

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ**

Fen Bilimleri Enstitüsü

Kimya Anabilim Dalı

**TİCARİ VE DOĞAL ADSORBANLAR KULLANILARAK
TEKSTİL BOYASI GİDERİMİNE YÜZEY AKTİF
MADDELERİN ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Muhammet Nuri ŞAHİN

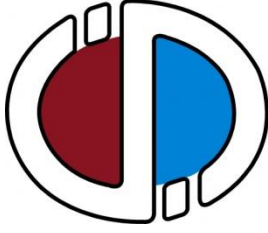
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Hülya SİLAH

BİLECİK, 2017

Ref. No:10137763



ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ**

Fen Bilimleri Enstitüsü

Kimya Anabilim Dalı

**TİCARİ VE DOĞAL ADSORBANLAR KULLANILARAK
TEKSTİL BOYASI GİDERİMİNE YÜZEY AKTİF
MADDELERİN ETKİSİNİN İNCELEMESİ**

Muhammet Nuri ŞAHİN

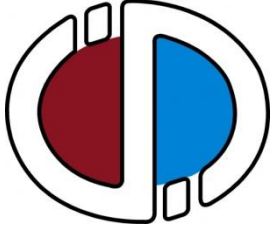
Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Hülya SİLAH

BİLECİK, 2017

“Bu çalışma, 2016-01.BŞEÜ.04-03 numaralı proje ile maddi olarak Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir.”



ANADOLU UNIVERSITY



**BILECIK SEYH EDEBALI
UNIVERSITY**

**Graduate School of Sciences
Department of Chemistry**

**INVESTIGATION OF EFFECT OF SURFACTANTS ON
REMOVAL OF TEXTILE DYE USING BY COMMERCIAL
AND NATURAL ADSORBENTS**

Muhammet Nuri ŞAHİN

Master's Thesis

Thesis Advisor

Assist. Prof. Hülya SİLAH

BILECIK, 2017



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**YÜKSEK LİSANS
JÜRİ ONAY FORMU**

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 04/01/2017 tarih ve 1/7 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 19/01/2017 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Muhammet Nuri ŞAHİN'in, "*Ticari ve Doğal Adsorbentler Kullanılarak Tekstil Boyası Giderimine Yüzey Aktif Maddelerin Etkisinin İncelenmesi*" başlıklı tez çalışması *Kimya* Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI):

Yrd. Doç. Dr. Hülya SİLAH

ÜYE:

Yrd. Doç. Dr. Murat BUNA

ÜYE:

Yrd. Doç. Dr. Halil BERBER

ONAY

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

İMZA/ MÜHÜR

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmalarım boyunca bilimsel ve manevi desteği ile yanımda olan ve tez çalışmamı büyük özveri ile yürüten değerli danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Hülya SİLAH'a teşekkürlerimi sunarım.

Bilgi ve tecrübeleri ile tez çalışmama büyük katkı sağlayan Yrd. Doç. Dr. Murat TUNA ve Yrd. Doç. Dr. Halil BERBER'e teşekkür ederim.

Bilgi ve tecrübeleri ile tez çalışmama büyük katkı sağlayan Doç. Dr. Ülküye DUDU GÜL'e teşekkür ederim.

Bu çalışmayı 2016-01.BŞEÜ.04-03 numaralı proje ile maddi olarak destekleyen Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

Hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen annem, babam ve kardeşlerime teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Bu tez çalışmasında, malachite green boyasının giderim kapasiteleri bir fungus olan *Trametes versicolor* ve ticari bir adsorbent olan aktif karbon kullanılarak kesikli adsorpsiyon prosesi ile incelenmiştir. Kesikli sorpsiyon çalışmaları 1 g/L adsorbent miktarı varlığında 20°C'de ve 100 rpm karıştırma hızında gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon denemelerinde başlangıç boya derişimi etkisi çalışılmış ve malachite green için 5-80 mg/L aralığı araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar her iki sorbent içinde boya başlangıç derişimi arttıkça biyosorpsiyon kapasitesinin arttığını göstermektedir. Bununla birlikte, katyonik yüzey aktif maddeler varlığında sorbentlerin giderim kapasiteleri azalırken anyonik yüzey aktif maddeler varlığında giderim kapasiteleri artmıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyosorpsiyon, Malachite green, İzoterm, Kinetik

ABSTRACT

In the thesis study, malachite green removal capacity of biosorbent fungi namely, *Trametes versicolor* and adsorbent namely active carbon was evaluated through batch adsorption assays. Batch sorption experiments were performed at 20°C, and 100 rpm taking biomass amount of 1 g/L. Adsorption trials were carried out as function of initial dye concentration within range of 5 to 80 mg/L for malachite green. Results revealed the biosorption capacity of both sorbents significantly increased as the initial concentration of dye was raised in the medium. Whereas, adsorption capacity of sorbents significantly decline in presence of cationic surfactants and removal percent of the biosorbents biomass demonstrated a significantly higher in the presence of anionic surfactans.

Key Words: Biosorption, Malachite green, Isotherm, Kinetic

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

JÜRİ ONAY FORMU

TEŞEKKÜR

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. GENEL BİLGİ.....	3
2.1. Boyalar.....	3
2.2. Atık Su Arıtma Yöntemleri.....	4
2.3. Biyosorpsiyon ve Adsorpsiyon.....	7
2.4. Biyosorbentler ve Adsorbentler	11
2.5. Yüzey aktif maddeler.....	13
2.6. Biyosorpsiyon Modelleri: İzoterm ve Kinetik Modelleri.....	16
2.7. Literatür Taraması.....	19
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	21
3.1. Malachite Green Çözeltisi.....	21

3.2. <i>Trametes versicolor</i> Fungal Biyokütellerinin Hazırlanması ve Aktif Karbon	21
3.3. Yüzey Aktif Madde Çözeltileri.....	22
3.4. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Cihazlar.....	23
3.5. Kullanılan Yöntem.....	23
4. DENEYSEL BULGULAR.....	25
4.1. Malachite green Giderimi Üzerine pH ve Temas Süresinin Etkisi.....	25
4.1.1. <i>Trametes versicolor</i> biyosorpsiyonu.....	25
4.1.2. Aktif karbon adsorpsiyonu.....	27
4.2. Malachite green Giderimi Üzerine Adsorbent Miktarının Etkisi.....	29
4.3. Malachite green Giderimi Üzerine Başlangıç Derişiminin Etkisi.....	30
4.3.1. <i>Trametes versicolor</i> biyosorpsiyonu.....	30
4.3.2. Aktif karbon adsorpsiyonu.....	32
4.4. İzoterm İncelemeleri.....	34
4.4.1. Malachite greenin <i>Trametes versicolor</i> kullanılarak biyosorpsiyonunda izoterm incelemeleri.....	34
4.4.2. Malachite greenin aktif karbon kullanılarak adsorpsiyonunda izoterm incelemeleri.....	38
4.5. Kinetik İncelemeleri.....	39
4.5.1. Malachite greenin <i>Trametes versicolor</i> ve aktif karbon kullanılarak adsorpsiyonunda kinetik incelemeleri.....	40
4.6. Yüzey Aktif Madde Etkisi.....	41
4.6.1. <i>Trametes versicolor</i> biyosorpsiyonu.....	41

4.6.2. Aktif karbon adsorpsiyonu.....	44
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	50
KAYNAKLAR.....	55
ÖZGEÇMİŞ.....	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 2.1: Biyosorpsiyon mekanizmasının tanımlanması için kullanılan teknikler.....	10
Çizelge 2.2: İzoterm modellerini açıklayan tek ve iki parametrelili eşitlikler.....	18
Çizelge 4.1: Malachite green boyasının <i>Trametes versicolor</i> yüzeyine biyosorpsiyonuna çözelti pH'nın yüzde giderim üzerine etkisi. ($C_{\text{Malachite green}}: 20 \text{ mg/L}$).....	25
Çizelge 4.2: Malachite green boyasının <i>Trametes versicolor</i> yüzeyine biyosorpsiyonuna çözelti pH'nın biyosorpsiyon kapasitesi (q_e) üzerine etkisi. ($C_{\text{Malachite green}}: 20 \text{ mg/L}$).....	25
Çizelge 4.3: Malachite green boyasının aktif karbon yüzeyine adsorpsiyonunda çözelti pH'nın yüzde giderim üzerine etkisi. ($C_{\text{Malachite green}}: 20 \text{ mg/L}$).....	27
Çizelge 4.4: Malachite green boyasının aktif karbon yüzeyine adsorpsiyonunda çözelti pH'nın biyosorpsiyon kapasitesi (q_e) üzerine etkisi. ($C_{\text{Malachite green}}: 20 \text{ mg/L}$).....	27
Çizelge 4.5: Malachite green boyasının yüzde giderimi üzerine aktif karbon ve <i>Trametes versicolor</i> miktarının etkisi. ($C_{\text{Malachite green}}: 20 \text{ mg/L}$).....	29
Çizelge 4.6: Malachite green boyasının <i>Trametes versicolor</i> yüzeyine biyosorpsiyonuna başlangıç boya derişiminin yüzde giderim üzerine etkisi. (pH: 10).....	31
Çizelge 4.7: Malachite green boyasının <i>Trametes versicolor</i> yüzeyine biyosorpsiyonuna başlangıç boya derişiminin biyosorpsiyon kapasitesi (q_e) üzerine etkisi.(pH: 10).....	31
Çizelge 4.8: Malachite green boyasının aktif karbon yüzeyine adsorpsiyonuna başlangıç boya derişiminin yüzde giderim üzerine etkisi. (pH:8).....	33
Çizelge 4.9: Malachite green boyasının aktif karbon yüzeyine adsorpsiyonuna başlangıç boya derişiminin biyosorpsiyon kapasitesi (q_e) üzerine etkisi. (pH:8).....	33

Çizelge 4.10:	<i>Trametes versicolor</i> ile Malachite greenin biyosorpsiyonu için elde edilen Langmuir izoterm sabitleri.....	35
Çizelge 4.11:	<i>Trametes versicolor</i> ile Malachite greenin biyosorpsiyonu için elde edilen Freundlich izoterm eşitliği ve sabitleri.....	36
Çizelge 4.12:	<i>Trametes versicolor</i> ile Malachite greenin biyosorpsiyonu için elde edilen Temkin izoterm eşitliği ve sabitleri.....	37
Çizelge 4.13:	Aktif karbon ile Malachite greenin adsorpsiyonu için elde edilen izoterm eşitlikleri ve sabitleri.....	38
Çizelge 4.14:	Malachite green sorpsiyonu için elde edilen R_L değerleri.....	39
Çizelge 4.15:	Malachite green sorpsiyonu için elde edilen kinetik verileri.....	40
Çizelge 4.16:	Farklı pH'larda Malachite green boyasının <i>Trametes versicolor</i> ile gideriminde DTAB'nin yüzde giderim üzerine etkisi. (C_0 : 20 mg/L, M_{DTAB} : 0,5 mM).....	42
Çizelge 4.17:	Farklı pH'larda Malachite green boyasının <i>Trametes versicolor</i> ile gideriminde DTAB'in biyosorpsiyon kapasitesi (q_e) üzerine etkisi. (C_0 : 20 mg/L, M_{DTAB} : 0,5 mM).....	42
Çizelge 4.18:	Farklı pH'larda Malachite green boyasının <i>Trametes versicolor</i> ile gideriminde HTAB'in yüzde giderim üzerine etkisi. (C_0 : 20 mg/L, M_{HTAB} : 0,5 mM).....	43
Çizelge 4.19:	Farklı pH'larda Malachite green boyasının <i>Trametes versicolor</i> ile gideriminde HTAB'in biyosorpsiyon kapasitesi (q_e) üzerine etkisi. (C_0 : 20 mg/L, M_{HTAB} : 0,5 mM).....	43
Çizelge 4.20:	Farklı pH'larda Malachite green boyasının <i>Trametes versicolor</i> ile gideriminde SLS'in yüzde giderim üzerine etkisi. (C_0 : 20 mg/L, M_{SLS} : 0,5 mM).....	44
Çizelge 4.21:	Farklı pH'larda Malachite green boyasının <i>Trametes versicolor</i> ile gideriminde SLS'in biyosorpsiyon kapasitesi (q_e) üzerine etkisi. (C_0 : 20 mg/L, M_{SLS} : 0,5 mM).....	44
Çizelge 4.22:	Farklı pH'larda Malachite green boyasının aktif karbon ile gideriminde DTAB'in yüzde giderim üzerine etkisi. (C_0 : 20 mg/L, M_{DTAB} : 0,5 mM)	44
Çizelge 4.23:	Farklı pH'larda Malachite green boyasının aktif karbon ile gideriminde DTAB'in adsorpsiyon kapasitesi (q_e) üzerine etkisi.	

	(C ₀ : 20 mg/L, M _{DTAB} : 0,5 mM).....	45
Çizelge 4.24:	Farklı pH'larda Malachite green boyasının aktif karbon ile gideriminde HTAB'in yüzde giderim üzerine etkisi. (C ₀ : 20 mg/L, M _{HTAB} : 0,5 mM).....	45
Çizelge 4.25:	Farklı pH'larda Malachite green boyasının aktif karbon ile gideriminde HTAB'in adsorpsiyon kapasitesi (q _e) üzerine etkisi. (C ₀ : 20 mg/L, M _{HTAB} : 0,5 mM).....	46
Çizelge 4.26:	Farklı pH'larda Malachite green boyasının aktif karbon ile gideriminde SLS'in yüzde giderim üzerine etkisi. (C ₀ : 20 mg/L, M _{SLS} : 0,5 mM).....	46
Çizelge 4.27:	Farklı pH'larda Malachite green boyasının aktif karbon ile gideriminde SLS'in adsorpsiyon kapasitesi (q _e) üzerine etkisi. (C ₀ : 20 mg/L, M _{SLS} : 0,5 mM).....	46
Çizelge 4.28:	20 mg/L'lik başlangıç derişiminde Malachite greenin aktif karbon ile adsorpsiyonu üzerine 0,5 mM yüzey aktif madde etkisi (T: 20°C; Karıştırma hızı: 100 rpm).....	47
Çizelge 4.29:	20 mg/L'lik başlangıç derişiminde Malachite greenin <i>Trametes versicolor</i> ile biyosorpsiyonu üzerine 0,5 mM yüzey aktif madde etkisi (T: 20°C; Karıştırma hızı: 100 rpm).....	48
Çizelge 4.30:	20 mg/L'lik başlangıç derişiminde Malachite greenin <i>Trametes versicolor</i> ve aktif karbon ile sorpsiyonu üzerine yüzey aktif madde derişiminin etkisi (T: 20 °C; Karıştırma hızı: 100 rpm).....	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 2.1: Çevresel kirleticiler.....	3
Şekil 2.2: Farklı kumaş türlerinin boyanmasında kullanılan temel boya grupları.....	4
Şekil 2.3: Tekstil atık sularında yer alan boyaların bozunması için kullanılan arıtma yöntemleri.....	5
Şekil 2.4: a) Hücre metabolizması ve b) Biyosorpsiyon bölgesine göre önerilen biyosorpsiyon mekanizması.....	9
Şekil 2.5: Doğal materyaller ve atıklardan elde edilen adsorbentler.....	12
Şekil 2.6: Biyosorbent etkinliğini arttırmak için uygulanabilecek modifikasyon yöntemleri. (Nguyen, vd., 2013).....	13
Şekil 2.7: Yüzey aktif maddelerin genel gösterimi.....	14
Şekil 2.8: Bazı anyonik yüzey aktif maddelerin yapıları.....	15
Şekil 3.1: Malachite greenin moleküler yapısı ve genel görünümü.....	21
Şekil 3.2: Sodyum lauril sülfat'ın kimyasal yapısı	22
Şekil 3.3: Dodesil trimetil amonyum bromürün kimyasal yapısı.....	22
Şekil 3.4: Heksadesil trimetil amonyum bromür	22
Şekil 4.1: Malachite green boyasının <i>Trametes versicolor</i> yüzeyine biyosorpsiyonunda çözelti pH'nın yüzde giderim üzerine etkisi.....	26
Şekil 4.2: Malachite green boyasının aktif karbon yüzeyine adsorpsiyonunda çözelti pH'nın yüzde giderim üzerine etkisi.....	27
Şekil 4.3: Malachite green boyasının yüzde giderimi üzerine aktif karbon ve <i>Trametes versicolor</i> miktarının etkisi	30
Şekil 4.4: Malachite green boyasının <i>Trametes versicolor</i> yüzeyine biyosorpsiyonuna başlangıç boya derişiminin yüzde giderim üzerine etkisi.....	32

Şekil 4.5:	Malachite green boyasının aktif karbon yüzeyine adsorpsiyonuna başlangıç boya derişiminin yüzde giderim üzerine etkisi.....	34
Şekil 4.6:	<i>Trametes versicolor</i> ile Malachite greenin biyosorpsiyonu için elde edilen Langmuir izoterm eşitliği ve grafiği.....	35
Şekil 4.7:	<i>Trametes versicolor</i> ile Malachite green biyosorpsiyonu için elde edilen Freundlich izoterm eşitliği ve grafiği	36
Şekil 4.8:	<i>Trametes versicolor</i> ile Malachite greenin biyosorpsiyonu için elde edilen Temkin izoterm eşitliği ve grafiği.....	37
Şekil 4.9:	20 mg/L'lik başlangıç derişiminde Malachite greenin aktif karbon ile adsorpsiyonu üzerine 0,5 mM yüzey aktif madde etkisi (T: 20 °C; Karıştırma hızı: 100 rpm).....	47
Şekil 4.10:	20 mg/L'lik başlangıç derişiminde Malachite greenin aktif karbon ile adsorpsiyonu üzerine 0,5 mM yüzey aktif madde etkisi (T: 20 °C; Karıştırma hızı: 100 rpm).....	48

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
A_T	Temkin izoterm denge bağlanma sabiti
b_T	Temkin izoterm sabiti
C	Adsorbent ile adsorbat arasında oluşan tabakanın kalınlığı hakkında bilgi veren sabit
$^{\circ}C$	Santigrad derece
C_{ads}	Adsorplanan maddenin denge derişimi
C_0	Başlangıç boya derişimi
C_e	Adsorpsiyon sonrası çözeltide kalan madde derişimi
% G	% Giderim
ΔG	Serbest enerji değişimi (Gibbs serbest enerjisi)
g	Gram
q_e	Dengede adsorbentin birim kütlesi başına adsorplanan madde miktarı
q_m	Adsorpsiyon kapasitesi
q_t	t zamanında adsorbentin gramı başına adsorplanan madde miktarı
ΔH	Entalpi değişimi
K_c	Adsorpsiyon denge sabiti
K_F	Freundlich izoterm sabiti
K_L	Langmuir izoterm sabiti
k_i	Partikül içi difüzyon hız sabiti
k_1	Hız sabiti
k_2	Hız sabiti
L	Litre
m	Adsorbent miktarı
mg	Miligram
n	Adsorpsiyon şiddeti
nm	Nanometre
ppb	Toplam madde miktarının milyarda biri
ppm	Toplam madde miktarının milyonda biri
R	İdeal gaz sabiti (8,314 J/molK)

R_L	Ayırma faktörü
t	Zaman
T	Mutlak sıcaklık
ΔS	Entropi değişimi
V	Çözelti hacmi

Kısaltmalar	Açıklama
DTAB	Dodesil trimetil amonyum bromür
FTIR	Fourier Dönüşümlü İnfrared Spektroskopisi
HTAB	Hekzadesiltrimetil amonyum bromür
PDA	Patates dekstroz agar
SLS	Sodyum lauril sülfat

1. GİRİŞ

Katı atıklar ve atık kaynak yönetimi gibi sorunların yanında tekstil endüstrisinin büyümesi açısından en önemli sorunlardan biri atık su oluşumudur. Tekstil endüstrisinde birçok sentetik boyar madde kullanılır ve bazı boyaların kumaşlar tarafından alımı zayıf olduğu için yüksek miktarda oldukça renklenmiş atık su oluşmaktadır. Son derece renkli tekstil atık suları bitkilerdeki fotosentez işlevini ciddi bir şekilde etkiler. Bu durumun ayrıca oksijen tüketimi ve düşük ışık geçirimine neden olmasından dolayı sucul yaşam üzerine de olumsuz etkileri mevcuttur. Ayrıca bazı sentetik boyaların yapısında bulunan metal ve klor bileşenleri deniz yaşam formları için öldürücü olabilir. Bu nedenle tekstil atık sularının deşarj edilmeden önce mutlaka arıtılması gerekmektedir (Holkar, vd., 2016).

