

**SULU ÇÖZELTİDE MALACHİTE GREEN BOYAR MADDESİNİN
SUSAM KOZASI KULLANILARAK GİDERİMİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EMRE ALKAN

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**MERSİN
OCAK - 2020**

**SULU ÇÖZELTİDE MALACHİTE GREEN BOYAR MADDESİNİN
SUSAM KOZASI KULLANILARAK GİDERİMİNİN
ARAŞTIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EMRE ALKAN

**MERSİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

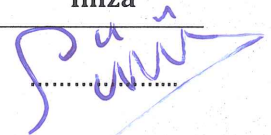
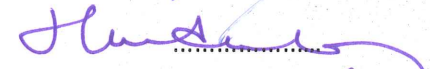

**ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Hüdaverdi ARSLAN**

**MERSİN
OCAK - 2020**

ONAY

Emre Alkan tarafından Dr. Öğr. Üyesi Hüdaverdi ARSLAN danışmanlığında hazırlanan " Sulu Çözeltilerde Malachite Green Boyar Maddesinin Susam Kozası Kullanılarak Gideriminin Araştırılması " başlıklı çalışma aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından 13 Ocak 2020 tarihinde yapılan Tez Savunma Sınav sonucunda oy birliği ile Yüksek Lisans Yeterlilik tezi olarak kabul edilmiştir.

Görevi	Ünvanı, Adı ve Soyadı	İmza
Başkan	Doç. Dr. Ece Ümmü DEVECİ	
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Hüdaverdi ARSLAN	
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Mutlu YALVAÇ	

Yukarıdaki jüri kararı Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 03./02/ 2020 tarih ve 2020.05/..181... sayılı kararıyla onaylanmıştır.



Prof. Dr. Cahit BİLİM
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezde kullanılan özgün bilgiler, şekil, tablo ve fotoğraflardan kaynak göstermeden alıntı yapmak 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu hükümlerine tabidir.

ETİK BEYAN

Mersin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim – Öğretim Yönetmeliğinde belirtilen kurallara uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada,

- Tez içerisindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak kullandığımı,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Bu tezin herhangi bir bölümü Mersin Üniversitesi veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,
- Tezin tüm telif haklarını Mersin Üniversitesi'ne devrettiğimi beyan ederim.

ETHICAL DECLARATION

This thesis is prepared in accordance with the rules specified in Mersin University Graduate Education Regulation and I declare to comply with the following conditions:

- I have obtained all the information and the documents of the thesis in accordance with the academic rules,
- I presented all the visual, auditory, and written informations and result in accordance with scientific ethics,
- I refer in accordance with the norms of scientific works about the case of explanations of other's work,
- I used all of the referred Works as the references,
- I did not do any tampering in the used data,
- I did not present any part of this thesis as an another thesis at Mersin University and another university,
- I transfer all copyrights of this thesis to the Mersin University.

29 / 01 / 2020


İmza

Emre ALKAN

ÖZET

SULU ÇÖZELTİDE MALACHİTE GREEN BOYAR MADDESİNİN SUSAM KOZASI KULLANILARAK GİDERİMİNİN ARAŞTIRILMASI

Bu çalışmada sulu çözelti içerisindeki Malachite Green (MG) boyar maddesinin, adsorban olarak Susam Kozası (SK)'nın kullanıldığı adsorpsiyon yöntemiyle giderimi araştırılmıştır. Çalışmada adsorpsiyona etki eden parametreler olarak çözeltinin pH değeri, başlangıç boyar madde konsantrasyonu, adsorban miktarı ve adsorpsiyonun temas süresi incelenmiştir. MG boyar maddesinin SK üzerine adsorplanma hız değişimlerini bulmak amacıyla birinci dereceden ve ikinci dereceden (yalancı) kinetik modelleri hesaplanmıştır. Çalışmada elde edilen veriler Langmuir ve Freundlich izoterm modellerine uygulanmıştır. Deneysel oda sıcaklığında (25 °C) ve 30 mL'lik çözeltilerde gerçekleştirilmiş olup yapılan optimizasyon çalışmaları sonucunda optimum parametreler olarak pH 8, başlangıç boyar madde konsantrasyonu 20 mg/L, adsorban miktarı 0,3 g ve adsorpsiyonun temas süresi 40 dakika (dk) olarak belirlenmiştir. Adsorpsiyonun ikinci dereceden (yalancı) kinetik modele daha uygun olduğu görülmüş ($R^2=0,9998$) ve elde edilen denge verilerine bakılarak Langmuir izotermine göre hesaplamalar yapılmıştır ($R^2=0,9997$). Yapılan hesaplamalar sonucunda adsorban kapasitesinin 1,58 mg/g, boyar madde giderim veriminin ise % 93,45 olduğu belirlenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre tarımsal bir atık olan SK'nın sulu çözelti içerisindeki MG boyar maddesinin gideriminde kullanılabilecek etkili bir adsorban olduğu ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler : Adsorpsiyon, Susam Kozası (SK), Malachite green, Boyar madde, Adsorban, Tarımsal atık.

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hüdaverdi ARSLAN, Mersin Üniversitesi, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, Mersin.

ABSTRACT

INVESTIGATION THE REMOVAL OF MALACHITE GREEN DYE FROM AQUEOUS SOLUTION BY USING SESAME SHELL

In this study, the removal of Malachite Green (MG) dye from the aqueous solution by the adsorption method onto Sesame Shell (SK) was investigated. The effects of solution pH, the initial concentration of the dye, adsorbent amount and contact time on the adsorption process were determined. The adsorption kinetic was modeled using first order and second (pseudo) order kinetic models. Langmuir and Freundlich isotherms were applied in this study. All of the experiments were carried at the room temperature (25 °C) and at solution volume of 30 mL. The optimum results had been noticed at the following parameters pH 8, initial concentration of 20 mg/L, the adsorbent amount of 0,3 g and contact time was 40 minute. The adsorption of MG onto SK was found to be more suitable for the second (pseudo) order kinetic model with correlation factor of $R^2= 0,9998$. The result was fitted with Langmuir isotherm ($R^2=0,9997$). The adsorbent capacity was determined to be 1,58 mg/g, the removal efficiency of MG onto SK was % 93,45. In this study, the SK was used as an adsorbent for MG removal and based upon the obtained results it is found to be an effective choice.

Keywords: Adsorption, Sesame shell (SK), Malachite green (MG), Dye, Adsorbent, Agricultural waste.

Advisor: Assist. Prof. Dr. Hüdaverdi ARSLAN, Department of Environmental Engineering, University of Mersin, Mersin.

TEŞEKKÜR

Lisans ve lisansüstü öğrenimim süresince maddi ve manevi her konuda bana destek olan, bir hocadan çok daha fazlası olarak gördüğüm danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Hüdaverdi ARSLAN'a, çalışmamda ihtiyaç duyduğum her an görüş ve önerileriyle bana yardımcı olan başta Sayın Dr. Öğr. Üyesi Serpil SAVCI hocam ve Dr. Öğr. Üyesi Mutlu YALVAÇ hocamla birlikte diğer tüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ayrıca tüm öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi olarak benden desteklerini esirgemeyen, her zaman yanımda olan aileme ve ablam Çiğdem ALKAN'a çok teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇ KAPAK	ii
ONAY	iii
ETİK BEYAN	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
TABLolar DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
KISALTMALAR ve SİMGELER	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI	3
2.1. Adsorpsiyon	3
2.1.1. Adsorpsiyon Türleri	3
2.1.1.1. Fiziksel Adsorpsiyon	3
2.1.1.2. Kimyasal Adsorpsiyon	4
2.1.1.3. İyonik Adsorpsiyon	4
2.1.2. Adsorpsiyon İzotermi	4
2.1.2.1. Langmuir İzoterm Modeli	4
2.1.2.2. Freundlich İzoterm Modeli	6
2.1.2.3. BET (Brunauer – Emmett- Teller) İzoterm Modeli	7
2.1.3. Adsorpsiyon Kinetiği	7
2.1.3.1. Birinci Dereceden Kinetik Model	7
2.1.3.2 İkinci Dereceden (Yalancı)Kinetik Model	8
2.1.3.3. Partikül İçi Difüzyon Modeli	8
2.1.4. Adsorpsiyon Termodinamiği	9
2.2. Tekstil Endüstrisi	10
2.2.1. Tekstil Endüstrisinde Oluşan Atıksuyun Kaynakları ve Özellikleri	10
2.2.1.1. Haşılama	10
2.2.1.2. Yıkama ve Haşıl Giderme	10
2.2.1.3. Ağartma	10
2.2.1.4. Merserizasyon	11
2.2.1.5. Boyama	11
2.2.1.6. Apreleme	11
2.3. Boyar Maddeler	12
2.3.1. Boyar Maddelerin Sınıflandırılması	12
2.3.1.1. Boyama Yöntemlerine Göre	13
2.3.1.2. Çözünürlüklerine Göre	13
2.3.1.2.1. Suda Çözünebilen Boyar Maddeler	13
2.3.1.2.2. Suda Çözünemeyen Boyar Maddeler	14
2.3.1.3. Kimyasal Yapılarına Göre	14
2.4. Boyar Madde İçeren Atık Suların Diğer Arıtım Teknikleri	15
2.4.1. Fiziksel Yöntemler	15
2.4.2. Kimyasal Yöntemler	15
2.4.3. Biyolojik Yöntemler	16
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	17
4. MATERYAL ve METOT	20
4.1. Materyal	20
4.1.1. Çalışmada Kullanılan Cihazlar ve Kimyasallar	20
4.2. Metot	21

	Sayfa
4.2.1. Adsorbanın Hazırlaması	21
4.2.2. Boyar Maddenin Stok Çözeltisinin Hazırlanması	22
4.2.3. Boyar Madde Standart Eğrisinin Bulunması	22
4.2.4. Optimizasyon Parametreleri	22
4.2.4.1. Adsorpsiyona pH Etkisi	22
4.2.4.2. Adsorpsiyona Başlangıç Boyar Madde Konsantrasyonunun Etkisi	23
4.2.4.3. Adsorpsiyona Temas Süresinin Etkisi	23
4.2.4.4. Adsorpsiyona Adsorban Miktarının Etkisi	23
5. BULGULAR ve TARTIŞMA	24
5.1. Adsorbanın Karakterizasyonu	24
5.1.1. SEM (Taramalı Elektron Mikroskopi) İncelemesi	24
5.1.2. FT-IR (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi) İncelemesi	25
5.2. Adsorpsiyon Optimizasyonu	26
5.2.1. pH Optimizasyonu	26
5.2.2. Başlangıç Boyar Madde Konsantrasyonu Optimizasyonu	27
5.2.3. Adsorban Miktarının Optimizasyonu	28
5.2.4. Temas Süresi Optimizasyonu	30
5.3. Adsorpsiyon İzotermleri	30
5.4. Adsorpsiyon Kinetikleri	32
5.4.1. Birinci Dereceden Kinetik Model	32
5.4.2. İkinci Dereceden (Yalancı) Kinetik Model	33
5.4.3. Partikül İçi Difüzyon Modeli	34
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	35
KAYNAKLAR	37
ÖZGEÇMİŞ	40

TABLolar DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. R_L sabit değerlerine göre izoterm tipleri	6
Tablo 2.2. Tekstil endüstrisi proses basamakları ve oluşan atıksuyun karakterizasyonu	11
Tablo 4.1. Malachite Green boyar maddesinin kimyasal özellikleri	20
Tablo 4.2. Kullanılan cihazlar ve kimyasallar	21
Tablo 5.1. Absorbans değerlerine göre kurulan bağ yapıları ve kuvvetleri	26
Tablo 5.2. Langmuir ve Freundlich İzoterm sabitleri	31
Tablo 5.3. Farklı adsorbanlar için adsorplama kapasitelerinin karşılaştırılması	32
Tablo 5.4. İkinci dereceden kinetik model için hesaplanan katsayılar	34



ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Adsorpsiyon mekanizmasının işlem sırası	3
Şekil 4.1. Kullanılan susam kozaları	20
Şekil 4.2. Elekten geçirilmiş SK	21
Şekil 4.3. Kalibrasyon eğrisi oluşturma	22
Şekil 5.1. Adsorpsiyon işlemi öncesi SK yüzeyi	24
Şekil 5.2. Adsorpsiyon işlemi sonrası SK yüzeyi	25
Şekil 5.3. SK'nın ham ve boyalı FT-IR analizi	26
Şekil 5.4. SK üzerine pH'ın etkisi	27
Şekil 5.5. SK üzerine başlangıç boyar madde konsantrasyonunun etkisi	28
Şekil 5.6. Adsorban miktarının boyar madde giderim verimine etkisi	29
Şekil 5.7. SK'nın adsorplama kapasitesi üzerine adsorban miktarının etkisi	29
Şekil 5.8. SK üzerine temas süresinin etkisi	30
Şekil 5.9. Langmuir İzoterm grafiği	31
Şekil 5.10. Freundlich İzoterm grafiği	31
Şekil 5.11. Birinci dereceden kinetik model	33
Şekil 5.12. İkinci dereceden (yalancı) kinetik model	33
Şekil 5.13. Partikül içi difüzyon modeli	34

KISALTMALAR ve SİMGELER

Kısaltma/Simge	Tanım
a	Çizilen eğrinin eğimi (q_t ' ye $t^{1/2}$ grafiği)
AKM	Askıda katı madde (mg/L)
a_L	Langmuir izoterm sabiti (L/mg)
B	Yüzeyle etkileşim enerjisi sabiti
BET	Brunauer – Emmett- Teller izoterm modeli
BOI_5	Biyolojik oksijen ihtiyacı (mg/L)
C	Kayma noktası sabiti (tabaka kalınlık sabiti) (birimsiz)
C_e	Adsorpsiyon sonrası çözelti içerisinde kalan madde konsantrasyonu (mg/L)
C_0	Başlangıç konsantrasyonu (mg/L)
C_s	Çözelti doygunluk derişimi (mg/L)
FT-IR	Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi
HCl	Hidrojen klorür (hidroklorik asit)
k_1	Birinci dereceden adsorpsiyon hız sabiti (dk^{-1})
k_2	İkinci dereceden adsorpsiyon hız sabiti ($g/mg \cdot dk^{-1}$)
K_C	Adsorpsiyon denge sabiti (L/g)
K_F	Fruendlich sabiti (L/g)
K_L	Adsorbatın adsorplanma kapasitesi sabiti (L/g)
KOI	Kimyasal oksijen ihtiyacı (mg/L)
k_p	Partikül içi difüzyon hız sabiti ($mg/g \cdot dk^{1/2}$)
MG	Malachite green
n	Adsorpsiyon yoğunluğu (birimsiz)
NaOH	Sodyum hidroksit
nm	Dalga boyu (nanometre)
pH	Power of hydrogen
q_e	Birim kütledeki adsorbanın adsorplayabildiği madde miktarı (mg/g)
q_{max}	Adsorbanın maksimum adsorplama kapasitesi (mg/g)
q_t	t zamanındaki adsorplama kapasitesi (mg/g)
R	Adsorplanan madde yüzdesi (%)
R	İdeal gaz sabiti (8.314 J/mol.K)
R_L	Boyutsuz ayırma sabiti
SEM	Taramalı elektron mikroskopu
SK	Susam kozası
t	Adsorpsiyon temas süresi (dk)
T	Mutlak sıcaklık ($^{\circ}C-^{\circ}K$)
V	Çözelti hacmi (ml-L)
W	Adsorban miktarı (g)
ΔG^0	Gibbs Serbest Enerji Değişimi (kJ/mol)
ΔH^0	Entalpi değişimi (kJ/mol)
ΔS^0	Entropi değişimi (kJ/mol.K)

1. GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizde artan nüfusa bağlı olarak gelişim gösteren tekstil endüstrisi her yıl artış göstermektedir. Gerek dünya gerekte ülke ekonomimiz açısından çok önemli bir yere sahip olan tekstil endüstrisi istihdam yaratma konusunda da en önemli faktörlerin başında gelmektedir. Dünyada Çin, ABD ve Hindistan'ın başını çektiği tekstil endüstrisi çok büyük bir ekonomik pazara sahiptir. Ülkemiz tekstil endüstrisinde kullanılan hammaddeler açısından oldukça elverişli olmakla birlikte, hayvancılıktan elde edilen yün ve tarımsal faaliyetlerden elde edilen pamuk özellikle Akdeniz ve Çukurova bölgelerimizden kolayca elde edilebilmektedir. Tekstil endüstrisi ülkemizde % 33,2'lik payla en önemli ihracat kalemidir. Ülkemizde 21,5 milyar dolarlık bir pazara sahip olan tekstil endüstrisi Gayri Safi Milli Hasıla (GSMH)'nin % 10,7'sini oluşturmaktadır [1].

