

**T.C.  
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
KİMYA ANABİLİM DALI  
FİZİKOKİMYA BİLİM DALI**

**BAZI AZO-BOYAR MADDELERİN ATIK/ATIK MANTARLAR  
TARAFINDAN BİOSORPSİYON İLE UZAKLAŞTIRILMASI**

**Junaid Ghanim Younus QURBASHİ**

**Danışman: Doç. Dr. Ümran HIÇSÖNMEZ**



**MANİSA-2021**

**TEZ ADI**

**BAZI AZO-BOYAR MADDELERİN ATIK / ATIK MANTARLAR  
TARAFINDAN BIOSORPSİYON İLE UZAKLAŞTIRILMASI**

**2021**

## TEZ ONAYI

Junaid QURBASHI tarafından hazırlanan "BAZI AZO-BOYAR MADDELERİN ATIK/ATIK MANTARLAR TARAFINDAN BİOSORPSİYON İLE UZAKLAŞTIRILMASI" adlı tez çalışması xx/xx/xxxx tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Kimya Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS** olarak savunulmuş ve **oyçokluğu / oybirliği**-ile başarılı olarak kabul edilmiştir.

**Danışman**

**Doç. Dr. Ümran HİÇSÖNMEZ**  
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

**Jüri Üyesi**

**Doç. Dr. Ümran HİÇSÖNMEZ**  
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

**Jüri Üyesi**

**Prof. Dr. Uğur AVCIBAŞI**  
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

**Jüri Üyesi**

**Doç. Dr. Süleyman İNAN**  
Ege Üniversitesi

## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin Celal Bayar Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Junaid Ghanim Younus QURBASHI



# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER .....	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	V
ŞEKİL LİSTESİ.....	VI
ÇİZELGE LİSTESİ.....	X
TEŞEKKÜR.....	XII
ÖZET.....	XIII
ABSTRACT.....	XV
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL BİLGİLER .....	3
2.1. Boya-Boyar Maddenin Tanımı ve Genel Özellikleri .....	3
2.1.1 Azo Boyar Maddeler .....	4
2.1.2. Azo Boyar Maddelerin Elde Edilmesi .....	5
2.1.2.1. Diazolama Reaksiyonu.....	6
2.1.2.2. Kenetlenme Reaksiyonu.....	7
2.1.3. Azo Boyar Maddelerin Özellikleri.....	7
2.1.4. Boyar Maddelerin Kullanım Alanları .....	8
2.1.5. Azo Boyar Maddelerin Çevresel Etkileri.....	9
2.2. Boyar Maddelerin Giderim Yöntemleri .....	9
2.2.1. Fiziksel Yöntemler:.....	9
2.2.1.1. Adsorpsiyon Yöntemi .....	9

2.2.1.2. Koagülasyon.....	10
2.2.1.3. Membran Filtrasyonu.....	10
2.2.1.3. İyon Değişimi:.....	11
2.2.2. Kimyasal Yöntemler: .....	11
2.2.2.1. Oksidasyon Yöntemi:.....	11
2.2.2.2. Fenton Yöntemi.....	11
2.2.2.3. Ozonlama Yöntemi .....	11
2.2.2.4. Fotokimyasal Yöntem .....	12
2.2.2.5. Sodyum Hipoklorit (NaOCl).....	12
2.2.2.6. Elektrokimyasal Yöntemler .....	13
2.2.2.7. Kimyasal Floklaştırma ve Çöktürme Yöntemi .....	13
2.2.2.8. Cucurbituril Yöntem .....	14
2.2.3. Biyolojik Yöntemler.....	14
2.2.3.1. Aerobik Yöntem.....	14
2.2.3.2. Anaerobik Yöntem .....	15
2.2.3.3. Biyosorpsiyon .....	15
2.3. Adsorpsiyon .....	16
2.3.1. Adsorpsiyon Çeşitleri.....	18
2.3.2. Adsorpsiyona Etki Eden Faktörler .....	21
2.3.3. Adsorpsiyonun Kullanıldığı Prosesler .....	22
2.3.4. Adsorpsiyon İzotermi .....	23
2.3.6. Adsorpsiyon Termodinamiği .....	26
<b>3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>28</b>
<b>4. DENEYSEL KISIM.....</b>	<b>31</b>

4.1. Materyal .....	31
4.1.1. Biyosorbent .....	31
4.1.2 Azo Boyarlar .....	31
4.1.3 Kullanılan Kimyasallar ve Cihazlar .....	33
4.2. Yöntem .....	33
4.2.1. Boya Çözeltilerinin Hazırlanması: .....	33
4.2.2. DB2 ve DO26 nın spektrofotometrik tayinleri.....	34
4.2.3. DB2 Çalışmaları .....	35
4.2.4. DO26 Çalışmaları .....	35
4.3. FTIR Analizleri .....	36
4.4. Biyosorpsiyon Çalışmaları .....	36
4.4.1. DB2 Çalışmaları.....	36
4.4.1.1. Biyosorbent Miktar Etkisi.....	36
4.4.1.2. pH Etkisi .....	36
4.4.1.3. Çalkalama Süresinin Etkisi .....	37
4.4.1.4. Konsantrasyon Etkisi .....	37
4.4.1.5. Sıcaklık Etkisi .....	38
4.4.2. DO26 Çalışmaları .....	38
4.4.2.1. Adsorbent Miktar Etkisi.....	38
4.4.2.2. pH Etkisi .....	38
4.4.2.3. Çalkalama sürenin Etkisi .....	38
4.4.2.4. Konsantrasyon Etkisi .....	39
4.4.2.5. Sıcaklık Etkisi .....	39
4.4.3. Kinetik Çalışmalar .....	39

4.4.4. İzoterm Çalışmaları.....	39
4.4.5. Termodinamik Çalışmalar.....	40
5. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....	41
5.1. FTIR Analizi.....	41
5.2. Adsorbent Miktarının Etkisi.....	45
5.3. pH Etkisi .....	49
5.4. Süre Etkisi .....	54
5.5. Konsantrasyon Etkisi.....	58
5.6. Sıcaklık Etkisi .....	62
5.7 Kinetik Çalışmalar .....	66
5.8. İzoterm Çalışmalar .....	70
5.9. Termodinamik Çalışmaları .....	77
5.10. Desorpsiyon Çalışmaları .....	80
5.11. Diğer Çalışmalarla Bulgular Karşılaştırılması .....	82
6. SONUÇLAR.....	84
KAYNAKLAR .....	87
ÖZGEÇMİŞ .....	93

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>ABm</b>	<i>Agaricus Bisporus</i> Mantarı
<b>C<sub>e</sub></b>	Dengedeki Çözelti Konsantrasyonu
<b>C<sub>kör</sub></b>	Kör Çözeltinin Konsantrasyonu
<b>C<sub>0</sub></b>	Başlangıç Konsantrasyon
<b>DB2</b>	Direkt Blue 2
<b>DO26</b>	Direkt Orange 26
<b>DRK</b>	Dubinin Radushkevich Kagener
<b>FTIR</b>	Fourier Transform İnfrared
<b>KOİ</b>	Kimyasal Oksijen İhtiyacı
<b>q<sub>e</sub></b>	Birim Adsorbent Üzerine Adsorplanan Madde Miktarı (mg/g)
<b>SSGL</b>	Sporoderm-broken Spores of Ganoderma Lucidum (Ganoderma Lucidumun Kullanılan Parçaları)
<b>UV</b>	Ultraviyole

## ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u>	Sayfa
Şekil 2.1. 4-Hidroksi-3-Metoksi Azobenzene.....	5
Şekil 2.2. P-Aminoazobenzen. ....	5
Şekil 2.3. Anilinin B-Naftole Kenetlenmesi .....	6
Şekil 2.4. Diazonyum Reaksiyon Mekanizması. ....	7
Şekil 2.5. Tartrazin.....	8
Şekil 2.6. Adsorpsiyonun Temel Terimleri.....	16
Şekil 2.7. Adsorpsiyon Mekanizması. ....	17
Şekil 2.8. Adsorpsiyon İşlemi Gerçekleştiren Adsorbent İçi Ve Yüzeyi.....	18
Şekil 2.9. Fiziksel Adsorpsiyonunun Temsili Gösterimi (Zayıf, Uzun Van Der Waals Bağları).....	19
Şekil 2.11. Adsorpsiyon ve İyon Değişirme Olayları. ....	20
Şekil 2.12 Langmuir İzoterm Modeli- Altı Adsorpsiyon Sevyesinin Şematik Gösterimi.....	24
Şekil 4.1. Doğranmış Mantar Ve Etüvde Kurutulan Mantarlar. ....	31
Şekil 4.1.A. DB2 Yapısı.....	32
Şekil 4.1.B. DO26 Yapısı.....	32
Şekil 4.2.2.a. DB2'nin Spektrumu.....	34
Şekil 4.2.2.b. DO26'nin Spektrumu. ....	34
Şekil 4.2.3. DB2 Boyar Kalibrasyon Grafiği .....	35

Şekil 4.2.4. DO26 Boyar Kalibrasyon Grafiği.....	36
Şekil 5.1.a. ABm FTIR Spektrumu.....	41
Şekil 5.1.b. DB2 FTIR Spektrumu.....	42
Şekil 5.1.c. DO26 FTIR Spektrumu.....	42
Şekil 5.1.d. DB2'yi Tutmuş ABm FTIR Spektrumu. ....	43
Şekil 5.1.e. DO26'yi Tutmuş ABm FTIR Spektrumu. ....	43
Şekil 5.2.a. DB2'nin Mantar Tutunması Üzerine Biyosorbent Miktarının Etkisi .....	46
Şekil 5.2.b. DB2'nin Mantar Miktarı İle mg/g Değişimi.....	46
Şekil 5.2.c. DO26'nin Mantar Tutunması Üzerine Biyosorbent Miktarının Etkisi ...	48
Şekil 5.2.d. DO26'nin Mantar g Üzerine mg/g'ın Etkisi .....	49
Şekil 5.3.a. DB2'nin Mantar Tutunması Üzerine Başlangıç pH Etkisi .....	50
Şekil 5.3.b. DB2'nin Mantar Tutunması Üzerine Başlangıç pH'e Karşı mg/g'ın Grafiği .....	50
Şekil 5.3.c. DO26'nin Mantar Tutunması Üzerine pH Etkisi.....	52
Şekil 5.3.d. DO26'nin Mantar Tutunması Üzerine pH'e Karşı mg/g'ın Grafiği. ....	53
Şekil 5.4.a. DB2'nin Mantar Tutunması Üzerine Çalkalama Süresi Etkisi.....	55
Şekil 5.4.b. DB2'nin Mantar Tutunması Üzerine Çalkalama Süresi'ne (Dak) Karşı mg/g Değişimi.....	56
Şekil 5.4.c. DO26'nin Mantar Tutunması Üzerine Çalkalama Süresi Etkisi.....	57
Şekil 5.4.d. DO26'nin Mantar Tutunması Üzerine Çalkalama Süresi'ne (Dak) Karşı mg/g Değişimi.....	58

Şekil 5.5.a. DB2'nin Mantar Tutunması Üzerine Konsantrasyon Etkisi.....	59
Şekil5.5.b. DB2'nin Mantar Tutunması Üzerine Konsantrasyona (mg/L) Karşı mg/g Değişimi .....	60
Şekil5.5.c. DO26'nin Mantar Tutunması Üzerine Konsantrasyon Etkisi.....	61
Şekil 5.5.d. DO26'nin Mantar Tutunması Üzerine Konsantrasyona (mg/L) Karşı mg/g Değişimi.....	62
Şekil 5.6.a. DB2'nin Mantar Tutunması Üzerine Sıcaklık Etkisi.....	63
Şekil 5.6.b. DB2'nin Mantar Tutunması Üzerine Farklı Sıcaklıklara (T) Karşı mg/g Değişimi .....	64
Şekil 5.6.c. DO26'nin Mantar Tutunması Üzerine Sıcaklık Etkisi.....	65
Şekil 5.6.d. DO26'nin Mantar Tutunması Üzerine Sıcaklık'a Karşı mg/g Değişimi.	65
Şekil5.7.a. ABm Üzerine DB2 Boyar Maddenin Biyosorpsiyonu İçin Yalancı Birinci Dereceden Kinetik Grafiği .....	66
Şekil 5.7.b. ABm Üzerine DB2 Boyar Maddenin Biyosorpsiyonu İçin Yalancı İkinci Dereceden Kinetik Grafiği .....	67
Şekil 5.7.c. ABm Üzerine DO26'nin Boyar Maddenin Biyosorpsiyonu İçin Yalancı Birinci Dereceden Kinetik Grafiği .....	68
Şekil 5.7.2.d. ABm Üzerine DO26'nin Boyar Maddenin Biyosorpsiyonu İçin Yalancı İkinci Dereceden Kinetik Grafiği.....	68
Şekil 5.8.1.a. Abm DB2 Adsorpsiyonunun Non-Linear Regrasyon Langmuir İzotermi .....	70

Şekil 5.8.1.b. ABm DB2 Adsorpsiyonunun Non-Lineer Regrasyon Freundlich İzotermi .....	71
Şekil 5.8.1.c. Abm DB2 Adsorpsiyonunun Non-Lineer Regrasyon DRK İzotermi .	71
Şekil 5.8.1.d. Abm DB2 Adsorpsiyonunun Non-Lineer Regrasyon Temkin İzotermi .....	72
Şekil 5.8.2.a. Abm DO26 Adsorpsiyonunun Non-Lineer Regrasyon Langmuir İzotermi .....	74
Şekil 5.8.2.b. Abm DO26 Adsorpsiyonunun Non-Lineer Regrasyon Freundlich İzotermi .....	74
Şekil 5.8.2.c. Abm DO26 Adsorpsiyonunun Non-Lineer Regrasyon DRK İzotermi	75
Şekil 5.8.2.d. Abm DO26 Adsorpsiyonunun Non-Lineer Regrasyon Temkin İzotermi .....	75
Şekil 5.9.a. DB2'nin Van't Hoff Eşitliği Grafiği.....	78
Şekil 5.9.b. DO26'nin Van't Hoff Eşitliği Grafiği.....	78
Şekil 5.10.a. DB2 İçin Farklı Çözeltilerin Desorpsiyon Etkinlikleri .....	80
Şekil 5.10.b. DO26 İçin Farklı Çözeltilerin Desorpsiyon Etkinlikleri.....	81

## ÇİZELGE LİSTESİ

<b><u>Çizelge</u></b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 5.2.a. ABm Üzerinde DB2'nin Biyosorpsiyonunda Adsorbent Miktarı Etkisi. .....	45
Çizelge 5.2.b. ABm Üzerinde DO26'nin Biyosorpsiyonunda Adsorbent Miktarı Etkisi. ....	48
Çizelge 5.3.a. ABm Üzerinde DB2'nin Biyosorpsiyonunda pH Etkisi. ....	49
Çizelge 5.3.b. DB2'nin Mantar Tutunması Üzerine Adsorpsiyon Öncesi Ve Sonrası pH Değişimi .....	51
Çizelge 5.3.c. ABm Üzerinde DO26'nin Biyosorpsiyonunda pH Etkisi. ....	52
Çizelge.5.3.d. DO26'nin Mantar Tutunması Üzerine Adsorpsiyon Öncesi Ve Sonrası pH Değişimi .....	53
Çizelge 5.4.a. ABm Üzerinde DB2'nin Biyosorpsiyonunda Çalkalama Süresi Etkisi. . .....	55
Çizelge 5.4.b. ABm Üzerinde DO26'nin Biyosorpsiyonunda Çalkalama Süresi Etkisi. . ....	57
Çizelge 5.5.a. ABm Üzerinde DB2'nin Biyosorpsiyonunda Konsantrasyon Etkisi..	59
Çizelge5.5.b. ABm Üzerinde DO26'nin Biyosorpsiyonunda Konsantrasyon Etkisi.	61
Çizelge 5.6.a. ABm Üzerinde DB2'nin Biyosorpsiyonunda Sıcaklık Etkisi.....	63
Çizelge 5.6.b. ABm Üzerinde DO26'ni Sıcaklık Etkisi.....	64
Çizelge 5.7.a. ABm Üzerinde DB2 Adsorpsiyonu İçin Kinetik Sabitleri.....	67

Çizelge 5.7.b. ABm Üzerinde DO26 Adsorpsiyonu İçin Kinetik Sabitleri .....	69
Çizelge 5.8.1.a. ABm DB2 Adsorpsiyonuna İlişkin Uygulanan İzoterm Sabitleri. ..	72
Çizelge 5.8.1.b. Farklı Konsantrasyonlar İçin Hesaplanan Langmuir Ayırma Faktörü .....	73
Çizelge 5.8.2.a. ABm DO26 Adsorpsiyonuna İlişkin Uygulanan İzoterm Sabitleri.	76
Çizelge 5.8.2.b. Farklı Konsantrasyonlar İçin Hesaplanan Langmuir Ayırma Faktörü .....	77
Çizelge 5.9.a.. ABm Üzerine DB2 Adsorpsiyonu İçin Termodinamik Nicelikler ....	79
Çizelge 5.10.b. Çeşitli Maddeler Kullanarak Sulu Çözeltilerden Azo Boyar Maddelerin Adsorpsiyonu İçin Yapılan Çalışmalar.....	82

## TEŞEKKÜR

Bu Yüksek Lisans tez çalışması Manisa Celal Bayar Üniversite Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı Programında gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmam sırasında fikirleriyle yol gösteren, yardımlarını, zamanını ve hoşgörüsünü hiçbir zaman eksik etmeyen, sıcak ve sevecen tavırlarıyla çalışmalarımın her aşamasında değerli önerileri ve eleştirileri ile beni yönlendiren değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Ümran HİÇSÖNMEZ' e içten teşekkürlerimi sunarım.

Ölçümler sırasında bana yardımcı olan değerli hocalarım Arş. Gör. Ahmet ESER, Arş. Gör. Mertcan ÖKSÜZ, Arş. Gör. Berna KÖRPINAR ve kimya bölümü tüm araştırma görevlilerine yardımlarından dolayı çok teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca arkadaşlığını eksik etmeyen Uğur UÇAR' a teşekkür ederim.

Tez Çalışmam sırasında her zaman maddi manevi desteklerini sağlayan Ghanim Younus, Waheeda Younus ve tüm aileme teşekkürlerimi sunarım.

Junaid Ghanim Younus QURBASHİ  
Manisa, 2021

## ÖZET

### Yüksek Lisans Tezi

**Manisa Celal Bayar Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Kimya Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. Ümran HIÇSÖNMEZ**

Bu çalışmada, çevrede bol miktarda bulunan, az maliyetli ve etkili bir biyosorbent kullanılarak Direkt blue 2 ve Direkt Orange 26 boyar maddelerin sulu çözeltilerden uzaklaştırılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla adsorbent olarak, dünyanın ve Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde bulunan ABm kullanılmıştır. Yöntem olarak adsorpsiyon işlemi seçilmiştir. Adsorpsiyonu etkileyen biyosorbentin miktarı, boya çözeltisinin pH'ı, boya çözeltisinin konsantrasyonu, temas süresi ve sıcaklık gibi temel faktörler incelenmiştir. Adsorpsiyon süreci için optimum şartlar belirlenmiştir. Denge verileri Langmuir, Freundlich, Temkin ve DRK izotermlerine uyarlanmıştır. Buna göre çalışılan her iki boyar madde izoterm verilerinin Freundlich ve DRK modellerine daha fazla uygun olduğu belirlenmiştir. Adsorpsiyon kinetiği Pseudo II. derece reaksiyon kinetik modeline uygunluk göstermiştir. Termodinamik parametrelerden  $\Delta G^\circ$ ,  $\Delta H^\circ$  ve  $\Delta S^\circ$  enerjisi belirlenerek, adsorpsiyonunun uygulanabilir, kendiliğinden olan ve endotermik olduğu tespit edilmiştir. Adsorpsiyon FTIR spektroskopisi ile analiz edilmiştir. Araştırmanın sonuçları seçilen mantar türünün iki farklı Azo boyar maddesinin uzaklaştırılması için uygun bir adsorbent olduğunu göstermiştir. Elde edilen sonuçlar daha önce yapılan benzer çalışmaların

sonuçları ile karşılaştırılarak, adsorpsiyon araştırmalarına y6nelik katkılarda bulunulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Biyosorpsiyon, *Agaricus Bisporus*, Direkt Blue 2, Direkt Orange 26, Kinetik, Temodinamik, İzoterm.

**2021, 93 sayfa**



## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

**Junaid Ghanim Younus QURBASHI**

**Celal Bayar University  
Faculty of Arts and Sciences/Institute of Sciences  
Department of Chemistry**

**Supervisor: Doç. Dr. Ümran HİÇSÖNMEZ**

In this study, the removal of Direkt blue 2 and Direkt Orange 26 dyestuffs from aqueous solutions was investigated by using a biosorbent, which is abundant in the environment, low-cost and effective. ABm, which is found in various parts of the world and Turkey, was used as an adsorbent. The adsorption process was chosen as the method. Basic factors such as the amount of biosorbent affecting the adsorption, the pH of the dye solution, the concentration of the dye solution, the contact time and the temperature were investigated. Optimum conditions were determined for the adsorption process. Equilibrium data are adapted to Langmuir, Freundlich, Temkin and DRK isotherms. Accordingly, it was determined that both dyestuff isotherm data were more suitable for Freundlich and DRK models. Adsorption kinetics is Pseudo II. It was found that it conforms to the degree reaction kinetic model. By determining the  $\Delta G^\circ$ ,  $\Delta H^\circ$  ve  $\Delta S^\circ$  energy from the thermodynamic parameters, it was determined that the adsorption was feasible, spontaneous and endothermic. Adsorption was analyzed by FTIR spectroscopy. The results of the study showed that the selected mushroom species is a suitable adsorbent for the removal of two different Azo dyestuffs. The

results obtained were compared with the results of previous similar studies, and contributions were made to adsorption research.

**Keywords:** Biosorption, *Agaricus Bisporus*, Direct Blue 2, Direct Orange 26, Kinetics, Thermodynamic, Isotherm.

**2021, 93 pages**



## 1. GİRİŞ

Gelişen yaşam ve artan ihtiyaçlardan ötürü endüstride de büyük bir gelişimin yaşandığı son yıllarda, çeşitli endüstrilerden kaynaklanan kirletici tür ve miktarları da artmaktadır. Boyar maddeler, kâğıt, tekstil, ilaç, deri gibi birçok sanayi dalında renklendirici olarak kullanımı sonucu atık su olarak çevreyi kirletmektedir [1, 2, 3]. Bu sebeple kirletici maddeler kapsamında boyar maddeleri detaylı bir şekilde incelemek gerekmektedir. Sulu ortamda düşük seviyelerde bulunan bazı boyar maddeler beklenmedik düzeyde etki gösterebilmektedir [4]. Boyar madde kullanan tekstil endüstrileri de çok büyük miktarlarda su tüketmektedirler. Azo boyar maddeleri, biyolojik olarak parçalamaya karşı mukavemet göstermeleri, aynı zamanda canlılara etki ederek zararı olmaları sebebi ile kirli suların temizlenmesinde sorun teşkil etmektedirler. Bu tür boyaların kirlettikleri sulardan giderilmelerinde, yüksek organik, inorganik kirlilik ve yoğun renk içeriği gibi özellikleri çok belirgindir. Bu nedenle azo boyalarla kirlenmiş olan atık su çevreye büyük bir tehdit oluşturmaktadır. 1895'te Rehn, kanser ve halkalı aminlere temas eden insanlar arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Rehn, boya endüstrisindeki işçiler arasında mesane kanserinin yüksek olduğunu kaydetmiştir. 1988 yılında "MAK (Menschliche Arbeits Konantration) komisyonu, indirgen parçalanma ile açığa çıkan aminlerin kansere neden olma riski taşıdığını" bildirmiştir, Azo boyarmaddelerinde indirgen parçalanmayla yukarıda bahsedilen aminlerin oluşup oluşmadığı araştırılmıştır. Bu aminler, zararlı aminler olarak sınıflandırılmıştır [5].

Atık su arıtımında çeşitli yöntemler vardır. Ancak düşük maliyeti nedeniyle, adsorpsiyon yöntemi, karşımıza çıkan en fazla kullanılan yöntemdir. Son yıllardaki atık su arıtım çalışmalarında adsorpsiyon özelliği gösteren ucuz biyo-bazlı maddelere (Biyosorbentler) ilgi duyulmaktadır. Bu materyaller fıstık kabuğu, fındık kabuğu, pirinç kabuğu, elma atığı, yumurta kabuğu, talaş, portakal kabuğu, çay atığı, fungal biyokütle ve deniz kabukluları gibi biyolojik materyaller ile zeolit, serisit, perlit, bentonit kil gibi mineral esaslı maddeler olarak sıralanabilir. Bunlar, genellikle çok az işlem gerektiren, doğada yaygın bulunan, yan ürün olarak oluşan veya endüstriyel atık olarak bulunan düşük maliyetli adsorplayıcılardır [6].

Bu çalışmada, sulu çözeltilerden tekstil endüstrisinde kullanılan azo boyar maddeleri: Direkt Blue 2'nin (DB2) veya Direkt Orange 26'nın (DO26) giderimine yönelik alternatif bir biyosorbentin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda doğal bir materyal olan *Agaricus Bisporus* (ABm), boyarmaddelerin biyosorpsiyonu işleminde incelenmiştir. Bu amaçla; biyosorbentin miktarı, pH, temas süresi, boyar madde derişimi, sıcaklık etkisi ve desorpsiyon gibi parametreler araştırılmıştır. Elde edilen veriler kinetik, izoterm modelleri ve termodinamik ile değerlendirilmiştir.



## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. Boya-Boyar Maddenin Tanımı ve Genel Özellikleri

Boya, bir renge sahip olan ve bu rengi diğer nesnelere verme özelliğine sahip bir maddedir.

Renkli madde ışığın belli dalga boylarını absorbe ettiği için renkli görünür. Doğal boyalar hayvan, bitki veya mineral kaynaklarından elde edilir. 1856 yılında W. Henry Perkin, organik boyaların üretimini keşfederek sentetik boyaları üreten ilk kişi olmuştur. Günümüzde binlerce Sentetik boyar madde üretilmektedir. Bu boyar maddeler üretim maliyetinin düşüklüğü, geniş yeni renk aralığı ve boyanan materyal üzerinde daha iyi özellikler vermesi gibi nedenlerden dolayı hızla geleneksel doğal boyaların yerini almıştır. Boyar maddeler, boyama işlemlerinde kullanımlarına göre veya kimyasal yapılarına göre sınıflandırılmaktadır.

**Asit boyalar:** Suda çözünen anyonik boyalardır. Genellikle sülfonik asitlerin sodyum tuzları şeklindedirler. İpek, yün, naylon ve modifiye olmuş akrilik kumaşların boyanmasında kullanılırlar.

**Bazik boyalar:** Suda çözünen katyonik boyalardır. Organik bazların genellikle hidroklorürü şeklinde bulunurlar. Akrilik kumaşların boyanmasında kullanılırlar.

**Mordant boyalar:** Doğal boyaların çoğu ve antrasenden türeyen sentetik boyalar mordant boyalardır. Yünlü kumaşların boyanmasında kullanılır.

**Vat boyalar:** Suda çözünmez ve kumaşı direkt boyayamaz. Belli işlemler sonrası kullanılır. Kot pantolonun indigo rengi bir vat boyadır.

**Reaktif boyalar:** Selüloz ile kimyasal etkileşime girerek kovalent bağ oluşturmaktadırlar. Soğuk çözeltilerde bile boyabilme özellikleri olmasından dolayı ısıdan tasarruf sağlarlar. Sürekli boyama yöntemleri için en uygun boyar maddelerdir. Pamuk veya selüloz kumaş için en iyi boyalardır.

**Dispers boyalar:** İlk olarak selüloz asetatın boyanması için geliştirildi. Naylon, selüloz triasetat, polyester ve akrilik kumaşları boyanmasında kullanılır.

**Azo veya Direkt boyalar:** Azo boyama, çözünmeyen bir azo yapısının boyanın direkt kumaş üzerinde veya içinde üretildiği bir tekniktir. Direkt boyalar çoğunlukla sülfonik

asitlerin, bazen de karboksilli asitlerin sodyum tuzlarıdır. Bu boyada renkli kısmı iyon anyon oluşturur. Pek çoğu kimyasal yapı açısından azo boyar maddeler grubuna girerler. Pamuk, deri, yün, ipek ve naylon boyamada kullanılır [7, 8]. Bu çalışmamızda kullanılan boyar maddeler azo veya direkt boyar maddeler olarak sınıflandırılır.

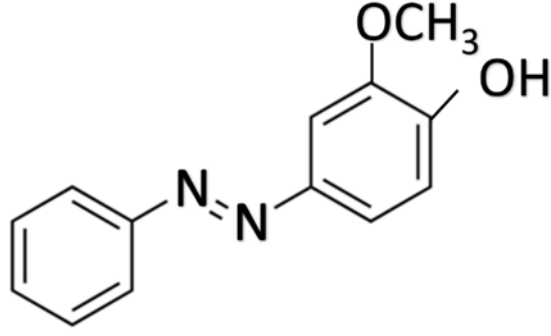
### 2.1.1 Azo Boyar Maddeler

Yapısında birden fazla sayıda benzen ya da naftalin halkaları ile birlikte, bu halkaları birleştiren ve meydana gelen konjuge sistemin bir parçasını oluşturan kromofor azo grubu (-N=N) içeren bileşiklere azo boyar maddeleri denmektedir. Bu gruptaki azot atomları,  $sp^2$  hibritleşmesi ile karbon atomlarına  $\sigma$  bağı oluşturarak bağlanır. Son yıllarda aromatik heterosiklik halkalara ve enol tipinde alifatik halkalara da bağlı azo grubu içeren boyarmaddeler üretilmiştir. Alifatik azo bileşiklerinin renk şiddetleri düşüktür. Bu sebeple çoğu azo boyar maddelerinin kromofor grubuna bağlı grupların en az biri aromatiktir [9, 10].

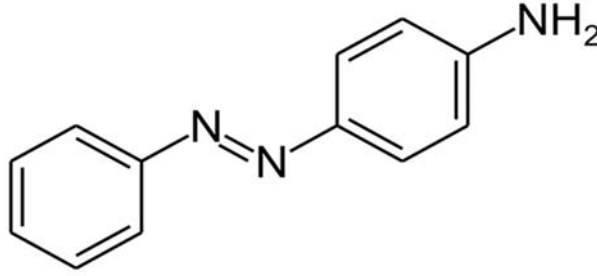
Azo boyar maddeleri yapılarındaki azo grubunun sayısına göre; mono, dis, tris, tetrakis azo boyar maddeleri olarak adlandırılırlar. Azo grubunun yan bağlarına çeşitli aromatik grupların katılmasıyla veya farklı sayıda grubuna sahip olunmasıyla hemen hemen tüm renkler oluşturulabilir. Doğal boyar maddelerin hiçbirinde azo grubu bulunmaz. Fakat sentetik olarak elde edilirler. Sentezler sulu çözelti içinde ve basit yapılmasına ek olarak, başlangıç maddeleri değiştirilerek sınırsız sayıda ve farklı renk tonlarında azo bileşiği sentezlenebilir. [9].

Azo bileşiklerinde geometrik izomeri kromofor grubundaki “çift bağ” nedeniyledir. Bu izomerlerin orto- konumlarında hidroksil veya amin grupları bulunursa, azo grubu, orto konumlu -OH veya -NH<sub>2</sub> arasında hidrojen bağı yaparak, bileşikler oldukça kararlı trans konumunu alırlar. Bu gruplar aynı zamanda, metal kationları ile kompleks oluştururlar [9].

Azo boyarmaddelere örnekler;



Şekil 2.1. 4-hidroksi-3-metoksi azobenzene [11].



Şekil 2.2. p-aminoazobenzen [12].

### 2.1.2. Azo Boyar Maddelerin Elde Edilmesi

Azo boyar madde üretiminde iki çeşit yöntem uygulanabilmektedir. Bu sentezlerden biri boyar maddenin azo grubunun teşkil edilmesine dayanmaktadır. Diğer çeşit ise azo grubu bulunduran bileşiklerle yapılan sentezdir. Farklı prosesler uygulanarak bu sentezlerin gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır.

Azo grubunun teşkil edilmesine dayalı prosesler.

1. Azo kenetlenmesi
2. Aminlere nitro bileşiklerinin katılması
3. Nitro bileşiklerinin indirgenmesi
4. Amino bileşiklerinin yükseltgenmesi

Azo grubu içeren bileşiklerle yapılan sentez yöntemleri,

- 1- Korunmuş amino gruplarının açılması

2- Amino azo bileşiklerinin indirgenmesi

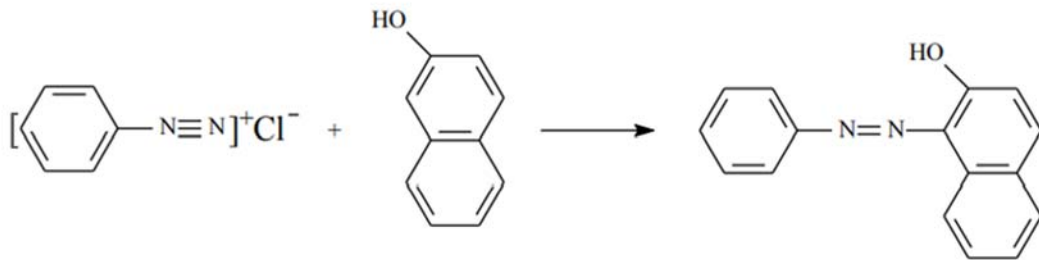
3- Fenolik hidroksi gruplarının açillenmesi veya alkillenmesi

Sözü edildiği yöntemlerden en önemlisi kenetlenme reaksiyonudur (azo kenetlenmesi). Diğer yöntemler, eğer azo kenetlenme yapılamıyorsa kullanılır. Azo boyaların elde edilmesinde iki basamak gerekmektedir. Bunlar:

- Diazolama reaksiyonu
- Kenetlenme reaksiyonu [13].

### Azo Kenetlenmesi

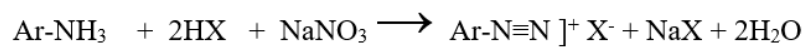
Boyar maddelerin azo grubunu sentezlemek için azo kenetlenmesi yapılır. Azo Kenetlenme reaksiyonu, aromatik birincil aminden oluşmuş bir diazonyum tuzu ile –OH, -NH<sub>2</sub>, -NH(R) gibi bir grup bulduran aromatik yapıdaki kenetleme bileşiğinin, karşılıklı etkileşimi sonucu olarak meydana gelir. Bu yöntemle, geniş aralıktaki renkte ve renk tonunda çok sayıda azo boyar maddesi elde edilmesi için, boyar madde sektöründe kullanması yaygındır.



Şekil 2.3. Anilinin β-naftole kenetlenmesi [13]

#### 2.1.2.1. Diazolama Reaksiyonu

Diazonyum tuzu elde etmek için, birincil amin ile NaNO<sub>2</sub> 0 C° de inorganik asitli sulu çözelti içinde reaksiyona başlatılır. Birincil amin aromatik yapıda bir maddedir.



