

**ANADOLU ÜNİVERSİTESİ**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI  
ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü  
Kimya Anabilim Dalı**

**AKTİF KARBON, AMBERLYST VE DOĞAL BİYOKÜTLE  
KULLANILARAK BROMOCRESOL PURPLE  
BOYASININ ATIK SULARDAN GİDERİM  
KOŞULLARININ İNCELENMESİ**

**Cennet MERGEN**

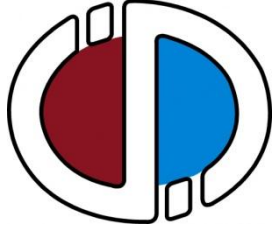
**Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı**

**Dr. Öğr. Üye. Hülya SİLAH**

**BİLECİK, 2018**

**Ref. No:10203023**



**ANADOLU ÜNİVERSİTESİ**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI  
ÜNİVERSİTESİ**

**Fen Bilimleri Enstitüsü  
Kimya Anabilim Dalı**

**AKTİF KARBON, AMBERLYST VE DOĞAL BİYOKÜTLE  
KULLANILARAK BROMOCRESOL PURPLE BOYASININ  
ATIK SULARDAN GİDERİM KOŞULLARININ  
İNCELENMESİ**

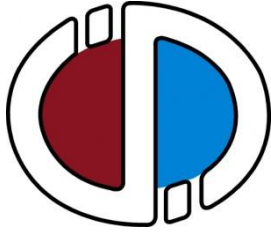
**Cennet MERGEN**

**Yüksek Lisans Tezi**

**Tez Danışmanı**

**Dr. Öğr. Üye. Hülya SİLAH**

**BİLECİK, 2018**



**ANADOLU UNIVERSITY**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI  
UNIVERSITY**

**Graduate School of Sciences  
Department of Chemistry**

**INVESTIGATION OF REMOVAL CONDITIONS OF  
BROMOCRESOL PURPLE DYE FROM WASTE WATERS  
USING BY ACTIVATE CARBON, AMBERLYST AND  
NATURAL BIOMASS**

**Cennet MERGEN**

**Master's Thesis**

**Thesis Advisor**

**Assist. Prof. Dr. Hülya SİLAH**

**BİLECİK, 2018**



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS**

**JÜRİ ONAY FORMU**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 06/06/2018 tarih ve 32 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 21/06/2018 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Cennet Mergen'in "*Aktif karbon, Amberlyst ve Doğal Biyokütle Kullanılarak Bromocresol Purple Boyasının Atık Sulardan Giderim Koşullarının İncelenmesi*" başlıklı tez çalışması Kimya Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/ oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

**JÜRİ**

**ÜYE**

(TEZ DANIŞMANI) : Dr. Öğr. Üyesi Hülya SİLAH

ÜYE : Dr. Öğr. Üyesi Emel ERMİŞ

ÜYE : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa TUNA

**ONAY**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun.../.../..... tarih ve ..... sayılı kararı,

**İMZA/ MÜHÜR**

## TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca bana araştırma olanağı sağlayan ve beni yönlendiren danışman hocam, Sayın Dr. Öğr. ye. Hlyla SİLDAH'a teşekkür ederim.

Hayatımın her alanında olduğu gibi eğitim hayatım boyunca da desteğini esirgemeyen başta sevgili annem İlkan ve babam Ahmet MERGEN'e, kardeşlerim Uğur, Nazlı ve Ural MERGEN'e, her daim dualarını esirgemeyen anneannem Ayşe YILDIRIM ve merhum babaannem Nazlı MERGEN'e teőekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans çalışmalarım boyunca bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen manevi kardeşim Hakan YAZICI'ya teőekkürlerimi sunarım.



## ÖZET

Bu tez çalışmasında Bromocresol Purple boyasının atık sulardan giderimi Amberlyst A21, aktif karbon ve *Xhantoria Parietina* kullanılarak araştırılmıştır. Adsorpsiyon ve biyosorpsiyon çalışmaları temas süresi, pH, başlangıç boya derişimi, adsorbent miktarı ve sıcaklık gibi farklı deneysel şartlar altında gerçekleştirilmiştir. Deneysel izoterm verileri Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleri kullanılarak analiz edilmiş ve adsorpsiyon prosesinin tanımlanması için izoterm sabitleri hesaplanmıştır. Amberlyst A21, aktif karbon ve *Xhantoria Parietina* kullanılarak elde edilen deneysel veriler için en iyi uyum Langmuir izotermi ile elde edilmiştir. Amberlyst A21 ve aktif karbon yüzeyine Bromocresol Purple adsorpsiyonuna ait kinetik incelemeler yalancı birinci dereceden, yalancı ikinci dereceden ve parçacık içi difüzyon modeli ile değerlendirilmiştir. Aktif karbon adsorbenti için termodinamik parametreler incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Adsorpsiyon, Aktif Karbon, Amberlyst A21, Bromocresol Purple, *Xhantoria Parietina*.

## ABSTRACT

In this thesis study, the removal of Bromocresol Purple dye from wastewater using the Amberlyst A21, activated carbon and *Xhantoria Parietina* was investigated. Adsorption and biosorption studies were carried out under various parameters such as contact time, pH, initial dye concentration, adsorbent dosage, and solution temperature on the removal of Bromocresol Purple. Experimental isotherm data were analysed using Langmuir, Freundlich and Temkin isotherm equations and the isotherm constants were calculated for the determination of the isotherm parameters which describe the adsorption process. The best fit was obtained by Langmuir model for Amberlyst A21, activated carbon and *Xhantoria Parietina*. A comparison of kinetic models applied to the adsorption of Bromocresol Purple onto Amberlyst A21 and activated carbon were evaluated for the pseudo-first-order, the pseudo-second-order, and intraparticle diffusion models. The thermodynamic parameters were evaluated for activated carbon adsorbent.

**Key Words:** Adsorption, Active Carbon, Amberlyst A21, Bromocresol Purple, *Xhantoria Parietina*.

# İÇİNDEKİLER

## Sayfa No

JURİ ONAY FORMU

TEŞEKKÜR

ÖZET..... i

ABSTRACT ..... ii

İÇİNDEKİLER ..... iii

ÇİZELGELER DİZİNİ ..... vi

ŞEKİLLER DİZİNİ..... viii

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... x

1. GİRİŞ ..... 1

2. GENEL BİLGİ ..... 2

2.1. Su Kirliliği ..... 2

2.1.1. Atık sularda renk problemi ve renk giderimi ..... 3

2.2. Fiziksel Arıtma Sistemleri ..... 5

2.3. Kimyasal Arıtma..... 6

2.4. Biyolojik Arıtma ..... 7

2.4.1. Biyosorpsiyon..... 8

2.5. Adsorpsiyon ..... 9

2.6. Adsorpsiyona Etki Eden Faktörler..... 10

2.7. Adsorpsiyon izotermeleri ..... 11



2.7.1. Langmuir adsorpsiyon izotermi .....	11
2.7.2. Freundlich adsorpsiyon izotermi .....	12
2.7.3 Temkin izotermi.....	13
2.8. Adsorpsiyon Kinetiği.....	14
2.8.1. Yalancı birinci dereceden kinetik model .....	14
2.8.2. Yalancı ikinci dereceden kinetik model .....	14
2.8.3. Partikül içi difüzyon modeli .....	14
2.9. Amberlyst A21.....	15
2.10. Boyalar.....	15
2.11. Bromocresol Purple .....	19
2.12. Literatürde Yer Alan Çalışmalar .....	19
<b>3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>24</b>
3.1. Tez Çalışmasında Kullanılan Biyosorbent Ve Adsorbentler .....	24
3.1.1. Aktif karbon adsorbentinin hazırlanışı .....	24
3.1.2. Amberlyst A21 .....	24
3.1.3. <i>Xanthoria parietina</i> Biyosorbentinin Hazırlanışı.....	24
3.2. Bromocresol Purple Çözeltisi .....	24
3.3. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Cihazlar .....	24
3.4. Kullanılan Yöntem.....	26
<b>4. DENEYSEL BULGULAR.....</b>	<b>27</b>
4.1. Bromocresol Purple'ın Giderimi Üzerine pH ve Temas Süresinin Etkisi.....	27
4.2. Bromocresol Purple'ın Giderimi Üzerine Adsorbent Miktarının Etkisi.....	33

4.3. Bromocresol Purple'ın Giderimi Üzerine Başlangıç Boya Derişiminin Etkisi .....	36
4.4. İzoterm İncelemeleri .....	39
4.4.1. Bromocresol Purple'ın aktif karbon ile adsorpsiyonunda izoterm incelemeleri .....	40
4.4.2. Bromocresol Purple'ın <i>Xanthoria parietina</i> ile biyosorpsiyonunda izoterm incelemeleri .....	43
4.4.3. Bromocresol Purple'ın Amberlyst A21 ile adsorpsiyonunun izoterm incelemeleri .....	45
4.5. Kinetik İncelemeler .....	49
4.5.1. Yalancı birinci dereceden kinetik model .....	49
4.5.2. Yalancı ikinci dereceden kinetik model .....	52
4.5.3. Partikül içi difüzyon modeli incelemesi .....	55
4.6. Adsorpsiyon Termodinamik İncelenmesi .....	56
<b>5. SONUÇLAR .....</b>	<b>59</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>62</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>71</b>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
<b>Çizelge 2.1:</b> Anaerobik ve aerobik süreçlerin karşılaştırılması .....	8
<b>Çizelge 2.2:</b> Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyonun karşılaştırılması .....	10
<b>Çizelge 2.3:</b> Amberlyst A21'in fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	15
<b>Çizelge 2.4:</b> İçerdiği kromofor gruba göre boyaların sınıflandırılması ve örnekleri....	18
<b>Çizelge 2.5:</b> Bromocresol Purple hakkında genel bilgi .....	19
<b>Çizelge 4.1:</b> Bromocresol Purple'in farklı pH'larda aktif karbon ile adsorpsiyonu sonucu elde edilen % giderim değerleri .....	28
<b>Çizelge 4.2:</b> Bromocresol Purple'in farklı pH'larda Amberlyst A21 ile adsorpsiyonu sonucu elde edilen yüzde giderim değerleri.....	30
<b>Çizelge 4.3:</b> . Bromocresol Purple'in farklı pH'larda <i>Xanthoria parietina</i> ile biyosorpsiyonu sonucu elde edilen yüzde giderim değerleri .....	31
<b>Çizelge 4.4:</b> Bromocresol Purple'in % giderim değerleri üzerine Aktif karbon miktarının etkisi .....	34
<b>Çizelge 4.5:</b> Amberlyst A21 ile Bromocresol Purple adsorpsiyonunda % giderim değerlerinin adsorbent miktarı ile değişimi .....	35
<b>Çizelge 4.6:</b> Aktif karbon ile Bromocresol Purple adsorpsiyonunda $q_e$ değerleri üzerine boya derişiminin etkisi .....	36
<b>Çizelge 4.7:</b> Amberlyst A21 ile Bromocresol Purple adsorpsiyonunda $q_e$ değerleri üzerine boya derişiminin etkisi .....	38
<b>Çizelge 4.8:</b> Bromocresol Purple'in aktif karbon ile adsorpsiyonu için elde edilen izoterm eşitlikleri ve hesaplanan izoterm sabitleri.....	42
<b>Çizelge 4.9:</b> Bromocresol Purple'in <i>Xanthoria parietina</i> ile biyosorpsiyonundan elde edilen izoterm eşitlikleri ve hesaplanan izoterm sabitleri .....	45
<b>Çizelge 4.10:</b> Bromocresol Purple'in Amberlyst A21 ile adsorpsiyonundan elde edilen izoterm eşitlikleri ve hesaplanan izoterm sabitleri.....	47
<b>Çizelge 4.11:</b> Aktif karbon ile adsorpsiyon sonucu farklı Bromocresol Purple derişimleri için elde edilen yalancı birinci dereceden kinetik model eşitlikleri ve değerleri.....	50

<b>Çizelge 4.12:</b> Amberlyst A21 ile adsorpsiyon sonucu farklı Bromocresol Purple derişimleri için elde edilen yalancı birinci dereceden kinetik model eşitlikleri ve değerleri.....	51
<b>Çizelge 4.13:</b> Aktif karbon ile adsorpsiyon sonucu farklı Bromocresol Purple derişimleri için elde edilen yalancı birinci dereceden kinetik model eşitlikleri ve değerleri.....	53
<b>Çizelge 4.14:</b> Amberlyst A21 ile Bromocresol Purple'in adsorpsiyonuna ait yalancı ikinci dereceden kinetik model eşitlikleri ve sabitleri.....	54
<b>Çizelge 4.15:</b> Bromocresol Purple'in aktif karbon ile adsorpsiyonu için elde edilen partikül içi difüzyon modeli eşitlikleri ve sabitleri .....	56
<b>Çizelge 4.16:</b> Farklı sıcaklıklarda Bromocresol Purple'in sulu çözeltisinin aktif karbon ile adsorpsiyonundan elde edilen Langmuir izoterm değerleri.....	57
<b>Çizelge 4.17:</b> Sıcaklık değerleri 298K, 308K ve 318K olan Bromocresol Purple'in farklı derişimlerde aktif karbon ile adsorpsiyonu sonucu termodinamik hesaplamalar ile elde edilen veriler.....	58

## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa No

<b>Şekil 2.1:</b> Atıksu arıtma tesislerinde kullanılan işlemler için genel bakış.....	5
<b>Şekil 2.2:</b> Atık sudan adsorbent kullanılarak kirleticilerin gideriminin genel gösterimi..	9
<b>Şekil 2.3:</b> Farklı kaynaklardan elde edilen doğal ve maliyeti düşük adsorbentler .....	17
<b>Şekil 2.4:</b> Kimyasal yapısına göre boya türlerine genel bakış.....	25
<b>Şekil 3.1:</b> Deneysel çalışmalarda kullanılan UV- Vis Spektrofotometre.....	25
<b>Şekil 3.2:</b> Deneysel çalışmalarda kullanılan otomatik pipet.....	29
<b>Şekil 4.1:</b> Bromocresol Purple'ın aktif karbon ile adsorpsiyonunda pH'nın % giderim üzerine etkisi .....	30
<b>Şekil 4.2:</b> Bromocresol Purple'ın Amberlyst A21 ile adsorpsiyonunda pH'nın % giderim üzerine etkisi.....	32
<b>Şekil 4.3:</b> Bromocresol Purple'ın <i>Xanthoria parietina</i> ile biyosorpsiyonunda pH'nın yüzde giderim üzerine etkisi .....	33
<b>Şekil 4.4:</b> Giderim çalışmalarında aktif karbon ve Amberlyst A21 adsorbentleri ve <i>Xanthoria parietina</i> biyosorbenti ile farklı pH'larda elde edilen % giderim değerleri ...	34
<b>Şekil 4.5:</b> . Bromocresol Purple'ın aktif karbon ile adsorpsiyonunda adsorbent miktarının % giderim üzerine etkisi .....	35
<b>Şekil 4.6:</b> Bromocresol Purple'ın Amberlyst A21 ile adsorpsiyonunda % giderim değerlerinin adsorbent miktarı ile değişimi .....	37
<b>Şekil 4.7:</b> Aktif karbon ile Bromocresol Purple adsorpsiyonunda başlangıç derişiminin yüzde giderim üzerine etkisi .....	37
<b>Şekil 4.8:</b> Aktif karbon ile Bromocresol Purple adsorpsiyonunda başlangıç derişiminin $q_e$ değerleri üzerine etkisi.....	38
<b>Şekil 4.9:</b> Amberlyst A21 ile Bromocresol purple adsorpsiyonunda başlangıç derişiminin yüzde giderim üzerine etkisi .....	39
<b>Şekil 4.10:</b> Amberlyst A21 ile Bromocresol Purple adsorpsiyonunda başlangıç derişiminin $q_e$ değerleri üzerine etkisi .....	40
<b>Şekil 4.11:</b> . Aktif karbon adsorbenti ile Bromocresol Purple'ın adsorpsiyonu için elde edilen Langmuir izoterm grafiği. ....	41
<b>Şekil 4.12:</b> . Aktif karbon adsorbenti ile Bromocresol Purple'ın adsorpsiyonu için elde edilen Freundlich izoterm grafiği.....	41

<b>Şekil 4.13:</b> Aktif karbon adsorbenti ile Bromocresol Purple'ın adsorpsiyonu için elde edilen Temkin izoterm grafiği.....	43
<b>Şekil 4.14:</b> <i>Xanthoria parietina</i> biyosorbenti ile Bromocresol Purple'ın biyosorpsiyonu için elde edilen Langmuir izoterm grafiği.....	44
<b>Şekil 4.15:</b> <i>Xanthoria parietina</i> biyosorbenti ile Bromocresol Purple'ın biyosorpsiyonu için elde edilen Freundlich izoterm grafiği .....	44
<b>Şekil 4.16:</b> <i>Xanthoria parietina</i> biyosorbenti ile Bromocresol Purple'ın biyosorpsiyonu için elde edilen Temkin izoterm grafiği .....	46
<b>Şekil 4.17:</b> Amberlyst A21 adsorbenti ile Bromocresol Purple'ın adsorpsiyonu için elde edilen Langmuir izoterm grafiği .....	46
<b>Şekil 4.18:</b> Amberlyst A21 adsorbenti ile Bromocresol Purple'ın adsorpsiyonu için elde edilen Freundlich izoterm grafiği.....	46
<b>Şekil 4.19:</b> Amberlyst A21 adsorbenti ile Bromocresol Purple'ın adsorpsiyonu için elde edilen Temkin izoterm grafiği.....	47
<b>Şekil 4.20:</b> . Bromocresol Purple'ın farklı başlangıç derişim değerleri için hesaplanan $R_L$ değerleri grafiği.....	48
<b>Şekil 4.21:</b> Farklı Bromocresol Purple derişimlerine ait aktif karbon ile adsorpsiyon için elde edilen yalancı birinci dereceden kinetik model grafikleri .....	49
<b>Şekil 4.22:</b> Farklı Bromocresol Purple derişimlerine ait Amberlyst A21 ile adsorpsiyon için elde edilen yalancı birinci dereceden kinetik model grafikleri .....	51
<b>Şekil 4.23:</b> Farklı Bromocresol Purple derişimlerine ait aktif karbon ile adsorpsiyon için elde edilen yalancı ikinci dereceden kinetik model grafikleri .....	53
<b>Şekil 4.24:</b> Farklı derişimlerdeki Bromocresol Purple'ın Amberlyst A21 ile adsorpsiyonu sonucu elde edilen yalancı ikinci dereceden kinetik model grafikleri.....	54
<b>Şekil 4.25:</b> . Bromocresol Purple'ın Amberlyst A21 ile adsorpsiyonu için elde edilen partikül içi difüzyon modeli grafikleri .....	56
<b>Şekil 4.26:</b> Sıcaklık değerleri 298K, 308K ve 318K olan Bromocresol Purple çözeltilisinin aktif karbon ile adsorpsiyonuna ait termodinamik değerler için $\ln K$ 'ya karşı $1/T$ grafiği .....	58

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
$A_T$	Temkin izoterm denge bağlanma sabiti
$b_T$	Temkin izoterm sabiti
$C$	Adsorbent ile adsorbat arasında oluşan tabakanın kalınlığı hakkında bilgi veren sabit
$^{\circ}C$	Santigrad derece
$C_{ads}$	Adsorplanan maddenin denge derişimi
$C_0$	Başlangıç boya derişimi
$C_e$	Adsorpsiyon / biyosorpsiyon sonrası çözeltide kalan madde derişimi
dk.	Dakika
% G	% Giderim
$\Delta G$	Serbest enerji değişimi (Gibbs serbest enerjisi)
G	Gram
$q_e$	Dengede adsorbentin birim kütlesi başına adsorplanan madde miktarı
$q_m$	Adsorpsiyon kapasitesi
$q_t$	t zamanında adsorbentin gramı başına adsorplanan madde miktarı
$\Delta H$	Entalpi değişimi
$K_c$	Adsorpsiyon denge sabiti
$K_F$	Freundlich izoterm sabiti
$K_L$	Langmuir izoterm sabiti
$k_i$	Partikül içi difüzyon hız sabiti
$k_1$	Yalancı birinci dereceden hız sabiti
$k_2$	Yalancı ikinci dereceden hız sabiti
L	Litre
m	Adsorbent miktarı
mg	Miligram
n	Adsorpsiyon şiddeti
nm	Nanometre

ppb	Toplam madde miktarının milyarda biri
ppm	Toplam madde miktarının milyonda biri
R	Gaz sabiti (8,314 j/molK)
R <sub>L</sub>	Boyutsuz ayırma faktörü
t	Zaman
T	Mutlak sıcaklık
ΔS	Entropi değişimi
<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
BOİ	Biyolojik Oksijen İhtiyacı
KOİ	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
FTIR	Fourier Dönüşümlü İnfrared Spektroskopisi
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
WHO	Dünya Sağlık Örgütü



## 1. GİRİŞ

İnsanlar iyi istihdam olanakları ve yüksek standartlı yaşam arayışı sürecinde şehirlere göç ederek kentleşmenin ve sanayileşmenin artmasına neden olmaktadır. Bu durum kuşkusuz evsel ve endüstriyel atık suyun oluşumuna yönelik bir artışa neden olmakta ve yüksek miktarda temiz su talebi ortaya çıkmaktadır. Oluşan atık su, insan sağlığı ve sucul yaşam için zararlı olan yüksek konsantrasyonda çok çeşitli kirletici maddelerle yüzey suyunu ve yeraltı suyunu kirletir (Nidheesh, vd., 2018).

Su, yeryüzündeki en önemli maddelerden biridir. Dünya yüzeyinin yaklaşık % 71'i sudan oluşur ve bilinen tüm yaşam formları için hayati önem taşır. Ancak dünyadaki suların sadece % 2,5'i tatlı sudur. Hızlı kentleşme ve sanayileşme faaliyetlerinin yanı sıra kentsel ve peri-kentsel tarımda sulama amacıyla suyun kullanımı giderek artan miktarda atıksu oluşturmaktadır (Marshall, vd., 2007).

Artan su kıtlığı sorunu, dünya çapında ekonomik kalkınma, insan geçim kaynakları ve çevresel kalite üzerinde önemli derecede olumsuz etkiye sahiptir. Bu nedenle, günümüzde su kirliliğinin önlenmesi ve su kaynaklarının korunması için uygun maliyetli arıtma yöntemlerinin geliştirmesi gerekmektedir. Ağır metaller, deterjanlar, organik bileşikler ve pestisitler gibi kimyasalların yanı sıra azot ve fosfor da atık sularda yer alan önemli kirletici türlerindedir. Geçmiş yıllardan bu yana atık su arıtımı için çeşitli geleneksel yöntemler kullanılmakla beraber, bu yöntemler çok maliyetlidir ve ekonomik değildirler (Turovskiy, 2000).

Çevre kirliliğine maruz kalmak, sadece insan sağlığı için değil, aynı zamanda gezegenimiz için de büyük bir tehlike unsuru olmaya devam etmektedir. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) 2012 yılında, kirlenmiş toprak, su ve havaya maruz kalmanın dünya çapında tahmini olarak 8-9 milyon kişinin ölümüne neden olduğunu bildirmiştir. Çevre kirliliği dünya çapında rahatsız edici oranlara ulaşmasına rağmen, ulusal politikalarda ve uluslararası kalkınma toplantılarında hala ihmal edilen bir sorun olmaya devam etmektedir (The Lancet Planetary Health, 2017).

Su kaynaklarının giderek tükenmeye başladığı günümüzde, atık suyun etkili şekilde arıtılması, büyüyen ekonominin ön koşuludur. Gelişmiş atık su arıtma teknolojilerinin yüksek verimlilik ve düşük sermaye gereksinimi ile geliştirilmesi ve uygulanması kritik önem taşımaktadır (Anjum, vd., 2016).

## 2. GENEL BİLGİ

Çevre kirliliği, dünyanın karşılaştığı en büyük sorunlardan biridir ve her geçen yıl artarak dünyaya onarılmaz zararlar vermektedir. Çevre kirliliği temel olarak üç türden oluşur: hava, su ve toprak ( McLaren ve Williams, 2015 ). Bunlar arasında su kirliliğinin temel sebepleri olarak endüstriyel deşarj, tarım ilaçlarının aşırı kullanımı, tarım sektöründeki gübreler, ilaç kalıntıları ve evsel atıkların birikmesi sayılabilir (Lianos, 2011 ).

Kirlenmiş suda çözücü, dioksin, dibenzofuran, pestisitler, poliklorlu bifeniller, klorofenol ve boyalar gibi çeşitli organik bileşikler bulunur (Reddy ve Kim, 2015 ). Bazı boya türlerinin suda bozunması çoğu zaman zordur, çünkü bu tür boyalar boyayı ışığa karşı daha kararlı ve biyodegradasyona karşı dirençli hale getiren moleküler yapıya sahiptir (Mckay, 1979).

Yüzey sularının kalitesini iyileştirmek, atık suların daha etkin ve yaygın bir şekilde arıtılmasını sağlamak için dünya genelinde çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalar,

- Atık su deşarjlarının neden olduğu çevresel etkilerin daha iyi anlaşılması,
- Atık sudaki belirli bileşenlerin deşarjının neden olduğu olumsuz uzun vadeli etkiler hakkında bilgi sahibi olunması sonucu ortaya çıkmıştır.

1990 yılından bu yana, bilimsel bilgi ve genişletilmiş bir veri tabanı ile birlikte atıksu arıtımı konusundaki araştırmalar çevreye salınan toksik ve potansiyel olarak toksik kimyasalların neden olduğu sağlık sorunlarına odaklanmaya başlamıştır (Rajasulochana ve Preethy, 2016).

Su kirliliği kontrolü günümüzde bilimsel çalışmaların en önemli alanlarından biridir. Son dönemlerde özellikle boya giderimi ve renksizleştirme konusunda literatürde yer alan çalışmaların sayısı dikkate alındığında konunun büyük bir bilimsel öneme sahip olduğu görülmektedir (Banat, vd., 1996).

### 2.1. Su Kirliliği

Su kirliliği, antropojenik faaliyetlerden kaynaklanan toksik maddelerin çoğu zaman kontrolsüz deşarjı nedeniyle 21. yüzyılın en önemli küresel çevre sorunlarından biridir. Çok farklı türdeki organik, inorganik ve metal kirleticiler gibi kimyasallar ve

zamanla ortaya çıkan yan ürünleri su kaynaklarında ve atık sularda tespit edilmektedir (Reddy, 2017).