Sanayileşme, herhangi bir ülkenin gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır. Özellikle Hindistan ve Türkiye gibi birçok ülkede tekstil endüstrisi hızla gelişen önemli bir sanayi koludur. Tekstil endüstrisi pamuk, yün ve sentetik lifler gibi farklı hammadde kaynakları kullanmaktadır. Tekstil endüstrisi ıslak ve kuru kumaş endüstrisi olarak iki gruba ayrılabilir. Katı atıklar genellikle kuru kumaş endüstrisi sonucu oluşurken, sıvı atıklar yaş kumaş endüstrisi işlemleri sonucu oluşur (Holkar, vd., 2016).

Günümüzde, aromatik ve heterosiklik boyalar tekstil endüstrisinde kullanılmaktadır. Boyaların karmaşık ve kararlı yapısı sadece atık sularda değil buldukları diğer çevresel ortamlarda da bozunmaya karşı dirençli olmalarına neden olur. Boyaların ve organik bileşiklerin mineralizasyonu nedeni ile tekstil endüstrisi ve boya imalat sanayisinin oluşturduğu atık su toksisitesi ekolojik açıdan temel sorunlardan biridir. Bu nedenle tekstil atık suyu arıtımının anlaşılması ve bu konuda gerçekçi çözümlerin üretilmesi ekolojik olarak önemlidir (Holkar, vd., 2016).

Malachite green; ipek, deri, ahşap, pamuk, kağıt ve akrilik endüstrilerinde boya olarak kullanılmasının yanı sıra, su ürünleri yetiştiriciliğinde balıkların mantar ve protozoaların enfeksiyonlarından korunması amacıyla dünya genelinde biyosit olarak da yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu boya gıda zincirine girebilmekte ve insanlar üzerine karsinogenik ve mutajenik etkiler gösterebilmektedir. Malachite greenin bozunma ürünlerinin sahip olduğu karsinogenik özelliklerden dolayı bu tür boyaları

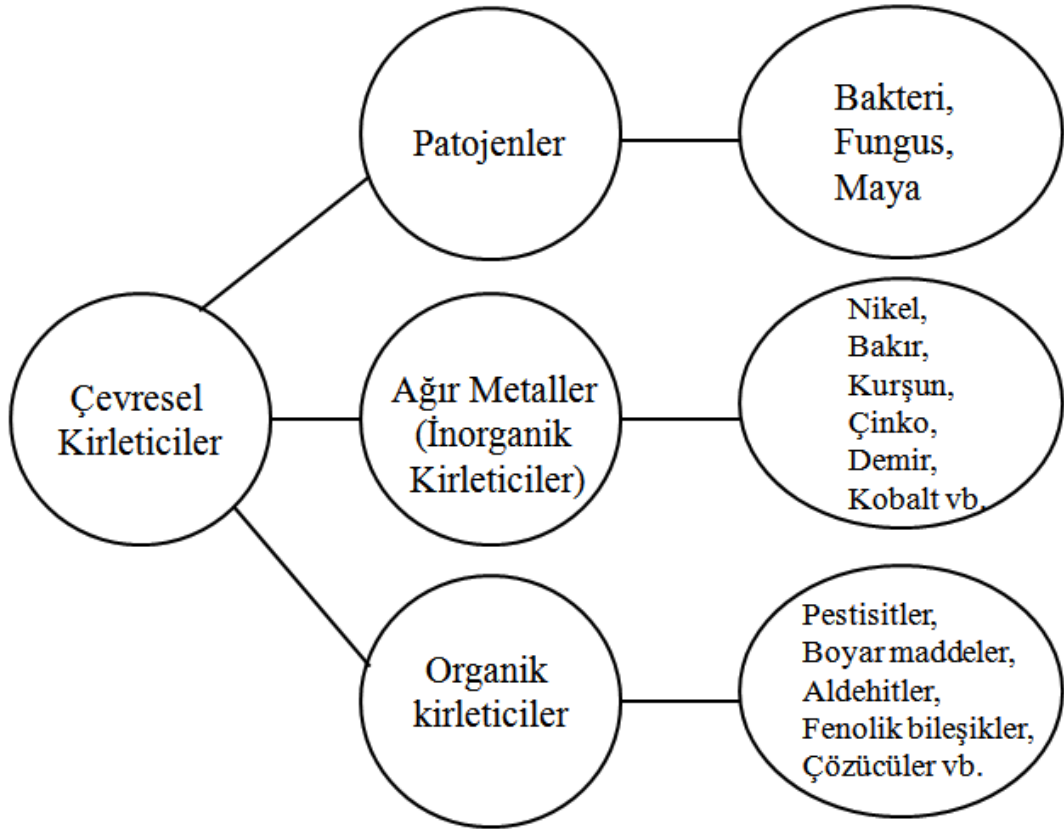
içeren atıkların deşarjından önce mutlaka uzaklaştırılması ve giderilmesi gerekmektedir (Asfaram, vd., 2016).

Bu tez çalışmasında Malachite green boyasının sulu çözeltilerden uzaklaştırılması amacıyla ticari adsorbent olarak aktif karbon ve doğal biyosorbent olarak *Trametes versicolor* fungusu kullanılmıştır. Tez çalışmaları kapsamında ortam pH'sının, başlangıç boya derişiminin, adsorbent/biyosorbent miktarının ve temas süresinin adsorpsiyon/biyosorpsiyon sürecine etkisi araştırılmıştır. Yüzey aktif maddeler olarak bilinen sürfaktanlar yüzey gerilimini düşüren bileşiklerdir. Yüzey aktif maddeler madencilik ve petrol endüstrisinde ham maddelerin saflaştırılma proseslerinde, kozmetik, ilaç, gıda endüstrisinde kimyasal proseslerde ve tekstil endüstrisinde boyama proseslerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu nedenle boyama atıkları hem yüzey aktif maddeleri hem de boyaları içermektedir. Yüzey aktif maddelerin tek başına boya giderimini gerçekleştirdiği literatürdeki çalışmalarda gösterilmiştir. Her iki yöntemde de katyonik ve anyonik yüzey aktif maddelerin boya giderimine etkisi araştırılmış ve aynı zamanda ticari adsorbanlar ile doğal adsorbanların adsorpsiyon kapasiteleri kıyaslanmıştır. Literatürde bu çalışmalar hakkında yeterince veri bulunmaması nedeniyle tez çalışmasının bulguları önemli bir bilgi kaynağı olacaktır.

2. GENEL BİLGİ

2.1. Boyalar

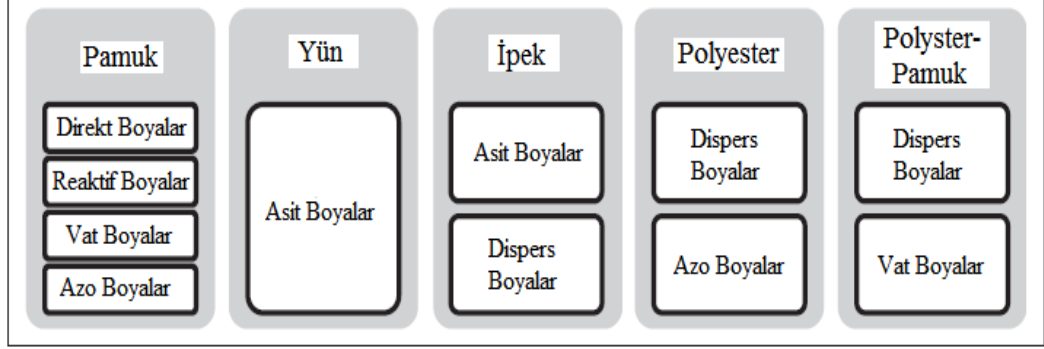
Temiz su tüm canlı organizmalar için en önemli yaşamsal unsurlardan biridir. Bununla birlikte, sanayileşmenin hızlanması ve nüfustaki muazzam artış dünya genelinde su kaynaklarının kirlenmesine neden olmaktadır. Diğer ihtiyaçların yanı sıra, temiz suyun önemli bir kısmını tüketen tarım, endüstri ve evsel alanlarda (sırası ile yaklaşık %70, %22 ve %8) suya olan ihtiyaç gün geçtikçe artmakta ve çeşitli kirleticileri içeren büyük miktarda atık su oluşmasına neden olmaktadır (Selvanathan, vd., 2015). Sucul kirleticiler arasında ağır metal iyonları ve boyalar önemli bir grubu oluşturmaktadır (Santhosh, vd., 2016). Önemli çevresel kirleticilerden bazıları Şekil 2.1'de verilmektedir (Zaib, vd., 2015).



Şekil 2.1. Çevresel kirleticiler.

Boyama işlemi renk vermek amacı ile kumaş veya ipliğin işlenmesidir. Boya molekülünde yer alan azo, karbonil, nitro, kinoid grupları ve amin, karboksil, sülfonat

ve hidroksil gibi oksokrom grupları renkten sorumludur. Azo ve antrakinon grupları en önemli gruplardır. Bu kromofor gruplar tekstil atık sularının istenmeyen bir şekilde renklenmesine neden olurlar. Şekil 2.2 farklı kumaş türlerinin boyanmasında kullanılan boyaların ana sınıflarını göstermektedir (Holkar, vd., 2016).



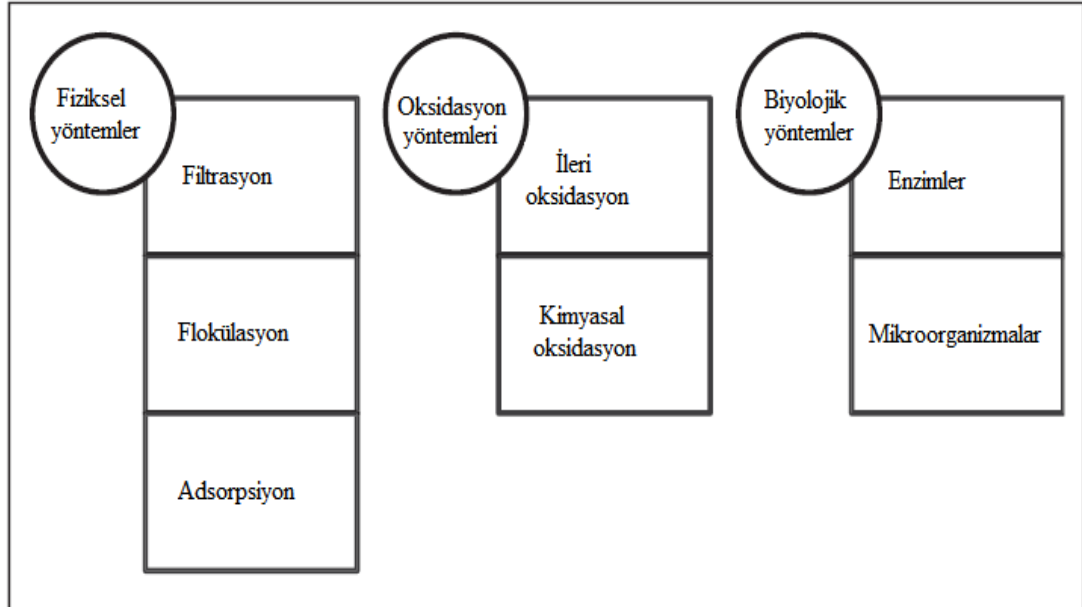
Şekil 2.2. Farklı kumaş türlerinin boyanmasında kullanılan temel boya grupları.

Tekstil atık suları yüksek BOİ/KOİ değerleri, yüksek tuz yükü (toplam çözünmüş katı miktarı) ve yoğun bir renge sahiptir. Özellikle pamuk boyama sanayi faaliyetleri sonucu oluşan tekstil atık suları biyolojik prosesler ile arıtmaya uygun olmayan reaktif boyaları içermesinden dolayı son derece kirlidir. Renkli sular suda yaşayan organizmaların gelişmesi için gerekli olan ışığın geçişine engel olur. İçme suyu kaynağı amacı ile kullanılan su kaynaklarındaki arıtma maliyetlerini azaltmak için bu su kaynaklarının herhangi bir renklilik ve toksik bileşik içermemesi gerekir. Bu nedenle tekstil atık suları deşarjından önce mutlaka fiziksel, kimyasal, biyokimyasal veya hibrit arıtma proseslerini içeren çeşitli arıtma prosesleri ile arıtılmalıdır (Holkar, vd., 2016).

2.2. Atık Su Arıtma Yöntemleri

Son elli yıldan bu yana atık su arıtımı konusunda çeşitli teknikler geliştirilmiştir. Bu yöntemler arasında en önemlileri çözücü ekstraksiyonu, mikro ve ultrafiltrasyon, sedimentasyon, flotasyon, çöktürme, koagülasyon, oksidasyon, evaporasyon, distilasyon, ters osmoz, adsorpsiyon, iyon değişimi, elektrodializ ve elektrolizdir. Yukarıda bahsedilen teknikler arasında adsorpsiyon kolay uygulanabilmesi, çok farklı malzemelerin adsorbent olarak kullanılabilmesi ve ucuz olmasından dolayı dikkat çeken yöntemlerden biridir. Ayrıca, adsorpsiyon çözünür veya çözünmez organik, inorganik

ve biyolojik kirleticilerin giderilmesinde kullanılabilir. Bunlara ek olarak, adsorpsiyon içme ve endüstri sularının ıslahı amacı ile de uygulanabilmektedir. Bu gerçeklere rağmen, adsorpsiyon ticari düzeylerde iyi bir statüye ulaşamaması gibi belirli sınırlamalara sahiptir. Muhtemelen bu durum, yüksek adsorpsiyon kapasitesine ve uygun üretim maliyetine sahip adsorbentlerin elde edilememesinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte, tek bir adsorbent tüm kirleticilerin uzaklaştırılmasında etkili değildir. Farklı adsorbentler özelliklerine bağlı olarak farklı türlerdeki kirleticilerin gideriminde kullanılabilir. Diğer arıtım yöntemleri ile adsorpsiyon tekniği kıyaslandığında maliyet etkinliği açısından aşağıdaki şekilde bir sıralama görülebilir; adsorpsiyon>evaporasyon>aerobik>aneorobik>iyon değişimi>elektrodiyaliz>mikro ve ultra filtrasyon>ters osmoz>çöktürme>distilasyon>oksidasyon>çözücü ekstraksiyonu. Görüldüğü gibi bazı kısıtlamalara rağmen, adsorpsiyon yakın gelecekte daha iyi bir atık su giderim teknolojisi olarak kullanılabilir. Bu konuda yapılan çalışmaların çoğu sulu ortamdan farklı kirleticilerin uzaklaştırılmasında kesikli adsorpsiyon süreci üzerine yoğunlaşmaktadır (Santhos, vd., 2016). Şekil 2.3'de tekstil atık sularında yer alan boyaların bozunması için kullanılan arıtma yöntemleri verilmektedir (Holkar, vd., 2016).



Şekil 2.3. Tekstil atık sularında yer alan boyaların bozunması için kullanılan arıtma yöntemleri.

Fiziksel Yöntemler

Koagülasyon ve flokülasyona dayalı fiziksel yöntemler özellikle dispers boyaları içeren atık suların renksizleştirilmesinde kullanışlıdır. Reaktif ve vat boyalara sahip atık sularda ise renk giderim etkinlikleri düşüktür. Bu tekniğin kullanımı düşük renk giderme verimi ve proses sonucu büyük miktarda atık çamur oluşmasından dolayı sınırlıdır. Adsorpsiyon yaklaşımları çeşitli boyaları içeren atık suların etkin bir şekilde giderilmesini sağladığı için son yıllarda dikkat çekmektedir. Renk giderimi amacıyla adsorbent seçimi sırasında istenilen temel özellikler yüksek afiniteye ve boya için uygun yapıya sahip olması, bunun yanı sıra adsorpsiyon işleminde kullanılan adsorbentin tekrar rejenere edilebilmesidir. Günümüzde kullanılan adsorbentler arasında aktif karbon özellikle boya giderimi konusunda en etkin adsorbentlerden biridir. Ancak yüksek maliyeti ve rejenerasyonundaki zorluklar aktif karbonun renk giderim işlemlerinde kullanımını sınırlandırmaktadır. Ekonomik açıdan uygulanabilir bir adsorpsiyon yöntemi için bazı araştırmacılar turba, bentonit, kil, uçucu kül ve polimerik reçineler gibi malzemeleri düşük maliyetli adsorbentler olarak kullanmaktadırlar. Bazı araştırmacılar ise buğday atıkları, zencefil kabukları, yer fıstığı kabuklarından elde edilen karbonu ve patates kabukları gibi birçok biyotik kaynağı tekstil atık sularının renksizleştirilmesi amacıyla denemektedirler (Holkar, vd., 2016).

Oksidasyon Yöntemleri

Oksidasyon yöntemleri uygulanmalarının kolay olması nedeni ile kimyasal yollar ile boyaların bozunmasında genellikle en sık kullanılan yöntemlerdir. Bu prosesler; ileri oksidasyon yöntemi ve kimyasal oksidasyon olmak üzere sınıflandırılabilir. Oksidasyon ile uygun koşullar altında boyalar, pestisitler ve diğer organik bileşikler tamamen veya kısmen parçalanır. Bu yöntemler bir arada kullanılabilirdiği gibi ayrı ayrı da kullanılabilir ve bir arada uygulandıklarında hibrit ileri oksidasyon prosesleri adını alırlar. İleri oksidasyon prosesi yeterli miktarda hidroksil radikallerinin üretildiği proseslerdir. Bu hidroksil radikalleri güçlü birer oksitleyici ajandır. Bu oksitleyici ajanlar 2,33 V civarında bir oksidasyon potansiyeline sahiptirler ve hidrojen peroksit veya potasyum permanganat gibi geleneksel yükseltgenler ile kıyaslandıklarında oksidasyon tepkimeleri çok daha hızlı gerçekleşir (Holkar, vd., 2016).

Kimyasal yükseltgenme yöntemleri Ozon (O_3) ve H_2O_2 gibi yükseltgeyici ajanları kullanır. Ozon ve H_2O_2 yüksek pH değerlerinde güçlü seçici olmayan hidroksil radikallerini oluştururlar. Bu radikaller sahip oldukları yüksek yükseltgenme potansiyellerinden dolayı boyalarda bulunan karmaşık aromatik halkalar gibi fonksiyonel grupların yanı sıra boya molekülünde yer alan kromoforlardaki konjuge çift bağları da parçalarlar. Ozonlama işleminin önemli bir yararı ozonun gaz halinde kullanılabilmesinden dolayı atık su hacmini arttırmaması ve çamur oluşumuna neden olmamasıdır. Bununla birlikte, ozon kullanmanın en önemli dezavantajı atık suda bulunan biyolojik olarak parçalanabilir boyaların toksik yan ürünler oluşturabilmesidir. Ozon kararlılığı aynı zamanda atık suda bulunan tuzların varlığından, suyun pH değerinden ve sıcaklığından etkilenir. Ozonun bozunması 8,5'in üzerindeki bazı pH şartlarında daha hızlıdır. Bu nedenle, tekstil atık su pH'nın sürekli olarak izlenmesi gerekir. Daha yüksek derişimde hidroksil radikali oluşmasından dolayı boyanın parçalanması aynı zamanda UV ışığı ve hidrojen peroksitin birlikte kullanılması ile de gerçekleştirilebilir. UV ışığı ve hidrojen peroksitin birlikte kullanıldığı bu yöntem çamur oluşturmaması ve kötü kokuların azaltılması açısından boya içeren tekstil atıklarının renksizleştirilmesinde avantajlıdır. Burada, UV ışığı hidrojen peroksitin parçalanarak hidroksil radikalleri vermesini aktive etmek için kullanılır. Bu hidroksil radikalleri boya veya diğer organik bileşiklerin kimyasal oksidasyonuna neden olarak CO_2 ve H_2O 'ya kadar parçalanmalarına neden olur. Daha yüksek bir oranda boya giderimi elde etmek için UV ışınının şiddeti, pH, boya molekülünün yapısı ve boya banyosu bileşimi gibi parametrelerin bilinmesine ve optimize edilmesine ihtiyaç vardır. Böylece serbest radikaller hidrojen peroksit ile ozonun birlikte kullanımı ile de üretilebilir. Bu hibrit yöntemler tek başına herhangi bir yöntem ile kıyaslandığında daha kısa sürede arıtma sağlarlar ancak daha yüksek enerji maliyeti getirirler (Holkar, vd., 2016).