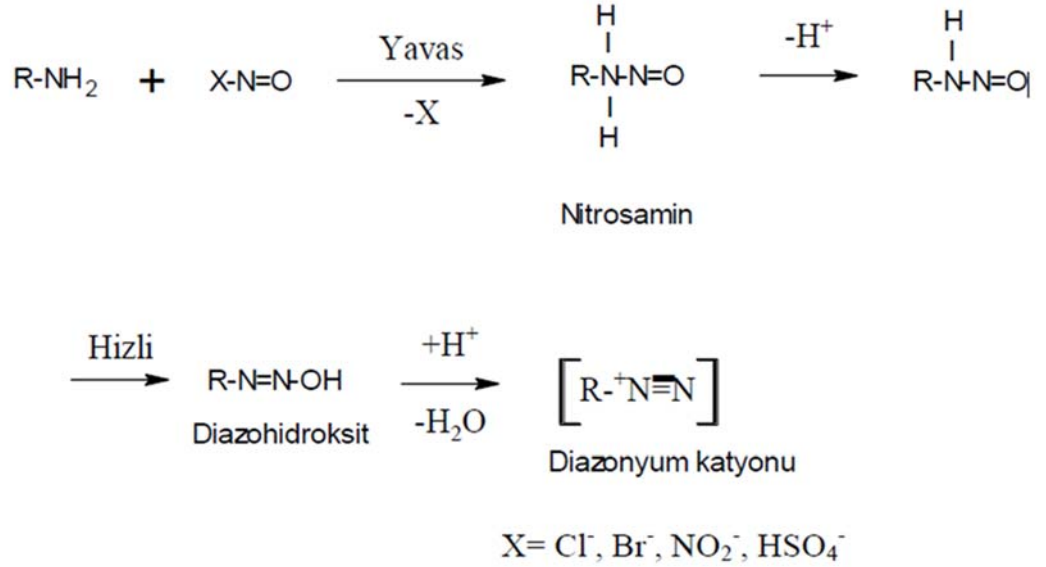
Ar: Aril ; X:Cl<sup>-</sup>, Br<sup>-</sup>,NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, HSO<sub>4</sub><sup>-</sup>

### 2.1.2.2. Kenetlenme Reaksiyonu

Diazolama esnasında meydana gelen diazonyum tuzları bir “elektrofilik sübstitüent” olarak hareket eder. Kenetleme bileşeni ise bir “nükleofil substrattır”. [13].

### 2.1.2.3. Diazolama Reaksiyonunun

Diazolama reaksiyonunun mekanizması aşağıdaki gibidir:

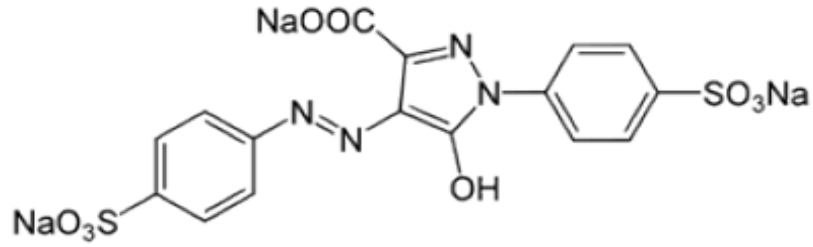


Şekil 2.4. Diazonyum reaksiyon mekanizması [14].

### 2.1.3. Azo Boyar Maddelerin Özellikleri

Azo boyar maddeler, içeriklerinde amino- ya da oksijen- grup bulundurdukları için hem bazik hem de asidik nitelik göstermektedirler. Yapılarında sülf- grupları yer aldığı daha da çok asidik niteliğe sahip olurlar. Sülf grubu bulunduran maddelerinde Na- tuzları çözünüyor azo boyar maddeler, Ba ve Ca- tuzları ise çözünmüyor azo boyar maddeleridir. İçeriklerinde sülf- ile karboksil- grupları bulundurmeyen azo boyarlar suda çözünmüyor maddelerdir. Yağlarda çözünen azo boyar maddeler, alkol, benze gibi organik çözücü ve suda çözünmektedirler. Bunların içeriklerinde sülf-, nitro- grupları ve halojenler yer almaktadır. Çeşitli Azo boyar maddeler tüm renkleri (sarı, kırmızı, mor, mavi, yeşil, kahve, siyah) vermektedir. Bu maddelerin verdikleri renk ile kimyasal birleşimleri arasında bir ilişki olduğu tespit edilmiştir. Bu boyaların molekülündeki azo-gruplar sayısı ile renk şiddeti arasında bir

doğru orantı vardır. Boyar maddelerin yapısında benzenin yerini naftalin aldığında, aynı zamanda bu gruplar -OH, -NH<sub>2</sub>, -N(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, -CH<sub>3</sub> eklendiğinde ya da sayıları arttığında, rengin Őiddetinin arttığını gözlemlenmektedir. Ancak yapıda sülfo- veya karboksil- grupların olmasının renge etkisi, nötr olduğu tespit edilmiŐtir. Aromatik halkalara bağlı, kromofor olmayan azoların absorpsiyon spektrumlarında, absorpsiyon bantlarının dalga boyları dūŐüktür. Örneđin azometan bandı, 222-342 nm. Aksine azo gruplar, güçlü kromofor olarak AR halkalara bağlandıklarında absorpsiyon bantlarının görülebilir dalga boylarında (400-700 nm) olmaktadır [15]. Yaygın olarak kullanılan tartrazin sarı renkte bir asit azo boyasıdır (Őekil 2.5.). Diđer azo boyları, metal iyonlarını bağlayan kimyasal gruplar iğerir [15].



Şekil 2.5. Tartrazin [16].

Bu boyar maddelerle krom ve bakır gibi metal tuzları kullanılabilir. Metal iyonu tekstil liflerle birleŐerek boyanın sabitliğini artırarak yıkanmaya dirençli olduğunu gösterir. Metal tuzlar bazen rengin tonunu deđiŐtirir ancak bu çok ender durumlarda gerçekteşir. Suda çözünmeyen boyalar arasında dağımlı boyalar yer alır, fakat bu boyalar da sabunlu suda asılı halini alabilmekte ve selüloz asetat liflerinin yüzeyinde tutunabilmektedir.

#### 2.1.4. Boyar Maddelerin Kullanım Alanları

Dünyada boyar madde uygulama alanları ve ihtiyaçları her geçen gün artmaktadır. Sentetik boyar maddeler çok geniş kullanım alanları sahiptir, sentetik boyar maddelerin %80'i tekstil sanayiinde, yün, pamuk, ipek, vb. maddelerin boyanmasında kullanılmaktadır. Tekstil sanayisi dışında sentetik boyar maddeler; plastik sanayi, deri sanayi, sentetik lif üretim sanayi, lastik sanayi, kereste sanayi,

selüloz ve kâğıt sanayi, kozmetik sanayi, ilaç sanayi, gıda sanayi, inşaat sanayii, cam ve porselen sanayii, otomotiv sanayi, makine sanayi, matbaacılık, güzel sanatlar, vb. sanayi sektörlerinde bulunmaktadır [15].

### **2.1.5. Azo Boyar Maddelerin Çevresel Etkileri**

Boya banyolarındaki sıvı aşığı yukarı 1000 mg/l derişiminde boyar madde içermektedir. Reaktif boyaların hidrolizi kolaydır, Ancak büyük miktarlarda kumaşta tutunamayabilir. Hazırlanan boya miktarının %40'ı kumaş üzerinde sabitlenmeden kalmakta ve atıksuya geçmektedir. Tekstil atıksularının KOİ konsantrasyonu genellikle yaklaşık 1000 mg/L olurken, maksimum 200-400 mg/L civarında boyar madde içerir. Kumaşa bağlanmayan kalıntı boyalar, atıksudaki rengin şiddetini artırır. Ülkemiz tekstil sektöründe atıksu arıtma prosesleri istenilen renk ve KOİ giderimini sağlayamamakta, dolayısıyla alıcı ortamın deşarj limitlerini aşmaktadır. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği'nde renk standardı bulunmamaktadır. Dolayısıyla boyar maddeleri içeren arıtma tesisi çıkış suları alıcı ortam kalite ve görüntüsünü estetik açıdan bozmaktadır. Boyar maddelerin doğal su kütlelerinde bulunması, çözünmüş oksijenin geçirgenliğini engellediği için ortamındaki yaşamı ciddi şekilde etkilemektedir [17].

## **2.2. Boyar Maddelerin Giderim Yöntemleri**

### **2.2.1. Fiziksel Yöntemler:**

#### **2.2.1.1. Adsorpsiyon Yöntemi**

Atık sularda çözünmüş olarak bulunan iyon ya da moleküllerin, bir katı yüzeyde birikmesi veya adsorbe olması işlemi, bir adsorpsiyon örneğidir, tutunan taneciklerin yüzeyden ayrılmasına desorpsiyon, katı yüzeyinde tutunan maddeye adsorplanan (adsorbat), katıya ise adsorplayıcı (adsorbent) adı verilir. Ara yüzey iki faz arasında bulunur, sıvı ile bir gaz, bir katı ya da bir diğeri sıvı arasında olabilir. Adsorplama kapasitesi yüksek olan katılara örnek; killeri, zeolitler, kömürler ve çeşitli metal filizleri şeklinde; yapay katılar ise aktif kömürler, uçucu küller, yapay zeolitler, silika jeller ve metal oksitleri şeklinde örnekler verilebilir [18]. Adsorbentin yüzey özelliklerine göre adsorpsiyon prosesinin hızı ve adsorplanan madde miktarı değişmektedir. Genelde adsorpsiyon işleminde aktif karbon gibi yüzey alanı büyük

olan adsorbentler aranır. Gazların adsorpsiyonu sırasında basınç uygulanması adsorpsiyon işlemini pozitif etkilemektedir. Çözeltilerin adsorpsiyonu için de aynısını söyleyebiliriz. Çözeltiden adsorpsiyonda, adsorbe olacak maddenin doğası ve çözelti içerisindeki derişimi büyük bir rol oynamaktadır [19]. Adsorpsiyon ile ilgili detaylar 2.3. Adsorpsiyon ile ilgili genel detaylar kısmında detaylıca açıklanmıştır.

#### **2.2.1.2. Koagülasyon**

Koagülasyonla renk giderilmesinde özellikle alüm,  $FeCl_3$  ve  $CaCl_2$  kullanılmaktadır. Arıtma sonrasında, su içeriği yüksek bir çamurun yüksek miktarda oluşması bu yöntemin dezavantajıdır [20].

#### **2.2.1.3. Membran Filtrasyonu**

Bu yöntemle boyar madde sürekli olarak arıtılır, konsantre edilir ve en iyisi atık sulardan ayrılması mümkündür. Filtrasyon sistemi sıcaklık, değişken kimyasal çevre ve mikrobiyal aktivite gibi etkenlere karşı dayanıklıdır. Ters osmoz membranları çoğu iyonik türler için %90'nın üzerinde verim gösterir ve yüksek kalitede bir permeat eldesi sağlar. Boyalar ve yardımcı kimyasallar, bir boya banyosu çıkışından tek adımda çıkarılır. Fakat, ozmotik basınç farklılığı büyük olduğunda sınırlı ters osmoz uygulamaları yapılabilmektedir. Nanofiltrasyon membranları negatif değerli yüzeylerinden dolayı iyonları filtreler. Bu da demek ki, tek valanslı anyonlar, çok valanslı anyonlara nispeten daha az tutulurlar. Membranların bu karakteristiğine dayalı boyalı atıksularda bulunan bir kısım yardımcı kimyasal membrandan geçebilmektedir. Çalışmalarda, membran filtrasyonu ile, çıkış suyunda düşük derişimli boyar madde içeren tekstil endüstrilerinde suyun tesise geri kazandırılmasının mümkün olduğunu göstermektedir [21]. Atık suyun yeniden kullanımı bakımından, bu sularda çözünmüş katı madde bu yöntemle düşürülmez. Membran teknolojileri, ayırım işleminden sonra kalan konsantre atığın bertaraf problemleri yaratır, Ayrıca yüksek sermaye harcamaları, membran tıkanma olasılığı ve yenileme ihtiyacı gibi dezavantajları da vardır [22].

### **2.2.1.3. İyon Değişimi:**

Bu yöntemle atık suların arıtılmasında, olumlu sonuç veren boya sınıfı kısıtlıdır. Dolayısıyla değiştiricilerin kullanılması yeterince yaygın değildir. İşlemede, atık su, değiştirici reçinelerde bulunan değişim bölgelere temas ederek ve bunları doygunluğa götürene kadar üzerlerinden geçer. Böylelikle, atık sulardan gerek katyonik gerekse anyonik boyalar ayırabilmektedir. İyon değişiminin avantajları, adsorbentin kurulabilmesi, çözücünün sürekli iyileştirilebilmesi ve çözünebilir boyaların aşırı derecede uzaklaştırılmasıdır. Dezavantajlarda ise en önemlisi maliyetinin yüksek olmasıdır. Ayrıca iyon değişimi prosesi dispers boyalar için pek etki göstermemektedir [22].

### **2.2.2. Kimyasal Yöntemler:**

#### **2.2.2.1. Oksidasyon Yöntemi:**

Oksidasyon kimyasal yöntemler içinde uygulamasının basit olması sebebi ile en yaygın olarak kullanılan renk uzaklaştırma metodudur. Kimyasal oksidasyon sonucu boyanın yapısındaki aromatik halka parçalanarak atık sudaki boyarmadde uzaklaştırılır [21].

#### **2.2.2.2. Fenton Yöntemi**

Bazı atık sular, biyolojik arıtmayı engeller. Bu tür atık sular fenton ayırıcı ile arıtılır. Fenton ayırıcı, Fe(II) tuzlarıyla aktive edilmiş hidrojen peroksit denir. Bu yöntem toksik atık suların oksidasyonu için de uygundur. Fenton ayırıcı atık su arıtımı, iki adımda gerçekteşir. Bu adımlardan birisi ön oksidasyon diğeri ise koagülasyondur [23].

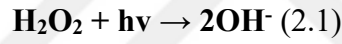
#### **2.2.2.3. Ozonlama Yöntemi**

Ozon (trioksijen O<sub>3</sub>) oksijenin üç atom içeren bir allotropudur. Ozonun oksidasyon potansiyeli (2.07 V) başta hidrojen peroksit (1.77 V) olmak üzere tekstil endüstride kullanılan oksidasyon maddelerinden daha yüksektir. 185 nm’de UV kullanımı ve “Corona Discharge” odielektrik metottu gibi yöntemlerle endüstriyel

olarak üretilir [24]. Ozonlama renk giderim yöntemi başlıca: pH, sıcaklık, mekanik karıştırma, ozon dozu ve atık su bileşenleri olmak üzere birçok faktörden etkilenmektedir. pH'a bağımlı olarak ozunun material ile etkileşimi, direkt ( $\text{pH} \leq 2$ ) ve indirekt ( $\text{pH} \geq 7$ ) olmak üzere iki tür mekanizma ile gerçekleşmektedir. Hidroksil radikallerinin oksidasyon potansiyeli moleküler ozona göre daha yüksektir. Dolayısıyla indirekt reaksiyonlarda oksidasyon daha hızlıdır. Ozonlama işlemi sırasında Artan sıcaklık, ozonun çözünürlüğünün düşmesine neden olur. Buna rağmen reaksiyon hızındaki artış ozonlama etkinliğinin yükselmesini sağlamaktadır. Ozonun gaz fazından sıvı faza aktarılmasındaki kütle aktarımı ozonlamanın etkinliğini negatif etkilerken, mekanik karıştırma kütle transferini artırarak ozonlama etkinliğini pozitif etkilemektedir. [25, 27].

#### **2.2.2.4. Fotokimyasal Yöntem**

Bu yönteme maruz olan boya molekülleri, hidrojen peroksit varlığında UV radyasyonu ile tepkime sonucunda  $\text{CO}_2$  ve  $\text{H}_2\text{O}$ 'a dönüşür. Hidrojen peroksit UV ışığı yardımıyla aktive olarak iki hidroksil radikaline parçalanır.



Bu şekilde organik maddenin kimyasal oksidasyonu gerçekleşir. Fotokimyasal yöntemlerde UV radyasyonu genellikle civa ark lambalarıyla sağlanmaktadır. Boyar maddenin giderim hızı, şu faktörlerden etkilenmektedir: UV radyasyonunun şiddeti, pH, boyar maddenin yapısı ve boya banyosunun kompozisyonu [22]. Fotokimyasal yöntemde etkili bir renk giderimi, pH 7, UV radyasyon şiddeti yüksek, optimum miktarda hidrojen peroksit uygulandığında ve boya banyosu yükseltgenme potansiyeli peroksitten büyük olan oksitleyici maddeler içermediğinde gerçekleşir. Bu yöntemle atık su arıtımın en büyük avantajı atık çamur oluşmaması ve istenmeyen kokuları oluşturan organiklerin önemli oranda giderilmesidir [21].

#### **2.2.2.5. Sodyum Hipoklorit ( $\text{NaOCl}$ )**

Bu proseste, klor boyanın molekül yapısındaki amino grupları etkileyerek azo çift bağının kırılmasına yol açar.  $\text{NaOCl}$  ile Renk giderimi klorun derişimiyle doğru orantılıdır. Sodyum Hipoklorit Asit, direkt boyaların uzaklaştırılmasında yeterince iyi

sonuçlar verirken, reaktif boyar maddelerin giderilmesinde ise daha uzun zaman gerektiriyor. Metal kompleks boya zeltileri arıtımında ise işlem sonucu zeltinin kısmen renkli kalması nedeniyle, dispers boyalı zelti arıtımında giderim sağlamaz. Alıcı ortamlarda olumsuz etkileri yüzünden, son zamanlarda boya giderimi amaçlı kullanımı azalmıştır [21].

#### **2.2.2.6. Elektrokimyasal Yöntemler**

Elektrokimyasal yöntemde, oksidasyon durumundaki değişmeler türlerin kimyasal özelliklerinin ve formlarının değişmesine yol açar [21].\_Elektrokimyasal arıtma yöntemleri birçok su ve atıksu arıtımında basit ve etkili bir metod olarak kullanılmaktadır. Elektrokimyasal arıtım yöntemleri çeşitli kirleticileri gidermek üzere yaklaşık olarak tüm atıksu arıtımında kullanılmaktadır. İçme suyu arıtımı, boyalı atıksular, kağıt endüstrisi atıksuları, gibi bir çok alanda uygulanmaktadır. Elektrokimyasal arıtımın organik madde giderimi, renk giderimi, gibi çeşitli yöntemleri vardır. Bu yöntemlerin diğer arıtım yöntemlere göre birçok avantajları vardır. Bu avantajlar genel olarak: basit parametreleri ile iyi bir verim elde edimesidir, Atık sularda iyi derecede renk ve koku giderimin sağlaması, birçok kirletici bir arada giderilebilmesi, yüksek bakım maliyeti gerektirmez, gereken enerji kolayca karşılanabilmesi, Yüksek sıcaklıklar proses için herhangi bir problem oluşturmaması, daha az kimyasallar kullanılabilmesi olmak üzere sıralanabilir. Elektrokimyasal yöntemlerin Dezavantajları: Elektrot atık sudaki znrlklerin oksidasyonu sonucu oksitlenebilir, bazı yerlerde elektrik maliyeti yüksek olmaktadır, Kirli sulardaki süspanse maddelerin büyük iletkenlik özelliklere sahip olması istenir [3].

#### **2.2.2.7. Kimyasal Floklaştırma ve ktrme Yöntemi**

Bu yöntemde atık sudaki kimyasal maddeler floklaşma ve okelmeyi meydana getirir. Kimyasal floklaştırma ve çöktürme yöntemi atık sudaki znmş maddeler ve kolloidlerin giderilmesinde kullanılır. En çok kullanılan kimyasallar arasında  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $FeCl_3$ ,  $FeSO_4$  ve kireç sayılabilir [21].

### **2.2.2.8. Cucurbituril Yöntem**

Cucurbituril bir polimerdir. Şeklinin, Cucurbitaceae sınıflı bir bitkiye (balkabağı bitkisi) benzediği için bu ismi almıştır. Cucurbituril, glikoluril ve formaldehitten oluşur. İsiminin sonundaki uril, bize bu bileşiğin üre monomerini de sahip olduğunu belirtmektedir. Gerçekleştirilen çalışmalarda yöntemin farklı türdeki tekstil boyaları için yüksek performansa sahip olduğu görülmüştür. Cucurbiturilin reaktif boyaların adsorpsiyonu için aromatik birleşiklerle kompleks oluşturduğu düşünülmektedir. Diğer birçok kimyasal yöntem gibi bu yöntemde maliyetinin yüksekliği en büyük dezavantajlarından biridir [21].

### **2.2.3. Biyolojik Yöntemler**

Sıvı ya da gaz fazında bulunan dsorbatların mikrobiyal kütleyle doğru ilerlemesi ve bu kütlelerin yüzeyinde birikmesi olayına “biyosorpsiyon” denmektedir. Cansız bakteriler, algler, likenler, maya ve mantarlar gibi mikrobiyal kütlelerin atık sulardan atık boyar maddelerin uzaklaştırılmasında kullanılır. Tekstilde kullanılan boyalarının kimyasal yapısı büyük bir ölçüde farklılık yarattığı için mikroorganizmalarla olan tepkimeler boyanın kimyasına ve mikrobiyal kütlelerin özellikle kimyasal yapısına bağlıdır. Bu sebeple bu proste hem mikroorganizme cinsine hem de boyar maddeye karşılık farklı bağlanma hızları ve kapasiteleri sözü edilir. Aşırı toksik boyalar ile kirlenen suların arıtımında ise biyosorpsiyon prosesi avantajlı görülmektedir [21].

#### **2.2.3.1. Aerobik Yöntem**

Tekstil atık suları,  $\Delta$  pH'e karşı hassasiyeti yüksek olarak konvansiyonel biyolojik arıtma tesislerinde büyük problemler yaratmaktadır. Sanayi atık su arıtımında çok geniş kullanılan konvansiyonel aktif çamur sistemlerinde bazı boya bileşikleri biyolojik olarak parçalanmaya direç göstermektedir. Suda iyi çözünen bazik ve bazı azo boyalarının arıtımında, biyolojik olarak parçalanmamakla birlikte boyanın bir kısmı tutunarak atık suyun rengini azaltarak renk giderimi sağlanmaktadır. Boyar maddeler kimyasal ve ışık kaynaklı yükseltgeyici etkiler sonucu renklerinin solmayacağı şekilde üretildiğinden, azo boyar maddeler gibi sentetik boyalar aerobik koşullar altında bakteriyel bozunmaya karşı dirençlidirler. Yüksek moleküler kütleyle

sahip boyar maddelerin biyolojik hücre zarından geçmesi zor olduğundan, bu tür boyar maddelerin aerobik biyolojik parçalanmaları zor olmaktadır [28].

### **2.2.3.2. Anaerobik Yöntem**

Anaerobik arıtma, hidroliz, asit oluşum ve gaz oluşumu olmak üzere üç basamaktan oluşmaktadır. Hidroliz basamağında, çözünmeyen yüksek moleküllü organik maddeler, çözünebilen enerji ve karbon kaynağı organik maddelere dönüşürler. Asit oluşumu basamağında; hidroliz basamağında oluşan ürünler düşük moleküllü ara ürünlere, asetik aside, Karbondioksit ve hidrojen gazına dönüşür. Metan üretim basamağında ise asit oluşumu safhasında oluşan ürünler  $CH_4$  ve  $CO_2$  e dönüştürülür. Anaerobik reaktörlerde çamurun organik madde içeriği parçalanma hızına ve zamana bağlı olarak artar. Anaerobik yöntem etkili bir proses olmasına rağmen, çıkış suyunda 1000- 4000 mg/L  $KOI$  ve  $BOI/KOI > 1,3$  gibi büyük miktarda kirlilik bulunmaktadır [29].

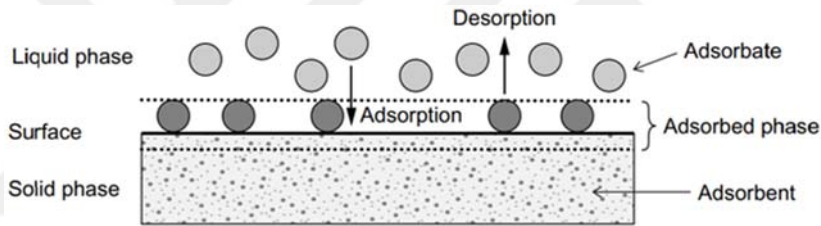
### **2.2.3.3. Biyosorpsiyon**

Biyosorpsiyon yönteminde boyar madde tanecikleri, canlı veya ölü hücreler yüzeyinde adsorbat olarak tutunur, birikerek hücre içinde yoğunlaşır. Özellikle atıksu toksik kirler içeriyorsa canlılar ile biyolojik arıtım prosesi imkansız olduğundan dolayı ölü hücrelerle biyosorpsiyon prosesi avantaj kazanmaktadır. Biyosorpsiyonun diğer arıtma teknolojilere nispeten atık sulardan boya uzaklaştırılmasında inanılmaz düşük maliyetli ve etkili bir seçenek arz etmektedir. Biyosorbentin yenilebilmesi, yüksek seçicilik göstermesi, büyük hacimli atık sularda verimli bir şekilde uygulanabilmesi ve maliyetinin düşük olmasıdır bu yöntemin avantajlarından [30]. Bu yöntemde canlı ve cansız biyokütleler kullanılabilir de, cansız biyosorbentler daha çok seçilir [31]. Ölü biyokütle kullanımına dayalı biyosorpsiyon teknolojisi toksisite sınırlamaların olmaması, besin kaynağına ihtiyaç duyulmaması ve uygun desorpsiyon yöntemiyle tekrar kullanılması gibi bazı önemli avantajları vardır [32, 33]. Aktif karbon ile yeterli etkinlikte renk giderimi işlemi gerçekleşmesine karşın maliyetinin oldukça pahalılığı renkli su arıtımında düşük maliyetli alternatif katı madde arayışını öne koymaktadır. Dolayısıyla doğada bol olarak bulunan katı maddelerin, insan faaliyetlerinden kaynaklanan atık veya fazla ürünlerin atık su arıtımında kullanılması

ekonomiye ve çevreye katkı sağlayacaktır [34]. ABm boyar madde içeren atık su arıtımında etkinlik göstermektedir [35]. Dünyada olduğu gibi ülkemizde de ticari olarak kültürü yapılan en önemli mantar türü ABm (beyaz şapkalı mantar)'dır. Özellikle son yıllarda ülkemizde mantar yetiştiriciliğine olan ilginin ve üretim miktarının oldukça arttığı görülmektedir [36].

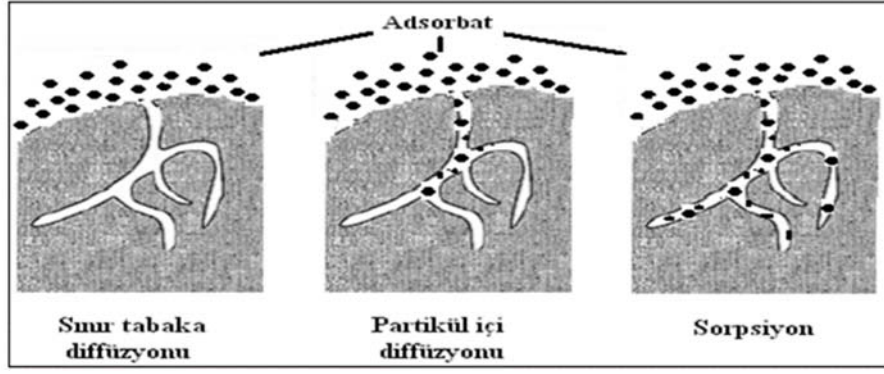
### 2.3. Adsorpsiyon

Gaz veya sıvı fazları ya da sıvı bir fazda çözülmüş olan katı maddelere ait olan iyon, atom veya moleküller, katı bir maddenin yüzeyinde birikmesine adsorpsiyon denir. Bu olayda, yüzeyinde tutma olayı gerçekleşen adsorbent veya adsorplayıcı, yüzeye tutunan maddelere ise adsorplanan denilmektedir. Adsorplanan moleküllerin yüzeyden uzaklaşması olayına da desorpsiyon adı verilmektedir [32]. Şekil 2.6'da adsorplanan ve adsorbent katı gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Adsorpsiyonun temel terimleri [37].

Gazların veya buharların katı madde ile etkileşiminde gaz taneciklerin katıda bulunan boşluklara yerleşme olayına "adsorpsiyon" söylenir. Bazı durumlarda, adsorpsiyon ve absorpsiyon arasında ayırım yapmak kolay değildir. Bu nedenle, arasındaki faz transferini tanımlamak için daha genel bir terim olan sorpsiyon tercih edilir. Şekil 2.7'de adsorpsiyon mekanizması şematik olarak gösterilmiştir [37].



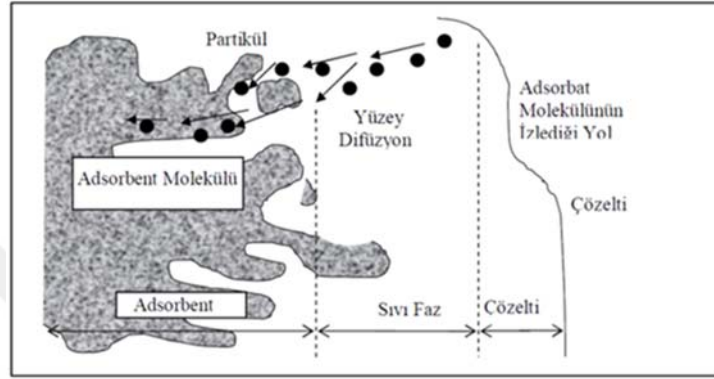
Şekil 2.7. Adsorpsiyon mekanizması [4].

Farklı fiziksel özelliklere sahip olmalarına rağmen, tüm katıların adsorpsiyon özellikleri vardır. Yüksek adsorpsiyon kapasitesine sahip doğal katı türleri arasında kömür, kil, zeolit ve çeşitli metal filizleri bulunur iken yapay katı türleri arasında aktif kömür, yapay zeolitler, silika jel, metal oksitler, katalizörler ve bazı özel seramikler bulunur. Çözültiden katıya adsorpsiyon, belirli bir çözücü içinde çözülmüş bir katı sistemin karakteristik özelliklerinden birinin ya ya her ikisinin bir sonucu olarak meydana gelir. Bunlar;

1. Adsorpsiyon için ana itici güç, çözücüye göre çözünen maddenin hidrofobik özelliğidir,
2. Katı için çözünenin yüksek bir ilgiye sahip olmasıdır. Adsorpsiyona etki eden bu iki ana faktörün her biri değişen derecelerde etkili olabilir. Adsorpsiyondaki ana itici güç, katının çözüne olan ilgisinden neden olur. Bu yüzey olayı, çözünenin adsorbent elektriksel çekilmesinden, Van der Waal's çekiminden ya da kimyasal yapıdan neden olur [38].

Adsorpsiyon; sıvı-sıvı, sıvı-katı, sıvı gaz ve gaz-katı gibi iki fazdan oluşur, Bir katı-sıvı sisteminde, adsorpsiyon ve desorpsiyon işlemleri arasında oluşan denge durumunda, çözültideki adsorplanan maddenin sıvı ve katı fazlardaki konsantrasyonları arasındaki orantı, adsorpsiyon verimi açısından büyük önem taşır. Adsorpsiyonun iki fazı arasındaki yüzeylere ara yüzey denir. İçme suyu ve atık su arıtımı, katı sıvı adsorpsiyon sisteminin önemli bir örneğidir. Adsorpsiyon adsorbent ve adsorplanan madde içindeki çekim kuvvetlerinden oluşur. Gazların veya katıların yapısı polar ise coulomb etkileşimi de görmek mümkündür [4]. Adsorpsiyon, atık

maddelerden kirletici giderilmesinde etkin bir denge ayırma yöntemidir. Maliyetinin düşüklüğü, tasarım ve uygulamasının kolaylığı, toksik kirleticilere duyarsızlığı veya zarar verici maddeler oluşumuna neden olmaması sebeplerden dolayı bulunan arıtım tekniklerinden daha üst gelirliği dikkat çekmektedir [4]. Adsorpsiyon yönteminin gerçekleşmesinde üç durumun meydana gelmesi şarttır. Bunlar Şekil 2.8’de gösterilmektedir.



**Şekil 2.8.** Adsorpsiyon işlemi gerçekleştirilen adsorbent içi ve yüzeyi [4].

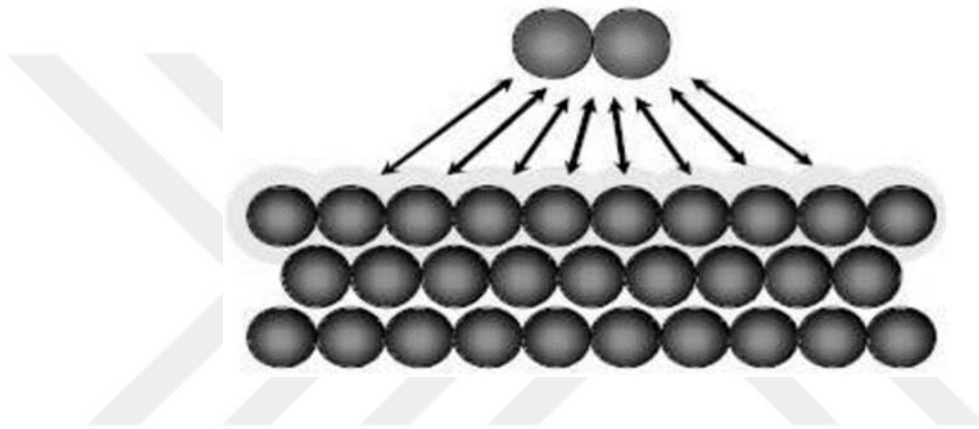
1. Adsorbentin etrafını saran çözücü sıvı filmi ‘film difüzyonu’ olarak adlandırılır, çözülmüş maddeler adsorbentin yüzeyine tutunabilmesi için öncelikle bu filmin içerisinden geçmesi gerekmektedir.
2. Şekil 2.8’de görüldüğü gibi film difüzyonu geçişinden sonra ‘partikül difüzyonu’ olarak adlandırılan bir geçiş gelmektedir, Katı yüzeyine doğru hareket eden taneciklerin, Mesamelerin iç bölgelerine yürüyebilmesi için bu geçişi tamamlamaları gerekmektedir.
3. Son aşamada, bu çözünenlerin adsorbent madde üzerine fiziksel kuvvetlerle bağlanması ile adsorpsiyon prosesinin ön koşulları tamamlanmış olur [4].

### 2.3.1. Adsorpsiyon Çeşitleri

Adsorbent yüzeyi ile adsorplanan madde arasındaki çekim kuvvetlerine bağlı olarak gerçekleşen üç tip adsorpsiyon işlemi tanımlanmaktadır:

### **Fiziksel Adsorpsiyon:**

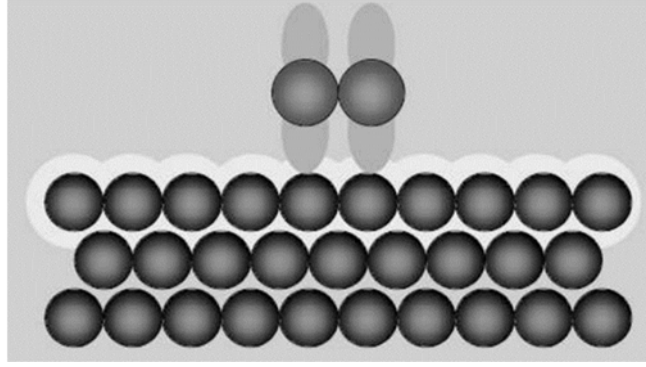
Bu tip adsorpsiyon adsorbent yüzeyi ile adsorbatların arasındaki zayıf “Van der Waals çekim kuvvetleri”nin bir sonucu olarak ortaya çıkar. Yüzeyde biriken adsorbatlar katı yüzeyin belirli yerlerine bağlanmaz sadece yüzey üzerinde hareketli durumdadır. Bununla birlikte, adsorbat adsorbentin yüzeyinde birikir ve gevşek bir tabaka oluşturur. Adsorbatların adsorpsiyon işleminde birden çok tabaka oluşturması mümkündür. Fiziksel adsorpsiyon genellikle çabuk gerçekleşir ve tersinirdir. Düşük adsorpsiyon ısı ile karakterize edilir ve adsorpsiyonun derecesi sıcaklık yükseldikçe azalır [39].



