde Metil Violent adsorpsiyonunu incelemişlerdir ve adsorpsiyonun Freundlich ve Langmuir izoterm modellerine uyduğunu göstermişlerdir [77].

Metil Violentin  $5,08 \times 10^{-5}$  M boyar madde çözeltisinin tüm adsorbentler üzerindeki adsorpsiyonunda sıcaklığın  $20$  °C'den  $50$  °C'ye artışıyla elde edilen verilere bakıldığında adsorpsiyon yüzdesinin sıcaklıkla arttığı görülmektedir (Şekil 4.110-4.124). Tablo 4.11' de görüldüğü gibi  $\Delta G^\circ$  değerinin negatif olması ( $\Delta G^\circ < 0$ ) kullanılan adsorbentler üzerinde Metil Violent adsorpsiyonun kendiliğinden meydana geldiğini gösterir.  $\Delta H^\circ$ 'ın pozitif olması ( $\Delta H^\circ > 0$ ) adsorpsiyon prosesinin endotermik olmasıyla açıklanır. Cengiz ve arkadaşları (2010) yaptıkları çalışmalarda; doğal Akdeniz bitkisi adsorbenti üzerinde Metil Violent adsorpsiyon kinetiğini incelemişlerdir. Adsorpsiyon kapasitesinin  $45$  °C'de adsorpsiyonun kendiliğinden meydana geldiğini göstermişlerdir [78].

Kahverengi alg, yeşil alg ve KA/MB ikili karışımının adsorpsiyon öncesi ve sonrası FTIR spektrumları Şekil 4.126- 4.132'de gösterilmektedir. Ayrıca Tablo 4.12 ve Tablo 4.13'de FTIR dalga sayıları ve fonksiyonel grupları gösterilmektedir.

Tablo 5.1: Kahverengi alg, yeşil alg ve KA/MB ikili karışımının adsorpsiyon öncesi ve sonrası FTIR dalga sayıları ve fonksiyonel grupları

KA ( $\text{cm}^{-1}$ )	KA/MB ( $\text{cm}^{-1}$ )	KA Metil Mavisi ( $\text{cm}^{-1}$ )	KA/MB Metil Mavisi ( $\text{cm}^{-1}$ )	KA/MB Metil Violent ( $\text{cm}^{-1}$ )	Fonksiyonel Grup
	3633		3629	3628	-OH
3338	3369	3365	3394	3394	-NH
2926	2920	2926	2923	2923	-CH
	2851		2852	2852	
1659	1662	1658	1647	1658	C=C
1384		1384		1384	-CH(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
771	796	896	796	797	-CH

Tablo 5.2: Yeşil alg adsorpsiyon öncesi ve sonrası FTIR dalga sayıları ve fonksiyonel grupları

YA ( $\text{cm}^{-1}$ )	YA Metil Mavisi ( $\text{cm}^{-1}$ )	Fonksiyonel Grup
3312	3297	-NH
2916	2917	-CH
2855	2855	
1744	1743	-C=O
1659	1662	
1536	1533	-NH
1457	1459	
1384	1377	-C(CH <sub>3</sub> ) <sub>3</sub>
1238	1233	RSO <sub>3</sub> H
1164	1169	
1090	1079	SO <sub>2</sub>

Kahverengi alg (Şekil 4.126) ile KA/MB (Şekil 4.130) karşılaştırıldığında Şekil 4.126'daki  $3338\text{ cm}^{-1}$  olan piki Şekil 4.130'daki KA/MB spektrumundaki  $3369\text{ cm}^{-1}$  piki olarak kayma gözlenmiştir. Şekil 4.126 ile Şekil 4.130'daki  $2926\text{ cm}^{-1}$  ile  $2920\text{ cm}^{-1}$  pikleri örtüşmektedir. Kahverengi alg FTIR spektrumunda omuz vermiş olan  $2851\text{ cm}^{-1}$  deki -CH gerilmesi piki KA/MB spektrumunda daha belirgin hale gelmiş ve büyümüştür. Ayrıca  $1659\text{ cm}^{-1}$  daki C=C bükülmesi KA/MB spektrumunda  $1662\text{ cm}^{-1}$  uzun dalga boyuna kaymış ve küçülmüştür. KA/MB için  $1465\text{ cm}^{-1}$  ve  $1435\text{ cm}^{-1}$ 'de iki adet küçük pik meydana gelmiştir. Kahverengi algdeki  $1384\text{ cm}^{-1}$  ( $\text{CH}(\text{CH}_3)_2$ ) ve  $1242\text{ cm}^{-1}$  pikleri KA/MB 'de  $1047\text{ cm}^{-1}$  piki ile örtüşmüştür.  $771\text{ cm}^{-1}$  ve  $796\text{ cm}^{-1}$  'daki (-CH) pikleri çakışmıştır. Kahverengi alg üzerinde Metil Mavisi adsorpsiyonundan sonra FTIR spektrumu incelendiğinde daha önce gözlenen  $578\text{ cm}^{-1}$  piki genişleyerek  $604\text{ cm}^{-1}$  'de ortaya çıkmıştır. Ayrıca adsorpsiyon sonrasında (-NH) gerilme piki  $3338\text{ cm}^{-1}$  'den  $3365\text{ cm}^{-1}$  kaymıştır.