Son yıllarda ülkemizde hızla gelişen ve ülkemizin en önemli sektörlerinden biri olan tekstil endüstrisinin gelişimine bağlı olarak artan tekstil fabrikalarının sayısı beraberinde oluşan tekstil endüstrisi kaynaklı atıksuların artmasına sebebiyet vermiştir. Özellikle tekstil endüstrisinden kaynaklanan boyar madde içeren atıksular yüksek toksisite ve renk içeriğine sahip olmaları sebebiyle, deşarj yapıldıkları ortama çok büyük zararlar vermektedirler. Buna bağlı olarak boyar madde içeren atıksuların çeşitli yöntemler kullanılarak arıtımının yapılmasına son yıllarda büyük önem verilmiştir. Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği Tablo 10'da Tekstil Sanayi Atıksularının Alıcı Ortama Deşarj Standartlarına göre Resmi Gazete'de 24/04/2011 tarihli 27914 sayılı değişiklik ile renk parametresi 280-260 (Pt-Co) aralığında olması zorunlu kılınmıştır [2].

Boyar madde içeren atıksuların arıtımında kullanılan birçok yöntem olmakla birlikte son dönemde arıtım maliyetlerini göz önüne alarak daha ekonomik yöntemler denenmeye başlanmıştır. Bunlardan birisi olan adsorpsiyon prosesi; düşük maliyet ve maksimum verim prensibinin kullanıldığı en önemli proseslerden birisidir. Adsorban madde olarak birçok tarımsal atık kullanılabilir. Bu tarımsal atıklardan birisi olan SK ülkemiz topraklarında bolca yetişebilen bir bitkidir. Susam (*Sesamum indicum*) bitkisi içeriğinde yüksek oranda yağ ve protein barındıran, Pedaliaceae familyasına ait ana vatanı Afrika olan bir bitki türüdür. SK % 10,2 protein, % 12,2 yağ, % 23,4 kül içermekle birlikte yağ asit kompozisyonu belirlenirken en fazla içerdiği yağ asitlerinin % 43 oleik, %35 linoleik, % 11 palmitik % 7 stearik asit olduğu, bu asitlerin toplam yağ asitlerinin % 96'sını oluşturdukları tespit edilmiştir [3]. Türkiye'de önemli susam yetiştirilen bölgeler Ege ve Akdeniz Bölgeleridir. Toplam ekim alanının % 48,6'sı Ege Bölgesi'nde, % 39,3'ü Akdeniz Bölgesi'nde bulunmaktadır. Türkiye'de yıllık ortalama 17716 ton susam üretimi yapılmaktadır [4]. Gıda ve ilaç sanayi gibi bir çok sektörde kullanılabilen susam bitkisinin içerisindeki tohumları alındıktan sonra geriye kalan SK ise genellikle yakılarak bertaraf edilmektedir. Çok yüksek lif içeriğine sahip olan SK, gerek tarımsal

faaliyetler sonucu geriye kalan atık olması, gerek de ekonomik ve mali açıdan ucuz olması sebebiyle adsorban olarak kullanılabilirdiği düşünölmüştür. Böylelikle hem bir tarımsal atık olarak kabul edilen SK yeniden değerlendirilmiş olacak hem de atıksuların arıtımında en büyük problemlerden biri olan kullanılan adsorban maliyeti azaltılarak ekonomik olarak kazanç elde edilmiş olacaktır.

Bu çalışmada, tarımsal bir atık olan SK'nın adsorban olarak kullanımıyla, tekstil fabrikalarında kullanılan MG boyar maddesi içeren atıksuların arıtılmasında kullanılabilirliği araştırılmıştır.

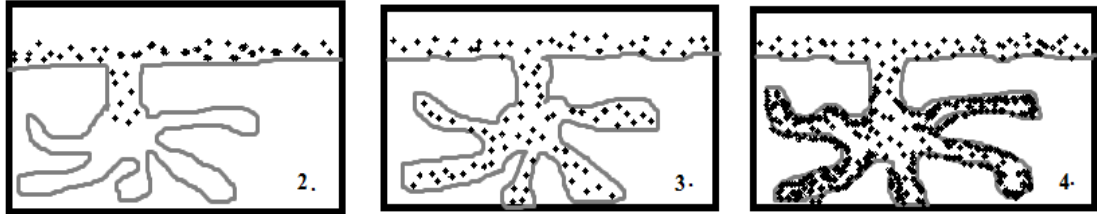


2. KAYNAK ARAŞTIRMALARI

2.1. Adsorpsiyon

Adsorpsiyon prosesi en kısa tanımıyla, bir çözücü içerisinde çözünmüş veya askıda katı halde bulunan bir maddenin, katı bir madde yüzeyine çeşitli fiziksel veya kimyasal yollarla tutunarak madde yüzeyinde tek veya daha fazla tabakalar halinde birikmesi olayıdır. Adsorpsiyon prosesinde, adsorpsiyon işlemi gerçekleştiren katı maddeye “adsorban”, katının yüzeyinde biriktirilen maddeye “adsorbat”, bu biriktirilen taneciklerin tekrar yüzeyden ayrılması işlemine ise “desorpsiyon” denir. Adsorpsiyon işlemi sıcaklık, işlem süresi, pH, adsorbat konsantrasyonu ve adsorban miktarına bağlı olmakla birlikte, adsorpsiyon mekanizması 4 basamaktan oluşmaktadır [5-6]. Bunlar sırasıyla;

1. Adsorplanan maddenin, adsorbanın yüzeyine doğru difüze olarak ilerlemesi, (Ancak yapılan karıştırma işlemi sebebiyle bu basamak genellikle ihmal edilir.)
2. Difüze olan adsorbatın, adsorbanın yüzeyinde bulunan gözeneklerine girmesi,
3. Gözeneklerden giren adsorbatın, gözenek boşluklarından içeri doğru hareket ederek adsorpsiyon işleminin gerçekleşeceği yüzeye ulaşması,
4. Son aşama olarak, adsorbanın gözeneklerine tutunan adsorbatın buralarda tabakalar halinde birikmesi sonucu adsorpsiyon prosesi tamamlanmış olur.



Şekil 2.1. Adsorpsiyon mekanizmasının işlem sırası

2.1.1. Adsorpsiyon Türleri

2.1.1.1. Fiziksel Adsorpsiyon

Fiziksel adsorpsiyon, moleküller arasındaki zayıf çekim kuvvetleri olan van der Waals kuvvetlerinden dolayı meydana gelen adsorpsiyon türüdür. Adsorbe olan tanecikler genellikle katı yüzeyinde hareketli konumdadır. Genellikle tersinir olan bu adsorpsiyon türünde aktivasyon enerjisi (ΔH) 60 kJ/mol'den daha küçüktür. Fiziksel adsorpsiyonda moleküller arasındaki bağlar zayıf olduğu için, geri kazanımı kimyasal adsorpsiyona göre daha kolaydır [7].

Bu adsorpsiyon türünde, yüzeyde biriken adsorbatların oluşturduğu tabakalar üst üste gelerek çok tabakalı bir yapı oluşturabilir.

2.1.1.2. Kimyasal Adsorpsiyon

Kimyasal adsorpsiyon, adsorbat ile adsorbanın yüzeyi arasında oldukça kuvvetli olan kimyasal bağların oluşmasıyla meydana gelen adsorpsiyon türüdür. Bu oldukça kuvvetli olan bağlar kovalent yapıli bağlardır. Adsorbe olan tanecikler fiziksel adsorpsiyonun tersine hareketsiz konumdadırlar. Yüksek aktivasyon enerjisine sahip olan kimyasal adsorpsiyonda oluşan bağların kuvvetli olması sebebiyle geri kazanımı oldukça zordur. Bu adsorpsiyon türünde adsorban yüzeyinde moleküllerin bağlanacağı yer kalmadığında adsorpsiyon durur. Dolayısıyla kimyasal adsorpsiyonda yüzeyde birikmeler tek tabaka şeklinde oluşur [8].

2.1.1.3. İyonik Adsorpsiyon

İyonik adsorpsiyon, adsorban ile adsorbat arasındaki zıt elektrik yüküne sahip moleküllerin birbirlerini çekmeleri sonucu meydana gelen adsorpsiyon türüdür. Bu adsorpsiyon türünde adsorban veya adsorbatın sahip olduğu iyon yükü ile adsorpsiyonun verimi doğru orantılıdır.

2.1.2. Adsorpsiyon İzotermeleri

Adsorpsiyon bir denge mekanizması olmakla birlikte, adsorbanın adsorplayabildiği madde miktarı ile çözelti içerisinde kalan madde konsantrasyonu arasında bir denge durumu oluşuncaya kadar devam eder. Bu denge durumunda adsorbanın birim kütlede tutabildiği madde miktarı ile çözelti içerisinde kalan madde miktarı arasındaki bağıntıları kullanarak ortaya çıkan ve adsorban hakkında kapasite, enerji gibi birçok konuda bilgi almamızı sağlayan bağıntılara adsorpsiyon izotermeleri denir [9]. Bu izotermelerden yola çıkarak bazı izoterm modelleri geliştirilmiştir.

2.1.2.1. Langmuir İzoterm Modeli

Langmuir izotermi, tek tabakadan oluşan ve yüzeye homojen olarak dağılmış olan moleküllerin adsorpsiyonunu açıklamak için kullanılan izoterm modelidir.

Langmuir izotermi bazı kabuller içermektedir. Bunlar;

- Adsorban yüzeyi homojen olmakla birlikte, adsorpsiyon işlemi tek tabaka halindedir.

- Adsorban yüzeyinde tutulan maddeler hareketsiz haldedirler.
- Adsorban yüzeyinde tutulan maddeler birbirleriyle etkileşim içinde olmamaları sebebiyle birim alanda adsorplanmış olan madde miktarıyla, adsorpsiyon hızı ve enerjisi birbirlerinden bağımsızdır [10].

Langmuir izoterminin denklemleri şu şekildedir;

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L} + \left(\frac{a_L}{K_L}\right) C_e \quad (1)$$

$$q_e = \frac{q_{max} a_L C_e}{1 + a_L C_e} \quad (2)$$

$$q_e = \frac{K_L C_e}{1 + a_L C_e} \quad (3)$$

C_e = Adsorpsiyon sonrası çözelti içerisinde kalan madde konsantrasyonu (mg/L)

q_e = Birim kütledeki adsorbanın adsorplayabildiği madde miktarı (mg/g)

a_L = Langmuir izoterm sabiti (L/mg)

K_L = Adsorbatın adsorplanma kapasitesi sabiti (L/g)

q_{max} = Adsorbanın maksimum adsorplama kapasitesi (mg/g)

C_e/q_e 'nin, C_e 'ye karşı değişim grafiğinin çizilmesiyle ortaya çıkan doğrunun eğimi bize a_L/K_L sabitini, kestiği nokta ise $1/K_L$ sabitini gösterir. Bu izotermde adsorpsiyonun uygunluğunu bulmak için Webber ve Chakkravorti tarafından bulunan boyutsuz ayırma R_L sabiti denklemi kullanılır [11-12].

Bu denkleme göre;

$$R_L = \frac{1}{1 + a_L C_0} \quad (4)$$

a_L = Langmuir sabiti (L/mg)

C_0 = Başlangıç konsantrasyonu (mg/L)

Burada bulunan R_L değerine göre adsorpsiyonun uygunluğu aşağıdaki tabloya bakılarak karar verilir.

Tablo 2.1. R_L sabit değerlerine göre izoterm tipleri

R_L	İzoterm tipi
$R_L > 1$	Uygun değil
$R_L = 1$	Lineer
$1 > R_L > 0$	Uygun
$R_L = 0$	Tersinmez

2.1.2.2. Freundlich İzoterm Modeli

Freundlich izotermi, heterojen yüzeylerde gerçekleşen fiziksel ve tersinir yapıda olabilen, çözeltilerin adsorpsiyonunu açıklamak için geliştirilmiş olan izoterm modelidir. Freundlich izotermide, heterojen yüzeylerde gerçekleşen adsorplanma işlemlerinin tüm yüzeylerde eşit dağılmadığı kabul edilmiştir. Buna bağlı olarak çok tabakalı olarak gerçekleşen adsorpsiyonlar için kullanılmaktadır [13].

Freundlich izotermine göre adsorpsiyonun açıklanmasında kullanılan denklem şu şekildedir;

$$q_e = K_F \cdot C_e^{1/n} \quad (5)$$

K_F = Freundlich sabiti (L/g)

n = Adsorpsiyon yoğunluğu (birimsiz)

q_e = Birim kütledeki adsorbanın adsorplayabildiği madde miktarı (mg/g)

C_e = Adsorpsiyon sonrası çözeltide kalan madde konsantrasyonu (mg/L)

Yukarıda verilen denklemde her iki tarafın logaritması alınarak doğrusal hale getirildiğinde;

$$\log q_e = \log K_F + \left(\frac{1}{n}\right) \cdot \log C_e \quad (6)$$

Bu denklemde $\log q_e$ ' nin $\log C_e$ ' ye bağlı değişim grafiği çıkarıldığında oluşan doğrunun eğiminden $1/n$ değeri, y eksenine kesişiminden ise K_F değeri bulunur. Burada bulunan n değerinin $n > 1$ olması durumu ise adsorpsiyonun uygun olduğunu gösterir [13].

2.1.2.3. BET (Brunauer – Emmett- Teller) İzoterm Modeli

BET izoterm modeli, Adsorban yüzeyinde oluşmuş olan çok tabakalı adsorpsiyonun, Langmuir izotermine göre her bir tabakaya uygulanmış halidir[7]. BET izotermine kullanılan denklem şu şekildedir;

$$q_e = \frac{B \cdot C_e \cdot q_{max}}{(C_s - C_e) + (1 + B) \cdot (C_e / C_s)} \quad (7)$$

B = Yüzeyle etkileşim enerjisi sabiti

C_s = Çözelti doygunluk derişimi (mg/L)

C_e = Adsorpsiyon sonrası çözültide kalan madde konsantrasyonu (mg/L)

q_e = Birim kütledeki adsorbanın adsorplayabildiği madde miktarı (mg/g)

q_{max} = Adsorbanın maksimum adsorplama kapasitesi (mg/g)

2.1.3. Adsorpsiyon Kinetiği

2.1.3.1 Birinci Dereceden Kinetik Model

Lagergen ve Svenska tarafından 1898 yılında geliştirilen, adsorpsiyon kapasitesinin zamana bağlı değişimini ifade eden denklemdir [14]. Denkleme göre;

$$\log(q_e - q_t) = \log q_e - k_1 \cdot t \quad (8)$$

$$\log\left(\frac{q_e - q_t}{q_e}\right) = -\frac{k_1 \cdot t}{2.303} \quad (9)$$

q_t = t zamanındaki adsorplama kapasitesi (mg/g)

q_e = Denge haldeki madde miktarı (mg/g)

k₁ = Birinci dereceden adsorpsiyon hız sabiti (dk⁻¹)

t = Adsorpsiyon süresi (dk)

2.1.3.2 İkinci Dereceden (Yalancı) Kinetik Model

Ho ve McKay tarafından 1999 yılında geliştirilen, adsorpsiyon kapasitesinin zamana bağlı değişimini ifade eden denklemdir. Birinci dereceden modele göre daha çok tercih edilir[14]. Bu denkleme göre;

$$\left(\frac{t}{q_t}\right) = \left(\frac{1}{k_2 \cdot q_e^2}\right) + \frac{1}{q_e} \cdot t \quad (10)$$

q_t = t zamanındaki adsorplama kapasitesi (mg/g)

q_e = Birim kütledeki adsorbanın adsorplayabildiği madde miktarı (mg/g)

k_2 = İkinci dereceden adsorpsiyon hız sabiti (g/mg . dk⁻¹)

t = Adsorpsiyon süresi (dk)

2.1.3.3. Partikül İçi Difüzyon Modeli

Webber ve Morris tarafından 1963 yılında geliştirilen, Adsorpsiyon kapasitesinin zamana bağlı değişimini ifade eden denklemdir. Bu denkleme göre;

$$q_t = (k_p \cdot \sqrt{t}) + C \quad (11)$$

C = kayma noktası sabiti (tabaka kalınlık sabiti) birimsiz)

q_t = t zamanındaki adsorplama kapasitesi (mg/g)

k_p = Partikül içi difüzyon hız sabiti (mg/g . dk^{1/2})

t = Adsorpsiyon süresi (dk)

Partikül içi difüzyon modeli bir başka denklemlerle kullanılarak da ifade edilebilir. Bu denkleme göre;

$$R = k_p \cdot t^a \quad (12)$$

a = Çizilen eğrinin eğimi (q_t' ye t^{1/2} grafiği)

R = Adsorplanan madde yüzdesi (%)

Bu denklemde bulunan a değerinin büyük olması adsorban ile absorbat arasında iyi bir bağlanma olduğunu, $a < 0.5$ değeri ise partikül içi difüzyonun hıza bağlı olmadığını gösterir [15].