**Şekil 2.9.** Fiziksel adsorpsiyonunun temsili gösterimi (zayıf, uzun Van der Waals bağları) [39].

### **Kimyasal Adsorpsiyon:**

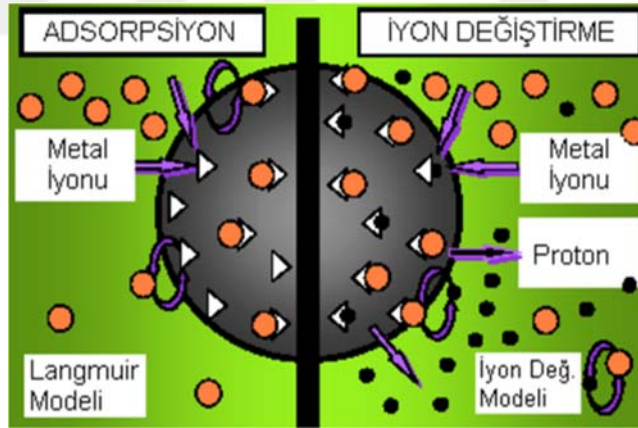
Katı yüzeyi ile adsorbatların arasında kimyasal bağ oluşursa fiziksel adsorpsiyonun tam tersine, tek tabakalı, tersinmez, katının yalnızca aktif merkezlerinde gerçekleşen bir adsorpsiyon çeşiti oluşur, bu tip adsorpsiyona kimyasal adsorpsiyonu denir. Yüksek sıcaklıklarda, katı yüzeyin belirli yerlerinde gerçekleşir. Yani tanecikler yüzey üzerinde hareket etmezler. Nadiren geri dönüşümlüdürler. Tutunan maddelerin uzaklaştırılması için (rejenerasyon) adsorbentin yüksek sıcaklıklara kadar ısıtılması gibi işlemler uygulanır. Bu tür adsorpsiyonlarda ısı, bir kimyasal reaksiyonun derecesinde olup 20-100 kcal/mol’lük bir enerjiye sahiptir [40].



**Şekil 2.10.** Kimyasal adsorpsiyonunun temsili gösterimi (güçlü, kısa– Kimyasal bağlar) [39].

### İyonik Adsorpsiyon

Eğer adsorbat ve adsorbent arasındaki elektrostatik çekim kuvvetlerinin etkisi ile iyonların yüzeydeki yüklü bölgelere tutunuyorsa o tutunmaya ‘İyonik adsorpsiyon’ denir. Burada adsorbat ve adsorbent maddelerin zıt elektrik yüklerine sahip olması ve yüzeylerin birbirini çekmesi önemlidir. Elektrik yükü fazla olan ve küçük çaplı iyonlar daha iyi adsorplanırlar [41].



**Şekil 2.11.** Adsorpsiyon ve iyon değişirme olayları [40].

Birçok adsorpsiyon olayında farklı adsorpsiyon çeşitleri birlikte veya ardarda görülebilmektedir. Bu sebeple bir adsorpsiyon olayında fiziksel ve kimyasal adsorpsiyonu ayırt etmek zordur. Adsorpsiyon işlemini çoğu zaman adsorpsiyon

türlerinden biri ile açıklamak kolay değildir. Bazı maddeler düşük sıcaklıklarda fiziksel, yüksek sıcaklıklarda ise kimyasal olarak adsorplanabilirler [41].

### 2.3.2. Adsorpsiyona Etki Eden Faktörler

**a) Adsorbent miktarı ve yüzey alanı:** Adsorplayıcı madde miktarının artması adsorpsiyon veriminin artmasını getirir, bunun nedeni yüksek adsorbent miktarlarında iyonlar açısından daha büyük bağlanma bölgeleri veya yüzey alanı oluşmasını sağlar [32]. Katı yüzey alanının büyük olması adsorbat ile temasının daha fazla olması demektir. Dolayısıyla adsorbent yüzey alanı büyüdükçe adsorpsiyon da artar [39]. Adsorpsiyon adsorplayıcı yüzeyinde gerçekleşen bir olay olduğundan, yüzey alanının büyümesi yüzeydeki aktif merkezlerin büyümesine neden olur ve dolayısıyla adsorpsiyon oranı da artar. Ayrıca tanecik boyutu küçülmesi ve katının gözenekli yapıda olması da yüzey alanını artırıcı etki göstererek adsorpsiyon kapasitesini artırır. [42].

**b) Adsorbent mesame büyüklüğü:** Adsorbent mesame büyüklüğü artarsa adsorplanan taneciklerin bu mesamelere birikilebilme olasılığı artar. Diğer bir deyişle bu mesamelerin artması adsorpsiyon kapasitesinin artmasını ifade etmektedir [4].

**c) Adsorbent solubilitesi:** Bir çözeltideki taneciklerinin çözücü-çözünen bağ kuvveti ile o maddenin adsorpsiyonu arasında ters bir ilişki vardır (Lundelius kuralı). Çünkü adsorbate çözülden ayırmak zor olursa adsorpsiyon verimi azalır [39].

**d) Adsorbatın molekül büyüklüğü:** Adsorbatın molekül büyüklüğü de adsorpsiyon hızına etki eder [43]. Adsorbent boyutuna bağlı olarak küçük moleküller kolayca adsorbe edilirler. Dolayısıyla molekül büyüklüğünün azalması demek adsorpsiyonun artması demektir [4].

**e) Adsorbatın iyon yükü:** Katı yüzeyi ile adsorbatların iyon yükleri aynı ise elektrostatik itme kuvvetleri oluşur, dolayısıyla birbirlerini iterler ve adsorpsiyon negatif yöne etkilenir. Ancak zıt yüklere sahip olduklarında adsorpsiyonun gerçekleşmesine bir katkı sağlayarak iyon değişiminin meydana gelmesini sağlarlar [42].

**f) Çözeltinin pH değeri:** Çözeltinin pH'ı adsorpsiyonu etkiler. Ortamın pH'ı yüksekse adsorbent yüzeyi daha negatif hale gelir ve pozitif yüklü bir adsorbatın adsorpsiyonu daha fazla meydana gelir. Ortamın pH'ı düşük ise adsorbent yüzeyi daha

pozitif hale gelir ve negatif yüklü bir adsorbatın adsorpsiyonu daha fazla gerçekleşir. Bazı maddeler düşük pH'da daha çok iyonlaşırken, bazıları da yüksek pH'da daha çok iyonlaşır. Adsorbat moleküllerin iyonlaşarak çözünmesi adsorpsiyon verimiyle doğru orantılıdır. Ortamın pH'ı bu iyonlaşmayı pozitif ve negative etkileyerek adsorpsiyon verimini etkilemektedir. Bu sebeple maksimum adsorpsiyonun gerçekleşeceği pH değeri belirlenmelidir [6].

**g) Ortam sıcaklığı:** Adsorpsiyon işlemleri genellikle ekzotermik (ortama ısı aktaran) tepkimelerdir. Bu yüzden, genellikle sıcaklık değeri azaldıkça adsorpsiyon verimi artar. Aksine işlem endotermik (ortamdan ısı alan) bir reaksiyonsa, adsorpsiyon sıcaklığın artması ile artacaktır [32]. Genel olarak fiziksel adsorpsiyonda yoğunlaşma nedeniyle yoğunlaşma mertebesinde ortama ısı aktarılır, kimyasal adsorpsiyonlarda ise kimyasal reaksiyon ısı derecesinde olduğu bilinmektedir [38].

**h) Çözelti karışımları:** Bir maddenin çözelti içerisinde saf olarak bulunduğu Çok bileşenli çözeltiler içerisindeki durumuna göre daha fazla adsorplanır. Bunun sebebi, tek çözücülü çözeltide bulunan bu madde, çözeltideki diğer maddelerle olan adsorplanma rekabetidir [39].

**i) Yüzey gerilimi:** Bir sıvının yüzey katmanının esnek bir tabakaya benzer özellikler göstermesinden kaynaklanan etkiye verilen addır. Yüzeydeki bir taneciğe altındaki tanecikler tarafından uygulanan çekme kuvveti, diğer ortamın tanecikleri tarafından dengelenemez. Bunun sonucunda sıvı moleküller arasındaki mesafe azalır ve çok ince bir sıvı zarı meydana gelir [4, 44]. Yüzey gerilimini azaldıkça yüzey genişlenir, bu şekilde adsorpsiyon daha rahat gerçekleşir. Gerilimi azaltmak için sıvının kendi moleküller arası bağların kırılması ve bu moleküllerle diğer faz arasındaki bağların oluşması sağlanmalıdır.

### 2.3.3. Adsorpsiyonun Kullanıldığı Prosesler

Adsorpsiyon prosesi atık su arıtımında; kabul edilmeyen koku ve tatların uzaklaştırılması, tarım ilacı uzaklaştırılması, fenol biçimde mini toksin oluşturan bileşiklerin giderilmesi, sanayi atık sulardan temelli organik maddelerin ve renklerin giderilmesi, birçok ağır madenlerin giderilmesi, gazların ayrılması, sıvılardan renk giderilmesi, sıvılarda bulunan koloidal parçacıkları ve çözünmüş gazların ayrılması, sulardan kirecin uzaklaştırılması, buhar maddelerin gaz fazından ayrılması, temizleme

tozu kalıntılarının sulardan çöktürülmesi, nitro ve klor bileşikleri benzeri spesiyal organik maddelerin giderilmesi, TOK ve klor gereksiniminin düşürülmesi gibi çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır [4, 45].

#### 2.3.4. Adsorpsiyon izotermi

Değişmez sıcaklıkta adsorbent yüzeyinde adsorba edilmiş taneciklerin dengede miktarı ile çözelti fazındaki derişimi arasındaki ilişkiyi gösteren bağıntılara veya eğrilere adsorpsiyon izotermi denmektedir [46]. Sulu çözeltilerden adsorpsiyonda yaygın olarak kullanılan bazı izoterm modelleri incelenmiştir [1].

##### Langmuir izoterm modeli:

Langmuir izotermi, birden fazla sayıda birbirine benzeyen noktalardan meydana gelen bir yüzeydeki tek tabaka adsorpsiyonunu açıklamakta tanılan en iyi izoterm modelidir. Bu model katı yüzeyindeki adsorpsiyon işleminde enerjinin sabit olduğunu ve adsorbent yüzeyindeki adsorplanan moleküllerin hareketinin mümkün olmadığını kabul etmektedir. Langmuir izoterm modeli eşitliği aşağıda verildiği gibidir [47].

$$C_e/q_e = 1/q_{\max} K_L + C_e/q_{\max} \quad (2.1)$$

$C_e$ : Adsorpsiyon sonrası çözeltide bulunan maddenin derişimi (mg/L)

$q_e$ : Birim adsorbent üzerine tutunan madde miktarı (mg/g)

$K_L$ : Adsorbatın adsorptivitesine bağılı olan sabit (L/g).

$q_{\max}$ : Dengede tutunan adsorbat miktarı (mg/g)

Bu modelde adsorpsiyon, adsorbat başlangıç konsantrasyonu ile birlikte lineer bir şekilde artar. Maksimum doyma noktasına ulaşıldığında yüzey tek tabaka ile kaplanmakta ve adsorbe olmuş adsorbat miktarı sabit kalmaktadır. Adsorpsiyon hızı adsorbat konsantrasyonu ve yüzey üzerinde bulunan boş adsorpsiyon alanları ile doğru orantılı iken, desorpsiyon hızı yüzeydeki adsorplanmış molekül sayısı ile doğru orantılıdır [4]. Şekil 2.12'de Langmuir izoterm modeli temsili olarak gösterilmiştir.

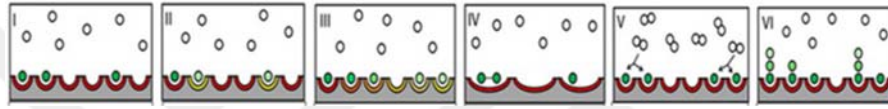
Weber ve Chakkravarti tarafından önerilen, ayırma sabiti ve parametresi olarak adlandırılan,  $R_L$  değeri Langmuir izotermine karakteristik özelliğini belirlemede kullanılır.  $R_L$ , Eşitlik 2.2’de verildiği gibi hesaplanmaktadır [48].

$$R_L = 1/1+K_L C_0 \quad (2.2)$$

$C_0$ : Çözelti başlangı derişimi (mg/L)

$R_L$  Langmuir ayırma faktörüne bakılarak, seçilen adsorbentin uygunluğu tespit edilir.

$R_L > 1$  uygun değildir,  $R_L = 1$  doğrusal,  $0 < R_L < 1$  uygundur,  $R_L = 0$  tersinmez



**Şekil 2.12.** Langmuir izoterm modeli- Altı adsorpsiyon seviyesinin şematik gösterimi [46]

### Freundlich izotermi:

Freundlich eşitliği, Almanyalı fizikokimyacı “Herbet Max Finlay Freundlich” bilim adamı tarafından 1906 yılında türetilmiştir ve tanılan en kadim adsorpsiyon izotermidir. Özellikle temiz ve heterojen katı yüzeylerindeki adsorpsiyonlar için geçerlidir [2]. Freundlich izotermi çok tabakalı adsorpsiyon modelidir [1]. Freundlich izotermine uyumluluğu için tutunma olayının fiziksel olması gerekmektedir [49]. Freundlich çözeltilerin adsorplanmasını aşağıdaki eşitlik 4 şeklinde yazılabilir [50].

$$\text{Log } q_e = \text{log } K_F + 1/n \text{ Log } C_e \quad (2.3)$$

$C_e$ : Adsorpsiyon sonrası çözeltide kalan maddenin konsantrasyonu (mg/L)

$q_e$ : Birim adsorbent üzerine adsorplanan madde miktarı (mg/g)

$K_F$  ( $\text{mg}^{1-(1/n)} \text{ l}^{1/n}/\text{g}$ ), ve  $n$  : Freundlich sabitleridir

Log  $q_e$ 'ye karşı log  $C_e$  grafiği çizilirse eğimden ve kesim noktasından sırasıyla  $1/n$  ve  $K_F$  sabitleri bulunur. Eğer bu sabitler yüksek değerlerde hesaplanırlarsa, adsorbentın tutunmaya eğilimi ve tutunma kapasitesinin yüksek olduğu ifade edilir. Burada  $n$  değerinin 1 ile 10 arasında bulunması adsorpsiyonun iyi olduğunu bize söyler. Adsorbent yüzeyinin heterojenliğini 0-1 arası değerleri olan  $1/n$  etkeni anlatır. Bu etken ne kadar küçük ve sıfıra yakınsa, yüzeyin o kadar daha fazla heterojen olduğu anlaşılır [51]. Bu izoterminin doğruluğu, heterojen adsorpsiyon yöntemlerinde Langmuir izoterime nisbeten daha elverişlidir [39].

#### **Dubin-Radushkevich izotermi:**

D-R izotermi en çok adsorbentın karakteristik gözenekliliğinin yanı sıra heterojen bir yüzeye olan görünür adsorpsiyon enerjilerini (özellikle gözenekli adsorbentlerde) tahmin etmek için test edilir. D-R izoterm modeli eşitliği aşağıda verildiği gibidir [1].

$$\ln q_e = \ln q_D - \beta \varepsilon^2 \quad (2.4)$$

$$\varepsilon = R_g T \ln (1 + 1/ C_e) \quad (2.5)$$

#### **Temkin izotermi**

Temkin adsorpsiyon izotermi, adsorbent-adsorbat etkileşimlerinin adsorpsiyon üzerindeki etkilerini ifade eden bir adsorpsiyon izotermidir. Bu izoterme göre, tabakadaki bütün moleküllerin adsorpsiyon ısısı lineer olarak azalmaktadır. Temkin izoterm modeli eşitliği aşağıda verildiği gibidir [1].

$$q_e = B_T \times \ln(K_T) + B_T \times \ln(C_e) \quad (2.6)$$

$$B_T = RT/b_T \quad (2.7)$$

$$\ln(q_e) = \ln(q_m) + \beta \times \varepsilon^2 \quad (2.8)$$

#### **2.3.5. Adsorpsiyon kinetiği**

Adsorpsiyon kinetiği adsorpsiyon işleminin zamana bağlılığına denmektedir. Adsorpsiyon kinetiği adsorbent ve adsorbat arasındaki etkileşime ve sistem koşullarına bağlıdır. adsorpsiyon işleminin hızına etki eden basamakların belirlenmesinde Adsorpsiyon kinetiğinin belirlenmesi çok önemlidir [40].

Herhangi bir maddenin moleküllerinin adsorpsiyonu aşağıdaki basamaktan oluştuğu kabul edilmektedir [49, 52].

- 1) Gaz veya sıvı fazlarda bulunan adsorbat, adsorbenti kaplayan bir film tabakası sınırına doğru difüze olur (film difüzyonu).
- 2) Film tabakasına gelen madde buradaki durgun kısımdan geçerek adsorbentin gözeneklerine doğru ilerler.
- 3) Daha sonra adsorbentin gözenek boşluklarında hareket ederek adsorpsiyonun meydana geleceği yüzeye doğru ilerler (tanecik içi difüzyon).
- 4) En son olarak da adsorbat moleküllerinin adsorbentin gözenek yüzeyine tutunması meydana gelir ki bu adım çok hızlı gerçekleşir.

Adsorpsiyonun gerçekleştiği faz durgun ise 1. basamak yavaş olur ve adsorpsiyon hızını belirler. Dolayısıyla fazda hareket ettirilirse, yüzeyin tabaka kalınlığı azalır ve adsorpsiyon hızı artar. Eğer bu basamakta karıştırma yapılırsa adsorpsiyon hızını belirleyen basamaklar kesinlikle 2. ve 3. basamaklar olacak çünkü 4. Basamak aşırı derecede hızlı olacaktır. 2. basamağı adsorpsiyon prosesinin ilk birkaç dakikasını, 3. basamaksa adsorpsiyon prosesinin geri kalan uzun olan süresinde meydana gelir. Adsorpsiyon geçek manede etkileyen basamak, 3. basamağın olabileceği konuşulabilir. [49].

Yalancı birinci ve yalancı ikinci mertebeye kinetik modellerini kullanarak, tüm adsorplama aşamaları kapsayan tutunma hız sabitleri elde edilir. Bu şekilde, birinci mertebeden kinetik model Eşitlik 2.9'deki gibi gösterilmektedir [53].

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

Burada  $k_1$ , birinci derece Lagergren adsorpsiyon hız sabiti ( $\text{dak}^{-1}$ );  $q_t$ , herhangi bir  $t$  anında adsorplanan madde miktarı ( $\text{mol/g}$ ); ve  $t$ , zamandır ( $\text{dak}$ ).

Yalancı ikinci dereceden adsorpsiyon hız eşitliği [53].

$$t/q_t = 1/k_2 q_e^2 + 1/q_e \quad (2.10)$$

Eşitlikleri ile hesaplanmıştır. Burada  $q_e$  ve  $q_t$  adsorplanan metilen mavisi miktarını ( $\text{mol/g}$ ),  $t$  zaman ( $\text{dak}$ )  $k_2$  ikinci derece hız sabitini ( $\text{g/mol/dak}$ ) ifade etmektedir.

### 2.3.6. Adsorpsiyon termodinamiği

Adsorpsiyonun kimyasal mı fiziksel mi belirlenmesi önemlidir. Kimyasal adsorpsiyonda, etkileşim kimyasal bağ oluştururken, fiziksel adsorpsiyon, Van Der

Waals kuvveti gibi zayıf etkileşimlerden meydana gelmektedir. Hem fiziksel hem de kimyasal adsorpsiyon, standart gibbs serbest enerji değişimi ( $\Delta G^\circ$ ), entalpi değişimi ( $\Delta H^\circ$ ) ve entropi değişimi ( $\Delta S^\circ$ ) içeren termodinamik parametreler aracılığıyla ayırt edilebilir.

Standart  $\Delta G$  negatif olduğunda kimyasal tepkimeler kendiliğinden meydana gelir. Eğer serbest enerjide bir değişiklik olmazsa ( $\Delta G=0$ ) adsorpsiyon tersinir işlemler veya denge halinde olur. Ancak  $\Delta G$ 'nin pozitif olması ise, serbest enerjinin artacağı anlamına gelmektedir. Gibbs-Helmholtz eşitliği aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ \quad (2.11)$$

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_D \quad (2.12)$$

$$K_d = (C_0 - C_e)/C_e \times V/m \quad (2.13)$$

Burada,  $\Delta G^\circ$ : Standart Gibbs serbest enerji değişimi (kJ/mol),  $\Delta H^\circ$ : Standart entalpi değişimi (kJ/mol),  $\Delta S^\circ$ : Standart entropi değişimi (kJ/molK), T: Mutlak sıcaklık (K),  $K_d$ : sistemin denge sabiti,  $C_i$ : Başlangıçtaki çözelti konsantrasyonu (M),  $C_e$ : Adsorpsiyon sonrası çözeltide kalan adsorbat derişimi (M), V: Çözelti hacmi (mL), m: Adsorbent miktarı ve R : Gaz sabiti (J/mol K)'dir

Yukarıdaki eşitliklerden yola çıkarak aşağıdaki Van't Hoff eşitliği türetilir:

$$\Delta G^\circ = -RT \ln K_d = \Delta H - T\Delta S^\circ \quad (2.14)$$

$$\ln K_d = \Delta S^\circ/R - \Delta H^\circ/RT \quad (2.15)$$

$\ln K_d$  ile  $1/T$  arasında bir grafik çizilirse bir doğruluk eğim verir. Bu doğrunun eğiminden  $\Delta H$ , kesim noktasından da  $\Delta S$  değerleri bulunabilir [1, 55].

### 3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Şuheda Katar (2016) çalışmasında, asidik materyal temizleme tozundan ayrılan fungus *Talaromyces aculeatus* (AMDC-14) adsorbent olarak kullanılmıştır. Bu materyalı kullanarak tekstilde kullanılan ve atığı çevreye zarar verici olan bazı boyar maddelerin “Reaktif Mavi 13 (RM13), Reaktif Mavi 72 (RM72), Reaktif Sarı 85 (RS85) ve Reaktif Turuncu 13 (RT13)” tutulması incelenmiştir. Adsorpsiyon çalışmalarında adsorpsiyonu etki eden bazı parametrelerin deneyleri yapıp etkin değerleri bulunmuştur. Bu boyar maddelerin adsorpsiyonu için optimum koşulları: adsorpsiyon miktarı (1-2) g/L arası, pH 2, süre 120 dak ve sıcaklık (30-40) °C arası belirlenmiştir. Daha sonra izoterm, termodinamik, SEM ve FTIR analizleri yapılmıştır. İncelenen boyar maddelerin tümünde, freundlich izoterme göre langmuir izotermi daha çok uyumluk göstermiştir. Termodinamik çalışmaları sonucunda her dört boyar madde kendiliğinden, RM72 dışında tüm boyaların endotermik, olduğu tesbit edilmiştir. Çalışma sonucunda kurutulmuş AMDC-14'nin iyi ve etkili bir biyosorbent olduğu yorumlanmıştır.[56].

Melda Bolat (2015) çalışmada, kitosan ile immobilize edilmiş yarfıstığı kabuğu (KİYK) kullanarak Asit kırmızısı 1 (AK1)'nin biyosorpsiyonu incelenmiştir. Adsorpsiyon çalışmalarda hem kesikli sistemde hem de sürekli sistemde bazı parametreler yapılmıştır. Adsorbent miktar, pH etkisi, konsantrasyon etkisi, sıcaklık ve yabancı iyon deneyleri kesikli sistemde gerçekleştirilmiştir. Adsorbent miktarı, çözeltinin akış hızı ve desorpsiyon deneyleri sürekli sistemlerde gerçekleştirilmiştir. Yapılan Deneyler verilenine göre incelenen adsorpsiyon işleminde adsorbent miktar, adsorpsiyon süresi ve başlangıç pH parametreleri büyük bir rol oynamaktadır. Optimum adsorbent miktarı 0,2 g/L ve etkin pH değeri 2'de bulunmuştur. En yüksek adsorpsiyon oranı % 91.5 olarak elde edilmiştir. Yapılan kinetik çalışma sonucunda biyosorpsiyonun ikindi-dereceden bir modele uyduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak kullanılan (KİYK) adsorbentin AK1 boyar maddenin atık sularından uzaklaştırılmasında etkili olduğu söylenmiştir [57].

M.Fatih Gözükızıl (2013) çalışmasında, biyodorpsiyon ve fenton-foto frnton giderim yöntemi ile tekstil sanayide kullanılan remazol red ve remazol yellow boyar

maddelerinin giderimi incelenmiştir. Biyosorpsiyon deneylerinde ayçiçek küpesi biyosorbent olarak kullanılmıştır. Çalışılan parametreler (Adsorbent miktarı etkisi, pH etkisi, süre etkisi, konsantrasyon etkisi, sıcaklık etkisi ve elektrolit etkisi) sonucunda belirlenen optimum değerlerde adsorpsiyon yüzdesi remazol red için %71 ve remazol yellow için %70 olarak bulunmuştur. Daha sonra kinetik, izoterm, ve FTIR spektrum analizleri yapılmıştır. Yalancı ikinci dereceden kinetik modele ve Langmuir izoterme uyumluluğu gözlenmiştir. Fenton ve foto-fenton yöntemi kapsamında çalışılan parametreler (Demir sülfat miktarı, hidrojen peroksit miktarı ve pH etkisi) sonucunda etkin değerler belirlenip, remazol red için %98 ve %99, remazol yellow için %85 ve %87 olarak adsorpsiyon yüzdeleri bulunmuştur. [58].

Hüseyin Özkan Cançelik ve diğerleri (2017) çalışmasında kullanılan ve Erzincan'dan izole edilen *P. ostreatus* mantarının, tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılan Direct Black 22 azo boyasının biyosorpsiyonu–biyodegradasyonu ve bu amaçla fonksiyon gösteren enzimlerin aktiviteleri araştırılmıştır. Ayrıca özellikle tekstil boya endüstrisinde kullanılan ve bu işletmelerden çevreye bırakılan atık su içerisindeki önemli kirlilik faktörü olan sentetik boyar maddelerin düşük maliyetle ve kısa sürede biyolojik olarak arıtılması amaçlanmıştır. Sonuç olarak, polifenol oksidaz, lakkaz, mangan peroksidaz ve lignin peroksidaz gibi enzimlerin azo boyaların giderimi üzerinde etkili sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Özellikle lakkaz enziminin aktivitesi yüksek çıkmıştır. Ayrıca arıtım üzerine farklı kerestecilik atıklarının da besin kaynağı olarak kullanımı denenmiş ve *P. ostreatus*'un üzerinde çürükçül olarak yaşadığı ağaç türlerinin kabuk kısımlarını mikro partikül haline getirdiği ve boyarmadde giderim ortamında kullandığı belirlenmiştir [59].

Jianguo ve ark. (2018) tarafından, *Ganoderma lucidum* kültüründen kalan atık olan *Ganoderma lucidum*'ün kullanılan parçaları (SSGL), ilk defa, üç tipik boyar maddenin (malahit yeşili, safran T ve metilen mavisi) adsorpsiyonunda biyosorbent olarak kullanılmıştır. SSGL, hidroksil ve karbonil gruplarınca zengindir. Adsorpsiyon termodinamiği ve kinetik çalışılmış, SSGL'nin su ve atıksulardan bu üç boyanın uzaklaştırılmasında etkili biyosorbent olabilme potansiyeline sahip ve çevre dostu olduğu belirtilmiştir. Deneysel veriler en iyi Langmuir and Freundlich isotermi ile

uyumlu bulunmuştur. Boyaların SSGL yüzeyine tek tabaka şeklinde yerleştiği, adsorpsiyonun kendiliğinden ve kimyasal olduğu saptanmıştır. Adsorpsiyonun kısa zamanda dengeye ulaştığı yani hızlı olduğu ve ikinci mertebe kinetik modeline uyduğu saptanmıştır [60].

Muhammed Kamil Oden (2019) araştırma çalışmasında, doğada bulunan ve doğal olarak beslenen bazı mantarların çevre kirliliği arıtımında rol oynayabilirliği araştırılmıştır. Bilimsel edebiyatta bulunan mantar inceleyen bazı araştırmalar dikkate alınıp ve bu araştırmaların yöntem, mantar ve optimizasyon kritikleri kıyaslanmıştır. Çalışma değerlerinden yararlanarak bu mantarların ne tür kirleticileri giderdiği incelenerek paylaşılmıştır. Sonuç olarak bu çalışmada “*Pleurotus*” mantarı türleri en çok tercih edildiği ve adsorpsiyon parametrelerden elde edilen optimum değerlerde yüksek kirletici adsorpladığı görülmüştür [35].

## 4. DENEYSEL KISIM

### 4.1. Materyal

#### 4.1.1. Biyosorbent

Kültür mantarı (*Agaricus Bisporus*) dünyada ve Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde hem doğal olarak hem de yapay olarak üretilmektedir. ABm yapay ortamda çok kolay üretilmesi ve tarih ilerledikçe üretiminin daha çok artması ile uygun hammadde bulma olanağı araştırmacıların dikkatini çekmektedir. Bu çalışma kapsamında, Türkiye pazarlarında kolay ve ucuz olarak bulunabilen ABm temizleme ve kurutma işlemleri uygulayarak adsorbent elde edilmeye çalışılmıştır.

Mantarın iki bölümlerinde (sap, şapka) adsorpsiyon verimlerinin farklı olabileceği düşünüldüğünden, temin edilen ABm'nın bir kısmı bir bütün olarak kullanılırken, diğer mantarlar sadece sap ve sadece şapka şeklinde ikiye bölündü. Bu üç çeşit (bütün mantar, mantarın sapı, mantarın şapkası) ayrı ayrı küçük parçalar halinde eldiven ile doğrandı. Bu parçalar etüvde 50°C'de 24 saat bir zaman içerisinde kurutuldu. Bu kuru mantarlar porselen havanda öğütülerek 0,125 mm elekten geçirildi ve adsorpsiyon çalışmalarında kullanılmak üzere hazır hale getirildi (Şekil 4.1.).



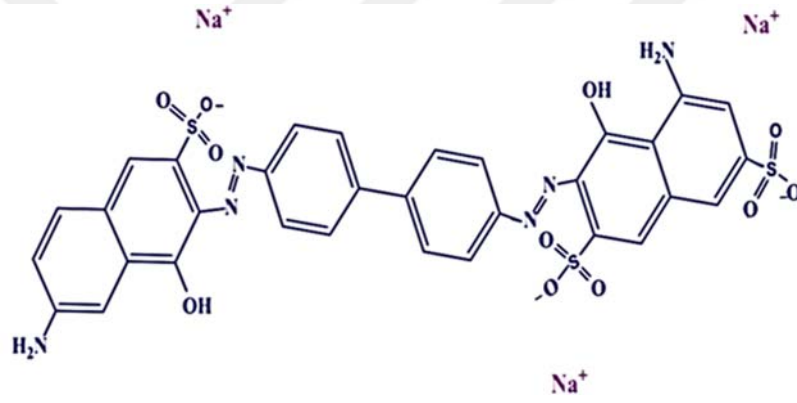
Şekil 4.1. Doğranmış mantar ve etüvde kurutulan mantarlar.

#### 4.1.2 Azo Boyarlar

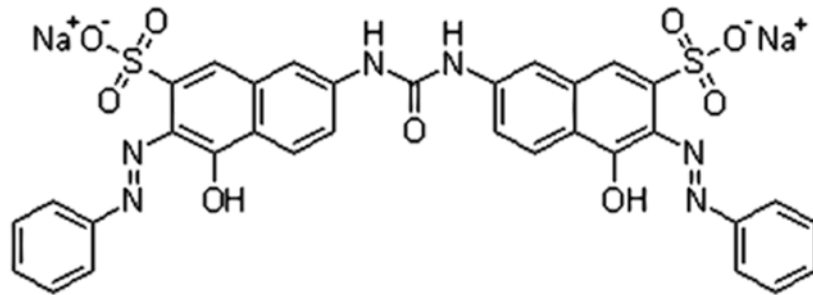
Yapılan çalışmada adsorbe edilen madde olarak, Azo boyar maddeleri olan DB2 ve DO26 seçilmiştir. Endüstride başlıca kullanım alanı Tekstil boyamadır. Bazik

boyar maddeler olan DB2 ( $C_{32}H_{21}N_6Na_3O_{11}S_3$ ) ve DO26 ( $C_{33}H_{22}N_6Na_2O_9S_2$ )' her ikisinin molekül yapısında azo grubu bulunur ve bu grup azo boyar maddesi olarak adlandırmalarına sebep olur. DB2 (Trisodium,5-amino-3-[[4-[4-[(7-amino-1-hydroxy-3sulfonatophthalen-2-yl)diazenyl]phenyl]phenyl]diazenyl]-4-hydroxynaphthalene-2,7 disulfonate.). molar kütle 830.7 g/mol [61]. DB2'nin yapısı Şekil 4.1.b'de gösterilmiştir.

DO26'nin Molekül ağırlığı 756.67 g/mol, bilimsel ismi [Disodium, 4-hydroxy-7-[(5-hydroxy-6-phenyldiazenyl-7-sulfonaphthalen-2-yl) carbamoylamino]-3-phenyldiazenylnaphthalene-2-sulfonate.] [62]. DO26'nin yapısı Şekil 4.1.b'de gösterilmiştir



Şekil 4.1.a. DB2 yapısı [61].



Şekil 4.1.b. DO26 yapısı [62]

### 4.1.3 Kullanılan Kimyasallar ve Cihazlar

- Direkt Blue 2 ( $C_{32}H_{21}N_6Na_3O_{11}S_3$ ).
- Direkt Orange 26 ( $C_{33}H_{22}N_6Na_2O_9S_2$ ).
- Kültür mantarı (*Agaricus Bisporus*).
- Potasyum bromür (KBr).
- Hidroklorik asit (HCl)
- Sodyum hidroksit (NaOH).
- Aseton ( $C_3H_6O$ ). (%99)
- Hidroklorik asit (HCl) (% 30-33 luk d:1,150-1,160  $g/cm^3$ )
- Nitrik asit ( $HNO_3$ ) (% 65 ma:63,01 g/mol)
- Etüv (DRY-Line, WR 16–100°C).
- Çalkalamalı su banyosu (GFL 1083).
- pH metre (Hanna HI 221).
- Manyetik ısıtıcı karıştırıcı (IKA RCT BASIC).
- Hassas terazi (Sartorius AX224).
- UV-vis spektrofotometre (SHIMADZU UV-1800).
- FT-IR spektrofotometre (Spectrum BX FT-IR Perkin Elmer)
- Santrifüj (Hettich EBA-20, Almanya).
- Porselen havan
- Elek (Agrega 0,125 mm).