Şekil 4.129'daki yeşil alg üzerinde Metil Mavisi adsorpsiyonundan sonra Şekil 4.128'deki  $1659\text{ cm}^{-1}$  piki genişleyerek  $1662\text{ cm}^{-1}$  piki kaymıştır (C=C).  $1536\text{ cm}^{-1}$ 'daki (-NH) piki adsorpsiyon sonrasında  $1533\text{ cm}^{-1}$  piki olarak uzamış ve incelmıştır.  $1384\text{ cm}^{-1}$ 'de gözlenen ( $\text{CH}(\text{CH}_3)_2$ ) piki adsorpsiyon sonrası  $1377\text{ cm}^{-1}$  bölgesine kaymıştır. Cengiz ve arkadaşları (2008) [67], Acemioğlu ve arkadaşları (2005) [79] ve Ncibi ve arkadaşları (2007) tarafından yapılan adsorpsiyon çalışmalarında FTIR piklerinde benzer kaymalar görülmüştür [80].

Şekil 4.133- 4.135 saf kahverengi algin ve kahverengi alg üzerinde Metil Mavisinin adsorpsiyonundan sonraki (Şekil 4.135) SEM mikrografları görülmektedir. Şekil 4.133'de 50x büyütmede kahverengi alg düzensiz tabakalar halinde görülmektedir. Tabaka yüzeyinden alınan 1500x ve 5000x büyütmede yüzey morfolojisinin düzenli dağıldığı gözlenmiştir. Literatürde algler ile yapılan çalışmalarda SEM resimlerinin düzenli ve düzensiz morfolojisine rastlanmaktadır. Metil Mavisi adsorpsiyonundan sonra çekilen SEM resimlerinde yüzey morfolojisinde fiziksel bir değişim gözlenmemiştir. Bu durum FTIR sonuçları ile desteklenmektedir. Şekil 4.134'de 50x ve 750x büyütmede kahverengi alg üzerinde Metil Mavisi adsorpsiyonu görülmektedir. Adsorpsiyon sonrası yüzeyin homojen yapıda olduğu görülmüştür. Kahverengi alg üzerinde Metil Mavisi adsorpsiyonu kesiti incelendiğinde

heterojenlik ortaya çıkmaktadır. Bu durum adsorbentlerin FTIR spektrumlarında gözlenmiştir.

Şekil 4.136'da çeşitli büyütme oranlarında 50x – 3000x yeşil alg SEM mikrografları görülmektedir. Yeşil alg yüzey morfolojisi düzenli bir yapıya sahiptir. Yüzeyde birbirine bağlı kanallar şeklinde çıkıntılar oluşmuştur. Metil Mavisi adsorpsiyonundan sonra üç farklı boyutta alınan SEM mikrografları görülmektedir (30°C) (Şekil 4.137). Adsorpsiyondan sonra alg yüzeyindeki çıkıntılar homojen ve daha belirgin hale gelmiştir. Benzer yapı KA/MB üzerinde Metil Mavisi adsorpsiyonunda görülmektedir (Şekil 4.138). Dört farklı büyütme incelendiğinde 50x büyütmede heterojen dağınık tabakalı bir yapı görülmektedir. Yapının tabakalarının yüzeyi büyütüldüğünde (1500x) yüzeyde homojen arı peteği dağılımı gözlenmiştir. 5000x büyütmede peteklerin kendi içinde homojen yapı oluşturduğu görülmüştür. Aynı örneklerin Metil Mavisi adsorpsiyonundan sonraki SEM görüntüleri Şekil 4.139'da görülmektedir. Adsorpsiyon sonrası yüzeydeki homojenlik ve sürekli yapı kısmen heterojen ve süreksiz yapıya doğru değişmiştir [81].