2.3. Biyosorpsiyon ve Adsorpsiyon

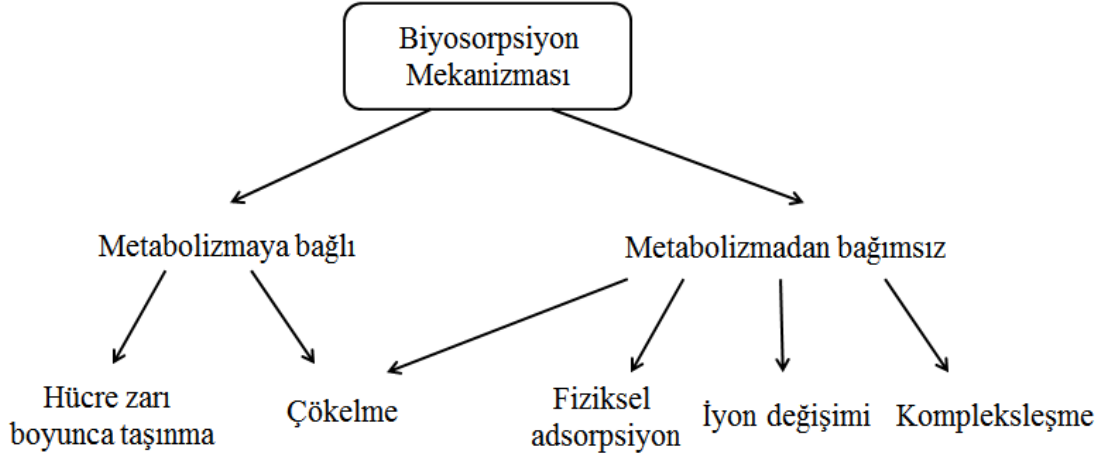
Sorpsiyon çevrede bulunan kimyasal kirliliklerin uzaklaştırılması gibi bir çok endüstriyel uygulamada çok önemli bir rol oynayan ve katı-sıvı ara yüzeyinde gerçekleşen karmaşık bir prosestir. Endüstride, katı sorbentlerin kullanıldığı sorpsiyon yöntemleri özellikle geleneksel atık su arıtma tesislerinde zor bir şekilde yok edilen

kimyasal kirliliklerin sulardan uzaklaştırılması amacıyla yaygın bir şekilde uygulanır (Janos ve Smidova, 2005).

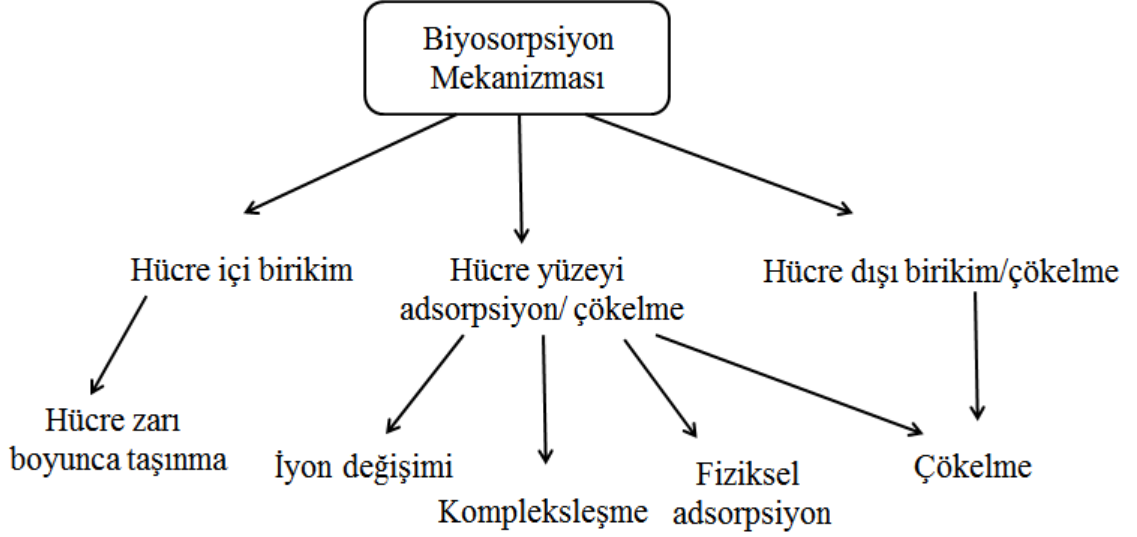
Özellikle bakteri, alg, maya ve mantar gibi farklı biyolojik türler yüksek performansları, düşük maliyetli olmaları ve büyük miktarda elde edilebilmeleri nedeni ile metal, organik ve inorganik kirliliklerin giderimi ve geri kazanımı açısından gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Bu tür biyosorbentler iyon değiştirici reçinelerin aksine, karboksil, imidazol, sülfidril, amino, fosfat, sülfat, tiyoeter, fenol, karbonil, amid ve hidroksil gibi birçok fonksiyonel grup içerirler. Biyosorbentler sulu ortamlardan kirliliklerin uzaklaştırılmasında kullanılabilecek ucuz sorbentlerdir. Biyosorbentlerin fiziksel ve kimyasal işlemler ile muamelelerinin ve modifikasyonlarının biyosorpsiyon kapasitesini arttırdığı bilinmektedir. Moleküler biyoteknoloji moleküler düzeyde biyosorpsiyon mekanizmasını aydınlatmak, çeşitli kirleticilere karşı biyosorbentün seçiciliğini ve biyosorpsiyon kapasitesini arttırmak için kullanılabilecek güçlü bir araçtır (Wang ve Chen, 2009).

Biyosorpsiyon; biyolojik malzemeler ile metal veya metalloid türlerinin, bileşiklerin ve partiküllerin uzaklaştırılması olarak tanımlanabilir. Yada biyolojik malzemeler ile sulu çözülden istenen maddelerin uzaklaştırılması/bağlanması olarak da tanımlanabilir. Bu türler çözünen veya çözünmeyen formlarda metal, organik veya inorganik maddeler olabilir. Polisakkaritler gibi hücresel ürünler kadar hem canlı hem de cansız biyokütleler biyosorpsiyon amaçlı olarak kullanılabilir (Wang ve Chen, 2009). Büyük miktardaki kirlilikler Şekil 2.4'de verilen metabolizmaya bağımlı veya metabolizmadan bağımsız olan bir proses ile biyosorbent tarafından tutulur (Veglio ve Beolchini, 2009).

a)



b)



Şekil 2.4. a) Hücre metabolizması ve b) Biyosorpsiyon bölgesine göre önerilen biyosorpsiyon mekanizması.

Biyosorpsiyon mekanizmasının aydınlatılması için bir takım analitik teknikler kullanılabilmektedir ve bu teknikler Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Biyosorpsiyon mekanizmasının tanımlanması için kullanılan teknikler.

Teknik	Özellik
<i>Titrasyon</i>	Biyosorbentin katyon değiştirme kapasitesinin tanımlanması
	Katyon değiştirme özelliğine sahip fonksiyonel grupların belirlenmesi
	Biyokütlenin yüzeyinde bulunan fonksiyonel grupların miktarının belirlenmesi
<i>FTIR</i>	Biyosorbentin yüzeyinde yer alan fonksiyonel grupların tanımlanması
	Doğal ve adsorbat bağlı biyokütlelerin FTIR spektrumlarının kıyaslanması (dalga sayısındaki değişim) ile biyosorpsiyon prosesinde rol alan grupların belirlenmesi
X-ışını Fotoelektron Spektroskopisi (<i>XPS</i>)	Malzemenin yüzey kimyasının analizi
	Seçilmiş element içeriğinin kalitatif ve kantitatif tayini
Taramalı Elektron Spektroskopisi-Enerji Dağılımlı X Işını Spektroskopisi (<i>SEM-EDX</i>)	Biyosorpsiyon prosesinden önce ve sonra biyosorbent yüzeyindeki makro ve ultra yapısal değişikliklerin görselleştirilmesi
	Biyokütlenin yüzeyindeki elementlerin haritalanması

Titrasyon:

Biyosorbent yüzeyindeki asidik veya bazik özellikteki veya iyon değiştirme kapasitesine sahip fonksiyonel gruplar titrasyon yöntemi ile kolaylıkla tayin edilebilir. Bu yüzey grupları Boehm yöntemi veya potansiyometrik titrasyon ile tanımlanabilir. Boehm yönteminde, belirli miktarda biyosorbent üzerine farklı bazlar (0,1 M NaOH, 0,1 M NaHCO₃ veya 0,05 M Na₂CO₃) eklenir. 24 saatlik süre sonunda biyosorbent süzülür

ve süzüntü 0,05 M H₂SO₄ ile titre edilir. Bu işlem 0,1 M'lık HCl asit çözeltisi ile de yapılabilir. Potansiyometrik titrasyon ile hücre duvarı yüzeyinde bulunan fonksiyonel gruplar ve biyokütle içerisindeki toplam miktarları tayin edilebilir (Michalak, vd., 2013).

Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi:

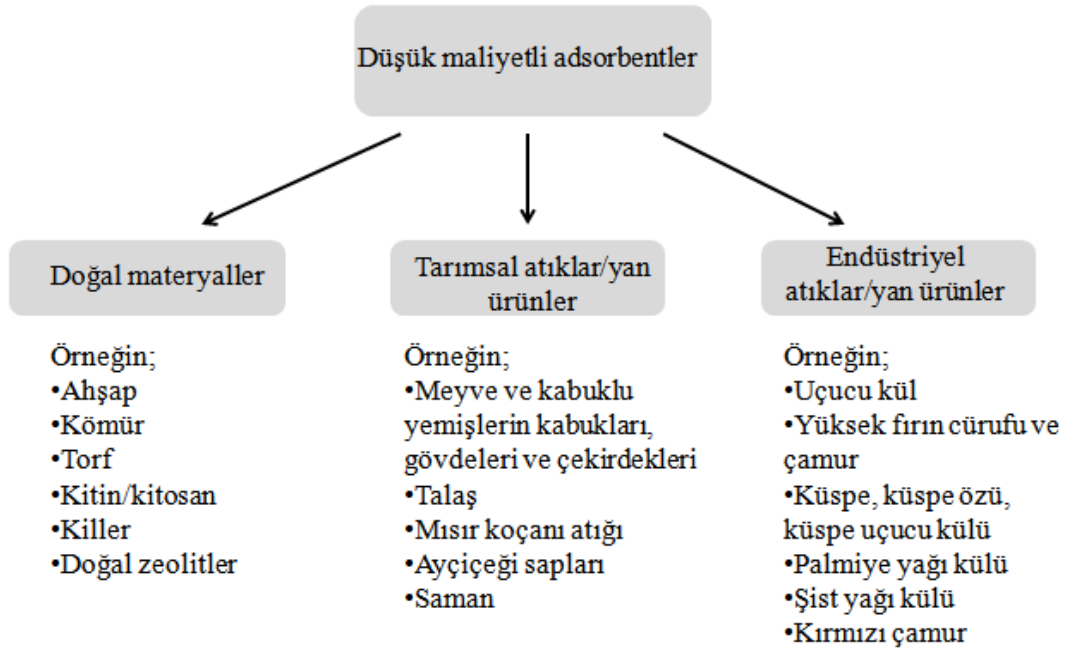
Biyosorpsiyon mekanizmalarını aydınlatmak amacı ile biyosorpsiyon prosesinde yer alan fonksiyonel grupların tanımlanması önemlidir. FTIR spektroskopisi hücre duvarı yüzeyindeki farklı fonksiyonel grupların tanımlanmasına izin verir ve bağların yapısı hakkında önemli bilgiler sunar. Doğal ve sorbat bağlı biyokütle spektrumlarındaki bantların dalga sayısındaki kayma derecesi bağlanan tür ile biyosorbent yüzeyindeki fonksiyonel grubun etkileşim derecesinin bir göstergesidir. Biyosorbentlerin FTIR spektrumunda gözlenen gerilme frekansları genellikle; 3280 cm⁻¹ -OH, -NH, 2920 cm⁻¹ asimetrik alifatik zincir, 2854 cm⁻¹ simetrik alifatik zincir (-CH), 1740 cm⁻¹ COOH fonksiyonel grubundaki C=O, 1630 cm⁻¹ asimetrik C=O, 1530 cm⁻¹ amid, 1450 cm⁻¹ simetrik C=O, 1371 cm⁻¹ asimetrik -SO₃, 1237 cm⁻¹ COOH fonksiyonel grubundaki C-O, 1160 cm⁻¹ simetrik -SO₃, 1117 cm⁻¹ C-O (eter), 1033 cm⁻¹ C-O (alkol) ve 817 cm⁻¹ S=O gruplarına ait gerilme bantlarıdır (Michalak, vd., 2013).

2.4. Biyosorbentler ve Adsorbentler

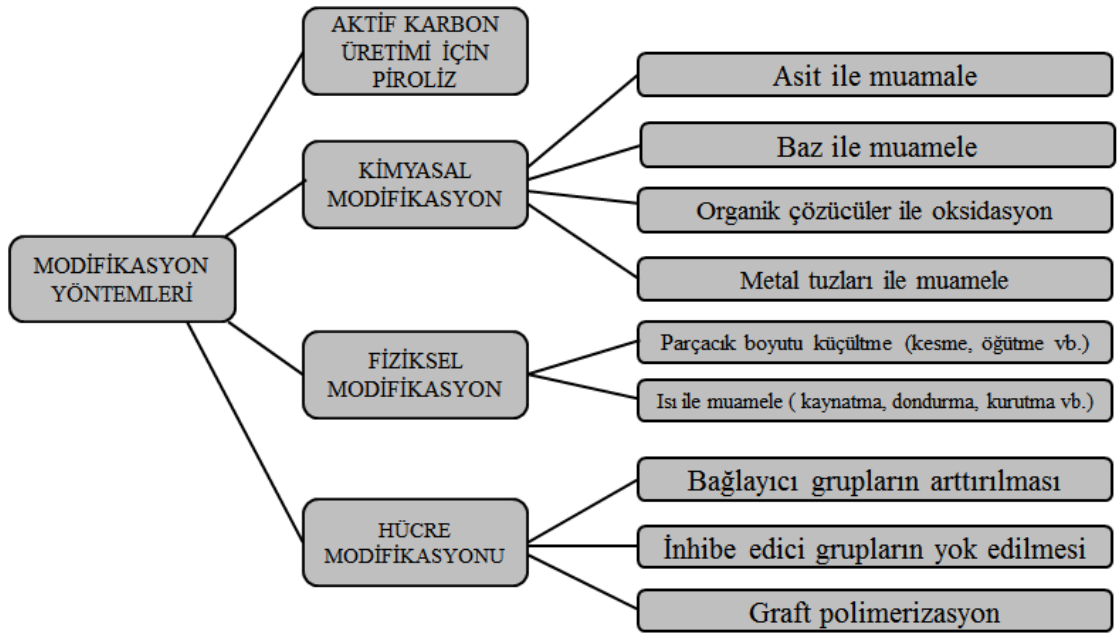
Sucul çevrede bulunan renkli kirlleticiler su florasını ve faunasını olumsuz açıdan etkiler. Ayrıca bu boyaların bazılarının bozularak karsinojenik ve toksik bileşikler açığa çıkardığı bilinmektedir. Kompleks polimerik yapıları, kolay bozunmamaları, ışığa ve yükseltgeyici reaktiflere karşı kararlı olmaları nedeni ile boyalar renkli kirlilikleri oluşturan en önemli kaynaklardır. Bu nedenle bu kirliliklerin uzaklaştırılması için uygun giderim yöntemlerinin geliştirilmesi ve seçilmesi günümüzde oldukça önemlidir. Biyobozunma, kimyasal oksidasyon, koagülasyon, elektrokimyasal işlemler, ozonlama, ultrasonikasyon ve membran filtrasyon teknolojilerini içeren çeşitli teknikler renkli atıkların giderimi amacı ile kullanılmaktadır. Mevcut yöntemler arasında adsorpsiyon; kolay kullanımı, yüksek etkinliği, uygun maliyeti, düşük miktarda atık oluşturması ve tekrar kullanılabilirliği açısından en umut verici yöntemlerden biri olarak kabul edilmektedir. Zeolit, hidrotalsit kil, polimer, nanokompozitler ve protein nano fiberleri

içeren malzemelerin boyaların giderimi açısından uygun adsorbentler olduğu literatürde gösterilmektedir. Aktif karbon en çok araştırılan adsorbentlerden biridir ancak yüksek maliyeti bilim insanlarını daha düşük maliyetli adsorbentlerin geliştirilmesi ve araştırılmasına yöneltmiştir (Yusoff, vd., 2014).

Başlangıçta sulu ortamlardan bu tür kirleticilerin uzaklaştırılması için aktif karbon kullanılmıştır ancak ilerleyen zamanlarda aktif karbonun yerini daha uygun maliyet ile elde edilebilen adsorbentler almıştır. Son yirmi yıldan bu yana ise, nanoteknoloji bilimin ve teknolojinin hemen hemen tüm dallarında uygulanmakta ve önemi ortaya çıkmaktadır. Nitekim, sucul kirleticilerin uzaklaştırılması amacıyla çeşitli nano malzemeler hazırlanmakta ve kullanılmaktadır. Su teknolojisi ve nanoteknolojinin önemi göz önüne alındığında nanoteknolojinin kullanımı ile doğal malzemelerden adsorbent ve biyosorbent kullanımı önemlidir (Santhosh, vd., 2016). Şekil 2.5'de doğal malzemeler ve materyallerden elde edilen farklı adsorbentler verilmiştir.



Şekil 2.5. Doğal materyaller ve atıklardan elde edilen adsorbentler.



Şekil 2.6. Biyosorbent etkinliğini arttırmak için uygulanabilecek modifikasyon yöntemleri (Nguyen, vd., 2013).

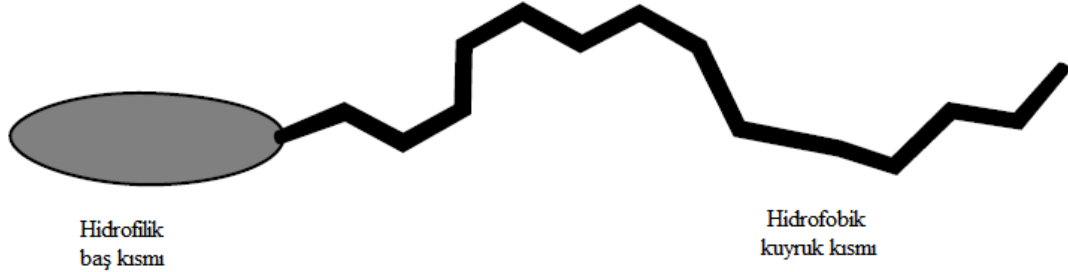
2.5. Yüzey Aktif Maddeler

Sümfaktanlar; yüzeyler veya ara yüzeylerde yüzey gerilimini azaltan yüzey aktif maddeler için kullanılan bir kısaltmadır. Önemli ve çok yönlü bir kimyasal grubudurlar. Ara yüzey iki karışmayan faz arasındaki sınırı ifade ederken, yüzey ise fazlardan birini simgeler (Holmberg, 2002).

Yüzey aktif maddeler amfifilik veya diğer adı ile amfipatik moleküllerdir. Bu terim "her ikisi de" anlamına gelen Yunanca *amphi* kökünden türemiştir ve terim tüm yüzey aktif madde moleküllerinin biri sıvıda çözünebilen (liyofilik) diğeri ise sıvıda çözünmeyen (liyofobik) olmak üzere en az iki kısım içerdiğini ifade etmektedir. Sıvı olarak su kullanıldığında yüzey aktif madde molekülünde yer alan bu kısımlar sırası ile molekülün baş kısmı olarak nitelendirilen hidrofilik ve kuyruk kısmı olarak nitelendirilen hidrofobik ismini alırlar (Holmberg, 2002) (Şekil 2.7).