Su kirliliği su kaynağının kimyasal, fiziksel, biyolojik, radyoaktif ve ekolojik özelliklerinin olumsuz yönde değişmesi şeklinde gözlenen ve doğrudan veya dolaylı yoldan biyolojik kaynaklarda, insan sağlığında, su ürünlerinde, su kalitesinde ve suyun diğer amaçlarla kullanılmasında engelleyici bozulmalar yaratacak madde veya enerji atıklarının deşarjını ifade etmektedir (Halkman, vd., 2000).

Endüstriyel ya da tarımsal üretim faaliyetlerinin devamı, günlük ihtiyaçların karşılanması ve doğal ekosistemler için temiz yeraltı suyunun kalitesi çok önemlidir. Biyolojik, kimyasal ve radyoaktif türler gibi çeşitli kirleticiler ile kirlenmiş su hem doğal ekosistemi tehdit etmekte hem de insan sağlığını için bir risk oluşturmaktadır (WHO, 2012 ).

Modern dünyamızın en önemli küresel sorunları enerji üretimi ve tüketimi ile ilgilidir. Artan dünya nüfusu ve küresel kentleşme için enerji talebinin çok yüksek seviyelere ulaşması ciddi kaygılara yol açmaktadır. Bununla birlikte genellikle iklim değişikliği, kirlilik, temiz su, gıda ve enerji talepleri de günümüz için en önemli küresel sorunlardır (Kumar ve Saroj, 2014). Ayrıca fosil yakıt bazlı enerji üretiminde su kullanımının yanı sıra ve endüstriyel uygulamalar da su kirliliği ile sonuçlanmaktadır. Su kirliliğinin iyileştirilmesi, temiz suyun yeniden kullanılması veya doğal su rezervine geri gönderilmesi için yeniden enerji gerektirmektedir (Grant, 2012).

### **2.1.1. Atık sularda renk problemi ve renk giderimi**

Atık sulardaki renklilik sorunu çoğunlukla endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanmakta olup, bunların başında tekstil, gıda, deri, kağıt gibi endüstri alanları gelmektedir. Çoğunlukla boyama prosesi ve terbiye aşamalarında çok fazla su tüketilmesinden dolayı büyük miktarda renkli atıksu oluşmaktadır (Öden, 2010).

Tekstil uygulamaları için doğal kaynaklı boyaların kullanımı son 5000 yıldan beri uygulanmaktadır. 19. yüzyılda doğal kaynaklı boyaların artan endüstriyel talepleri karşılayamamasından dolayı sentetik kaynaklı boyalara ihtiyaç duyulmuştur. Sentetik boyalar büyük miktarlarda üretilebilir ve kumaşlar, deri, kağıt, gıda, kozmetik, tarımsal araştırmalar, farmasötikler, elektrokaplama ve damıtma gibi çeşitli endüstrilerde kullanılabilir. Sentetik boyalar; asidik, bazik, direkt, metalik,

mordan, pigment reaktif, çözücü, kükürt boyalar olarak sınıflandırılabilir. Dünya çapında boyar madde üretimi yıllık  $7 \times 10^5$  tondan fazladır (Ajmal, vd., 2014). İmalat ve endüstriyel uygulama süreçlerinde boyanın %10-15'inin atık suyunda kaybolduğu tahmin edilmektedir (Natarajan, vd., 2013).

Atık sulardaki boyaların varlığı, birçok yaşam formuna olumsuz etkileri nedeniyle büyük bir endişe kaynağıdır. Su kaynaklarına boya içeren atıkların deşarjı hem toksik hem de görsel nedenlerden dolayı büyük bir sorundur (Pignon, vd., 2003). Özellikle bazı boyalar için sulu ortamda boya derişiminin 1 ppm'in altında olması durumunda dahi boya oldukça görünür hale gelir (Robinson, vd., 2001).

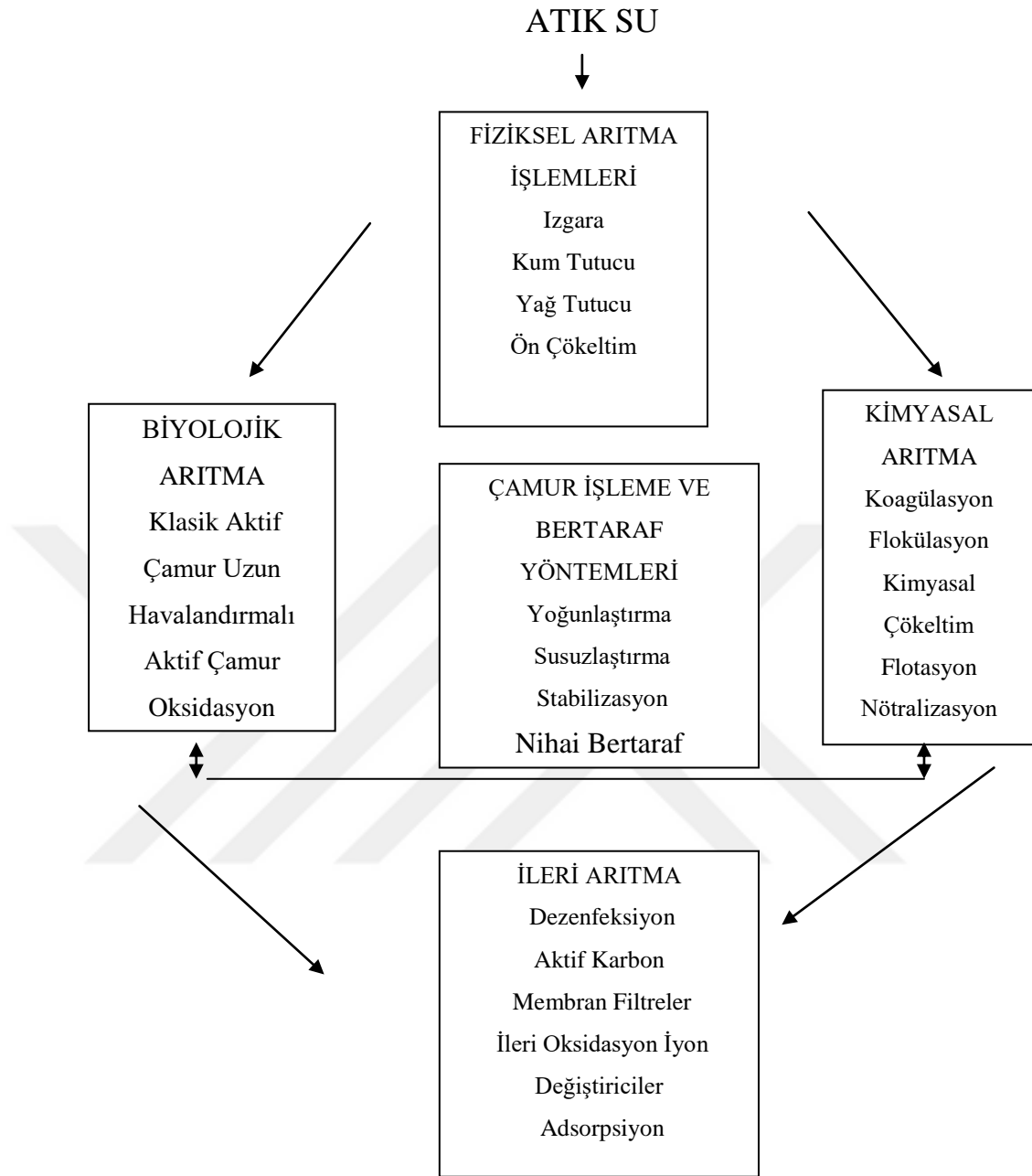
Özellikle boya içeren atık suların arıtımı önemli ve zordur. Yalnızca bir arıtma prosesi kullanımı boya ve renk giderim aşamasında yeterli olmamaktadır, bu nedenle birden çok arıtma prosesin birleşimi kullanılarak giderim işlemi uygulanmaktadır. (Kimyasal-fiziksel, kimyasal-biyolojik, kimyasal-kimyasal) Bunun yanı sıra renk giderim prosesi esnasında oluşan yan ürünler de çoğu zaman ana kirleticilerden çok daha zararlı ve toksik özellik gösterebilmektedirler (Hansa, vd., 1999).

Temel olarak boya arıtımı için kullanılan yöntemler (Ren, vd., 2013):

Fiziksel yöntemler

Kimyasal yöntemler ve

Biyolojik yöntemler olarak üç sınıfa ayrılabilir.



**Şekil 2.1.** Atıksu arıtma tesislerinde kullanılan işlemler için genel bakış (Filibeli, vd., 1996).

## 2.2. Fiziksel Arıtma Sistemleri

Çeşitli fiziksel işlemler ile atık sularda yer alan farklı türdeki kirleticilerin atık sulardan giderilmesi için uygulanan metodlardır. Bu yöntemlerde kirletici maddenin boyut, viskozite ve özgül ağırlık gibi çeşitli fiziksel özellikleri dikkate alınarak uygun arıtma metodu seçilir. Fiziksel arıtma yöntemlerinde özellikle büyük ve kaba atıkların ortamdan uzaklaştırılmasını sağlayan ön arıtma önemlidir. Fiziksel arıtma tesislerinde

uygulanan arıtma yöntemleri arasında ızgaralar, elekler, kum tutucular, yüzer madde tutucular , yüzdürme ve dengeleme havuzları ve çökeltim sayılabilir (Demir, vd., 2000).

### 2.3. Kimyasal Arıtma

Atık su arıtımında kullanılan kimyasal süreçler, kimyasal reaksiyonlar yoluyla bir çeşit değişiklik meydana getirmek üzere tasarlanmıştır (Bhargava, 2016). Tekstil endüstrisinde atık suların arıtımı için yaygın olarak kullanılan kimyasal yöntemler arasında ozonlama, oksidasyon, elektrokimyasal uygulama, fotokimyasal uygulama, kimyasal flokleştirme ve çöktürme, koagülasyon ve flokülasyon sayılabilir (Kocaer ve Alkan, 2002).

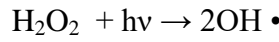
Ozon uygulaması 1970'li yıllarda başında uygulanmaya başlamıştır ve ozon iyi bir yükseltgeyici ajandır. Ozon ile yükseltgenme klorlu hidrokarbonları, pestisitleri, fenoller ve aromatik hidrokarbonları parçalayabilmektedir (Xu ve Lebrun, 1999). Boyalardaki kromofor gruplar çoğunlukla ozonlama işlemi ile parçalanarak daha küçük moleküller oluşturabilecek konjuge çift bağlardan oluşan organik bileşiklerdir ve bu proses ile atık sudan renk giderimi gerçekleştirilebilir. Proses sonucu oluşan bu daha küçük moleküller kanserojen ya da toksik özellikte olabilir bu durumu ortadan kaldırmak amacı ile fiziksel bir yöntemle beraber ozonlama yöntemi kullanılabilir. Renk ve boya giderimi nispeten kısa bir zamanda gerçekleşir (Robinson, vd., 2001). Ozon, doymamış bağlar içeren moleküllere saldıran güçlü ama seçici bir yükseltgeyicidir(Gomes, vd., 2017).

Yükseltgenme kimyasal arıtma prosesleri arasında yaygın olarak tercih edilen bir yöntemdir. Bunun en önemli nedeni yöntemin kolay bir şekilde uygulanmasından kaynaklanmaktadır. Bu yöntemde yükseltgen reaktif olarak çoğunlukla hidrojen peroksit ( $H_2O_2$ ) kullanılır. Boya moleküllerinin yükseltgenme yöntemi ile gideriminde aromatik halka kırılması gerçekleşmektedir (Raghavacharya, 1997)

Endüstriyel faaliyet kaynaklı sular ve diğer atık sulardan çeşitli kirleticilerin giderimi için elektrokimyasal yöntemler uygulanabilir ve elektrokimyasal yöntemler boyalar, pestisitler, çözücüler vb. gibi organik maddeler ile inorganik bileşikleri, çeşitli mikroorganizmaları ve atık suda yer alan iyonları uzaklaştırabilir. Elektrokimyasal arıtma yöntemleri arasında en yaygın uygulanan proses elektrokimyasal yükseltgenmedir. Yükseltgenmenin yanı sıra elektrokimyasal indirgenme,

elektroflotasyon ve elektrokoagülasyonda atık sulardan kirleticilerin giderimi için kullanılmaktadır (Sillanpaa ve Shestakova, 2017).

Fotokimyasal yöntem organik moleküllerin hidrojen peroksit varlığında ultra viyole ışın ile karbondioksit ve suya dönüştürülmesi işlemidir (Yang vd., 1998). Bu yöntem 280 nm'nin altındaki dalga boylarına sahip ışınların kullanılması ile hidrojen peroksitin hidroksil radikallerine ayrışmasına dayanmaktadır (Baxendale ve Wilson, 1995). Hidroksil radikal oluşumunun mekanizması, iki radikal üreten hidrojen peroksit molekülünün homolitik bölünmesi olarak anlaşılmaktadır (Ogata, vd., 1981).



Atık su arıtımında kullanılan kimyasal flokülasyon ve pıhtılaşma yöntemlerinde uygun kimyasallar eklenerek çözülmüş ve askıda katı maddelerin fiziksel durumunu değiştirilir ve çökme yoluyla giderilmesi sağlanır. Uygun kimyasalların eklenmesi aynı zamanda genellikle atık sudaki çözülmüş bileşenlerde net bir artış meydana getirir. Su arıtımında, ön arıtma olarak koagülasyon en başarılı ön arıtma yöntemi olarak kabul edilmektedir (Huang, vd., 2009).

#### **2.4. Biyolojik Arıtma**

Biyolojik yöntemler genel olarak fiziksel ve kimyasal tekniklerden daha çok çevre dostu olarak tanımlanmaktadır (Cano vd., 2018). Boya ve boyarmaddelerin çevre üzerine olumsuz etkilerini en aza indirmek için kullanılan biyolojik yaklaşımlar günümüzde çevre sağlığını korumada ve benzeri atık suların arıtılmasında büyük öneme sahip olmuştur. Bazı kimyasal ve fiziksel arıtma yöntemleri yüksek maliyetli olmaları, zehirli yan ürün ya da ürünler oluşturmaları, çok fazla enerji tüketmeleri, fazla miktarda konsantre çamur oluşturmaları gibi dezavantajlara sahiptir (Banat, vd., 1996). Bu sebeplerden dolayı biyolojik uygulamalar fiziksel ve kimyasal yöntemlere nazaran daha avantajlıdır (Kunamneni, vd., 2008).

Biyolojik arıtma, sanayi proseslerinden alıcı sistemlere deşarj olan organik bileşiklerinin arıtımı için uygulanan en önemli giderim proseslerindedir. Tekstil endüstrisi atıksularında kullanılan fiziksel ve kimyasal yöntemler yüksek maliyet gerektirdiği ve her boyada kullanılmaları uygun olmadığı için kullanımları sınırlıdır (Kocaer ve Alkan, 2002).

Tekstil endüstrisinde atık sular aerobik veya anaerobik biyolojik arıtma yöntemleriyle arıtılabilmektedir. Aerobik yöntemler ile organik madde giderimi nispeten başarılı sonuç vermektedir (Pala ve Tokat, 2002). Atık su arıtımında kullanılan aerobik ve anaerobik yöntemlerin karşılaştırması Çizelge 2.1’de verilmektedir.

**Çizelge 2.1.** Anaerobik ve aerobik süreçlerin karşılaştırılması (Gasparikova vd., 2005).

Parametre	Anaerobik süreçler	Aerobik süreçler
Enerji tüketimi	Düşük	Yüksek
Tasarım	Basit	Karmaşık
Biyokütle üretimi	Düşük	Yüksek
Beslenme talebi	Düşük	Yüksek
Reaksiyon hızı	Düşük	Yüksek

#### 2.4.1. Biyosorpsiyon

Biyolojik kökenli malzemelerin kullanımıyla sulu çözeltilerden klorlu bileşikler, ağır metal, boya, pestisit, organik ve inorganik bileşikler gibi çeşitli kirleticilerin giderimi biyosorpsiyon olarak adlandırılır (Rafatullah, vd., 2010). Biyosorpsiyon kirleticilerin inaktif ya da ölü biyokütle kullanarak sulu çözeltiden uzaklaştırmak amacıyla uygulanan etkili bir biyoteknolojik yöntem olarak geliştirilmiştir. Biyosorpsiyon, rekabetçi, etkili ve maliyeti düşük yeni bir yaklaşımdır. Literatür incelendiğinde son yıllarda, biyosorpsiyon yöntemi ile kirleticilerin giderimi üzerine çok fazla sayıda çalışma yapıldığı görülmektedir ve çalışma sayısı gün geçtikçe artmaktadır (Asgher ve Bhatti, 2012).

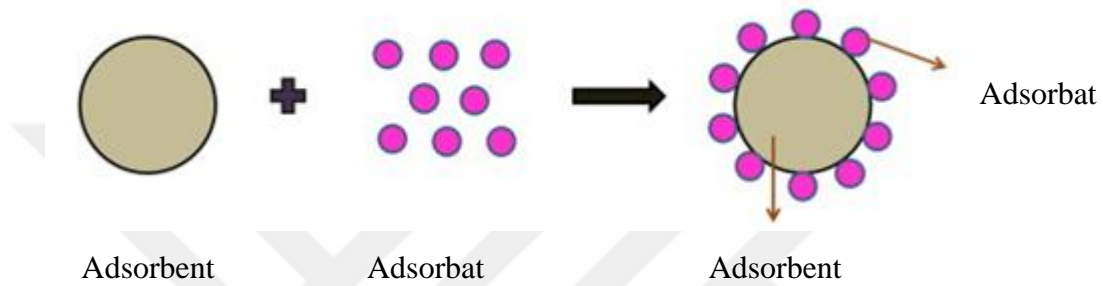
Çeşitli kirleticileri sulu çözelti ortamından gidermek için fermantasyon atıkları ve tarımsal atıkların (Arief, vd., 2008). yanı sıra kitin, kitosan, mayalar, mikro organizmalar, turba, mantarlar ya da bakteriyel biyokütle gibi biyolojik materyaller biyosorbent olarak kullanılmaktadır (Sanghi ve Verma, 2013). Biyosorpsiyon işleminde



kullanılan biyokütle yüzeyinde yer alan hidroksil, sülfat, karboksil ve amino grubu gibi çeşitli fonksiyonel gruplar biyosorpsiyon mekanizmasından sorumludur. (Liu, vd.,2004)

## 2.5. Adsorpsiyon

Sıvı-katı ara yüzeyi veya gaz-katı ara yüzeyi gibi iki farklı faz arasında yer alan ara yüzeyde molekül, atom veya iyon birikmesi adsorpsiyon olarak ifade edilmektedir (Dabrowski, 2001). Adsorpsiyon sürecinde adsorbata tutan katı yüzeye adsorbent, adsorbent yüzeyinde tutunan (biriken) maddeye ise adsorbat adı verilir.



**Şekil 2.2.** Atık sudan adsorbent kullanılarak kirleticilerin gideriminin genel gösterimi (Natarajan, vd., 2018).

Farklı türdeki kirleticilerin sulu çözelti ortamından uzaklaştırılması için kullanılan adsorpsiyon oldukça etkili fiziksel arıtma yöntemlerinden biridir ve adsorpsiyon prosesinin işletim süreci basittir. Geleneksel yöntemler ile kıyaslandığında ise maliyet oldukça düşüktür (Liu, vd., 2015). Adsorpsiyon prosesi sudaki birçok kirletici maddeyi etkili bir şekilde temizleyebilir, bu nedenle içme suyu ve atık suların arıtılmasında en yaygın kullanılan teknolojilerden biridir (Yanhua, vd., 2018).

Adsorpsiyonun derecesi kirleticinin molekül kütesine, moleküler yapısına, molekül boyutuna, polaritesine ve derişimine oldukça bağlıdır. Ayrıca, parçacık boyutu, yüzey alanı ve yüzey yükü gibi yüzeyin adsorplayıcı özelliklerine de bağlıdır. Ayrıca atık suda bulunan tuzlar, adsorbent türü, adsorbent miktarı, adsorbent doğası, adsorbent yüzey kimyası, sıcaklık gibi faktörler de adsorpsiyonu etkileyen parametrelerdir (Natarajan ve Bajaj, 2016).

**Çizelge 2.2.** Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyonun karşılaştırması (Özer., 2004).

<b>Parametre</b>	<b>Fiziksel Adsorpsiyon</b>	<b>Kimyasal Adsorpsiyon</b>
Adsorbent	Bütün Katılar	Bazı Katılar
Adsorbat	Kritik Sıcaklığın Altındaki Bütün Gazlar	Kimyasal olarak Reaktif Bazı Gazlar
Sıcaklık Aralığı	Düşük Sıcaklıklar	Yüksek Sıcaklıklar
Adsorpsiyon Isısı	Düşük	Yüksek
Tersinirlik	Çok Tabanlı	Tek Tabanlı
Yüzey Örtme	Yüksek oranda Tersinir	Sıcaklıkla Tersinmez
Önemi	Gözenek Boyutu ve Yüzey Alanı Tayini	Aktif Merkez Alan Tayini Yüzey Reaksiyon Kinetiklerinin Tanımlanması

## 2.6. Adsorpsiyona Etki Eden Faktörler

Adsorpsiyonun verimliliğine etki eden faktörler arasında adsorbat-adsorbent etkileşimi, yüzey alanı, adsorbent adsorbat oranı, adsorbent partikül boyutu, sıcaklık, pH ve temas süresi vb. sayılabilir (Crini, 2006).

➤ Çözelti pH'ının etkisi: Atık su arıtımında adsorbent kapasitesini etkileyen en önemli etkenlerden biri de çözeltilinin pH'ıdır. Adsorpsiyonun verimi, pH değerine bağlıdır, çünkü pH değerlerindeki değişiklikler adsorplanan molekülün iyonlaşma derecesindeki ve adsorbent yüzey özelliklerinin değişmesine yol açar (Nandi, vd., 2009).

➤ Başlangıç konsantrasyonunun etkisi: Boyanın adsorpsiyon yöntemi ile sulu ortamdan gideriminde diğer bir önemli faktör başlangıç boya konsantrasyonudur. Genel olarak, boya giderme yüzdesi adsorbent yüzeyindeki adsorpsiyon bölgelerinin

doygunluğuna bağlı olan, başlangıç boya konsantrasyonundaki bir artışla azalır. Diğer taraftan, başlangıçtaki boya konsantrasyonu artışı, adsorbent kapasitesinde bir artışa sebep olacaktır (Bulut ve Aydın, 2006).

➤ Sıcaklığın etkisi: Sıcaklığın etkisi bir başka önemli fiziko-kımyasal adsorpsiyon prosesi parametresidir. Çünkü sıcaklık, adsorbentin adsorpsiyon kapasitesini değiştirecektir (Argun vd., 2008). Adsorpsiyon miktarı artan sıcaklıkla artarsa, adsorpsiyon bir endotermik prostedir. Bu boya moleküllerinin artan mobilitesine ve artan sıcaklıkla adsorpsiyon için aktif alanların sayısındaki artışa bağlı olabilir. Adsorpsiyon kapasitesinin artan sıcaklıkla azalması, adsorpsiyonunun ekzotermik bir süreç olduğunu gösterir (Salleh, vd., 2011).

➤ Adsorbent miktarının etkisi: Adsorbent miktarı adsorpsiyon için belirlenen en uygun çalışma koşullarında adsorbentin adsorpsiyon kapasitesini belirlemek için önemli bir parametredir. Genel olarak, adsorbent miktarındaki artış ile birlikte adsorbentin yüzeyindeki sorpsiyon alanlarının artması sonucu boyanın giderilme yüzdesi de artar (Salleh, vd., 2011).

## 2.7. Adsorpsiyon izotermi

Adsorpsiyon denge izotermi, adsorpsiyon sürecinin davranışını anlaşılması ve açıklanması için gerekli en önemli parametrelerden biridir. İzoterm modelleri boya moleküllerinin afinitesi ve olası adsorpsiyon mekanizması hakkında fikir verir. Adsorpsiyon verilerinin değerlendirilmesi için en yaygın olarak kullanılan adsorpsiyon izotermi Langmuir ve Freundlich modelleridir (Langmuir, 1918; Freundlich, 1906). Adsorpsiyon izotermi, adsorpsiyon sürecini analiz etmek ve tasarlamak için en önemli bilgilerdir. Adsorpsiyon kapasitesi, adsorbat ve adsorbent özelliklerine bağlıdır (Lee, vd., 2004).

### 2.7.1. Langmuir adsorpsiyon izotermi

Langmuir izoterm modeli Eşitlik 2.1'de verilen denklem ile ifade edilir.

$$q_e = \frac{q_m K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (2.1)$$

Eşitlik 2.1’de verilen Langmuir eşitliği ( 1.1) lineer hale dönüştürülerek Eşitlik 2.2’deki şekli ile ifade edilir.

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{q_m K_L C_e} \quad (2.2)$$

$C_e$  = Adsorbatın denge konsantrasyonu (mg/L).

$q_e$  = Dengedeki adsorbentın gramı başına adsorbe edilen adsorbat miktarı (mg/g).

$q_m$  = Maksimum tek katman içerme kapasitesi (mg/g).

$K_L$  = Langmuir izoterm sabiti (L/mg).

Langmuir izoterminde temel özellikler, ayırma faktörü ya da denge parametresi olarak isimlendirilen boyutsuz bir sabit olan  $R_L$  denge parametresi olarak da ifade edilebilmektedir (Webber ve Chakravarti, 1974).

Langmuir izotermi, katı yüzeylerin üzerinde aktif adsorpsiyon alanında meydana gelen tutunmanın fiziksel veya kimyasal adsorpsiyon olup olmadığını başka izotermelere göre daha iyi açıklamaktadır. Langmuir izoterminde adsorpsiyon enerjisi üniformdur. Adsorpsiyon hızı adsorbat konsantrasyonu ile yüzey üzerinde olan boş adsorpsiyon alanlarıyla doğru orantılıdır. Desorpsiyon hızı yüzeydeki adsorplanmış molekül sayısı ile doğru orantılıdır (Beyhan, 2003).

### 2.7.2. Freundlich adsorpsiyon izotermi

Freundlich izotermine göre; bir adsorbentın yüzeyindeki bütün adsorpsiyon bölgeleri heterojendir (Freundlich, 1906). Çoğunlukla heterojen yüzeyde adsorpsiyon özelliklerini belirlemek için kullanılır (Hutson ve Yang, 2000).

Bu veriler çoğunlukla Freundlich tarafından öne sürülen ampirik denklemlere uymaktadır (Milind, vd., 2009):

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

$K_F$  = Freundlich izoterm sabiti (mg/g)

$n$  = adsorpsiyon şiddeti;

$C_e$  = adsorbatın denge konsantrasyonu (mg/L)

$q_e$  = Dengedeki adsorbentin gramı başına adsorbe edilen adsorbent miktarı (mg/g).

Eşitlik 2.3’de verilen Freundlich izoterminin lineer hali Eşitlik 2.4’de verilmektedir.