2.1.4. Adsorpsiyon Termodinamiği

Adsorpsiyon işlemi genel olarak sabit bir sıcaklık ve basınç altında gerçekleşen proseslerdir. Sabit basınç altında gerçekleşen adsorpsiyon prosesinin kararlı bir yapıya sahip olup olmadığını anlamak için Gibbs Serbest Enerji Değişimi'ne bakılır. Gibbs Enerjisi'nin artması veya azalmasına bağlı olarak reaksiyonun istemliliği tayin edilir [16].

Yapılan adsorpsiyon işlemlerinde Gibbs Serbest Enerjisi (ΔG^0), entalpi değişimi (ΔH^0) ve entropi değişimi (ΔS^0) gibi parametreler aşağıdaki denklemler yardımıyla bulunabilir [17].

$$\Delta G^0 = \Delta H^0 - T \cdot \Delta S^0 \quad (13)$$

$$\Delta G^0 = -R \cdot T \cdot \ln K_c$$

$$\ln K_c = \frac{-\Delta H^0}{R \cdot T} + \frac{\Delta S^0}{R} \quad (14)$$

$$K_c = \frac{q_e}{C_e} \quad (15)$$

Burada $\ln K_c$ 'ye karşı çizdiğimiz $1/T$ grafiğinin eğiminin hesaplanmasıyla ΔH^0 ve y eksenine kesiminden ise ΔS^0 değerleri bulunur.

ΔG^0 = Gibbs Serbest Enerji Değişimi (kJ/mol)

ΔH^0 = Entalpi değişimi (kJ/mol)

ΔS^0 = Entropi değişimi (kJ/mol.K)

T = Mutlak sıcaklık (Kelvin)

R = İdeal gaz sabiti (8.314 J/mol.K)

K_c = Adsorpsiyon denge sabiti (L/g)

q_e = Birim kütledeki adsorbanın adsorplayabildiği madde miktarı (mg/g)

C_e = Adsorpsiyon sonrası çözeltide kalan madde konsantrasyonu (mg/L)

2.2. Tekstil Endüstrisi

2.2.1 Tekstil Endüstrisinde Oluşan Atıksuyun Kaynakları ve Özellikleri

Dünya ve ülkemiz genelinde en önemli ekonomi kaynaklarından olan tekstil endüstrisi buna bağlı olarak hızla gelişim göstermektedir. Tekstil endüstrisinde ham madde üretimi ve üretilen ham maddenin işlenmesi sırasında yüksek miktarlarda suya ihtiyaç vardır. Buna bağlı olarak kullanılan su sebebiyle tekstil endüstrilerinde çok fazla miktarda atıksu oluşmaktadır.

Tekstil endüstrisi atıksularının kirlilik yükü uygulanan işleme, işlem sırasında uygulanan proses basamaklarında kullanılan yardımcı organik veya inorganik kimyasal maddelere, boyama aşamasında kullanılan boyar maddelere bağlı olarak değişiklik gösterir. Genel olarak tekstil endüstrisi atıksularının kirlilik yükü incelendiğinde, yüksek miktarlarda KOİ, pH, BOİ₅, renk ve tuzluluk içerdiği görülür [18].

Tekstil endüstrileri üretim çeşitliliği yönünden yün, pamuk ve sentetik üretim olmak üzere 3'e ayrılmış olsa da, proses basamakları ve bu basamaklarda oluşan atıksu kaynakları benzerlik gösterir.

2.2.1.1. Haşılama

Dokuma amacıyla kullanılacak olan ince ipliklerin kopmasını engellemek amacıyla nişasta veya dekstrin içerikli haşıl maddelerinin kullanılarak kumaşa geçici sağlamlık kazandırıldığı aşamadır. Kullanılan haşıl maddelerinden kaynaklı oluşan atıksuyun BOİ değeri oldukça yüksektir [19].

2.2.1.2. Yıkama ve Haşıl Giderme

Haşılama işleminde kullanılan haşıl maddelerinin klor, deterjan, sodyum hidroksit vb. gibi kimyasal maddeler kullanılarak yıkandığı ve kumaşın temizlendiği aşamadır. Tekstil endüstrisinde oluşan atıksuyun kirlilik yükünün büyük bir kısmı bu aşamada oluşur [19].

2.2.1.3. Ağartma

Ağartma işlemi, kullanılan ipliklerin kendine has olan renklerinin giderilmesi aynı zamanda iplikler üzerinde bulunan pisliklerin temizlenmesi aşamasıdır. Bu aşamada sodyum hipoklorit ve hidrojen peroksit gibi güçlü oksitleyici kimyasal maddeler kullanılarak hem renkte

ağartma işlemi yapılırken hem de temizlik işlemi yapılmış olur. Bu aşamada atık sudaki AKM miktarı da oldukça yükselir [20].

2.2.1.4. Merserizasyon

Merserizasyon işlemi kumaşa parlaklık kazandırmak aynı zamanda boyama işleminden önce boyanın kumaşa tam olarak tutunması amacıyla yapılır. Bu aşamada kumaş sodyum hidroksit, sülfürik veya hidroklorik asit çözeltileriyle işleme tabi tutulur [20].

2.2.1.5. Boyama

Kumaş veya ipliklerin istenilen renkle boyandığı basamaktır. Boyama işlemlerinde kullanılan boyalar genellikle sentetik yapılı boyalardır. Bu aşamada oluşan atık su renk ve AKM açısından oldukça yüksek içeriğe sahiptir [20].

2.2.1.6. Apreleme

Apreleme işlemi, kumaşa istenilen görünüş, sağlamlık, yumuşaklık vb. fiziksel veya kimyasal özelliklerin kazandırıldığı basamaktır. Bu aşamada kumaşı yanmaya, küflenmeye, su ve mikrobiyolojik maddelerden korumaya yönelik nişasta, yumuşatıcı maddeler, sentetik veya doğal reçineler kullanılır [19].

Tüm bu proses basamakları sonucunda oluşan atıksular oldukça yüksek kirlilik yüküne sahiptirler. Özellikle boyama aşamasında atıksuyun içerisindeki renk miktarı çok yüksek değerlere ulaşmaktadır. Tekstil endüstrisinin proses basamakları ve atıksu karakterizasyonu Tablo 2.2.'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Tekstil endüstrisi proses basamakları ve oluşan atıksuyun karakterizasyonu [21].

Parametre	Tür	Haşılama	Yıkama	Ağartma	Boyama	Apreleme
KOİ (mg/L)	yün	-	5000-90000	--	7920	-
	pamuk	950-20000	8000	288-13500	1115-4585	-
	sentetik	-	-	-	620	1515
BOİ ₅ (mg/L)	yün	-	2270-60000	400	400-2000	-
	pamuk	-	100-2900	970-1700	970-1460	-
	sentetik	-	500-2800	-	530	590

Tablo 2.2. Devamı

Parametre	Tür	Haşılama	Yıkama	Ağartma	Boyama	Apreleme
AKM (mg/L)	yün	-	100-26200	900	-	-
	pamuk	18-800	184-17400	130-25000	120-190	-
	sentetik	-	600-3300	-	140	-
Renk (Pt-Co)	yün	-	2000	-	2225	-
	pamuk	64-1900	694	153	1450-4750	-
	sentetik	-	-	-	1750	-
pH	yün	-	7,6-10,4	6	4,6-8	-
	pamuk	8,8-9,2	7,2-13	6,5-13,5	9,2-10,1	-
	sentetik	-	8-10	-	11,7	-
Su tüketimi (L/kg)	yün	-	4-77,5	-	40-150	280-520
	pamuk	-	2,5-43	30-50	38-143	-
	sentetik	-	17-67	-	38-143	-

2.3. Boyar Maddeler

İşlem gördükleri cisme kendiliğinden ya da reaksiyon işlemleri sayesinde renklilik kazandıran kimyasal maddelere boyar madde adı verilir [22]. Boyar maddeler 400-750 nanometre (nm) dalga boyu aralığında güneşten gelen ışınların bir kısmını absorblayıp, bir kısmını da geri yansıtarak üzerine uygulandığı cismin gözümüze renkli bir şekilde görünmesine yardımcı olur.

Boyar maddeler içeriklerindeki kimyasal kompleks yapıları nedeniyle fiziksel ve biyolojik olarak bozulmaya karşı oldukça dayanıklıdır. Bu nedenle doğada uzun süre bozunmadan kalabilirler. Bu özelliklerine istinaden boyar maddeler deri, tekstil, ilaç, kozmetik, gıda başta olmak üzere birçok sektörde tercih edilir. Kimyasal yapılarına ve özelliklerine göre birçok çeşide sahip olan boyar maddelerden sentetik boyar maddeler fiyat, dayanıklılık ve kullanım kolaylığı açısından günümüzde sektörler tarafından en çok tercih edilen boyar maddelerdir [23].

2.3.1. Boyar Maddelerin Sınıflandırılması

Boyar maddeler; kimyasal yapılarına, suda çözünbilme özelliklerine ve boyama yöntemlerine göre 3 gruba ayrılırlar.

2.3.1.1. Boyama Yöntemlerine Göre

Asidik boyar maddeler; yapılarında karboksilik veya sülfonik asit grubu içeren boyar maddelerdir. Daha çok yün, deri, kağıt ve besin endüstrisinde kullanılırlar. Bu boyaların uygulanması asidik banyolarda gerçekleştirilir [24].

Bazik boyar maddeler; organik yapılı bazların hidroklorürlerinden oluşan boyar maddelerdir. Bazik boyar maddelerin tercih edilmelerindeki en büyük sebep sahip oldukları renk parlaklığıdır. Genellikle yün ve pamuk boyamada kullanılan boyar maddelerdir [24].

Direkt boyar maddeler; yapılarında sülfonik asit grubu içeren, herhangi bir yardımcı madde olmadan istenilen yüzeye direkt uygulanabilmesi sebebiyle adını buradan alan boyar maddelerdir [24].

Disperse boyar maddeler; sulu bir çözelti içerisinde iyice disperse (dağıtma) edilerek, istenilen yüzeye uygulanan boyar maddelerdir. Polyester gibi sentetik yapılı elyaf türlerinin boyanmasında sıkça tercih edilen bir boyar madde türüdür [24].

Reaktif boyar maddeler; yapısında bulunan reaktif gruplar sayesinde uygulandığı yüzeye kovalent bağ yapan boyar maddelerdir. Genellikle sentetik elyafların boyanmasında kullanılan bu boyar maddeler deri ve naylon sanayinde de kullanılmaktadır. Bu boyar maddelerin uygulanmasında kullanılacak ortam bazik yapıda olmalıdır [24].

Vat boyar maddeler; yapılarında karbonil grupları içeren boyar maddelerdir. Bu boyar madde türünde boyayı yüzeye uygulamadan önce indirgeme işlemi yapılarak suda çözünür hale getirilir. Elyaf boyamada kullanılan bu boyar madde türü özellikle dayanıklı olması sebebiyle askeri üniformalarda kullanılır [24].

Mordant boyar maddeler; özellikle demir, bakır, krom gibi metal tuzlarını bağlama yeteneğine sahip olan boyar maddelerdir. Elyaf ve naylon sanayide kullanılırlar [24].

2.3.1.2. Çözünürlüklerine Göre

2.3.1.2.1. Suda Çözünebilen Boyar Maddeler

Anyonik boyar maddeler; suda çözüldüğünde yapılarında sülfonik ve karboksilik asit gruplarını içeren boyar maddelerdir. Asidik ve direkt boyar maddeler bu grubun içinde değerlendirilirler [25].

Katyonik boyar maddeler; suda çözünebilen, yapılarında bazik gruplar içeren boyar maddelerdir [25].

Zwitter iyon karakterli boyar maddeler; yapılarında hem asidik hem de bazik yapılı molekül gruplarının bulunduğu boyar maddelerdir [25].

2.3.1.2.2. Suda Çözünemeyen Boyar Maddeler

Substratta çözünen boyar maddeler; suda tam olarak çözünemeyen, su içerisinde katıldığında süspansiyonlar halinde bulunan boyar maddelerdir. Dispers boyar maddeler bu grupta değerlendirilirler [25].

Organik çözücülerde çözünebilen boyar maddeler; suda çözünemeyen, sadece organik yapılu çözücüler içerisinde çözünebilen boyar maddelerdir. Genellikle spreyleme yapılarak boyanmak istenen durumlarda tercih edilirler [25].

Geçici çözünürlüğe sahip boyar maddeler; kendiliğinden suda çözünemeyen ancak çeşitli maddeler kullanılarak indirgenme işlemi yapıldıktan sonra suda çözünebilen boyar maddelerdir [25].

Polikondenzasyon boyar maddeler; uygulanma işleminden sonra kendi arasında farklı moleküllerle kondanse olarak daha büyük moleküller oluşturan boyar maddelerdir [25].

Elyaf içinde oluşan boyar maddeler; suda çözünemeyen ancak elyaf içerisinde iki farklı bileşenin kimyasal reaksiyonu sonucu oluşan boyar maddelerdir [25].

Pigment boyar maddeler; suda çözünemeyen, yağlar ve reçineler içerisinde süspansiyon halinde uygulanan boyar maddelerdir [25].

2.3.1.3 Kimyasal Yapılarına Göre

Azo boyar maddeler; kimyasal yapı olarak $-N=N-$ azo grubundan oluşan organik yapılu boyar maddelerdir. Birçok boyar maddenin yapım aşamasında kullanılır [26]. Tekstil ve deri sanayinde kullanılan azo boyar maddeler diğer boyalarla karıştırılarak rengin tam olarak belirgin hale getirilmesinde kullanılır.

Nitro ve nitrozo boyar maddeler; yapılarında nitro ve nitroso grubu bulunan boyar maddelerdir [26].

Polimetin boyar maddeleri; yapılarında bir çift, bir tek bağ (konjuge) olacak şekilde karbon bağları bulunan boyar maddelerdir. Özellikle elektrofotografik film kopyasında yani fotoğrafçılık alanında ışık duyarlayıcısı olarak kullanılır [26].

Aza 18 annulen boyar maddeleri; bu boyar madde türü yapısında 18 elektronlu konjuge karbon bağları bulunur. Ftalosiyenin boyar maddesi bu grupta bulunan ve kullanılan en önemli boyar maddelerden biridir [26].

Karbonil boyar maddeleri; yapılarında birbirlerine konjuge bağlarla bağlanmış karbonil grupları içeren boyar maddelerdir [26].

Kükürt boyar maddeleri; suda çözünemeyen, yapısında kükürt atomların bulunduğu makro molekül yapılu boyar maddelerdir [26]. Deri ve tekstil endüstrisinde kullanılan bu boyar

maddelerin uygulanmasında yüksek sıcaklıklı ortamlar kullanılır. Bu sayede boya daha canlı renklerde görünür.

2.4. Boyar Madde İçeren Atık Suların Diğer Arıtım Teknikleri

Boyar madde içeren atık sularda bulunan boyar maddenin gideriminde günümüzde en çok tercih edilen yöntem, fiziko-kimyasal bir yöntem olan adsorpsiyon tekniğidir. Adsorpsiyon tekniğinin haricinde boyar madde içeren atık sularda boyar madde giderimi için farklı birçok teknik bulunmaktadır. Bu tekniklerden en çok kullanılanları arıtım yöntemlerine göre 3 kısma ayrılmıştır.