Baskı mürekkebi, tekstil boyama ve fotoğraf gibi boyama işlemlerinde boya ve yüzey aktif madde etkileşimi oldukça önemlidir. Bu etkileşim aynı zamanda kimyasal denge, mekanizma ve kinetiğin anlaşılmasına da yardımcı olur. Tekstil işlemlerinde son

basamakta yardımcı bileşikler olarak kullanılmaktadır ve istenilen boyama düzeyine ulaşılmasında yüzey aktif maddelerin etkileşimi önemli bir rol oynar (Sultan, vd., 2011).



Şekil 2.7. Yüzey aktif maddelerin genel gösterimi.

Yüzey aktif madde molekülerinin hem baş hem de kuyruk kısımları çeşitli şekillerde ve yapılarda olabilir. Baş kısmı yüklü veya nötr, küçük veya kompakt boyutlarda veya polimerik bir zincir olabilir. Kuyruk kısmı genellikle tek veya çift, düz veya dallanmış hidrokarbon zinciri şeklinde olabileceği gibi, aromatik gruplar, florokarbon veya bir siloksan içerebilir (www.chm.bris.ac.uk/eastoe/Surf_Chem/).

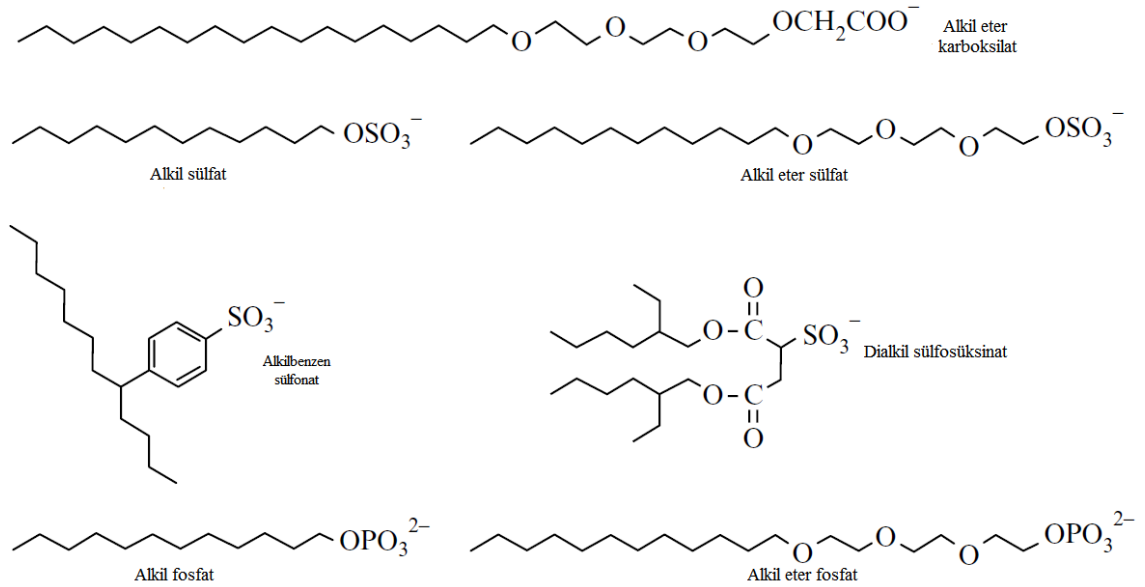
Yüzey aktif maddelerin sınıflandırılması temel olarak molekülün hidrofilik baş kısmının sahip olduğu yüke göre yapılabilir. Buna göre yüzey aktif maddeler; anyonik, katyonik, zwitter iyon ve iyonik olmayan olmak üzere sınıflandırılabilir (Holmberg, 2002). Bu sınıflandırmaya göre

- Anyonik ve katyonik yüzey aktif maddeler suda çözüldüğünde iki zıt yüklü iyon oluştururlar (yüzey aktif madde iyonu ve karşı iyon)
- İyonik olmayan yüzey aktif maddeler oldukça polar yüklü olmayan bir zincir taşırlar, polioksietilen (-OCH₂CH₂O-) gibi
- Zwitter iyonlar ise yapılarında hem pozitif hem de negatif yük taşırlar (www.chm.bris.ac.uk/eastoe/Surf_Chem/).

Yüzey aktif madde moleküllerinde hidrofilik grup olarak sülfonat, sülfat, karboksilat, fosfat, amonyum, kuaterner amonyum, betainler, sülfobetainler, polioksietilen, polioller ve polipeptidler bulunurken, hidrofobik grup olarak ise doğal yağ asitleri, olefinler, alkil benzenler, alkil aromatikler, alkil fenoller, polioksi propilen, florokarbonlar ve silikonlar bulunabilir (www.chm.bris.ac.uk/eastoe/Surf_Chem/).

Anyonik yüzey aktif maddeler

Anyonik yüzey aktif madde moleküllerinde yaygın olarak karboksilat, sülfat, sülfonat ve fosfat grupları gibi polar gruplar bulunur. Şekil 2.8'de bu gruba ait en sık kullanılan yüzey aktif maddelerin isimleri ve kimyasal yapıları verilmektedir.



Şekil 2.8. Bazı anyonik yüzey aktif maddelerin yapıları.

Diğer yüzey aktif maddeler içinde en fazla kullanılan yüzey aktif maddeler anyonik olanlardır. Dünya genelindeki yüzey aktif madde üretiminin yıllık 10 milyon ton olduğu ve bu üretimin yaklaşık %60'ının anyonik gruba ait olduğu tahmin edilmektedir. Bunun nedenleri arasında üretiminin kolay ve düşük maliyetli olması sayılabilir. Anyonik yüzey aktif maddeler en çok deterjan formülasyonlarında yer alır ve en iyi deterjanlar 12 ve 18 karbona sahip alkil ve aril zincirli yüzey aktif maddeler ile elde edilir. Karşı iyonlar olarak genellikle suda çözünmeyi arttıran sodyum ve potasyum tuzları kullanılırken, bunun yanı sıra hem yağda hem de suda çözünmeyi sağlayan amonyum, kalsiyum ve çeşitli protonlanmış alkil aminler kullanılır. Anyonik yüzey aktif maddelerin bazı özellikleri şu şekilde belirtilebilir.

- En büyük yüzey aktif madde sınıfıdır.
- Genellikle katyonik yüzey aktif madde ile uyumlu değildir (önemli istisnalar olmakla birlikte).

- Genellikle sert suya duyarlıdırlar. Hassasiyet karboksilat>fosfat>sülfat≈sülfonat sırası ile azalmaktadır (Holmberg, 2002).
- Anyonik grup ve hidrokarbon arasındaki kısa bir polioksietilen zincir tuz toleransını artırır.
- Anyonik grup ve hidrokarbon arasındaki kısa bir polioksipropilen zincir organik çözenlerdeki çözünürlüğü artırır (ancak biyoparçalanma hızını azaltır).
- Otokatalitik proseslerde sülfatlar asit ile hızlı bir şekilde hidroliz olabilir. Diğer türler ise daha kararlıdır.

İyonik olmayan yüzey aktif maddeler:

İyonik olmayan yüzey aktif maddeler polar grup olarak polieter veya polihidroksil birimleri içerirler. İyonik olmayan yüzey aktif maddelerin bazı özellikleri şu şekilde belirtilebilir.

- İkinci büyük yüzey aktif madde grubudur.
- Genellikle diğer tür yüzey aktif maddelerin tümü ile uyumludur.
- Sert sulara karşı duyarlı değildir.

Katyonik yüzey aktif maddeler:

Katyonik yüzey aktif maddeler üçüncü büyük yüzey aktif madde sınıfıdır ve en önemlileri katyonik bir yük taşıyan azot atomu içerirler. Genellikle hem amin hem de quaterner amonyum tuzlarını içeren moleküller yaygındır. Bazı istisna durumlar haricinde anyonik yüzey aktif maddeler ile uyumlu değildirler. Çoğu yüzey, mineraller, plastikler, dokular, hücre membranları negatif yüklü oldukları için bu yüzeyler tarafından güçlü bir şekilde adsorplanırlar ve yüzey modifikasyonu amaçlı kullanılabilirler (Holmberg, 2002).

2.6. Biyosorpsiyon Modelleri: İzoterm ve Kinetik Modelleri

Katı-sıvı adsorpsiyon ve biyosorpsiyon sistemlerinin incelenmesi genellikle kesikli denge sorpsiyon testleri ve dinamik sürekli akışkan sorpsiyon testleri kullanılarak gerçekleştirilir.

Bir adsorpsiyon izotermi, denge durumunda çözelti ortamında kalan adsorbat miktarı ile adsorbentin birim miktarı başına adsorplanan adsorbat miktarı arasındaki

ilişkiyi açıklayan bir grafik gösterimidir. İzoterm çeşitli derişimlerde sıvı ve katı faz arasındaki adsorbe edilen çözünen maddenin dağılımını gösterir.

Denge izoterm modelleri genellikle deneysel eşitlikler ve mekanistik modeller olmak üzere ayrılabilir. Tek ve iki bileşenli sistemler için bazı deneysel modeller Çizelge 2.2'de verilmektedir. Langmuir modeli (L tipi, adsorplanan türün tek tabakalı adsorpsiyonunu temel alan) ve Freundlich izotermi (F tipi, Heterojen yüzeyler için geliştirilen) literatürde en çok kullanılan ve kabul gören izoterm modelleridir. BET modeli adsorbent yüzeyinde çok tabakalı adsorpsiyonu tanımlar ve her tabakada Langmuir izoterminin geçerli olduğunu varsayar. Bu modeller adsorbat alım kapasitesi hakkında bilgi sağlarlar (Satyanarayana, vd., 2012).

Çizelge 2.2. İzoterm modellerini açıklayan tek ve iki parametrelili eşitlikler.

Model	Model eşitliği	Açıklama
İki parametrelili		
Freundlich	$Q_e = K_F C_e^{(1/n)}$	K _F =Adsorpsiyon kapasitesi n= Adsorpsiyon şiddeti
Doğrusal Freundlich	$\log Q_e = \log(K_F) + 1/n \log(C_e)$	
Langmuir	$Q_e = (Q_{max} b C_e) / (1 + b C_e)$	Q _{max} = en yüksek adsorpsiyon kapasitesi b= Langmuir adsorpsiyon denge sabiti (mg/g)
Doğrusal Langmuir	$1/Q_e = (1/Q_{max}) + (1/b Q_{max}) (1/C_e)$	
Temkin	$Q_e = (RT/Q_m) \ln(K C_e)$	R= ideal gaz sabiti (8,314 j/molK) T= Kelvin cinsinden sıcaklık K=Temkin izoterm denge bağlanma sabiti (L/g)
Doğrusal Temkin	$\ln(C_e) = (Q_m/RT) Q_e - \ln K$	
Üç parametrelili		
Redlich ve Peterson	$Q_e = A C_e / (1 + B C_e^B)$	A=Redlich-Peterson izoterm sabiti (L/g) B= sabit(L/mg)
Sips	$Q_e = Q_m K_s C_e^m / (1 + K C_e^m)$	Q _m = Sips maksimum adsorpsiyon kapasitesi K _s = Sips denge sabiti M= Sips model üstü

*Asgarzedeh, vd., 2016'dan uyarlanmıştır.

2.7. Literatür Taraması

Malachite green aynı zamanda tarımda kullanılan bir fungusit ve antiseptiktir. Bununla birlikte Malachite green son derece tehlikelidir ve karsinojenik, genotoksik, mutajenik ve teratojenik özelliklere sahiptir, dolayısı ile özellikle karaciğer tümörünün gelişmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Atık su arıtımı flokülasyon, elektro-flotasyon, çöktürme, elektro-kinetik koagülasyon, iyon değişimi, membran filtrasyonu, elektrokimyasal bozunma, ışın ile muamele, ozonlama ve Katox arıtma yöntemi gibi farklı yöntemler kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bahsedilen yöntemlerin maliyeti göz önüne alındığında adsorpsiyon düşük maliyeti, yüksek etkinliği ve basit proses şartlarından dolayı diğer yöntemlere nazaran daha üstündür. Atık sulardan boyaların uzaklaştırılmasında uygun adsorbanın seçilmesi adsorpsiyon sürecinde kritik bir öneme sahiptir. Son zamanlarda tarımsal atıklardan ve doğal ürünlerden elde edilen düşük maliyetli adsorbentler sulu çözeltilerden boyaların giderilmesi açısından yoğun bir şekilde incelenmektedir(Ren, vd., 2016).

Ren ve arkadaşları sarımsak köklerinden elde ettikleri biyokütleyi Malachite green boyasının sulu çözeltilerden uzaklaştırılması amacıyla yeni bir biyosorbent olarak kullanmışlardır. Boyanın elde edilen biyosorbent yüzeyine adsorpsiyonunu Fourier dönüşümlü kızıl ötesi spektroskopi ve taramalı elektron mikroskobu analizleri ile doğrulamışlardır. Adsorpsiyon sonucu elde edilen verilerin Langmuir izotermine ve yalancı ikinci dereceden kinetik modele uygun olduğu görülmüştür. Sarımsak köklerinden elde edilen yeni biyosorbentin miktarı 1 g/L ve 2 g/L olarak kullanıldığında Malachite green için maksimum adsorpsiyon kapasitesi sırası ile 172,41 ve 232,56 mg/g olarak bulunmuştur (Ren, vd., 2016).

Gong ve çalışma arkadaşları pirinç kabuğu atıklarını sitrik asit ile termokimyasal olarak modifiye ederek Malachite green boyasının gideriminde biyosorbent olarak kullanmışlardır. Yapılan çalışmada pH 4'de 250 mg/L'lik başlangıç boya derişiminde biyosorbent miktarı 1,5 g/L olarak tutulduğunda %100'e yakın giderim elde edilmiştir. Hesaplamalar sonucu denge süresi 10 saat olarak belirlenmiş ve sorpsiyon verilerinin yalancı birinci dereceden kinetik model ile uyumlu olduğu görülmüştür. Kimyasal modifikasyon işleminden sonra parçacık içi difüzyon katsayısı artmıştır (Gong, vd., 2006).

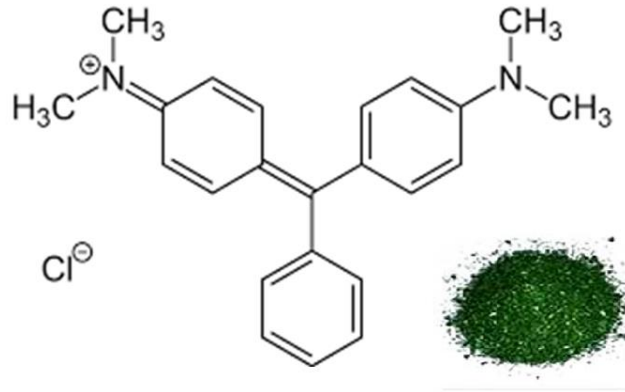
Garg ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada kesikli sistem kullanılarak *Prosopis cineraria*'dan elde edilen biyosorbent ile Malachite green boyasının sulu çözeltiliden giderimi araştırılmıştır. Biyosorbent formaldehit ve sülfürik asit ile ayrı ayrı modifiye edilmiştir. Çalışmada kıyaslama amacı ile ticari olarak alınan hindistan cevizi kabuğundan elde edilmiş aktif karbon da kullanılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucu adsorbentlerin adsorpsiyon etkinliği sırası aktif karbon>sülfürik asit ile modifiye>formaldehit ile modifiye olarak belirlenmiştir. Sorpsiyon çalışmasına ait deneysel veriler Lagergren yalancı birinci dereceden ve parçacık içi difüzyon modeline uymaktadır (Garg, vd., 2004).

Asfaram ve çalışma arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada *Yarrowia lipolytica* suşları kullanılarak Malachite green boyasının giderimi araştırılmıştır. Deneysel çalışmalarda boya giderimi üzerine başlangıç pH'ı, boya derişimi, sıcaklık ve temas süresinin etkisi araştırılmıştır. Çalışmalar sonucu en uygun pH 6,5-7,5 ve temas süresi 24 saat olarak bulunmuştur (Asfaram, vd., 2016).

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Malachite Green Çözeltisi

Tez çalışmalarında kullanılan ve giderimi araştırılan Malachite green Sigma Aldrich firmasından temin edilmiştir. 1000 mg/L'lik Malachite green stok çözeltileri distile saf su kullanılarak çözülmüş ve hazırlanan boya çözeltileri karanlıkta saklanmıştır. Adsorpsiyon ve biyosorpsiyon araştırma deneylerinde kullanılan boya çözeltilerinin pH'ları 0,1 M NaOH ve 0,1 M HCl çözeltisi ile ayarlanmıştır.



Şekil 3.1. Malachite greenin moleküler yapısı ve genel görünümü.

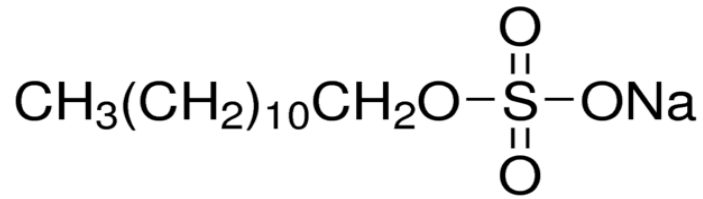
3.2. *Trametes versicolor* Fungal Biyokütlelerinin Hazırlanması ve Aktif Karbon

Hazırlanan tez kapsamında kullanılan beyaz kök mantarı olan *Trametes versicolor* fungal suşları Ankara Üniversitesi Biyoloji Bölümü bünyesinde bulunan Biyoteknoloji Laboratuvarı kültür koleksiyonundan alınmıştır. Saf stok *Trametes versicolor* kültürü her üç ayda bir 4°C'de muhafaza edilen ve 39,0 g/L PDA içeren besiyerine eklenmiştir. Mikroorganizma büyüme ortamı 1 g/L (NH₄)₂SO₄ ve 0,5 g/L KH₂PO₄ içeren (yaklaşık 10 g/L sukroza eşit) melas çözeltisinden oluşmaktadır. Çözelti pH'sı 0,1 M NaOH ile istenilen pH'a ayarlanır. Gelişmiş olan *Trametes versicolor* büyüme ortamından alınır ve 4 kez saf su ile yıkanır. %1,0'lik formaldehit çözeltisi kullanılarak mikroorganizma inaktive edildikten sonra, biyokütleler 24 saat boyunca 100°C'de etüvde kurutulmuştur. Ölü hale getirilmiş *Trametes versicolor* biyokütlesi öğütülmüş ve 80 µm gözenek boyutuna sahip elekten geçirilerek biyosorpsiyon çalışmalarında kullanılacak olan biyosorbent hazırlanmıştır.

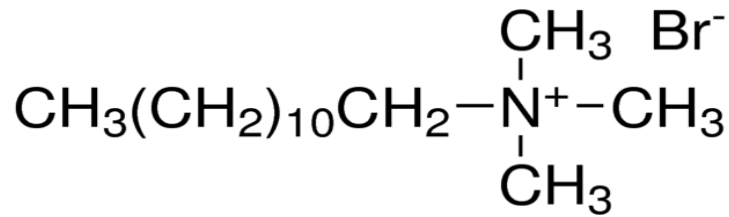
Aktif karbon Sigma Aldrich (Darco tip, 242233) firmasından temin edilmiş ve ticari adsorban olarak kullanılmıştır. Giderim çalışmalarında kullanılmadan önce havanda öğütülmüş ve parçacık boyutu küçültülmüştür.

3.3. Yüzey Aktif Madde Çözeltileri

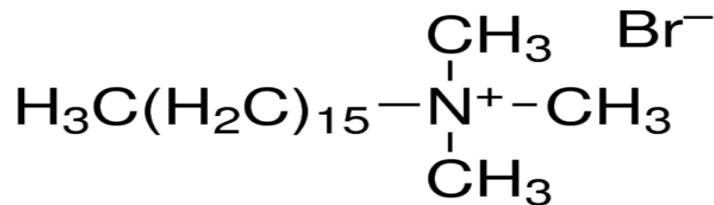
Malachite green boyalarının sulu ortamdan giderimi üzerine yüzey aktif maddelerin etkisinin incelenmesi amacıyla kullanılan anyonik bir yüzey aktif madde olan sodyum lauril sülfat Sigma Aldrich firmasından, diğer iki katyonik yüzey aktif madde; dodesil trimetil amonyum bromür ve heksadesil trimetil amonyum bromür ise Merck firmasından temin edilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan yüzey aktif maddelerin kimyasal yapıları Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'de verilmiştir. 1,0 g/L'lik stok yüzey aktif madde çözeltileri her bir yüzey aktif maddenin uygun miktarda tartılarak saf suda çözülmesi ile hazırlanmıştır.



