



ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ**

Fen Bilimleri Enstitüsü

Kimya Anabilim Dalı

**FARKLI ADSORBANLAR KULLANILARAK ATIK
SULARDAN REAKTİF BOYALARIN GİDERİMİNDE
ADSORPSİYON KOŞULLARININ ARAŞTIRILMASI**

Gülseren ÖZTÜRK

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üye. Hülya SİLAH

BİLECİK, 2018

Ref.No: 10186051



ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ**

Fen Bilimleri Enstitüsü

Kimya Anabilim Dalı

**FARKLI ADSORBANLAR KULLANILARAK ATIK
SULARDAN REAKTİF BOYALARIN GİDERİMİNDE
ADSORPSİYON KOŞULLARININ ARAŞTIRILMASI**

Gülseren ÖZTÜRK

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üye. Hülya SİLAH

BİLECİK, 2018

Bu tez, 1649B021509094 başvuru numaralı TÜBİTAK bursu ile desteklenmiştir.



ANADOLU UNIVERSITY



**BILECIK SEYH EDEBALI
UNIVERSITY**

Graduate School of Sciences

Department of Chemistry

**INVESTIGATION OF ADSORPTION CONDITIONS FOR
REMOVAL OF REACTIVE DYES FROM WASTE WATER
USING BY DIFFERENT ADSORBENTS**

Gülseren ÖZTÜRK

Master's Thesis

Thesis Advisor

Assist. Prof. Dr. Hülya SİLAH

BILECIK, 2018



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS

JÜRİ ONAY FORMU

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 07/03/2018 tarih ve 17 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 22/03/2018 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Gülseren ÖZTÜRK'ün "*Farklı Adsorbanlar Kullanılarak Atık Sulardan Reaktif Boyaların Gideriminde Adsorpsiyon Koşullarının Araştırılması*" başlıklı tez çalışması Kimya Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/ oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

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

ÜYE : Dr. Öğr. Üye. Halil BERBER

ÜYE : Dr. Öğr. Üye. Murat TUNA

ONAY

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

İMZA/ MÜHÜR

TEŞEKKÜR

Lisans ve Yüksek Lisans eğitimim boyunca gerek tecrübelerinden, gerekse bilgi birikiminden yararlandığım; tez çalışması sırasında beni yönlendiren ve hiçbir desteğini esirgemeyen değerli Danışmanım Dr. Öğr. Üye. Hülya SİLAH'a;

Tez çalışmama sağlamış olduğu katkılardan dolayı Dr. Öğr. Üye. Zerrin PAT'a;

Tez yazım aşamasında benden desteğini esirgemeyen dostum İrem OKLU'ya, değerli arkadaşım Emre Can DAMAK'a ve yanımda olan arkadaşlarıma;

Sevgisiyle güçlenip bugünlere gelmeme yardımcı olan merhume annem Güler ÖZEN'e, maddi manevi her zaman yanımda olan aileme ve sevgili eşime;

Çalışmalarım sırasında Öncelikli Alanlar Programından almış olduğum 1649B021509094 başvuru numaralı burs desteğinden ötürü TÜBİTAK'a; desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

ÖZET

Remazol Brilliant Blue R boyasının sulu ortamdan giderimi Amberlyst A21 ve aseton ile modifiye edilmiş aktif karbon kullanılarak adsorpsiyon yöntemi ile gerçekleştirildi. Tez çalışması kapsamında ilk olarak pH ve temas süresinin Remazol Brilliant Blue R giderimi üzerine etkisi araştırıldı. Elde edilen veriler Remazol Brilliant Blue R boyasının Amberlyst A21 ve aseton ile modifiye edilmiş aktif karbon tarafından etkin bir şekilde giderildiğini göstermektedir ve 100 ppm’lik başlangıç Remazol Brilliant Blue R derişiminde, pH 2 ve 150 dakikalık temas süresinde en yüksek yüzde giderim değeri Amberlyst A21 adsorbenti için % 89,23 olarak elde edilmiştir. Başlangıç boya derişimi çalışmalarından elde edilen veriler Langmuir, Freundlich ve Temkin izoterm modellerine göre hesaplanmıştır. Kinetik incelemeler yalancı birinci dereceden, yalancı ikinci dereceden ve parçacık içi difüzyon modelleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan tez çalışması sonucunda Amberlyst A21 ve aseton ile modifiye edilmiş aktif karbon yüzeyinde Remazol Brilliant Blue R boyasının adsorpsiyonunun Langmuir izoterm modeli ve yalancı birinci dereceden kinetik ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Adsorpsiyon, Remazol Brilliant Blue R, Amberlyst A21, Modifiye Aktif Karbon

ABSTRACT

Removal of Remazol Brilliant Blue R dye from aqueous solutions were performed with adsorption techniques using by Amberlyst A21 and modified activated carbon with acetone. In this thesis study, effects of pH and contact time on removal of Remazol Brilliant Blue R were investigated. The obtained data shown that Remazol Brilliant Blue R were removed effectively by Amberlyst A21 and modified activated carbon with acetone and the maximum removal percentage were 89.23 %; at initial Remazol Brilliant Blue R concentration of 100 ppm, pH 2 and contact time of 150 minute. The obtained data from initial dye concentration studies were calculated according to Langmuir, Freundlich and Temkin isotherm models. The kinetic investigations were carried out using by pseudo first order, pseudo second order and intra particle diffusion kinetic models. As a result of thesis study; adsorption of Remazol Brilliant Blue R on Amberlyst A21 and modified activated carbon with acetone surface obey with Langmuir isotherm model and pseudo first order kinetic model.

Key Words: Adsorption, Remazol Brilliant Blue R, Amberlyst A21, Modified Activated Carbon

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

JÜRİ ONAY SAYFASI

TEŞEKKÜR

ÖZET..... VI

ABSTRACT VII

İÇİNDEKİLER VIII

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ XI

ÇİZELGELER DİZİNİ XIII

ŞEKİLLER DİZİNİ XV

GİRİŞ 1

1. GENEL BİLGİ..... 3

1.1. Boya ve Boyar Maddeler..... 4

1.1.1. Boya 4

1.1.2. Doğal boyalar 6

1.1.3. Sentetik boyalar 8

1.2. Atık Su..... 10

1.2.1. Atık suların arıtılması 10

1.3. Remazol Brilliant Blue R 14

1.4. Adsorpsiyon..... 15

1.4.1. Adsorpsiyonu etkileyen faktörler..... 17

1.4.1.1. Adsorpsiyona pH'ın etkisi 17

1.4.1.2. Adsorpsiyona yüzey alanının etkisi 17

1.4.1.3. Adsorpsiyona sıcaklığın etkisi 17

1.4.1.4. Adsorpsiyona yüzey yükünün etkisi 18

1.4.1.5. Adsorpsiyona adsorban dozunun etkisi..... 18

1.4.1.6. Adsorpsiyona başlangıç boya konsantrasyonunun etkisi ve temas süresi	18
1.4.2. Adsorpsiyon izotermi.....	19
1.4.2.1. Langmuir izotermi.....	19
1.4.2.2. Freundlich izotermi	20
1.4.2.3. Temkin izotermi	20
1.4.3. Adsorpsiyon kinetiği.....	21
1.4.3.1. Yalancı birinci dereceden kinetik model.....	21
1.4.3.2. Yalancı ikinci dereceden kinetik model	22
1.4.3.3. Parçacık içi difüzyon modeli.....	22
1.4.4. Adsorpsiyon termodinamiği	22
1.4.5. Adsorbentler.....	23
1.4.5.1. Aktif Karbon	24
1.4.5.2. Amberlyst A21	25
1.5. Literatür Özeti	26
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	30
2.1. Kullanılan Adsorbent Maddelerin Hazırlanması.....	30
2.1.1. Amberlyst A21'in hazırlanması.....	30
2.1.2. Aktif karbonun hazırlanması	30
2.1.3. Aseton ile modifiye edilmiş aktif karbon (Aseton-MAK)'un hazırlanması ..	30
2.1.4. Dodesiltrimetilamonyum bromür ile modifiye edilmiş aktif karbon (DTAB-MAK)'un hazırlanması	30
2.1.5. Heksadesiltrimetil amonyum bromür ile modifiye edilmiş aktif karbon (HTMA-MAK)'un hazırlanması.....	30
2.2. Remazol Brilliant Blue R Çözeltisinin Hazırlanması.....	31
2.3. Deneyisel Çalışmalarda Kullanılan Cihazlar.....	31
2.4. Deneyisel Yöntem	32

3. DENEYSEL BULGULAR	33
3.1. Remazol Brilliant Blue R'nin Spektrofotometrik Tayini	33
3.2. RBBR'nin Adsorpsiyonu Üzerine pH ve Temas Süresinin Etkisi	34
3.3. RBBR'nin Adsorpsiyonu Üzerine Adsorbent Miktarının Etkisi.....	40
3.3.1. RBBR'nin Amberlyst A21 yüzeyine adsorpsiyonu üzerine adsorbent miktarının etkisi	40
3.3.2. RBBR'nin Aseton-MAK Yüzeyine adsorpsiyonu üzerine adsorbent miktarının etkisi	41
3.4. RBBR'nin Giderimi Üzerine Başlangıç Derişiminin Etkisi.....	42
3.4.1. İzoterm incelemeleri	44
3.4.2. Kinetik incelemeler.....	51
KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ	

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_0	Başlangıç RBBR derişimi
C_e	Adsorpsiyon sonrası çözeltide kalan madde RBBR derişimi
dak	Dakika
% G	% Giderim
ΔG	Serbest enerji değışimi (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 değışimi
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
ppm	Toplam madde miktarının milyonda biri
R	İdeal gaz sabiti (8,314 J/molK)
R_L	Boyutsuz ayırma faktörü

t	Zaman
T	Mutlak sıcaklık
ΔS	Entropi değişimi
V	Çözelti hacmi

Kısaltmalar	Açıklama
AK	Aktif karbon
Aseton-MAK	Aseton ile modifiye edilmiş aktif karbon
DTAB	Dodesiltrimetilamonyum bromür
DTAB-MAK	Dodesiltrimetilamonyum bromür ile modifiye edilmiş aktif karbon
EC	Elektrokinetik koagülasyon
HTMA	Heksadesiltrimetilamonyum bromür
HTMA-MAK	Heksadesiltrimetilamonyum bromür ile modifiye edilmiş aktif karbon
RBBR	Remazol Brilliant Blue R
WHO	Dünya Sağlık Örgütü
UV-Vis	UV-Görünür bölge

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Boyaların teknik sınıflandırılması.	5
Çizelge 1.2. Tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bazı doğal kaynaklı boyalar.	7
Çizelge 1.3. Sentetik boyaların sınıflandırılması ve uygulama alanları.	9
Çizelge 3.1. Remazol Brilliant Blue R'nin Amberlyst A21 yüzeyine adsorpsiyonunda yüzde giderim değerlerinin çözelti pH'ı ile değişimi.....	35
Çizelge 3.2. RBBR'nin aktif karbon yüzeyine adsorpsiyonunda yüzde giderim değerlerinin çözelti pH'ı ile değişimi.....	37
Çizelge 3.3. RBBR'nin adsorpsiyonunda aktif karbon modifikasyonunun yüzde giderim değerleri üzerine etkisi	38
Çizelge 3.4. RBBR'nin Aseton-MAK yüzeyine adsorpsiyonunda yüzde giderim değerlerinin çözelti pH'ı ile değişimi.....	39
Çizelge 3.5. Remazol Brilliant Blue R'nin yüzde giderim değerlerinin Amberlyst A21 miktarı ile değişimi	40
Çizelge 3.6. RBBR'nin Amberlyst A21 üzerine adsorpsiyonunda başlangıç boya derişiminin q_e ve yüzde giderim değerleri üzerine etkisi	43
Çizelge 3.7. RBBR'nin Aseton-MAK üzerine adsorpsiyonunda başlangıç boya derişiminin q_e ve yüzde giderim değerleri üzerine etkisi	43
Çizelge 3.8. RBBR'nin Amberlyst A21 üzerine adsorpsiyonu için elde edilen Langmuir izoterm sabitleri.....	45
Çizelge 3.9. RBBR'nin Amberlyst A21 üzerine adsorpsiyonu için Freundlich izoterm eşitliği ve izoterm sabitleri.	46
Çizelge 3.10. RBBR'nin Amberlyst A21 ile adsorpsiyonu için Temkin izoterm eşitliği ve izoterm sabitleri.....	47
Çizelge 3.11. RBBR'nin Aseton-MAK üzerine adsorpsiyonu için elde edilen Langmuir izoterm sabitleri.....	47
Çizelge 3.12. RBBR'nin Aseton-MAK üzerine adsorpsiyonu için Freundlich izoterm eşitliği ve izoterm sabitleri.	48

Çizelge 3.13. RBBR'nin Aseton-MAK ile adsorpsiyonu için Temkin izoterm eşitliği ve izoterm sabitleri.....	48
Çizelge 3.14. Amberlyst A21 ve Aseton-MAK ile RBBR giderimi için farklı başlangıç derişimlerinde hesaplanan R_L değerleri.	50
Çizelge 3.15. Amberlyst A21 ile RBBR'nin adsorpsiyonu için elde edilen kinetik eşitlikleri ve sabitleri.....	52
Çizelge 3.16. Amberlyst A21 ile RBBR'nin adsorpsiyonu için elde edilen kinetik eşitlikleri ve sabitleri.....	53



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1 Çeşitli çevresel kirleticiler	3
Şekil 2.1. Tez çalışmasında kullanılan UV-Vis spektrofotometre.....	31
Şekil 2.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan çok noktalı manyetik karıştırıcı.	32
Şekil 3.1. Remazol Brilliant Blue R için UV-Vis spektrumu.	33
Şekil 3.2. Amberlyst A21 adsorbentinin A) adsorpsiyondan önceki B) RBBR adsorpsiyonundan sonraki görünümü.	35
Şekil 3.3. Amberlyst A21 ile Remazol Brilliant Blue R'nin % giderimi üzerine pH etkisi	35
Şekil 3.4. Aktif karbon ile Remazol Brilliant Blue R'nin % giderimi üzerine modifikasyon türünün etkisi.....	38
Şekil 3.5. AK ve Aseton-MAK yüzeyinde RBBR adsorpsiyonunun çözelti pH'ı ile değişimi	39
Şekil 3.6. RBBR'nin yüzde giderim değerlerinin Amberlyst A21 miktarı ile değişimi.	41
Şekil 3.7. RBBR'nin yüzde giderim değerlerinin Aseton-MAK miktarı ile değişimi. ..	42
Şekil 3.8. RBBR'nin Amberlyst A21 üzerine adsorpsiyonu için elde edilen Langmuir izoterm eşitliği ve grafiği.	44
Şekil 3.9. RBBR'nin Amberlyst A21 üzerine adsorpsiyonu için elde edilen Freundlich izoterm eşitliği ve grafiği.	45
Şekil 3.10. RBBR'nin Amberlyst A21 üzerine adsorpsiyonu için elde edilen Temkin izoterm grafiği.	46
Şekil 3.11. RBBR'nin Aseton-MAK üzerine adsorpsiyonu için elde edilen Langmuir izoterm grafiği.	47
Şekil 3.12. RBBR'nin Aseton-MAK üzerine adsorpsiyonu için elde edilen Freundlich izoterm grafiği.	48
Şekil 3.13. RBBR'nin Aseton-MAK üzerine adsorpsiyonu için elde edilen Temkin izoterm grafiği.	48
Şekil 3.14. RBBR'nin Amberlyst A21 üzerine adsorpsiyonu için elde edilen kinetik grafikleri.	51
Şekil 3.15. RBBR'nin Aseton-MAK üzerine adsorpsiyonu için elde edilen kinetik grafikleri.	53

GİRİŞ

Yoğun sanayileşme ve kentleşme faaliyetleri çevreye önemli miktarda atık salınmasına neden olmaktadır. Yıllar boyunca büyük miktarda kirletici doğaya sorumsuz bir şekilde salınmıştır. Günümüzde çevre bilincinin artması sonucu su ve atık su kalitesi ile ilgili daha katı hukuksal düzenlemeler oluşturulmuştur (Keskin, vd., 2015a; Altaher, 2014).

Atık sularda yer alan kirleticiler genellikle biyolojik olarak parçalanabilen, uçucu veya bozunmaya karşı dirençli organik bileşikler ile toksik metaller, süspansiyon halinde katı maddeler, boyalar, mikrobiyal patojenler ve parazitleri içerir. Tekstil endüstrisi faaliyetleri sonucu oluşan atık sular çevre kirliliğinin en önemli nedenlerinden biridir. Endüstriyel atıklarda bulunan boyaların giderimi günümüzde önemli bir sorundur ve büyük önem taşımaktadır. Dünya genelinde tekstil endüstrisinde yer alan 10000 farklı sentetik boya ve pigmentin yıllık üretim ve kullanım miktarı 0,7 milyon tonu geçmektedir (Keskin, vd., 2015b).

Anyonik, katyonik ve iyonik olmayan boyalar endüstriyel boyaların üç temel grubunu oluşturmaktadır. Bazik ve reaktif boyalar çeşitli uygulama alanlarına sahip olmalarından dolayı sanayi kaynaklı olan ve çevreye salınan atık sulardaki boyaların yaklaşık %2-50'sini oluştururlar. Geleneksel arıtma sistemleri ile uzaklaştırılamamalarından dolayı özellikle suda çözünen reaktif boyalar en sorunlu boya gruplarından biridir. Genellikle, tekstil atık sularındaki boyaların derişimi 10-50 mg/L'dir ve atık sudaki boya derişimi 1 mg/L'nin üzerine çıktığında boya atık suda görünür hale gelmekte ve suyu renklendirmektedir. Bu tür boyalar suları kirletir; fotosentez süreçlerini etkiler ve biyolojik döngüyü değiştirerek derin bir etkiye neden olurlar. Tüm bunların yanı sıra, insan sağlığını tehdit ederler çünkü; bu ürünler ile uzun süreli temas toksik reaksiyonlara yol açabilir (Keskin, vd., 2015a; Keskin, vd., 2015b).

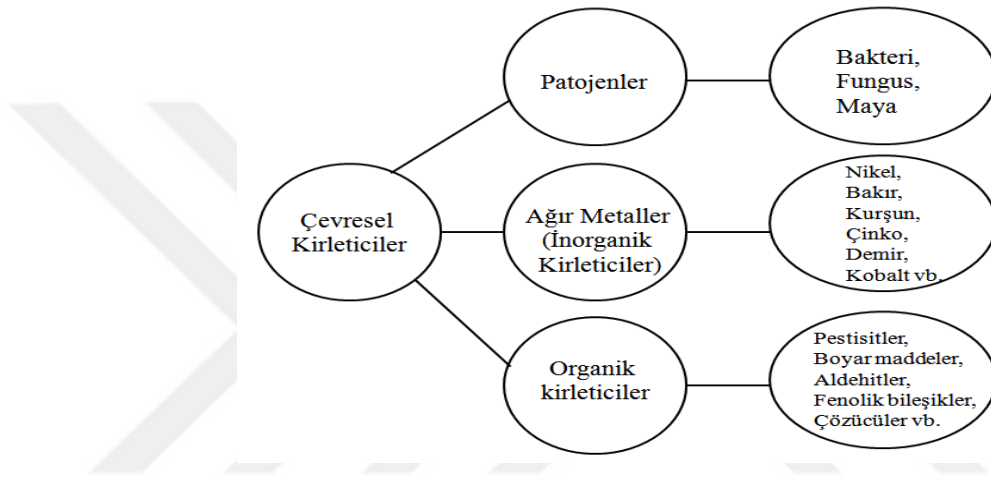
Organik ve inorganik kirleticiler herhangi bir ön arıtma işlemi uygulanmadan çevreye deşarj edildiklerinde canlılar üzerinde gösterdikleri karsinojenik, teratojenik, mutajenik özellikleri ve yüksek biyolojik birikim potansiyellerinden dolayı ekolojik dengeye zarar vermektedirler. Bu nedenle dünya genelindeki araştırmacılar atık sularda yer alan çeşitli kirleticilerin çevreye olan etkilerini en aza indirmek ve de bu

kirleticilerin su ve toprak gibi çevresel ortamlardan uzaklaştırılması için yeni yöntemler geliştirmektedir. Organik kirleticilerin giderimi amacıyla biyolojik arıtma, filtrasyon, yükseltgenme ve adsorpsiyon gibi yöntemler yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Silva, vd., 2016).

Remazol Brilliant Blue R (RBBR) reaktif β -sülfato etilsülfonil grupları ile iyi bir hidrofilik/hidrofobik dengeye sahip olan ve suda çözünen bir boyadır. RBBR düşük enerji tüketimi, basit uygulama teknikleri ve biyolojik olarak kolay bozunmaması nedeni ile tekstil endüstrisinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Torgut, vd., 2017). Reaktif boyaların sudaki çözünürlükleri oldukça yüksektir ve geleneksel biyolojik arıtma yöntemleri ile giderimleri oldukça zordur (Armağan, vd., 2004). RBBR önemli bir boyadır çünkü genellikle polimerik boyaların üretiminde başlangıç maddesi olarak kullanılır (Palmieri, vd., 2005). Ayrıca RBBR tekstil endüstrisinde kullanılan antrakinin boyaların tipik bir örneğidir ve antrakininler toksik organik kirleticilerin önemli bir sınıfını temsil ederler (Liu, vd., 2009). Bu nedenlerden dolayı bu tez çalışması kapsamında reaktif boya olarak Remazol Brilliant Blue R seçilmiş ve RBBR'nin sulu ortamdan giderimi için adsorbent olarak Amberlyst A21, aktif karbon ve modifiye edilmiş aktif karbon türleri kullanılmıştır. Tez çalışması ile ilgili gerçekleştirilen literatür taraması sonucunda RBBR'nin giderimi ile ilgili adsorbent olarak Amberlyst A21 ve aseton ile modifiye edilmiş aktif karbonun kullanımını içeren herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Remazol Brilliant Blue R giderimi üzerine yapılan çalışmalar kapsamında adsorpsiyon üzerine pH, temas süresi, adsorbent miktarı ve başlangıç RBBR derişimi gibi deneysel parametrelerin etkisi araştırılmıştır. Adsorbentlerin adsorpsiyon kapasiteleri hesaplanmıştır.

1. GENEL BİLGİ

Hızlı sanayileşme ve değişen tarımsal uygulamalar zararlı çevresel kirleticilerin çevreye yayılmasına ve çevredeki kirletici derişiminin artmasına neden olmaktadır. Bu kirleticiler bozunmaya karşı dirençli oldukları için birikme eğilimindedirler. Çevreye su ve hava yolu ile yayılmalarından dolayı dünya genelinde ciddi çevre ve sağlık problemi oluşturmaktadırlar (Kang, 2014). Patojenler, ağır metaller ve organik bileşikler çevresel kirleticiler arasında yer alır ve örnekleri Şekil 1.1’de verilmektedir.



Şekil 1.1 Çeşitli çevresel kirleticiler (Zaib, vd., 2015).