Sonuç olarak; adsorpsiyon çalışmalarından elde edilen verilere göre; tüm adsorbentlerde adsorpsiyon yüzdesi yüksek olduğu görüldüğünden kullanılan adsorbentlerin sulu çözeltilerinden boyar madde giderilmesinde uygun ve ekonomik olduğu gözlenmiştir. KA/MB ikili karışımda ise; en iyi adsorpsiyon sonucunun elde edilmesi bu adsorbentin adsorpsiyon kapasitesinin en iyi olduğu görülmüştür.



## KAYNAKLAR

1. Resmi Gazete, 11 Ağustos 1983, Çevre Kanunu, *Sayı: 18132*, yayımlandığı düstur tertip 5, cilt 22, 499.
2. TATLI A.İ., 2003, *Çeşitli tekstil boyar maddelerinin adsorpsiyon/biosorpsiyonun karşılaştırılmalı olarak incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
3. YILMAZ, N., 2007, *Doğal kil minerali bentozit ile boyar maddelerin absorpsiyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Cumhuriyet Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
4. GURGEL, L. V. A., GİL, L. F., 2009, Adsorption of Cu(II), Cd(II) and Pb(II) from aqueous single metal solutions by succinylated twice-mercerized sugarcane bagasse functionalized with triethylenetetramine, *Water Research*, 43, 18, 4479-4488.
5. SAHA, B., GİLL, R.J., BAİLEY, D.G., KABAY, N., ARDA M., 2004, Sorption of Cr(VI) from aqueous solution by Amberlite XAD-7 resin impregnated with Aliquat 336, *Reactive & Functional Polymers*, 60, 223–244.
6. JAINA, C.K, SINGHAL, D.C., SHARMA, M.K., 2004, Adsorption of zinc on bed sediment of River Hindon: adsorption models and kinetics, *Journal of Hazardous Materials*, B114, 231–239.
7. FARRAN, A., CHENTOUF, A., 2000, Study of the behavior of azinphosmethyl in a clay mineral by batch and column leaching, *Chromatography A*, 869, 481–485.

8. SANCHEZ-CAMAZONA, M., SANCHEZ-MARTIN, M.J., 1994, Organo-clays as adsorbents for azinphosmethyl and dichlorvos in aqueous medium, *Water, Air, Soil Pollut.*, 74, 19–28.
9. BULUT, E., ÖZCAN, M., SENGİL, I.A., 2008, Equilibrium and kinetic data and process design for adsorption of Congo Red onto bentonite, *Journal of Hazardous Materials*, 154, 613-622.
10. LIAN, L., , GUO, L., GUO, C., 2009, Adsorption of Congo Red from aqueous solutions onto Ca-Bentonite, *Journal of Hazardous Materials*, 161, 126-131.
11. WANG, L., WANG, A., 2007, Adsorption characteristics of Congo Red onto the Chitosan / Montmorillonite nanocomposite, *Journal of Hazardous Materials*, 147, 3, 979-985.
12. YINKUO, C., WU, C.H., WU, J.Y., 2008, Adsorption of direct dyes from aqueous solutions by carbon nanotubes: Determination of equilibrium, kinetics and thermodynamics parameter, *Journal of Colloid and Interface Science*, 327,308-315.
13. BLOZQUEZ, G., HERMAINZ, F., COLERO, M., RUIZ-NUNEZ, L-F., 2005, Removal of cadmium ions with olive stones; the effect of some parameters, *Process Biochemistry*, 40,2649-2654.
14. 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 and Pigments*,54,47-58.
15. DOĞAN, M., ABAK, H., ALKAN, M., 2009, Adsorption of methylene blue onto hazelnut shell: Kinetics, mechanism and activation parameters, *Journal of Hazardous Materials*, 164,172-181.