Şekil 3.2. Sodyum lauril sülfat'ın kimyasal yapısı.



Şekil 3.3. Dodesiltrimetilamonyum bromür'ün kimyasal yapısı.



Şekil 3.4. Heksadesil trimetil amonyum bromür.

3.4. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Cihazlar

Analitik terazi: Malachite green, SLS, DTAB, HTAB, *Trametes versicolor* ve aktif karbon kimyasallarının tartımı için Shimadzu marka terazi kullanılmıştır.

UV-Vis Spektrofotometre: Malachite green boyasının sulu ortamdaki tayini spektrofotometrik yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Spektrofotometrik tayinler için Labomed Inc. Spectro 22 marka spektrofotometre kullanılarak Malachite green için 617 nm'de absorbans ölçülmüştür.

pH metre: Hazırlanan çözeltilerin pH ölçümleri dijital pH metre (Hanna instruments HI 2211 pH / ORP model) kullanılarak yapılmıştır.

Santrifüj: Adsorpsiyon ve biyosorpsiyon işlemleri sonunda alınan örneklerdeki adsorbentlerin spektrofotometrik ölçümden önce çöktürülmesi amacıyla kullanılmıştır.

Çalkalamalı su banyosu: Adsorpsiyon ve biyosorpsiyon çalışmalarında sıcaklık kontrollü Nüve marka çalkalamalı su banyosu kullanılmıştır.

3.5. Kullanılan Yöntem

Katyonik bir boya olan Malachite greenin sulu ortamlardan uzaklaştırılmasında ticari ve doğal adsorbentlerin ve yüzey aktif madde varlığının etkisinin araştırılması için kesikli adsorpsiyon sistemi kullanılmış ve deneyler sıcaklığı kontrol edilebilen bir su banyosunda gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada pH'sı 2 ile 10 arasında değişen farklı pH çözeltileri kullanılarak adsorpsiyon sürecine pH'nın etkisi araştırılmış aynı zamanda da 30 dakika 1, 2, 4, 6, 8 ve 24. saat sürelerinde belirli hacimlerde örnekler alınarak temas süresinin etkisi ve dengeye gelme süresi araştırılmıştır. Adsorpsiyon/Biyosorpsiyon süreci için optimum pH ve dengeye gelme süresi belirlendikten sonra Malachite green giderimi üzerine biyosorbent dozunun etkisi araştırılmış ve bu amaçla 0,50 g/L, 1,00 g/L ve 2,00 g/L olacak şekilde biyosorbent miktarı değiştirilmiştir. Boyaların giderimi üzerine yüzey aktif madde varlığının etkisi de araştırılmış ve bu kapsamda anyonik bir yüzey aktif madde olan sodyum lauril sülfat ile katyonik yüzey aktif maddeler dodesil trimetil amonyum bromür ve heksadesil trimetil amonyum bromür etkisi farklı pH'larda ve 20 mg/L başlangıç boya derişiminde incelenmiştir. Adsorpsiyon ve biyosorpsiyon çalışmaları sonucu elde edilen veriler aşağıdaki formüllere göre hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Giderim} = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100 \quad (3.1)$$

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e) \cdot V}{m} \quad (3.2)$$

% Giderim ve q_e değerlerinin hesaplanması için yukarıda verilen formüllerde;

C_0 : Başlangıç Malachite green derişimini (mg/L)

C_e : Adsorpsiyon işleminden sonra çözeltide kalan Malachite green derişimini (mg/L)

q_e : Adsorbentin birim ağırlığı başına adsorplanan Malachite green miktarını (mg/g)

m : Adsorbentin miktarını (g), V : Çözelti hacmini (L) göstermektedir.

4. DENEYSEL BULGULAR

4.1. Malachite Green Giderimi Üzerine pH ve Temas Süresinin Etkisi

4.1.1. *Trametes versicolor* biyosorpsiyonu

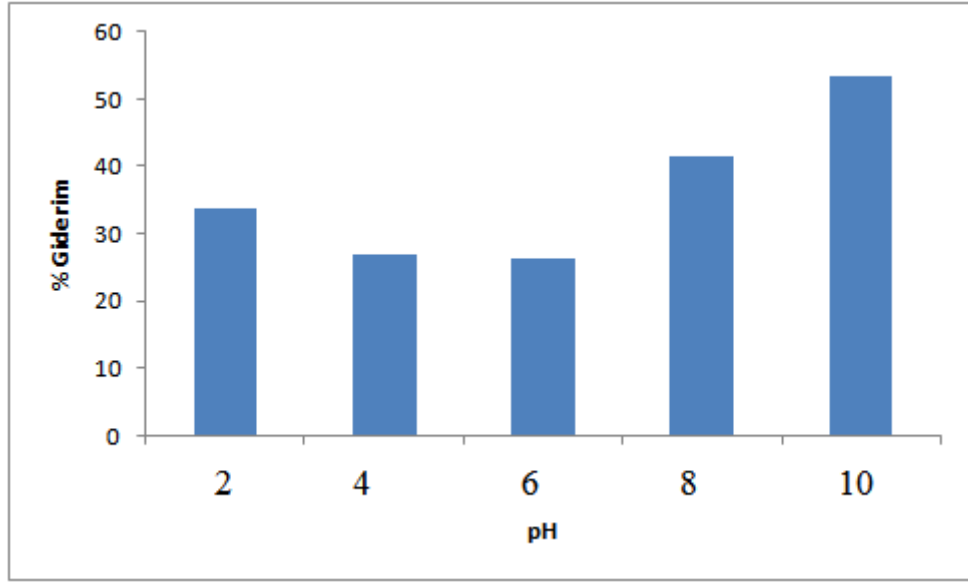
Malachite green boyasının *Trametes versicolor* üzerine biyosorpsiyonuna başlangıç pH'nın etkisi pH 2-10 aralığında çalışılmıştır. Çözelti pH'sının yüzde giderim üzerine etkisini gösteren sonuçlar Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Şekil 4.1'de verilmektedir.

Çizelge 4.1. Malachite green boyasının *Trametes versicolor* yüzeyine biyosorpsiyonuna çözelti pH'nın yüzde giderim üzerine etkisi ($C_{\text{Malachite green}}: 20 \text{ mg/L}$).

Süre t (saat)	% Giderim				
	pH 2	pH 4	pH 6	pH 8	pH 10
0.5	12,99	2,04	7,82	13,03	24,26
1.0	13,39	3,71	8,77	16,23	39,27
2.0	20,58	8,73	11,46	18,44	49,00
4.0	23,20	12,73	16,52	20,31	51,49
6.0	23,37	15,93	19,28	23,98	51,98
8.0	28,05	16,95	21,78	24,65	52,80
24.0	33,85	26,98	26,30	41,55	53,30

Çizelge 4.2. Malachite green boyasının *Trametes versicolor* yüzeyine biyosorpsiyonuna çözelti pH'nın biyosorpsiyon kapasitesi (q_e) üzerine etkisi ($C_{\text{Malachite green}}: 20 \text{ mg/L}$).

Süre t (saat)	Biyosorpsiyon kapasitesi (q_e), mg/g				
	pH 2	pH 4	pH 6	pH 8	pH 10
0.5	2,60	0,41	1,56	2,61	4,85
1.0	2,68	0,74	1,75	3,25	7,85
2.0	4,12	1,75	2,29	3,69	9,80
4.0	4,64	2,55	3,30	4,06	10,30
6.0	4,67	3,19	3,86	4,80	10,40
8.0	5,61	3,39	4,36	4,93	10,56
24.0	6,77	5,40	5,26	8,31	10,66



Şekil 4.1. Malachite green boyasının *Trametes versicolor* yüzeyine biyosorpsiyonunda çözelti pH'nın yüzde giderim üzerine etkisi.

Boya içeren atık sular alıcı ortamlara farklı pH'larda deşarj edilirler. Bu nedenle Malachite green giderimi üzerine pH etkisinin incelenmesi önemlidir. Çünkü çözelti pH'ı adsorbentin yüzey yükünü ve adsorbatın iyonlaşma derecesini etkiler ve adsorpsiyon prosesini etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Çizelge 4.1 ve 4.2'den de görüldüğü gibi çözelti pH'sının artması ile birlikte yüzde giderim değerlerinde pH 2'den pH 10'a kadar bir artış görülmektedir. En yüksek biyosorpsiyon kapasitesi ve yüzde giderim değerlerine sırası ile 10,66 mg/g ve %53,30 olacak şekilde pH 10'da ulaşılmıştır.

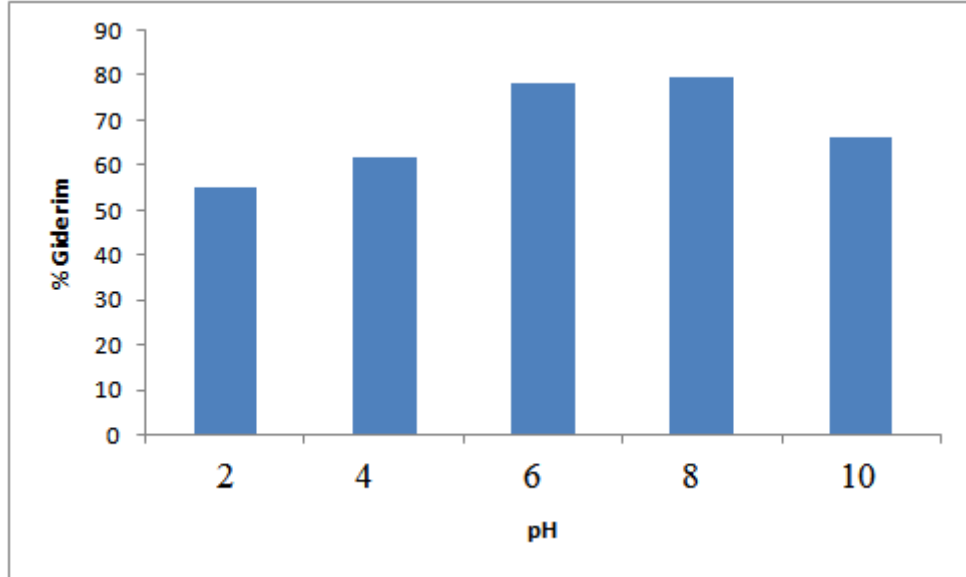
4.1.2. Aktif karbon adsorpsiyonu

Çizelge 4.3. Malachite green boyasının aktif karbon yüzeyine adsorpsiyonunda çözelti pH'nın yüzde giderim üzerine etkisi. ($C_{\text{Malachite green}}: 20 \text{ mg/L}$)

Süre t (saat)	% Giderim				
	pH 2	pH 4	pH 6	pH 8	pH 10
24.0	55,24	62,01	78,29	79,91	66,26

Çizelge 4.4. Malachite green boyasının aktif karbon yüzeyine adsorpsiyonunda çözelti pH'nın biyosorpsiyon kapasitesi (q_e) üzerine etkisi ($C_{\text{Malachite green}}: 20 \text{ mg/L}$).

Süre t (saat)	Biyosorpsiyon kapasitesi (q_e), mg/g				
	pH 2	pH 4	pH 6	pH 8	pH 10
24.0	11,05	12,40	15,66	15,98	13,25



Şekil 4.2. Malachite green boyasının aktif karbon yüzeyine adsorpsiyonunda çözelti pH'nın yüzde giderim üzerine etkisi.

Çizelge 4.3 ve 4.4'den de görüldüğü gibi çözelti pH'sının artması ile birlikte yüzde giderim değerlerinde pH 2'den pH 8'e kadar bir artış görülmektedir. En yüksek biyosorpsiyon kapasitesi ve yüzde giderim değerlerine sırası ile 15,98 mg/g ve %79,91 olacak şekilde pH 8'de ulaşılmıştır. Bu durum yüksek pH değerlerinde adsorbent yüzeyinin negatif yük ile yüklenmesi ve de katyonik boya molekülü ile negatif yüklü adsorbent arasındaki çekim kuvvetinden dolayı Malachite green adsorpsiyonunun artması ile açıklanabilir. Düşük pH değerlerinde ise, adsorbent yüzeyi pozitif yük ile yüklendiğinden dolayı katyonik Malachite green molekülü ve katyonik adsorbent yüzeyi arasındaki elektrostatik itmeden dolayı Malachite green adsorpsiyonu düşük değerlerdedir (Geçgel, vd., 2013).

Belirli bir sıcaklık ve pH'da adsorpsiyon yoluyla su ve atık sulardan kirleticilerin uzaklaştırılması için adsorbent ve adsorbat türleri arasındaki dengeye gelme süresi diğer önemli parametrelerden biridir. Boya türü kirleticilerin hızlı bir şekilde giderilmesi ve kısa bir sürede dengenin kurulması atık su arıtımında kullanılan adsorbentin verimliliğinin bir göstergesidir. Optimum temas süresini belirlemek için 0 ile 36. saatler arasında belirli zaman aralıklarında örnekler alınarak spektrofotometrik olarak Malachite green ölçümü yapılmıştır.

Malachite green boyası için yüzde giderim değerleri ve adsorpsiyon kapasitesi ilk 30 dakikalık temas süresinde hızlı bir şekilde artmış daha sonra ise 24. saate kadar daha yavaş bir şekilde ilerlemiştir. Gerçekleştirilen tez çalışmasında pH 2'den pH 10'a kadar yapılan tüm çalışmalarda Malachite green biyosorpsiyonu ve adsorpsiyonu için dengeye gelme süresi 24 saat olarak görülmüştür. Daha uzun temas sürelerinde *Trametes versicolor* biyokütlesinin ve aktif karbon adsorbentinin adsorplanan boyayı geri salmasından dolayı yüzde giderim ve adsorpsiyon kapasitesi değerlerinde bir düşüş gözlenmektedir. Bu durum adsorpsiyonun başlangıç basamağında adsorbent yüzeyinde çok sayıda aktif bağlayıcı birimin bulunması zaman geçtikten sonra ise katı yüzeyi üzerindeki moleküller arası itme kuvvetlerinden dolayı serbest bağlayıcı birimlere kolaylıkla ulaşılamamasından kaynaklanabilir (Nadaroğlu, vd., 2017).

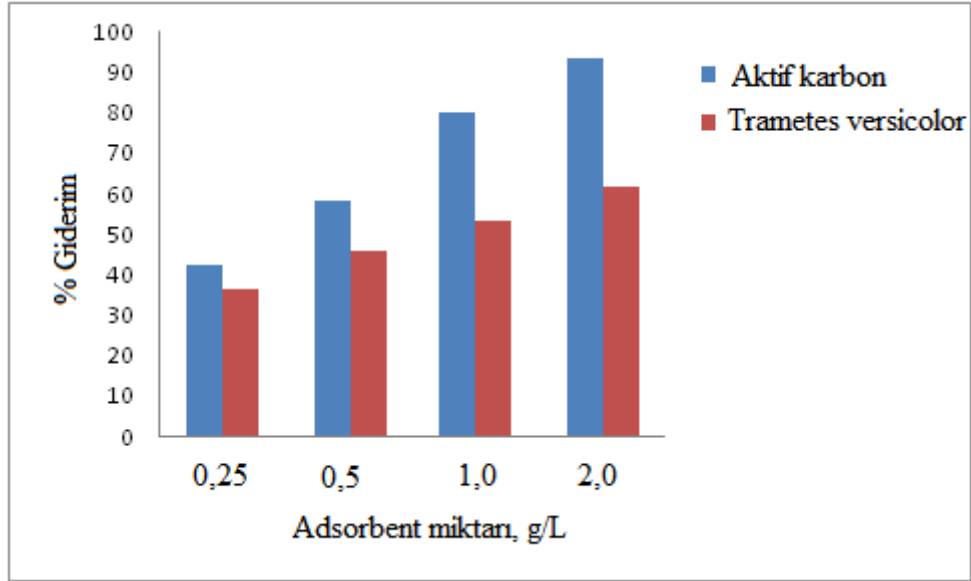
4.2. Malachite green Giderimi Üzerine Adsorbent Miktarının Etkisi

Aktif karbon ve *Trametes versicolor* kullanılarak sulu çözelti ortamından Malachite green boyasının giderimi üzerine pH etkisi ve temas süresi sırası ile pH 8, 24 saat ve pH 10, 24 saat olarak belirlendikten sonra 20 °C sıcaklıkta 20 mg/L başlangıç boya derişiminde aktif karbon ve *Trametes versicolor* miktarı 0,25 g/L, 0,50 g/L, 1,00 g/L ve 2,00 g/L olarak değiştirilerek Malachite green giderimine etkisi araştırılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Malachite green boyasının yüzde giderimi üzerine aktif karbon ve *Trametes versicolor* miktarının etkisi ($C_{\text{Malachite green}}: 20 \text{ mg/L}$).

Miktar	Aktif karbon	<i>Trametes versicolor</i>
0,25 g/L	% 42,16	% 36,42
0,5 g/L	% 58,24	% 45,78
1,0 g/L	% 79,91	% 53,30
2,0 g/L	% 93,64	% 61,80

Biosorbent ve adsorbent miktarı sorpsiyon prosesini etkileyen en önemli deneysel şartlardan biridir ve belirli bir başlangıç adsorbat derişiminde adsorbent yüzeyindeki bağlayıcı birimlerin sayısı ile ilişkili olarak sorbentin potansiyelini açıklar (Kumar, vd., 2016). Çizelge 4.5'den de görüldüğü gibi farklı adsorbent miktarları denendiğinde adsorbent miktarındaki artış ile beraber yüzde giderim değerlerinde önemli artışlar elde edilmiştir. Ancak adsorbent miktarı 2,0 g/L'nin üzerine çıkarıldığında yüzde giderim değerleri azalmaya başlamıştır. Malachite green boyasına ait yüzde giderim değerlerindeki artış adsorbent miktarının artması ile *Trametes versicolor* ve aktif karbon yüzeyindeki bağlayıcı sorpsiyon birimlerinin artması ile açıklanabilir. Daha yüksek değerlerdeki adsorbent miktarında yüzde giderim değerlerinin azalması ise yüksek adsorbent derişiminin etkin adsorpsiyon alanını azaltması ile açıklanabilir (Kumar, vd., 2016). Etkin adsorbent yüzeyinin azalma nedeni ise yüksek adsorbent derişimlerinde adsorpsiyon birimlerinin üst üste örtüşmesi ve aktif bağlayıcı birimlerin azalması olarak açıklanabilir (Nguyen, vd., 2013).



Şekil 4.3. Malachite green boyasının yüzde giderimi üzerine aktif karbon ve *Trametes versicolor* miktarının etkisi.

4.3. Malachite green Giderimi Üzerine Başlangıç Derişiminin Etkisi

Çözeltide bulunan adsorbatın başlangıç derişimi adsorpsiyon/biyosorpsiyon olayını önemli derecede etkiler. Malachite greenin sulu çözeltiden uzaklaştırılması üzerine başlangıç Malachite green derişiminin etkisini belirlemek amacıyla aktif karbon ve *Trametes versicolor* kullanılarak 5, 10, 20, 40 ve 80 mg/L'lik; başlangıç derişimleri araştırılmıştır.