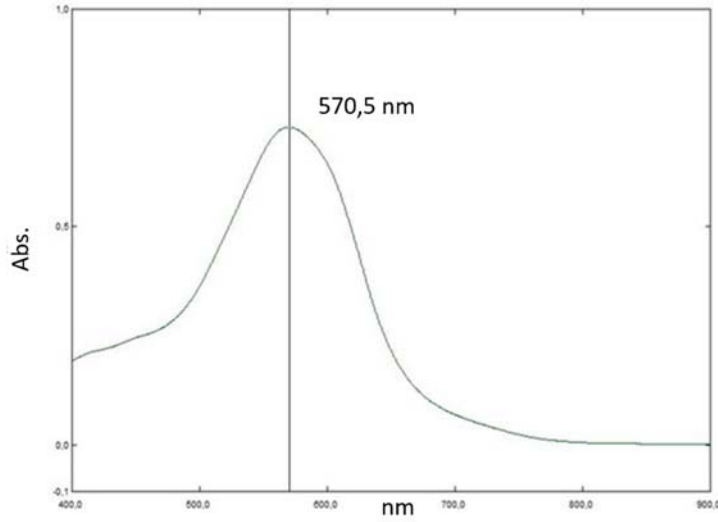
## 4.2. Yöntem

### 4.2.1. Boya Çözeltilerinin Hazırlanması:

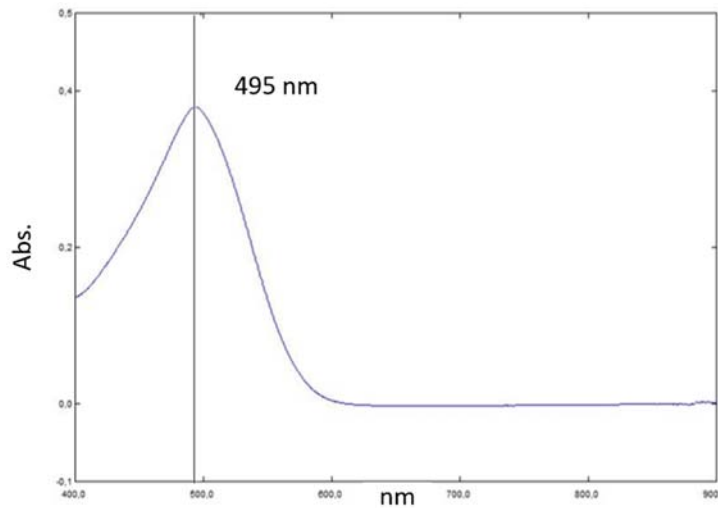
DB2 (pH 8,56) ve DO26 (pH 9) bazik boyalardır. Deneysel çalışmalarda DB2 stok çözeltisi 0,4153 g toz boyar madde 50 ml saf su içerisinde çözülerek, DO26 boyar madde ise 0,3783 g toz boyar madde 50 ml saf su içerisinde çözülerek her bir boya için 0,01 M konsantrasyonlu çözeltiler hazırlanmıştır.

#### 4.2.2. DB2 ve DO26 nin spektrofotometrik tayinleri

Renk analizlerinin yapılabilmesi için gerek DB2 gerekse DO26'nin etkin dalga boyları tesbit edildi. Şekil 4.2.2.a'da DB2'nin ve Şekil 4.2.2.b. da DO26'nın dalga boyu taraması nihayetinde, tayin edilen dalga boyu taramasının spektrum ekran görüntüsü sunulmuştur. Dalga boyu tarama işlemi nihayetinde DB2 çözeltisi için 570.5 nm dalga boyu, DO26 için 495 nm dalga boyu belirlenmiştir.



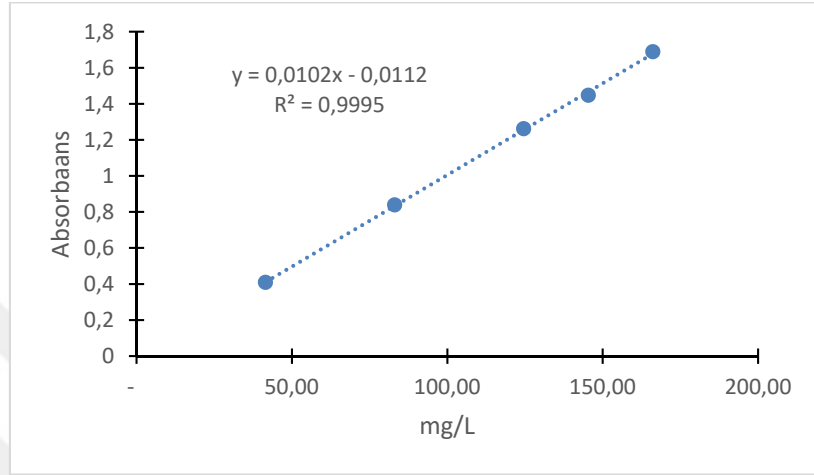
Şekil 4.2.2.a DB2'nin spektrumu.



Şekil 4.2.2.b DO26'nin spektrumu.

#### 4.2.3. DB2 Çalışmaları

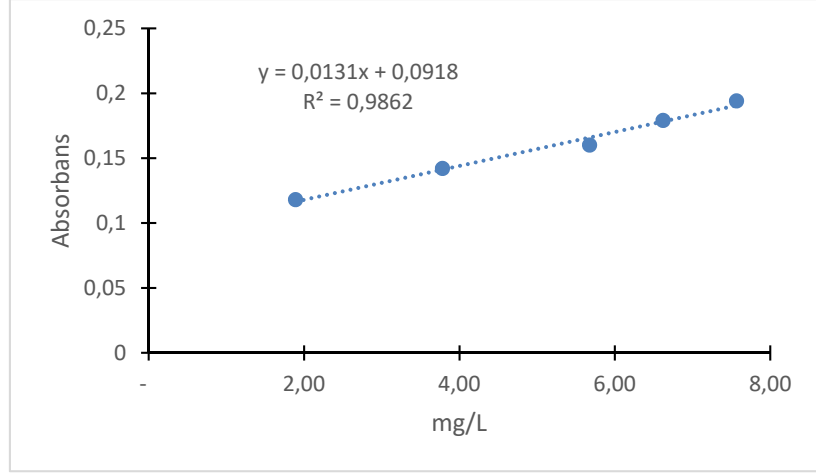
Hazırlanan stok çözelti  $0,01 \text{ M}$ 'den  $0,5 \times 10^{-4} \text{ M}$ ,  $1 \times 10^{-4} \text{ M}$ ,  $1,5 \times 10^{-4} \text{ M}$ ,  $1,75 \times 10^{-4} \text{ M}$ , ve  $2 \times 10^{-4} \text{ M}$  boya konsantrasyonu olacak şekilde seyreltmeler yapıldı. Çözeltilerin absorbansları spektrofotometrede  $570,5 \text{ nm}$  dalga boyunda okunarak absorbans değerleri elde edildi. Absorbans değerlerinden konsantrasyon değerlerine geçebilmek için kalibrasyon eğrisi çizildi (Şekil 4.2.3).



Şekil 4.2.3. DB2 boyar kalibrasyon Grafiği

#### 4.2.4. DO26 Çalışmaları

Başlangıçta hazırlanan stok çözeltiden boya konsantrasyonu  $2,5 \times 10^{-6} \text{ M}$ ,  $5 \times 10^{-6} \text{ M}$ ,  $7,5 \times 10^{-6} \text{ M}$ ,  $8,8 \times 10^{-6} \text{ M}$  ve  $10 \times 10^{-6} \text{ M}$  olacak şekilde seyreltmeler yapıldı. Hazırlanan numunelerin spektrofotometrede  $495 \text{ nm}$  dalga boyunda okunarak absorbans değerleri elde edildi. Elde edilen absorbans değerlerinden konsantrasyon değerlerine geçebilmek için kalibrasyon eğrisi çizildi (Şekil 4.2.4).



**Şekil 4.2.4.** DO26 boyar kalibrasyon grafiği.

### 4.3. FTIR Analizleri

Mantar üzerinde DB2 ve DO26 boyar maddelerinin tutulumunu tespit etmek ve yapısında meydana gelen değişimleri belirlemek amacı ile: 1) mantarın deney öncesi 2) DB2 ve DO26 çözeltilerini 3) deney sonrası mantar+DB2 ve 4) deney sonrası mantar+DO26 FTIR spektrumları 4000-600 nm aralığında alınmıştır. Analiz öncesi KBr ve numuneler önceden 2 saat 95°C sıcaklığında etüvde kurutulmuştur.

### 4.4. Biyosorpsiyon Çalışmaları

#### 4.4.1. DB2 Çalışmaları

##### 4.4.1.1. Biyosorbent Miktar Etkisi

Standart şartlarda (25 °C, 1 atm), bütün mantar, mantarın sapı ve mantarın şapkası olmak üzere bu üç tür kuru mantarlardan, her biri için 6 adet pet su şişe hazırlamakla beraber bunların içerisine, 0,05 g, 0,1 g, 0,15 g, 0,2 g, 0,25 g ve 0,3 g mantar tartarak 10 mL'lik 8,56 pH 'lı ve 0,0005 M konsantrasyonlu boyar madde eklendi. 1 adet pet su şişeye eşdeğer hacimde saf boyar madde ekleyerek kör olarak kullanıldı. Bu pet şişeler iki saat boyunca çalkalama cihazında çalkalandı. Çalkalama işleminden sonra 8 dakikalık 60 rpm hızda santrifüj cihazında santrifüjlendi, ardından 570 nm dalga boyunda UV spektrum cihazında absorbanları alındı.

##### 4.4.1.2. pH Etkisi

Standart koşullarda (25 °C, 1 atm). Sap, şapka ve bütün mantarları her biri için 7 adet pet su şişe ayarlayarak, içlerine miktar parametre deneyleri sonunda seçilmiş olan değerde (0,15 g bütün için, 0,2 g sap ve şapka için) mantar tartarak, pH 3-9 aralığında 0,0005 M konsantrasyonlu 10 mL boyar madde eklendi. 1 adet pet su şişe, içine aynı hacimde pH'ı 8,5 olan saf stok boyar maddeden ekleyerek kör olarak ayarlandı. Bu pet şişeler iki saat çalkalanma, 60 rpm hızda 8 dak santrifüjlüme sonrasında 570 nm dalga boyunda UV spektrumları alındı. Adsorpsiyon işleminden sonra adsorpsiyon önceye göre azo boyar madde çözeltisinin pH değişimini ölçmek için santrifüj sonrası duru fazların pH'ları da ölçüldü.

#### **4.4.1.3. Çalkalama Süresinin Etkisi**

Standart şartlarda her bir mantar için 12 adet pet su şişesi içine, optimum miktarda (0,15 g bütün için, 0,2 g sap ve şapka için) mantar, optimum pH' da (pH 5) boyar madde eklendi. Eklenen boyar maddenin hacmi 10 ml, konsantrasyonu 415 mg/L. Kor hazırlamasında 1 adet pet şişeeye eşdeğer hacimde saf stok boyar madde eklendi. Bu pet şişeler sırasıyla 2, 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360 dak şeklinde çalkalama cihazında çalkalandı. Çalkalama işleminden sonra 60 rpm hızda 8 dakikalık santrifüj cihazında santrifüjlendi. Ardından 570 nm dalga boyunda UV spektrum cihazında absorbanları alındı.

#### **4.4.1.4. Konsantrasyon Etkisi**

Bu parametre standart koşullarda, optimum miktar (0,15 g bütün, 0,2 g sap ve şapka), optimum pH (pH 5), optimum süre (60 dak) değeri kullanarak yapıldı. Sap, şapka ve bütün mantar her biri için 7 adet pet su şişesi ayarlandı. 10 mL hacimli  $0,8 \times 10^{-4}$  M,  $1 \times 10^{-4}$  M,  $2 \times 10^{-4}$  M,  $3 \times 10^{-4}$  M,  $4 \times 10^{-4}$  M,  $5 \times 10^{-4}$  M,  $6 \times 10^{-4}$  M,  $8 \times 10^{-4}$  M, ve  $10 \times 10^{-4}$  M derişimlerde çözeltiler hazırlandı. Her bir konsantrasyon için 1 adet kör çözelti hazırlandı. Çalkalama işleminden sonra 60 rpm hızda 8 dakikalık santrifüj cihazında santrifüjlendi, ardından 570 nm dalga boyunda absorbanları alındı.

#### **4.4.1.5. Sıcaklık Etkisi**

Tüm parametrelerin optimum değerlerini kullanarak (0,15 g bütün, 0,2 g sap ve şapka), pH 5, 60 dakika, 0,0004 M)) ve 10 °C, 15 °C, 20 °C, 25 °C, 30 °C ve 35 °C sıcaklıklarda sıcaklık deneyleri yapıldı. Her bir sıcaklık için ayrı bir kör çözelti ayarlandı. Çözeltiler deney sonrası 60 rpm hızdaki 8 dakikalık santrifüjlüme bitince hemen absorbanları alındı.

#### **4.4.2. DO26 Çalışmaları**

##### **4.4.2.1. Adsorbent Miktar Etkisi**

Standart koşullar altında 6 adet pet şişeye 0,05 g, 0,1 g, 0,15 g, 0,2 g, 0,25 g ve 0,3 g kuru mantar tartarak, 9 pH'lı, 0,0005 M konsantrasyonlu DO26 boyar maddeden 10 mL direkt eklendi. 1 adet pet şişeye eşdeğer hacimde saf boyar madde eklendi ve kör olarak kullanıldı. Standart şartlarda yapılan deneyde 120 dakikalık çalkalama, 60 rpm hızda 8 dakikalık santrifüjlüme sonrası 495 nm dalga boyunda absorbanları alındı.

##### **4.4.2.2. pH Etkisi**

Normal şartlarda 7 adet pet şişe içerisine 0,15 g (optimum miktar) tartarak, pH3-9 aralığında 0,0005 M konsantrasyonlu 10 mL boyar madde eklendi. 1 adet pet şişe, içine aynı hacimde pH'i 9 olan saf stok boyar maddeden ekleyerek kör olarak ayarlandı. Bu pet şişeler içindeki numunelerin, 120 dakika çalkalanma, 60 rpm hızda 8 dak santrifüjlüme sonrasında 495 nm dalga boyunda absorbanları alındı. Santrifüj sonrası duru fazların pH'ları de ölçüldü.

##### **4.4.2.3. Çalkalama sürenin Etkisi**

Normal koşullarda 12 adet pet su şişesi içine, optimum miktarda (0,15 g) mantar, optimum pH'te (pH 4) boyar madde eklendi. Eklenen boyar maddenin hacmi 10 ml, konsantrasyonu 0,0005 M olarak ayarlandı. Kör hazırlamasında 1 adet pet şişeye eşdeğer hacimde saf stok boyar madde eklendi. Bu pet şişeler sırasıyla 2, 5, 10, 15, 20, 30, 60, 120, 180, 240, 300 ve 360 dak şeklinde çalkalama cihazında çalkalandı. Çalkalama işleminden sonra 60 rpm hızda 8 dakikalık santrifüj cihazında santrifüjlendi. Çözeltilerin konsantrasyonları tayin edildi.

#### 4.4.2.4. Konsantrasyon etkisi

Bu parametre standart koşullarda, optimum miktar (0,15 g), optimum pH (pH 5), optimum süre (60 dak) değerleri kullanarak yapıldı. 7 adet pet su şişesi ayarlandı. 10 mL hacimli  $0,3 \times 10^{-4}$  M,  $0,4 \times 10^{-4}$  M,  $0,6 \times 10^{-4}$  M,  $1 \times 10^{-4}$  M,  $2 \times 10^{-4}$  M,  $3 \times 10^{-4}$  M,  $4 \times 10^{-4}$  M,  $5 \times 10^{-4}$  M,  $6 \times 10^{-4}$  M,  $7 \times 10^{-4}$  M ve  $8 \times 10^{-4}$  M derişimleri çözelti hazırlandı. Her bir konsantrasyon için 1 adet kör çözelti hazırlandı. Çalkalama işleminden sonra 120 rpm hızda 8 dakikalık santrifüj cihazında santrifüjlendi ve çözeltilerin konsantrasyonları tayin edildi.

#### 4.4.2.5. Sıcaklık Etkisi

Tüm parametrelerin optimum değerlerini kullanarak (0,15 g mantar, pH 5, 60 dakika,  $0,0004$  M) ve  $10$  °C,  $15$  °C,  $20$  °C,  $25$  °C,  $30$  °C,  $40$  °C ve  $50$  °C sıcaklıklarda sıcaklık deneyleri yapıldı. Her bir sıcaklık için ayrı bir kör çözelti ayarlandı. Çözeltiler deney sonrası santrifüjlendi ve ölçümleri alındı.

#### 4.4.3. Kinetik Çalışmalar

Her iki mantar türü için gerçekleştirilen farklı zamanlardaki (2, 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 120, 180, 240, 300. dakika) adsorpsiyon işlemleri görmeyen ve gören boyar madde konsantrasyonları arasındaki farkı hesaplıyarak tutunan boya miktarları bulundu. Sonuçtaki verilerden yararlanarak birinci ve ikinci derece reaksiyon kinetik modellerine uyumluluğu non-lineer regresyon analizi ile belirlendi. Daha sonar kinetik modellerin sabitleri hesaplanarak, adsorpsiyon kinetiği üzerinde yorumlar yapılmaya çalışıldı.

#### 4.4.4. İzoterm Çalışmaları

Adsorbent üzerindeki adsorpsiyon denge durumunun belirlenebilmesi için, içerisinde (DB2: 0,15 g bütün, 0,2 g sap ve şapka, DO26: 0,15 g) şer kuru mantar bulunan pet şişelere sırasıyla  $0,8 \times 10^{-4}$  M,  $1 \times 10^{-4}$  M,  $2 \times 10^{-4}$  M,  $3 \times 10^{-4}$  M,  $4 \times 10^{-4}$  M,  $5 \times 10^{-4}$  M ve  $6 \times 10^{-4}$  M DB2 ve DO26'dan da 10 mL  $0,3 \times 10^{-4}$  M,  $0,4 \times 10^{-4}$  M,  $0,6 \times 10^{-4}$  M,  $1 \times 10^{-4}$  M,  $2 \times 10^{-4}$  M,  $3 \times 10^{-4}$  M,  $4 \times 10^{-4}$  M ve  $5 \times 10^{-4}$  M çözeltileri hazırlanarak yapılan (DO26 ve DB2 Bütün için 0,15 g, DB2 Sap ve Şapka için 0,2 g mantar) deney sonuçları

kullanılarak Langmuir, Freundlich, DRK ve Temkin izotermi modellerine uyumu araştırıldı.

#### **4.4.5. Termodinamik Çalışmalar**

Adsorpsiyon termodinamik niceliklerinin belirlenebilmesi amacıyla 10°C, 15°C, 20°C, 25°C ve 30°C sıcaklıklarda yapılan çalışmaların verileri kullanıldı. Eşitlikde belirtilen 1/T ye karşı  $\ln K_D$  değerlerinin grafikleri oluşturuldu ve böylece adsorpsiyon prosesinin termodinamik değerleri ( $\Delta G^\circ$ ,  $\Delta S^\circ$  ve  $\Delta H^\circ$ ) hesaplandı.

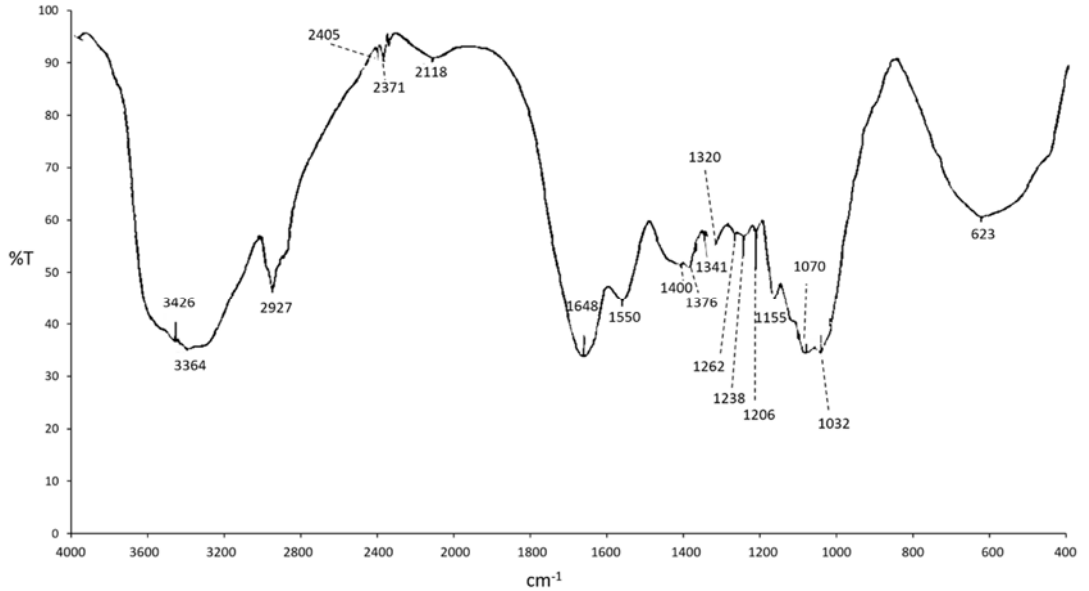


## 5. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

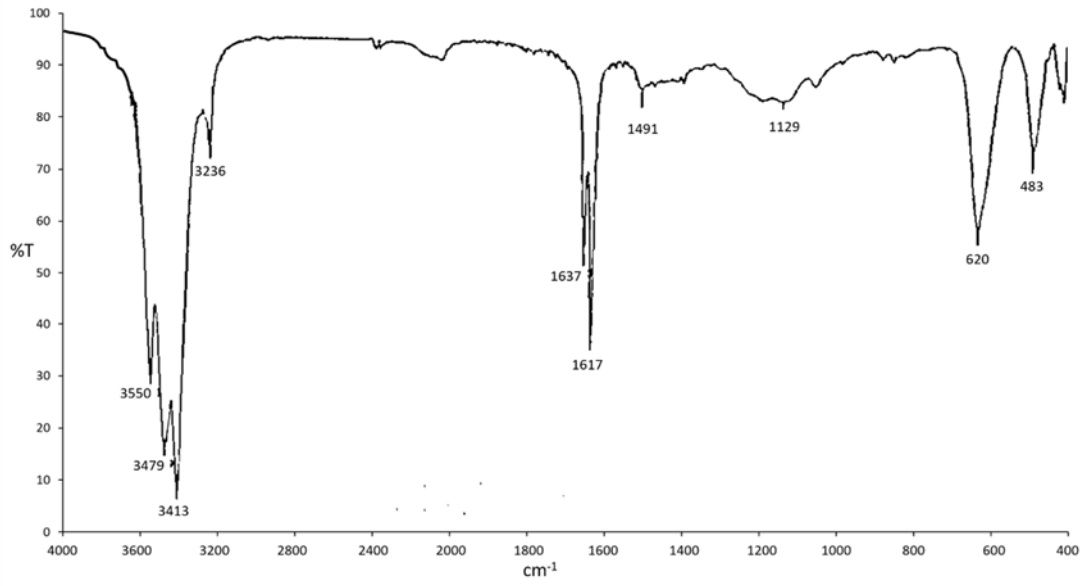
Bu tez çalışma kapsamında biyosorbent olarak kullanılan ABm, Manisa Pazar yerinden satılmayan kalan mantarlar olarak alınmıştır. Sularda kanserojen gibi birçok tehlike yaratan boyar maddelerin uzaklaştırılması ve ABm'nin adsorbe etme kapasitesi incelenmiştir. DB2 çalışmasında mantar Sapı, mantar Şapkası ve Bütün mantarlar ayrı ayrı denenmiştir. DO26 boyar madde deneyleri sadece bütün mantarlarla yapılmıştır. Tüm adsorpsiyon deney kitlerinde, boyar maddenin sulu çözeltisinden uzaklaştırılmasında; adsorbent miktarı, pH, çalkalama süresi, boya konsantrasyonu ve sıcaklık etkileri çalışılmıştır.

### 5.1. FTIR Analizi

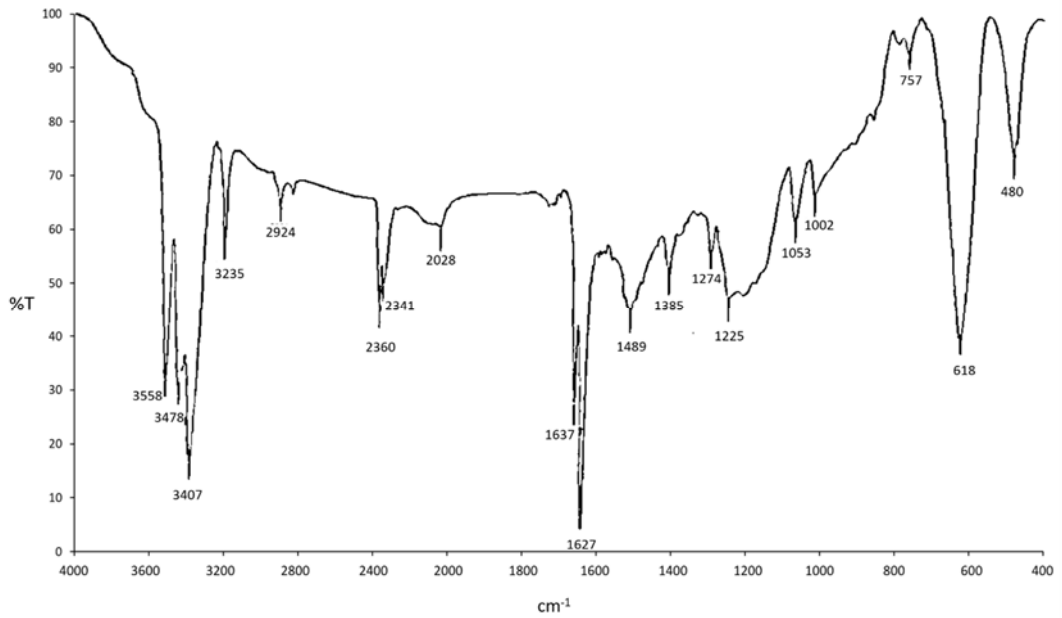
Saf ABm'nin spektrumu Şekil 5.1.a'de, DB2 ve Do26'nin spektrumları Şekil 5.1.b ve Şekil 5.1.c'de ve DB2'nin ABm üzerinde tutulmuş ve DO26'yi tutmuş ABm spektrumları ise Şekil 5.1.d ve Şekil 5.1.e'de verilmiştir.



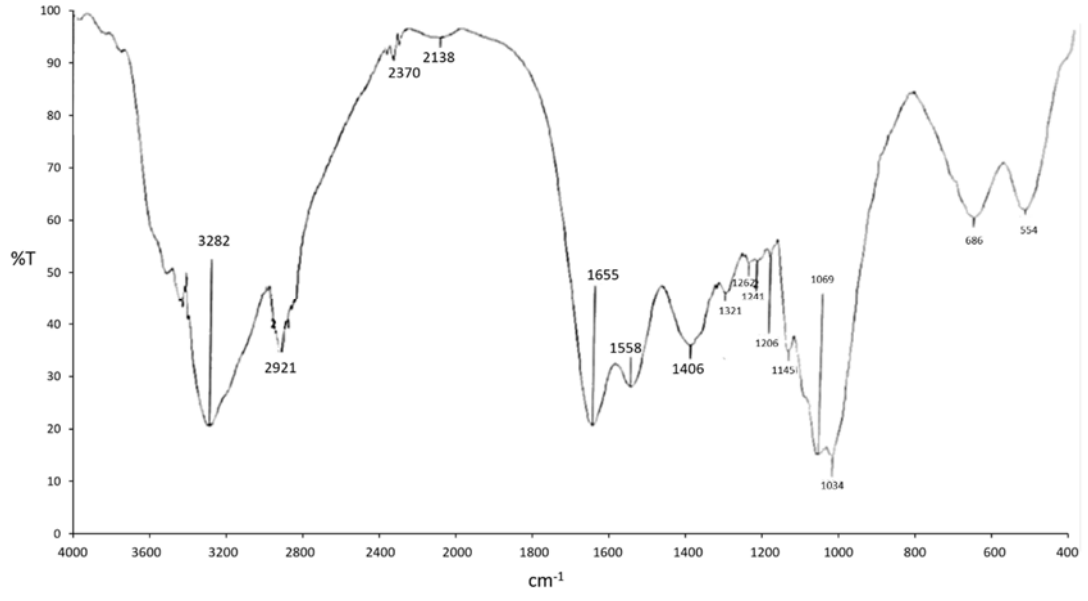
Şekil 5.1.a. ABm FTIR spektrumu.



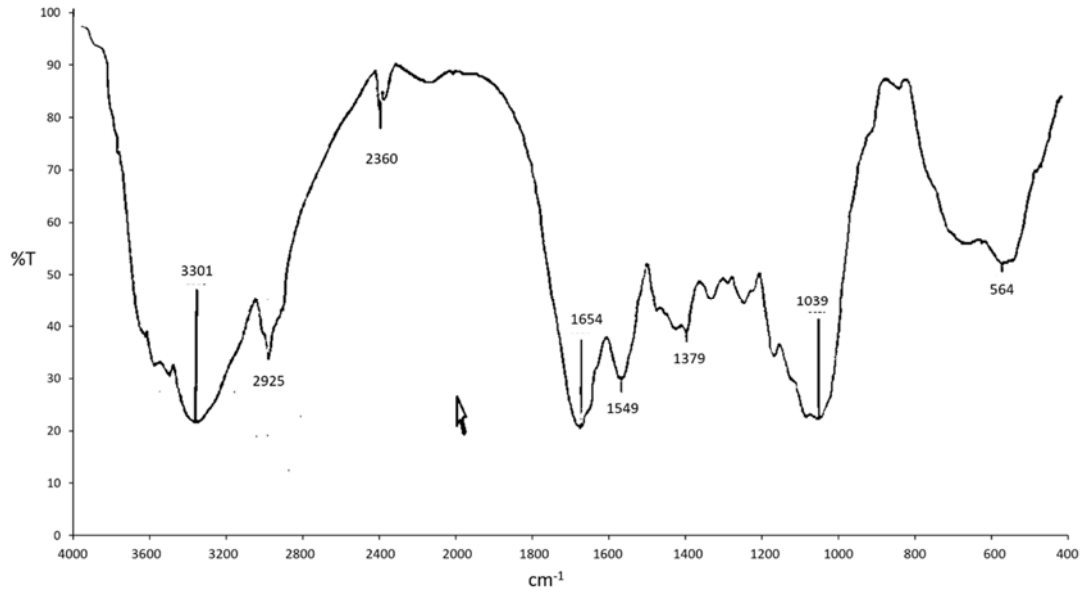
Şekil 5.1.b. DB2 FTIR spektrumu.



Şekil 5.1.c. DO26 FTIR spektrumu.



Şekil 5.1.d. DB2'yi tutmuş ABm FTIR spektrumu.



Şekil 5.1.e. DO26'yi tutmuş ABm FTIR spektrumu.

Spektrumlar  $400\text{ cm}^{-1}$  ile  $4000\text{ cm}^{-1}$  Aralığında alınmıştır. Şekil 5.1.a'deki FTIR spektrum incelendiğinde ABm yapısında serbest hidroksil grupları bulunmaktadır. Ancak bu gruplar, ABm moleküler yapısında yer almaz dolayısıyla mantarın FTIR analizde ihmal edildi [4]. Hidroksil içeren yapı; fenol, alkol ve karboksilik olabilir [63]. ABm fonksiyonel grupları arasında  $-\text{COOH}$ ,  $\text{OH}^-$ ,  $\text{CH}_3\text{-O-}$  ve  $\text{R-O-R}$  grupları bulunur [64].  $3364\text{ cm}^{-1}$ -  $3426\text{ cm}^{-1}$  bandında arası birleşen pikler  $\text{OH}$ ,  $\text{NH}$  ve  $\text{NH}_2$  gerilimlerinden,  $2927\text{ cm}^{-1}$  bandında görülen pik serbest  $-\text{CH}_3$ ,  $=\text{CH}_2$  ve  $-\text{CH}_2\text{CH}_3$  gibi alkil gruplardan gelmiş olabilir [65]. Genelde  $3000\text{-}2700\text{ cm}^{-1}$  bantlarda bulunan pikler metil ve metilene karşılık geldiği ve adsorbentin hakkında çok bilgiler verdiği konuşulur.  $3000\text{-}2700\text{ cm}^{-1}$  dalga boyu bölgesindeki piklerdeki bileşim alifatik zincirler, halkaya bağlı metil ve metilen titreşimlerinden şekillenmiştir [66].  $1648\text{ cm}^{-1}$ 'deki pik aromatik  $\text{C}=\text{C}$  titreşimine aittir [67]. Çoğunlukla  $1300\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$ 'larda bulunan bantlar, A-R halka yapısının C-H bağlarının düzeyindeki açılma deformasyonuna karşılık gelir ve karboksilik asidin C-O bağının eksenel deformasyona ( $1320$  ve  $1210\text{ cm}^{-1}$  bölgelerde rastlanır) denk gelir. O-H açılma deformasyonu ve fenollerde C-O eksenel deformasyonu arasındaki etkileşime ( $1260$  ve  $1180\text{ cm}^{-1}$  arasında görünen) ve C-O-H açılma deformasyonuna dayandırılmıştır. Karboksilik asidin deformasyonu  $1440$  ve  $1395\text{ cm}^{-1}$  bölgesinde görünür [68].

Şekil 5.1.b'de DB2'nin FTIR spektrumu incelendiğinde  $3550\text{ cm}^{-1}$  ve  $3479\text{ cm}^{-1}$ 'de gözlemlenen ikili pik  $\text{NH}_2$  gerilme bandından ileri gelmektedir [69].  $3413\text{ cm}^{-1}$ 'de gözlemlenen pik  $\text{OH}$  gerilme bandından kaynaklanmaktadır [69].  $3200\text{ cm}^{-1}$  civarı gözlenmekte olan pikler  $=\text{C-H}$  gerilme bandından ibarettir [70].  $1637\text{ cm}^{-1}$  ve  $1617\text{ cm}^{-1}$ 'de gözlemlenen ikili pik aromatik  $\text{C}=\text{C}$  banda aittir [71].  $1491\text{ cm}^{-1}$ 'deki pik  $\text{N}=\text{N}$  grubuna ait piktir [70].  $1129\text{ cm}^{-1}$  ve  $620\text{ cm}^{-1}$ 'lardaki pikler  $\text{S}=\text{O}$ 'un pikleridir [72].  $1000$  civarında bulunan piki ise C-N gerilimidir [70].

Şekil 5.1.c'de DO26'nin FTIR spektrumu incelendiğinde  $3558\text{ cm}^{-1}$  ve  $3479\text{ cm}^{-1}$ 'de gözlemlenen pikler  $\text{NH}$  gerilme bandından ileri gelmektedir [69].  $3407\text{ cm}^{-1}$ 'de gözlemlenen pik  $\text{OH}$  gerilme bandından kaynaklanmaktadır [69].  $3200\text{ cm}^{-1}$  civarı gözlenmekte olan pikler  $=\text{C-H}$  gerilme bandından ibarettir [70].  $1637\text{ cm}^{-1}$  ve  $1627\text{ cm}^{-1}$ 'de gözlemlenen ikili pik aromatik  $\text{C}=\text{C}$  banda aittir [71].  $1489\text{ cm}^{-1}$ 'deki

pik N=N grubuna ait piktir [70]. 1053 cm<sup>-1</sup>ve 618 cm<sup>-1</sup>'lardaki pikler S=O'un pikleridir[72]. 1002 civarında bulunan piki ise C-N gerilimidir [70].

Şekil 5.1.a, Şekil 5.1.d ve Şekil 5.1.e'de ABm için saf ve boya tutmuş halde spektrumları incelendiğinde, ABm adsorbate, boya tutma öncesi ve sonrası FTIR spektrum pikleri aşağı yukarı aynı şekillir ve değerler almaktadır. ABm adsorbate, adsorpsiyon sonrası piklerde görülen yoğunluklar büyük derecede birbirine yakındır. Bu çalışmada, ABm adsorbentin saf hali veya boyar madde tutmuş halindeki farklar yaklaşık 600 cm<sup>-1</sup> civarlarındaki piklerde görülmektedir.