Endüstriyel, evsel ve tarımsal atıklar yukarıda belirtilen çevresel kirleticilerin temel kaynağıdır. Ağır metal kirliliği; metal işlemeciliği, madencilik, tabaklama işlemleri, tıbbi ilaç, zirai ilaç, organik kimyasallar, plastik, kauçuk ve ahşap üretimi sırasında ortaya çıkmaktadır (Lakherwal, 2014). Organik kirleticiler arasında Şekil 1.1’de verilen örneklerin yanı sıra endüstriyel çözücüler, yakıt bileşenleri, gazolin, yapıştırıcılar ve plastikler sayılabilir. Özellikler klorlanmış hidrokarbonlar oldukça yaygın kullanılan toksik organik bileşiklerden biridir (Kang, 2014). Sonuç olarak, modern yaşam tarzımız sulu atıklarda çeşitli kirleticilerin var olmasına ve de çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bu nedenle çevre kanunları ve yönetmelikleri hem insan sağlığını hem de çevreyi korumak için önümüzdeki yıllarda daha sıkı ve kısıtlayıcı olacaktır (Molinari, vd., 2017).

1.1. Boya ve Boyar Maddeler

Boya ve boyar maddeler sanayide boyama ve baskı işlemleri için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Boya atık suyunun bertaraf edilmesi endüstrinin temel problemlerinden biridir. Bu atıklar boyaların yanı sıra asitler, bazlar, çözünmüş katılar ve toksik bileşikler gibi çok sayıda kirleticiyi de içerirler (Yener, vd., 2006).

1.1.1. Boya

Boyalar genellikle çeşitli malzemeleri (kumaş, kağıt, deri, ahşap, plastik, gıda ve kozmetikler) renklendirme özelliğine sahip, 400-700 nm aralığındaki görünür bölge ışığı absorplayan doğal veya sentetik kökenli organik bileşikler olarak tanımlanırlar. Boya molekülleri $-N=N-$, $-NO_2$, $-NO$, $-CH=CH-$ gibi kromofor grup taşırlar, dolayısı ile bu bileşikler görünür bölgede elektromanyetik ışını seçici olarak absorplar. Boya molekülleri ayrıca boyanın çözünürlüğünü veya kararlılığını etkileyen diğer sübstütie grupları da içerebilir.

Boyalar Çizelge 1.1'de görüldüğü gibi asidik, bazik, direkt, reaktif, mordant, vat, kükürt ve dispers olarak sınıflandırılabilir.

Çizelge 1.1. Boyaların teknik sınıflandırılması (Wawrzkievicz ve Hubicki, 2015).

Doğal Boya	Boyanın Kimyasal Özelliği	Örnek Boya	Renklendirilecek Malzemenin Türü
Asidik	Suda çözünen sülfonik ve karboksilik asitlerin organik tuzları	Antrakinin, azo, trifenil metan, nitro, ksanten	Protein fiberler (çoğunlukla yün), poliamit fiberler, kağıt, deri, kozmetik, gıda
Bazik	Suda çözünen organik bazların tuzları	Aril metan, ksanten, azo, akrinin, antrakinin	Yün, doğal ipek, poliester ve poliakril nitril fiberler
Direkt	Suda çözünen organik sülfonik asitlerin tuzları	Fitalosiyaninler, stilben, oksazin, azo	Selüloz fiberler (pamuk, keten), deri
Reaktif	Suda çözünen organik baz ve asitlerin tuzları	Azo, antrakinin, formazin, oksazin	Selüloz ve protein fiberler
Mordant	Suda çözünür ve metaller ile kompleks oluşturur	Nitrozo boyalar, örneğin alizarin ve türevleri	Selüloz ve protein fiberler
Vat	Suda çözünmez	Antrakinin, indigo	Selüloz fiberler
Kükürt	Suda çözünmez	---	Selüloz fiberler
Dispers	Suda çok az veya hiç çözünmez	Azo, antrakinin, nitro	Sentetik poliester, poliamit, poliakril nitril

1.1.2. Doğal boyalar

Doğal boyalar çeşitli ürünleri renklendirmek için kullanılan organik bileşiklerdir. 1856 yılından önce doğal boyalar bitkilerden, hayvanlardan, böceklerden ve mineral kaynaklarından elde edilmiştir. Tekstil endüstrisinde kullanılan ilk doğal boyalar zerdeçal, soğan, jak meyvesi, kına ve okaliptus kaynaklıdır. Nüfus ve sanayi faaliyetlerindeki artış nedeniyle doğal kaynaklı boyalar endüstriyel talebi karşılayamamış ve bu boyaların kullanımı gıda endüstrisi ile sınırlı kalmıştır. Tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bazı doğal kaynaklı boyaların bilimsel isimleri ve kimyasal yapıları Çizelge 1.2’de verilmiştir (Dawood and Sen, 2014).



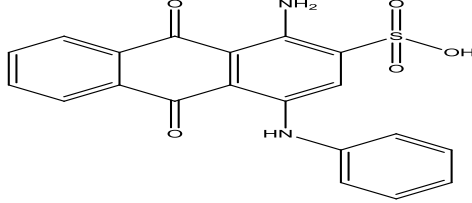
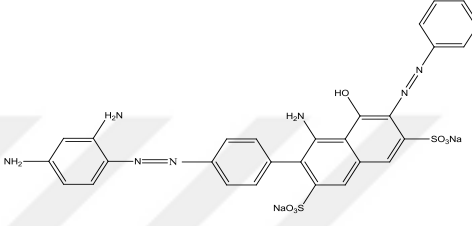
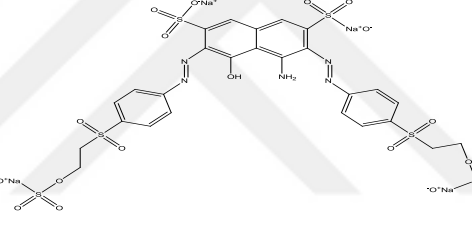
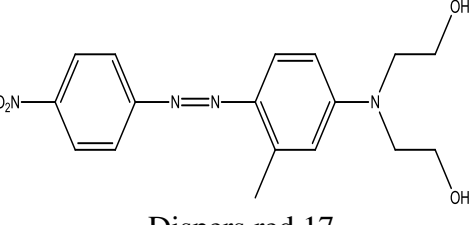
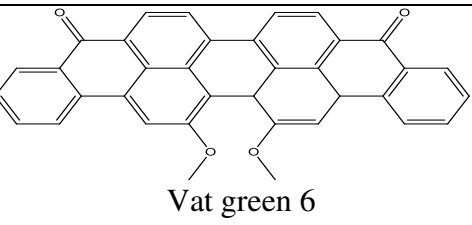
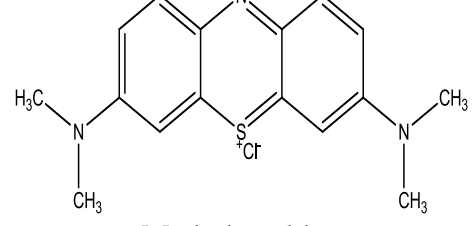
Çizelge 1.2. Tekstil endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bazı doğal kaynaklı boyalar.

Doğal boyar maddeler	Bilimsel adı	Kimyasal yapısı
Zerdeçal	Curcuma Longa	
Okaliptüs	Eucalyptus globules	
Soğan	Alium cepa	
Kına	Lawsonia inermis	
Kırmızı böceği boyası	Dacylopius Coccus	

1.1.3. Sentetik boyarlar

İlk sentetik boya 1856 yılında William Henry Perkin tarafından keşfedilmiştir. Boyalar boyama esnasında kumaşa tam olarak sabitlenmediği için boya atıkları oluşmaktadır. Boya bazlı atıklar kompleks kimyasal yapıları ve biyobozunmaya karşı dirençli olmalarından dolayı su kaynakları ve çevre açısından ciddi tehlikeler oluşturmaktadır. Asit boyalar, reaktif boyalar, bazik boyalar, azo boyalar, direkt boyalar, vat boyalar ve dispers boyalar gibi çeşitli boya tipleri farklı endüstrilerde kullanılmaktadır. Dispers ve vat boyalar haricindeki tüm boyalar suda çözülür. Boyalar genel olarak katyonik, anyonik ve iyonik olmayan şeklinde sınıflandırılabilir. Anyonik boyalar asit boyalar, reaktif boyalar, azo boyalar ve direkt boyalar gibi boya gruplarını içerirken, katyonik boyalar bazik boyalardır. Çizelge 1.3’de boyalara ait sınıflandırma ve bu boyalara ait bazı uygulama alanları verilmiştir (Dawood ve Sen, 2014).

Çizelge 1.3. Sentetik boyaların sınıflandırılması ve uygulama alanları.

Boyalar	Örnekler	Örnek kimyasal yapı	Uygulama alanları
Asit boyalar	Congo red, Methyl (orange ve red), Acid (blue, black, violet, yellow)	 Acid blue 25	Yün İpek Naylon (poliamid) Poliüretan lif
Direkt boyalar	Martius yellow, Direct black, Direct orange, Direkt blue, Direct violet, Direct red	 Direct black 38	Pamuk Yün İpek keten Deri
Reaktif boyalar	Reactive red, Reactive blue, Reactive yellow, Reactive black, Remazol (blue, yellow, red, vb.)	 Reactive black 5	Selülozik fiberler Yün Poliamit
Dispers boyalar	Disperse blue, Disperse red, Disperse orange, Disperse yellow, Disperse brown,	 Dispers red 17	Poliamit fiberler Polyesterler Naylon Poliakrilon itriller
Küp boyaları	Indigo, Benzanthrone, vat blue, vat green	 Vat green 6	Yün Keten Yün Rayon fiberler
Bazik boyalar	Methylene blue Basic red Basic brown Basic blue Crystal violet Aniline yellow Brilliant green	 Methylene blue	Polyester Yün İpek

Boyalar; anyonik, katyonik ve iyonlaşmamış boyalar olarak sınıflandırılır. Anyonik boyalar; asit boyalar, reaktif boyalar, azoik boyalar ve direkt boyalar gibi çeşitli boya gruplarından oluşur. Molekül yapılarında pozitif iyon bulunduran katyonik boyalar aynı zamanda bazik boyalar olarak da adlandırılırlar. Bazik boyalar suda çözünürler ve çok düşük derişimlerde bile sulu ortamı renklendirirler. Bazik boyalar monoazoik, diazoik ve azin bileşikleri içerirler. Katyonik boyalar yün, ipek, naylon, mod-akrilik ve poliestere malzemelerin renklendirilmesi için kullanılır. Kullanımdaki 3200 azo boyanın yaklaşık 130 tanesinin bozunma süreci boyunca karsinojenik aromatik aminler oluşturduğu tahmin edilmektedir (Dawood ve Sen, 2014).

Azo boyaları tekstil endüstrisinde yaygın şekilde kullanılan bir boya grubudur. Bazı azo boyaların özellikle karsinojenik özelliklerinden dolayı toksik etki göstermeleri nedeni ile çevresel ortamlarda bu kimyasalların bulunması önemli bir çevre sorunudur. (Mevcut mevzuatın belirttiği sınırlamalara uymak için) Üretim süreçlerinde boyaları kullanan endüstriyel tesislerden gelen atık sular çevreye deşarj edilmeden önce genellikle fiziksel-kimyasal yükseltgenme veya daha yaygın bir yöntem olan aktif çamur biyokimyasal prosesi kullanılarak arıtılır (Molinari, vd., 2017).

1.2. Atık Su

1.2.1. Atık suların arıtılması

Toksik organik bileşiklerin atık sulardan giderimi için filtrasyon, koagülasyon/flokülasyon, iyon değişimi, adsorpsiyon, fenton reaktifi, ozonlama, fotokatalitik yöntemler, aerobik bozunma ve aneorobik bozunma kullanılmaktadır. Bu yöntemler Çizelge 1.4’de de görüldüğü gibi temel olarak fiziksel, kimyasal ve biyolojik yöntemler olarak sınıflandırılabilir (Kandisa, vd., 2016).

Çizelge 1.4. Arıtma yöntemleri.

Fiziksel yöntemler	Kimyasal yöntemler	Biyolojik yöntemler
Adsorpsiyon	Fenton reaktifi	Aerobik bozunma
İyon değişimi	Ozonlama	Anerobik bozunma
Filtrasyon	Fotokatalitik yöntemler	
Koagülasyon/Flokülasyon		

*Kandisa vd’den uyarlanmıştır.

1.2.2. Atık Su Arıtma Yöntemleri

Klorlama ile arıtma;

İçme sularında biyolojik arıtma sonrası dezenfektan olarak klor kullanılmaktadır. NaCl çözeltisinden klor gazı elde edilmektedir. Atık suların arıtılmasında klorlama çalışmaları son yıllarda tercih edilen bir yöntemdir. Fakat klorlama yöntemi ile atıksulardaki uzaklaştırılmak istenen maddeler tamamen giderilememiştir. İhtiyaç olan klor miktarının klor gazına eşdeğeri 500–1000 mg L⁻¹'dir (Kabdaşlı, 1995).

Ters ozmoz sistemi ile arıtma;

İçerisinde tuz barındıran suları %90-%99 oranında saflaştırmak için kullanılan bir sistemdir. Ters ozmoz sistemde yarı geçirgen bir zar bulunur. Ozmoz, farklı derişimlerdeki çözeltilerin konsantrasyonları eşitleninceye kadar ozmotik basınçla doğal olarak gerçekleşir. Bununla birlikte sisteme bir pompa yardımı ile ozmotik basınçtan daha büyük dış basınç uygulandığında bu işleme ters ozmoz denir. Yarıgeçirgen zar, saf suyu geçirirken, çözünmüş durumdaki organik ve inorganik maddeyi tutarak suyu artır ancak suda çözünmüş halde gazları tutamaz. Bu sistem; diğer saf su arıtma sistemleri ile karşılaştırıldığında enerji ihtiyacının azlığı, kimyasal atık oluşmaması, 24 saat süresince saf su üretebilmesi gibi avantajlara sahiptir (Stanley, 1991).

Kimyasal oksidasyon ile arıtma;

Sularda bulunan inorganik ve organik yapıları zararlı maddeleri yükseltgeyerek sağlık için tehlike oluşturmayacak duruma getirilmesine kimyasal oksidasyon adı verilir. Kimyasal oksidasyon için H₂O₂, Cl₂, O₃, KMnO₄ ve Cl₂O gibi kimyasallar kullanılır. Kimyasal oksidasyon, serbest veya bileşik yapısında bulunan elementin yükseltme sayısının yükseltilmesi ile gerçekleşir. Bu yöntem sanayide siyanür, amonyak ve fosfor gibi türlerin gideriminde atık suların dezenfeksiyonunda ve atık sulardan renk gideriminde yaygın bir şekilde kullanılır (Tünay, vd., 1990).

Membran ayırma prosesi ile arıtma;

Organik veya inorganik yapıları maddelerin geri kazanımı için uygulanan bir yöntemdir. Tekstil endüstrisinde fazla miktarda kimyasal kullanıldığı için oluşan atık

miktarda fazladır. Suda bulunan kimyasalların geri dönüşümünde bu yöntem cazip bulunmaktadır.

Membran ayırma prosesi için uygulama basamaklarına değinecek olursak;

- Suda bulunan kimyasal maddelerin geri dönüşümünde, içerisinde bulunan kimyasala bağlı kalarak ters ozmoz veya ultrafiltrasyon membranlar kullanılır.
- Ultrafiltrasyon yöntemi ile polivinil asetat bileşikleri geri kazanılarak, yeniden kullanılır.
- Geri kazanımı sağlanan kimyasal maddeler ve atık sular tekrar kullanıma uygundur (Şeker, 2007).

Koagülasyon ile arıtma;

Elektrokinetik koagülasyon (EC) atık su arıtmasında kullanılan fizikokimyasal bir prosestir. EC tekniğinde atık suya batırılmış alüminyum ve demir gibi metal elektrotlar arasında doğru akım kaynağı kullanır (Aoudj, vd., 2010). Metal iyonları, metal hidroksitlerin çökmesi ve çözünmüş kirleticileri kimyasal olarak adsorbe edilmesine neden olan parçacıkların topaklaştırılması için pıhtılaşır (Chen, 2004). EC prosesi direkt kırmızı (Jiang, vd., 2013), reaktif mavi 140 (Phalakornkule, vd, 2010) ve dispers kırmızı gibi boyar maddelerin atık sulardan uzaklaştırılması için basit, güvenilir ve düşük maliyetli bir yöntemdir (Merzouk, vd, 2011). Kimyasal koagülasyon gibi diğer konvansiyonel tekniklerle karşılaştırıldığında elektro koagülasyonun başlıca avantajları, kullanılan ekipmanın kompakt olması ve ikincil bir kirliliğe sebep olmamasıdır (Phalakornkule, vd., 2010).

Elektrokoagülasyon ile arıtma;

Elektrokoagülasyon sistemi, içerisinden elektrik akımı geçen demir anot ile katottan oluşur, bir boru şeklindedir. Borudan akım geçmeye başladığında, çözünmeyen demir hidroksitler oluşur. Atık su bu borudan geçirilirse kirletici maddeler çökmeye uğrar. Kirleticilerin giderimi, elektroflotasyon ve indirgenme gibi olaylar ile gerçekleşir. İşlemin verimi; kirleticinin cinsi, akım şiddeti, pH ve sıcaklık gibi parametrelere bağlıdır (Orhon, vd., 1996).

Ozonlama;

Ozonlama atık su maddelerinden sentetik boyaların gideriminde kullanılan oksitlenmenin bir başka türüdür. Atık suyun arıtılması için çok etkili bir teknolojidir ve reaksiyon çözeltinin pH derecesine bağlıdır. Çünkü ozonun ayrışma oranı çözeltinin pH derecesinden etkilenir (Turhan, vd., 2012).

Aerobik arıtma;

Bakteriler ve mantarlar aerobik koşullar altında boyar maddelerin renklerinin giderilmesinde en çok kullanılan mikroorganizmalardır. Bakteriler, klorlu ve diğer organik kirleticileri metabolize edebildiği, karbon veya enerji kaynağı olarak kullandığı için, mantarlardan daha hızlı üreyip büyüyebilir (Balamurugan, vd., 2011). Bakteriler monooksijenaz ya da dioksijenaz enzimler olarak sınıflandırılabilir ve O₂'den azo boyar maddeler ve reaktif boyalar gibi organik bileşenlerin aromatik halkasına oksijen katılmasını katalize etmek için kullanılır (dos Santos, vd., 2007).

Boyaların gideriminde mantarların kullanımı bakteri ve alglere göre çok daha etkilidir. Arıtma için bakteri ve mantar kullanımı, diğer yöntemlere kıyasla daha düşük maliyetlidir ve boyaların zehirli olmayan yan ürünlere dönüşebilmesi için avantajlıdır (Dawkar, vd., 2010). Bununla birlikte bu süreç çok yavaş işlediği ve kendisinden oluşan mikroorganizmaların gelişimi için uygun bir çevre oluşturduğu için gerçek tekstil atık su arıtımı için uygun değildir (Toor, 2010).

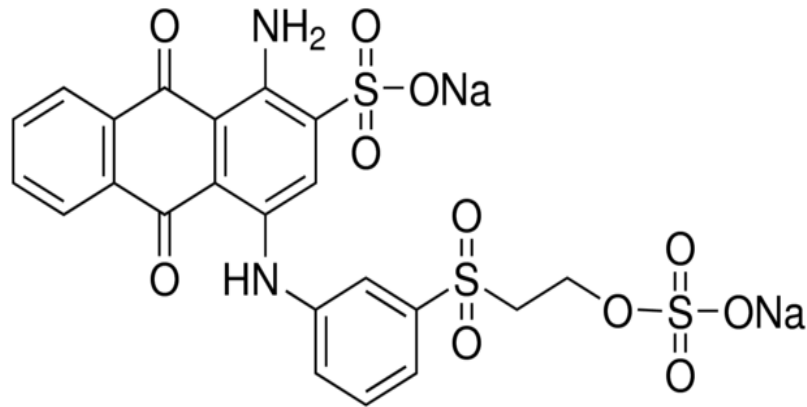
Anaerobik arıtma;

Anaerobik arıtma ortamda oksijen olmadığı zaman gerçekleşir. Anaerobik sindirim süreci, karmaşık organik bileşiklerini parçalayarak aerobik veya diğer boya giderim yöntemleriyle daha ileri düzeyde işlem yapılabilmesini sağlar (Balamurugan, vd., 2011). Biyodegradasyon süreci, azo boyalarda şu şekilde gerçekleşir; mikroorganizmanın azot çift bağını kırdığı ve sonrasında ikinci aşama olarak aromatik aminlerin parçalandığı basamaktan oluşur (van der Zee ve Villaver, 2005). Bozulma aşaması genellikle anaerobik koşullar altında meydana gelir.

1.3. Remazol Brilliant Blue R

Remazol Brilliant Blue R küresel boya üretiminin önemli bir kısmını temsil eden reaktif boyalar için model bir bileşik olarak kullanılabilir. Boya atıklarının kimyasal yapıları, sahip oldukları şiddetli renk, genellikle biyolojik olarak bozunmamaları ve hem sucul hem de sucul olmayan ortamlar için toksik etki göstermelerinden dolayı karmaşıktırlar. Renklenmiş olan atıklar gün ışığının geçişini azaltırlar ve fotosentetik aktiviteyi düşürürler. Bu durum özellikle sucul ortamda yaşam zincirini olumsuz etkiler ve zarar vererek atıklar içerisinde en sorunlu gruplardan birini oluştururlar. Bu nedenle, atık suların bu tür reaktif boyaların giderimi çevresel açıdan önemli bir sorun oluşturmaktadır (Rahmat, vd., 2016).

RBBR tekstil sanayisinde yaygın olarak kullanılan sentetik boyalardan biridir. Bu endüstri kolunda, RBBR naylon, yün ve ipek ürünlerin boyanmasında kullanılır. Bunun yanı sıra, Remazol Brilliant Blue R sadece tekstil endüstrisinde değil aynı zamanda kağıt, deri ve mürekkep endüstrisinde de yaygın bir şekilde yer almaktadır. Kimyasal formülü $C_{22}H_{16}N_2Na_2O_{11}S_3$ 'dir ve molekül kütlesi 626,54 g/mol'dür. Yapısında tek bir kromofor grup içeren antrakınon bir boyadır. Kimyasal yapısı kararlıdır, kimyasal ve fiziksel süreçler ile parçalanması zordur. Antrakınon bir boya olmasından dolayı Remazol Brilliant Blue R, anyonik bir boyadır ve suda çözünmesinden dolayı toksik açıdan önemli bir organik kirleticidir. Genellikle endüstride organik boya olarak kullanılır. Remazol Brilliant Blue R'nin moleküler yapısı Şekil 1.2'de, fiziksel ve kimyasal özellikleri de Çizelge 1.5'de verilmiştir (Rahmat, vd., 2016).



Şekil 1.2. Remazol Brilliant Blue R'nin moleküler yapısı.

Çizelge 1.5. Remazol Brilliant Blue R'nin fiziksel ve kimyasal özellikleri (Rahmat vd., 2016).

Remazol Brilliant Blue R	
Grup	Reaktif boya
Görünümü	Kristal toz
Fiziksel hali	Katı
Çözünürlüğü	Suda çözünür
Mol kütlesi	626,54 g/mol
Molekül formülü	$C_{22}H_{16}N_2Na_2O_{11}S_3$
Maksimum dalga boyu	590 nm

1.4. Adsorpsiyon

Adsorpsiyon, adsorbe olan iyonların, atomların veya moleküllerin adsorbentin yüzeyine ulaşarak adsorbent yüzeyinde ince bir film oluşturma sürecini içerir. Adsorbant gaz, sıvı ya da çözünmüş bir faz olabilir (Dawood ve Sen, 2014).