16. BALCI, B., 2007, *Atıksulardan tekstil boyarmaddelerinin sürekli ve kesikli sistemlerde ağaç kabuğu (eucalyptus camaldulensis) kullanılarak adsorpsiyon ile giderilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
17. ÖMEROĞLU, Ç., 2007, *Reaktif mavisi boyarmaddesinin organo-kil üzerine adsorpsiyonunun incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
18. FONTANA F., 1782, J.R. A history of Chemistry, *Meorie die Mathematica Fisica della Societa Itaiano*, Vol III, Mac Milan Co. London 648-746.
19. SCHEELE, C. W., Letter to H. Gahn, 1773, In *Chemische Abhandlungen von der Luft und dem Feuer*, Oswald's Klassiker der exacten Wissenschaften 58, London 1894, 100.
20. BÜLBÜL, Y., 2005, *Kireç kogulasyon yöntemi kullanılarak elde edilen prones sularının hazırlanması sonucu ortaya çıkan sonucun bazı boyar maddelerin adsorpsiyonunda kullanılması*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
21. KONUK, Z., 2008, *Katyonik Boyarmadde Atıklarının Bitkisel Adsorbantlarla Giderilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
22. BROWSKI, A. D, 2001, Adsorption — from theory to practice , *Advances in Colloid and Interface Science* 93,1-3,135-224.
23. YILDIZ, N., 2002, T.C. Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projesi Kesin Raporu, *Süperkritik Akışkan Ortamında Adsorbantların Rejenerasyonu*,

20020745011 18.11.2002 /18.6.2004 Ankara Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Ankara.

24. AKKUŞ, B., 2007, *Atık Suların Arıtımında Uygun Adsorban Seçimi*, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
25. BERKEM, A.R., BAYKUT, S., BERKEM, M.L., 1994, *Fizikokimya Kitabı*, İstanbul Cilt II, İletişim Fakültesi Basımevi ve Film Merkezi, İstanbul, 975-404-204-7, İ.Ü.
26. SARIKAYA, Y., 1997, *Fizikokimya Problem Çözümleri*, Gazi Büro Kitabevi, Ankara, 2. Baskı, 97573131114.
27. LAGERGREN, S., 1898, Zur Theorie Der Sagenannten Adsorption Gelöster Stoffe, Kunglia Suenska Vetenskap- Sakademiens, Handlingar, *Vetenks Handl.*, 24, 4, 1-39.
28. AZIZIAN, S., 2004, Kinetic models of sorption: a theoretical analysis, *Journal of Colloid and Interface Science*, 276, 47-52.
29. WEBER, J.W.J., MORRIS J.C., 1963, Kinetics of adsorption on carbon from solution, *J. San. It. Envo. Div. Am. Soc. Civil Eng.*, 89, 31-60.
30. HAMEED, B.H., MAHMOUD, D.K, AHMADEKLER, A.L., 2008, Equilibrium modeling and kinetic studies on the adsorption of basic dye by a low-cost adsorbent: Coconut (Cocos nucifera) bunch waste, *Journal of Hazardous Materials*, 158, 65-72.
31. AROGUZ, A.Z., 2006, Kinetics and thermodynamics of adsorption of azinphosmethyl from aqueous solution onto pyrolyzed (at 600 °C) ocean peat moss (Sphagnum sp.) *Journal of Hazardous Materials*, B135,100-105.

32. ÖZDEMİR, S., 2008, *Kongo kırmızısının asitle aktifleştirilmiş ve katyon değiştirilmiş bentonitlerde tutunma olayının çeşitli yüzey analitik tekniklerle incelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
33. LANGMUIR, I., 1918, The Adsorption of Gases on plane surface of glass, mica and platinum, *Journal of the American Chemical Society*, 19, 40, 1361-1403.
34. FREUNDLICH, H., 1907, Ueber die Adsorption in Loesungen, *Zeitschrift fr Physikalische Chemie*, 57, 385-470.
35. HO, Y.S., PORTER J.F., MCKAY, G., 2002, Equilibrium Isotherm Studies For The Sorption Of Divalent Metal Ions Onto Peat: Copper, Nickel And Lead Single Component Systems, *Water, Air, and Soil Pollution*, 141: 1–33.
36. AKSU, Z., 2005, Application of biosorption for the removal of organic pollutants: a Review, *Process Biochemistry*, 40,997–1026.
37. KARAOĞLU, M.H., 2007, *Sulu Çözeltilerden Bazı Boyar Maddelerin Fizikokimyasal Yöntemlerle Giderimi*, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
38. <http://www.akvaryumforumu.com/forum/bitki-dunyasi/alg-le-mucadele/?imode> [Ziyaret Tarihi: 4 Ekim 2010].
39. HAUGH, 1964, Composition and Properties of alginates, *Norwegian Institute Of Seaweed Research*, 30, 1-123.
40. CIRIK, S., 2004,. *Su Bitkileri Deniz Bitkilerinin Biyolojisi Ekolojisi Yetistirme Teknikleri Ders Kitabı*, Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları No:58, İzmir.