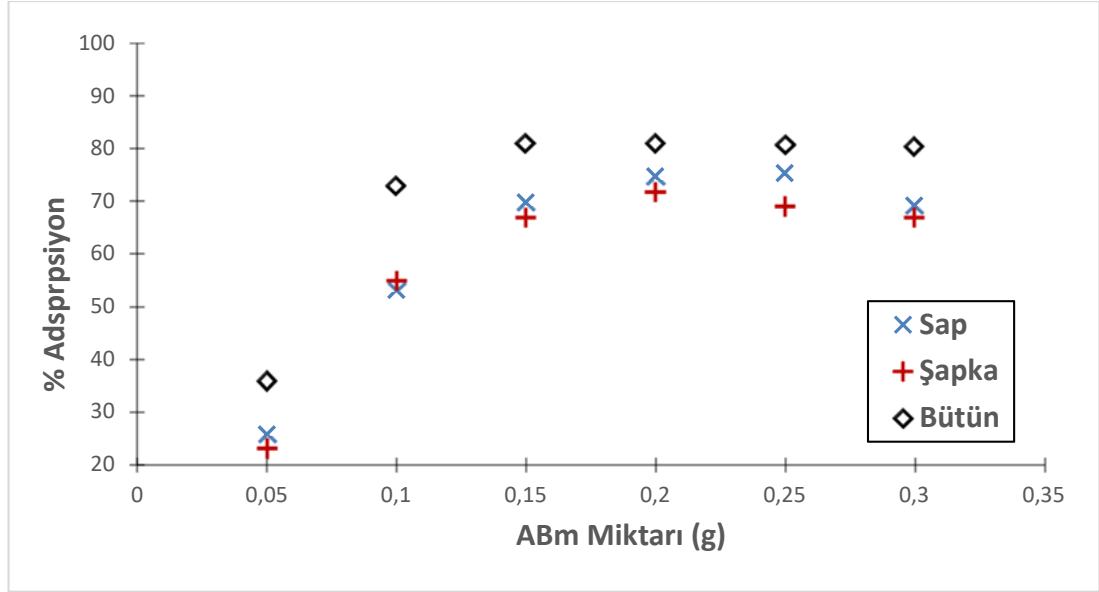
## 5.2. Adsorbent Miktarının Etkisi

DB2 ile çalışmada biyosorbent miktarının etkisini (0,05-0,3 g) incelemek için yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler Çizelge 5.2.a, Şekil 5.2.a' ve Şekil 5.2.b'da verilmiştir.

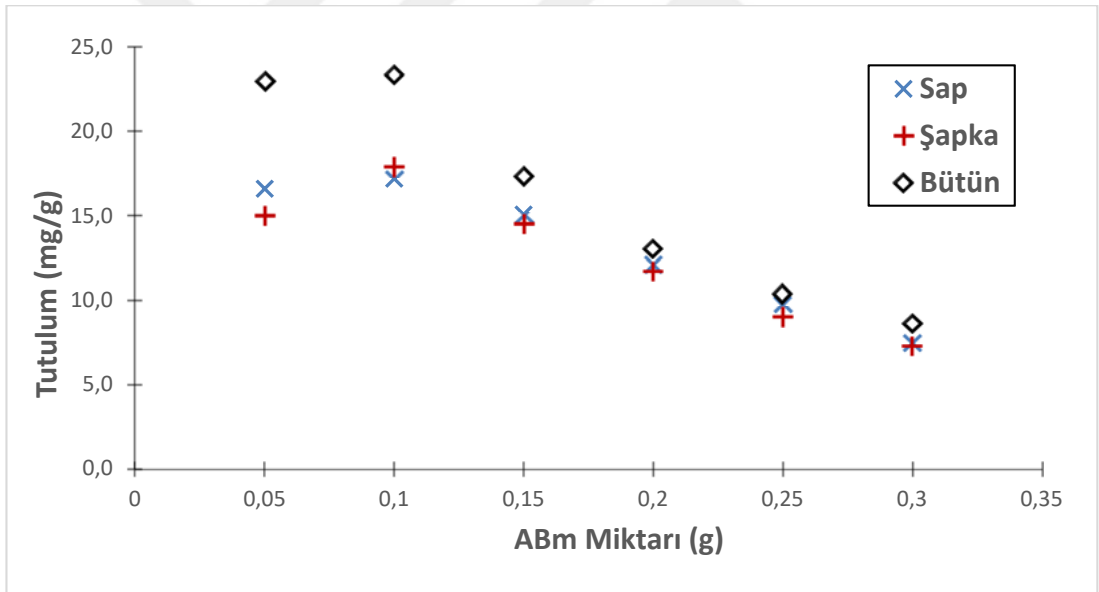
**Çizelge 5.2.a.** ABm üzerinde DB2'nin biyosorpsiyonunda adsorbent miktarı etkisi.

(C<sub>0</sub>: 0,0005 M, V:10 mL, pH: 8,56, t:120 dak).

ABm Miktarı (g)	Çözeltide Kalan (mg/L)			Adsorplanan (mg/L)			% Adsorpsiyon			Kapasite (mg/g)		
	Sap	Şapka	Bütün	Sap	Şapka	Bütün	Sap	Şapka	Bütün	Sap	Şapka	Bütün
kör çözelti	324	326	321	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,05	241	251	206	83	75	115	26	23	36	16,6	15,0	23,0
0,1	152	147	87	172	179	234	53	55	73	17,2	17,9	23,4
0,15	98	108	61	226	218	260	70	67	81	15,1	14,5	17,3
0,2	82	92	61	242	234	260	75	72	81	12,1	11,7	13,0
0,25	80	101	62	244	225	259	75	69	81	9,8	9,0	10,4
0,3	100	108	63	224	218	258	69	67	80	7,5	7,3	8,6



Şekil 5.2.a. DB2'nin mantar tutunması üzerine biyosorbent miktarının etkisi



Şekil 5.2.b. DB2'nin mantar miktarı ile mg/g değişimi

Standart koşullar altında yapılan deneyler sonucuna göre, biyosorbent miktarı arttıkça biyosorpsiyon oranı arttığı gözlemlenmiştir. Kritik miktara yaklaştıkça verimde artış gözlemlenmiştir. Ancak bu kritik miktar değerini geçince biyosorpsiyon

yüzdesi miktar artmasına rağmen stabil gitmektedir. Kütle miktarına göre mg/g olarak tutulma ise 0,1 gramdan sonra hızla düşmektedir.

“Biyosorpsiyon yöntemlerinin gerçekleştiği çözelti ortamındaki biyokütle miktarının artması ile biyosorpsiyon verimi artmaktadır. Başlangıç konsantrasyonu sabit iken çözeltilerde kalan iyon konsantrasyonunun azalması ve biyokütle miktarının artması ile biyosorpsiyon kapasitesi azalmaktadır” [32].

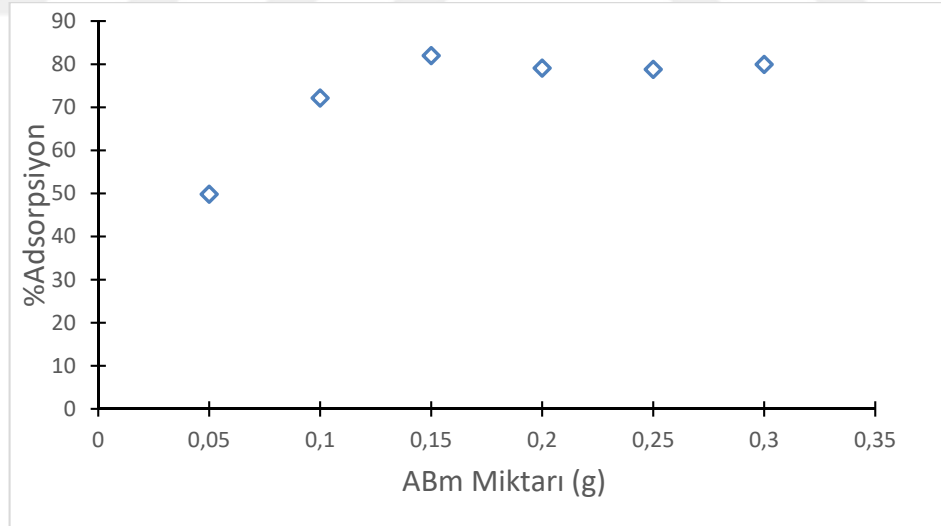
Miktar deneyinde mantar parçaları sap, şapka ve bütün mantar olarak değerlendirildiğinde, sap ve şapka parçalarının %ads ve mg/g değerlerinin pek fark etmediği, ancak bütün olarak mantar 0,05 g ile 0,1 g kullanıldığında değerler oldukça yüksektir. Bütünde, hem sap hem şapka kısmının toplamı bütün mantar olduğundan bütünde adsorpsiyonun biraz fazla olmuş olabileceğini düşünmekteyiz. Böylece, iki parçadan oluşan bütün kısmın adsorpsiyona katkısını açıkça göstermektedir. Çizelge 5.2.a de ve Şekil 5.2.a de görüldüğü üzere Sap, Şapka ve Bütün en yüksek biyosorpsiyon verimleri olan miktarlar sırasıyla 0,1 g (%73), 0,15 g (%81), 0,2 g (%81) olarak gözlenmektedir. Dolayısıyla daha sonraki parametrelerde bütün için 0,15 g, Sap ve Şapka için ise 0,2 g optimum değerler olarak seçilmiştir.

DO26 deneyleri sonunda elde edilen veriler Çizelge 5.2.b'deki ve Şekil 5.2.c, Şekil 5.2.d'deki grafiklerde sunulmuştur.

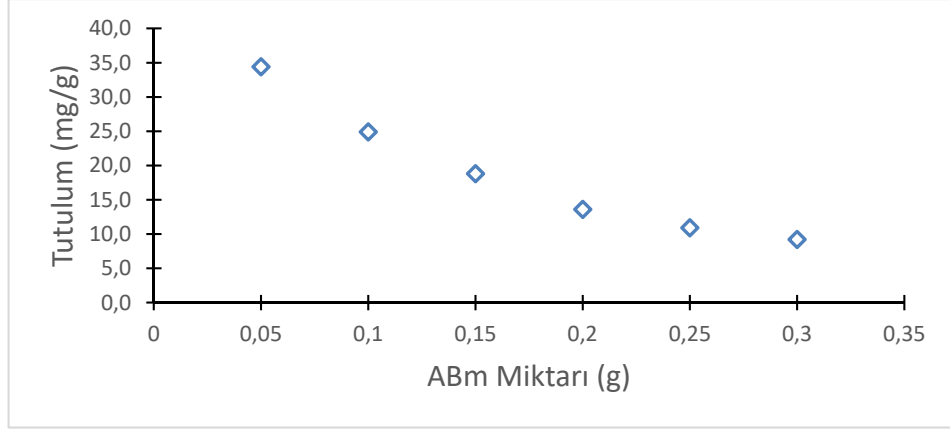
**Çizelge 5.2.b.** ABm üzerinde DO26'nin biyosorpsiyonunda adsorbent miktarı etkisi.

(Kons: 0,0005 M, V:10 mL, pH: 9, t:120 dak.).

ABm miktarı (g)	Çözeltide kalan (mg/L)	Adsorplanan (mg/L)	ads%	mg/g
Kör Çözelti	345	0	0	0
0,05	173	172	50	34,4
0,1	96	249	72	24,9
0,15	62	283	82	18,8
0,2	72	273	79	13,6
0,25	73	272	79	10,9
0,3	69	276	80	9,2



**Şekil 5.2.c.** DO26'nin mantar tutunması üzerine biyosorbent miktarının etkisi



**Şekil 5.2.d.** DO26'nin mantar miktarı ile mg/g değişimi

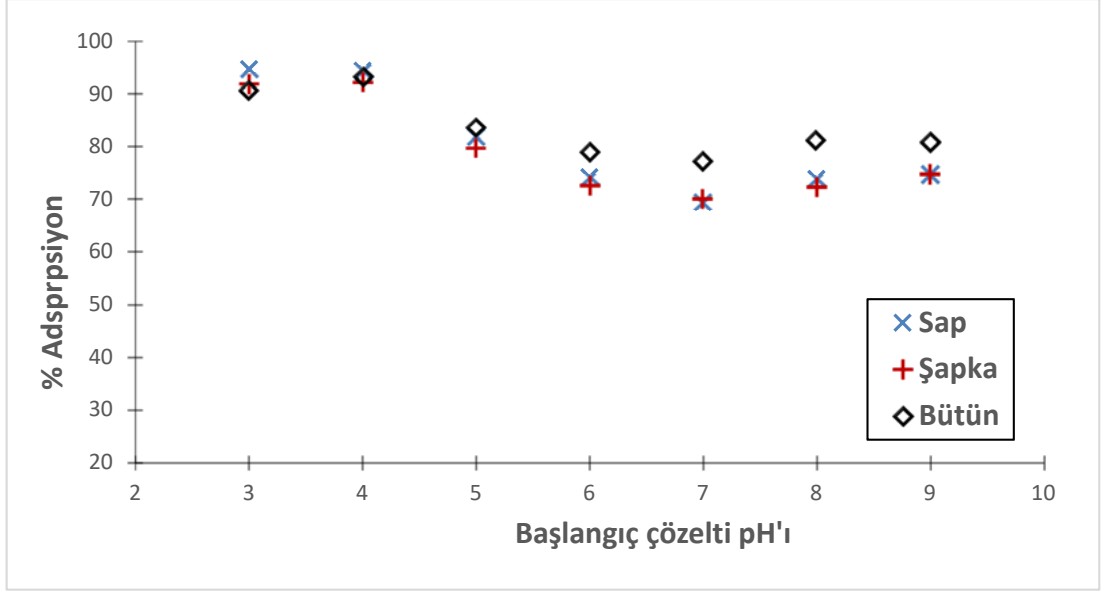
DB2 için adsorbsiyon verimi mantarmiktarı 0,05 gramdan artırıldıkça birden adsorpsiyon yüzdesi artarken, 0,15 g'da sabitlenmektedir.

### 5.3. pH Etkisi

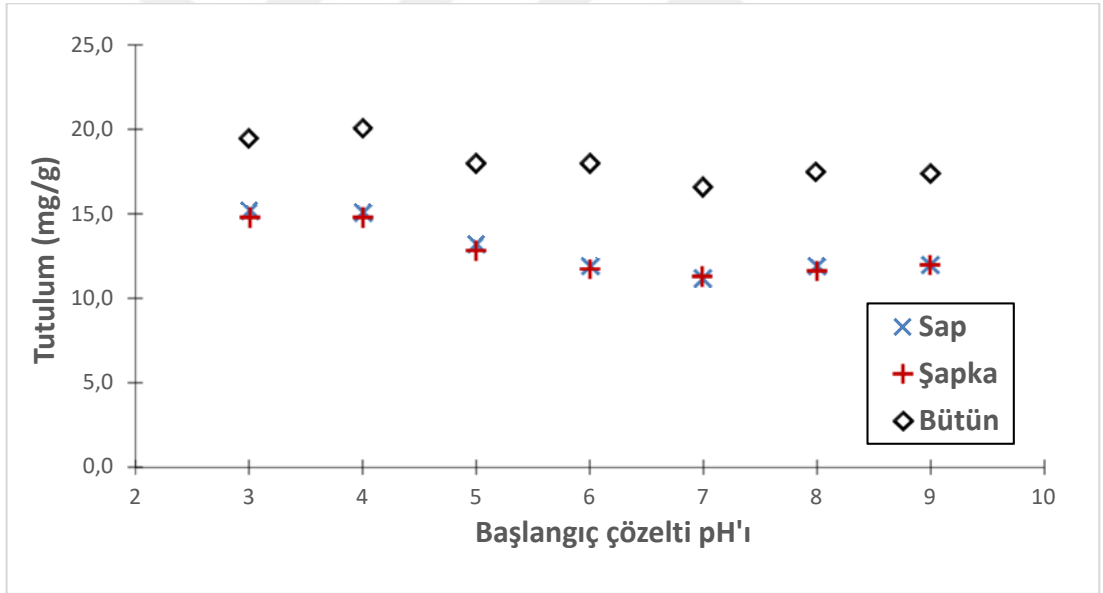
“Ortamın pH değeri, biyosorpsiyon işleminde denge olaylarının yönünü belirlediği, adsorbent yüzey yükünü, iyonlaşma derecesini ve adsorplanan türleri etkilediğinden dolayı oldukça önemlidir” [28]. ABm üzerine DB2'nin pH etkisi çalışmaların sonuçları Çizelge 5.3.a, Şekil 5.3.a. ve Şekil 5.3.b'de verilmiştir.

**Çizelge 5.3.a** ABm üzerinde DB2'nin biyosorpsiyonunda pH etkisi. (Adsorbent miktarı: bütün 0,15 g, sap ve şapka 0,2 g, C<sub>0</sub>: 0,0005 M, V:10 mL, t:120 dak).

Çözelti pH	Çözeltide Kalan (mg/L)			Adsorplanan (mg/L)			% Adsorpsiyon			mg/g		
	Sap	Şapka	bütün	Sap	Şapka	bütün	Sap	Şapka	bütün	Sap	Şapka	bütün
8,56 kör	321	321	323	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	17	26	30	304	295	293	95	92	91	15,2	14,8	19,5
4	18	25	22	303	296	301	94	92	93	15,1	14,8	20,1
5	58	65	53	263	256	270	82	80	84	13,2	12,8	18,0
6	83	88	68	238	233	255	74	73	79	11,9	11,7	18,0
7	98	96	74	223	225	249	69	70	77	11,2	11,3	16,6
8	84	89	61	237	232	262	74	72	81	11,9	11,6	17,5
9	81	81	62	240	240	261	75	75	81	12,0	12,0	17,4



Şekil 5.3.a. DB2'nin mantar tutunması üzerine başlangıç pH etkisi



Şekil 5.3.b. DB2'nin mantar tutunması üzerine başlangıç pH'e karşı mg/g'ın grafiği

Çizelge 5.3.a, Şekil 5.3.a ve Şekil 5.3.b'de görüldüğü üzere en iyi tutulma değeri pH 4 değerinde gözlemlenmiştir. Başlangıç çözelti pH değeri 3'de ve pH 4'de mantarın boyayı adsorplama yüzdesi yüksekken, pH 4'den sonra pH 7'e kadar adsorplama oranında azalmalar gözlemlenmiştir. Daha sonra pH 7'den 9'e kadar

hafifçe artışlar olmuştur. Çizelge 5.3.b.'de görüldüğü gibi adsorpsiyon deneyi öncesi pH ölçümü ve deney sonrası pH ölçümün yaparak pH değişimi gözlemlenmiştir.

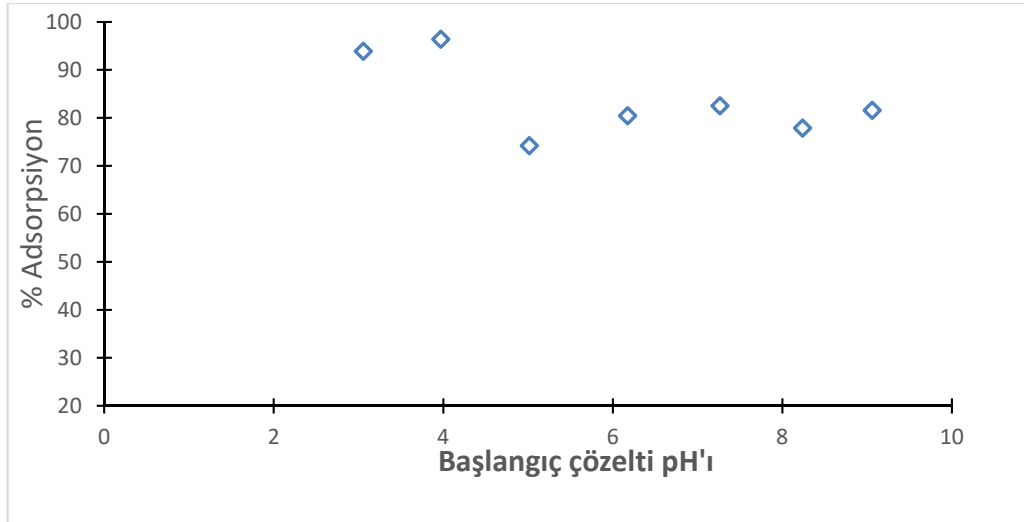
**Çizelge 5.3.b** DB2'nin mantar tutunması üzerine adsorpsiyon öncesi ve sonrası pH değişimi

Deney öncesi pH			Deney sonrası pH		
sap	şapka	bütün	sap	şapka	bütün
3,01	3,06	3,08	3,40	3,60	3,60
4,05	40,00	4,00	3,77	4,40	5,00
5,02	5,02	5,02	6,00	6,70	6,70
6,04	6,08	6,08	7,44	7,15	7,30
7,03	6,78	6,78	6,70	7,20	7,45
8,06	8,01	8,01	6,75	7,20	7,40
9,01	9,07	9,07	6,75	7,25	7,40

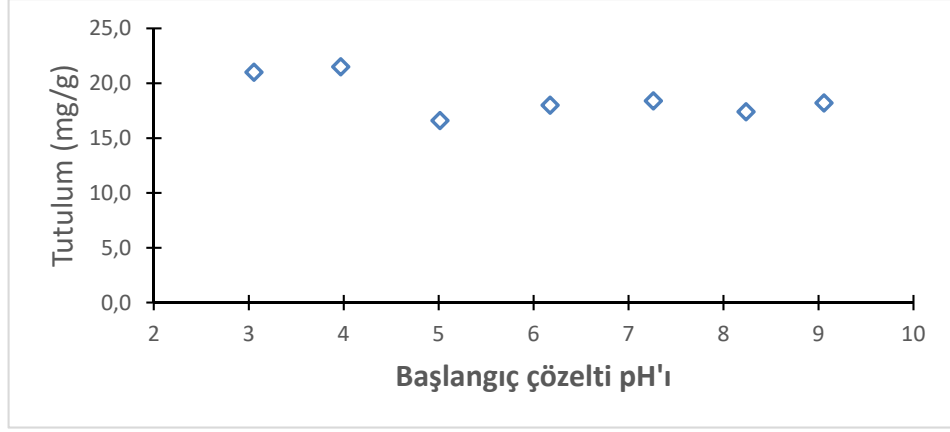
ABm ile DO26'nin biosorpsiyonundaki veriler Çizelge 5.3.c, Şekil 5.3.c. ve Şekil 5.3.d'de verilmiştir.

**Çizelge 5.3.c.** ABm üzerinde DO26'nin biyosorpsiyonunda pH etkisi. (Adsorbent miktarı: 0,15 g, Co: 0,0005 M, V:10 mL, t:120 dak).

pH	Çözeltide kalan (mg/L)	Adsorplanan (mg/L)	% ads	mg/g
kör 9,062	335	0	0	0
3,0545	20	315	94	21
3,968	12	323	96	22
5,014	86	249	74	17
6,173	65	270	80	18
7,2615	59	277	83	18
8,2365	74	261	78	17
9,058	62	274	82	18



**Şekil 5.3.c.** DO26'nin mantar tutunması üzerine pH etkisi.



**Şekil 5.3.d.** DO26'nin mantar tutunması üzerine pH'e karşı mg/g'ın grafiği.

ABm ile DO26 biyosorpsiyonunda Çizelge 5.3.c'deki, Şekil 5.3.c'daki ve Şekil 5.3.d'deki verilere göre en yüksek giderim pH 4'tedir. En düşük giderim ise pH 5 ortamdaki adsorpsiyondadır. Asitlik değeri pH 5'ten sonra pH yükseldikçe adsorpsiyon yüzdesi dalgalanarak hafifçe bir artış göstermektedir, Çizelge 5.3.d. de DO26 adsorpsiyon deney öncesi ve sonrası pH değişimi görülmektedir.

**Çizelge.5.3.d.** DO26'nin mantar tutunması üzerine adsorpsiyon öncesi ve sonrası pH değişimi

Deney öncesi pH	Deney sonrası pH
3,06	3,15
3,97	5,82
5,01	8,09
6,17	8,25
7,26	8,28
8,23	8,23
9,06	7,26

Sonuç olarak hem DB2 grafiğinde hem de DO26 grafiğinde görüldüğü üzere optimum pH değeri olarak 4'de belirlenmiştir. pH'lerdeki bu dalgalanma olayı, mantarın yüzey özellikleri ve boya taneciklerin adsorbentin yüzeyine dağılımından kaynaklı olabilir. Dalgalanmayı göze almasak düşük pH'lerde (asidik ortamlarda)

daha iyi adsorpsiyon verimi gözlenmektedir, Aksine yüksek pH’lerde gittikçe (bazik ortamlarda) adsorpsiyon verimi düşmektedir. Bunun nedenini “düşük pH’lerde biyosorbent yüzeyi ortamdaki  $H_3O^+$  iyonları tarafından pozitif yüklenir. Pozitif yüklü biyosorbent yüzeyi ile boya anyonları güçlü bir elektrostatik etkileşim gösterirler. Düşük pH’lerde iyi boya giderimi elde edilmesi bu şekilde açıklanabilmektedir. Yüksek pH’lerde ise biyosorpsiyon kapasitesi ve boya gideriminin düşmesinin sebebi bazik ortamda fazlaca bulunan  $OH^-$  iyonlarının boya iyonları ile stabil olmayan bir halde bulunması ve onlarla biyosorpsiyon bölgeleri için rekabet etmelerindedir” [57].

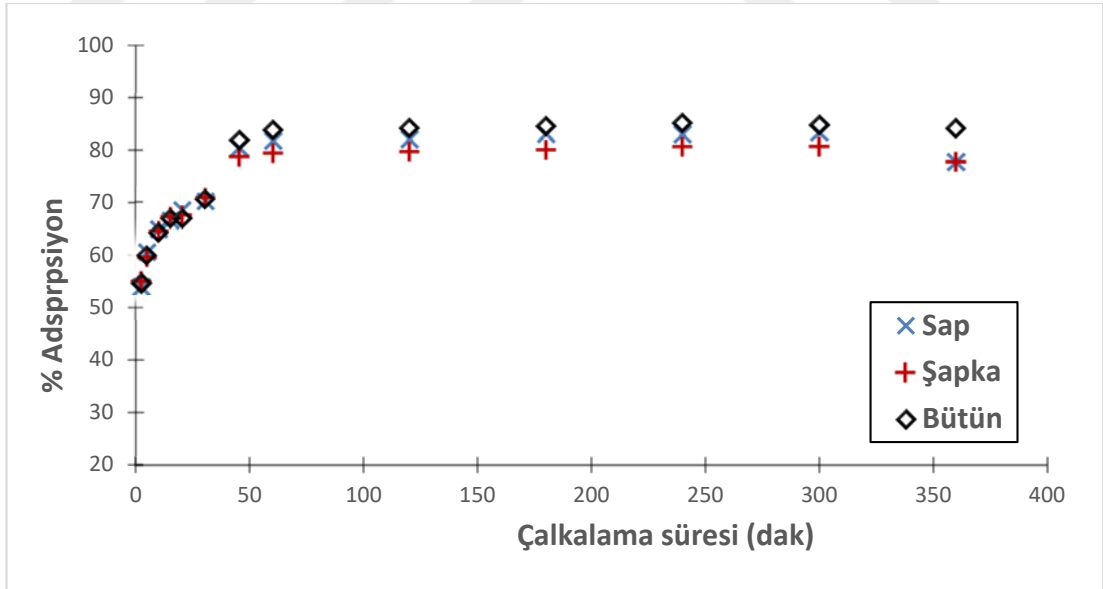
Direkt blue 2 cozeltisinin pH’si 4’de zor ayarlanabilmiştir. Bu boyar madde için pH ayarlamasında yaşanan güçlük nedeni ile optimum pH 4 görüldüğü halde çalışmalara pH 5 ile devam edilmiştir. DO26 için ise optimum değeri olan pH 4 seçilmiştir.

#### **5.4. Çalkalama Süresinin Etkisi**

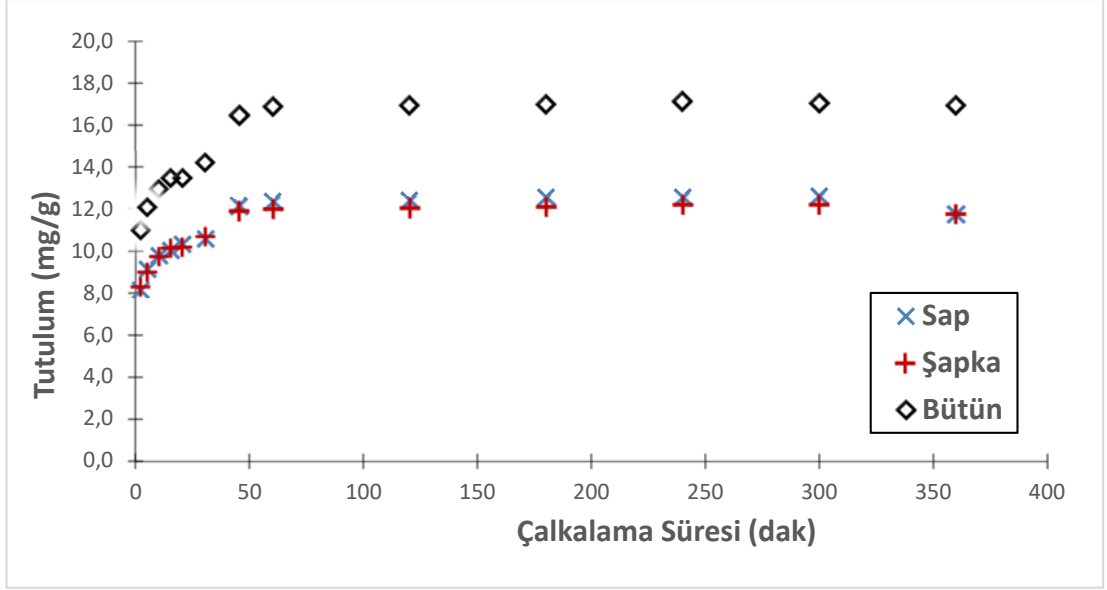
Çizelge 5.4’a de değişen sürelerde mantar ile DB2 arasında uzaklaştırma yüzdesi, Şekil 5.4.a’ de mantar üzeri DB2 biyosorpsiyonunda çalkalama süresi ile giderilen DB2 yüzdesi arasında çizilen grafiği, Şekil 5.4.b’ da ise çalkalama süresinin mg/g’ e karşı çizilen grafiği verilmiştir.

**Çizelge 5.4.a.** ABm üzerinde DB2'nin biyosorpsiyonunda çalkalama süresi etkisi.  
(Adsorbent miktarı: Bütün 0,15 g, sap ve şapka 0,2 g,  $C_0$ : 0,0005 M,  $C_{k\ddot{o}r}$ : 302 mg/L,  
V:10 mL, pH 5).

Çalkalama Süresi (dak)	Çözültide Kalan (mg/L)			Adsorplanan (mg/L)			% Ads			mg/g		
	sap	şapka	bütün	sap	şapka	bütün	sap	şapka	bütün	sap	şapka	bütün
2	139	136	137	163	166	165	54	55	55	8,2	8,3	11,0
5	119	122	121	183	180	181	61	60	60	9,2	9,0	12,1
10	106	107	108	196	195	194	65	65	64	9,8	9,8	12,9
15	101	99	100	201	203	202	67	67	67	10,1	10,2	13,5
20	95	98	100	207	204	202	69	68	67	10,4	10,2	13,5
30	90	88	89	212	214	213	70	71	71	10,6	10,7	14,2
45	59	64	55	243	238	247	80	79	82	12,2	11,9	16,5
60	55	62	49	247	240	253	82	79	84	12,4	12,0	16,9
120	54	61	48	248	241	254	82	80	84	12,4	12,1	16,9
180	51	60	47	251	242	255	83	80	84	12,6	12,1	17,0
240	51	58	45	251	244	257	83	81	85	12,6	12,2	17,1
300	50	58	46	252	244	256	83	81	85	12,6	12,2	17,1
360	67	67	48	235	235	254	78	78	84	11,8	11,8	16,9



**Şekil 5.4.a.** DB2'nin mantar tutunması üzerine çalkalama süresi etkisi



**Şekil 5.4.b.** DB2'nin mantar tutunması üzerine çalkalama süresi'ne (dak) karşı mg/g değişimi.

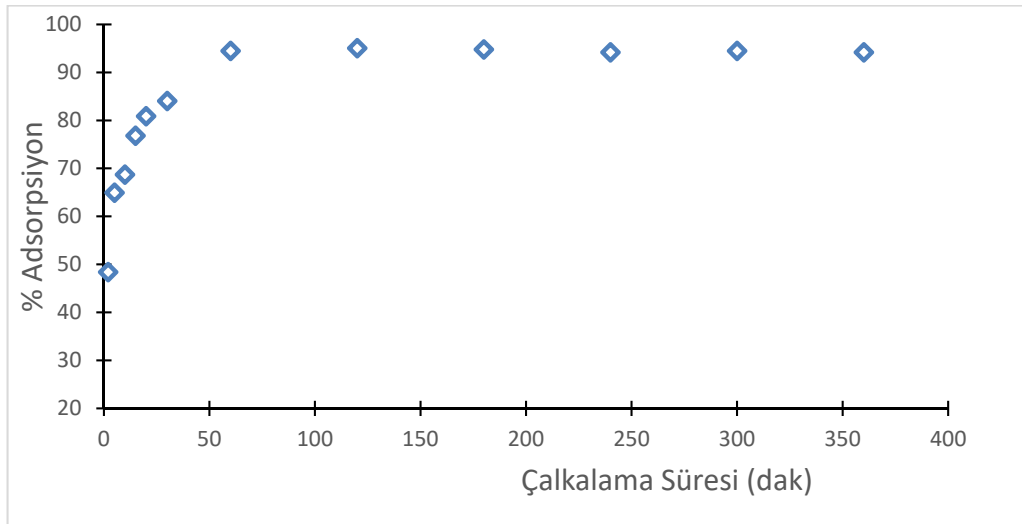
Çizelge 5.4.a, Şekil 5.4.a ve Şekil 5.4.b'de görülebileceği üzere, ABm üzerine adsorbe edilen DB2 boyar madde miktarı zamana karşı ilk dakikalarda daha yüksek artış gösterirken, süreye bağlı bu artışların hızı azalır ve bir anda sabit bir değere ulaşır. Bu noktada, biyosorbentten ayrılan boya miktarı, biyosorbent yüzeyinde biriken boyar maddenin miktarı ile dinamik bir denge durumuna gelir. Bu dengenin oluşması için geçen süre denge süresi olarak adlandırılır. Bu denge süresinde adsorplanan boyar madde miktarı, adsorbentin optimum adsorpsiyon kapasitesini yansıtır.

Çizelge 5.4.b' de değişen sürelerde mantar ile DO26 arasında giderim yüzdesi, Şekil 5.4.c' da çalkalama süresi ile giderilen DO26 yüzdesi arasında çizilen grafik, Şekil 5.4.d' da mantar üzeri DO26 biyosorpsiyonunda çalkalama süresi ile mg/g arasında çizilen grafik verilmiştir.

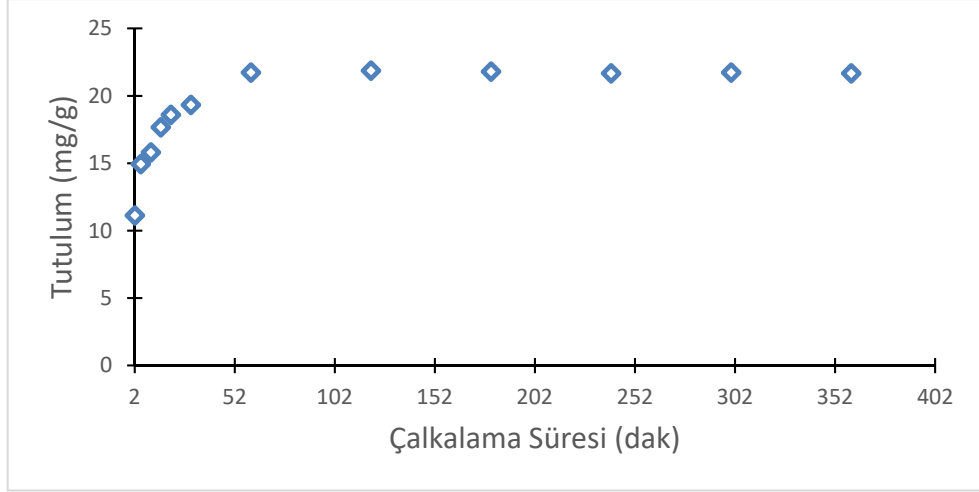
**Çizelge 5.4.b.** ABm üzerinde DO26'nin biyosorpsiyonunda çalkalama süresi etkisi.

(Adsorbent miktarı: 0,15 g,  $C_0$ : 0,0005 M,  $C_{k\ddot{o}r}$  345 mg/L, V:10 mL, pH 4).