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (2.4)$$

### 2.7.3 Temkin izoterminin

Bu izoterm modeli, adsorbent-adsorbat etkileşimlerini açık bir şekilde ortaya koyar. Çok düşük ile çok yüksek konsantrasyon değerlerini göz ardı edip; katmandaki tüm moleküllerin adsorpsiyon ısısının (sıcaklık fonksiyonu), yüzeyin kaplanması ile logaritmik olmaktan ziyade doğrusal olarak azalacağını varsayar (Temkin ve Pyzhev, 1940).

Temkin izoterm modeline ait eşitlik aşağıda verilmiştir (Saera, 1956);

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

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

$$B = \frac{RT}{b} \quad (2.7)$$

$$q_e = B \ln A_T + B \ln C_e \quad (2.8)$$

$A_T$  = Temkin izoterminin denge bağlama sabiti (L / g)

$b$  = Temkin izoterm sabiti

$R$  = Evrensel gaz sabiti (8.314 J / mol / K)

T = Sıcaklık (K).

B = Adsorpsiyon ısısına bağlı sabit (J / mol)

## 2.8. Adsorpsiyon Kinetiği

Bir adsorpsiyon olayın mekanizması ile buna bağlı olarak dizayn edilecek tesis ve süreç tasarımı için deneysel verilerin anlaşılmasında izotermelerin yanı sıra adsorpsiyon kinetikleri de önemli bilgiler sağlar. Adsorpsiyon kinetiklerinin incelenmesi ile adsorpsiyon olayına ait hız belirleme basamağı belirlenebilir. Kinetik, adsorpsiyon işleminde adsorpsiyon hızına etki eden basamaklarının belirlenmesinde önemli bir analiz sürecidir (Ateş, 2006).

### 2.8.1. Yalancı birinci dereceden kinetik model

Birinci dereceden kinetik modeli aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir (Lagergren, 1898):

$$\ln(q_e - q_t) = \ln q_e - k_1 t \quad (2.9)$$

$q_e$  (mg/g) ve  $q_t$  (mg/g); sırası ile dengede ve herhangi bir t zamanında adsorplanmış olan adsorbat miktarı,  $k_1$  ( $\text{dak}^{-1}$ ); birinci dereceden hız sabitidir (Lagergren, 1898).

### 2.8.2. Yalancı ikinci dereceden kinetik model

İkinci dereceden kinetik modeli denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir (Ho ve McKay, 1998);

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{t}{q_e} \quad (2.10)$$

$k_2$  ( $\text{g mg}^{-1} \text{dak}^{-1}$ ); ikinci mertebeden hız sabitidir (Ho ve McKay, 1998).

### 2.8.3. Partikül içi difüzyon modeli

Parçacık içi difüzyon modeli denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir (Weber ve Morriss, 1963);

$$q_t = k_i t^{1/2} + C \quad (2.11)$$

$k_i$  ( $\text{mg g}^{-1}\text{dak}^{-1/2}$ ) parçacık içi difüzyon modelinin hız sabitidir (Weber ve Morriss, 1963).

## 2.9. Amberlyst A21

Amberlyst A21 ürün akışı ile asidik materyallerin arıtımı için geliştirilmiş tanecikli yapılarda, zayıf bazik anyon değişim reçinesidir. Amberlyst A21 nemli serbest baz formunda sağlanır. Uygun çözücü şartlandırıldıktan sonra organik çözeltilerden asidik materyallerin uzaklaştırılması ile fenolün benzenden ve monomerlerden inhibitörlerin uzaklaştırılması için doğrudan kullanılabilir (Dow cemical, 2016 ).

**Çizelge 2.3.** Amberlyst A21'in fiziksel ve kimyasal özellikleri (Dow Chemical, 2016).

FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ	
Fiziksel Yapısı	Saydam olmayan, küresel tanecikli yapıdadır
İyonik Yapısı	Serbest bazdır
Aktif Bölge Konsantrasyonu	$\geq 4,6 \text{ eq/kg}$ , $\geq 1,30 \text{ eq/kg}$
Su Tutma Kapasitesi	% 56 – 62 (serbest baz formuda)

## 2.10.Boyalar

Boyalar ilaç, gıda, kozmetik, plastik, fotoğraf, boyama, baskı, kağıt endüstrilerinin yanı sıra tekstilde yaygın olarak kullanılmaktadır. Boyalar yüzeylere kovalent bağ, tuzlar veya metallerle kompleksler oluşturarak, fiziksel adsorpsiyon veya mekanik retansiyon ile bağlanabilir (Zollinger ve Synthesis, 1987).

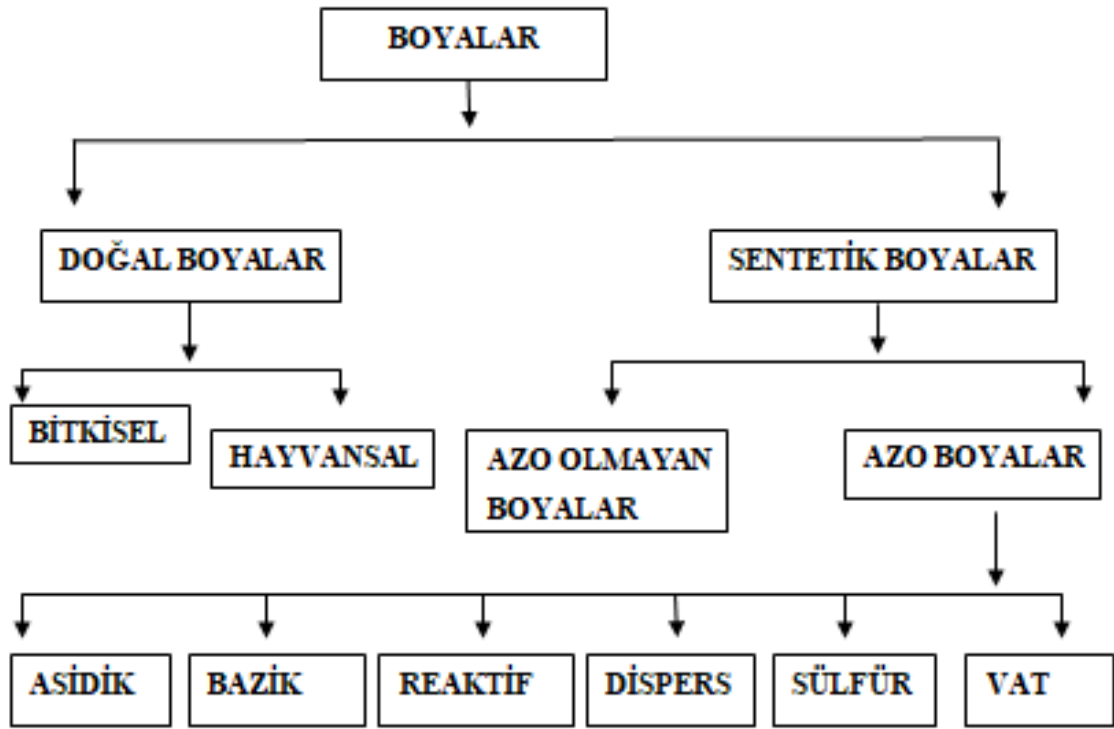
Organik renklendiricilerin bilinen ilk kullanımı bundan 4000 yıl öncesine dayanır ve mavi indigo boyası Mısır mezarlarında yer alan mumyaların sargılarında bulunmuştur. Günümüzde 100000'den fazla ticari boya kullanılmaktadır ve dünya çapında yıllık üretim  $7 \times 10^7$  tondan daha fazladır. Bu boyalar tekstil, gıda, kozmetik ve kağıt baskısı gibi endüstrilerde kullanılmakla birlikte tekstil endüstrisi en büyük boya tüketicisidir (Benkhaya vd., 2017).

Doğal boya terimi bitkiler, hayvanlar ve minerallerden elde edilen tüm boyaları kapsar. Hızla artan nüfus ve bununla birlikte gelişen sanayileşme süreci boyalara olan gereksinimi arttırmış ve doğal boyalar bu ihtiyacı karşılayamamıştır. Sentetik boyalar ise ilk defa 1856 yılında Perkin ve 1871 yılında Woulfe tarafından üretilmiştir. Bu süreçten sonra sentetik boyaların üretimi ve kullanımı hızlanmıştır. Günümüzde ise tekstil endüstrisi sentetik boyaların en yaygın kullanıldığı sanayi kollarından biridir. Boyar maddelerin yaklaşık %70'i tekstil endüstrisi tarafından tüketilmektedir. Özellikle reaktif boyalar, vat boyalar ve azo boyalar pamuklu kumaşların boyama ve baskı işlemlerinde kullanılır (Benkhaya vd., 2017).

Boyalar, uygulamalarına ve kimyasal yapılarına göre sınıflandırılır ve boya renginden sorumlu kromoforlar olarak bilinen bir grup atomdan oluşur. Bu kromofor içeren yapılar azo, antrakınon, nitro, arilmetan, karbonil ve diğerleri gibi çeşitli fonksiyonel gruplara dayanır. Ek olarak, kromoforların rengini şiddetlendiren oksokrom gruplar boya moleküllerinin yapısında bulunur ve en yaygın oksokromlar, amin, karboksil, sülfonat ve hidroksildir (Christie, 2001).

Tekstil boyaları kimyasal yapılarına ve kumaş/malzeme üzerine uygulama türüne göre sınıflandırılabilir. Tekstil boyaları azo boyalar, nitro boyalar, indigo boyalar, antrakınon boyalar, fitaleyn boyalar, trifenil metil boyalar ve nitranlanmış boyalar vb. gibi olmak üzere sınıflandırılabilir. Şekil 2.4 ve Çizelge 2.4'de boyaların sınıfları örnekleri ile birlikte verilmiştir (Benkhaya vd., 2017).



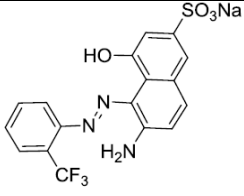

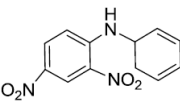
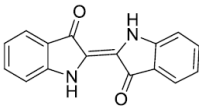
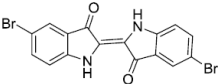
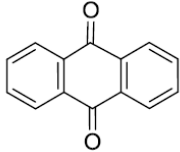
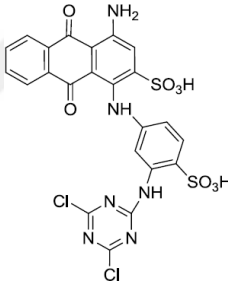
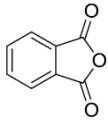
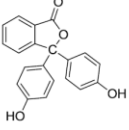
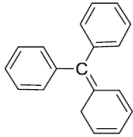
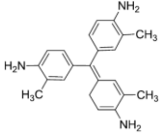
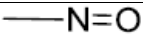
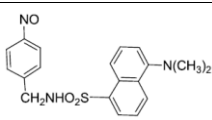


Şekil 2.4. Kimyasal yapısına göre boya türlerine genel bakış (Ajmal vd., 2014).

Boyalar kompleks aromatik moleküler yapıya sahiptir ve genellikle ışığa, sıcaklığa ve oksitleyicilere dirençlidir. Bu karakteristik özellik, boyayı bozunmaz hale getirir ve dolayısıyla biyoakümülyasyona neden olur. Canlı organizmalarda, ciddi hastalıklara ve bozukluklara yol açar (Banerjee ve Chattopadhyaya, 2017).

Günümüzde azo boyaların yıllık üretiminin yaklaşık olarak yıllık bir milyon ton olduğunu belirtmektedir (Fatima vd.,) ve 2000'den fazla farklı azo boya çeşitli sanayi kollarında kullanılmaktadır. Azo boyaların yapısında -N=N- yapısı bulunur ve azo bağı sayısına göre mono azo, diazo ve triazo boyalar mevcuttur (Benkhaya, vd., 2017). Azo boyalar sentetik boyaların en büyük grubunu oluşturmaktadır ve endüstride kullanılan boyaların yaklaşık %70'i azo boyalardır. Tekstil, kozmetik, deri, ilaç, kağıt, baskı ve gıda endüstrisinde kullanılmaktadırlar (Lucas vd., 2007; Aracagök ve Cihangir, 2013).

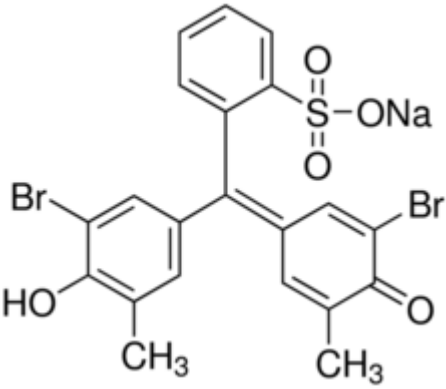
**Çizelge 2.4.** İçerdiği kromofor gruba göre boyaların sınıflandırılması ve örnekleri

Sınıf	Kromofor	Örnek
Azo boyalar	-N=N-	 <p>Acid Red 337</p>
Nitro boyalar		 <p>Dispers yellow 14</p>
İndigo boyalar		 <p>C.I. Vat Blue 35</p>
Antrakinon boyalar		 <p>Reactive Blue 4</p>
Fitaleyn boyalar		 <p>Fenoftaleyn</p>
Trifenil metil boyalar		 <p>Basic violet 2</p>
Nitrozo boyalar		 <p>DNSBA-NO</p>

### 2.11. Bromocresol Purple

Bromocresol Purple özellikle sulu çözeltilerdeki amonyak varlığını belirleyebilme özelliği nedeniyle yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Nordin, vd., 2016). Bromocresol Purple genellikle pH indikatörü (pH: 5,2'nin altında sarı, pH: 6,8'in üzerinde ise menekşe renklidir) olarak kullanılan trifenil metan boyasıdır. Ayrıca serum-albuminin spektrofotometrik tayininde ve plazma membran hasarı olan ölü hücreler için mayada floresan boyama olarak kullanılmıştır. Bu boyama işleminde uygun hücre zarına sahip hücreler boyanmaz iken hasar gören hücreler ise mavi-gri renkli olarak görülür.

**Çizelge 2.4.** Bromocresol Purple hakkında genel bilgi (Abcam Chemical, 2015).

<b>Bromocresol Purple</b>	
Kimyasal İsmi	4,4'-(1,1-Dioxido-3H-2,1-benzoxathiol-3-ylidene)bis[2-bromo-6-methylphenol]
Mol Kütle	540,20 g/mol
Molekül Formülü	C <sub>21</sub> H <sub>16</sub> Br <sub>2</sub> O <sub>5</sub> S
Yapı Formülü	

### 2.12. Literatürde Yer Alan Çalışmalar

Uluözlü ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada *Parmelina tiliaceae* likeni kullanılarak sulu çözeltilerden Pb(II) and Cr(III) iyonlarının biyosorpsiyonu araştırılmıştır. Deneysel çalışmada pH, biyokütle miktarı, temas süresi ve sıcaklık gibi parametreler optimize edilmiştir. *Parmelina tiliaceae* biyokütlesi ile Pb(II) ve Cr(III) iyonlarının biyosorpsiyonu Langmuir, Freundlich ve Dubinin–Radushkevich (D–R)

izoterm modellerine göre incelenmiş ve biyosorpsiyonun Langmuir izoterm modeli ile uyumlu olduğu bulunmuştur. Pb(II) ve Cr(III) iyonları için tek tabaka biyosorpsiyon kapasitesi sırası ile 75,8 mg/g ve 52,1 mg/g olarak hesaplanmıştır. Dubinin–Radushkevich (D–R) izoterm modeline göre serbest enerji Pb(II) için 12,7 kJ/mol ve Cr(III) için 10,5 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler biyokütle yüzeyine her iki iyonun biyosorpsiyonunun kimyasal iyon değişimi ile gerçekleştiğini göstermektedir. Deneysel veriler yalancı birinci dereceden ve ikinci dereceden kinetik modellere göre değerlendirilmiş ve her iki metal iyonu için biyosorpsiyonun yalancı ikinci dereceden kinetik model ile uyumlu olduğu görülmüştür (Uluözlü, vd., 2008).

Hannachi ve Boubaker tarafından yapılan bir çalışmada *Diploicia canescens* likenine ait biyokütle kullanılarak sulu çözeltilerden nikel iyonlarının giderimi araştırılmıştır. Biyosorpsiyon üzerine çözelti pH'ının, biyosorbent miktarının, temas süresinin ve sıcaklığın etkisi araştırılmıştır ayrıca biyosorpsiyon verileri Langmuir, Freundlich ve Dubinin–Radushkevich (D–R) izoterm modellerine göre incelenmiştir. Maksimum Ni biyosorpsiyon kapasitesi çözelti pH' 5'te 4g/L'lik biyosorbent miktarında, 60 dakikalık temas süresi sonunda 20°C sıcaklıkta 66,7 mg/g olarak hesaplanmıştır. Dubinin–Radushkevich (D–R) izoterm modeline göre serbest enerji değeri 11,2 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değer biyokütle yüzeyine nikel iyonu biyosorpsiyonunun kimyasal iyon değişimi ile gerçekleştiğini göstermektedir. Biyosorpsiyon kinetiği yalancı ikinci dereceden kinetik model ile uyumludur ve termodinamik çalışmalar biyosorpsiyon prosesinin kendiliğinden gerçekleştiğini ve ekzotermik olduğunu göstermektedir (Hannachi ve Boubaker, 2016).

Katar ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada *Talaromayces aculeatus* AMDC-14 (KF588645)'dan elde edilen biyokütle Reactive Blue 13, Reactive Blue 72, Reactive Yellow 85 ve Reactive Orange 13 reaktif boyalarının sulu çözeltilerden giderimi amacıyla kullanılmıştır. Biyosorpsiyon üzerine başlangıç çözelti pH'ının (pH:1-7), biyosorbent miktarının (0.1-2.5 g/L), temas süresinin (15-1440 dakika), başlangıç boya derişiminin (10-200 ppm) ve sıcaklığın (25-40 °C) etkisi incelenmiştir. Biyosorpsiyon denge verileri farklı izoterm modellerine göre araştırılmış ve Reactive Blue 13, Reactive Blue 72, Reactive Yellow 85 ve Reactive Orange 13 boyalarının biyosorpsiyonunun Langmuir izoterm modeline uyduğu belirlenmiştir. Ayrıca maksimum biyosorpsiyon kapasitesi Reactive Blue 13, Reactive Blue 72, Reactive Yellow 85 ve Reactive Orange

13 boya için sırası ile 32,10; 71,30; 20,67 ve 31,30 mg/g olarak hesaplanmıştır. Tüm boya için biyosorpsiyon verilerinin yalancı ikinci dereceden kinetik model ile uyumlu olduğu görülmüştür (Katar, vd., 2017).

Wawrzkievicz yaptığı bir çalışmada Amberlite IRA 478RF akrilik anyon değiştirici reçineyi kullanarak anyonik boya giderimini araştırmıştır. Acid Orange 7, Reactive Black 5 ve Direct Blue 71 boya giderimini kesikli yöntem ile araştırılmıştır. Kinetik çalışmalar Direct Blue 71 boyasının yalancı ikinci dereceden kinetik model ile uyumlu olduğu bulunmuştur. Acid Orange 7, Reactive Black 5 ve Direct Blue 71 boya için Langmuir tek tabaka kapasitesi sırası ile 1279,2; 150,5 ve 41,8 mg/g olarak hesaplanmıştır (Wawrzkievicz, 2012).

Akazdam ve diğerleri tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada makrogözenekli güçlü bazik bir anyon değiştirici reçine olan Amberlite FPA-98 kullanılarak kesikli yöntem ile atık sulardan Acid Orange 7 boyasının giderimini araştırmışlardır. Adsorbent FTIR ve X-ışını kırınımı yöntemi kullanılarak karakterize edilmiştir ve FTIR çalışmaları Acid Orange 7 boyasının adsorpsiyonunda kompleksleşme ve iyon değişimi mekanizmalarının etkin olduğunu göstermektedir. Kesikli adsorpsiyon çalışmaları temas süresi, pH, başlangıç boya derişimi, adsorbent miktarı, karıştırma hızı ve çözelti sıcaklığı gibi farklı deneysel şartlarda gerçekleştirilmiştir. Deneysel veriler Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm eşitlikleri kullanılarak incelenmiş; boya adsorpsiyonunun Langmuir izoterm modeli ile uyumlu olduğu belirlenmiş ve Langmuir maksimum tek tabaka adsorpsiyon kapasitesi 200 mg/g olarak hesaplanmıştır. Kinetik incelemeler yalancı birinci dereceden, yalancı ikinci dereceden, Elovich, parçacık içi difüzyon ve Bangham's kinetics modellerine göre araştırılmış ve adsorpsiyonun yalancı ikinci dereceden kinetik model ile uyumlu olduğu gözlenmiştir (Akazdam, vd., 2017).

Silah ve Gül tarafından yapılan bir çalışmada Everzol Black boyasının sulu çözelti ortamından giderimi Amberlyst A21 ile incelenmiştir. pH, temas süresi ve başlangıç boya derişimi gibi değişik parametrelerin boya adsorpsiyonu üzerine etkileri çalışılmıştır. Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleri denge adsorpsiyon verilerinin analzi için kullanılmıştır. Ayrıca adsorpsiyon kinetik verileri yalancı birinci ve ikinci dereceden kinetik modeller kullanılarak incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına

göre Amberlyst A21 ile Everzol Black gidermi Langmur izoterm modeli ve yalancı birinci dereceden adsorpsiyon kinetiği ile tanımlanabilir (Silah ve Gül, 2018).

Pathania ve diğerleri tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada *Ficus carica* biyokütlesinden elde edilen aktif karbon metilen mavisi boyasının giderimi amacıyla kullanılmış ve temas süresinin, başlangıç boya derişiminin, adsorbent miktarının, sıcaklığın ve çözelti pH'nın boya giderimi üzerine etkisi araştırılmıştır. Adsorpsiyon dengesi Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modellerine göre incelenmiş ve adsorpsiyonun hem Langmuir hem de Temkin izoterm modeli ile uyumlu olduğu görülmüştür. Adsorpsiyon yalancı ikinci dereceden kinetik modele uymaktadır. Termodinamik incelemeler sonucu  $\Delta H^\circ$ ,  $\Delta S^\circ$  ve  $\Delta G^\circ$  değerleri sırası ile 21,55 kJ/mol, 76,24 J/mol K ve  $-1,55$  kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Bu verilere göre metilen mavisinin *Ficus carica* biyokütlesinden elde edilen aktif karbon yüzeyine adsorpsiyonu kendiliğinden gerçekleşen endotermik bir prosestir (Pathania, vd, 2017).

Sun ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada çinko klorür ile aktive edilmiş *Enteromorpha prolifera* biyokütlesinden elde edilen aktif karbon Reactive Red 23, Reactive Blue 171 ve Reactive Blue 4 reaktif boyalarının gideriminde kullanılmış ve deneysel çalışma kesikli sistem ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar üç boya için en yüksek yüzde giderim değerlerinin pH 4,5-6,0 olan çözeltilerde elde edildiğini göstermiştir. Termodinamik çalışmalar sonucu adsorpsiyon reaksiyonunun endotermik ve kendiliğinden gerçekleşen bir proses olduğu belirtilmiştir. Reactive Red 23, Reactive Blue 171 ve Reactive Blue 4 için elde edilen adsorpsiyon verileri Langmuir izoterm modeli ile uyumludur ve adsorpsiyon kapasiteleri sırası ile 59,88; 71,94 ve 131,93 mg/g olarak hesaplanmıştır. Deneysel sonuçları yalancı ikinci dereceden kinetik model ile uyumlu olduğu görülmüştür (Sun, vd., 2013).

Aboua ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada meyve kabuklarından elde edilen aktif karbon metilen mavisi ve metil oranj boyalarının sulu çözeltilerden giderimi için kullanılmış ve her iki boya içinde en yüksek yüzde giderim değeri pH'ı 2,0 olan çözeltilerde %98'den yüksek olarak elde edilmiştir. Artan aktif karbon miktarı ile sorpsiyon kapasitesi de artmıştır. Adsorpsiyon kinetikleri yalancı ikinci dereceden kinetik model, denge veriler ise hem Langmuir hem de Freundlich izotermi ile uyumlu bulunmuştur. Termodinamik çalışmalar adsorpsiyon sürecinin

endotermik ve kendiliğinden gerçekleşen bir proses olduğunu göstermektedir (Abouba, vd., 2015).



### 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

#### 3.1. Tez Çalışmasında Kullanılan Biyosorbent ve Adsorbentler

##### 3.1.1. Aktif karbon adsorbentinin hazırlanışı

Deneyisel çalışmalarda kullanılan aktif karbon ticari olarak (Darco type, 242233) Sigma-Aldrich firmasından tedarik edilmiştir. Aktif karbon kullanılmadan önce tanecik boyutunun küçültülmesi amacıyla havan kullanılarak ezilmiştir.

##### 3.1.2. Amberlyst A21

Deneyisel çalışmalarda adsorbent olarak kullanılan Amberlyst A21 (216410 CAS 9049 93-8) Sigma-Aldrich firmasından tedarik edilmiştir. Amberlyst A21 ile adsorpsiyon deneylerine başlamadan önce 80°C'de 2 saat boyunca etüv kullanılarak kurutulup deneyisel çalışmalarda kullanılmıştır.

##### 3.1.3. *Xanthoria parietina* Biyosorbentinin Hazırlanışı

Tez çalışması boyunca biyosorbent olarak kullanılan ve bir liken türü olan *Xanthoria parietina* Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi kampüs bahçesinde bulunan at kestanesi ağaçlarının gövde kabukları üzerinden toplanmıştır. Çalışmalarda kullanmak için kurutulmuş olan likenlerin tanecik boyutları yüzey alanını arttırmak amacıyla öğütücü yardımı ile küçültülmüştür.

#### 3.2. Bromocresol Purple Çözeltisi

Tez çalışmasında kullanılan ve sülfat grubu bulunduran Bromocresol Purple Carlo Erba firmasından tedarik edilmiştir. Bromocresol Purple'ın 5000 mg/L'lik stok çözeltisi laboratuvar ortamında günlük kullanım için taze olarak hazırlanmıştır. Çalışmalarda kullanılan Bromocresol Purple'ın sulu çözeltilerinin pH'ları 0,1 M HCl ve 0,1 M NaOH ile ayarlanmıştır.