41. SUKATAR, A., 2002, *Alg Kültür Yöntemleri*, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Biyoloji Bölümü, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Kitaplar Serisi No.184, İzmir.
42. GÜNER, H., AYSEL, V., 1991, *Tohumuz Bitkiler Sistematigi I. Cilt (Algler)*, Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Kitaplar Serisi No:108, İzmir.
43. KODALAK, N., 2008, *Sinop kıyılarındaki "cystoseira barbata" deniz yosunundan alginat üretimi üzerine bir araştırma*, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi.
44. <http://www.mavirize.com/makale694/algler.html> [Ziyaret Tarihi: 8 Kasım 2010].
45. CİRİK, Ş., 1983, Deniz Yosunlarının Kullanım Alanları. *Bilim ve Teknik*, 184,6-8.
46. REHM, A.M., GÜLZOW, M., MARQUARDT, J., RİED, A., 1990, Changes in the photosynthetic apparatus of red algae induced by spectral alteration of the light field. II. Further characterization of the light-dependent regulation of the apparent quantum yield of PS I, *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Bioenergetics*, 1016, 1, 127-135.
47. CİRİK, Ş., 1981: Türkiye Denizlerindeki Yosunlar ve Değerlendirme Olanakları/Marine Algae of Turkish coastal zones and their utilization, *Çevre Haberleri*, İstanbul 9, 65-78.
48. CASTRO, P. H., MİCHAEL., E., 1997, Marine Biology, Library of Congress Catalog Card Number: 95-78746.
49. <http://www.denizmagazin.com.tr/arsiv/arsiv/mayis01/haberler/14.htm> [Ziyaret Tarihi: 11 Kasım 2010].

50. <http://www.biltek.tubitak.gov.tr/bilgipaket/canlilar/protista/Phaeophyta.htm> [Ziyaret Tarihi: 11 Kasım 2010].
51. [http://www.hammaddeler.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=5846&Itemid=446](http://www.hammaddeler.com/index.php?option=com_content&view=article&id=5846&Itemid=446) [Ziyaret Tarihi: 8 Kasım 2010].
52. <http://www.volkanderinbay.net/tarimnet/bsur.asp?konuno=3#> [Ziyaret Tarihi: 11 Kasım 2010].
53. BARRER, R.M., 1989 Shape-selective sorbents based on clay minerals: a review. *Clays and Clay Minerals*. 37,385–395.
54. SARIKAYA, Y., ÖNAL, M., BARAN, B., ALEMDAROĞLU, T., 2000, The effect of thermal treatment on some of the physicochemical properties of a bentonite. *Clays and Clay Minerals*. 48, 557–562.
55. BİLGİÇ, C., 2005, Investigation of the factors affecting organic cation adsorption on some silicate minerals, *Journal of Colloid and Interface Science*, 281,33–38.
56. ZHAO, L., XU, L., MİTOMO, H., YOSHİİ, F., 2006, Synthesis of pH-sensitive PVP/CM-chitosan hydrogels with improved surface property by irradiation, *Carbohydrate Polymers*, 64,473–480.
57. Eren, E., 2009, Removal of basic dye by modified Unye bentonite, Turkey, *Journal of Hazardous Materials* 162, 1355–1363.
58. [http://en.wikipedia.org/wiki/Congo\\_red](http://en.wikipedia.org/wiki/Congo_red) [Ziyaret Tarihi: 25 Kasım 2010].
59. HAO, X. L., ZOU, L. Y., ZHANG, G. S., ZHANG, Y. B. , 2007, Magnetic field assisted Fenton reactions for the enhanced degradation of methyl blue, *Spectrochimica Acta Part A* 66, 552–556.