Çalkalama Süresi (dak)	Çözeltide Kalan (mg/L)	Adsorplanan (mg/L)	% Ads.	mg/g
2	178	167	48	11
5	121	224	65	15
10	108	237	69	16
15	80	265	77	18
20	66	279	81	19
30	55	290	84	19
60	19	326	94	22
120	17	328	95	22
180	18	327	95	22
240	20	325	94	22
300	19	326	94	22
360	20	325	94	22



**Şekil 5.4.c.** DO26'nin mantar tutunması üzerine çalkalama süresi etkisi.



**Şekil 5.4.d.** DO26'nin mantar tutunması üzerine çalkalama süresi'ne (dak) karşı mg/g değişimi.

Elde edilen veriler, çalkalama süresi arttıkça biyosorbent işlemini hızlı gerçekleştirdiğini, denge durumuna yakın sürelerde ise daha yavaş şekilde işlemin yürüdüğünü göstermektedir. Bu durum işlemin başlangıcında biyosorbent yüzeyinde yer alan oldukça fazla sayıda boş aktif merkezlerin hızlı bir şekilde dolduğunu göstermektedir. Yüzey doygunluğa ulaştıkça adsorbentün gözeneklerinden iç kısımlara doğru gerçekleşen düşük hızdaki difüzyonun dengeye erişim süresini uzattığı görülmektedir [73].

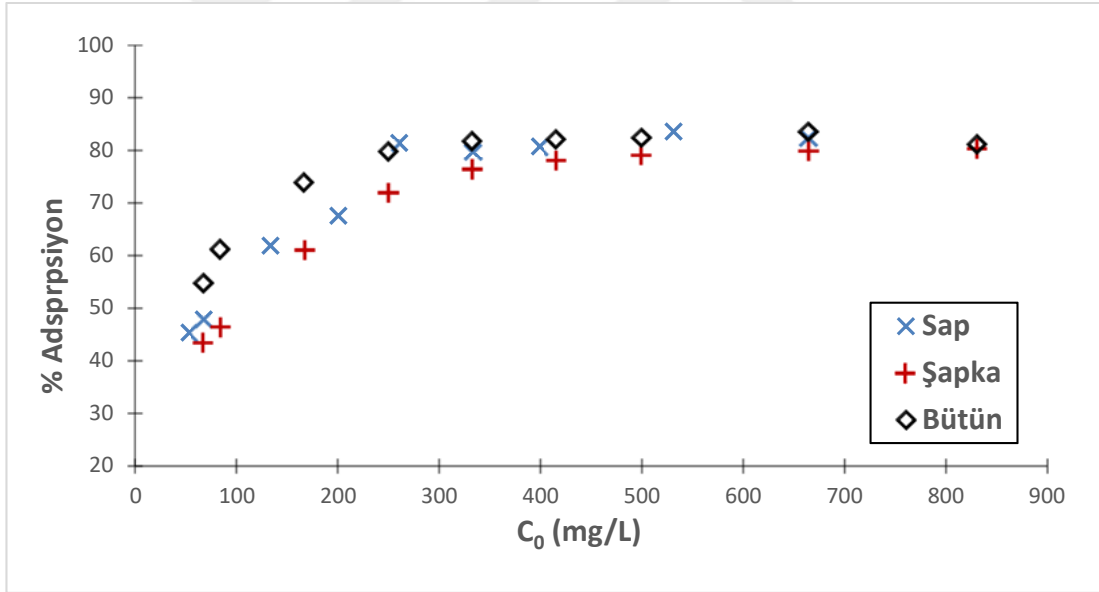
Süre parametresinde optimum çalkalama süreleri, hem DO26'da hemde DB2'de 60 dak olarak seçilmiştir.

### 5.5. Konsantrasyon Etkisi

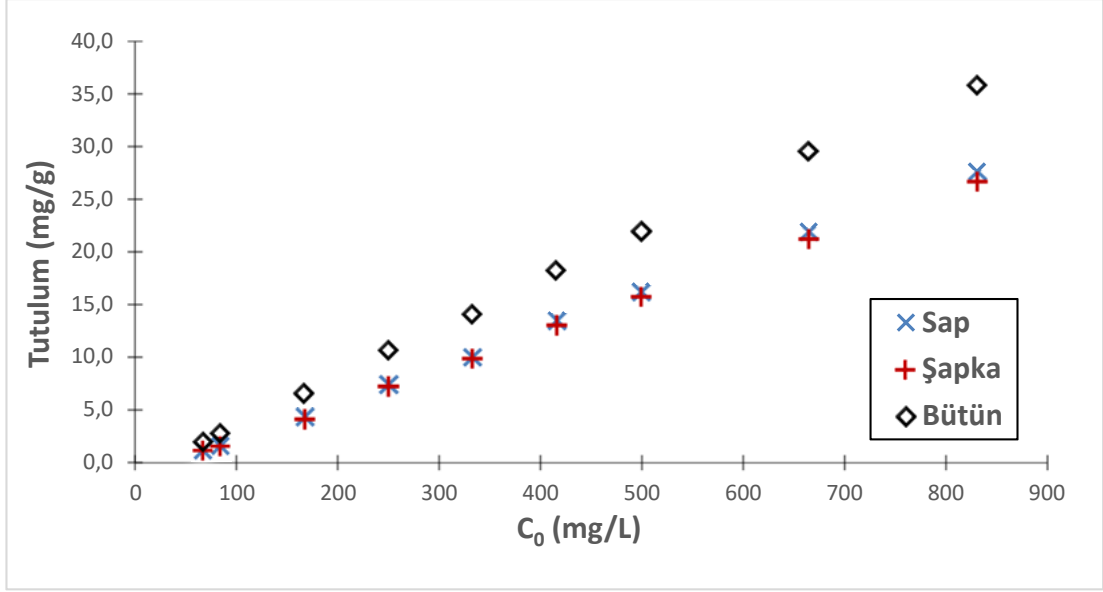
Biyosorbent olarak ABm kullanılarak DB2 adsorpsiyonunda boya derişiminin etkisi Çizelge 5.5.a, Şekil 5.5.a ve Şekil 5.5.b'da gösterilmiştir.

**Çizelge 5.5.a.** ABm üzerinde DB2'nin biyosorpsiyonunda konsantrasyon etkisi.  
(Adsorbent miktarı: Bütün 0,15 g, sap ve şapka 0,2 g, t: 60 dak, V:10 mL, pH 5).

C <sub>0</sub> (mg/L)	C <sub>kör</sub> (mg/L)	Çözültide Kalan (mg/L)			Adsorplanan (mg/L)			% Adsorpsiyon			mg/g		
		Sap	Şapka	bütün	Sap	Şapka	bütün	Sap	Şapka	bütün	Sap	Şapka	bütün
66	53	29	30	24	24	23	29	45	43	55	1,2	1,2	1,9
83	67	35	36	26	32	31	41	48	46	61	1,6	1,6	2,7
166	133	47	52	35	86	81	98	62	61	74	4,3	4,1	6,5
249	200	52	56	40	148	144	160	68	72	80	7,4	7,2	10,7
332	260	60	63	49	200	197	211	81	76	82	10,0	9,9	14,1
415	333	64	73	60	269	260	273	80	78	82	13,5	13,0	18,2
498	399	75	84	70	324	315	329	81	79	82	16,2	15,8	21,9
665	531	93	107	88	438	424	443	84	80	83	21,9	21,2	29,5
831	664	112	131	126	552	533	538	82	80	81	27,6	26,7	35,9



**Şekil 5.5.a.** DB2'nin mantar tutunması üzerine konsantrasyon etkisi



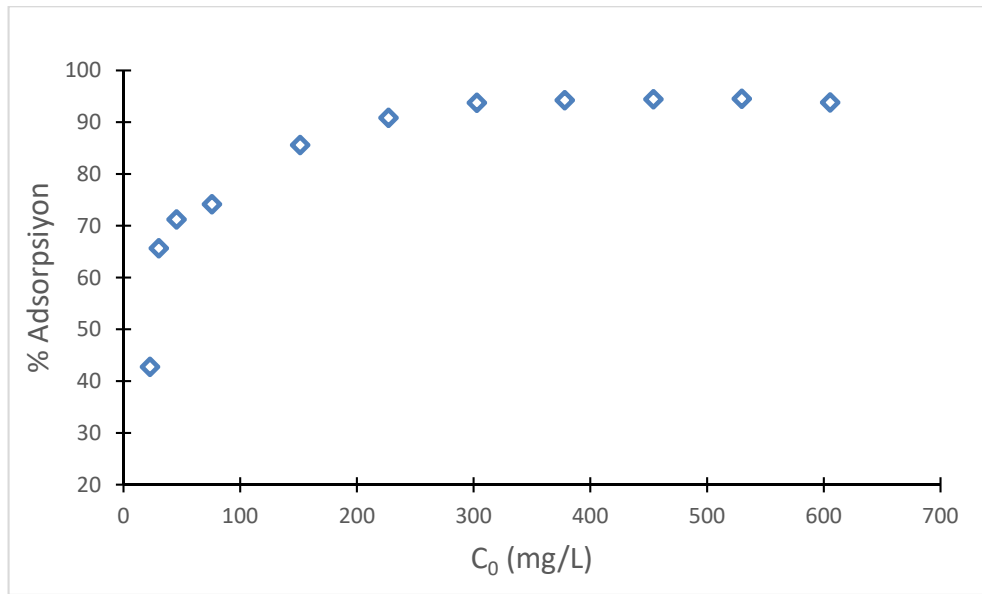
**Şekil5.5.b.** DB2'nin mantar tutunması üzerine konsantrasyona (mg/L) karşı mg/g değişimi

DB2'nin konsantrasyonun 66 mg/L'den 831 mg/L'ye çıkmasıyla adsorplama kapasitesi bütünde ~2 mg/g'dan ~36 mg/g'a, Sap ve Şapkada ~1 mg/g'dan ~27 mg/g'a yükselirken, % giderim miktarı artış göstermektedir. Başlangıç boya konsantrasyonun artması ile adsorplanan madde miktarı da doğru orantılı olarak artış göstermektedir. 300mg/L konsantrasyonunda adsorbsion dengeye ulaşmış, kapasite doluluk göstermiştir. Başlangıç boya derişiminin artması, adsorbent ve boya arasındaki etkileşimin de artmasına yol açar. Fakat daha sonra artan boya konsantrasyonu ile mantarın adsorpsiyon kapasitesinin dolması sonucu daha fazla adsorpsiyon gerçekleşmez ve bu nedenle boyanın % tutunma miktarı artan derişimle birlikte stabil gider. % tutuma miktarı düşük derişimde (sap%84, şapka %80 ve bütün %83) iken derişimin arttırılmasıyla (sap %82, şapka %80 ve bütün %81)'lerde bulunmaktadır [74].

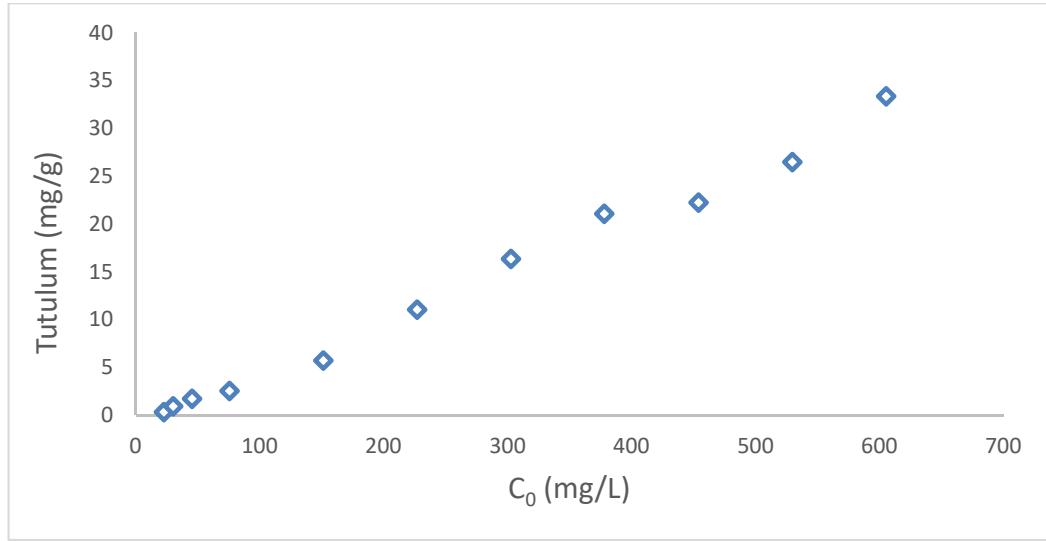
DO26 adsorpsiyonunda ise boya konsantrasyonu etkisinin verileri Çizelge 5.5.b, Şekil 5.5.c ve Şekil 5.5.d'da verilmiştir.

**Çizelge 5.5.b.** ABm üzerinde DO26'nin biyosorpsiyonunda konsantrasyon etkisi.  
(Adsorbent miktarı: 0,15 g, t: 60 dak, V:10 mL, pH 4)

$C_0$ mg/L	$C_{k\ddot{o}r}$	Çözeltide Kalan (mg/L)	Adsorplanan (mg/L)	% Ads.	mg/g
23	11	6,3	4,7	43	0,31
30	21	7,2	13,8	66	0,91
45	36	10,3	25,7	71	1,7
76	51	13,2	37,8	74	2,53
151	100	14,4	85,6	86	5,71
227	182	16,6	165,4	91	11,03
303	268	18	250	94	16,33
378	335	19,2	315,8	94	21,05
454	353	19,6	333,4	94	22,22
530	420	22,9	397,1	95	26,47
605	533	32,9	500,1	94	33,34



**Şekil 5.5.c.** DO26'nin mantar tutunması üzerine konsantrasyon etkisi



**Şekil 5.5.d.** DO26'nin mantar tutunması üzerine konsantrasyona (mg/L) karşı mg/g değişimi

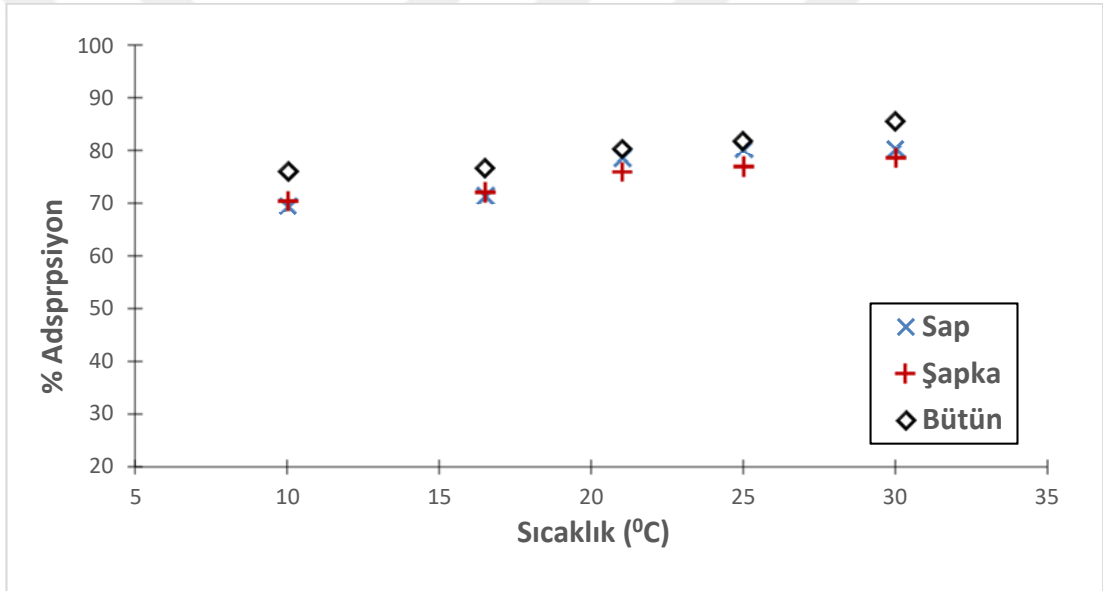
DO26'nin konsantrasyonun 23 mg/L'den 605 mg/L'ye çıkmasıyla adsorplama kapasitesi ~ 0,3 mg/g'dan ~ 33 mg/g'a yükselirken, % giderim miktarı yükseliş göstermektedir. Başlangıç boya konsantrasyonunun artması ile adsorplanan madde miktarı da doğru orantılı olarak artış göstermektedir. Başlangıç boya derişiminin artması, adsorbent ve boya arasındaki etkileşimin de artmasına yol açar. Adsorpsiyon verimi %94 lere yükselirken adsorpsiyon/desorpsiyon denge durumuna yaklaşır ve mantarın geniş adsorplama kapasiteye sahip olduğundan dolayı konsantrasyon artmasıyla % verimde çok değişiklik olmamaktadır. Optimum konsantrasyon olarak her iki boyar madde için (DB2 ve DO26) 0,0004 M değerli konsantrasyon seçilmiştir.

### 5.6. Sıcaklık Etkisi

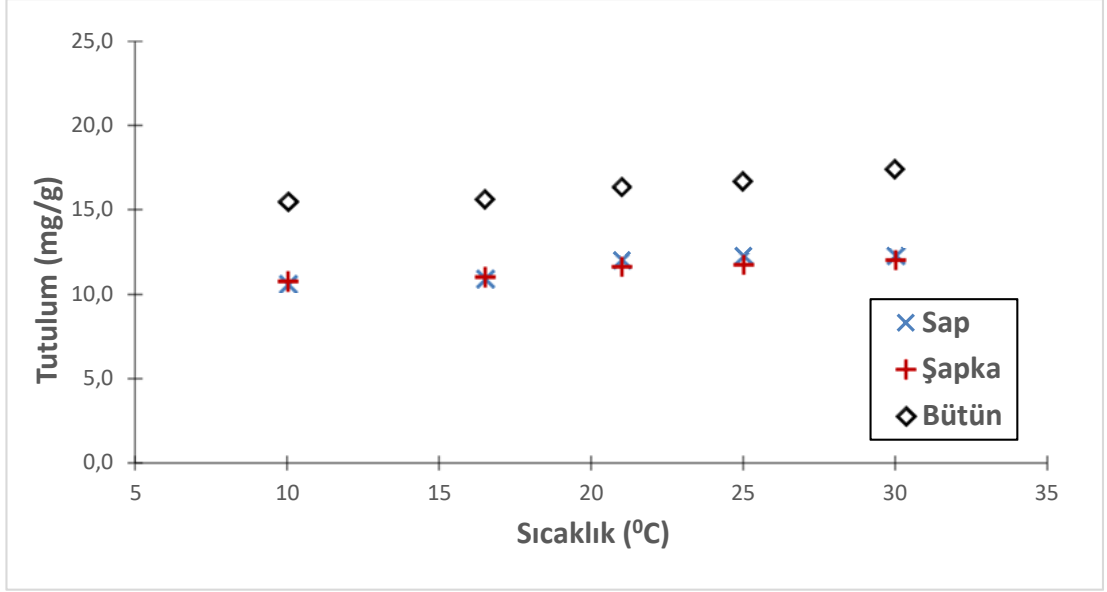
ABm üzere DB2'nin biosorpsiyonunda sıcaklık etkisinin sonuçları Çizelge 5.6.a., Şekil 5.6.a ve Şekil 5.6.b'lerde verilmiştir.

**Çizelge 5.6.a.** ABm üzerinde DB2'nin biyosorpsiyonunda sıcaklık etkisi. (Adsorbent miktarı: Bütün 0,15 g, sap ve şapka 0,2 g, t: 60 dak, V:10 mL, pH 5, C<sub>0</sub>: 0,0004 M, C<sub>kör</sub>: 305 mg/L).

Sıcaklık (°C)	Çözültide Kalan (mg/L)			Adsorplanan (mg/L)			% Adsorpsiyon			mg/g		
	Sap	Şapka	bütün	Sap	Şapka	bütün	Sap	Şapka	bütün	Sap	Şapka	bütün
10	93	90	73	212	215	232	70	70	76	10,6	10,8	15,5
16,5	87	85	71	218	220	234	71	72	77	10,9	11,0	15,6
21	65	73	60	240	232	245	79	76	80	12,0	11,6	16,3
25	60	70	55	245	235	250	80	77	82	12,3	11,8	16,7
30	60	65	44	245	240	261	80	79	86	12,3	12,0	17,4



**Şekil 5.6.a.** DB2'nin mantar tutunması üzerine sıcaklık etkisi



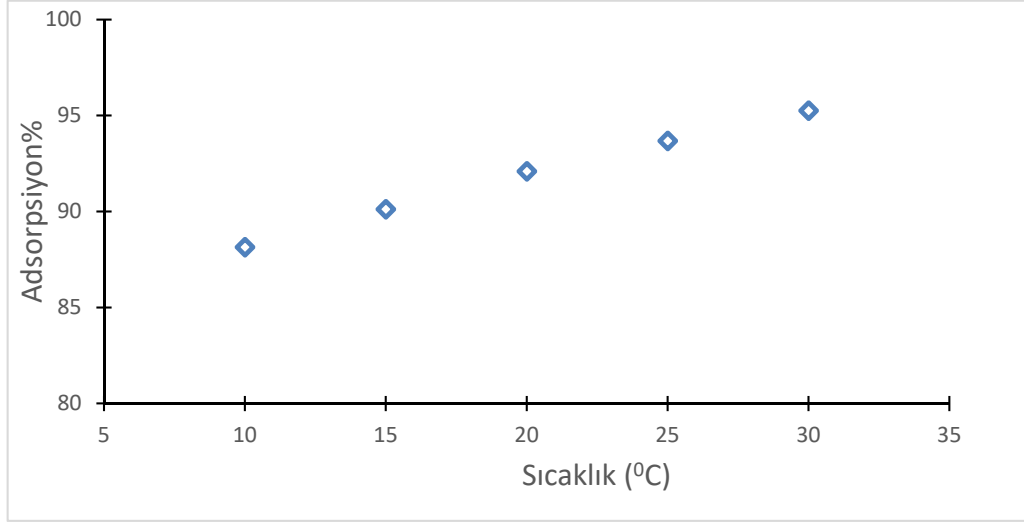
**Şekil 5.6.b.** DB2'nin mantar tutunması üzerine farklı sıcaklıklara (T) karşı mg/g değişimi

Elde edilen sonuçlara göre, sıcaklık değeri arttıkça % adsorpsiyon ve mg/g değerinde de bir artış gözlenmiştir. Buna göre DB2 biyosorpsiyonunda 10 °C'de mg/g değeri bütünde ~ 16 mg/g, sap ve şapkada ~ 11 mg/g iken, 21 °C'de sırasıyla ~17, ~12 ve ~12 mg/g olarak bulunmuştur. Aynı şekilde % adsorpsiyon değeri de sap, şapka ve bütünde sırasıyla % 70, % 70, %76'lerden % 80, % 79, % 86'lere artmıştır.

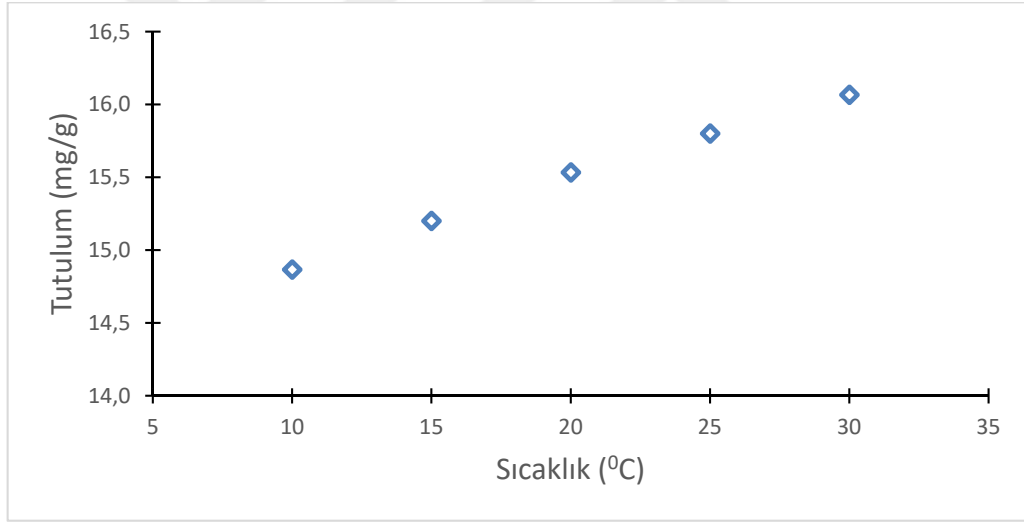
ABm üzere DB2'nin biosorpsiyonunda sıcaklık etkisinin sonuçları Çizelge 5.6.b., Şekil 5.6.c. ve Şekil 5.6.d'lerde verilmiştir.

**Çizelge 5.6.b.** ABm üzerinde DO26'ni Sıcaklık etkisi. (Adsorbent miktarı: 0,15 g, t: 60 dak, V:10 mL, pH 4, C<sub>0</sub>: 0,0004 M, C<sub>kör</sub>: 253 mg/L).

Sıcaklık °C	Çözeltide Kalan (mg/L)	Adsorplanan (mg/L)	% Adsorpsiyon	mg/g
10	30	223	88	14,9
15	25	228	90	15,2
20	20	233	92	15,5
25	16	237	94	15,8
30	12	241	95	16,1



**Şekil 5.6.c.** DO26'nin mantar tutunması üzerine sıcaklık etkisi



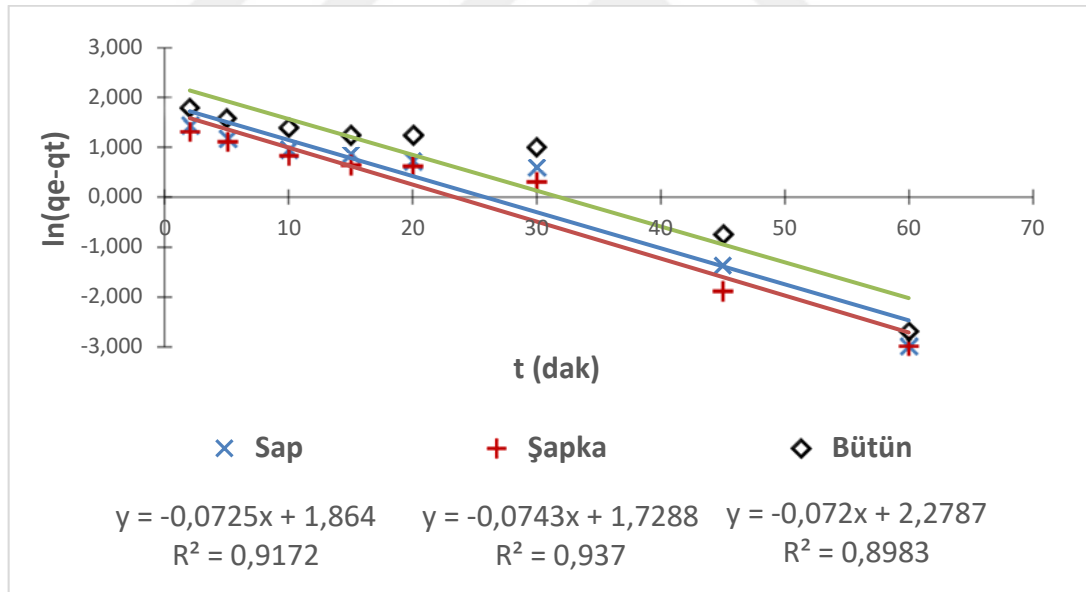
**Şekil 5.6.d.** DO26'nin mantar tutunması üzerine sıcaklık'a karşı mg/g değişimi

DO26 da aynı Blue 2'deki yolu izlenmiştir. En düşük mg/g (14,9 mg/g) ve en düşük % adsorpsiyon değeri (% 88) 10°C sıcaklıkta iken en yüksek mg/g (16,1) ve en yüksek % adsorpsiyon değeri (% 95) 30 °C' de görülmektedir. Literatürde belirtildiği gibi, sıcaklığın artmasıyla mg/g değerinin artması, biyosorbent üzerindeki fonksiyonel bağlanma bölgelerinin artması ve bu bölgelerin aktif hale gelmesinin bir sonucu

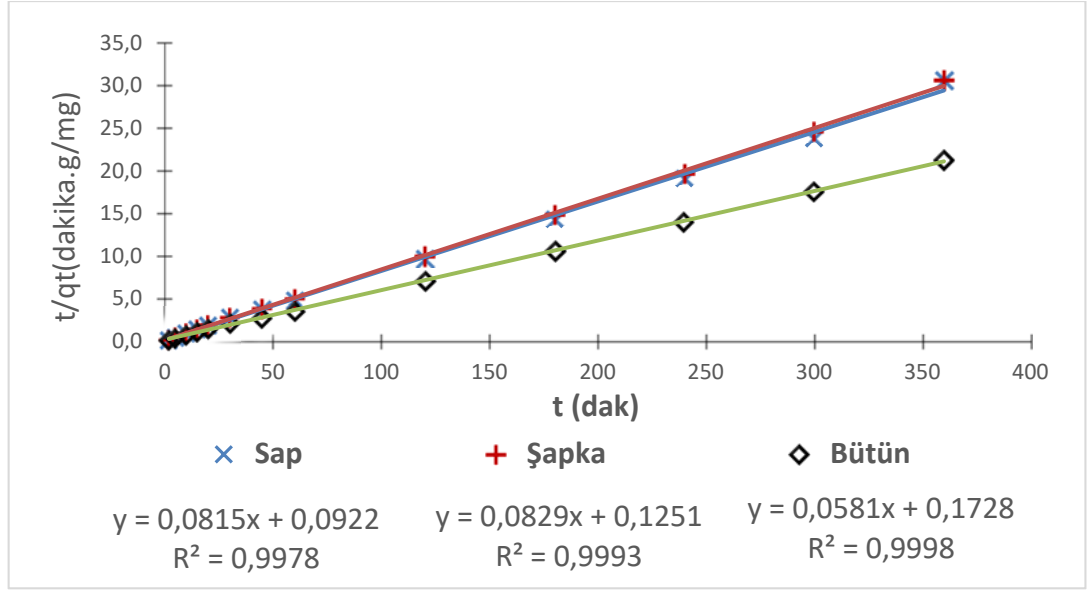
olabilir [75]. Ayrıca boya molakülleri sıcaklık ile daha hareketli hale gelerek mantar yüzeylerine ulaşarak tutulma göstermiş olabilirler.

### 5.7 Kinetik Çalışmalar

Bu çalışmada, adsorpsiyonun hızına etki eden adsorpsiyon aşamalarını anlamak için çalkalama süresi ve adsorpsiyon verilerinden yararlanarak, adsorpsiyon kinetiği saptanmaya çalışılmıştır. Adsorpsiyonu tarif etmek amacıyla yalancı-birinci derece ve yalancı-ikinci derece modelleri geniş olarak kullanılmaktadır. Aynı maksatla hem DB2 hem de DO26'nın non-lineer regrasyon analizi ile çözülerek, yalancı-birinci ve yalancı-ikinci derece kinetik modellerinin belirlenen parametrelere uyup uymadığına bakılmıştır. DB2 boyar madde yalancı-birinci derece kinetik verileri için çizilen grafik Şekil 5.7.a'da, yalancı-ikinci derece kinetik verileri için çizilen grafik Şekil 5.7.b'de, DO26 ya ilişkin sonuçlar sırasıyla Şekil 5.7.c ve 5.7.d'da gösterilmiştir. Kinetik formüllerin sabitleri DB2 için Çizelge 5.7.a ve DO26 için ise Çizelge 5.7.b'da verilmiştir.



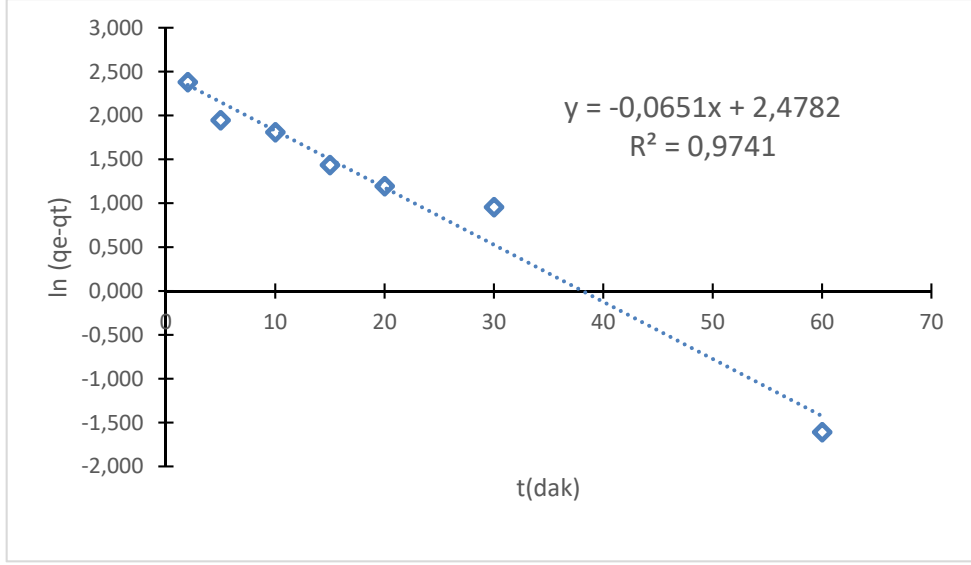
Şekil5.7.a. ABm üzerine DB2 boyar maddenin biyosorpsiyonu için yalancı birinci dereceden kinetik grafiği



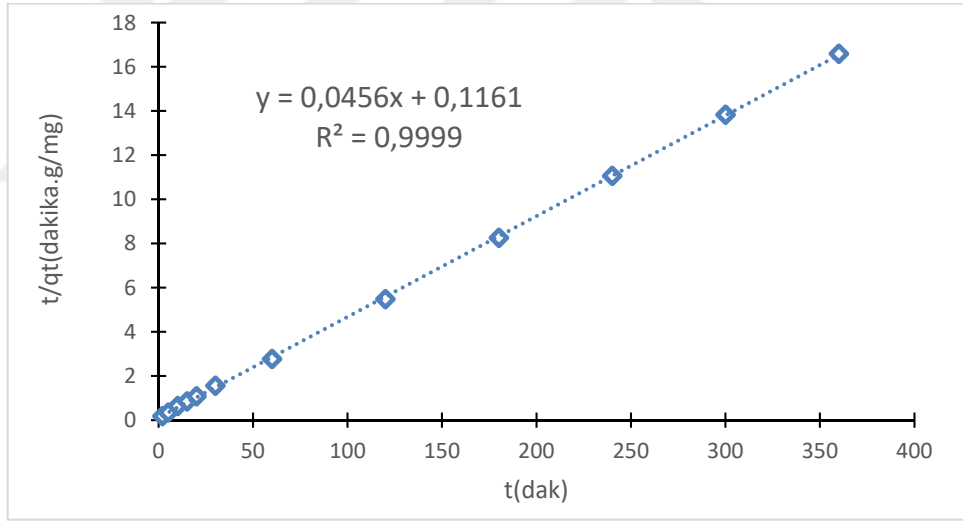
**Şekil 5.7.b.** ABm üzerine DB2 boyar maddenin biyosorpsiyonu için yalancı İkinci dereceden kinetik grafiği

**Çizelge 5.7.a.** ABm üzerinde DB2 adsorpsiyonu için kinetik sabitleri (Adsorbent miktarı: Bütün 0,15 g, sap ve şapka 0,2 g,  $C_0$ : 0,0005 M,  $C_{k\ddot{o}r}$ : 302 mg/L, V:10 mL, pH 5).