2.4.1. Fiziksel Yöntemler

Membran sistemleri; membranlar seçici geçirgen bir tabakaya sahip olan yapılardır. Membran sistemleri farklı yoğunluk, basınç veya potansiyel yüke sahip iki faz veya ortam arasında, sahip olduğu seçici geçirgen yapı özelliği sayesinde sadece istenilen maddelerin geçirilip istenilmeyen maddelerin ise tutulabilmesini sağlar [27]. Günümüzde farklı modifikasyonları bulunan membran sistemleri yüksek ilk kurulum maliyetlerine rağmen atık su arıtımında hızla kullanımı artan tekniklerin başında gelmektedir.

İyon değiştirme tekniği; iyon değiştirme tekniği kısaca yer değiştirme tekniği olarak tanımlanabilir. Sentetik veya doğal halde bulunan reçinelerin sahip oldukları potansiyel yüke bakılarak, atık su içerisinde bulunan ve giderilmesi istenilen farklı yükteki iyonların reçineler üzerinde bulunan iyonlarla yer değiştirmesi işlemidir [28]. Bu sayede sudan uzaklaştırılmak istenilen iyonlar reçineler üzerinde tutularak giderim sağlanmış olur.

2.4.2. Kimyasal Yöntemler

Koagülasyon-flokülasyon tekniği; bu arıtım tekniğinde atık su içerisinde bulunan ve giderilmesi istenilen maddelerin, atık su içerisine ilave edilen çeşitli kimyasallar yardımıyla çöktürülmesi ve çökmüş olan maddelerin alınarak bu şekilde sudan uzaklaştırılması prensibine dayanmaktadır. Günümüzde en çok kullanılan kimyasallar $Al_2(SO_4)$ ve $FeCl_3$ tür [29]. Boyar madde gideriminde eskiden en çok tercih edilen yöntemlerden biri olmasına karşın, günümüzde ekonomik sebeplerden dolayı kullanımı giderek azalmaktadır.

Oksidatif giderim teknikleri; oksidatif giderim tekniklerinde amaç atık su içerisinde bulunan boya moleküllerinin parçalanmasını sağlayarak sudan uzaklaştırmasıdır. Bu amaçla en fazla kullanılan maddeler ise ozon(O_3) ve hidrojen peroksit (H_2O_2) maddeleridir. Çok yüksek

oksitleme kapasitesine sahip bu iki madde, boya moleküllerini karbondioksit ve suya kadar parçalayabilir [30-31]. Günümüzde kullanılan ozon ve hidrojen peroksit, çeşitli modifikasyonlar sonucu ultraviyole(UV) veya Fe_2 ile birleştirilerek daha yüksek giderim verimine ulaştırılır.

Elektrokimyasal sistemler; bu sistemlerde amaç, atık suya dışarıdan ekstra kimyasal ilavesi yapılmadan, atık su içerisinde koyulan alüminyum veya demir elektrotların bir güç kaynağına bağlanarak üzerlerinden akım geçirilmesi ve koyulan elektrotun cinsine bağlı olarak $Al(OH)_3$ veya $Fe(OH)_3$ gibi metal hidroksit bileşikler meydana getirilmesidir. Oluşan bu metal hidroksitler atık su içerisinde bulunan ve kendiliğinden çökemeyen kolloidal yapıdaki maddeleri bir araya toplayarak daha büyük parçalar haline getirirler. Oluşan bu büyük parçalar yerçekiminin etkisiyle dibe çökerler ve buradan alınarak sudan uzaklaştırılmış olurlar [32].

2.4.3 Biyolojik Yöntemler

Atıksu arıtımında kullanılan ve maliyeti düşük olması sebebiyle tercih edilen biyolojik yöntemler, mikroorganizmalar yardımıyla yapılan giderim prosesleridir. Ortama göre aerobik (oksijenli), anaerobik (oksijensiz) ortamlarda yaşayabilen mikroorganizmaların kullanıldığı bu yöntemde, mikroorganizmalar yaşamlarını devam ettirebilmek amacıyla ortamda bulunan ve giderilmesi istenilen maddeleri kullanarak atıksudan uzaklaştırılmasını sağlarlar. Bununla beraber özellikle boyar madde içeren atıksuların içeriğinde bulunan toksik maddeler sebebiyle giderimin ana oyuncularını olan mikroorganizmalar ortamda yaşamsal faaliyetlerine devam edemezler [33]. Bu sebeple biyolojik açıdan boyar madde giderimi oldukça zordur.

Ancak geçmişten günümüze var olan mikroorganizmaların en büyük özelliği bir süre sonra bulunduğu ortama uygun kendini geliştirebilmesidir. Buradan yola çıkarak son yıllarda boyar maddelerin biyolojik olarak giderimi konusunda yapılan çalışmalar yoğunlaşmıştır. Özellikle boyar maddelerin yapısında bulunan lignini parçalayabilen lignin peroksidaz, mangan peroksidaz ve lakkaz enzimlerini üretebilen bakteri ve funguslar, boyar madde içeren atıksuların arıtımında kullanılabilir [33].

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Dünyada ve ülkemizde en önemli sanayi faaliyetlerinden biri olan tekstil endüstrisi hızla gelişim göstermektedir. Aynı oranda çevreye verdiği zarar da artmaktadır. Özellikle tekstil endüstrisinden kaynaklanan ve yüksek oranda boyar madde içeren atık suların yeterli arıtım yapılmadan deşarj yapılması sonucu hem çevre hem de insan sağlığı olumsuz yönde etkilenmektedir.

Boyar madde içeren atık sular çeşitli fiziksel veya kimyasal yöntemlerle arıtılabilir olmasının yanında, en önemli problem arıtım sürecinde oluşan maliyettir. Bu arıtım yöntemlerinden biri olan adsorpsiyon prosesi diğer yöntemlere nazaran daha uygun maliyete sahip olmasında karşın, kullanılan adsorban miktarına bağlı olarak maliyeti artmaktadır. Bu sebeple son yıllarda yapılan çalışmalar, düşük üretim ve kullanım maliyetine sahip olan doğal ve ucuz adsorbanların kullanıldığı adsorpsiyon yöntemleri üzerine yoğunlaşmıştır.

Demiral, İ. (2016) yılında yaptığı çalışmada; sulu çözelti içerisindeki Asit Mavi 193 boyar maddesinin kabak çekirdeğinin kabuğu kullanılarak hazırlanan adsorban yardımıyla giderimi araştırılmıştır. pH olarak 1,42 - 8,46 aralığı, boya konsantrasyonu olarak 25 – 250 mg/L, sıcaklık olarak 25 - 45 °C, ve adsorban miktarı olarak da 0,025 g – 0,3 g aralıkları incelenmiş ve optimum şartlar olarak 45 °C sıcaklıkta, pH 1,42, boya konsantrasyonu 250 mg/L ve adsorban miktarı olarak 0,2 g belirlenmiştir. Optimum şartlar altında yapılan çalışma sonucu Langmuir eşitliğine uygun olarak 204,08 mg/g gibi bir adsorpsiyon kapasitesine ve yaklaşık % 90'lık bir giderim verimine ulaşılmıştır [34].

Bozkan, H. (2012) yılında yaptığı çalışmada; sulu çözelti içerisindeki Metilen Mavisi ve Kristiyal Viyolet boyar maddelerinin, adsorban olarak prina(zeytin atığı) kullanılan bir adsorpsiyon işleminde giderimi araştırılmıştır. Her iki boyar madde için de pH, süre, doz, sıcaklık ve karıştırma hızları incelenmiştir. Her iki boyar madde için de yapılan çalışmalar sonucu optimum şartlar sırasıyla Metilen Mavisi için pH 10, süre 60 dk, 175 mg/200 mL doz, 25 °C sıcaklık, 250 rpm karıştırma hızı, Kristal Viyole için pH 10, süre 120 dk, 175 mg/200 mL doz, 25 °C sıcaklık ve 200 rpm karıştırma hızı olarak belirlenmiştir. Daha sonra optimum şartlar altında yapılan çalışmalarda Metilen Mavisi için % 91, Kristal Viyolet için % 93' lük bir giderim verimi elde edilmiştir [35].

Sohrabi ve Ameri (2015) yılında yaptıkları çalışmada; susam bitkisinin atık gövde kısımları adsorban olarak kullanılmış ve sulu çözelti içerisindeki Reactive Red 141 boyar maddesinin uzaklaştırılması incelenmiştir. Yapılan çalışmada pH, başlangıç boya konsantrasyonu, adsorban miktarı, işlem sıcaklığı ve adsorban kapasitesi araştırılmış ve optimum şartlar olarak sırasıyla pH 1,1 ilk boya konsantrasyonu 30 mg/L, adsorban miktarı 4 g/L, sıcaklık 20 °C ve adsorbanın adsorplama kapasitesi 27,55 mg/g olarak belirlenmiştir.

Optimum şartlar altında yapılan çalışma sonucu susam gövde atıklarının adsorban olarak kullanıldığı adsorpsiyon işleminde, sulu çözelti içerisindeki Reactive Red 141 boyar maddesinin % 95'lik bir giderim verimiyle sudan uzaklaştırıldığı belirlenmiştir [36].

Susam bitkisi gövdesinin adsorban olarak kullanıldığı Jiang ve ark. (2015) yılında yaptıkları çalışmada ise; sulu çözelti içerisindeki Metilen Mavisi boyar maddesinin adsorpsiyon yöntemiyle sulu çözeltilerden uzaklaştırılması araştırılmıştır. 24 saat (h), 105 °C'de ve 1-2 mm olacak şekilde hazırlanan adsorbanın kullanıldığı deneyde, çözelti pH 7 olarak ayarlanmış ve 24 h karıştırma işlemi yapılmıştır. Yapılan işlem sonucunda sulu çözelti içerisindeki Metilen Mavisi boyar maddesinin % 18,29 giderim oranında sudan uzaklaştırıldığı bulunmuştur [37].

Adsorban olarak susam (Sp), pamuk (Cp) ve pongam (Pp) bitkilerinin tohum kabuklarının kullanıldığı Thinakaran ve ark. (2008) yılında yaptıkları çalışmada ise; sulu çözelti içerisindeki Acid Red 114 (AR 114) boyar maddesinin sudan uzaklaştırılmasında kullanılan adsorbanların birbirlerine göre adsorplama kapasitelerinin karşılaştırılması incelenmiştir. Çözeltinin pH değeri 3, adsorban dozu 3 g/L, ve işlem süresi 4 h olarak ayarlanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda kullanılan adsorbanların adsorplama kapasiteleri sırasıyla 204 mg/g, 153 mg/g, 108 mg/g olarak bulunmuş buna göre Sp>Cp>Pp sonucuna ulaşılmıştır [38].

Savci ve Kemikoglu (2017) yılında yaptıkları bir çalışmada; sulu çözelti içerisinde bulunan ve katyonik bir boya olan MG boyar maddesinin, balık kemiklerinin adsorban olarak kullanıldığı bir adsorpsiyon prosesinde sudan uzaklaştırılması incelenmiştir. Araştırmada 105 °C de 24 h kurutularak hazırlanan adsorbanlar kullanılmıştır. 25 °C sıcaklıkta, 30 ml çözeltilere 0,5g adsorban kullanılmış ve 75 rpm çalkalama hızında 80 dk süre ile işlem yapılmıştır. Yapılan işlemler sonucunda, 619 nm dalga boyunda okuma yapılmış ve sulu çözeltilerde bulunan MG boyar maddesinin gideriminde kullanılan adsorbanın adsorplama kapasitesi 63,694 mg/g olarak bulunmuştur [39].

MG boyar maddesinin sulu çözelti içerisinde adsorpsiyon yöntemiyle uzaklaştırılması konusunda Tabrez ve ark. (2014) yılında yaptıkları çalışmada; doğal bir adsorban olan bezelye kabuklarının (*Pisum Sativum L.*) etkisi araştırılmıştır. Adsorban 70-80 °C'de kurutulup 75 mm boyutunda kullanılmıştır. pH 7 olarak hazırlanan 50 mg/L'lik çözelti 30-45 dk süre ile adsorpsiyon işlemine tabi tutulmuştur. 620 nm dalga boyunda yapılan okumalar sonucunda % 97 giderim verimi elde edilmiş, bezelye kabuklarından yapılmış olan adsorbanın adsorpsiyon kapasitesinin 14,49 mg/g olduğu görülmüştür [40].

Sulu çözelti içerisindeki MG boyar maddesinin adsorpsiyon yöntemiyle sudan uzaklaştırılmasıyla ilgili Singh ve ark. (2018) yılında yaptıkları çalışmada ise; adsorban olarak mango çekirdeğinin (*Mangifera Indica*) kullanımı araştırılmıştır. pH 6 olan 100 mg/L'lik 50 mL çözeltilerde 0,5 g adsorban kullanılmıştır. 150 rpm karıştırma hızı ve 60 dk işlem süresi sonucunda

yapılan okumalardan, sulu çözelti içerisindeki MG boyar maddesinin %96 verimle sudan uzaklaştırıldığı ve adsorbanın adsorplama kapasitesinin 22,8 mg/g olduğu bulunmuştur [41].

Sulu çözelti içerisindeki MG boyar maddesinin adsorpsiyon işlemiyle sudan uzaklaştırılması üzerine Gökara, G. (2013) yılında yaptığı bir çalışmada ise; adsorban olarak iğde çekirdekleri kullanılmıştır. Adsorbanlar 110 °C'de 24 h kurutularak hazırlanmıştır. pH 4,71 olarak ayarlanan 100 mg/L'lik 50 mL'lik örneklere 0,05 g adsorban ilave edilmiştir. 60 dk işlem süresi sonunda sulu çözelti içerisindeki MG boyar maddesinin % 99,5 gibi çok yüksek bir verim elde edilerek sudan uzaklaştırıldığı belirlenmiştir [42].

Murthy ve ark. (2019) yaptıkları bir çalışmada ise; sulu çözelti içerisindeki MG boyar maddesinin, kahve kabuklarından üretilen doğal bir adsorban yardımıyla sudan uzaklaştırılması araştırılmıştır. Adsorbanlar 105 °C'de 12 h kurutularak hazırlanmıştır. Optimum koşullar altında çözeltide pH 6,8 olarak ayarlanmış, 50 mL örneklere 0,5 g/L adsorban koyularak 150 rpm'de 2 h süreyle işleme tabi tutulmuştur. Daha sonra 617 nm dalga boyunda yapılan spektrofotometrik ölçümler sonucu sulu çözelti içerisindeki MG boyar maddesinin % 96 giderim verimiyle sudan uzaklaştırıldığı, adsorbanın ise 263 mg/g adsorplama kapasitesine sahip olduğu bulunmuştur [43].

Yapılan literatür taramalarında susam bitkisinin adsorban olarak kullanılmış olduğu çalışmalar daha çok susam bitkisinin sap (gövde) kısımlarıyla yapıldığı, sulu çözeltilerdeki MG boyar maddesin sudan uzaklaştırılmasında ise bir çok tarımsal atığın adsorban olarak kullanıldığı ama SK'nın daha önce hiç denenmediği görülebilmektedir.

4. MATERYAL ve METOT

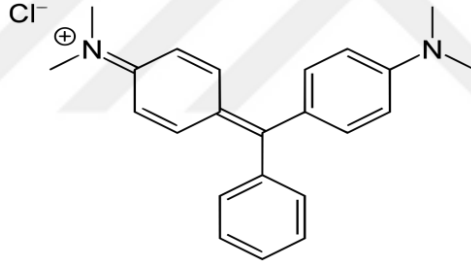
4.1. Materyal

Çalışmada adsorban olarak kullandığımız SK Nisan 2018 tarihinde Gaziantep ilimizden temin edilmiştir. Getirilen SK Şekil 4.1.'de gösterilmiştir. Yaptığımız çalışmada boyar madde olarak MG boyar maddesi kullanılmıştır. Bu boyar maddenin kimyasal özellikleri Tablo 4.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Kullanılan susam kozaları

Tablo 4.1. Malachite Green boyar maddesinin kimyasal özellikleri [44].