60. [http://en.wikipedia.org/wiki/Methyl\\_violet](http://en.wikipedia.org/wiki/Methyl_violet) [Ziyaret Tarihi: 20 Kasım 2010].
61. XIE, T., YANG, G., FANG, X., OU, Y., 2003, Synthesis And Characterization Of Poly ( Methyl Methacrylate ) / Montmorillonite Nanocomposites By In Situ Bulk Polymerization, *Journal of Applied Polymer Science*, 89, 2556-2560.
62. GHIMIRE, K. N., INOUE, K., 2008, Adsorption study of metal ions onto crosslinked seaweed *Laminaria japonica*, *Bioresource Technology*, 99, 32–37.
63. WU, C-S., 2005, A comparison of the structure, thermal properties, and biodegradability of polycaprolactone/chitosan and acrylic acid grafted polycaprolactone/chitosan, *Polymer*, 46, 147–155.
64. TANG, Y-F., DU, Y. M., HU, X. W., SHI, X. W., KENNEDY, J. F., 2007, Rheological characterisation of a novel thermosensitive chitosan/poly(vinyl alcohol) blend hydrogel, *Carbohydrate Polymer*, 67, 491-497.
65. BANERJEE, K., CHEREMISINOFF, P.N., CHENG, S.L., 1997, Adsorption kinetics of o-xylene by fly ash, *Water Research*, 31, 249-261.
66. NCİBİ, M .C., BEN HAMİSSA, A. M., FATHALLAH, A., KORTAS, M. H. , BAKLOUTİ, T., MAHJOUR, B., SEFFEN, M., 2009, Biosorptive uptake of methylene blue using Mediterranean green alga *Enteromorpha* spp., *Journal of Hazardous Materials*, 170, 1050- 105.
67. CENGİZ, S., CAVAS, L., 2008, Removal of methylene blue by invasive marine seaweed: *Caulerpa racemosa* var. *Cylindracea*, *Bioresource Technology* 99, 2357–2363.



68. VIJAYARAGHAVAN, K., YUN, Y. S., 2008, Biosorption of C.I. Reactive Black 5 from aqueous solution using acid- treated biomass of Brown seaweed *Laminaria* sp., *Dyes and Pigments*, 76, 726- 732.
69. LUO, F., LIU, Y., LI, X., XUAN, Z., MA, J., 2006, Biosorption of lead ion by chemically- modified biomass of marine brown algae *Laminaria japonica*, *Chemosphere*, 64, 1122-1127.
70. ARAVINDHAN, R., RAO, J. R., NAIR, B. U., 2007, Removal of basic yellow dye from aqueous solution by sorption on green alga *Caulerpa scalpelliformis*, *Journal of Hazardous Materials*, 142, 68-76.
71. LIAN, L., GUO, L., GUO, C., 2009, Adsorption of congo red from aqueous solutions onto Ca- bentonite, *Journal of Hazardous Materials*, 161, 126–131.
72. EREN, Z., 2002, *Tekstil Boyar maddesi içeren sulu ortamda renk giderimi*, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
73. ÇOLAK, F., ATAR, N., OLGUN, A., 2009, Biosorption of acidic dyes from aqueous solution by *Paenibacillus macerans*: Kinetic, thermodynamic and equilibrium studies, *Chemical Engineering Journal*, 150, 122–130.
74. BHATTACHARYYA, K. G., SHARMA, A., 2005. Kinetics and Thermodynamics of Methylene Blue Adsorption on Neem (*Azadirachta indica*) Leaf Powder., *Dyes and Pigments*, 65, 51-59.,
75. GALLAGHER, K.A., HEALY, M. G., ALLEN, S.J., 1997, Biosorption of synthetic dye and metal ions from aqueous effluents using fungal biomass, In:(Ed. WISE, D.L.), *Global Environmental Biotechnology*, Elsevier, UK, 27-50.

76. ALZAYDIEN, A. Z., 2009, Adsorption of Methylene Blue from Aqueous Solution onto a Low-Cost Natural Jordanian Tripoli, *American Journal of Environmental Sciences* 5, (3), 197-208.
77. AZIZIAN, S., HAERIFAR, M., BASHIRI, H., 2009, Adsorption of methyl violet onto granular activated carbon: Equilibrium, kinetic and modelling, *Chemical Engineering Journal*, 146, 36–41.
78. CENGİZ, S., CAVAŞ, L., 2010, A Promising Evaluation Method for Dead Leaves of *Posidonia oceanica* (L.) in the Adsorption of Methyl Violet, *Mar Biotechnol*, 12, 728–736.
79. ACEMİOĞLU, B., 2005. Batch kinetic study of sorption of methylene blue by perlite , *Chemical Engineering Journal*, 106, 73-81.
80. NCİBİ, M.C., MAHJOUR, B., SEFFEN, M., 2007. Kinetic and equilibrium studies of methylene blue biosorption by *Posidonia oceanica* (L.) fibres, *Journal of Hazardous Materials*, 139, 280–285.
81. MATA, Y. N., BL'AZQUEZ, M. L., BALLESTER, A., GONZ'ALEZ, F., MUÑOZ, J. A., 2008, Characterization of the biosorption of cadmium, lead and copper with the brown alga *Fucus vesiculosus*, *Journal of Hazardous Materials*, 158, 316–323.

## ÖZGEÇMİŞ

20.05.1980 tarihinde İstanbul'da doğdum. 1998 yılında, Kadir Has Süper Lisesi'ni bitirdim. İstanbul Üniversitesi Kimya Bölümü'nü kazandım. (İstanbul, 1999).