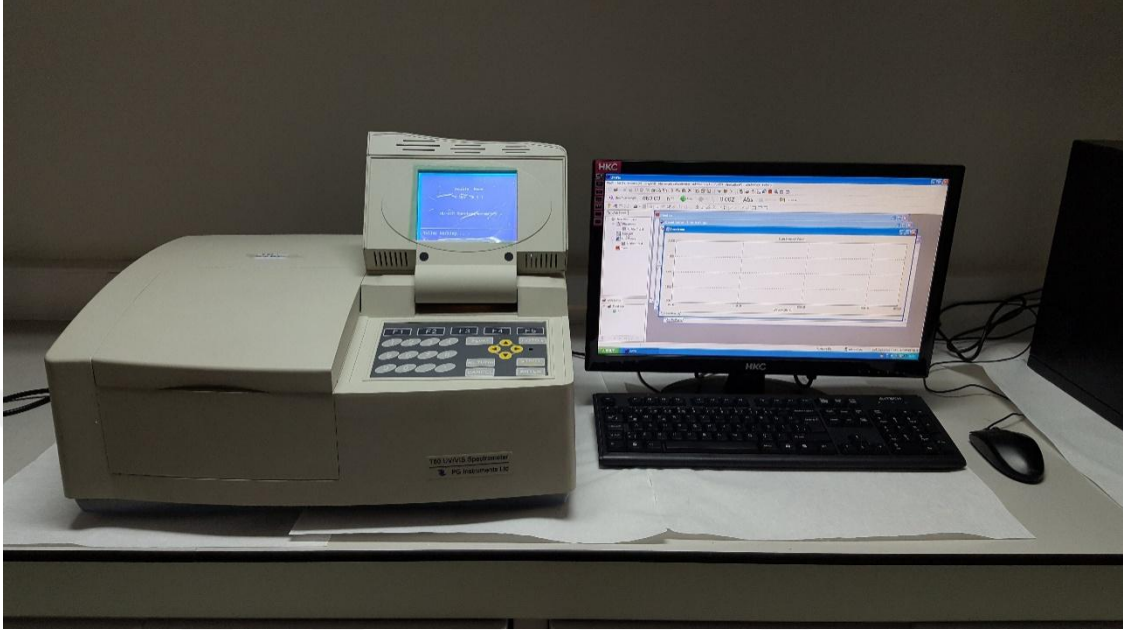
#### 3.3. Deneyisel Çalışmalarda Kullanılan Cihazlar

Hassas terazi: Deneyisel çalışmalarda kullanılan hassas terazi Shimadzu markadır. Bromocresol Purple boyasının, adsorbentlerin ve biyosorbentin tartımları için kullanılmıştır.

pH metre: Çözeltilerin pH ölçümleri Hanna instruments HI 2211 pH / ORP model dijital pH metre kullanılarak yapılmıştır.



Spektrofotometre: Sulu çözeltilerdeki Bromocresol Purple'ın absorbanası T80 UV/VIS Spectrometer PG Instruments marka spektrofotometre kullanılarak ölçülmüştür.



**Şekil 3.1.** Deneysel çalışmalarda kullanılan UV-Vis spektrofotometre

Isıtıcılı Manyetik Karıştırıcı: Adsorpsiyon ve biyosorpsiyon sürecinde ve çözeltiler hazırlanırken yapılan karıştırma ve ısıtma işlemleri için Mika marka 10 noktalı ve sıcaklık kontrollü manyetik karıştırıcı kullanılmıştır.

Otomatik pipet: Deneysel çalışmalar sırasında numune alımları Eppendorf Research Plus marka otomatik pipet kullanılmıştır.



**Şekil 3.2.** Deneysel çalışmalarda kullanılan otomatik pipet.

Santrifüj cihazı: Adsorpsiyon ve biyosorpsiyon işleminin sonunda alınan numunedeki adsorbentler ve biyosorbentler santrifüj cihazı ile çöktürülmüştür.

### 3.4. Kullanılan Yöntem

Bromocresol Purple'ın giderim çalışmaları sıcaklık kontrollü manyetik karıştırıcı kullanılarak gerçekleştirildi. Öncelikle pH ve temas sürelerinin Bromocresol Purple'ın sulu çözeltiden giderimine etkisi araştırıldı. Bu amaçla çözelti pH'ı 2, 4, 6, 8 ve 10'a ayarlanarak farklı pH'da adsorbent olarak aktif karbon ve Amberlyst A21, biyosorbent olarak ise *Xhanthroia parietina* kullanılarak belirli sürelerde ve hacimlerde numune alınarak UV-Visible spektrofotometrede Bromocresol Purple'ın absorbansı ölçüldü. Adsorbentler ve biyosorbent için pH ve dengeye gelme süresi belirlendikten sonra 0,25 g/L, 0,50 g/L, 0,75 g/L, 1,50 g/L ve 2,00 g/L olacak şekilde adsorbentlerin ve biyosorbentin miktarı değiştirilerek Bromocresol Purple'ın giderimi üzerine etkileri incelendi. Bromocresol Purple derişiminin etkisini incelemek için ise 200, 250, 300, 400 ve 500 mg/L olmak üzere farklı başlangıç Bromocresol Purple derişimlerinde adsorpsiyon ve biyosorpsiyon çalışmaları gerçekleştirildi. Bromocresol Purple'ın adsorpsiyonuna sıcaklığın etkisini incelemek amacı ile 25 °C, 35°C ve 45°C'de giderim çalışmaları gerçekleştirildi. Bu çalışmalardan elde edilen veriler yardımı ile adsorpsiyon izotermeleri, kinetik modellere uygunluk ve adsorpsiyon termodinamiği araştırıldı.

#### 4. DENEYSEL BULGULAR

Bu tez çalışmasında, önemli bir endüstriyel atık olan Bromocresol Purple'ın adsorbent olarak aktif karbon ve Amberlyst A21, biyosorbent olarak ise *Xanthoria parietina* kullanılarak uygun adsorpsiyon/biyosorpsiyon şartlarında sulu çözeltiden giderimi araştırılmıştır. Adsorpsiyon ve biyosorpsiyon deneyleri için laboratuvar ortamında Bromocresol Purple içeren sentetik çözeltiler hazırlanmıştır. Adsorpsiyon ve biyosorpsiyon süreci sulu çözeltinin pH değerinden, adsorbent ve adsorbat iyonlarının türünden ve de sulu çözelti ortamındaki davranışlarından etkilenmektedir (Turhobanoglous ve Burton, 1991). Ekonomik bir atık su giderimi için en önemli parametrelerden biri de dengeye gelme süresidir (Chen vd., 2010). Bu nedenlerden dolayı öncelikle adsorbentler ve biyosorbent için en uygun pH değerleri ve dengeye gelme süreleri belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen uygun pH değerleri ve dengeye gelme sürelerinde farklı başlangıç Bromocresol Purple derişimi, adsorbent miktarı ve sıcaklık gibi parametrelerin yüzde giderim üzerine etkisi incelenmiştir. Bromocresol Purple'ın sulu çözeltiden giderimi için elde edilen veriler kullanılarak Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleri ile adsorpsiyon izotermeleri incelenmiştir. Adsorpsiyon kinetiğini incelemek için ise yalancı birinci derece, yalancı ikinci derece ve partikül içi difüzyon modelleri kullanılarak elde edilen veriler yardımı ile uyumluluk durumları incelenmiştir. Sıcaklığın yüzde giderim üzerine etkisi incelenerek adsorpsiyon termodinamiği araştırılmıştır.

##### 4.1. Bromocresol Purple'ın Giderimi Üzerine pH ve Temas Süresinin Etkisi

Literatür çalışmaları sulu çözeltinin pH değerinin boyanın adsorpsiyonunu ve biyosorpsiyonunu önemli derecede etkilediğini göstermektedir. Deneysel çalışmalara öncelikle pH etkisi incelenerek başlanmıştır. Bromocresol Purple çözeltilerinin pH değerleri 2, 4, 6, 8 ve 10'a ayarlanarak Amberlyst A21 ve aktif karbon adsorbentlerinin ve *Xanthoria parietina* biyosorbentinin kullanıldığı çalışmalarda Bromocresol Purple giderimi üzerine pH etkisi incelenmiş ve en yüksek giderimin gözlendiği pH değerleri belirlenmiştir.

pH etkisi incelenirken aynı zamanda adsorbentler ve biyosorbent için en uygun temas süreleri de araştırılmıştır. Adsorpsiyon ve biyosorpsiyon proseslerinde temas süresi önemli bir parametredir ve sulu çözeltilerden boyaların, metallerin, organik ve

inorganik kirleticilerin uzaklaştırılması amacıyla yapılan incelemeler için gereklidir. Deneysel sonuçlarda elde edilen veriler ile her iki adsorbent ve biyosorbent için  $C_e$  (mg/L),  $q_e$  (mg/g) ve yüzde giderim (% G) değerleri aşağıda belirtilen formüller kullanılarak hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4.1-4.3’de verilmiştir.

$$\% \text{ Giderim} = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (4.1)$$

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \cdot V}{m} \quad (4.2)$$

% Giderim ile  $q_e$  değerlerinin hesaplanması amacıyla kullanılan ve 4.1 ve 4.2’de verilen formüllerde;

$C_0$ : Başlangıç Bromocresol Purple derişimini (mg/L, ppm)

$C_e$ : Adsorpsiyon işleminden sonra çözeltide kalan Bromocresol Purple derişimini (mg/L, ppm)

$q_e$ : Adsorbentin birim kütlesi başına adsorplanan Bromocresol Purple miktarını (mg/g)

$m$ : Adsorbentin miktarını (g),

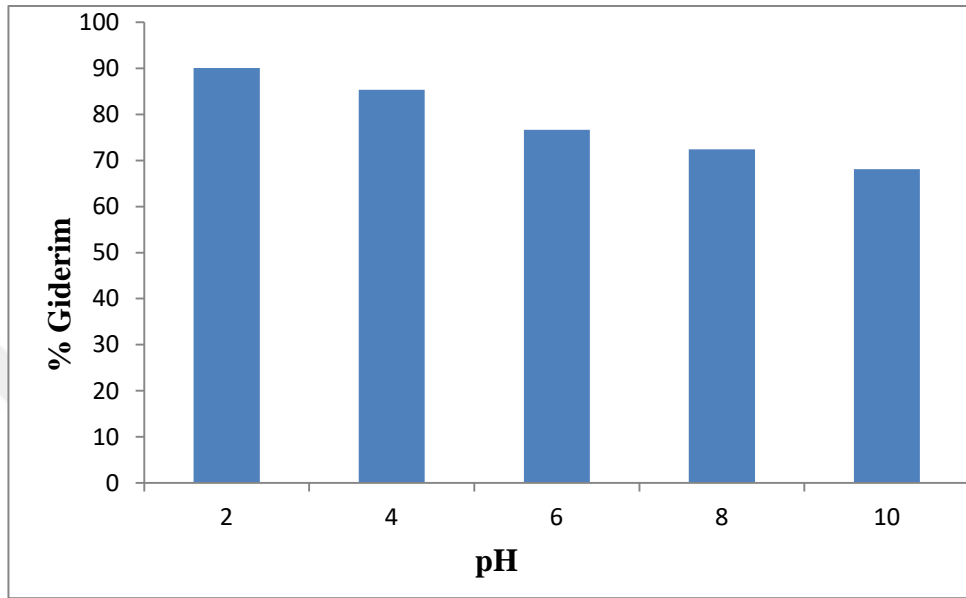
$V$ : Çözelti hacmini (L) göstermektedir.

**Çizelge 4.1.** Bromocresol Purple’ın farklı pH’larda aktif karbon ile adsorpsiyonu sonucu elde edilen % giderim değerleri ( Temas süresi: 90 dk.,  $C_0$ : 100 mg/L,  $t$ : 25 °C,  $m$ : 0,05 g,  $V$ : 0,05 L).

pH	2	4	6	8	10
% Giderim	90,04	85,34	76,66	72,44	68,12

Deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen verilere göre aktif karbon ile Bromocresol Purple’ın sulu çözeltiden en yüksek giderim değeri 90 dakika sonunda pH 2’de % 90,04 olarak, en düşük giderimi değeri ise pH 10’da % 68,12 olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.1’e bakıldığında elde edilen adsorpsiyon çalışmaları

sonucunda Bromocresol Purple için çözelti pH'ı arttıkça yüzde giderim değerlerinin azaldığı söylenebilir. Sonuç olarak Bromocresol Purple'ın aktif karbon adsorbenti ile gideriminde en uygun pH değeri 2 ve en uygun temas süresinin ise 90 dakika olduğu 90 dakikadan sonraki zaman diliminde ise yüzde giderim değerinde çok fazla bir değişim olmadığı sonucuna varılmıştır.



**Şekil 4.1.** Bromocresol Purple'ın aktif karbon ile adsorpsiyonunda pH'ın % giderim üzerine etkisi ( $C_0$ : 100 mg/L,  $t$ : 25 °C,  $m$ : 0,05 g,  $V$ : 0,05 L).

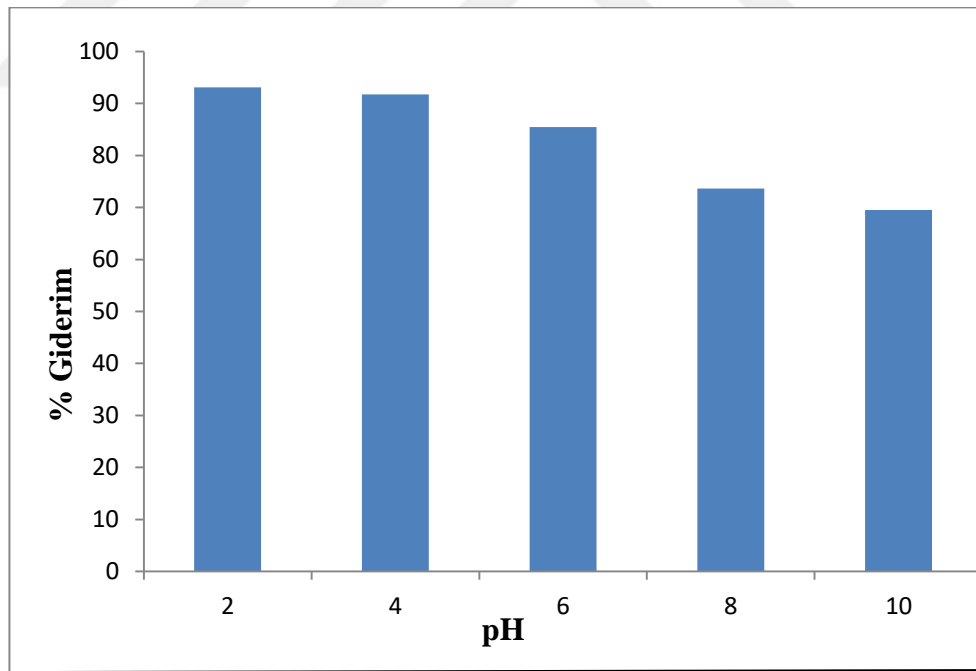
DeneySEL çalışmalar asidik çözeltilerde Bromocresol Purple gideriminin yüksek, bazik çözeltilerde ise Bromocresol Purple gideriminin oldukça düşük olduğunu göstermektedir. Bromocresol Purple anyonik yapıda bir boyadır ve sulu çözeltilerde negatif yüklüdür. Asidik pH değerine sahip çözeltilerde aktif karbon yüzeyinde yer alan fenolik ve karboksilik gruplar protonlanmış ve adsorbentin yüzeyi pozitif yüklü hale gelmiştir. Bromocresol Purple'ın ise negatif yüke sahip olmasından dolayı aktif karbon yüzeyi ve Bromocresol Purple arasında elektriksel bir çekim kuvveti oluşacak ve adsorpsiyon işlemi gerçekleşecektir (Luna, vd., 2013).

Tez çalışmasında kullanılan diğer bir ticari adsorbent ise Amberlyst A21 polimerik reçinesidir. Amberlyst A21 ile Bromocresol Purple adsorpsiyonuna pH'ın etkisi incelenmiş ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.2'de sunulmuştur.

**Çizelge 4.2.** Bromocresol Purple'ın farklı pH'larda Amberlyst A21 ile adsorpsiyonu sonucu elde edilen yüzde giderim değerleri (Temas süresi: 60 dk.,  $C_0$ : 100 mg/L, t: 25 °C, m: 0,05 g, V: 0,05 L).

<b>pH</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>8</b>	<b>10</b>
<b>% Giderim</b>	93,11	91,74	85,49	73,67	69,50

Çizelge 4.2'ye bakıldığında Bromocresol Purple'ın giderimi için Amberlyst A21 ile adsorpsiyonu sonucu en yüksek yüzde giderimin pH 2'de (% 93,11) ve en düşük yüzde giderimin ise pH 10'da (% 69,50) olduğu gözlemlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde Bromocresol Purple'ın Amberlyst A21 ile giderimi için en uygun temas süresi 60 dakika olarak belirlenmiş ve 60. dakikadan sonra ise giderim açısından çok fark gözlemlenmemiştir. Amberlyst A21 ile Bromocresol Purple'ın sulu çözelti ortamından uzaklaştırılmasında pH arttıkça yüzde giderim değerinin azaldığı, temas süresi ile birlikte ise boya gideriminin arttığı belirlenmiştir.



**Şekil 4.2.** Bromocresol Purple'ın Amberlyst A21 ile adsorpsiyonunda pH'nın % giderim üzerine etkisi ( $C_0$ : 100 mg/L, t: 25 °C, m: 0,05 g, V: 0,05 L).

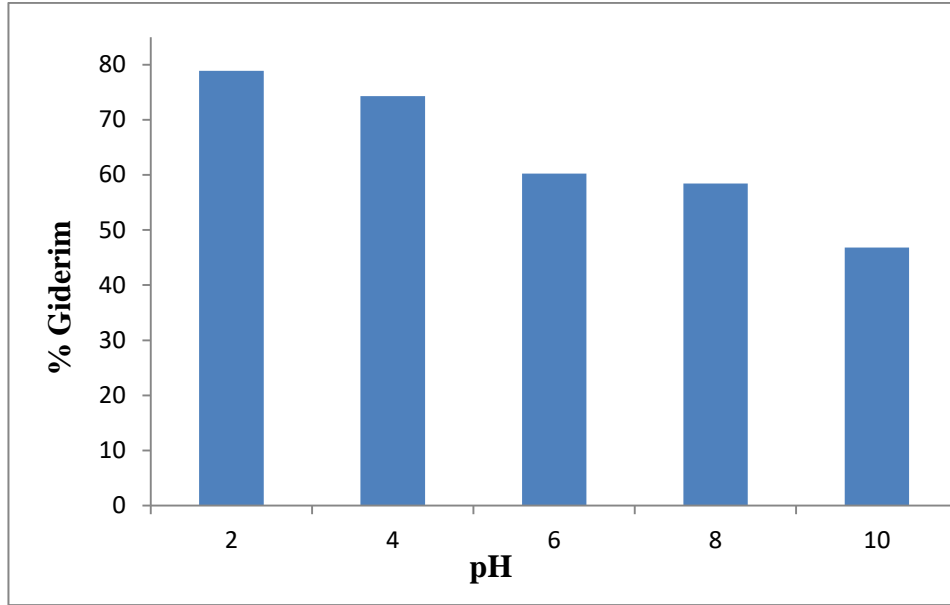
Şekil 4.2 incelendiğinde Amberlyst A21 ile Bromocresol Purple'ın gideriminde en yüksek yüzde giderim değerinin pH 2'de olduğu görülmektedir. Amberlyst A21 yüzeyine Bromocresol Purple adsorpsiyonunun asidik pH değerlerinde yüksek, bazik pH değerlerinde daha düşük olması şu şekilde açıklanabilir; Asidik çözeltilerde Amberlyst A21 yüzeyi protonlanarak pozitif yüklü amin gruplarına sahip olur. Bromocresol Purple'ın molekül yapısı Çizelge 2.5'te verilmektedir. Bromocresol Purple sulu çözeltilerinde iyonlaşarak negatif yük ile yüklenir. Pozitif yük ile yüklenmiş Amberlyst A21 yüzeyi ile çözeltideki negatif yüklü Bromocresol Purple anyonları arasında gerçekleşen elektrostatik etkileşim ile Bromocresol Purple boyasının adsorpsiyonu gerçekleşir ve asidik çözeltilerde Bromocresol Purple giderimi yüksektir. Bazik çözeltilerde ise hem Amberlyst A21 yüzeyinin protonlanması azalacak hemde çözelti de OH<sup>-</sup> iyonlarının derişimi artacaktır. Bazik çözelti ortamında negatif yüklü Bromocresol Purple iyonları ile negatif yüklü OH<sup>-</sup> iyonları arasında Amberlyst A21 yüzeyine adsorpsiyon açısından bir rekabet yaşanacak ve Bromocresol Purple'ın giderimi azalacaktır (Greluck ve Hubicki, 2013).

Tez çalışması kapsamında Bromocresol Purple boyasının giderimi için ticari olarak elde edilen adsorbentlerin yanı sıra Bilecik Şeyh Edebalı Üniversitesi kampüsünde bulunan at kestanesi ağaçlarının gövde kabuklarından toplanan ve bir liken türü olan *Xanthoria parietina*'dan elde edilen biyokütle de kullanılmıştır. *Xanthoria parietina* ile Bromocresol Purple giderimine çözelti pH'ının etkisi araştırılmış ve sonuçlar Çizelge 4.3 ile Şekil 4.3'te verilmiştir.

**Çizelge 4.3.** Bromocresol Purple'ın farklı pH'larda *Xanthoria parietina* ile biyosorpsiyonu sonucu elde edilen yüzde giderim değerleri ( Temas süresi:120 dk., C<sub>0</sub>: 100 mg/L, t: 25 °C, m: 0,05 g, V: 0,05 L).

pH	2	4	6	8	10
% Giderim	78,88	74,27	60,26	58,42	46,84

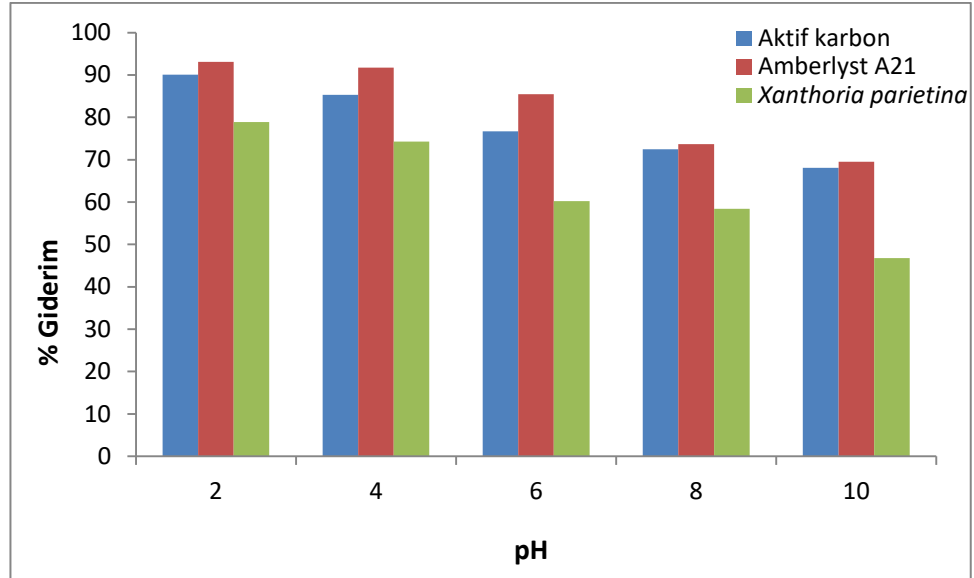
Çizelge 4.3'e göre Bromocresol Purple'ın *Xanthoria parietina* ile gideriminde en yüksek yüzde giderimin pH 2'de (% 78,88) en düşük yüzde giderimin ise pH 10'da (% 46,84) olduğu gözlemlenmektedir.



**Şekil 4.3.** Bromocresol Purple'nin *Xanthoria parietina* ile biyosorpsiyonunda pH'nın yüzde giderim üzerine etkisi ( $C_0$ : 100 mg/L,  $t$ : 25 °C,  $m$ : 0,05 g,  $V$ : 0,05 L).

Şekil 4.3 incelendiğinde Bromocresol Purple'nin *Xanthoria parietina* ile biyosorpsiyonunda en yüksek yüzde giderim değerinin pH 2'de gerçekleştiği görülmektedir. Şekil 4.4'de Bromocresol Purple giderimi için kullanılan adsorbentler ve biyosorbent ile elde edilen yüzde giderim değerleri karşılaştırmalı olarak verilmektedir.





**Şekil 4.4.** Giderim çalışmalarında aktif karbon ve Amberlyst A21 adsorbentleri ve *Xanthoria parietina* biyosorbenti ile farklı pH'larda elde edilen % giderim değerleri ( $C_0$ : 100 mg/L, t: 25 °C).

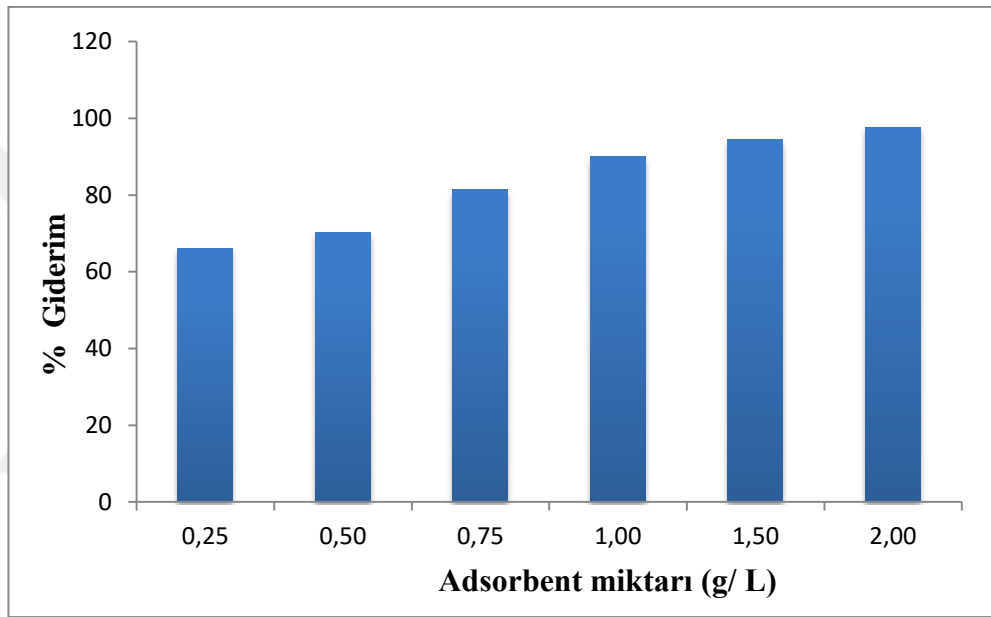
Tüm adsorbentler ve biyosorbentler için elde edilen sorpsiyon sonuçları incelendiğinde Bromocresol Purple'nın sulu çözeltiden gideriminde en uygun pH değerinin 2 olduğu ve pH değeri arttıkça yüzde giderimin azaldığı gözlemlenmiştir. Nordin ve arkadaşları (2016) tarafından yapılan bir çalışmada Bromocresol Purple'nın anyonik özellikte bir boya olduğu belirtilmiştir. Elde edilen sonuç şu şekilde açıklanabilir; asidik çözelti pH'larında kısmen pozitif yüklü adsorbent yüzeyi ve anyonik boya arasında gerçekleşen elektrostatik etkileşim ile boyanın adsorpsiyonu gerçekleşmektedir (Pan ve Xing, 2008; Lin ve Xing, 2008; Mishra vd., 2010). Elde edilen veriler literatür sonuçları ile uyum göstermektedir.