Malachite Green	
	
Molekül Formülü : $C_{23}H_{25}ClN_2$	Renk : Yeşil
Molekül Ağırlığı : 364,90 g/mol	Boya Safılığı : <% 90
Dalga Boyu (λ_{max}) : 617 nm	

4.1.1 Çalışmada Kullanılan Cihazlar ve Kimyasallar

Deneyisel çalışmalar sırasında kullanmış olduğumuz cihazların ve kimyasalların markaları ve bulunduğu yerler Tablo 4.2.'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Kullanılan cihazlar ve kimyasallar

ADI	MARKASI	BULUNDUĞU YER
pH metre	İsolab-waterproof IP57	Mersin Üniversitesi
Karıştırıcı	Stuart biolab SSL1	Mersin Üniversitesi
Hassas terazi	İsolab LS-EJ-320AB	Mersin Üniversitesi
Santrifüj cihazı	Hettich micro 22R	Mersin Üniversitesi
Etüv	Thermo scientific heraeus	Mersin Üniversitesi
Spektrofotometre	Hach Lange DR3900	Mersin Üniversitesi
SEM (TaramalıElektronMikroskopyu)	Zeiss Supra55	Mersin Üniversitesi
FT-IR (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi)	Perkin Elmer Fontier	Çukurova Üniversitesi
Malachite Green (MG)	Sigma Aldrich	Mersin Üniversitesi
HCl , NaOH	Merck	Mersin Üniversitesi

4.2. Metot

4.2.1. Adsorbanın Hazırlaması

Gaziantep ilimizden temin ettiğimiz SK deney boyunca Şekil 4.1.'de gösterilen halde oda sıcaklığında (25 °C) muhafaza edilmiştir. SK önce çeşme suyu ile yıkanmıştır. Ardından saf su ile tekrar yıkanan SK etüvde 105 °C'de 1 gün (24 saat) boyunca kurutulmuştur. Kurutulan SK daha sonra çalışmada kullanılmak üzere 60 meshlik eleklerden geçirilerek Şekil 4.2.'de gösterildiği gibi kullanıma hazır hale getirilmiştir.



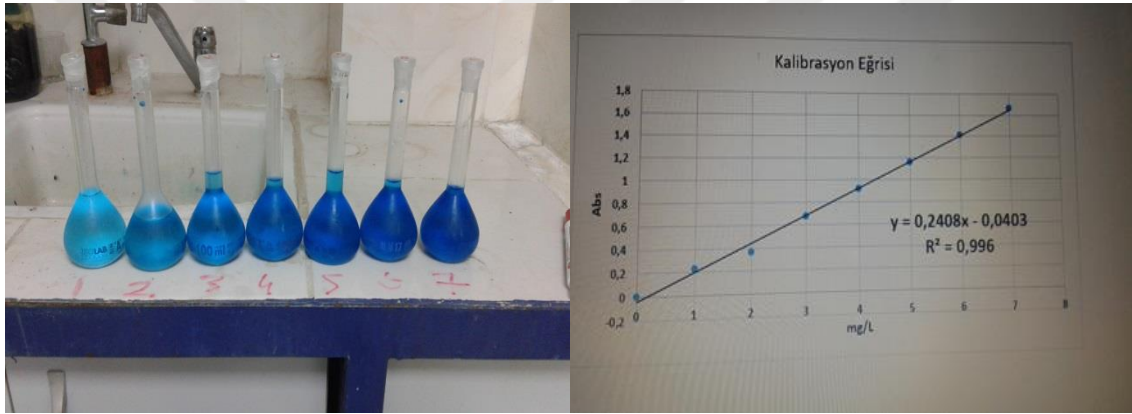
Şekil 4.2. Elekten geçirilmiş SK

4.2.2. Boyar Maddenin Stok Çözeltisinin Hazırlanması

Yapılacak çalışmalarda hata payını minimize etmek ve sonraki çalışmalarda aynı stok çözeltisini kullanmak amacıyla, MG boyar maddesinden 100 mg/L'lik konsantrasyona sahip 1L stok çözeltisi hazırlanmıştır.

4.2.3. Boyar Madde Standart Eğrisinin Bulunması

Kullanılan boyar maddenin maksimum adsorbans verdiği (λ_{max}) : 617 nm dalga boyunda spektrofotometrede kalibrasyon eğrisini oluşturmak için 1,2,3,4,5,6,7 mg/L'lik çözeltiler hazırlanmıştır. Hazırlanan çözeltilerle 617 nm dalga boyunda spektrofotometrede okuma yapılarak Şekil 4.3.'de gösterildiği gibi kalibrasyon eğrisi oluşturulmuştur.



Şekil 4.3. Kalibrasyon eğrisi oluşturma

4.2.4. Optimizasyon Parametreleri

4.2.4.1. Adsorpsiyona pH Etkisi

Yaptığımız çalışmada kullanılacak olan boyar madde içeren sulu çözeltinin optimum çalışma pH'ını belirlemek için 100 mg/L konsantrasyona sahip stok çözeltisinden 50 mL'lik erlenlere 30 mL olacak şekilde çözelti eklenmiştir. Her bir erlenin içerisindeki boyar madde içeren sulu çözeltinin pH'ları sırasıyla 2,6, 4, 5, 8, 10 olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu ayarlamalar için 0,1 M'lık HCl ve NaOH kullanılmıştır. Ardından her bir erlene 0,3 g SK ilave edilerek oda sıcaklığında 24 h boyunca çalkalayıcıya bırakılmıştır. 24 h sonunda her bir erlenden numuneler alınarak 6000 rpm hızında 5 dk boyunca santrifüjlenmiştir. Daha sonra her bir örneğin üst kısmındaki duru fazdan numuneler alınarak spektrofotometre cihazında okunmuş ve konsantrasyonları bulunmuştur.

4.2.4.2. Adsorpsiyona Başlangıç Boyar Madde Konsantrasyonunun Etkisi

Çalışma sırasında kullanacağımız başlangıç boyar madde konsantrasyonunu belirlemek amacıyla, daha önce belirlenen uygun pH'da 5, 10, 15, 20, 25 mg/L'lik konsantrasyonlara sahip örnekler hazırlanmıştır. Örnekler her biri 30mL olacak şekilde erlenlere koyulmuş ve içlerine 0,3 g SK eklenerek oda sıcaklığında çalkalayıcıya koyulmuştur. Ardından her bir erlenden numuneler alınarak 6000 rpm hızında 5 dk boyunca santrifüjlenmiştir. Daha sonra her bir örneğin üst kısmındaki duru fazdan numuneler alınarak spektrofotometre cihazında okunmuş ve konsantrasyonları bulunmuştur.

4.2.4.3. Adsorpsiyona Temas Süresinin Etkisi

Daha önce belirlenen pH ve başlangıç konsantrasyonundaki örnekte işlemin süresini ve diğer farklı konsantrasyonlara sahip örneklerdeki temas süresini belirlemek amacıyla, daha önce belirlenen pH'da 5, 10, 15, 20, 25 mg/L'lik konsantrasyonlara sahip 30 mL'lik örnekler hazırlanarak erlenlere koyulmuştur. Her bir örneğin içine 0,3 g SK eklenerek çalkalayıcıya bırakılmıştır. Ardından her bir erlenden sırasıyla 5, 10, 20, 40, 80'inci dakikalarda numuneler alınarak 6000 rpm hızında 5 dk boyunca santrifüjlenmiştir. Daha sonra her bir örneğin üst kısmındaki duru fazından numunelere alınarak spektrofotometre cihazında okunmuş ve konsantrasyonları bulunmuştur.

4.2.4.4. Adsorpsiyona Adsorban Miktarının Etkisi

Sulu çözelti içerisindeki boyar maddeyi adsorplama yapacak olan adsorbanın optimum miktarını bulmak amacıyla, daha önce belirlenen pH ve konsantrasyonda hazırlanmış örnekler her biri 30 mL olacak şekilde erlenlere koyulmuştur. Her bir erlene sırasıyla 0,1, 0,3, 0,6, 0,9, 1,2 g'lık SK adsorban olarak ilave edilmiştir. Ardından çalkalayıcıya koyulan erlenler daha önce belirlenmiş olan işlem süresine kadar karıştırılmıştır. Daha sonra her bir erlenden numuneler alınarak 6000 rpm hızında 5 dk boyunca santrifüjlenmiştir. Santrifüj işleminin ardından her bir örneğin üst kısmındaki duru fazından numuneler alınarak spektrofotometre cihazında okunmuş ve konsantrasyonları bulunmuştur.

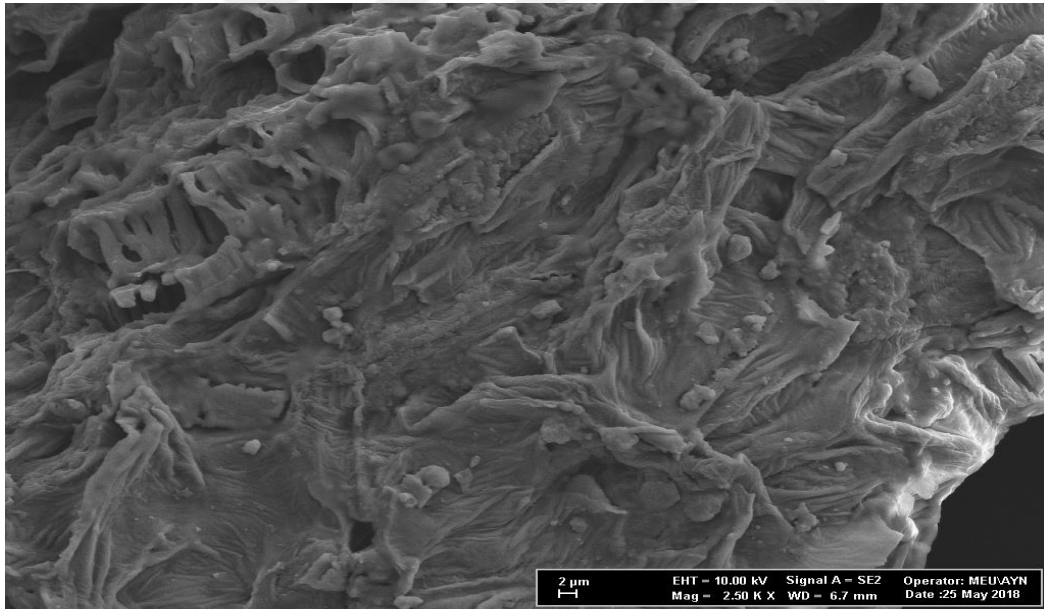
5. BULGULAR ve TARTIŞMA

5.1. Adsorbanın Karakterizasyonu

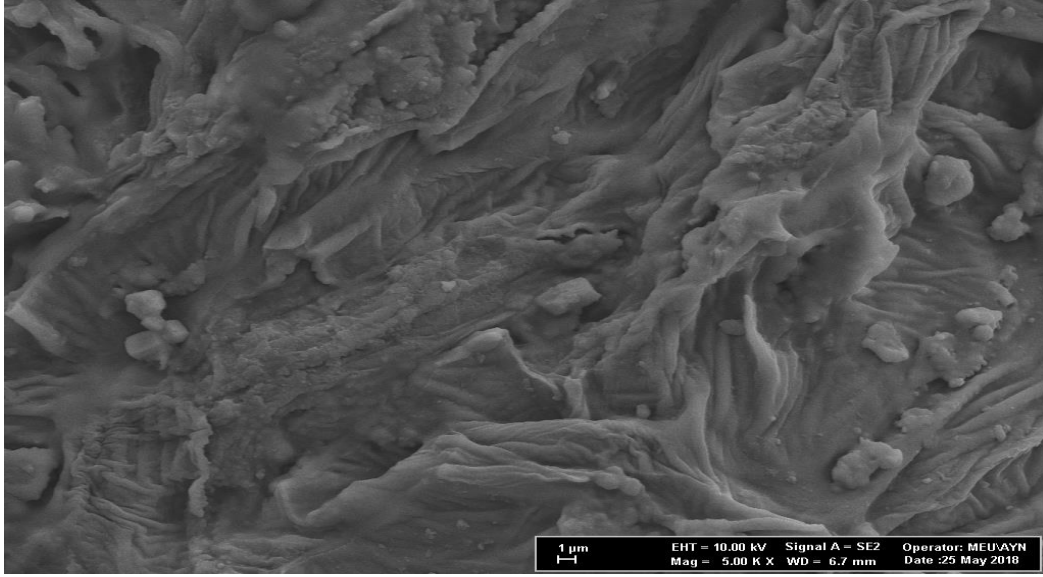
Çalışmada adsorban olarak kullanılan SK'nın yüzey incelemesini yapmak ve fonksiyonel grup analizlerini incelemek amacıyla SEM (Taramalı Elektron Mikroskopi) görüntüsü ve FT-IR (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi) kullanılmıştır.

5.1.1. SEM (Taramalı Elektron Mikroskopi) İncelemesi

Çalışmada adsorban olarak kullanılan SK'nın, adsorpsiyon işleminden önceki ve adsorpsiyon işlemi gerçekleştirildikten sonra yani sulu çözelti içerisindeki boyar madde SK tarafından adsorbe edildikten sonraki yüzey morfolojisinde meydana gelen değişiklikleri görüntülemek amacıyla SEM incelemesi yapılmıştır. Adsorpsiyon işleminden önce alınan SEM görüntüsü Şekil 5.1.'de, işlemden sonraki SEM görüntüsü ise Şekil 5.2.'de verilmiştir.



Şekil 5.1. Adsorpsiyon işlemi öncesi SK yüzeyi (250X)

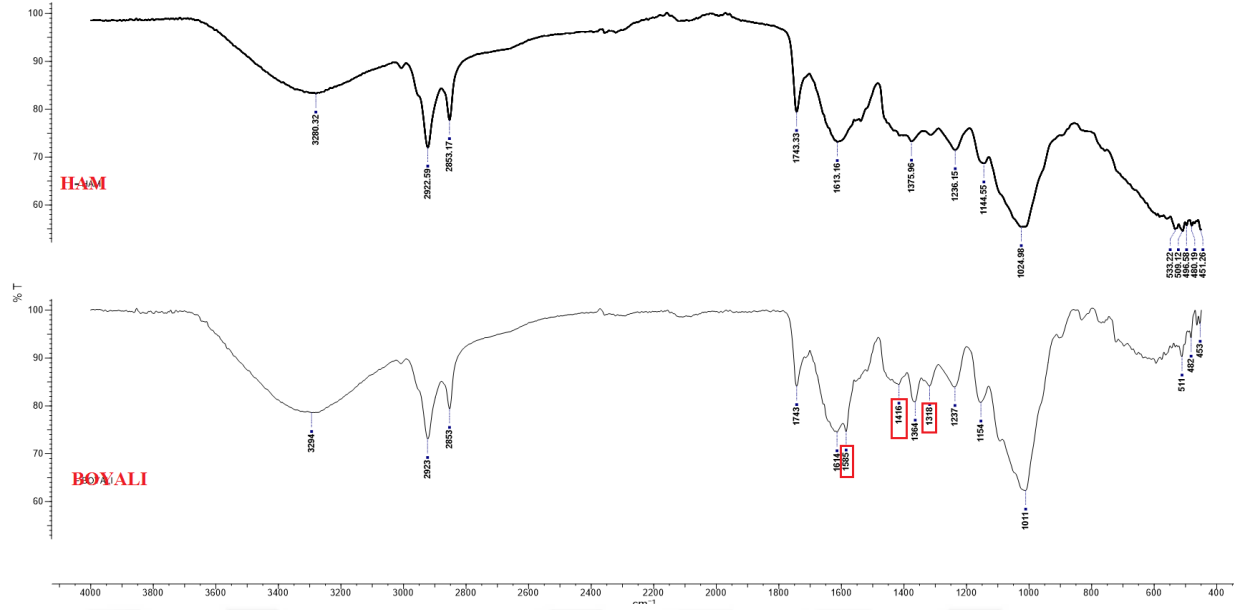


Şekil 5.2. Adsorpsiyon işlemi sonrası SK yüzeyi (500X)

Alınan SEM görüntülerine bakılarak Şekil 5.1. ve Şekil 5.2. incelendiğinde adsorpsiyon öncesi Şekil 5.1.'de görülebilen gözenekler ve SK'nın yüzeyinde var olan girintili ve çıkıntılı yükseltmeler, Şekil 5.2.'de rahatça görülebildiği gibi adsorpsiyon işlemi sonrası boyar madde tarafından doldurulmuş ve SK'nın yüzeyinin boyar madde tarafından kaplandığı görülmüştür.