Stajımı Bayer Türk Kimya San. Ltd. Şti'de tamamladım. (İstanbul, 2002). 2003 Haziran döneminde İstanbul Üniversitesi Kimya Bölümü'nden mezun oldum.

Massachusetts Üniversitesi Polymer Science and Engineering Bölümü ABD'de yaz dönemimde 3 ay Yüksek Lisans tezimle ilgili çalışmalar yaptım ( 2005).

İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim dalı Fiziksel Kimya programında Yüksek Lisansımı tamamladım (İstanbul, 2006). İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fiziksel Kimya programında doktora çalışmaya başladım (İstanbul, 2006). Halen İ.Ü. Mühendislik Fakültesi, Kimya Bölümü Fizikokimya Anabilim dalında 2006 yılından beri araştırma görevlisi olarak görev yapmaktayım.

### YAYIN:

1. "Single and Binary Adsorption of Reactive Dyes from Aqueous Solutions onto Clinoptilolite"

Journal Of Hazardous Materials

(2010) 184 Issues 1-3 164-169

Tuba Şişmanoğlu, Yasemin Kışmır, Selcan Karakuş

2. "Characterization of Poly(vinyl chloride)/Bentonite Nanocomposite Prepared via Melt Blending Method Nanocomposites via Melt Blending"

Contemporary Science of Polymeric Materials, ACS Symposium Series

(2010) Chapter 8, 2010, Volume 1061, pp 103-113

Publication Date (Web): January 1, 2010 (Chapter)

DOI: 10.1021/bk-2010-1061.ch008

Selcan Karakuş, Jaroslava Budinski-Simendic, Ljiljana Korugic-Karasz, and

Ayşe Z. Aroğuz

*SÖZLÜ VE POSTER BİLDİRİLER:*

1. "PMMA/Bentonit Nanokompozitin Hazırlanması ve Termal Özelliğinin İncelenmesi"

Ayşe Z. Aroğuz, Selcan Güven

XVII. Ulusal Kimya Kongresi

8-11 Eylül 2003, İstanbul (Poster Bildiri)

2. "Preparing The Flow Chart to Identify the Unknown Solvent in the Laboratory Medium"

Ayşe Z. Aroğuz, Selcan Güven, Dilek Dalgın

18th International Conference On Chemical Education

3-8 Ağustos 2004, İstanbul (Poster Bildiri)

3. "İşlem Görmüş Ağaç Kabuğunda Bazık Boyar Maddenin Adsorpsiyon Kinetiğinin İncelenmesi"

Ayşe Z. Aroğuz, Selcan Karakuş

IXX. Ulusal Kimya Kongresi

30 Eylül- 4 Ekim 2005, İzmir (Poster Bildiri)

4. "Eriyik Araya Katılma Yöntemi ile PVC /Bentonit Nanokompozitin Hazırlanması, Isısal ve Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi"

Ayşe Z. Aroğuz, Selcan Karakuş, Yasemin Kışmır

1. Polimerik Kompozitler Sempozyumu

17-19 asım 2006, İzmir (Sözel Sunum)

5. “Kimya Eğitiminde Bilgisayar Programlarını Kullanarak Öğretimin Öğrenciler Üzerindeki Etkileri”

Selcan Karakuş

1. Ulusal Kimya Eğitimi Kongresi

20-22 Haziran 2007, İstanbul (Poster Bildiri)

6. “Bilim Tarihinde Kimya Eğitimi”

Selcan Karakuş

1. Ulusal Kimya Eğitimi Kongresi

20-22 Haziran 2007, İstanbul (Poster Bildiri)

7. “ The Preparation of Polymeric Nanobeads for Adsorption Process of Acid Blue”

Ayşe Z. Aroğuz, Mehmet Mahramanlıoğlu, Selcan Karakuş, Yasemin Kışmir

41. IUPAC World Chemistry Congress

5-11 Ağustos 2007, Turin, İtalya (Poster Bildiri)

8. “Adsorption of Acid Dye (Acid Blue 129) from Aqueous Solution onto Chitosan Beads in a Batch System”

Yasemin Kışmir, Selcan Karakuş, Taner Martin, Ayşe Z. Aroğuz

22. Ulusal Kimya Kongresi

6-10 Ekim 2008, Kıbrıs (Poster Bildiri)

9. “Metil Oranjın Doğal Badem Kabuğu Üzerinde Adsorpsiyon Kinetiğinin İncelenmesi”