#### 4.2. Bromocresol Purple'nın Giderimi Üzerine Adsorbent Miktarının Etkisi

Bromocresol Purple'nın sulu çözeltiden gideriminde Amberlyst A21 ve aktif karbon adsorbentleri için uygun pH değerleri belirlendikten sonra adsorbent miktarları 0,25 g/L, 0,50 g/L, 0,75 g/L, 1,00 g/L ve 2,00 g/L olarak değiştirilip yüzde boya giderimi üzerine etkisi incelenmiştir.

**Çizelge 4.4.** Bromocresol Purple'ın % giderim değerleri üzerine Aktif karbon miktarının etkisi (Temas süresi: 90 dk.,  $C_0$ : 100 mg/L, t: 25 °C, V: 0,05 L).

Adsorbent miktarı (g/L)	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
% Giderim	66,11	70,23	81,42	90,04	94,38	97,70

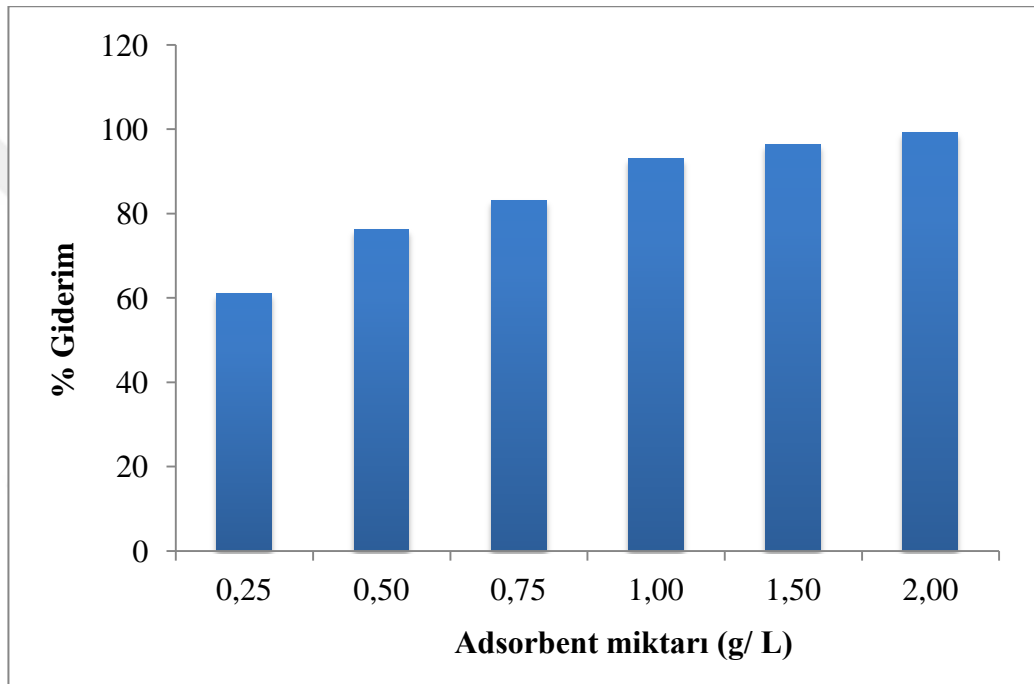


**Şekil 4.5.** Bromocresol Purple'ın aktif karbon ile adsorpsiyonunda adsorbent miktarının % giderim üzerine etkisi (pH: 2,  $C_0$ : 100 mg/L, t: 25 °C, V: 0,05 L).

Bromocresol Purple'ın sulu çözeltilerden gideriminde Amberlyst A21 için uygun pH değeri 2 olarak belirlendikten sonra adsorbent miktarları 0,25 g/L, 0,50 g/L, 0,75 g/L, 1,00 g/L ve 2,00 g/L olarak değiştirilip yüzde giderim üzerine etkisi incelenerek elde edilen veriler Çizelge 4.5'de sunulmuştur.

**Çizelge 4.5.** Amberlyst A21 ile Bromocresol Purple adsorpsiyonunda % giderim değerlerinin adsorbent miktarı ile değişimi (Temas süresi: 60dk.,  $C_0$ : 100 mg/L, t: 25 °C, V: 0,05 L).

Adsorbent miktarı (g/L)	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00
% Giderim	61,04	76,26	83,15	93,11	96,49	99,12



**Şekil 4.6.** Bromocresol Purple'ın Amberlyst A21 ile adsorpsiyonunda % giderim değerlerinin adsorbent miktarı ile değişimi ( $C_0$ : 100 mg/L, t: 25 °C, V: 0,05 L).

Bromocresol Purple'ın farklı miktarlarda Amberlyst A21 ile adsorpsiyonu incelendiğinde Çizelge 4.5'deki sonuçlar adsorbent miktarı arttıkça yüzde giderimin arttığı göstermektedir. Bu sonuca göre sabit boya derişiminde adsorbent miktarı arttıkça yüzey alanı ve boyayı adsorplayacak olan aktif bölge sayısı artacağından yüzde boya gideriminin de artacağı söylenebilir (Rengaraj, vd., 2001).

Aktif karbon ve Amberlyst A21 miktarının artışı ile birlikte boyanın giderim yüzdesinin artışının temel sebebi adsorbent miktarı ile orantılı olarak adsorbentin yüzey alanının ve adsorpsiyona elverişli bölge sayısının artışıdır (Mall, vd., 2006). Adsorbent

miktarı etkisinin incelendiği çalışmalara ait veriler incelendiğinde adsorbent miktarı arttıkça Bromocresol Purple boyasına ait yüzde giderim değerlerinin de arttığı görülmektedir. Literatürde yer alan çalışmalar adsorbent miktarının artmasıyla beraber adsorbent yüzeyindeki sorpsiyon birimleri de artacağı için giderim yüzdesinin arttığını göstermektedir (Yagub, vd., 2014). Elde edilen deneysel sonuçların literatür ile uyumlu olduğu görülmektedir.

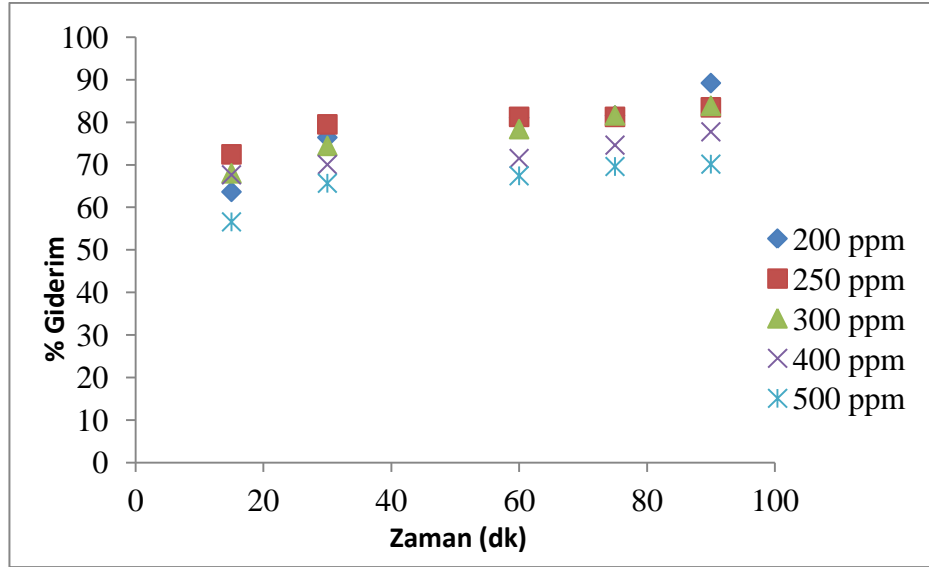
#### 4.3. Bromocresol Purple'ın Giderimi Üzerine Başlangıç Boya Derişiminin Etkisi

Çözeltide yer alan adsorbat iyonlarının başlangıç konsantrasyonunun giderim üzerine etkisi önemlidir. Bromocresol Purple'ın sulu ortamdan giderimi için belirlenen en uygun pH ve dengeye gelme süresinde başlangıç Bromocresol Purple derişimi 200, 250, 300, 400 ve 500 mg/L olan çözeltiler kullanılmış ve  $C_e$ ,  $q_e$  ve % giderim değerleri hesaplanmıştır.

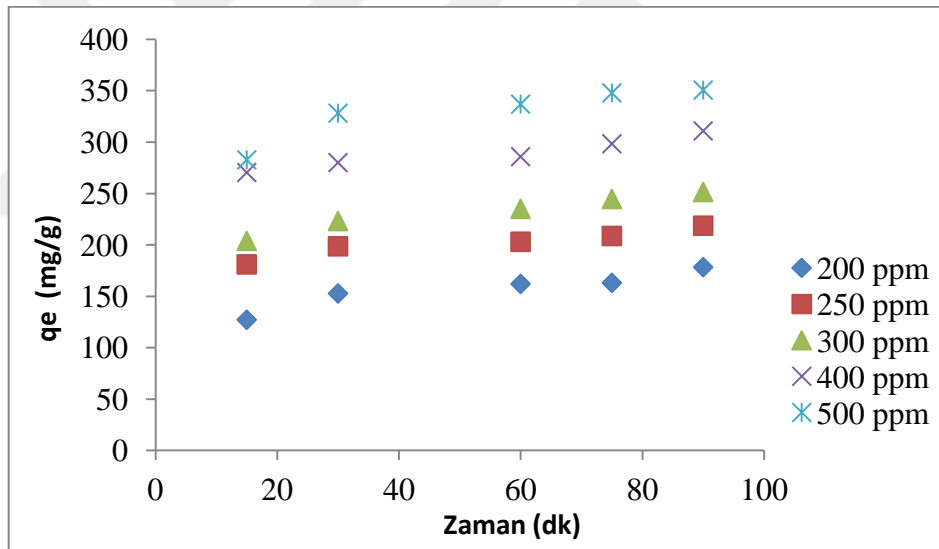
Adsorbent olarak aktif karbon kullanılan çalışmalarda farklı başlangıç derişimlerinde Bromocresol Purple için elde edilen değerler Çizelge 4.6'da verilmiştir.

**Çizelge 4.6.** Aktif karbon ile Bromocresol Purple adsorpsiyonunda  $q_e$  değerleri üzerine boya derişiminin etkisi (pH: 2, t:25 °C, m:0,05 g, V:0,05 L).

<b>Bromocresol Purple başlangıç derişimi (mg/L)</b>	<b>200</b>	<b>250</b>	<b>300</b>	<b>400</b>	<b>500</b>
<b><math>q_e</math> (mg/g)</b>	178,41	218,75	251,54	310,95	350,66



**Şekil 4.7.** Aktif karbon ile Bromocresol Purple adsorpsiyonunda başlangıç derişiminin yüzde giderim üzerine etkisi (pH: 2, t:25 °C, m:0,05 g, V:0,05 L).



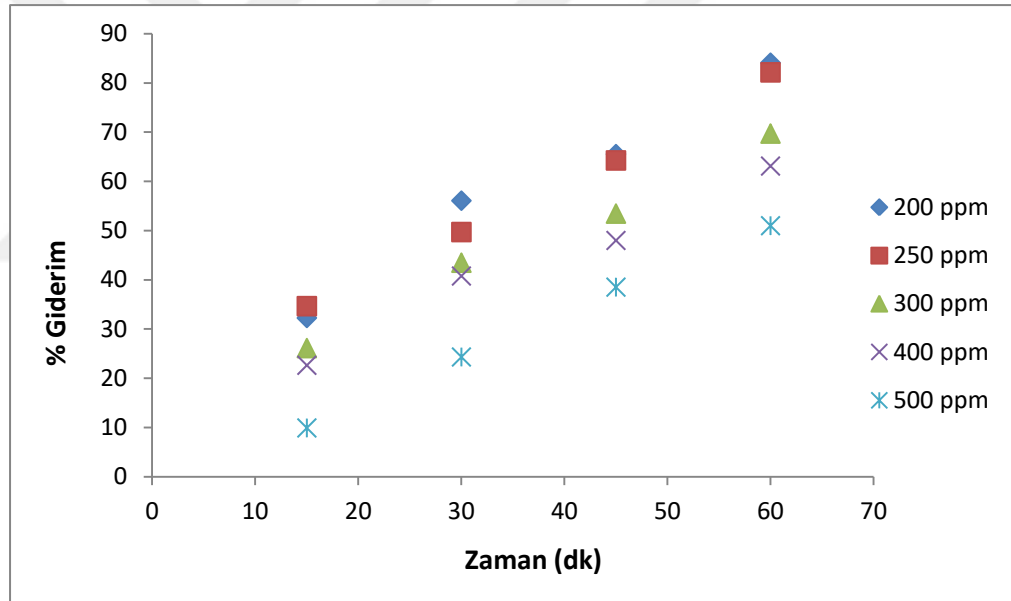
**Şekil 4.8.** Aktif karbon ile Bromocresol Purple adsorpsiyonunda başlangıç derişiminin  $q_e$  değerleri üzerine etkisi (pH: 2, t:25 °C, m:0,05 g, V:0,05 L).

Aktif karbon kullanılarak başlangıç Bromocresol Purple derişiminin adsorpsiyon üzerine etkisi ile ilgili deneysel sonuçlar (Çizelge 4.6) incelendiğinde başlangıç Bromocresol Purple derişimi arttıkça  $q_e$  değerlerinin de arttığı görülmektedir. 200 mg/L'lik Bromocresol Purple derişiminde  $q_e$  değeri 178,41 mg/g iken 500 mg/L'lik Bromocresol Purple derişiminde  $q_e$  değeri 350,66 mg/g'dır. Ancak Şekil 4.7 incelendiğinde başlangıç Bromocresol Purple derişimi arttıkça yüzde giderim

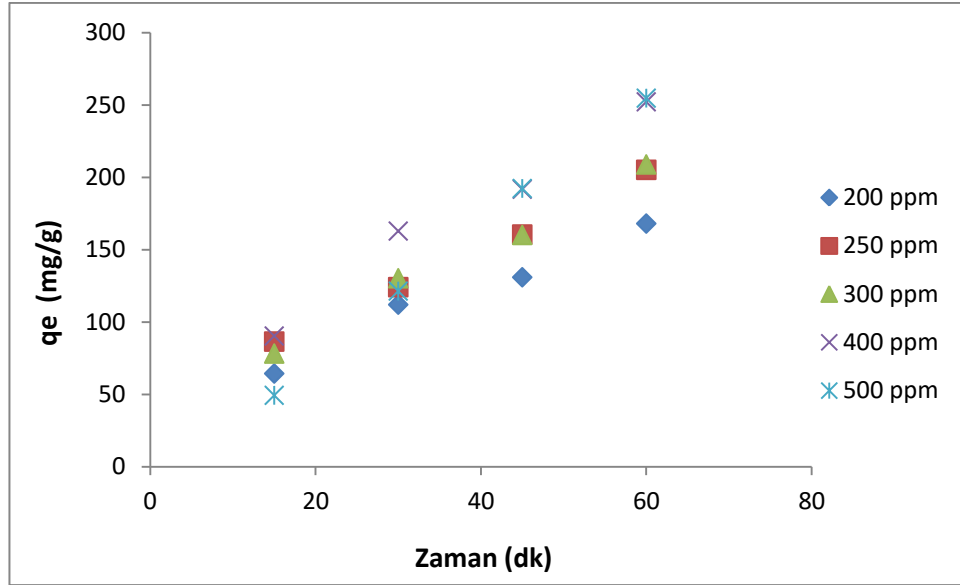
değerlerinin düştüğü görülmektedir. Sulu çözeltide yer alan boya derişimindeki artışa bağı olarak ortaya çıkan adsorpsiyon yüzdesindeki azalma, boya adsorpsiyonu için adsorbent yüzeyinde yeterince aktif bölgenin olmamasından kaynaklanır. Ayrıca, adsorplanmış negatif yüklü iyonlar arasındaki elektrostatik itmenin adsorpsiyon yüzdesinde ortaya çıkan azalma üzerine tesiri olmaktadır (Guo, vd., 2002).

**Çizelge 4.7.** Amberlyst A21 ile Bromocresol Purple adsorpsiyonunda  $q_e$  değerleri üzerine boya derişiminin etkisi (pH: 2, t:25 °C, m:0,05 g, V:0,05 L).

Bromocresol Purple başlangıç derişimi (mg/L)	200	250	300	400	500
$q_e$ (mg/g)	168,13	205,27	209,02	252,30	254,82



**Şekil 4.9.** Amberlyst A21 ile Bromocresol Purple adsorpsiyonunda başlangıç derişiminin yüzde giderim üzerine etkisi (pH: 2, t:25 °C, m:0,05 g, V:0,05 L).



**Şekil 4.10.** Amberlyst A21 ile Bromocresol Purple adsorpsiyonunda başlangıç derişiminin  $q_e$  değerleri üzerine etkisi (pH: 2, t:25 °C, m:0,05 g, V:0,05 L).

Amberlyst A21 kullanılarak başlangıç Bromocresol Purple derişiminin adsorpsiyon üzerine etkisi ile ilgili deneysel sonuçlar (Çizelge 4.7) incelendiğinde başlangıç Bromocresol Purple derişimi arttıkça  $q_e$  değerlerinin de arttığı görülmektedir. 200 mg/L'lik Bromocresol Purple derişiminde  $q_e$  değeri 168,13 mg/g iken 500 mg/L'lik Bromocresol Purple derişiminde  $q_e$  değeri 254,82 mg/g'dır. Ancak Şekil 4.9 incelendiğinde başlangıç Bromocresol Purple derişimi arttıkça yüzde giderim değerlerinin düştüğü görülmektedir.

*Xanthoria parietina* kullanılarak başlangıç Bromocresol Purple derişiminin biyosorpsiyon üzerine etkisi ile ilgili deneysel sonuçlar incelendiğinde başlangıç Bromocresol Purple derişimi arttıkça  $q_e$  değerlerinin de arttığı görülmektedir. 200 mg/L'lik Bromocresol Purple derişiminde  $q_e$  değeri 150,94 mg/g iken 500 mg/L'lik Bromocresol Purple derişiminde  $q_e$  değeri 255,95 mg/g'dır.

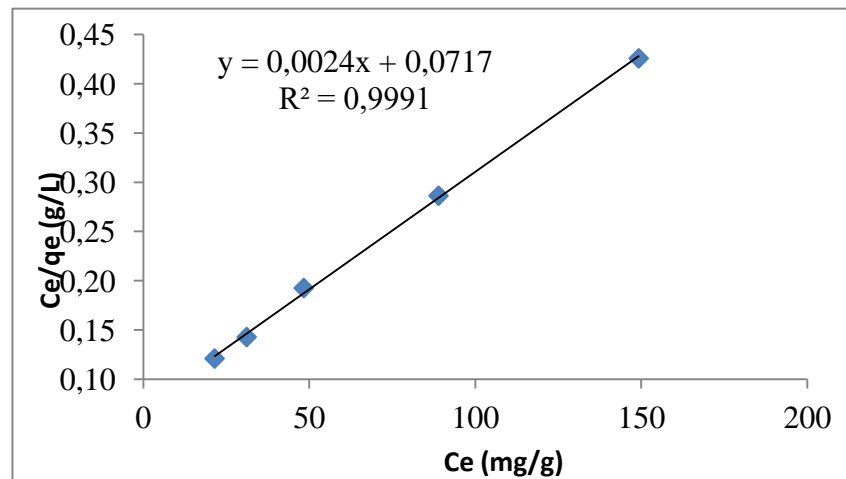
#### 4.4. İzoterm İncelemeleri

Adsorpsiyon izotermi, adsorpsiyon prosesi denge durumuna ulaştığında adsorbe olan moleküllerin sıvı ve katı fazlar arasındaki dağılımı hakkında bilgi verir. Adsorpsiyon denge sonuçlarının farklı izoterm modellerine ve eşitliklerine göre analizi, adsorpsiyon prosenin tasarımı için kullanılacak en uygun modelin belirlenmesinde

önemli bir adımdır (Hameed, vd., 2007). Bu tez çalışmasında Bromocresol Purple'ın sulu çözeltiden giderimi için adsorbent olarak aktif karbon ve Amberlyst A21 ile biyosorbent olarak ise *Xanthoria parietina* kullanılarak yapılan her çalışma sonucunda elde edilen denge verileri Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleri kullanılarak incelenmiş ve tüm modeller için izoterm sabitleri hesaplanmıştır.

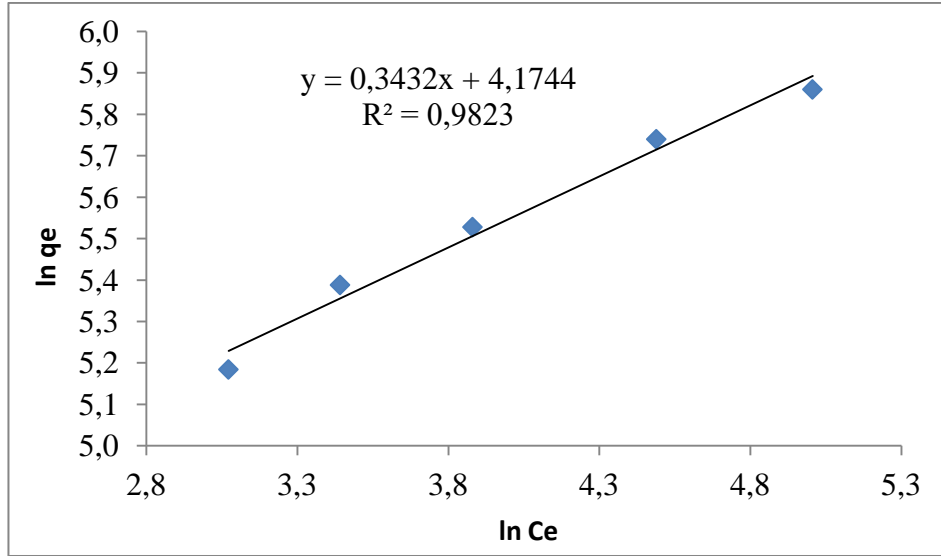
#### 4.4.1. Bromocresol Purple'ın aktif karbon ile adsorpsiyonunda izoterm incelemeleri

Bromocresol Purple'ın aktif karbon ile adsorpsiyon sonuçları kullanılarak Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modellerine uygunluğu incelenmiştir. Adsorpsiyon izoterm araştırmaları için 25°C'de, pH 2'de 200, 250, 300, 400 ve 500 mg/L'lik başlangıç derişiminde yapılan deneysel incelemeler sonucu elde edilen veriler kullanılmıştır. Birinci aşamada Langmuir izoterm modeli incelenmiş ve elde edilen veriler  $\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L} + \frac{1}{q_m} C_e$  Langmuir eşitliği kullanılarak  $C_e$ 'ye karşı  $C_e/q_e$  değerleri grafiğe geçirilmiştir. İkinci aşamada Freundlich izoterm modeline uygunluk araştırılmış ve  $\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e$  eşitliği kullanılarak  $\ln C_e$ 'ye karşı  $\ln q_e$  değerleri grafiğe geçirilmiştir. Son aşamada ise Temkin izoterm modeline uygunluğun incelenmesi amacıyla  $q_e = B \ln A_T + B \ln C_e$  eşitliği kullanılmış ve  $\ln C_e$  değerine karşı  $q_e$  değeri grafiğe geçirilmiştir. Tüm izoterm sonuçları Çizelge 4.8'de verilmiştir.

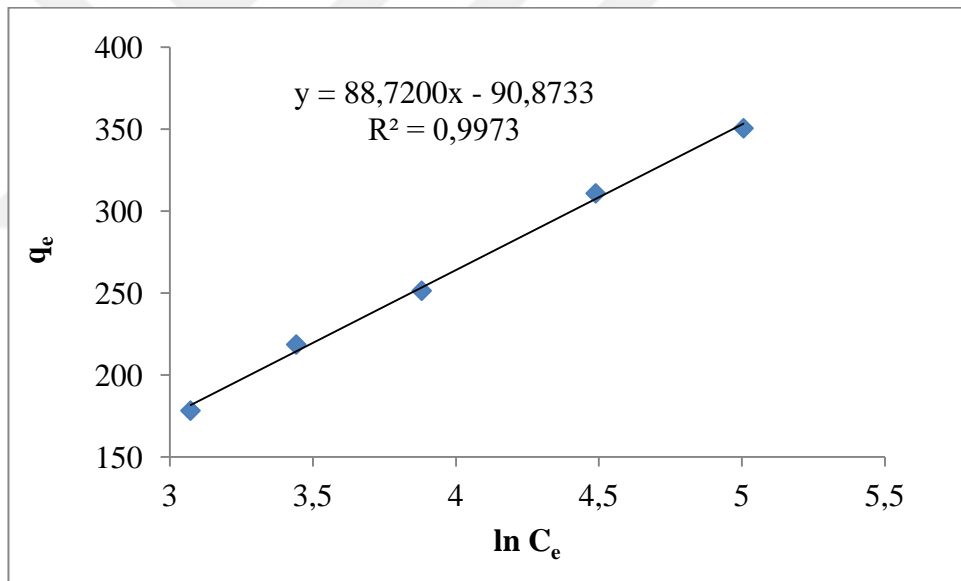


**Şekil 4.11.** Aktif karbon adsorbenti ile Bromocresol Purple'ın adsorpsiyonu için elde edilen Langmuir izoterm grafiği.





**Şekil 4.12.** Aktif karbon adsorbenti ile Bromocresol Purple'in adsorpsiyonu için elde edilen Freundlich izoterm grafiği.



**Şekil 4.13.** Aktif karbon adsorbenti ile Bromocresol Purple'in adsorpsiyonu için elde edilen Temkin izoterm grafiği.

**Çizelge 4.8.** Bromocresol Purple'ın aktif karbon ile adsorpsiyonu için elde edilen izoterm eşitlikleri ve hesaplanan izoterm sabitleri.