5.1.2. FT-IR (Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi) İncelemesi

Çalışmada kullanılan FT-IR cihazı; organik veya inorganik maddelerin karakterizasyonlarını belirlemek amacıyla kullanılan bir cihazdır. Maddeyi oluşturan fonksiyonel grupların titreşimleri sonucu oluşan frekansa bağlı olarak absorpsiyon pikleri meydana gelmektedir. Her maddenin kendine özgü bir spektrumu vardır [44]. Yani incelenen madde herhangi başka bir madde ile bağ oluşturmuş ise yeni oluşacak bağın titreşim spektrumu dolayısıyla spektruma bağlı olarak ortaya çıkan pik değerleri değişiklik gösterecektir. SK'nın ham (boyasız), ve boyalı halinin FT-IR analizi Şekil 5.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.3. SK'nın ham ve boyalı FT-IR analizi

Her frekans bölgesine karşılık gelen absorbans değerleri farklıdır. Bu değerler farklı bağ yapılarına göre farklı aralıkta pik verebilirler. Şekil 5.3.'da görüldüğü gibi SK'nın ham ve boyalı haldeki FT-IR analizleri incelendiğinde ve karşılaştırıldığında kırmızı alanlar içerisinde gösterilen 1318 cm^{-1} , 1416 cm^{-1} , 1585 cm^{-1} değerleri SK'nın kendine has bağ yapılarından kaynaklı olan absorbans değerleri dışında, boyar madde ile SK arasında yeni bağ yapılarının kurulduğunu göstermektedir.

Tüm bu değerler göz önüne alındığında, sulu çözelti içerisindeki boyar maddenin SK tarafından adsorplandığı kesinleşmiştir. Gösterilen değerlerde kurulan yeni bağ yapıları Tablo 5.1.'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Absorbans değerlerine göre kurulan bağ yapıları ve kuvvetleri [45].

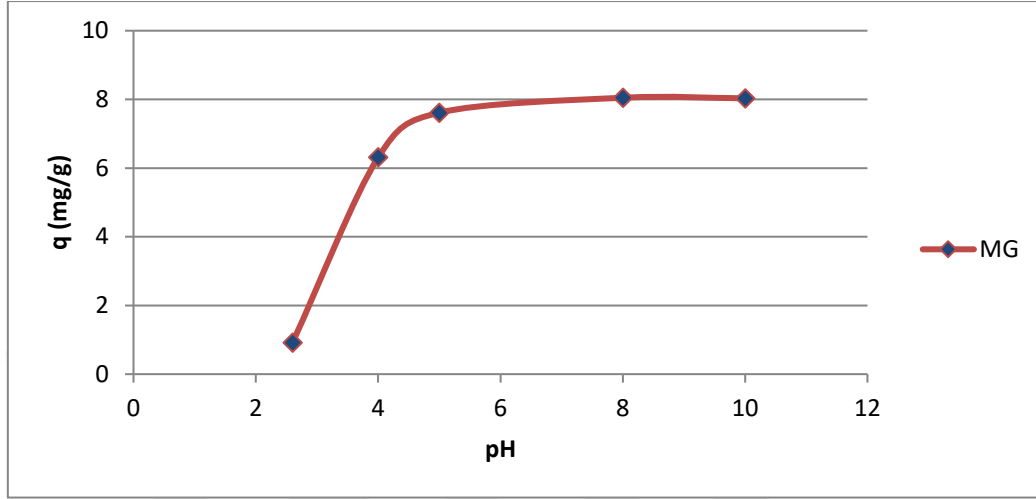
	Bağ Yapısı	Bağ Kuvveti
1318 cm^{-1}	C-N	GÜÇLÜ
1416 cm^{-1}	C-H	ORTA
1585 cm^{-1}	N-H	ORTA

5.2. Adsorpsiyon Optimizasyonu

5.2.1 pH Optimizasyonu

SK'nın adsorban olarak kullanıldığı adsorpsiyon işleminde, boyar madde içeren sulu çözeltide SK'nın optimum çalışma pH'ını belirlemek amacıyla konsantrasyonları 100 mg/L olan 30 mL 'lik sulu çözeltiler pH'ları 2,6, 4, 5, 8 ve 10 olacak şekilde ayarlanmıştır. Diğer tüm

parametrelerin sabit tutulduğu çalışmada her bir erlene 0,3 g adsorban ilave edilmiştir. Çalkalayıcıya alınan örnekler 24 h süre ile karıştırılmış ve ardından santrifüjleme işlemi yapılarak spektrofotometrede okumaları yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucu bulunan değerler Şekil 5.4.'de verilmiştir.

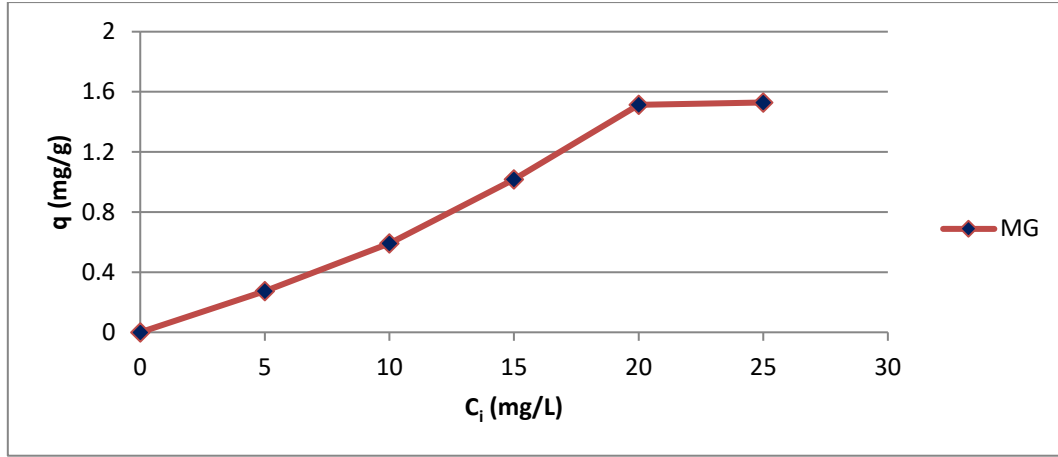


Şekil 5.4. SK üzerine pH'ın etkisi (C_i : 100 mg/L, T: 25 °C, W: 0,3 g, t: 24 h)

Şekil 5.4.'de görülebildiği gibi diğer parametrelerin sabit tutulup SK'nın optimum çalışma pH'ını belirlemek amacıyla yapılan çalışma sonucu, SK'nın en yüksek adsorplama kapasitesine pH 8'de ulaştığı tespit edilmiştir. Bu sebeple daha sonraki yapılacak optimizasyon çalışmalarında çözelti pH'ı 8 olarak tercih edilmiştir. Çalışmada kullanılan boyar madde içeren sulu çözeltinin kendi pH'ı 5 olarak bulunmuş fakat Şekil 5.4.'de verilen grafikte de görülebildiği gibi pH 8'de 8,048 mg/g ile SK için en yüksek adsorplama kapasitesine ulaşılmıştır.

5.2.2. Başlangıç Boyar Madde Konsantrasyonu Optimizasyonu

SK'nın sulu çözelti içerisindeki boyar maddeyi en yüksek adsorplama kapasitesinde adsorplayabilmesi amacıyla daha önce belirlenen pH'a sahip 5, 10, 15, 20, 25 mg/L'lik konsantrasyonlara sahip 30 mL'lik sulu çözeltiler üzerinde çalışılmıştır. Diğer tüm parametrelerin sabit tutulduğu çalışmada 24 h işlem süresi sonunda spektrofotometrede okumalar yapılmıştır. Yapılan okumaların sonucu aşağıda Şekil 5.5.'de verilmiştir.

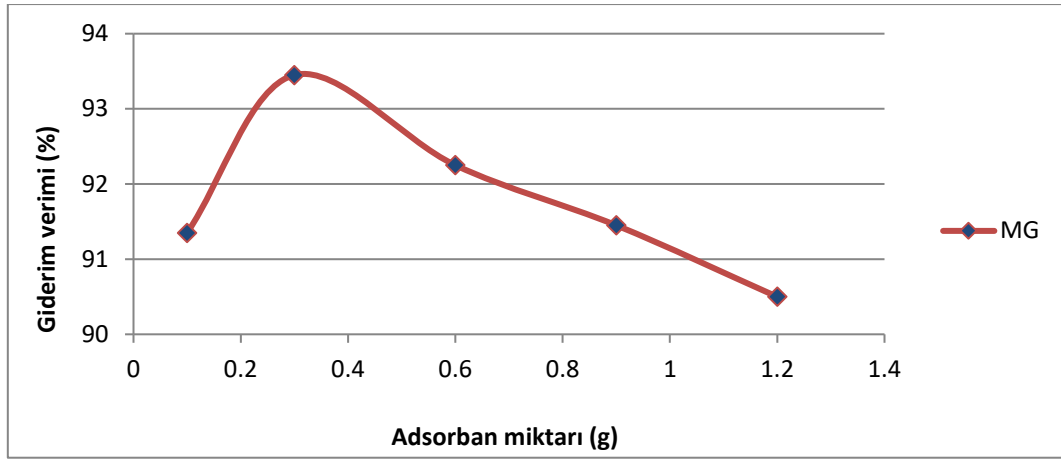


Şekil 5.5. SK üzerine başlangıç boyar madde konsantrasyonunun etkisi (pH 8, W: 0,3 g, t: 24 h)

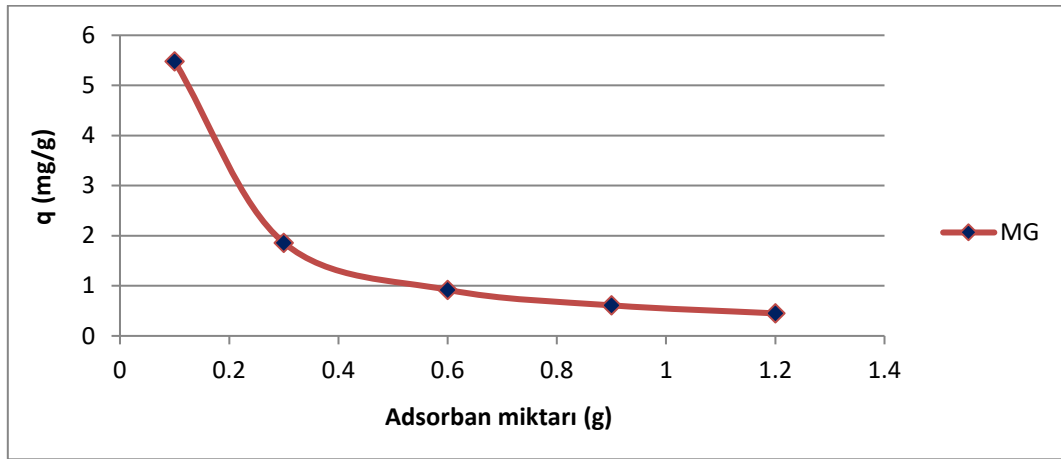
Şekil 5.5.'de verilen grafikte de görülebildiği gibi, diğer parametreleri sabit tutup SK üzerine başlangıç boyar madde konsantrasyonunun etkisi incelendiğinde, SK'nın en yüksek adsorplama kapasitesine 20 mg/L başlangıç boyar madde konsantrasyonunda ulaştığı tespit edilmiştir. Grafikte de görülebildiği gibi SK'nın adsorplama kapasitesi 20 mg/L başlangıç konsantrasyonundan sonra dengelendiği yani adsorbanın doygunluğa ulaştığı tespit edilmiştir. Bu sebeple daha sonraki yapılan çalışmalarda optimum başlangıç boyar madde konsantrasyonu 20 mg/L olarak tercih edilmiştir.

5.2.3. Adsorban Miktarının Optimizasyonu

Optimum pH 8, 20 mg/L başlangıç konsantrasyonu altında adsorban olarak kullanılan SK'nın miktarına bağlı olarak adsorplama kapasitesini bulmak ve sulu çözelti içerisindeki boyar maddenin adsorban miktarına bağlı olarak giderim verimini belirlemek amacıyla diğer parametreler sabit tutularak hazırlanan çözeltilere sırasıyla 0,1, 0,3, 0,6, 0,9 ve 1,2 g adsorban ilave edilmiştir. Ardından çalkalayıcıya alınan örnekler karıştırılmış ve her birinden alınan numuneler spektrofotometrede okunmuştur. Alınan her bir numune için bulunan değerler aşağıdaki Şekil 5.6. ve Şekil 5.7.'de verilmiştir.



Şekil 5.6. Adsorban miktarının boyar madde giderim verimine etkisi (T: 25 °C, V: 30 ml)



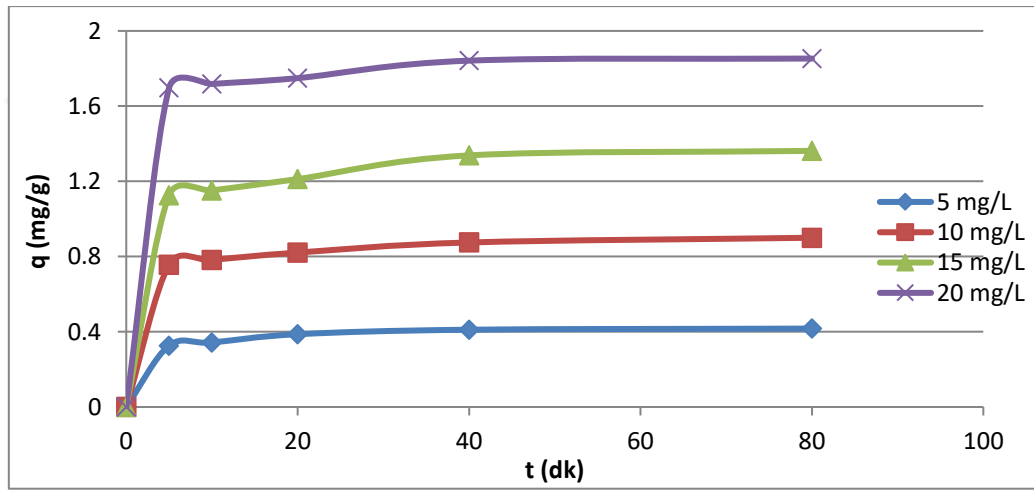
Şekil 5.7. SK'nın adsorplama kapasitesi üzerine adsorban miktarının etkisi (T: 25 °C, V: 30 mL)

Şekil 5.6.'da verilen grafikte de görüldüğü gibi farklı adsorban miktarlarının, sulu çözelti içerisindeki boyar maddenin giderim verimine etkisi incelenmiş ve % 93,45 giderim oranı ile en yüksek giderimin 0,3 g olarak koyulan adsorban miktarında olduğu bulunmuştur. Bu sebeple çalışmada optimum adsorban miktarı olarak 0,3 g tercih edilmiştir.

Şekil 5.7.'ye baktığımızda farklı adsorban miktarlarının adsorplama kapasitesine olan etkisi incelenmiş ve Şekil 5.8.'de verilen grafikte de görülebileceği gibi en yüksek adsorplama kapasitesine çözeltiye koyulan 0,1 g adsorban miktarında ulaşılmıştır. Grafikte görüldüğü üzere çözelti içerisindeki artan adsorban miktarına bağlı olarak adsorplama kapasitesinin düştüğü görülmektedir. Yapılan araştırmalar sonucu bunun nedeninin ise, sulu çözelti içerisindeki adsorban miktarı arttıkça birim adsorban başına çözelti içerisindeki adsorplayabileceği boyar madde miktarının azalması olduğu bulunmuştur.

5.2.4. Temas Süresi Optimizasyonu

Sulu çözelti içerisindeki boyar maddenin adsorban tarafından adsorplanabilmesi ve SK'nın adsorpsiyon kapasitesinin dengeye ulaştığı optimum süreyi belirlemek amacıyla, diğer parametreler sabit tutularak pH'ları 8 olan 100 mL'lik 5, 10, 15 ve 20 mg/L konsantrasyona sahip çözeltiler hazırlanmıştır. Üzerlerine 1 g adsorban eklenen çözeltiler çalkalayıcıya aynı zamanda koyulup her bir çözeltiden 5, 10, 20, 40, 80'inci dakikalarda numuneler alınarak spektrofotometrede okumaları yapılmıştır. Her bir çözelti için belirlenen sürelerde alınan numuneler için bulunan değerler aşağıda Şekil 5.8.'de verilmiştir.