Adsorpsiyon bir yüzey olayı olmakla birlikte organik ve inorganik kirleticilerin gideriminde yaygın olarak kullanılan bir mekanizmadır. Adsorplanabilecek bir tür içeren çözelti yüksek gözenekli yüzey yapısına sahip bir katı ile temas ettiğinde sıvı-katı moleküller arası çekim kuvveti oluşur ve çözeltideki çözünen moleküllerinin bir kısmı katı yüzey üzerine birikirler. Adsorpsiyon prosesinde katı yüzey üzerinde biriken yani adsorplanan tür adsorbat, adsorpsiyon olayının gerçekleştiği katı yüzey ise adsorbent olarak adlandırılır. Adsorbent üzerine adsorbatın yüzey birikimi ise adsorpsiyon adını alır (Rashed, 2013).

Adsorpsiyon hemen hemen tüm katıların yüzeyinde meydana gelen bir olaydır. Bununla birlikte, katı maddenin adsorpsiyon kapasitesi aşağıda belirtilen faktörlere oldukça bağlıdır; (Anastopoulos, vd., 2017).

- Adsorbentin fizikokimyasal özellikleri
- Adsorbatın kimyasal özellikleri
- Genel deneysel koşullar

- Adsorbent ve adsorbat arasındaki afinite

Adsorpsiyon tekniği; fiziksel adsorpsiyon ve kimyasal adsorpsiyon olarak ikiye ayrılır. Fiziksel adsorpsiyon; Van der Waals kuvvetleri, hidrojen bağı, polarite, statik etkileşim, dipol-dipol etkileşimi, II- II etkileşimi gibi fiziksel etkiler tarafından kontrol edilir. Fiziksel adsorpsiyonda kirletici maddeler adsorban yüzeyinde, yukarıda bahsedilen etkileşimlerle birikir. Kimyasal adsorpsiyon ise elektron değişimi nedeni ile adsorbatın adsorbentin yüzeyine kimyasal olarak bağlanmasıyla oluşur (Artioli, vd., 2008).

Adsorbentin adsorpsiyon verimini etkileyen fizikokimyasal özellikleri arasında parçacık çapı, katyon değiştirme kapasitesi, zeta potansiyeli, izoelektrik nokta ve yüzeyinde yer alan fonksiyonel gruplar sayılabilir. Genellikle düşük parçacık çapı daha büyük yüzey alanına karşılık geldiği için adsorpsiyonu artırır.

Adsorbatın adsorpsiyonu etkileyen en önemli kimyasal özellikleri arasında pKa değeri, iyonik çapı, elektronegatiflik değeri, dehidrasyon serbest enerjisi sayılabilir. İyon halindeki adsorbat için daha yüksek atomik kütle, elektronegatiflik ve iyonik çap daha yüksek adsorpsiyon afinitesine karşılık gelir.

Yukarıda belirtilen parametrelerin yanı sıra adsorpsiyonun değerlendirilmesi açısından genel deneysel şartlarda oldukça önemlidir. Bir katının adsorpsiyon kapasitesini etkileyen deneysel şartlar arasında çözelti pH'ı, temas süresi, sıcaklık, adsorbent miktarı, kirleticinin başlangıç derişimi ve diğer kirleticilerin varlığı sayılabilir (Anastopoulos, vd., 2017).

Adsorpsiyon işlemi, molekül kütlesi, molekül yapısı, molekül büyüklüğü, polarite ve çözelti derişimi gibi adsorbatın çeşitli özelliklerine bağlı iken aynı zamanda, partikül boyutu, yüzey alanı ve yüzey yükü gibi adsorbent özelliklerine de önemli ölçüde bağlıdır (Slejko, 1985).

Adsorpsiyon işlemi çok etkili bir ayırma tekniğidir ve diğer mevcut atık su arıtma teknikleriyle karşılaştırıldığında kurulum maliyetinin düşük olması, sistemin basit dizaynı ve prosesin kolaylığı nedeniyle çeşitli üstünlüklere sahip olduğu söylenebilir (Sen, vd., 2011; Abd EI-Latif, vd., 2010).

Adsorpsiyon sürecinin etkinliği; adsorbentin ve adsorbantın fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır. Adsorbentin seçiciliği; adsorpsiyon kapasitesine, yüzey alanına, kullanılabilirliğine ve toplam maliyetine bağlıdır. Ticari aktif karbon boyaların uzaklaştırılmasında adsorbent olarak kullanılır. Bununla birlikte; bunların üretimi ve yeniden kullanılabilirliği yüksek maliyetli olduğu için araştırmacılar sulu çözeltiden boyaların uzaklaştırılması amacıyla düşük maliyetli yeni adsorbentler geliştirmektedirler. Atık sudan boya uzaklaştırılmasında ticari aktif karbon, mineral, kil, tarımsal katı atık ve tarımsal katı atıklardan elde edilen aktif karbon gibi çeşitli adsorbentler kullanılmaktadır (Purkait, vd., 2007; Hernandez-Montoya, vd., 2013; Errais, vd., 2012; Reddy, vd., 2012; Dawood ve Sen, 2012; Auta ve Hameed, 2013).

1.4.1. Adsorpsiyonu etkileyen faktörler

Adsorpsiyon olayı; sıcaklık, pH, adsorbent miktarı, adsorbantın başlangıç konsantrasyonu ve temas süresi gibi deneysel şartlardan etkilenir.

1.4.1.1. Adsorpsiyona pH'nın etkisi

Bir çözeltinin pH'ı, hidrojen iyonlarının molar derişiminin bir ölçüsüdür. Çözeltinin pH değeri 7'den küçükse asidik 7'den büyükse bazik çözelti meydana gelir. Çözelti pH'sındaki değişim adsorbentin yüzeyini ve boyasının kimyasını değiştireceği için en önemli deneysel parametrelerden biridir. Bu yüzden boyanın adsorpsiyon kapasitesi çözeltinin pH değerine bağlıdır (Dawood ve Sen, 2014).

1.4.1.2. Adsorpsiyona yüzey alanın etkisi

Adsorpsiyon işlemi sırasında, adsorplanan maddenin giderim yüzdesi adsorbentin yüzey alanı arttıkça artar. Çoğu zaman adsorbentler kullanılmadan önce öğütölerek daha geniş yüzey alanı elde edilir.

1.4.1.3. Adsorpsiyona sıcaklığın etkisi

Çözeltinin sıcaklığı adsorpsiyon kapasitesinde önemli bir rol oynar. Eğer, adsorpsiyon kapasitesi artan sıcaklıkla birlikte artıyorsa adsorpsiyon prosesi endotermiktir. Ancak bazı çalışmalarda çözelti sıcaklığının artmasıyla birlikte adsorpsiyon kapasitesinin düştüğu ekzotermik proseslerde gözlenmektedir (Dawood ve Sen, 2014).

1.4.1.4. Adsorpsiyona yüzey yükünün etkisi

Genellikle düşük pH değerine sahip çözeltilerde anyonik boya ve adsorbanın pozitif yüklü yüzeyi arasındaki elektrostatik çekim sebebiyle anyonik boyaların yüzde giderim değerlerinde bir artış meydana gelir (Salleh, vd., 2011). pH derecesi daha yüksek olan bazik çözeltilerde negatif yüklü yüzey ve boya molekülleri arasında elektrostatik itme oluşur, bu yüzden adsorpsiyon kapasitesi ve anyonik boyanın giderim değerlerinde düşüş gözlenir (Foo ve Hameed, 2011).

1.4.1.5. Adsorpsiyona adsorban dozunun etkisi

Adsorpsiyon çalışmalarında en uygun adsorbent dozunu belirlemek ve sürecin maliyetini düşürmek için araştırmacılar hem anyonik hem de katyonik boyaların gideriminde adsorbent miktarının boyanın yüzde giderim değeri üzerine etkisini incelemişler ve genellikle adsorbent miktarının artmasıyla birlikte giderim oranının arttığını görmüşlerdir (Salleh, vd., 2011). Örneğin metilen mavi boyasının çam kozalağı ile giderimi üzerine olan bir çalışmada adsorbent miktarının 0.01'den 0.05 grama çıkarılmasıyla yüzde giderimin değerinin %62,9'dan %97,2'ye çıktığı belirtilmiştir (Sen, vd., 2011). Farklı bir çalışmada pirinç kabuklarından elde edilen adsorbent ile İndigo carmin boyasının gideriminde adsorbent miktarının 2'den 20 g/L'ye çıkarılmasıyla boyanın yüzde gideriminin %36'dan %96'ya çıktığı görülmüştür (Lakshmi, vd., 2009). Kumar ve diğerlerinin yaptığı bir çalışmaya göre ise adsorban dozunun 5'ten 30 g/L'ye çıkarılması ile Kongo kırmızı boyasının giderim miktarı %56,3'ten %99,3'e ulaşmıştır (Kumar, vd., 2010).

1.4.1.6. Adsorpsiyona başlangıç boya konsantrasyonunun etkisi ve temas süresi

Boyanın başlangıç derişiminin adsorbe edilmiş boya miktarı q_t (mg/g) ile boyanın yüzde giderim değeri üzerine önemli bir etkisi vardır. Genellikle artan başlangıç boya konsantrasyonu yüzde giderim değerlerinin azalmasına yol açar. Bu azalma adsorban yüzeyindeki adsorpsiyon alanlarının doygunluğa ulaşması nedeniyle olabilir (Salleh, vd., 2011; Dawood, vd., 2014). Belirli bir başlangıç boya derişiminde ise temas süresi arttıkça q_t (mg/g) değerleri artmaktadır (Sen, vd., 2011; Purkait, vd., 2007; Foo ve Hameed, 2011).

1.4.2. Adsorpsiyon izotermi

Adsorpsiyon süreçleri denge izotermi olarak bilinmektedir. Belirli sıcaklıkta adsorplanan maddenin dozajı ile denge konsantrasyonu arasındaki bağıntı adsorpsiyon izotermi olarak tanımlanır. Adsorpsiyon izotermi, adsorban yüzeyindeki adsorplanan maddenin dengede derişimi ile çözelti fazındaki adsorbatın derişimi arasındaki ilişkiyi gösterir (Özer, 2000).

Çalışmalarda en çok tercih edilen izotermiler Langmuir ile Freundlich izotermeleridir.

1.4.2.1. Langmuir izotermi

Özellikle kimyasal adsorpsiyon için türetilen basit ve kinetik bir izoterm denklemi olan Langmuir izotermi atık sulardan kirleticilerin giderimi konusundaki çalışmalarda başlangıç noktası olarak önemlidir (Özer, 2000).

Langmuir izotermi türetmede aşağıdaki varsayımlar yapılır;

- Tüm yüzey alanı aynı özelliktedir.
- Katı üzerinde adsorplanan gaz tabakasının kalınlığı monomoleküler bir tabaka oluşturur.
- Adsorplanmış moleküller arasında etkileşme yoktur.
- Adsorpsiyon başlangıcında yüzeye çarpan bütün moleküller yüzeyde tutulabilir; adsorpsiyon ilerledikçe de yüzeyin tutulmamış kısmına çarpan moleküller adsorplanabilir.
- Adsorpsiyon tamamı aynı mekanizmayla oluşur.
- Katalizörler yüzey kısmın tamamını, adsorpsiyon için eşit etkiler.

Langmuir adsorpsiyon izotermi şu şekilde ifade edilir.

$$q_e = \frac{q_m \times K_L \times C_e}{1 + K_L \times C_e} \quad (1.1)$$

Bu eşitliğin doğrusallaştırılmış hali ise aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L} + \frac{1}{q_m} C_e \quad (1.2)$$

Yukarıda verilen eşitliklerde;

q_e : Adsorbe olan madde konsantrasyonu (mg/g)

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

q_m : Adsorpsiyon kapasitesi (mg/g)

K_L : Langmuir izoterm sabiti (L/mg)'dir.

Doğrusallaştırılmış eşitlik ile C_e değerine karşı C_e/q_e değerinin grafiğe geçirilmesi ile elde edilen doğrunun eğimi $1/q_m$ değerini verirken, kesim noktası $1/q_m K_L$ değerine karşılık gelmektedir (Langmuir, 1918).

1.4.2.2. Freundlich izotermi

Freundlich izotermi adsorplanan madde miktarının denge basıncı ile arasındaki ilişkisini vermektedir. Freundlich izotermi çözeltilerde kullanıldığı gibi, gazların adsorpsiyonu için de tercih edilir. Freundlich bağıntısı, adsorpsiyon ısısının yüzey alanı ile birlikte logaritmik olarak azaldığını kabul etmektedir (Benefield, vd., 1982; Beyhan, 2003).

Lineer Freundlich izotermi aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$q_e = K_F \cdot C_e^{1/n} \quad (1.3)$$

Bu eşitliğin doğrusallaştırılmış hali ise aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$\log q_e = \log K_F + \frac{1}{n} \log C_e \quad (1.4)$$

Yukarıda verilen eşitliklerde;

K_F : Freundlich izotermi sabiti,

n : Adsorpsiyon şiddeti

Eşitliğin doğrusallaştırılmış hali ile $\log C_e$ değerine karşı $\log q_e$ değerinin grafiğe geçirilmesi ile oluşan doğrunun eğimi $1/n$ değerini verirken, kesim noktası ise $\log K_F$ değerini ifade etmektedir.

$1/n$ heterojenite faktörü olarak 0-1 skalasında değer alırken, yüzey nasıl heterojen ise, $1/n$ değeri ise o kadar sıfıra yakın olur (Freundlich, 1906).

1.4.2.3. Temkin izotermi

Temkin ve Pyzhev tarafından tanımlanmıştır. Temkin izotermi son derece düşük ve yüksek derişimler göz ardı edildiğinde tabakanın kaplanması ile birlikte, tabakadaki tüm moleküllerin adsorpsiyon ısısının logaritmik yerine lineer bir şekilde azaldığını varsayar (Temkin, 1940). Temkin izotermi aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir:

$$q_e = B \ln A_T + B \ln C_e \quad (1.5)$$

B yerine RT/b yazıldığında;

$$q_e = \frac{RT}{b_T} \ln A_T + \frac{RT}{b_T} \ln C_e \quad (1.6)$$

eşitliği elde edilir.

C_e : Adsorpsiyon sonrası çözeltilde kalan madde derişimini (mg/L)

b_T : Temkin izoterm sabitini

A_T : Temkin izoterm denge bağlanma sabiti (L/g)

R : Gaz sabitini (8,314 J/molK)

T : Sıcaklığı (K) simgelemektedir.

Eşitlik 1.5 yardımı ile $\ln C_e$ değerlerine karşı q_e değerlerinin grafiğe geçirilmesiyle elde edilen doğrunun eğimi B sabitini, kesim noktası ise $B \ln A_T$ değerini verir.

1.4.3. Adsorpsiyon kinetiği

Adsorpsiyon kinetiğinde, adsorbent olarak kullanılan maddelerin seçiminde adsorpsiyon hızının baz alınması gerekir. Adsorpsiyon sistemlerinde adsorpsiyonun hızı kinetik çalışmalarla hesaplanabilir. Adsorpsiyon çalışmalarında adsorpsiyon kinetiklerinin incelenmesi için yalancı birinci dereceden ve yalancı ikinci dereceden kinetik modelleri kullanılmaktadır (Salleh, vd., 2011; Yagub, vd., 2014).

1.4.3.1. Yalancı birinci dereceden kinetik model

Lagergren'in türettiği yalancı birinci dereceden kinetik model aşağıdaki gibi ifade edilmektedir (Lagergren, 1898):

$$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{k_1}{2,303} t \quad (1.7)$$

Yukarıda verilen eşitlikte;

q_t : t zamanında adsorplanan madde konsantrasyonu (mg/g)

t : zaman (dakika)

k_1 : Birinci dereceden hız sabiti (dak^{-1})'ni ifade eder.

Yukarıda verilen eşitlik ile t değerlerine karşı $\log (q_e - q_t)$ grafiğinin çizilmesi ile doğru denkleminin eğiminden k_1 hız sabiti, kesim noktası değerinden q_e değeri hesaplanır.

1.4.3.2. Yalancı ikinci dereceden kinetik model

Ho ve McKay tarafından türetilen yalancı ikinci dereceden kinetik model aşağıdaki gibi ifade edilebilir (Ho ve McKay, 1999).

$$\frac{t}{q_t} = \frac{t}{q_e} + \frac{1}{k_2 q_e^2} \quad (1.8)$$

Yukarıda verilen eşitlikte;

k_2 : İkinci dereceden hız sabiti (g/mg.dak)

Yukarıdaki eşitlik kullanılarak t değerine karşı t/q_t değerinin grafiğinin çizilmesi ile oluşan doğru denkleminin eğiminden q_e değeri, kesim noktası değerinden ise k_2 hız sabiti hesaplanır.

1.4.3.3. Parçacık içi difüzyon modeli

Weber ve Morris tarafından türetilen parçacık içi difüzyon modeli aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir.

$$q_t = k_i t^{1/2} + C \quad (1.9)$$

Yukarıda verilen eşitlikte;

k_i : Parçacık içi difüzyon hız sabiti (mg/g $\times$ dak²)

C : Absorbent ile absorbat arasında oluşan tabakanın kalınlığı hakkında bilgi veren sabiti ifade eder.

Yukarıdaki eşitlik kullanılarak $t^{1/2}$ 'ye karşılık q_t grafiği çizilir ve doğrunun eğiminden k_i değeri, kesim noktasından ise C değerini hesaplanır (Weber ve Morris, 1963).

1.4.4. Adsorpsiyon termodinamiği

Adsorpsiyonun kendiliğinden meydana gelip gelmediğini anlamak için termodinamik formüllerden yararlanılır. Adsorpsiyon prosesi boyunca enerji değişimleri hakkında daha fazla bilgi edinebilmek için aşağıdaki eşitlikler kullanılarak Gibbs serbest enerji değişimi (ΔG°), standart entalpi değişimi (ΔH°) ve standart entropi değişimi (ΔS°) hesaplanabilir.

$$\Delta G^\circ = -RT \ln(K_L) \quad (1.10)$$

$$\ln(K_L) = -\frac{\Delta H^0}{RT} + \frac{\Delta S^0}{R} \quad (1.11)$$

Yukarıda verilen eşitlikte;

ΔG : Gibbs serbes enerji değişimi (kJ mol^{-1}),

ΔS : Entropi değişimi ($\text{kJ mol}^{-1} \text{K}$),

ΔH : Entalpi değişimi (kJ mol^{-1}),

T : Mutlak sıcaklıktır (Kelvin).

Eşitlik 1.10 kullanılarak Gibbs serbest enerji değişimi (ΔG°) hesaplanabilir. van't Hoff eşitliği olarak da bilinen Eşitlik 1.11 kullanılarak ise $1/T$ değerine karşı $\ln(K_L)$ değeri grafiğe geçirildiğinde grafiğin eğim değerinden ΔH° ve kesim noktası değerinden ΔS° değeri hesaplanır (Ahmad vd., 2014; Dakiky, vd., 2002).

1.4.5. Adsorbentler

Adsorbentler doğal ve sentetik adsorbentler olmak üzere sınıflandırılabilirler. Doğal adsorbentler kömür, kil, kil mineralleri, zeolitler ve maden filizlerini içerirler. Bir çok durumda nispeten ucuz olan ve kolaylıkla bol miktarda temin edilebilen bu doğal malzemelerin yüzey modifikasyonu adsorpsiyon kapasitelerini önemli derecede artırır. Sentetik adsorbentler ise tarımsal ürünlerden ve atıklardan, evsel atıklardan, endüstriyel atıklardan ve polimerlerden elde edilen adsorbentlerdir. Her bir adsorbent gözeneklilik, gözenek yapısı ve adsorplayıcı yüzey yapısı bakımından kendi karakteristiğine sahiptir. Meyve atıkları, Hindistan cevizi kabukları, hurda lastikler, kabuklar ve diğer tanin içeren maddeler, talaş, pirinç kabukları, petrol atıkları, gübre atıkları, kül, şeker endüstrisi atıkları, yüksek fırın cürufu, kitosan ve deniz ürünü atıkları, deniz yosunu ve algler, turba, killer, kırmızı çamur ve zeolitler adsorbent eldesi için kullanılan atık malzemelere örnek olarak verilebilir (Rashed, 2013).

Endüstriyel amaçla kullanılan adsorbentlerin özellikleri (Berkem, 1975);

- Adsorplama kapasitesinin yüksek olması,
- Maliyetinin uygun olması,
- Geri dönüşüm sağlanarak tekrar kullanılabilmesi,
- Bol miktarda bulunabilmesi,
- Seçicilik göstermesi,

- Sağlam bir fiziki yapıya sahip olması,
- İstenmeyen kimyasal tepkimeler oluşturmaması, şeklinde sıralanabilir.

Zeolit; 40'tan fazla çeşit zeolitin doğada var olduğu bilinmektedir. Ama araştırmacılar linoptilolitenin kolayca bulunabildiğini ve genellikle bir hölandit mineral grubu olan zeolitin kullandığını gözlemlemişlerdir.

Metal oksit nanoparçacıkları; Metal oksit nanoparçacıkları atık su arıtma endüstrisinde kullanılır. Ortalama 20-100 nm büyüklüğündeki demir oksit nanoparçacıkları mükemmel manyetik özellikleri, geniş yüzey alanı, yüksek adsorpsiyon kapasitesi, nanoparçacık boyutu ve adsorpsiyondan sonra katıların basit manyetik ayrımı nedeniyle araştırmacıların ilgisini çekmiştir (Giri, vd., 2011). Süper manyetik özellikleri sebebiyle Manyetit (Fe_3O_4) ve Magemit ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) boya uzaklaştırmasında kullanılan demir oksit türleridir (Lu, vd., 2013; Boutonnet, vd., 2008).