Langmuir İzoterm Eşitliği	$R^2$	$K_L$	$q_m$	
$y = 0,0024x + 0,0717$	0,9991	0,033	416,67	
Freundlich İzoterm Eşitliği	$R^2$	$K_F$	$1/n$	N
$y = 0,3432x + 4,1744$	0,9823	65,00	0,34	2,94
Temkin İzoterm Eşitliği	$R^2$	B	$A_T$	
$y = 88,7200x - 90,8733$	0,9973	88,72	0,36	

Bromocresol Purple boyasının aktif karbon ile adsorpsiyonu için üç izoterm modeli incelenmiştir. İzoterm grafiklerine ait korelasyon katsayıları incelendiğinde Langmuir izotermine ait korelasyon katsayısının 0,9991 olduğu ve diğer izotermelere ait korelasyon katsayılarından daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu nedenle aktif karbon yüzeyine Bromocresol Purple adsorpsiyonunun Langmuir izoterm modeline uyduğu söylenebilir. Langmuir izoterm eşitliğine göre Bromocresol Purple adsorpsiyonunda aktif karbon için  $q_m$  değeri 416,67 mg/g,  $K_L$  değeri ise 0,033 L/mg olarak bulunmuştur. Sonuçlara göre Bromocresol Purple'ın aktif karbon yüzeyine maksimum adsorpsiyon kapasitesi 416,67 mg/g'dır.

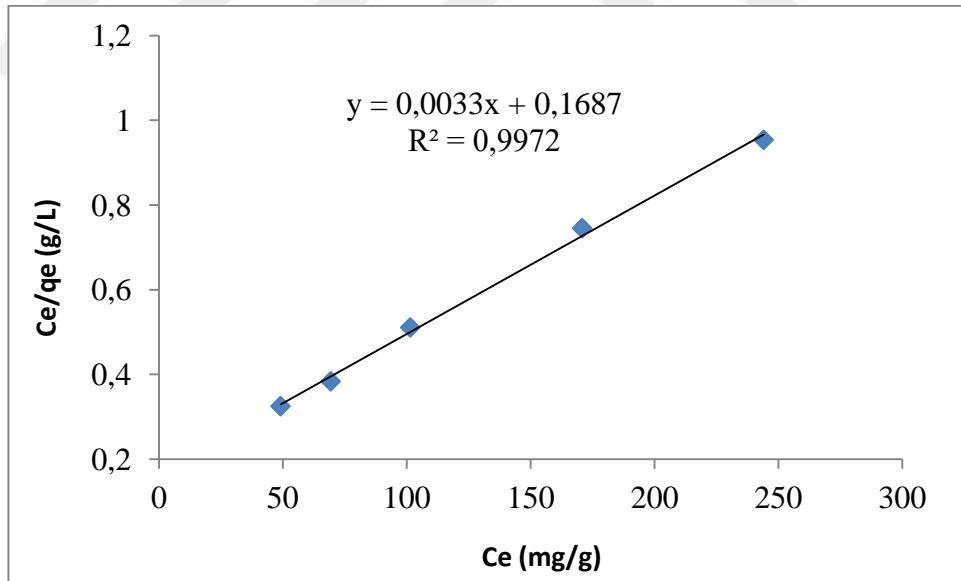
Langmuir izoterm modeli, adsorpsiyonun sabit sıcaklıkta adsorbat molekülerinin tek tabaka halinde adsorbent yüzeyine bağlandığını ve adsorbe olan adsorbat molekülleri arasında bir etkileşim olmadığını varsayar. Her bir adsorbat yalnızca bir aktif bölgeyi işgal edebilir ve bu bölgede başka bir adsorpsiyon meydana gelmez. Son olarak, adsorbat desorbe oluncaya kadar aktif bölgede kalır (Othman ve Amin, 2003).

Bromocresol Purple'ın aktif karbon ile adsorpsiyonuna ait veriler Freundlich izoterm modeli kullanılarak analiz edilmiş ve  $1/n$  değeri 0,34,  $n$  değeri ise 2,94 olarak hesaplanmıştır. Heterojenite faktörü olan  $1/n$  değerinin 0-1 aralığında olması adsorbent adsorbat için etkin bir adsorbent olduğunun ve adsorbent yüzeyin heterojenitesinin oldukça yüksek olduğunun göstergesidir.

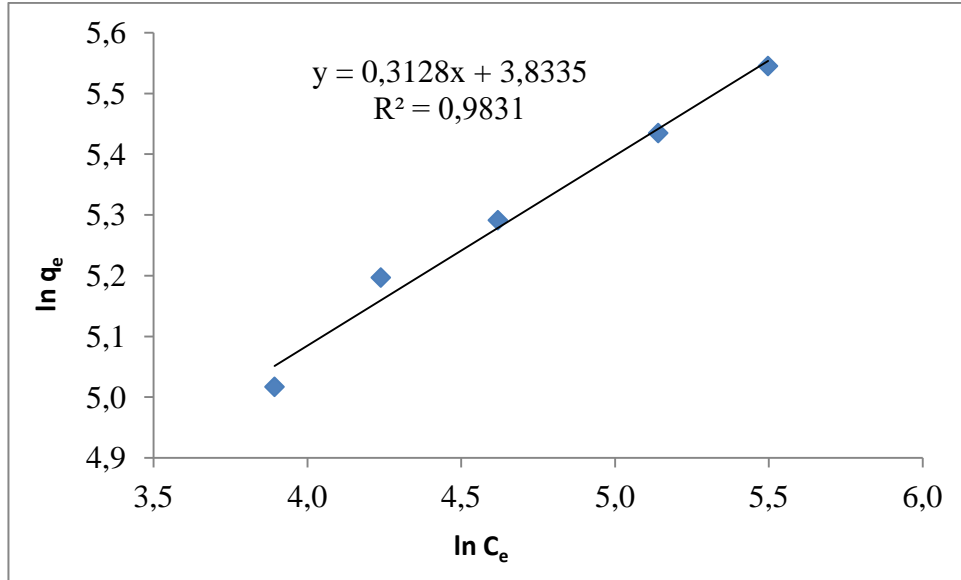
Bromocresol Purple'ın aktif karbon ile adsorpsiyonuna ait veriler Temkin izoterm modeli kullanılarak analiz edilmiştir. Temkin izoterm modeli, adsorpsiyon ısısının adsorpsiyon işleminin derecesinin artması ile lineer olarak azaldığını varsayan adsorbent ve adsorbat arasındaki etkileşime dayanır (Wang, vd., 2018). Sonuçlara göre aktif karbon yüzeyine Bromocresol Purple adsorpsiyonunda tabakadaki moleküllerin tümüne ait adsorpsiyon ısısı yüzey kaplandıkça doğrusal olarak azalmaktadır.

#### 4.4.2. Bromocresol Purple'ın *Xanthoria parietina* ile biyosorpsiyonunda izoterm incelemeleri

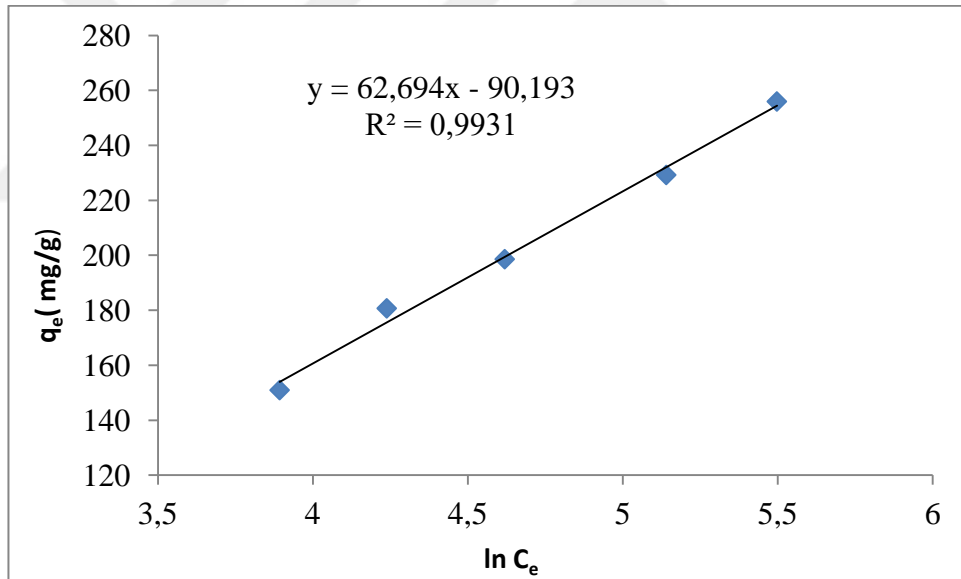
Bromocresol Purple'ın *Xanthoria parietina* ile biyosorpsiyonu için sırasıyla Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleri ile uyumluluk durumu incelenmiştir. Biyosorpsiyon izoterm modellerini incelemek amacıyla 25°C'de 200, 250, 300, 400 ve 500 mg/L'lik farklı başlangıç derişimleri ile yapılan deneysel verilerden elde edilen biyosorpsiyon sonuçları kullanılmış ve sonuçlar Çizelge 4.9'de verilmiştir.



**Şekil 4.14.** *Xanthoria parietina* biyosorbenti ile Bromocresol Purple'ın biyosorpsiyonu için elde edilen Langmuir izoterm grafiği.



**Şekil 4.15.** *Xanthoria parietina* biyosorbenti ile Bromocresol Purple'ın biyosorpsiyonu için elde edilen Freundlich izoterm grafiği.



**Şekil 4.16.** *Xanthoria parietina* biyosorbenti ile Bromocresol Purple'ın biyosorpsiyonu için elde edilen Temkin izoterm grafiği.

**Çizelge 4.9.** Bromocresol Purple'nın *Xanthoria parietina* ile biyosorpsiyonundan elde edilen izoterm eşitlikleri ve hesaplanan izoterm sabitleri.

Langmuir İzoterm Eşitliği	$R^2$	$K_L$	$q_m$	
$y = 0,0033x + 0,1687$	0,9972	0,02	303,03	
Freundlich İzoterm Eşitliği	$R^2$	$K_F$	$1/n$	$N$
$y = 0,3128x + 3,8335$	0,9831	46,22	0,31	3,23
Temkin İzoterm Eşitliği	$R^2$	$B$	$A_T$	
$y = 62,694x - 90,193$	0,9931	62,69	4,22	

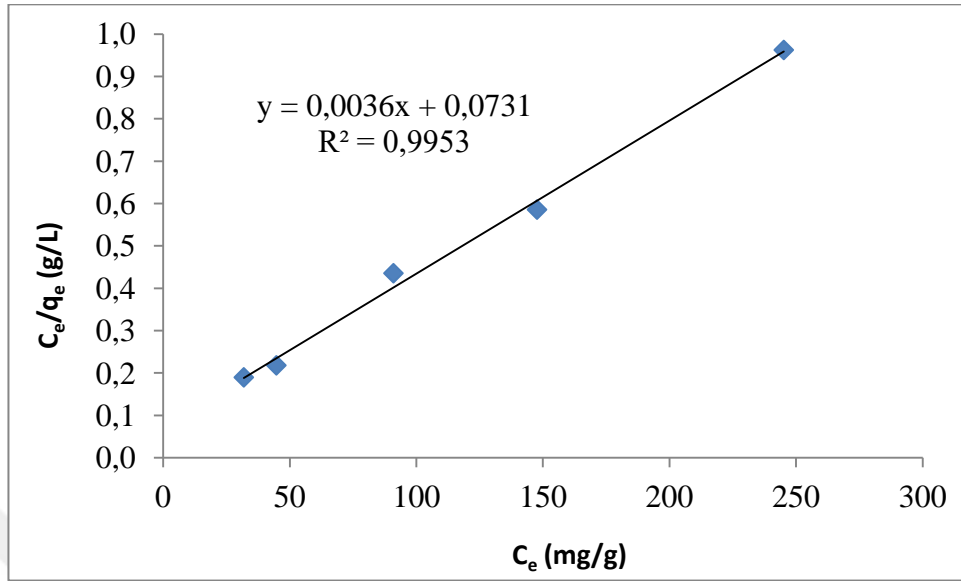
Bromocresol Purple boyasının *Xanthoria parietina* ile biyosorpsiyonu için üç izoterm modeli incelenmiştir. İzoterm grafiklerine ait korelasyon katsayıları incelendiğinde Langmuir izotermine ait korelasyon katsayısının 0,9972 olduğu ve diğer izotermelere ait korelasyon katsayılarından daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu nedenle *Xanthoria parietina* yüzeyine Bromocresol Purple biyosorpsiyonunun Langmuir izoterm modeline uyduğu söylenebilir. Langmuir izoterm eşitliğine göre Bromocresol Purple biyosorpsiyonunda *Xanthoria parietina* için  $q_m$  değeri 303,03 mg/g,  $K_L$  değeri ise 0,02 L/mg olarak bulunmuştur. Sonuçlara göre Bromocresol Purple'nın *Xanthoria parietina* yüzeyine maksimum biyosorpsiyon kapasitesi 303,03 mg/g'dır ve bu değer oldukça yüksektir.

Temkin izoterm modeli için korelasyon katsayısı değerinin ( $R^2 = 0,9931$ ) oldukça yüksek ve 1,0'e yakın olması *Xanthoria parietina* ile biyosorpsiyon prosesinin Temkin izotermi ile de uyumlu olduğunu göstermektedir.

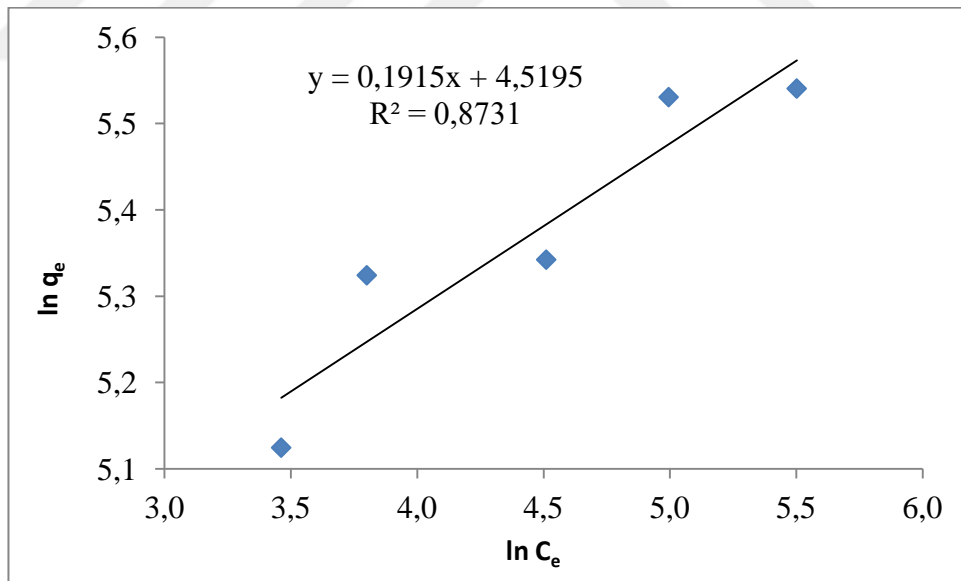
#### **4.4.3. Bromocresol Purple'nın Amberlyst A21 ile adsorpsiyonunun izoterm incelemeleri**

Bromocresol Purple'nın Amberlyst A21 ile adsorpsiyonu için Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleri ile çalışılmıştır. Adsorpsiyon izoterm modellerini incelemek için 25°C'de 200, 250, 300, 400 ve 500 mg/L'lik başlangıç

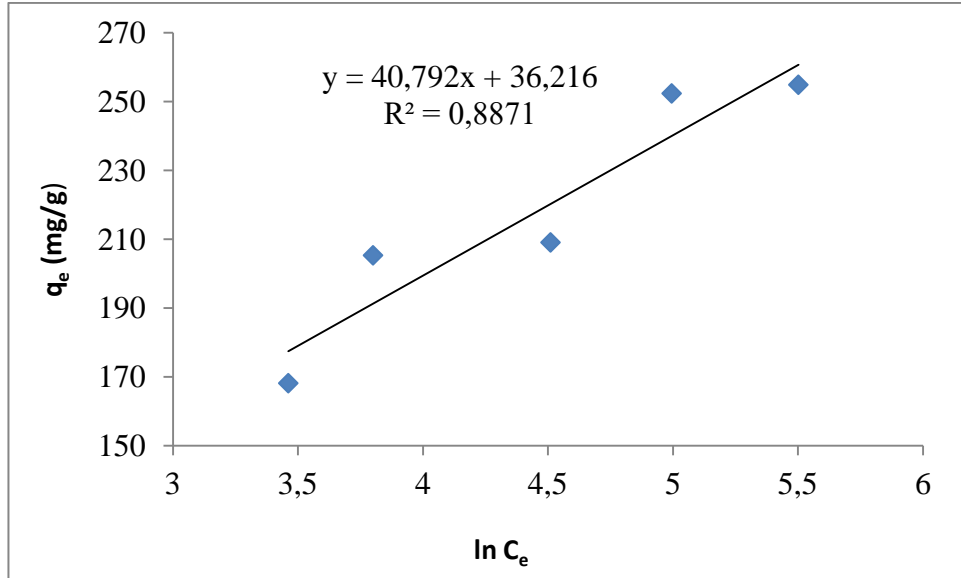
derişimleri ile yapılmış olan deneysel çalışmalardan elde edilen veriler kullanılmıştır. Tüm izoterm sonuçları Çizelge 4.10'da verilmiştir.



**Şekil 4.17.** Amberlyst A21 adsorbenti ile Bromocresol Purple'ın adsorpsiyonu için elde edilen Langmuir izoterm grafiği.



**Şekil 4.18.** Amberlyst A21 adsorbenti ile Bromocresol Purple'ın adsorpsiyonu için elde edilen Freundlich izoterm grafiği.



**Şekil 4.19.** Amberlyst A21 adsorbenti ile Bromocresol Purple’ın adsorpsiyonu için elde edilen Temkin izoterm grafiği.

**Çizelge 4.10.** Bromocresol Purple’ın Amberlyst A21 ile adsorpsiyonundan elde edilen izoterm eşitlikleri ve hesaplanan izoterm sabitleri.

Langmuir İzoterm Eşitliği	R <sup>2</sup>	K <sub>L</sub>	q <sub>m</sub>	
y = 0,0036x + 0,0731	0,9953	0,05	277,78	
Freundlich İzoterm Eşitliği	R <sup>2</sup>	K <sub>F</sub>	1/n	n
y = 0,1915x + 4,5195	0,8731	91,79	0,19	5,26
Temkin İzoterm Eşitliği	R <sup>2</sup>	B	A <sub>T</sub>	
y = 40,792x + 36,216	0,8871	40,79	2,43	

Langmuir izoterm modeli için elde edilen doğru denklemi ile denklemin eğiminden q<sub>m</sub> değeri, kesim noktasından ise 1/q<sub>m</sub>K<sub>L</sub> değeri hesaplanarak K<sub>L</sub> değerine geçilmiş, hesaplanan izoterm sabitleri Çizelge 4.10’da verilmiştir. Eğimden elde edilen sonuçlara göre q<sub>m</sub> değeri 277,78 mg/g, kesim noktasından hesaplanan K<sub>L</sub> değeri ise 0,05 L/mg olarak bulunmuştur. Sonuçlara göre Bromocresol Purple’ın Amberlyst A21 yüzeyine adsorpsiyonu için adsorpsiyon kapasitesi 277,78 mg/g’dır. Korelasyon katsayısı (R<sup>2</sup>) ise 0,9953 olarak bulunmuştur. Korelasyon katsayısınının 1,0’e yakın

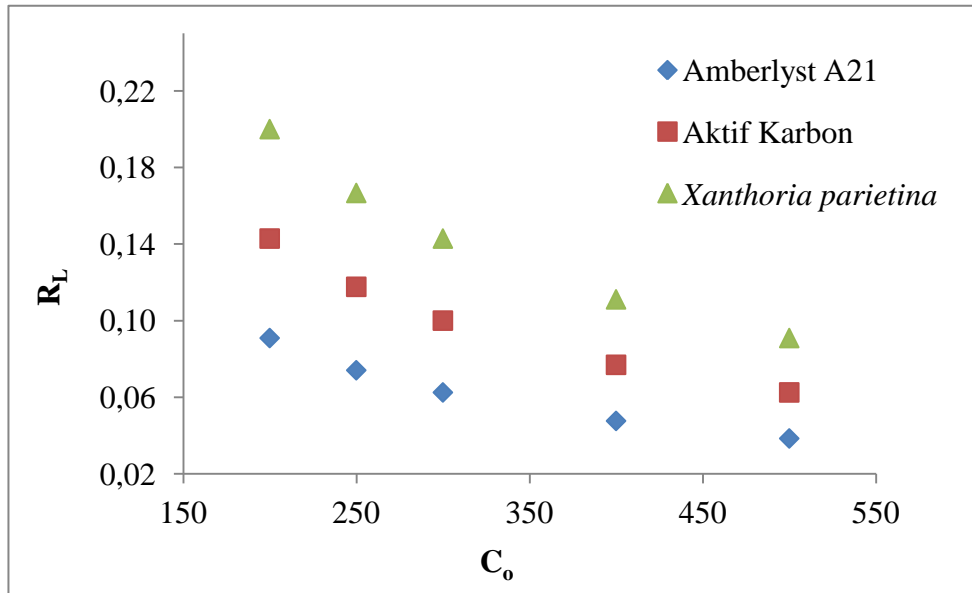
olması Bromocresol Purple'ın Amberlyst A21 ile adsorpsiyonunun Langmuir izoterm modeline uygunluğunu göstermektedir.

Amberlyst A21 ile Bromocresol Purple adsorpsiyonunda elde edilen denge verilerinin Freundlich ve Temkin izoterm modellerine uyumluluğu da incelenmiştir. Çizelge 4.10'dan da görüldüğü gibi izoterm modelleri için korelasyon katsayılarının (sırası ile 0,8731 ve 0,8871) oldukça düşüktür. Bu nedenle adsorpsiyon işleminin Freundlich ve Temkin izoterm modelleri ile uyumlu olmadığı söylenebilir.

Denge parametresi olarak veya boyutsuz ayırma faktörü olarak da adlandırılan  $R_L$  değeri Langmuir izoterm eşitliğinden elde edilen  $K_L$  değeri ile aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

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

Burada  $K_L$  değeri Langmuir izoterm sabitidir ve  $C_0$  adsorbata başlangıç konsantrasyonudur. Hesaplamalar aktif karbon, *Xanthoria parietina* ve Amberlyst A21'in kullanıldığı çalışmalarda farklı Bromocresol Purple başlangıç derişimleri için hesaplanmış ve sonuçlar Şekil 4.20'de verilmiştir.



**Şekil 4.20.** Bromocresol Purple'ın farklı başlangıç derişim değerleri için hesaplanan  $R_L$  değerleri grafiği.



Şekil 4.20'den de görüldüğü üzere tüm derişimler için hesaplanmış olan  $R_L$  değerlerinin 0-1 aralığında olması elverişlilik durumunun sağladığını ve Bromocresol Purple'ın giderimi için *Xanthoria parietina*'nın uygun bir biyosorbent, aktif karbonun ve Amberlyst A21'in ise uygun bir adsorbent olduğunu göstermektedir.

#### 4.5. Kinetik İncelemeler

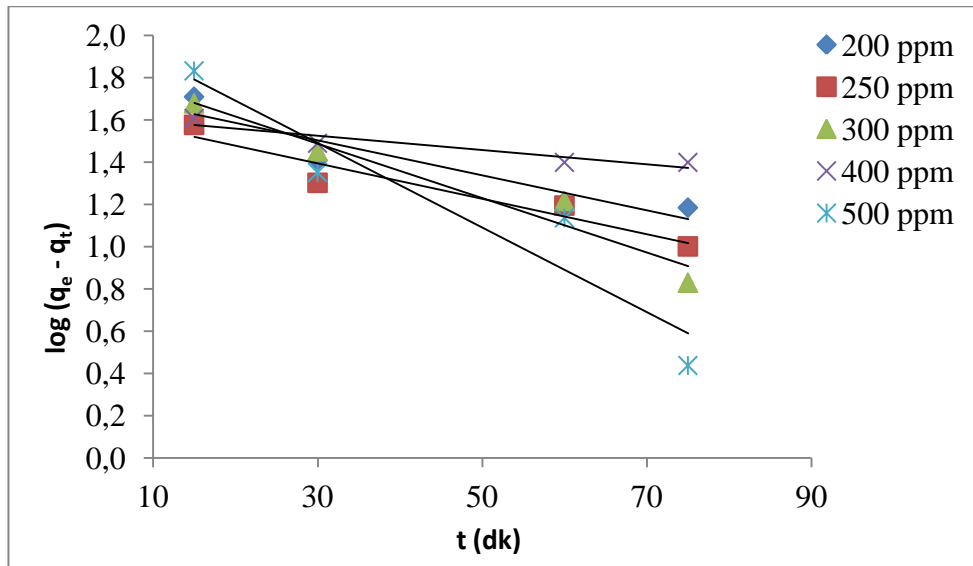
Adsorpsiyon kinetiğinin incelenmesi, adsorpsiyon prosesinde alım miktarının ölçülmesine ek olarak optimum koşulları belirlemek ve adsorpsiyon mekanizmasını tanımlamak için gereklidir (Lin ve Wang, 2008). Bu nedenle; Bromocresol Purple'ın Amberlyst A21 ve aktif karbon ile adsorpsiyonunun kinetik incelemeleri yalnızca birinci dereceden, yalnızca ikinci dereceden ve partikül içi difüzyon modellerine göre yapılmıştır.

##### 4.5.1. Yalancı birinci dereceden kinetik model

Bromocresol Purple'ın aktif karbon ile adsorpsiyonu için;

$$\log(q_e - q_t) = -\frac{k_1}{2,303} t + \log q_e \text{ eşitliği ile 200, 250, 300, 400 ve 500 ppm için}$$

zamana karşı  $\log(q_e - q_t)$  değerleri ile grafik oluşturulmuştur. Elde edilen doğrular Şekil 4.21'de verilmektedir. Doğru denklemleri ile hesaplanan  $k_1$  ve  $q_e$  değerleri de Çizelge 4.11'de görülmektedir.



Şekil 4.21. Farklı Bromocresol Purple derişimlerine ait aktif karbon ile adsorpsiyon için elde edilen yalancı birinci dereceden kinetik model grafikleri.