Yalancı Birinci Kinetik Model								
Sap			Şapka			Bütün		
$k_1(1/dak)$	$q_e(mg/g)$	$R_1^2$	$k_1(1/dak)$	$q_e(mg/g)$	$R_1^2$	$k_1(1/dak)$	$q_e(mg/g)$	$R_1^2$
0,0725	6,4	0,9172	0,0743	5,6	0,937	0,0720	9,8	0,8983
Yalancı İkinci Modelden Kinetik Modeli								
Sap			Şapka			Bütün		
$k_2(g/mg.dak)$	$q_e(mg/g)$	$R_1^2$	$k_2(g/mg.dak)$	$q_e(mg/g)$	$R_1^2$	$k_2(g/mg.dak)$	$q_e(mg/g)$	$R_1^2$
0,07599	12,3	0,9978	0,05909	12,1	0,9993	0,021575	17,2	0,9998



**Şekil 5.7.c.** ABm üzerine DO26'nin boyar maddenin biyosorpsiyonu için yalancı birinci dereceden kinetik grafiği



**Şekil 5.7.2.d.** ABm üzerine DO26'nin boyar maddenin biyosorpsiyonu için yalancı ikinci dereceden kinetik grafiği

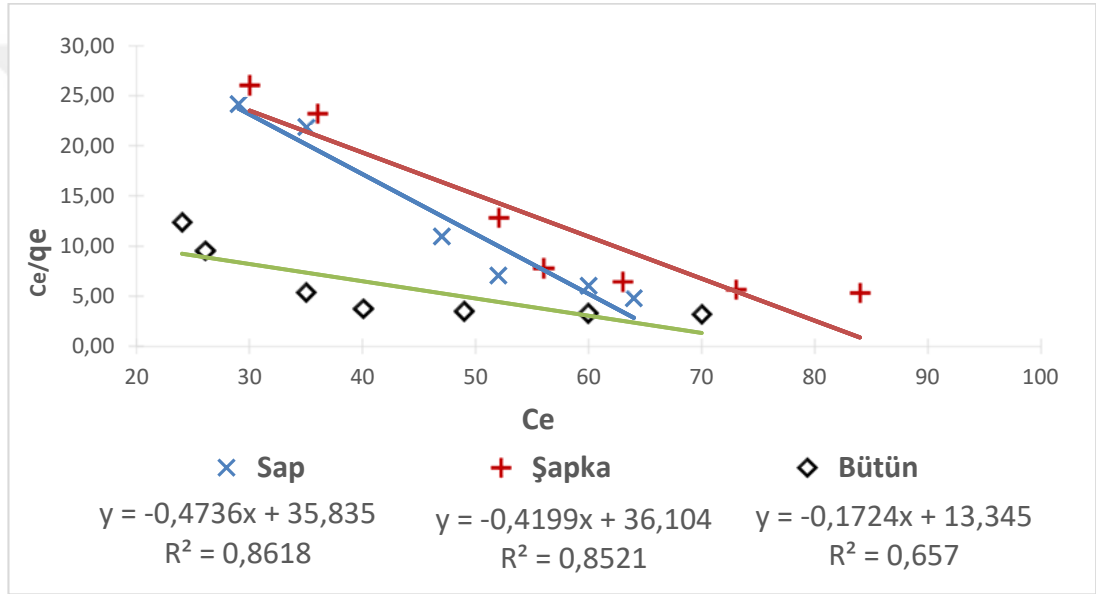
**Çizelge 5.7.b.** ABm üzerinde DO26 adsorpsiyonu için kinetik sabitleri (Adsorbent miktarı: 0,15 g, C<sub>0</sub>: 0,0005 M, C<sub>kör</sub> 345 mg/L, V:10 mL, pH 4).

Yalancı Birinci Dereceden Kinetik Modeli		
k <sub>1</sub> (1/dak)	q <sub>e</sub> (mg/g)	R <sub>1</sub> <sup>2</sup>
0,0651	11,9	0,974
Yalancı İkinci Dereceden Kinetik Modeli		
k <sub>1</sub> (g/mg.dak)	q <sub>e</sub> (mg/g)	R <sub>1</sub> <sup>2</sup>
0,0193	21,929	0,999

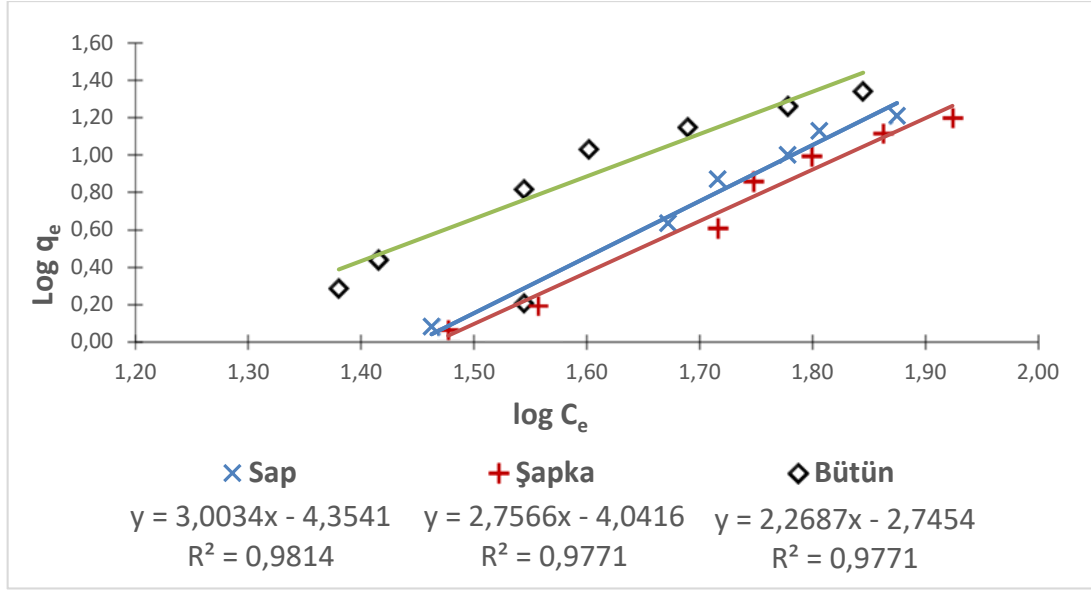
Çizelge 5.7.a incelendiğinde ve DB2 için çizilen grafiklerin R<sup>2</sup> değerlerine bakıldığında yalancı I. derece kinetik eşitliğinin R<sup>2</sup> değeri (sap'ta 0,9172, şapka'da 0, 0,9370, bütün'de 0,8983) olarak görülmektedir, ancak yalancı ikinci-derece kinetik eşitliğinin R<sup>2</sup> değerleri (sap'ta 0,9978, şapka'da 0,9993, bütün'de 0,9998) olarak bulunmuştur. Çizelge 5.7.b incelendiğinde ve DO26 için çizilen grafiklerin R<sup>2</sup> değerlerine bakıldığında yalancı birinci-derece kinetik eşitliğinin R<sup>2</sup> değeri 0,9741 olarak görülmektedir, ancak yalancı ikinci-derece kinetik eşitliğinin R<sup>2</sup> değerleri 0,999 olarak bulunmuştur. Bu çalışmada her iki boyar madde için yalancı-ikinci dereceden kinetik modelde R<sup>2</sup>'nin yalancı birinci-dereceye göre daha büyük çıkması, her iki boyar madde yalancı ikinci-derece kinetik modele uyumluğunu ifade etmektedir. Yalancı birinci ve ikinci derece kinetik modellerinden hesaplanan q<sub>e</sub> değerleri, deneyde ölçülen q<sub>e</sub> değerleriyle uyup uymadığına bakıldığında, yalancı ikinci-dereceden kinetik modelinin uyumluğu birinci modele göre daha iyi olduğu görülmektedir.

## 5.8. İzoterm Çalışmalar

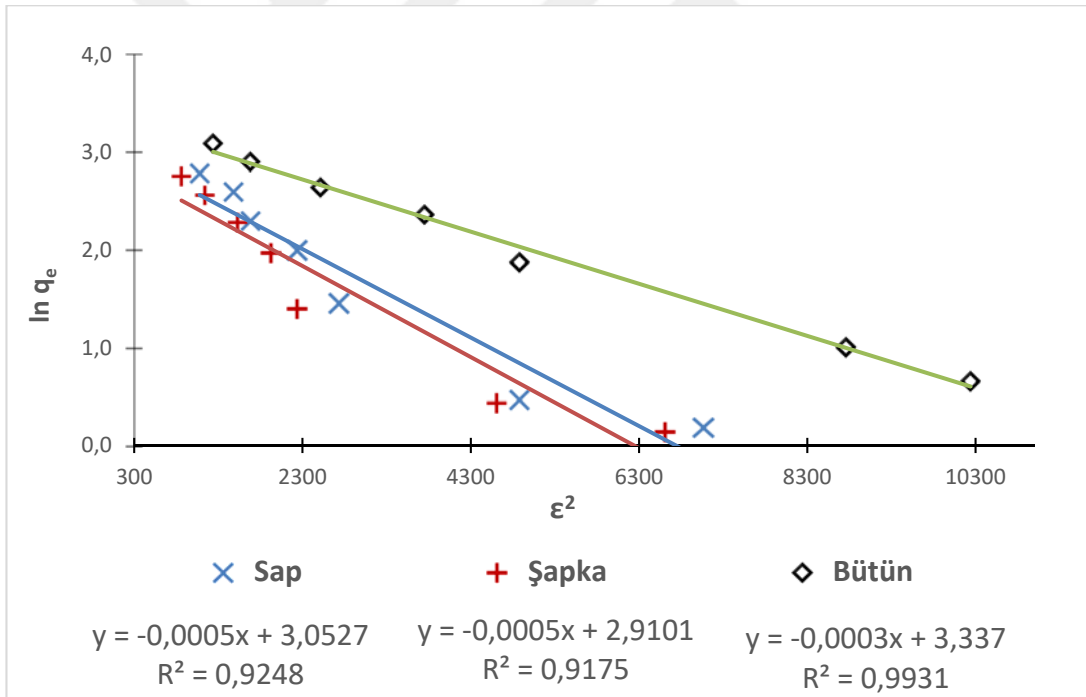
ABm mantarı üzerinde DB2 boyar madde adsorpsiyonuyla ilgili Langmuir, Freundlich, DRK, ve Temkin izotermine ait grafikler sırasıyla; Şekil 5.8.1.a Şekil 5.8.1.b, Şekil 5.8.1.c ve Şekil 5.8.1.d'da verilmiştir. DO26 boyar madde ise Langmuir, Freundlich, DRK, ve Temkin izotermine ait grafikler de sırasıyla; Şekil 5.8.2.a, Şekil 5.8.2.b, Şekil 5.8.2.c ve Şekil 5.8.2.d'da verilmiştir. Çizelge 5.8.1.a ve Çizelge 5.8.2.a'de deneylerden elde edilen sonuçlara göre sırasıyla hesaplanan DB2 ve DO26'nin adsorpsiyonunda Langmuir, Freundlich, DRK, ve Temkin izotermi sabitleri verilmiştir.



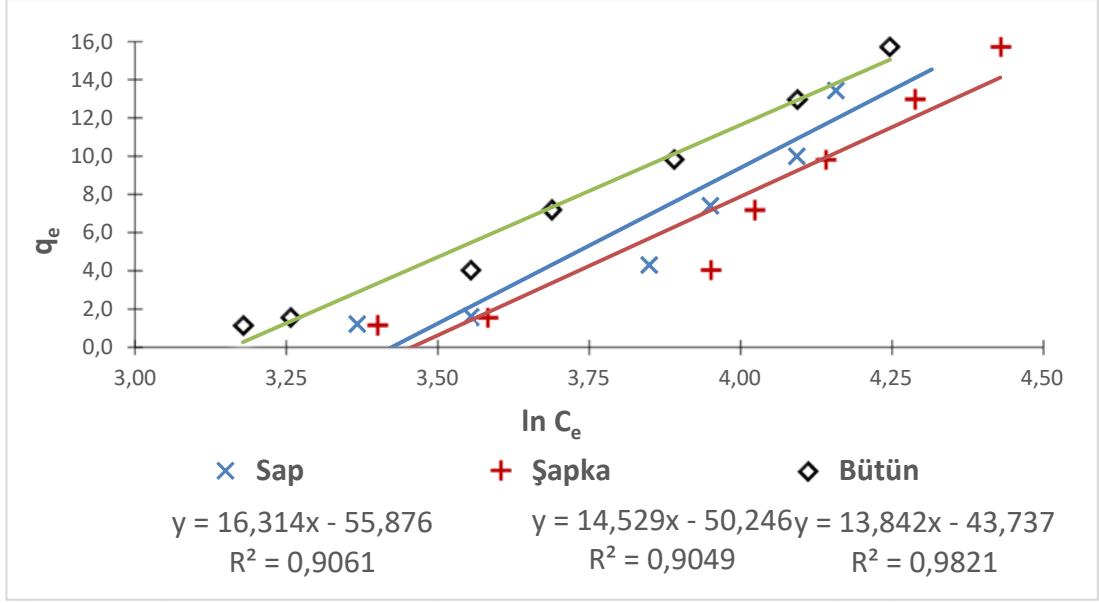
Şekil 5.8.1.a. ABm DB2 adsorpsiyonunun non-lineer regresyon Langmuir İzotermi



Şekil 5.8.1.b. ABm DB2 adsorpsiyonunun non-lineer regrasyon Freundlich İzotermi



Şekil 5.8.1.c. ABm DB2 adsorpsiyonunun non-lineer regrasyon DRK İzotermi



**Şekil 5.8.1.d.** ABm DB2 adsorpsiyonunun non-linear regrasyon Temkin İzotermi  
Farklı derişimler için hesaplanan izoterm değerleri Çizelge 5.8.1.a'da verilmiştir.

**Çizelge 5.8.1.a.** ABm DB2 adsorpsiyonuna ilişkin uygulanan izoterm sabitleri  
(Adsorbent miktarı: Bütün 0,15 g, sap ve şapka 0,2 g, t: 60 dak, V:10 ml, pH 5).

Freundlich İzoterm				Langmuir İzoterm			
sabitler	Sap	Şapka	Bütün	sabitler	Sap	Şapka	Bütün
R <sup>2</sup>	0,9814	0,9771	0,9771	R <sup>2</sup>	0,8618	0,8521	0,8521
n	0,33	0,36	0,44	a <sub>L</sub> (l/mg)	-0,01321	-0,01163	-0,01292
K <sub>F</sub> (mg <sup>1-(1/n)</sup> l <sup>1/n</sup> /g)	4,424 x 10 <sup>-5</sup>	9,1 x 10 <sup>-9</sup>	1,197 x 10 <sup>-3</sup>	K <sub>L</sub> (l/mg)	0,0279	0,0277	0,074934
DRK İzoterm				Temkin İzoterm			
sabitler	Sap	Şapka	bütün	sabitler	Sap	Şapka	bütün
R <sup>2</sup>	0,9248	0,9175	0,9931	R <sup>2</sup>	0,9061	0,9049	0,9821
E (kJ/mol)	0,0316	0,0316	0,0408	B (J/mol)	16,314	14,529	13,842
q <sub>D</sub> (mg/g)	21.1724	18.358	28.134	A <sub>T</sub> (L/g)	0,03255	0,03149	0,04246

Çizelge 5.8.1.a'den görüldüğü gibi, DB2 adsorpsiyonu için Freundlich izoterm modeli R<sup>2</sup>'leri Sap: 0,9814, Şapka: 0,9771 ve Bütün: 0,9771 olarak elde edilmiştir. Bu sonuç, adsorpsiyon denge verilerinin Freundlich izotermi ile uyum içerisinde

olduğunu göstermektedir. Freundlich izotermi, Özellikle temiz ve heterojen katı yüzeylerindeki adsorpsiyonlar için uygundur [2]. Freundlich izotermi çok tabakalı adsorpsiyon modelidir [1]. Freundlich izoterminin geçerliliği için adsorpsiyon olayının tamamen bir fiziksel proses olması yani adsorplanmış durumda moleküllerin konfigürasyonunda bir değişimin olmaması gereklidir [49].

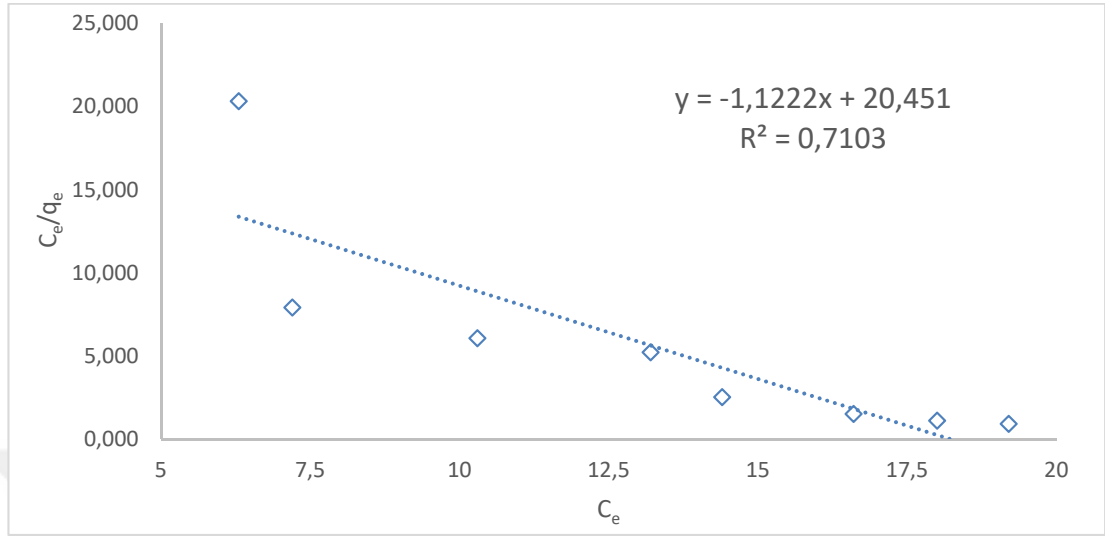
Genel olarak n değerinin 1 ile 10 arasında olması adsorpsiyonun iyi olduğunu açıklar. Adsorbent yüzeyinin heterojenliğini 0-1 arası değerleri olan  $1/n$  etkeni anlatır. Bu etken ne kadar küçük ve sıfıra yakınsa, yüzeyin o kadar daha fazla heterojen olduğu bilinir [51]. Bu izoterminin doğruluğu, heterojen adsorpsiyon yöntemlerde Langmuir izoterime kıyaslanırsa daha elverişlidir [39].

Çizelgeye göre, n değeri  $0 < n < 1$  olma koşulunu sağlamaktadır.  $1/n$  değeri 1'in üstündedir. Dolayısıyla diğer izotermiler ile birlikte değerlendirilmesi gerektiği kabul edilmektedir [76]. DB2 adsorpsiyonu denge verilerine Dubinin-Radush-Kevich izotermi uygulanarak adsorpsiyonunun sadece bütün için uyum sağladığını göstermektedir. E enerji değerinin Bütün'de 0,0408, Sap 0,0316 kJ/mol ve Şapka'da 0,0316 kJ/mol bulunduğundan (8 kJ/mol'den küçük) adsorpsiyonun fiziksel adsorpsiyon olması anlamına gelmektedir [77]. DB2'nin Temkin izoterm'de verdiği  $R^2=0,9061$  ve üzeri olmasına göre uyumlu olduğu söylenebilir. Buna göre DB2 için tabakadaki tüm moleküllerin adsorpsiyon ısısının ve adsorbat etkileşimlerinden dolayı lineer olarak azaldığı görülmüştür [78]. Farklı derişimler için hesaplanan Langmuir izoterm değerleri Çizelge 5.8.1.b'da verilmiştir.

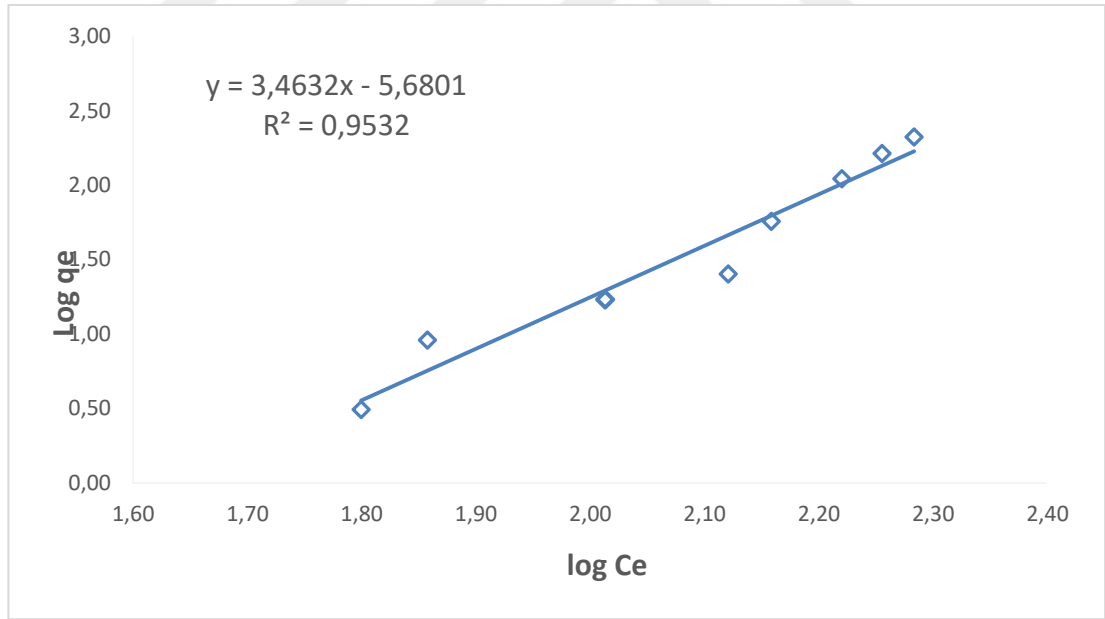
**Çizelge 5.8.1.b.** Farklı konsantrasyonlar için hesaplanan Langmuir ayırma faktörü

C <sub>0</sub> (mg/L)	R <sub>L</sub>		
	Sap	Şapka	bütün
66	0,350	0,352	0,167
83	0,301	0,303	0,138
166	0,177	0,179	0,074
249	0,126	0,127	0,051
332	0,097	0,098	0,039
415	0,079	0,080	0,031
498	0,067	0,068	0,026

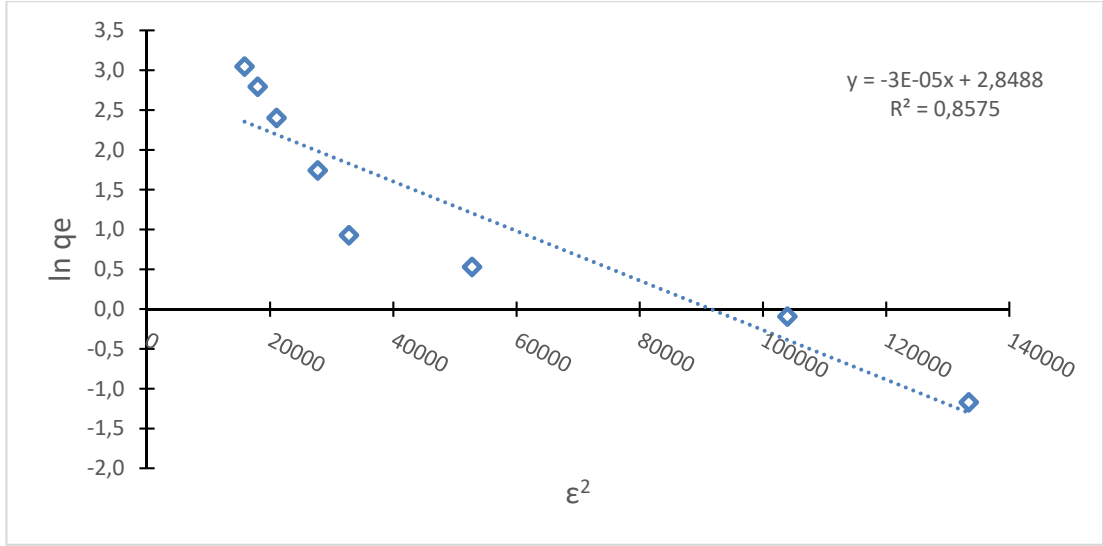
$R_L$  değerlerinin 0 ile 1 arasında olması, kullanılan Adsorbentin DB2 adsorpsiyonu için uygun olduğunu göstermektedir.



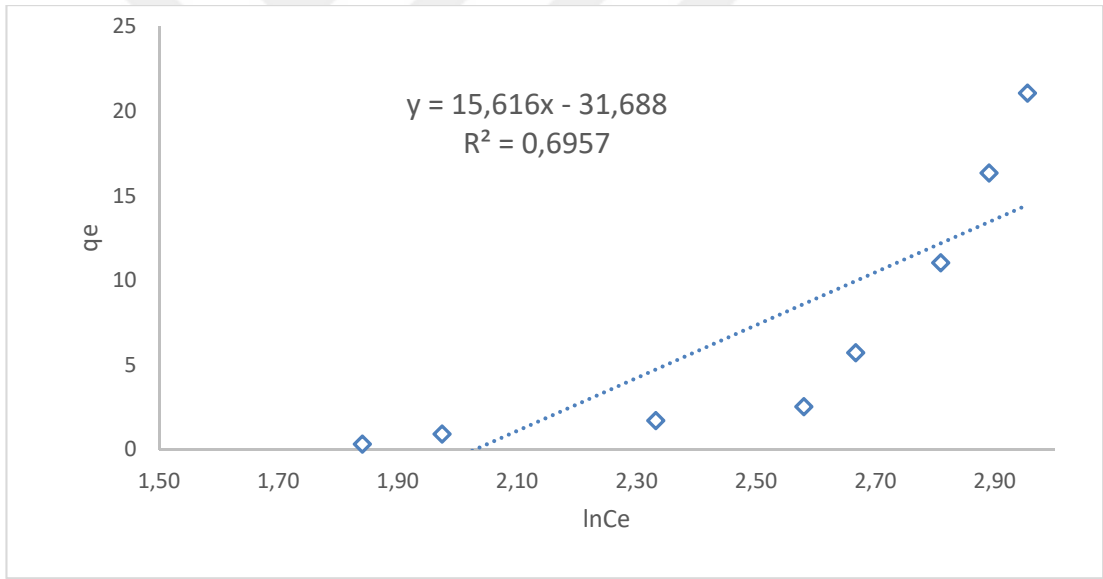
Şekil 5.8.2.a. ABm DO26 adsorpsiyonunun non-lineer regrasyon Langmuir İzotermi



Şekil 5.8.2.b. ABm DO26 adsorpsiyonunun non-lineer regrasyon Freundlich İzotermi



Şekil 5.8.2.c. ABm DO26 adsorpsiyonunun non-lineer regrasyon DRK İzotermi



Şekil 5.8.2.d. ABm DO26 adsorpsiyonunun non-lineer regrasyon Temkin İzotermi

**Çizelge 5.8.2.a.** ABm DO26 adsorpsiyonuna ilişkin uygulanan izoterm sabitleri (Adsorbent miktarı: Bütün 0,15 g, sap ve şapka 0,2 g, t: 60 dak, V:10 mL, pH 5).

Freundlich İzoterm sabitleri		Langmuir İzoterm sabitleri	
R <sup>2</sup>	0,9532	R <sup>2</sup>	0,7103
n	0,29	a <sub>L</sub> (l/mg)	-0,055
K <sub>F</sub> (mg <sup>1-(1/n)</sup> l <sup>1/n</sup> /g)	2,09 x 10 <sup>-6</sup>	K <sub>L</sub> (L/mg)	0,059
DRK İzoterm sabitleri		Temkin İzoterm sabitleri	
R <sup>2</sup>	0,8575	R <sup>2</sup>	0,6957
E (kJ/mol)	0.129	B (J/mol)	15,616
q <sub>D</sub> (mg/g)	17,27	A <sub>T</sub> (L/g)	0,131

Çizelge 5.8.2.a'den görüldüğü üzere, DO26 adsorpsiyonu için Freundlich izoterm R<sup>2</sup> = 0,9532, Langmuir İzoterm ise R<sup>2</sup> = 0,7103 olarak elde edilmiştir. Bu sonuç, adsorpsiyon denge verilerinin Freundlich izotermi ile uyum içerisinde olduğunu göstermektedir. Temiz, heterojen, tabakalı ve fiziksel adsorpsiyon modeline uyumludur [1] [49].

Çizelgeye göre, n değeri 0 < n < 1 olma koşulunu sağlamaktadır. 1/n değeri 1'in üstündedir. dolayısıyla diğer izotermiler ile birlikte değerlendirilmesi gerektiği kabul edilmektedir [76]. DB2 adsorpsiyonu denge verilerine Dubinin-Radush-kevich izotermi uygulanarak adsorpsiyonun bu modele uyum sağladığını göstermektedir. E enerji değerinin 0.129 kJ/mol olması (8 kJ/mol'den küçük ) adsorpsiyonun fiziksel adsorpsiyon olmasının anlamına gelmektedir [77]. DO26'nin Temkin izoterm'de verdiği R<sup>2</sup>=0,6957'ye göre uyumlu olmadığını söylenebilir. Farklı derişimler için hesaplanan Langmuir izoterm ayarma faktör değerleri Çizelge 5.8.2.b'da verilmiştir.

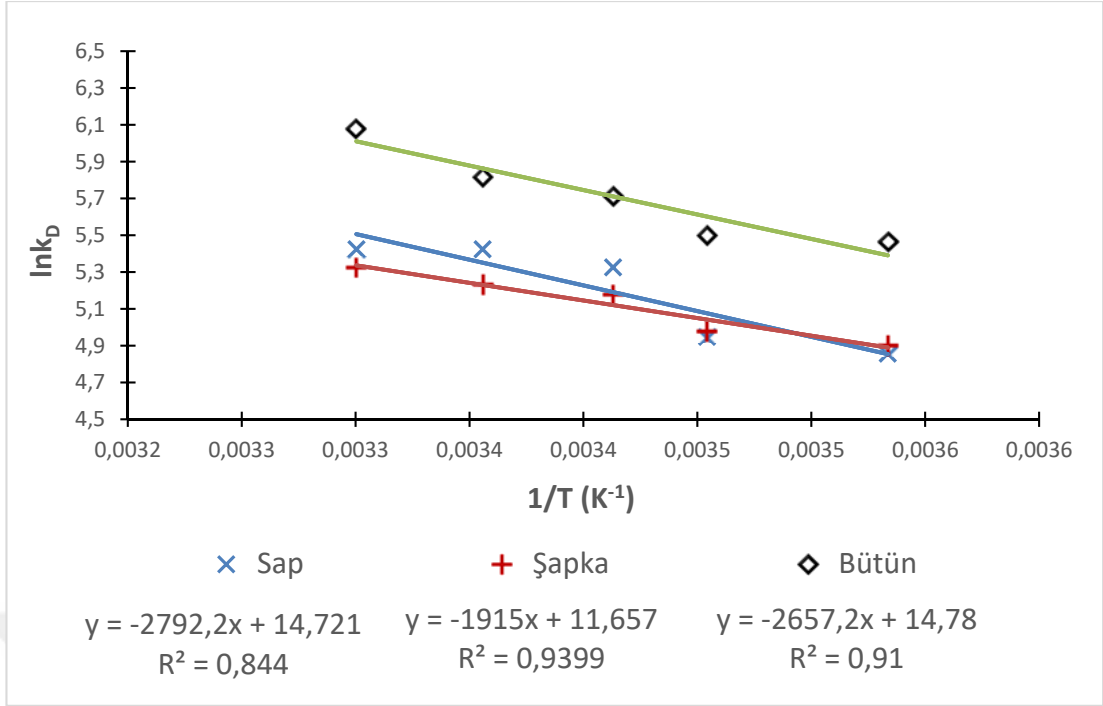
**Çizelge 5.8.2.b**, Farklı konsantrasyonlar için hesaplanan Langmuir ayırma faktörü

C <sub>0</sub> (mg/L)	R <sub>L</sub>
23	0,473
30	0,403
45	0,310
76	0,212
151	0,119
227	0,082
303	0,063
378	0,051

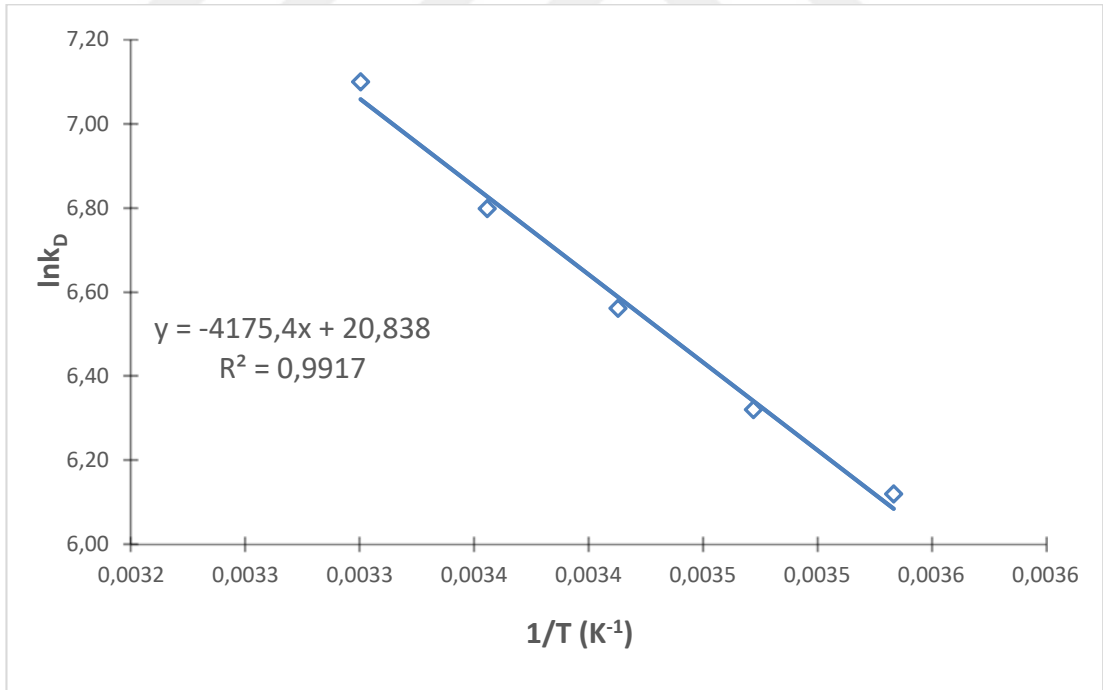
**Çizelge 5.8.2.b**'de görüldüğü üzere tüm konsantrasyonlarda R<sub>L</sub> değerinin 0 ile 1 arasında olması, kullanılan Adsorbentin Direk DO26 adsorpsiyonu için uygun olduğunu göstermektedir.

### **5.9. Termodinamik Çalışmaları**

DeneySEL sonuçlara göre 1/T' ye karşı lnK<sub>D</sub> doğrusal olarak oluşturulan grafikler, DB2 için Şekil 5.9.a'de, DO26 ise Şekil 5.9.b'de, grafiklerden elde edilen Standart serbest enerji değişimi ( $\Delta G^\circ$ ), entalpi değişimi ( $\Delta H^\circ$ ) ve entropi değişimi ( $\Delta S^\circ$ ) gibi termodinamik nicelikler, DB2 için Çizelge 5.9.a, DO26 ise Çizelge 5.9.b'de, sunulmuştur.