4.3.1. *Trametes versicolor* biyosorpsiyonu

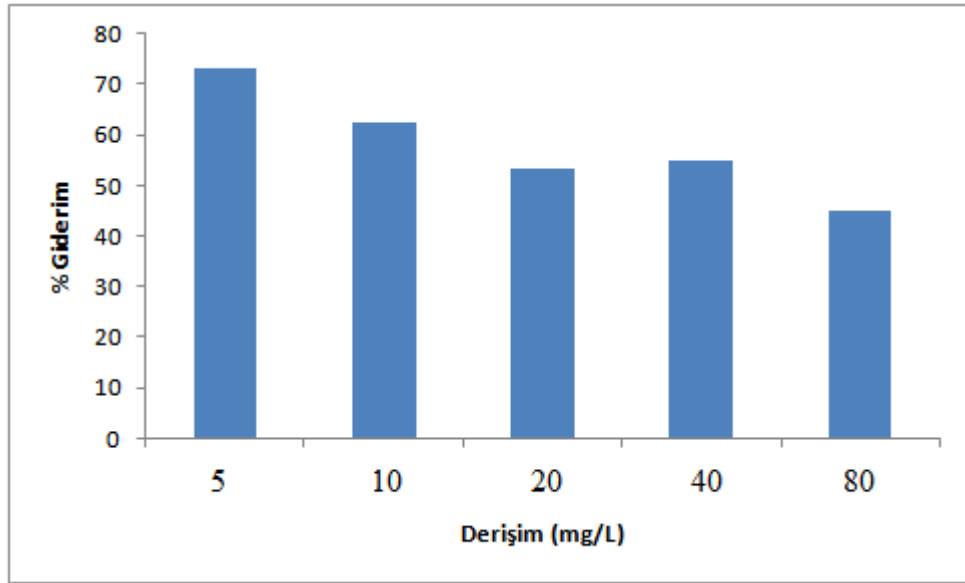
Malachite green boyasının başlangıç derişiminin yüzde giderim ve biyosorpsiyon kapasitesi üzerine etkisi 5 mg/L'den 80 mg/L'e kadar değişen farklı derişimlerde incelenmiş ve hesaplanan sonuçlar Çizelge 4.6 ve 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Malachite green boyasının *Trametes versicolor* yüzeyine biyosorpsiyonuna başlangıç boya derişiminin yüzde giderim üzerine etkisi (pH: 10).

Süre t (saat)	% Giderim			
	5 mg/L	10 mg/L	40 mg/L	80 mg/L
0.5	46,34	1,08	4,49	6,96
1.0	47,97	7,53	9,28	7,83
4.0	60,98	32,26	25,15	25,07
6.0	70,73	44,09	30,84	31,88
8.0	72,36	46,24	35,93	32,90
24.0	73,18	62,37	55,08	44,93

Çizelge 4.7. Malachite green boyasının *Trametes versicolor* yüzeyine biyosorpsiyonuna başlangıç boya derişiminin biyosorpsiyon kapasitesi (q_e) üzerine etkisi (pH: 10).

Süre t (saat)	Biyosorpsiyon kapasitesi (q_e), mg/g			
	5 mg/L	10 mg/L	40 mg/L	80 mg/L
0.5	2,32	0,11	1,80	5,57
1.0	2,40	0,75	3,71	6,26
4.0	3,05	3,22	10,06	20,06
6.0	3,54	4,41	12,34	25,50
8.0	3,62	4,62	14,37	26,32
24.0	3,66	6,24	22,03	35,94



Şekil 4.4. Malachite green boyasının *Trametes versicolor* yüzeyine biyosorpsiyonuna başlangıç boya derişiminin yüzde giderim üzerine etkisi.

Şekil 4.4 hazırlanan *Trametes versicolor* biyokütlesi üzerine biyosorpsiyonda başlangıç Malachite green derişiminin yüzde giderim değerleri üzerine etkisini göstermektedir. Görüldüğü gibi başlangıç boya derişimi 5 mg/L'den 80 mg/L'e kadar arttıkça yüzde giderim değerleri %73,18'den %44,93'e kadar azalmaktadır. Biyosorpsiyon kapasitesi ise artan boya derişimi ile birlikte 3,66'dan 35,94 mg/g'a kadar artmaktadır. Bu durum adsorbent yakınında daha fazla adsorblanacak boya molekülünün bulunması ve adsorpsiyon desorpsiyon dengesine ulaşmadan önce kütle transferinin yüksek olmasından kaynaklanabilir (Saber-Samandari, vd., 2017).

4.3.2. Aktif karbon adsorpsiyonu

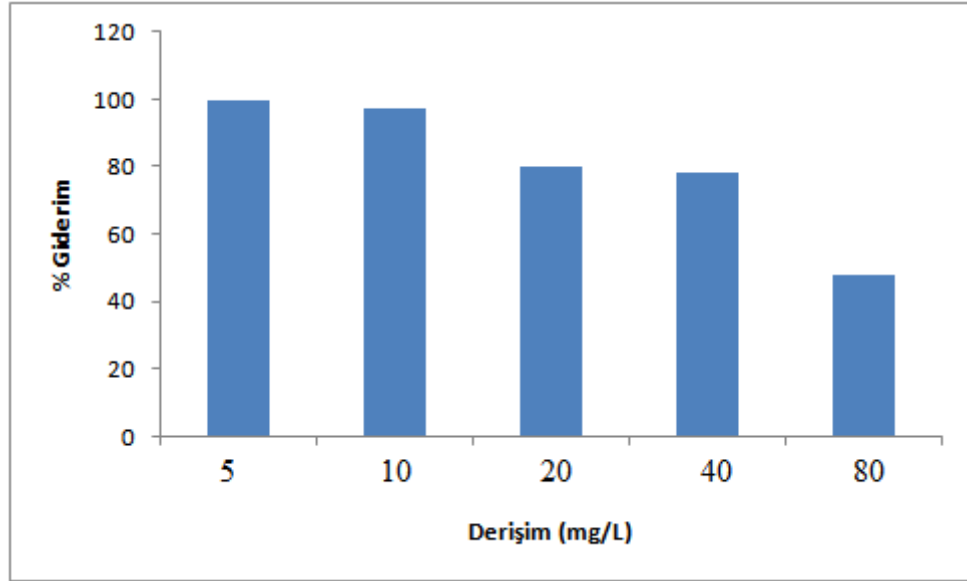
Malachite green boyasının aktif karbon kullanılarak adsorpsiyonun da başlangıç derişiminin yüzde giderim ve biyosorpsiyon kapasitesi üzerine etkisi 5 mg/L'den 80 mg/L'e kadar değişen farklı derişimlerde incelenmiş ve hesaplanan sonuçlar Çizelge 4.8 ve 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.8. Malachite green boyasının aktif karbon yüzeyine adsorpsiyonuna başlangıç boya derişiminin yüzde giderim üzerine etkisi (pH:8).

Süre t (saat)	% Giderim			
	5 mg/L	10 mg/L	40 mg/L	80 mg/L
0.5	73,08	36,64	21,54	9,99
1.0	84,68	62,74	36,92	23,78
4.0	87,99	72,15	45,58	30,77
6.0	97,31	87,08	73,65	45,25
8.0	99,38	90,34	75,77	46,05
24.0	99,79	97,49	78,08	47,95

Çizelge 4.9. Malachite green boyasının aktif karbon yüzeyine adsorpsiyonuna başlangıç boya derişiminin biyosorpsiyon kapasitesi (q_e) üzerine etkisi (pH:8).

Süre t (saat)	Biyosorpsiyon kapasitesi (q_e), mg/g			
	5 mg/L	10 mg/L	40 mg/L	80 mg/L
0.5	3,65	3,66	8,62	7,99
1.0	4,23	6,27	14,77	19,02
4.0	4,40	7,22	18,23	24,62
6.0	4,87	8,71	29,46	36,20
8.0	4,97	9,03	30,31	36,84
24.0	4,99	9,75	31,23	38,36



Şekil 4.5. Malachite green boyasının aktif karbon yüzeyine adsorpsiyonuna başlangıç boya derişiminin yüzde giderim üzerine etkisi.

Şekil 4.5 başlangıç Malachite green derişiminin yüzde giderim üzerine olan etkisini göstermektedir. Görüldüğü gibi başlangıç Malachite green derişimi arttıkça adsorpsiyon kapasitesi de artmıştır.

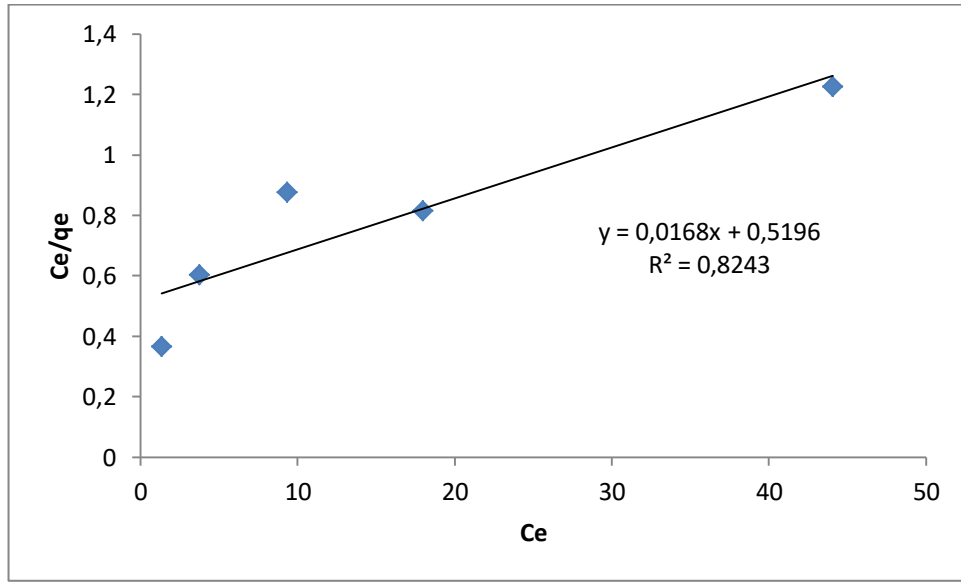
4.4. İzoterm İncelemeleri

Sulu ortamdan akuatik kirleticilerin giderimi konusunda gerçekleştirilen deneysel çalışmalar kapsamında adsorpsiyon izotermi biyosorbent/adsorbent ile adsorbat arasındaki etkileşimlerin nasıl gerçekleştiğinin açıklanmasında ve biyosorpsiyon/adsorpsiyon mekanizmasının anlaşılması açısından oldukça yararlıdır. Çalışma kapsamında *Trametes versicolor*'ın biyosorbent ve aktif karbonun ise adsorbent olarak yer aldığı her çalışma için Freundlich, Langmuir ve Temkin izoterm modelleri incelenerek izoterm sabitleri hesaplanmıştır.

4.4.1. Malachite green'in *Trametes versicolor* kullanılarak biyosorpsiyonunda izoterm incelemeleri

Malachite green'in *Trametes versicolor* kullanılarak biyosorpsiyonuna ait izotermi Freundlich, Langmuir ve Temkin izoterm modelleri ile araştırılmıştır. Biyosorpsiyon izoterm hesaplamaları için 20 °C 'de, pH 10'da 5, 10, 20, 40 ve 80 mg/L'lik başlangıç boya derişimleri ile yapılan giderim çalışmalarına ait veriler

kullanılmıştır. İzoterm hesaplamaları kapsamında Langmuir izotermi ilk olarak incelenmiştir. Langmuir izotermi için $\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L} + \frac{1}{q_m} C_e$ eşitliği kullanılmıştır. C_e değerlerine karşı C_e/q_e değerleri grafiğe geçirildiğinde eşitliğe göre eğim değerinden en yüksek adsorpsiyon kapasitesi (q_m) değeri, kesim noktasından ise Langmuir sabiti K_L hesaplanabilir. Malachite greenin *Trametes versicolor* ile biyosorpsiyonu için elde edilen Langmuir izotermine ait doğru denklemi ve Langmuir izoterm sabitleri Şekil 4.6 ve Çizelge 4.10'da verilmiştir.



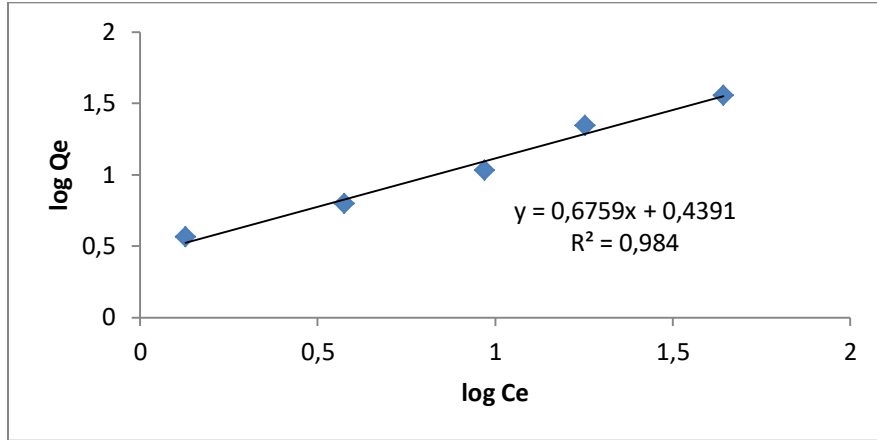
Şekil 4.6. *Trametes versicolor* ile Malachite greenin biyosorpsiyonu için elde edilen Langmuir izoterm eşitliği ve grafiği.

Çizelge 4.10. *Trametes versicolor* ile Malachite greenin biyosorpsiyonu için elde edilen Langmuir izoterm sabitleri.

Langmuir İzoterm Eşitliği	R ²	K _L (L/mg)	q _m (mg/g)
y = 0,016x+0,519	0,824	0,031	62,50

Freundlich izoterm modeli *Trametes versicolor* ile Malachite greenin biyosorpsiyonu için incelenmiştir. Freundlich izotermi için $\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e$ eşitliği kullanılmış ve eşitliğe göre $\log C_e$ değerlerine karşı $\log q_e$ değerleri grafiğe geçirildiğinde eğimden n sabiti ve kesim noktasından Freundlich sabiti K_F hesaplanmıştır. Malachite green'in aktif karbon ile adsorpsiyonu için elde edilen

Freundlich izotermine ait doğru denklemi ve hesaplanan Freundlich izoterm sabitleri Şekil 4.7 ve Çizelge 4.11'de verilmiştir.

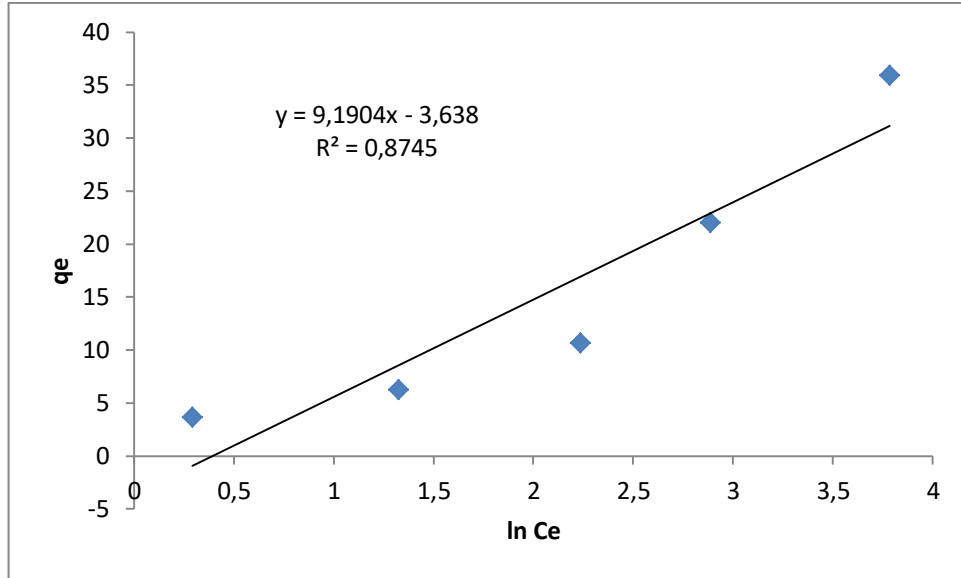


Şekil 4.7. *Trametes versicolor* ile Malachite green biyosorpsiyonu için elde edilen Freundlich izoterm eşitliği ve grafiği.

Çizelge 4.11. *Trametes versicolor* ile Malachite greenin biyosorpsiyonu için elde edilen Freundlich izoterm eşitliği ve sabitleri.

Freundlich İzoterm Eşitliği	R ²	K _F	1/n	n
y = 0,675x+0,439	0,984	2,75	0,675	1,48

Son olarak *Trametes versicolor* ile Malachite greenin adsorpsiyonu Temkin izoterm modeli ile incelenmiştir. Bu model için $q_e = B \ln A_T + B \ln C_e$ eşitliği kullanılmış ve Şekil 4.8'de görüldüğü gibi $\ln C_e$ 'ye karşı q_e grafiği çizilmiştir. Eşitliğin eğim değerinden B sabiti, kesim noktasından ise A_T sabiti hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge 4.12'de verilmiştir.



Şekil 4.8. *Trametes versicolor* ile Malachite greenin biyosorpsiyonu için elde edilen Temkin izoterm eşitliği ve grafiği.

Çizelge 4.12. *Trametes versicolor* ile Malachite greenin biyosorpsiyonu için elde edilen Temkin izoterm eşitliği ve sabitleri.

Temkin İzoterm Eşitliği	R ²	B	A _T
y = 9,190x-3,638	0,874	9,19	0,67

Trametes versicolor ile Malachite greenin Freundlich, Langmuir ve Temkin modellerine göre elde edilen izoterm grafiklerine ait korelasyon katsayıları incelendiğinde Freundlich izoterm eşitliğine ait olan korelasyon katsayısı oldukça yüksek (0,984) ve 1,0'e yakın bulunmuştur. Dolayısı ile *Trametes versicolor* yüzeyine Malachite green boyasının biyosorpsiyonu Freundlich izotermine uymaktadır. Freundlich modeli heterojen yüzeyler üzerindeki adsorpsiyonu temel alır. Bu modele göre *Trametes versicolor* yüzeyi heterojendir ve biyosorpsiyonun gerçekleştiği bağlayıcı birimler farklı enerji düzeylerine sahiptir (Geçgel, vd., 2013). Ayrıca 1/n değerinin 0 ile 1 arasında 0,675 olarak çıkması *Trametes versicolor* yüzeyinde Malachite green biyosorpsiyonunun elverişli olduğunun göstergesidir (Subbaiah ve Kim, 2016).

4.4.2. Malachite greenin aktif karbon kullanılarak adsorpsiyonunda izoterm incelemeleri

Malachite greenin aktif karbon kullanılarak adsorpsiyonuna ait izotermier Freundlich, Langmuir ve Temkin izoterm modelleri ile araştırılmıştır. Adsorpsiyon izoterm hesaplamaları için 20 °C 'de, pH 8'de 5, 10, 20, 40 ve 80 mg/L'lik başlangıç boya derişimleri ile yapılan giderim çalışmalara ait veriler kullanılmış ve Çizelge 4.13'de sunulan veriler elde edilmiştir.

Çizelge 4.13. Aktif karbon ile Malachite greenin adsorpsiyonu için elde edilen izoterm eşitlikleri ve sabitleri.

Langmuir İzoterm Eşitliği	R^2	K_L (L/mg)	q_m (mg/g)	
$y= 0,025 x+ 0,056$	0,982	0,45	40,00	
Freundlich İzoterm Eşitliği	R^2	K_F	1/n	n
$y= 0,249 x+ 1,165$	0,955	14,62	0,249	4,02
Temkin İzoterm Eşitliği	R^2	B	A_T	
$y= 3,933x + 19,03$	0,828	3,93	126,75	

Malachite green boyasının aktif karbon yüzeyine adsorpsiyonu ile ilgili olarak izoterm modelleri incelendiğinde Çizelge 4.13'den de görüldüğü gibi tüm izoterm modelleri için korelasyon katsayısı değerleri oldukça yüksek bulunmuştur. Ancak Langmuir izotermine ait korelasyon katsayısının diğer izotermiere ait korelasyon katsayılarından yüksek olması adsorpsiyonun Langmuir izotermine uygun olduğunu göstermektedir. Langmuir izotermi yüzeyin ve yüzeydeki bağlayıcı birimlerin dağılımının homejen olduğunu varsayar (Ren, vd., 2016).

Langmuir izotermi yardımı ile

$$RL = \frac{1}{1 + bC_0}$$

bağıntısı ile verilen ve birimsiz bir sabit olan ayırma faktörü ifade edilebilir. Verilen bağıntıda C_0 başlangıç Malachite green derişimini, b aynı zamanda K_L adsorpsiyon enerjisi ile bağlantılı ve izoterm eşitliğinden hesaplanan Langmuir sabitidir.

Çizelge 4.14. Malachite green sorpsiyonu için elde edilen R_L değerleri.

Derişim, mg/L	<i>Trametes versicolor</i>	Aktif karbon
5	0,866	0,308
10	0,763	0,182
20	0,617	0,100
40	0,446	0,053
80	0,287	0,027

5 mg/L'den 80 mg/L'e kadar hesaplanan R_L faktörlerinin 0 ile 1 arasında değerler alması her iki adsorbent yüzeyindeki sorpsiyon sürecinin elverişli olduğunu göstermektedir (Ren, vd., 2016).