1.4.5.1. Aktif Karbon

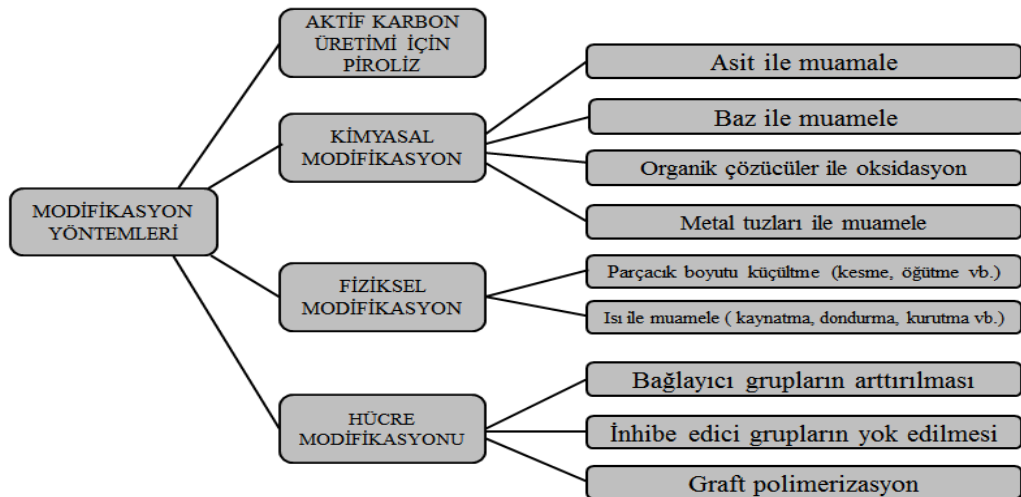
Hem granül haldeki aktif karbon hem de toz halindeki aktif karbon sahip olduğu geniş yüzey alanı, mikro gözenekli yapısı ve ekonomik açıdan kolay temin edilmesinden dolayı evsel ve endüstriyel atık sulardan istenmeyen koku, renk, tat ve diğer organik veya inorganik safsızlıkların giderilmesinde yaygın bir şekilde adsorbent olarak kullanılır. Aktif karbonun bileşiminde kütlece yaklaşık %95 oranında karbon bulunur. Karbonun yanı sıra aktif karbon hidrojen, azot, kükürt ve oksijen gibi farklı atomları da içerebilir. Bu hetero atomlar aktif karbon eldesinde kullanılan ham madde veya karbonun aktivasyonu gibi diğer üretim proseslerinden kaynaklı olabilir (Rashed, 2013).

Aktif karbon (AC); kömür gibi yenilenemeyen kaynaktan üretilir ve adsorpsiyonla sulu ortamda yer alan kirleticilerin uzaklaştırılmasında adsorban olarak kullanılır. Bu çok yönlü adsorbanın etkinliği dış yüzey alanına, gözenek yapısı, yüksek adsorpsiyon kapasitesi ve yüksek oranda yüzey reaktifliğine bağlıdır (Skodras, vd., 2007).

Son yıllarda gelişen araştırma alanlarının odak noktası tarımsal katı atık biyokütle esaslı aktif karbondur. Biyokütle atığı aktif karbon üretimi için etkin maliyetli ve yenilenebilir kaynak sunar. Bu atık maddelerin çok az bir ekonomik değeri vardır ya

da hiç yoktur (Abd EI-Latif MM vd., 2010). Bu nedenle, bu düşük maliyetli yan ürünlerin değerinin artması gerekmektedir. Bu dönüşüme ekonomik değer katıp atık boşaltım maliyetini düşürecektir ve ticari aktif karbonlara potansiyel olarak uygun fiyatlı alternatif adsorban sağlayacaktır. Biyokütle esaslı aktif karbon fiziksel ya da kimyasal bir aktivasyon yöntemiyle sentezlenir.

Seçilen adsorbente bağlı olarak yüzeyde birçok kimyasal fonksiyonel grup bulunur. Bunlara örnek olarak karbonil, karboksil, hidroksil, amid, fenolik, fosfat, fosfodiester amin, imidazol, sülfonat, imin, sülfidril ve tiyoeter grupları verilebilir. Bazı durumlarda kullanılan adsorbentin yüzey özellikleri sulu ortamda yer alan kirleticilerin uzaklaştırılmasında etkin olmamaktadır. Bu amaçla adsorbentin yüzeyi aşağıdaki şekilde yer alan yöntemler ile modifiye edilerek daha iyi yüzey özelliklerine sahip adsorbentler oluşturulur (Park, vd. 2010).



Şekil 1.3. Daha iyi adsorbentler üretmek için modifikasyon yöntemleri (Nguyen, vd., 2013).

1.4.5.2. Amberlyst A21

Amberlyst A21 4,6 eq/kg'dan büyük değiştirme kapasitesine sahip olan zayıf bazik (üçüncül amin) karakterli ve makro gözenekli polistiren bir reçinedir (Sarı ve Özmen, 2018).

1.5. Literatür Özeti

Karekar ve çalışma arkadaşları, sulu ortamdan krom (VI) iyonlarının giderimi için zayıf bazik anyon değiştiriciler olan Tulsion A-10X ve Amberlyst A21 reçinelerini kullanmışlardır. Yapılan çalışmada temas süresi, krom (VI) derişimi, reçine miktarı, sıcaklık ve pH'nın adsorpsiyon üzerine etkileri incelenmiş ve her iki reçine için de krom (VI) giderimi yaklaşık olarak % 99 olarak hesaplanmıştır. Deneylerde krom (VI) iyonunun başlangıç derişimi 350 mg/L ve reçine miktarı 150 mg olarak kullanılmış en yüksek krom (VI) iyonu giderimi ise pH 2,0-5,0 aralığında ölçülmüştür. Denge sorpsiyon verilerinin Langmuir izoterm modeline uyduğu görülmüştür. Adsorpsiyon prosesinin yalancı ikinci dereceden kinetik modeline uyduğu ve parçacık içi difüzyon modeli ile kontrol edildiği belirtilmiştir. Desorpsiyon çalışmaları NaOH çözeltisi kullanılarak gerçekleştirilmiş ve iki reçine kıyaslandığında NaOH'in Amberlyst A21'in kullanıldığı çalışmalarda daha uygun bir desorbent olduğu görülmüştür (Karekar vd., 2017).

Guimaraes ve Leao, (2014), sulu çözeltilerden sülfat iyonunun giderimi amacıyla adsorbent olarak polistiren zayıf bazik iyon değiştirici olan Amberlyst A21 reçinesini kullanmışlardır. Yapılan çalışmada asidik ortamda sülfat gideriminin daha yüksek olduğu ve hem pH hem de başlangıç sülfat derişiminin sorpsiyon verimini önemli derecede etkilediği gözlenmiştir. Belirlenen deneysel şartlar altında Amberlyst A21 kullanılarak sülfat gideriminin oldukça hızlı olduğu ve dengeye gelme süresinin 45 dakika olduğu belirlenmiştir. Sülfat sorpsiyonunun yalancı ikinci dereceden kinetik model ile uyumlu olduğu, denge verilerinin ise Langmuir izoterm modeline uyduğu gözlenmiştir.

Torgut ve çalışma arkadaşları RBBR boyasının giderimi için yeni bir polimerik adsorbent olan poli[2-hidroksi-3-(1-naftiloksi)propil]metakrilat kullanmışlardır. Çalışmada istatistiksel bir yöntem olan cevap yüzey yöntemi uygulanmıştır. 60,85 mg/L'lik başlangıç RBBR derişiminde ve 0,04 g/50 mL'lik adsorbent kullanıldığında 59,91 dakikalık temas süresi sonunda RBBR için yüzde giderim değeri %99,85 olarak hesaplanmıştır. Adsorpsiyon denge verileri kullanılarak gerçekleştirilen izoterm çalışmaları sonucunda Langmuir izotermine göre maksimum adsorpsiyon kapasitesi

238,10 mg/g olarak hesaplanmıştır. Kinetik verilerin ise yalancı ikinci dereceden kinetik model ile uyumlu olduğu görülmüştür (Torgut vd., 2017).

Liu, vd., (2009), Remazol Brilliant Blue R'nin renk giderimini ve biyoparçalanmasını bilirubin oksidaz enzimi kullanarak araştırmışlardır. Sadece bilirubin oksidazın kullanıldığı deneysel çalışmalarda 4 saatlik süre sonunda % 40 renk giderimi gözlenirken, bilirubin oksidaz ile birlikte 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolin-6-sulfonik asit)'in kullanıldığı çalışmalarda 25 dakikalık süre sonunda renk giderimi % 91,5'e ulaşmıştır. Sonuçlar RBBR derişimi arttıkça renk giderim veriminin azaldığını ve 100 mg/L'lik RBBR derişiminden sonra önemli derecede düştüğünü göstermektedir. Renk giderimi için en uygun sıcaklık 40 °C ve 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolin-6-sulfonik asit) varlığında en uygun pH 8, yokluğunda ise pH 5 olarak belirlenmiştir (Liu vd., 2009).

Palmieri ve çalışma arkadaşları RBBR boyasının renk giderimi için *Pleurotus ostreatus* mantarı ve enzimlerini kullanmışlardır. Agar plate ortamında *Pleurotus ostreatus* mantarı 3 gün içerisinde RBBR boyasını tamamen gidermiştir. Yapılan çalışmada RBBR boyasının renk gideriminde *Pleurotus ostreatus* mantarının ürettiği lakkaz enziminin etkili olduğu gösterilmiştir (Palmieri vd., 2005).

Reis, vd., (2011), sodyum dodesil sülfat (SDS) içeren ortamda Amberlite XAD-2 ve XAD-4 reçineleri üzerine sulu çözelti ortamından Malachite Green ve Methyl Green katyonik boyalarının adsorpsiyonunu araştırmışlardır. Çalışmada SDS derişimi, pH, iyonik şiddet ve sıcaklık gibi deneysel parametrelerin adsorpsiyon üzerine etkileri incelenmiştir. Malachite Green adsorpsiyonu için SDS derişimi adsorpsiyon verimini etkilememiş ancak adsorpsiyon hızını etkilemiş ve yüzey aktif madde varlığında adsorpsiyon daha hızlı gerçekleşmiştir. Methyl Green adsorpsiyonunda ise hem Amberlite XAD-2 hemde XAD-4 için adsorpsiyon verimi yüzey aktif madde derişiminin artması ile birlikte artmıştır. Kinetik araştırmalar adsorpsiyon prosesinin yalancı birinci dereceden kinetik model ile uyumlu olduğunu ve adsorpsiyon hızının parçacık içi düfüzyon modeli düzenlendiğini göstermektedir.

Yener ve çalışma arkadaşları, klinoptilolit ve amberlite QAD-4 kullanarak sulu çözeltilerden katyonik bir boya olan Basic Yellow 28 boyasının giderimini araştırmışlardır. Boya atıklarının sulu çözeltilerinde hem denge hem de adsorpsiyon hızı

incelemelerini yapmışlardır. Adsorpsiyon hızı 20, 30 ve 40 °C’de yalancı birinci ve yalancı ikinci dereceden kinetik modelleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Adsorpsiyon denge verileri adsorpsiyon izoterm modelleri kullanılarak analiz edilmiş ve Basic yellow 28 boyasının klinoptilolit üzerine adsorpsiyonu için adsorpsiyon kapasitesi yukarıda belirtilen sıcaklıklarda sırası ile 59,6; 52,9 ve 56,7 mg/g olarak bulunmuştur. Amberlite XAD-4 için ise daha düşük adsorpsiyon kapasiteleri elde edilmiştir. Kinetik çalışmalar klinoptilolit ve amberlite üzerine Basic Yellow 28 adsorpsiyonun yalancı birinci dereceden kinetik modele uygun olduğunu göstermiştir (Yener, vd. 2006).

Rahmat ve çalışma arkadaşları RBBR boyasının giderimi için ananas yapraklarından ve limon kabuklarından elde ettikleri tozları adsorbent olarak kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmada yüzde giderim değerleri her iki adsorbent için de %90’ın üzerinde hesaplanmış ve adsorpsiyon denge verilerinin Langmuir izoterm modeline uyduğu gözlenmiştir. Adsorpsiyon kinetiklerinin ise yalancı ikinci dereceden kinetik model ile uyumlu olduğu gösterilmiştir (Rahmat, vd., 2016).

Köklü ve Özer, (2017), tarafından yapılan çalışmada RBBR giderimi için adsorban olarak sigara külü kullanılmış ve yapılan çalışma sonucunda temas süresi 100 mg/L’lik RBBR derişimi için 180 dakika olarak bulunmuştur. Sigara külü kullanılarak RBBR adsorpsiyonunun Langmuir izotermine uyduğu gözlenmiştir. Adsorpsiyon verilerinin ise yalancı ikinci dereceden kinetik modele uygun olduğu belirtilmiştir.

Ahmad ve Alrozi, (2011), RBBR giderimi için tropik bir meyve olan rambutan kabuklarından elde etmiş oldukları aktif karbonu adsorbent olarak kullanmışlardır. Potasyum hidroksit ve karbon dioksit uygulanarak hazırlanan aktif karbonun fizikokimyasal aktivasyonu yapılmıştır. Hazırlanan aktif karbon ile RBBR giderimi %78,38 olarak gerçekleştirilmiştir .

Ada, vd., (2009), ZnO tozunu kullanarak RBBR’nin sulu çözeltiden adsorpsiyonunu incelemişlerdir. Adsorpsiyon üzerine pH, başlangıç boya derişimi, temas süresi ve sıcaklığın etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda 1000 mg/L’lik RBBR başlangıç derişiminde adsorpsiyon için en yüksek giderim değerlerinin pH 4’te elde edildiği belirtilmiştir. RBBR’nin ZnO üzerine adsorpsiyonuna ait denge verileri Langmuir ve D-R izoterm modeline uymaktadır. Adsorpsiyon kinetiğinin tanımlanması için ise farklı kinetik modeller denenmiş ve adsorpsiyon kinetiğinin Ritchie ikinci dereceden kinetik modele uyduğu görülmüştür (Ada, vd., 2009).

Silva ve çalışma arkadaşları, endüstriyel atık çamurdan elde ettikleri mezogözenekli aktif karbonu kullanarak RBBR boyasının adsorpsiyonunu incelemişlerdir. En yüksek giderim değerine pH 2’de ulaşılmıştır. Deneysel çalışmalar adsorpsiyon denge verilerinin Freundlich modeline uyduğunu göstermiştir. Langmuir izoterm modelinden elde edilen adsorpsiyon kapasitesi ise 33,47 mg/g olarak hesaplanmıştır. 20,0; 40,0 ve 60,0 mg/g’lık RBBR başlangıç derişimlerinden elde edilen verilere yalancı birinci dereceden, ikinci dereceden ve parçacık içi difüzyon modeli uygulanmış ve her üç derişim içinde sonuçların yalancı ikinci dereceden kinetik model ile uyumlu olduğu görülmüştür (Silva, vd., 2016).

Sathishkumar, vd., (2012), tarafından yapılan bir çalışmada reaktif boya RBBR’nin adsorpsiyonu için tarımsal bir atık olan *Jatropha curcas* bitkisinin kozalarından elde edilen aktif karbon kullanılmıştır. *Jatropha curcas* bitkisi biyodizel üretiminde kullanılan %27-40 oranında yağ içeren bir bitkidir. 120 dakikalık dengeye gelme süresinden sonra 50 mg/L’lik RBBR başlangıç derişiminde 0,2 g aktif karbon kullanılmış ve giderim %95 olarak hesaplanmıştır. En yüksek giderim değerine pH 3’te ulaşılmış ve pH arttıkça giderim değerleri azalmıştır. Adsorpsiyon izoterm çalışmaları adsorpsiyonun Langmuir izoterm modeline uyduğunu göstermiş ve R_L değeri 0,00087 olarak hesaplanmıştır. Kinetik verilerin ise yalancı birinci dereceden kinetik model ile uyumlu olduğu belirtilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

2.1. Kullanılan Adsorbent Maddelerin Hazırlanması

2.1.1. Amberlyst A21'in hazırlanması

Tez çalışması kapsamında kullanılan Amberlyst A21 adsorbenti (216410 CAS 9049 93-8) Sigma-Aldrich firmasından temin edilmiştir. Adsorpsiyon çalışmalarından önce Amberlyst A21 90 °C'de etüvde 120 dakika kurutulmuş ve deneysel çalışmalarda kullanılmıştır.

2.1.2. Aktif karbonun hazırlanması

Bu tez çalışmasında kullanılan ticari aktif karbon (Darco type, 242233) granül yapısındadır ve 4-12 mesh aralığında tanecik boyutuna sahiptir. Sigma-Aldrich'ten temin edilmiştir. Deneysel çalışmalardan önce aktif karbon havanda ezilerek tanecik boyutu küçültülmüştür.

2.1.3. Aseton ile modifiye edilmiş aktif karbon (Aseton-MAK)'un hazırlanması

Modifiye aktif karbonun hazırlanması için 100 mL'lik aseton su karışımına (1:1) 4,0 gram aktif karbon eklenerek 60 dakika boyunca manyetik karıştırıcıda 400 rpm hızında karıştırılmıştır. Daha sonra süzölmüş ve açık havada kurutulmuştur.

2.1.4. Dodesiltrimetilamonyum bromür ile modifiye edilmiş aktif karbon (DTAB-MAK)'un hazırlanması

Aktif karbonun dodesiltrimetil amonyum bromür ile modifikasyonu için 100 mL 2×10^{-2} M dodesiltrimetilamonyum bromür çözeltisi hazırlanmış ve bu çözeltiye 5,0 gram aktif karbon eklenerek 60 dakika boyunca manyetik karıştırıcıda 400 rpm hızında karıştırılmıştır. Daha sonra süzölmüştür ve sonra 1 saat boyunca 90 °C'de etüvde kurutulmuştur.

2.1.5. Heksadesiltrimetil amonyum bromür ile modifiye edilmiş aktif karbon (HTMA-MAK)'un hazırlanması

Aktif karbonun heksadesiltrimetil amonyum bromür ile modifikasyonu için 100 mL 2×10^{-2} M heksadesiltrimetilamonyum bromür çözeltisi hazırlanmış ve bu çözeltiye 5,0 gram aktif karbon eklenerek 60 dakika boyunca manyetik karıştırıcıda 400 rpm

hızında karıştırılmıştır. Daha sonra süzölmüştür ve sonra 1 saat boyunca 90 °C’de etüvde kurutulmuştur.

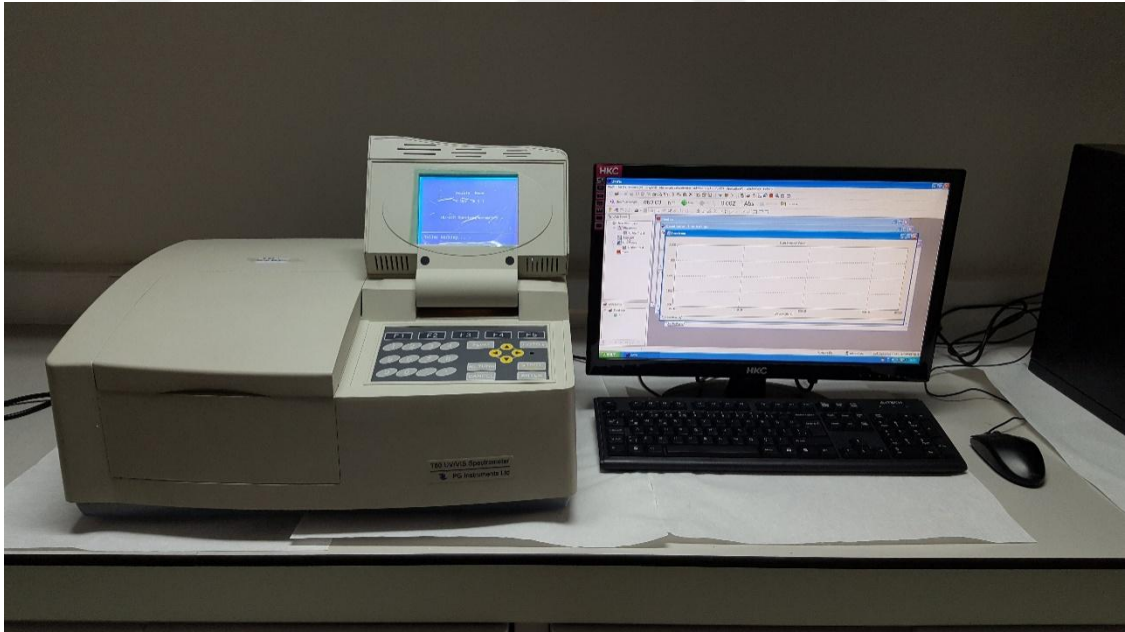
2.2. Remazol Brilliant Blue R Çözeltilisinin Hazırlanması

Tez çalışması kapsamında sulu ortamdan giderimi araştırılan ve suda çözünen bir boya olan Remazol Brilliant Blue R Sigma-Aldrich firmasından temin edilmiştir. Remazol Brilliant Blue R’nin 1000 ppm’lik stok çözeltisi saf suda hazırlanmıştır. Remazol Brilliant Blue R çözeltilerinin pH’ları ise 0,1 M HCl ve 0,1 M NaOH kullanılarak ayarlanmıştır.

2.3. Deneysel Çalışmalarda Kullanılan Cihazlar

Hassas terazi: Deneysel çalışmalarda kullanılan analitik terazi Shimadzu markadır. Remazol Brilliant Blue R ve adsorbentlerin tartım işlemlerinde kullanılmıştır.

UV-Vis Spektrofotometre: Sulu çözeltilerdeki Remazol Brilliant Blue R’nin miktarı T80 UV/VIS Spectrometer PG Instruments marka spektrofotometre kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Tez çalışmasında kullanılan UV-Vis spektrofotometre.

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

Santrifüj: Adsorpsiyon süresi sonunda alınan numunelerdeki adsorbentlerin ve biyosorbentlerin çöktürülmesi amacıyla kullanılmıştır.

Çok noktalı manyetik karıştırıcı: Adsorpsiyon çalışmalarında kullanılan manyetik karıştırıcı 10 noktalı ve sıcaklık kontrollü olup, Mika markadır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Deneysel çalışmalarda kullanılan çok noktalı manyetik karıştırıcı.

2.4. Deneysel Yöntem

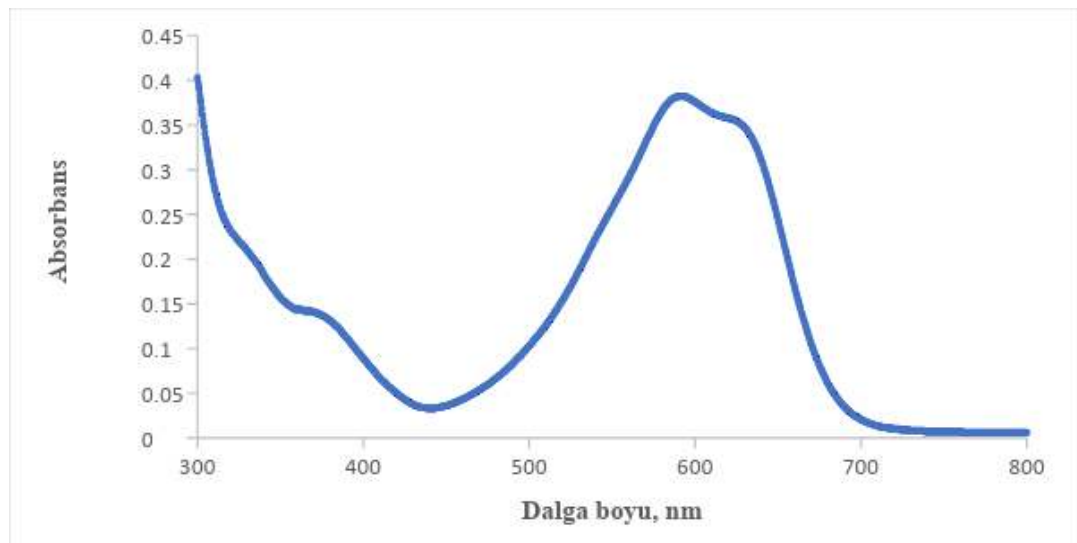
Remazol Brilliant Blue R'nin sulu ortamdan giderim deneyleri çok noktalı manyetik karıştırıcı kullanılarak gerçekleştirildi. İlk olarak çözelti pH'nın ve temas süresinin Remazol Brilliant Blue R'nin giderimi üzerine etkisi araştırıldı. Adsorpsiyon çalışmaları kesikli sistemde 100 mL'lik beherler içerisine 50 mL RBBR çözeltileri konularak, 200 devir/dk'lık karıştırma hızı uygulanarak gerçekleştirildi. Bunun için pH 2, 4, 6, 8 ve 10 olacak şekilde 5 farklı pH'da 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 140, 150 ve 160. dakikalarda 1,0 mL numune alınarak UV-Visible spektrofotometrede Remazol Brilliant Blue R'nin absorbansı ölçüldü. pH ve temas süresi belirlendikten sonra 0,25; 0,50; 0,75; 1,00; 1,50 ve 2,00 g/L olacak şekilde Amberlyst A21, aktif karbon ve modifiye edilmiş aktif karbon türleri miktarı değiştirilerek boya giderimi üzerine etkisi incelendi. Başlangıç boya derişiminin etkisini incelemek amacıyla 50 ppm ile 400 ppm arasında değişen derişimlerde Remazol Brilliant Blue R çözeltisi kullanıldı. Başlangıç boya derişimi ve temas süresi çalışmalarından elde edilen sonuçlar yardımı ile adsorpsiyon izotermi ve kinetik modellere uygunluk incelendi.