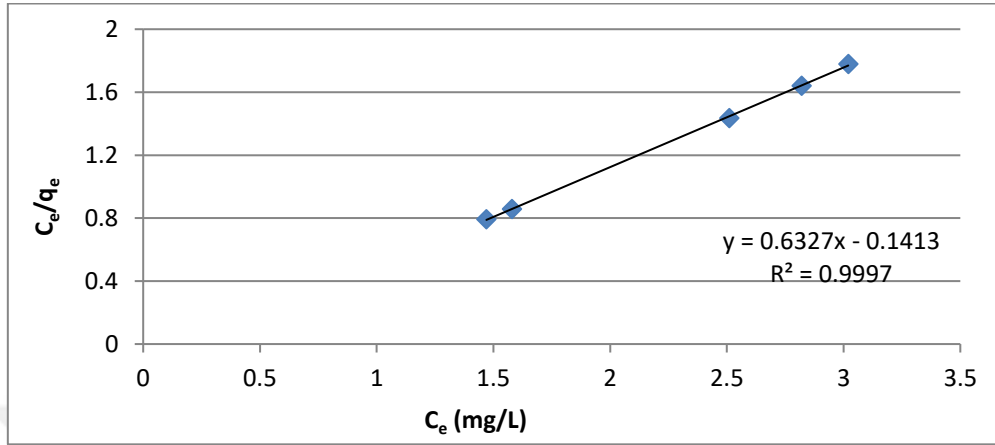
Şekil 5.8. SK üzerine temas süresinin etkisi (pH 8, W: 1 g, V: 100 mL, T: 25 °C)

Şekil 5.8.'de verilen grafikte de görüldüğü gibi adsorban olarak kullanılan SK'nın adsorplama kapasitesi 40'ıncı dakikadan itibaren dengeye gelerek doygunluk değerine ulaşmıştır. Bu sebeple sonraki optimizasyon çalışmalarında optimum temas süresi olarak 80 dk tercih edilmiştir. Optimum başlangıç konsantrasyonu olan 20 mg/L haricinde 5, 10, ve 15 mg/L'lik konsantrasyonlara sahip örneklerde yaptığımız çalışmalar sonucu Şekil 5.8'de verilen grafikten de görülebildiği gibi farklı konsantrasyonlar kullanılmasına rağmen optimum temas süresinin değişmediği ve 40'ıncı dakikada dengeye ulaştığı görülmüştür.

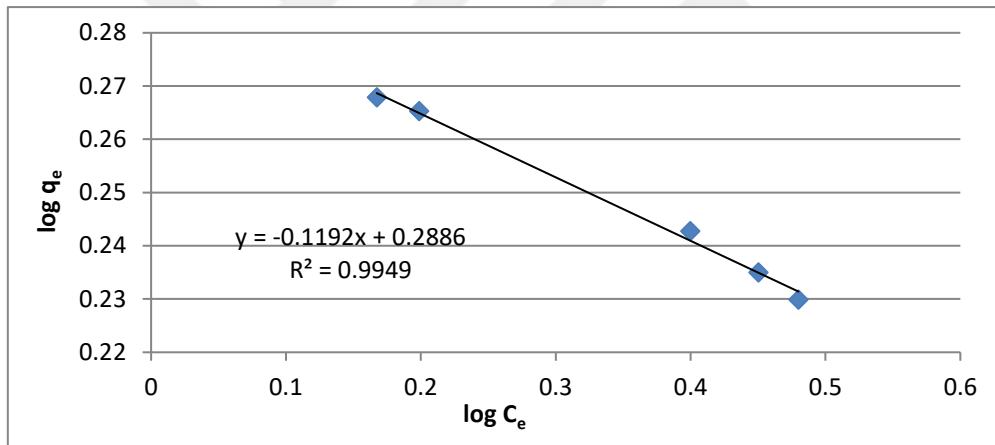
5.3 Adsorpsiyon İzotermi

Sulu çözelti içerisindeki MG boyar maddesi ile, adsorban olarak kullanılan SK için Langmuir ve Freundlich İzoterm modelleri incelenmiştir. Denge durumunda hesaplanan C_e/q_e 'nin C_e 'ye karşı değişim grafiği çizilerek Langmuir İzotermi oluşturulmuştur. Oluşturulan grafik Şekil 5.9.'da gösterilmiştir. Denge durumunda hesaplanan $\log q_e$ 'nin, $\log C_e$ 'ye karşı çizilen

değişim grafiğinde ise Freundlich İzoterm modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan grafik Şekil 5.10.'da gösterilmiştir. Şekil 5.9.'da ve Şekil 5.10.'da verilen izoterm grafiklerinden yararlanılarak hesaplanan izoterm katsayıları Tablo 5.2.'de verilmiştir.



Şekil 5.9. Langmuir İzoterm grafiği



Şekil 5.10. Freundlich İzoterm grafiği

Tablo 5.2. Langmuir ve Freundlich İzoterm sabitleri

	İzoterm Sabitleri
Langmuir İzotermi	$K_L = -7,07714$
	$a_L = -4,47771$
	$R^2 = 0,9997$
	$q_{\max} = 1,58$
Freundlich İzotermi	$K_F = 1,9435$
	$n = -8,38926$
	$R^2 = 0,9949$

Şekil 5.9. ve Şekil 5.10 incelendiğinde sulu çözelti içerisindeki MG boyar maddesinin adsorban olarak kullanılan SK üzerine adsorplanmasında geçerli izoterm modeli olarak Langmuir İzoterm modelinin daha uygun olduğu görülmüştür. Tablo 5.2.'de görülebildiği gibi Langmuir İzoterm modeli uygulandığında SK'nın adsorban kapasitesi 1,58 mg/g olarak hesaplanmıştır.

Saleh ve ark. (2019) yılında Mersin Üniversitesi'nde yaptıkları bir çalışmada; Remozol Blue boyar maddesinin giderimde adsorban olarak *Xanthium Italicum* bitkisini adsorban olarak kullanılmış, % 95 giderim veriminde adsorbanın adsorplama kapasitesini 1,59 mg/g olarak tespit etmişlerdir [46].

Boyar madde giderimde kullanılan farklı adsorbanların adsorplama kapasitelerinin karşılaştırılması Tablo 5.3.'de verilmiştir.

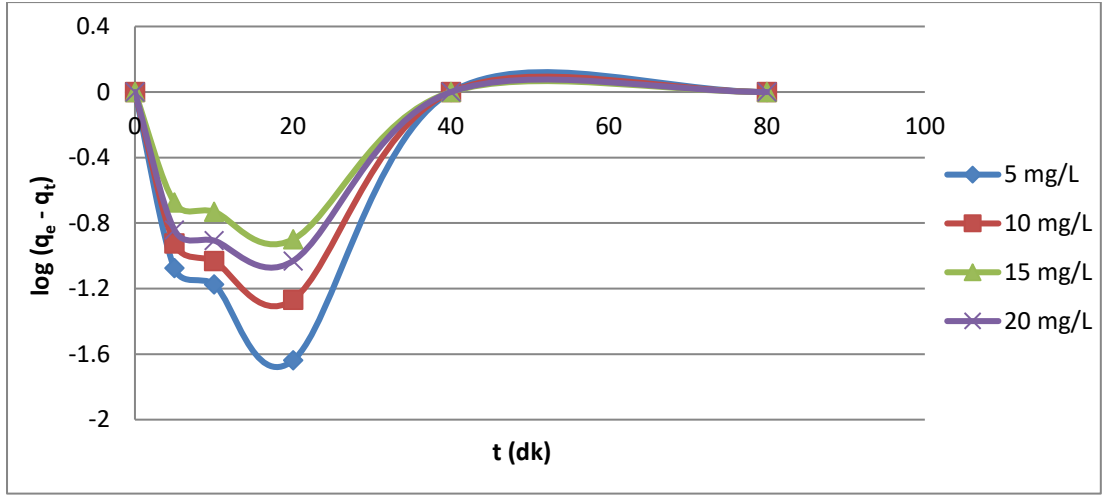
Tablo 5.3. Farklı adsorbanlar için adsorplama kapasitelerinin karşılaştırılması

Adsorban	Boyar madde	Adsorplama kapasitesi (mg/g)	Referans
<i>Argemone mexicana</i>	Rehodamine B	1,3	[47]
<i>Xanthium strumarium</i>	Rehodamine B	2,17	[48]
Fıstık kabuğu	Remazol Blue (RBBR)	16,74	[49]
Pirinç kabuğu	Acid Blue 74	14,36	[50]
Kiraz ve Kayısı çekirdeği	Disperse Yellow 211	105,71 – 156,25	[51]
Ceviz ve Fındık kabuğu	Disperse Blue 106-124	2,10 – 1,24	[52]
<i>Xanthium Italicum</i>	Remozol Blue	1,59	[46]
Hindistan cevizi kabuğu	Malachite Green	4,8	[53]
Susam Kozası	Malachite Green	1,58	Bu Çalışma

5.4. Adsorpsiyon Kinetikleri

5.4.1. Birinci Dereceden Kinetik Model

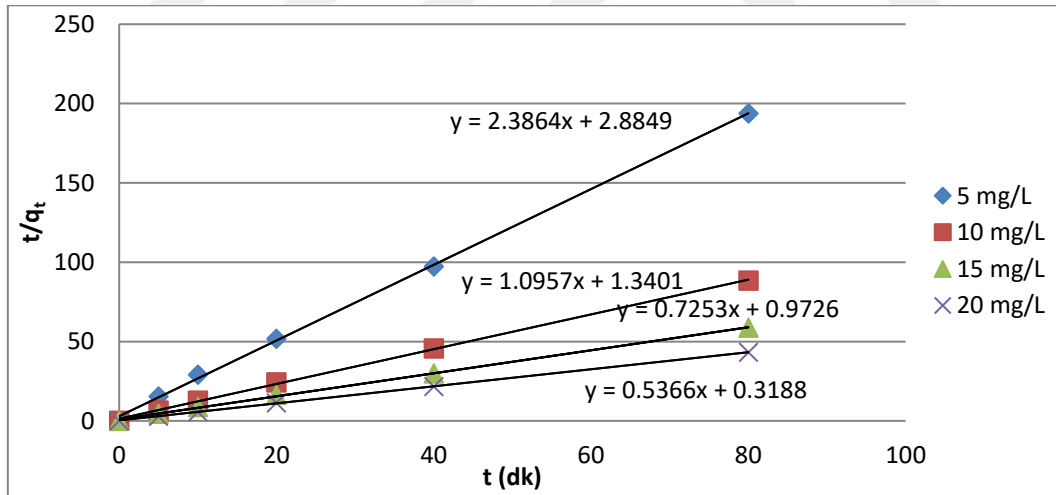
Çalışmada adsorpsiyon kapasitesi değişim hızının, zamana bağlı değişimini bulmak amacıyla Şekil 5.11.'de gösterilen $\log(q_e - q_t)$ ' ye karşı zaman (dk) grafiği çizilmiştir. Grafik Şekil 5.11.'de verilmiştir.



Şekil 5.11. Birinci dereceden kinetik model (MG-SK)

5.4.2 İkinci Dereceden (Yalancı) Kinetik Model

Adsorpsiyon kapasitesinin zamana bağlı değişim hızını bulmak amacıyla t/q_t 'ye t grafiği çizilmiştir. Çizilen grafik Şekil 5.12.'de gösterilmiştir. İkinci dereceden kinetik model için hesaplanan katsayılar Tablo 5.4.'de verilmiştir.



Şekil 5.12. İkinci dereceden (yalancı) kinetik model (MG-SK)

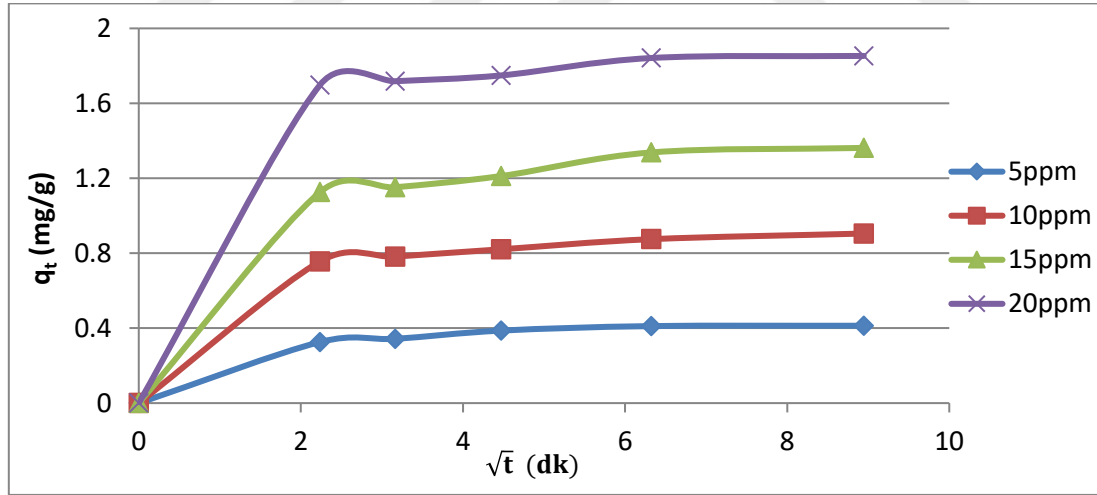
Tablo 5.4. İkinci dereceden kinetik model için hesaplanan katsayılar

Konsantrasyon (mg/L)	q_e (mg/g) (deneysel)	q_e (mg/g) (hesaplanan)	k_2 g/mg.dk	R^2
5	0,41	0,4190	1,9740	0,9994
10	0,875	0,9126	0,8958	0,9993
15	1,338	1,3787	0,5408	0,999
20	1,842	1,8635	0,9031	0,9998

Tablo 5.4.'de verilen R^2 (regresyon) sayılarına baktığımızda 1'e çok yakın olmalarına istinaden, ikinci dereceden kinetik modelin MG'nin SK üzerine adsorplanmasında kullanılmak üzere uygun olduğu görülmektedir.

5.4.3 Partikül İçi Difüzyon Modeli

Zamana bağlı adsorpsiyon kapasitenin değişim hızını belirlemek amacıyla, q_t 'nin \sqrt{t} 'ye karşı olan değişim grafiğinin çizilmesiyle elde edilmiş olan partikül içi difüzyon modeli Şekil 5.13'de verilmiştir.

**Şekil 5.13.** Partikül içi difüzyon modeli (MG-SK)

Şekil 5.13.'de verilen partikül içi difüzyon grafiğinden de görülebildiği gibi, boyar madde derişimi arttıkça zamana bağlı olarak partikül içi difüzyon hızları artmıştır.

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

1. Öncelikle yapılan araştırmalar sonucu, adsorban olarak kullanılan SK'nın tarımsal bir atık olması, kolay bulunabilir ve ekonomik açıdan maliyetinin düşük olması sebebiyle tüm bu faktörler göz önüne alındığında bu ve benzeri adsorpsiyon işlemlerinde adsorban olarak kullanılabilmesi belirlenmiştir.

2. İlk olarak çalışmada pH'nın MG boyar maddesinin SK tarafından adsorplanmasına olan etkisi araştırılmıştır. Şekil 5.4.'de görülebildiği gibi MG boyar maddesinin adsorplanmasında SK'nın en yüksek adsorplama kapasitesine pH 8'de ulaştığı belirlenmiştir. Ayarlama yapılmadan MG boyar maddesi içeren sulu çözeltinin orijinal pH'nın ise 5 olduğu belirlenmiştir.

3. İkinci olarak çalışmada başlangıç boyar madde konsantrasyonunun adsorpsiyona etkisi araştırılmıştır. Şekil 5.5.'de görülebildiği gibi adsorban olarak kullanılan SK'nın en yüksek adsorplama kapasitesine 20 mg/L başlangıç boyar madde konsantrasyonunda ulaştığı ve ardından denge durumuna geldiği belirlenmiştir.