Şekil 5.9.a. DB2'nin Van't Hoff eşitliği grafiği



Şekil 5.9.b. DO26'nin Van't Hoff eşitliği grafiği

**Çizelge 5.9.a.** ABm üzerine DB2 adsorpsiyonu için termodinamik nicelikler

	Sıcaklık(K)	$\Delta G^\circ$ (kJ/mol)	$\Delta S^\circ$ (j/mol.K)	$\Delta H^\circ$ (kJ/mol)
Sap	283	-11,4	122,39	23,2
	289,5	-11,9		
	293	-13,0		
	298	-13,4		
	303	-13,7		
Şapka	283	-11,5	96,92	15,9
	289,5	-12,0		
	293	-12,6		
	298	-13,0		
	303	-13,4		
Bütün	283	-12,9	122,88	22,1
	289,5	-13,2		
	293	-13,9		
	298	-14,4		
	303	-15,3		

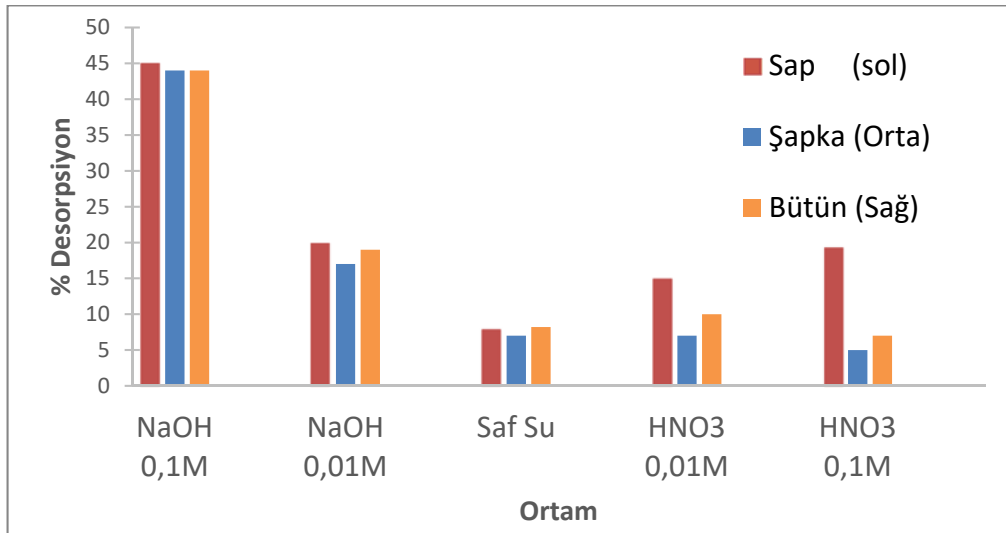
**Çizelge 5.9.b.** ABm üzerine DO26 adsorpsiyonu için termodinamik nicelikler

Sıcaklık(K)	$\Delta G^\circ$ (kJ/mol)	$\Delta S^\circ$ (J/mol.K)	$\Delta H^\circ$ (kJ/mol)
283	-14,4	173,247	35
288	-15,1		
293	-16,0		
298	-16,8		
303	-17,9		

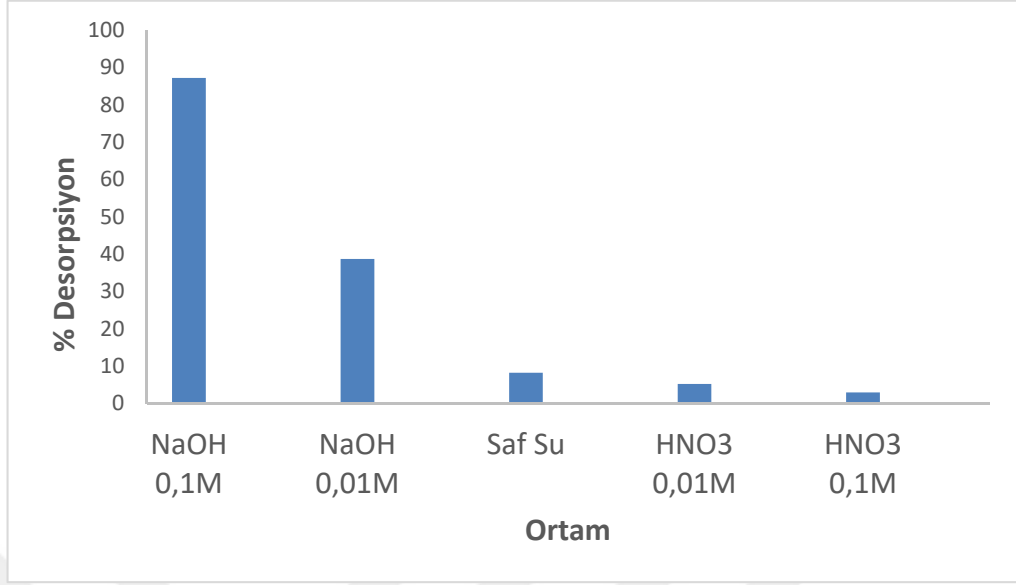
Her iki boyar madde için  $\Delta G^\circ$  negatif,  $\Delta H^\circ$ , ve  $\Delta S^\circ$  ise pozitif olarak belirlenmiştir. Her iki boyanın ABm'e biyosorpsiyonunun endotermik olduğunu ifade etmektedir. Serbest enerji değişiminin negatif değeri, biyosorpsiyonun kendiliğinden doğal olarak gerçekleştiğini bildirmektedir. Artan sıcaklığa karşı azalan  $\Delta G^\circ$  değeri, sıcaklık artmasıyla adsorplanma işleminin daha da iyi olduğuna işaret etmektedir [79, 80]. Burada  $\Delta S^\circ$  değerlerinin pozitif çıkması adsorpsiyon süresince çözelti ile adsorbent arasında bulunan ara yüzeyde düzensizliğin yükseldiğini söylemektedir.

### 5.10. Desorpsiyon Çalışmaları

Adsorpsiyon işleminde tutulan maddenin geri salınımı önemlidir. Boyar maddelerin tutulum çalışmalarında kötü boyaların tekrar çevreye sağlığını istenmez. Bu neden ile bu çalışmada mantar üzerinde tutulan her iki boya için ayrı ayrı desorpsiyon çalışmaları yapılmıştır. ABM biyosorbentten DB2 ve DO26 boya için yüzde olarak desorpsiyon etkinliği, sırasıyla Şekil 5.10.a, ve Şekil 5.10.b'de gösterilmektedir.



Şekil 5.10.a. DB2 için farklı çözeltilerin desorpsiyon etkinlikleri



**Şekil 5.10.b.** DO26 için farklı çözeltilerin desorpsiyon etkinlikleri

DB2 boyası için desorpsiyon bazik ortamlarda (0,1 M NaOH çözelti ortamında şapka'da ve bütün'de %44, sap'da %45, 0,01 M NaOH çözelti ortamında şapka'da %17, bütün'de %19 ve şap'da %20) yüksek olarak görünürken, asidik ortamlarda daha az desorpsiyon gerçekleşmektedir (0,01 M HNO<sub>3</sub> çözelti ortamında şapka'da %7, bütün'de %10 ve sap'da %15, 0,1 M HNO<sub>3</sub> çözelti ortamında şapka'da %5 ve bütün'de %7 ve sap'da %19). Bununla birlikte DB2 boyar madde bazik bir boyar maddedir, asidik ortamlarda daha yüksek biyosorpsiyon oranına sahiptir. Saf su ortamındaki veriler ise (sap %8, şapka %7, bütün %8) olarak tespit edilmiştir. Ancak mantarın toprağa yakın bir parçası olan sap'da asidik ortamda saf su ortamına göre daha fazla desorpsiyon gerçekleşmesi, yapısında topraktan alınmış bilinmeyen mineraller içerdiğinden kaynaklı olduğu düşünülmektedir.

DO26 boyar madde desorpsiyonunda ise gene aynı sonuçlar görülmüştür. Bütün mantardan desorpsiyon bazik ortamlarda (0,1 M NaOH %87, 0,01 M NaOH %39) yüksekken, saf suda düşük (%8) ve asidik ortamlarda daha da düşük desorpsiyon (0,1 M HNO<sub>3</sub> %3, 0,01 M HNO<sub>3</sub> %5) gerçekleşmiştir.

### 5.11. Diğer Çalışmalarla Bulgular Karşılaştırılması

Çizelge 5.10’de bu çalışmalardaki bulgular ve diğer yapılan çalışmaların sonuçları karşılaştırılmıştır.

**Çizelge 5.11.** Çeşitli maddeler kullanarak sulu çözeltilerden azo boyar maddelerin adsorpsiyonu için yapılan çalışmalar

Adsorbent Adı	Kirletici Adı	Giderim, verim veya tutulum	Optimum değerler	Kaynak
<i>Agaricus campestris</i>	Direkt Blue 2	Verim %93, tutulum 38,56 mg/g	Biyosorbent miktarı: 0,01 g, pH 6, 100 mg/L, 120 dak.	Sarıkaya ve Erden [81]
<i>Phanerochaete chrysosporium</i>	Direkt Blue 49, D. Orange 12, D. Orange 13, D. Red 31, D. Black 5 ve RBBR	Verim %74’ten %95 e kadar değişmekte	pH 4,5, Co: 50 mg/L, Çalkalama hızı: 200 rpm ve T: 30 C°	Pilatin ve Kunduhoğlu [82]
<i>P. Ostreatus</i> (POm), F.	Metilen Mavisı	POm’da %83,86,	Adsorpsiyon süresi: 90 dak	Öden ve ark. [83]
<i>Fomentarius</i> (FFm),		FFm’da %98,55,		
<i>A. Bisporus</i> (ABm),		ABm’da %83,50,		

<i>R. Delica</i> (RDm)		RDm'da %92,16,		
<i>A. Mellea</i> (AMm)		AMm'da %89,09 ve		
<i>C. gigantea</i> (CGm)		CGm'da %87,15		
<i>Sarocladium</i> <i>sp.</i>	Remazol Black	Tutulum: 58.48 mg/g	Konsantrasyon: 1000 mg/L	Nouri ve ark. [84]
Aktif karbon	Metilen Mavisi	% 90'dan büyük	Adsorbent miktarı: 0,15g, pH 10, çalkalama hızı 125 rpm.	Albroomi ve ark. [16]
<i>Penicillium</i> <i>oxalicum</i> SAR- 3 izolatu	Acid Red 183, Direct Blue 15 and Direct Red 75	%95-100	pH 7.0'da 30 °C'de 120 saat	Saroj ve ark. [72]
ABm sap	DB2	%80 Ads., 12,3 mg/g	Bütün ABm miktarı: 0,15g, pH4, süre 60 dak, Co: 0,0004 ve sıcaklık: 30 °C	Bu çalışma
ABm şapka		%79 Ads., 12 mg/g		
ABm Bütün		%86 Ads., 17,4 mg/g		
		DO26		

## 6. SONUÇLAR

Bu tez kapsamında tekstil endüstrisinde yasak olmasına rağmen kullanılabilen azo grubu boyarmaddelerden olan Direkt blue 2 ve Direkt orange 26 boyar maddelerinin sulu çözeltilerden biyosorpsiyon yöntemi ile giderimi araştırılmış ve giderim için optimum koşullar belirlenmiştir. Çalışmalarda biyosorbent olarak kültür mantarı (*Agaricus Bisporus*) kullanılmıştır. Biyosorpsiyon verimliliğine etki eden parametrelerden her aşamada birisi değiştirilmiş, diğer dört etken sabit tutularak her bir etkenin optimumu bulunmuştur. Kinetik, izoterm verileri ve termodinamik sabitlerini elde etmek için deneysel verilere yalancı birinci derece ve yalancı ikinci derece adsorpsiyon kinetiği, Langmuir, Freundlich, Temkin ve DRK adsorpsiyon izotermi uygulanmıştır. Yukarıdaki kapsamda yapılan deneysel çalışmalarda aşağıdaki sonuçlara varılmıştır. Biyosorpsiyon deney sonuçları:

- Uygun adsorbent miktarının seçiminde şartlar 10 mL, 120 dak, 25 °C, 0,0005 M, pH'ler (DB2: pH8,6, DO26: pH 9) sabit tutulmuş ve biyosorbent miktarı 0,05g-0,3g arasında çalışmalar yapılmıştır. Sonuçta, optimum biyosorbent miktarı DB2 bütün ve DO26 için 0,15g, DB2 sap ve şapka için ise 0,2 g olarak seçilerek sonraki deneylerde bu miktarlarda çalışılmıştır.
- DB2 ve DO26 için uygun pH seçiminde pH3-9 arasında çalışılarak, koşullar 10 mL, 120 dak, 25 °C, 0,0005 M, biyosorbent miktarları (DB2 bütün ve DO26 için 0,15g, DB2 sap ve şapka için ise 0,2 g) sabit olarak tutulmuştur. Deneysel sonuçlara göre optimum pH değeri DB2 için 5, DO26 için ise 4 olarak tesbit edilmiştir.
- Biyosorpsiyonun en uygun çalkalama süresini belirlemek amacı ile sabit koşullarda 360 dak'lık süre içerisinde deneyler yapılmıştır. Deneysel sonuçlara göre her iki boyar madde için 60 dak optimum olarak seçilmiştir.
- Başlangıç boya konsantrasyonunu belirlemek için yapılan çalışmalarda DB2'de  $0,8 \times 10^{-4}$ - $10 \times 10^{-4}$  M ve, DO26'da  $0,3 \times 10^{-4}$ - $8 \times 10^{-4}$  M değişen konsantrasyonlu 10 mL lik sulu çözeltilere DB2 için pH5'de ve DO26 için pH4'de sabit tutulmuş ve DB2 bütün ile DO26'da 0,15g ve DB2 sap ve şapkada 0,2 g biyosorbent eklenmiştir. 60 dak süren deneysel sonuçlara göre her iki boya için optimum konsantrasyonu 0,0004 M olarak bulunmuştur.

- Sıcaklık etkisini incelemek için yukardaki koşullarda 10-30 °C arasında deneysel çalışmalar yürütülmüştür. Optimum çalışma sıcaklığı 30 °C olarak belirlenmiştir.
- Deneysel veriler ile yapılan kinetik çalışmalar sonucunda bulunan yüksek R<sup>2</sup> değerleri ile, *Agaricus bisporus* mantarı üzerine Direkt Blue 2 ve Direkt Orange 26'nin biyosorpsiyonunun yalancı ikinci dereceden kinetik modeline uyumlu olduğu bulunmuştur.
- Deneysel veriler ile çizilen adsorpsiyon izoterm grafiklerinden hesaplanan R<sup>2</sup> değerlerine göre her iki boyar madde Freundlich ve DRK izotermi adsorpsiyon izoterm modelinin uygunluğu gözlenmiştir. E enerji değerinin 1 kJ/mol'den küçük olması (8 kJ/mol'den küçük) adsorpsiyonun her iki boyar maddede fiziksel adsorpsiyon olmasının anlamına gelmektedir.
- Termodinamik verilerinden olan Gibbs serbest enerjisi değerlerinin negatif olması, *Agaricus bisporus* üzerine Direkt Blue 2 ve Direkt Orange 26'nin adsorpsiyonunun kendiliğinden gerçekleştiğini göstermektedir.
- Yapılan desorpsiyon çalışmaları sonucu olarak her iki boyar madde bazik ortamlarda büyük oranda desorpsiyon gerçekleştirenken, asidik ortamlara gidildikçe oldukça daha az desorpsiyon olmaktadır.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar doğrultusunda, *Agaricus bisporus* biyosorbentinin sanayide adsorbent olarak kullanılabilirliği, adsorbent eldesi için kolay bir şekilde temin edilebilir özellikte olması ve büyük adsorpsiyon uzaklaştırma oranları göz önüne alındığında, direkt blue 2 ve direkt orange 26 boyar maddelerin gideriminde biyosorbentinin kullanılabileceği söylenebilir. Elde edilen adsorpsiyon verimlerine göre bütün mantar, mantarın sadece sapı ya da sadece şapkasına göre az da olsa daha yüksek adsorpsiyon yüzdesine sahip olduğu tesbit edilmiştir. Böylelikle *Agaricus Bisporus* mantarının biyosorbent olarak kullanmasında bütün olmasına dikkat edilmesi önerilmektedir. Bu çalışmada, ABm mantarı ile direkt blue 2'nin adsorpsiyonunda q<sub>e</sub> (17,4 ±2,35mg/g) direkt orange 26'ye (16,1 ±2,55mg/g) göre daha fazla bulunmuştur. Ancak % ads olarak DO26'nin verimi (%95±1,96) DB2'ye (%86±1,87) göre daha yüksek değerlerde tesbit edilmiştir. Biyosorpsiyon sonrası saf su ortamında %8 civarında desorpsiyon gerçekleşmesi, bu yöntemin azo boyar

giderilmesinde kullanıldığı takdirde çalışma sonrası boyar madde tutmuş olan mantarların doğal sulardan uzakta izole edilmesi önerilmektedir.

Yapılan çalışmaların, bilimsel edebiyatte bu konudaki bilgileri destekler ve ileride yapılacak çalışmalara temel oluşturur kanaatindeyiz.



## KAYNAKLAR

- [1] Çiçekçi, A., Dönmez, B., Kavcı, E., Laçın, Ö. Malahit yeşilinin şeftali çekirdeği kabuğu üzerine adsorpsiyon izotermi ve termodinamiği. Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi. 2020, 5(2), 103-111.
- [2] Karaçetin, G. Fındık Çotanağından Çinkoklorür İle Hazırlanan Aktif Karbon İle Metilen Mavisinin Adsorpsiyonu, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Sakarya, 2011, 172 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [3] Yıldız, M. A. Tekstil Endüstrisi Atıksuyunun Elektrokimyasal Yöntemler İle Arıtılabilirliğinin İncelenmesi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli, 2011, 49 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [4] Acar, S. Eğirdir Yöresinde Bulunan Linyit Kömürlerine Fizikokimyasal İşlemler Uygulanarak Elde Edilen Adsorbent İle Boyar Madde Gideriminin Araştırılması, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, 2018, 135 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [5] Becenen, N. Azo boyarmaddelerinin yasaklanması: bebek ve çocuk giysilerinde uygulanabilirliğinin araştırılması. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi. 2017, 6(10), 1-6.
- [6] Korkmaz, K. Yeni Bir Gıda Atığı Kullanarak Sulu Çözeltilerden Biyosorpsiyon Metoduyla Bazı Kirliliklerin Giderimi, Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Batman, 2019. 90 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [7] Karaaslan Aksu, S. Azo Boyar Maddelerin Foto Katalizinin İncelenmesi Ve Analitik Yöntemler, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Ana Bilim Dalı, Uludağ, 2008. 222 s. (Doktora Tezi)
- [8] Hamdi Karaoğlu M. Sulu Çözeltilerden Bazı Boyar Maddelerin Fizikokimyasal Yöntemlerle Giderimi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Balıkesir, 2007, 241 s. (Doktora Tezi)
- [9] Özdemir N., Karıpcın F. Azo Bileşikleri İle Karışık Liganlı Geçiş Metal Komplekslerinin Sentezi Ve Karakterizasyonu, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Nevşehir, 2018, 74 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [10] Şener, N. Yeni Heterosiklik Azo Boyarmaddelerin Sentezi Ve Adsorpsiyon Özelliklerinin İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Denizli, 2008. 86 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [11] Akal, H. Yapısında Hidroksil Ve Azo Grubu İçeren Ftalosiyanınların Mikrodalga Yardımlı Sentezi Ve Özelliklerinin İncelenmesi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Rize, 2013, 119 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [12] Aydoğan, M. Siklobütendion İçeren Yeni Azo Boyarmaddelerin Sentezi Ve Spektroskopik Özelliklerinin Belirlenmesi, Adnan Menderes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Aydın, 2017. 41 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [13] Mert, F. Azo Grubu İçeren Ftalosiyanınların Mikrodalga Yardımlı Sentezi Ve Karakterizasyonu, Rize Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Rize, 2011. 112 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [14] Baki, E. Yapısında Azo Grubu İçeren İyotlu Ve İyotsuz Bazı Ftalosiyanınların Mikrodalga Yardımlı Sentezi Ve Özelliklerinin İncelenmesi, Recep Tayyip

- Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Rize, 2013, 87 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [15] Koçak, G. Bacillus Subtilis İle Reaktif Black 5 Boyar Maddesinin Renk Giderim Kinetiğinin Araştırılması, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Adana, 2011, 71 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [16] Albroomi, H., Elsayed, M., Baraka, A., Abdelmaged, M. Yapay çözeltilerden bir bazik ve bir azo boyar maddesinin aktif karbon kullanılarak adsorpsiyonuyla giderilmesini etkileyen faktörler. Journal of the Turkish Chemical Society Section A: Chemistry. 2015, 2(1), 21-37.
- [17] Kaykoğlu, G., Debik, E. Color removal from textile wastewater with anaerobic treatment processes. Sigma. 2006, 4, 59-68.
- [18] Alyüz, B., Veli, S. Low-cost adsorbents used in heavy metal contaminated waste water treatment. Sigma. 2005, 3, 94-105.
- [19] Alkan M., Doğan, M. Adsorption of copper (II) onto perlite. Journal of Colloid and Interface Science. 2011, 243(2), 280-291.
- [20] Kara, L. Elektrokoagülasyon Yöntemi İle Bazik Boyarmaddelerin Giderilmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Sakarya, 2009, 69 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [21] Kocaer, F. O., Alkan, U. Boyarmadde içeren tekstil atıksularının aritim alternatifleri. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi. 2002, 7(1), 47-55.
- [22] Robinson, T., McMullan, G., Marchant, R., Nigam, P. Remediation of dyes in textile e uent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative. Bioresource Technology. 2001, 77, 247-255.
- [23] Demirci, C. Pamuklu Tekstil Endüstrisi Atıksularındaki Rengin Foto-Fenton Prosesiyle Giderimi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Elazığ, 2007, 47 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [24] Strickland A. F., Perkins, W. S. Decolorization of continuous dyeing wastewater by ozonation. Textile Chemist and Colorist. 1995, 27(5), 11-15.
- [25] EREN, H. A., KURCAN, P., Pervin, A. Boyamada kullanılan yardımcı kimyasal maddelerin reaktif boyama atık sularının ozonlanmasına etkileri. Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering. 2007, 12(2), 53-60.
- [26] Koch, M., Yediler, A., Lienert, D., Insel, G., Kettrup, A. Ozonation of hydrolyzed azo dye reactive yellow 84 (CI). Chemosphere. 2002, 46(1), 109-113.
- [27] Sevimli M. F., Sarıkaya, H. Z. Ozone treatment of textile effluents and dyes: effect of applied ozone dose, pH and dye concentration. Journal of Chemical Technology & Biotechnology: International Research in Process, Environmental & Clean Technology. 2002, 77(7), 842-850.
- [28] Sülkü, A. S. "Atıksulardan Boyar Maddelerin Adsorpsiyon Yöntemi İle Giderimi", Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, İstanbul, 2012, 136 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [29] Sertkaya, S. Balıkesir Kentsel Katı Atık Depolama Sahası Sızıntı Sularından Jet Loop Reaktör Kullanarak Amonyak Giderimi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir, 2015, 70 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [30] Can, O. T., Kobyas, M., Demirbas, E., Bayramoglu, M. Treatment of the textile wastewater by combined electrocoagulation. Chemosphere, 2006, 62(2), 181-187.

- [31] Aksu Z., Tunç, Ö. Application of biosorption for penicillin G removal: comparison with activated carbon. *Process Biochemistry*. 2005, 40(2), 831-847.
- [32] Hamutoğlu, R., Dinçsoy, A. B., Cansaran-Duman, D., Aras, S. Biyosorpsiyon, adsorpsiyon ve fitoremediasyon yöntemleri ve uygulamaları. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*. 2012, 69(4), 235-253.
- [33] Okmen, G., Bozanta, E., Aysel, U., Ceyhan, N. Zinc effect on chlorophyll a, total carbohydrate, total protein contents and biomass of cyanobacterial species. *Journal of Applied Biological Sciences*. 2011, 5(2), 67-73.
- [34] Deniz F., Karaman, Ş. *Pinus brutia* Ten. (kızılçam) kozalak ve yaprak biyomasının boya biyosorpsiyon/desorpsiyon potansiyeli. *KSÜ Doğa Bilimleri Dergisi*, 2014, 17(3), 19-25.
- [35] ÖDEN, M. K. An investigation of the use of mushrooms in the research on environmental pollution. *Mantar Dergisi*. 2019, 10(2), 167-174.
- [36] Demir Y., Uzun, A. Karadeniz bölgesi kültür mantarı (*Agaricus bisporus*) yetiştiriciliğinin mevcut durumu, sorunları ve üretim tesislerinin iyileştirilmesine yönelik öneriler. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 1998, 22(3), 273-280.
- [37] Worch, E. Adsorption technology in water treatment. *Processes, and Modeling*, 2012, 1(1), 1-332.
- [38] Kıvanç, B. Adsorpsiyon Ve İyon Değişimi Yöntemi İle Sulu Çözeltilerden Fosfat Gideriminin İncelenmesi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir, 2011, 126 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [39] Kayacan, S. Kömür Ve Koklarla Sulu Çözeltilerden Boyar Maddelerin Uzaklaştırılması, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Ankara, 2007, 74 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [40] Yurtsever, M. Değerli Ve Ağır Metallerin Adsorpsiyonu İçin Valeks Ve Kebrako Tanin Reçinelerinin Geliştirilmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, 2008, 250 s. (Doktora Tezi)
- [41] Karaman, İ. Soma Linyitinin Fiziksel Aktivasyonu Ve Aktiflenmiş Ürüne Boyarmadde Adsorpsiyonu, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, 2010, 122 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [42] Erim, Ü. C. 1, 8-Diaminonaftalen-Formaldehit Polimerinin Altın Adsorpsiyon Özelliklerinin İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Sakarya, 2012, 59 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [43] Tok, S. Doğal Zeolit (Klinoptilolit) İle Bakır Adsorpsiyonu, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2009, 62 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [44] Sünal, S. Gözenek Büyüklüğü Ve Suyun Yüzey Gerilimi Etkileşiminin, Bromun Gözenekli Ortamlarda Taşınmasına Etkisi, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ordu, 2011, 101 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [45] Ketizmen, S. Islak Hava Oksidasyonu Ve Adsorpsiyon Yöntemleri İle Selüloz Ağartma Atıksuyunun Arıtılabilirliğinin İncelenmesi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli, 2008, 62 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [46] Al-Ghouti M. A., Da'ana D. A. Guidelines for the use and interpretation of adsorption isotherm models: A review. *Journal of hazardous materials*. 2020, 393,122383.

- [47] Langmuir, I. The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum. *Journal of the American Chemical Society*. 1918, 40(9), 1361-1403.
- [48] Weber T. W., Chakravorti, R. K. "Pore and solid diffusion models for fixed-bed adsorbers. *Aiche Journal*. 1974, 20(2), 228-238.
- [49] Abak, H. Sulu Çözeltilerden Metilen Mavisinin Fındık Kabuğu Yüzeyine Adsorpsiyon Ve Adsorpsiyon Kinetiği, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Balıkesir, 2008, 81 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [50] Freundlich, H. M. F., Over the adsorption in solution. *The Journal of Physical Chemistry*. 1906, 57(385471), 1100-1107.
- [51] Korkmaz, M., Özmetin, C., Fil, B. A., Yaşar, Y. Determination of parameters affecting copper removal from solutions by clinoptilolite: adsorption isotherm and thermodynamic. *Iğdır Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2013, 3(1), 47-54.
- [52] Garcia-Reyes R. B., Rangel-Mendez, J. R. Adsorption kinetics of chromium (III) ions on agro-waste materials. *Bioresource technology*. 2010, 101(21), 8099-8108.
- [53] Gürses, A., Doğar, Ç., Yalçın, M., Açıkyıldız, M., Bayrak, R., Karaca, S. The adsorption kinetics of the cationic dye, methylene blue, onto clay. *Journal of Hazardous Materials*. 2006, 131(1-3), 217-228.
- [54] Erdoğan, F. O., Düşük maliyetli adsorbentler üzerine dispers sarı 211 tekstil boyasının adsorpsiyonu. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 2017, 17(3), 889-898.
- [55] Kutluay, S. Benzen uçucu organik bileşiğinin badem kabuğundan üretilen char üzerine gaz fazı adsorpsiyonu: kinetik, denge ve termodinamik. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2019, 8(4), 1432-1445.
- [56] Katar, Ş. Asidik Maden Drenajında İzole Edilen *Talaromyces Aculeatus* İle Bazı Boyarmaddelerin Biyosorpsiyonu, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Eskişehir, 2016, (Yüksek Lisans Tezi)
- [57] Bolat, M. Kitosan İle Immobilize Edilmiş Atık Biyokütle Üzerine Asit Kırmızı 1 (Ak1) Biyosorpsiyonu, Hitit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Çorum, 2015, 84 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [58] Gözükızı, M. F. Tekstil Endüstrisi Atıksularından Fenton Prosesi Ve Biyosorpsiyon Yöntemi İle Renk Giderimi Ve Örnek Tesis Modeli, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Ve İmalat Mühendisliği Anabilim Dalı, Bilecik, 2013, 78 s. (Yüksek Lisans Tezi).
- [59] Çankaya, M., Kafa, A. H. T., Cançelik, H. Ö. Direct black 22 azo boyasının *pleurotus ostreatus* ile biyogiderimi ve optimizasyonu. *Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi*. 2017 32(2), 216-222.
- [60] Wu, J., Zhang T., Chen, C., Feng, L., Su, X., Chen, Y., Xia, A., Wang, X. Spent substrate of *Ganoderma lucidum* as a new bio-adsorbent for adsorption of three typical dyes. *Bioresource Technology*, 2018, 266, 134-138.
- [61] Obaid A. J., Ahmed, L. One-step hydrothermal synthesis of  $\alpha$ - $\text{moo}_3$  nano-belts with ultrasonic assist for incorporating  $\text{tio}_2$  as a nanocomposite. *Egyptian Journal of Chemistry*, 2021, 64(10), 3-4.
- [62] Tomczak E., Tosik, P. Opis równowagi sorpcji barwników azowych Direct Orange 26 i Reactive Blue 81 na tanin sorbencie roślinnym. *Proceedings of ECOpole*. 2014, 8(2), 637-644.

- [63] Puziy, A. M., Poddubnaya, O. I., Martínez-Alonso, A., Suárez-García, F. Tascón, J. M. Surface chemistry of phosphorus-containing carbons of lignocellulosic origin. *Carbon*. 2005, 43(14), 2857-2868.
- [64] Güler, P., Çelemlı, Ö. G., Sorkun, K. *Agaricus bitorquis* (quel.) Saccardo'in misel gelişimi ve yetiştirilmesine propolisin etkileri. *Ecological Life Sciences*. 6(1), 1-13.
- [65] Chunlan, L., Shaoping, X., Yixiong, G., Shuqin, L, Changhou, L. Effect of pre-carbonization of petroleum cokes on chemical activation process with KOH. *Carbon*. 2005, 43(11), 2295-2301.
- [66] Meng, F., Yu, J., Tahmaswbi, A., Han, Y., Zhao, H., Lucas, J., Wall, T. "Characteristics of chars from low-temperature pyrolysis of lignite", *Energy & Fuels*, c. 28, sy 1, ss. 275-284, 2014.
- [67] Sarıcı-Özdemir, Ç., Çeşitli Polimerik Temelli Atıklardan Yüksek Yüzey Alanlı Aktif Karbon Eldesi, Karakterizasyonu ve Uygulama Alanları, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Malatya, 2008, 158. (Doktora Tezi)
- [68] Silverstien, R. M., Webster, I., Kiemle, D. G. *Spectrometric Identification of Organic Compounds 7 th edn*. John willy and sons Inc, Nj, USA, 2005.
- [69] Wang, S., Wang, Q., Hu, Y. M., Xu, S. N., He, Z. X., Ji, H. S. Study on the synergistic co-pyrolysis behaviors of mixed rice husk and two types of seaweed by a combined TG-FTIR technique. *Journal Of Analytical And Applied Pyrolysis*. 2015, 114, 109-118.
- [70] Tuğrul, Ö. Azo Boyar Maddelerin Yapısal Ve Bazı Spektroskopik Özelliklerinin Ab-Initio Yöntemi Ile İncelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 2018, 88 s. (Yüksel Lisans Tezi).
- [71] Atacı, E. Azo Grubu İçeren Ve Suda Çözünebilen Bazı Ftalosiyanınlerin Mikrodalga Yöntemiyle Sentezi Ve Karakterizasyonu Ve Spektroskopik Özelliklerinin İncelenmesi, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Rize, 2012, 103 s. (Yüksel Lisans Tezi).
- [72] Saroj, S., Kumar, K., Pareek, N., Prasad, R., Singh, R. P. Biodegradation of azo dyes Acid Red 183, Direct Blue 15 and Direct Red 75 by the isolate *Penicillium oxalicum* SAR-3. *Chemosphere*. 2014, 107, 240-248.
- [73] Auta M., Hameed, B. H. Modified mesoporous clay adsorbent for adsorption isotherm and kinetics of methylene blue. *Chemical Engineering Journal*. 2012, 198, 219-227.
- [74] Sarıkaya, A. G. Direct Blue 2 diazo-boyarmaddesinin sulu çözeltiden P (HEMA) nanopartiküller ile uzaklaştırılması. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 2019, 21(1), 278-294.
- [75] Yan, H. B., Hung, S-F., Liu, S., Yuan, K., Miao, S., Zhang, L., Huang, X., Wang, H-Y., Cai, W., Chen, R., Gao, J., Yang, X., Chen, W., Hunag, Y., Chen, H. M., Li, C. M., Zhang, T., Liu, B. Atomically dispersed Ni (I) as the active site for electrochemical CO<sub>2</sub> reduction. *Nature Energy*. 2018, 3(2), 140-147.
- [76] Baytar, O., Ceyhan, A. A., Şahin, Ö. İğde çekirdeğinden elde edilen aktif karbon kullanılarak sulu çözeltilerden pb (ii) adsorpsiyonun incelenmesi: izoterm ve kinetik. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2018, 7(2), 256-267.
- [77] Tosun, E., Boztepe, C., Baysar, A., Künkül, A. Asidik boyaların poli (akrilamid-vinilimidazol) hidrojel kullanılarak atık sulardan giderimi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 2019, 25(8), 914-921.

- [78] Çalışkan, M. Doğal Diatomit (Çaldıran-Van) Üzerine Basic Blue Ve Neutral Red Boyar Maddelerinin Adsorpsiyon ve Denge Çalışması, Ordu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı, Ordu, 2018, 94 s. (Yüksek Lisans Tezi)
- [79] Donat, R., Akdoğan, A., Erdem, E., Cetisli, H. Thermodynamics of Pb<sup>2+</sup> and Ni<sup>2+</sup> adsorption onto natural bentonite from aqueous solutions. *Journal Of Colloid and Interface Science*. 2005, 286(1), 43-52.
- [80] Yeddou N., Bensmaili, A. Equilibrium and kinetic modelling of iron adsorption by eggshells in a batch system: effect of temperature. *Desalination*. 2007, 206(1-3), 127-134.
- [81] Sarıkaya, A. G., ERDEN, E. Direct Blue 2 Tekstil Boyar Maddesinin *Agaricus campestris* Biyokütlesi Tarafından Biyosorpsiyonu: Kinetik, İzotermal ve Termodinamik Çalışmalar. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 2020, 13 (1), 258-273.
- [82] Pilatin, S., Kunduhoğlu B. *Phanerochaete chrysosporium* tarafından bazı reaktif tekstil boyalarının renk giderimi ve detoksifikasyonu. *Biyolojik Çeşitlilik ve Koruma*. 2008, 6(3), 26-34.
- [83] Öden, M. K., Alkan, S., Kaşık, G. Farklı mantar türleri kullanılarak sentetik atıksudan adsorpsiyon prosesi ile boya giderimi. *Mantar Dergisi*. 2019, 10(2), 151-158.
- [84] Nouri, H., Azin, E., Kamyabi, A., Moghimi, H. Biosorption performance and cell surface properties of a fungal-based sorbent in azo dye removal coupled with textile wastewater. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2021, 18(9), 2545-2558.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Junaid QURBASHI

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce, Arapça

### Eğitim Durumu

Lise : Abdul Rahman Al Ghafiqi Lisesi, 2011.

Lisans : Musul Üniversitesi, Kimya Bölümü, 2015.

Yüksek Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Kimya Bölümü, 2021.

### Mesleki Deneyim

Kerkük, Selam Alışveriş Merkezi Muhasebecisi 2015-2017

Manisa, Katıöz Boya Fabrika İşçisi 2017-2019

Yabancılar için Uzaktan Türkçe Eğitimliği 2019- 2021

Uzaktan Kimya Eğitimliği 2021- halen