3. DENEYSEL BULGULAR

Bu tez çalışmasında, farklı adsorbentler kullanılarak RBBR'nin sulu çözelti ortamından giderimi adsorpsiyon yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Deneysel çalışmalarda adsorbent olarak aktif karbon, Aseton-MAK, DTAB-MAK, HTMA-MAK ve zayıf bazik bir anyon değiştirici olan Amberlyst A21 kullanılmıştır. Adsorpsiyon için en uygun deneysel koşullar belirlenmeye çalışılmıştır. İlk olarak RBBR'nin tayini için UV-Vis spektrofotometrede dalga boyu belirlenmiştir. Daha sonra çalışmada kullanılan her bir adsorbent için en yüksek RBBR gideriminin gözlemlendiği çözelti pH'ı ve temas süresi belirlenerek, adsorbent miktarının ve RBBR boyası başlangıç derişiminin adsorpsiyon üzerine etkisi araştırılmıştır. Adsorpsiyon denge sonuçları yardımı ile RBBR'nin sulu çözeltiden giderimi için adsorpsiyon izotermi Freundlich, Langmuir ve Temkin izoterm modelleri ile incelenmiştir. Yalancı (pseudo) birinci derece, yalancı (pseudo) ikinci derece ve partikül içi difüzyon modelleri kullanılarak adsorpsiyon kinetiği araştırılmıştır.

3.1. Remazol Brilliant Blue R'nin Spektrofotometrik Tayini

Remazol Brilliant Blue R çözeltilerinin derişimlerini tayin etmek için spektrofotometrik yöntem kullanılmıştır. UV-Vis spektrofotometrede Remazol Brilliant Blue R için 300-800 nm arasında dalga boyu taraması yapılmış ve en yüksek absorbens değeri 590 nm olarak tespit edilmiştir (Şekil 3.1). Tez çalışması kapsamında tüm çözeltilerde RBBR ölçümü 590 nm'de gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1. Remazol Brilliant Blue R için UV-Vis spektrumu.

3.2. RBRR'nin Adsorpsiyonu Üzerine pH ve Temas Süresinin Etkisi

Hem boya molekülünün hem de adsorbentin yüzeyinde yer alan bağlayıcı birimlerin iyonlaşma sürecini etkilemesinden dolayı sulu çözeltinin pH değeri boya molekülünün adsorpsiyonunu önemli derecede etkiler. Sulu çözeltilerde bulunan boya molekülünün ve adsorbentin kimyası çözelti pH'ından etkilendiği için deneysel çalışma kapsamında ilk olarak Remazol Brilliant Blue R'nin sulu ortamdan Amberlyst A21, aktif karbon ve modifiye edilmiş aktif karbon türleri kullanılarak giderimi üzerine yapılan çalışmalarda pH'nın etkisi; pH 2, 4, 6, 8 ve 10 olacak şekilde 5 farklı pH'da incelenmiştir.

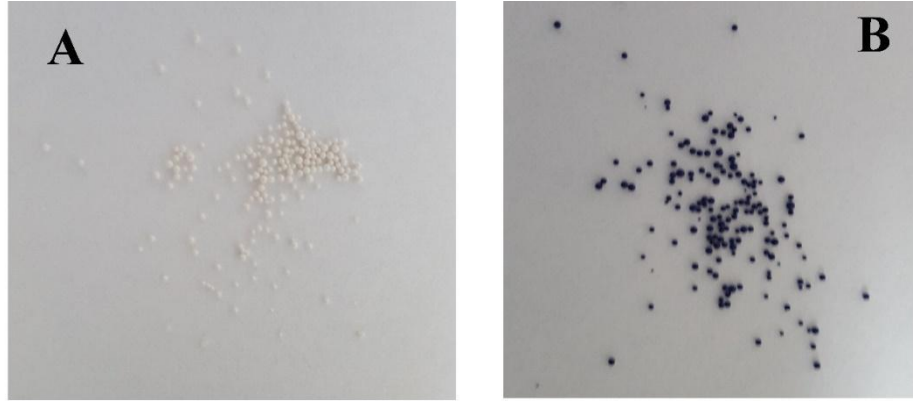
Adsorpsiyon işlemlerinde diğer önemli bir parametre olan temas süresi proses boyunca daima iki basamak ile tanımlanır; i) hızlı ve kantitatif olarak baskın ii) yavaş ve kantitatif olarak önemsiz basamak. Birinci basamak boyunca adsorpsiyon prosesi adsorbentin yüzeyindeki aktif birimlerin kullanılabilirliğinin yüksek olmasından dolayı oldukça hızlıdır, ikinci basamakta ise denge durumuna ulaşmaya kadar hız yavaşlar (Anastopoulos, vd., 2017). Remazol Brilliant Blue R'nin sulu çözeltilerden adsorpsiyonu üzerine temas süresinin etkisini incelemek amacıyla; 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 140, 150 ve 160. dakikalarda. 1,0 mL numune alınarak spektrofotometrede okuma yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda adsorpsiyon işleminden sonra çözeltide kalan Remazol Brilliant Blue R derişimini gösteren C_e (ppm, mg/L), adsorbentin birim kütlesi başına adsorplanan Remazol Brilliant Blue R miktarını ifade eden q_e (mg/g) ve % giderim (% G) değerleri Eşitlik 3.1 ve 3.2'de verilen formüllere göre hesaplanmıştır. Eşitliklerde C_0 ; çözeltideki başlangıç Remazol Brilliant Blue R derişimini (mg/L, ppm) göstermektedir.

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

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

Tez çalışmasının ilk kısmında adsorbent olarak Amberlyst A21 kullanılmış ve adsorpsiyonun gerçekleştiği en uygun pH'nın belirlenmesi amacıyla çözelti pH'nın Remazol Brilliant Blue R giderimi üzerine etkisi araştırılmıştır. Amberlyst A21 opak

küresel boncuklar halinde bir görünüme sahip olan zayıf bazık karakterli bir anyon değiştiricidir. şekil 3.2’de RBBR adsorpsiyonundan önce ve RBBR adsorpsiyonundan sonra Amberlyst A21’in görünümü verilmektedir.

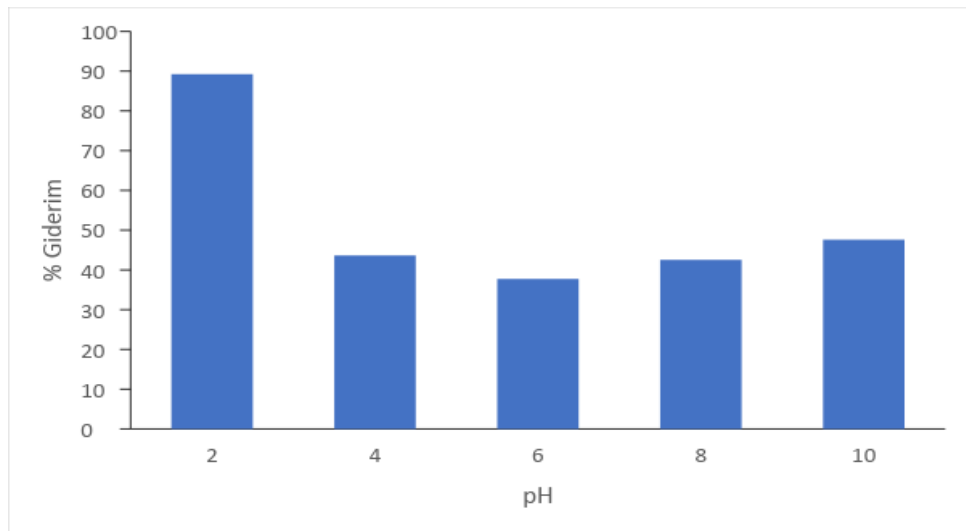


şekil 3.2. Amberlyst A21 adsorbentinin A) adsorpsiyondan önceki B) RBBR adsorpsiyonundan sonraki görünümü.

Çözelti pH’ının RBBR adsorpsiyonu üzerine etkisi Çizelge 3.1 ve şekil 3.3’de verilmektedir.

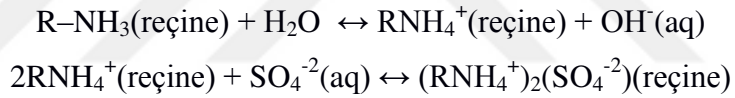
Çizelge 3.1. Remazol Brilliant Blue R’nin Amberlyst A21 yüzeyine adsorpsiyonunda yüzde giderim değerlerinin çözelti pH’ı ile değişimi (C_o : 100 ppm, temas süresi: 150 dakika, t : 25 °C, m : 0,05 g, V : 0,05 L).

pH	2	4	6	8	10
% Giderim	89,23	43,66	37,75	42,51	47,60



şekil 3.3. Amberlyst A21 ile Remazol Brilliant Blue R’nin % giderimi üzerine pH etkisi (C_o : 100 ppm, t : 25 °C, m : 0,05 g, V : 0,05 L, Temas süresi:150 dakika).

Çözelti pH'ının adsorpsiyon üzerine etkisi incelendiğinde Çizelge 3.1 ve Şekil 3.3'de görülen deneysel sonuçlar en yüksek giderimin 150 dakika sonunda pH 2'de (% 89,23) en düşük giderimin ise pH 6'da (% 37,75) gerçekleştiğini göstermektedir. Amberlyst A21 ile Remazol Brilliant Blue R'nin uzaklaştırılması için elde edilen deneysel sonuçlardan Amberlyst A21 ile Remazol Brilliant Blue R'nin sulu çözeltiden adsorpsiyon yolu ile gideriminin artan çözelti pH'ı ile birlikte azaldığı görülmektedir. Benzer bir sonuç Guimares ve Leao'nun sulu çözeltiden sülfat iyonlarını gidermek için adsorbent olarak Amberlyst A21 kullandıkları çalışmada da elde edilmiş ve çözelti asitliği azaldıkça Amberlyst A21 yüzeyine sülfat iyonlarının bağlanmasının azaldığı belirtilmiştir. Bu durum Amberlyst A21 yüzeyinde yer alan ve sülfat iyonunu bağlayabilmesi için pozitif yük ile yüklenen tersiyer amin gruplarının varlığı ile açıklanmıştır. Bu nedenle, artan çözelti asitliği ile yüzeydeki protonlanmış amin gruplarının derişimi artmakta ve negatif yüklü olan sülfat iyonunu daha fazla bağlayabilmektedir (Guimaraes ve Leao, 2014). Elde edilen bu sonuç iki kimyasal tepkime ile aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir;



Amberlyst A21 üzerine RBBR boyasının adsorpsiyonu; Guimaraes ve Leao tarafından önerilen bu iki kimyasal tepkime ile açıklanabilir. Adsorpsiyonun ilk aşamasında kimyasal tepkimede reçine olarak ifade edilen Amberlyst A21 yüzeyindeki tersiyer amin grupları protonlanmış ikinci aşamada ise anyonik bir boya olan RBBR Amberlyst A21 yüzeyine amin grupları üzerinden bağlanmıştır. Ayrıca Şekil 1.2'de verilmekte olan RBBR boyasının kimyasal yapısı incelendiğinde sulu çözeltide iyonlaşma sonucu negatif uçların sulfo (-SO₃⁻) grupları üzerinde olduğu da görülmektedir. Sulu çözeltinin pH değerinin artması ile hem Amberlyst A21 yüzeyinde RBBR boyasını bağlayacak olan protonlanmış tersiyer amin grubu derişimi azalacak hem de çözeltide negatif yüklü OH⁻ iyonlarını derişimi artacaktır. Bazik çözelti ortamında negatif yüklü boya molekülleri ile negatif yüklü OH⁻ iyonları arasında adsorpsiyon açısından rekabet yaşanacak ve sonuç olarak RBBR adsorpsiyonu azalacaktır (Silva vd., 2016).

Amberlyst A21 yüzeyine RBBR'nin adsorpsiyonu için temas süresinin etkisi incelenmiş ve 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 120, 140, 150 ve 160. dakikalarda 1,0 mL numune alınarak RBBR giderimi hesaplanmıştır. Gerçekleştirilen deneysel çalışma sonucunda Amberlyst A21'in kullanıldığı adsorpsiyon çalışmaları için dengeye varma süresi 150 dakika olarak belirlenmiştir. 150 dakikadan sonraki temas sürelerinde ise yüzde giderim değerlerinin çok fazla değişmediği görülmüştür.

Tez çalışmasının ikinci kısmında adsorbent olarak aktif karbon kullanılmış ve adsorpsiyonun gerçekleştiği en uygun pH'nın belirlenmesi amacıyla çözelti pH'nın Remazol Brilliant Blue R giderimi üzerine etkisi araştırılmıştır. 100 ppm'lik RBBR başlangıç derişiminde çözelti pH'sı 1,0; 1,5; 2,0; 4,0; 6,0; 8,0 ve 10,0 olarak değiştirilmiş ve elde edilen yüzde giderim değerleri Çizelge 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. RBBR'nin aktif karbon yüzeyine adsorpsiyonunda yüzde giderim değerlerinin çözelti pH'ı ile değişimi (C_0 : 100 ppm, temas süresi: 60 dakika, t: 25 °C, m: 0,05 g, V: 0,05 L).

pH	1,0	1,5	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
% Giderim	39,83	49,00	35,86	28,48	21,21	16,42	30,33

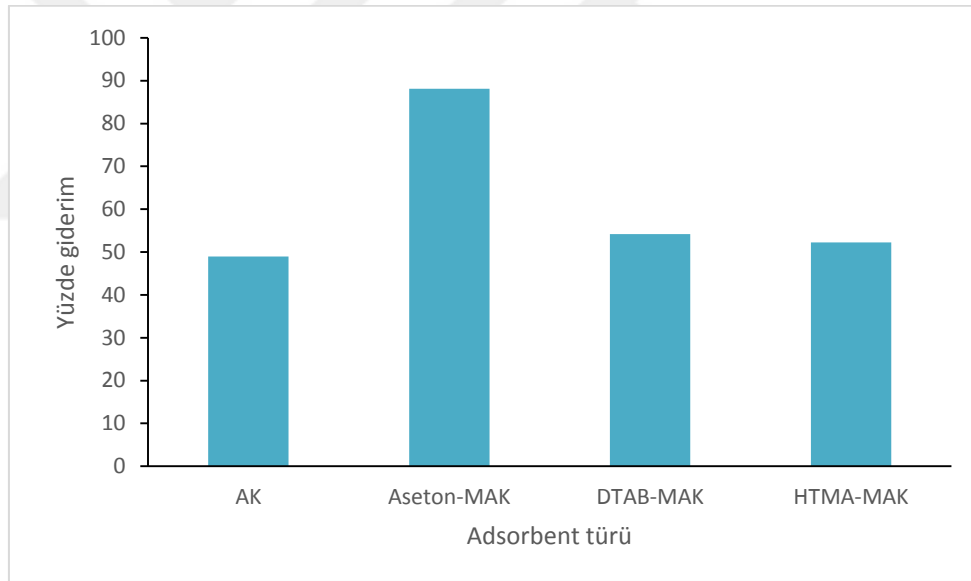
Aktif karbon yüzeyinde RBBR'nin adsorpsiyonuna çözelti pH'nın etkisi incelendiğinde tüm pH'larda yüzde giderim değerlerinin oldukça düşük olduğu görülmüştür. Bu nedenle aktif karbonun adsorpsiyon kapasitesini arttırmak amacı ile aktif karbon yüzeyinin modifikasyonu denenmiştir.

Aktif karbonun (AK) yüzey özelliklerinin artırılması için gerçekleştirilen modifikasyon çalışmalarında aktif karbon yüzeyi aseton, heksadesiltrimetilamonyumbromür (HTMA) ve dodesiltrimetilamonyum bromür (DTAB) kullanılarak modifiye edilmiştir. Modifikasyon işlemi sonunda elde edilen adsorbentler sırası ile Aseton-MAK, HTMA-MAK ve DTAB-MAK ile simgelenmiştir. Modifikasyon işleminin RBBR adsorpsiyonu üzerine etkisinin incelenmesi amacı ile 100 ppm'lik RBBR başlangıç derişiminde, 60 dakikalık temas süresinde, 0,05 g adsorbent miktarı kullanılmış ve hesaplanan yüzde giderim değerleri Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3. RBBR'nin adsorpsiyonunda aktif karbon modifikasyonunun yüzde giderim değerleri üzerine etkisi (C_0 : 100 ppm, pH: 1,5; temas süresi: 60 dakika, t: 25 °C, m: 0,05 g, V: 0,05 L).

Adsorbent Türü	Yüzde Giderim
AK	49,00
Aseton-MAK	88,14
DTAB-MAK	54,18
HTMA-MAK	52,29

Çizelge 3.3'de yer alan yüzde giderim değerleri incelendiğinde en yüksek giderim değerinin aseton kullanılarak modifiye edilmiş aktif karbon ile gerçekleştiği görülmektedir. Şekil 3.4'den de görüldüğü gibi DTAB ve HTMA kullanılarak yapılan modifikasyon işlemleri sonucu elde edilen aktif karbon türlerinden DTAB-MAK ve HTMA-MAK RBBR adsorpsiyonunu aktif karbona göre bir miktar arttırmıştır.



Şekil 3.4. Aktif karbon ile Remazol Brilliant Blue R'nin % giderimi üzerine modifikasyon türünün etkisi (C_0 : 100 ppm, t: 25 °C, m: 0,05 g, V: 0,05 L, Temas süresi: 60 dakika).

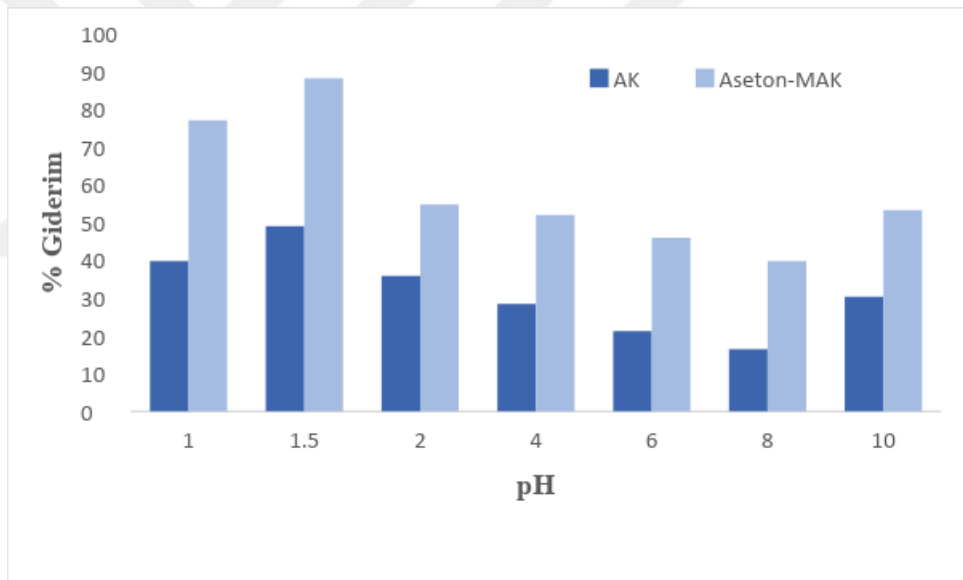
Çizelge 3.3'den de görüldüğü gibi AK kullanılarak yapılan çalışmalarda RBBR giderimi % 49,00 iken aseton ile modifiye edilmiş aktif karbon kullanılarak yapılan çalışmalarda RBBR giderimi % 88,14'e ulaşmıştır. En yüksek RBBR giderimi Aseton-MAK ile elde edildiği için bu aşamadan sonraki çalışmalarda adsorbent olarak Aseton-MAK kullanılmıştır.

Modifikasyon işlemi sonucu en uygun aktif karbon türü Aseton-MAK olarak seçildikten sonra çözelti pH'ının RBBR adsorpsiyonu üzerine etkisi pH 1,0-10,0 arasında incelenmiş ve RBBR boyasına ait hesaplanan yüzde giderim değerleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. RBBR'nin Aseton-MAK yüzeyine adsorpsiyonunda yüzde giderim değerlerinin çözelti pH'ı ile değişimi (C_0 : 100 ppm, temas süresi: 60 dakika, t : 25 °C, m : 0,05 g, V : 0,05 L).

pH	1,0	1,5	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
% Giderim	77,03	88,14	54,77	52,05	46,01	39,76	53,28

Aseton-MAK kullanılan çalışmalardan elde edilen deneysel sonuçlar incelendiğinde Şekil 3.5'ten de görüldüğü gibi tüm pH değerlerinde RBBR gideriminin AK kullanılan çalışmalara göre daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 3.5. AK ve Aseton-MAK yüzeyinde RBBR adsorpsiyonunun çözelti pH'ı ile değişimi (C_0 : 100 ppm, t : 25 °C, m : 0,05 g, V : 0,05 L, Temas süresi: 60 dakika).

Çözeltideki RBBR'nin iyonik formu ve aktif karbonun yüzey elektrik yükü çözelti pH'sından etkilenmektedir. Çözelti pH'sındaki değişim protonlanma veya deprotonlanma ile adsorbentin yüzey yükünü değiştirecektir (Kallel, vd., 2016). Bu yüzden, RBBR ve adsorbent arasındaki etkileşim hem RBBR'nin hem de aktif karbon yüzeyindeki fonksiyonel grupların iyonlaşmasına oldukça bağlıdır. AK ve Aseton-MAK kullanılan çalışmalarda en yüksek giderim değerlerine asidik pH'da (pH:1,5) ulaşılmış

ve çözeltinin bazikliği arttıkça RBBR'ye ait yüzde giderim değerleri azalmıştır. Bu durum aktif karbon yüzeyi ile RBBR boyası arasındaki elektrostatik etkileşim ile açıklanabilir (Sathishkumar, vd., 2012). Asidik pH değerlerinde AK ve Aseton-MAK'un yüzeyi pozitif yük ile yüklenmiştir ve bu durum negatif yüklü RBBR anyonlarının adsorbent yüzeyi ile elektrostatik çekim kuvvetleri aracılığıyla etkileşmesini arttırmaktadır (Pelosi, vd., 2014). Benzer bir sonuç RBBR boyasının giderimi için *Salvinia natans* makrofitinin biyosorbent olarak kullanıldığı bir çalışmada da elde edilmiş ve RBBR giderimi için en uygun çözelti pH'nın 1,0 olduğu belirtilmiştir (Pelosi, vd., 2014).