4.5. Kinetik İncelemeleri

Adsorpsiyon ve biyosorpsiyon mekanizmasının incelenmesi, sorpsiyon hızının belirlenmesi ve Malachite greenin adsorpsiyonu için *Trametes versicolor* ve aktif karbon adsorbentlerinin maksimum adsorpsiyon kapasitelerinin hesaplanması için adsorpsiyon kinetikleri araştırılmıştır. Bu amaçla çok iyi bilinen iki kinetik modellemesi; yalancı (Pseudo) birinci dereceden ve yalancı ikinci dereceden kinetik modelleri aşağıda verilen eşitliklere göre analiz edilmiş ve kullanılmıştır.

$$\log(qe - qt) = \log(qe) - \frac{K_1}{2,303} t$$

Yalancı birinci dereceden

$$\frac{t}{qt} = \frac{t}{qe} + \frac{1}{K_2 qe^2}$$

Yalancı ikinci dereceden

4.5.1. Malachite greenin *Trametes versicolor* ve aktif karbon kullanılarak adsorpsiyonunda kinetik incelemeleri

Malachite greenin *Trametes versicolor* ve aktif karbon kullanılarak biyosorpsiyonuna ait kinetikler yukarıda formülleri verilen yalancı birinci ve yalancı ikinci dereceden kinetik modelleri kullanılarak incelenmiştir. *Trametes versicolor* için 20 °C 'de, pH 10'da ve aktif karbon için pH 8'de 5, 10, 20, 40 ve 80 mg/L'lik başlangıç boya derişimleri ile yapılan giderim çalışmalarına ait veriler kullanılmış ve hesaplanan sonuçlar Çizelge 4.15'de sunulmuştur.

Çizelge 4.15. Malachite green sorpsiyonu için elde edilen kinetik verileri.

C ₀ mg/L	q _e deneysel	Yalancı birinci dereceden			Yalancı ikinci dereceden		
		q _e teorik	K ₁	R ²	q _e teorik	K ₂	R ²
<i>Trametes versicolor</i>							
5	3,66	2,16	6,91x10 ⁻³	0,883	3,75	8,08x10 ⁻³	0,999
10	6,24	6,52	2,30x10 ⁻³	0,976	18,18	2,60x10 ⁻⁵	0,109
40	22,04	20,96	2,07x10 ⁻³	0,995	29,41	7,42x10 ⁻⁵	0,997
80	35,94	32,91	2,76x10 ⁻³	0,967	43,48	8,33x10 ⁻⁵	0,990
Aktif karbon							
5	4,99	1,92	8,29x10 ⁻³	0,894	5,05	0,012	0,999
10	9,75	5,89	4,38x10 ⁻³	0,946	10,13	1,65x10 ⁻³	0,999
40	31,23	31,86	7,14x10 ⁻³	0,898	33,44	3,17x10 ⁻⁴	0,989
80	38,36	36,90	6,68x10 ⁻³	0,914	41,32	2,52x10 ⁻⁴	0,993

Çizilen grafikler için elde edilen doğru denkleminde *Trametes versicolor* ile Malachite green boyasının biyosorpsiyonu için kinetik modeller incelendiğinde tüm derişimlerde hem korelasyon katsayılarının yüksek olması hem de teorik olarak hesaplanan q_e değerleri ile deneysel olarak bulunan q_e değerlerinin birbirine yakın olması biyosorpsiyonun yalancı birinci dereceden kinetik model ile uyumlu olduğunu göstermektedir. Aktif karbon ile adsorpsiyonda ise korelasyon katsayıları ve teorik q_e ile deneysel q_e değerlerinin yakınlığı dikkate alındığında adsorpsiyonun yalancı ikinci dereceden model ile uyumlu olduğu görülür (Zhang, vd., 2015).

4.6. Yüzey Aktif Madde Etkisi

Surfaktan olarak da bilinen yüzey aktif maddeler yüzey gerilimini düşüren bileşiklerdir. Yüzey aktif maddeler madencilik ve petrol endüstrisinde ham maddelerin saflaştırılma proseslerinde, kozmetik, ilaç, gıda endüstrisinde kimyasal proseslerde ve tekstil endüstrisinde boyama proseslerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu nedenle boyama atıkları hem yüzey aktif maddeleri hem de boyaları içermektedir. Yüzey aktif maddelerin tek başına boya giderimini gerçekleştirdiği literatürdeki çalışmalarda gösterilmiştir. Her iki yöntemde de katyonik ve anyonik yüzey aktif maddelerin boya giderimine etkisi araştırılmıştır.

4.6.1. *Trametes versicolor* biyosorpsiyonu

Malachite green boyasının sulu ortamdan *Trametes versicolor* fungusundan elde edilen biyokütle ile giderimi üzerine yüzey aktif maddelerin etkisi katyonik ve anyonik yüzey aktif maddeler kullanılarak incelenmiştir. Katyonik yüzey aktif madde olarak DTAB ve HTAB; anyonik yüzey aktif madde olarak da SLS seçilmiştir. Yüzey aktif maddeler varlığında Malachite green için elde edilen yüzde giderim değerleri ve hesaplanan veriler Çizelge 4.16-4.21'de görülmektedir.

Çizelge 4.16. Farklı pH'larda Malachite green boyasının *Trametes versicolor* ile gideriminde DTAB'nin yüzde giderim üzerine etkisi (C_0 : 20 mg/L, M_{DTAB} : 0,5 mM).

Süre t (saat)	% Giderim				
	pH 2	pH 4	pH 6	pH 8	pH 10
0.5	9,50	7,37	8,90	12,74	1,97
1.0	10,09	8,83	12,08	15,06	4,51
2.0	15,85	11,11	12,59	16,22	7,04
4.0	17,34	14,43	16,89	19,21	9,86
6.0	19,10	15,26	18,94	21,33	10,99
8.0	22,13	17,96	20,47	23,65	12,68
24.0	30,07	22,22	29,38	30,60	44,79

Çizelge 4.17. Farklı pH'larda Malachite green boyasının *Trametes versicolor* ile gideriminde DTAB'in biyosorpsiyon kapasitesi (q_e) üzerine etkisi (C_0 : 20 mg/L, M_{DTAB} : 0,5 mM).

Süre t (saat)	Biyosorpsiyon kapasitesi (q_e), mg/g				
	pH 2	pH 4	pH 6	pH 8	pH 10
0.5	1,90	1,47	1,78	2,55	0,39
1.0	2,02	1,77	2,42	3,01	0,90
2.0	3,17	2,22	2,52	3,24	1,41
4.0	3,47	2,89	3,38	3,84	1,97
6.0	3,82	3,05	3,79	4,27	2,20
8.0	4,43	3,59	4,09	4,73	2,54
24.0	6,01	4,44	5,88	6,12	8,96

Çizelge 4.18. Farklı pH'larda Malachite green boyasının *Trametes versicolor* ile gideriminde HTAB'in yüzde giderim üzerine etkisi (C_0 : 20 mg/L, M_{HTAB} : 0,5 mM).

Süre t (saat)	% Giderim				
	pH 2	pH 4	pH 6	pH 8	pH 10
0.5	5,85	3,31	8,08	17,04	0,26
1.0	6,98	7,03	9,33	19,65	3,63
2.0	8,21	9,04	11,15	21,16	6,74
4.0	8,83	9,34	13,17	23,45	7,51
6.0	12,63	10,84	15,00	25,52	12,18
8.0	14,07	13,05	18,27	25,83	13,99
24.0	14,58	17,27	18,65	28,76	36,01

Çizelge 4.19. Farklı pH'larda Malachite green boyasının *Trametes versicolor* ile gideriminde HTAB'in biyosorpsiyon kapasitesi (q_e) üzerine etkisi (C_0 : 20 mg/L, M_{HTAB} : 0,5 mM).

Süre t (saat)	Biyosorpsiyon kapasitesi (q_e), mg/g				
	pH 2	pH 4	pH 6	pH 8	pH 10
0.5	1,17	0,66	1,62	3,41	0,05
1.0	1,40	1,41	1,87	3,93	0,73
2.0	1,64	1,81	2,23	4,23	1,35
4.0	1,77	1,87	2,63	4,69	1,50
6.0	2,53	2,17	3,00	5,10	2,44
8.0	2,81	2,61	3,65	5,17	2,80
24.0	2,92	3,45	3,73	5,75	7,20

Çizelge 4.16 ve Çizelge 4.18'den de görüldüğü gibi katyonik yüzey aktif maddeler olan DTAB ve HTAB tüm pH'larda Malachite green biyosorpsiyonunu azaltmıştır.

Çizelge 4.20. Farklı pH'larda Malachite green boyasının *Trametes versicolor* ile gideriminde SLS'in yüzde giderim üzerine etkisi (C_0 : 20 mg/L, M_{SLS} : 0,5 mM).

Süre t (saat)	% Giderim				
	pH 2	pH 4	pH 6	pH 8	pH 10
24.0	42,76	51,53	45,64	61,55	68,17

Çizelge 4.21. Farklı pH'larda Malachite green boyasının *Trametes versicolor* ile gideriminde SLS'in biyosorpsiyon kapasitesi (q_e) üzerine etkisi (C_0 : 20 mg/L, M_{SLS} : 0,5 mM).

Süre t (saat)	Biyosorpsiyon kapasitesi (q_e), mg/g				
	pH 2	pH 4	pH 6	pH 8	pH 10
24.0	8,55	10,31	9,13	12,31	13,63

4.6.2. Aktif karbon adsorpsiyonu

Malachite green boyasının sulu ortamdan ticari olarak temin edilen aktif karbon ile giderimi üzerine yüzey aktif maddelerin etkisi katyonik ve anyonik yüzey aktif maddeler kullanılarak incelenmiştir. Katyonik yüzey aktif madde olarak DTAB ve HTAB; anyonik yüzey aktif madde olarak da SLS seçilmiştir. Yüzey aktif maddeler varlığında Malachite green için elde edilen yüzde giderim değerleri ve hesaplanan veriler Çizelge 4.22-4.27'de görülmektedir.

Çizelge 4.22. Farklı pH'larda Malachite green boyasının aktif karbon ile gideriminde DTAB'in yüzde giderim üzerine etkisi (C_0 : 20 mg/L, M_{DTAB} : 0,5 mM).

Süre t (saat)	% Giderim				
	pH 2	pH 4	pH 6	pH 8	pH 10
0.5	9,97	20,83	19,87	12,46	33,30
1.0	13,20	26,82	29,44	31,01	32,34
2.0	15,54	30,78	35,78	34,11	42,50
4.0	22,87	46,04	50,42	41,25	59,29
6.0	25,51	55,32	57,10	51,73	64,01
8.0	26,69	60,20	63,16	62,32	67,38
24.0	53,08	71,01	72,29	70,98	76,19

Çizelge 4.23. Farklı pH'larda Malachite green boyasının aktif karbon ile gideriminde DTAB'in adsorpsiyon kapasitesi (q_e) üzerine etkisi (C_0 : 20 mg/L, M_{DTAB} : 0,5 mM).

Süre t (saat)	Biyosorpsiyon kapasitesi (q_e), mg/g				
	pH 2	pH 4	pH 6	pH 8	pH 10
0.5	1,99	4,17	3,97	2,49	6,66
1.0	2,64	5,36	5,89	6,20	6,47
2.0	3,11	6,16	7,16	6,82	8,50
4.0	4,57	9,21	10,08	8,25	11,86
6.0	5,10	11,06	11,42	10,35	12,80
8.0	5,34	12,04	12,63	12,46	13,48
24.0	10,62	14,20	14,46	14,20	15,24

Çizelge 4.24. Farklı pH'larda Malachite green boyasının aktif karbon ile gideriminde HTAB'in yüzde giderim üzerine etkisi (C_0 : 20 mg/L, M_{HTAB} : 0,5 mM).

Süre t (saat)	% Giderim				
	pH 2	pH 4	pH 6	pH 8	pH 10
0.5	5,76	12,77	18,93	21,10	26,46
1.0	8,90	17,11	31,14	41,89	36,80
2.0	11,52	25,83	33,76	57,23	39,51
4.0	18,06	30,93	49,04	60,49	53,55
6.0	22,25	36,09	59,85	66,12	64,41
8.0	26,44	42,18	66,37	66,94	67,01
24.0	46,86	48,27	76,21	71,57	73,77

Çizelge 4.25. Farklı pH'larda Malachite green boyasının aktif karbon ile gideriminde HTAB'in adsorpsiyon kapasitesi (q_e) üzerine etkisi (C_0 : 20 mg/L, M_{HTAB} : 0,5 mM).

Süre t (saat)	Biyosorpsiyon kapasitesi (q_e), mg/g				
	pH 2	pH 4	pH 6	pH 8	pH 10
0.5	1,15	2,55	3,79	4,22	5,29
1.0	1,78	3,42	6,23	8,38	7,36
2.0	2,30	5,17	6,75	11,45	7,90
4.0	3,61	6,19	9,81	12,10	10,71
6.0	4,45	7,22	11,97	13,22	12,88
8.0	5,29	8,44	13,27	13,39	13,40
24.0	9,37	9,65	15,24	14,31	14,75

Çizelge 4.26. Farklı pH'larda Malachite green boyasının aktif karbon ile gideriminde SLS'in yüzde giderim üzerine etkisi (C_0 : 20 mg/L, M_{SLS} : 0,5 mM).

Süre t (saat)	% Giderim				
	pH 2	pH 4	pH 6	pH 8	pH 10
24.0	77,00	79,89	87,31	91,00	84,86

Çizelge 4.27. Farklı pH'larda Malachite green boyasının aktif karbon ile gideriminde SLS'in adsorpsiyon kapasitesi (q_e) üzerine etkisi (C_0 : 20 mg/L, M_{SLS} : 0,5 mM).

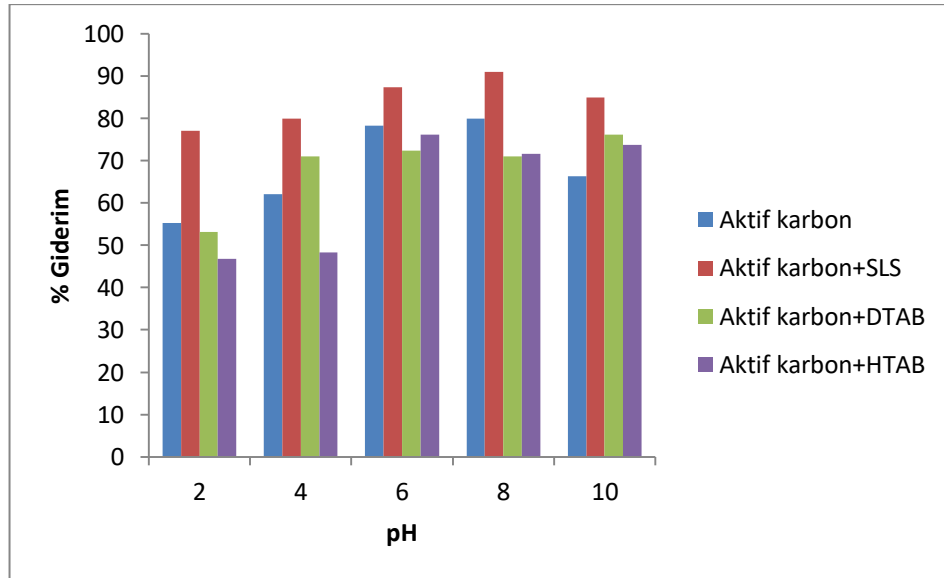
Süre t (saat)	Biyosorpsiyon kapasitesi (q_e), mg/g				
	pH 2	pH 4	pH 6	pH 8	pH 10
24.0	15,40	15,98	17,46	18,20	16,97

Genelde, yüzey aktif maddeler çeşitli malzemelerin yüzey yükü, hidrofilikliği veya hidrofobikliği gibi yüzey özelliklerini modifiye etmek amacıyla kullanılırlar. Böylece, çeşitli maddelerin (özellikle organik bileşiklerin) sorpsiyonu desteklenebilir, veya normalde yüzeyde tutunmayan türlerin yüzeyde tutunurluğunu sağlayabilir. Ayrıca, iyonik yüzey aktif maddeler çeşitli yüzeylerde inorganik iyonların sorpsiyonunu önemli derecede etkiler. Bununla birlikte, sorpsiyon prosesi boyunca bir kaç eş zamanlı ve yarışmalı mekanizma birlikte gerçekleştiği için sorpsiyon üzerine yüzey aktif maddelerin etkisinin tahmin edilmesi kolay değildir (Janos ve Smidova, 2005).

Belirtilen katyonik ve anyonik yüzey aktif maddelerin Malachite green giderimi üzerine etkisi karşılaştırılmalı olarak Çizelge 4.28 ve Çizelge 4.29'da verilmektedir.

Çizelge 4.28. 20 mg/L'lik başlangıç derişiminde Malachite greenin aktif karbon ile adsorpsiyonu üzerine 0,5 mM yüzey aktif madde etkisi (T: 20°C; Karıştırma hızı: 100 rpm).

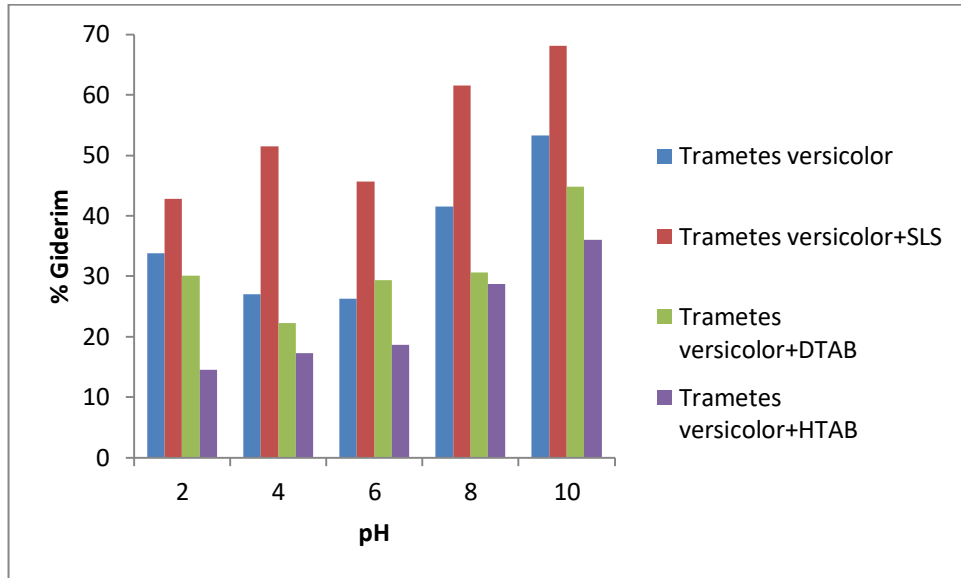
	% Giderim				
	pH 2	pH 4	pH 6	pH 8	pH 10
Aktif karbon	55,24	62,01	78,29	79,92	66,26
Aktif karbon +SLS	77,00	79,89	87,31	91,00	84,86
Aktif karbon +DTAB	53,08	71,01	72,29	70,98	76,19
Aktif karbon +HTAB	46,86	48,27	76,21	71,57	73,77



Şekil 4.9. 20 mg/L'lik başlangıç derişiminde Malachite greenin aktif karbon ile adsorpsiyonu üzerine 0,5 mM yüzey aktif madde etkisi (T: 20 °C; Karıştırma hızı: 100 rpm).

Çizelge 4.29. 20 mg/L'lik başlangıç derişiminde Malachite greenin *Trametes versicolor* ile biyosorpsiyonu üzerine 0,5 mM yüzey aktif madde etkisi (T: 20°C; Karıştırma hızı: 100 rpm).

	% Giderim				
	pH 2	pH 4	pH 6	pH 8	pH 10
<i>Trametes versicolor</i>	33,85	26,98	26,30	41,55	53,30
<i>Trametes versicolor</i> +SLS	42,76	51,53	45,64	61,55	68,17
<i>Trametes versicolor</i> +DTAB	30,07	22,22	29,38	30,60	44,79
<i>Trametes versicolor</i> +HTAB	14,58	17,27	18,65	28,76	36,01



Şekil 4.10. 20 mg/L'lik başlangıç derişiminde Malachite greenin *Trametes versicolor* ile biyosorpsiyonu üzerine 0,5 mM yüzey aktif madde etkisi (T: 20 °C; Karıştırma hızı: 100 rpm).