Selcan Karakuş, Yasemin Kışmir, Ayşe Z. Aroğuz

23. Ulusal Kimya Kongresi

16-20 Haziran 2009, Sivas (Poster Bildiri)

10. “Sepiolit Üzerine Asit Blue 129 Adsorpsiyonu”

Yasemin Kışmir, Hasan Emre, Selcan Karakuş, Ayşe Z. Aroğuz

23. Ulusal Kimya Kongresi

16-20 Haziran 2009, Sivas (Poster Bildiri)

11. "The Removal of The Pesticide Azinphos-methyl from Aqueous Solution by Adsorption Process"

Ayşe Z. Aroğuz, Selcan Karakuş, Yasemin Kişmir, Ayben Kilislioğlu, R. Evers

8th European Pesticide Residue Workshop

20-24 June 2010, Strasbourg, Fransa (Poster Bildiri)

12. "Klinoptilolit Üzerinde Tekli ve İkili Reaktif Boya Karışımlarına Langmuir İzoterm Modellerinin Uygulanması"

Selcan Karakuş, Yasemin Kişmir, Tuba Şişmanoğlu

XXIV. Ulusal Kimya Kongresi

29 Haziran - 02. Temmuz 2010, Zonguldak (Poster Bildiri)

13. "Doğal Adsorbentler (Alg/Kil) Üzerinde Metil Mavinin Adsorpsiyon Kinetiği ve Termodinamiğinin İncelenmesi"

Selcan Karakuş, Ayşe Z. Aroğuz

XXIV. Ulusal Kimya Kongresi

29 Haziran - 02. Temmuz 2010, Zonguldak (Poster Bildiri)

14. "Doğal Adsorbentler (Kahverengi Alg, Kil) Üzerinde Kongo Kırmızısının Adsorpsiyon Kinetiği ve Termodinamiği"

Selcan Karakuş

XXIV. Ulusal Kimya Kongresi

29 Haziran - 02. Temmuz 2010, Zonguldak (Poster Bildiri)

15. "Preparation and Characterization of Biopolymer Chitosan / Clay –Nano Biocomposites"

Ayben Kilislioğlu, Selcan Karakuş, Yasemin Kişmir, Ayşe Z. Aroğuz

Nanoparticles Surface (Modified /Unmodified ) as a Base for the Interaction with

Polymer Matrix Congress

23-24 Eylül 2010, NOVI SAD, Sırbistan (Poster Bildiri)

## 16. "Preparation of Magnetic Nanosponges for Biotechnology Application"

Ayşe Z. Aroğuz, Anıl Asmaz, Yasemin Kışmir, Selcan Karakuş  
Nanoparticles Surface (Modified /Unmodified ) as a Base for the Interaction with  
Polymer Matrix Congress  
23-24 Eylül 2010, NOVI SAD, Sırbistan (Sözel Bildiri)

## 17. "Preparation and Characterization of Silver Modified Chitosan/Sepiolite Nano Biocomposite"

Ayben Kilislioglu, Anıl Asmaz, Selcan Karakuş, Yasemin Kışmir, Gülşah Uygur,  
Hasan Emre, Ayşe Z. Aroğuz  
30 Temmuz – 7 Ağustos 2011, 43rd IUPAC World Chemistry Congress, Porto Rico  
(Poster Bildiri)

## 18. "Adsorption Kinetics of Methylblue on the Special Prepared Bentonite/Brown-Algae Composite"

Selcan Karakuş, Ayşe Z. Aroğuz  
30 Temmuz – 7 Ağustos 2011, 43rd IUPAC World Chemistry Congress, Porto Rico  
(Poster Bildiri)

*KONGRE VE SEMPOZYUM DÜZENLEME FAALİYETLERİ*

20-22 Haziran 2007 tarihleri arasında düzenlenen 1. ULUSAL KİMYA EĞİTİMİ KONGRESİ'nde Organizasyon Komitesinde görev aldım.

21-24 Haziran 2011 tarihleri arasında düzenlenen 1. ULUSAL KİMYA EĞİTİM-ÖĞRETİM KONGRESİ'nde Organizasyon Komitesinde görev almaktayım.

*KURS :*

20-23 Eylül 2010 tarihinde İ.Ü. Fen Fakültesi Biyoloji Bölümünde "UYGULAMALI TEMEL MİKROBİYOLOJİK YÖNTEMLER KURSU"na katıldım.

SELCAN KARAKUŞ