3.3. RBBR'nin Adsorpsiyonu Üzerine Adsorbent Miktarının Etkisi

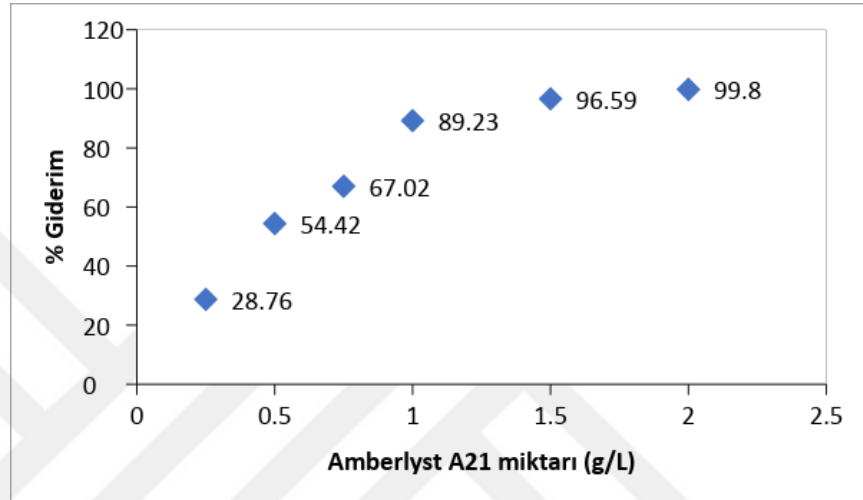
3.3.1. RBBR'nin Amberlyst A21 yüzeyine adsorpsiyonu üzerine adsorbent miktarının etkisi

Remazol Brilliant Blue R'nin Amberlyst A21 kullanılarak gideriminde temas süresi ve çözelti pH'ı etkisi incelenmiş; adsorpsiyon çalışmaları için en uygun pH ve temas süresi belirlendikten sonra, bu şartlarda kullanılan Amberlyst A21 miktarı 0,25 g/L, 0,50 g/L, 0,75 g/L, 1,00 g/L, 1,50 ve 2,00 g/L olarak değiştirilmiş ve boya giderimi üzerine etkisi araştırılmıştır. Çizelge 3.5 ve Şekil 3.6'da Amberlyst A21 miktarı ile RBBR'nin yüzde giderim değerlerinin değişimi görülmektedir.

Çizelge 3.5. Remazol Brilliant Blue R'nin yüzde giderim değerlerinin Amberlyst A21 miktarı ile değişimi (C_0 : 100 ppm, t: 25 °C, V: 0,05 L, pH:2).

Amberlyst A21 miktarı (g/L)	% Giderim
0,25	28,76
0,50	54,42
0,75	67,02
1,00	89,23
1,50	96,59
2,00	99,80

Adsorpsiyon çalışmalarında incelenmesi gereken önemli deneysel parametrelerden biri adsorbent miktarı etkisidir. Adsorbent miktarının artması daha fazla adsorpsiyon birimi sağlayacağı için genellikle adsorbent miktarının artması ile birlikte giderim yüzdesi de artmaktadır (Anastopoulos, vd., 2017). Çizelge 3.5 incelendiğinde Amberlyst A21 miktarının artması ile birlikte RBBR boyasına ait yüzde giderim değerlerinin de arttığı görülmektedir.

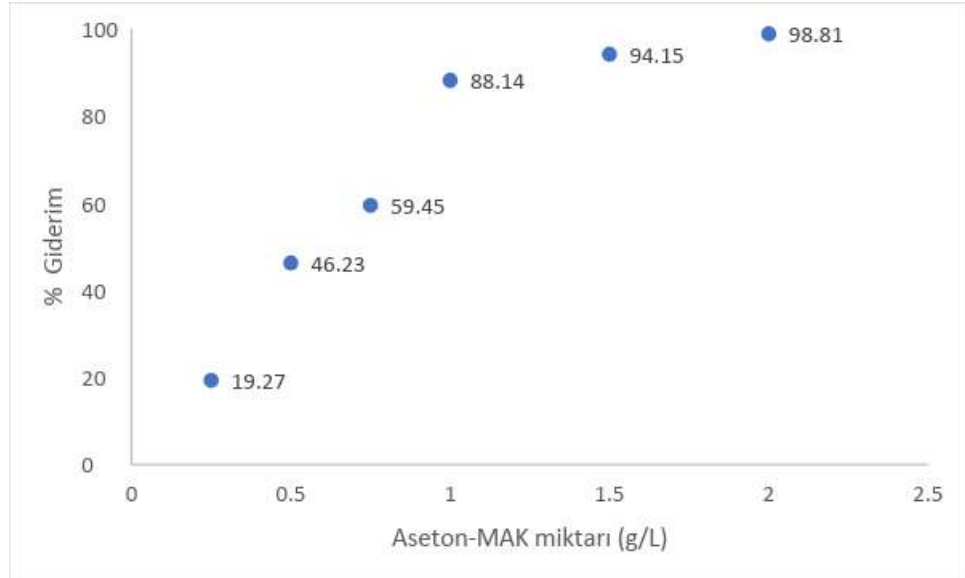


Şekil 3.6. RBBR'nin yüzde giderim değerlerinin Amberlyst A21 miktarı ile değişimi.

Ancak Şekil 3.6'ya bakıldığında 1,00 g/L'den sonra Amberlyst A21 miktarının artmasıyla yüzde giderim değerleri çok fazla değişmemektedir. Bu nedenle adsorpsiyon çalışmalarında Amberlyst A21 miktarı 1,00 g/L olarak seçilmiş ve kullanılmıştır. Grafik incelendiğinde adsorbent miktarının 0,25 g/L'den 1,00 g/L'ye artması ile birlikte yüzde giderim değerlerinde doğrusal bir artış gerçekleşmiştir. Elde edilen sonuçlar literatürde yer alan sonuçlar ile uyum göstermektedir.

3.3.2. RBBR'nin Aseton-MAK Yüzeyine adsorpsiyonu üzerine adsorbent miktarının etkisi

Adsorbent olarak Aseton-MAK kullanılan çalışmalarda çözelti pH'ının 1,5 olduğu, 100 ppm'lik RBBR başlangıç derişiminde, 60 dakikalık temas süresi boyunca adsorbent miktarı 0,25- 2,00 g/L arasında değiştirilerek RBBR boyasının adsorpsiyonu üzerine etkisi incelenmiştir. Şekil 3.7'den de görüldüğü gibi yapılan çalışmalarda Aseton-MAK miktarı 0,25 g/L'den 1,00 g/L'ye çıkarıldığında RBBR boyasının yüzde giderimi %19,27'den %88,14'e yükselmiştir.



Şekil 3.7. RBBR'nin yüzde giderim değerlerinin Aseton-MAK miktarı ile değişimi.

Aseton-MAK miktarı 1,00 g/L üzerine çıkarıldığında yüzde giderim değerlerinde adsorbent miktarının artışı ile orantılı bir artış gözlenememiştir (Şekil 3.7). Bu durum; adsorbent taneciklerinde meydana gelen kısmi agregasyon sonucu adsorpsiyonun gerçekleştiği etkin yüzey alanının azalması ile açıklanabilir (Machrouhi vd., 2018). Bu nedenle adsorbent olarak Aseton-MAK kullanılan adsorpsiyon çalışmalarında adsorbent miktarı 1,00 g/L olarak kullanılmıştır.

3.4. RBBR'nin Giderimi Üzerine Başlangıç Derişiminin Etkisi

Sulu çözeltide bulunan adsorbatın başlangıç derişiminin sorpsiyon olayı üzerine önemli etkisi vardır. RBBR'nin adsorpsiyonu üzerine boya başlangıç derişiminin etkisini incelemek amacıyla Amberlyst A21 ve Aseton-MAK adsorbentleri kullanılarak 50, 80, 100, 150, 200, 250 ve 300 ppm (mg/L)'lik RBBR başlangıç derişimleri çalışılmıştır. Amberlyst A21 için 150, Aseton-MAK için 60 dakikalık temas süresi sonunda ölçümler alınarak C_e , q_e ve yüzde giderim değerleri hesaplanmıştır.

Amberlyst A21 kullanılarak gerçekleştirilen adsorpsiyon çalışmalarında RBBR boyasının farklı başlangıç derişimleri için elde edilen q_e değerleri ile yüzde giderim değerleri Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. RBBR'nin Amberlyst A21 üzerine adsorpsiyonunda başlangıç boya derişiminin q_e ve yüzde giderim değerleri üzerine etkisi (t: 25 °C, pH: 2, m: 0,05 g, V: 0,05 L).

RBBR başlangıç derişimi (ppm)	50	80	100	150	250
% Giderim	94,84	91,37	89,23	85,69	70,98
q_e (mg/g)	47,54	73,10	89,23	128,54	177,45

Çizelge 3.6.'dan da görüldüğü gibi Amberlyst A21 kullanılarak RBBR'nin giderimi üzerine yapılan çalışmalarda 150 dakikalık temas süresi sonunda 50 ve 250 ppm'lik RBBR başlangıç derişimleri için elde edilen yüzde giderim değerleri oldukça yüksektir ve sırası ile % 94,84 ve % 70,98'dir.

Çizelge 3.7. RBBR'nin Aseton-MAK üzerine adsorpsiyonunda başlangıç boya derişiminin q_e ve yüzde giderim değerleri üzerine etkisi (t: 25 °C, pH: 1,5, m: 0,05 g, V: 0,05 L).

RBBR başlangıç derişimi (ppm)	50	100	150	200	300	400
% Giderim	94,55	88,14	66,41	52,48	35,43	30,77
q_e (mg/g)	47,28	88,14	99,62	104,96	106,29	123,08

Aseton-MAK kullanılan çalışmalarda Çizelge 3.7'de de görüldüğü gibi yüzde giderim değerleri artan RBBR başlangıç derişimi ile birlikte azalmaktadır. RBBR'nin başlangıç derişimi 50 ppm'den 400 ppm'e kadar değiştirildiğinde yüzde giderim değerleri % 94,55'den % 30,77'ye düşmektedir.

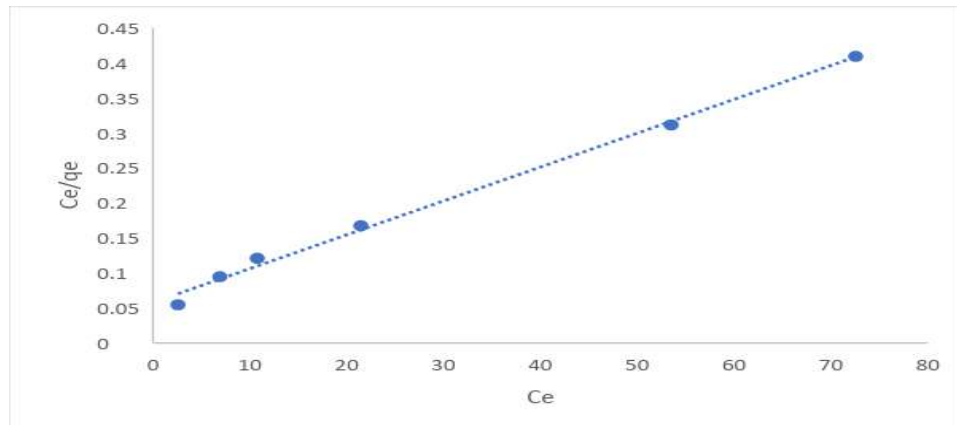
Yukarıda yer alan Amberlyst A21 ve Aseton-MAK adsorbentlerine ait çizelgeler RBBR boyasının başlangıç derişiminin adsorpsiyon üzerine önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir. Yüzde giderim değerlerinin RBBR'nin artan başlangıç derişimi ile birlikte azalması; Amberlyst A21 ve Aseton-MAK yüzeyindeki adsorpsiyon birimlerinin doyması ve van der Waals itme kuvvetlerinin adsorbentlerin yüzeyindeki aktif birimlere RBBR'nin kütle taşınımını yenmesi ile açıklanabilir. Deneysel çalışma sonuçlarının literatür ile uyumlu olduğu görülmektedir. Vijayakumar ve çalışma arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada doğal perlit kullanılarak Rhodamine B reaktif boyasının giderimi araştırılmış ve Rhodamine B başlangıç derişimi 40 mg/L'den 100 mg/L'ye çıkarıldığında yüzde giderim değerlerinin azaldığı q_e değerlerinin ise 8.515 mg/g'dan 37.26 mg/g'a çıktığı hesaplanmıştır (Vijayakumar, vd., 2012).

Jarusiripot 2014 yılında yaptığı çalışmada Remazol Brilliant Blue R boyasının giderimi için H_2O_2 ile modifiye edilmiş kül kullanmış ve RBBR başlangıç derişimi 10 mg/L'den 100 mg/L'ye arttırıldığında yüzde giderim değerleri azalırken, q_e değerlerinde artış görülmüştür (Maarof vd., 2012).

3.4.1. İzoterm incelemeleri

Adsorpsiyon proseslerinde adsorpsiyon parametrelerinin tutarlı bir şekilde tahmini, farklı adsorbent içeren sistemlerde adsorbent davranışının nicel olarak karşılaştırılabilmesi ve ideal bir adsorpsiyon sistemine ulaşabilmek için en uygun adsorpsiyon denge ilişkisinin oluşturulması gerekmektedir. Adsorpsiyon izotermi; adsorpsiyon mekanizması basamaklarının optimizasyonu, adsorbent kapasitesinin ve adsorbent yüzey özelliklerinin açıklanması, daha verimli adsorpsiyon sistemlerinin dizaynı açısından önemli ve gereklidir (Anastopoulos, vd., 2017). Tez çalışması kapsamında Amberlyst A21 ve aseton ile modifiye edilmiş aktif karbonun adsorbent olarak kullanıldığı adsorpsiyon çalışmaları için Freundlich, Langmuir ve Temkin izoterm eşitlikleri incelenmiştir.

RBBR'nin Amberlyst A21 ile adsorpsiyonuna ait izoterm en yaygın kullanılan üç izoterm modeli olan Freundlich, Langmuir ve Temkin izoterm modelleri ile incelenmiştir. Adsorpsiyon izoterm incelemeleri için 25 °C sıcaklıkta, pH 2'de 50, 100, 200, 300 ve 400 ppm'lik başlangıç derişimleri ile yapılan deneysel çalışmalara ait veriler kullanılmıştır. İlk olarak Langmuir izotermi incelenmiş ve bu amaçla $\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_m K_L} + \frac{1}{q_m} C_e$ eşitliği kullanılarak C_e değerlerine karşı C_e/q_e değerleri grafiğe geçirilmiş ve elde edilen doğru denklemi Şekil 3.8 'da verilmiştir.



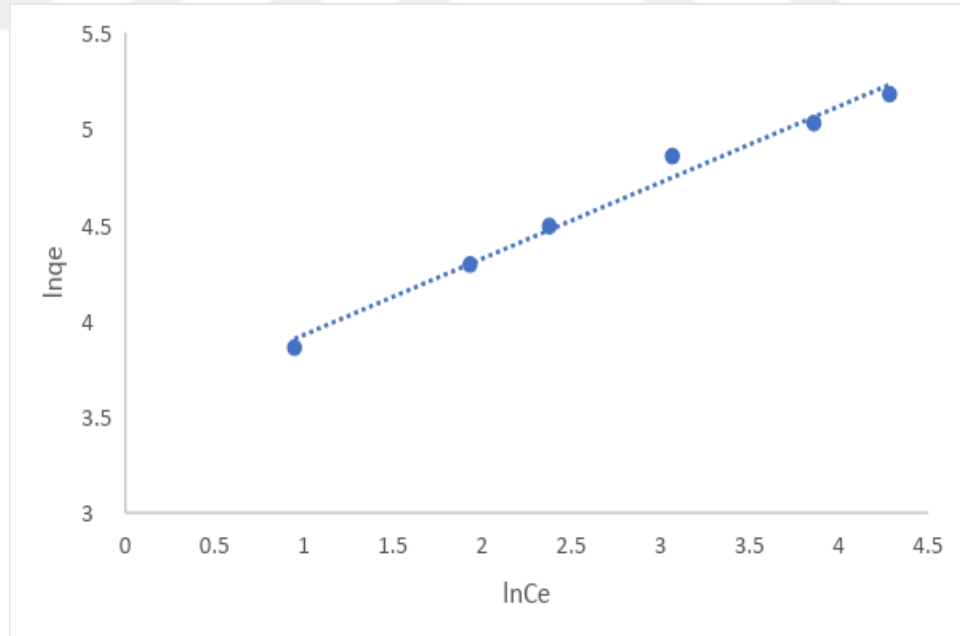
Şekil 3.8. RBBR'nin Amberlyst A21 üzerine adsorpsiyonu için elde edilen Langmuir izoterm eşitliği ve grafiği.

Doğru denklemine ait eşitlik kullanılarak; denklemin eğiminden q_m değeri kesim noktasından ise $1/q_m K_L$ değeri hesaplanmış ve K_L değerine geçilmiş, hesaplanan izoterm sabitleri ise Çizelge 3.8'de verilmiştir. Eğimden adsorpsiyon kapasitesini ifade eden q_m değeri 208,33 mg/g ve kesim noktasından K_L değeri; 0,083 L/mg olarak hesaplanmıştır. Korelasyon katsayısı (R^2) ise 0,9954 olarak bulunmuştur. Korelasyon katsayısının 1,0'e yakın olması RBBR'nin Amberlyst A21 üzerine adsorpsiyonunun Langmuir izoterm modeline uygunluğunu göstermektedir.

Çizelge 3.8. RBBR'nin Amberlyst A21 üzerine adsorpsiyonu için elde edilen Langmuir izoterm sabitleri.

Langmuir İzoterm Eşitliği	R^2	K_L	q_m
$y = 0,0048x + 0,0576$	0,9954	0,083	208,33

RBBR'nin Amberlyst A21 üzerine adsorpsiyonu için Freundlich izoterm modeli uygulanmıştır. Bu amaçla $\ln q_e = \ln K_F + (1/n) \ln C_e$ eşitliği kullanılmış ve $\ln C_e$ değerlerine karşı $\ln q_e$ değerleri grafiğe geçirilmiş ve elde edilen grafik Şekil 3.9'de verilmiştir.



Şekil 3.9. RBBR'nin Amberlyst A21 üzerine adsorpsiyonu için elde edilen Freundlich izoterm eşitliği ve grafiği.

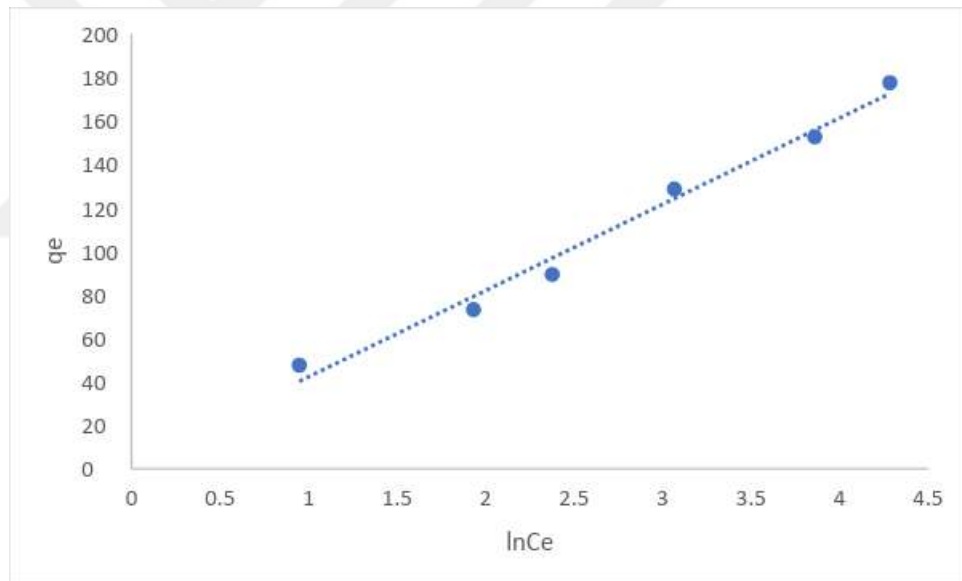
Doğru denklemine ait eşitlik kullanılarak; eğim değerinden $1/n$ değeri kesim noktasından ise K_F değeri hesaplanarak, izoterm sabitleri Çizelge 3.9'da verilmiştir. $1/n$

değeri; 0,3968 ve n değeri; 2,52 olarak hesaplanmıştır. Heterojenite faktörünü ifade eden $1/n$; 0-1 aralığında değerler alır.

Çizelge 3.9. RBBR'nin Amberlyst A21 üzerine adsorpsiyonu için Freundlich izoterm eşitliği ve izoterm sabitleri.

Freundlich İzoterm Eşitliği	R^2	K_F	$1/n$	n
$y = 0,3968x + 3,5284$	0,9852	34,07	0,3968	2,52

Amberlyst A21 üzerine RBBR'nin adsorpsiyonu diğer bir izoterm modeli olan ve $q_e = B \ln A_T + B \ln C_e$ eşitliği ile ifade edilen Temkin izoterm modeli kullanılarak incelenmiştir. $\ln C_e$ değerlerine karşı q_e değerleri grafiğe geçirilmiş ve elde edilen doğru denklemi Şekil 3.10'da verilmiştir.



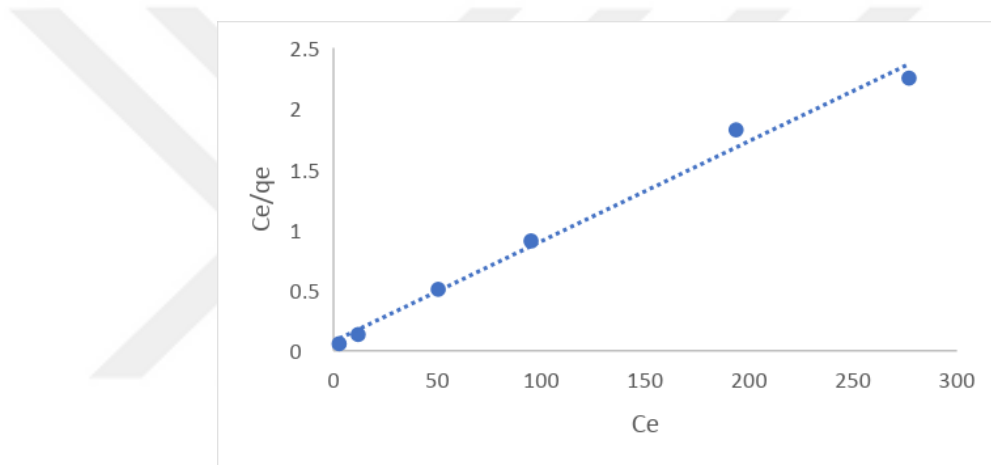
Şekil 3.10. RBBR'nin Amberlyst A21 üzerine adsorpsiyonu için elde edilen Temkin izoterm grafiği.