Çizelge 4.28 ve Çizelge 4.29 *Trametes versicolor* ve aktif karbon kullanılarak malachite green giderimi üzerine anyonik va katyonik yüzey aktif madde varlığının etkisini göstermektedir. Çizelgeler incelendiğinde çözeltide katyonik yüzey aktif madde varlığında katyonik bir boya olan Malachite greene ait yüzde giderim değerlerinin tüm pH'larda azaldığı görülmektedir. Ancak anyonik yüzey aktif madde olan SLS varlığında ise tüm pH'larda Malachite green boyasına ait yüzde giderim değerlerinde bir artış görülmektedir.

Malachite green giderimi üzerine SLS yüzey aktif madde derişiminin etkisi araştırılmış ve sonuçlar Çizelge 4.30'da verilmiştir.

Çizelge 4.30. 20 mg/L'lik başlangıç derişiminde Malachite greenin *Trametes versicolor* ve aktif karbon ile sorpsiyonu üzerine yüzey aktif madde derişiminin etkisi (T: 20 °C; Karıştırma hızı: 100 rpm).

<i>Trametes versicolor</i>	% Giderim				
	pH 2	pH 4	pH 6	pH 8	pH 10
0,25 mM	36,23	39,26	41,23	55,26	63,25
0,50 mM	42,76	51,53	45,64	61,55	68,17
0,75 mM	37,42	46,40	39,24	56,84	64,46
Aktif karbon					
0,25 mM	69,48	73,36	83,28	85,47	79,38
0,50 mM	77,00	79,89	87,31	91,00	84,86
0,75 mM	71,63	72,46	79,39	84,85	81,27

Düşük SDS (SLS) derişimlerinde, boya sorpsiyonu artan yüzey aktif madde derişimi ile birlikte artmıştır. Diğer taraftan yüksek SDS derişimlerinde boya sorpsiyonu misel oluşumu ve boya çözünürlüğünün bir sonucu olarak azalmıştır. Sonuçlar literatür ile uyumludur (Janos ve Smidova, 2005).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Katyonik bir boya olan Malachite greenin sulu ortamlardan uzaklaştırılmasında ticari ve doğal adsorbentlerin ve yüzey aktif madde varlığının etkisinin araştırılması için kesikli adsorpsiyon sistemi kullanılmış ve deneyler sıcaklığı kontrol edilebilen bir su banyosunda gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon/Biyosorpsiyon süreci için optimum pH ve dengeye gelme süresi belirlendikten sonra Malachite green giderimi üzerine biyosorbent dozunun etkisi araştırılmıştır. Boyaların giderimi üzerine yüzey aktif madde varlığının etkisi de araştırılmış ve bu kapsamda anyonik bir yüzey aktif madde olan sodyum lauril sülfat ile katyonik yüzey aktif maddeler dodesil trimetil amonyum bromür ve heksametil trimetil amonyum bromür etkisi incelenmiş ve sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

- Boya içeren atık sular alıcı ortamlara farklı pH'larda deşarj edilirler. Bu nedenle Malachite green giderimi üzerine pH etkisinin incelenmesi önemlidir. Çünkü çözelti pH'ı adsorbentın yüzey yükünü ve adsorbatın iyonlaşma derecesini etkiler ve adsorpsiyon prosesini etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Biyosorbent olarak *Trametes versicolor* ölü fungusunun kullanıldığı çalışmalarda çözelti pH'sının artması ile birlikte yüzde giderim değerlerinde pH 2'den pH 10'a kadar bir artış görülmektedir. En yüksek biyosorpsiyon kapasitesi ve yüzde giderim değerlerine sırası ile 10,66 mg/g ve %53,30 olacak şekilde pH 10'da ulaşılmıştır. Adsorbent olarak aktif karbonun kullanıldığı çalışmalar da ise en yüksek giderim değerlerine pH'de ulaşılmış ve %79,91 oranında bir yüzde giderim değeri elde edilmiş, adsorpsiyon kapasitesi ise 15,98 mg/g olarak hesaplanmıştır. Bu durum yüksek pH değerlerinde adsorbent yüzeyinin negatif yük ile yüklenmesi ve de katyonik boya molekülü ile negatif yüklü adsorbent arasındaki çekim kuvvetinden dolayı Malachite green adsorpsiyonunun artması ile açıklanabilir. Düşük pH değerlerinde ise, adsorbent yüzeyi pozitif yük ile yüklendiğinden dolayı katyonik Malachite green molekülü ve katyonik adsorbent yüzeyi arasındaki elektrostatik itmeden dolayı Malachite green adsorpsiyonu düşük değerlerdedir (Geçgel, vd., 2013).

- Gerçekleştirilen tez çalışmasında pH 2'den pH 10'a kadar yapılan tüm çalışmalarda Malachite green biyosorpsiyonu ve adsorpsiyonu için dengeye gelme süresi 24 saat olarak görülmüştür. Daha uzun temas sürelerinde *Trametes versicolor* biyokütlesinin ve aktif karbon adsorbentinin adsorplanan boyayı geri salmasından dolayı yüzde giderim ve adsorpsiyon kapasitesi değerlerinde bir düşüş gözlenmektedir. Bu durum adsorpsiyonun başlangıç basamağında adsorbent yüzeyinde çok sayıda aktif bağlayıcı birimin bulunması zaman geçtikten sonra ise katı yüzeyi üzerindeki moleküller arası itme kuvvetlerinden dolayı serbest bağlayıcı birimlere kolaylıkla ulaşılmasından kaynaklanabilir (Nadaroğlu, vd., 2017).
- Farklı adsorbent miktarları denendiğinde adsorbent miktarındaki artış ile beraber yüzde giderim değerlerinde önemli artışlar elde edilmiştir. Ancak adsorbent miktarı 2.0 g/L'nin üzerine çıkarıldığında yüzde giderim değerleri azalmaya başlamıştır. Malachite green boyasına ait yüzde giderim değerlerindeki artış adsorbent miktarının artması ile *Trametes versicolor* ve aktif karbon yüzeyindeki bağlayıcı sorpsiyon birimlerinin artması ile açıklanabilir. Daha yüksek değerlerdeki adsorbent miktarında yüzde giderim değerlerinin azalması ise yüksek adsorbent derişiminin etkin adsorpsiyon alanını azaltması ile açıklanabilir (Kumar, vd., 2016). Etkin adsorbent yüzeyinin azalma nedeni ise yüksek adsorbent derişimlerinde adsorpsiyon birimlerinin üst üste örtüşmesi ve aktif bağlayıcı birimlerin azalması olarak açıklanabilir (Nguyen, vd., 2013).
- *Trametes versicolor* fungusunun kullanıldığı çalışmalarda başlangıç boya derişimi 5 mg/L'den 80 mg/L'e kadar arttıkça yüzde giderim değerleri %73,18'den %44,93'e kadar azalmaktadır. Biyosorpsiyon kapasitesi ise artan boya derişimi ile birlikte 3,66'dan 35,94 mg/g'a kadar artmaktadır. Bu durum adsorbent yakınında daha fazla adsorblanacak boya molekülünün bulunması ve adsorpsiyon desorpsiyon dengesine ulaşmadan önce kütle transferinin yüksek olmasından kaynaklanabilir (Saber-Samandari, vd., 2017). Benzer sonuçlar aktif karbon adsorbentinin kullanıldığı çalışmalarda da elde edilmiştir.

- *Trametes versicolor* ile Malachite greenin Freundlich, Langmuir ve Temkin modellerine göre elde edilen izoterm grafiklerine ait korelasyon katsayıları incelendiğinde Freundlich izoterm eşitliğine ait olan korelasyon katsayısı oldukça yüksek (0,984) ve 1,0'e yakın bulunmuştur. Dolayısı ile *Trametes versicolor* yüzeyine Malachite green boyasının biyosorpsiyonu Freundlich izotermine uymaktadır. Freundlich modeli heterojen yüzeyler üzerindeki adsorpsiyonu temel alır. Bu modele göre *Trametes versicolor* yüzeyi heterojendir ve biyosorpsiyonun gerçekleştiği bağlayıcı birimler farklı enerji düzeylerine sahiptir (Geçgel, vd., 2013). Ayrıca $1/n$ değerinin 0 ile 1 arasında 0,675 olarak çıkması *Trametes versicolor* yüzeyinde Malachite green biyosorpsiyonunun elverişli olduğunu göstergesidir (Subbaiah ve Kim, 2016).
- Malachite green boyasının aktif karbon yüzeyine adsorpsiyonu ile ilgili olarak izoterm modelleri incelendiğinde Çizelge 4.13'den de görüldüğü gibi tüm izoterm modelleri için korelasyon katsayısı değerleri oldukça yüksek bulunmuştur. Ancak Langmuir izotermine ait korelasyon katsayısının diğer izotermelere ait korelasyon katsayılarından yüksek olması adsorpsiyonun Langmuir izotermine uygun olduğunu göstermektedir. Langmuir izotermi yüzeyin ve yüzeydeki bağlayıcı birimlerin dağılımının homojen olduğunu varsayar (Ren, vd., 2016). Elde edilen izoterm sonuçları literatürde yer alan çalışmalar ile de uyum göstermektedir (Ren, vd., 2016).
- *Trametes versicolor* ile Malachite green boyasının biyosorpsiyonu için kinetik modeller incelendiğinde tüm derişimlerde hem korelasyon katsayılarının yüksek olması hem de teorik olarak hesaplanan q_e değerleri ile deneysel olarak bulunan q_e değerlerinin birbirine yakın olması biyosorpsiyonun yalancı birinciden kinetik model ile uyumlu olduğunu göstermektedir. Elde edilen kinetik çalışmasına ait sonuçlar literatürde yer alan çalışmalar ile uyumludur (Gong, vd., 2006 ve Garg, vd., 2004). Aktif karbon ile adsorpsiyonda ise korelasyon katsayıları ve teorik q_e ile deneysel q_e değerlerinin yakınlığı dikkate alındığında adsorpsiyonun yalancı ikinciden model ile uyumlu olduğu görülür (Zhang, vd., 2015).

- Çizelge 4.28 ve Çizelge 4.29 *Trametes versicolor* ve aktif karbon kullanılarak malachite green giderimi üzerine anyonik ve katyonik yüzey aktif madde varlığının etkisini göstermektedir. Çizelgeler incelendiğinde çözeltilerde katyonik yüzey aktif madde varlığında katyonik bir boya olan Malachite green'e ait yüzde giderim değerlerinin tüm pH'larda azaldığı görülmektedir. Ancak anyonik yüzey aktif madde olan SLS varlığında ise tüm pH'larda Malachite green boyasına ait yüzde giderim değerlerinde bir artış görülmektedir.
- Malachite green giderimi üzerine SLS yüzey aktif madde derişiminin etkisi araştırılmış ve sonuçlar Çizelge 4.30'da verilmiştir. Düşük SDS (SLS) derişimlerinde, boya sorpsiyonu artan yüzey aktif madde derişimi ile birlikte artmıştır. Diğer taraftan yüksek SDS derişimlerinde boya sorpsiyonu misel oluşumu ve boya çözünürlüğünün bir sonucu olarak azalmıştır. Sonuçlar literatür ile uyumludur (Janos ve Smidova, 2005).

Biyosorpsiyon süreçleri üzerine çok sayıda laboratuvar çalışması yapılmış olsa da, bu teknolojinin ticarileştirilebilmesi için hala bazı sorunların çözülebilmesi gereklidir. Bu nedenle endüstriyel talepleri karşılayabilmek için daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir. Buna dayanarak, aşağıdaki perspektifler oluşturulabilir;

- Çok sayıda biyosorbent mevcut olmasına rağmen, daha etkin, ekonomik ve seçici sorbentlerin hazırlanması önemlidir.
- Tek sorbat içeren sistemlerdeki biyosorpsiyon prosesleri için bir dizi matematiksel model kullanılmaktadır, ancak birden fazla sorbat içeren sistemler için yeni, geliştirilmiş ve basitleştirilmiş matematiksel modellerin tanımlanması gereklidir.
- Biyosorpsiyon işleminde en etkili sonucu elde etmek için biyosorbent türüne de bağlı olarak biyosorpsiyon mekanizmasının tanımlanması önemlidir.
- Biyosorpsiyon ile ilgili çok sayıda patent ve bilimsel yayın bulunmasına rağmen, çoğu laboratuvar ölçekli olan bu çalışmaların ticarileştirilmelidir.

- Endüstriyel ölçekte biyosorpsiyon teknolojisinin uygulanabilmesi için, çok büyük miktarlardaki atık suların arıtımı hakkında ekonomik analizler yapılmalıdır.
- Karışımlardan (örneğin protein, steroid vs.) biyomoleküllerin (örneğin ilaç etken maddeleri vs.) ayrılması, saflaştırılması ve geri kazanımı açısından biyosorpsiyon teknolojilerinin uygulanabilirliğine dikkat çekilmelidir.
- Düşük derişimlerde analitlerin ön zenginleştirilmesi analitik kimya açısından en önemli konulardan biridir. Bu açıdan düşük maliyetli biyosorbentlerin kullanıldığı biyosorpsiyon teknolojisi bu alandaki çalışmalarda kullanılabilir ve teşvik edilmelidir.

KAYNAKLAR

- Asfaram, A., Ghaedi, M., Ghezelbash G. R., Dil, A., Tyagi, I., Agarwal, S., Gupta, V.K., "Biosorption of Malachite green by novel biosorbent *Yarrowia lipolytica* isf7: Application of response surface methodology", *Journal of Molecular Liquids*, 214: 249-258 (2016).
- Asgarzadeh, S., Rostamian, R., Faez, E., Maleki, A., "Biosorption of Pb(II), Cu(II), and Ni(II) ions onto novel lowcost *P. eldarica* leaves-based biosorbent: isotherm, kinetics, and operational parameters investigation", *Desalination and Water Treatment*, DOI: 10.1080/19443994.2015.1067831(2016).
- Garg, V.K., Kumar, R., Gupta, R., "Removal of Malachite green dye from aqueous solution by adsorption using agro-industry waste: a case study of *Prosopis cineraria*", *Dyes and Pigments*, 62(1): 1-10(2004).
- Geçgel, Ü., Özcan, G., Gürpınar, G.Ç., "Removal of methylene blue from aqueous solution by activated carbon prepared from pea shells (*Pisum sativum*)", *Journal of Chemistry*, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/614083>.
- Gong, R., Jin, Y., Chen, F., Chen, J., Zhili, L., "Enhanced Malachite green removal from aqueous solution by citric acid modified rice straw", *Journal of Hazardous Materials*, 137(2): 865-870 (2006).
- Holkar, C.R., Jadhav, A.J. Pinjari, D.V., Mahamuni, N.M., Pandit, A.B., "A critical review on textile wastewater treatments: Possible approaches", *Journal of Environmental Management*, 182: 351-366 (2016).
- Holmberg, K., Jönsson, B., Kronberg, B., Lindman, B., "Surfactants and polymers in aqueous solution " *2nd edition. John Wiley & Sons Ltd*, 259, İngiltere. 2002.
- Janos, P., Smidova, V., "Effects of surfactants on the adsorptive removal of basic dyes from water using an organomineral sorbent-iron humate", *Journal of Colloid and Interface Science*, 291:19-27 (2005).

KAYNAKLAR (*Devam ediyor*)

- Kumar, B., Smita, K., Sanchez, E., Stael, C., Cumbal, L., “*Andean Sacha inchi* (Plukenetia volubilis L.) shell biomass as new biosorbents for Pb²⁺ and Cu²⁺ ions”, *Ecological Engineering*, 93:152-158 (2016).
- Michalak, I., Chojnacka, K., Witek-Krowiak, A., “State of the Art for the biosorption process- a review”, *Applied Biochemical Biotechnology*, 170: 1389-1416 (2013).
- Nadaroğlu H., Çiçek S., Güngör A.A., “Removing Trypan blue dye using nano-Zn modified Luffa sponge”, *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 172:2-8 (2017).
- Nguyen, T.A.H., Ngo, H.H., Guo, W.S., Zhang, J., Liang, S., Yue, Q.Y., Li, Q., Nguyen, T.V., “Applicability of agricultural waste and by-products for adsorptive removal of heavy metals from wastewater”, *Bioresource Technology*, 148: 574-585 (2013).
- Ren, H., Zhang, R., Wang, Q., Pan, H., Wang Y., “Garlic root biomass as novel biosorbents for Malachite green removal: parameter optimization, process kinetics and toxicity test”, *Chem. Res. Chin. Univ.*, 32:647-654 (2016).
- Saber-Samandari, S., Saber-Samandari, S., Joneidi-Yekta, H., Mohseni, M., “Adsorption of anionic and cationic dyes from aqueous solution using gelatin-based magnetic nanocomposite beads comprising carboxylic acid functionalized carbon nanotube”, *Chemical Engineering Journal*, 308:1133-1144 (2017).
- Santhosh, C., Velmurugan, V., Jacob, G., Jeong, S.K., Grace, A.N., Bhatnagar, A., “Role of nanomaterials in water treatment applications: A review”, *Chemical Engineering Journal*, 306: 1116-1137 (2016).
- Satyanarayana, T., Johri, B.N., Prakash, A., “Microorganisms in Environmental Management, Microbes and Environment”, *Springer* Dordrecht Heidelberg, London, Newyork, (2012).
- Selvanathan, N., Subki, N.S., Sulaiman, M.A., “Dye Adsorbent by activated carbon”, *Journal of Tropical Resources ans Sustainable Science*, 3: 169-173(2015).

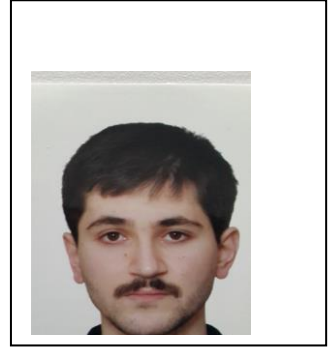
KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Subbiah, M.V., Kim, D.S., “Adsorption of methyl orange from aqueous solution by aminated pumpkin seed powder: Kinetics, isotherms, and thermodynamic studies”, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 128: 109-117(2016).
- Sultan, M., Tahir, H., Ahmed, K., Jahanzeb, Q., “The kinetic study of the reduction of fast green dye with cetylpyridinium chloride as cationic surfactant”, *Frontiers of Chemistry in China*, 6(2): 105-112 (2011).
- Wang, J., Chen, C., “Biosorbents for heavy metals removal and their future”, *Biotechnology Advances*, 27: 195-226 (2009).
- Eastoe, J., “Surfactant chemistry and general phase behaviour., www.chm.bris.ac.uk/eastoe/Surf_Chem/., 28.12.2016 .
- Veglio, F. and Beolchini, F., “Removal of metals by biosorption: a review”, *Hydrometallurgy*, 44: 301-316 (2009).
- Yusoff, S.N.M., Kamari, A., Putra, W.P., Ishak, C.F., Mohamed, A., Hashim, N., Isa, I.M., “Removal of Cu(II), Pb(II) and Zn(II) ions from aqueous solutions using selected agricultural wastes: adsorption and characterisation studies”, *Journal of Environmental Protection*, 5:289-300 (2014).
- Zaib, M., Athar, M.M., Saeed, A. and Farooq, U., “Electrochemical determination of inorganic mercury and arsenic-A review”, *Biosensors and Bioelectronics*, 74: 895-908 (2015).
- Zhang, Z., Shi, D., Ding, H., Zheng, H., Chen, H., “Biosorption characteristics of 1,8-dihydroxy anthraquinone onto *Aspergillus oryzae* CGMCC5992 biomass”, *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 12: 3351-3362 (2015).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Muhammet Nuri ŞAHİN
Doğum Yeri ve Tarihi : Bilecik- 20/05/1988



Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Gazi Eğitim Fakültesi Kimya Öğretmenliği
Bildiği Yabancı Diller: İngilizce
Bilimsel Faaliyetleri :

İş Deneyimi

Stajlar :
Projeler :
Çalıştığı Kurumlar :

İletişim

Adres : Merkez/Bilecik
Tel : 0 542 6137441
E-Posta Adresi : nuri.sahin1988@hotmail.com

Akademik Çalışmaları

-.....
-.....

Yabancı Dil Bilgisi

Tarih:19/01/2017