4. Daha sonra çalışmada adsorban olarak ilave edilen SK'nın miktarının MG boyar maddesinin sudan uzaklaştırılması (giderim) verimine ve kullanılan adsorbanın adsorplama kapasitesine olan etkisi araştırılmıştır. Şekil 5.6.'da görülebildiği gibi 30 mL çözeltide en yüksek giderim verimi % 93,45 olarak belirlenmiş, en yüksek giderim verimine ise 0,3 g adsorban miktarında ulaşılmıştır. Şekil 5.7.'de verilen grafiğe baktığımızda ise çözelti içerisindeki adsorban miktarı arttıkça, SK'nın birim miktarda adsorplayabildiği boyar madde miktarı yani adsorbanın adsorplama kapasitesinin azaldığı belirlenmiştir.

5. Son olarak adsorpsiyon temas süresinin, adsorpsiyona ve adsorbanın adsorplama kapasitesine olan etkisi araştırılmıştır. Şekil 5.8'de verilen grafikte de görülebileceği gibi 5, 10, 15, 20 mg/L'lik farklı konsantrasyonlara sahip MG boyar maddesi içeren sulu çözeltiler incelenmiş, bütün çözeltiler için SK'nın en yüksek adsorplama kapasitesine 40'ıncı dakikada ulaştığı tespit edilmiştir. Şekil 5.8.'de verilen grafiğe bakıldığında adsorban olarak kullanılan SK'nın 40'ıncı dakikadan sonra ise adsorplama kapasitesinin dengeye ulaştığı ve küçük oynamalar haricinde denge durumunda devam ettiği görülmüş, bu durumun farklı konsantrasyondaki çözeltiler için de aynı olduğu tespit edilmiştir.

6. Çalışmada MG boyar maddesi içeren sulu çözelti ile adsorban olarak kullanılan SK için Freundlich ve Langmuir izoterm modelleri incelenmiş, Şekil 5.9., Şekil 5.10. ve Tablo 5.2.'de gösterilen değerlerden de anlaşılacağı gibi $R^2 = 0,9997$ gibi 1'e oldukça yakın bir oranla Langmuir izoterm modelinin çalışmamıza daha uygun olacağı görülmüştür. Tablo 5.2'ye baktığımızda sulu çözelti içerisindeki MG boyar maddesinin gideriminde adsorban olarak kullanılan SK'nın adsorplama kapasitesinin ise 1,58 mg/g olduğu tespit edilmiştir.

7. Adsorpsiyon kapasitelerinin zamana bağlı olarak değişim hızlarını bulmak amacıyla birinci dereceden kinetik, ikinci (yalancı) derecen kinetik modelleri incelenmiştir. Şekil 5.11., Şekil 5.12. ve Tablo 5.4.'e bakıldığında MG boyar maddesinin SK üzerine adsorplanmasında ikinci (yalancı) dereceden kinetik modelinin kullanımının daha uygun olduğu görülmüştür.

8. Çalışmada elde edilen verilere göre sulu çözelti içerisindeki MG boyar maddesinin gideriminde SK'nın ekonomik olmasının yanı sıra oldukça yüksek giderim verimine sahip bir adsorban olduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca SK adsorban olarak farklı türde boyar maddelerin giderimde kullanılarak veya adsorpsiyona etki eden farklı parametreler incelenerek tezin geliştirilebileceği, adsorpsiyon işlemi sonucu geriye kalan atık adsorbanın çimento üretim tesislerinin lisanslı yakma ünitelerinde yakıt olarak kullanılabilirliği düşünülmektedir. Bu da adsorban olarak kullanılan malzemenin, kullanımdan sonra alternatif bir yakıt olarak değerlendirilebileceğini göstermekte olup sıfır atık stratejisini desteklemektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Kök, R., Çoban, O. (2005). Türkiye tekstil endüstrisi ve rekabet gücü: AB ülkeleriyle karşılaştırmalı bir analiz örneği 1989-2001. *İktisat İşletme ve Finans Dergisi*, 228 (7), 68-61.
- [2] Su Kirliliği Kontrol Yönetmeliği, 16.10.2016, 25687.
- [3] Öztürk, E., Ova, G. (2017). Yağlı tohum kabuklarının biyoaktif bileşen potansiyeli ve gıdalarda kullanımı. *Akademik Gıda Dergisi*, 15 (3), 315-321.
- [4] Seçer, A. (2016). Türkiye’de susam üretim ve dış ticaretinde gelişmeler. *Çukurova Tarım Gıda Bilimleri Dergisi*, 31 (1), 27-36.
- [5] Metcalf, L., Eddy H. P. (2003). *Waste Water Engineering: Treatment and Reuse*. New York: McGraw-Hill.
- [6] Kocabaş, B. (2015). *Yumurta kabuğu-kitosan modifiye ürünü kullanılarak atıksulardan Brilliant Blue R boyar maddesinin adsorpsiyon yöntemi ile gideriminin incelenmesi*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Hitit Üniversitesi, Çorum.
- [7] Karaoğlu, M. H. (2007). *Sulu çözeltilerden bazı boyar maddelerin fizikokimyasal yöntemlerle giderimi*. Yayınlanmamış doktora tezi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir.
- [8] Metin, E. (2009). *Kimyasal çöktürme çamurlarının organik madde adsorpsiyonunda kullanımı*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [9] Özdemir, N. (2015). *İmmobilize formda kemik ve ayçekirdeği kabuğu biyokütelleri üzerine Viktorya Mavisı R(VMR) biyosorpsiyonu*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Hitit Üniversitesi, Çorum.
- [10] Koçer, O. (2013). *Zeytin posası pirina üzerine Malaşit Yeşili’nin sulu çözeltiden adsorpsiyonu*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Kilis.
- [11] Aksu, Z., Yener, J. (2001). A Comparative Adsorption/Biosorption Study Of Mono-Chlorinated Phenols Onto Various Sorbents. *Waste Management*, 21 (8), 695-702. doi: 10.1016/S0956-053x(01)00006-x
- [12] Başbüyük, M., Forster, C. F. (1997). An Examination Of The Treatability Of A Simulated Textile Wastewater Containing Maxilon Red BL-N. *Process Biochemistry*, 32 (6), 523-527. doi:10.1016/S0032-9592.97.00007-1
- [13] Baran, E. (2012). *Tekli ve ikili sistemde zeolit yüzeyine Malachite Green ve Rhodamine B’nin adsorpsiyonunun araştırılması*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Kilis 7 Aralık Üniversitesi, Kilis.
- [14] Karaman, Z. (2017). *Antep fıstığı işletme endüstrisinden kaynaklanan katı atıkların boyar madde adsorpsiyonunda kullanım potansiyelinin araştırılması*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Mersin Üniversitesi, Mersin.
- [15] Obrak, İ. (2009). *Aktif karbon ile çevre kirleticisi bazı unsurların giderilmesi*. Yayınlanmamış doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [16] Tasmakıran, A. F. (2010). *Zirai yan ürünlerin modifiye edilerek yeni adsorbanların hazırlanması ve boyaaların adsorpsiyonu*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- [17] Bağcı, S. (2014). *Lipinus Albus’dan elde edilen aktif karbonun sulu çözeltilerdeki adsorpsiyon özelliklerinin incelenmesi*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- [18] Cırık, K., Yiğit, N.Ö., Gören, S. (2013). *Boyar madde içeren atıksu arıtma tesislerinin işletilmesine yönelik el kitabı*. Ankara: Gürer.
- [19] Pekel, L. C. (2009). *Çöktürme yönteminin kullanıldığı atıksu arıtma sisteminin geliştirilmiş tahmin edici kontrol (GPC) ile pH kontrolü*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- [20] Bahadır, E. B. (2012). *Tekstil endüstrisi arıtılmış atıksularında renk ve öncelikli kirleticilerin ozon teknolojisi ile gideriminin araştırılması*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Tekirdağ.
- [21] Bisschops, I., Spanjers, H. (2003). Literature Review on Textile Wastewater Characterization. *Environmental Technology*, 24 (11), 1399-1411. doi:10.1080/09593330309385684

- [22] Bağcı, G. (2012). *Atıksulardan Reactive Red 239'un biyosorpsiyonunun kinetik ve termodinamiği*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- [23] Dalkılıncı, M. (2015). *Düşük maliyetli biosorbent ile sabit yataklı kolonda Reaktif Blue 21 ve Reaktif Red 250 boyar maddelerinin giderimi ve atılım eğrilerinin modellenmesi*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- [24] Süzen, Y. (2015). *Tekstil endüstrisi boyar maddelerinin fenton oksidasyonu ile sulu ortamlardan giderimi ve yanıt yüzey yöntemiyle optimizasyonu*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Balıkesir Üniversitesi, Balıkesir.
- [25] Topçuoğlu, E. (2016). *Boyar maddelerin çeşitli adsorbanlarla adsorpsiyonunun incelenmesi*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- [26] Uçar, B. (2009). *Tekstil atıksularındaki reaktif boyaların farklı katı atıklar kullanılarak adsorpsiyonla giderimi*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Ankara.
- [27] Bulut, F. B. (2011). *Tekstil endüstride atıksuların membran arıtma sistemi ile arıtımı ve geri kullanımı*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- [28] Eren, F. (2013). *İyon değişim yöntemi ile sulu çözeltiden ve atıksudan sülfat gideriminin incelenmesi*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- [29] Kocaer, F. O., Alkan, U. (2002). Boyar Madde İçeren Tekstil Atıksularının Arıtım Alternatifleri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 7 (1), 47-55.
- [30] Yamaç, D. (2016). *Tekstil boyar maddesinin sulu çözeltilerinden elektrokimyasal yöntemler ile giderimi*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir.
- [31] Yüce, M. (2007). *Arıtımı yapılmamış atıksulardan izole edilen mikroorganizmalarla Reactive Black B ve Krom(VI) giderimi*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara.
- [32] Akarsu, C. (2014). Elektrokoagülasyon prosesi ile endüstriyel atıksu arıtımı. *Akademik Platform Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 18, 2148-7464.
- [33] Erdem, Ö. (2014). *Trametes Versicolor ile tekstil boyar maddelerinin renginin giderimi*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.
- [34] Demiral, İ. (2016). Kabak çekirdeği kabuğundan elde edilen aktif karbonun sulu çözeltiden boyar madde gideriminde değerlendirilmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16, 212-217.
- [35] Bozkan, H. (2012). *Azo boyaların zeytin atığı (prina) kullanılarak adsorpsiyon metodu ile giderimi*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- [36] Sohrabi, H., Ameri, E. (2015). Adsorption Equilibrium, Kinetics, and Thermodynamics Assessment of The Removal of The Reactive Red 141 Dye Using Sesame Waste. *Journal of Desalination and Water Treatment*, 12 (1), 1944-3994. doi:10.1080/19443994.2015.1087345
- [37] Jiang, L., Gao, Y., Liang, G. (2015). Optimization of Activated Carbons Production from Sesame Stalks Using Response Surface Methodology. *International Conference on Chemical, Material and Food Engineering*, (ss.118-121). Changzhou: Jiangsu University of Technology.
- [38] Thinakaran, N., Panneerselvamb, P., Baskaralingam, P., Elango, D., Sivanesan, S. (2008). Equilibrium And Kinetic Studies on The Removal of Acid Red 114 From Aqueous Solutions Using Activated Carbons Prepared From Seed Shells. *Journal of Hazardous Materials*, 158 (1), 142-150. doi:10.1016/j.jhazmat.2008.01.043
- [39] Savci, S., Kemikoglu, E. (2017). Removal of Malachite Green A Aationic Dye From Wastewater Via Adsorption on Fish Bones. *Fresenius Environmental Bulletin*, 26 (4), 3078-3083. ISSN:1018-4619
- [40] Tabrez, A. K., Rumana, R., Imran, A., Equbal, A. K., Amer, A. M. (2014). Removal of Malachite Green From Aqueous Solution Using Waste Pea Shells as Low-Cost Adsorbent – Adsorption Isotherms and Dynamics. *Toxicological & Environmental Chemistry*, 96 (4), 569-578. doi:10.1080/02772248.2014.969268
- [41] Singh, D., Sowmya, V., Abinandan, S., Shanthakumar, S. (2018). Removal of Malachite Green Dye by Mangifera Indica Seed Kernel Powder. *Journal Institution of Engineers*, 99 (1), 103–111. doi:10.1007/s40030-017-0257-4
- [42] Gökara, G. (2013). *İğde çekirdeğinden elde edilen aktif karbon üzerinde tekstil boyar maddelerinin adsorpsiyonu*. Yayınlanmamış yüksek lisans tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne.

- [43] Murthy, T. P. K., Gowrishankar, B. S., Parabha, M. N. C., Kruthi, M., Krishna, R. H. (2019). Studies on Batch Adsorptive Removal of Malachite Green from Synthetic Wastewater Using Acid Treated Coffee Husk: Equilibrium, Kinetics and Thermodynamic Studies. *Microchemical Journal*, 146, 192-201. doi:10.1016/j.microc.2018.12.067
- [44] Büyüksırt, T., Kuleaşan, H. (2014). Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi ve gıda analizlerinde kullanımı. *Gıda Dergisi*, 39 (4), 235-241.
- [45] OChemonline. (2019). *Infrared Spectroscopy Absorption Table*. 17 Ekim 2019 tarihinde https://chem.libretexts.org/Ancillary_Materials/Reference/Reference_Tables/Spectroscopic_Parameters/Infrared_Spectroscopy_Absorption_Table adresinden erişildi.
- [46] Saleh, M., Yalvaç, M., Arslan, H. (2019). Optimization of Remazol Brilliant Blue R Adsorption onto Xanthium Italicum Using The Response Surface Method. *Karbala International Journal of Modern Science*, 5 (1), 54-63. doi:10.33640/2405-609X.1017
- [47] Khamparia, S., Jaspal, D. K. (2016). Investigation of adsorption of Rhodamine B onto a natural adsorbent Argemone Mexicana. *Journal of Environmental Management*, 183 (3), 786-793. doi:10.1016/j.jenvman.2016.09.036
- [48] Khamparia, S., Jaspal, D. K. (2017). Xanthium Strumarium L. Seed Hull as A Zero Cost Alternative for Rhodamine B Dye Removal. *Journal of Environmental Management*, 197, 498-506. doi:10.1016/j.jenvman.2017.03.099
- [49] Savcı, S., Yalvaç, M., Karaman, Z. (2018). Adsorption of Remazol Brilliant Blue R from Aquatic Solution Using Natural Adsorbent (Pistachio hull). *Ecological Life Sciences*, 13 (2), 103-113. doi:10.12739/NWSA.2018.13.2.5A0099
- [50] Lakshmi, U. R., Srivastava, V. C., Mall, I. D., Lataye, D. H. (2009). Rice Huskash as An Effective Adsorbent: Evaluation of Adsorptive Characteristics for In Digo Carmine Dye. *Journal of Environmental Management*, 90 (2), 710-720. doi:10.1016/j.jenvman.2008.01.002
- [51] Erdoğan, F. O. (2017). Düşük maliyetli biyolojik atık adsorbentlerin tekstil boyası adsorpsiyonu özelliklerinin karşılaştırılması. *Tekstil ve Mühendis Dergisi*, 107 (24), 181-187.
- [52] Kaya, N., Yücel, A. T., Konkan, A., Mocur, D., Gültekin, M. (2011). Ceviz kabuğu ve fındık kabuğu kullanılarak sulu çözeltilerden dispers azo boyaların giderimi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 26 (3), 509-514.
- [53] Arumugam, T. K., Krishnamoorthy, P., Rajagopalan, N. R., Nanthini, S., Vasudevan D. (2019). Removal of Malachite Green from Aqueous Solutions Using A Modified Chitosan Composite. *International Journal of Biological Macromolecules*, 128, 655-664. doi:10.1016/j.ijbiomac.2019.01.185

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Emre ALKAN

Doğum Tarihi : 28/11/1993

E-mail : emrealkan43.5@gmail.com

Öğrenim Durumu :

Derece	Bölüm/Program	Üniversite	Yıl
Lisans	Çevre Mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2013-2017
Yüksek Lisans	Çevre Mühendisliği	Mersin Üniversitesi	2017-2020

Görevler :

Görev Ünvanı	Görev Yeri	Yıl
Çevre Mühendisi (stajyer mühendis)	Gediz Atıksu Arıtma Tesisi	2015-2016