Temkin izotermine ait B değeri doğru denkleminin eğiminden, A_T değeri ise kesim noktasını ifade eden $B \ln A_T$ değerinden çekilerek hesaplanmış ve Temkin izoterm sabitleri Çizelge 3.10'da verilmiştir. Korelasyon katsayısının oldukça yüksek ve 1,0'e yakın olması ($R^2:0,9836$) Amberlyst A21 yüzeyine RBBR adsorpsiyonun Temkin izoterm modeli ile de uyumlu olduğunu göstermektedir. Bu sonuca göre; Amberlyst A21 ve RBBR arasındaki etkileşimlerden dolayı tabakadaki tüm moleküllerin adsorpsiyon ısısı yüzey kaplandıkça doğrusal olarak azalmaktadır.

Çizelge 3.10. RBBR'nin Amberlyst A21 ile adsorpsiyonu için Temkin izoterm eşitliği ve izoterm sabitleri.

Temkin İzoterm Eşitliği	R^2	B	A_T
$y = 39,668x + 2,5286$	0,9836	39,67	1,07

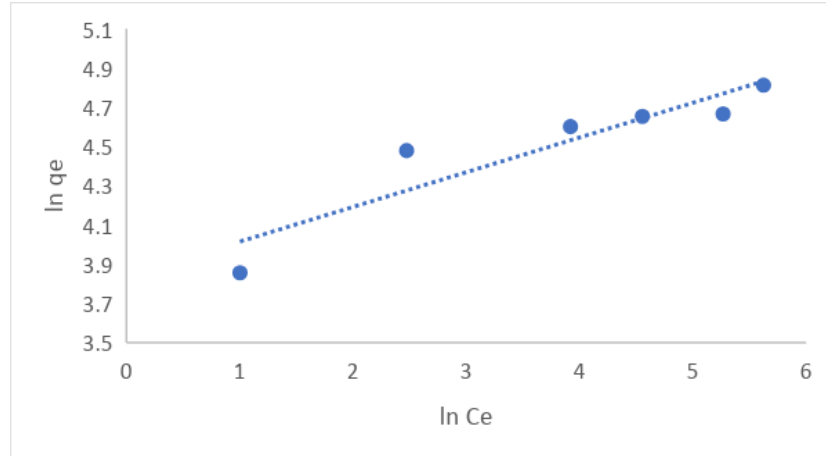
Bu tez çalışmasında Langmuir, Temkin ve Freundlich gibi adsorpsiyon denge izoterm modelleri RBBR'nin Aseton-MAK ile gideriminde deneysel adsorpsiyon verilerinin tanımlanması için de kullanılmıştır. Adsorpsiyon denge verilerine ait izoterm çalışma sonuçları Şekil 3.11-3.13'de ve Çizelge 3.11-3.13'de görülmektedir.



Şekil 3.11. RBBR'nin Aseton-MAK üzerine adsorpsiyonu için elde edilen Langmuir izoterm grafiği.

Çizelge 3.11. RBBR'nin Aseton-MAK üzerine adsorpsiyonu için elde edilen Langmuir izoterm sabitleri.

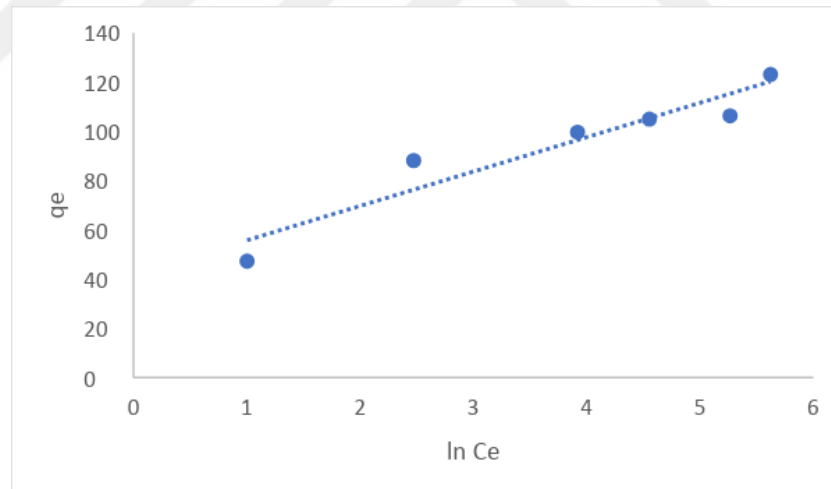
Langmuir İzoterm Eşitliği	R^2	K_L	q_m
$y = 0,00826x + 0,07754$	0,9904	0,107	121,06



Şekil 3.12. RBRR'nin Aseton-MAK üzerine adsorpsiyonu için elde edilen Freundlich izoterm grafiği.

Çizelge 3.12. RBRR'nin Aseton-MAK üzerine adsorpsiyonu için Freundlich izoterm eşitliği ve izoterm sabitleri.

Freundlich İzoterm Eşitliği	R^2	K_F	$1/n$	n
$y = 0,17713x + 3,83721$	0,8556	46,40	0,17713	5,65



Şekil 3.13. RBRR'nin Aseton-MAK üzerine adsorpsiyonu için elde edilen Temkin izoterm grafiği.

Çizelge 3.13. RBRR'nin Aseton-MAK ile adsorpsiyonu için Temkin izoterm eşitliği ve izoterm sabitleri.

Temkin İzoterm Eşitliği	R^2	B	A_T
$y = 13,962x + 41,745$	0,9074	13,96	19,88

RBBR boyasına ait adsorpsiyon denge verilerine ait Langmuir, Freundlich ve Temkin izotermilerin korelasyon katsayıları sırası ile 0,9904; 0,8556 ve 0,9074'dir. Langmuir izoterm eşitliğine ait korelasyon katsayısının diğer izoterm eşitliklerine ait korelasyon katsayılarından oldukça yüksek olması Aseton-MAK yüzeyinde RBBR adsorpsiyonunun Langmuir izoterm modeline uyduğunu göstermektedir.

Amberlyst A21 ve Aseton-MAK yüzeyinde RBBR'nin adsorpsiyonuna ait denge verileri Langmuir izoterm modeli ile uyumludur. Langmuir izoterm modeli adsorpsiyon süreci boyunca adsorplanan boya molekülleri arasında herhangi bir etkileşim olmadan tek tabakalı bir adsorpsiyon ile homojen yüzey üzerinde boya alımının gerçekleştiğini açıklamaktadır. Langmuir izotermi sorbat moleküllerinin tümü için adsorbent yüzeyindeki bağlayıcı birimlerin özdeş afiniteye sahip olduğunu ve adsorbent yüzeyine bağlanmanın temel olarak fiziksel kuvvetler ile gerçekleştiğini ifade eder (Sathishkumar, vd., 2012). Torgut ve arkadaşlarının RBBR'nin giderimi için adsorbent olarak poli[2-hidroksi-3-(1-naftiloksi)propil]metakrilat polimerini kullandıkları çalışmada adsorpsiyon denge verilerinin Langmuir izotermine uygun olduğu görülmüştür (Torgut, vd., 2017). Sathishkumar ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada ise reaktif boya RBBR'nin adsorpsiyonu için tarımsal bir atık olan *Jatropha curcas* bitkisinin kozalarından elde edilen aktif karbon kullanıldığında adsorpsiyon denge verilerinin Langmuir izotermine uygun olduğu belirtilmiştir (Sathishkumar, vd., 2012).

Amberlyst A21 ve Aseton-MAK için Langmuir izoterm eşitliğine göre hesaplanan q_m ; adsorpsiyon kapasitesi değerleri sırası ile 208,33 mg/g ve 121,06 mg/g olarak hesaplanmıştır. Literatürde daha önce RBBR'nin poli[2-hidroksi-3-(1-naftiloksi)propil]metakrilat polimerini kullanılarak giderimi üzerine yapılan çalışmada adsorpsiyonun kapasitesi 238,10 mg/g olarak bulunmuştur (Torgut, vd., 2017). RBBR giderimi için endüstriyel arıtma çamurundan elde edilen aktif karbonun adsorbent olarak kullanıldığı farklı bir çalışmada ise maksimum adsorpsiyon kapasitesi 33,47 mg/g olarak hesaplanmıştır (Silva, vd., 2016). Mafra ve çalışma arkadaşlarının ise RBBR giderimi için portakal kabuğu atıklarından elde ettiği adsorbent ile yapılan çalışmada ise adsorpsiyon kapasitesi değeri 11,62 mg/g olarak bulunmuştur (Mafra, vd., 2013). Literatürde yer alan çalışmaların sonuçları ile kıyaslandığında Amberlyst A21 ve

Aseton-MAK adsorbentlerinin RBBR giderimi için çok iyi ve etkin bir adsorbent olarak kullanılabilirliği açıktır. K_F olarak simgelenen Freundlich izoterm sabiti adsorbentin adsorpsiyon kapasitesini gösteren diğer önemli bir göstergedir. Freundlich izotermine göre Amberlyst A21 adsorbenti için K_F değeri 34,07 olarak hesaplanmıştır. RBBR adsorpsiyonu için poli[2-hidroksi-3-(1-naftiloksi)propil]metakrilat polimerinin kullanıldığı çalışmada K_F değeri 13,07 ve endüstriyel arıtma çamurundan elde edilen aktif karbon için K_F değeri 26,22 olarak belirtilmiştir (Torgut, vd., 2017; Silva, vd., 2017). Literatürde verilen sonuçlar ile kıyaslandığında Amberlyst A21'in sulu çözeltilerden RBBR giderimi için çok iyi ve etkin bir adsorbent olduğunu göstermektedir.

Langmuir izoterminden hesaplanan K_L değeri ve aşağıdaki eşitlikte verilen formül kullanılarak boyutsuz ayırma faktörü olarak isimlendirilen R_L değerleri hesaplanabilir. Bu değer denge parametrelerinden biridir ve adsorpsiyon elverişliliğini açıklamak için kullanılır (Asfaram, vd., 2016).

$$R_L = 1 / (1 + K_L C_o) \quad (3.3)$$

Hesaplamalar Amberlyst A21 ve Aseton-MAK kullanılan çalışmalar için RBBR'nin 50 ppm'den 200 ppm'e kadar değişen başlangıç derişimleri için yapılmış ve elde edilen değerler Çizelge 3.14'de verilmiştir.

Çizelge 3.14. Amberlyst A21 ve Aseton-MAK ile RBBR giderimi için farklı başlangıç derişimlerinde hesaplanan R_L değerleri.

RBBR Başlangıç derişimi (ppm)	Amberlyst A21	Aseton-MAK
50	0,194	0,157
100	0,108	0,085
150	0,074	0,059
200	0,057	0,045

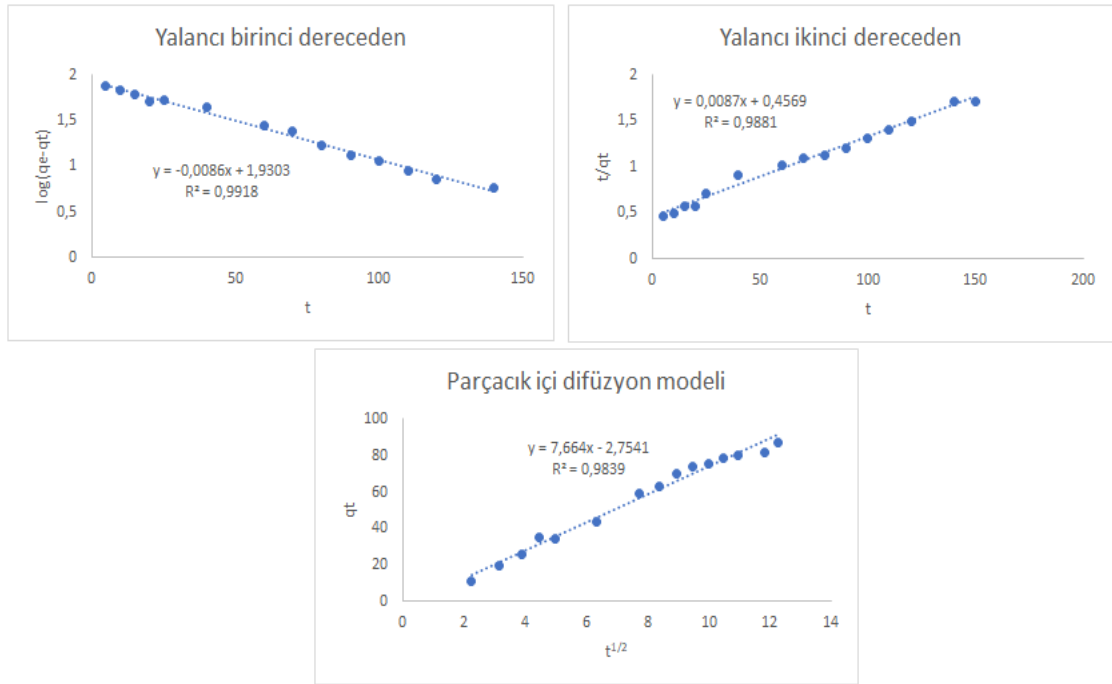
Çizelge 3.14'den de görüldüğü gibi tüm RBBR başlangıç derişimleri için hesaplanan R_L değerlerinin 0 ile 1 arasında değişmesi elverişlilik durumunun sağlandığını ve RBBR'nin giderimi için Amberlyst A21 ve Aseton-MAK'in uygun bir adsorbent olduğunu göstermektedir (Ren, vd., 2016). Ayrıca RBBR'nin başlangıç derişimi arttıkça hesaplanan R_L değerleri azalmaktadır.

3.4.2. Kinetik incelemeler

Amberlyst A21 ve Aseton-MAK kullanılarak RBBR'nin adsorpsiyon mekanizmasının açıklanabilmesi için adsorpsiyon denge izotermelerin yanı sıra kinetik modelleme çalışmaları da gerçekleştirilmiştir. RBBR'nin Aseton-MAK ve Amberlyst A21 ile adsorpsiyonunun kinetikleri yalancı (pseudo) birinci dereceden, yalancı (pseudo) ikinci dereceden ve partikül içi difüzyon modellerine göre incelenmiştir.

RBBR'nin sulu ortamdan gideriminde 100 ppm'lik başlangıç RBBR deneylerine ait veriler kullanılmış ve yalancı birinci dereceden kinetik modelleme

$\log(q_e - q_t) = \log(q_e) - \frac{k_1}{2,303} t$ eşitliğinden yararlanılarak, yalancı ikinci dereceden kinetik modelleme $\frac{t}{q_t} = \frac{t}{q_e} + \frac{1}{k_2 q_e^2}$ eşitliğinden yararlanılarak ve parçacık içi difüzyon modeli $q_t = k_i t^{1/2} + C$ eşitliği kullanılarak incelenmiştir.



Şekil 3.14. RBBR'nin Amberlyst A21 üzerine adsorpsiyonu için elde edilen kinetik grafikleri.

Amberlyst A21 kullanılarak RBBR'nin giderimi üzerine yapılan adsorpsiyon çalışması için elde edilen sonuçlar Şekil 3.14 ve Çizelge 3.15'de verilmektedir.

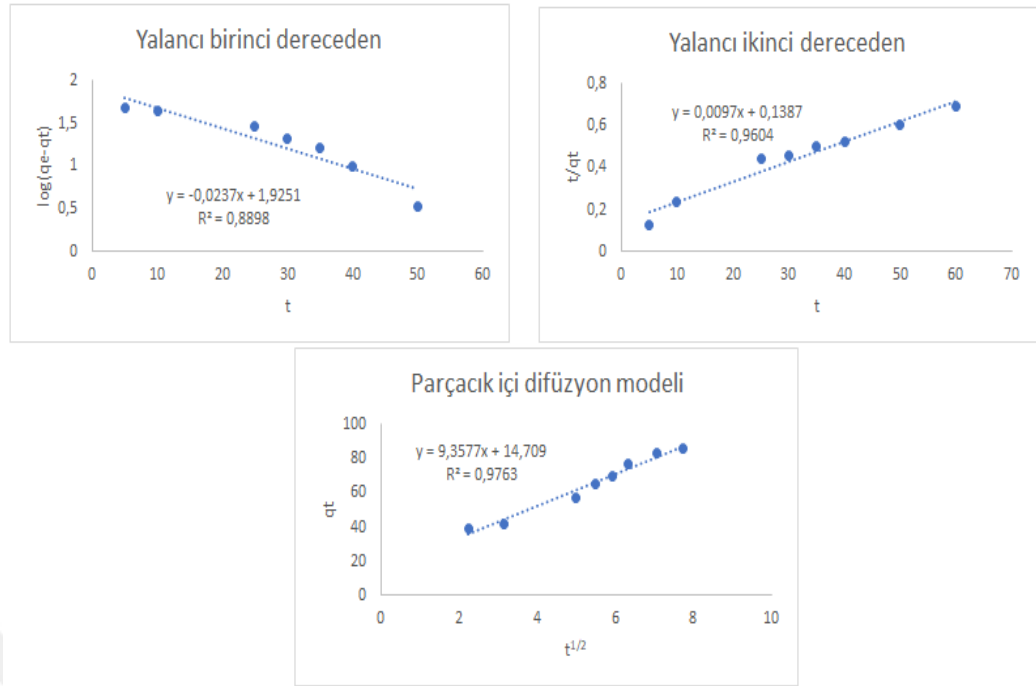
Çizelge 3.15. Amberlyst A21 ile RBBR'nin adsorpsiyonu için elde edilen kinetik eşitlikleri ve sabitleri. (C_0 : 100 ppm, pH:2,0; m: 0,05 g, V: 0,05 L).

Yalancı birinci dereceden kinetik eşitliği	R^2	k_1	Teorik q_e (mg/g)	Deneysel q_e (mg/g)
$y = -0,0086x + 1,9303$	0,9918	$1,981 \times 10^{-4}$	85,17	87,45
Yalancı ikinci dereceden kinetik eşitliği	R^2	k_2	Teorik q_e (mg/g)	Deneysel q_e (mg/g)
$y = 0,0087x + 0,4569$	0,9881	$1,657 \times 10^{-4}$	114,94	87,45
Parçacık içi difüzyon modeli	R^2	k_i	C	
$y = 7,664x - 2,7541$	0,9839	7,66	-2,75	

Amberlyst A21 ile yapılan çalışmalar sonucu elde edilen eşitliklerin korelasyon katsayıları 1,0'e yakın olarak bulunmuştur. Çizelge 3.15'den de görüldüğü gibi doğru denklemlerine ait eşitliklerden 100 ppm için hesaplanan q_e değeri yalancı birinci dereceden kinetik model için 85,17 mg/g iken yalancı ikinci dereceden kinetik model için 114,94 mg/g'dır. Bu çalışma için hesaplanan deneysel q_e değeri ise 87,45 mg/g olarak bulunmuştur. Deneysel q_e değerleri ile kinetik model eşitliklerinden hesaplanan q_e değerleri karşılaştırıldığında yalancı birinci dereceden kinetik model için hesaplanan q_e değeri ile deneysel olarak bulunan q_e değerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Bu durum Amberlyst A21 ile RBBR'nin adsorpsiyonun yalancı birincidereceden kinetik modeline uygun olduğunu göstermektedir (Heikal, 2017).

Literatürde yer alan önceki çalışmalar incelendiğinde Janaki ve arkadaşları (2012) tarafından yeni bir polimer olan polianilin/bakteriyel hücre dışı polisakkarit kompozit ile RBBR'nin adsorpsiyonu incelenmiş ve elde edilen sonuçların yalancı birinci dereceden kinetik modele uyduğu belirtilmiştir. Tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçların literatürde yer alan sonuçlar ile uyumlu olduğu görülmektedir (Janaki vd., 2012).

Bu tez çalışmasında Yalancı birinci dereceden, yalancı ikinci dereceden ve parçacık için difüzyon modelleri RBBR'nin Aseton-MAK ile gideriminde deneysel adsorpsiyon mekanizmasının tanımlanması için de kullanılmıştır. Kinetik modellere ait eşitlikler ve kinetik veriler Şekil 3.15'de ve Çizelge 3.16'da verilmektedir.



Şekil 3.15. RBBR'nin Aseton-MAK üzerine adsorpsiyonu için elde edilen kinetik grafikleri.

Çizelge 3.16. Amberlyst A21 ile RBBR'nin adsorpsiyonu için elde edilen kinetik eşitlikleri ve sabitleri.

Yalancı birinci dereceden kinetik eşitliği	R²	k₁	Teorik q_e (mg/g)	Deneyssel q_e (mg/g)
y= -0,0237x + 1,9251	0,8898	5,46x10 ⁻⁴	84,16	86,38
Yalancı ikinci dereceden kinetik eşitliği	R²	k₂	Teorik q_e (mg/g)	Deneyssel q_e (mg/g)
y= 0,0097x + 0,1387	0,9604	6,78x10 ⁻⁴	103,09	86,38
Parçacık içi difüzyon modeli	R²	k_i	C	
y=9,3577x + 14,709	0,9763	9,36	14,71	

Aseton-MAK yüzeyine RBBR'nin adsorpsiyonu için 100 ppm'lik RBBR başlangıç derişimine ait kinetik çalışmalardan elde edilen veriler Çizelge 3.16'da yer almaktadır. Sonuçlar incelendiğinde yalancı ikinci dereceden kinetik modeli yardımı ile hesaplanan teorik q_e değeri (103,09) ile deneyssel olarak elde edilen q_e değerleri (86,38) birbirine uymamaktadır. Yalancı birinci dereceden kinetik modelinde ise teorik ve

deneysel q_e değerleri sırası ile 84,16 mg/g ve 86,38 mg/g'dır. Yalancı birinci dereceden kinetik modeline ait teorik ile deneysel q_e değerlerinin birbirine çok yakın olması nedeni ile Aseton-MAK yüzeyine RBBR'nin adsorpsiyonu yalancı birinci dereceden kinetik modeline uymaktadır.