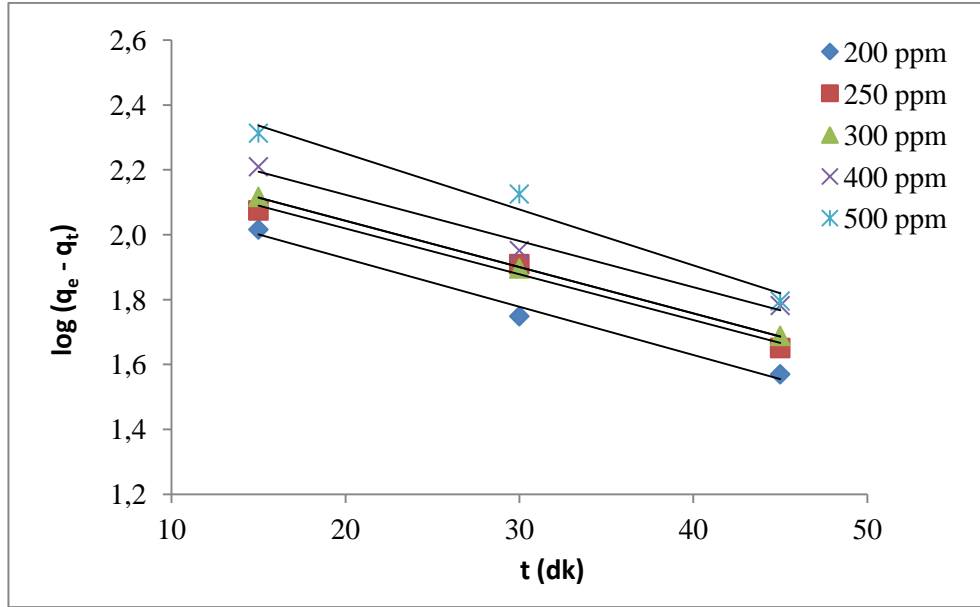
Elde edilen yalancı birinciden kinetik modele ait eşitliklerin eğim değerinden  $-k_1/2,303$  değeri ile  $k_1$  hız sabiti ve kesim noktasından  $q_e$  değeri hesaplanıp elde edilen değerler Çizelge 4.11’de verilmiştir.

**Çizelge 4.11.** Aktif karbon ile adsorpsiyon sonucu farklı Bromocresol Purple derişimleri için elde edilen yalancı birinciden kinetik model eşitlikleri ve değerleri.

Derişim (mg/L)	Kinetik eşitliği	R <sup>2</sup>	k <sub>1</sub> (dk <sup>-1</sup> )	q <sub>e</sub> (mg/g) deneysel	q <sub>e</sub> (mg/g) teorik
200	y = -0,0083x + 1,7519	0,8835	1,91×10 <sup>-2</sup>	178,41	56,48
250	y = -0,0084x + 1,6455	0,9158	1,93×10 <sup>-2</sup>	218,75	44,21
300	y = -0,0129x + 1,8731	0,9474	2,97×10 <sup>-2</sup>	251,54	74,66
400	y = -0,0034x + 1,6251	0,8781	7,83×10 <sup>-3</sup>	310,95	42,18
500	y = -0,0200x + 2,0899	0,8958	4,61×10 <sup>-2</sup>	350,66	123,00

Çizelge 4.11 incelediğinde 250 ve 300 mg/L’lik Bromocresol Purple derişimleri hariç elde edilen korelasyon katsayılarının 1,0’e yakın olmadığı görülmektedir. Adsorpsiyon ile biyosorpsiyon işlemlerinde kinetik modellerin uygunluğunu incelenirken eşitlik yardımı ile hesaplanan teorik q<sub>e</sub> değeri ve deneysel çalışmalarla bulunan q<sub>e</sub> değeri kıyaslanır. Teorik q<sub>e</sub> değeri ile deneysel olarak bulunan q<sub>e</sub> değeri birbirine yakın ise incelenen kinetik modele uygunluk olduğu söylenebilir. Çizelge 4.11’de görüldüğü üzere 200 ppm için eşitlik yardımıyla hesaplanan q<sub>e</sub> değeri 56,28 iken deneysel veriler yardımıyla hesaplanan q<sub>e</sub> değeri 178,41; 500 ppm için ise hesaplanan q<sub>e</sub> değeri 123,00 iken deneysel q<sub>e</sub> değeri 350,66 olarak bulunmuştur. Bu değerlendirmeler sonucunda, Bromocresol Purple’in aktif karbon yüzeyine adsorpsiyonunun yalancı birinciden kinetik modeli ile uyumlu olmadığı söylenebilir.

Bromocresol Purple’in Amberlyst A21 ile adsorpsiyonunda 200, 250, 300, 400 ve 500 mg/L’lik başlangıç derişimine sahip sulu çözeltilerinin zamana karşı log(q<sub>e</sub> - q<sub>t</sub>) değerleri grafiğe geçirilerek elde edilen doğru denklemleri Şekil 4.22’de verilmektedir.



**Şekil 4.22.** Farklı Bromocresol Purple derişimlerine ait Amberlyst A21 ile adsorpsiyon için elde edilen yalancı birinci dereceden kinetik model grafikleri.

Yalancı birinci dereceden kinetik model için elde edilen eşitlikler, korelasyon katsayıları ve hesaplanan kinetik sabitleri Çizelge 4.12'de sunulmuştur.

**Çizelge 4.12.** Amberlyst A21 ile adsorpsiyon sonucu farklı Bromocresol Purple derişimleri için elde edilen yalancı birinci dereceden kinetik model eşitlikleri ve değerleri.

Derişim (mg/L)	Kinetik eşitliği	R <sup>2</sup>	k <sub>1</sub> (dk <sup>-1</sup> )	q <sub>e</sub> (mg/g) deneysel	q <sub>e</sub> (mg/g) teorik
200	y = -0,0149x + 2,224	0,9871	3,43×10 <sup>-2</sup>	168,13	167,49
250	y = -0,0141x + 2,302	0,9842	3,25×10 <sup>-2</sup>	205,27	200,45
300	y = -0,0145x + 2,3284	0,9997	3,34×10 <sup>-2</sup>	209,02	213,01
400	y = -0,0143x + 2,4084	0,9860	3,29×10 <sup>-2</sup>	252,30	256,09
500	y = -0,0172x + 2,5950	0,9755	3,96×10 <sup>-2</sup>	254,82	393,55

Çizelge 4.12 incelendiğinde tüm derişimler için elde edilen korelasyon katsayılarının 1,0'e oldukça yakın olduğu görülmektedir. Adsorpsiyon ile biyosorpsiyon işlemlerinde kinetik modellerin uygunluğunu incelerken eşitlik yardımı ile hesaplanan

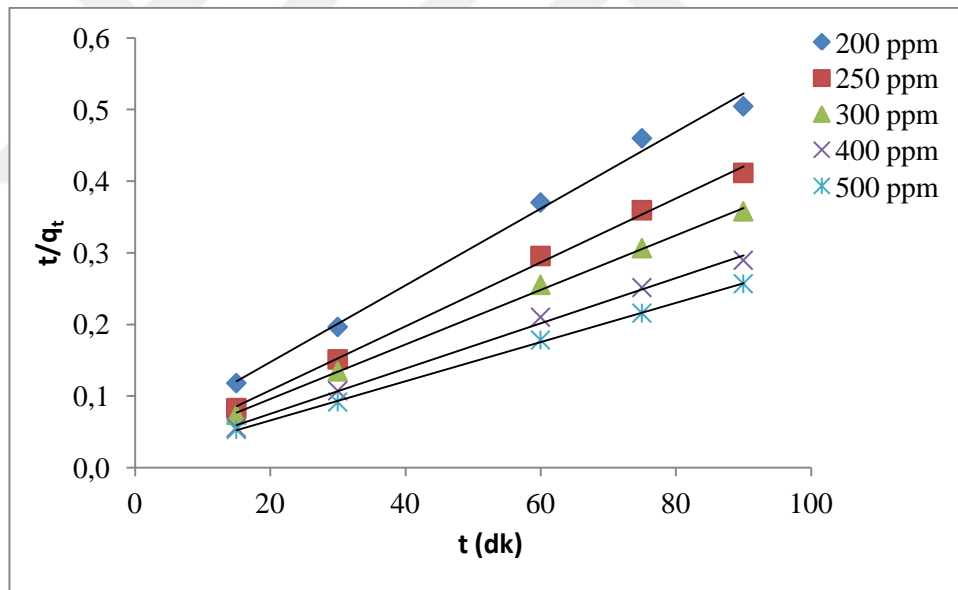
teorik  $q_e$  değeri ve deneysel çalışmalarla bulunan  $q_e$  değeri kıyaslanır. Teorik  $q_e$  değeri ile deneysel olarak bulunan  $q_e$  değeri birbirine yakın ise incelenen kinetik modele uygunluk olduğu söylenebilir. Çizelge 4.12 incelendiğinde tüm korelasyon katsayıları 1,0'e çok yakın olmakla birlikte 500 mg/L'lik Bromocresol Purple derişimi hariç tüm derişimlerde hesaplanan (teorik)  $q_e$  değeri deneysel  $q_e$  değerine oldukça yakındır. Bu nedenle, Bromocresol Purple'nın Amberlyst A21 üzerine adsorpsiyonunun yalancı birinci dereceden kinetik modeline uygun olduğu söylenebilir.

#### 4.5.2. Yalancı ikinci dereceden kinetik model

Bromocresol Purple'nın aktif karbon ile adsorpsiyonu için;

$$\frac{t}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_e^2} + \frac{1}{q_e} t$$

sulu çözeltiler için zamana karşı  $t/q_t$  değerleri grafiğe geçirilmiştir. Elde edilen eşitlikler, korelasyon katsayıları ve hesaplanan sabitler Çizelge 4.13'de verilmiştir.



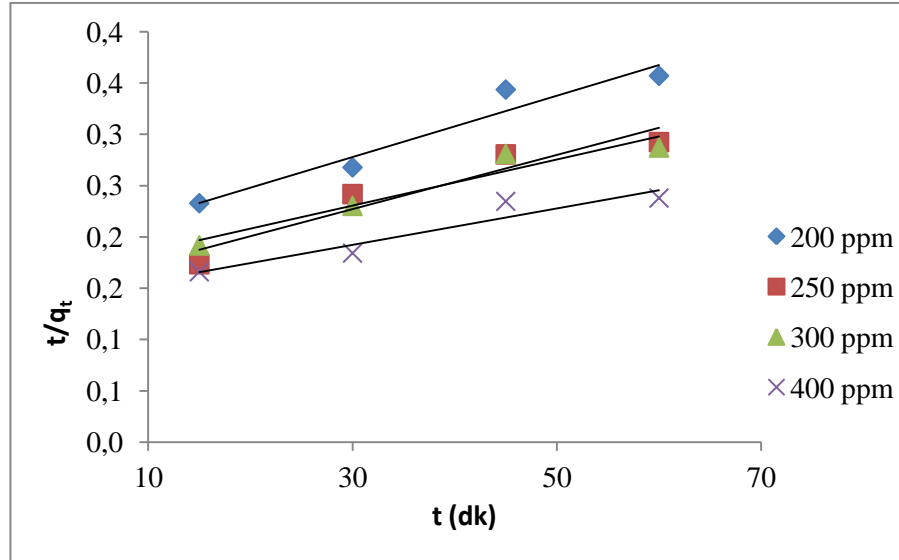
**Şekil 4.23.** Farklı Bromocresol Purple derişimlerine ait aktif karbon ile adsorpsiyon için elde edilen yalancı ikinci dereceden kinetik model grafikleri.

**Çizelge 4.13.** Aktif karbon ile adsorpsiyon sonucu farklı Bromocresol Purple derişimleri için elde edilen yalancı ikinci dereceden kinetik model eşitlikleri ve değerleri.

Derişim (mg/L)	Kinetik eşitliği	R <sup>2</sup>	k <sub>2</sub>	q <sub>e</sub> (mg/g) deneysel	q <sub>e</sub> (mg/g) teorik
200	y = 0,0054x + 0,0405	0,9934	7,20×10 <sup>-4</sup>	178,41	185,19
250	y = 0,0045x + 0,0189	0,9974	1,07×10 <sup>-3</sup>	218,75	222,22
300	y = 0,0038x + 0,0196	0,9985	7,37×10 <sup>-4</sup>	251,54	263,16
400	y = 0,0032x + 0,0121	0,9964	8,46×10 <sup>-4</sup>	310,95	312,50
500	y = 0,0027x + 0,0114	0,9996	6,39×10 <sup>-4</sup>	350,66	370,37

Çizelge 4.13 incelendiğinde tüm korelasyon katsayılarının 1,0'e oldukça yakın olduğu görülmektedir. Adsorpsiyon ile biyosorpsiyon işlemlerinde kinetik modellerin uygunluğunu incelerken eşitlik yardımı ile hesaplanan teorik q<sub>e</sub> değeri ve deneysel çalışmalarla bulunan q<sub>e</sub> değeri kıyaslanır. Teorik q<sub>e</sub> değeri ile deneysel olarak bulunan q<sub>e</sub> değeri birbirine yakın ise incelenen kinetik modele uygunluk olduğu söylenebilir. Çizelge 4.13'de görüldüğü üzere 200 mg/L için eşitlik yardımıyla hesaplanan q<sub>e</sub> değeri 185,19 mg/g iken deneysel veriler yardımıyla hesaplanan q<sub>e</sub> değeri 178,41 mg/g; 250 mg/L için hesaplanan q<sub>e</sub> değeri 222,22 mg/g iken deneysel q<sub>e</sub> değeri 218,75 mg/g; 300 mg/L için hesaplanan q<sub>e</sub> değeri 263,16 mg/g iken deneysel q<sub>e</sub> değeri 251,54 mg/g'dır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde tüm korelasyon katsayıları 1,0'e çok yakındır ve tüm derişimlerde hesaplanan q<sub>e</sub> değeri deneysel q<sub>e</sub> değerine oldukça yakındır. Bu nedenle, Bromocresol Purple'ın aktif karbon üzerine adsorpsiyonunun yalancı ikinci dereceden kinetik modeline uygun olduğu söylenebilir.

Bromocresol Purple'ın aktif karbon ile gerçekleştirilen giderim çalışmalarında elde edilen sonuçların yalancı ikinci dereceden kinetik modeli ile uyumlu olması; boyanın adsorpsiyon hızının çoğunlukla kemisorpsiyon işlemi ile kontrol edildiğini göstermektedir (Eren ve Acar, 2006).



**Şekil 4.24.** Farklı derişimlerdeki Bromocresol Purple'ın Amberlyst A21 ile adsorpsiyonu sonucu elde edilen yalancı ikinci dereceden kinetik model grafikleri.

Elde edilen eşitlikler kullanılarak eğim değerinden  $q_e$  değeri ve kesim noktasından  $k_2$  değeri hesaplanıp elde edilen değerler Çizelge 4.14'de verilmiştir.

**Çizelge 4.14.** Amberlyst A21 ile Bromocresol Purple'ın adsorpsiyonuna ait yalancı ikinci dereceden kinetik model eşitlikleri ve sabitleri.

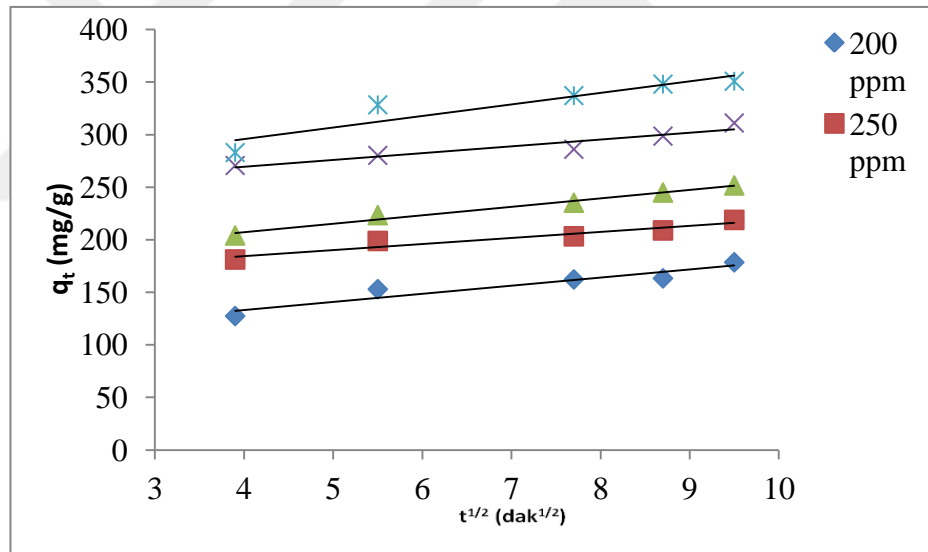
Derişim (mg/L)	Kinetik eşitliği	$R^2$	$k_2$	$q_e$ (mg/g) deneysel	$q_e$ (mg/g) teorik
200	$y = 0,0030x + 0,1881$	0,9391	$4,78 \times 10^{-5}$	168,13	333,33
250	$y = 0,0026x + 0,1480$	0,9080	$4,57 \times 10^{-5}$	205,27	384,62
300	$y = 0,0022x + 0,1632$	0,9310	$2,97 \times 10^{-5}$	209,02	454,55
400	$y = 0,0018x + 0,1391$	0,9051	$2,33 \times 10^{-5}$	252,30	555,56

Bromocresol Purple'ın Amberlyst A21 ile adsorpsiyonu için yapılan kinetik incelemeler de tüm derişimler için elde edilen yalancı ikinci dereceden kinetik eşitliğe ait korelasyon katsayıları 1,0'e yakındır. Fakat Çizelge 4.14'den de görüldüğü üzere tüm derişimlerde hesaplanan  $q_e$  değerleri ile deneysel veriler yardımıyla hesaplanan  $q_e$  değerleri birbirlerinden çok farklıdır. Sonuç olarak elde edilen verilere göre

Bromocresol Purple'ın Amberlyst A21 ile adsorpsiyonunun yalancı ikinci derece kinetik modeline uymadığı söylenebilir.

#### 4.5.3. Partikül içi difüzyon modeli incelemesi

Birinci ve ikinci dereceden denklemler, adsorpsiyon kapasitesine dayanır. Bu sebeple, bu sonuçlar adsorpsiyon mekanizması hakkında bazı durumlarda belirsiz kalabilir. Bu nedenle, Weber Morris modeli (partikül içi difüzyon modeli) geliştirilmiştir (Rahmani, vd., 2018). Adsorbatın adsorbent gözeneklerine difüzyonunda proses için daha uzun süre gerekli olduğundan adsorpsiyon kinetiği difüzyon ile kontrol edilir (Liu, 2006). Bromocresol Purple'ın aktif karbon adsorbenti kullanılarak yapılan adsorpsiyonunun partikül içi difüzyon modeline göre incelenmesi amacıyla  $q_t = k_i t^{1/2} + C$  eşitliği ile  $t^{1/2}$  verilerine karşı  $q_t$  verileri grafiğe geçirilmiştir. Elde edilen grafikler Şekil 4.25'de ve hesaplanan değerlerde Çizelge 4.15'de verilmiştir.



**Şekil 4.25.** Bromocresol Purple'ın aktif karbon ile adsorpsiyonu için elde edilen partikül içi difüzyon modeli grafikleri.

**Çizelge 4.15.** Bromocresol Purple'ın aktif karbon ile adsorpsiyonu için elde edilen partikül içi difüzyon modeli eşitlikleri ve sabitleri.

Derişim (mg/L)	Kinetik Eşitliği	R <sup>2</sup>	k <sub>i</sub>	C
200	$y = 7,7356x + 102,13$	0,9019	7,74	102,13
250	$y = 5,7671x + 161,37$	0,9213	5,77	161,37
300	$y = 8,0533x + 174,88$	0,9817	8,05	174,88
400	$y = 6,4867x + 243,40$	0,9033	6,49	243,40
500	$y = 10,996x + 251,69$	0,8588	10,99	251,69

Çizelge 4.15'de sunulan veriler incelendiğinde 500 mg/L'lik Bromocresol Purple derişimi dışında tüm derişimler için elde edilen korelasyon katsayısı 1,0'e yakındır. Bu nedenle Bromocresol Purple'ın aktif karbon ile adsorpsiyonunun partikül içi difüzyon modeline uyumlu olduğu söylenebilir.

#### 4.6. Adsorpsiyon Termodinamik İncelenmesi

Bromocresol Purple'ın aktif karbon ile farklı sıcaklıklarda adsorpsiyonu incelenmiştir. Yüksek sıcaklıkların denenmesinin sebebi pekçok tekstil boyasının adsorptif özelliği daha yüksek sıcaklıklarda arttığı için bu tez çalışmasında da oda sıcaklığından daha yüksek sıcaklıklar denenmiştir (Banat, vd, 1996). Bu nedenle öncelikle farklı sıcaklıklarda Bromocresol Purple'ın izoterm sonuçları incelenmiştir. Adsorpsiyon izotermi sırasıyla Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modellerine göre hesaplanarak elde edilen veriler izoterm sırasıyla aynı şekilde Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.16 incelendiğinde Bromocresol Purple'ın aktif karbon ile adsorpsiyonu için 298K, 308K ve 318K sıcaklıklarına ait Langmuir izoterm modeli korelasyon katsayılarının (0,9991; 0,9864; 0,9852) 1,0'e çok yakın olması Langmuir izoterm modeline uygunluk gösterdiği söylenebilir. Maksimum adsorplama kapasitesi incelendiğinde sıcaklık arttıkça adsorplama oranının da arttığı görülmektedir.



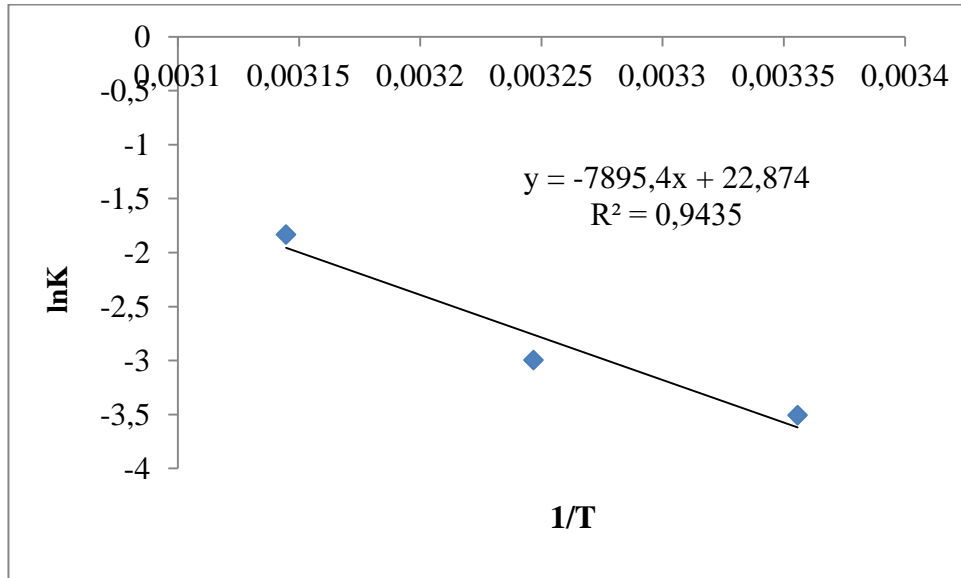
**Çizelge 4.16.** Farklı sıcaklıklarda Bromocresol Purple'ın sulu çözeltisinin aktif karbon ile adsorpsiyonundan elde edilen Langmuir izoterm değerleri.

Adsorbent	Aktif karbon			
Sıcaklık (K)	T	298	308	318
Langmuir Adsorpsiyon İzotermi	R <sup>2</sup>	0,9991	0,9864	0,9852
	K <sub>L</sub>	0,03	0,05	0,16
	q <sub>m</sub>	416,67	454,55	434,78

Gibbs serbest enerjisindeki adsorpsiyon sonucu meydana gelen değişiklikler aşağıdaki eşitlikler yardımı ile hesaplanmıştır. Adsorpsiyon denge sabiti:

Gibbs serbest enerji değişimi ise  $\Delta G^{\circ} = -RT \ln K$  eşitliği kullanılarak hesaplanır. Adsorpsiyon denge sabiti olan (K<sub>L</sub>)'yi kullanarak entalpi değişimi  $\Delta H^{\circ}$  ve entropi değişimi  $\Delta S^{\circ}$  değerleri  $\ln K_L = \frac{\Delta S^{\circ}}{R} - \frac{\Delta H^{\circ}}{RT}$  eşitliği kullanılarak hesaplanmıştır.

Aktif karbon adsorbenti ile Bromocresol Purple'ın adsorpsiyonu sonucu gideriminde  $\Delta G^{\circ}$ ,  $\Delta H^{\circ}$  ve  $\Delta S^{\circ}$  değerlerini belirlemek amacıyla lnK'ya karşı 1/T grafikleri aşağıda verilen Şekil 4.26'ye göre hesaplanıp elde edilen veriler Çizelge 4.17'de verilmiştir.



**Şekil 4.26.** Sıcaklık değerleri 298K, 308K ve 318K olan Bromocresol Purple çözeltisinin aktif karbon ile adsorpsiyonuna ait termodinamik değerler için lnK'ya karşı 1/T grafiği (pH: 2, C<sub>0</sub>: 100 mg/L, m: 0,05 g, V: 0,05 L).

**Çizelge 4.17.** Sıcaklık değerleri 298K, 308K ve 318K olan Bromocresol Purple'ın farklı derişimlerde aktif karbon ile adsorpsiyonu sonucu termodinamik hesaplamalar ile elde edilen veriler.

<b>T (K)</b>	<b><math>\Delta G^\circ</math>(Kj/mol)</b>	<b><math>\Delta S^\circ</math>(j/molK)</b>	<b><math>\Delta H^\circ</math>(kj/mol)</b>
<b>298</b>	8495,48		
<b>308</b>	7671,20	190,17	65642,35
<b>318</b>	4845,07		

Aktif karbon adsorbenti için serbest enerji değişimi ( $\Delta G^\circ$ ) değerleri pozitif olarak hesaplanmıştır.  $\Delta G^\circ$ 'nin pozitif değerleri bize prosesin kendiliğinden gerçekleşmediğini ve adsorpsiyonun olabilmesi için itici bir güce ihtiyaç duyulduğunu gösterir. Entalpi ( $\Delta H^\circ$ ) değişim değerlerinin pozitif olması gerçekleşen adsorpsiyon olayının endotermik olduğunu göstermektedir. Serbest entropi ( $\Delta S^\circ$ ) değişimi değeri pozitif bulunmuştur.