KAYNAKLAR

- Abd EI-Latif, M. M., Ibrahim, A. M., EI-Kady, M. F., “Adsorption equilibrium, kinetics and thermodynamics of methylene blue from aqueous solutions using biopolymer oak sawdust composite”, *J Am Sci*, 6: 267-283 (2010).
- Acemioglu, B., “Adsorption of Congo red from aqueous solution onto calcium rich fly ash”, *Journal of Colloid Interface Science*, 274: 371-379 (2004).
- Ada, K., Ergene, A., Tan, S., Yalçın, E., "Adsorption of Remazol Brilliant Blue R using ZnO fine powder: Equilibrium, kinetic and Thermodynamic modeling studies", *Journal of Hazardous Materials*, 165: 637-644 (2009).
- Ahmad, M. A., Alrozi, R., "Optimization of rambutan peel based activated carbon preparation conditions for Remazol Brilliant Blue R removal", *Chemical Engineering Journal*, 168: 280-285 (2011).
- Ahmad, M. A., Puad Ahmad, N. A. A., Bello, O. S., “Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies of synthetic dye removal using pomegranate peel activated carbon prepared by microwave-induced KOH activation”, *Water Resources and Industry*, 6: 18-35 (2014).
- Altaher, H., “Preliminary Study of the Effect of Using Biosorbents on the Pollution of the Treated Water”, *Global Nest*, 16 (4): 707-718 (2014).
- Anastopoulos, L., Karamesouti M., Athanasios C. Mitropoulos, A. C., Kyzas G. Z., “A review for coffee adsorbents”, *Journal of Molecular Liquids*, 229: 555–565 (2017).
- Aoudj, S., Khelifa, A., Drouiche, N., Hecini, M., Hamitouche, H., “Electrocoagulation process applied to wastewater containing dyes from textile industry”, *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 49: 1176–1182 (2010).
- Armağan, B., Turan, M., Çelik M. S., “Equilibrium studies on the adsorption of reactive azo dyes into zeolite”, *Desalination*, 170(1): 33-39 (2004).
- Artioli, Y., “Adsorption, in Encyclopedia of Ecology, J. Editors-in-Chief: Sven Erik and F. Brian, Editors., *Academic Press*, Oxford, London, 60-65 (2008).
- Asfaram, A., Ghaedi, M., Yousefi, F., Dastkhoo, M., “Experimental design and modeling of ultrasound assisted simultaneous adsorption of cationic dyes onto ZnS: Mn-NPs-AC from binary mixture”, *Ultrasonics Sonochemistry*, 33: 77-89 (2016).
- Auta, M., Hameed, B. H., “Coalesced chitosan activated carbon composite for batch and fixed-bed adsorption of cationic and anionic dyes”, *Colloids Surf B Biointerfaces*, 105: 199-206 (2013).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Balamurugan, B., Thirumarimurugan, M., Kannadasan, T., “Anaerobic degradation of textile dye bath effluent using Halomonas sp”, *Bioresour Technol*, 102: 6365-6369 (2011).
- Benefield, L. D., Judkins, J. F., Weand, B. L., “Process Chemistry for Water and Wastewater Treatment”, *Prentice-Hall, Inc, Englewood Cliffs, New Jersey*, (1982).
- Berkem, A. R., ve Baykut, S., “Fizikokimya-Adsorpsiyon”, *İstanbul Üniversitesi Kimya Fakültesi*, İstanbul, (1975).
- Beyhan, M., “Atık Çamurlar ve Doğal Malzemeler ile Sulardan Florür İyonu Giderilmesinin Araştırılması”, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2003).
- Boutonnet, M., Logdberg, S., Svensson, E. E., “Recent developments in the application of nanoparticles prepared from w/o microemulsions in heterogeneous catalysis”, *Curr Opin Colloid Interface Sci*, 13: 270-286 (2008).
- Chen, G., “Electrochemical technologies in wastewater treatment”, *Sep Purif Technol*, 38: 11–41 (2004).
- Dakiky, M., Khamis, M., Manassra, A., Mer'eb, M., “Selective adsorption of chromium (VI) in industrial wastewater using low-cost abundantly available adsorbents”, *Advances in Environ. Res.*, 6:533-540 (2002).
- Dawkar, V. V., Jadhav U. U., Tamboli, D. P., Govindwar, S. P., “Efficient industrial dye decolorization by Bacillus” *Ecotoxicol Environ* 73: 1696-1703 (2010).
- Dawood, S., Sen, T. K., “Review on Dye Removal from Its Aqueous Solution into Alternative Cost Effective and Non-Conventional Adsorbents”, *J Chem Proc Engg*, 1: 1-11 (2014).
- Dawood, S. ve Sen, T. K., “Removal of anionic dye Congo red from aqueous solution by raw pine and acid-treated pine cone powder as adsorbent: equilibrium, thermodynamic, kinetics, mechanism and process design”, *Water Res*, 46: 1933-1946 (2012).
- Dawood, S., Sen, T. K., Phan, C., “Synthesis and characterisation of novel-activated carbon from waste biomass pine cone and its application in the removal of congo red dye from aqueous solution by adsorption”, *Water, Air, & Soil Pollution*, 225: 1818 (2014).
- Demirbas, A., “Agricultural based activated carbons for the removal of dyes from aqueous solutions: a review”, *J Hazard Mater*, 167: 1-9 (2009).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Dos Santos, A. B., Cervantes, F. J., van Lier, J. B., “Review paper on current technologies for decolourisation of textile wastewaters: perspectives for anaerobic biotechnology”, *Bioresour Technol*, 98: 2369- 2385 (2007).
- Errais, E., Duplay, J., Elhabiri, M., Khodja, M., Ocampo, R., “Anionic RR120 dye adsorption onto raw clay: Surface properties and adsorption mechanism” *Colloids Surf A Physicochem Eng Asp*, 403: 69–78 (2012).
- Foo, K. Y. ve Hameed, B. H., “Microwave assisted preparation of activated carbon from pomelo skin for the removal of anionic and cationic dyes”, *Chem Eng J.*, 173: 385-390 (2011).
- Freundlich, H., “Over the adsorption in solution”, *The Journal of Physical Chemistry*, 57: 385-470 (1906).
- Giri, S. K., Das, N. N., Pradhan, G. C., “Synthesis and characterization of magnetite nanoparticles using waste iron ore tailings for adsorptive removal of dyes from aqueous solution”, *Colloids Surf A Physicochem Eng Asp*, 389: 43-49 (2011).
- Guimarães, D., Leão, V. A., "Batch and fixed-bed assessment of sulphate removal by the weak base ion exchange resin Amberlyst A21", *J Hazard Mater*, 280:209-215 (2014).
- Hernandez-Montoya, V., Perez-Cruz, M. A., Mendoza-Castillo D. I., Moreno-Virgen M. R., Bonilla-Petriciolet, A., “Competitive adsorption of dyes and heavy metals on zeolitic structures”, *J Environ Manage*, 116: 213-221 (2013).
- Heikal, G., “Adsorption Kinetics and Isotherm of Methylene Blue Dye Removal from Aqueous Solution using Low Cost Adsorbent”, *International Journal of current Engineering and Technology*, 7(6): 2112-2118 (2017).
- İmamoğlu, M., “Pirinç Kabuğundan Yapılmış Aktif Karbon Üzerinde Cu(II) ve Cd(II) İyonlarının Sulu Çözeltilerinden Adsorpsiyonla Uzaklaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, (1996).
- Janaki, V., Vijayaraghavan, K., Ramasamy A. K., Lee, K. J., Oh B. T., Kamala-Kannan, S., “Competitive adsorption of Reactive Orange 16 and Reactive Brilliant Blue R on polyaniline/bacterial extracellular polysaccharides composite- A novel eco-friendly polymer”, *Journal of Hazardous Materials*, 241–242: 110-117 (2012).
- Jiang, C., Gao, Z., Qu, H., Li J., Wang, X., “A new insight into Fenton and Fenton-like processes for water treatment: Part II. Influence of organic compounds on Fe(III)/Fe(II) interconversion and the course of reactions”, *J Hazard Mater*, 250-251: 76-81 (2013).

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Kabdaşlı, I., “The approaches and applicational bases for sulphate treatment by chemical precipitation PhD thesis”, *Institute of Science and Technology, İstanbul Technical University*, (1995).
- Kallel, F., Chaari, F., Bouaziz, F., Bettaieb, F., Ghorbel, R., Chaabouni, S. E., “Sorption and desorption characteristics for the removal of a toxic dye, methylene blue from aqueous solution by a low cost agricultural by-product”, *Journal of Molecular Liquids*, 219: 279-288 (2016).
- Kandisa, R. V., Saibaba, N., Shaik, K. B., Gopinath, R., “Dye removal by adsorption: A review”, *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, 7(6): 371 (2016).
- Kang J. W., “Removing environmental organic pollutants with bioremediation and phytoremediation”, *Biotechnol Lett*, 36:1129-1139 (2014).
- Karekar, J. M., Divekar, S. V., “Adsorption studies of chromium (VI) on weak base resins Tulsion A-10X (MP) and Amberlyst A-21 (MP) in aqueous and mixed media”, *Desalination and Water Treatment*, 82: 252–261 (2017).
- Keskin, N. O. S., Celebioglu, A., Sarioglu, Ö. F., Ozkan, A. D., Uyar, T., Tekinay, T., “Removal of a reactive dye and hexavalent chromium by a reusable bacteria attached electrospun nanofibrous web”, *RSC Advances*, 5(106): 86867-86874 (2015)a.
- Keskin, N. O. S., Celebioglu, A., Uyar, T. Tekinay T., “Microalgae Immobilized by Nanofibrous Web for Removal of Reactive Dyes from Wastewater”, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 54 (21): 5802–5809 (2015)b.
- Köklü, R., Özer, Ç., "Remazol Brilliant Blue R (RBBR) boyar maddesinin düşük maliyetli bir adsorban olan sigara külü ile giderimi", *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(2): 174-180 (2018).
- Konicki, W., Sibera D., Mijowska, E., Zofia, L.B., Narkiewicz, U., “Equilibrium and kinetic studies on acid dye Acid Red 88 adsorption by magnetic ZnFe₂O₄ spinel ferrite nanoparticles”, *J Colloid Interface Sci*, 398: 152-160 (2013).
- Kumar, P. S., Ramalingam, S., Senthamarai, C., Niranjanaa, M., Vijayalakshmi, P., “Adsorption of dye from aqueous solution by cashew nut shell: Studies on equilibrium isotherm, kinetics and thermodynamics of interactions”, *Desalination*, 261: 52-60 (2010).
- Lagergren, S., “About the theory of so-called adsorption of soluble substances”, *Kungliga Svenska Vetenskapsakademiens. Handlingar*, 24: 1-39 (1898).
- Lakherwal, D., “Adsorption of Heavy Metals: A Review”, *Research India Publications*, 4(1): 41-48 (2014).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Lakshmi, U. R., Srivastava, V. C., Mall, I. D., Lataye, D. H., “Rice husk ash as an effective adsorbent: Evaluation of adsorptive characteristics for Indigo Carmine dye”, *J Environ Manage*, 90: 710-720 (2009).
- Langmuir, I., “The adsorption of gases on plane surfaces of glass, mica and platinum”, *Journal of American Chemical Society*, 40(9): 1361-1403 (1918).
- Liu, N., Charrua, A. B., Weng, C., Yuan X., Ding, F., “Characterization of biochars derived from agriculture wastes and their adsorptive removal of atrazine from aqueous solution: A comparative study”, *Bioresource Technology*, 198: 55-62 (2015).
- Liu, Y. and Liu, Y. J., “Biosorption isotherms, kinetics and thermodynamics”, *Seperation and Purification Technology*, 61: 229-242 (2008).
- Liu, Y., Huang, J., Zhang, X., "Decolorization and biodegradation of remazol brilliant blue R by bilirubin oxidase", *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 108(6): 496-500 (2009).
- Lu, T., Wang J., Yin J., Wang A., Wang X., “Surfactant effects on the microstructures of Fe₃O₄ nanoparticles synthesized by microemulsion method”, *Colloids Surf A Physicochem Eng Asp*, 436: 675–683 (2013).
- Maarof, H. I., Rahim, S. N. S. A., Nasuha, N., Kassim, N. F. A., “Adsorption of Remazol Brilliant Blue R onto treated bottom ash”, *Science and Engineering Research*, 22-37 (2012).
- Machrouhi, A., Farnane, M., Elhalil, A., Elmoubarki, R., Abdenouni, M., Qourzal, S., Tounsadi, H., Barka, N., “Effectiveness of beetroot seeds and H₃PO₄ activated beetroot seeds for the removal of dyes from aqueous solutions” *Journal of Water Reuse and Desalination*, doi: 10.2166/wrd.2017.034, (2018).
- Mafra, M. R., Igarashi-Mafra, L., Zuim, D. R., É. C., Vasques and Ferreira, M. A., “Adsorption of remazol brilliant blue on an orange peel adsorbent”, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 30(3): 657–665 (2013).
- Merzouk, B., Gourich B., Madani K., Vial Ch., Sekki A., “Removal of a disperse red dye from synthetic wastewater by chemical coagulation and continuous electrocoagulation. A comparative study”, *Desalination*, 272: 246–253 (2011).
- Mısırlı, T., "Kömür Madeni Atıklarından Elde Edilen Adsorbentlerle Boyarmadde ve Pestisit Uzaklaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, (2004).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Molinari, R., Lavorato, C., Argurio, P., “Recent progress of photocatalytic membrane reactors in water treatment and in synthesis of organic compounds”, *Catalyst Today*, 281: 144-164 (2017).
- Murat, S., “Aktif karbon ile sulu çözeltilerden nikel gideriminde kolon çalışmaları”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2007).
- 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).
- Orhon, D., Tünay, O., Kabdaşlı, I., and Eremektar, G., “Color removal from textile wastewaters”, *Wat. Sci. Tech.*, 34(11): (1996).
- Osma, J. F., Toca-Herrera, J. L., Susana Rodríguez-Couto, “Transformation pathway of Remazol Brilliant Blue R by immobilised laccase”, *Bioresource Technology*, 101: 8509–8514 (2010).
- Otero, M., Rozada F., Calvo, L. F., García, A. I., Moran, A., “Elimination of organic water pollutants using adsorbents obtained from sewage sludge”, *Dyes and Pigments*, 57: 55-65 (2003).
- Özer, D., “Sulardaki Krom Kirliliğinin Dolgulu Kolonlarda Giderilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2000).
- Palmieri, G., Cennamo, G., Sannia, G., “Remazol Brilliant Blue R decolourisation by the fungus *Pleurotus ostreatus* and its oxidative enzymatic system”, *Enzyme and Microbial Technology*, 36(1): 17-24 (2005).
- Pang, Y. L., Abdullah A. Z. “Current Status of Textile Industry Wastewater Management and Research Progress in Malaysia: A Review”, *Clean (Weinh)*, 41: 751–764 (2013).
- Park, D., Yun, Y. S and Park, J. M., “The Past, Present and Future Trend of Biosorption”, *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 15: 86-102 (2010).
- Pelosi, B. T., Lima, L. K. S., Vieira, M. G. A., “Removal of the synthetic dye Remazol Brilliant Blue R from textile industry wastewaters by biosorption on the macrophyte *Salvinia natans*” *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 31(4): 1035-1045 (2014).
- Phalakornkule, C., Polgumhang, S., Tongdaung, W., Karakat, B., Nuyut, T., “Electrocoagulation of blue reactive, red disperse and mixed dyes, and application in treating textile effluent”, *J Environ Manage*, 91: 918-926 (2010).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Purkait, M. K., Maiti A., Das Gupta S., De S., “Removal of congo red using activated carbon and its regeneration”, *J Hazard Mater*, 145: 287-295 (2007).
- Purvis, O., “Lichen Flora of Great Britain and Ireland”, *Natural History Museum Publications in association with the British Lichen Society*, (1992).
- Radha, K. V., Regupathi, I., Arunagiri, A. and Murugesan, T., “Decolorization studies of synthetic dyes using *Phanerochaete chrysosporium* and their kinetics”, *Process Biochemistry*, 40: 3337-3345 (2005).
- Rahmat, N. A., Ali, A. A., Hussain, N., Muhamad, M. S., Kristanti, R. A., Hadibarata, T., “Removal of Remazol Brilliant Blue R from Aqueous Solution by Adsorption Using Pineapple Leaf Powder and Lime Peel Powder”, *Water Air soil Pollut*, 227:105 (2016).
- Rashed, M. N., “Acid Dye Removal from Industrial Wastewater by Adsorption on Treated Sewage Sludge”, *International Journal of Environment and Waste Management*, 7: 175-191 (2011).
- Rashed, M. N., "Adsorption Technique for the removal of organic pollutants from water and wastewater", *Organic Pollutants – Monitoring, Risk and Treatment*, (2013).
- Reddy, M. C., Sivaramakrishna, L., Reddy, A.V., “The use of an agricultural waste material, Jujuba seeds for the removal of anionic dye (Congo red) from aqueous medium”, *J Hazard Mater*, 203-204: 118-127 (2012).
- Reis, L. G. T., Robaina, N. F., Pacheco W. F., Cassella, R. J., “Separation of Malachite Green and Methyl Green cationic dyes from aqueous medium by adsorption on Amberlite XAD-2 and XAD-4 resins using sodium dodecylsulfate as carrier”, *Chemical Engineering Journal*, 171: 532–540 (2011).
- 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).
- Ribas, M. C., Adebayo, M. A., Prola, L. D. T., Lima, E. C., Cataluna, R. “Comparison of a homemade cocoa shell activated carbon with commercial activated carbon for the removal of reactive violet 5 dye from aqueous solutions”, *Chem Eng J.*, 248: 315–326 (2014).
- Saha, B., Das S., Saikia J., Das G., “Preferential and enhanced adsorption of different dyes on iron oxide nanoparticles: a comparative study”, *J Phys Chem C*, 115: 8024–8033 (2011).
- Salleh, M. A. M., Mahmoud, D. K., Abdul Karim, W. A. W., Idris, A., “Cationic and anionic dye adsorption by agricultural solid wastes: A comprehensive review”, *Desalination*, 280: 1–13 (2011).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Salvi, N. A. and Chattopadhyay, S., “Biosorption of Azo dyes by spent *Rhizopus arrhizus* biomass”, *Applied Water Science*, 7(6): 3041–3054 (2017).
- Santos, S. C. R., Vilar V. J. P., Boaventura R. A. R., “Waste metal hydroxide sludge as adsorbent for a reactive dye”, *J Hazard Mater*, 153: 999-1008 (2008).F
- Sarı, S. K., Özmen, D., “Desing of optimum response surface experiments for the adsorption of acetic, butyric, and oxalic acids on Amberlyst A21,” *Journal of Dispersion Science and Technology*, 39(2):305-309 (2018).
- Sarıcı, Ç., “Bazı Türk Linyitlerden Aktif Karbon Hazırlanabilirliğinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Malatya, (2001).
- Sathiskumar, P., Arulkumar, M., Palvannan, T., “Utilization of agro-industrial waste *Jatropha curcas* pods as an activated carbon for the adsorption of reactive dye Remazol Brilliant Blue R (RBBR)”, *Journal of Cleaner Production*, 22: 67-75 (2012).
- Sen, T. K., Afroze, S., Ang, H. M., “Equilibrium, kinetics and mechanism of removal of methylene blue from aqueous solution by adsorption onto pine cone biomass of *Pinus radiata*”, *Water, Air, & Soil Pollution*, 218: 499-515 (2011).
- Silva, T. L., Ronix, A., Pezoti, O., Souza, L. S., Leandro, P. K. T., Bedin, K. C., Beltrame, K. K., Cazetta, A. L., Almeida, V. C., “Mesoporous activated carbon from industrial laundry sewage sludge: Adsorption studies of reactive dye Remazol Brilliant Blue R”, *Chemical Engineering Journal*, 303: 467-476 (2016).
- Skodras, G., Diamantopoulou, I., Zabaniotou, A., Stavropoulos, G., Sakellaropoulos, G. P., “Enhanced mercury adsorption in activated carbons from biomass materials and waste tires”, *Fuel Processing Technology*, 88: 749–758 (2007).
- Slejko, F. L., “A step-by-step approach to process evaluation and application”, *Adsorption technology chemical industries series*, 19: 223 (1985).
- Stanley, E. M., *Environmental Chemistry(Fifth Edition)*, Lewis Publishers, (1991).
- Şeker, A. F., "Tekstil Endüstrisinde Kullanılan Çeşitli Boyarmaddelerin Aktif Karbon ile Gideriminin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı*, Gebze, (2007).
- Temkin, M. I., Pyzhev, V., “Kinetics of ammonia synthesis on promoted iron catalyst”, *Acta Physicochimica USSR* 12: 327-356 (1940).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Toor, M. K., "Enhancing adsorption capacity of Bentonite for dye removal: Physiochemical modification and characterization in", **Department of Chemical Engineering**, University of Adelaide, 209 (2010).
- Torgut, G., Tanyol, M., Biryani, F., Pihtili, G., Demirelli, K., "Application of response surface methodology for optimization of Remazol Brilliant Blue R removal onto a novel polymeric adsorbent", **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, 80: 406-414 (2017).
- Turhan, K., Durukan I., Ozturkcan S. A., Turgut Z., "Decolorization of textile basic dye in aqueous solution by ozone", **Dyes Pigm**, 92: 897–901 (2012).
- Tushar K. Sen, "Review on Dye Removal from Its Aqueous Solution into Alternative Cost Effective and Non-Conventional Adsorbents", **J Chem Proc Engg**, 1: 1-11 (2014).
- Tünay, O., Tameroğlu, O., Baykal, N., Afsar, F. and Ödemis, E., "Pretreatment of textile processing wastewaters", **Wat. Sci. Tec.**, (1990).
- Van der Zee, F. P., Villaverde, S., "Combined anaerobic-aerobic treatment of azo dyes-- a short review of bioreactor studies", **Water Res**, 39: 1425-1440 (2005).
- Vijayakumar, G., Tamilarasan, R., Dharmendirakumar, M., "Adsorption, Kinetic, Equilibrium and Thermodynamic studies on the removal of basic dye Rhodamine-B from aqueous solution by the use of natural adsorbent perlite", **J. Mater. Environ. Sci.**, 3(1):157-170 (2012).
- Vinod, G. K., Alok M., Rajeev J., Megha M., Shalini S., "Adsorption of Safranin-T from wastewater using waste materials-activated carbon and activated rice husks", **Journal of Colloid and Interface Science**, 303: 80-86 (2006).
- Wang, S., "Removal of dyes from aqueous solution using fly ash and redmud", **Water Res**, 39: 129-38 (2005).
- Wang, S., Boyjoo Y., Zhu J., "Sonochemical treatment of fly ash for dye removal from wastewater", **Journals of Hazardous Materials**, 126: 91-95 (2005).
- Wawrzekiewicz, M., Hubicki, Z., "Anion exchange resins as effective sorbents for removal of acid, reactive, and direct dyes from textile wastewaters", **Intech, Ion Exchange- Studies and Applications**, 37-72 (2015).
- Weber, J. W. J., Morris, J. C., "Kinetics of adsorption on carbon from solution", **Journal of the Sanitary Engineering Division - American Society of Civil Engineers**, 89: 31-59 (1963).

KAYNAKLAR (Devam ediyor)

- Yagub, M. T., Kanti, Sen, T., Afroze, S., Ang, H. M., “Dye and its removal from aqueous solution by adsorption: A review”, *Advances in Colloid and Interface Science*, 209: 172–184 (2014).
- Yalçın, Hayri, “Su Teknolojileri”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Yayınları*, Ankara, (1995).
- Yener, J., Kopac T., Doğu G., Doğu T., “Adsorption of Basic Yellow 28 from aqueous solutions with clinoptilolite and amberlite”, *Journal of Colloid and Interface Science*, 294: 255–264 (2006).
- 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).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Gülseren ÖZTÜRK

Doğum Yeri ve Tarihi: Kartal / 05.06.1991



Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi 2014 (F.E.F Kimya)

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

İş Deneyimi

Stajlar : - Ata Lab Çevre Analizleri Laboratuvarı

- Intertek ITS CB-TR

İletişim

Adres : Kartal / İSTANBUL

E-Posta Adresi : glserenozen@gmail.com

Akademik Çalışmaları

- Silah, H., Gul, U. D. and Ozturk, G., ‘Investigation of Removal of Reactive Dyes From Aqueous Solutions Using by Different Adsorbents’, **International Conference on Advances in Sciences: ICAS 2017**, Istanbul/Turkey, 13–15 September 2017.