## 5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında Bromocresol Purple'ın sulu çözeltiden gideriminde biyosorbent olarak *Xanthoria Parietina*, adsorbent olarak ise aktif karbon ile Amberlyst A21'in kullanılabilirliği araştırılmıştır. Deneysel çalışmalar kapsamında pH, temas süresi, başlangıç derişimi, adsorbent miktarı ve sıcaklık farkının adsorpsiyon üzerine etkileri incelenmiş ve elde edilen veriler literatürde bulunan çalışmaların sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

➤ Tüm adsorbentler ve biyosorbentler için elde edilen sorpsiyon sonuçları incelendiğinde Bromocresol Purple'ın sulu çözeltiden gideriminde en uygun pH değerinin 2 olduğu ve pH değeri arttıkça yüzde giderimin azaldığı gözlemlenmiştir. Nordin ve arkadaşları (2016) tarafından yapılan bir çalışmada Bromocresol Purple'ın anyonik özellikte bir boya olduğu belirtilmiştir. Elde edilen sonuç şu şekilde açıklanabilir; asidik çözelti pH'larında kısmen pozitif yüklü adsorbent yüzeyi ve anyonik boya arasında gerçekleşen elektrostatik etkileşim ile boyanın adsorpsiyonu gerçekleşmektedir.

➤ Adsorbent miktarı önemli bir değişkendir. Çoğunlukla adsorbent miktarının artması ile beraber adsorbent yüzeyinde bulunan sorpsiyon birimleride artacağından giderim yüzdesi de artmaktadır. Adsorbent miktarı etkisinin incelendiği çalışmalara ait veriler incelendiğinde adsorbent miktarı arttıkça Bromocresol Purple boyasına ait yüzde giderim değerlerinin de arttığı görülmektedir. Aktif karbon ve Amberlyst A21 miktarının artışı ile birlikte boyanın giderim yüzdesinin artışının temel sebebi adsorbent miktarı ile orantılı olarak adsorbentin yüzey alanının ve adsorpsiyona elverişli bölge sayısının artışıdır.

➤ Aktif karbon, Amberlyst A21 ve *Xanthoria Parietina* kullanılarak başlangıç Bromocresol Purple derişiminin adsorpsiyon ve biyosorpsiyon üzerine etkisi ile ilgili deneysel sonuçlar incelendiğinde başlangıç Bromocresol Purple derişimi arttıkça qe değerlerinin arttığı ancak başlangıç Bromocresol Purple derişimi arttıkça yüzde giderim değerlerinin azaldığı görülmektedir. Sulu çözeltide yer alan boya derişimindeki artışa bağlı olarak ortaya çıkan adsorpsiyon yüzdesindeki azalma, boya adsorpsiyonu için adsorbent yüzeyinde yeterince aktif bölgenin olmamasından kaynaklanır. Ayrıca, adsorplanmış negatif yüklü iyonlar arasındaki elektrostatik itmenin adsorpsiyon yüzdesinde ortaya çıkan azalma üzerine tesiri olmaktadır.

➤ Bromocresol Purple'ın sulu çözeltiden giderimi için adsorbent olarak aktif karbon ve Amberlyst A21 ile biyosorbent olarak ise *Xanthoria parietina* kullanılarak yapılan her çalışma sonucunda elde edilen denge verileri Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modelleri kullanılarak incelenmiş ve tüm modeller için izoterm sabitleri hesaplanmıştır.

➤ Bromocresol Purple boyasının aktif karbon ile adsorpsiyonu için üç izoterm modeli incelenmiştir. İzoterm grafiklerine ait korelasyon katsayıları incelendiğinde Langmuir izotermine ait korelasyon katsayısının 0,9991 olduğu ve diğer izotermlere ait korelasyon katsayılarından daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu nedenle aktif karbon yüzeyine Bromocresol Purple adsorpsiyonunun Langmuir izoterm modeline uyduğu söylenebilir. Langmuir izoterm eşitliğine göre Bromocresol Purple adsorpsiyonunda aktif karbon için  $q_m$  değeri 416,67 mg/g,  $K_L$  değeri ise 0,033 L/mg olarak bulunmuştur. Sonuçlara göre Bromocresol Purple'ın aktif karbon yüzeyine maksimum adsorpsiyon kapasitesi 416,67 mg/g'dır.

➤ Bromocresol Purple boyasının *Xanthoria parietina* ile biyosorpsiyonu için üç izoterm modeli incelenmiştir. İzoterm grafiklerine ait korelasyon katsayıları incelendiğinde Langmuir izotermine ait korelasyon katsayısının 0,9972 olduğu ve diğer izotermlere ait korelasyon katsayılarından daha yüksek olduğu görülmektedir. Bu nedenle *Xanthoria parietina* yüzeyine Bromocresol Purple biyosorpsiyonunun Langmuir izoterm modeline uyduğu söylenebilir. Langmuir izoterm eşitliğine göre Bromocresol Purple biyosorpsiyonunda *Xanthoria parietina* için  $q_m$  değeri 303,03 mg/g,  $K_L$  değeri ise 0,02 L/mg olarak bulunmuştur. Sonuçlara göre Bromocresol Purple'ın *Xanthoria parietina* yüzeyine maksimum biyosorpsiyon kapasitesi 303,03 mg/g'dır ve bu değer oldukça yüksektir.

➤ Amberlyst A21 ile gerçekleştirilen çalışmalarda Bromocresol Purple'ın Amberlyst A21 ile adsorpsiyonunun Langmuir izoterm modeline uygunluğunu göstermektedir. Sonuçlara göre Bromocresol Purple'ın Amberlyst A21 yüzeyine adsorpsiyonu için adsorpsiyon kapasitesi 277,78 mg/g'dır.

➤ Tüm derişimler için hesaplanmış olan  $R_L$  değerlerinin 0-1 aralığında olması elverişlilik durumunun sağladığını ve Bromocresol Purple'ın giderimi için *Xanthoria parietina*'nın uygun bir biyosorbent, aktif karbonun ve Amberlyst A21'in ise uygun bir adsorbent olduğunu göstermektedir.

➤ Bromocresol Purple'ın Amberlyst A21 ve aktif karbon ile adsorpsiyonunun kinetik incelemeleri yalancı birinciden, yalancı ikinciden ve partikül içi difüzyon modellerine göre yapılmıştır.

➤ Amberlyst A21 ile gerçekleştirilen adsorpsiyon çalışmalarında yalancı birinci dereceden kinetik model için tüm derişimlerde hesaplanan (teorik)  $q_e$  değeri deneysel  $q_e$  değerine oldukça yakındır. Bu nedenle, Bromocresol Purple'ın Amberlyst A21 üzerine adsorpsiyonunun yalancı birinci dereceden kinetik modeline uygun olduğu söylenebilir.

➤ Aktif karbon ile gerçekleştirilen adsorpsiyon çalışmalarında yalancı ikinci dereceden kinetik model ile elde edilen sonuçlar incelendiğinde tüm korelasyon katsayıları 1,0'e çok yakındır ve tüm derişimlerde hesaplanan  $q_e$  değeri deneysel  $q_e$  değerine oldukça yakındır. Bu nedenle, Bromocresol Purple'ın aktif karbon üzerine adsorpsiyonunun yalancı ikinci dereceden kinetik modeline uygun olduğu söylenebilir.

➤ Genel olarak sonuçlar değerlendirildiğinde, her iki adsorbent ve biyosorbentin Bromocresol Purple'ın giderimini oldukça yüksek oranda gerçekleştirdikleri söylenebilir. Adsorbentler arasında aktif karbon Amberlyst A21'e göre daha çok tercih edilebilir. Bunun sebebi öncelikle aktif karbonun daha ekonomik olması ve maksimum adsorpsiyon kapasitesi değerinin Amberlyst A21'e göre daha yüksek olmasıdır. Biyosorbent olarak ise *Xanthoria Parietina* hem mali açıdan çok uygun olması hemde maksimum adsorpsiyon kapasitesi literatürdeki birçok biyosorbente oranla çok daha yüksek olduğundan tercih edilebilir.

## KAYNAKLAR

- Abcam Cemical , ‘Bromocresol Purple Product Data Sheat’;  
www.abcam.com/bromocresol-purple, (Erişim Tarihi: 06.06.2018).
- Aboua K.N., Yobouet Y.A., Yao K.B., Gone D.L., Trokourey A., ‘Investigation of dye adsorption onto activated carbon from the shells of Macoré fruit’, *J. Environ Manage*, 156: 4-10(2015).
- Ajmal A., Majeed I., Malik R.N., Idriss H, Nadeem M.A., ‘Principles and mechanisms of photocatalytic dye degradation on TiO<sub>2</sub> based photocatalysts’ *A Comparative Overview RSC Adv.*, 4 : 37003-37026 (2014).
- Akazdam S., Chafi M., Yassine W., Gourich B., ‘Removal of Acid Orange 7 Dye from Aqueous Solution Using the Exchange Resin Amberlite FPA-98 as an Efficient Adsorbent: Kinetics, Isotherms, and Thermodynamics Study’, *JMES*, 8: 2993-3012 (2017).
- Anjum M. , Miandad R., Waqas M., Gehany F., Barakat M.A.,’ Remediation of wastewater using various nanomaterials’, *Arabian Journal of Chemistry*, (2016).
- Aracagök Y.D. ve Cihangir N., ‘Decolorization of Reactive Black 5 by *Yarrowia lipolytica* NBRC 1658’, *American Journal of Microbiological Research*, 1: 16-20 (2013).
- Argun M.E., Dursun S., Karataş M. ve Gürü M., ‘‘Activation of pine cone using Fenton oxidation for Cd (II) and Pb (II) removal’’, *Bioresour Technol* , 99(18):8691–8 (2008).
- Arief V.O., Trilestari K., Sunarso J., Indraswati ve Ismadji S., ‘ Recent progress on biosorption of heavy metals from liquids using low cost biosorbents: characterization, biosorption parameters and mechanism studies’. *Clean—Soil, Air, Water* , 36(12):937–62 (2008).
- Asgher M., Bhatti H.N.,’ Evaluation of thermodynamics and effect of chemical treatments on sorption potential of (Citrus) waste biomass for removal of anionic dyes from aqueous solutions’, *Ecol Eng* , 38(1):79–85 (2012).

### Kaynaklar (Devam Ediyor)

- Ateş, A., ‘Otomotiv Endüstrisi Atık Sulardaki Ağır Metallerin Klinoptilolit Kullanılarak Giderimi’, Doktora Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya (2006).
- Banarjee S. ve Chattopadhyaya M.C., ‘Adsorption characteristics for the removal of a toxic dye, tartrazine from aqueous solutions by a low cost agricultural by-product’, *Arabian Journal of Chemistry*, 1629-1638 (2017).
- Banat, M. I., Nigam, P., Singh, D., Marchant, R. “Microbial Decolorization of Textile Dye Containing Effluents: A Review”, *Bioresource Technology*, 58: 217-227 (1996).
- Beyhan, M., ‘Atık Çamurlar ve Doğal Malzemeler ile Sulardan Florür İyonu Gideriminin Araştırılması’, Doktora Tezi, *YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2003).
- Bulut Y., Aydın H. A.,’ kinetics and thermodynamics study of methylene blue adsorption on wheat shells’, *Desalination* ,194(1):259–67 (2006).
- Cano P.I., Colon J., Ramírez M., Lafuente J., Gabriel D., Cantero D., ‘Life cycle assessment of different physical-chemical and biological technologies for biogas desulfurization in sewage treatment plants’, *Journal of Cleaner Production*, 181: 663-674 (2018).
- Christie R., ‘Colour Chemistry. Cambridge, United Kingdom: The Royal Society of’, *Chemistry*, 1-11 (2001).
- Crini G., ‘ Non-conventional low-cost adsorbents for dye removal: a review’, *Bioresour Technol*, 97(9):1061–85 (2006).
- Demir, A., Kanat, G., Debik, E., “Atıksu Arıtımında Fiziksel, Kimyasal ve Biyolojik Yöntemler”, *Yıldız Teknik Üniversitesi Basım Yayın Merkezi Matbaası*, İstanbul,(2000).
- Demir, A., Kanat, G., Debik, E., “Atıksu Arıtımında Fiziksel, Kimyasal ve Biyolojik Yöntemler”, *Yıldız Teknik Üniversitesi Basım Yayın Merkezi Matbaası*, İstanbul, 2000.

### Kaynaklar (Devam Ediyor)

- Dow Cemical, ‘Amberlyst A21 Product Data Sheet’;  
www.dowcemical.com/AmberlystA21, (Erişim Tarihi:06.06.2018).
- Filibeli A. , Sengül F. , Müezzinoğlu A., “Control of pollution in organized industrial districts: A case study from Turkey” *Water Science & Techonology*, 34: 12 (1996).
- Freundlich H.M.F., ‘Over the adsorption in solution’, *J. Phys. Chem.*, 57: 385-470 (1906a).
- Freundlich, H.M.F., “Über die adsorption in lösungen”, *Ind. Eng. Chem. Funda..*, 57:385-470 (1906b).
- Gasparikova E., Kapuska S., Bodik I., Derco J., Kratochvíl K., ‘Evaluation of Anaerobic – Aerobic Wastewater Treatment Plant Operations’, *Polish Journal of Environmental Studies*,14: 29-34 (2005)
- Grant S.B., ‘Taking waste out of wastewater for human water security and ecosytem sustainability’, *Science*, 337: 681-686 (2012).
- Greluk M. ve Hubicki Z., ‘Efficient removal of Acid Orange 7 dye from water using the strongly basic anion exchange resin Amberlite IRA-958’, *Desalination*, 219-226, (2011).
- Guo, Y., Qi, J., Yang, S., Yu, K., Wang, Z. and Xu, H., ‘ Adsorption of Cr(VI) on micro- and mesoporous rice husk-based active carbon’, *Materials Chemistry and Physics*, 78: 132–137 (2002).
- Halkman A.K., Atamer, M.,Ertaş, A.H., ‘Endüstri Ve Çevre İlişkileri’ *Türkiye Ziraat Mühendisliği*,V. Teknik kongresi, 2. cilt ( 2000 ).
- Hameed B.H., Ahmad A.A, Aziz N., ‘Isotherms, kinetics and thermodynamics of acid dye adsorption on activated palm ash’ *Chemical Engineering Journal*, 133: 195–203 (2007).
- Hannachi Y. ve Baubaker T., ‘Biosorption performance of the lichen biomass (*Diploicia canescens*) for the removal of nickel from aqueous solutions’, *Desalination and Water Treatment*, 57: 39 (2016).



### Kaynaklar (Devam Ediyor)

- Hansa, Pillay, A.,V.L., Buckley, C.A., “ Analysis of reactive dyes using high performance capillary electrophoresis”, *Wat. Sci.Technology*,39:169-172 (1999).
- Ho, Y.S. ve McKay, G., “Kinetic models for the sorption of dye from aqueous solution by wood”, *J. Environ. Sci. Health Part B: Process Saf. Environ. Prot.*, 76:183-191 (1998).
- Hutson N.D. ve R.T. Yang ., ‘Adsorption’, *J. Colloid Interf Sci.* ,189 (2000).
- Katar Ş., Erol S., Çelik P.A., Özdemir M., Çabuk A., ‘Talaromyces aculeatus from acidic environment as a new fungal biosorbent for removal of some reactive textile dyes’, *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 18(2): 521-534 (2017).
- Kocaer, F.O. ve Alkan, U. .” Boyarmadde içeren tekstil atıksularının arıtım alternatifleri.” *Uludağ Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi Dergisi* 7(1): 47-55 (2002).
- Kuenemann M. A., Szymczyk M., Chen Y., Sultana N., Hinks D., Freeman H. S., Williams A. J., Fourches D., Vinueza N.R., ‘Weaver's historic accessible collection of synthetic dyes: a cheminformatics analysis’, *Chem. Sci.*, 8: 4334 (2017).
- Kumar P. ve Saroj D.P., ‘water-energy-pollution nexus for growing cities’, *Urban Climate*, 10: 846-853 (2014).
- Lagergren, S., “About the theory of so-called adsorption of soluble substance”, *Kung. Sven. Vetén. Hand.*, 24: 1–39 (1898).
- Langmuir, I.,’ The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. J. Am.’ *Chem. Soc.* 40: 1361–1403 (1918).
- Lee J. W., Shim W. G., Yang W.C., Ay H., ‘Asorption equilibrium of amino acids and antibiotics on non-ionic polymeric sorbents’ *J Chem technol Biotechnol*, 79: 413-420 (2004).

### Kaynaklar (Devam Ediyor)

- Lianos, P., 'Production of electricity and hydrogen by photocatalytic degradation of organic wastes in a photoelectrochemical cell: the concept of the photofuel cell: a review of a re-emerging research field', *J. Hazard. Mater.*, 185: 575–590 (2011).
- Lin C.I. ve Wang L.H., 'Rate equations and isotherms for two adsorption models', *J. Chin. Inst. Chem. Eng.*, 39: 579–585 (2008).
- Lin, D. ve Xing, B., 'Adsorption of phenolic compounds by carbon nanotubes: role of aromaticity and substitution of hydroxyl groups', *Environmental Science & Technology*, 42 (19): 7254-7259 (2008).
- Liu, N., Charrua, A. B., Weng, C. H., Yuan, X. and Ding, F., "Characterization of biochars derived from agriculture wastes and their adsorptive removal of atrazine from aqueous solution: A comparative study", *Bioresource Technology*, 198: 55-62 (2015).
- Lucas M.S., Dias A., Sampaio C., Amaral J.A., Peres J.A., 'Degradation of a textile reactive Azo dye by a combined chemical-biological process: Fenton's reagent-yeast', *Water Research*, 41: 1103-1109 (2007).
- Mall, I. D., Srivastava, V. C. ve Agarwal, N. K., 'Removal of Orange-G and Methyl Violet dyes by adsorption onto bagasse fly ash-kinetic study and equilibrium isotherm analyses', *Dyes and pigments*, 69 (3), 210-223, (2006).
- Marshall F. M., Holden J., Ghose C., Chisala B., Kapungwe E. ve Volk J., 'Contaminated irrigation water and food safety for the urban and peri-urban poor: appropriate measures for monitoring and control from field research in India and Zambia', *Inception Report DFID Enkar R8160*, SPRU, University of Sussex (2007).
- Mckay, G., 'Waste colour removal from textile effluent', *Am. Dyest. Rep.* 68: 29–36 (1979).
- McLaren, J. ve Williams, I.D., 'The impact of communicating information about air pollution events on public health', *Sci. Total Environ.* 538: 478–491 (2015).

### Kaynaklar (Devam Ediyor)

- Milind R.O., D. Julie, and J. Snehal ‘Comparative adsorption studies on Activated Rice Husk and Rice Husk Ash by using Methylene Blue as dye’, *International Congress on Environmental Research at Bits Pilani GOA*, 1 – 11 (2009).
- Nandi B., ‘Goswami A, Purkait M. Removal of cationic dyes from aqueous solutions by kaolin: kinetic and equilibrium studies’, *Appl Clay Sci* ,42(3–4):583–90 (2009).
- Natarajan S. ve Bajaj H.C., ‘Recovered materials from spent lithium-ion batteries (LIBs) as adsorbents for dye removal: equilibrium, kinetics and mechanism’, *J. Environ. Chem. Eng.*, 4: 4631-4643 (2016).
- Natarajan S., Bajaj H.C., Tayada R.J., ‘Recent advances based on the synergetic effect of adsorption for removal of dyes from waste water using photocatalytic Process’ *Journal of Environmental Sciences* , 65: 201-222 (2018).
- Nidheesh P. V., Khatri J., Singh T.S.A., Gandhimathi R., Ramesh S.T., ‘Review of zero-valent aluminium based water and wastewater treatment methods’, *Chemosphere.*, 200: 621-631 (2018).
- Nordin M.N., Asari N., Mahaidin A.A., Sha M.K., Aziz N.M.A.N.A., ‘Immobilization of Bromocresol Purple in Inorganic-Organic Sol-Gel Thin Film with Presence of Anionic and Non-ionic Surfactants’, *Procedia Chemistry*, 19: 275-282 (2016).
- Othmer K., ‘ Encyclopedia of Chemical Technology, v. 7, 5th Edition’, *Wiley-Interscience*, (2004).
- Öden, M.K., ‘Sentetik tekstil atıksularında boyar maddelerin fenton prosesi ile arıtımı, Yüksek Lisans Tezi’, *Selçuk Üniversitesi , Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, Konya ( 2010 ).
- Özer, A. ve Dursun, G., “Removal of methylene blue from aqueous solution by dehydrated wheat bran carbon”, *J. Hazard. Mater.*, 146:262-269 (2007).
- Pan, B. ve Xing, B., ‘Adsorption mechanisms of organic chemicals on carbon nanotubes’, *Environmental Science & Technology*, 42 (24): 9005-9013 (2008).

### Kaynaklar (Devam Ediyor)

- Pathania D., Sharma S., Singh P., 'Removal of methylene blue by adsorption onto activated carbon developed from *Ficus carica* bast', *Arabian Journal of Chemistry*, 1445-1451 (2017).
- Pathania D., Sharma S., Singh P., 'Removal of methylene blue by adsorption onto activated carbon developed from *Ficus carica* bast', *Arabian Journal of Chemistry*, 10: 1445-1451 (2017).
- Rafatullaha M., Sulaimana O., Hashima R., Ahmad A., 'Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: A review', *Journal of Hazardous Materials*, 70-80 (2010).
- Reddy D.H.K., 'Water Pollution Control Technologies' *Encyclopedia of Sustainable Technologies*, 3-22 (2017).
- Ren N., Zhou X., Guo W., Yang S., 'A review on treatment methods of dye wastewater' *Ciesc Journal*, Çin, (2013).
- Rengaraj S., Yeon K.H., Moon S.H., 'Removal of chromium from water and wastewater by ion exchange resins', *Journal of Hazardous Materials*, 273-287 (2001).
- Robinson T., McMullan G., Marchant R., Nigam P., 'Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative' *Bioresource Technology*, 77:247-255 (2001).
- Saers G.W., 'Determination of Specific surface area of sodium hydroxide'. *Anal. Chem.* 28(2): 1981 – 1983 (1956).
- Salleh M.A.M., vd., 'Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: a comprehensive review' *Desalination*, 280(1):1–13 (2011).
- Sanghi R., Verma P., 'Decolorisation of aqueous dye solutions by low-cost adsorbents: a review', *Color Technol*, 129:1–24 (2013).
- Silah H. ve Gül, 'Amberlyst A21 İle Everzol Black Boyasının Adsorpsiyonu: İzoterm ve Kinetik Çalışmalar', *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 22(3): 1063-1070 (2018).

### Kaynaklar (Devam Ediyor)

- Sillanpaa M. ve Shestakova M., 'Electrochemical Water Treatment Methods', *Lappeenranta University of Technology*, Finlandiya, 47-130 (2017).
- Sun D., Zhang Z., Wang M., Wu Y., 'Adsorption of Reactive Dyes on Activated Carbon Developed from *Enteromorpha prolifera*', *American Journal of Analytical Chemistry*, 4: 17-26 (2013).
- Tay T., Candan M., Erdem M., Çimen Y., Türk H., 'Biosorption of Cadmium Ions From Aqueous Solution Onto Non-living Lichen *Ramalina Fraxinea* Biomass', *Faculty of Science*, 249-255 (2009).
- Tempkin M.I. ve V. Pyzhev,' Kinetics of ammonia synthesis on promoted iron catalyst', *Acta Phys. Chim. USSR* 12: 327–356 (1940).
- The Lancet Planetary Health, 'Our polluted world: the need for a global pollution strategy', 1 (6): 209 (2017).
- Turovskiy I., 'New techniques for wastewater and sludge treatment in northern regions' <http://www.roadsbridges.com/new-techniques-wastewater-and-sludge-treatment-northern-regions> (Erişim Tarihi:19.05.2018)
- Uluözlü Ö.D., Sari A., Tuzen M., Soylak M., 'Biosorption of Pb(II) and Cr(III) from aqueous solution by lichen (*Parmelina tiliaceae*) biomass', *Bioresource Technology*, 99: 2972-2980 (2008).
- Wang X., Jiang C., Hou B., Wang Y., Hao C. ve Wu J., 'Carbon composite lignin-based adsorbents for the adsorption of dyes', *Chemosphere*, 4: 183 (2018).
- Wang, L. K., Hung, Y. T., Shamas, N. K., "Physicochemical Treatment Process", *Humana Press*, Totowa, New Jersey, (2005).
- Wawrzkievicz M., 'Comparison of the Efficiency of Amberlite IRA 478RF for Acid, Reactive, and Direct Dyes Removal from Aqueous Media and Wastewaters', *Ind. Eng. Chem. Res.*, 51(23): 8069-8078 (2012).
- Webber T.N. and Chakravarti R.K., 'Pore and Solid Diffusion Models for fixed bed adsorbents.' *J.Am.Inst.Chem.Eng.* 20:228-238 (1974).

### Kaynaklar (Devam Ediyor)

- Weber Jr, W.J. ve Morriss, J.C., “Kinetics of adsorption on carbon from solution”, *J. Sanitary Eng. Div. Am. Soc. Civ. Eng.*, 89:31-60 (1963).
- World Health Organization, ‘Global Costs and Benefits of Drinking Water Supply and Sanitation Interventions to Reach MDG Target and Universal Coverage’, *WHO Press.*, Cenevre (2012).
- Xu, Y. ve Lebrun, R.E., ‘Treatment of textile dye plant e.uent by nanofiltration membrane’. *Separ. Sci. Technol.*, 34: 2501-2519 (1999).
- Yagub, M. T., Kanti Sen, T., Afroze, S., Ang, H.M., “Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: A review”, *Advances in Colloid and Interface Science*, 209: 172–184 (2014).
- Yang, Y., Wyatt II, D.T., Bahorsky, M., ‘Decolorization of dyes using UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> photochemical oxidation. Text’, *Chem. Color*, 30: 27-35 (1998).
- Yanhua X., Ren L., Zhu X., Gou Z., Chen S., ‘Physical and chemical treatments for removal of perchlorate from water–A review’, *Process Safety and Environmental Protection*, 116: 180-198 (2018).
- Zheng Y., Li Q., Yuan C., Tao Q., Zhao Y., Zhang G., Liu J., Qi, G, ‘Thermodynamic analysis of high-pressure methane adsorption on coal-based activated carbon’, *Fuel*, 230: 172–184 (2018).
- Zollinger, H. Synthesis, ‘Properties of Organic Dyes and Pigments. In: Color Chemistry. New York, *Publishers*, 92-102 (1987).

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Cennet MERGEN

Doğum Yeri ve Tarih : Adana -27/08/1992



### Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi (F.E.F Kimya)

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

### İş Deneyimi

Dourdin Plastik Ürünleri A.Ş (Kalite Laboratuvar Sorumlusu)

Bilecik Endüstri ve Teknik Meslek Lisesi ( Kimya Öğretmeni )

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi (Kısmi Programlı )

Stajlar : Adana Adli Tıp Kurumu

Boya Kimyevi Maddeler Plastik İnşaat Otomotiv San. ve Tic. LTD.ŞTİ

### Sertifika

MEB Onaylı Bilgisayar Sertifikası

MEB Onaylı Pedagojik Formasyon Sertifikası

### İletişim

Adres : Merkez / BİLECİK

E-Posta Adresi: cennetmergen@hotmail.com

Tarih:

İmza: